

# MAQUINA DE ESTADOS

Hugo Andrade, Marshall Flores Universidad de las Fuerzas Armadas “E.S.P.E” Ingeniería en electrónica y Telecomunicaciones

[hdandrad@espe.edu.ec](mailto:hdandrad@espe.edu.ec) , [jmflores15@espe.edu.ec](mailto:jmflores15@espe.edu.ec)

**Resumen.-** La electrónica digital ha marcado un gran avance en la tecnología durante los últimos 80 años. Es una rama de la electrónica que nos permite realizar circuitos lógicos a partir de las necesidades que se presenten en cualquier situación. Permittiéndonos aplicar dicho concepto para resolver o sustentar necesidades más avanzadas como el resolver operaciones aritméticas, multiplexar diferentes salidas o decodificar una serie de valores binarios (Lógica combinacional) y acoplarlo con unidades básicas de memoria, mediante su diseño haciendo el uso de diagramas y tablas de estado, convirtiéndolo así en circuitos lógicos secuenciales, que pueden ser de alta relevancia en la fundamentación acerca del funcionamiento de microprocesadores. En nuestro caso, justamente, realizaremos el diseño de circuitos lógicos utilizando los diagramas y tablas de estado para representar cada problema que se nos sea presentado. El propósito de este producto de unidad es analizar el funcionamiento de los circuitos lógicos combinacionales y secuenciales, haciendo énfasis en las aplicaciones que pueden tener en general y a su vez que puedan ser implementados (de ser necesario) a circuitos lógicos, en nuestro caso, a la operatividad de una máquina expendedora de bebidas y a un sistema de riego automático.

## Introducción

Diseñar diagramas de estado a partir de sus respectivas tablas y viceversa complementando su aplicación en una máquina expendedora de bebidas y en un sistema de riego automático, mediante el respectivo análisis de cada proceso que se lleve a cabo junto con su funcionalidad, con el fin de implementarlo en un circuito lógico.

## DIAGRAMAS

### 5.1. DIAGRAMAS DE ESTADO

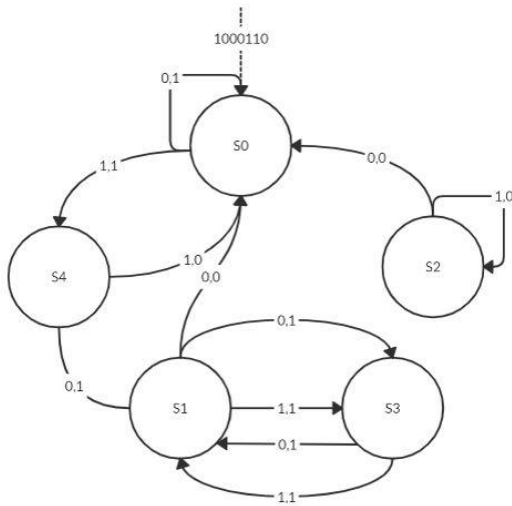


Diagrama 1.1 – Diagrama de estado 1.

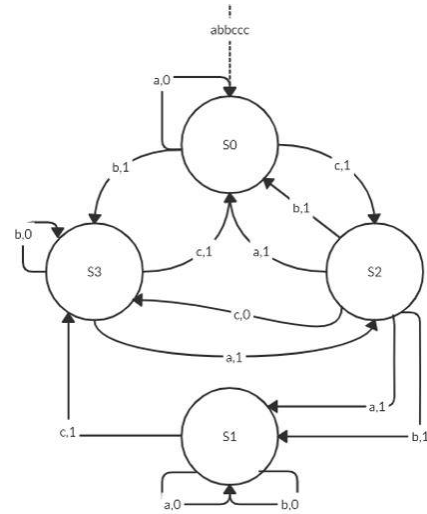


Diagrama 1.2 – Diagrama de estado 2.

