

Luis Romero Goytendía

Sistemas digitales



Universidad Nacional de Ingeniería
Editorial Universitaria - EDUNI

Rector **Dr. Aurelio Padilla Ríos**
Primer Vicerrector **Geol. José S. Martínez Talledo**
Segundo Vicerrector **MSc. Ing. Walter Zaldívar Álvarez**

Decano FIEE: **MSc. Ing. Luis Jiménez Ormeño**

Primera edición
Lima, marzo de 2014

SISTEMAS DIGITALES

Impreso en el Perú / Printed in Peru

© **Luis Romero Goytendía**
Derechos reservados

Universidad Nacional de Ingeniería
Editorial Universitaria



Av. Túpac Amaru 210, Rímac - Lima
Pabellón Central / Sótano
Teléfonos 4814196 / 481-1070 anexo 215
Correo-e: eduni@uni.edu.pe

Jefe EDUNI: Prof. Álvaro Montaña Freire
Coordinador Editorial: Nilton Zelada Minaya

Impreso ...

ISBN:

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional
del Perú N° 2014-02542

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio,
total o parcialmente, sin permiso expreso del autor.

DEDICATORIA

A la familia para que seamos como amigos,
y a los amigos para que seamos como familia.

PRÓLOGO

Los Sistemas Digitales hoy en día son muy utilizados por sus importantes características en el tratamiento en general de las señales, empleado en los sistemas de control, en los sistemas de comunicaciones entre otras aplicaciones.

El presente libro trata de los aspectos básicos de los sistemas digitales desarrollándose la teoría en cada capítulo en forma clara, dándose especial énfasis a los ejemplos y problemas resueltos así como a las aplicaciones, orientadas a reforzar los aspectos conceptuales expuestos, terminando cada capítulo con una serie de problemas propuestos.

El presente volumen consta de nueve capítulos cubriéndose los siguientes temas: Introducción a los Sistemas Digitales; Sistemas de Numeración; Códigos Numéricos y de Caracteres; Familias Lógicas; Fundamentos del Diseño de Lógica Combinacional; Manejo de Datos Utilizando Circuitos Aritméticos y Lógicos; Fundamentos del Diseño de Lógica Secuencial; Máquina de Estado; Contadores, Registros, Memorias y PLD's.

EL autor, M.Sc. Ing. Luis Romero Goytendía, ha plasmado en esta obra toda su experiencia profesional en la especialidad de sistemas digitales así como su experiencia docente en el dictado del curso realizado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Ingeniería, impartido para las carreras de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones.

El enfoque dado en la presente obra al estudio de los Sistemas Digitales es un importante aporte a la comprensión de estos temas, que redundará en la buena formación de los ingenieros de nuestro país.

Lima, febrero de 2014

Dr. Rodolfo Moreno Martínez

INTRODUCCIÓN

La tecnología electrónica se ha desarrollado tan vertiginosamente que en la actualidad nos pone a disposición una diversidad de equipos, dispositivos y componentes que nos ayudan a realizar nuestras tareas rutinarias, de negocios, de diversión e intelectuales en una forma que puede compararse al apoyo proporcionado por las máquinas mecánicas, como la máquina de vapor, introducidas en la revolución industrial del s. XIX para aligerar el esfuerzo físico del trabajo humano. El computador es un producto de la tecnología electrónica del s. XX y su forma actual ha sido moldeada principalmente por el desarrollo de los circuitos integrados de las últimas décadas. Pero la fabricación de componentes electrónicos en base a semiconductores y otros materiales, tiene sus límites en cuanto a la capacidad de integración, que ha sido predicha por la mecánica cuántica, lo cual deja otro campo, ya en pleno desarrollo teórico para la fabricación de otro tipo de computadoras, que al igual que las primeras, cambiarán completamente nuestros conceptos sobre el modo de trabajo, y estas dejarán paso a otras alternativas como la luz, circuitos integrados ópticos y computadoras que funcionen completamente en base a la luz. Así mismo, los monitores del futuro probablemente se distanciarán bastante de lo que hoy conocemos, presentándonos unos cubos con alguna especie de gas en el interior que, mediante controles de circuitos microintegrados dispuestos en todas las aristas del cubo, nos permitan ver los modelos diseñados en verdadera tercera dimensión, pudiendo observarlos desde cualquiera de las caras del cubo. De modo que, es solo cuestión de tiempo, para que nuevamente la tecnología produzca cambios tan drásticos, que al igual como ocurrió con todos los avances, su aparición produjo una redefinición en las costumbres, usos y forma de ser de las personas.

Finalmente, quiero resaltar la colaboración desinteresada del Dr. Jorge Heraud Pérez, a quien conocí primero como maestro, luego como colega, quien con sus comentarios acertados me permitió pulir mejor este trabajo. También quiero extender este agradecimiento para un colega y amigo el Dr. Rodolfo Moreno Martínez, quien tuvo comentarios precisos, como los que él acostumbra.

El Autor

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES	1
1.1 Sistemas digitales y analógicos.	3
1.1.1 Representaciones analógicas.	3
1.1.2 Representaciones digitales.	3
1.2 Beneficios del uso de técnicas digitales.	4
1.3 Transmisión paralela y serial.	4
1.4 Concepto de memoria.	4
1.5 Bits, bytes, palabras.	5
1.6 Representación de cantidades binarias.	5
1.6.1. Características de las formas de onda.	6
1.7 Conversión A/D y D/A.	6
1.8 Instrumentos de medición.	8
1.8.1 Osciloscopio.	8
1.8.2 Generador de señales.	9
1.8.3 Analizador lógico.	9
1.8.4 Multímetro.	10
1.9 Lectura.	10
1.10 Aplicaciones.	11

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE NUMERACIÓN	17
2.1 Notación posicional.	19
2.2 Notación polinomial.	19
2.3 Sistemas de numeración en base r.	19
2.3.1 Conversión de base r a decimal.	19
2.3.2 Conversión de decimal a base r.	19
2.4 Números en base octal (ocho).	20
2.5 Números en base hexadecimal (dieciséis).	20
2.6 Representación de números con signo.	21
2.6.1 Números en magnitud y signo.	21
2.6.2 Sistemas numéricos complementarios.	21
a) Complemento a la base.	22
b) Complemento a la base disminuida.	23

