

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Semaforización Inteligente: Adquisición de datos e implementación de control difuso en tiempo real para la optimización del flujo en la ciudad.**

**Jaime Gonzalo Flor Flores**  
**Ramiro Fabián Jaramillo Troya**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico  
/Electrónico

Quito, 31 de enero de 2012

**Universidad San Francisco de Quito**

## **Colegio Politécnico**

### **HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Semaforización Inteligente: Adquisición de datos e implementación de control difuso en tiempo real para la optimización del flujo en la ciudad.**

**Jaime Gonzalo Flor Flores**

**Ramiro Fabián Jaramillo Troya**

Omar Aguirre, MSc.  
Director de la Tesis

.....

Santiago Navarro, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Luis Miguel Procel, MSc.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Alberto Sanchez, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, Ph.D.  
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, 31 de enero de 2012

© Derechos de Autor  
Jaime Gonzalo Flor Flores  
Ramiro Fabián Jaramillo Troya

2012

## **Resumen**

El proyecto “Semaforización Inteligente” consiste del diseño e implementación de un sistema automático de control vehicular en dos de las intersecciones más afluidas y críticas de la ciudad de Quito en la actualidad: Av. NNUU y 10 de Agosto y Av. NNUU y Amazonas, le cual puede ser aplicado a otros sectores de acuerdo a la necesidad del mismo. El proyecto inicia con el diseño de un controlador difuso adaptivo en Matlab, el cual se entrena en base al movimiento vehicular de cada intersección y de acuerdo a eso, determina y controla los tiempos de encendido en los semáforos para así evitar estancamientos y lograr optimizar el flujo en cada intersección. Todo este sistema se ve reflejado en la construcción de una maqueta a escala, la cual gracias a un sistema adquisición de datos, control y monitoreo en tiempo real, permiten ilustrar físicamente el funcionamiento del controlador difuso previamente diseñado. Finalmente, se incluye un análisis de factibilidad del proyecto, en donde se presentan los dispositivos electrónicos sugeridos para la implementación y todos los costos que esta representaría para el municipio de la ciudad. Se concluye finalmente que la implementación del proyecto sugerido es económica y físicamente viable, tomando en cuenta todos los beneficios que esta traería al flujo vehicular de la ciudad.

## **Abstract**

The project " Intelligent Traffic Lights " is the design and implementation of an automatic traffic control for two of Quito's most critical intersections, currently Av. NNUU y 10 de Agosto and Av. NNUU y Amazonas. The project starts with the design of an adaptive fuzzy controller in Matlab, which trains itself based on the traffic flow at each intersection, thus controlling the green light time in each avenue of both intersections in order to avoid traffic congestion and try to optimize the flow at peak hours. This whole system is reflected in a scale model, which thanks to the use of a real time data acquisition, supervisory and controlling system, illustrates the physical functioning of the previously designed fuzzy controller. Finally, the project includes a feasibility analysis of the project, where electronic devices for the real street implementation are suggested and all the costs these would represent for the city are shown. It concludes that the implementation of the suggested project is economically and physically feasible, taking into account all the benefits this would bring for the city's traffic flow.

Semaforización Inteligente: Adquisición de datos e implementación de control difuso en tiempo real para la optimización del flujo en la ciudad.

---

Jaime Gonzalo Flor Flores  
Ramiro Fabián Jaramillo Troya

Director. Omar Aguirre

---



Quito, 31 de Enero del 2012

Universidad San Francisco de Quito Campus Cumbayá - Diego de Robles y Vía Interoceánica. Teléfonos: PBX (593)-2-297-1700. E-mail: [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec)

Colegio de Ciencias e Ingeniería- El Politécnico

---



Universidad  
San Francisco  
de Quito

Quito, 31 de Enero del 2012

Universidad San Francisco de Quito Campus Cumbayá - Diego de Robles y Vía  
Interoceánica. Teléfonos: PBX (593)-2-297-1700. E-mail: [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec)

