



ANTOLOGIA

DISPOSITIVOS ELECTRONICOS

INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES *CUARTO CUATRIMESTRE*

Marco Estratégico de Referencia

ANTECEDENTES HISTORICOS

Nuestra Universidad tiene sus antecedentes de formación en el año de 1979 con el inicio de actividades de la normal de educadoras “Edgar Robledo Santiago”, que en su momento marcó un nuevo rumbo para la educación de Comitán y del estado de Chiapas. Nuestra escuela fue fundada por el Profesor de Primaria Manuel Albores Salazar con la idea de traer Educación a Comitán, ya que esto representaba una forma de apoyar a muchas familias de la región para que siguieran estudiando.

En el año 1984 inicia actividades el CBTiS Moctezuma Ilhuicamina, que fue el primer bachillerato tecnológico particular del estado de Chiapas, manteniendo con esto la visión en grande de traer Educación a nuestro municipio, esta institución fue creada para que la gente que trabajaba por la mañana tuviera la opción de estudiar por las tarde.

La Maestra Martha Ruth Alcázar Mellanes es la madre de los tres integrantes de la familia Albores Alcázar que se fueron integrando poco a poco a la escuela formada por su padre, el Profesor Manuel Albores Salazar; Víctor Manuel Albores Alcázar en septiembre de 1996 como chofer de transporte escolar, Karla Fabiola Albores Alcázar se integró como Profesora en 1998, Martha Patricia Albores Alcázar en el departamento de finanzas en 1999.

En el año 2002, Víctor Manuel Albores Alcázar formó el Grupo Educativo Albores Alcázar S.C. para darle un nuevo rumbo y sentido empresarial al negocio familiar y en el año 2004 funda la Universidad Del Sureste.

La formación de nuestra Universidad se da principalmente porque en Comitán y en toda la región no existía una verdadera oferta Educativa, por lo que se veía urgente la creación de una institución de Educación

superior, pero que estuviera a la altura de las exigencias de los jóvenes que tenían intención de seguir estudiando o de los profesionistas para seguir preparándose a través de estudios de posgrado.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la carretera Comitán – Tzitol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el Corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y Educativos de los diferentes Campus, Sedes y Centros de Enlace Educativo, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca a nivel nacional e internacional.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la carretera Comitán – Tzitol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y educativos de los diferentes campus, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca.

MISIÓN

Satisfacer la necesidad de Educación que promueva el espíritu emprendedor, aplicando altos estándares de calidad Académica, que propicien el desarrollo de nuestros alumnos, Profesores, colaboradores y la sociedad, a través de la incorporación de tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

VISIÓN

Ser la mejor oferta académica en cada región de influencia, y a través de nuestra Plataforma Virtual tener una cobertura Global, con un crecimiento sostenible y las ofertas académicas innovadoras con pertinencia para la sociedad.

VALORES

- Disciplina
- Honestidad
- Equidad
- Libertad

ESCUDO



El escudo de la UDS, está constituido por tres líneas curvas que nacen de izquierda a derecha formando los escalones al éxito. En la parte superior está situado un cuadro motivo de la abstracción de la forma de un libro abierto.

ESLOGAN

“Mi Universidad”

ALBORES



Es nuestra mascota, un Jaguar. Su piel es negra y se distingue por ser líder, trabaja en equipo y obtiene lo que desea. El ímpetu, extremo valor y fortaleza son los rasgos que distinguen.

Nombre de la materia

Objetivo de la materia:

Al finalizar el alumno podrá comprender el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, así también podrá comprender como funcionan los circuitos y muchos de los componentes que componen a los equipos de cómputo, el alumno será capaz de comprender conceptos básicos como semiconductores y transistores para poder aplicarlos en aplicaciones prácticas.

UNIDAD I

CONCEPTOS BÁSICOS DE CIRCUITOS DIGITALES

- I.1 Circuitos digitales
- I.2 .- Aislantes
- I.3 Conductores
- I.4 .- Estructura atómica
- I.5 .- ¿qué es un circuito?
- I.6 Señales y sistemas analógicos y digitales.
- I.7 Puertas lógicas y familias lógicas
- I.8 Caracterización de puertas y familias lógicas.
- I.9 - La puerta lógica ideal.
- I.10.- Nociones básicas de teoría de circuitos
- I.11 Cálculo manual
- I.12 Corriente de electrón y hueco

UNIDAD II

SEMICONDUCTORES

- 2.1.- Estructura de los sólidos: aislantes, conductores y semiconductores.
- 2.2.- Cristales semiconductores
- 2.3.- Movimiento de portadores en semiconductores.
- 2.4.- Semiconductores intrínsecos y extrínsecos.
- 2.5.- El diodo de unión P-N.
- 2.6.- Unión P-N en equilibrio.
- 2.7.- Polarización directa e inversa.
- 2.8.- Curva característica del diodo; modelos del diodo.
- 2.9.- El diodo como elemento de circuito, circuitos con diodos.
- 2.10.- Puertas lógicas con diodos.
- 2.11.- Otros tipos de diodos: diodo zener, diodo varactor, LED.

UNIDAD III

EL TRANSISTOR BIPOLAR (BJT)

- 3.1.- Estructura física: principio de funcionamiento.
- 3.2.- Regiones de operación. Curvas características
- 3.3.- El transistor bipolar como elemento de circuito.
- 3.4.- El modelo de diodos acoplados. Ecuaciones de Ebers-Moll
- 3.5.- Circuito equivalente de un BJT
- 3.6.- Otros modelos DC
- 3.7 El BJT como amplificador
- 3.8.- El transistor bipolar en conmutación: familias lógicas bipolares.
- 3.9.- El transistor MOSFET.
- 3.10.- ESTRUCTURA FÍSICA:
- 3.11.- Transistores MOSFET de acumulación
- 3.12.- Regiones de operación.
- 3.13.- El transistor MOS como elemento de circuito.

3.14.- El transistor en conmutación

3.15.- Clasificación de C-MOS

UNIDAD IV

MEMORIAS SEMICONDUCTORA

4.1 Dispositivos de memoria

4.2 Clasificación de las memorias.

4.3 Memoria semiconductora

4.4 Memorias no volátiles

4.5 Memoria de acceso aleatorio (RAM)

4.6 Expansión de la memoria.

4.7 Memorias especiales.

4.8.- Tipología general.

4.8.- Memorias ROM con diodos OBJTS

4.9.- Programación de las memorias ROM.

4.10.- RAM dinámica.

4.11 DDR 4

Índice

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| UNIDAD I | CONCEPTOS BÁSICOS DE CIRCUITOS DIGITALES..... | 12 |
| 1.1 | CIRCUITOS DIGITALES..... | 12 |
| 1.2 | .- AISLANTES..... | 14 |
| 1.3 | CONDUCTORES..... | 15 |
| 1.4 | .- ESTRUCTURA ATÓMICA..... | 18 |
| 1.5 | .- ¿QUÉ ES UN CIRCUITO?..... | 18 |
| 1.6 | SEÑALES Y SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES..... | 19 |
| 1.7 | PUERTAS LÓGICAS Y FAMILIAS LÓGICAS..... | 24 |
| 1.8 | CARACTERIZACIÓN DE PUERTAS Y FAMILIAS LÓGICAS..... | 27 |
| 1.9 | - LA PUERTA LÓGICA IDEAL..... | 30 |
| 1.10. | - NOCIONES BÁSICAS DE TEORÍA DE CIRCUITOS..... | 32 |
| 1.11 | CÁLCULO MANUAL..... | 33 |
| 1.12 | CORRIENTE DE ELECTRÓN Y HUECO..... | 36 |
| UNIDAD II | SEMICONDUCTORES..... | 37 |
| 2.1.- | ESTRUCTURA DE LOS SÓLIDOS: AISLANTES, CONDUCTORES Y SEMICONDUCTORES..... | 37 |
| 2.2.- | CRISTALES SEMICONDUCTORES..... | 41 |
| 2.3.- | MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES..... | 41 |
| 2.4.- | SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS..... | 45 |
| 2.5.- | EL DIODO DE UNIÓN P-N..... | 49 |
| 2.6.- | UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO..... | 49 |
| 2.7.- | POLARIZACIÓN DIRECTA E INVERSA..... | 52 |
| 2.8.- | CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO; MODELOS DEL DIODO..... | 57 |
| 2.9.- | EL DIODO COMO ELEMENTO DE CIRCUITO, CIRCUITOS CON DIODOS..... | 60 |
| 2.10.- | PUERTAS LÓGICAS CON DIODOS..... | 72 |
| 2.11.- | OTROS TIPOS DE DIODOS: DIODO ZENER, DIODO VARACTOR, LED..... | 75 |
| UNIDAD III | EL TRANSISTOR BIPOLAR (BJT)..... | 77 |
| 3.1.- | ESTRUCTURA FÍSICA: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. TRANSISTOR BIPOLAR PNP Y NPN..... | 77 |
| 3.2.- | REGIONES DE OPERACIÓN. CURVAS CARACTERÍSTICAS..... | 80 |
| 3.3.- | EL TRANSISTOR BIPOLAR COMO ELEMENTO DE CIRCUITO..... | 84 |
| 3.4.- | EL MODELO DE DIODOS ACOPLADOS. ECUACIONES DE EBERS-MOLL..... | 88 |
| 3.5.- | CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN BJT..... | 89 |
| 3.6.- | OTROS MODELOS DC..... | 91 |
| 3.7 | EL BJT COMO AMPLIFICADOR..... | 96 |
| 3.8.- | EL TRANSISTOR BIPOLAR EN CONMUTACIÓN: FAMILIAS LÓGICAS BIPOLARES..... | 98 |
| 3.9.- | EL TRANSISTOR MOSFET..... | 100 |

| | |
|---|------------|
| 3.10.- ESTRUCTURA FÍSICA:..... | 104 |
| 3.11.- TRANSISTORES MOSFET DE ACUMULACIÓN | 110 |
| 3.12.- REGIONES DE OPERACIÓN..... | 112 |
| 3.13.- EL TRANSISTOR MOS COMO ELEMENTO DE CIRCUITO..... | 115 |
| 3.14.- EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN..... | 119 |
| 3.15.- CLASIFICACIÓN DE C-MOS | 121 |
| UNIDAD IV MEMORIAS SEMICONDUCTORA | 124 |
| 4.1 DISPOSITIVOS DE MEMORIA | 124 |
| 4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEMORIAS. | 125 |
| 4.3 MEMORIA SEMICONDUCTORA | 125 |
| 4.4 MEMORIAS NO VOLÁTILES | 126 |
| 4.5 MEMORIA DE ACCESO ALEATORIO (RAM)..... | 128 |
| 4.6 EXPANSIÓN DE LA MEMORIA. | 130 |
| 4.7 MEMORIAS ESPECIALES. | 132 |
| 4.8.- TIPOLOGÍA GENERAL..... | 134 |
| 4.8.- MEMORIAS ROM CON DIODOS OBJTS | 136 |
| 4.9.- PROGRAMACIÓN DE LAS MEMORIAS ROM. | 140 |
| 4.10.- RAM DINÁMICA..... | 142 |
| 4.11 DDR 4..... | 144 |

UNIDAD I CONCEPTOS BÁSICOS DE CIRCUITOS DIGITALES

I.1 CIRCUITOS DIGITALES

Antes de iniciar el estudio de dispositivos electrónicos, veremos un breve repaso de algunos de los desarrollos más importantes que condujeron a la tecnología electrónica actual. Los nombres de muchos de los pioneros en el campo de la electricidad perduran en unidades conocidas: Ohm, Ampere, Volta, Farad, Henry, Coulomb, Oested y Hertz, son algunos de los ejemplos más conocidos con los que ya se está familiarizado; otros más ampliamente conocidos como Franklin y Edison también son significativos en la historia de la electricidad y el magnetismo gracias a sus importantísimas contribuciones. Se incluyen biografías breves de algunas figuras importantes en la historia de la electrónica.

Los primeros experimentos de electrónica implicaron corrientes eléctricas en tubos de vacío. Heinrich Geissler (1814-1879) extrajo la mayor parte del aire de un tubo de vidrio y encontró que el tubo brillaba cuando circulaba corriente a través de él. Posteriormente, Sir William Crookes (1832-1919) encontró que la corriente en tubos de vacío parecía estar compuesta de partículas. Thomas Edison (1847-1931) experimentó con bulbos de filamento de carbón con laminillas y descubrió que circulaba corriente desde el filamento caliente hasta una laminilla positivamente cargada. Patentó la idea pero nunca la utilizó.

Otros experimentadores pioneros midieron las propiedades de las partículas que fluían en el interior de tubos de vacío. Sir Joseph Thompson (1856-1940) midió las propiedades de estas partículas, más tarde llamadas electrones.

Otros experimentadores pioneros midieron las propiedades de las partículas que fluían en el interior de tubos de vacío. Sir Joseph Thompson (1856-1940) midió las propiedades de estas partículas, más tarde llamadas *electrones*.

Aunque la comunicación telegráfica inalámbrica se remonta a 1844, la electrónica esencialmente un concepto del siglo XX que se inició con la invención del amplificador de tubo de vacío.

Un tubo de vacío que permitía corriente en sólo una dirección fue construido por John A. Fleming en 1904; conocido como válvula Fleming, fue el antecesor de los diodos de tubo de vacío. En 1901, Lee DeForest le agregó una rejilla. El nuevo dispositivo, llamado audiotrón, era capaz de amplificar una señal débil. Con la adición del elemento de control, DeForest encabezó la revolución electrónica. Fue una versión mejorada de su dispositivo la que hizo posible el servicio telefónico transcontinental y los radios. ¡Ya en 1912 un radioaficionado en San José, California, transmitía música con regularidad.

En 1921, el secretario de comercio, Herbert Hoover, emitió la primera licencia para una estación de radio; dentro de un periodo de dos años se emitieron más de 600 licencias. A finales de la década de 1920, en muchos hogares había radios. Un nuevo tipo de radio, el superheterodino, inventado por Edwin Armstrong resolvió los problemas de comunicación a alta frecuencia. En 1923, Vladimir Zworykin, un investigador estadounidense, inventó el primer cinescopio y en 1927 Philo T. Farnsworth solicitó una patente para un sistema de televisión completo.

La década de 1930 atestiguó muchos desarrollos en radio, incluidos los tubos de metal, el control de ganancia automático, los radios “miniatura” y las antenas direccionales. También en esta década se inició el desarrollo de las primeras computadoras electrónicas. Las computadoras modernas remontan sus orígenes al trabajo de John Atanasoff

en la Universidad Estatal de Iowa. A principios de 1937 imaginó una máquina binaria capaz de realizar trabajo matemático complejo.

Alrededor de 1939, él y el estudiante graduado Clifford Berry construyeron una máquina binaria llamada ABC (Por Atanasoff-Berry Computer) que utilizaba tubos de vacío para la lógica y condensadores (capacitores) para la memoria. En 1939, el magnetrón, un oscilador de microondas, fue inventado en Gran Bretaña por Henry Boot y John Randall. En el mismo año, el tubo de microondas klystron fue inventado en Estados Unidos por Russell y Sigurd Varian.

1.2 .- AISLANTES

En función de sus propiedades eléctricas, los materiales se clasifican en tres grupos: conductores, semiconductores y aislantes. Cuando los átomos se combinan para formar un material sólido cristalino, se acomodan en una configuración simétrica. Los átomos dentro de la estructura cristalina se mantienen juntos gracias a los enlaces covalentes, que son creados por la interacción de los electrones de valencia de los átomos. El silicio es un material cristalino.

Todos los materiales están compuestos por átomos; éstos contribuyen a las propiedades eléctricas de un material, incluida su capacidad de conducir corriente eléctrica.

Para propósitos de análisis de las propiedades eléctricas, un átomo se puede representar por la capa de valencia y una parte central compuesta de todas las capas internas y el núcleo.

Un aislante es un material que no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. La mayoría de los buenos aislantes son materiales compuestos, es decir, no formados por sólo un elemento. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos; por consiguiente, en un aislante hay muy pocos electrones libres. Algunos ejemplos de aislantes son el hule, el plástico, el vidrio, la mica y el cuarzo.

- Madera. Al estar compuesta por sales, humedad y fibras que no acumulan energía ni calor, resulta de mucha utilidad para las instalaciones de postes eléctricos y trabajos con cableado de alta tensión.
- Cerámicas de óxidos. ...
- Vidrio. ...
- Teflón. ...
- Caucho. ...
- Plástico. ...

- Papel y cartón.

La importancia de saber cuáles son los materiales que conducen o no la electricidad radica en que todos los dispositivos electrónicos trabajan con electricidad y es bien sabido que es necesario que la corriente llegue del punto A al punto B, además de saber que no se debe entrar a tocar estas piezas que conducen electricidad ya que el cuerpo humano si es capaz de conducir electricidad.

1.3 CONDUCTORES

Un conductor es un material que conduce corriente eléctrica fácilmente. La mayoría de los metales son buenos conductores. Los mejores conductores son materiales de sólo un elemento, tales como cobre, plata, oro y aluminio, que están caracterizados por átomos con sólo un electrón de valencia muy flojamente enlazado al átomo. Estos electrones de valencia flojamente enlazados se convierten en electrones libres. Por consiguiente, en un material conductor, los electrones libres son electrones de valencia.

Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio.

Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno y otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos.

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: duro, semi duro y blando o recocido.

Tipos de cobre para conductores eléctricos.

Cobre de temple duro:

- Conductividad del 97% respecto a la del cobre puro.
- Resistividad de 0,018 (Ω) a 20 °C de temperatura.
- Capacidad de ruptura a la carga, oscila entre 37 a 45 kg/mm²

Por esta razón se utiliza en la fabricación de conductores desnudos, para líneas aéreas de transporte de energía eléctrica, donde se exige una buena resistencia mecánica.

Cobre recocido o de temple blando:

- Conductividad del 100%
- Resistividad de 0,01724 = 1 (Ω) respecto del cobre puro, tomado este como patrón.
- Carga de ruptura media de 25 kg/mm²

Como es dúctil y flexible se utiliza en la fabricación de conductores aislados.

El conductor está identificado en cuanto a su tamaño por un calibre, que puede ser milimétrico y expresarse en mm².

Partes que componen los conductores eléctricos

Estas son tres muy diferenciadas:

- El alma o elemento conductor.
- El aislamiento.

- Las cubiertas protectoras.

El alma o elemento conductor

Se fabrica en cobre y su objetivo es servir de camino a la energía eléctrica desde las centrales generadoras a los centros de distribución (subestaciones, redes y empalmes), para alimentar a los diferentes centros de consumo (industriales, grupos habitacionales, etc.). De la forma cómo esté constituida esta alma depende la clasificación de los conductores eléctricos. Así tenemos:

- Según su constitución

Alambre: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor.

Se emplea en líneas aéreas, como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

Cable: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que le otorga una gran flexibilidad.

- Según el número de conductores

Monoconductor: Conductor eléctrico con una sola alma conductora, con aislación y con o sin cubierta protectora.

Multiconductor: Conductor de dos o más almas conductoras aisladas entre sí, envueltas cada una por su respectiva capa de aislación y con una o más cubiertas protectoras comunes.

Es un material a medio camino entre los conductores y los aislantes, en lo que a su capacidad de conducir corriente eléctrica respecta. Un semiconductor en estado puro (intrínseco) no es ni buen conductor ni

buen aislante. Los semiconductores más comunes de sólo un elemento son el silicio, el germanio y el carbón.

Los semiconductores compuestos, tales como el arseniuro de galio y el fosfuro de indio, también son de uso común. Los semiconductores de un solo elemento están caracterizados por átomos con cuatro electrones de valencia.

I.4 .- ESTRUCTURA ATÓMICA

Toda la materia está compuesta por átomos, y todos los átomos se componen de electrones, protones y neutrones. En esta sección aprenderá sobre la estructura del átomo, las órbitas y capas de los electrones, los electrones de valencia, los iones y dos materiales semiconductores: el silicio y el germanio. La configuración de ciertos electrones en un átomo es el factor clave para determinar cómo un material dado conduce corriente eléctrica.

I.5 .- ¿QUÉ ES UN CIRCUITO?

Dispositivos electrónicos son los diversos componentes que se utilizan en los circuitos electrónicos. Los más comunes son las resistencias, los condensadores, los diodos y los transistores, así como los elementos que resultan de la especialización de los anteriores, como tiristores, diacs o triacs.

A medida que avanza la capacidad de miniaturización se encapsulan cantidades cada vez mayores de dispositivos electrónicos en espacios cada vez menores, en algunos casos por miles o millones, como en las tarjetas electrónicas de un ordenador. Por tanto, el uso de componentes individuales es cada vez más limitado.

El conocimiento de las principales características de los dispositivos electrónicos básicos permite entender el funcionamiento de los circuitos más complejos que forman, como los circuitos amplificadores y los osciladores, parte integrante de la mayoría de los dispositivos complejos relacionados con la electrónica analógica. De la misma manera, la mayoría de los dispositivos considerados, en sus versiones más miniaturizadas, forman parte de los circuitos de la electrónica digital.

Entre los dispositivos electrónicos pueden distinguirse los de tipo activo, capaces en algún momento de suministrar energía al circuito (como las bobinas), y los de tipo pasivo, cuya única función es disipar energía (como las resistencias).

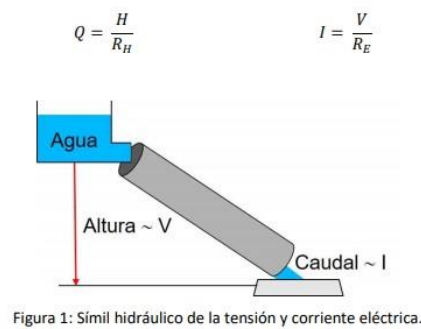
I.6 SEÑALES Y SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES.

Una señal se define como la variación temporal de una magnitud física que se utiliza para codificar información. En el caso de una señal electrónica esa magnitud puede ser una corriente eléctrica, tensión o intensidad luminosa.

La tensión o voltaje es la magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, y se mide en Voltios (V). Debido a esa diferencia de potencial las cargas eléctricas son arrastradas a lo largo de un conductor. La corriente o intensidad eléctrica es la cantidad de carga eléctrica que pasa por un conductor por unidad de tiempo y se mide en Amperios (A).

Existe una gran similitud entre conceptos eléctricos y fluidicos, de forma que la tensión eléctrica (V) puede asimilarse a la diferencia de altura (H) entre los dos extremos de una tubería hidráulica, mientras

que la corriente eléctrica (I) sería el caudal de agua (Q) que circularía por la tubería. La resistencia hidráulica de la tubería (R_H) representaría la resistencia eléctrica del conductor (R_E), y la relación entre el caudal y el desnivel de la tubería sería equiparable a la que existe entre tensión y corriente eléctrica (Figura 1).



La forma habitual de representar una señal es en el dominio temporal $V(t)$ o $I(t)$, donde en el eje horizontal se indica la evolución del tiempo y en el vertical el valor de ésta.

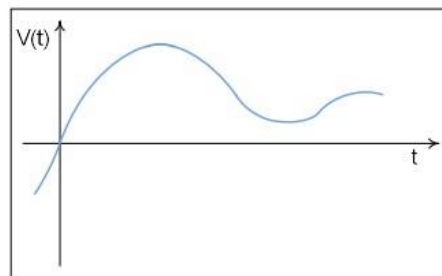


Figura 2: Representación temporal de la señal V .

Las señales electrónicas pueden ser analógicas y digitales. Las primeras pueden adoptar cualquier magnitud en un rango continuo de valores, mientras que en las segundas las posibles magnitudes se restringen a un intervalo discreto de valores.

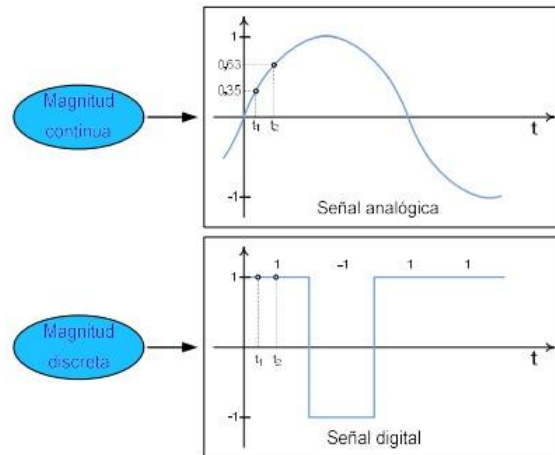


Figura 3: Señales analógicas y digitales.

En la Figura 3 aparecen representadas dos señales, una analógica y otra digital, que toman valores dentro del mismo intervalo en función del tiempo. Sin embargo, mientras que la primera señal puede adoptar un número infinito de valores dentro del intervalo $[-1, 1]$, la segunda está restringida a sólo dos $\{-1, +1\}$.

El ruido representa una perturbación en la medida de cualquier magnitud y, por tanto, es un parámetro que hay que tener siempre en cuenta. Sin embargo, su influencia es diferente según sean las magnitudes, continuas o discretas. En la Figura 4 se muestra como la superposición de un ruido sobre una medida analógica puede provocar mayor incertidumbre que sobre una medida digital.

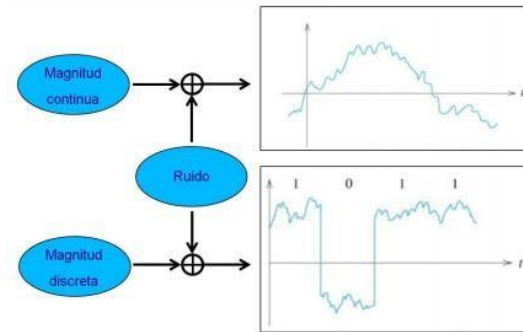


Figura 4: Superposición de ruido en señales analógicas y digitales.

Se dice que una señal $V(t)$ es periódica, de periodo T , cuando se cumple que $V(t) = V(t+T)$ para cualquier valor de t . A continuación, se definen los principales parámetros que define una señal periódica $V(t)$ como:

- | Amplitud (A): Máximo valor alcanzado por la señal, medido desde el valor medio.
- | Periodo (T): Tiempo que debe transcurrir para que la forma de onda se repita.
- | Frecuencia (F): Número de veces por segundo que se repite la onda.

$$F = \frac{1}{T}$$

- Offset (VOFF): Valor constante que se le suma o resta a una onda. - Valor medio (V_m o

VDC): Matemáticamente se define como

$$V_m = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V(t) \cdot dt$$

Gráficamente coincide con la cantidad neta de área neta encerrada entre la curva y el eje X, en un periodo de onda. - Valor eficaz (Vef).

Puesto que en nuestro entorno hay magnitudes físicas de naturaleza variada (presión, temperatura, humedad, etc) es necesario convertir esa información a un formato adecuado para ser tratadas electrónicamente. Los sensores electrónicos son dispositivos que detectan una determinada señal o acción externa, en forma de temperatura, presión, etc., y la transmiten en forma de señal electrónica. Ejemplos de sensores electrónicos son el micrófono, que convierte ondas de presión en corriente eléctrica, el termopar, que da una tensión proporcional a la temperatura, o el detector de presencia de un aparcamiento, que proporciona una señal luminosa que indica si la plaza de aparcamiento está libre u ocupada.



Figura 9: Diversos tipos de sonda (acelerómetro, piranómetro, micrófono, termómetro y galga extensiométrica) con salidas electrónicas.

La relación entre la señal electrónica proporcionada por el sensor y el estímulo correspondiente viene definida por la llamada “Función de transferencia o característica del sensor”. Por ejemplo, $V=V(T)$ relacionaría la tensión proporcionada por un termómetro electrónico y la temperatura medida por éste.

