

LABORATORIO DE SISTEMAS DIGITALES BÁSICO

SESIÓN PRÁCTICA # 1

CAPÍTULO DEL CURSO: PRINCIPIOS DE DISEÑO LÓGICO COMBINATORIAL

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Obtener experimentalmente la tabla de verdad de un circuito combinatorial usando un multímetro.
- Usar circuitos integrados para la implementación de una función lógica.
- Usar puertas lógicas en la resolución de un problema

DURACIÓN: 95 minutos

MATERIALES Y HERRAMIENTAS:

Los elementos descritos a continuación son utilizados con la herramienta de simulación TinkerCad (<https://www.tinkercad.com/>).

- Circuitos integrados: 74LS04, 74LS08, 74LS32.
- 1 Protoboard
- 1 Multímetro
- Resistores
- Banco de interruptores(switch)
- Led
- Transistor

MARCO TEÓRICO:

En el campo de los sistemas digitales, una tabla de verdad es una herramienta gráfica utilizada para describir el comportamiento de un circuito lógico combinatorial. Esta presenta todas las posibles combinaciones de las variables de entrada y salida. Los valores de verdad de las variables de entrada y salida se expresan con niveles lógicos: "0" para el valor falso y "1" para el verdadero. Los valores de las variables de salida dependen de los valores de las variables de entrada por lo que, a partir de una tabla de verdad se puede obtener una expresión matemática para la variable de salida como función lógica que depende de las variables de entrada. La figura 1(a) muestra una tabla de verdad para un tipo de circuito lógico de dos entradas y una salida. Como se puede observar, la tabla enlista todas las posibles combinaciones de niveles lógicos presentes en las entradas **A** y **B**, con el correspondiente nivel en la salida **x**. En este ejemplo, la primera combinación de entrada en la tabla es con **A=0** y **B=0**, para la cual la salida en **x = 1**. La segunda combinación es con **A=0** y **B=1**, para la cual la salida **x = 0**. Así, la tabla de verdad muestra los valores de la variable de salida para cada una de las combinaciones de entrada.

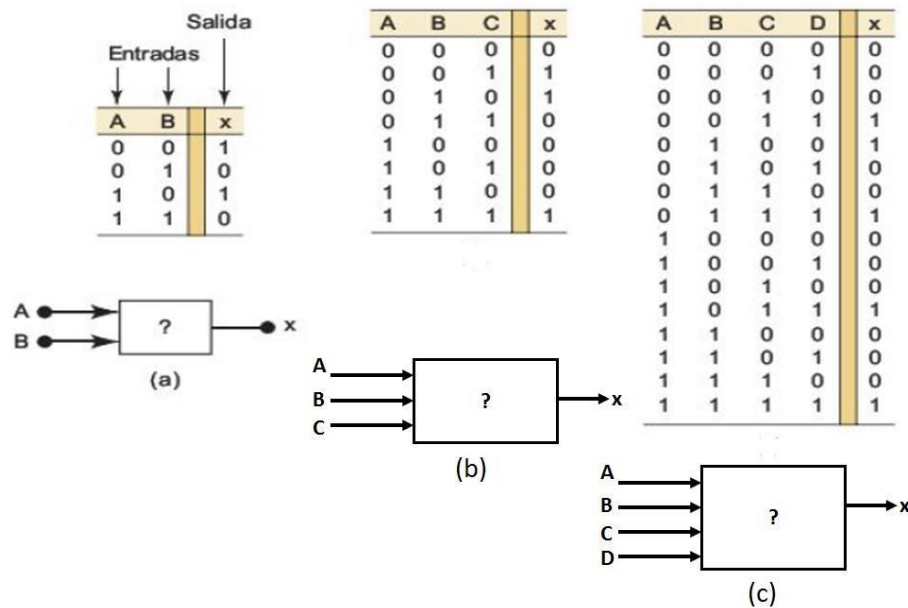


Figura 1. Ejemplo de tablas de verdad para circuitos de (a) dos entradas, (b) tres entradas y (c) cuatro entradas

Las figuras 1(b) y 1(c) muestran ejemplos de tablas de verdad para circuitos lógicos de tres y cuatro variables de entrada. Aunque en estos ejemplos se ha considerado una sola variable lógica de salida x , un circuito digital puede tener varias variables de salida. Con lo cual, la tabla de verdad tendrá tantas variables de salida como el circuito tenga, lo que depende de las especificaciones que el diseñador del circuito digital haya considerado para la aplicación que se esté realizando.

