

Diseño de circuitos combinacionales

Alex Gutierrez De La Hoz
Dpto. ingeniería eléctrica y
electrónica
Fundación Universidad del
Norte
Barranquilla, Colombia
delahozfa@uninorte.edu.co

Santiago Bárcenas
Dpto. ingeniería eléctrica y
electrónica
Fundación Universidad del
Norte
Barranquilla, Colombia
jsbarcenass@uninorte.edu.co

Laura Bermúdez
Dpto. ingeniería eléctrica y
electrónica
Fundación Universidad del
Norte
Barranquilla, Colombia
bermudesl@uninorte.edu.co

Abstract—this report will analyze what was done in the first laboratory practice regarding the design of combinational circuits, which consisted of assembling a combinational circuit with logic gates to solve a problem, which in this case is the control system of a fire alarm of a commercial establishment in the city of Barranquilla.

Keywords—entrada, salida, circuito, compuerta logica, expresión booleana, mapas de karnough, tabla de verdad

I. INTRODUCCIÓN

Los avances en sistemas lógicos han permitido al ser humano monitorizar y automatizar un sin fin de tareas cotidianas. Algunas aplicaciones son sistemas contra incendios, motores eléctricos y sistemas de seguridad. Por eso es de vital importancia para nosotros como ingenieros manejar ampliamente la lógica combinacional, para así ajustar situaciones y problemas a circuitos lógicos que faciliten nuestra vida. Por eso, los objetivos del desarrollo de este laboratorio se centran en diseñar e implementar un circuito de lógica combinacional utilizando los conocimientos adquiridos en las clases teórica sobre las compuertas lógicas. Adicionalmente para el desarrollo de esta práctica fue necesario el conocimiento previo de algunos programas y componentes lógicos:

-**Tinkercad:** Es un programa de modelado 3D en línea gratuito que se ejecuta a través de un navegador web, conocido por su simplicidad y facilidad de uso.

-**Logisim:** Es un simulador lógico que permite diseñar y simular circuitos electrónicos digitales mediante una interfaz gráfica de usuario.

II. MÉTODOS

En esta práctica buscamos alcanzar todos nuestros objetivos planteado, mediante un diseño combinacional de un sistema contra incendios partiendo de un diseño anterior (actividad 1) y luego aplicarle algunas mejoras solicitadas por la persona a cargo:

Actividad 1:

La actividad 1 consiste en hacer lo siguiente:

Usted ha sido contratado para el diseño de un sistema de control de una alarma contra incendios de un establecimiento comercial en la ciudad de Barranquilla. Al conversar con el dueño del establecimiento éste le comenta que el sistema anterior constaba de un interruptor manual A, un sensor de temperatura B, un sensor de humo C, un sensor D adicional que él desconoce y finalmente la alarma X. El dueño desea que el nuevo sistema funcione de la misma manera que el antiguo, sin embargo, la única información al respecto con la que cuenta es esta expresión que dejó el ingeniero anterior:

$$X = AB'CD' + A'BC + AB'C' + ABC' + AB'C + AB'C'D + ABC$$

Así que para llevar a cabo la actividad realizamos las siguientes actividades:

- Encontrar la tabla de verdad que describe el sistema.
- Construir el mapa de Karnaugh.
- Reducir a la mínima expresión lógica (de ser posible) y proponer un nuevo diseño del circuito lógico.
- Implementar ambos circuitos en Logisim y verificar que su diseño propuesto funciona igual que el anterior.

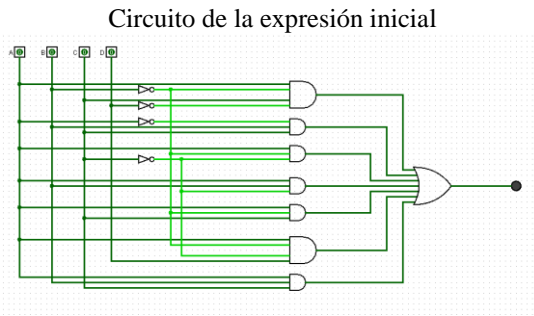


Fig. 1

Actividad 2:

Una vez finalizado el diseño usted se lo presenta al dueño del establecimiento y le explica el funcionamiento. Sin embargo, el propietario le comenta que desea hacer algunas mejoras al sistema, por lo cual incluirá un segundo sensor de humo como respaldo y un sistema de rociadores de agua contra incendios. El nuevo sistema encenderá la alarma cuando se active el sensor de temperatura y al menos uno de los sensores de humo. El sistema de rociadores se encenderá cuando estén activos ambos sensores de humo y el sensor de temperatura. Si se activa el interruptor manual, tanto la alarma como los rociadores deberán encenderse. Adicionalmente usted desea encender un led indicador cuando solo uno de los 2 sensores de humo esté activo. Adicionalmente se realizaron las siguientes actividades:

- Tabla de Verdad del nuevo sistema contra incendio.
- Mapa(s) de Karnaugh.
- Mínima expresión Lógica.
- Implementar el diseño en Logisim.
- Hacer descripción VHDL y su simulación.
- Realizar un montaje en Tinkercad.

III. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Para realizar las dos actividades anteriormente descritas realizamos los ítems listados relacionados a cada actividad. A continuación, describiremos los pasos realizados para cumplir a cabalidad las actividades mencionadas anteriormente:

Para la actividad 1, lo primero que realizamos fue determinar la tabla de verdad que describe el sistema, dicha tabla de verdad se detalla en la tabla 1. Es importante mencionar que para la actividad 1 tomamos como A al interruptor de emergencia (1 en el diseño de Tinkercad), B al sensor de temperatura (2 en el diseño de Tinkercad), C al sensor de humo (1 en el diseño de Tinkercad) y D al sensor desconocido.

TABLA I. Tabla de verdad de la expresión inicial

A	B	C	D	X
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Luego de tener la tabla de verdad procedemos realizar el mapa de Karnaugh, dicho mapa se encuentra en la tabla 2:

TABLA II. Mapa de Karnaugh para la expresión inicial

AB/CD	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

Al tener el mapa de Karnaugh agrupamos los 1 y obtenemos la siguiente expresión simplificada:

$$X = A + BC$$

Con esta expresión simplificada podemos proponer un nuevo diseño del circuito inicial, simplificando un poco la expresión y, por ende, el uso de

compuertas, este nuevo diseño mencionado se encuentra ilustrado en la figura 2 y podemos evidenciar a simple vista que es mucho más sencillo que el circuito que nos plantean al inicio en la figura 1.

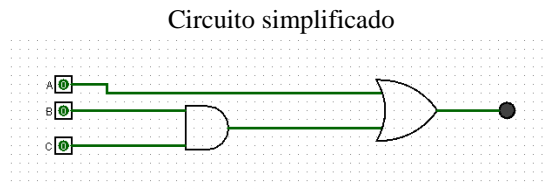


Fig. 2

Podemos observar que este nuevo diseño de circuito solo depende de 3 entradas, mientras que el circuito original dependía de 4 entradas, esto se debe a que al hacer la simplificación respectiva usando mapas de Karnaugh obtuvimos la expresión anteriormente descrita y dentro de la lógica de la problemática planteada es totalmente válido eliminar el sensor D, ya que este es un sensor desconocido para nosotros y, además, este no tiene un impacto significativo en la salida, por ello podemos simplemente omitirlo. Es importante mencionar que comprobamos el funcionamiento del circuito simplificado y para las combinaciones de A, B y C obtuvimos las mismas salidas, lo que nos indica que los dos sistemas funcionan de la misma manera, incluso podría decirse que el sistema que nosotros obtuvimos al simplificar la expresión original es mucho mejor, ya que se usan menos compuertas, menos sensores, lo que reduciría considerablemente los costos de diseño del circuito, además de que es mucho más fácil comprender su funcionamiento.

Además, realizamos el montaje en software de diseño 3D Tinkercad, esto lo ilustramos en la figura 3.

