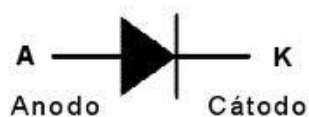


## Capítulo 3

### Tema I: Familias Lógicas de Circuitos Integrados Digitales

#### Diodos

Un diodo es dispositivo electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido, se puede comparar su funcionamiento a una llave. Los diodos semiconductores están hechos de cristal semiconductor, como el silicio o el germanio.



electrones).

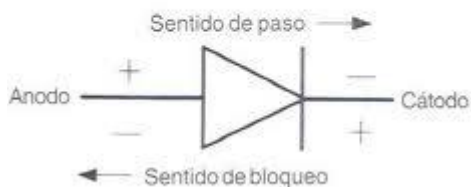
Están compuestos de dos partes: una llamada N y la otra llamada P, separados por una juntura llamada barrera o unión. El tipo N (cátodo) tiene electrones libres (exceso de electrones) y el semiconductor tipo P (ánodo) tiene huecos libres (ausencia o falta de

Al aplicar una tensión positiva al lado P y una negativa al lado N los electrones del lado N son empujados al lado P y los electrones fluyen a través del material P más allá de los límites del semiconductor. De igual manera los huecos en el material P son empujados con una tensión negativa al lado del material N y los huecos fluyen a través del material N.

En el caso opuesto, cuando una tensión positiva se aplica al lado N y una negativa al lado P, los electrones en el lado N son empujados al lado N y los huecos del lado P son empujados al lado P. En este caso los electrones en el semiconductor no se mueven y en consecuencia no hay corriente.



CONSTITUCION DEL DIODO

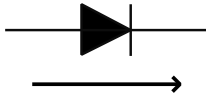


SIMBOLO DEL DIODO

El diodo semiconductor presenta un estado de conducción y otro de no conducción bien diferenciados, según su ánodo sea positivo o negativo con relación al cátodo.

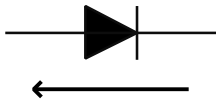
El diodo puede trabajar de dos maneras diferentes:

*Polarización directa:* es cuando la corriente que circula por el diodo lo hace del ánodo al cátodo, en este caso la corriente atraviesa el diodo con mucha facilidad comportándose prácticamente como un cortocircuito.



*Polarización inversa:* es cuando la corriente en el diodo circula en sentido opuesto a la flecha del diodo, o sea de cátodo a ánodo.

En este caso la corriente no atraviesa el diodo y se comporta como un circuito abierto

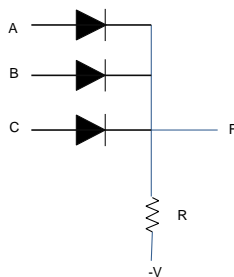


## Lógica de diodos

Es la más sencilla de todas y está basada en la conducción o no conducción de los diodos.

Si consideramos un sistema lógico con una tensión de alimentación de 5 V, dentro del intervalo los niveles de señal están divididos en dos BAJO y ALTO con un margen de ruido entre ellos.

Nivel de Señal	Denominación	Valor lógico binario
0 – 2 volts	BAJO	0
2 – 3 volts	Margen de ruido	Indefinido
3 – 5 volts	ALTO	1

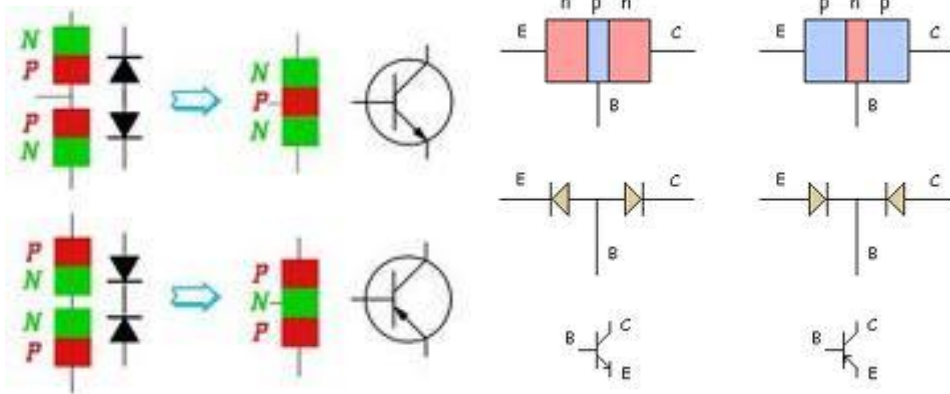


En la figura se muestra una compuerta OR con 3 entradas, si las entradas A, B y C están en nivel bajo, los diodos no conducen y la salida F está en nivel bajo.