El proceso contrario lo realizan los actuadores, convirtiendo señales electrónicas en acciones mecánicas, térmicas o de cualquier otro carácter. El altavoz de un equipo de audio es un actuador que transforma la señal eléctrica en ondas de presión mediante el movimiento de una membrana. En este caso, la función de transferencia relaciona la magnitud física generada por el actuador ante una determinada señal eléctrica suministrada.

Tanto los sensores como actuadores pueden ser activos o pasivos, según necesiten o no una fuente de potencia externa para funcionar.

I.7 PUERTAS LÓGICAS Y FAMILIAS LÓGICAS

La era de la electrónica con semiconductores comienza con la invención del transistor en 1948 y a partir de ahí la evolución de la tecnología electrónica inicia una rápida carrera. En 1952, se sustituye el empleo de germanio por el silicio y en 1958 se fabricó el primer JFET (transistor de unión de efecto campo), lo que condujo a la aparición del transistor metal-óxido semiconductor de efecto campo (MOSFET). Las continuas mejoras en el diseño y fabricación de los sistemas de computación, han hecho de los MOSFET los dispositivos más universalmente empleados.

Para mejorar las conexiones de diferentes componentes electrónicos se propuso la fabricación de todos los componentes del circuito, junto con su interconexión, sobre una misma oblea de silicio. A esta solución se la denominó circuito integrado monolítico, y en 1959 la empresa Texas Instruments® desarrolla el primer circuito integrado con tecnología RTL (lógica resistencia-transistor bipolar).

La Figura 4-1 muestra una sección de un circuito integrado, donde se ve el chip del circuito dentro del encapsulado. Los terminales del chip se conectan a los pines del encapsulado para permitir las conexiones con las entradas y salidas del mundo exterior.

Todas las funciones lógicas que se han descrito en temas anteriores (y muchas más) están disponibles como circuitos integrados. Los sistemas digitales actuales utilizan casi exclusivamente circuitos integrados en su diseño debido a su reducido tamaño, alta fiabilidad, bajo coste y reducido consumo de potencia.

La evolución experimentada en el campo de los circuitos integrados ha sido extraordinaria, pasándose por crecientes escalas de integración. Hoy es posible colocar millones de componentes tanto activos como pasivos dentro de un solo chip, lo que permite construir computadoras.

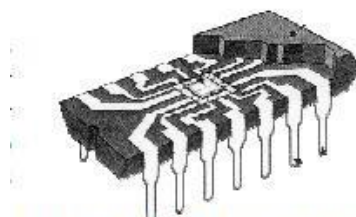


Figura 4-1. Sección de un circuito integrado.

A comienzos de los sesenta es cuando empiezan a aparecer los primeros circuitos integrados SSI (tabla 4-1), con menos de 100 componentes y no más de 30 puertas por chip. En 1966 surgen los circuito

integrados MSI, que permiten hasta 1 000 componentes, lo que supone entre 30 y 300 puertas por chip. Tres años más tarde fue posible fabricar circuitos LSI, lo que permitió los primeros microprocesadores. El incremento en la escala de integración hasta los circuitos integrados VLSI, en 1975, facilita que aparezcan microprocesadores mayores y memorias RAM de 16Kb. El término ULSI es de reciente aparición y llega hasta el límite de la tecnología actual, es decir, hasta los centenares de millones de dispositivos por chip.

Tabla 4-1. Niveles de integración para dispositivos digitales.

| Nivel de integración | Nº de puertas | Aplicaciones |
|---------------------------------------|--------------------|---|
| Pequeña escala de integración (SSI) | 1 – 30 | Puertas básicas y <i>flip-flops</i> . |
| Media escala de integración (MSI) | 30 – 300 | Contadores, registros, memorias pequeñas. |
| Gran escala de integración (LSI) | 300 – 10.000 | Memorias y microprocesadores sencillos. |
| Muy alta escala de integración (VLSI) | 10.000 – 1.000.000 | Memorias grandes, microprocesadores. |
| Escala de integración ultra (ULSI) | >1.000.000 | |

Aunque los modernos componentes electrónicos digitales son el resultado de años de desarrollo y evolución, no hay un conjunto ideal de circuitos que satisfaga todos los requerimientos. Por tanto, existen varias familias lógicas, cada una de las cuales ofrece ventajas particulares. La velocidad, consumo de potencia y densidad de componentes son cuestiones a tener en cuenta. Algunas familias trabajan a velocidades muy altas, mientras que otras poseen bajo consumo. Parte de la función del diseñador consiste en seleccionar una familia lógica apropiada para una aplicación dada.

I.8 CARACTERIZACIÓN DE PUERTAS Y FAMILIAS LÓGICAS.

Las prestaciones que nos ofrecen las distintas familias lógicas vienen determinadas por unos valores de tensión, intensidad, consumo, tiempos de retardo, etc. que en definitiva son los que diferencian a unas familias de otras.

Como sabemos, un dispositivo lógico puede estar trabajando en régimen estático o en conmutación. Para poder valorar su comportamiento en estos dos regímenes existen unas características de cuyo estudio nos encargamos a continuación.

- Característica estáticas.

Como ya hemos comentado definen el comportamiento en régimen estático o permanente de una familia lógica. Definiremos una serie de conceptos basados en el análisis de una puerta NAND.

· **Margen de cero:** El rango de variación de la tensión de entrada de la puerta que es reconocido como nivel lógico bajo por la misma. El margen del cero (V_{IL}) viene determinado por un valor máximo ($V_{ILmáx}$) y por un valor mínimo ($V_{ILmín}$).

$$\text{MARGEN DE CERO } (V_{IL}) = V_{ILmáx} - V_{ILmín}$$

Cualquier valor de la tensión de entrada (V_I) comprendido entre $V_{ILmín}$ y $V_{ILmáx}$ será un nivel lógico bajo, es decir, será reconocido como '0' en la entrada.

· **Margen de uno:** Margen de variación de la tensión de entrada (V_I) dentro del cual ésta es reconocida como nivel alto por la puerta. Está delimitado por un valor máximo de la tensión de entrada ($V_{IHmáx}$) y un valor mínimo de la misma ($V_{IHmín}$).

$$\text{MARGEN DE UNO } (V_{IH}) = V_{IHmáx} - V_{IHmín}$$

Cualquier valor de la tensión de entrada comprendido en este margen será un nivel lógico alto en la entrada ('1').

· **Puntos de transición:** Delimitan los valores críticos de la tensión de entrada. · $V_{ILmáx}$ (Figura 4-2): Voltaje máximo permitido en una entrada para que ésta se interprete como '0' (BAJO). Un valor de tensión de entrada superior a éste dejaría de ser considerado como nivel lógico bajo.

· **$V_{IHmín}$:** Voltaje mínimo requerido en una entrada para que ésta se interprete como '1' (ALTO). Un valor de tensión de entrada inferior a éste dejaría de ser considerado como nivel lógico alto.

· **Margen de transición:** Zona determinada por los puntos de transición donde la tensión de entrada no corresponde a un nivel lógico concreto. Cualquier valor de la tensión de entrada comprendido entre $V_{ILmáx}$ y $V_{IHmín}$ tendrá un nivel indeterminado y la salida de la puerta no tendrá un nivel lógico definido.

$$\text{MARGEN DE TRANSICIÓN} = V_{IH\text{mín}} - V_{IL\text{máx}}$$

También definimos valores para las tensiones de salida:

· **Margen de cero:** El rango de variación de la tensión de salida de la puerta que es reconocido como nivel lógico bajo por la misma.

$$\text{MARGEN DE CERO } (V_{OL}) = V_{OL\text{máx}} - V_{OL\text{mín}}$$

· **Margen de uno:** Margen de variación de la tensión de salida (VO) dentro del cual ésta es reconocida como nivel alto por la puerta.

$$\text{MARGEN DE UNO } (V_{OH}) = V_{OH\text{máx}} - V_{OH\text{mín}}$$

· **Puntos de transición:** Delimitan los valores críticos de la tensión de salida. ·

VOLmáx : Voltaje máximo que se puede obtener a la salida de una puerta cuando ésta se encuentra a nivel bajo '0'.

· **VOHmín :** Voltaje mínimo que se puede obtener a la salida de una puerta cuando ésta se encuentra a nivel alto '1'.

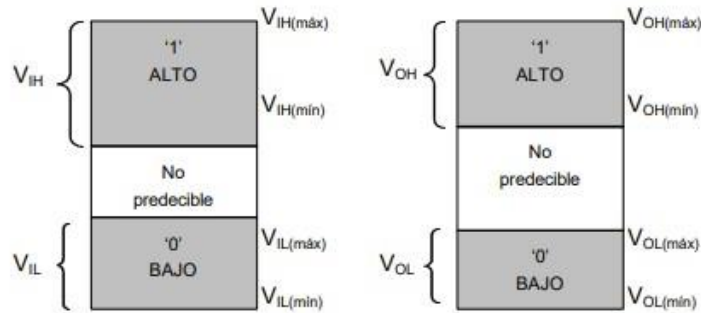


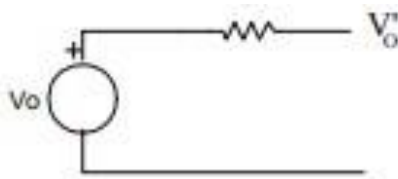
Figura 4-2. Niveles lógicos.

I.9 - LA PUERTA LÓGICA IDEAL.

Características ideales en una puerta lógica Una puerta lógica ideal, para ofrecer un excelente acoplamiento en tensión, debe presentar una resistencia de entrada muy alta y una resistencia de salida baja.

INTERESA $R_i \sim \infty$, $R_o \sim 0$.

Además, valores bajos de la resistencia de salida favorecen en gran medida la «inmunidad frente al ruido», es decir, evitan que perturbaciones electromagnéticas de cualquier tipo afecten a la tensión de salida. El equivalente de Thevenin presenta la resistencia de salida en serie con la tensión de salida:



Cuanto más pequeña es R_o menor será el efecto de las perturbaciones que actúen sobre el nudo de salida (se requiere mayor intensidad para producir una modificación de la tensión de este nudo). [Supongamos una perturbación con una potencia P , la variación de la tensión que producirá será $\Delta V_o = \sqrt{P \cdot R_o}$, tanto menor cuanto menor sea R_o .]

También interesa que el tiempo de propagación de la señal, o sea, el retraso físico que se da entre la entrada y la salida sea lo más pequeño posible. Obviamente el cambio de valor en la señal de entrada y el correspondiente cambio en la salida no son simultáneos sino que existe siempre un pequeño intervalo de tiempo entre ambas señales: este retraso recibe el nombre de tiempo de propagación t_p ; cuanto menor sea este tiempo de respuesta, mayor puede ser la velocidad de trabajo de la puerta lógica, mayor será el número de bits que puede procesar en un segundo.

INTERESA $t_p \sim 0$.

Los tiempos de propagación son debidos, fundamentalmente, a efectos capacitivos en la conmutación de los interruptores y, en particular, a la capacidad equivalente que presentan las entradas de los mismos y que es preciso cargar o descargar al modificar su valor booleano. Una resistencia de salida baja colabora en la obtención de reducidos tiempos de propagación, ya que permite intensidades altas para efectuar la carga o descarga de la capacidad de entrada de la puerta siguiente.

Por otra parte, interesa que el consumo de las puertas sea lo menor posible y, si ello fuera factible, consumo nulo. El consumo se refleja en la magnitud de la fuente de alimentación que ha de proporcionar la tensión V_{CC} y en el gasto energético que produce el circuito; pero, también, en la disipación de calor en el propio circuito y, en su caso, en la necesidad de incluir sistemas que favorezcan tal disipación.

INTERESA ICC ~ 0 .

En las puertas con interruptores la resistencia de entrada es prácticamente infinita y la de salida es nula cuando conducen los interruptores y RP cuando no conducen:

$$R_i \approx \infty ; R_o(0) \approx 0 ; R_o(1) = R_P .$$

Ya de entrada existe buen acoplo en tensión y, además, en relación con la inmunidad frente al ruido y con la velocidad de trabajo (con los tiempos de propagación) interesa que la resistencia RP sea de valores bajos. Pero el consumo cuando el plano de interruptores conduce (salida 0) es V_{CC} / R_P y, a tal efecto, interesan valores altos de la resistencia RP.

Por ello, la resistencia de polarización RP ha de elegirse en un compromiso entre velocidad (+ inmunidad al ruido) y consumo. En la práctica, valores aceptables suelen estar entre los 500Ω y los $50 K \Omega$, optando por valores bajos ($\sim 500 \Omega$) cuando predomina el interés por la velocidad o por la inmunidad frente a perturbaciones y valores altos ($\sim 50 K \Omega$) cuando interesa sobre todo reducir el consumo.

1.10.- NOCIONES BÁSICAS DE TEORÍA DE CIRCUITOS

A los circuitos y sistemas electrónicos se le pueden realizar diversos tipos de análisis con objeto de conocer el comportamiento de éstos frente a diferentes estímulos. El cálculo del punto de operación o punto de polarización, su evolución en el tiempo mediante un análisis transitorio, o bien su comportamiento frente a señales de diferentes frecuencias son los más habituales.

Para la realización de cada uno de estos análisis se cuenta con dos tipos de herramientas; el cálculo manual mediante el uso de las ecuaciones que definen el sistema, y la simulación de su comportamiento con programas específicos de simulación circuitos, siendo el más conocido el programa SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

1.11 CÁLCULO MANUAL

La Teoría de Circuitos recoge una variada y completa gama de herramientas matemáticas destinadas a analizar el comportamiento de los circuitos electrónicos. De entre estas herramientas, las más simples y útiles son las leyes de Kirchhoff para tensiones y corrientes.

La primera de las leyes establece que la suma de corrientes en un nodo es cero. Por extensión, cualquier superficie cerrada cumple también la misma ley. La segunda de ellas se aplica sobre un camino cerrado, y da como resultado que la suma de tensiones es también cero.

$$\sum i_j = 0$$

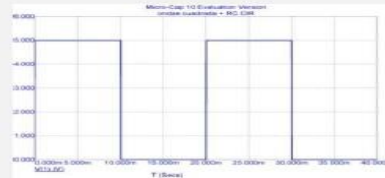
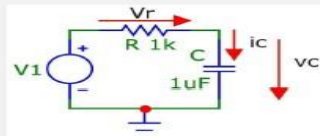
Suma de corrientes en un nodo
o superficie cerrada

$$\sum V_i = 0$$

Suma de tensiones en un
camino cerrado

Aplicando las dos leyes anteriores de forma conveniente se puede hallar el comportamiento de la mayoría de los circuitos electrónicos.

Ejemplo: Analizar matemáticamente el circuito compuesto por una resistencia $R=1k\Omega$ en serie con un condensador $C=1\mu F$, cuando se le conecta una fuente de tensión cuadrada de 2,5V de amplitud, 2.5V de componente continua y 1 KHz de frecuencia. En el instante $t_0 = 0$ el condensador está descargado.



Solución:

En primer lugar se eligen las referencias de tensión y corriente de todos los dispositivos, haciendo coincidir el sentido de ambas para cada uno de ellos. Una vez hecho esto, se plantea la ley de Kirchhoff de las tensiones y la ecuación del condensador en el intervalo $[0, 10ms]$, donde $V1 = 5V$.

$$V_1 = R \cdot i_C + v_C$$

$$i_C = C \cdot \frac{dv_C}{dt}$$

sustituyendo valores,

$$5 = 1 \cdot i_C + v_C$$

$$i_C = 10^{-3} \cdot \frac{dv_C}{dt}$$

“La corriente de un condensador que forma parte de una red RC a la que se le aplica una tensión constante entre sus extremos tiene la forma”

$$i_C(t) = i_{\infty} + (i_0 - i_{\infty}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

En este caso $i_{\infty} = 0$ corresponde a la situación en la cual el condensador se encuentra completamente cargado.

$$i_0 = \frac{5 - v_C(0)}{R} = 5 \text{ mA}$$

Sería la corriente inicial, cuando el condensador está completamente descargado. La corriente del condensador al final del intervalo, en $t=10\text{ms}$, se podría hallar teniendo en cuenta que la corriente en el instante inicial es 5 mA y en régimen permanente sería 0 mA,

$$i_C(t) = 0 + (5 - 0) \cdot e^{-10^2}$$

A partir del instante $t=10\text{ms}$ y en el intervalo $[10\text{ms}, 20\text{ms}]$ la tensión de la fuente valdrá $V_1 = 0\text{V}$, por lo que la red RC verá una tensión nula entre sus extremos. Aplicando la regla anterior, la evolución de la tensión del condensador en ese intervalo de tiempo vendrá dada por la ecuación,

$$v_C(t) = V_{\infty} + (V_0 - V_{\infty}) \cdot e^{-\frac{t-10}{\tau}}$$

donde ahora $V_0 = 5 \text{ V}$ es la tensión del condensador en el instante inicial del segundo intervalo y $V_{\infty} = 0 \text{ V}$ es la tensión que tendría el condensador una vez descargado y alcanzado el régimen permanente. La constante de tiempo característica del circuito sigue siendo $\tau = R \cdot C = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$. Por tanto, quedaría

$$v_C(t) = 5 \cdot e^{-\frac{t-10}{10^{-3}}}$$

En cuanto a la tensión de la resistencia será

$$v_R(t) = 5 - v_C(t) = 5 \cdot (1 - e^{-\frac{t-10}{10^{-3}}}) \text{ V}$$

I.12 CORRIENTE DE ELECTRÓN Y HUECO

Cuando se aplica voltaje a través de un trozo de silicio intrínseco, como muestra la figura I-13, los electrones libres generados térmicamente presentes en la banda de conducción (que se mueven libremente y al azar en la estructura cristalina) son entonces fácilmente atraídos hacia el extremo positivo. Este movimiento de electrones es un tipo de corriente en un material semiconductor y se llama corriente de electrón.

Otro tipo de corriente ocurre en la banda de valencia, donde existen los huecos creados por los electrones libres. Los electrones que permanecen en la banda de valencia siguen estando unidos a sus átomos y no pueden moverse al azar en la estructura cristalina como lo hacen los electrones libres. No obstante, un electrón de valencia puede moverse a un hueco cercano con poco cambio en su nivel de energía y por lo tanto deja otro hueco en el lugar de donde vino: el hueco se habrá movido entonces de un lugar a otro en la estructura cristalina.

Aun cuando la corriente en la banda de valencia es producida por electrones de valencia, se llama corriente de hueco para distinguirla de la corriente de electrón en la banda de conducción. Como ya se ha visto, se considera que la conducción en semiconductores es el movimiento de electrones libres en la banda de conducción o el movimiento de huecos en la banda de valencia, que en realidad es el movimiento de electrones de valencia a átomos cercanos con lo que se crea corriente de hueco en la dirección opuesta.

Es interesante contrastar los dos tipos de movimiento de carga en un semiconductor con el movimiento de carga en un conductor metálico, tal como el cobre. Los átomos de cobre forman un tipo de cristal diferente en el que los átomos no están enlazados covalentemente entre sí, sino que se componen de un “mar” de núcleos de iones positivos, los cuales son átomos sin sus electrones de valencia. Los electrones de valencia están enlazados a los iones positivos, lo que mantiene a los iones positivos juntos y les permite formar el enlace metálico. Los electrones de valencia no pertenecen a un átomo dado, sino al cristal en conjunto. Debido a que los electrones de valencia en el cobre se mueven libremente, la aplicación de un voltaje produce corriente. Existe sólo un tipo de corriente —el movimiento de electrones libres— porque no existen “huecos” en la estructura cristalina metálica

UNIDAD II SEMICONDUCTORES

2.1.- ESTRUCTURA DE LOS SÓLIDOS: AISLANTES, CONDUCTORES Y SEMICONDUCTORES.

Existen dos enfoques, basados en la teoría de bandas, que nos permiten entender los fenómenos de conductividad eléctrica y térmica en los materiales sólidos. Estos enfoques son capaces de explicar, por ejemplo, las diferencias tan enormes en las resistividades eléctricas de tales materiales. Uno de ellos es la teoría de F. Bloch (1928), la cual establece que los electrones de valencia en un metal se encuentran sujetos a un potencial no constante (periódico) y cuya periodicidad es impuesta por la estructura cristalina. El otro, la teoría de W. Heitler y F. London, considera los efectos sobre los niveles energéticos de átomos aislados, cuando dichos átomos se encuentran agrupados en un cristal (átomos inter-actuantes). Un tratamiento riguroso de la teoría de bandas, requiere de la aplicación de la mecánica cuántica, en cualquiera de los dos enfoques. El de Heitler y London, sin embargo, permite una explicación cualitativa más clara de los fenómenos involucrados en la teoría de bandas, por lo cual nos centraremos en esta teoría. Los materiales pueden clasificarse, de acuerdo con su resistividad, en conductores, semiconductores y aislantes.



Fig. 1 Los materiales, de acuerdo a su conductividad, pueden clasificarse en tres categorías principales: conductores, semiconductores y aislantes.

Conductores

Los conductores son materiales (generalmente metales), cuya estructura electrónica les permite conducir la corriente eléctrica a bajas temperaturas o temperatura ambiente; su resistividad al paso de la corriente eléctrica es muy baja. De acuerdo con la teoría de bandas, son aquellos materiales cuyas bandas de valencia y de conducción, se encuentran muy próximas entre sí, al grado de que, en algunos casos, estas bandas se encuentran superpuestas. Los electrones de valencia en un átomo, son los que se encuentran en el nivel energético más externo y ellos permiten los enlaces entre los átomos en los compuestos o entre átomos del mismo tipo en una molécula o un cristal. Por su parte, los electrones de conducción son los que se han promovido a niveles energéticos vacíos, lo que da lugar a su mayor movilidad y, eventualmente, da origen a las corrientes eléctricas. Veamos lo que sucede, tanto con los electrones en estados energéticos de átomos aislados, como los que se encuentran en estados energéticos en un cristal (átomos inter-actuantes).

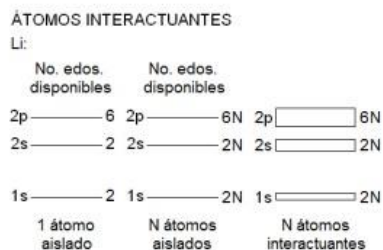


Fig. 2 Formación de bandas energéticas en N átomos inter-actuantes de Li.

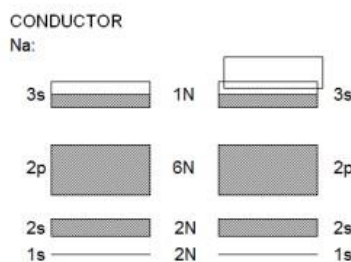


Fig. 3 Sobre-posición de bandas en un buen conductor (sodio).

En la Fig. 2, se observa el caso del metal litio (Li), un buen conductor metálico. Primero se ven los estados disponibles en un átomo aislado; luego, cuando tenemos N átomos aislados, los estados disponibles (o capacidad de los orbitales), por tanto, se ven multiplicadas por N (parte central del esquema), pero los niveles energéticos permanecen básicamente idénticos. Cuando los N átomos se encuentran muy cercanos entre sí, como en el caso de una red cristalina en un sólido, la capacidad electrónica no solo se ve multiplicada por N, sino que los estados disponibles no son más coincidentes con los estados energéticos de los N átomos aislados, pues se expanden para formar bandas de energía (parte final del esquema). Las regiones entre las bandas energéticas disponibles son zonas que no pueden ser ocupadas por los electrones (bandas prohibidas o barreras energéticas). Desde luego, en el átomo de litio, el orbital 1s se encuentra ocupado por 2 electrones, el 2s está parcialmente ocupado (1 electrón) y los 2p se hallan vacíos. Por tanto, en el Li, la banda 2s constituye la banda de valencia; la banda 2p es la banda de conducción. En general, en los metales conductores, la banda de valencia y la banda de conducción se encuentra prácticamente juntas. La conductividad en algunos metales, como el sodio, constituye un caso muy especial, pues la banda de valencia (parcialmente llena), se encuentra sobrepuesta con la banda adyacente vacía.

Los semiconductores se encuentran situados, por lo que hace a su resistencia, entre los conductores y los aislantes, ya que a temperaturas muy bajas difícilmente conducen la corriente eléctrica y más bien se comportan como aislantes, pero, al elevar su temperatura o al ser sometidos a un campo eléctrico externo, su comportamiento cambia al de los conductores. Estos semiconductores son conocidos como intrínsecos y, en ellos, las bandas de conducción y valencia se encuentran separadas por una barrera de energía (banda prohibida) más pequeña (comparada con la del diamante), de aproximadamente 1 eV (1.1 eV para el Si y 0.7 eV para el Ge).

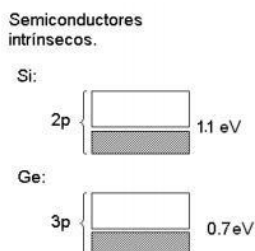


Fig. 5 Bandas prohibidas para materiales semiconductores (Si y Ge).

En este tipo de materiales, cuando se transfiere un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción, se crea un "hueco" que actúa como un "transportador" de carga positiva, fenómeno que eventualmente puede crear una "corriente positiva".

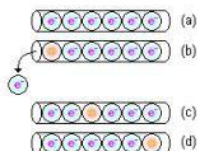


Fig. 6 Movimiento de huecos en un Semiconductor.

Para entender el movimiento relativo de los huecos, podemos imaginar a los electrones como esferas que se mueven por un tubo [Fig. 6, (a)]. Cuando una esfera (electrón) se disloca, deja un espacio vacío (hueco positivo), el cual es ocupado inmediatamente por la esfera (electrón) adyacente, (b) y (c). El desplazamiento se repite hasta que la última esfera (electrón) se mueve, dejando un último espacio vacío (hueco), (d). El movimiento de las esferas hacia la izquierda, genera un movimiento aparente de los espacios vacíos hacia la derecha. De la misma manera, puede entenderse el movimiento,

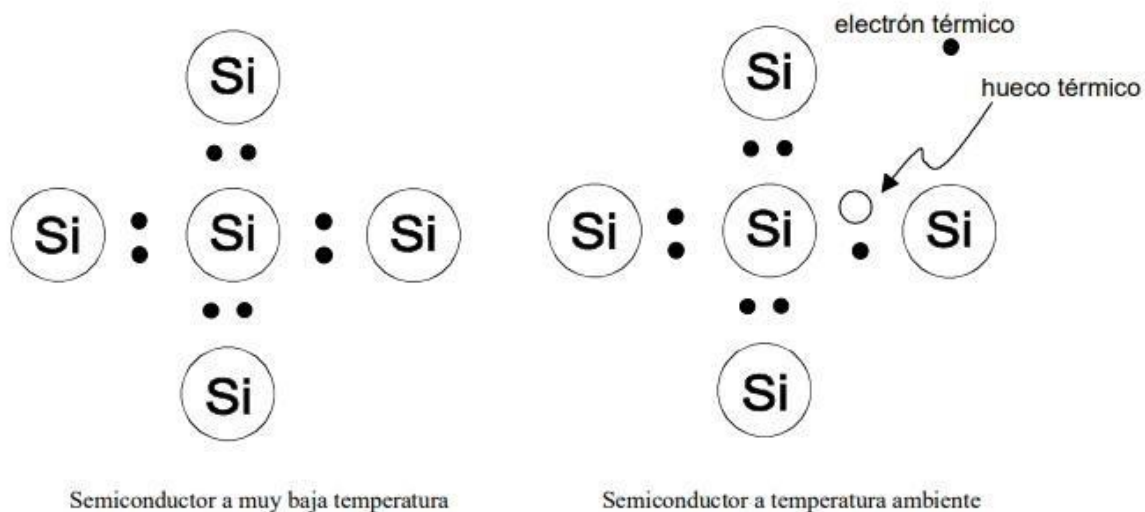
en sentidos opuestos, de los electrones (negativos) y “huecos” positivos, en un semiconductor. En los semiconductores intrínsecos, el número de electrones disponibles para la conducción y los correspondientes huecos formados, se encuentran en igual número y los materiales de este tipo son de poca utilidad para la electrónica. Sin embargo, cuando se agregan ciertos átomos (impurezas) a estos materiales, sus propiedades eléctricas cambian notablemente. Así, cuando se agrega una impureza “donadora de electrones”, la proporción de electrones será mayor que la de huecos, y el material se comportará como un “portador de carga negativa” I (electrónica), aunque los huecos estarán presentes en menor proporción. De la misma forma, cuando se agrega una impureza “aceptora de electrones”, el material semiconductor se convertirá en un semiconductor “portador de carga positiva” (huecos), con electrones presentes en menor proporción. Al proceso de controlar la calidad y la cantidad de las impurezas, de una clase o de otra, se denomina “dopaje”. A los materiales semiconductores con impurezas de un tipo u otro, se conocen como semiconductores extrínsecos.

