

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

**F. I. M. E. E.**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DIGITAL I**

**MANUAL DE PRÁCTICAS**

**René de Jesús Romero Troncoso**



# Contenido:

<b>Práctica 1.</b>	<b>Introducción al equipo y herramientas de laboratorio</b>	<b>1</b>
<b>Práctica 2</b>	<b>Tecnología digital TTL</b>	<b>5</b>
<b>Práctica 3</b>	<b>Compuertas básicas</b>	<b>9</b>
<b>Práctica 4</b>	<b>Funciones lógicas combinacionales</b>	<b>11</b>
<b>Práctica 5</b>	<b>Conmutadores lógicos</b>	<b>13</b>
<b>Práctica 6</b>	<b>Introducción a la lógica programable</b>	<b>15</b>
<b>Práctica 7</b>	<b>Funciones lógicas con circuitos programables</b>	<b>19</b>
<b>Práctica 8</b>	<b>Circuitos aritméticos</b>	<b>21</b>
<b>Práctica 9</b>	<b>Proyectos de lógica combinacional</b>	<b>23</b>
<b>Apéndice</b>	<b>Lista de material requerido</b>	<b>25</b>



# PRÁCTICA 1

## Introducción al Equipo y Herramientas de Laboratorio

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar correctamente el equipo y los materiales básicos del laboratorio de electrónica digital. El equipo básico consiste en: plantilla de experimentos, fuente de alimentación, multímetro, punta lógica, osciloscopio y generador de funciones.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Multímetro
- Osciloscopio con puntas
- Generador de funciones con puntas

### 3 Introducción

Antes de iniciar cualquier curso de electrónica donde se haga uso de materiales y equipos es importante que los alumnos se familiaricen con el manejo de los mismos.

La razón principal para conocer el manejo de los equipos es proporcionar los conocimientos básicos de seguridad tanto en el usuario como en las instalaciones.

### 4 Desarrollo

Bajo la supervisión del profesor realice las actividades que se presentan a continuación.

#### **4.1 Material y equipo**

Haga una lista del equipo estándar que se localiza en su mesa de laboratorio, indicando marca y modelo.

Haga una lista de todo el material que consta en el paquete correspondiente al Laboratorio de Electrónica Digital I.

#### **4.2 Plantilla de experimentos**

Identifique la interconectividad y dimensiones de la plantilla de experimentos que se encuentra en su mesa de trabajo y reporte los resultados.

#### **4.3 Fuente de alimentación**

Identifique los bornes y las conexiones de la fuente de alimentación que se encuentra en su mesa de laboratorio. Identifique los sistemas de protección con que cuenta la fuente de alimentación y describa el funcionamiento completo de la misma.

#### **4.4 Multímetro**

Haciendo uso del multímetro, compare el valor de tensión indicado por el dial de la fuente de alimentación y el marcado por el multímetro. Explique las diferencias.

#### **4.5 Generador de funciones y osciloscopio**

Haciendo uso del generador de funciones obtenga una señal sinusoidal de 10 kHz. Verifique la forma de onda en el osciloscopio.

Ahora obtenga una señal triangular de 50 kHz y reporte sus resultados. Repita lo anterior para una señal cuadrada.

Finalmente, obtenga una señal cuadrada de 100 kHz cuyo valor bajo de tensión sea 0V y su valor alto de tensión sean 4V. Reporte los procedimientos y resultados.

## 5 Cuestionario

- 5.1. Explique las diferencias entre un multímetro analógico y uno digital.
- 5.2. Describa los controles principales que tiene un multímetro digital.
- 5.3. Repita la pregunta anterior para el generador de funciones y el osciloscopio.
- 5.4. Describa la función que tienen los siguientes controles de un generador de funciones:
  - Amplitud
  - Desplazamiento (Offset)
  - Atenuación
  - Forma de onda
- 5.5. Repita el problema anterior para un osciloscopio:
  - Tiempo de barrido
  - Tensión de barrido
  - Nivel de referencia de tensión
  - Sincronía
  - Nivel de disparo





# PRÁCTICA 2

## Tecnología Digital TTL

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar los circuitos integrados digitales en tecnología TTL. Conocer los valores tecnológicos de tensión correspondientes a los valores lógicos del modelo matemático base.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Generador de funciones
- Osciloscopio con puntas
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Resistencias de diversos valores
- Diodos emisores de luz (LED)
- 1 circuito integrado 74LS00
- 1 circuito integrado 74LS04
- 1 circuito integrado 74LS14
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

La abstracción matemática que representan los operadores lógicos pueden ser realizadas tecnológicamente mediante el uso de compuertas lógicas. Una compuerta lógica es la realización tecnológica de un operador lógico.