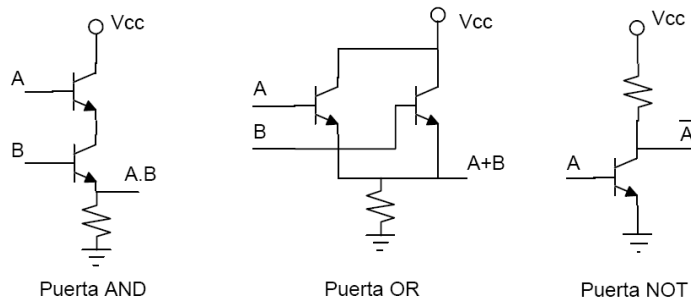
Si algunas de las entradas está en nivel alto, conduce su correspondiente diodo y la salida está al mismo potencial que esa entrada, restando los 0,7 v de caída de tensión en el diodo.

## Transistores

Un transistor puede ser considerado como la unión de dos diodos: uno formado por la unión emisor-base y otro formado por la unión base-colector. El terminal de base controla el paso de la corriente eléctrica entre el colector y el emisor.

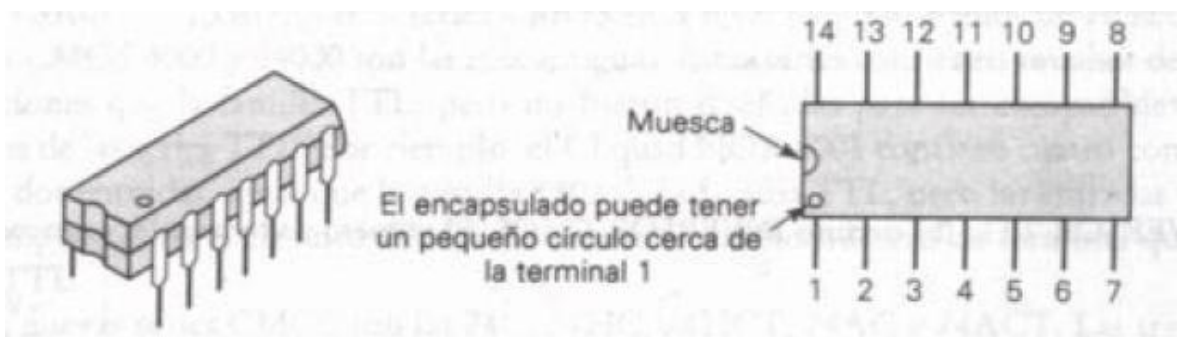


Con la lógica de transistores se pueden formar compuertas AND, OR y NOT como se muestran en la figura siguiente:



## 4-9 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS CI DIGITALES

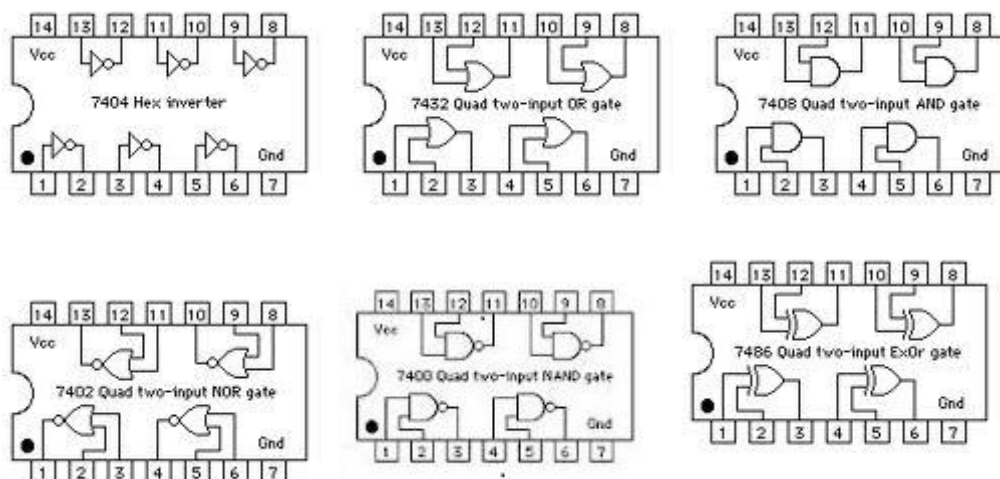
Los CI digitales son una colección de resistencias, diodos y transistores fabricados sobre una sola pieza de material semiconductor (generalmente silicio) denominada *sustrato*, que comúnmente recibe el nombre de circuito integrado (CI). El CI se encuentra dentro de un encapsulado plástico o de cerámica con terminales que permiten conectarlo con otros dispositivos. El tipo más común de encapsulado es el de **doble línea (DIP; dual-in-line package)**, que se muestra en la figura 4-28. Recibe este nombre porque está formado por dos hileras paralelas de terminales. Las terminales están numeradas en sentido opuesto a las manecillas del reloj cuando se ven por arriba, en relación con una muesca o punto que se encuentra en uno de los extremos del encapsulado y que sirve como identificación. El DIP que aparece en la figura 4-28 es un encapsulado de 14 terminales; también se emplean encapsulados con 16, 20, 24, 28, 40 y 64 terminales.