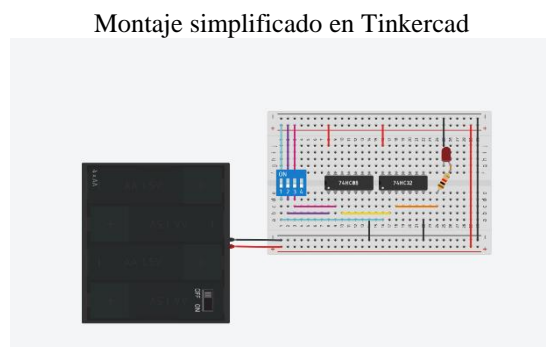


Fig. 3

Con la figura 3 podemos hacernos una idea de lo que sería el circuito montado de manera física y las compuertas que son necesarias para su

implementación, en este caso se utilizaron las compuertas 74HC08 (una compuerta AND de dos entradas) y 74HC32 (una compuerta OR de dos entradas), además de un led indicador con su respectiva resistencia para simular el alto de la salida, un interruptor cuádruple para representar las entradas y una alimentación DC de 6V. Con estos resultados culminamos la actividad 1.

Para la actividad 2 procedemos de la misma manera aplicando las mejoras solicitadas por el dueño del establecimiento, estas mejoras corresponden a una entrada y dos salidas, para la entrada tenemos un sensor de humo de respaldo, y las salidas son un sistema de rociado de agua y led indicador que se enciende cuando solo uno de los dos sensores de humo esté encendido. En conclusión, tendremos cuatro entradas y tres salidas que dependen de las mismas cuatro entradas.

Para diseñar el nuevo sistema, con las mejoras respectivas, lo que hacemos es partir de los requerimientos descritos por el propietario del establecimiento, estos son:

El nuevo sistema encenderá la alarma cuando se active el sensor de temperatura y al menos uno de los sensores de humo. El sistema de rociadores se encenderá cuando estén activos ambos sensores de humo y el sensor de temperatura. Si se activa el interruptor manual, tanto la alarma como los rociadores deberán encenderse. Adicionalmente usted desea encender un led indicador cuando solo uno de los 2 sensores de humo esté activo. Para simplificar de uso llamaremos A al interruptor de manual (1 en el diseño de Tinkercad), B al sensor de temperatura (2 en el diseño de Tinkercad), C a uno de los sensores de humo (3 en el diseño de Tinkercad) y D al otro sensor de humo (4 en el diseño de Tinkercad), X a la alarma, Y al sistema de rociadores y Z al led indicador.

De las peticiones realizadas podemos determinar algunas equivalencias, estas son:

- a) Si B y C o D están en alto, X estará en alto.
- b) Si B y C y D están en alto, Y estará en alto.
- c) Si A está en alto, X e Y estarán en alto.
- d) Si entre C o D hay uno exclusivamente en alto, Z estará en alto.

Estas equivalencias las podemos traducir a las siguientes expresiones lógicas para Y, X y Z:

$$X = A + B(C + D)$$

$$Y = A + BCD$$

$$Z = C \oplus D$$

Luego de tener las expresiones podemos realizar el diseño del circuito, este lo podemos observar en la figura 4.

Diseño del nuevo sistema implementado en Logisim

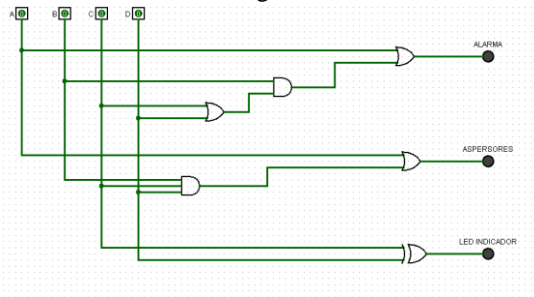


Fig. 4

Además del diseño del nuevo sistema descrito en la figura 4, también lo realizamos usando solo un tipo de compuertas (NAND), esto lo vemos en la figura 5.

Nuevo diseño usando solo un tipo de compuerta

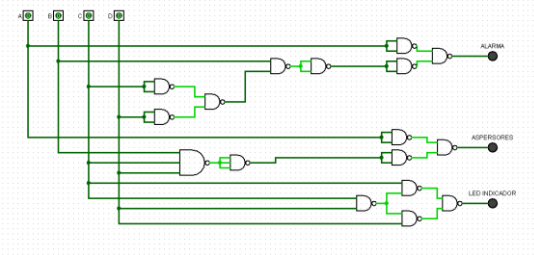


Fig. 5

A continuación, realizamos la tabla de verdad que describe al nuevo sistema y registramos la información en la tabla 3.

