

# UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
IE0523 - Circuitos Integrados Digitales  
II ciclo de 2024

---

## Tarea #1: *Descripción Conductual Controlador*

---

### **Profesor:**

Enrique Coen Alfaro

### **Estudiante:**

Gabriel Siles Chaves - C17530

Grupo 01

8 de setiembre 2024

# Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción Arquitectónica</b>	<b>2</b>
2.1. Estado A . . . . .	3
2.2. Estado B . . . . .	3
2.3. Estado C . . . . .	4
2.4. Estado D . . . . .	4
<b>3. Plan de Pruebas</b>	<b>5</b>
3.1. Prueba #1. Funcionamiento normal básico . . . . .	5
3.2. Prueba #2. Ingreso de pin incorrecto menos de 3 veces . . . . .	5
3.3. Prueba #3. Ingreso de pin incorrecto 3 veces . . . . .	6
3.4. Prueba #4. Alarma de bloque caso ilegal . . . . .	6
<b>4. Instrucciones de utilización de la simulación</b>	<b>7</b>
4.1. Linux . . . . .	7
<b>5. Ejemplos de los Resultados</b>	<b>7</b>
5.1. Resultados Prueba #1 . . . . .	7
5.2. Resultados Prueba #2 . . . . .	8
5.3. Resultados Prueba #3 . . . . .	8
5.4. Resultados Prueba #4 . . . . .	9
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>9</b>

## 1. Resumen

En este proyecto se realiza una descripción conductual de un controlador automatizado para la entrada de un estacionamiento, utilizando el lenguaje de descripción de Hardware Verilog. Por medio de una descripción se diseña una máquina de estados cuyo propósito es detectar si una carro ha llegado a un estacionamiento, solicitando una clave para la entrada, habilitando el acceso de manera que si se ingresa una la clave incorrecta repetitivamente se active una salida de Alarma. Este diseño de máquina de estado únicamente contiene 4 estados con un total de 4 salidas especiales y 4 entradas que se pensaron para un futuro en donde se desea conectar este controlador con los sensores y con un chip encargado de la terminal, permitiendo conocer la interacción del usuario y el entorno con el dispositivo para un mejor funcionamiento del sistema.

Se realizaron varias pruebas para corroborar el funcionamiento del controlador, alternando las entradas de manera para simular 4 posibles casos. Esta parte parte de la prueba es importante diseñarla correctamente, teniendo en cuenta el funcionamiento del clock, debido a que durante la verificación hubieron errores como un mal timing de los flancos generando que algunas entradas no fueran leídas a tiempo. En conclusión el diseño conductual y de pruebas funcionaron de manera excepcional, comprobando que se realizó un buen diseño debido a que los errores fueron mínimos y permitieron que el sistema funcionara de manera correcta sin tener que hacer muchos cambios.

## 2. Descripción Arquitectónica

Para la descripción de la arquitectura del controlador como primer paso se realizó un diagrama de bloques definiendo las entradas y las salidas necesarias para la descripción conductual. En la Figura 1 se visualiza el diagrama de bloques del controlador en donde se tienen 4 entradas donde Password es una entrada de 16 bits y las demás de un solo bit. Para la salida igualmente se tiene 4 salidas, intentos siendo una salida de 2 bits para el contador.