## Familia Lógica

Una Familia lógica se puede definir como la estructura básica a partir de la cual se pueden construir las puertas lógicas.

Cada bloque o circuito integrado está compuesto por varias puertas lógicas de un mismo tipo. El número de puertas depende del número de entradas que tenga cada una de ellas.



En la figura anterior se muestran los diagramas de conexión de los circuitos integrados de una determinada familia que contiene las puertas lógicas correspondientes. El número de terminales o pines es de 14; los terminales 7 y 14 son de alimentación, el pin 14 (Vcc) se conecta al polo positivo de la fuente de alimentación y en el 7 (GND) se conecta el polo negativo.

## Escalas de Integración de los circuitos lógicos

Los circuitos integrados digitales son un conjunto de resistencias, diodos y transistores fabricados en una sola pieza de material semiconductor. Este material por lo general silicio, es llamado sustrato y al circuito integrado se lo llama chip. El chip se encuentra envuelto en un paquete de plástico o cerámica protector del que algunos terminales sales de forma tal que el chip pueda ser conectado a otros dispositivos.

Desde el punto de vista de la densidad (componentes /mm<sup>2</sup>), la clasificación de los circuitos digitales integrados es la siguiente:

Acronimo	Complejidad	Número de compuertas
SSI	Small Scale Integration	Menos de 12
MSI	Medium Scale Integration	12 a 99
LSI	Large Scale Integration	100 a 9.999
VLSI	Very Large Scale Integration	10.000 a 99.999
ULSI	Ultra Large Scale Integration	100.000 a 999.999
GSI	Giga Large Scale Integration	1.000.000 en adelante

## Características generales de las puertas integradas

Al momento de seleccionar una familia lógica es recomendable tener en cuenta las siguientes características:

- ✚ Retardo de propagación o tiempo de Retardo (velocidad)
- ✚ Requerimientos de Potencia o Disipación de potencia
- ✚ Costo
- ✚ Capacidad de carga (fan-out, fan-in)
- ✚ Disponibilidad
- ✚ Margen de ruido

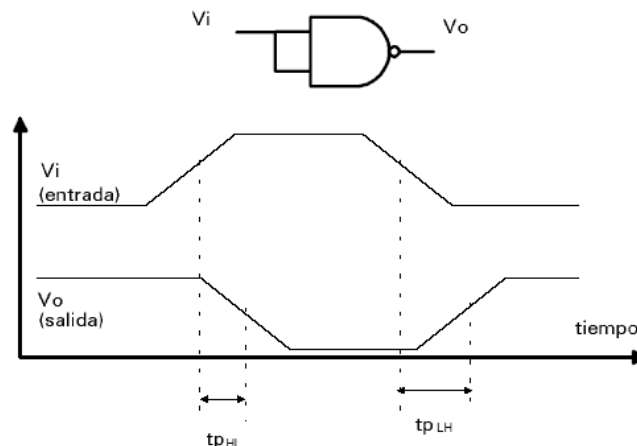
### Tiempo de retardo o retardo de propagación (velocidad):

Se trata del tiempo que transcurre entre la aplicación de una entrada lógica y la aparición de la salida lógica correspondiente. Los valores de tiempo de retardo se emplean como una medida de la velocidad relativa de los circuitos lógicos

La velocidad en la que opera un circuito lógico determina cuán rápido el circuito puede completar una tarea. Las limitaciones en velocidad surgen principalmente de dos fuentes:

1. El retraso encontrado por una señal en transitar por una compuerta.
2. El número de niveles de un circuito, o sea, el número de compuertas que una señal encuentra desde el punto de entrada al circuito y hasta la salida. A la secuencia de compuertas desde la entrada hasta la salida se lo conoce como camino lógico.

