

# Familias Lógicas

José Antonio Morfín Rojas

Universidad Iberoamericana, Ciudad de México

Departamento de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

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 comunmente se le llama *chip*. El chip se encuentra envuelto en una paquete plástico o cerámico protector del que algunas terminales salen de forma tal que el chip pueda ser conectado a otros dispositivos.

Acrónimo	Complejidad	Número de Compuertas
SSI	Small Scale Integration	Menos de 12
MSI	Medium Scale Integration	12 a 99
LSI	Large Scale Integration	100 a 9999
VLSI	Very Large Scale Integration	10,000 a 99,999
ULSI	Ultra Large Scale Integration	100,000 a 999,999
GSI	Giga Scale Integration	1,000,000 en adelante

Tabla 1: Clasificación de los Circuitos Integrados por su Complejidad

Los circuitos integrados se clasifican por su complejidad medida por el número de compuertas lógicas o sus equivalentes en el sustrato. Existen seis niveles de complejidad que se definen en la tabla 1. En los sistemas digitales modernos se utilizan algunos MSI y muchos LSI, VLSI, ULSI y GLS y realizan funciones que antes requerían bastantes circuitos impresos llenos de chips SSI. Sin embargo, circuitos SSI son aun utilizados para conectar circuitos de mayor integración entre si, por lo que es importante entender como analizar, diseñar, probar y poner en funcionamiento los circuitos combinatorios.

RTL	Resistor-Transistor Logic
DTL	Diode-Transistor Logic
TTL	Transistor-Transistor Logic
ECL	Emitter-Coupled Logic
MOS	Metal-Oxide Semiconductor
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
BiCMOS	Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor

Tabla 2: Algunas familias lógicas

Los componentes utilizados para la construcción de circuitos básicos llevan por lo general el nombre de la tecnología utilizada. Muchas familias lógicas de circuitos integrados han sido utilizados comercialmente. En la tabla aparecen algunas de las tecnologías históricamente más importantes. Las familias RTL y DTL fueron de las primeras familias utilizadas y hoy en día son totalmente obsoletas. La familia TTL es la tecnología que ha sido utilizada por varias décadas pero actualmente se utilizan poco aunque aun se consigue fácilmente en el mercado. La familia ECL presentaba una gran ventaja en sistemas que requerían operar a gran velocidad pero ha sido sustituida por la familia CMOS. MOS se utiliza para circuitos que requieren de una gran densidad de componentes y CMOS se utiliza en sistemas que requieren poco consumo de energía y se ha convertido en la familia predominante en el mercado. La familia BiCMOS, que es una combinación de CMOS y TTL se utiliza en forma selectiva para casos en que la familia CMOS no puede manejar adecuadamente la corriente necesaria o la velocidad.

Las dos familias más utilizadas en la actualidad son TTL basada en los transistores bipolares y MOSFET basada en los transistores unipolares de efecto de campo electromagnético. La familia dominante en por lo menos 25 años ha sido TTL. La figura 1 muestra el circuito con el que se construyen los negadores de la serie estándar 74. El circuito negador esta constituido por varios transistores bipolares, diodos y resistencias. TTL es el líder en SSI y MSI. La familia CMOS pertenece a la categoría unipolar ya que utiliza transistores MOSFET.

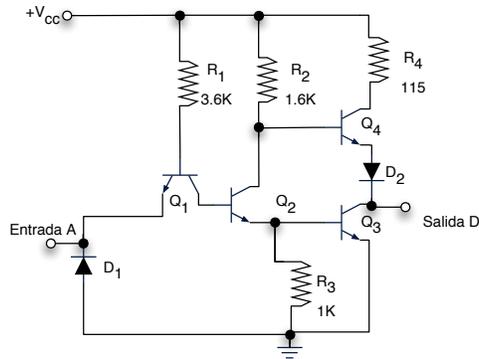


Figura 1: Circuito negador en TTL

## 1. Familia TTL

La familia de circuitos integrados TTL consiste de varias subfamilias o series. La tabla 3 muestra el nombre de cada serie TTL junto con el prefijo asignado a dicha serie.