2.7 Operaciones aritméticas.....	24
2.7.1 Suma y resta de números no decimales.....	24
2.8 Lectura.....	24
2.9 Aplicaciones.....	25

CAPÍTULO III

CÓDIGOS NUMÉRICOS Y DE CARACTERES	35
3.1 Códigos numéricos.....	37
3.1.1 Números de punto fijo.....	37
3.1.2 Números de punto flotante.....	37
3.2 Código binario natural.....	41
3.3 Códigos binarios, continuos y cíclicos.....	41
3.4 Códigos de caracteres y otros códigos.....	43
3.4.1 Decimal codificado en binario (BCD).....	43
3.4.2 Códigos alfanuméricos.....	43
3.5 Códigos de paridad sencillos.....	45
3.5.1 Código dos de cinco.....	45
3.5.2 Código biquinario.....	45
3.6 Códigos para detección y corrección de errores.....	46
3.6.1 Códigos de Hamming.....	46
3.7 Códigos para generar acciones, condiciones o estados.....	48
3.8 Cubos-n y distancia.....	48
3.9 Códigos de bloques y convolucionales.....	49
3.10 Códigos lineales de bloque.....	49
3.11 Matriz generadora y decodificación.....	50
3.12 Algunos códigos de uso frecuente.....	51
3.13 Lectura.....	51
3.14 Aplicaciones.....	52

CAPÍTULO IV

FAMILIAS LÓGICAS.....	65
4.1 Factor de carga (fan-out).....	67
4.2 Características dinámicas.....	68
4.2.1 Retardo de propagación y frecuencia máxima de operación.....	68
4.2.2 Disipación de potencia.....	68
4.3 Margen de ruido.....	69
4.4 Producto velocidad-potencia.....	69
4.5 Condiciones de compatibilidad entre familias.....	69
4.6 Clasificación.....	74
4.7 La familia lógica TTL.....	77
4.7.1 Configuraciones de salida de compuertas TTL.....	77
4.7.2 Series 74L, 74H.....	83

4.7.3 Serie 74S, TTL SCHOTTKY	83
4.7.4 Serie 74LS, TTL SCHOTTKY de bajo consumo.	83
4.7.5 Serie 74AS, TTL AVANZADA SCHOTTKY.	83
4.7.6 Serie 74ALS, TTL AVANZADA SCHOTTKY de bajo consumo.	83
4.7.7 Serie 74F, TTL FAST.....	84
4.7.8 Características adicionales de la TTL.....	84
4.8 Buffer/manejador de colector abierto.....	84
4.9 La familia lógica CMOS.	84
4.9.1 Series 4000/14000.	86
4.9.2 Serie 74C.	87
4.9.3 Series 74HC/HCT (CMOS de alta velocidad).....	87
4.9.4 Series 74AC/ACT (CMOS avanzado).....	87
4.10 Características de las series CMOS.	87
4.11 Compatibilidad con terminales.....	87
4.12 Equivalentes funcionalmente.....	87
4.13 Eléctricamente compatibles.....	87
4.14 Diferencias entre las familias TTL y CMOS.....	87
4.15 Lógica BICMOS.....	88
4.16 Lectura.....	88
4.17 Aplicaciones.....	90

CAPÍTULO V

FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE LÓGICA COMBINACIONAL.....113

5.1 Circuitos lógicos combinacionales.....	115
5.2 Algebra de Boole.....	115
5.2.1 Operaciones básicas.....	115
5.2.2 Compuertas lógicas básicas.....	117
5.2.3 Definición axiomática del Algebra Booleana.....	118
5.2.4 Postulados de Huntington.....	118
5.2.5 Principio de dualidad.....	118
5.2.6 Teoremas básicos.....	119
5.2.7 Teorema de expansión.....	119
5.3 Funciones Booleana, lógicas o de conmutación.....	119
5.4 Formas canónicas o estándar de las funciones Booleanas.....	120
5.4.1 Suma canónica de productos (Minterminos).....	120
5.4.2 Producto canónico de sumas (Maxterminos).....	121
5.4.3 Funciones especificadas incompletamente.....	122
5.5 Simplificación de funciones Booleanas, lógicas o de conmutación.....	122
5.5.1 Método algebraico.....	123
5.5.2 Método gráfico o de mapas de Karnaugh.....	123
5.5.3 Método de Quine-McCluskey.....	127
5.6 Redes AND-OR convertidas a NAND.....	129
5.7 Redes OR-AND convertidas a NOR.....	129

5.8 Funciones de salida múltiple.	129
5.9 Resolución lógica de circuitos combinacionales.	129
5.10 Relación de circuitos integrados usuales.	130
5.11 Lectura.	130
5.12 Aplicaciones.	131

CAPÍTULO VI

MANEJO DE DATOS UTILIZANDO CIRCUITOS ARITMÉTICOS

Y LÓGICOS181

6.1 Circuitos de media escala de integración (MSI).	183
6.2 Decodificador (DECODER).	183
6.2.1 Decodificador de 2 a 4 líneas.	184
6.2.2 Decodificador de 3 a 8 líneas.	184
6.2.3 Realización de funciones usando decodificadores.	186
6.2.4 Decodificador de BCD a 7 segmentos.	187
6.3 Codificador (CODER).	188
6.3.1 Codificador de prioridad.	189
6.4 Multiplexor/Selector de datos (MUX).	191
6.4.1 Realización de funciones con MUX.	192
6.5 Demultiplexor/Distribuidor de datos (DEMUX).	194
6.6 Comparador.	195
6.6.1 Comparador de magnitudes de 4 bits.	196
6.7 Medio sumador (HALF ADDER).	198
6.8 Sumador completo (FULL ADDER).	198
6.8.1 Sumador por acarreo anticipado.	199
6.9 Restadores.	201
6.9.1 Medio restador.	201
6.9.2 Restador completo.	201
6.9.3 Sumador/restador de 4 Bits.	202
6.9.4 Sumador BCD.	203
6.10 Unidad aritmética y lógica (ALU).	203
6.10.1 Sección lógica.	203
6.10.2 Sección aritmética.	204
6.10.3 Diseño de la ALU.	205
6.11 Relación de circuitos integrados usuales.	205
6.12 Lectura.	205
6.13 Aplicaciones.	206