Igual que en la Fig. 1(a), en los ejemplos de las figuras 1(b) y 1(c), sus tablas de verdad respectivas enlistan todas las posibles combinaciones de niveles lógicos de las entradas a la izquierda y sus correspondientes niveles lógicos para la salida x a la derecha. Es importante observar que hay 4 combinaciones para la tabla de verdad de dos entradas, 8 combinaciones para la de tres entradas y 16 combinaciones para la de cuatro entradas. En general, el número de combinaciones de las variables de entrada será igual a 2^N para una tabla de verdad con N variables de entrada. Observe también que la lista de todas las posibles combinaciones de entrada va de acuerdo con la secuencia de conteo binario; por lo que se facilita anotar todas las combinaciones en el orden binario.

En un circuito lógico se representan los valores de verdad de cada variable (sea de entrada o salida) como niveles de voltaje; de esta manera, el resultado es una tabla de voltajes. Para esto, es necesario establecer una convención o llamada también lógica de operación, con lo que cada nivel de voltaje representa un valor de verdad.

Una lógica de operación es una regla de asociación entre los niveles de voltaje (esto es, L que es la abreviatura en inglés y significa nivel de voltaje bajo o H para el nivel alto) y los valores de verdad lógicos (sea 0 o 1).

En el diseño de sistemas digitales se establecen dos lógicas de operación, una llamada lógica positiva y la otra lógica negativa.

Lógica Positiva. Para esta lógica, el valor de verdad "0" se representa con el nivel de voltaje L, mientras que el "1" con el nivel de voltaje H.

Lógica Negativa. Contrario a la lógica positiva, para la lógica negativa el valor de verdad "0" se representa con el nivel de voltaje H, mientras que el "1" con el nivel de voltaje L.

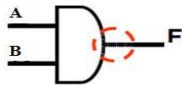
En cualquier circuito digital, cada lógica de operación se rige desde dos perspectivas:

- Lógica de la puerta (dispositivo físico).
- Lógica del cable de conexión (señal).

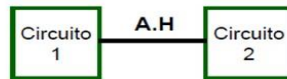
En lógica positiva, se asocia:

$L \rightarrow 0$ y $H \rightarrow 1$

Lógica de la puerta



Lógica del cable (señal)

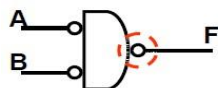


Si la conexión entre la puerta y el cable es directa (sin círculo), ésta es una puerta que entiende o procesa lógica positiva. En este caso, el diseñador asigna a la señal el nombre de la variable, seguido de un punto y la letra H (por ejemplo, A.H, B.H, F.H), lo que indica que la señal es de lógica positiva y la puerta acepta o genera lógica positiva.

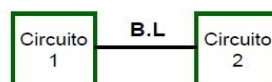
En lógica negativa, se asocia:

$L \rightarrow 1$ y $H \rightarrow 0$

Lógica de la puerta

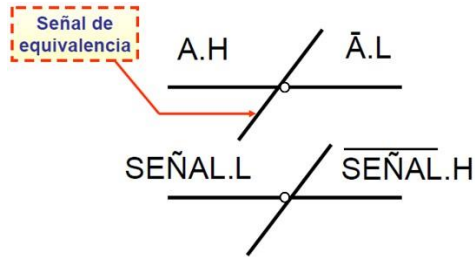


Lógica del cable (señal)



Si la conexión entre la puerta y el cable es a través del círculo, ésta es una puerta que entiende o procesa lógica negativa. En este caso, el diseñador asigna a la señal el nombre de la variable, seguido de un punto y la letra L (por ejemplo, A.L, B.L, F.L), lo que indica que la señal es de lógica negativa y la puerta acepta o genera lógica negativa.