La velocidad de una compuerta lógica se mide por el retardo de propagación de un inversor básico o compuerta NAND. Para obtener éste parámetro se aplica una onda cuadrada a la entrada y se observa la salida. El retardo de propagación es la diferencia de tiempo desde que la entrada ha completado un 50% de transición hasta el instante donde la salida ha completado el 50% de su transición. El diagrama de tiempo es el siguiente:



En la figura anterior se observa dos tiempos de retardo:

$t_{pHL}$  : tiempo de propagación de Alto a Bajo

$t_{pLH}$  : tiempo de propagación de Bajo a Alto

Por lo general estos tiempos no son iguales, por lo tanto es conveniente elegir como especificación del circuito el peor de ellos, es decir Retardo =  $t_p = \max(t_{pHL} + t_{pLH})$ , ya que si no se tiene problema con el peor tiempo, no se tendrá problema con los demás.

Además:  $t_{pHL}$  y  $t_{pLH}$  dependen de las condiciones de carga

### Requerimientos de Potencia o Disipación de Potencia

Todos los CI requieren de potencia eléctrica para funcionar. Los voltajes de alimentación de los CI son  $V_{cc}$  ó  $V_{DD}$  según la familia lógica de que se trate.

La cantidad de potencia que necesita un CI en general se especifica en términos de la  $I_{cc}$  que consume de la fuente de alimentación  $V_{cc}$ , y es

$$PD = I_{cc} \times V_{cc}$$

En los circuitos lógicos el consumo de la I de la fuente variará **según los estados lógicos** de los circuitos en el chip. Así se consumirá una  $I_{ccH}$  o corriente de consumo en estado alto; y una  $I_{ccL}$  o corriente de consumo de estado bajo.

Entonces el circuito operará con una corriente de consumo promedio:

$$I_{ccProm.} = (I_{ccH} + I_{ccL}) / 2, \text{ entonces la Potencia de disipación promedio del circuito será:}$$

$$PD_{prom.} = I_{ccprom.} \times V_{cc}$$

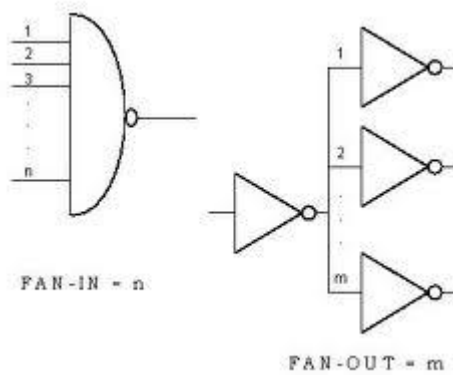
La disipación de potencia es la potencia suministrada necesaria para operar la compuerta, se mide en milivatios (mW) y representa la potencia real designada por la compuerta. Por ejemplo un circuito integrado de cuatro compuertas le exigirá a la fuente cuatro veces la potencia disipada por cada compuerta. Al ser variable, las mediciones típicas se realizan cuando en un circuito integrado la mitad de los circuitos están en el estado 1 y los otros en el estado 0, sin embargo, es conveniente tener el dato de la máxima potencia consumida.

### Costo

El costo de los circuitos integrados dependen de la cantidad fabricada y esto a su vez depende de la demanda. Las dos familias lógicas que mejores precios tienen son las TTL y CMOS.

### Capacidad de carga

Cuando se tienen dos compuertas interconectadas de forma tal que la salida de una se conecta a la entrada de otra, por ejemplo, la salida de la compuerta 1 se encuentra conectada a la entrada de la compuerta 2, se dice que la compuerta 1 maneja a la compuerta 2 y que la compuerta 2 carga a la compuerta 1. En otro caso, considere que la salida de una compuerta va a la entrada de otras 3 compuertas, estas compuertas cargan a la primera y esta maneja a las 3 posteriores.



