

Controlador de semáforo

Alarcon fajardo Rocio Belen

Ingeniería electrónica

2025

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla el diseño e implementación de un controlador de semáforo digital basado en una máquina de estado finita (FSM) factorizada o jerárquica, utilizando el lenguaje VHDL.

El sistema controla una intersección de dos direcciones (Norte–Sur y Este–Oeste) siguiendo una secuencia normal donde cada vía dispone de luz verde durante 50 segundos y amarilla durante 10 segundos, mientras la otra permanece en rojo un total de 60 segundos.

Además del funcionamiento básico, el controlador incorpora un detector de emergencia para cada dirección, que permite extender o adelantar el paso en caso de activarse y un pedido peatonal, que extiende el tiempo en la dirección seleccionada.

El diseño se organiza de manera modular, dividiendo las tareas en bloques independientes: prescaler, temporizador, el controlador y un supervisor principal, lo que facilita la comprensión, el mantenimiento y la verificación del sistema.

INTRODUCCION

Definición:

Una *máquina de estado finita factorizada*, es una arquitectura de control secuencial que organiza el comportamiento de un sistema complejo mediante la división de su lógica de control en submáquinas de estado más simples y coordinadas entre sí. Cada sub-FSM controla una parte específica del sistema, mientras que una FSM superior o supervisora determina el orden, la prioridad y la comunicación entre estas subunidades (*véase Figura 1*).

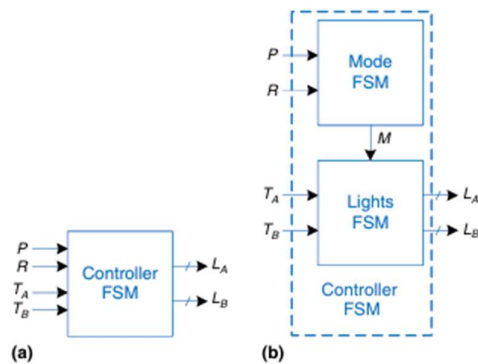


figura 1: ejemplo máquina de estado finita factorizada (Harris & Harris, 2022)

El objetivo de la factorización es reducir la complejidad combinatorial y el número total de estados, permitiendo que cada bloque trabaje de manera independiente pero sincronizada bajo un reloj común. De esta manera, se logra un diseño modular, escalable y reutilizable, en el cual cada submáquina puede ser desarrollada, verificada y sintetizada por separado sin alterar la coherencia global del sistema. (Harris & Harris, 2022; Dally & Harting & Aamodt, 2016).

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un controlador de semáforo digital utilizando una máquina de estado finita (FSM) factorizada o jerárquica, programada en VHDL.

La idea principal es aplicar los conceptos vistos en clase sobre sistemas secuenciales y temporización, y ponerlos en práctica en un circuito que pueda controlar de forma automática el paso de vehicular y peatonal en una intersección.

Especificaciones de diseño: en la *Figura 2* muestra el diseño de la intersección de calles.

Dirección 1 → sentido de Norte - Sur

Dirección 2 → sentido de Este – Oeste

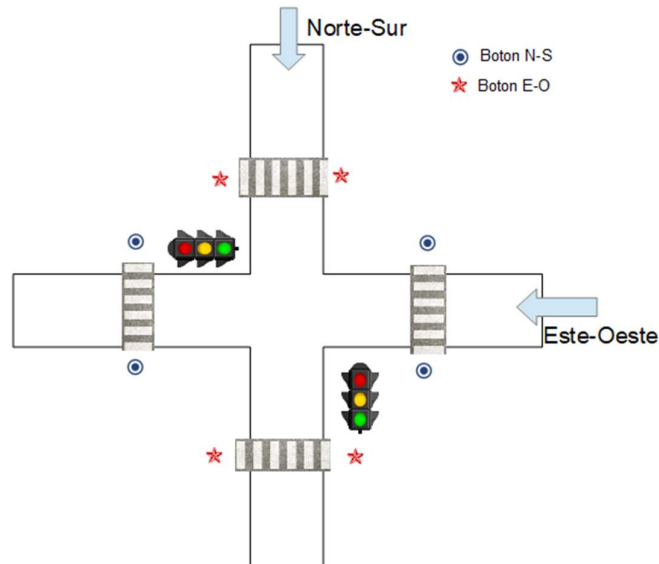


figura 2: intersección de calles y ubicación de semáforos, cruces y pulsadores.

La secuencia normal de operación debe cumplirse de la siguiente manera:

- Dirección 1: luz verde durante 50 segundos, seguida de amarillo durante 10 segundos.
- Mientras tanto, la Dirección 2 permanece en rojo durante esos 60 segundos.

A continuación, se invierte el ciclo:

- Dirección 2: luz verde durante 50 segundos y luego amarillo durante 10 segundos.
- En ese tiempo, la Dirección 1 permanece en rojo durante 60 segundos.