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción .....   | 8  |
| 2. Implementación Física del proyecto .....   | 12 |
| 2.1 Elaboración de la maqueta .....   | 12 |
| 2.2 Cableado de luces y semáforos .....   | 13 |
| 2.2.1 Semáforos en base a LEDs.....   | 13 |
| 2.2.2 LEDs blancos para iluminación de calles.....                                      | 17 |
| 2.3 Selección e implementación de sensores.....   | 19 |
| 2.3.1 Sensores Magnéticos para detección de tráfico .....                               | 19 |
| 2.3.2 Sensor de luminosidad para cambio de semáforos a modo nocturno .....              | 21 |
| 2.3.3 Sensor capacitivo .....   | 22 |
| 2.4 Diseño e implementación de circuito para activación de flechas de desvío.....       | 25 |
| 2.4.1 Elaboración de la placa .....   | 26 |
| 2.4.2 Programación del micro controlador .....  | 28 |
| 3. Desarrollo del modelo de semaforización.....   | 30 |
| 3.1 Diseño del controlador lógico difuso .....  | 30 |
| 3.2 Modelado del controlador difuso usando MATLAB. ....                                 | 33 |
| 3.2 Adaptación del controlador para implementación en un modelo real.....               | 42 |
| 4. Programación del modelo de semaforización.....                                       | 45 |
| 4.1 Cableado a PLCs.....  | 45 |
| 4.2 Programación del modelo de semaforización en PLCs (Ladder).....                     | 46 |
| 4.3 Sistema SCADA para monitoreo del prototipo (Indusoft).....                          | 65 |
| 5. Pruebas y Resultados.....  | 72 |
| 6. Recomendaciones.....   | 72 |
| 7. Implementación real del proyecto en la ciudad.....                                   | 79 |
| 7.1 Materiales y estrategias propuestas para la implementación física del proyecto. ... | 79 |
| 7.1.1 Sensores de Ultrasonido para detección de vehículos .....                         | 80 |
| 7.1.2 Sensores de Espiras Magnéticas subterráneos para detección de vehículos .....     | 84 |
| 7.1.3 Dispositivos de Control para semaforización inteligente.....                      | 86 |
| 7.1.4 Cables utilizados para implementación de sistemas viales.....                     | 89 |

|  |    |
|--|----|
| 7.2 Presupuesto aproximado requerido para la implementación..... | 91 |
| 8. Bibliografía.....   | 94 |
| 9. Anexos.....   | 96 |