Podemos decir que:

- **Fan-in (Factor de carga de entrada):** es el número máximo de entrada que puede tener una compuerta de una determinada familia lógica sin afectar su funcionamiento.

- **Fan-out (Factor de carga de salida):** es el número máximo de compuertas que pueden conectarse a la salida sin degradar los niveles lógicos (sin reducir el margen de ruido).

Ambos Factores son datos especificados por el fabricante del CI y están dados según valores límites que, en caso de ser sobrepasados por el usuario, el fabricante **no garantiza el correcto funcionamiento del circuito integrado**.

### Disponibilidad

Este factor está determinado por la popularidad de la familia lógica en el mercado local; pero más aún por la gama de circuitos que produce el fabricante.

### Margen de ruido

Cada familia lógica presenta voltajes nominales correspondientes al nivel alto y nivel bajo. Por ejemplo, para la familia TTL, el voltaje nominal para el valor alto es de 3,3V mientras que el del valor bajo es 0,5V. Las entradas y salidas de las compuertas presentan señales con valores predefinidos como alto y bajo a partir de los voltajes nominales. Sin embargo existen muchas formas en que señales no deseadas pueden ingresar al circuito o desarrollarse dentro de el. Este tipo de señales no deseadas se llaman Ruido.

El ruido puede ser producido por una gran cantidad de mecanismos en el medio ambiente o dentro del circuito, desde la radiación atmosférica o los 60 Hz de la línea eléctrica, hasta el ruido térmico en los circuitos integrados.

Los campos eléctricos y magnéticos pueden inducir señales espúreas en los pines de los CI lógicos, estas señales se llaman **“ruido”** y a veces pueden ocasionar que el voltaje de entrada de un circuito lógico caiga por debajo de  $V_{IH}(\text{mín})$  o exceda por encima de  $V_{IL}(\text{máx})$ ; lo cual podría producir operaciones poco confiables.

**La “Inmunidad al ruido” de un circuito se refiere a la capacidad del circuito lógico de tolerar voltajes ruidosos en sus entradas**

**“Margen de Ruido”: Es una medida cuantitativa de la Inmunidad al ruido**

Cuando las señales deseadas son acompañadas por ruidos, las señales deseadas son alteradas. Al momento de hacer un diseño se debe considerar que el circuito deberá funcionar correctamente aun con la presencia de ruido previsto hasta un cierto nivel. Esto es, el sistema deberá presentar inmunidad al ruido. Es importante considerar que los voltajes de entrada y salida se mantengan dentro del Margen de Ruido para que el sistema funcione adecuadamente. Así el fabricante proporciona:

**“Margen de Ruido de estado Alto”:**  $V_{NH} = V_{OH}(\text{mín}) - V_{IH}(\text{mín})$

**“Margen de Ruido de estado Bajo”:**  $V_{NL} = V_{OL}(\text{máx}) - V_{IL}(\text{máx})$

### **Producto Potencia – Velocidad**

Es deseable tener en las familias lógicas menores retardos de propagación ( mayores velocidades) y bajos valores de disipación de potencia.

Con el producto  $P \times t_p$  se mide y compara el desempeño global de una familia de CI, o sea

$$PD \times t_p$$

**Ejemplo: si  $t_p = 10 \text{ ns}$ ; y  $P_d = 5 \text{ mW}$ ;  $PD = 50 \text{ pJoules}$ .**

Se desea tener un bajo valor para el producto mencionado lo cual se logra aumentando la velocidad (reduciendo el tiempo de retardo) ó reduciendo el consumo de potencia. Es difícil lograr las dos instancias debido a la naturaleza de los transistores que conforman los circuitos de conmutación.



## Familias Lógicas TTL - ECL – MOS

### Familia Lógica TTL

Existen seis familias lógicas con Transistores de juntura bipolar:

**RTL:** Lógica Resistor – Transistor

Fue la primera y la más utilizada, usaba en los circuitos lógicos Resistores y Transistores.

**DTL:** Lógica Diodo – Transistor

Fue muy popular durante muchos años. Al incorporar diodos en los circuitos lógicos proporcionó mejoras en la inmunidad al ruido y capacidades de carga máximas, en relación a la familia lógica RTL.