2.2.- CRISTALES SEMICONDUCTORES

MODELO DE ENLACE COVALENTE, PORTADORES DE CARGA.

Los semiconductores son sustancias cuya conductividad oscila entre 10^{-3} y 10^3 Siemen/metro y cuyo valor varía bastante con la temperatura. Los semiconductores más empleados son, por orden histórico, el Germanio y el Silicio. Un átomo de cualquiera de estos elementos posee cuatro electrones en su última capa y por ello se une a sus átomos vecinos mediante enlaces covalentes. A temperaturas bajas los cuatro electrones están formando dichos enlaces, por lo que permanecen ligados a los átomos y no pueden moverse, aunque se aplique un campo eléctrico exterior, esto es, se comportan como aislantes. A temperaturas superiores, como la temperatura ambiente, hay electrones que poseen suficiente energía térmica como para saltar de su enlace covalente a niveles energéticos superiores donde no están ligados.

Estos electrones sí pueden moverse en caso de aplicarse un campo eléctrico exterior, y se comportan como conductores (aunque no tan buenos como los metales). Si se aumenta más aun la temperatura, más electrones se desligan de sus enlaces y contribuyen a la corriente eléctrica. Así pues, los semiconductores aumentan su conductividad al aumentar su temperatura. Cuando un electrón salta de su enlace covalente, se dice que deja un hueco puesto que es susceptible de ser llenado por otro electrón. Los electrones liberados por energía térmica a veces también caen en los huecos que han dejado otros electrones. Existe un equilibrio dinámico entre los electrones que se liberan por energía térmica y los electrones que, vuelven a caer en los huecos, esto es, el número de electrones libres (que será exactamente igual que el número de huecos) es constante a temperatura constante. Este tipo de semiconductores se denomina semiconductores INTRINSECOS.

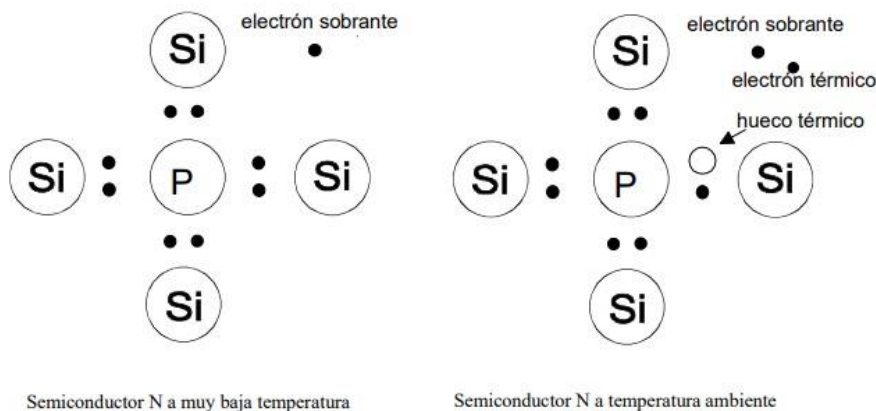


Cuando se conecta un generador a un semiconductor intrínseco, los electrones libres se mueven hacia el polo positivo del generador y los electrones del polo negativo del generador, saltan a los huecos del semiconductor y se mueven también hacia el polo positivo saltando de hueco en hueco. Esto último equivale a decir que los huecos se mueven hacia el polo negativo del generador. Se dice pues que la corriente que circula por un semiconductor posee dos contribuciones: una debida a movimiento de electrones (con carga negativa) hacia el polo positivo y otra debida a movimiento de huecos (con

carga positiva) hacia el polo negativo. La carga positiva del hueco es en realidad la carga positiva del núcleo del átomo del cual ha saltado el electrón debido a la energía térmica.

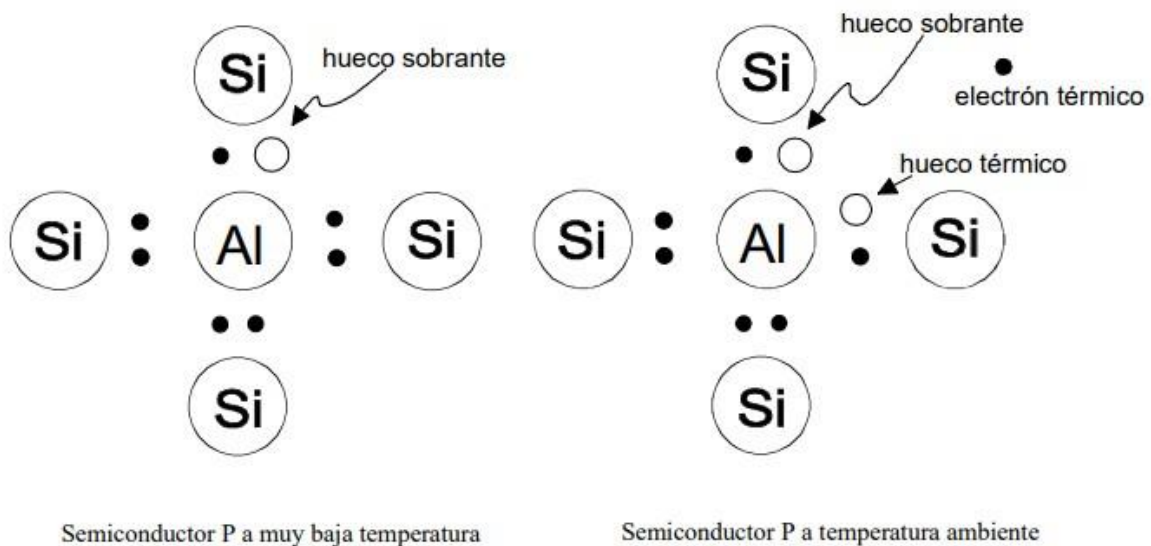
Existe otro tipo de semiconductores que se obtienen artificialmente añadiendo impurezas a los semiconductores intrínsecos. Estos nuevos semiconductores se denominan DOPADOS. Existen dos clases de semiconductores dopados: semiconductores N y semiconductores P.

Un semiconductor N se obtiene añadiendo un pequeño número de átomos pentavalentes (con cinco electrones en su última capa) a un semiconductor intrínseco. Estos átomos pueden ser de P, As o Sb. De los cinco electrones, cuatro realizan enlaces covalentes con los átomos del semiconductor intrínseco y el otro será libre. A temperatura ambiente los electrones libres de un semiconductor N provienen de los electrones sobrantes de las impurezas y de los electrones térmicos (o liberados por energía térmica). Así pues, un semiconductor tipo N posee más electrones libres que el correspondiente semiconductor intrínseco y por tanto la conductividad será mayor. También el número de electrones libres es mayor que el de huecos. La corriente eléctrica en el semiconductor N es también debida a electrones y huecos. Los electrones son portadores mayoritarios y los huecos son portadores minoritarios.



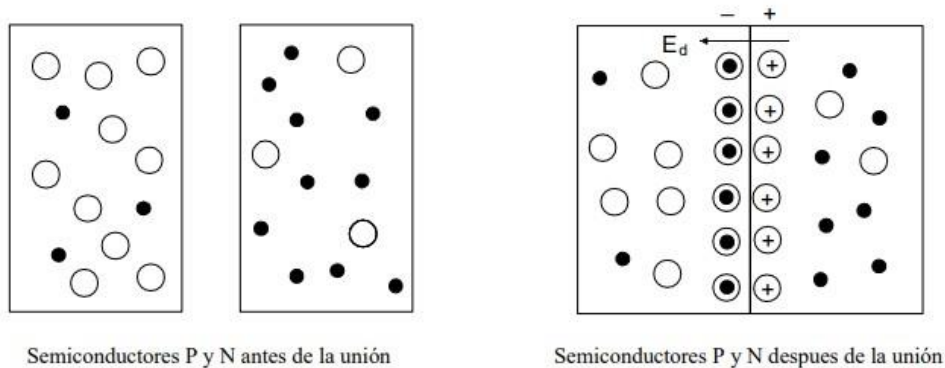
Un semiconductor tipo P es el resultado de añadir un pequeño número de átomos trivalentes (con tres electrones en la última capa) a un semiconductor intrínseco. Estos tres electrones formaran enlaces covalentes con los átomos del semiconductor intrínseco. Queda por lo tanto un electrón del semiconductor intrínseco sin emparejar para formar el enlace covalente. Esto es, habrá un hueco donde cabría un electrón. Los átomos que se añaden pueden ser de Al, B o Bi. En un semiconductor P existen, pues, huecos debidos a la falta de electrones para formar enlaces covalentes, electrones libres térmicos y sus correspondientes huecos. El número de huecos será por lo tanto mayor en un semiconductor dopado P que en el correspondiente semiconductor intrínseco. Al conectar un generador externo, los huecos se moverán hacia el polo negativo del generador y los electrones libres hacia el polo positivo.

Los huecos serán los portadores mayoritarios y los electrones térmicos los portadores minoritarios.



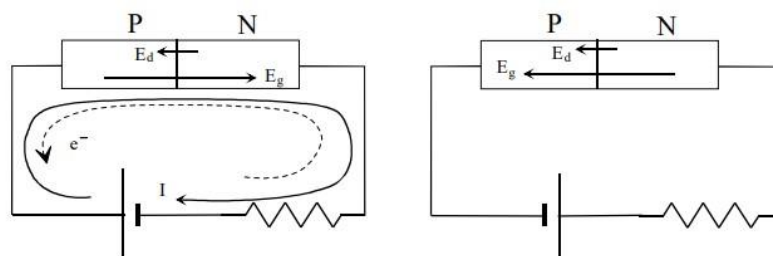
2.3.- MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES.

Cuando se unen dos semiconductores dopados, P y N, aparece un fenómeno interesante: los electrones libres del semiconductor N que están cerca de la unión saltan a los huecos del semiconductor P para completar los enlaces covalentes que faltaban. Por cada electrón que salta de N a P aparece una carga negativa en la zona P (la carga del electrón que ha saltado) y aparece una carga positiva en N (la del núcleo del átomo al que pertenecía el electrón fugado). Al cabo de un cierto tiempo la zona P, cerca de la unión, se queda cargada negativamente y la zona N cargada positivamente. Estas cargas producen un campo eléctrico dirigido de N a P el cual se opone a que pasen más electrones de N a P. Los electrones que han conseguido saltar a P se mantienen cerca de la unión ya que son atraídos por los núcleos positivos de la zona N.



La unión de los dos semiconductores P y N se denomina diodo. Si se conecta un generador de continua a un diodo, ocurren fenómenos que tienen gran aplicación. La conexión de un generador de continua a un diodo se denomina polarización del diodo. La polarización de un diodo puede ser directa o inversa y el comportamiento del diodo depende de esta polarización. Se denomina polarización directa de un diodo al hecho de conectarle un generador del siguiente modo: el polo positivo a la zona P y el polo negativo a la zona N. En este caso el campo eléctrico creado por el generador (por sus bornes) va dirigido de la zona P a la zona N. es evidente que dicho campo es contrario al que existe dentro del diodo (debido al salto de los electrones antes explicado). Por lo tanto, el campo total será menor y no

se opondrá a nuevos saltos de N a P. Además, los electrones que ya han saltado a P son atraído por el polo positivo del generador y se moverán hacia él, generando una corriente eléctrica. También los electrones del polo negativo del generador penetrarán en la zona N del diodo para completar el circuito e impulsados por el campo eléctrico creado por el generador y atraídos, además, por los restos positivos que había en la zona N cerca de la unión. Estos electrones llegarán a la unión y saltarán a los huecos de la zona P donde continuarán moviéndose hacia el generador. Resumiendo: cuando un diodo se polariza directamente circula corriente por su interior en el sentido de P a N (sentido contrario al movimiento de los electrones). Los electrones que circulan por la unión primero se mueven por la zona N como electrones libres, después saltan de N a P en la unión y luego van saltando de hueco en hueco por la zona P hasta salir del diodo. Se denomina polarización inversa del diodo a la conexión de un generador externo, uniendo el polo positivo a la zona N y el polo negativo a la zona P. En este caso, el campo eléctrico creado por el generador tiene el mismo sentido que el campo eléctrico propio del diodo. El campo eléctrico total será mayor, lo que impedirá que los electrones de la zona N salten a la zona P (los electrones que han saltado de N a P y han quedado atrapados por los huecos, esto es, en los enlaces covalentes, no pueden regresar a su zona N de donde provenían salvo que adquieran energía térmica suficiente). En otras palabras, los electrones del polo negativo del generador penetran en la zona P para llenar huecos, pero no pueden continuar moviéndose hacia la zona N porque allí no hay huecos y deberían saltar a electrones libres y ello no es posible sin adquirir energía térmica suficiente. Resumiendo: cuando un diodo se polariza inversamente no circula corriente por él.



Dado el comportamiento tan peculiar del diodo, el signo que se ha convenido para representarle es el siguiente: El triángulo representa la zona P y la raya la zona N, y el sentido que indica el dibujo es el de la corriente eléctrica (sentido contrario al movimiento de los electrones).

La aplicación inmediata que se hace del diodo es la de rectificar la corriente alterna: todos los aparatos de medida electrónicos necesitan ser alimentados con corriente continua, sin embargo, la corriente eléctrica disponible en los laboratorios es corriente alterna. El diodo se encarga de rectificar la corriente alterna (transformarla en corriente continua). El esquema es el siguiente:

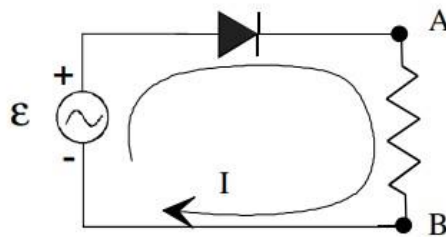


Figura 1-a

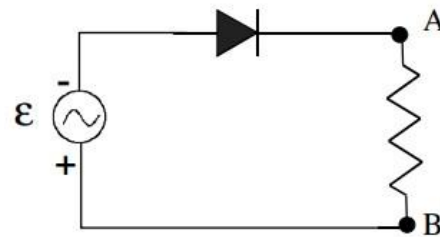


Figura 1-b

En este esquema, la resistencia representa la de entrada del circuito electrónico al que se va a alimentar con la corriente continua. Cuando la polaridad del generador de alterna es la de la figura 1-a, el diodo está polarizado directamente y entonces conduce corriente. Cuando la polaridad del generador es la de la figura 1-b, el diodo está polarizado inversamente y el diodo impide el paso de corriente. Como la corriente alterna tiene una dependencia temporal de tipo sinusoidal, las semiondas positivas, (que corresponden a la polaridad de la figura 1-a) dan lugar al paso de corriente a través del diodo y en la resistencia habrá una ddp que tendrá la misma forma que la semionda del generador. En el circuito de la figura 1-a se cumplen las ecuaciones:

$$\varepsilon = V_d + (V_A - V_B) \quad \text{y} \quad V_A - V_B = IR$$

donde V_d es la ddp en los extremos del diodo. Dicha ddp tiene un valor comprendido entre 0.6 y 0.8 voltios para los diodos de Silicio (los más empleados para rectificar corriente alterna). Por lo tanto la ddp entre los extremos de la resistencia será casi igual a la fem del generador para las semiondas positivas, y será cero en las semiondas negativas.

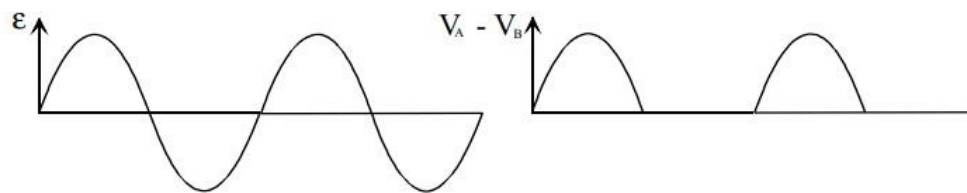


Figura 2-a

Figura 2-b

La corriente continua que se obtiene con un diodo rectificador no es constante en el tiempo y se denomina rectificación de media onda. Para mejorar la rectificación se recurre a un montaje especial denominado puente de diodos, cuyo esquema se representa en la figura 3:

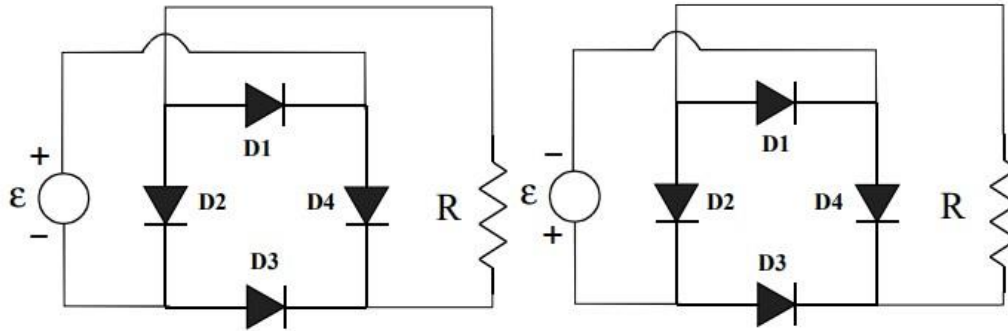


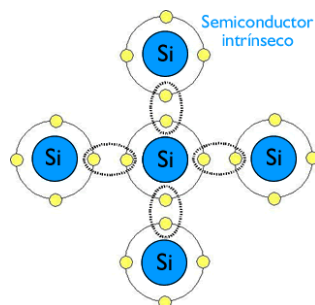
Figura 3-a

Figura 3-b

2.4.- SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS.

Un material semiconductor hecho sólo de un único tipo de átomo, se denomina semiconductor intrínseco.

Los más empleados históricamente son el germanio (Ge) y el silicio (Si); siendo éste último el más empleado (por ser mucho más abundante y poder trabajar a temperaturas mayores que el germanio).



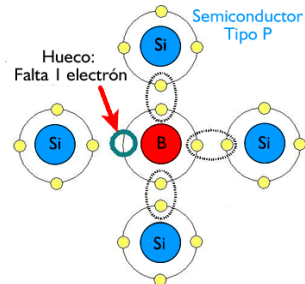
Cada átomo de un semiconductor tiene 4 electrones en su órbita externa (electrones de valencia), que comparte con los átomos adyacentes formando 4 enlaces covalentes. De esta manera cada átomo posee 8 electrones en su capa más externa, formando una red cristalina, en la que la unión entre los electrones y sus átomos es muy fuerte. Por consiguiente, en dicha red, los electrones no se desplazan fácilmente, y el material en circunstancias *normales* se comporta como un aislante.

Sin embargo, al aumentar la temperatura, los electrones ganan energía, por lo que algunos pueden separarse del enlace e intervenir en la conducción eléctrica. De esta manera, la resistividad de un semiconductor disminuye con la temperatura (su conductividad aumenta). A temperatura ambiente, algunos electrones de valencia absorben suficiente energía calorífica para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres. Si a estos electrones, se le somete al potencial eléctrico, como por ejemplo de una pila, se dirigen al polo positivo. Cuando un electrón libre abandona el átomo de un cristal de silicio, deja en la red cristalina un *hueco*, cuyo efecto es similar al que provocaría una carga positiva.

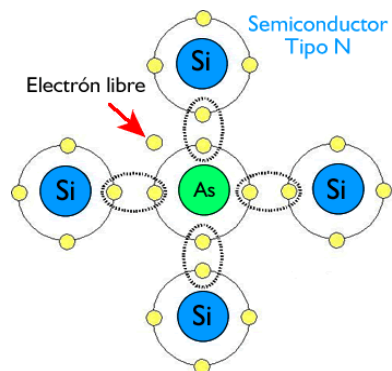
Los electrones y los huecos reciben el nombre de portadores. La conducción eléctrica a través de un semiconductor es el resultado del movimiento de electrones (de carga negativa) y de los huecos (cargas positivas) en direcciones opuestas al conectarse a un generador. Si se somete el cristal a una diferencia de potencial se producen dos corrientes eléctricas: una debida al movimiento de los electrones libres de la estructura cristalina, y otra debida al desplazamiento de los electrones en la banda de valencia, que tenderán a saltar a los huecos próximos, originando una corriente de huecos. Los electrones libres se dirigen hacia el polo positivo de la pila (cátodo), mientras que los huecos pueden considerarse como portadores de carga positiva y se dirigen hacia el polo negativo de la pila, llamado ánodo (hay que considerar que por el conductor exterior sólo circulan los electrones que dan lugar a la corriente eléctrica; los huecos sólo existen en el seno del cristal semiconductor).

Semiconductores extrínsecos: Para mejorar las propiedades de los semiconductores, se le somete a un proceso de impurificación (llamado dopaje), consistente en introducir átomos de otros elementos con el fin de aumentar su conductividad. El semiconductor obtenido se denominará semiconductor extrínseco. Según la impureza (llamada dopante) distinguimos:

Semiconductor tipo P: se emplean **elementos trivalentes** (3 electrones de valencia) como el Boro (B), Indio (In) o Galio (Ga) **como dopantes**. Puesto que no aportan los 4 electrones necesarios para establecer los 4 enlaces covalentes, en la red cristalina estos átomos presentarán un defecto de electrones (para formar los 4 enlaces covalentes). De esa manera **se originan huecos** que aceptan el paso de electrones que no pertenecen a la red cristalina. Así, al material tipo P también se le denomina donador de huecos (o aceptador de electrones).



Semiconductor tipo N: Se emplean como impurezas **elementos pentavalentes** (con 5 electrones de valencia) como el Fósforo (P), el Arsénico (As) o el Antimonio (Sb). **El donante aporta electrones en exceso**, los cuales al no encontrarse enlazados, se moverán fácilmente por la red cristalina aumentando su conductividad. De ese modo, el material tipo N se denomina también donador de electrones.



2.5.- EL DIODO DE UNIÓN P-N.

En los temas anteriores se han estudiado las propiedades de los semiconductores en equilibrio térmico y fuera del equilibrio. Los semiconductores intrínsecos tienen un uso muy limitado, sin embargo, los semiconductores dopados con impurezas son la base de los dispositivos que a partir de ahora vamos a estudiar. Si sobre la superficie de un semiconductor previamente dopado con impurezas aceptoras se difunden átomos donadores se forma una unión de propiedades muy interesantes llamada unión p-n. La unión p-n desempeña un importante papel en las aplicaciones de la electrónica moderna, así como en la construcción y aplicación de otros dispositivos semiconductores. Se utiliza por ejemplo en aplicaciones de rectificación, conmutación, ... Además, es un dispositivo fundamental en la construcción de otros dispositivos semiconductores tales como los transistores bipolares, tiristores, transistores de efecto de campo o dispositivos para aplicación en microondas o fotónicos. En esta lección se van a presentar las características ideales estáticas y dinámicas de la unión p-n en base a las ecuaciones obtenidas en la lección anterior.

2.6.- UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO.

La Fig. 1.a muestra dos materiales semiconductores, uno de tipo P y otro de tipo N separados entre sí. En ellos el nivel de Fermi E_F está cerca de la banda de valencia para la muestra de tipo P y cerca de la banda de conducción para el material de tipo N. Por otra parte, el material de tipo P tiene una concentración de huecos mucho mayor que de electrones y al revés ocurre en el material de tipo N.

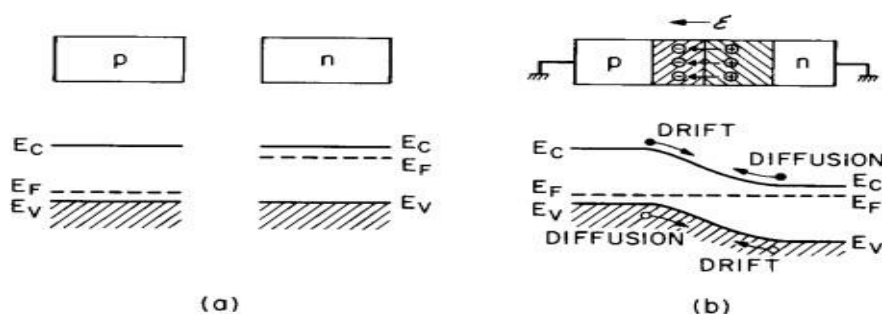


Fig. 1: (a) Semiconductores de tipo N y tipo P uniformemente dopados antes de la unión. (b) Campo eléctrico en la región espacial de carga y diagrama de bandas de energía en la unión p-n en equilibrio térmico.

Una unión p-n se forma cuando se unen estas dos regiones. En la práctica, los procesos de fabricación de uniones p-n son los de epitaxia, difusión e implantación de iones.

Para simplificar vamos a suponer el caso en que el límite entre las regiones P y N represente una unión escalón o unión abrupta. En este tipo de unión la transición entre las regiones P y N tiene lugar en una distancia extremadamente pequeña. Por lo tanto, hay un cambio brusco en el dopaje yendo desde P hasta N.

Aunque la unión abrupta no es una estructura típica de los dispositivos modernos, sí es, en cambio, una buena aproximación de la unión p-n, que pone de manifiesto sus características de funcionamiento y de tensión-corriente. Otro argumento a favor de utilizar dicha aproximación es que el comportamiento físico interno y las propiedades eléctricas de la unión varían muy poco con el método que se emplee en su obtención.

El hecho de unir ambos tipos de material provoca un elevado gradiente de concentración de portadores en las proximidades de la unión. De hecho, lo que se observa es por un lado, una corriente de difusión de huecos de la región P hacia la región N y por otro, una corriente de difusión de electrones de la región N hacia la P. Pero además, la marcha o difusión de estos portadores de su región inicial a la otra deja al descubierto algunos iones fijos en la red cristalina, iones aceptores negativos $- N_A$ en la región P e iones dadores positivos en la región N, $+ N_D$. Dicha zona es llamada zona de agotamiento o región espacial de carga y es una región en que no existen ni electrones ni huecos, pero contiene átomos dadores ionizados positivamente a un lado y átomos aceptores ionizados negativamente al otro lado. En consecuencia, se forma una zona de con cargas negativas fijas en la cara P de la unión y una zona con cargas positivas fijas en la cara N. La presencia de estas cargas fijas

da lugar a la aparición de un fuerte campo eléctrico cuyas líneas de campo se dirigen desde la zona N hacia la zona P, es decir, desde la zona de carga positiva a la zona de carga negativa (Fig. 1b). La orientación, por tanto, de este campo eléctrico es siempre en contra de la corriente de difusión del portador de carga considerado.