Por lo expuesto, en ambos casos, la verificación de los valores de verdad y sus correspondientes niveles de voltaje, se hace según la interpretación que haga el diseñador del circuito lógico. Se pueden establecer las siguientes equivalencias entre las lógicas positiva y negativa, como se ilustra a continuación:



En el mundo de los sistemas digitales combinatoriales, hay tres operaciones lógicas naturales: AND (Y en español), OR (O en español), y NOT (negación en español). La operación lógica entre dos variables lógicas (A y B, por ejemplo) se realiza a través de uno de estos operadores, el cual se lo ubica en medio de estas variables.

Operación AND

A esta operación se la conoce también como producto lógico y es tal que el valor de salida resultante es “1” únicamente cuando el valor de verdad de las dos variables de entrada A y B son “1”, y es “0” en cualquier otra combinación de valores de las variables de entrada, como se muestra en la tabla a continuación:

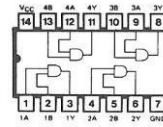
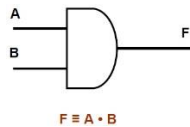
A	B	A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

El operador puede simbolizarse con: AND, Y, ., *, o simplemente sin incluir ninguno de estos símbolos (AB, que significa A AND B).

Si tanto las entradas como las salidas se las interpreta con la lógica positiva, la tabla de voltaje sería como se indica a continuación:

A.H	B.H	A.H AND B.H
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

La tabla de voltajes anterior corresponde a la puerta AND (C.I. 7408) que ejecuta la operación lógica AND. A continuación, se muestra el gráfico de la puerta AND y del circuito integrado (7408), en el que vienen empaquetadas 4 de estas puertas. Como puede observarse, en esta forma de simbolizar la operación de la puerta AND, tanto las entradas como la salida de la puerta operan con lógica positiva.



Operación OR

A esta operación se la conoce también como suma lógica y funciona de tal manera que el valor de salida resultante es “1” cuando el valor de verdad de cualquiera de las dos variables de entrada A y B es “1”, y es “0” cuando ambos valores de las variables de entrada son “0”, como se muestra en la tabla a continuación:

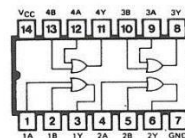
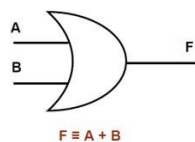
A	B	A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

El operador puede simbolizarse con: OR, O, o + (por ejemplo, $A + B$).

Si tanto las entradas como las salidas se las interpreta con la lógica positiva, la tabla de voltaje sería como se indica a continuación:

A.H	B.H	A.H OR B.H
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

La tabla de voltajes anterior corresponde a la puerta OR (C.I. 7432) que ejecuta la operación lógica OR. A continuación, se muestra el gráfico de la puerta OR y del circuito integrado (7432), en el que vienen empaquetadas 4 de estas puertas. Como puede observarse, en esta forma de simbolizar la operación de la puerta OR, tanto las entradas como la salida de la puerta operan con lógica positiva.



Operación NOT

Esta es la operación de negación y se la conoce también como inversor de voltaje; funciona de tal manera que el valor de verdad se invierte, como se muestra en la tabla a continuación.

A	\bar{A}
0	1
1	0

El operador puede simbolizarse con: una rayita encima de la variable o un apóstrofe junto a la variable (esto es, \bar{A} o A').

Si tanto la entrada como la salida se las interpreta con la lógica positiva, la tabla de voltaje sería como se indica a continuación:

A.H	$\bar{A}.H$
L	H
H	L

La tabla de voltajes anterior corresponde al inversor de voltaje (7404) que ejecuta la operación lógica NOT. A continuación, se muestra el gráfico del inversor de voltaje y del circuito integrado (7404), en el que vienen empaquetados 6 de estos inversores. Como puede observarse, en esta forma de simbolizar la operación del inversor, la entrada opera con la lógica positiva, mientras que la salida opera con lógica negativa, como era de esperarse pues el inversor invierte el nivel de la señal de voltaje (esto es, ingresa A.H y sale A.L).