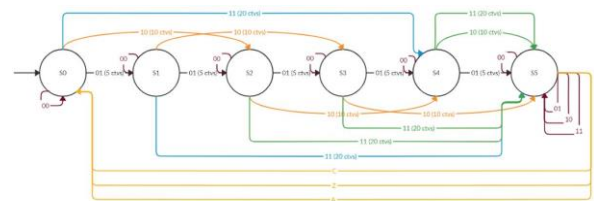


Diagrama 1.3 – Diagrama de estado 3 (Máquina expendedora de bebidas).

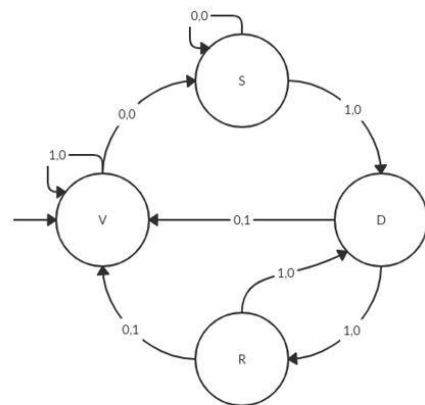


Diagrama 1.4 – Diagrama de estado 4 (Circuito de riego automático).

## 6. EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO FUENTE

1. Dibuje el diagrama de estados para la máquina de estado finito cuya tabla de estados es la siguiente. Partiendo del estado s0, calcule la salida para la cadena de entrada 1000110.

| Estados | Transición<br>Entrada |    | Salida<br>Entrada |   |
|---------|-----------------------|----|-------------------|---|
|         |                       |    |                   |   |
| S0      | S0                    | S4 | 1                 | 1 |
| S1      | S0                    | S3 | 0                 | 1 |
| S2      | S0                    | S2 | 0                 | 0 |
| S3      | S1                    | S1 | 1                 | 1 |
| S4      | S1                    | S0 | 1                 | 0 |

Tabla 1.1 – Tabla de estados (Ejercicio 1)

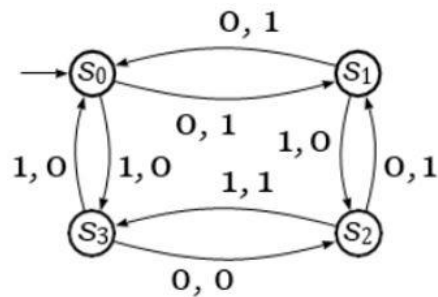


Figura 1.3 – Diagrama de estado 3.

| Estados | Transición<br>Entrada |    | Salida<br>Entrada |   |
|---------|-----------------------|----|-------------------|---|
|         | 0                     | 1  | 0                 | 1 |
| S0      | S1                    | S3 | 1                 | 0 |
| S1      | S0                    | S2 | 1                 | 0 |
| S2      | S1                    | S3 | 1                 | 1 |
| S3      | S2                    | S0 | 0                 | 0 |

Tabla 1.3 – Tabla de estados (Ejercicio 3)

4. Construya una máquina de estado finito que modele una máquina expendedora de bebidas que acepta monedas de 5, 10 y 20 centavos. La máquina acepta monedas hasta que se introducen 25 centavos y devuelve cualquier cantidad que supere los 25 céntimos. Entonces, el cliente puede pulsar los botones y elegir una bebida de cola (C), cerveza (Z) o agua (A).

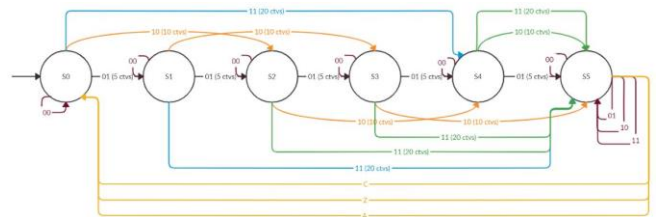


Figura 1.4 – Diagrama de estado 4 (Máquina expendedora de bebidas).

Para la elaboración del diagrama de estados para la máquina expendedora de bebidas hemos necesitado de un total de 6 estados, denominados S0, S1, S2, S3, S4 y S5. Donde:

S0 --> 0 ctvs (máquina expendedora de bebidas activa).

S1 --> 5 ctvs.