Con el pasar de los años algunos fabricantes desarrollaron familias lógicas en las que se reemplazaron los diodos comunes por diodos zener de modo tal que los transistores no conducían hasta que sus tensiones de entrada alcanzaban los 6 V. Esto aumentó la inmunidad al ruido siendo así esta lógica la adecuada para ser usada en ambientes industriales. Surgen así las familias lógicas:

**-HTL:** Lógica de Umbral Alto (High Threshold Logic)

**-HNIL:** Lógica de alta inmunidad al ruido (High Noise Immunity Logic)

Finalmente, los fabricantes desarrollaron otros subgrupos de familias lógicas muy empleados:

**-ECL:** Lógica de Emisor Acoplado.

**-TTL:** Lógica Transistor Transistor

### Familia Lógica Transistor – Transistor:

Comenzó como una familia lógica única. La Familia lógica TTL es la más importante de todas y a partir de ella se fueron perfeccionando los circuitos lógicos en la obtención de sub familias derivadas, en función de obtener calidad en disipación de potencia, velocidades mayores y alta inmunidad al ruido. Luego, según las necesidades de alta velocidad, baja consumo de potencia o factores de carga más altos; es que se desarrollaron diferentes subgrupos para esta familia lógica:

a- **TTL Standard:**

Pertenecen a esta familia lógica la serie 54/74. Así encontramos compuertas como:

7400 Nand; 7402 NOR; 7408: And; etc

Los fabricantes suelen anteponer letras para diferenciar las fábricas, como por ejemplo: DN (National Semiconductor) ó SN (Texas). Identificándose el dispositivo integrado como: SN 7400 Nand. SN: Texas Instruments.

Los números **54/74** indican que los dispositivos funcionan con rangos de temperaturas diferenciados y diferentes rangos de tensión de alimentación.

Serie 54:  $-V_{alim} = 4,75 \text{ V a } 5,25 \text{ V}$

-Temperatura de trabajo :  $-55^{\circ}\text{C a } 125^{\circ}\text{C}$

Serie 74:  $-V_{alim} = 4,5 \text{ V a } 5,5 \text{ V}$

-Temperatura de trabajo :  $0^{\circ}\text{C a } 70^{\circ}\text{C}$

Dentro de la serie 74 hay una gran variedad de compuertas, Flip Flop, multivibradores y monoestables a pequeña escala (SSI); y decodificadores, codificadores circuitos aritméticos; que se ofrecen en la línea de integración a escala media (MSI).

Este subgrupo requiere una **potencia de disipación  $P_D = 10 \text{ mw}$  y un retardo de propagación promedio  $T_p = 9 \text{ ns}$**

#### **b- H-TTL: TTL de Alta Potencia o bajo consumo de Potencia**

Fue desarrollada para excitar circuitos y otras aplicaciones que requerían una carga máxima elevadas; y también para aplicaciones en las que se requería una elevada velocidad de respuesta.

Las altas velocidades se alcanzaron con la incorporación en los circuitos lógicos de resistores de menor valor que los utilizados en la TTL standard. Consume más potencia que la TTL Standard.

Así el tiempo de propagación promedio logrado para este subgrupo es de  **$T_p = 6 \text{ ns}$** ; a costa de una mayor disipación de potencia  **$P_D = 23 \text{ mw}$** .

Esta familia lógica no es muy empleada y está disponible en unas cuantas funciones lógicas.

#### **c- L-TTL: TTL de Baja Potencia o bajo consumo de Potencia**

Fue desarrollada para aplicaciones en las cuales se requieren bajo consumo de energía y también donde se pueden tolerar reducciones en la velocidad de operación.

El bajo consumo se logró empleando resistores de mayor valor que los usados en la TTL standard, lo cual hace que haya un incremento en el retardo de propagación  $T_p$ , haciendo a esta familia la más lenta del subgrupo.  $P_D = 1 \text{ mw.}$  ;  $T_p = 33\text{ns}$

Se adaptan a esta serie circuitos operados a baterías como las calculadoras.

#### d- TTL Shottky (S – TTL)

Subgrupo de la familia TTL fue desarrollado para aplicaciones de alta velocidad.

Emplea transistores Shottky en lugar de Transistores de juntura bipolar. Los Transistores Shottky trabajan de modo tal que reducen el  $T_p$  (tiempo de retardo de propagación), o sea aumentan la velocidad de respuesta de las compuertas.