CAPÍTULO VII

FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE LÓGICA SECUENCIAL253

7.1 Estabilidad.	255
7.2 Metaestabilidad.	255

7.3 Tablas y diagramas de estado.....	256
7.4 Tipos de circuitos secuenciales.....	256
7.4.1 El reloj (Ck).....	256
7.5 Elementos biestables.....	257
7.5.1 Latch Set Reset.....	258
7.5.2 Latch Set Reset sincronizado.....	258
7.6 Flip flops.....	259
7.6.1 Tipos de entrada de reloj.....	259
7.6.2 Entradas asíncronas.....	259
7.6.3 Retardos de propagación.....	259
7.6.4 Retardo inercial.....	260
7.6.5 Tiempo de establecimiento (set up time).....	260
7.6.6 Tiempo de mantenimiento (hold time).....	260
7.6.7 Flip flop S-R.....	261
7.6.8 Flip flop J-K.....	262
7.6.9 Flip flop D.....	263
7.6.10 Flip flop T.....	265
7.6.11 Frecuencia máxima de operación del reloj.....	266
7.6.12 Descripción de un circuito secuencial.....	268
7.6.13 Resumen.....	269
7.7 Relación de circuitos integrados usuales.....	269
7.8 Lectura.....	269
7.9 Aplicaciones.....	270

CAPÍTULO VIII

MÁQUINAS DE ESTADOS FINITOS.....	295
8.1 Máquina tipo Moore.....	297
8.2 Máquina tipo Mealy.....	298
8.3 Procedimiento de síntesis.....	299
8.4 Procedimiento de análisis.....	301
8.5 Circuitos reconocedores de secuencia.....	302
8.6 Diagramas ASM (Algorithmic State Machine).....	302
8.7 Transformación de máquinas Moore a Mealy y viceversa.....	303
8.7.1 Tipos de Máquinas de Estados Finitos.....	304
8.8 Metodología de diseño.....	305
8.9 Lectura.....	306
8.10 Aplicaciones.....	306

CAPÍTULO IX

CONTADORES, REGISTROS, MEMORIAS Y PLD's.....	359
9.1 Contadores.....	361
9.1.1 Asíncronos.....	361

9.1.2 Síncronos.	362
9.2 Registros.	364
9.2.1 Registro entrada serie salida serie.	364
9.2.2 Registro entrada serie salida paralelo.	365
9.2.3 Registro entrada paralelo salida serie.	365
9.2.4 Registro entrada paralelo salida paralelo.	365
9.2.5 Registro de desplazamiento bidireccional.	366
9.2.6 Registro de desplazamiento universal.	366
9.3 Memorias.	367
9.3.1 Aspectos generales.	368
9.3.2 Operaciones básicas.	369
9.3.3 Clasificación de las memorias.	369
9.3.4 Técnicas de expansión de memorias.	373
9.4 Dispositivos lógicos programables (PLD's).	373
9.4.1 Características.	373
9.4.2 Ventajas de los PLD's.	374
9.4.3 PLD's no programables.	374
9.4.4 PLD's reprogramables.	375
9.4.5 CPLD (Complex programmable logic device).	376
9.4.6 FPGA (Field programmable gate array).	378
9.5 Relación de circuitos integrados usuales.	379
9.6 Lectura.	380
9.7 Aplicaciones.	381

ANEXO A

LENGUAJES DE DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DIGITALES (VHDL).....	437
---	------------

ANEXO B

RELACIÓN DE LABORATORIOS	453
---------------------------------------	------------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	471
---	------------

I

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES

Los avances y descubrimientos tecnológicos, principalmente en el último milenio, han cambiado radicalmente nuestra forma de vida y costumbres, y especialmente en los últimos 50 años, en los que han aparecido desarrollos tecnológicos que proporcionan una nueva forma de realizar todas nuestras actividades, aun las más cotidianas, puesto que los artefactos y dispositivos tecnológicos marcan el paso para todo tipo de labores que realizamos, y en este punto tiene una marcada incidencia la computadora personal, que se ha convertido en el elemento esencial de todo estudiante, profesional y hasta del ama de casa, para poder abordar cualquier situación del día a día.

1.1 Sistemas digitales y analógicos. Hay principalmente dos maneras de representar la información, que depende del medio relativo que se asigna a sus valores, para representar sus variables de información.

1.1.1 Representaciones analógicas. En este caso se representa una cantidad que resulta siendo proporcional al valor de la cantidad misma. Las cantidades analógicas varían de manera continua sobre un intervalo continuo de valores.

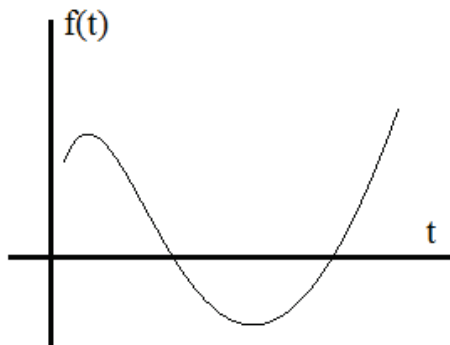


Fig. 1.1 Ejemplo de señal analógica.

1.1.2 Representaciones digitales. Las señales digitales representan a las cantidades, por señales discontinuas o discretas, que por lo general definen dos niveles llamados lógicos para representar a las cantidades dadas.

En resumen podemos decir lo siguiente:

Analógico = Continuo.

Digital = Discreto (paso a paso).

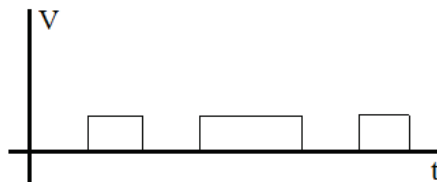


Fig. 1.2 Ejemplo de señal digital.

1.2 Beneficios del uso de técnicas digitales. Cada vez es mayor el número de aplicaciones en el campo de la electrónica, así como en muchas otras áreas, emplea técnicas digitales para realizar operaciones que alguna vez fueron hechas por medio de métodos analógicos. Las principales razones son:

- Los sistemas digitales son más fáciles de diseñar.
- Almacenan la información con mayor facilidad, rapidez y seguridad.
- Proporcionan mayor exactitud y precisión.
- Facilidad para la programación de las tareas.
- Los circuitos y sistemas digitales se afectan menos con el ruido.
- Se pueden realizar circuitos y sistemas cada vez más grandes en pequeñas tabletas de circuitos integrados.