S2 --> 10 ctvs.

S3 --> 15 ctvs.

S4 --> 20 ctvs.

S5 --> 25 ctvs (Entrega del producto).

Como podemos observar en la figura 1.4 nos encontramos con diferentes combinaciones en lo que respecta al ingreso de las diferentes monedas, es decir, podemos introducir 5 monedas de 5 ctvs. O también se podrían introducir dos monedas de 10 ctvs y una moneda de 5 ctvs. En ambos casos se sumaría un total de 25 ctvs. Y, por ende, se obtendría la bebida que el usuario desee. Sin embargo, también existe la posibilidad de sobrepasar los 25 ctvs, ya que, por ejemplo, se podrían introducir tres monedas de 10 ctvs. O una moneda de 20 ctvs y una de 10 ctvs. En ambos casos, obtendríamos la bebida que se escoja, pero adicional a ello la máquina expendedora también nos devolverá el cambio respectivo. Entonces independientemente de la combinación en la que se introduzcan las monedas, el sistema funcionará correctamente.

Ahora bien, las entradas que hemos utilizado en este diagrama de estados son las combinaciones binarias 00, 01, 10 y 11, las cuales corresponden a las monedas a introducir de 0, 5, 10 y 20 ctvs respectivamente. Y cuyas flechas de transición se han representado por los colores marrón, negro, naranja y azul, respectivamente, con fines de mejor entendimiento. Por otro lado, las flechas de transición de color verde hacen referencia a que el valor acumulado de monedas sobrepasa los 25 ctvs. Por lo que se obtendrá cambio.

Cabe recalcar que, solamente en el estado S5 se entrega la bebida escogida. Y una vez culminada esta acción, se retornará nuevamente al estado S0, para

2. Dibuje el diagrama de estados para la máquina de estado finito cuya tabla de estados es la siguiente. Partiendo del estado inicial s0, calcula la salida para la cadena de entrada abbbcc

| Estados | Transición<br>Entrada |    |    | Salida<br>Entrada |   |   |
|---------|-----------------------|----|----|-------------------|---|---|
|         | a                     | b  | c  | a                 | b | c |
| S0      | S0                    | S3 | S2 | 0                 | 1 | 1 |
| S1      | S1                    | S1 | S3 | 0                 | 0 | 1 |
| S2      | S1                    | S1 | S3 | 1                 | 1 | 0 |
| S3      | S2                    | S3 | S0 | 1                 | 0 | 1 |

Tabla 1.2 – Tabla de estados (Ejercicio 2)

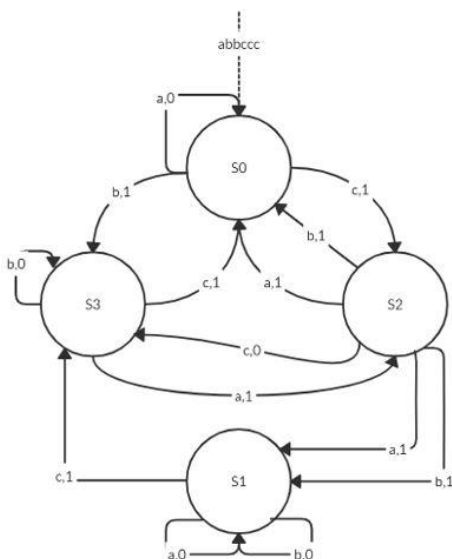


Figura 1.2 – Diagrama de estado 2.

3. Halle la tabla de estados para la máquina de estado finito cuyo diagrama de estados es:

repetir el proceso si el usuario desea otra bebida o si otro usuario acude a la máquina expendedora. Para entender de mejor manera el funcionamiento de dicha máquina, postulamos un ejemplo para los siguientes casos:

#### - Inexistencia de cambio

No existirá cambio cuando la cantidad de dinero no supere los 25 ctvs. Por ejemplo: Si se introducen 5 monedas de 5 ctvs, tenemos las siguientes transiciones:

- S0 --> S1: Ingreso de la primera moneda. (Cantidad acumulada: 5 ctvs).
- S1 --> S2: Ingreso de la segunda moneda. (Cantidad acumulada: 10 ctvs).
- S2 --> S3: Ingreso de la tercera moneda. (Cantidad acumulada: 15 ctvs).
- S3 --> S4: Ingreso de la cuarta moneda. (Cantidad acumulada: 20 ctvs).
- S4 --> S5: Ingreso de la quinta moneda y entrega del producto. (Cantidad acumulada: 25 ctvs).