Los tres operadores básicos son: el operador NOT, el operador AND y el operador OR. De estos operadores se derivan otros tres más que son: el operador NAND, el operador NOR y el operador XOR. Estos operadores se encuentran disponibles en forma de compuertas, encapsulados en circuitos integrados. En la presente práctica se trabaja con la tecnología TTL (*Transistor-Transistor Logic*, lógica de transistor-transistor) para comprobar las tablas de verdad de los operadores.

Dado que los símbolos 0 y 1 son abstracciones matemáticas sin relación alguna con un fenómeno físico, se tiene que establecer un código o convención para representar estos símbolos mediante parámetros eléctricos. En la tecnología TTL se establecen como parámetros de equivalencia lógica a los presentados en la tabla 1.

Valor lógico	Tensión lógica	Intervalo activo
1	4.5 V	3.0 – 5.0 V
0	0.0 V	0.0 – 0.7 V

Tabla 1. Parámetros lógicos TTL.

Esto quiere decir que un uno lógico se representa mediante una tensión de 4.5V en un intervalo activo que va de los 3.0 a los 5.0V, mientras que el cero lógico se representa como una tensión de 0.0V en un intervalo activo que va de los 0.0 a 0.7V. El intervalo inactivo de 0.7 a 3.0V no puede ser interpretado correctamente por la lógica TTL y no se puede garantizar su funcionamiento. Este intervalo inactivo debe ser evitado para asegurar la correcta operación de los sistemas.

## 4 Desarrollo

Bajo la supervisión del profesor realice las actividades que se presentan a continuación.

### 4.1 Identificación de terminales

Con ayuda del manual del fabricante, identifique las terminales de los circuitos integrados que aparecen en la práctica. Marque las terminales de entrada, las terminales de salida y las terminales de alimentación.

### 4.2 Niveles lógicos TTL

Realice en plantilla de experimentos el circuito que se muestra en la figura 1, utilizando el circuito integrado 74LS04. Recuerde que para que funcione el circuito, se debe suministrar una alimentación entre Vcc y GND de 5.0V.

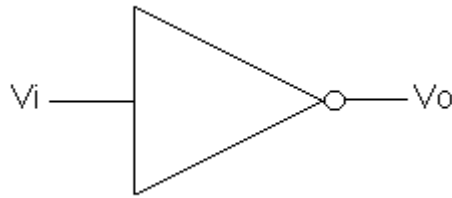


Figura 1. Compuerta NOT.

Coloque un multímetro en función de voltímetro de CD en la terminal de salida del inversor y mida la tensión para los valores que se muestran en la tabla 2.

$V_i$	$V_o$
GND	
VCC	

Tabla 2. Tensiones lógicas en una compuerta NOT.

Ahora obtenga la tabla de tensiones lógicas para una compuerta NAND, utilizando el circuito integrado 74LS00 para las cuatro combinaciones lógicas de las entradas.

### 4.3 Identificación de la zona activa

Utilice el 74LS04 como se indica en la figura 1 y coloque en la entrada  $V_i$  una señal triangular de 10kHz y cuyos niveles de tensión se encuentre entre 0 y 5V. Grafique las formas de onda de la entrada y la salida en modo de barrido en tiempo y también en modo de barrido XY. Explique los resultados obtenidos y determine los intervalos activos de la compuerta.

Repita el procedimiento anterior utilizando el circuito integrado 74LS14.

### 4.4 Punta lógica

Obtenga la tabla de verdad de la compuerta NAND de dos entradas y del inversor, haciendo uso de la punta lógica y reporte los resultados.

### 4.5 Circuito monitor simple con LED

Repita el punto anterior utilizando una resistencia de  $330 \Omega$  en serie con un LED y cerrando el circuito a tierra.

## **5 Cuestionario**

5.1. Explique las diferencias eléctricas entre el circuito integrado 74LS04 y 74LS14 ya que ambos circuitos contienen compuertas NOT.