Pero el empleo de las técnicas digitales, tiene una sola desventaja, y es que el mundo real es principalmente analógico.

1.3 Transmisión paralela y serial. El transporte de información de un lugar a otro, es una de las actividades que diariamente se ejecuta en un volumen cada vez mayor. Puede apreciarse en la figura los dos métodos clásicos de transmisión de la información, serie y paralelo.

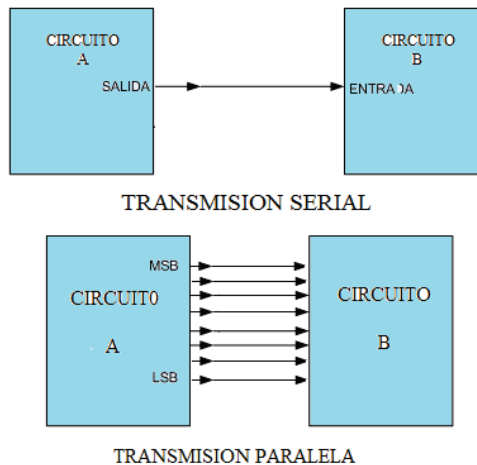


Fig. 1.3 Transmisión paralela y serial.

1.4 Concepto de memoria. En los circuitos digitales, ciertos dispositivos tienen la característica de memoria, es decir, que al aplicarle una señal a su entrada, la salida cambia, pero se mantiene en un nuevo estado aun cuando la entrada se retira.

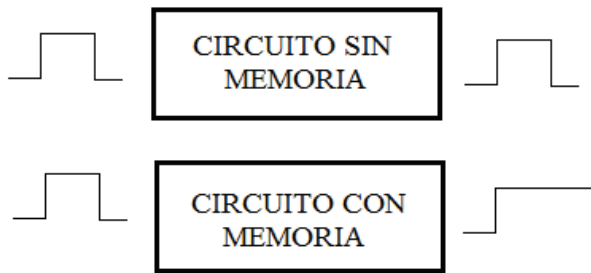


Fig. 1.4 Efecto de la memoria en circuitos.

1.5 Bits, bytes, palabras. BIT es la contracción del término inglés BINARY DIGIT. Se utilizan los símbolos 0 y 1 para representar los dos posibles valores de una cantidad binaria en cualquier instante. Un BYTE representa un grupo de ocho BITS (octeto), y representa la unidad de medida para designar la capacidad de una memoria. Grupos de 16, 32, 64, etc. BITS en general se designan como palabras de 16, 32, 64, etc. BITS.

Es útil además conocer los múltiplos de estas unidades:

$$2^{10} \text{ bytes} = 1\,024 \text{ bytes} = 1 \text{ KB (1 Kilobyte)}$$

$$2^{20} \text{ bytes} = 1\,048\,576 \text{ bytes} = 1\,024 \text{ KB} = 1 \text{ MB (1 Megabyte)}$$

$$2^{30} \text{ bytes} = 1\,073\,741\,824 \text{ bytes} = 1 \text{ GB (1 Gigabyte)}$$

$$2^{40} \text{ bytes} = 1\,099\,511\,627\,776 \text{ bytes} = 1 \text{ TB (1 Terabyte)}$$

1.6 Representación de cantidades binarias. Las cantidades binarias se representan como se indicó en el punto 1.1.2, pero además hay que tener presente que esa sería una forma idealizada de tal representación, puesto que si quisiéramos aproximarnos con una mayor exactitud, una forma de onda de un pulso digital sería:

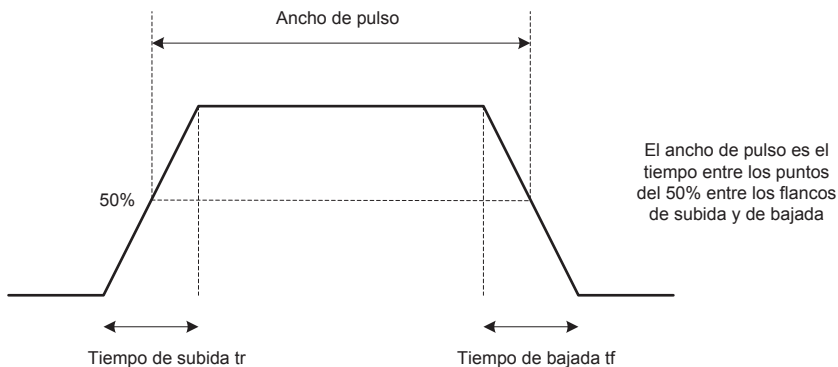


Fig. 1.5 Pulso digital.

Los pulsos reales no son ideales, sino que son descritos por el tiempo de subida, tiempo de bajada, amplitud y otras características.

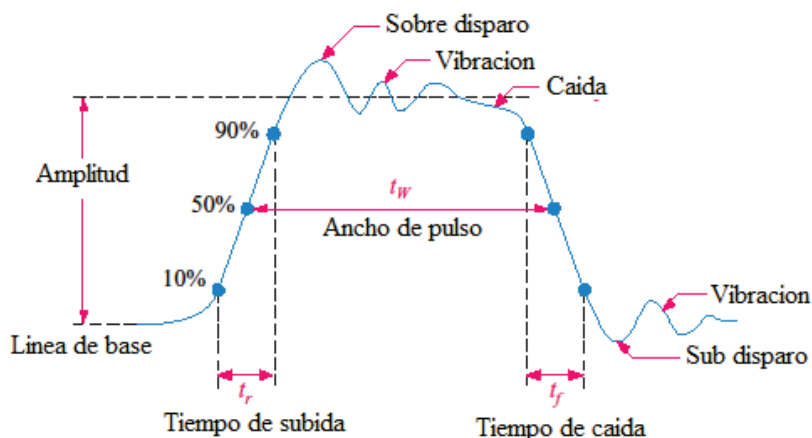


Fig. 1.6 Pulso digital más real.

1.6.1 Características de las formas de onda. Los sistemas digitales se componen de formas de onda, denominadas también trenes de impulsos, las cuales pueden caracterizarse por ser periódicas o no periódicas. Un tren de impulsos periódicos, se caracteriza además por tener un periodo (T) que define el tiempo en que se repiten los pulsos, y una frecuencia (f), que define la velocidad de repetición de los pulsos.