Serie TTL	Prefijo	Negador con 6 compuertas
Standard TTL	74	7404
Schottky TTL	74S	74S04
Low-Power Schottky TTL	74LS	74LS04
Advanced Schottky TTL	74AS	74AS04
Advanced Low-Power Schottky TTL	74ALS	74ALS04

Tabla 3: Series de la Familia TTL

Las diferencias entre las series de TTL se dan en las características eléctricas como consumo de potencia, retraso, velocidad. Son iguales en lo que se refiere a la correspondencia de las terminales de entrada y salida, la operación que realiza, etc. Por ejemplo, los circuitos 7404, 74S04, 74LS04, 74AS04 y 74ALS04 realizan la misma operación de negación, cuentan con 6 negadores en cada circuito y todos tienen en las terminales 1, 3, 5, 9, 11 y 13 las entradas, en las terminales 2,4,6, 8, 10 y 12 las salidas y las terminales 7 y 14 corresponden a  $V_{cc}$  y  $GND$ .

## 2. Familia CMOS

Existen también varias familias CMOS que se muestran en la tabla 4. La primer serie CMOS es la serie 4000. Esta serie contaba con casi las mismas funciones lógicas que la familia TTL pero las terminales no se encontraban en el mismo orden. Por ejemplo, el modelo 4001 contaba con cuatro compuertas NOR de 2 entradas cada una al igual que el TTL 7402 pero las terminales no se encuentran en el mismo orden en estos chips. Sin embargo, existen las se-

Serie CMOS	Prefijo	NOR
Compuerta de Metal CMOS	40	4001
Compuerta de Metal CMOS, terminales compatibles con TTL	74C	74C02
Compuerta de Silicio CMOS, terminales compatibles con TTL, alta velocidad	74HC	74HC02
Compuerta de Silicio CMOS, alta velocidad, terminales y electricamente compatibles con TTL	74HCT	74HCT02
CMOS de desempeño avanzado	74AC	74AC02
CMOS de desempeño avanzado, compatible electricamente con TTL	74ACT	74ACT02

Tabla 4: Series de la Familia CMOS

ries 74C, 74HC, 74HCT, 74AC y 74ACT que son series CMOS relativamente nuevas. Las tres primeras series son compatibles con TTL en lo que a las terminales se refieren. Por ejemplo, los chips 74C02, 74HC02 y 74HCT02 tienen exactamente las mismas terminales en el orden adecuado que la compuerta TTL 7402. La serie 74HC y 74HCT operan a mayor velocidad que la familia 74C. La serie 74HCT fue diseñada para ser eléctricamente compatible con la familia TTL. La serie 74AC es una serie de desempeño avanzado y no es compatible con TTL. La serie 74ACT es también eléctricamente compatible

con TTL.

### 3. Características de Entrada y Salida de las Compuertas Lógicas

Los circuitos de conmutación físicamente están hechos de interconexiones físicas de compuertas lógicas que surge de una expresión algebraica desarrollada para una tarea digital específica. La salida de una compuerta se conecta con la entrada de otra compuerta. Idealmente no se considera interacción entre las compuertas, esto es, la operación de una compuerta es independiente de otra compuerta, sin embargo en la realidad las características de cada familia definen el comportamiento de las entradas y las salidas de las compuertas. A continuación se describen algunas de las características más importantes de las compuertas, mismas que deberán ser tomadas en cuenta al momento de hacer un diseño lógico.

#### 3.1. Fan-In y Fan-Out

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 la compuerta 1 maneja a la compuerta 2 y que la compuerta 2 carga a la compuerta 1. En otro caso, considérese 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. El Fan-Out<sup>1</sup> es el número máximo de compuertas que pueden conectarse a la salida de una compuerta. La tecnología TTL debe proveer de corriente las entradas de las compuertas. La corriente que una compuerta TTL puede entregar es limitada por lo que el número de compuertas que se pueden conectar a la salida de una compuerta es también limitado. En cambio, la tecnología CMOS no requiere entregar corriente a las entradas de la siguiente compuerta por lo que CMOS tiene un Fan-Out ilimitado. Sin embargo, el Fan-Out en la tecnología CMOS tiene un impacto importante en el retraso que ocurre en las compuertas.