5.2. Investigue las características principales de las tecnologías TTL y CMOS.

5.3. Investigue sobre la forma en que se realizan las compuertas lógicas, a nivel transistor, para las tecnologías TTL y CMOS.

5.4. Reporte los tiempos de retardo típicos que presentan las compuertas utilizadas en la práctica.

# PRÁCTICA 3

## Compuertas Básicas

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe conocer el funcionamiento y tabla de verdad de las compuertas básicas.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Resistencias de diversos valores
- Diodos emisores de luz (LED)
- Circuito integrado 74LS00
- Circuito integrado 74LS04
- Circuito integrado 74LS10
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

Las compuertas básicas son los elementos constitutivos de todo sistema digital y con ellos se construyen todas las aplicaciones que el mundo ha visto hasta nuestros tiempo en el campo de la electrónica digital.

### 4 Desarrollo

Bajo la supervisión del profesor obtenga la tabla de verdad de las compuertas NAND de 2 entradas, NAND de 3 entradas y NOT.

## **5 Cuestionario**

5.1. Investigue en el manual TTL los circuitos integrados que contienen compuertas básicas y haga una tabla indicando el tipo de compuerta, número de compuertas y número de entradas por compuerta.

5.2. Obtenga los tiempos de retardo típicos de las compuertas utilizadas en la presente práctica consultando la hoja de datos del fabricante.

5.3. En base a los tiempos de retardo reportados en el punto anterior, calcule la frecuencia máxima de operación de las compuertas utilizadas en la práctica.

# PRÁCTICA 4

## Funciones Lógicas Combinacionales

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de realizar funciones lógicas combinacionales con circuitos integrados básicos.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Resistencias de diversos valores
- Diodos emisores de luz (LED)
- Circuito integrado 74LS04
- Circuito integrado 74LS00
- Circuito integrado 74LS10
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

Una vez habiendo realizado el manejo básico de las compuertas simples, el siguiente paso en el desarrollo de habilidades técnicas de laboratorio en los sistemas digitales es la realización de funciones lógicas.

Las funciones lógicas pueden ser realizadas como circuitos en dos niveles de compuertas, usando cualquiera de las 8 realizaciones mínimas posibles.

### 4 Desarrollo

Bajo la supervisión del profesor compruebe el funcionamiento de los multiplexores básicos presentados a continuación.

## 4.1 Tabla de verdad

Obtenga la tabla de verdad experimental del circuito que se muestra en la figura 4.1.

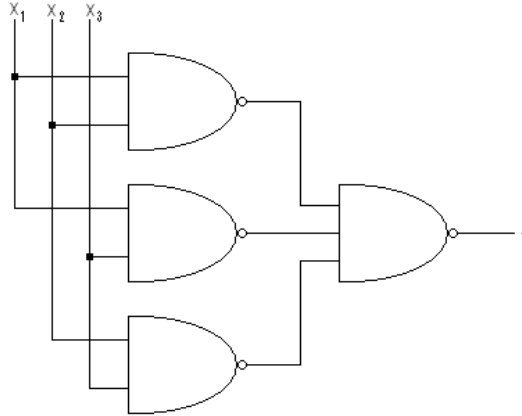


Figura 4.1. Función lógica simple.

## 4.2 Función lógica completamente especificada

Obtenga la realización mínima de la función lógica de la ecuación 4.1 y realice las pruebas funcionales en plantilla de experimentos.

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_1 (0, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10) \quad (4.1)$$

## 4.3 Función lógica incompletamente especificada

Repita el paso anterior para la función incompletamente especificada de la ecuación 4.2.

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_1 (5, 7, 9, 11, 12, 13, 15) + \sum_d (0, 1, 2, 3, 14) \quad (4.2)$$

## 5 Cuestionario

- 5.1. Utilizando los teoremas fundamentales del álgebra de Boole obtenga la tabla de verdad de la función de la figura 4.1.
- 5.2. Obtenga las 8 realizaciones mínimas de las funciones lógicas que aparecen en las ecuaciones 4.1 y 4.2.



# PRÁCTICA 5

## Conmutadores Lógicos

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar los circuitos multiplexores y demultiplexores. Manejar circuitos integrados MSI. Aplicar el teorema de Shannon para la realización de funciones lógicas con multiplexores.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Resistencias de diversos valores
- Diodos emisores de luz (LED)
- Circuito integrado 74LS138
- Circuito integrado 74LS151
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

Los circuitos conmutadores son los primeros circuitos de mediana escala de integración que son cubiertos en un curso de electrónica digital. Los multiplexores permiten seleccionar un conjunto de entradas a una salida, mientras que los demultiplexores direccionan una sola entrada hacia un conjunto de salidas, mediante señales de control.