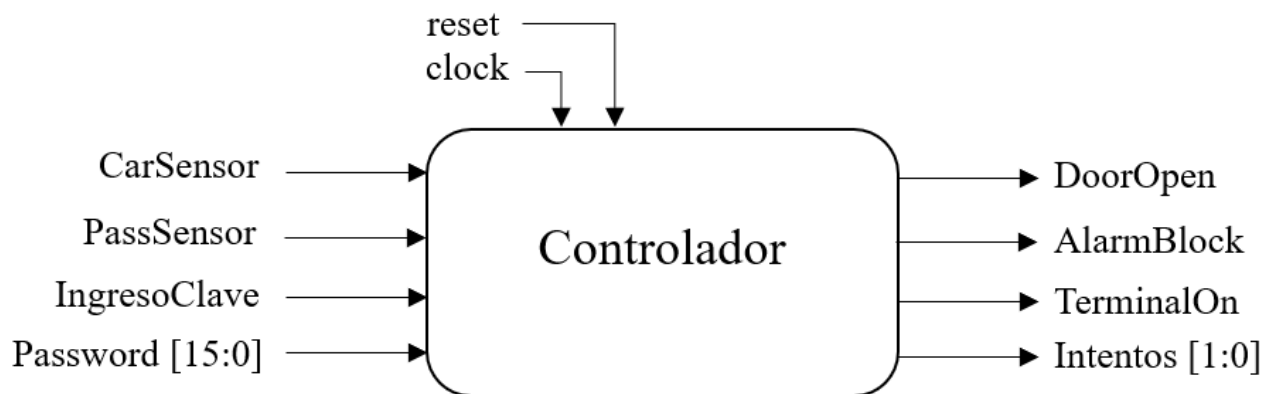


Figura 1: Diagrama de Bloques del Controlador

El objetivo de las entradas *CarSensor* y *PassSensor* es indicarle al controlador si se detecta un

carro y si este ya entró al estacionamiento, estas entradas provienen de los sensores instalados en el lugar. El conjunto de entradas *IngresoClave* y *Password* provienen de la terminal el cual es un dispositivo que se encarga de la conversión de la clave a 16 bits en BCD. Estos indican si se ingresó la clave y el valor de la misma.

El objetivo de las salida;*DoorOpen* es abrir la puerta, *AlarmBlock* activar la alarma, *TerminalOn* activar la terminal e *Intentos* indicarle a la terminal los intentos incorrectos. En la Figura 2 se puede observar el diagrama ASM del sistema donde se definen los estados con sus respectivas condiciones y salidas.

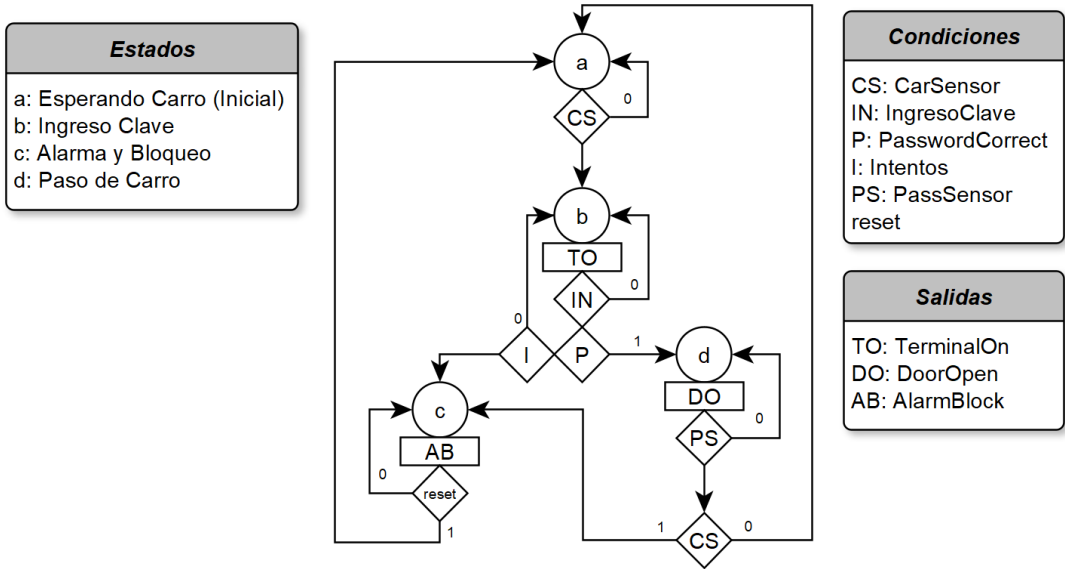


Figura 2: Diagrama ASM maquina de estados

2.1. Estado A

Este es el estado inicial donde se espera a que el vehículo llegue a la entrada del estacionamiento, donde el sensor indicará si se detectó un carro o no. Por lo que existe un condición CS (CarSensor) cuya tabla de verdad se puede observar a continuación:

CS	Estado
0	a
1	b

Tabla 1: Tabla de Verdad estado a

2.2. Estado B

En este estado se espera el ingreso de la clave, es donde la primera salida se activa, indicando a la terminal que se encienda para poder aceptar la clave. Existe tres condiciones las cuales son IN