También emplea resistores de bajo valor, lo que aumenta la disipación de potencia  $P_D = 20 \text{ mW}$ ; su retardo de propagación:  $T_p = 2\text{ns}$ .

Pertenece a este subgrupo la **Serie 74S**, es más rápida que la H – TTL con un requerimiento de potencia similar.

#### e- TTL Shottky de baja Potencia (LS – TTL)

Subgrupo que proporciona la misma velocidad que la TTL standard original, pero con una considerable reducción en el consumo de energía. Es como una TTL de bajo consumo de potencia, pero con transistores Shottky en lugar de transistores bipolares.

Entonces es una versión de la 74S con menor consumo de potencia. Los resistores que emplea son de valor mayor que los empleados en la 74S lo que hace reducir el consumo de potencia de los circuitos a expensas de un aumento en los tiempos de conmutación ( $T_p$ ). Ha sido muy popular y son varias las funciones lógicas que se hallan disponibles en este subgrupo.

$T_p = 9,5 \text{ ns}$  ;  $P_D = 2 \text{ mW}$

#### f- TTL Shottky Avanzada (AS – TTL)

Subgrupo que proporciona velocidad un poco más elevada y menor consumo de energía que la S – TTL. Pertenece a este subgrupo la serie 74AS. Reemplaza a la serie 74S en donde las necesidades de velocidad de conmutación son muy grandes.

#### g- TTL Shottky Avanzada de Baja Potencia (ALS – TTL)

Esta subfamilia proporciona una excelente combinación de velocidad y consumo de potencia. Utiliza transistores Shottky e incorpora mejoras en el material y también disminuye las dimensiones de los circuitos.

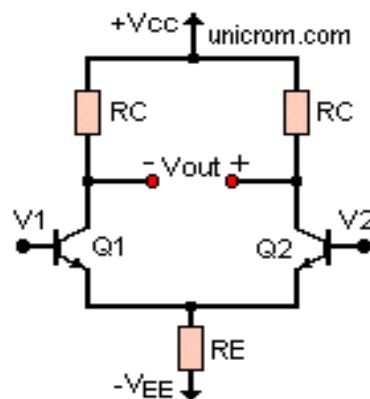
$$T_p = 4 \text{ ns} \quad ; \quad P_D = 1,2 \text{ mW}$$

Esta familia lógica es la que presenta el menor producto  $T_p \times P_D$

---

### -Lógica ECL (Lógica de Emisor acoplado)-

En esta familia lógica se incrementa notablemente la velocidad de los circuitos integrados digitales, porque se evita el retardo de tiempo que presentan los transistores, al conmutar de encendido a apagado. Esto se logra empleando una configuración circuital denominada “Amplificador Diferencial”.



Opera por el principio de conmutación de corriente, por el cual una corriente fija conmuta de un transistor a otro.

Características de la Familia ECL:

a- Los transistores nunca se saturan, por lo que la velocidad de conmutación es muy alta (bajo tiempo de retardo)  $t_p = 2 \text{ ns}$ . Es más rápida que la STTL y que la 74AS.

b- La potencia de disipación:  $P_D = 40 \text{ mW}$  (milivatios). Muy elevada.

c- Margen de ruido:  $V_N = 250 \text{ V}$  (voltios)

d- Factor de carga: 25

d- Un bloque lógico ECL produce una salida y su complemento (la salida en el circuito es  $V_{out}$ ).

c- Esta familia lógica no se usa tan ampliamente como la TTL ó la familia MOS porque las tensiones de alimentación ( $-V_{EE}$ ) y niveles lógicos ( $-0,8$  V para el "1" lógico y  $-1,70$  V para el "0" lógico), no son compatibles con otras familias lógicas como las TTL, por ejemplo.

**Aplicaciones:** Dispositivos especializados como procesadores de radar y computadores de elevada velocidad.

---

### -Familia Lógica MOS-

Su nombre se debe a que se utiliza un componente básico llamado Transistor MOS (Metal-Oxide-Semiconductor). Es de material semiconductor y se caracteriza por tener una zona denominada canal, entonces el transistor puede llamarse MOS canal N, MOS canal P o CMOS (MOS complementario). El dispositivo CMOS es en realidad una complementación de los dos primeros. De aquí surgen los subgrupos pertenecientes a la familia MOS:

**Familia PMOS:** en esta clase se fabricaron los primeros tipos de memorias. Fueron de pobre velocidad y desempeño, requiriendo elevadas tensiones de alimentación (12V).