#### - Existencia de cambio

Existirá cambio cuando la cantidad de dinero supere los 25 ctvs. Por ejemplo: Si se introducen dos monedas de 10 ctvs y una de 20 ctvs, tendríamos las siguientes transiciones:

- S0 --> S2: Ingreso de la primera moneda de 10 ctvs. (Cantidad acumulada: 10 ctvs).
- S2 --> S4: Ingreso de la segunda moneda de 10 ctvs. (Cantidad acumulada: 20 ctvs).
- S4 --> S5: Ingreso de la moneda de 20 ctvs. (Cantidad acumulada: 40 ctvs). Entrega de cambio y entrega del producto.

Finalmente presentamos a continuación la tabla de transiciones que describe todo el proceso explicado con el diagrama de estados realizado.

| Estados | Transición<br>Entrada |    |    |    |         |    |    | Salida<br>Entrada |    |    |    |        |    |    |    |         |   |   |
|---------|-----------------------|----|----|----|---------|----|----|-------------------|----|----|----|--------|----|----|----|---------|---|---|
|         | 0                     | 5  | 10 | 20 | Bebidas |    |    | 0                 | 5  | 10 | 20 | Cambio |    |    |    | Bebidas |   |   |
| Control | 00                    | 01 | 10 | 11 | C       | Z  | A  | 00                | 01 | 10 | 11 | 00     | 01 | 10 | 11 | C       | Z | A |
| S0      | S0                    | S1 | S2 | S4 | S0      | S0 | S0 | 0                 | 5  | 10 | 20 | 0      | 0  | 0  | 0  | 0       | 0 | 0 |
| S1      | S1                    | S2 | S3 | S5 | S1      | S1 | S1 | 5                 | 10 | 15 | 25 | 0      | 0  | 0  | 0  | C       | Z | A |
| S2      | S2                    | S3 | S4 | S5 | S2      | S2 | S2 | 10                | 15 | 20 | 25 | 0      | 0  | 0  | 1  | C       | Z | A |
| S3      | S3                    | S4 | S5 | S5 | S3      | S3 | S3 | 15                | 20 | 25 | 25 | 0      | 0  | 0  | 1  | C       | Z | A |
| S4      | S4                    | S5 | S5 | S5 | S4      | S4 | S4 | 20                | 25 | 25 | 25 | 0      | 0  | 1  | 1  | C       | Z | A |
| S5      | S5                    | S5 | S5 | S5 | C       | Z  | A  | 25                | 25 | 25 | 25 | 0      | 1  | 1  | 1  | C       | Z | A |

Tabla 1.4 – Tabla de estados (Máquina expendedora de bebidas).

**5. Construya una máquina de estados finito que modele un circuito de riego automático como el mostrado en la figura. El circuito deberá accionar la bomba en las siguientes condiciones:**

**a) El circuito accionará la bomba solamente cuando la tierra esté seca, pero antes debe comprobar las siguientes condiciones:**

i. Para evitar que la bomba se estropee por funcionar en vacío, nunca se accionará la bomba cuando el depósito de agua esté vacío. ii. Si hay restricciones en el riego (época de verano), sólo se podrá regar de noche. iii. En el resto del año (si no hay restricciones) se podrá regar de día y de noche (si la tierra está seca).

**b) Para la implementación del circuito se dispone de las siguientes entradas:**

i. S: Señal que indica si la tierra está seca: Tierra seca: S=1; Tierra húmeda: S=0 ii. R: Señal que indica si hay restricciones en el riego (es verano): Hay restricciones: R=1. No hay restricciones: R=0. iii. D: Señal que indica si es de día o de noche: Día: D=1; Noche: D=0. iv. V: Señal que indica si el depósito de agua está vacío: Vacío: V=1; Hay agua: V=0.