Las condiciones después del contacto se muestran en Fig. 2

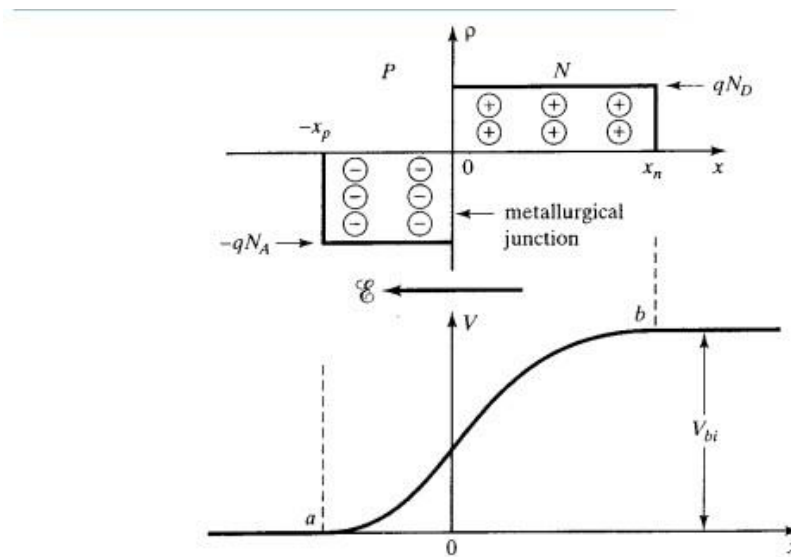


Fig. 2: Región espacial de carga, sentido del campo eléctrico y potencial de contacto en equilibrio térmico.

Se ha supuesto que la región espacial de carga contiene únicamente átomos de impurezas ionizados (en realidad existen unas pequeñas concentraciones de portadores móviles - electrones y huecos- despreciables frente a las concentraciones de impurezas) y que más allá de esta región los materiales (P y N) son neutros.

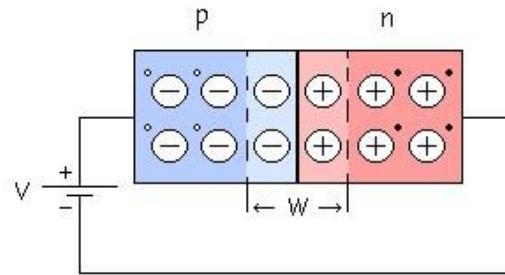
Si consideramos, por ejemplo, el semiconductor de tipo N, en todo este semiconductor existen N_D impurezas por unidad de volumen, pero en la zona neutra la carga de los iones es compensada con la de los portadores móviles mayoritarios (electrones) mientras que en la zona próxima a la unión la carga de los iones dadores cargados positivamente no es compensada.

Observamos como la zona N de la región espacial de carga se extiende desde $x = 0$ hasta $x = x_n$, mientras que la zona P se extiende desde $x = 0$ hasta $x = -x_p$. La línea que separa las dos regiones está en $x = 0$ y corresponde a la unión metalúrgica de las regiones P y N.

2.7.- POLARIZACIÓN DIRECTA E INVERSA.

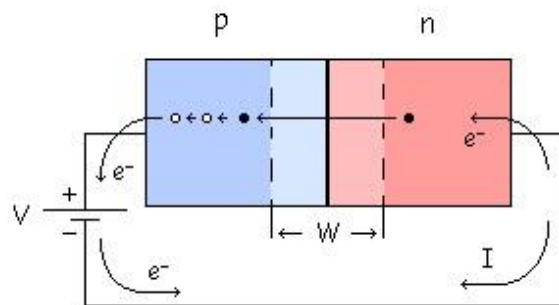
Si el terminal positivo de la fuente está conectado al material tipo p y el terminal negativo de la fuente está conectado al material tipo n, diremos que estamos en "Polarización Directa".

La conexión en polarización directa tendría esta forma:



En este caso tenemos una corriente que circula con facilidad, debido a que la fuente obliga a que los electrones libres y huecos fluyan hacia la unión. Al moverse los electrones libres hacia la unión, se crean iones positivos en el extremo derecho de la unión que atraerán a los electrones hacia el cristal desde el circuito externo.

Así los electrones libres pueden abandonar el terminal negativo de la fuente y fluir hacia el extremo derecho del cristal. El sentido de la corriente lo tomaremos siempre contrario al del electrón.



Lo que le sucede al electrón: Tras abandonar el terminal negativo de la fuente entra por el extremo derecho del cristal. Se desplaza a través de la zona n como electrón libre.

En la unión se recombina con un hueco y se convierte en electrón de valencia. Se desplaza a través de la zona p como electrón de valencia. Tras abandonar el extremo izquierdo del cristal fluye al terminal positivo de la fuente.

Existe una pequeña corriente en polarización inversa, porque la energía térmica crea continuamente pares electrón-hueco, lo que hace que haya pequeñas concentraciones de portadores minoritarios a ambos lados, la mayor parte se recombina con los mayoritarios pero los que están en la z.c.e. pueden vivir lo suficiente para cruzar la unión y tenemos así una pequeña corriente.

La zona de deflexión empuja a los electrones hacia la derecha y el hueco a la izquierda, se crea así una "Corriente Inversa de Saturación" (I_S) que depende de la temperatura.

$$T^{\alpha} \uparrow \Rightarrow I_S \uparrow$$

Además, hay otra corriente "Corriente Superficial de Fugas" causada por las impurezas del cristal y las imperfecciones en su estructura interna. Esta corriente depende de la tensión de la pila (V ó V_p).

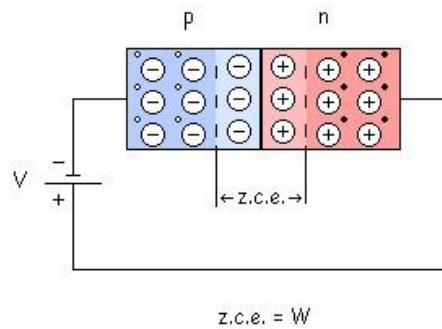
$$V \uparrow \Rightarrow I_f \uparrow$$

Entonces la corriente en inversa (I ó I_R) será la suma de esas dos corrientes:

$$I = I_S + I_f$$

Se invierte la polaridad de la fuente de continua, el diodo se polariza en inversa, el terminal negativo de la batería conectado al lado p y el positivo al n, esta conexión se denomina "Polarización Inversa".

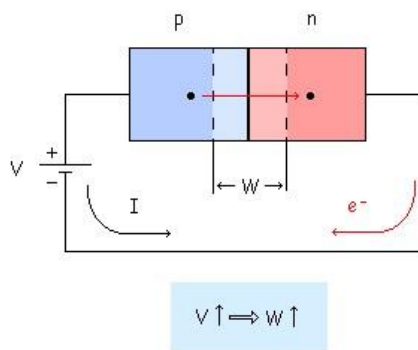
En la siguiente figura se muestra una conexión en inversa:



El terminal negativo de la batería atrae a los huecos y el terminal positivo atrae a los electrones libres, así los huecos y los electrones libres se alejan de la unión y la z.c.e. se ensancha.

A mayor anchura de la z.c.e. mayor diferencia de potencial, la zona de deplexión deja de aumentar cuando su diferencia de potencial es igual a la tensión inversa aplicada (V), entonces los electrones y huecos dejan de alejarse de la unión.

A mayor la tensión inversa aplicada mayor será la z.c.e.



Existe una pequeña corriente en polarización inversa, porque la energía térmica crea continuamente pares electrón-hueco, lo que hace que haya pequeñas concentraciones de portadores minoritarios a ambos lados, la mayor parte se recombina con los mayoritarios pero los que están en la z.c.e. pueden vivir lo suficiente para cruzar la unión y tenemos así una pequeña corriente.

La zona de deflexión empuja a los electrones hacia la derecha y el hueco a la izquierda, se crea así una "Corriente Inversa de Saturación" (I_S) que depende de la temperatura.

$$T^{\circ} \uparrow \Rightarrow I_S \uparrow$$

Además, hay otra corriente "Corriente Superficial de Fugas" causada por las impurezas del cristal y las imperfecciones en su estructura interna. Esta corriente depende de la tensión de la pila (V ó V_p).

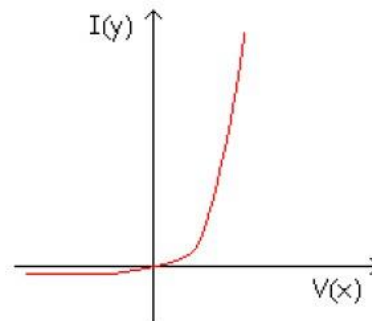
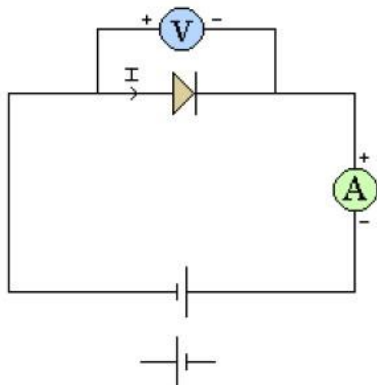
$$V \uparrow \Rightarrow I_f \uparrow$$

Entonces la corriente en inversa (I ó I_R) será la suma de esas dos corrientes:

$$I = I_S + I_f$$

2.8.- CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO; MODELOS DEL DIODO.

Se le van dando distintos valores a la pila y se miden las tensiones y corrientes por el diodo, tanto en directa como en inversa (variando la polarización de la pila). Y así obtenemos una tabla que al ponerla de forma gráfica sale algo así:

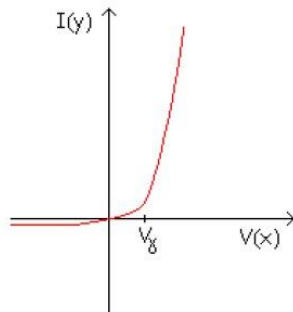


En la zona directa tenemos dos características importantes:

- Hay que vencer la barrera de potencial (superar la tensión umbral V_{δ}) para que conduzca bien en polarización directa (zona directa).
- Aparece una resistencia interna (el diodo se comporta aproximadamente como una resistencia).

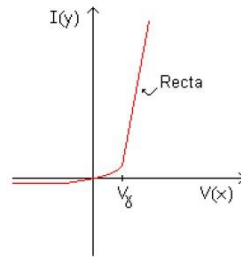
Tensión Umbral

Como ya se ha dicho antes es el valor de la tensión a partir del cual el diodo conduce mucho. A partir de la Tensión Umbral ó Barrera de Potencial la intensidad aumenta mucho variando muy poco el valor de la tensión.



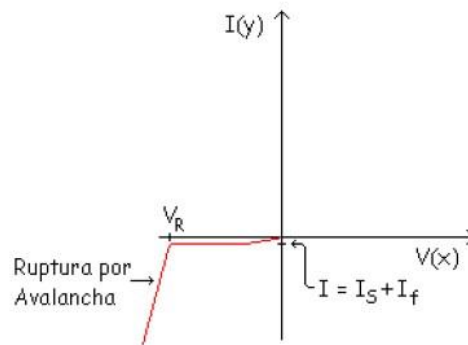
Resistencia Interna

A partir de la tensión umbral se puede aproximar, esto es, se puede decir que se comporta como una resistencia.



La zona inversa

En polarización inversa teníamos un corriente que estaba formada por la suma de los valores de la corriente I_S y la corriente de fugas I_f :



Hay que tener cuidado, no hay que llegar a V_R porque el diodo se rompe por avalancha (excepto si es un Zener).

2.9.- EL DIODO COMO ELEMENTO DE CIRCUITO, CIRCUITOS CON DIODOS.

Los métodos de análisis de circuitos del capítulo I son aplicables a los circuitos no lineales. Es decir, un circuito que contenga diodos se resuelve planteando las ecuaciones topológicas (leyes de Kirchoff) junto a las constitutivas de los distintos elementos. De esta manera dispondremos de un sistema de ecuaciones cuya solución es la del circuito. La presencia de elementos no lineales, como el diodo, limita la utilización de los teoremas de superposición, Thévenin y Norton a las partes del circuito que sean lineales. En este apartado mostramos los pasos a dar para resolver un circuito con diodos. Veremos cómo será necesario definir algunos conceptos que van a resultar fundamentales en electrónica.

Para que la exposición sea más clara la realizaremos en base al análisis de un circuito particular, sin embargo, el procedimiento es genérico.

Calculemos, pues, la caída de tensión y la corriente que fluye en el diodo del circuito de la Figura 2.12. Este circuito contiene algunos elementos lineales (dos fuentes independientes invariables en el tiempo y tres resistencias) y un solo diodo real. Al ser las fuentes invariables en el tiempo el problema es de régimen estático (corriente continua). Son datos los valores de todos los elementos lineales y la característica i-v del diodo; esto es no disponemos de los valores de los parámetros de modelo del diodo sino una gráfica cuyos ejes nos dan los valores de la corriente y la tensión.

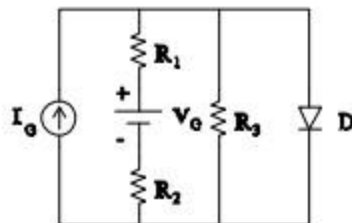


Figura 2.12 Circuito ejemplo con diodo

Antes de plantear las ecuaciones topológicas resulta conveniente simplificar el circuito. Para ello calculamos el circuito equivalente Thévenin de la subred lineal, que es la parte del circuito que “ve” el diodo; también podemos decir que es la “carga” del diodo. Para el cálculo del equivalente Thévenin nos ayudamos de la Figura 2.13.

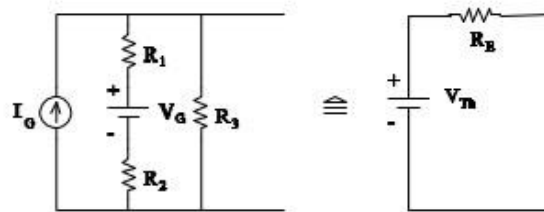


Figura 2.13 Cálculo del equivalente

R_E es la resistencia equivalente “vista” desde los nudos terminales. Para el cálculo anulamos las fuentes y quedan las resistencias R_1 y R_2 conectadas en serie y éstas en paralelo con R_3 . De manera que

$$R_E = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.15)$$

La fuente V_{Th} tiene el valor de la caída de tensión entre los nudos terminales cuando éstos están abiertos. Operando

$$V_{Th} = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \left(I_G + \frac{V_G}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.16)$$

si V_G e I_G son positivas también lo será V_{Th} .

Con esto nuestro circuito es mucho más simple (Figura 2.14). La carga del diodo es la asociación en serie de la fuente V_{Th} y la resistencia equivalente R_E . Hemos de determinar la corriente I_D y la caída de tensión V_D .

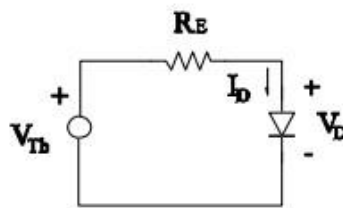


Figura 2.14 Circuito equivalente Thévenin del circuito de la Figura 2.12

Ahora es factible realizar una discusión cualitativa: dado que V_{Th} es positiva, la fuente impulsará una corriente positiva hacia la resistencia, como esa corriente positiva es la que atraviesa al diodo, éste operará en la región directa (en inversa la corriente es negativa).

Además, si este diodo fuese ideal conoceríamos su ecuación constitutiva ($V_D=0$), es un cortocircuito) y podríamos calcular el valor de la corriente I_D ,

$$I_D = \frac{V_{Th}}{R_E} = I_G + \frac{V_G}{R_1 + R_2} \quad (2.17)$$

Pero el diodo no es ideal y debemos seguir con nuestro análisis. Escribamos la ecuación de la ley de Kirchoff de las tensiones haciendo uso de la ley de Ohm (que es la ecuación constitutiva de RE),

$$-V_{Th} + I_D R_E + V_D = 0 \quad (2.18)$$

Para terminar de resolver el problema necesitamos incorporar al análisis otra ecuación con que plantear un sistema en I_D y V_D . Dicha ecuación es la constitutiva del diodo, que en régimen estático es un resistor y tendrá la forma $I_D = f(V_D)$. Sin embargo, no disponemos de ella ya que sólo conocemos la característica i-v del diodo.

El método gráfico de resolución de un sistema de ecuaciones nos va a permitir avanzar. Este método consiste en representar todas las ecuaciones del sistema sobre un mismo sistema de ejes y determinar

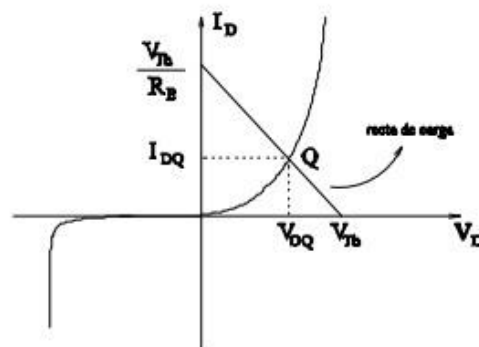
la solución (si la hay) por el punto de corte de las gráficas. En nuestro caso el número de incógnitas es dos, por lo que la representación gráfica la haríamos en dos dimensiones.

Representemos, en un sistema de ejes V_D , I_D la ecuación despejando la corriente

$$I_D = \frac{V_{Th} - V_D}{R_E} = -\frac{1}{R_E} V_D + \frac{V_{Th}}{R_E} \quad (2.19)$$

Que es una línea recta cuya pendiente es $-1/R_E$ y tiene por ordenada en el origen el valor V_{Th}/R_E . Físicamente esta recta representa la carga del diodo, por eso la llamaremos recta de carga.

En el mismo sistema de ejes representaremos también la curva característica i-v del diodo real (Figura 2.15).



Las gráficas se cortan en el punto Q que es la solución buscada. Las coordenadas de Q son (V_{DQ}, I_{DQ}) . Estos valores son conocidos ya que podemos leerlos sobre los ejes de la característica del diodo. Llamaremos a Q “punto de operación del diodo” porque en dicho punto opera el dispositivo. Otros nombres del punto de operación son punto de reposo o punto de trabajo. Observamos que se confirma nuestro resultado cualitativo por cuanto el punto de operación está situado en la región de conducción de la característica i - v del diodo.

Los conceptos de recta de carga y punto de operación de un elemento no lineal son fundamentales en la electrónica porque permiten especificar dónde está polarizado el elemento. La palabra polarizado es sinónima a alimentado en el sentido de la región de la característica i - v (para el diodo pueden ser ruptura, corte o conducción) en que las fuentes de alimentación y las resistencias fuerzan la operación del elemento. De hecho, la red resistiva que carga al diodo se diseña para mantener al elemento no lineal en el punto Q .

Podemos resolver ahora el circuito anterior, pero con el diodo invertido tal como mostramos en la Figura 2.16. En este caso el sentido de la corriente I_D y la polaridad de la caída de tensión V_D son opuestas al caso anterior.

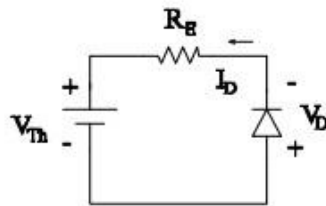


Figura 2.16 Circuito con el diodo invertido

La recta de carga del circuito de la Figura 2.16 es

$$I_D = -\frac{1}{R_E} V_D + \frac{V_{Th}}{R_E} \quad (2.20)$$

de modo que la solución es la mostrada en la Figura 2.17

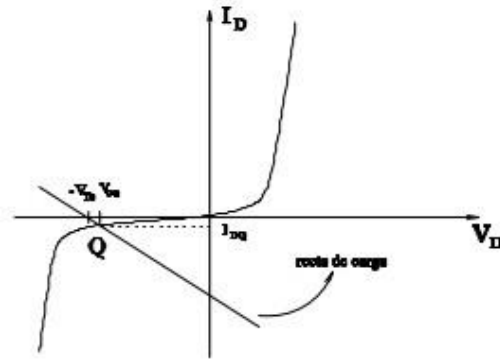


Figura 2.17

El punto de operación corresponde a la región inversa de la característica del diodo. En la Figura 2.17 se ha supuesto que $V_T h$ es tal que el diodo opera en corte (su valor es menor que la tensión Zener). Sin embargo, si $V_T h$ fuese mayor que la tensión Zener el diodo

operaría en la región de ruptura (Figura 2.18). Esto muestra que seleccionando el valor de las fuentes V_G e I_G y el de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 , es decir seleccionando V_T h podemos situar al diodo en la región deseada (dar la vuelta al diodo es lo mismo que hacer V_T h negativa). Conclusión: con la red resistiva de carga polarizamos al diodo allí donde queramos.

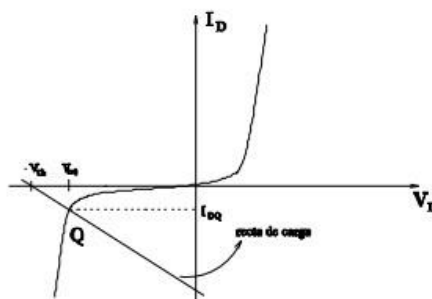


Figura 2.18

Como ejemplo de la utilización del modelo lineal a tramos resolveremos el primer circuito de nuevo suponiendo que son conocidos los parámetros del modelo R_s , R_z , V_Z y V_g . El diodo del circuito de la Figura 2.14 opera en la región directa (el análisis cualitativo sigue siendo válido), por lo tanto, con el circuito equivalente del diodo propuesto por el modelo lineal a tramos nos queda el esquemático de la Figura 2.19 donde hemos eliminado el diodo ideal del modelo ya que es un cortocircuito.

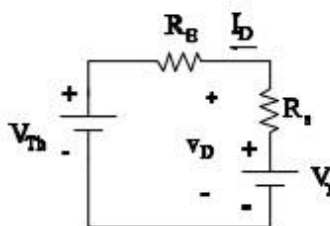


Figura 2.19 Modelo del diodo de la Figura 2.14 operando en región directa

Podemos escribir la ecuación

$$I_D = \frac{V_D - V_\gamma}{R_s} \quad (2.21)$$

que es una aproximación algebraica de la curva característica i-v en la zona directa, es decir, es la ecuación constitutiva del diodo. Junto a la expresión de la recta de carga en este circuito podemos determinar el punto de operación

$$V_{DQ} = \frac{R_E R_s}{R_E + R_s} \left(\frac{V_{Th}}{R_E} + \frac{V_\gamma}{R_s} \right) \quad (2.22)$$

Una vez sustituidos los datos numéricos hemos de corroborar que el punto de operación está ubicado en la región de conducción (conforme a la hipótesis que hemos realizado fruto del análisis cualitativo). En caso que no sea así repetiremos los cálculos utilizando el modelo en otra región (ruptura o corte). Las soluciones del circuito con el diodo invertido pueden ser dos dependiendo de si la tensión V_{Th} resulta mayor o menor que la tensión de ruptura, V_z . Si V_{Th}

$$0 = -\frac{1}{R_E} V_{DQ} - \frac{V_{Th}}{R_E} \Rightarrow V_{DQ} = -V_{Th} \quad (2.23)$$

En caso contrario, utilizando el tramo correspondiente a la región de ruptura del modelo lineal a tramos queda el siguiente sistema de ecuaciones y la solución indicada (Figura 2.20)

$$\left. \begin{aligned} I_{DQ} &= \frac{1}{R_z} V_{DQ} - \frac{V_z}{R_z} \\ I_{DQ} &= \frac{1}{R_E} V_{DQ} - \frac{V_{Th}}{R_E} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} I_{DQ} = \frac{1}{R_z} (V_{Th} + V_z) \\ V_{DQ} = \frac{R_E R_z}{R_E + R_z} \left(\frac{V_z}{R_z} + \frac{V_{Th}}{R_E} \right) \end{cases} \quad (2.24)$$

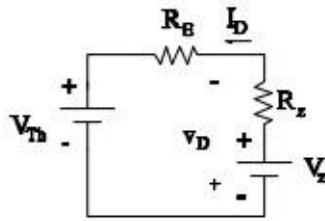


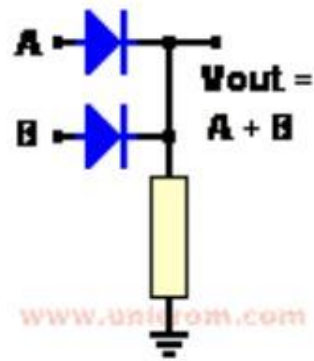
Figura 2.20 Modelo del diodo de la Figura 2.14 operando en región de ruptura

2.10.- PUERTAS LÓGICAS CON DIODOS.

La lógica con diodos utiliza el hecho de que los diodos conducen en un sentido, pero no en el opuesto (funcionamiento de un interruptor o switch)

Compuerta OR implementada con diodos

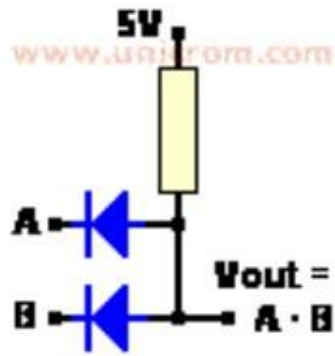
En este tipo de compuerta, si una o las dos entradas están a un "1" lógico (5 voltios), pasará corriente a través de uno o los dos diodos. Esta corriente atravesará la resistencia que a su vez tendrá un voltaje alto entre sus terminales obteniéndose así un "1" lógico a la salida. Con este arreglo se obtiene un "0" lógico a la salida, solamente cuando ambas entradas están en nivel bajo ("0" lógico). Así, ninguno de los dos diodos conduce, no hay corriente por la resistencia y tampoco hay caída de voltaje. Como consecuencia el voltaje en V_{out} es lo mismo que tierra (0 voltios)



Compuerta AND implementada con diodos

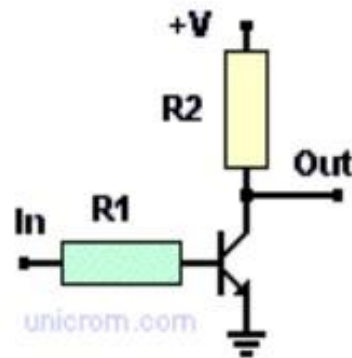
Cuando en esta compuerta lógica las dos entradas están en nivel alto ("1"), los dos diodos están polarizados en reversa y no conducen corriente y por lo tanto en la salida hay un nivel lógico alto ("1")
 Compuerta AND de dos entradas implementada con diodos Si una de las entradas está en nivel bajo, entonces la salida será de nivel bajo ("0"), pues pasará corriente a través de la resistencia y el diodo cuyo cátodo este puesto a tierra. De esta manera el ánodo del diodo (la salida) estará a nivel bajo.

Este método funciona muy bien cuando estos circuitos son sencillos. Pero aparece un problema cuando se realiza una interconexión de compuertas.



Compuerta NOT (compuerta inversora) en tecnología RTL

La forma más sencilla de obtener una compuerta NOT o inversora con tecnología RTL es con el siguiente circuito.



2.11.- OTROS TIPOS DE DIODOS: DIODO ZENER, DIODO VARACTOR, LED.

Es un dispositivo pequeño con características desproporcionadas y cuyas aplicaciones se utilizan principalmente en dispositivos de alta frecuencia y corrientes muy bajas, como radios y televisores, etc. Para proteger el diodo de la contaminación, está envuelto con una vidrio por lo que también se denomina Diodo de vidrio y se usa ampliamente un ejemplo es el famoso 1N4148.