### 4 Desarrollo

Bajo la supervisión del profesor compruebe el funcionamiento de los conmutadores básicos presentados a continuación.

#### 4.1 Multiplexor de 8 a 1

Utilizando el circuito integrado 74LS151 verifique el funcionamiento de un multiplexor de 8 a 1.

#### 4.2 Teorema de Shannon

Utilizando un multiplexor de 8 a 1 realice la función lógica de cuatro variables de la ecuación 5.1.

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_1 (0, 1, 2, 5, 9, 11, 12, 15) \quad (5.1)$$

#### 4.3 Demultiplexor

Verifique experimentalmente el funcionamiento del circuito integrado 74LS138 que es un demultiplexor de 3 a 8 con lógica negativa.

### 5 Cuestionario

- 5.1. Obtenga las ecuaciones lógicas que rigen el comportamiento de los circuitos conmutadores utilizados en la práctica.
- 5.2. Investigue los circuitos integrados TTL que realizan la función de multiplexado y demultiplexado, presentando sus resultados en una tabla comparativa.

# PRÁCTICA 6

## Introducción a la Lógica Programable

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar los circuitos lógicos programables básicos y debe conocer el uso de las herramientas de síntesis para lógica programable y VHDL.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Circuito integrado GAL22V10
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

La lógica programable ocupa un lugar preponderante en el diseño digital moderno al ser una de las principales herramientas de diseño en los sistemas digitales. Los circuitos digitales de lógica programable se clasifican principalmente en dos:

PLD (*Programmable Logic Device*, dispositivo lógico programable)

FPGA (*Field Programmable Gate Array*, arreglo de compuertas programable en campo)

Los circuitos PLD tienen una estructura de entradas masivas con un bloque combinacional y un *flip-flop* de salida. Las salidas pueden ser especificadas como de tres estados. En la figura 1 se muestra el arreglo típico de una macro-celda que se puede encontrar en los circuitos PLD. Nótese que el retardo resultante en la salida de la macro-celda puede ser establecido de manera determinística.

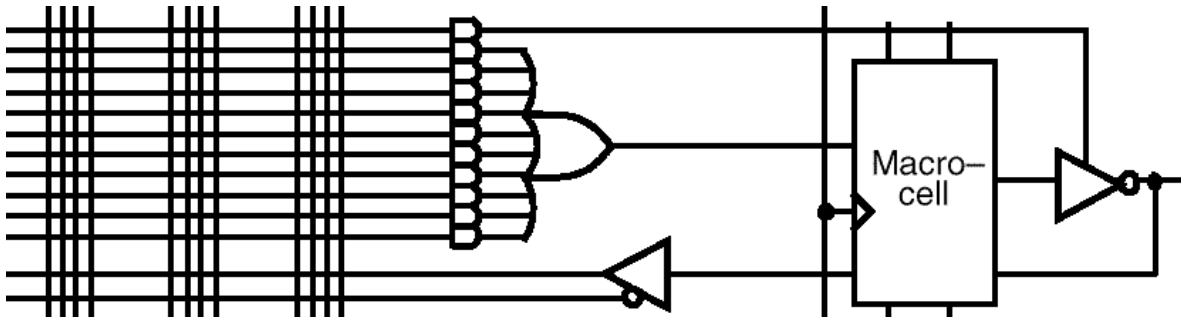


Figura 1. Macro-celda típica en un PLD

Los circuitos FPGA se basan en bloques lógicos mucho más simples que los utilizados en los dispositivos PLD y a cambio ofrecen una mayor versatilidad en la interconectividad de los bloques. Una celda básica de un FPGA se muestra en la figura 2.