Una solución cuando se tienen muchas compuertas conectadas a la salida de una sola, es la utilización de *Buffers* de forma que la corriente que requie-

---

<sup>1</sup>Abanico de Salida

ren las entradas de las compuertas se divida entre dos o más compuertas en su salida, esto es, para tecnología TTL. Para el caso de CMOS, la utilización de Buffers reduce el tiempo de retraso.

El número de entradas que presenta una compuerta se conoce como Fan-In. Aunque no existe una limitante en cuanto al Fan-In de una compuerta, sólo se obtienen modelos con un determinado número de entradas. Si se requiere utilizar una compuerta con un Fan-In que no se encuentra comercialmente, es necesario utilizar varias compuertas comerciales para construirlo. En cuando a las compuertas de la familia TTL, no existe mucha restricción en esto, pero para el caso de las compuertas de la familia CMOS existen limitantes en retrasos y velocidad como se verá más adelante.

### **3.2. Consumo de Potencia**

Siempre que exista corriente en un circuito eléctrico, una parte de la energía se convierte en calor. Si el circuito debe seguir funcionando este calor debe ser disipado de forma tal que no se acumule calor excesivo en los dispositivos del circuito. El consumo de potencia es un factor muy importante que debe considerarse al momento de realizar un diseño. Siempre es posible reducir el consumo de potencia o utilizar dispositivos capaces de manejarla, pero en Ingeniería todo tiene un costo. Por ejemplo, si se reduce el consumo de potencia, es posible que se reduzca la velocidad. Para conservar la velocidad debe utilizarse algún dispositivo que puede manejar la potencia, pero estos dispositivos suelen ser más caros y más grandes.

### **3.3. Margen de Ruido**

Cada familia lógica presenta voltajes nominales correspondientes al nivel alto y al 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 él. Este tipo de señales no deseadas es llamado *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.

Cuando las señales deseadas son acompañadas por ruido, las señales deseadas son alteradas. Al momento de hacer un diseño debe considerarse 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. Una medida de la cantidad de ruido que un dispositivo puede tolerar antes de presentar un comportamiento erróneo se conoce como *Márgen de Ruido*. Es importante considerar que mientras los voltajes de entrada y salida se mantengan dentro del Márgen de Ruido, el sistema deberá funcionar adecuadamente.

### 3.4. Velocidad y Retraso de Propagación

La velocidad en la que opera un circuito lógico determina cuan rápido el circuito puede completar una tarea. Las limitaciones en velocidad surgen principalmente de 2 fuentes:

1. El retraso encontrado por una señal en transitar por una compuerta
2. El número de niveles de un circuito, esto es, 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 le conoce como *camino lógico*

El retraso en una compuerta de la familia TTL depende básicamente del hecho de que los transistores que forman una compuerta requieren un tiempo mayor a cero para cambiar su estado entre corte y saturación y viceversa. Este retraso se debe en gran medida a la carga vista por la compuerta. Por lo tanto, en los circuitos TTL es posible asumir que el retraso de la compuerta lógica tiene un tiempo predeterminado y que el tiempo total de retraso de un circuito formado por compuertas TTL se obtiene mediante la acumulación de los retrasos de las compuertas que forman el camino lógico.

En la familia CMOS el retraso no proviene solamente del tiempo que requieren los transistores en cambiar de estado sino también del tiempo que requiere la capacitancia de las compuertas del Fan-Out en cargarse y descargarse. El retraso debido al tiempo de transición de los transistores se le conoce como *retraso intrínseco*, mientras que el retraso debido a la capacitancia se le conoce como *retraso extrínseco*. El retraso intrínseco es una función que depende en gran medida del Fan-In de la compuerta; mientras que el retraso extrínseco depende del Fan-Out. Las compuertas con un Fan-In grande tienen mayor retraso intrínseco que las compuertas con un Fan-In pequeño.