**Familia NMOS:** Desplazaron a las anteriores. Se introdujeron mejoras en el procesamiento del material y se redujeron las dimensiones físicas de los CI.

Operan con menores tensiones de alimentación y mayores velocidades.

Se emplea esta familia en la fabricación de microprocesadores y memorias.

**Familia lógica CMOS:** Se construye con pares complementarios o conjuntos de transistores MOS de canal N y canal P. Frente a las dos primeras NMOS y PMOS, esta familia presenta mayor velocidad y menor disipación de potencia.

La familia CMOS básica es la serie 4000 y en ella se incluyen no solo puertas lógicas sino también dispositivos más complejos como contadores, registros, memorias, microprocesadores, etc. La escala de integración son MSI, la LSI y la VLSI.

Las características más significativas de esta serie son:

- Tensión de alimentación variable entre 3 y 18 V.
- Rango de temperatura comprendido entre  $-40$  y  $85^{\circ}\text{C}$
- Fan-out generalmente superior a 50
- Niveles de tensión (para una alimentación de 5V:
  - $V_{IH \min} = 3,5\text{V}$
  - $V_{IL \max} = 1,5\text{V}$
  - $V_{OH \min} = 4,95\text{V}$   $V_{OL \max}$

○  $V_{OL\ max} = 0,05V$

- Gran inmunidad al ruido: no le afectan impulsos del 30% de la tensión de alimentación.
- Los tiempos de propagación varían inversamente a la tensión de alimentación, siendo de 60 ns para 5 V y de 30 ns para 10 V.
- La potencia disipada por puerta es del orden de 10nW

**Frente a la Familia TTL, los circuitos integrados CMOS** son una fuerte competencia, debido a las mejores características que presentan en algunos de sus aspectos:

La **principal ventaja** es la **menor disipación de potencia** por función, lo que supone una mayor densidad de integración, lo que permite que se tengan más circuitos en un área determinada de sustrato de material semiconductor **lo que reduce su costo**. Por otro lado, esta familia tiene una **mayor inmunidad al ruido** eléctrico pero los tiempos de propagación, en general, son superiores y el número de bloques integrados disponibles es menor.

La **desventaja** de esta familia es que **es más lenta que la familia TTL**, aunque la nueva serie CMOS de alta velocidad, series HC y HCT pueden competir con las series 74 y 74LS.

#### Características:

- Tensión de alimentación variable entre 3 y 18 V.
- Rango de temperatura comprendido entre -40 y 85°C
- Fan-out generalmente superior a 50
- El factor de carga máximo es elevado, superior a 50.
- Gran inmunidad al ruido: no le afectan impulsos del 30% de la tensión de alimentación.
- Los tiempos de propagación  $t_p$  varían inversamente a la tensión de alimentación, siendo de 60 ns para 5 V y de 30 ns para 10 V.
- La potencia disipada por puerta es del orden de 10nW

#### Comparación entre familias lógicas TTL - CMOS

En la tabla se dan los valores de los parámetros característicos de dos circuitos integrados que implementan la misma función lógica en las familias TTL (74LS00) y CMOS (CD4011) cuando ambos son alimentados con 5V que es el estándar para la familia TTL, y está dentro del rango de alimentación de la familia CMOS 4000 ( $V_{ALIM}$  entre 3 y 18V). Ambos chips incluyen cuatro compuertas NAND de dos entradas.

**CMOS****FAMILIA****TTL**

CD4011	DENOMINACIÓN COMERCIAL	74LS00
$V_{IH}$ (V)	2	3,5
$V_{IL}$ (V)	0,8	1,5
$V_{OH}$ (V)	2,7	4,95
$V_{OL}$ (V)	0,5	0,05
$I_{IH}$ (mA)	0,02	0,0001
$I_{IL}$ (mA)	-0,36	-0,0001
$I_{OH}$ (mA)	-0,4	-0,51
$I_{OL}$ (mA)	8	0,51
P (mW)	15	1,25
$T_p$ (ns)	10	250

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS FAMILIA TTL 74LS00 Y CMOS CD401