La apariencia del diodo de señal es muy pequeña en comparación con el diodo de potencia. Para indicar el terminal del cátodo, un borde está marcado con un color negro o rojo. Para las aplicaciones a altas frecuencias, el rendimiento del diodo de señal pequeño es muy efectivo.

Con respecto a las frecuencias funcionales del diodo de señal, la capacidad de carga de la corriente y la potencia son muy bajas, las máximas son 150mA y 500mW respectivamente.

El diodo de señal es un diodo semiconductor dopado con silicio o un diodo dopado con germanio, pero dependiendo del material dopante, las características del diodo varían. En el diodo de señal, las características del diodo dopado con silicio son aproximadamente opuestas al diodo dopado con germanio.

El diodo de señal de silicio tiene una caída de voltaje alta en el acoplamiento de aproximadamente 0.6 a 0.7 voltios, por lo tanto, tiene una resistencia muy alta pero baja resistencia cuando esta polarizado. Por otro lado, el diodo de señal de germanio tiene baja resistencia debido a una baja caída de voltaje de casi 0,2 a 0,3 voltios y una alta resistencia cuando esta polarizado. Debido a la pequeña señal, el punto funcional no se interrumpe en un pequeño diodo de señal.

MATERIAL WEB COMPLEMENTARIO

<https://www.youtube.com/watch?v=cy50YR7kr8c>

UNIDAD III EL TRANSISTOR BIPOLAR (BJT)

3.1.- ESTRUCTURA FÍSICA: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. TRANSISTOR BIPOLAR PNP Y NPN.

La estructura física de un transistor bipolar consta de dos uniones PN dispuestas una a continuación de la otra. Entre los terminales de emisor y base hay una unión PN, denominada unión emisora, y entre los de base y colector otra unión PN, llamada unión colectora.

Tipos

Hay dos tipos de transistores bipolares: el NPN y el PNP. Estos nombres proceden de la descripción de su estructura física. En el transistor NPN el emisor es un semiconductor tipo N, la base es tipo P y el colector es tipo N. La estructura física del transistor PNP es dual a la anterior cambiando las regiones P por regiones N, y las N por P.



Transistor bipolar

El emisor ha de ser una región muy dopada (de ahí la indicación p+). Cuanto más dopaje tenga el emisor, mayor cantidad de portadores podrá aportar a la corriente.

La base ha de ser muy estrecha y poco dopada, para que tenga lugar poca recombinación en la misma, y prácticamente toda la corriente que proviene de emisor pase a colector. Además, si la base no es estrecha, el dispositivo puede no comportarse como un transistor, y trabajar como si de dos diodos en oposición se tratase.

El colector ha de ser una zona menos dopada que el emisor. Las características de esta región tienen que ver con la recombinación de los portadores que provienen del emisor.

Funcionamiento

Entre los terminales de colector (C) y emisor (E) se aplica la potencia a regular, y en el terminal de base (B) se aplica la señal de control gracias a la que se controla la potencia. Con pequeñas variaciones de corriente a través del terminal de base, se consiguen grandes variaciones a través de los terminales de colector y emisor. Si se coloca una resistencia se puede convertir esta variación de corriente en variaciones de tensión según sea necesario.

Fundamento físico del efecto transistor

El transistor bipolar basa su funcionamiento en el control de la corriente que circula entre el emisor y el colector del mismo, mediante la corriente de base. En esencia un transistor se puede considerar como un diodo en directa (unión emisor-base) por el que circula una corriente elevada, y un diodo en inversa (unión base-colector), por el que, en principio, no debería circular corriente, pero que actúa como una estructura que recoge gran parte de la corriente que circula por emisor-base.

Se dispone de dos diodos, uno polarizado en directa (diodo A) y otro en inversa (diodo B). Mientras que la corriente por A es elevada (I_A), la corriente por B es muy pequeña (I_B). Si se unen ambos diodos, y se consigue que la zona de unión (lo que llamaremos base del transistor) sea muy estrecha, entonces toda esa corriente que circulaba por A (I_A), va a quedar absorbida por el campo existente en el diodo B.

De esta forma entre el emisor y el colector circula una gran corriente, mientras que por la base una corriente muy pequeña. El control se produce mediante esta terminal de base porque, si se corta la corriente por la base ya no existe polarización de un diodo en inversa y otro en directa, y por tanto no circula corriente.

Polarización

Polarizar un transistor bipolar implica conseguir que las corrientes y tensiones continuas que aparecen en el mismo queden fijadas a unos valores previamente decididos. Es posible polarizar el transistor en zona activa, en saturación o en corte, cambiando las tensiones y componentes del circuito en el que se engloba.

Corte

Cuando el transistor se encuentra en corte no circula corriente por sus terminales. Concretamente, y a efectos de cálculo, decimos que el transistor se encuentra en corte cuando se cumple la condición: $I_E = 0$ ó $I_E < 0$ (Esta última condición indica que la corriente por el emisor lleva sentido contrario al que llevaría en funcionamiento normal). Para polarizar el transistor en corte basta con no polarizar en directa la unión base-emisor del mismo, es decir, basta con que $V_{BE}=0$.

Activa

La región activa es la normal de funcionamiento del transistor. Existen corrientes en todos sus terminales y se cumple que la unión base-emisor se encuentra polarizada en directa y la colector-base en inversa.

Saturación

En la región de saturación se verifica que tanto la unión base-emisor como la base-colector se encuentran en directa.

3.2.- REGIONES DE OPERACIÓN. CURVAS CARACTERÍSTICAS

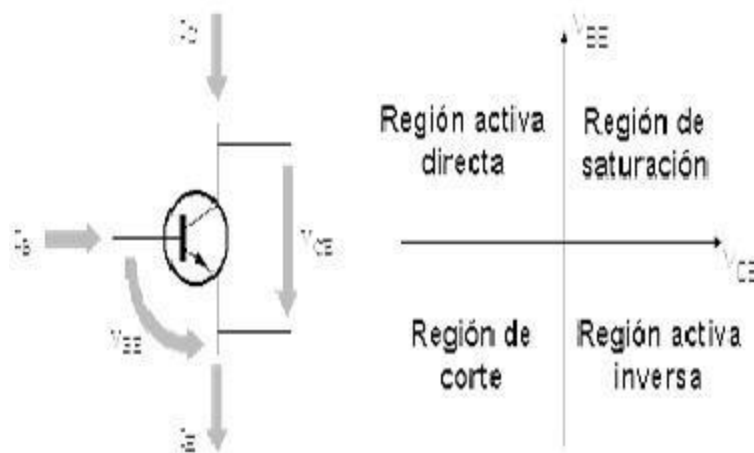
El transistor de juntura bipolar es un dispositivo activo. Inicialmente funcionó como un elemento discreto, pero más adelante con el avance tecnológico paso a tener aplicaciones como componente de los dispositivos de circuitos integrados.

Para hacer trabajar un transistor se necesita de alimentación externa que se conoce como polarización. Dependiendo de dónde se esté aplicando la alimentación al transistor así la polarización recibe un nombre específico.

Igualmente dependiendo de la zona en que esté operando el transistor en un momento dado, así serán los valores de corriente de base, emisor y colector y los voltajes en las junturas...

Modos o regiones de trabajo del transistor

Están identificadas cuatro condiciones típicas de polarización del transistor. Dependiendo del sentido o del signo de voltaje en las junturas, el transistor estará operando en alguna. A continuación, un gráfico que ilustra lo que se ha explicado hasta aquí.

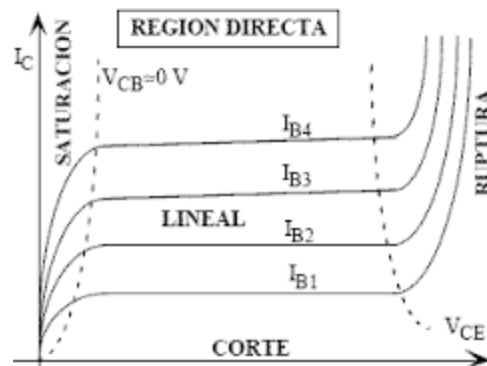


Dependiendo de la condición de polarización, directa o inversa, el transistor estará en una región de trabajo u otra. En el modo activo el transistor estará trabajando como un amplificador y en los modos de corte y saturación el transistor estará en uso como un interruptor.

Table 1: Zonas de trabajo del BJT.

| Modo | pnp | | nnp | |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| | JEB | JCB | JBE | JBC |
| Corte | Inv | Inv | Inv | Inv |
| Activo | Dir | Inv | Dir | Inv |
| Saturación | Dir | Dir | Dir | Dir |

En seguida tenemos las curvas de un transistor mostrándose las curvas características de salida de emisor común, mostrando también las regiones de trabajo



La región activa directa.

Esta región es la que corresponde a una polarización directa de la juntura emisor-base. Es la región de operación normal del transistor para amplificación.

En esta región la corriente de colector es proporcional a la corriente de base.

Se cumple que $I_C = \beta I_B$ β es conocido como la ganancia del transistor.

Región activa inversa.

Corresponde a una polarización inversa de la unión emisor-base y a una polarización directa de la unión colector-base. Esta región es de uso muy poco frecuente.

Región de corte

Aquí se trata de polarización inversa de ambas junturas. La operación en esta región corresponde a aplicaciones de conmutación en el modo de apagado. El transistor actúa como un interruptor abierto ($I_C=0$).

En este caso las dos uniones están polarizadas en inversa, las uniones BE y BC. De esta forma no hay portadores de carga móviles, no puede establecerse ninguna corriente de mayoritarios. Los portadores minoritarios si pueden atravesar las uniones polarizadas en inversa, pero dan lugar a corrientes muy bajas. Entonces, un transistor en corte equivale prácticamente, a un circuito abierto.

Región de saturación

Implica polarización directa de ambas uniones. La operación en esta región corresponde a aplicaciones de conmutación en el modo encendido. El transistor actúa como un interruptor cerrado. ($V_{CE}=0$).

Conclusiones

- El transistor típicamente trabaja en las zonas activa, corte y saturación.
- Si deseamos diseñar un sencillo circuito de amplificación con un transistor debemos hacerlo operar en la región activa.

3.3.- EL TRANSISTOR BIPOLAR COMO ELEMENTO DE CIRCUITO.

Hasta ahora, hemos visto cualitativamente el funcionamiento del BJT, calculando unas corrientes a partir de otras a través de los parámetros α_F y β_F . Pero no sabemos el valor de estos parámetros ni cómo relacionar las corrientes con las tensiones aplicadas. Esto es lo que se pretende hacer en este apartado.

De forma análoga a como se hizo en el caso del diodo, se puede calcular la corriente de emisor (debida a los huecos) a partir de la corriente de difusión en el base justo en el límite de la z.c.e. entre el emisor y la base (se desprecia la recombinación en la z.c.e.). Del mismo modo, la corriente de colector se calcula a partir de la corriente de difusión en el límite de la base con la z.c.e. espacial que comparte con el colector:

$$I_{E_p} = -qAD_p \frac{d\tilde{\phi}_n(x_n=0)}{dx_n}$$

$$I_{C_p} = -qAD_p \frac{d\tilde{\phi}_n(x_n=W_b)}{dx_n}$$

Por tanto, lo primero que hay que hacer es resolver la ecuación de difusión para calcular el perfil de minoritarios inyectados en la base ($\tilde{\phi}_n$):

$$\frac{d^2 \tilde{\phi}_n(x_n)}{dx_n^2} = \frac{\tilde{\phi}_n(x_n)}{L_p^2}$$

Solución de la ecuación de difusión en la base

En activa, el emisor inyecta huecos de forma que se genera un exceso en la base, justo en el borde de la z.c.e., igual a:

$$\Delta p_E = \tilde{\phi}_n(0) = p_{n0}(e^{V_{be}/V_T} - 1) \approx p_n e^{V_{be}/V_T}.$$

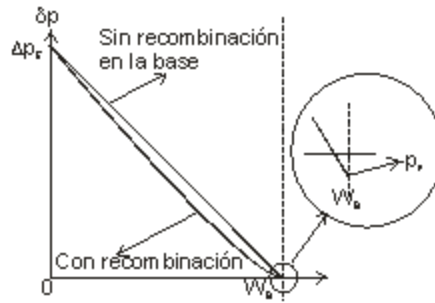
En el otro borde de la base, los huecos son barridos por el campo eléctrico hacia el colector, de modo que:

$$\Delta p_C = \tilde{\phi}_n(W_b) = -p_{n0}.$$

Si no hubiese corriente de base, el gradiente $\frac{d\tilde{\phi}_n}{dx_n}$ sería el mismo en el colector y el emisor

(para tener la misma corriente, como indican las ecuaciones. Por tanto, la solución de la ecuación de difusión sería una línea recta, como se indica en la figura inferior.

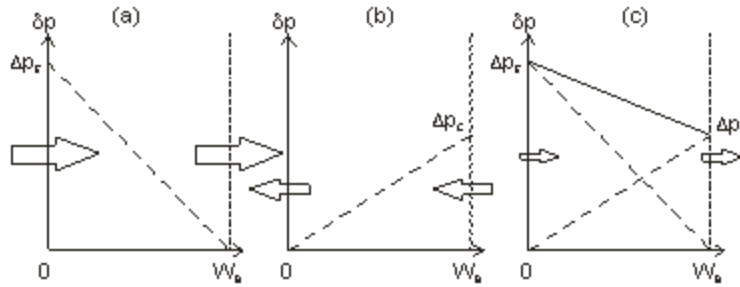
Sin embargo, la corriente de base no es nula, aunque sí pequeña, por lo que la solución real no es exactamente una línea recta, aunque se aproxima bastante (por debajo, para obtener menos gradiente en el lado del colector):



Exceso de minoritarios en la base en función de la posición (activa)

En activa inversa, se obtiene una solución completamente análoga, pero intercambiando los papeles del emisor y del colector.

Como la ecuación de difusión es lineal, la solución general (con inyección de huecos por parte del emisor y del colector) puede expresarse como la superposición de las soluciones obtenidas en activa (inyección sólo por parte del emisor) y activa inversa (inyección sólo por parte del colector). Esto se ilustra en la siguiente figura:



Concentración y flujo de minoritarios en la base (c) como superposición de la solución de la ecuación de difusión en activa (a) y en activa inversa (b)

Puede comprobarse fácilmente que la solución de la ecuación de difusión (3.10) es:

$$\bar{\phi}(x_n) = \Delta p_B \frac{e^{(W-x_n)/L_s} - e^{-(W-x_n)/L_s}}{e^{W/L_s} - e^{-W/L_s}} + \Delta p_C \frac{e^{x_n/L_s} - e^{-x_n/L_s}}{e^{W/L_s} - e^{-W/L_s}}$$

Efectivamente se observa que la solución es la suma de dos términos con la misma forma, cada uno debido a la contribución de una de las uniones.

Evaluación de las corrientes

Conocido $\bar{\phi}(x_n)$, podemos calcular ya las corrientes (). Al realizar las derivadas, se obtendrá que, como sucedía con la concentración de minoritarios en la base, las corrientes también son superposición de la contribución de ambas uniones.

Suponiendo que $I_E = I_C$ (esto es, que la eficiencia de emisor γ es igual a 1) se obtiene:

$$\begin{aligned} I_E &= A \left\{ e^{V_{be}/V_T} - 1 \right\} - B \left\{ e^{V_{bc}/V_T} - 1 \right\} \\ I_C &= B \left\{ e^{V_{be}/V_T} - 1 \right\} - A \left\{ e^{V_{bc}/V_T} - 1 \right\} \\ I_B &= I_E - I_C, \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} A &= \frac{qAD_p}{L_p} \coth \left(\frac{W_b}{L_p} \right) P_{n0} \\ B &= \frac{qAD_p}{L_p} \cosh \left(\frac{W_b}{L_p} \right) P_{n0} \end{aligned}$$

3.4.- EL MODELO DE DIODOS ACOPLADOS. ECUACIONES DE EBERS-MOLL

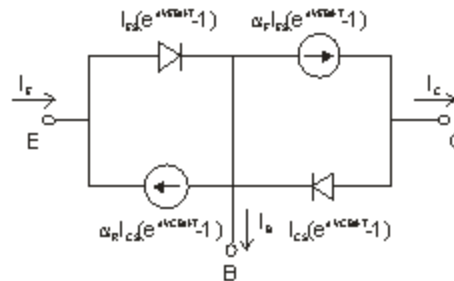
Introducción

Las ecuaciones vistas en el apartado anterior (dependientes de la geometría) sólo son válidas para ese caso concreto de geometría uniforme y simple y suponiendo, además, $\gamma = 1$. En este apartado pretendemos generalizarlas, buscando expresiones adecuadas para cualquier geometría y dependientes de parámetros fácilmente medibles.

Para ello, nos basaremos en las ecuaciones y conclusiones del apartado anterior: la inyección de portadores en la base se puede descomponer en dos contribuciones debidas a dos diodos independientes.

Pero además de la corriente de emisor o colector debida a estos diodos, debemos superponer la contribución de los inyectados por el otro electrodo (colector o emisor) en la base y que llegan, respectivamente, al emisor o al colector.

Esta descripción se corresponde con el siguiente circuito equivalente:



3.5.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN BJT

Vemos pues que este modelo está descrito por la corriente de dos diodos independientes y de dos fuentes de corriente que dan cuenta del acoplamiento entre las dos uniones de la estructura.

Las ecuaciones de Ebers-Moll son las expresiones que relacionan las corrientes y tensiones en el BJT de acuerdo con este modelo de diodos acoplados.

Ecuaciones de Ebers-Moll

Según el modelo de diodos acoplados presentado anteriormente, las corrientes en los tres terminales de un BJT vienen dadas por las siguientes expresiones (conocidas como *ecuaciones de Ebers-Moll*):

$$\begin{aligned} I_E &= I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) - \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) \\ I_C &= \alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) \\ I_B &= I_E - I_C \end{aligned}$$

Con el convenio de signos seguido en este trabajo, en el caso de un transistor npn las ecuaciones son exactamente iguales que las de un pnp. Sólo hay que cambiar las tensiones de signo o, lo que es lo mismo, sustituir V_{BB} por V_{BE} y V_{CB} por V_{BC} .

- En muchos textos se definen como positivas las corrientes entrantes en el dispositivo. Con ese convenio de signos, habría que cambiar el signo en los sumandos del miembro de la derecha de la ecuación correspondiente a I_C y $I_B = -I_E - I_C$.

- Con $V_{CB} = 0$ V (y, en general, en la región activa) se cumple:

$$\begin{aligned} I_E &= I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) \\ I_C &= \alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) \\ I_B &= (1 - \alpha_F) I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) \end{aligned}$$

Por tanto, tal y como habíamos definido en la introducción de este tema, se cumple que (en *activa*):

$$\frac{I_C}{I_B} = \alpha_F$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} \equiv \beta_F$$

- Como puede verse, si cortocircuitamos la base y el colector, el BJT se comporta como un diodo.
- Análogamente, en la región activa inversa se cumple que:

$$\left. \frac{I_B}{I_C} \right)_{\text{activa inversa}} = \alpha_R$$

- Como se ha comentado anteriormente, las ecuaciones de Ebers-Moll son dependientes de cuatro parámetros. Sin embargo, puede demostrarse que se cumple la siguiente relación entre ellos:

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

- Por tanto, sólo quedan tres parámetros independientes.

3.6.- OTROS MODELOS DC

Versión de transporte de las ecuaciones de Ebers-Moll

Basándonos en la relación podemos expresar las ecuaciones de Ebers-Moll como:

$$I_E = \frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{V_{BE}/V_T} - 1 \right) - I_S \left(e^{V_{BC}/V_T} - 1 \right)$$

$$I_C = I_S \left(e^{V_{BE}/V_T} - 1 \right) - \frac{I_{CS}}{\alpha_R} \left(e^{V_{BC}/V_T} - 1 \right)$$

$$I_B = I_E - I_C$$

Estas expresiones se conocen como la versión de transporte de las ecuaciones de Ebers-Moll.

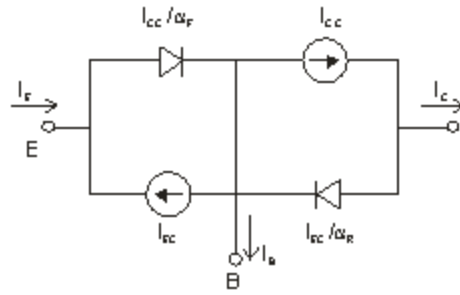
En estas ecuaciones cambia el punto de vista respecto de las ecuaciones de Ebers-Moll. En lugar de expresar la corriente de las fuentes de corriente en función de la corriente que pasa por los diodos (mediante los coeficientes α_F y α_R), expresamos la corriente que pasa por los diodos en función de la de las fuentes de corriente.

De acuerdo con esto, se definen las corrientes de las fuentes de corriente como:

$$I_{EC} = I_S \left(e^{V_{BE}/V_T} - 1 \right)$$

$$I_{CC} = I_S \left(e^{V_{BC}/V_T} - 1 \right)$$

Y el circuito equivalente queda del siguiente modo:



Versión de transporte del modelo de diodos acoplados

Versión de Spice

Puesto que las ecuaciones de Ebers-Moll tienen sólo tres parámetros independientes, se puede buscar un modelo en el que sólo aparezcan tres elementos en lugar de cuatro.

El modelo de Spice conecta directamente el emisor con el colector. Para obtenerlo, primero se calcula la corriente de base a partir de la figura anterior:

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{I_{CC}}{\alpha_F} + \frac{I_{EC}}{\alpha_R} - I_{EC} - I_{CC} = \\
 &= I_{EC} \left(\frac{1}{\alpha_R} - 1 \right) + I_{CC} \left(\frac{1}{\alpha_F} - 1 \right) = \frac{I_{EC}}{\beta_R} + \frac{I_{CC}}{\beta_F}
 \end{aligned}$$

Es decir, podemos expresar la corriente de base como la contribución de dos diodos, con corriente inversa de saturación igual a I_S/β_F e I_S/β_R , respectivamente.

Evidentemente, ninguna de estas corrientes es igual a la de emisor ni a la de colector, por lo que debemos añadir más elementos al circuito equivalente. La corriente de emisor viene dada por:

$$\begin{aligned}
 I_E &= \frac{I_{CC}}{\alpha_F} - I_{EC} = \left(\frac{\beta_F + 1}{\beta_F} \right) I_{CC} - I_{EC} = \\
 &= I_{CC} - I_{EC} + \frac{I_{CC}}{\beta_F}
 \end{aligned}$$

Análogamente:

$$I_C = I_{CC} - I_{EC} + \frac{I_{EC}}{\beta_R}$$

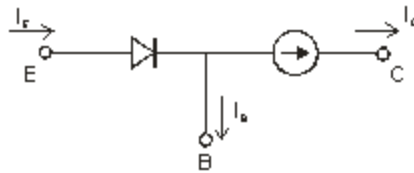
El último sumando de las ecuaciones ya está incluido en la expresión de la corriente de base, mientras que el resto es el mismo en ambas expresiones. Por tanto, podemos expresar estas ecuaciones mediante el siguiente circuito equivalente.

Modelos simplificados para análisis a mano

Según la región en la que se encuentre operando el transistor, se pueden eliminar algunos elementos de los anteriores modelos, simplificando notablemente el modelo. Además, los diodos se pueden sustituir a su vez, para la resolución a mano de circuitos, por su correspondiente modelo (ideal con desplazamiento o lineal a trozos).

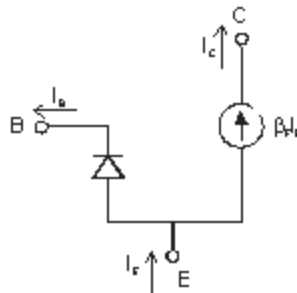
Activa

En la región activa podemos eliminar los elementos dependientes de la exponencial e^{V_{BE}/V_T} . El circuito basado en las ecuaciones de Ebers-Moll queda entonces como:



Versión simplificada del modelo de diodos acoplados válida en la región activa El diodo se puede sustituir a su vez (para cálculos sencillos a mano) por una pila de 0.6-0.7 V en serie con una resistencia r_d .

No obstante, el circuito equivalente en activa usualmente empleado es el que se obtiene a partir de la versión de Spice:



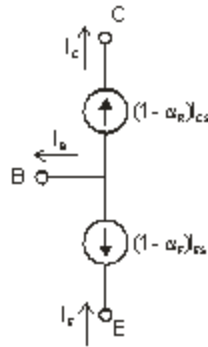
Saturación

En saturación hay que usar el modelo completo. No obstante, se puede simplificar teniendo en cuenta que tenemos dos uniones polarizadas en directo. Por tanto, $V_{BE} = 0.6$ V y $V_{BC} = 0.2$

V.

Corte

En corte, sólo quedan en las ecuaciones de Ebers-Moll los términos correspondientes a las corrientes inversas de saturación de los diodos, que son muy pequeñas. Teniendo en cuenta la relación (3.20) podemos poner el circuito equivalente como:



3.7 EL BJT COMO AMPLIFICADOR

Amplificación es el proceso de incrementar linealmente la amplitud de una señal eléctrica y es una de las propiedades importantes de un transistor. Como lo aprendió, un BJT presenta una ganancia de corriente (llamada b).

Cuando se polariza un BJT en la región activa (o lineal), como previamente se describió, la unión BE tiene baja resistencia debido a la polarización en directa y la unión BC tiene una alta resistencia debido a la polarización en inversa.

Describir cómo se utiliza un BJT como amplificador de voltaje

- Describir la amplificación
- Desarrollar el circuito equivalente de ca de un amplificador BJT básico
- Determinar la ganancia de voltaje de un amplificador BJT básico.

Cantidades de cd y ca

Antes de discutir el concepto de amplificación mediante un transistor, la designación que se utilizará para las cantidades de circuito de corriente, voltaje y resistencia deben ser explicadas porque los circuitos amplificadores tienen tanto cantidades de cd como de ca.

En este texto, se utilizan letras mayúsculas cursivas tanto para corrientes de directa como de alterna (I) y voltajes tanto de directa como de alterna (V). Esta regla se aplica a valores rms, promedio, pico y pico a pico de ca. Los valores de corriente y voltaje de ca siempre son rms a menos que se diga lo contrario. Aunque algunos textos utilizan las letras minúsculas v e i para voltaje y corriente de ca, se reserva el uso de las letras minúsculas i y v sólo para valores instantáneos. En este texto, la distinción entre corriente y voltaje de cd, y corriente y voltaje de ca radica en el subíndice.

El voltaje de entrada de ca produce una corriente alterna en la base, lo cual produce una corriente alterna en el colector mucho más grande. La corriente alterna en el colector produce un voltaje de ca a través de R produciéndose así una reproducción amplificada, pero invertida, del voltaje de entrada de ca en la región activa de operación.

3.8.- EL TRANSISTOR BIPOLAR EN CONMUTACIÓN: FAMILIAS LÓGICAS BIPOLARES.

Una familia lógica es un conjunto de circuitos integrados que implementan distintas operaciones lógicas compartiendo la tecnología de fabricación y en consecuencia, presentan características similares en sus entradas, salidas y circuitos internos. La similitud de estas características facilita la implementación de funciones lógicas complejas al permitir la directa interconexión entre los chips pertenecientes a una misma familia. Teniendo en cuenta el tipo de transistores utilizados como elemento de conmutación, las familias lógicas pueden dividirse en dos grandes grupos: las que utilizan transistores bipolares y las que emplean transistores MOS. La primera familia lógica en aparecer en el mercado, a principios de la década del 60, fue implementada con lógica de transistores bipolares acoplados por emisor (ECL, Emitter Coupled Logic). A fin de desarrollar circuitos de alta velocidad los transistores conducen en zona activa y de esta manera se minimiza el tiempo de conmutación entre conducción y corte.