## Lista de Figuras

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figura 1.1</b>  | Intersección Av. NNUU y Amazonas extraída de Google Earth.....   | 9  |
| <b>Figura 1.2</b>  | Intersección Av. NNUU y 10 de Agosto extraída de Google Earth.....   | 10 |
| <b>Figura 2.1</b>  | Elaboración de la maqueta en base a cartón blanco, sobre planchas de MDF.....  | 13 |
| <b>Figura 2.2</b>  | Prototipo de semáforo a escala, fabricado en madera de balsa.....  | 14 |
| <b>Figura 2.3</b>  | Cableado y ubicación de LEDS para semáforos a escala.....  | 15 |
| <b>Figura 2.4</b>  | Circuito eléctrico para funcionamiento de semáforos.....   | 16 |
| <b>Figura 2.5</b>  | Circuito eléctrico para implementación de luces de alumbrado en las vías.....  | 18 |
| <b>Figura 2.6</b>  | Sensor magnético de ventanas.....  | 19 |
| <b>Figura 2.7</b>  | Configuración de un sensor magnético.....  | 20 |
| <b>Figura 2.8</b>  | Circuito eléctrico para la implementación de un sensor de luminosidad.....   | 21 |
| <b>Figura 2.9</b>  | Estructura del relé a 24V utilizado para enlazar la señal del sensor capacitivo al PLC.....                                | 24 |
| <b>Figura 2.10</b> | Diagrama interno del PLC que activa el sensor capacitivo y enciende las flechas de desvío.....                             | 24 |
| <b>Figura 2.11</b> | Circuito para conectar la pantalla matricial a un Microcontrolador.....  | 26 |
| <b>Figura 2.12</b> | Circuito completo para activación de flechas utilizando un PIC 16F877A.....  | 27 |
| <b>Figura 2.13</b> | Elaboración del circuito impreso en la placa de cobre.....   | 28 |
| <b>Figura 2.14</b> | Diagrama ilustrativo del funcionamiento de una pantalla matricial 7x5.....   | 29 |
| <b>Figura 3.1</b>  | Tabla difusa que relaciona las variables de entrada con las funciones de membresía de salida en el sistema de control..... | 31 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Funciones de membresía entrada para el error en la planta.....   | 32 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Funciones de membresía entrada para la derivada del error en la planta.....  | 32 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Tabla difusa de valores finales para las funciones de membresía del modelo...32  |    |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.5</b> Implementación del modelo difuso utilizando la herramienta Simulink de Matlab.....  | 34 |
| <b>Figura 3.6</b> Tabla difusa que relaciona las variables de entrada con las funciones de membresía de salida en el sistema de control (PLC).....  | 43 |
| <b>Figura 4.1</b> Esquema físico de un PLC Siemens S7-700.....  | 45 |
| <b>Figura 4.2</b> Tabla de conexiones a salidas del PLC.....  | 46 |
| <b>Figura 4.3.1</b> SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto.....  | 66 |
| <b>Figura 4.3.2</b> SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto, sensores de presencia activados.....   | 67 |
| <b>Figura 4.3.3</b> SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto, sistema nocturno.....  | 68 |
| <b>Figura 4.3.4</b> SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y Amazonas.....  | 69 |
| <b>Figura 4.3.5</b> SCADA Cuadro de las variables utilizadas (Tags).....  | 70 |
| <b>Figura 4.3.6</b> SCADA Cuadro de las variables utilizadas (Tags); lectura de las variables en la memoria del PLC.....  | 71 |
| <b>Figura 5.1</b> Implementación adaptada del Proyecto.....   | 72 |
| <b>Figura 5.2</b> Vista lateral de la intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto.....  | 73 |
| <b>Figura 5.3</b> Intersección 1. Sentido Norte Sur, Control de Tráfico. A) Cantidad de vehículos que cruzan la intersección. B) Tiempos de encendido del semáforo. Verde representa el estado encendido = 1, y rojo es representado por el estado encendido = 0..... | 74 |
| <b>Figura 5.4</b> Intersección 1.Sentido Ese-Oeste, Control de Tráfico. A) Cantidad de vehículos que cruzan la intersección. B) Tiempos de encendido del semáforo. Verde representa el estado encendido = 1, y rojo es representado por el estado encendido = 0.....  | 75 |
| <b>Figura 5.5</b> Cantidad de vehículos en cada una de las intersecciones. A) Sentido Norte-Sur. B) Sentido Este-Oeste.....   | 76 |
| <b>Figura 7.1.1</b> Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular.....   | 80 |
| <b>Figura 7.1.2</b> Dimensiones del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular.....   | 81 |
| <b>Figura 7.2</b> Formas de operación del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular.....   | 82 |