**c) Y la salida B, que accionará la bomba para regar: Bomba funcionando: B=1; Bomba apagada B=0.**

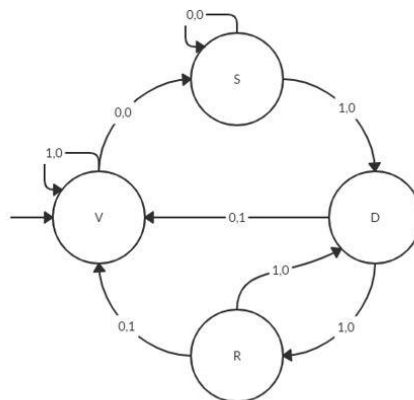


Figura 1.5 – Diagrama de estado 5 (Circuito de riego automático).

Para la elaboración del diagrama de estados para un sistema de riego automático hemos utilizado un total de 4 estados, denominados V, S, D, R, donde:

V --> Depósito de agua lleno o vacío.

S --> Estado que indica si la tierra está seca o no.

D --> Estado que indica si es de día.

R --> Existencia de restricción (Época de verano o no).

Como podemos observar en la figura 1.5 nos encontramos con una variable de entrada que puede tomar el valor de 1 o 0 lógico, cuyo valor influenciará en la transición de cada uno de los estados. Como sabemos la bomba se accionará siempre y cuando el depósito de agua no esté vacío y la tierra esté seca, además se deben cumplir los demás requisitos que nos estipula la problemática del enunciado, es por ello que el estado V es el inicial, ya que necesitamos que el depósito de agua se encuentre lleno para seguir con el resto del proceso, entonces, si el estado V recibe un valor de 1 lógico, tenemos que el sistema permanecerá en el mismo estado, caso contrario pasaremos al estado S, el cual determinará si la tierra está seca o no. En el caso que la tierra si esté seca, pasaremos al estado D (es de día). Caso contrario el sistema permanecerá en el mismo estado S. Una vez que pasamos de S a D y este último reciba un valor de 1, entonces pasaremos al estado R para verificar si existe o no restricción. En caso que si exista restricción, regresaremos al estado D, ya que no se puede regar de día en época de verano. Por el contrario, en caso de no existir restricción, la bomba se accionará normalmente. De no ser así, se entiende que es de noche y la bomba se accionará, por consiguiente regresaremos al estado inicial para reiniciar el proceso. Cabe recalcar que cuando sea de noche, no importará en que época se encuentre el sistema.

Para entender de mejor manera, postulamos los siguientes ejemplos:

**- Suponiendo que el depósito de agua está lleno, la tierra está seca, no es época de verano y es de día, la transición de estados se vería de la siguiente manera:**

- V --> S: Tanque de agua lleno.
- S --> D: La tierra está seca.
- D --> R: Es de día.
- R --> V: No es época de verano. (Se activa la bomba de agua y se reinicia el proceso).

**- Suponiendo que el depósito de agua está lleno, la tierra está seca, no es época de verano y es de noche, la transición de estados se vería de la siguiente manera:**

- V --> S: Tanque de agua lleno.
- S --> D: La tierra está seca.
- D --> V: Es de noche (Se activa la bomba de agua y se reinicia el proceso).

En este caso no tiene relevancia la restricción.

**- Suponiendo que el depósito de agua está lleno, la tierra está seca, es época de verano y es de día, la transición de estados se vería de la siguiente manera:**

- V --> S: Tanque de agua lleno.
- S --> D: La tierra está seca.
- D --> R: Es de día.
- R --> D: Es época de verano. (No se activa la bomba de agua).

- Suponiendo que el depósito de agua está lleno, la tierra está seca, es época de verano y es de noche, la transición de estados se vería de la siguiente manera:

- V --> S: Tanque de agua lleno.
- S --> D: La tierra está seca.
- D --> V: Es de noche (Se activa la bomba de agua y se reinicia el proceso).