Casi inmediatamente aparecieron otras familias lógicas basadas en transistores bipolares conmutando entre corte y saturación a fin de reproducir dentro de un chip los circuitos que hasta ese momento se realizaban utilizando componentes discretos. La primera de estas familias fue implementada con resistencias y transistores bipolares y se la identifica como lógica RTL (Resistor Transistor Logic).

La integración de resistencias demanda gran cantidad de área de silicio, reduciendo la cantidad de compuertas que se podían incluir dentro de un mismo chip. Para mejorar el aprovechamiento del área algunas resistencias de los circuitos comenzaron a ser reemplazadas por diodos, principalmente en las etapas de entrada, dando lugar a la aparición de la lógica de diodos y transistores identificada como DTL (Diode Transistor Logic). Finalmente, los transistores multiemisor reemplazaron los diodos y se llegó a una topología circuital que dio lugar a una familia lógica basada fundamentalmente en transistores bipolares y una mínima cantidad de resistencias. Esta familia, denominada lógica TTL (Transistor Transistor Logic), se popularizó rápidamente y mantiene, aún en la actualidad, su vigencia. Con el correr del tiempo la familia TTL se convirtió en un conjunto de familias lógicas que, si bien entre sí difieren en velocidad, consumo de energía y costo, mantienen características de entrada y salida

compatibles de manera que en un sistema digital pueden mezclarse componentes de distintas familias TTL. Los principales inconvenientes de los circuitos con transistores bipolares son el alto consumo y, como consecuencia, la baja escala de integración admisible (cantidad de dispositivos posibles de integrar en un mismo chip) que se relaciona directamente con una baja complejidad del circuito. Como alternativa para soslayar estos inconvenientes y facilitar el aumento del nivel de integración surgieron las familias basadas en transistores de efecto de campo de compuerta aislada (MOS, metal oxide semiconductor) de enriquecimiento. En esta tecnología, los circuitos lógicos pueden ser implementados íntegramente con transistores MOS evitando la presencia de resistencias, en consecuencia, para implementar una función lógica dada se ocupa menor área de silicio con un proceso de fabricación más simple. Además del hecho que, dado que los transistores MOS son controlados por tensión y no permiten la circulación de corriente en sus entradas, requieren menos potencia para su funcionamiento facilitando el aumento de la escala de integración. Teniendo en cuenta que los transistores MOS tienen un único tipo de portadores, y en el caso de los transistores con canal tipo N (NMOS) los portadores son electrones que tienen una movilidad considerablemente mayor que la de los huecos responsables de la conducción en los de canal P (PMOS), las primeras familias lógicas de transistores MOS se basaban en transistores de canal tipo N, siendo conocida como familia NMOS. A fines de los setenta surgieron procesos tecnológicos que permitían integrar transistores canal N y canal P simultáneamente en una misma pastilla. De esta manera surge la tecnología de transistores MOS complementarios (CMOS, complementary MOS).

El conjunto de familias CMOS posee ventajas indudables sobre la TTL, y aún sobre la misma NMOS; sobre todo en cuanto al mínimo consumo de potencia haciendo que rápidamente se estableciera como el estándar dando lugar a un aumento vertiginoso de la escala de integración hasta llegar a poner cientos de millones de transistores en un mismo chip. Las familias TTL no han experimentado cambios importantes en los últimos años, mientras que la permanente evolución de la tecnología CMOS puso a disposición familias CMOS capaces de reemplazar en forma directa los integrados TTL incluso con mejor rendimiento. Las familias TTL siguen estando presentes en el mercado si bien a partir de mediados de los ochenta los circuitos CMOS fueron ganando rápidamente el primer lugar en preferencias.

El importante y permanente desarrollo de la tecnología CMOS llevó a la aparición de circuitos con cada vez mayor velocidad de respuesta y nivel de complejidad, imponiéndose como la preferida en el diseño de microprocesadores y microcontroladores. En los ochenta, la sistematización del diseño de circuitos integrados CMOS abrió la posibilidad de implementar circuitos integrados a medida del

usuario surgiendo importantes líneas de trabajo alrededor del desarrollo de circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, Application Specific Integrated Circuits), con esta tecnología surgen y se desarrollan los dispositivos de lógica programable en campo, y procesos que permiten integrar un sistema complejo completo dentro de un único chip. Hoy la tecnología CMOS ha reemplazado casi totalmente a las tecnologías basadas en transistores bipolares no sólo en circuitos digitales sino también en circuitos analógicos.

3.9.- EL TRANSISTOR MOSFET.

Los problemas que vienen presentando los transistores bipolares o BJT, como son la corriente que soportan y la dependencia de la temperatura a la que se ven sometidos, unas veces por su emplazamiento, otras por un mal trazado y la más evidente, el efecto llamado de avalancha. Estas evidencias, han llevado a que se sustituyan por otros transistores más avanzados, hasta la llegada de los MOSFET.

Las ventajas que presentan este tipo de transistor, han llevado a que ocupen un lugar importante dentro de la industria, desplazando a los viejos BJT a otros fines. Los MOSFET de potencia son muy populares para aplicaciones de baja tensión, baja potencia y conmutación resistiva en altas frecuencias, como fuentes de alimentación conmutadas, motores sin escobillas y aplicaciones como robótica, CNC y electrodomésticos.

La mayoría de sistemas como lámparas, motores, drivers de estado sólido, electrodomésticos, etc. utilizan dispositivos de control, los cuales controlan el flujo de energía que se transfiere a la carga. Estos dispositivos logran alta eficiencia variando su ciclo de trabajo para regular la tensión de salida. Para realizar la parte de conmutación, existen varios dispositivos semiconductores, a continuación, se muestra una tabla con algunos de ellos.

La siguiente es una tabla comparativa de las diversas capacidades entre potencia y velocidad de conmutación de los tipos de dispositivos.

| Dispositivo | Capacidad de Potencia | Velocidad de conmutación |
|-------------|-----------------------|--------------------------|
| BJT / MD | Media | Media |
| MOSFET | Baja | Rápida |
| GTO | Alta | Lenta |
| IGBT | Media | Media |

Propiedades relativas de los dispositivos de conmutación.

Los transistores MOSFET.

Vamos a estudiar un transistor cuyo funcionamiento no se basa en uniones PN, como el transistor bipolar, ya que, en éste, el movimiento de carga se produce exclusivamente por la existencia de campos eléctricos en el interior del dispositivo. Este tipo de transistores se conocen como, efecto de campo JFET (del inglés, *Juntion Field Effect Transistor*).

El transistor MOSFET, como veremos, está basado en la estructura MOS. En los MOSFET de *enriquecimiento*, una diferencia de tensión entre el electrodo de la Puerta y el substrato induce un canal conductor entre los contactos de Drenador y Surtidor, gracias al efecto de campo. El término *enriquecimiento* hace referencia al incremento de la conductividad eléctrica debido a un aumento de la cantidad de portadores de carga en la región correspondiente al canal, que también es conocida como la *zona de inversión*.

Región de corte.

El transistor estará en esta región, cuando $V_{GS} < V_t$. En estas condiciones el transistor MOSFET, equivale eléctricamente a un circuito abierto, entre los terminales del Drenador- Surtidor. De acuerdo con el modelo básico del transistor, en esta región, el dispositivo se encuentra apagado. No hay

conducción entre Drenador y Surtidor, de modo que el MOSFET se comporta como un interruptor abierto.

Región óhmica.

Cuando un MOSFET está polarizado en la *región óhmica*, el valor de $R_{DS(on)}$ viene dado por la expresión:

$$V_{DS(on)} = I_{D(on)} \times R_{DS(on)}$$

En casi todas las hojas de datos, asocian el valor de $R_{DS(on)}$ a una corriente de Drenaje (I_D) específica y el voltaje Puerta-Surtidor.

Por ejemplo, si $V_{DS(on)} = 1V$ y $I_{D(on)} = 100mA = 0.1A$; entonces,

$$R_{ds(on)} = \frac{1V}{0.1A} = 10 \text{ Ohms}$$

100mA

Así mismo, el transistor estará en la *región óhmica*, cuando $V_{GS} > V_t$ y $V_{DS} < (V_{GS} - V_t)$.

El MOSFET equivale a una resistencia variable conectada entre el Drenador y Surtidor. El valor de esta resistencia varía dependiendo del valor que tenga la tensión entre la Puerta y el Surtidor (V_{GS}).

Región de Saturación.

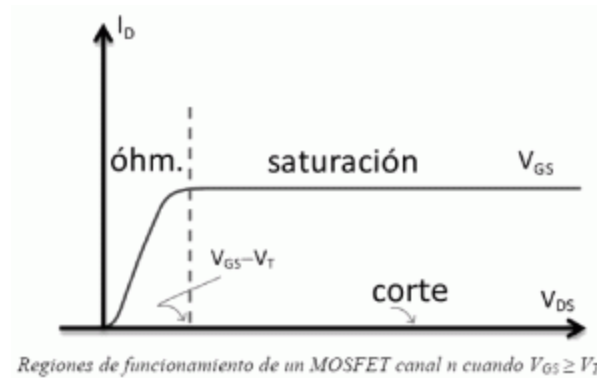
El transistor MOSFET entra en esta zona de funcionamiento cuando la tensión entre el Drenador y el Surtidor (V_{DS}) supera un valor fijo denominado tensión de saturación ($V_{ds\ sat}$) *Drenador-Surtidor*; este valor viene determinado en las hojas características proporcionadas por el fabricante. En esta zona, el MOSFET mantiene constante su corriente de Drenador (I_D), independientemente del valor de tensión que haya entre el Drenador y el Surtidor (V_{DS}). Por lo tanto, el transistor equivale a un generador de corriente continua de valor I_D .

Es decir; el MOSFET estará en esta región, cuando $V_{GS} > V_t$ y $V_{DS} > (V_{GS} - V_t)$.

O sea, estaremos en la región de saturación cuando el canal se interrumpe o estrangula, lo que sucede cuando:

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_T \rightarrow \text{Región de saturación}$$

Cuando la tensión entre Drenador y Fuente supera cierto límite, el canal de conducción, bajo la Puerta sufre un estrangulamiento en las cercanías del Drenador y desaparece. La corriente entre Fuente y Drenador no se interrumpe, es debido al campo eléctrico entre ambos, pero se hace independiente de la diferencia de potencial entre ambos terminales.



En la figura anterior, la parte casi vertical corresponde a la zona óhmica, y la parte casi horizontal corresponde a la zona activa. El MOSFET de enriquecimiento, puede funcionar en cualquiera de ellas. En otras palabras, puede actuar como una resistencia o como una fuente de corriente. El uso principal está en la zona óhmica.

Región de Ruptura. Esta zona apenas se utiliza porque el transistor MOSFET pierde sus propiedades semiconductoras y se puede llegar a romper el componente físico. La palabra ruptura hace referencia a que se rompe la unión semiconductor de la parte del terminal del drenador.

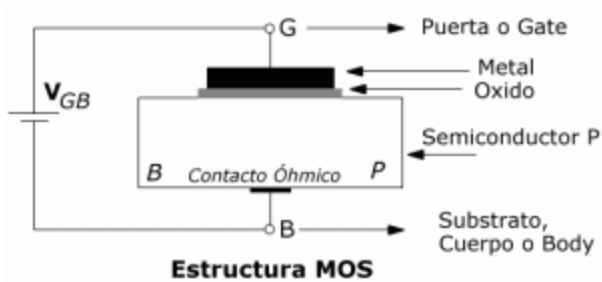
3.10.- ESTRUCTURA FÍSICA:

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. TRANSISTORES MOSFET DE CANAL N Y CANAL P.

La estructura MOS.

La estructura MOS está compuesta de dos terminales y tres capas: Un Substrato de silicio, puro o poco dopado p o n , sobre el cual se genera una capa de *Oxido de Silicio* (SiO_2) que, posee características dieléctricas o aislantes, lo que presenta una alta impedancia de entrada. Por último, sobre esta capa, se

coloca una capa de *Metal* (Aluminio o polisilicio), que posee características conductoras. En la parte inferior se coloca un contacto óhmico, en contacto con la capsula, como se ve en la figura.



La estructura MOS, actúa como un condensador de placas paralelas en el que G y B son las placas y el óxido, el aislante. De este modo, cuando $V_{GB}=0$, la carga acumulada es cero y la distribución de portadores es aleatoria y se corresponde al estado de equilibrio en el semiconductor.

Cuando $V_{GB}>0$, aparece un campo eléctrico entre los terminales de Puerta y substrato. La región semiconductor p responde creando una región de empobrecimiento de cargas libres p^+ (zona de deplexión), al igual que ocurriría en la región P de una unión PN cuando estaba polarizada negativamente. Esta región de iones negativos, se incrementa con V_{GB} .

Al llegar a la región de V_{GB} , los iones presentes en la zona semiconductor de empobrecimiento, no pueden compensar el campo eléctrico y se provoca la acumulación de cargas negativas libres (e^-) atraídos por el terminal positivo. Se dice entonces que la estructura ha pasado de estar en ***inversión débil a inversión fuerte***.

El proceso de inversión se identifica con el cambio de polaridad del substrato, debajo de la región de Puerta. En *inversión fuerte*, se forma así un **CANAL** de e^- libres, en las proximidades del terminal de Puerta (Gate) y de huecos p^+ en el extremo de la Puerta. La intensidad de Puerta I_G , es cero puesto

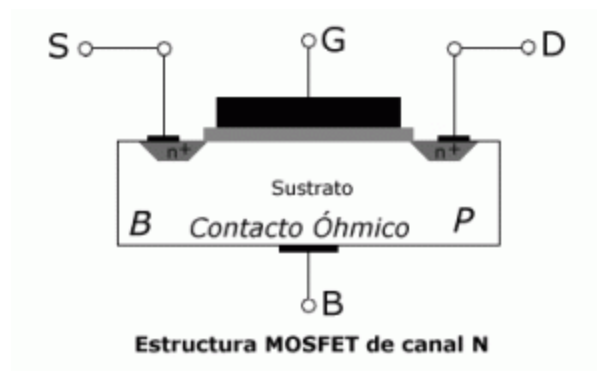
que, en continua se comporta como un condensador (GB). Por lo tanto, podemos decir que, **la impedancia desde la Puerta al sustrato es prácticamente infinita** e $I_G=0$ siempre en estática. Básicamente, la estructura MOS permite crear una densidad de portadores libres suficiente para sustentar una corriente eléctrica.

MOSFET de enriquecimiento de CANAL N.

Bajo el terminal de Puerta existe una capa de óxido (SiO_2) que impide prácticamente el paso de corriente a su través; por lo que, el control de puerta se establece en forma de tensión. La calidad y estabilidad con que es posible fabricar estas finas capas de óxido es la principal causa del éxito alcanzado con este transistor, siendo actualmente el dispositivo más utilizado.

Además, este transistor ocupa un menor volumen que el BJT, lo que permite una mayor densidad de integración. Comencemos con la estructura básica del MOSFET, seguido de sus símbolos.

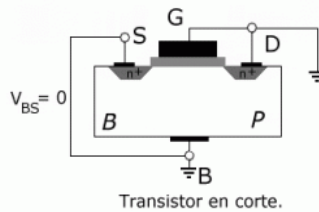
Se trata de una estructura MOS, de cuatro terminales, en la que el sustrato semiconductor es de tipo p poco dopado. A ambos lados de la interfase *Oxido-Semiconductor* se han practicado difusiones de material n , fuertemente dopado (n^+).

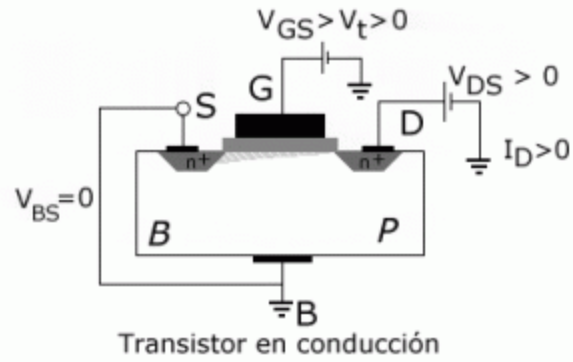
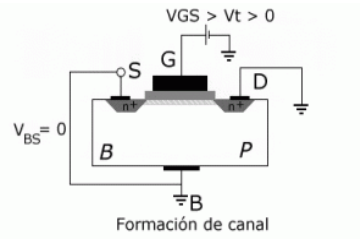


Cuando se aplica una tensión positiva al terminal de puerta de un MOSFET de tipo N, se crea un campo eléctrico bajo la capa de óxido que incide perpendicularmente sobre la superficie del semiconductor P.

Este campo, atrae a los **electrones** hacia la superficie, bajo la capa de óxido, repeliendo los huecos hacia el sustrato. Si el campo eléctrico es muy intenso se logra crear en dicha superficie una región muy rica en electrones, denominada canal N, que permite el paso de corriente de la Fuente al Drenador. Cuanto mayor sea la tensión de Puerta (*Gate*) mayor será el campo eléctrico y, por tanto, la carga en el canal. Una vez creado el canal, la corriente se origina, aplicando una tensión positiva en el Drenador (*Drain*) respecto a la tensión de la Fuente (*Source*).

En un MOSFET tipo P, el funcionamiento es a la inversa, ya que los portadores son huecos (cargas de valor positivas, el módulo de la carga del electrón). En este caso, para que exista conducción el campo eléctrico perpendicular a la superficie debe tener sentido opuesto al del MOSFET tipo N, por lo que la tensión aplicada ha de ser negativa. Ahora, los **huecos** son atraídos hacia la superficie bajo la capa de óxido, y los electrones repelidos hacia el sustrato. Si la superficie es muy rica en huecos se forma el canal P. Cuanto más negativa sea la tensión de puerta mayor puede ser la corriente (más huecos en el canal P), corriente que se establece al aplicar al terminal de Drenador una tensión negativa respecto al terminal de Fuente. La corriente tiene sentido opuesto a la de un MOSFET tipo N.

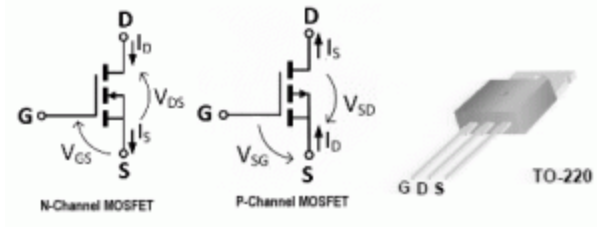




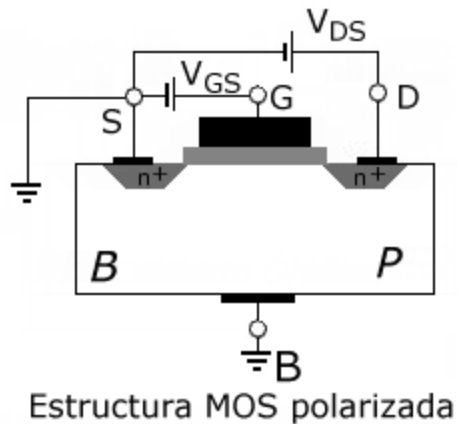
Si con tensión de Puerta nula no existe canal, el transistor se denomina de acumulación; y de vaciamiento en caso contrario. Mientras que la tensión de Puerta a partir de la cual se produce canal, se conoce como tensión umbral, V_T . El terminal de sustrato sirve para controlar la tensión umbral del transistor, y normalmente su tensión es la misma que la de la Fuente.

El transistor MOS es simétrico: los terminales de Fuente y Drenador son intercambiables entre sí. En el MOSFET tipo N el terminal de mayor tensión actúa de Drenador (recoge los electrones), siendo el de menor tensión en el tipo P (recoge los huecos). A modo de resumen, la figura anterior, muestra el funcionamiento de un transistor MOS tipo N de enriquecimiento.

El símbolo más utilizado para su representación a nivel de circuito se muestra en la figura siguiente. La flecha entre el terminal de Fuente y Gate, nos informa sobre el sentido de la corriente.



En la estructura MOS de la siguiente figura, aparecen diversas fuentes de tensión polarizando los distintos terminales: V_{GS} , V_{DS} . Los terminales de sustrato (B) y Fuente (S) se han conectado a GND. De este modo, $V_{SB}=0$ (tensión Surtidor-sustrato=0), se dice que no existe efecto *substrato*.



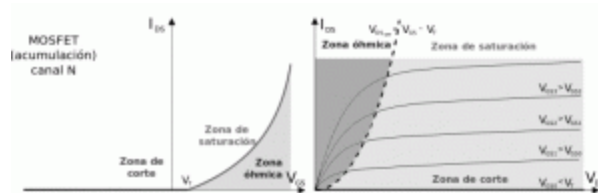
Según los valores que tome la tensión V_{GS} , se pueden considerar tres casos:

1) $V_{GS}=0$. Esta condición implica que $V_{GS}=0$, puesto que $V_{SB}=0$. En estas condiciones, no existe efecto campo y no se crea el canal de e^- , debajo de la Puerta. Las dos estructuras PN se encuentran cortadas (B al terminal más negativo) y aisladas. $I_{DS}=0$ aproximadamente, pues se alimenta de las intensidades inversas de saturación.

2) La tensión $V_{GS}>0$, se crea la zona de empobrecimiento o depleción en el canal. Se genera una carga eléctrica negativa e^- en el canal, debido a los iones negativos de la red cristalina (similar al de una unión PN polarizada en la región inversa), dando lugar a la situación de **inversión débil** anteriormente citada. La aplicación de un campo eléctrico lateral $V_{DS}>0$, no puede generar corriente eléctrica I_{DS} .

Regiones de operación.

Cuando ya existe canal inducido y V_{DS} va aumentando, el canal se contrae en el lado del Drenador, ya que la diferencia de potencial Puerta-canal es en ese punto, más baja y la zona de transición más ancha. Es decir, siempre que exista canal estaremos en **región óhmica** y el dispositivo presentará baja resistencia.



La operación de un transistor MOSFET se puede dividir en tres regiones de operación diferentes, dependiendo de las tensiones en sus terminales. Para un transistor MOSFET N de enriquecimiento se tienen las siguientes regiones: **región de corte**, **región óhmica** y **región de saturación**.

3.11.- TRANSISTORES MOSFET DE ACUMULACIÓN

Un transistor MOSFET consiste en un sustrato de material semiconductor dopado en el que, mediante técnicas de difusión de dopantes, se crean dos islas de tipo opuesto separadas por un área sobre la cual se hace crecer una capa de dieléctrico culminada por una capa de conductor. Los transistores MOSFET se dividen en dos tipos fundamentales dependiendo de cómo se haya realizado el dopaje:

Tipo pMOS:

Las áreas de difusión se denominan fuente(source) y drenador(drain), y el conductor entre ellos es la puerta(gate).

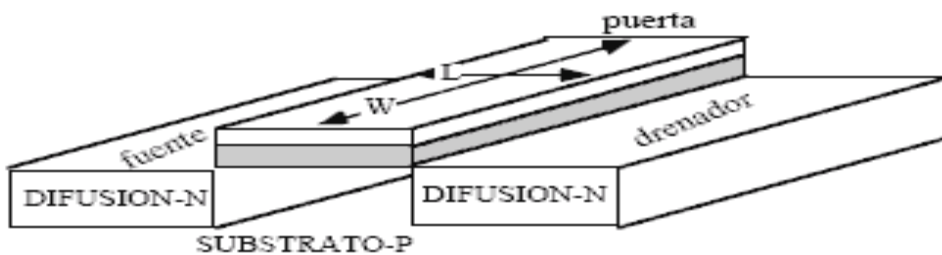


Figura 1.15. Estructura física de un transistor NMOS

APLICACIONES

La forma más habitual de emplear transistores MOSFET es en circuitos de tipo CMOS, consistentes en el uso de transistores pMOS y nMOS complementarios.

Las aplicaciones de MOSFET discretos más comunes son: Resistencia controlada por tensión.

Circuitos de conmutación de potencia (HEXFET, FREDFET, etc). Mezcladores de frecuencia, con MOSFET de doble puerta.

VENTAJAS

La principal aplicación de los MOSFET está en los circuitos integrados, p-mos, n-mos c-mos, debido a varias ventajas sobre los transistores bipolares:

Tamaño muy inferior al transistor bipolar (actualmente del orden de media micra). Gran capacidad de integración debido a su reducido tamaño.

Funcionamiento por tensión.

Un circuito realizado con MOSFET no necesita resistencias, con el ahorro de superficie que conlleva.

3.12.- REGIONES DE OPERACIÓN.

Vamos a ver las curvas características de entrada para un transistor BJT pnp. Los sentidos positivos de tensiones y corrientes son los representados en la figura 4.8.

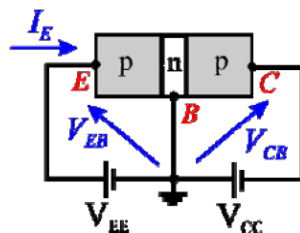


Figura 4.8.- Sentidos positivos de las variables que intervienen en las curvas características de entrada en un BJT pnp en base común

Estas curvas aparecen representadas en la figura 4.8. En principio, si observamos, es como si tuviésemos la curva característica correspondiente a la unión de emisor [$I_E = f(V_{EB})$], sin embargo, la relación entre estas dos variables se ve influenciada por la tensión que tenemos a la salida (V_{CB}). Así, no tenemos una única curva, sino que tenemos una familia de curvas en función de la tensión V_{CB} . El origen de este desdoblamiento de curvas está en lo que se denomina *Efecto Early*.

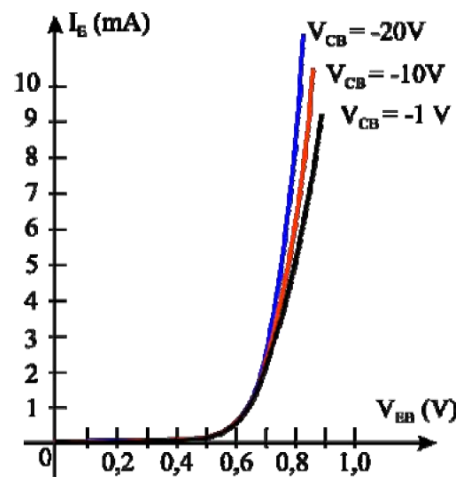


Figura 4.9.- Curvas Características de Entrada en Base Común en un BJT pnp.

Efecto Early

El efecto Early es también conocido como efecto de modulación de anchura de la base. Y es que al aumentar la polarización inversa de la unión de colector, la zona de carga espacial correspondiente aumenta, por lo que la anchura efectiva de la base (la zona n en un transistor pnp) disminuye. O al contrario, es decir, si la polarización inversa de la unión de colector disminuye, la anchura efectiva de la base aumenta. En resumen, vemos que hay una variación de la anchura de la base con la tensión inversa aplicada a la unión de colector.