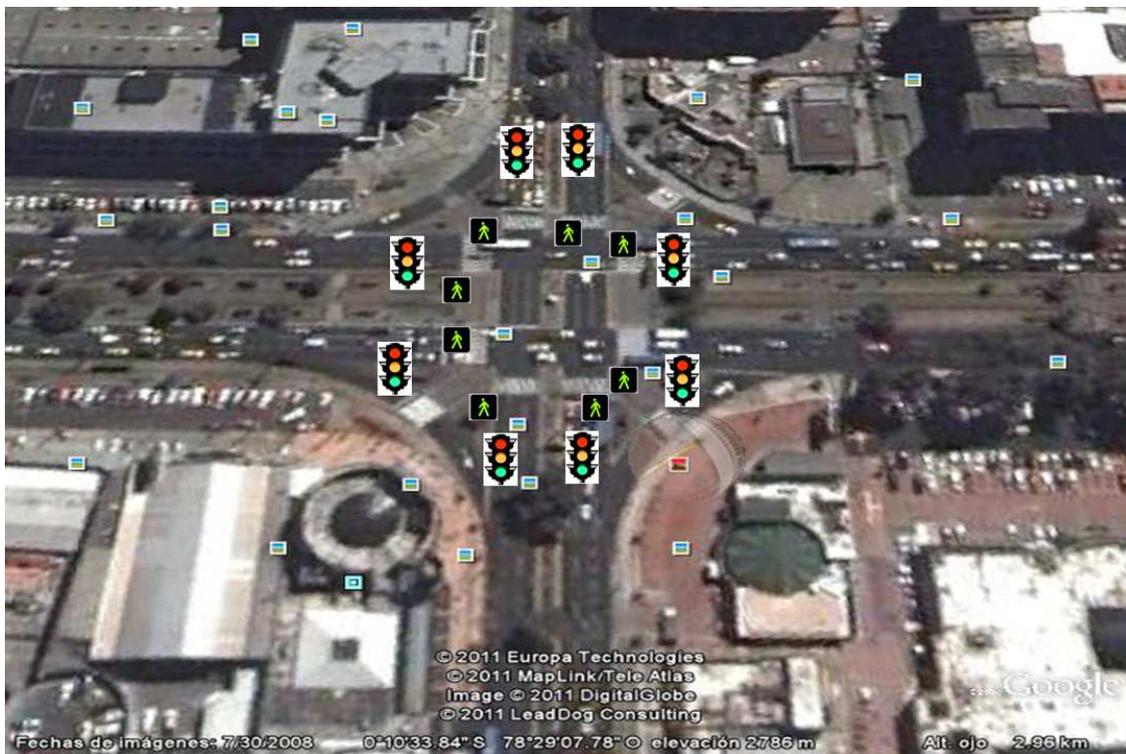
|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura 7.3</b>   | Rango de cobertura del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular.....  | 83 |
| <b>Figura 7.4.1</b> | Diagrama de una espira magnética para detección vehicular.....  | 84 |
| <b>Figura 7.5</b>   | Dimensiones de instalación de una espira metálica bajo el pavimento.....  | 85 |
| <b>Figura 7.6</b>   | Profundidad de instalación de una espira magnética.....   | 86 |
| <b>Figura 7.7</b>   | Controlador de tráfico Genius II instalalado en las calles de Santiago de Chile para el control de tráfico vehicular..... | 88 |
| <b>Figura 7.2.1</b> | Tabla de Precios.....   | 92 |
| <b>Figura 7.3.1</b> | Costo Total.....  | 93 |