Detector de servicios de emergencia

El sistema cuenta con un sensor de emergencia en cada dirección (Sensor 1 para la Dirección 1 y Sensor 2 para la Dirección 2), que permite dar prioridad a los vehículos de emergencia según las siguientes condiciones:

- Si la Dirección 1 está en verde y se activa el Sensor 1, esta dirección debe mantenerse en verde hasta que el sensor se desactive, mientras la Dirección 2 permanece en rojo.
- Si la Dirección 2 está en verde y se activa el Sensor 2, esta dirección debe mantenerse en verde hasta que el sensor se desactive, mientras la Dirección 1 permanece en rojo.
- Si una dirección se encuentra en rojo y se activa su sensor de emergencia, la otra dirección (que estaba en verde) debe cambiar al amarillo durante un tiempo de seguridad de 10 segundos, para luego dar paso al verde en la dirección que solicitó la emergencia.

Pedido de cruce peatonal:

El controlador también debe incorporar la posibilidad de cruce peatonal en ambas direcciones. Cada cruce cuenta con un botón de solicitud que, al ser presionado, activa una fase peatonal controlada. El comportamiento debe ser el siguiente:

- Si la dirección 1 se encuentra en verde y se presiona el botón de pedido de cruce peatonal en esta dirección, el tiempo de verde se extiende el doble (100 seg), dirección 2 se mantiene en rojo.
- Si se activa el sensor 2, este debe esperar hasta que se acabe el tiempo de cruce peatonal en la dirección 1.
- Si la dirección 2 se encuentra en verde y se presiona el botón de pedido de cruce peatonal en esta dirección, el tiempo de verde extiende el doble (100 seg), dirección 1 se mantiene en rojo.
- Si se activa sensor 1, este debe esperar hasta que acabe el tiempo de cruce peatonal en la dirección 2.

## MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo del controlador de semáforo se implementó una arquitectura modular, en la cual cada bloque cumple una función específica dentro del sistema:

Prescaler:

Se encarga de dividir la frecuencia del reloj principal para generar un pulso de menor frecuencia que actúe como referencia temporal del sistema. Gracias a este módulo, se obtienen intervalos de tiempo más largos y adecuados para controlar las duraciones de las luces del semáforo.

Temporizador:

El temporizador actúa como una máquina de estado subordinada al controlador principal. Su función es contar los intervalos de tiempo indicados por la FSM supervisora y notificar mediante una señal cuando se cumple el período configurado. De esta manera, forma parte de la jerarquía de control del sistema, pero sin intervenir en la toma de decisiones lógicas.

Controlador:

Implementa la máquina de estado finita (FSM) factorizada o jerárquica, que determina la lógica de funcionamiento del semáforo. Este módulo interpreta las señales del temporizador, los sensores de emergencia y los pedidos peatonales para decidir qué luces deben activarse y cuándo deben realizarse las transiciones entre estados.

Top (unidad superior):

Es el nivel de integración que conecta todos los módulos anteriores. Se encarga de enlazar las entradas (como reloj, sensores o pulsadores) con las salidas (luces de cada dirección), coordinando la comunicación entre el prescaler, el temporizador y el controlador. Representa la versión final del sistema.

## RESULTADOS

### **Definir entradas y salidas.**

Entradas de control:

- Clk (reloj)
- nreset

Entradas de solicitud:

- peaton1, peaton2
- emergencia1, emergencia2

salidas de luces:

- verde1, verde2
- amarillo1, amarillo2
- rojo1, rojo2
- cruces peatonales
- confirmaciones de peatón
- confirmaciones de emergencia

### **Definir arquitectura:**

En la *Figura 3*, se observa la arquitectura general del sistema implementado. El diseño presenta una estructura modular y jerárquica, donde el bloque principal (*Top*) integra las unidades de control, temporización y división de reloj. A través de esta organización, el sistema coordina las señales de reloj, los pedidos de peatón y emergencia, y las salidas de luces para ambas direcciones de circulación, asegurando un funcionamiento sincronizado y seguro del semáforo.