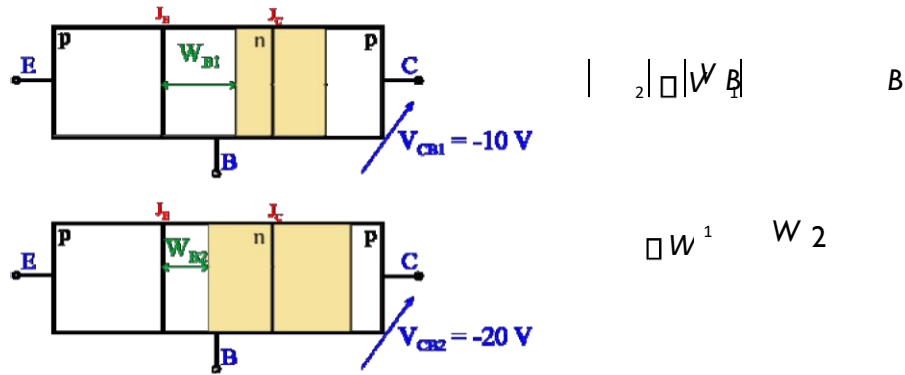


Figura 4.10.- Modulación de la anchura efectiva de la base por efecto Early.

En la curva característica de entrada en base común, al disminuir la anchura de la base, el gradiente de la concentración de huecos en la base aumenta, con lo que la corriente de difusión de huecos en la base aumentará.

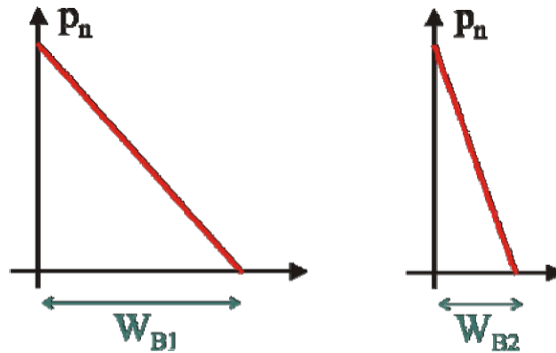


Figura 4.11.- Efecto Early. Aumento de la corriente de emisor.

De ahí que, para una V_{EB} dada, cuanto mayor sea la tensión inversa aplicada a la unión de colector, mayor será I_E .

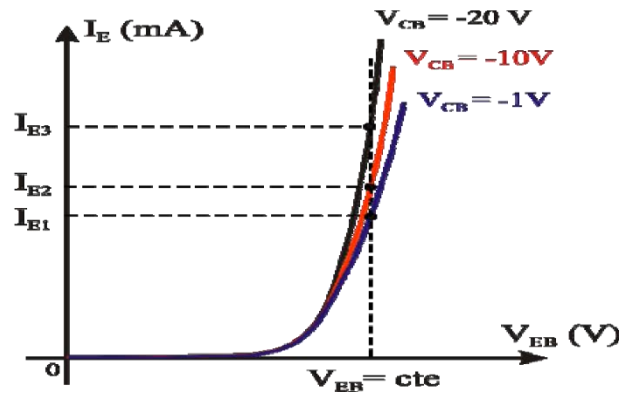


Figura 4.12.- Efecto Early en las características de entrada.

3.13.- EL TRANSISTOR MOS COMO ELEMENTO DE CIRCUITO.

La Figura 4-1 muestra la estructura de dos transistores MOS, tipo N y P respectivamente. El dopaje del sustrato es opuesto al tipo de portador que origina la corriente. Así, para un transistor tipo N (electrones en conducción) el dopaje del sustrato es tipo P. Mientras que en el transistor tipo P (huecos en conducción) el dopaje es tipo N.

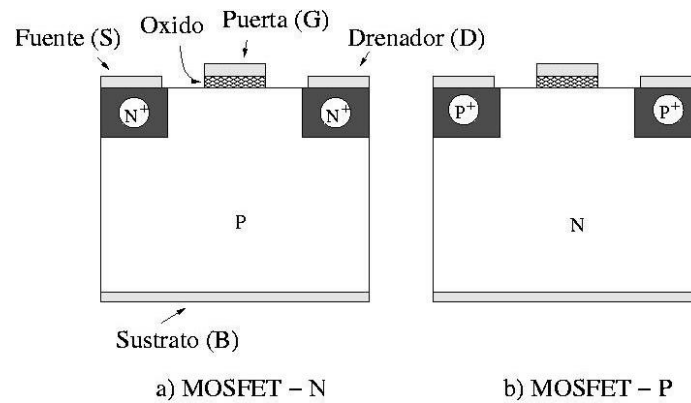


Figura 4-1: Estructura física de los transistores MOS N y P

Cuando se aplica una tensión positiva al terminal de puerta de un MOSFET tipo N, se crea un campo eléctrico bajo la capa de óxido que incide perpendicularmente sobre la superficie del semiconductor. Este campo atrae a los electrones hacia la superficie bajo el óxido, repeliendo los huecos hacia el sustrato. Si el campo eléctrico es muy intenso se logra crear en dicha superficie una región muy rica en electrones, denominada canal N, que permite el paso de corriente de la fuente al drenador; cuanto mayor sea la tensión de puerta mayor será el campo eléctrico y, por tanto, la carga en el canal. Una vez creado el canal, la corriente se origina aplicando una tensión en el drenador positiva respecto a la de la fuente.

En un MOSFET tipo P el funcionamiento es a la inversa, ya que los portadores son huecos (cargas positivas de valor el módulo de la carga del electrón). En este caso, para que exista conducción el campo eléctrico perpendicular a la superficie debe tener sentido opuesto al del MOSFET tipo N, por lo que la tensión aplicada ha de ser negativa. Ahora los huecos son atraídos hacia la superficie bajo el óxido, y los electrones repelidos hacia el sustrato. Si la superficie es muy rica en huecos se forma el canal P. Cuanto más negativa sea la tensión de puerta mayor puede ser la corriente (más huecos en el canal P), corriente que se establece al aplicar al terminal de drenador una tensión negativa respecto a la de la fuente. La corriente tiene sentido opuesto a la de un MOSFET tipo N.

A fin de facilitar la corriente a través de los terminales de fuente y drenador, bajo ellos se generan sendas regiones con dopaje elevado, del mismo tipo que los portadores del canal (regiones N⁺ y P⁺).

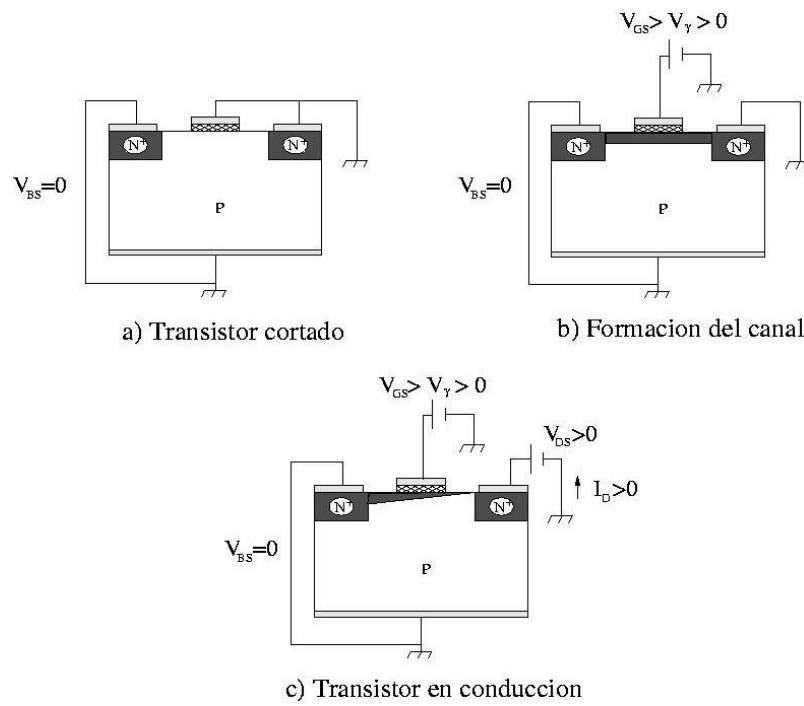


Figura 4-2: Funcionamiento de un MOSFET tipo N de enriquecimiento

Si con tensión de puerta nula no existe canal el transistor se denomina de acumulación; y de vaciamiento en caso contrario. Mientras que la tensión de puerta a partir de la cual se produce canal se conoce como tensión umbral, V_T . El terminal de sustrato sirve para controlar la tensión umbral del transistor, y normalmente su tensión es la misma que la de la fuente.

El transistor MOS es simétrico: los terminales de fuente y drenador son intercambiables entre sí. En el MOSFET tipo N el terminal de mayor tensión actúa de drenador (recoge los electrones), siendo el de menor tensión en el tipo P (recoge los huecos). A modo de resumen, la Figura 4-2 muestra el funcionamiento de un transistor MOS tipo N de enriquecimiento.

En la Figura 4-3 se representan los símbolos utilizados para los MOSFETs en los circuitos; también se indica el sentido de la corriente de drenador. Si los transistores son de vaciamiento se traza una línea gruesa bajo la puerta, que recuerda la existencia de canal en ausencia de tensión en dicho terminal.

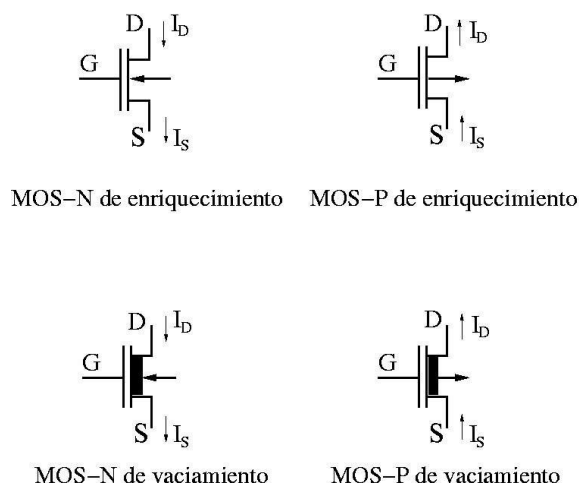


Figura 4-3: Símbolos de los MOSFET N y P, de acumulación y vaciamiento

La capa de óxido bajo la puerta impide que haya corriente a su través (esto es estrictamente cierto en continua y bajas frecuencias, situaciones que consideraremos). Así, la corriente en el terminal de fuente, I_S , coincide con la del drenador, I_D , por lo que basta con indicar una sola de ellas.

$$I_G = 0 \quad (4.1)$$

$$I_D = I_S$$

3.14.- EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN

Es a principios de los años sesenta, al producirse el relevo material del Ge al Si, y gracias al desarrollo de la tecnología planar, cuando D. Kahng y J. Atalla realizan el primer transistor de efecto campo MOS, también denominado MOSFET (siglas correspondientes a las palabras en inglés Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales: el drenador (D, drain), la puerta (G, gate), el surtidor o fuente (S, source) y el sustrato (B, bulk). La corriente en el interior del dispositivo puede ser en forma de electrones o huecos, fluye desde la fuente hasta el drenador, y es controlada por la puerta. El terminal de sustrato se utiliza para fijar la tensión umbral del transistor, mediante la aplicación de una tensión constante. Bajo el terminal de puerta existe una capa de óxido (SiO_2) que impide prácticamente el paso de corriente a su través; por lo que el control de puerta se establece en forma de tensión. La calidad y estabilidad con que es posible fabricar estas finas capas de óxido es la principal causa del éxito alcanzado con este transistor, siendo actualmente el dispositivo más utilizado. Además, este transistor ocupa menos volumen que el BJT, lo que permite una mayor densidad de integración.

Circuitos MOS

Viendolo a modo de una tabla de verdad “MOS” se comporta como un inversor como se puede ver en los siguientes ejemplos:

2. Tecnología MOS

Ventajas {
 - Bajo consumo
 - Alta densidad de integración

Inversor MOS

T1 se comporta como la resistencia de polarización

Puertas NOR y NAND

NOR:

| A | B | F(NOR) |
|---|---|--------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

Los dos transistores inferiores configuran la puerta NOR, ya que cuando cualquiera de las entradas es "1", el transistor correspondiente conduce, provocando que su tensión drenador surtidor sea nV, esto es nivel lógico "0". Para que la salida sea "1" hace falta que las dos entradas sean "0", lo que provocará que los dos transistores inferiores estén abiertos.

NAND:

| A | B | F(NAND) |
|---|---|---------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Los dos transistores N inferiores configuran la puerta NAND, de forma que solo cuando las dos entradas (A y B) son "1" se provoca la conducción de ambos y se obtiene un nivel bajo de salida. Si cualquiera de las entradas es "0" el transistor correspondiente estará abierto, provocando que no haya una circulación de corriente drenador surtidor, no haya caída de tensión en el transistor superior y por lo tanto la tensión de salida sea la V_{DD} , esto es nivel lógico "1".

Ventajas de utilizar la tecnología MOS

La tecnología MOS surge a fin de hacer circuitos integrados cada vez más fiables e inmunes al ruido, y a la necesidad de reducir el tamaño de los circuitos integrados digitales. Algunas de sus ventajas frente a otras tecnologías son:

***Muy baja disipación de potencia.** Su bajo consumo hacen que se pierda poca potencia.

***Amplios márgenes de ruido y salto lógico.** El ruido son las variaciones de tensión que se producen en las señales debido a interferencias electromagnéticas, que pueden venir de aparatos eléctricos, antenas, nuestras manos, e incluso del espacio exterior.

Estas interferencias pueden provocar que una puerta lógica cambie de estado y dé un valor de salida erróneo.

Circuitos C-MOS

Como en todo desarrollo tecnológico, existe un estudio previo para poder aplicar una tecnología determinada y sacar un máximo provecho de la **arquitectura predefinida**, y es por ello que en esta ocasión hablaremos de una de las que se aplica sobre el corazón de todo equipo, el **Procesador**, que tiene como premisa fundamental el **menor consumo energético** posible.

Esta tecnología lleva el nombre en inglés de **Complementary Metal Oxide Semiconductor**, y es mayormente conocido gracias a su acrónimo, **CMOS**, estando presente no solo en este campo de la informática sino también en la fabricación de los distintos **Circuitos Electrónicos Integrados**, conocidos popularmente como **Chip o Microchip**.

Se usan conjuntamente MOSFET (MOS Field-Effect transistor, transistor de efecto campo MOS) de canal n (NMOS) y de canal p (PMOS) en el mismo circuito, para obtener varias ventajas sobre las familias P-MOS y N-MOS. La tecnología CMOS es ahora la dominante debido a que es más rápida y consume aún menos potencia que las otras familias MOS. Estas ventajas son opacadas un poco por la elevada complejidad del proceso de fabricación del CI y una menor densidad de integración.

3.15.- CLASIFICACIÓN DE C-MOS

- a) Series 4000/I 4000 Las primeras series CMOS fueron la serie 4000, que fue introducida por RCA y la serie I 4000 por Motorola. La serie original es la 4000A; la 4000B representa mejora con respecto a la primera y tiene mayor capacidad de corriente en sus salidas
- b) Serie 74C Esta serie CMOS su característica principal es que es compatible terminal por terminal y función por función, con los dispositivos TTL que tienen el mismo número
- c) Serie 74HC (CMOS de alta velocidad) Esta es una versión mejor de la serie 74C. La principal mejora radica en un aumento de diez veces en la velocidad de conmutación
- d) Serie 74HCT Esta serie también es una serie CMOS de alta velocidad, y está diseñada para ser compatible en lo que respecta a los voltajes con los dispositivos TTL

Principales Características

- a) **INMUNIDAD AL RUIDO** Se denomina ruido a “cualquier perturbación involuntaria que puede originar un cambio no deseado en la salida del circuito.” El ruido puede generarse externamente por la presencia de escobillas en motores o interruptores, por acoplo por conexiones o líneas de tensión cercanas o por picos de la corriente de alimentación. Los circuitos tienen cierta inmunidad al ruido
- b) **DISIPACIÓN DE POTENCIA** La potencia disipada, es la media de potencia disipada a nivel alto y bajo. Se traduce en la potencia media que la puerta va a consumir.
- c) **ENTRADAS CMOS** . Las entradas CMOS nunca deben dejarse desconectadas, ya que son muy sensibles a la electricidad estática y al ruido, los cuales pueden fácilmente activar los canales MOSFET P y N en el estado conductor, produciendo una mayor disipación de potencia y posible sobrecalentamiento.

MATERIAL WEB COMPLEMENTARIO

https://www.youtube.com/results?search_query=transistor+bipolar+bjt

UNIDAD IV MEMORIAS SEMICONDUCTORA

4.1 DISPOSITIVOS DE MEMORIA

Los 4 tipos más comunes de memoria son: ROM(memoria de sólo lectura), EEPROM(memoria de sólo lectura, borrable y programable eléctricamente) también llamada memoria “flash”, SRAM(memoria estática de acceso aleatorio) y DRAM(memoria dinámica de acceso aleatorio).

Terminales de conexión de dispositivos de memoria

Conexiones de dirección: todos los dispositivos de memoria tienen entradas de dirección que seleccionan una localidad de memoria en el dispositivo. Las entradas de dirección casi siempre están etiquetadas desde A_0 , la entrada de dirección menos significativa, hasta la A_n , donde el subíndice n puede tener cualquier valor pero siempre es etiquetado como uno menos que el número total de terminales de dirección. Por ejemplo: un dispositivo de memoria de 1 K posee 10 terminales de dirección (A_0 a A_9); esto es, se requieren 10 entradas de dirección para seleccionar cualquiera de sus 1024 localidades de memoria.

Conexiones de datos: las conexiones de datos son los puntos en los que los datos son escritos para su almacenamiento, o de donde son leídos. Son etiquetadas como D_0 a D_n . Los catálogos de dispositivos de memoria frecuentemente hacen alusión al número de localidades de memoria, multiplicado por los bits de cada localidad. Por ejemplo una memoria de 64k x 4 es catalogada como un dispositivo de 256 K, ya que frecuentemente los dispositivos de memoria son clasificados frecuentemente de acuerdo con la capacidad total de bits.

Conexiones de selección: esta(s) selecciona(n) o habilita(n) al dispositivo. Se conocen como entrada de selección de dispositivo (CS), habilitación de dispositivo (CE), o simplemente de selección(S). Si el dispositivo está activo(0), el dispositivo realiza una operación de lectura/escritura. Si está inactivo(1), el dispositivo no puede realizar una lectura o escritura porque está apagado.

Conexiones de control: la entrada de control permite el flujo de datos desde las terminales de salida de la ROM. Un dispositivo de memoria RAM tiene ya sea una o dos entradas de control, está terminal o terminales seleccionan una operación de lectura o de escritura.

No hay un solo tipo de memoria que cumpla todos los requisitos: combinación de diversas tecnologías:

4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEMORIAS.

- Conservación de la información
 - No volátil: conserva la información sin suministro de energía.
 - Volátil: la información se borra al interrumpirse el suministro de energía.
- Tipo de acceso
 - Aleatorio: se puede acceder a cualquier dato almacenado con la misma eficacia.
 - Secuencial: hay que recorrer el medio para acceder a un determinado dato.
- Tecnología de fabricación y operación
 - Semiconductores/estado sólido: circuitos electrónicos.
 - Magnética: magnetización de materiales ferromagnéticos y detección del campo.
 - Óptica: reflexión o alteración de haces de luz (laser).

4.3 MEMORIA SEMICONDUCTORA

La memoria de semiconductor usa circuitos integrados basados en semiconductores para almacenar información. Un chip de memoria de semiconductor puede contener millones de minúsculos transistores o condensadores. Existen memorias de semiconductor de ambos tipos: volátiles y no volátiles. En las computadoras modernas, la memoria principal consiste casi exclusivamente en memoria de semiconductor volátil y dinámica, también conocida como memoria dinámica de acceso aleatorio o más comúnmente RAM, su acrónimo inglés. Con el cambio de siglo, ha habido un crecimiento constante en el uso de un nuevo tipo

de memoria de semiconductor no volátil llamado memoria flash. Dicho crecimiento se ha dado, principalmente en el campo de las memorias fuera de línea en computadoras domésticas. Las memorias de semiconductor no volátiles se están usando también como memorias secundarias en varios dispositivos de electrónica avanzada y computadoras especializadas y no especializadas.

La memoria es un componente fácil de entender. Dado que su funcionamiento es crítico para el buen rendimiento de la computadora (la eficiencia de los computadores actuales, hoy por hoy, depende de la memoria), este componente ha evolucionado lo suficiente como para dedicarle un buen tiempo a su estudio y comprender bien su funcionamiento completo.

La memoria es el origen y el destino de la gran mayoría de las instrucciones que ejecuta un computador actual. Un buen funcionamiento de esta hace que el computador tenga un rendimiento óptimo. Recordemos que en la ejecución de una instrucción, puede haber hasta cuatro accesos a memoria. Además, en memoria es donde se sitúan los programas en ejecución, así como los datos que estos manejan.

La situación ideal sería poner a un computador la mayor cantidad de memoria posible para permitir que nunca se nos quedase cortos a la hora de ejecutar muchos programas simultáneamente; que sea rápida, para que haya poca demora en la carga y almacenamiento de los datos; y por supuesto que esta sea barata, para que el precio del computador sea competitivo.

Si pensásemos en dotar al computador de una memoria, o de un conjunto de memorias, tendríamos que conocer las características de ésta. Pero, ¿cuáles son las características que permitirán diferenciar unas memorias de otras? Son muchas, algunas son obvias, como la rapidez, el tamaño o precio. Estas características normalmente vienen derivadas de característica más técnicas. De ellas, las más destacables son las que se exponen a continuación

4.4 MEMORIAS NO VOLÁTILES

Lo primero que tienes que saber es que sin la ROM, la computadora, u otros dispositivos que también la usan como tablets y celulares, ni siquiera arrancarán. Tan importante es este chip. Y hasta quizás tenga más importancia que cualquiera de los otros componentes.

La ROM almacena todo lo necesario para que cada vez que arranques la PC encienda siempre de la misma manera. Esto significa con todos los parámetros configurados para que puedas a empezar a usarla de inmediato.

Con esto te aseguras que no tendrás problemas de ningún tipo, y tu computadora, responderá siempre de la misma manera. Básicamente la memoria ROM es un chip semiconductor. La característica principal de la ROM es la posibilidad de retener datos aun cuando no exista una fuente alimentación eléctrica que lo permita. Esto lo hace ideal para almacenar datos por largo tiempo, como cuando la PC está apagada.

Como sabes, cuando apagas la PC, todo lo que estabas haciendo se pierde si no lo salvaste en los discos. Esto es debido a que tus datos se almacenan en la memoria RAM, que al perder energía pierden su contenido.

En cambio, la memoria ROM es capaz de retener los datos almacenados por largo tiempo, aún si electricidad. Esto lo puedes ver más adelante en este mismo artículo.

La sigla ROM proviene del inglés “Read Only Memory”, que en español se puede traducir como “Memoria de solo lectura”. Según sugiere su nombre, es una memoria que permite almacenar información a la que sólo es posible acceder para consultar, no para editar. Esto significa que no puedes alterar los datos que contiene ni añadir nuevos.

Por ello la ROM es ideal para mantener los datos de una PC, como la hora, la cantidad de discos, la cantidad de RAM y otros parámetros. No se perderán al no tener corriente, y tampoco es posible alterarlos, por lo cual es casi imposible romper una PC.

Sin embargo, esto no es completamente cierto, ya que sí puedes cambiar los datos de los circuitos integrados de ROM. En dos formas:

- A través de la propia pantalla de BIOS, como se explica más adelante
- Mediante la actualización de la versión de firmware

En la actualidad la sigla ROM se utiliza más por costumbre que por adecuarse perfectamente al trabajo que realizan. La palabra ROM proviene de los primeros tiempos de las computadoras, cuando estos dispositivos electrónicos no se fabricaban con la posibilidad de expandirse como ahora.

Las computadoras se ponían a la venta con los datos ya grabados en la ROM. Esto garantizaba a los fabricantes una perfecta compatibilidad entre los diferentes módulos electrónicos que tenían instalados las computadoras de la época.

Sin embargo, después de muchos años y gracias a la evolución de la electrónica y de la propia informática, hoy en día la mayoría de las motherboards ya incorporan la posibilidad de editar los datos que almacena la ROM.

4.5 MEMORIA DE ACCESO ALEATORIO (RAM)

Memoria RAM. Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio), es donde el computador guarda los datos que está utilizando en el momento presente. El almacenamiento es considerado temporal por que los datos y programas permanecen en ella mientras que la computadora este encendida o no sea reiniciada.

Se le llama RAM por que es posible acceder a cualquier ubicación de ella aleatoria y rápidamente. Físicamente, están constituidas por un conjunto de chips o módulos de chips normalmente conectados a la Motherboard o Tarjeta Madre. Los chips de memoria son rectángulos negros que suelen ir soldados en grupos a unas plaquitas con "pines" o contactos.

La diferencia entre la RAM y otros tipos de memoria de almacenamiento, como los disquetes o los disco duro, es que la RAM es mucho más rápida y que se borra al apagar el computador, no como los disquetes o discos duros en donde la información permanece grabada.

Hay muchos tipos de memorias DRAM, Fast Page, EDO, SDRAM, etc. Además existen varios nombres. Trataremos estos cuatro, que son los principales, aunque existen muchas más.

DRAM: Dinamic-RAM, o RAM DINAMICA

Es "la original", y por tanto la más lenta.

Usada hasta la época del 386, su velocidad típica es de 80 ó 70 nanosegundos (ns), tiempo éste que tarda en vaciarse para poder dar entrada a la siguiente serie de datos. Por ello, es más rápida la de 70 ns que la de 80 ns.

Físicamente, aparece en forma de DIMMs o de SIMMs, siendo estos últimos de 30 contactos.

Fast Page (FPM)

A veces llamada DRAM (o sólo "RAM"), puesto que evoluciona directamente de ella, y se usa desde hace tanto que pocas veces se las diferencia. Algo más rápida, tanto por su estructura (el modo de Página Rápida) como por ser de 70 ó 60 ns.

Usada hasta con los primeros Pentium, físicamente aparece como SIMMs de 30 ó 72 contactos (los de 72 en los Pentium y algunos 486).

EDO: EDO-RAM o Extended Data Output-RAM

Evoluciona de la Fast Page; permite empezar a introducir nuevos datos mientras los anteriores están saliendo (haciendo su Output), lo que la hace algo más rápida (un 5%, más o menos).

Muy común en los Pentium MMX y AMD K6, con velocidad de 70, 60 ó 50 ns. Se instala sobre todo en SIMMs de 72 contactos, aunque existe en forma de DIMMs de 168.

SDRAM o Sincronic-RAM

Funciona de manera sincronizada con la velocidad de la placa (de 50 a 66 MHz), para lo que debe ser rapidísima, de unos 25 a 10 ns. Sólo se presenta en forma de DIMMs de 168 contactos; es usada en los Pentium II de menos de 350 MHz y en los Celeron.

PC100 o SDRAM de 100 MHz

Memoria SDRAM capaz de funcionar a esos 100 MHz, que utilizan los AMD K6-2, Pentium II a 350 MHz y computadores más modernos; teóricamente se trata de unas especificaciones mínimas que se deben cumplir para funcionar correctamente a dicha velocidad, aunque no todas las memorias vendidas como "de 100 MHz" las cumplen.

PC133 o SDRAM de 133 MHz

La más moderna y recomendable

4.6 EXPANSIÓN DE LA MEMORIA.

Hasta antes del 1996 el costo de la memoria había mantenido un costo constante de alrededor de US 40 por megabyte. A finales de 1996 los precios se habían reducido a US 4 el megabyte (una caída del 90% en menos de un año). Hoy en día la memoria RAM está a menos de US 1 por megabyte.