(Ingreso clave) que indica si se ingresó la clave, P(PasswordCorrect) que comprueba si la contraseña es correcta o no, y por último I (Intentos) se encarga de corroborar que no se ha llegado a los 3 intentos. Por lo que su tabla de verdad es la siguiente:

IN	P	I	Estado
0	0	0	a
0	0	1	a
0	1	0	a
0	1	1	a
1	0	0	b
1	0	1	c
1	1	0	d
1	1	1	d

Tabla 2: Tabla de Verdad estado b

### 2.3. Estado C

Este estado activa la alarma y no permite el paso de carro ni el funcionamiento hasta que se realice un reset en el sistema, por lo que se activa la salida AB (AlarmBlock) y se espera al reset. La tabla de verdad se puede representar de la siguiente forma:

AB	Estado
0	c
1	a

Tabla 3: Tabla de Verdad estado c

### 2.4. Estado D

El último estado espera el paso del carro, la salida DO (DoorOpen) se activa y pregunta dos condiciones PS (PassSensor) y CS (CarSensor), así asegurándose que el carro ha entrado o si un carro intenta aprovechar que la puerta se encuentra abierta para entrar, esta última acción activando la Alarma. La tabla de verdad se presenta a continuación:

PS	CS	Estado
0	0	d
0	1	d
1	0	a
1	1	c

Tabla 4: Tabla de Verdad estado c

### 3. Plan de Pruebas

En esta sección se presenta la lista detallada de las pruebas de cada estado y corroborar el funcionamiento del sistema de acuerdo a las especificaciones.

#### 3.1. Prueba #1. Funcionamiento normal básico

Se realiza prueba en la situación en donde llega un vehículo a la entrada, ingresa un pin, se corrobora que es correcto, se genera la apertura de la puerta, el carro ingresa al estacionamiento, el sensor lo detecta y se cierra la compuerta. Por lo que se realiza en el archivo tester.v la secuencia de esta prueba como se observa en la Figura 4. Al realizar la prueba **el diseño pasó la prueba.**

```
// Caso #01 Funcionamiento Normal Basico
#15 CarS = 1;           // Carro detectado
#10 CarS = 0;           // Carro no detectado
#10 Passw = 16'h7530;    // Ingreso Password 7530
IngresoC = 1;           // Se ingreso Password
#5 IngresoC = 0;         // Se apaga Ingreso Password
#10 PassS = 1;           // Se activa sensor de paso
#10 PassS = 0;           // Se desactiva sensor de paso
#20
```

Figura 3: Código: Funcionamiento normal básico

#### 3.2. Prueba #2. Ingreso de pin incorrecto menos de 3 veces

Esta segunda prueba simula la situación en donde llega un vehículo a la entrada, se ingresa incorrectamente la clave un total de 2 veces, al último intento se ingresa la clave correcta, se abre la puerta, pasa el carro siendo detectado por el sensor de paso y se cierra la compuerta. Al realizar esta prueba se realiza una revisión de los intentos incorrectos, el código se puede observa en la Figura 4. Al realizar la prueba **el diseño pasó la prueba.**

```
// Caso #02 Ingreso de pin incorrecto menos de 3 veces
#5 CarS = 1;           // Carro detectado
#15 CarS = 0;           // Carro no detectado
#5 Passw = 16'h7531;    // Ingreso Password 7531
IngresoC = 1;           // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;         // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h7534;    // Ingreso Password 7534
IngresoC = 1;           // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;         // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h7530;    // Ingreso Password 7530
IngresoC = 1;           // Se INgresa Password
#5 IngresoC = 0;         // Se apaga Ingreso Password
#10 PassS = 1;           // Se activa sensor de Paso
#10 PassS = 0;           // Se desactiva sensor de paso
#20
```

Figura 4: Código: Ingreso pin incorrecto ( $< 3$  veces)