En este caso tampoco tiene relevancia la restricción.

Finalmente presentamos a continuación la tabla de transiciones que describe todo el proceso explicado con el diagrama de estados realizado.

| Estados | Transición |         | Salida  |         |
|---------|------------|---------|---------|---------|
|         | Entrada    | Entrada | Entrada | Entrada |
|         | 0          | 1       | 0       | 1       |
| V       | S          | V       | 0       | 0       |
| S       | S          | D       | 0       | 0       |
| D       | V          | R       | 1       | 0       |
| R       | V          | D       | 1       | 0       |

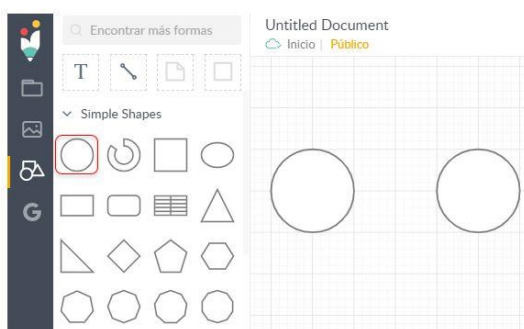
Tabla 1.5 – Tabla de estados (Circuito de riego automático).

## 7. DESCRIPCIÓN DE PRERREQUISITOS Y CONFIGURACIÓN

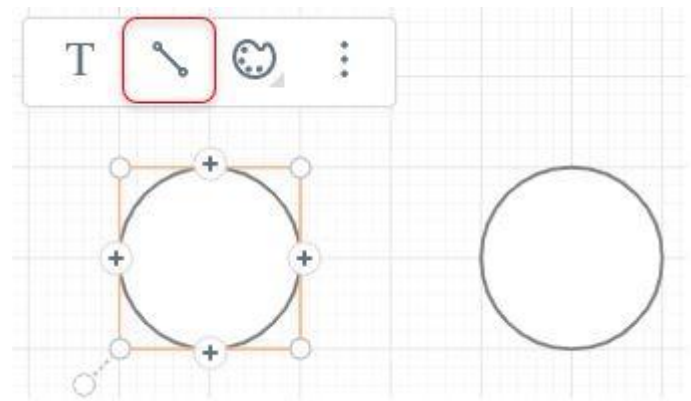
En lo que corresponde a la utilización de aplicaciones secundarias para elaborar los diferentes grafos de estado, podemos decir que no se ha necesitado de ninguna que influya directamente sobre su implementación, ya que Creately ofrece una interfaz de desarrollo de diagramas muy extenso y completo.

Ahora bien, necesitamos saber cuales son los pasos para poder implementar diagramas de estados en Creately. Para lo cual, debemos:

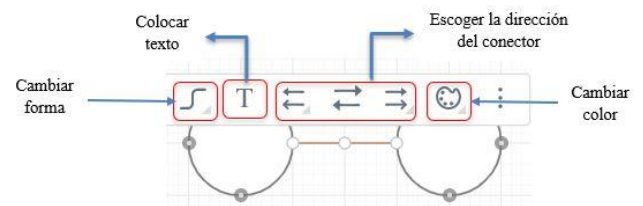
1. Seleccionar en la sección de formas, todos los elementos o figuras que se utilizarán en el circuito, (En nuestro caso seleccionaremos el círculo). Y arrastrarlo a la hoja de trabajo.



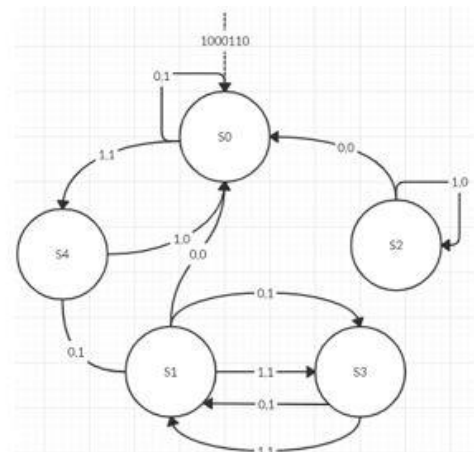
2. Conectar todas las formas (Estados) mediante un conector.