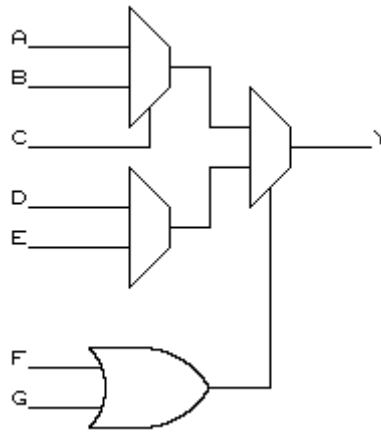


Figura 2. Bloque lógico básico de un FPGA

Mientras que en los dispositivos PLD se pueden determinar de manera muy precisa los retardos resultantes, el retardo total que se tiene en un bloque funcional tipo FPGA no puede ser determinado hasta que no se lleve a cabo la síntesis de la función, debido a que se ignora el número de niveles de compuertas que se necesita para su realización. Sin embargo, los dispositivos tipo PLD tienden a estar sub-utilizados en niveles máximos del 35%, mientras que el nivel de utilización de un FPGA puede llegar a ser superior al 80%.

Existe una amplia gama de fabricantes, familias y dispositivos lógicos programables para seleccionar y la aplicación determina principalmente el tipo de dispositivo adecuado a la solución del problema.

## 4 Desarrollo

Edite, compile y simule el listado VHDL que aparece a continuación, utilizando el entorno de diseño Active-HDL. Una vez simulado, utilice el entorno Galaxy de Cypress

para completar la síntesis siguiendo las indicaciones del profesor. Obtenga los archivos que contienen el reporte del proceso y el mapa de fusibles del circuito. Haga un resumen de los pasos a seguir en el proceso de síntesis de dispositivos lógicos programables.

```

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

entity Simple is
  port(
    A   : in  std_logic;
    B   : in  std_logic;
    F   : out std_logic_vector(7 downto 0)
  );
end Simple;

architecture Basica of Simple is
begin
  F(0) <= NOT A;
  F(1) <= NOT B;
  F(2) <= A AND B;
  F(3) <= A OR  B;
  F(4) <= A NAND B;
  F(5) <= A NOR B;
  F(6) <= A XOR  B;
  F(7) <= A XNOR B;
end Basica;

```

Con el archivo que contiene el mapa de fusibles proceda a programar el dispositivo GAL22V10 siguiendo las indicaciones del profesor. Describa los pasos que hay que seguir para realizar la programación.

Una vez programado, proceda a verificar la funcionalidad del circuito utilizando una tabla de verdad.

## 5 Cuestionario

- 5.1 Realice un diagrama de flujo del proceso completo de síntesis en lógica programable.
- 5.2 Describa ampliamente la macro-celda básica del circuito PLD utilizado en esta práctica.
- 5.3 Utilice VHDL para describir los siguientes circuitos combinacionales. Edite, compile y simule las descripciones obtenidas.
  - Codificador BCD a 7 segmentos
  - Codificador hexadecimal a 7 segmentos
  - Codificador de prioridad
- 5.4 Enumere los principales fabricantes de dispositivos programables.



# PRÁCTICA 7

## Funciones Lógicas con Circuitos Programables

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar los circuitos lógicos programables básicos y debe conocer el uso de las herramientas de síntesis para lógica programable y VHDL para la realización de funciones lógicas combinacionales.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Circuito integrado GAL22V10
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

La lógica programable y el entorno de diseño VHDL son útiles para inferir de una manera simple y controlada diversos circuitos digitales que van desde los más simples hasta los más complejos. Este entorno integrado de diseño permite realizar simulaciones para poder comprobar la funcionalidad de un sistema para más tarde ser programado en un circuito integrado de manera compacta y sencilla.

### 4 Desarrollo

Edite, compile y simule bajo VHDL los circuitos propuestos, utilizando el entorno de diseño Active-HDL. Una vez simulado, utilice el entorno Galaxy de Cypress para completar la síntesis. Obtenga los archivos que contienen el reporte del proceso y el mapa de fusibles del circuito para programar el PLD. Finalmente realice las pruebas funcionales del mismo para comprobar su operación.

## 4.1 Función lógica simple

Realice el proceso de síntesis para la siguiente función lógica.

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_1(0,1,3,6,8,9,10,12,15)$$

## 4.2 Multiplexor

Repita el paso 4.1 para un multiplexor de 4 a 1.

## 4.3 Demultiplexor

Repita el paso 4.1 para un demultiplexor de 2 a 4 con lógica negativa.

## 5 Cuestionario

- 5.1 Compare las funciones lógicas obtenidas por el programa de síntesis de los bloques lógicos del punto 4 con las funciones lógicas obtenidas de la minimización por mapas de Karnaugh.