En la familia CMOS es recomendable incrementar el número de niveles de compuertas para conservar el Fan-In pequeño y de esa forma reducir el retraso intrínseco. El retraso extrínseco es causado por una limitante física impuesta por la capacitancia: toma tiempo a la corriente de la compuerta que maneja el cargar o descargar la capacitancia hasta el nivel de voltaje deseado. El retraso extrínseco en una compuerta CMOS no puede ser calculado con precisión contando el número de compuertas en el camino lógico. Es necesario revisar las especificaciones del fabricante de forma que se obtenga el retraso dado por la carga capacitiva a partir de unas curvas de retraso.

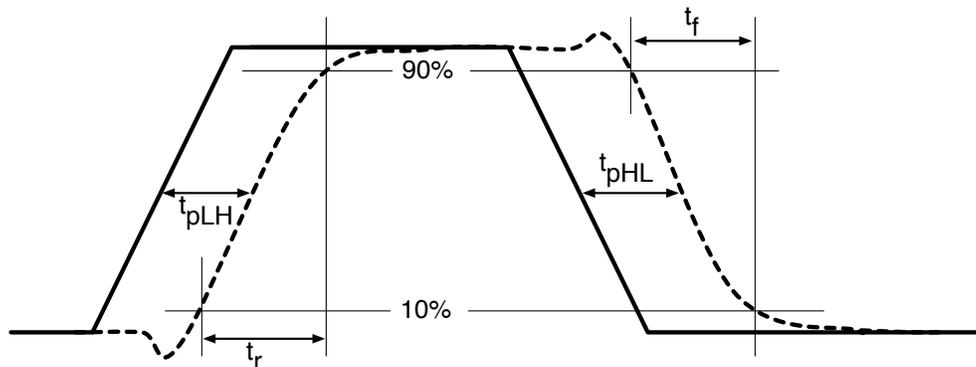


Figura 2: Respuesta de una compuerta AND a un impulso en las entradas

La respuesta al pulso mostrada en la figura 2 ilustra el efecto de todos los transistores y otros componentes en una compuerta. Los tiempos  $t_{pLH}$  y  $t_{pHL}$  son los retrasos de propagación de la transición bajo-alto y alto-bajo respectivamente. El tiempo de retraso de propagación es el tiempo transcurrido entre el cambio en la señal de entrada y la respuesta de la salida. Los tiempos  $t_{pLH}$  y  $t_{pHL}$  no son necesariamente los mismos para una compuerta en específico. Los tiempos  $t_r$  y  $t_f$  son los tiempos de subida y bajada respectivamente de la señal y se definen como el tiempo requerido por una señal en hacer la transición desde un 10% hasta un 90% de su valor final.

La familia lógica que se utilice en un determinado diseño es función de los requerimientos propios del sistema a desarrollar y se deben tomar en cuenta todos los factores eléctricos, económicos, espacio, alimentación, etc. Por ejemplo, factores como espacio y tamaño son importantes, ya que si bien

un chip puede ser del tamaño de un grano de arena, el empaquetado comercial que presenta puede presentar ciertos retos de diseño al momento de colocarlo junto a otros chips en un circuito impreso. La confiabilidad de los circuitos integrados utilizados es muy importante ya que se deben considerar por ejemplo, las temperaturas en las que operará el sistema. Existen versiones militares de circuitos integrados que presentan rangos de temperatura de operación mayores a los modelos convencionales, claro que esto implica un costo adicional. Los requerimientos de potencia del sistema son otro factor sumamente importante. Para que un circuito funcione adecuadamente el calor excesivo debe ser eliminado. En algunos equipos antiguos basados en la tecnología ECL, se requerían tubos con gas Freón que circulaba por todas las tarjetas de la computadora para enfriar el sistema ya que de no hacerlo se podían derretir las tarjetas impresas. La reducción de potencia en un chip y la reducción de tamaño del circuito van de la mano. Si se requiere menor disipación de potencia los circuitos pueden empacarse con mayor densidad sin problemas de sobrecalentamiento. Otro factor fundamental en un diseño es el costo del sistema en su totalidad. El trabajo de todo ingeniero es lograr el balance adecuado de todos estos factores.