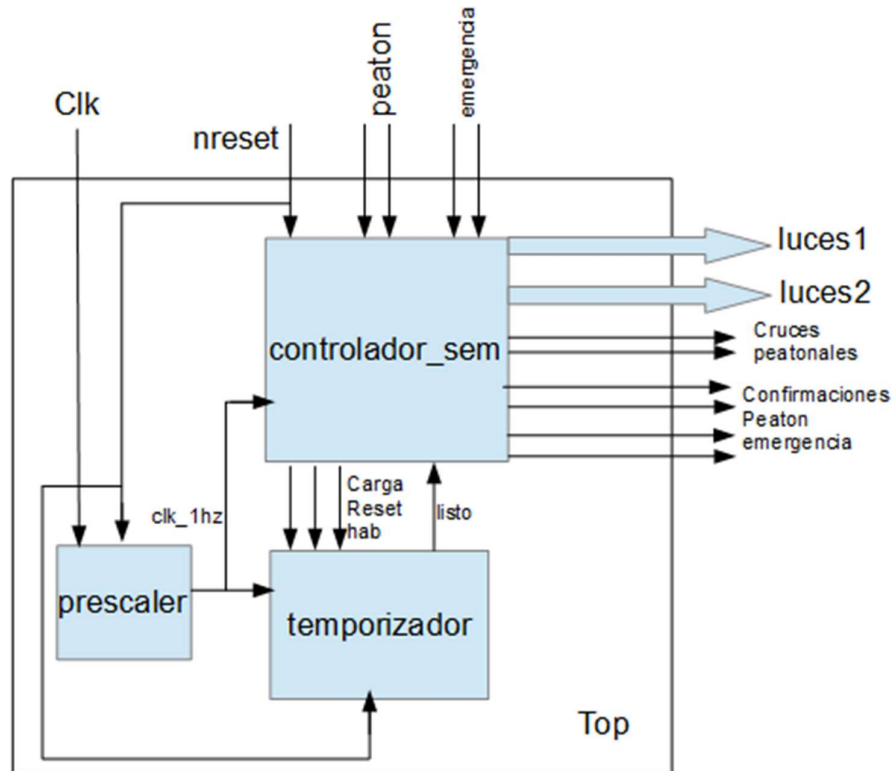


figura 3: estructura general del controlador de semáforo.

### Definición de estados (controlador):

#### Dirección 1 →

- VERDE\_1
- AMARILLO\_1
- VERDE\_ADICIONAL\_1
- EMERGENCIA\_1
- AMARILLO\_EMER\_1
- CANCELA\_1

#### Dirección 2 →

- VERDE\_2
- AMARILLO\_2
- VERDE\_ADICIONAL\_2
- EMERGENCIA\_2
- AMARILLO\_EMER\_2
- CANCELA\_2

### Selección de código:

Código de luces de salida de semáforo para las dos direcciones (véase tabla 1):

Tabla 1: código de luces

verde	01
amarillo	11
rojo	10

Código de los estados de la FSM (véase tabla 2):

Tabla 2: código de estados.

Verde_1	0000
Amarillo_1	0001
Verde adicional_1	0010
Emergencia_1	0011
Amarillo emergencia_1	0100
Cancela_1	0101
Verde_2	0110
Amarillo_2	0111
Verde adicional_2	1000
Emergencia_2	1001
Amarillo emergencia_2	1010
Cancela_2	1011

### Esquema completo.

En la *Figura 4*, se representa el diagrama de estados del sistema diseñado. Cada estado define una fase específica del semáforo y sus transiciones dependen de las señales de tiempo cumplido, pedido peatonal o detección de emergencia.

El diagrama muestra cómo la máquina de estados entre las dos direcciones de tránsito, priorizando las situaciones de emergencia y atendiendo los pedidos peatonales sin generar conflictos de luces.

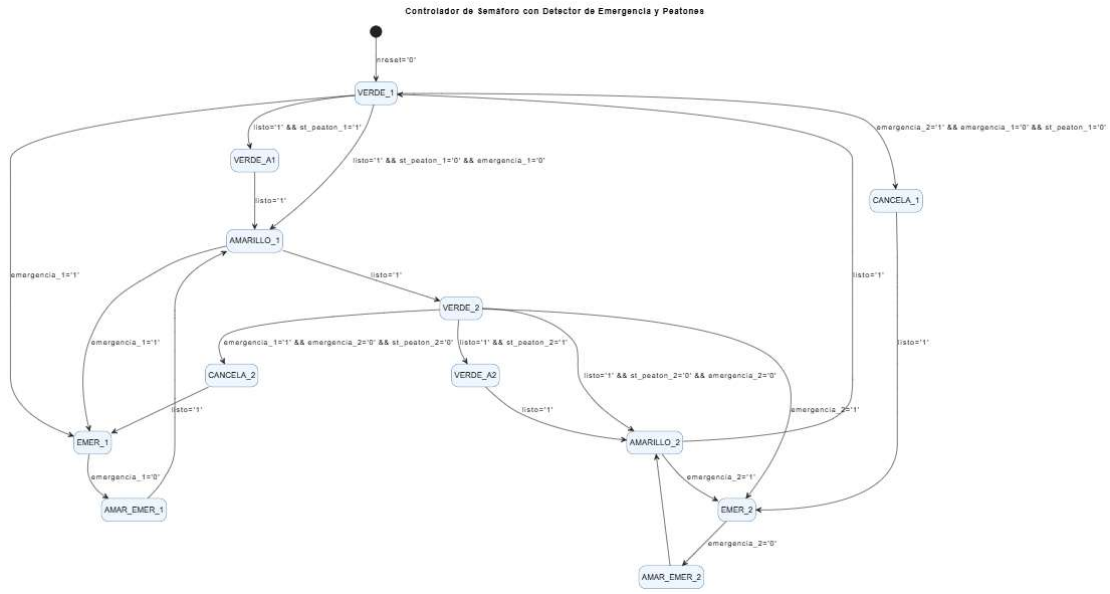


figura 4: diagrama de estados de controlador de semáforo.

## CONSLUSIONES

## REFERENCIAS

- Dally, W. J., Harting, R., & Poulton, J. (2016). *Digital Design Using VHDL: A Systems Approach*. Cambridge University Press.
- Harris, D. M., & Harris, S. L. (2022). *Digital Design and Computer Architecture: RISC-V Edition*. Morgan Kaufmann Publishers.