3. Una vez que ya se ha realizado la conexión entre los estados procedemos a dar clic en el conector y se nos desplegará un recuadro con opciones, en el cual podemos escoger la dirección del conector representado por una flecha, cambiar de color, colocar texto y cambiar la forma del conector.



4. Finalmente, el diagrama de estados terminado quedaría de la siguiente manera:



## CONCLUSIONES

- Los diagramas de estado, para el primer y segundo ejercicio, se han diseñado, partiendo de la tabla de estados proporcionadas, mientras que en el tercer ejercicio se implementó la tabla de estados partiendo de un diagrama de estados. Toda su realización fue de gran importancia para aplicar el mismo principio en una máquina expendedora de bebidas y en un sistema de riego automático, donde cada uno de sus estados se representaron en base a los requerimientos de cada problema. Si nos damos cuenta, se utilizaron un total de 6 estados en los dos casos, cuyas transiciones, dependieron de la moneda que se inserte en la máquina expendedora y de las diferentes condiciones que se requerían para que la bomba de agua se active en el sistema de riego.
- Al realizar cada diagrama y tabla de estado podemos deducir que todos están relacionados con una máquina de Mealy, ya que las variables de entradas y salidas se encuentran en las transiciones (conectores) que claramente dependen a su vez del estado en el que se encuentren, en otras palabras, la salida depende de la condición de entrada que debe existir y del estado en el que se encuentre en ese momento.

- El diseño de cada circuito se la realizó en base a todo lo investigado, lo cual tiene que ver con las funcionalidades que ofrecen los diagramas y tablas de estado para aplicarlos en circuitos lógicos secuenciales. Cabe mencionar que esto es la base de una gran cantidad de aplicaciones en lo que respecta a sistemas digitales, ya que tienen una amplia relevancia e importancia. Sin duda los diagramas de estado, son la base para implementar un sinnúmero de aplicaciones, pues han sido muy importantes en el avance de la electrónica y de la tecnología. Lo más esencial para nosotros es conocer cómo es su funcionamiento (interacción entre estados y variables de entrada) y mediante esta práctica se ha cumplido este objetivo. De hecho, al momento de realizar la investigación con los artículos de los autores investigados, podemos darnos cuenta de la gran cantidad de aplicaciones que tienen y que de cierta manera se relaciona con nuestro proyecto en cuestión.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la investigación única y exclusivamente de los temas a ser tratados durante la ejecución y realización del informe que a su vez sustenten los fundamentos para el diseño e implementación del circuito.
- Cerciorarse que la transición entre los diferentes estados del sistema, junto con las entradas sea la correcta para evitar fallos en las salidas.
- Comparar detalladamente los Datasheet de cada componente que usemos, puesto que, si no lo verificamos, los datos de salida del circuito integrado pueden ser erróneos y esto causará que el funcionamiento del circuito implementado no sea el correcto, incluso pueden ocurrir averías en los mismos, por ello es importante identificar los pines de entrada, salida y de energía, con su respectiva numeración.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Yang Sheng, Chen Xikun, Sun Dong y Liu Qinhuang, «Sci-Hub IEEEExplore» 28 de agosto de 2014

<https://sci-hub.tw/https://ieeexplore.ieee.org/document/6885368>

[2] J. Kim y D. Kim , «Sci-Hub IEEEExplore» 29 de enero de 2015

<https://sci-hub.tw/https://ieeexplore.ieee.org/document/7025478>

[3] S. Wu, «Sci-Hub IEEEExplore» 20 de septiembre de 2012

<https://sci-hub.tw/https://ieeexplore.ieee.org/document/6305768>

Anonimo 18 de junio 2019 obtenido de MCI capacitación :

<https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/maquinas-de-estado/>

Pablo Turmero obtenido de Monografias:

<https://www.monografias.com/docs/114/maquinas-estado/maquinas-estado.shtml>