Lo primero, su tamaño: actualmente nadie en su sano juicio debería instalar menos de 64 MB, siendo mucho mejor 128 MB o incluso más si se trata de CAD en 3D o diseño gráfico. En cuanto al tipo: ¿SDRAM o RDRAM (Rambus DRAM)? Sin ninguna duda, siempre SDRAM; la Rambus es carísima y su rendimiento es sólo un poco mayor.

Una vez decididos por la SDRAM, elijamos su velocidad: la memoria SDRAM más exigente es la PC133 (SDRAM a 133 MHz) necesaria para montar los modernos ordenadores Pentium III con bus de 133 MHz y los Athlon en placa KX133. Pida de esta velocidad y pague lo que sea (generalmente sólo un poco más); aunque por ahora no la necesite (caso de los Celeron, K6-2, la mayoría de Athlon...) le permitirá actualizarse en el futuro.

Desgraciadamente, las memorias no son todas compatibles entre ellas, especialmente los módulos de más de 128 MB; existen módulos que van perfectamente en una placa y en otra ni arrancan. Si puede, escoja memoria de marca: Kingston, Samsung, Micron, HP... aunque tampoco lo puede considerar una garantía; lo mejor, comprar en el mismo lugar placa y memoria, asegurándose de que es un sitio de confianza.

La cantidad de RAM necesaria es función únicamente de para qué se use un ordenador, lo que condiciona a qué sistema operativo y programas se van a usar, se recomienda una cantidad mínima de 64 MB de RAM, y si es posible incluso 128.

En el mundo de los computadores, la duda siempre parece estar en si comprar un microprocesador Intel o AMD, en si será un Pentium III o un Athlon, un Celeron o un K6-2, y a cuántos MHz funcionará. Cuando se llega al tema de la memoria, la mayor parte de los compradores aceptan la cantidad que trae el sistema por defecto, lo que puede ser un gran error.

Lo más importante al comprar un computador es que sea equilibrado; nada de 800 MHz para sólo 32 MB de memoria RAM, o una tarjeta 3D de alta gama para un monitor pequeño y de mala calidad. Y como intentaremos demostrar, la cantidad de memoria del PC es uno de los factores que más puede afectar al rendimiento.

Por cierto, este trabajo se centrará en Windows 95 y 98, ya que son con diferencia los sistemas operativos más utilizados. Los resultados son perfectamente aplicables a Linux, "excepto" por su mayor estabilidad y mejor aprovechamiento de la memoria; en cuanto a Windows NT 4 y 2000, actúan de forma similar a Linux, si bien consumen entre 16 y 40 MB más de memoria que los Windows "domésticos".

4.7 MEMORIAS ESPECIALES.

SIMM y DIMM

Se trata de la forma en que se juntan los chips de memoria, del tipo que sean, para conectarse a la placa base del ordenador. Son unas plaquitas alargadas con conectores en un extremo; al conjunto se le llama módulo.

El número de conectores depende del bus de datos del microprocesador, que más que un autobús es la carretera por la que van los datos; el número de carriles de dicha carretera representaría el número de bits de información que puede manejar cada vez.

SIMMs: Single In-line Memory Module, con 30 ó 72 contactos. Los de 30 contactos pueden manejar 8 bits cada vez, por lo que en un 386 ó 486, que tiene un bus de datos de 32 bits, necesitamos usarlos de 4 en 4 módulos iguales. Miden unos 8,5 cm (30 c.) ó 10,5 cm (72 c.) y sus zócalos suelen ser de color blanco.

Los SIMMs de 72 contactos, más modernos, manejan 32 bits, por lo que se usan de 1 en 1 en los 486; en los Pentium se haría de 2 en 2 módulos (iguales), porque el bus de datos de los Pentium es el doble de grande (64 bits).

DIMMs: más alargados (unos 13 cm), con 168 contactos y en zócalos generalmente negros; llevan dos muescas para facilitar su correcta colocación. Pueden manejar 64 bits de una vez, por lo que pueden usarse de 1 en 1 en los Pentium, K6 y superiores. Existen para voltaje estándar (5 voltios) o reducido (3.3 V).

Y podríamos añadir los módulos SIP que eran parecidos a los SIMM pero con frágiles patitas soldadas y que no se usan desde hace bastantes años, o cuando toda o parte de la memoria viene soldada en la placa (caso de algunos ordenadores de marca)

Funcionamiento de la DDR-SDRAM

Consiste en enviar los datos 2 veces por cada señal de reloj, una vez en cada extremo de la señal (el ascendente y el descendente), en lugar de enviar datos sólo en la parte ascendente de la señal.

De esta forma, un aparato con tecnología DDR que funcione con una señal de reloj "real", "física", de por ejemplo 100 MHz, enviará tantos datos como otro sin tecnología DDR que funcione a 200 MHz. Por ello, las velocidades de reloj de los aparatos DDR se suelen dar en lo que podríamos llamar "MHz efectivos o equivalentes" (ejemplo, 200 MHz, "100 MHz x 2").

Uno de los problemas de la memoria Rambus: funciona a 266 MHz "físicos" o más, y resulta muy difícil (y cara) de fabricar.

La tecnología DDR está de moda últimamente, bajo éste u otro nombre. Además de las numerosísimas tarjetas gráficas con memoria de vídeo DDR-SDRAM, tenemos por ejemplo los microprocesadores AMD Athlon y Duron, cuyo bus de 200 MHz realmente es de "100 x 2", "100 MHz con doble aprovechamiento de señal"; o el AGP 2X ó 4X, con 66 MHz "físicos" aprovechados doble o cuádruplemente, ya que una tarjeta gráfica con un bus de 266 MHz "físicos" sería difícil de fabricar... y extremadamente cara.

(Atención, esto no quiere decir que una tarjeta AGP 4X sea en la realidad el doble de rápida que una 2X, ni mucho menos: a veces se "notan" IGUAL de rápidas, por motivos que no vienen al caso ahora.)

Pues la DDR-SDRAM es el concepto DDR aplicado a la memoria SDRAM. La SDRAM no es otra que la conocida PC66, PC100 y PC133, la memoria que se utiliza actualmente en casi la totalidad de los PCs

normales; los 133 MHz de la PC133 son ya una cosa difícil de superar sin subir mucho los precios, y por ello la introducción del DDR.

DDR3

Por supuesto, existe memoria DDR de diferentes clases, categorías y precios. Lo primero, puede funcionar a 100 o 133 MHz (de nuevo, "físicos"); algo lógico, ya que se trata de SDRAM con DDR, y la SDRAM funciona a 66, 100 ó 133 MHz (por cierto, no existe DDR a 66 MHz). Si consideramos los MHz "equivalentes", estaríamos ante memorias de 200 ó 266 MHz.

En el primer caso es capaz de transmitir 1,6 GB/s (1600 MB/s), y en el segundo 2,1 GB/s (2133 MB/s). Al principio se las conocía como PC200 y PC266, siguiendo el sistema de clasificación por MHz utilizado con la SDRAM. Pero llegó Rambus y decidió que sus memorias se llamarían PC600, PC700 y PC800, también según el sistema de los MHz.

Como esto haría que parecieran muchísimo más rápidas que la DDR (algo que no sucede, porque funcionan de una forma completamente distinta), se decidió denominarlas según su capacidad de transferencia en MB/s: PC1600 y PC2100 (PC2133 es poco comercial, por lo visto).

4.8.- TIPOLOGÍA GENERAL.

Memoria de semiconductores es un digital electrónico de almacenamiento de datos del dispositivo, que se utiliza a menudo como la memoria del ordenador, implementado con dispositivos electrónicos semiconductores en un circuito integrado (IC). Hay muchos tipos diferentes de implementaciones que utilizan diversas tecnologías.

La mayoría de los tipos de memoria de semiconductor tienen la propiedad de acceso aleatorio, lo que significa que se necesita la misma cantidad de tiempo para acceder a cualquier ubicación

de la memoria, por lo que los datos pueden ser accedidos de manera eficiente en cualquier orden aleatorio. Esto contrasta con los medios de almacenamiento de datos tales como discos duros y los discos compactos, que leen y escriben datos de forma consecutiva y, por tanto, el dato sólo se puede acceder en la misma secuencia que fue escrito. Memoria de semiconductores también tiene mucho más rápidos tiempos de acceso que otros tipos de almacenamiento de datos; un byte de datos se puede escribir o leer de la memoria de semiconductores dentro de unos pocos nanosegundos, mientras que el tiempo de acceso para la rotación de almacenamiento tales como discos duros está en el intervalo de milisegundos. Por estas razones, se utiliza para main memoria del ordenador (almacenamiento primario), para almacenar los datos de la computadora está trabajando actualmente, entre otros usos.

Los registros de desplazamiento, los registros del procesador, memorias intermedias de datos y otros pequeños registros digitales que no tienen ningún mecanismo de decodificación de dirección de memoria no se consideran como memoria a pesar de que también almacenan datos digitales.

En un chip de memoria de semiconductores, cada bit de datos binarios se almacena en un pequeño circuito llamado *celda de memoria* que consta de uno a varios transistores. Las células de memoria se disponen en matrices rectangulares en la superficie del chip. Las células de memoria de 1 bit se agrupan en pequeñas unidades llamadas *palabras* que se accede juntos como una sola dirección de memoria. La memoria se fabrica en longitud de palabra que suele ser una potencia de dos, típicamente $N = 1, 2, 4$ o 8 bits.

El dato se accede por medio de un número binario llamado una dirección de memoria aplicada a los pines de dirección del chip, que especifica qué palabra en el chip se va a acceder. Si la dirección de memoria consiste en M bits, en el número de direcciones en el chip es 2^M , cada uno que contiene un N palabra bit. En consecuencia, la cantidad de datos almacenados en cada chip es $N 2^M$ bits. La capacidad de almacenamiento de memoria para M número de líneas de dirección está dada por 2^M , que es por lo general en potencia de dos: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 y 512 y se mide en kibibits, mebibits, gibibits o tebibits, etc. a partir de 2014 los chips de memoria de semiconductores más grandes tienen unos gibibits de datos, pero constantemente se están desarrollando mayor capacidad de memoria. Mediante la combinación de varios circuitos integrados, la memoria puede

estar dispuesta en una longitud de palabra más grande y / o espacio de direcciones de lo que se ofrece por cada chip, a menudo, pero no necesariamente una potencia de dos.

Las dos operaciones básicas realizadas por un chip de memoria son "leídos", en el que los contenidos de datos de una palabra de memoria se leen (no destructiva), y "escribir" en el que los datos se almacenan en una palabra de memoria, en sustitución de los datos que estaba previamente almacenada allí. Para aumentar la velocidad de datos, en algunos de los últimos tipos de chips de memoria como DDR SDRAM varias palabras se accede con cada operación de lectura o escritura.

Además de los chips de memoria independientes, bloques de memoria de semiconductores son partes integrales de muchos circuitos de procesamiento integrado de ordenador y de datos. Por ejemplo, los microprocesadores chips que funcionan las computadoras contienen la memoria caché para almacenar instrucciones en espera de ejecución.

4.8.- MEMORIAS ROM CON DIODOS OBJTS

Memoria de sólo lectura (normalmente conocida por su acrónimo, Read Only Memory) es una clase de medio de almacenamiento utilizado en las computadoras y otros dispositivos electrónicos. Los datos almacenados en la ROM no se pueden modificar -al menos no de manera rápida o fácil- y se utiliza principalmente para contener el firmware (software que está estrechamente ligada a hardware específico, y es poco probable que requieren actualizaciones frecuentes).

En su sentido más estricto, se refiere sólo a ROM máscara ROM -en inglés MROM- (el más antiguo tipo de estado sólido ROM), que se fabrica con los datos almacenados en forma permanente, y por lo tanto,

nunca puede ser modificada. Sin embargo, las más modernas, como EPROM y Flash EEPROM se puede borrar y volver a programar varias veces, aun siendo descritos como "memoria de sólo lectura (ROM)", porque el proceso de reprogramación en general es poco frecuente, relativamente lento y, a menudo, no se permite la escritura en lugares aleatorios de la memoria.

Las computadoras domésticas a comienzos de los 80 venían con todo su sistema operativo en ROM. No había otra alternativa razonable ya que las unidades de disco eran generalmente opcionales. La actualización a una nueva versión significa usar un soldador o un grupo de interruptores DIP y reemplazar el viejo chip de ROM por uno nuevo. En el año 2000 los sistemas operativos en general ya no van en ROM. Todavía las computadoras pueden dejar algunos de sus programas en memoria ROM, pero incluso en este caso, es más frecuente que vaya en memoria flash. Los teléfonos móviles y los asistentes personales digitales (PDA) suelen tener programas en memoria ROM (o por lo menos en memoria flash).

Algunas de las consolas de videojuegos que usan programas basados en la memoria ROM son la Súper Nintendo, la Nintendo 64, la Sega Mega Drive o la Game Boy. Estas memorias ROM, pegadas a cajas de plástico aptas para ser utilizadas e introducidas repetidas veces, son conocidas como cartuchos. Por extensión la palabra ROM puede referirse también a un archivo de datos que contenga una imagen del programa que se distribuye normalmente en memoria ROM, como una copia de un cartucho de videojuego.

Una razón de que todavía se utilice la memoria ROM para almacenar datos es la velocidad ya que los discos son más lentos. Aún más importante, no se puede leer un programa que es necesario para ejecutar un disco desde el propio disco. Por lo tanto, la BIOS, o el sistema de arranque oportuno de la computadora normalmente se encuentran en una memoria ROM.

La memoria RAM normalmente es más rápida para lectura que la mayoría de las memorias ROM, por lo tanto el contenido ROM se suele traspasar normalmente a la memoria RAM cuando se utiliza.

Una PROM común se encuentra con todos los bits en valor 1 como valor por defecto de las fábricas; el quemado de cada fusible, cambia el valor del correspondiente bit a 0. La programación se realiza aplicando pulsos de altos voltajes que no se encuentran durante operaciones normales (12 a 21 voltios). El término *read-only* (solo lectura) se refiere a que, a diferencia de otras memorias, los datos no pueden ser cambiados (al menos por el usuario final).

Wen Tsing Chow y otros ingenieros de la División Armada continuaron con este suceso diseñando la primera «memoria de solo lectura no destructible» (*non-destructive read-only memory*, *NDROM*) para aplicarlo a misiles guiados, fundamentado en una base de dobleabertura magnética. Estas memorias, diseñadas originalmente para mantener constantes de objetivos, fueron utilizadas para sistemas de armas de misiles balísticos intercontinentales y de rango medio móvil.

La principal motivación para este invento fue que la Fuerza Aérea Estadounidense necesitaba reducir los costes de la fabricación de plaquetas de objetivos basadas en PROMs que necesitaban cambios constantes a medida que llegaba nueva información sobre objetivos del bloque de naciones comunistas. Como estas memorias son borrables, programables y re-programables, constituyen la primera implementación de una producción de memorias EPROM y EEPROM, de fabricación anterior al 1963.

Debe observarse que los términos modernos de estos dispositivos, PROM, EPROM y EEPROM, no fueron creados hasta un tiempo después de que las aplicaciones de misiles nucleares guiados hayan estado operacionales. Las implementaciones originales de Arma se refieren a las PROMs como "matriz de almacenamiento de constantes"; y a las EPROMs y EEPROM simplemente eran denominadas «memorias NDRO».

Las modernas implementaciones comerciales de las PROM, EPROM y EEPROM basadas en circuitos integrados, borrado por luz ultravioleta, y varias propiedades de los transistores, aparecen unos diez años después. Hasta que esas nuevas implementaciones fueron desarrolladas, fuera de aplicaciones militares, era más barato fabricar memorias ROM que utilizar una de las nuevas caras tecnologías desarrolladas y fabricados por los contratistas de misiles de las fuerzas aéreas.

De todas formas, en misiles, naves espaciales, satélites y otras aplicaciones de mucha confiabilidad, siguen en uso muchos de los métodos de la implementación original de los años

1950

4.9.- PROGRAMACIÓN DE LAS MEMORIAS ROM.

La tecnología MOS se usa preferentemente para circuitos LSI/VLSI. LSI integración en alta escala, comprende los circuitos integrados de 100 a 1000 compuertas, ejemplo de esto son las memorias, unidades aritméticas y lógicas, microprocesadores de 8 y 16 bits. Los VLSI integración de muy alta escala comprende los CI que contienen más de 1000 compuertas, ejemplo de esto son los microprocesadores de 32 bits, microcontroladores, sistemas de adquisición de datos. La razón principal de que se utilicen circuitos LSI/VLSI, es el hecho de que un transistor o puerta MOS ocupa solo aproximadamente una décima parte de la superficie de pastilla que necesita un dispositivo equivalente TTL.

Adicionalmente, los circuitos MOS frecuentemente tienen un consumo de potencia sustancialmente menor que sus equivalentes bipolares, permitiendo una densidad de componentes alta sin disipación de calor excesiva.

La principal desventaja de los circuitos MOS en comparación con los bipolares es unos mayores retardos en la propagación de señales, esto es, menores frecuencias de funcionamiento consecuencia de lo relativamente alta capacidad de entrada (*puerta-sustrato*) de los transistores MOS.

Tecnología CMOS

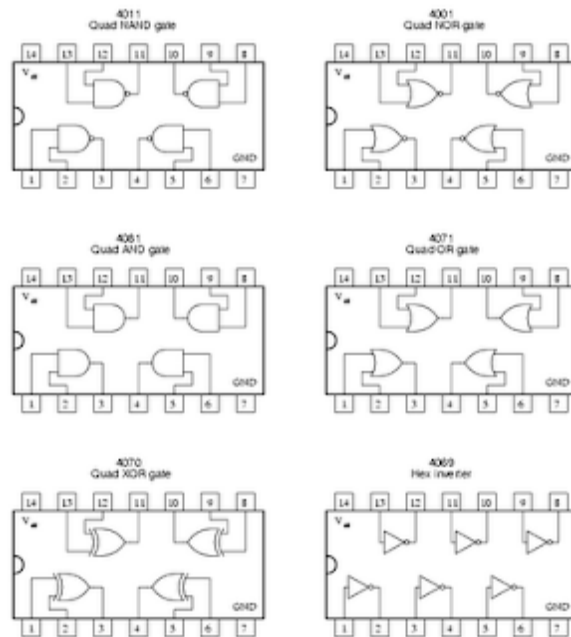
Una familia lógica MOS muy importante con un consumo extraordinariamente pequeño es la CMOS (*metal-óxido-semiconductor complementaria*). En un circuito CMOS se acoplan en forma de parejas transistores pMOS y nMOS de forma que se elimina la necesidad de resistencias o transistores de carga, de este modo se elimina también la pérdida de potencia asociada con cualquier resistencia eléctrica.

La principal desventaja de los CMOS es que utilizan un número mayor de transistores por puerta que otras familias lógicas, lo cual tiende a incrementar la complejidad y superficie del circuito.

La tecnología CMOS se está utilizando satisfactoriamente para fabricar circuitos lógicos en el rango de densidad de integración de SSI a VLSI. Las funciones lógicas usuales SSI y MSI son efectuadas por la CIs CMOS de la serie 4000, original de RCA, pero en la actualidad suministrada por muchos fabricantes de semiconductores. Esta serie es análoga a la serie de CIs 7400 TTL, aunque los códigos de identificación utilizados para las correspondientes funciones lógicas no están relacionados.

Por ejemplo: el CI CMOS 4011 es un circuito que contiene 4 NAND de dos entradas, siendo, por tanto, equivalente lógicamente al CI 7400, sin embargo, las series 4000 y 7400 de CIs difieren significativamente tanto en propiedades eléctricas como en consumo de potencia, velocidad de funcionamiento y abanico de salida.

La National Semiconductor corporation fue la primera que comercializó una versión CMOS de la serie 7400, denominada 74C00, que son compatibles con los dispositivos TTL de los números de las series similares. Esta familia CMOS contiene una variedad de CI de integración en pequeña escala (SSI) e integración en mediana escala (MSI) que permite sustituir muchos diseños TTL en diseños CMOS comparables. Esto es muy útil cuando se desea construir un equipo alimentado por batería.



4.10.- RAM DINÁMICA.

En informática, la memoria RAM (acrónimo de Random Access Memory, o Memoria de Acceso Aleatorio) es un tipo de memoria operativa de los computadores y sistemas informáticos, adonde va a ejecutarse la mayor parte del software: el propio sistema operativo, el software de aplicación y otros programas semejantes.

Su nombre proviene del hecho de que puede grabarse o recuperarse información de ella sin necesidad de un orden secuencial (como sí ocurre en la memoria ROM o Read- Only Memory, Memoria de Sólo Lectura), sino que puede accederse al RAM de la manera más rápida posible, con un tiempo de espera igual para cualquier posición de memoria.

La memoria RAM además es una forma de memoria temporal, que al apagar o reiniciar el sistema vuelve a estar en blanco. Esto considerando que al inicio del sistema los módulos básicos de

funcionamiento (como el POST o el BIOS), inscritos a menudo en ROM, hacen un chequeo de la memoria RAM para asegurarse de que esté operativa y se pueda volcar en ella el software necesario para iniciar el sistema.

Este tipo de memoria no siempre se encuentra soldada a la placa madre (en las consolas de videojuegos, por ejemplo, sí lo está), sino que descansa en tarjetas de circuitos impresos retirables y sustituibles en la misma, conocidos como Módulos de RAM. Cada módulo posee un número de chips de memoria y una capacidad específica, medida actualmente en megabytes (1024 kilobytes) o gigabytes (1024 megabytes).

La SRAM mantiene los datos sin necesidad de circuitos de refrescamiento.

Hoy en día existen dos tipos de memoria RAM contrapuestos:

SRAM. Acrónimo de Static Random Access Memory (o sea: Memoria Estática de Acceso Aleatorio), designa un tipo de memoria que se sustenta en semiconductores y capaz de mantener los datos sin necesidad de circuitos de refrescamiento, siempre y cuando se mantenga alimentada. De este tipo son las memorias NVRAM (Non-volatile Random Access Memory, o RAM no volátil) y MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory, o RAM magnética).

DRAM. Acrónimo de Dynamic Random Access Memory (o sea: Memoria Dinámica de Acceso Aleatorio), basa su tecnología en condensadores, que al perder carga progresivamente, requieren de un circuito de refresco que revisa su carga y la repone. Fue inventada a finales de 1960 y es el tipo más empleado actualmente, pues permite crear módulos de enorme densidad de posiciones y alta velocidad de recuperación. De este tipo son las memorias DRAM Asíncrona y SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory, o DRAM síncrona).

Por eso puede ocurrir que al mantener demasiadas aplicaciones activas simultáneamente, la capacidad de RAM del sistema se agote y ello repercuta en la calidad y la capacidad de cómputo.

La memoria RAM se conecta eléctricamente a un dispositivo concentrador de memoria, que gestiona las señales entrantes y salientes de la misma, por lo general consistentes en tres tipos de instrucción: direccionamiento, datos y señales de control.

Las diferencias entre la memoria RAM y la ROM tienen que ver con que:

La memoria RAM está siempre abierta a intervención y recuperación de la información, en cualquier momento, mientras que lo almacenado en la ROM puede ser únicamente recuperado y no intervenido.

La memoria RAM permite el acceso indiscriminado a la información, desde cualquier posición o momento; mientras que la ROM requiere de un acceso secuencial a la misma.

La memoria RAM es mucho más veloz que la ROM, por lo que a menudo los datos contenidos en esta última se envían y son ejecutados en la primera.

La memoria RAM es retirable, aumentable, reemplazable, mientras que los módulos de ROM suelen venir instalados o soldados a la placa base por el fabricante mismo del computador y no pueden ser manipulados por el usuario.

4.11 DDR 4

Al alcanzar DDR3 sus límites en un mundo que exige un rendimiento más elevado y un mayor ancho de banda, una nueva generación de DDR SDRAM, ha llegado. DDR4 entrega mayor rendimiento, capacidades DIMM más elevadas, una mejora en la integridad de los datos y ofrece un menor consumo de energía.

Llegando a más de 2 Gbps por pin y con menor consumo de energía que DDR3L (DDR3 de Bajo Voltaje), DDR4 proporciona aumento en el rendimiento y un ancho de banda de hasta 50%, mientras disminuye el consumo de energía de su entorno de informática en general. Esto representa una mejora significativa sobre las tecnologías de memoria anteriores y un ahorro de energía de hasta 40%.

Además de un rendimiento optimizado y más ecológico, computación de bajo costo, DDR4 también proporciona controles de redundancia cíclica (CRC) para mejorar la confiabilidad de los datos, detección de la paridad en el chip para la verificación de la integridad de transferencias de 'comando y dirección sobre un enlace, una mayor integridad de la señal y otras robustas características.

Características físicas

Los módulos DDR4 no se ven diferentes a primera vista, pero existen algunas diferencias sutiles. La RAM DDR4 no es compatible con las placas madre DDR3 y viceversa. La muesca se ha movido para evitar la inserción accidental de un tipo de memoria incorrecta. En lugar de 240 pines, cada módulo cuenta con 288 pines. Para mejorar la fuerza y el contacto eléctrico, hay una ligera curva en la forma de la parte inferior del PCB (placa de circuito impreso).

Velocidades más rápidas

En cuanto a las diferencias tecnológicas, DDR4 tiene velocidades más rápidas, a partir de 2133MHz, lo que sería gama alta para DDR3. Los aumentos de velocidad planificados podrían llevarlo mucho más allá de los 3200MHz.

Bajo consumo de energía

DDR4 es más eficiente que DDR3, consume hasta un 40% menos de energía y solo requiere 1.2V por módulo. Este es un gran beneficio para los portátiles, ya que proporciona una mayor duración de la batería.

Mayor capacidad

DDR4 admite chips de mayor densidad y tecnologías de apilamiento que pueden permitir módulos de memoria sencillos con capacidades de hasta 512 GB.

Confiabilidad mejorada

Con controles de redundancia cíclica mejorados, detección de paridad en el chip de transferencias de "comando y dirección" e integridad de señal mejorada, el DDR4 es el DDR más confiable hasta el momento.

MATERIAL WEB COMPLEMENTARIO

<https://www.youtube.com/watch?v=t7CYLI-qWS4>

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA Y COMPLEMENTARIA

- | <https://itm201533.webnode.es/products/tipos-de-chasis/>
- | <https://www.ejemplos.co/10-ejemplos-de-perifericos-de-comunicacion/#ixzz6T42kuGU6>
- | <https://www.caracteristicas.co/tecnologia/#ixzz6T3xKUIDH>
- | <https://www.profesionalreview.com/ssd/>
- | <https://concepto.de/placa-madre/#ixzz6SmKliI Ph>
- | <http://www3.uji.es/~mmarques/f47/teoria/tema7.pdf>
- | <https://www.profesionalreview.com/2019/11/18/registros-del-procesador/>
- | <https://web-argitalpena.adm.ehu.es/pdf/UCWEBI42021.pdf>
- | <http://jagarza.fime.uanl.mx/general/notas/FDDSC.pdf>
- | https://ocw.unican.es/pluginfile.php/313/course/section/261/tema_03.pdf
- | Diseño Digital /por M. Morris Mano y traducción de Julio Fournier González., Mano, M. Morris., DISEÑO LOGICO ; CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES ; CIRCUITOS LOGICOS ; COMPUTADORES ELECTRONICOS DIGITALES - CIRCUITOS.
- | Principios de Diseño Digital /por Daniel D. Gajski, traducción de Carlos Garcia Puntonet y otros., Gajski, Daniel D.
- | <https://concepto.de/microprocesador/#ixzz6SxXjNjpi>
- | <https://concepto.de/memoria-ram/#ixzz6TGIJHn8S>
- | https://www.ecured.cu/Memoria_RAM