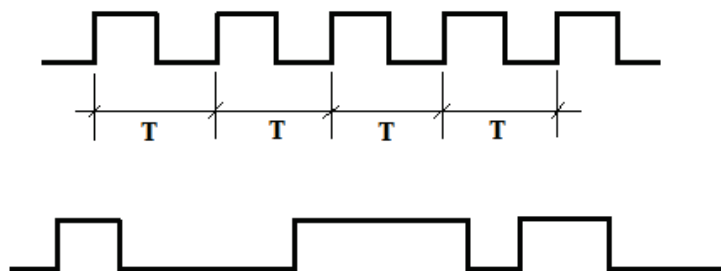


Fig. 1.7 Formas de onda periódica y no periódica.

Las relaciones entre la frecuencia y el periodo son:

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f}$$

El ciclo de trabajo (duty cycle) se define como la razón entre el ancho del pulso (t_w) y el periodo (T), y generalmente se expresa como porcentaje.

$$\text{Ciclo de trabajo} = \left(\frac{t_w}{T} \right) 100\%$$

1.7 Conversión A/D y D/A. Puesto que las señales que entendemos con mayor facilidad, y las que en la naturaleza nos rodean son principalmente del tipo analógico, es necesario

contar con circuitos que se encarguen de realizar la conversión de analógico a digital y viceversa, y en general un procesamiento de información constaría de los bloques que se muestran en la siguiente figura:

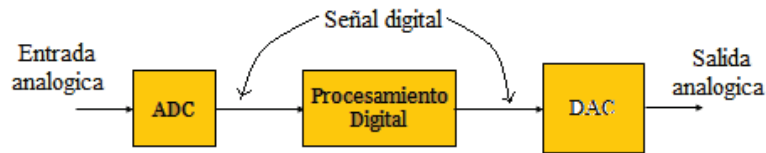


Fig. 1.8 Procesamiento digital.

La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud (tensión) de una señal, redondear sus valores a un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión (conocidos como niveles de cuantificación) y registrarlos como números enteros en cualquier tipo de memoria o soporte. En esta definición están presentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica-digital:

1. **Muestreo:** el muestreo (en inglés, *sampling*) consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.
2. **Retención** (en inglés, *hold*): las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención, el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático.
3. **Cuantificación:** en el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación.
4. **Codificación:** la codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

Durante el muestreo y la retención, la señal aún es analógica, puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital.

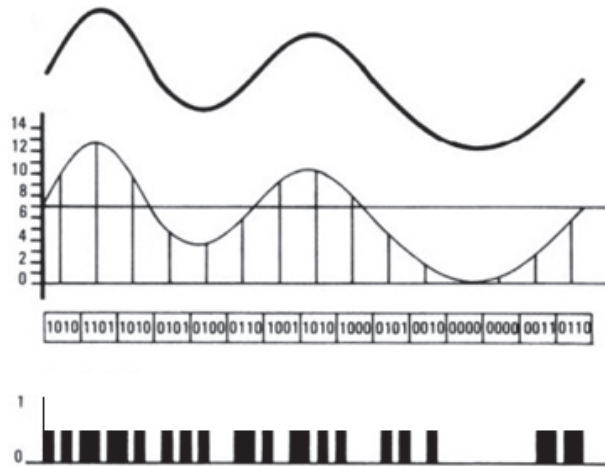


Fig. 1.9 Proceso de conversión A/D.

1.8 Instrumentos de medición.

1.8.1 Osciloscopio. Es un dispositivo electrónico de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. El eje vertical, denominado Y, representa el voltaje; mientras que el eje horizontal, denominado X, representa el tiempo.

El osciloscopio puede utilizarse para:

- Determinar el periodo y el voltaje de una señal.
- Determinar de manera indirecta la frecuencia de una señal.
- Determinar las partes DC y AC de una señal.
- Localización de averías en un circuito.
- Medicion de la fase entre dos señales.
- Determinar el ruido en una señal y determinar como varía este en el tiempo.

Los osciloscopios son de los instrumentos más completos que existen y los utilizan desde técnicos de reparación de televisores hasta profesionales médicos. El osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, provisto del transductor adecuado (un elemento que convierte una magnitud física en señal eléctrica) será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardiaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc.

Los Osciloscopios pueden ser analógicos ó digitales. Los primeros trabajan directamente con la señal aplicada, esta una vez amplificada desvía un haz de electrones en sentido vertical proporcional a su valor. Por otro lado, los osciloscopios digitales utilizan previamente un conversor analógico-digital (A/D) para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando se requiere visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos (picos de tensión que se producen aleatoriamente).

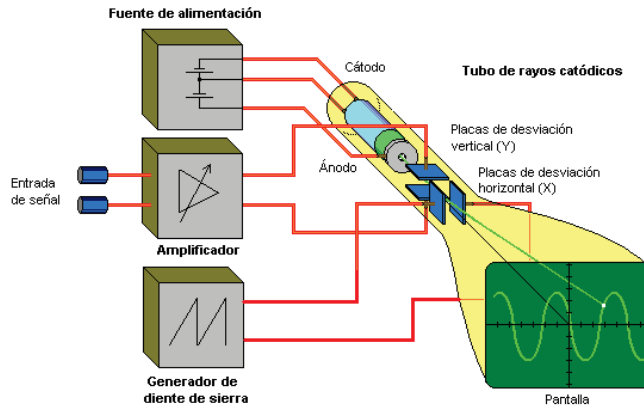


Fig. 1.10 Esquema de un osciloscopio analógico (Wikipedia).

1.8.2 Generador de señales. Un generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico que genera patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, prueba y reparación de dispositivos electrónicos.

Hay diferentes tipos de generadores de señales según el propósito y aplicación; que es directamente proporcional a su precio. Los generadores de señales eran dispositivos estáticos apenas configurables, pero en la actualidad permiten la conexión y control desde un computador. Con lo que pueden ser controlados mediante software, aumentando su flexibilidad.



Fig. 1.11 Generadores de señales.

1.8.3 Analizador lógico. Es un instrumento de medición que captura datos de un circuito digital y los muestra para su análisis subsiguiente, de modo similar a como lo hace un osciloscopio, pero a diferencia de este, es capaz de visualizar las señales en múltiples canales.