Por la dualidad entre las lógicas, positiva y negativa (esto es $A.H = \bar{A}.L$, o $A.L = \bar{A}.H$), el inversor de voltaje puede considerarse como un dispositivo físico que no cambia el valor de verdad de la variable, como se muestra en la tabla de verdad a continuación. En otras palabras, si la entrada se interpreta con la lógica positiva y la salida con la lógica negativa, el resultado es que se mantiene el valor de verdad en la salida del inversor, siendo la tabla resultante como sigue:

A	A
0	0
1	1

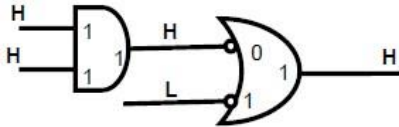
Mientras que, la tabla de voltajes resultante sería:

A.H	$A.L = \bar{A}.H$
L	H
H	L

Como se puede observar, la tabla de voltajes es la misma que la que resulta cuando la interpretación, tanto de la entrada como la salida es con lógica positiva. Es importante anotar, sin embargo, que este resultado (debido a la dualidad entre las lógicas positiva y negativa) no debe producir confusión porque inicialmente se dijo que el valor de verdad de la salida del inversor se invierte, pues esta aparente inconsistencia (no existente en realidad) se da según la interpretación que hagamos

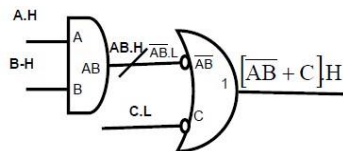
de la señal de salida. Esto es, si el nivel de voltaje H en la salida se lo interpreta en la lógica negativa (A.L), su valor lógico sería "0"; por el contrario, si el nivel de voltaje H en la salida se lo interpreta en la lógica positiva, su valor lógico sería "1". En resumen, $A.L = \bar{A}.H$.

De lo expuesto, es pertinente anotar que, en un circuito digital combinatorial, se puede mezclar la lógica positiva y la negativa, resultando lo que se denomina lógica mixta. Los ejemplos a continuación ilustran esto:



En el circuito anterior, observe que, para solucionar las incompatibilidades de la lógica de la puerta, al analizar dicho circuito, las señales de voltaje del cable se representan con valores de verdad equivalentes, según la lógica con la que se interprete. Esto es, por ejemplo, si la señal de salida de la puerta AND es de nivel H, su valor de verdad para la salida de esta puerta es "1"; mientras que para la entrada a la puerta OR (la cual tiene entradas que aceptan lógica negativa como verdadera) el nivel de voltaje H (nivel de voltaje de salida de la puerta AND que entra a la puerta OR) representa un valor de verdad "0" para la entrada a la puerta OR. Observe también que (siendo la puerta OR tal que genera en la salida niveles de voltaje en lógica positiva), el nivel de voltaje en la salida de la puerta OR es H, lo cual representa un valor de verdad "1".

Lo arriba explicado ilustra cómo es la interpretación de las señales de voltaje de la puerta y del cable en cada punto del circuito, lo cual se ilustra gráficamente a continuación para el mismo ejemplo:



En esta interpretación, observe que primero se ejecuta una operación AND entre las variables A y B; luego se hace la negación de este producto lógico cuando se interpreta éste (de manera equivalente) en lógica negativa. Es aquí precisamente cómo se ilustra el uso de la lógica mixta cuando se considera la compatibilidad de la señal de voltaje de la puerta y la del cable.