## 1. Introducción

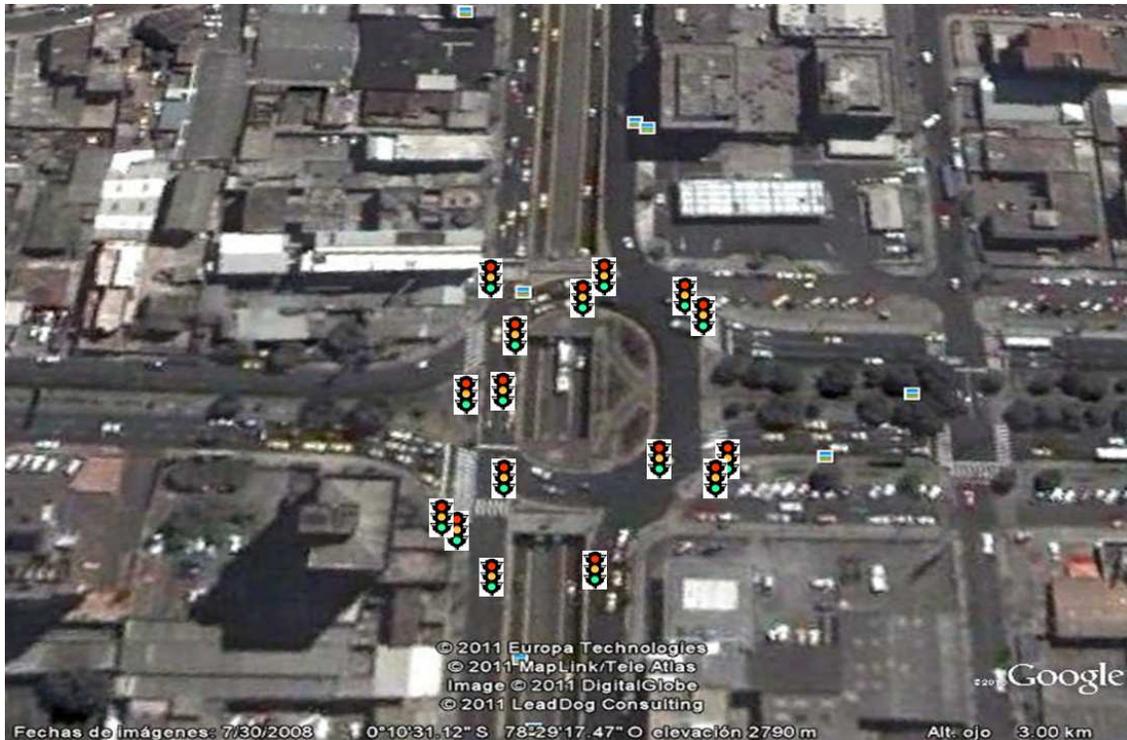
El tráfico en la ciudad de Quito se ha agravado notablemente en los últimos años; la cantidad de carros, el mal diseño de las vías, obras de mantenimiento realizadas en horas pico y la falta de sincronización de los semáforos es causa de malestar general entre los habitantes que no pueden movilizarse de forma ágil de un lugar a otro. Como soluciones a este problema, la alcaldía ha decidido implementar la medida del pico y placa, pero a pesar del costo de la misma, parece que las cosas no se han solucionado. En las calles de la ciudad de Quito circulan 420 mil vehículos cada día, esto contrasta con los apenas 250 mil vehículos que circulaban en la ciudad en 2002. Estamos hablando entonces que en los últimos 9 años, la cantidad de vehículos circulantes en la ciudad de Quito, se ha duplicado, y según los estudios de la Secretaría de Movilidad del municipio, este crecimiento seguirá y de manera exponencial. Se dice esto ya que en la actualidad, ingresan aproximadamente 50 mil vehículos a las calles de la capital, lo que estadísticamente significa que dentro de 4 años, es decir en el 2015, sólo se podrá circular durante horas pico, a una velocidad mayor a los 50 km/h en el 45% de las calles de la ciudad. Además se prevé que, debido a la congestión vehicular, en el 38% de las calles de la urbe se circulará a velocidades extremadamente bajas con un promedio de 10 km/h.

Con esta realidad planteada, se debe obligadamente buscar soluciones alternativas que sin ser extremadamente costosas, puedan ser implementadas eficientemente en la ciudad de Quito. En los últimos años, el tema de la semaforización inteligente se ha convertido en una de las soluciones más factibles para la congestión vehicular a nivel mundial. Y es que especialmente en las ciudades grandes y pobladas, el incremento masivo de vehículos en las calles ha hecho que la semaforización tradicional en base a ciclos de reloj quede

bastante obsoleta como herramienta de control de tráfico. Además, muchos factores paralelos a la semaforización, como son iluminación de las calles y señalización en caso de obstrucciones o trabajos en las vías, podrían implementarse de una manera automática, reduciendo así el personal de trabajo destinado a estas operaciones, y dando mucha más precisión y efectividad al desarrollo vial de una ciudad. Es por esto que a lo largo del proyecto a continuación, se buscará implementar un prototipo básico de semaforización inteligente para dos de las intersecciones más congestionadas en la ciudad de Quito: Naciones Unidas - Amazonas y Naciones Unidas- 10 de Agosto.