### 3.3. Prueba #3. Ingreso de pin incorrecto 3 veces

En la tercer prueba no se prueba el ingreso de pin incorrecto más de 3 veces debido a que el sistema está diseñado que al momento de ingresar la clave 3 veces incorrectamente se bloquee, por lo que no activa la terminal para ingresar nuevamente la clave. La prueba consiste en que el vehículo llega, ingresa la clave incorrectamente, se active la alarma y se queda en bloqueo hasta que se active un reset al sistema. En la Figura 5 se presenta el código del tester para esta prueba. Al realizar la prueba **el diseño pasó la prueba.**

```
// Caso #03 Ingreso de pin incorrecto 3 o mas veces
#5 CarS = 1;          // Carro detectado
#15 CarS = 0;         // Carro no detectado
#5 Passw = 16'h2024;   // Ingreso Password 2024
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h0509;  // Ingreso Password 0509
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h1979;  // Ingreso Password
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga ingreso Password
#15 reset = 1;         // Se activa reset
#10 reset = 0;         // Se desactiva reset
#20
```

Figura 5: Código: Ingreso pin incorrecto 3 veces, Alarma y Bloqueo

### 3.4. Prueba #4. Alarma de bloque caso ilegal

En la última prueba, se simula el caso en donde un primer vehículo llega, ingresa la clave incorrectamente, ingresa la clave correctamente, se abre la puerta y en el momento en que el carro está pasando el sistema detecta un carro por detrás, por lo que por seguridad se cierra la compuerta y se activa la Alarma y el bloqueo hasta que se reinicie el sistema. En la Figura 6 se observa el código de la prueba. Al realizar la prueba **el diseño pasó la prueba.**

```
// Caso #03 Ingreso de pin incorrecto 3 o mas veces
#5 CarS = 1;          // Carro detectado
#15 CarS = 0;         // Carro no detectado
#5 Passw = 16'h2024;   // Ingreso Password 2024
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h0509;  // Ingreso Password 0509
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga Ingreso Password
#10 Passw = 16'h1979;  // Ingreso Password
IngresoC = 1;         // Se ingresa Password
#5 IngresoC = 0;       // Se apaga ingreso Password
#15 reset = 1;         // Se activa reset
#10 reset = 0;         // Se desactiva reset
#20
```

Figura 6: Código: Ingreso pin incorrecto 3 veces, Alarma y Bloqueo

## 4. Instrucciones de utilización de la simulación

Para ejecutar los comandos necesarios para realizar la simulación se debe contar con unos requisitos previos para la utilización del mismo, se debe tener instalado las siguientes aplicaciones:

- [Icarus Verilog](#)
- [GTKWave](#)

### 4.1. Linux

En caso de que se desee ejecutar en alguna extensión de Linux (Ubuntu, Debian, Xubuntu) se debe correr una terminal en la carpeta donde se encuentran los archivos [*controlador.v tester.v testbench.v*] (sin estos archivos no se podrá realizar el proceso correctamente) y ejecutar el siguiente comando:

```
>> make
```

Esto ejecutara una serie de comandos del archivo makefile, ejecutando todo lo necesario, permitiendo visualizar en la terminal los cambios generados por \$monitor y ejecutando el GTKWave para observar las ondas de la simulación.

## 5. Ejemplos de los Resultados

A la hora de ejecutar el testbench se genera un archivo llamado *results.vcd* el cual al abrirse con el GTKWave se podrá visualizar las ondas y comprobar el funcionamiento del sistema.

### 5.1. Resultados Prueba #1

Para la primera prueba se obtiene las salidas de la función \$monitor y las ondas del gtkwave. En la Figura 7 se puede visualizar que al inicio las señales de salida no están definidas, ni la entrada de *Password* debido a que no se ha ingresado ningún a hasta ese momento. Se puede observar que en el momento *IngresoClave* se activa, se corrobora de manera inmediata que la contraseña es correcta y la salida *DoorOpen* se activa, y se cierra en el momento que *PassSensor* detecta el paso y se pone en alto.

```
IngresoClave=0, Incorrect=xx, Pass=xxxx, Door=x, CarS=0, PassS=0, Terminal=x, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=xxxx, Door=0, CarS=0, PassS=0, Terminal=0, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=xxxx, Door=0, CarS=1, PassS=0, Terminal=1, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=xxxx, Door=0, CarS=0, PassS=0, Terminal=1, Reset=0
IngresoClave=1, Incorrect=00, Pass=7530, Door=1, CarS=0, PassS=0, Terminal=0, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=7530, Door=1, CarS=0, PassS=0, Terminal=0, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=7530, Door=0, CarS=0, PassS=1, Terminal=0, Reset=0
IngresoClave=0, Incorrect=00, Pass=7530, Door=0, CarS=0, PassS=0, Terminal=0, Reset=0
```