Además permite visualizar los datos para verificar el correcto funcionamiento del sistema digital, puede medir tiempos entre cambios de nivel, número de estados lógicos, etc. La forma de capturar datos desde un analizador lógico es conectando una punta lógica en el bus de datos a medir.

Los analizadores son empleados principalmente para la detección de errores y comprobación de prototipos antes de su fabricación, comprobando las entradas y analizando posteriormente el comportamiento de sus salidas.



Fig. 1.12 Ventana de un analizador lógico.

1.8.4 Multímetro. Un multímetro, también denominado polímetro, *tester* o *multitester*, es un instrumento eléctrico portátil capaz de medir directamente magnitudes eléctricas activas, tales como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna y en varios márgenes de medida cada una. Los hay analógicos y posteriormente se han introducido los digitales cuya función es la misma (con alguna variante extra).



Fig. 1.13 Multímetros digital y analógico.

1.9 Lectura. Los experimentos llevados a cabo por diferentes científicos a finales del siglo XIX y principios del XX en cuanto a los fenómenos eléctricos y electromagnéticos fueron asentando las bases para lo que poco tiempo después sería una nueva especialidad, primero de la física, y seguidamente de la ingeniería. En 1884 Thomas Alva Edison en sus trabajos para mejorar la lámpara incandescente detectó el fenómeno termoiónico, fenómeno que lleva

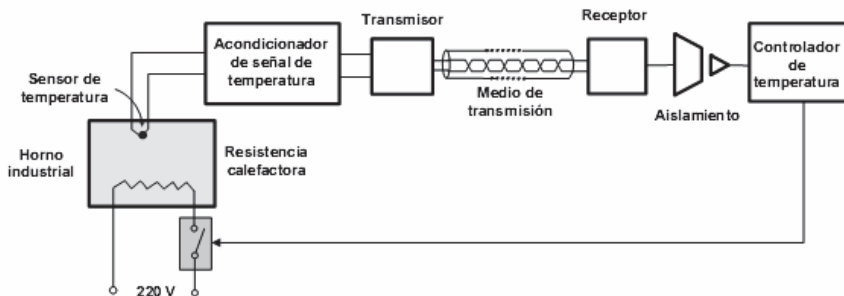
su nombre. Este hecho daría lugar a la primera válvula electrónica (o bulbo electrónico) y al nacimiento de la nueva ingeniería. Esta primera válvula fue el diodo. En 1907 Lee de Forest intentando perfeccionar los receptores telegráficos añadió una rejilla entre el cátodo y el ánodo de un diodo. Con éste añadido podía controlar la corriente de paso entre las placas de primitivo diodo, el nuevo elemento recibió el nombre de tríodo y fue la base de la electrónica moderna. Hasta el nacimiento de los transistores, e incluso mucho tiempo después, se han utilizado las válvulas termoiónicas para los circuitos electrónicos. Hoy en día todavía se mantiene viva, aunque parece ser que tiene los días contados, algún elemento de esa tecnología, ese elemento es el tubo de rayos catódicos que se utiliza para las pantallas de televisión y otros terminales gráficos y está siendo sustituido por las tecnologías de pantallas de LCD y plasma.

El nacimiento del transistor, a finales de la década de los 50 del siglo XX que vino a revolucionar la electrónica y como tercera fase de desarrollo tenemos la tecnología de circuitos integrados (chip) (Wikipedia).

1.10 Aplicaciones.

Problemas Propuestos

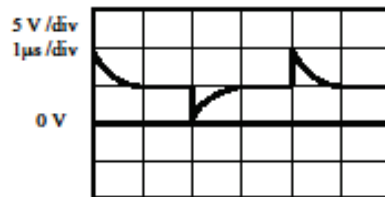
1. ¿En qué se diferencian los sistemas analógicos de los digitales?
2. ¿De qué formas se puede almacenar información en una señal eléctrica?
3. Defina señal analógica y digital ¿Una señal digital debe de tener forzosamente dos niveles (1 y 0)? Pon ejemplos de cada tipo de señal y dibuja una gráfica que los represente.
4. ¿Cómo se denomina una señal digital con dos niveles de amplitud?
5. ¿Por qué es necesario traducir una magnitud física como la temperatura, presión, nivel, etc., a una señal eléctrica?
6. Enuncie las principales ventajas de las señales digitales frente a las analógicas. ¿Para qué se utilizan hoy en día los sistemas analógicos? Enumera ejemplos.
7. Explique cómo funcionaría el siguiente sistema electrónico de control y para qué se acondiciona la señal de temperatura.



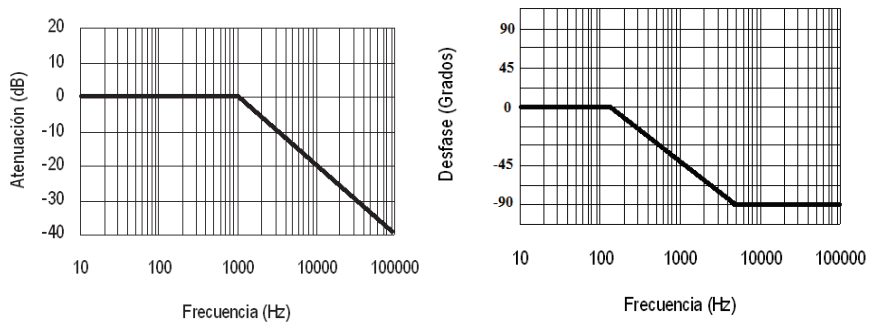
8. ¿Qué es un circuito integrado? Los circuitos integrados o chips, ¿son siempre digitales? Si piensas que no, pon algún ejemplo para justificar tu respuesta.
9. ¿Es lo mismo MASA que TIERRA? Justifique su respuesta.

10. ¿Qué debe hacerse si se requiere que la componente continua de una señal no pase de un circuito a otro? Dibuje el tipo de circuito que debería poner. Si la resistencia de entrada del segundo circuito es de $10\text{ K}\Omega$ y quiero que las señales a partir de 800 Hz no sean atenuadas ¿qué valor deberá tener el condensador?