# PRÁCTICA 8

## Circuitos Aritméticos

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe ser capaz de manejar los circuitos aritméticos básicos como sumadores, restadores, incrementadores y decrementadores.

### 2 Material y equipo

Equipo:

- Plantilla de experimentos
- Fuente de alimentación
- Punta lógica
- Pinzas de punta y corte

Material:

- Resistencias de diversos valores
- Diodos emisores de luz (LED)
- Circuito integrado GAL22V10
- Alambre para interconexiones

### 3 Introducción

Los circuitos aritméticos son la base de diseño de todo sistema digital con microprocesador. Estos circuitos permiten realizar de una manera rápida y eficiente las operaciones aritméticas básicas en las que se fundamentan los algoritmos para el cálculo de operaciones más complejas.

Los principales circuitos aritméticos son el sumador, el incrementador y el decrementador.

### 4 Desarrollo

Edite, compile y simule bajo VHDL los circuitos propuestos, utilizando el entorno de diseño Active-HDL. Una vez simulado, utilice el entorno Galaxy de Cypress para completar la síntesis. Obtenga los archivos que contienen el reporte del proceso y el mapa

de fusibles del circuito para programar el PLD. Finalmente realice las pruebas funcionales del mismo para comprobar su operación.

#### **4.1 Sumador de dos bits**

Utilice la GAL220V10 para realizar un circuito sumador completo de 2 bits. Compruebe la tabla de verdad en forma exhaustiva.

#### **4.2 Sumador y restador**

Repita el punto 4.1 para un circuito sumador/restador completo de 2 bits. Reporte sus resultados.

#### **4.3 Incrementador**

Repita el punto 4.1 para un incrementador cíclico de 4 bits. Reporte sus resultados.

### **5 Cuestionario**

- 5.1. Obtenga las ecuaciones lógicas que rigen el comportamiento del circuito sumador utilizado en la práctica.
- 5.2. Repita el punto anterior para el circuito sumador y restador.
- 5.3. Obtenga las ecuaciones lógicas generales para el circuito incrementador cíclico.
- 5.4. Repita el punto 5.3 para el decrementador cíclico.

# PRÁCTICA 9

## Proyectos de Lógica Combinacional

---

### 1 Objetivos

Al finalizar esta práctica, el alumno debe haber reforzado los conocimientos de la lógica combinacional y las herramientas de síntesis mediante la realización de un proyecto de fin de curso.

### 2 Introducción

Reforzar los conocimientos de la lógica combinacional mediante un proyecto de fin de curso garantiza un correcto aprendizaje de las principales técnicas utilizadas en la electrónica digital.

### 3 Desarrollo

En la tabla 1 se enumeran los proyectos de lógica combinacional a ser desarrollados por el alumno. El alumno puede utilizar los circuitos integrados digitales que sean necesarios para completar el proyecto, así como los elementos analógicos que sean requeridos. La asignación de los proyectos corre a cargo del profesor de la materia y deben ser realizados en un periodo de 2 semanas.

Se debe realizar un reporte indicando cada una de las etapas del proceso de diseño y las herramientas y componentes utilizados.

Proyecto	Título	Comentarios
1	Sumador y restador de 8 bits	Utilizar dos circuitos GAL22V10
2	Codificador de hexadecimal de 8 bits a BCD	Utilizar un solo circuito GAL22V10
3	$y = \text{sen}(x)$ para $x$ y $y$ de 8 bits	Rango y dominio normalizados un cuadrante
4	Multiplicador de enteros positivos de 4 bits	Utilizar dos circuitos GAL22V10
5	Juego de los 8 concursantes con prioridad	Exhibición en 7 segmentos
6	Detector de color con tres sensores	Utilizar sensores ópticos

Tabla 1. Proyectos de fin de curso.



# APÉNDICE

## Lista de Material Requerido

---

<b>Cantidad</b>	<b>Número</b>	<b>Descripción</b>
1	74LS00	Circuito integrado TTL
1	74LS04	Circuito integrado TTL
1	74LS10	Circuito integrado TTL
1	74LS14	Circuito integrado TTL
1	74LS138	Circuito integrado TTL
1	74LS151	Circuito integrado TTL
2	GAL22V10	Circuito integrado programable
8	1.0 k $\Omega$	Resistencia de ¼ W
8	LED	LED ultra-brillante