TABLA III. Tabla de verdad del nuevo sistema

A	B	C	D	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0

Luego de tener la tabla de verdad que describe el sistema, procedemos a realizar los mapas de Karnaugh para cada salida, esto lo registramos en las tablas 4, 5 y 6.

TABLA IV. Mapa de Karnaugh para X

AB/CD (X)	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	1	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

Luego de tener el mapa de Karnaugh para X llegamos a la expresión:

$$X = A + BC + BD$$

TABLA V. Mapa de Karnaugh para Y

AB/CD (Y)	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	0
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

Luego de tener el mapa de Karnaugh para Y llegamos a la expresión:

$$Y = A + BCD$$

TABLA VI. Mapa de Karnaugh para Z

AB/CD (Y)	00	01	11	10
00	0	1	0	1
01	0	1	0	1
11	0	1	0	1
10	0	1	0	1

Luego de tener el mapa de Karnaugh para Y llegamos a la expresión:

$$Z = C'D + CD'$$

Ya tenemos los mapas de Karnaugh y las expresiones simplificadas, ahora simulamos el circuito en Quartuz, realizando una descripción en VHDL, el esquemático de la descripción se encuentra en la figura 6.

Esquemático de la descripción en VHDL

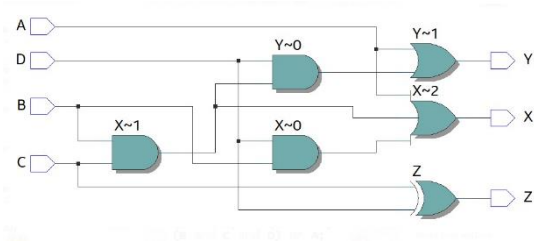


Fig. 6

Por último, realizamos un montaje 3D en Tinkercad, para hacernos una idea de cómo sería el circuito implementado en la realidad, dicho montaje está en la figura 7, para poder realizarlo hicimos uso de las siguientes 4 compuertas: una OR cuádruple de dos entradas (74HC32), una compuerta XOR cuádruple de dos entradas (74HC86), una compuerta AND cuádruple de dos entradas (74HC08) y una compuerta AND triple de tres entradas (74HC11), además de 3 Leds indicadores, con sus resistencias en serie respectivas y una alimentación DC de 6V.

Montaje en Tinkercad del nuevo sistema

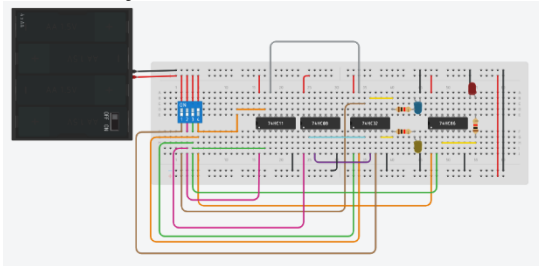


Fig. 7

IV. CONCLUSIÓN

En la realización de este laboratorio comprobamos cómo se puede implementar un circuito combinacional a la hora de diseñar y construir un sistema digital de automatización, no solamente en un parque como este caso, sino que también en la industria. Estos circuitos funcionan de tal manera que se pueden evidenciar todas las combinaciones posibles de una serie de condiciones (variables de entrada) las cuales generan diferentes acciones (variables de salida) sin necesidad de supervisar los procesos ya que se realizan de manera automática. Además, cabe se pudo evidenciar mediante su uso la importancia que tienen las técnicas de reducción de expresiones lógicas, como el álgebra booleana y los mapas de Karnaugh; para en un primer lugar encontrar la ecuación que describe el proceso que se realiza en estos circuitos, y, en segundo lugar, simplificar la ecuación inicial obtenida para obtener una expresión más sencilla y utilizar menor número de compuertas. Con esto se logra alcanzar un nivel de complejidad más bajo y su vez lograr reducir el costo del proyecto. Adicionalmente con la descripción en VHDL, Logisim y Tinkercad, tuvimos una aproximación real a cada circuito en su forma física. Con esto se logra alcanzar un nivel de complejidad más bajo y su vez lograr reducir el costo del proyecto. Así, se resume que los objetivos propuestos han sido alcanzados de forma satisfactoria.