Figura 7: Salidas en terminal del \$Monitor

Para una mejor visualización se puede observar en la Figura 8 las ondas del GTKWave donde se observa la activación de cada salida en los flancos positivos del clock. Una de los detalles que sobresalen es que la estructura de las pruebas permiten observar como en los flancos se activan al mismo tiempo el *TemrinalOn* y *CarSensor*, este último generando el cambio de estado en el mismo flanco.



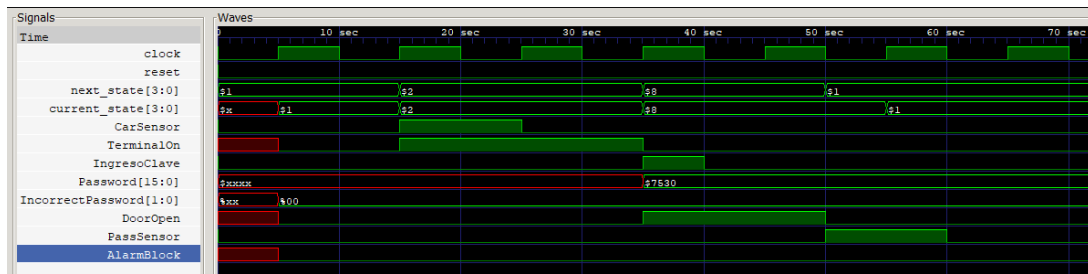


Figura 8: Resultados Ondas del GTKWave Prueba #1

## 5.2. Resultados Prueba #2

En este resultado, se puede observar el funcionamiento correcto de la prueba 2 Ingreso de pin incorrecto menor a 3 veces. En la Figura 9 se observa como al ingresar las diferentes claves incorrectas el contador va incrementando su valor por 1, en el momento que se ingresa la contraseña correcta el contador se reinicia. De igual manera el sensor de paso funciona de manera correcta debido a que desactiva la señal de *DoorOpen*, así cerrando la puerta.

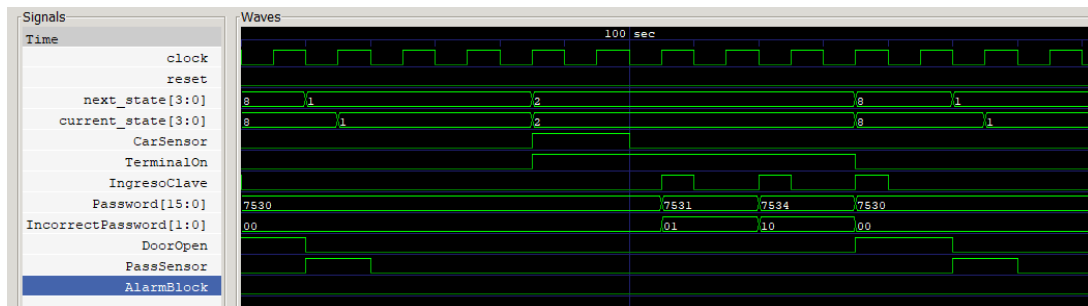


Figura 9: Resultados Ondas del GTKWave Prueba #2

## 5.3. Resultados Prueba #3

Para la prueba en donde se ingresa 3 veces incorrectamente el pin activando la alarma, en la Figura 10 se puede corroborar el funcionamiento correcto del sistema. En el se observa como el contador al llegar a 4'b11 (3) realiza una transición al estado c (0100), activando la alarma hasta que se realice un reset.