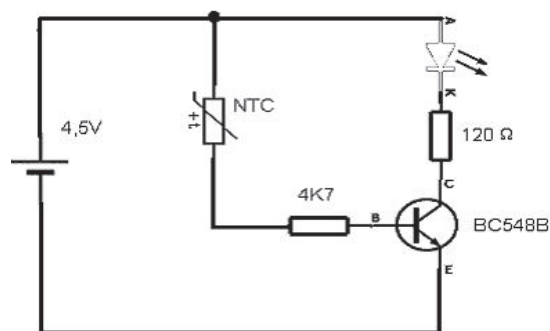
11. La pantalla de un osciloscopio presenta la siguiente forma de onda. ¿Cuál es la frecuencia de la señal?



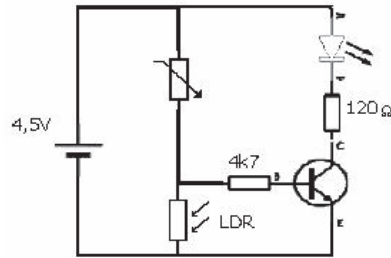
12. ¿Qué tipo de filtro presenta una respuesta representada por el diagrama de Bode de la Figura? La señal de salida ¿irá retrasada o adelantada frente a la entrada?



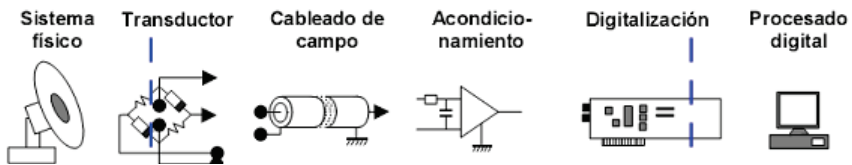
13. ¿Cómo se denomina y que hace el circuito de la figura?



14. ¿Para qué se usa el circuito de la figura?

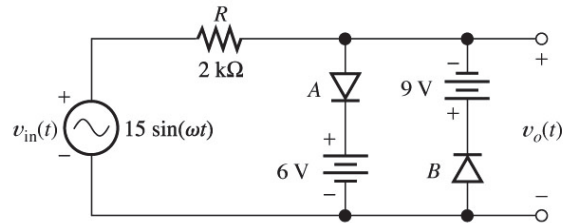


15. Explique de qué tipo son las señales que nos encontramos en cada fase del proceso de traducción de señal física hasta señal digital procesada, según se muestra en el siguiente esquema. ¿Para qué es necesario “acondicionar” la señal?, ¿qué tipo de tratamientos se harían?

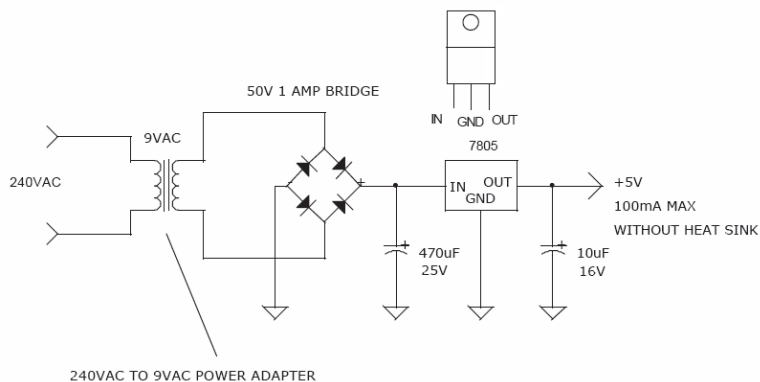


16. ¿Qué hay que hacer con un semiconductor intrínseco (Si) para convertirlo en un semiconductor extrínseco tipo *p*? Explique qué ocurre en la zona de unión entre un semiconductor tipo *n* y uno tipo *p*. ¿Qué sucede en esa unión al polarizarla directamente? ¿y si se polariza inversamente? Dibuje un gráfico que represente la intensidad que circula por la unión *pn* frente a la tensión de polarización: $I_D = f(V_D)$.

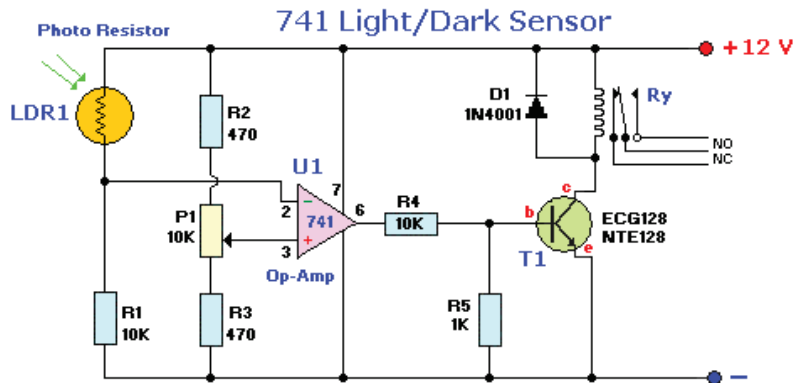
17. Dibuje la forma de onda a la salida de este circuito:



18. Explique la función que realiza el circuito de la Figura:



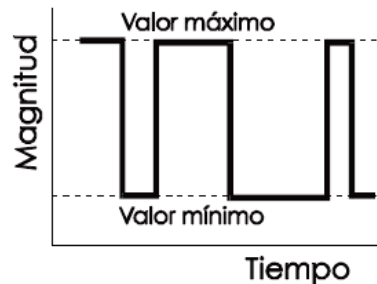
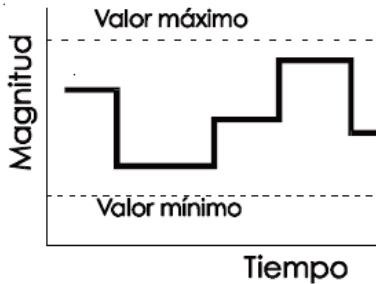
19. Explique cómo funciona el circuito de la Figura. Considere que con luz la LDR vale $500\ \Omega$ y en oscuridad vale $20\ \text{K}\Omega$. P1 está centrado. ¿Para qué sirve P1? ¿Por qué se pone D1? ¿Se podría conectar el relé directamente al AO 741? ¿Por qué?