En definitiva, cuando se trabaje bajo el concepto de lógica mixta, la interpretación de las señales de voltaje de la puerta y del cable (y sus correspondientes valores de verdad), en cada punto, debe hacerse manteniendo en mente siempre la compatibilidad y así evitar confusiones. Por ejemplo, la señal de voltaje de salida de la puerta AND es el producto de A y B en lógica positiva (esto es $AB.H$), la cual entra a la puerta OR (que acepta lógica negativa como verdadera), cuya interpretación da como resultado una negación de este producto en lógica negativa (esto es $\bar{AB}.L$). Este producto de A y B negado, a su vez, se mantiene en la suma lógica que se realiza en la puerta OR, dando como resultado $\bar{AB} + C$ en lógica positiva, pues esta puerta genera en su salida una señal en lógica positiva (esto es $[\bar{AB} + C].H$).

CIRCUITOS INTEGRADOS DE LA FAMILIA TTL

Los circuitos integrados (CIs) revolucionaron el mundo de la electrónica digital y ahora forman parte del uso común de nuestras vidas. Esta tecnología ha progresado con rapidez en su integración:

- Pequeña escala de integración (SSI): menos de doce compuertas por chip
- Mediana escala de integración (MSI): de doce a 99 compuertas equivalentes por chip
- Gran escala y muy gran escala de integración (LSI y VLSI): decenas de miles de compuertas por chip
- Ultragran escala de integración (ULSI): más de 100 000 compuertas por chip
- Giga escala de integración (GSI): 1 millón o más de compuertas

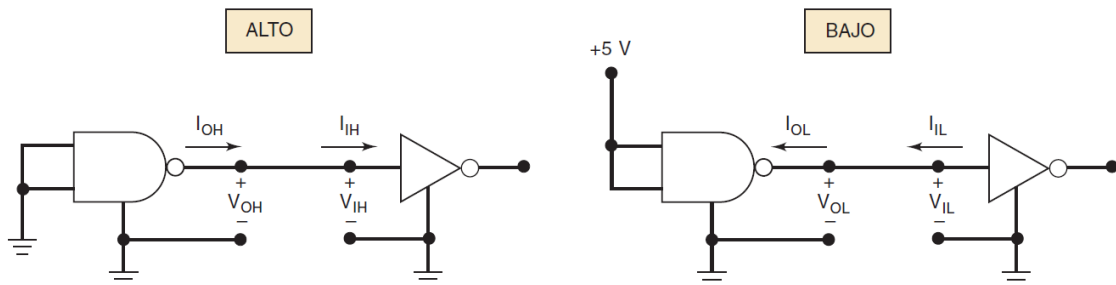
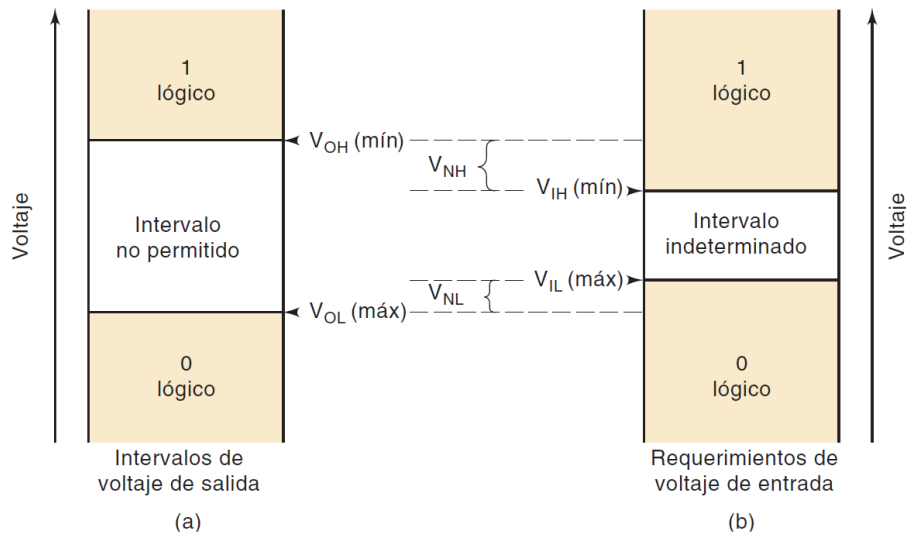
Es por esta razón que los sistemas digitales modernos utilizan CIs, pues su tamaño se reduce sustancialmente y esto representa una gran ventaja al momento de producir en masa grandes volúmenes de dispositivos electrónicos.