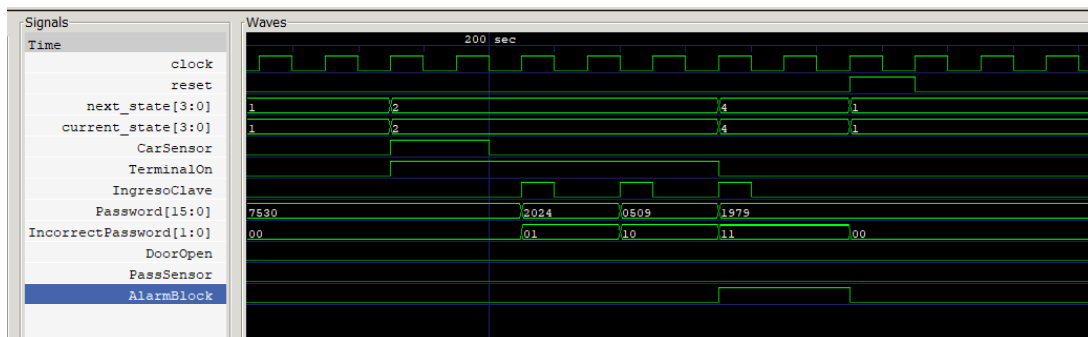


Figura 10: Resultados Ondas del GTKWave Prueba #3

## 5.4. Resultados Prueba #4

Para los resultados de la ultima prueba se realiza el caso en donde se activa el *PassSensor* y el *CarSensor* el cual simula la situación en donde un carro llega simultáneamente en el momento donde el carro está pasando, por lo que se debe realizar un reset para ingresar la clave y poder entrar al estacionamiento. En la Figura 11 se observa como en un mismo flanco se activan las entradas de *PassSensor* y *CarSensor* generando que se active la alarma, que se desactiva en el momento del pulso de *reset*.

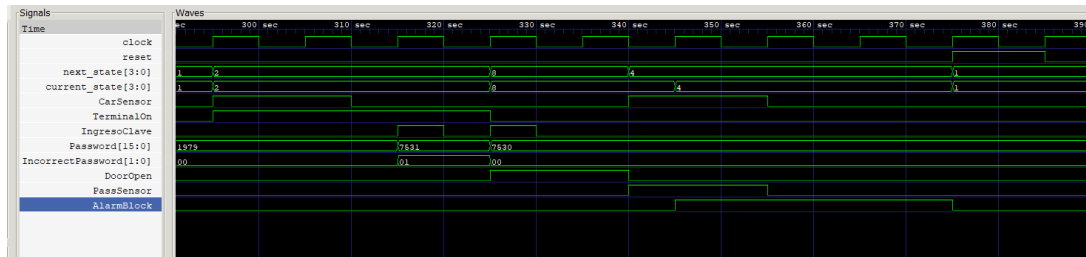


Figura 11: Resultados Ondas del GTKWave Prueba #4

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En conclusión, se cumplió el objetivo de diseñar una descripción conductual de un controlador automatizado para la entrada de un estacionamiento corroborando su funcionamiento por medio de diferentes pruebas mínimas para corroborar transición de estados correcto a lo planteado. En este proyecto se realizaron las pruebas básicas pero se busca posteriormente generar más pruebas para hacer fallar el diseño y poder implementar mejoras para evitar algún fallo no esperado. Se recomienda que una implementación a futuro es las pruebas de las tablas de verdad en donde en el estado B cuando todas las condiciones se cumplen el resultado no se sabe debido a que el diseño está estructurado de manera que no se pueda ingresar una clave si la terminal está apagada.

Por medio de cada uno de las etapas del proceso se pudo experimentar con el lenguaje de descripción de Hardware Verilog y poder familiarizarse con el funcionamiento para diseñar el controlador de manera paralela con la descripción. Durante la estructura del modulo controlador se implementaron cambios al realizar las pruebas planteadas donde uno de los errores que se daban era que el contador si no se le indicaba cuando se realizaba el ingreso de una contraseña iba sumando 1 en cada flanco, activando la Alarma por lo que las pruebas es un elemento vital para la corroboración de un diseño exitoso.

La descripción conductual está desarrollada para funcionar de forma instantánea en los flancos, por lo que en la parte del tester se debe calcular los tiempos en donde se activan las entradas debido a que en cierto caso el reset generó un fallo en donde al no ser leído en el flanco no desactivaba el sistema. Se recomienda mantener un orden específico a la hora de plantear la idea y el método que uno realizará para el diseño. La creación de el diagrama de bloques y diagrama ASM permite poder tener una claridad e implementar mejoras al sistema, permitiendo en caso de cambiar una parte replantear el principio para luego desarrollar la parte de descripción conductual.