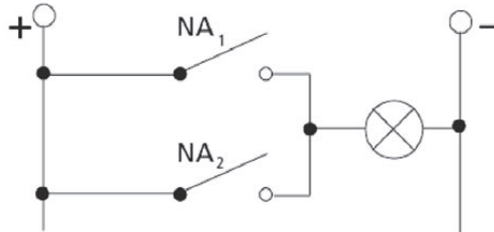
- Relais closes when no light falls on LDR1
- For reversed action, exchange LDR1 and R1
- Sensitivity can be adjusted with P1
- D1 prevents sparking of relay-coil when it opens

Fig. 12

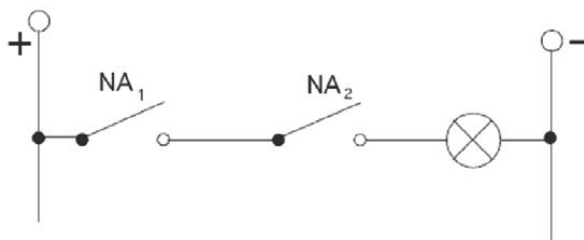
20. Observe las siguientes gráficas e indique qué tipo de señal digital es cada una de ellas.



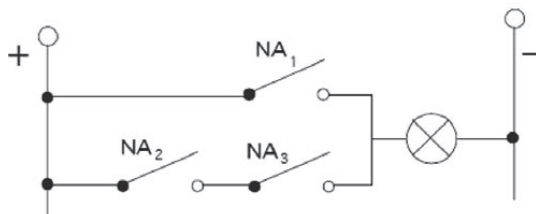
21. ¿Qué tipo de función lógica representa, el circuito eléctrico de la siguiente figura? De la tabla de combinaciones.



22. El circuito eléctrico de la siguiente figura, qué tipo de función lógica representa. Dé la tabla de combinaciones.



23. El circuito eléctrico de la siguiente figura, qué tipo de puerta lógica representa. Dé la tabla de combinaciones.



24. Cuando se presiona una tecla de un teclado electrónico, es común el rebote cuando el pulsador llega al final de de la carrera. Este rebote provoca repeticiones indeseadas de la salida. Para evitarlo se puede armar un circuito muy sencillo. Haga un diagrama de dicho circuito mostrando la tecla, algunas componentes electrónicas, las puertas lógicas usadas y explique su funcionamiento.

25. La pantalla de un osciloscopio presenta la siguiente forma de onda (Fig. 1) ¿Cuál es la frecuencia de la señal?

- a) 1.000 μ s
- b) 100.000 Hz
- c) 1.000 Hz

26. ¿Cuál es la amplitud de la señal?

- a) 2 V/div
- b) 4,8 V
- c) 9,6 V

27. ¿Cuál es el valor eficaz de la señal?

- a) 4,8 2 V
- b) 3,39 V
- c) 9,6 / 2 V

28. ¿Cuál es el valor medio de la señal?

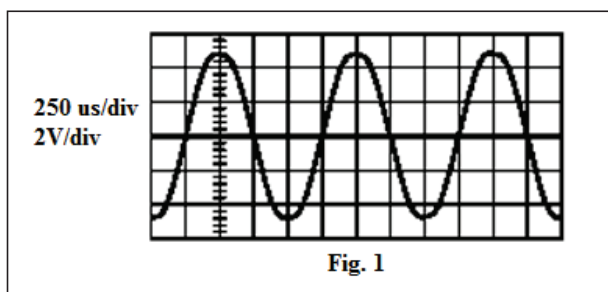
- a) Igual al valor eficaz
- b) $V_{pp} / 2$
- c) Ninguno de los anteriores

29. ¿Qué diferencia hay entre distorsión y ruido en una señal eléctrica?

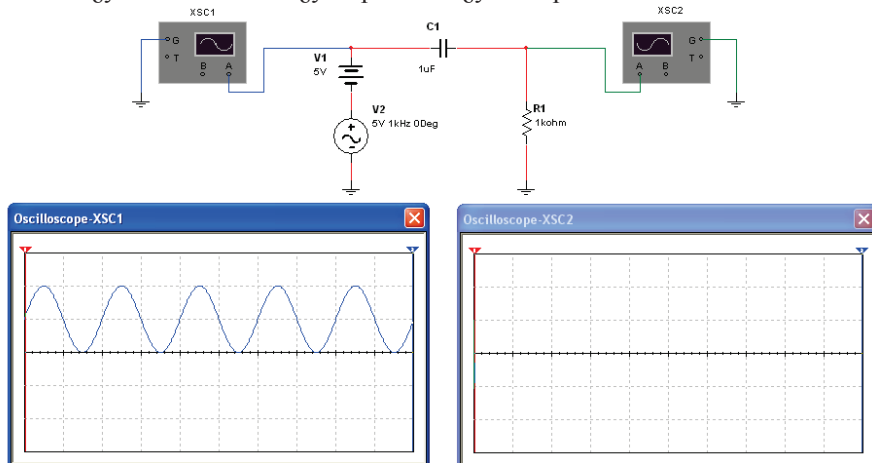
30. ¿Qué es un filtro electrónico? ¿Cómo se define la frecuencia de corte de un filtro?

31. ¿Qué tipos de filtros hay? Explica qué hace cada cual. ¿Qué es el ancho de banda?

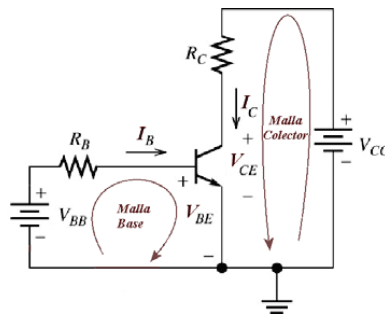
32. Deduzca la expresión para calcular la frecuencia de corte a partir de los valores de R y C.



33. La onda de la Figura XSC1 ¿es alterna o continua? ¿Cuál es su valor de continua? ¿y su valor medio? ¿y su valor eficaz? ¿y su periodo? ¿y la amplitud?



34. Para el circuito de polarización de la figura, planteé las ecuaciones de la malla de base y la de colector. Vuelva a plantear las ecuaciones si ahora añadimos una resistencia R_E en el emisor.



35. Explique el funcionamiento de este circuito realizando los cálculos que sean necesarios. En la figura se representa la posición cuando no hay luz (LDR=8 KΩ). Con luz, la LDR baja su resistencia a 100 Ω. El potenciómetro P está colocado en 50 KΩ y el relé tiene una resistencia de 100 Ω.