Previo al uso de CIs, el uso de componentes discretos (transistor, diodo, resistencia, etc) requería una gran cantidad de conexiones y consumo de energía, ahora la mayoría de estas conexiones son internas de los CIs, donde incluso se evita problemas por malas soldaduras, quebraduras o cortos comunes en una ruta de conexión de circuitos impresos (PCB).

Una característica de los CIs muy importante a tener en cuenta es su consumo de energía, pues no están diseñados para el manejar corrientes o voltajes muy grandes, por esto los CIs son utilizados en operaciones de circuitos de baja energía, lo que se conoce generalmente como *procesamiento de información o control*.

Algunos de los parámetros de voltaje y corriente más importantes a tener en cuenta son:

- **$V_{IH}(\text{mín})$ voltaje de entrada en nivel alto:** mínimo nivel de voltaje requerido para un 1 lógico en una entrada.
- **$V_{IL}(\text{máx})$ voltaje de entrada en nivel bajo:** máximo nivel de voltaje requerido para un 0 lógico en una entrada.
- **$V_{OH}(\text{mín})$ voltaje de salida en nivel alto:** mínimo nivel de voltaje en la salida de un circuito lógico en el estado 1, bajo condiciones de carga específicas.
- **$V_{OL}(\text{máx})$ voltaje de salida en nivel bajo:** máximo nivel de voltaje en la salida de un circuito lógico en el estado 0, bajo condiciones de carga específicas.
- **I_{IH} corriente de entrada en nivel alto:** corriente que fluye hacia una entrada cuando se le aplica a ésta un voltaje específico de alto nivel.
- **I_{IL} corriente de entrada en nivel bajo:** corriente que fluye hacia una entrada cuando se le aplica a ésta un voltaje específico de bajo nivel.
- **I_{OH} corriente de salida en nivel alto:** corriente que fluye desde una salida en el estado 1 lógico, bajo condiciones de carga específicas.
- **I_{OL} corriente de salida en nivel bajo:** corriente que fluye desde una salida en el estado 0 lógico, bajo condiciones de carga específicas.



Otra característica importante a tener en cuenta al momento de diseñar sistemas digitales es la capacidad de carga de un CI. Esta se define como el número máximo de entradas lógicas que puede controlar una salida de manera confiable. Por ejemplo, si se especifica que una compuerta lógica tiene una capacidad de carga de 10, significa que puede manejar 10 entradas lógicas; si se excede de este valor, no se pueden garantizar los voltajes de los niveles lógicos de salida.

Polarización de las entradas TTL

Resistor Pull-up	Resistor Pull-down
<p>Con el interruptor abierto, la señal se mantiene con 5V, es decir, un 1 lógico. Cuando se cierra el interruptor, la señal se mantiene con 0V, es decir, un 0 lógico.</p>	<p>Con el interruptor abierto, la señal se mantiene con 0V, es decir, un 0 lógico. Cuando se cierra el interruptor, la señal se mantiene con 5V, es decir, un 1 lógico.</p>

DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA # 1:

Procedimiento:

Ejercicio 1:

1. Realice el diagrama de conexión de la figura 1 en el Protoboard de Tinkercad.

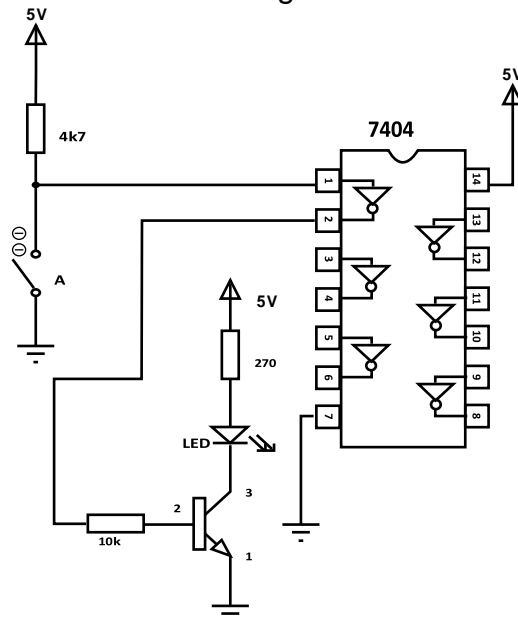


Figura 1 Circuito lógico con el C.I. 74LS04

Note que el circuito integrado debe estar siempre polarizado (conectado) a 0 voltios (GND) y 5 voltios (Vcc). Además, para suministrar la cantidad de corriente necesaria al diodo emisor de luz (LED) y no sobrecargar al inversor de voltaje utilizado en este circuito, se está usando un transistor bipolar tipo NPN. Este tipo de transistor tiene tres puntos de conexión: la base (2), el emisor (1) y el colector (3). Cuando se presenta un voltaje H (alrededor de 5 voltios) en la base, se activa el transistor, fluyendo corriente de la base al emisor a través de la resistencia de 10 kilohmios, lo que hace que fluya corriente del colector (conectado a Vcc) hacia el emisor a través de la resistencia de 270 ohmios, esto último hace que se encienda el diodo LED, por la corriente que circula a través de él.

2. Con el interruptor abierto en A, mida el valor lógico en la entrada y salida del inversor (pin 1 y pin 2 del 74LS04, respectivamente) y anote los resultados en la tabla #1(fila 1).
3. Con el interruptor cerrado en A, mida el valor lógico en la entrada y salida del inversor (pin 1 y pin 2 del 74LS04, respectivamente) y anote los resultados en la tabla #1(fila 2).

Ejercicio 2

1. Realice la conexión en protoboard de la operación $S.H = A.H$ **and** $B.H$, registre una captura del circuito en el informe de resultados.
2. Registre en la tabla 2 los estados de cada interruptor y valores lógicos de entradas y salida.

Ejercicio 3

En la Hacienda “La Clementina” se ha detectado la presencia del Mal de Panamá, una enfermedad que ataca al banano y podría extinguirlo completamente, como ocurrió con una gran variedad de plátanos en la década de 1960. Usted junto a un equipo de investigadores ha sido asignado para contrarrestar los efectos provocados por esta enfermedad; la solución propuesta por el equipo especialista en plagas indica que la plantación debe ser rociada con un compuesto creado por ellos en laboratorio en cualquiera de los siguientes escenarios:

- Cuando sean las 18:00 horas
- Cuando la plantación indique un nivel de estrés mayor a 0.5.

Asuma que tiene una forma de medir el estrés (en una escala de 0 a 1) y que indica como resultado un voltaje bajo para niveles menores a 0.49 y un voltaje alto para niveles mayores o iguales a 0.5.

Ahora la tarea principal es la automatización de este proceso, por lo que salvar esta hacienda y las plantaciones a nivel mundial depende de usted.

Con base en lo descrito, diseñe un sistema digital que cumpla con este propósito. Se pide:

1. Registrar las entradas y salidas a utilizar.
2. Describir el circuito a utilizar.
3. Implementar el circuito en el protoboard de tinkercad. Puede utilizar interruptores y leds para representar entradas y salidas.

Bibliografía:

- [1]. Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones 10ma Edición, Ronald Tocci, Neal Widmer y Gregory Moss. Capítulo 3: Descripción de los Circuitos Lógicos.
- [2]. Figura 3-1 tomada del libro Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones 10ma Edición, Ronald Tocci, Neal Widmer y Gregory Moss. Capítulo 3: Descripción de los Circuitos Lógicos.

Elaborado por Edgar Izquierdo, Ph.D.

01/05/2017

Editado por Ing. Alexis Lema

19/05/2020