*Figura 1.1 Intersección Av. NNUU y Amazonas extraída de Google Earth.*



*Figura 1.2 Intersección Av. NNUU y 10 de Agosto extraída de Google Earth.*

Se debe tomar en cuenta que este tipo de proyectos de inteligencia vial todavía no han sido aplicados en nuestro país, pero que dadas las condiciones actuales de tráfico principalmente en ciudades como Guayaquil y Quito, sería de enorme beneficio para el control de tráfico y sobre todo la comodidad de los habitantes. Durante el diseño y la elaboración de este sistema de semaforización inteligente, se aplicarán varios conceptos y técnicas fundamentales de la automatización industrial. Entre ellos se incluye cableado robusto y organizado, diseño e instalación de sensores, implementación de controladores lógicos programables (PLCs) que permiten la interacción entre los sensores y los dispositivos a activarse e incluso el diseño de un modelo lógico difuso que permita optimizar los tiempos de verde para cada semáforo y la sincronización entre intersecciones. Además se incluyen varios cálculos sobre todo de voltajes de alimentación y valores de resistencias dado que tanto la iluminación como la semaforización del proyecto se basarán en la utilización de diodos LED. Particularmente en este proyecto, se

presentará una maqueta a escala de las intersecciones antes mencionadas, tratando de que el funcionamiento del prototipo sea lo más aplicable a la realidad posible, y que en un futuro pueda ser presentado como una propuesta real a implementarse en la ciudad de Quito. Justamente con esta intención de que el modelo sea lo más real posible y pueda ser implementado en la ciudad, se presenta finalmente un presupuesto aproximado del costo del proyecto, conjuntamente con un análisis de viabilidad del mismo tomando en cuenta la estructura real física de las intersecciones modeladas.

Para resumir, lo que se buscará a lo largo del proyecto a continuación, se han planteado dos metas fundamentales:

- a) Tomando en cuenta que el trabajo corresponde a una tesis de grado para la obtención del título en ingeniería electrónica, se buscará utilizar la mayor cantidad de herramientas y conceptos adquiridos durante la carrera universitaria, de manera de contar con un marco teórico lo suficientemente robusto que respalde el proyecto que deseamos implementar.
- b) Ya con el marco teórico establecido, lograr implementar un proyecto viable, que pueda ser aplicado directamente a la realidad.

## 2. Implementación Física del proyecto

### 2.1 Elaboración de la maqueta

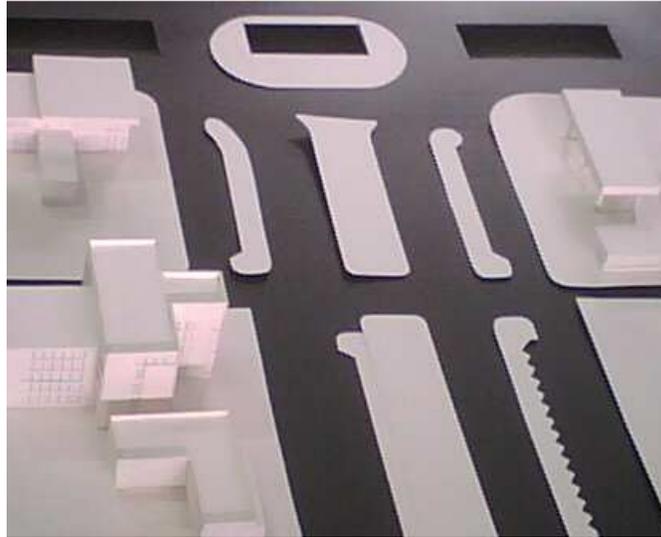
La maqueta arquitectónica se la elabora con el objetivo de materializar y poder hacer visual el modelo a implementarse. En general los materiales que se utilicen y el proceso de construcción de la maqueta no influyen dentro de lo que se considera como la atomización del sistema de semaforización, que es el tema principal del proyecto. Sin embargo, debe tenerse en cuenta de que para poder realizar un proceso de automatización en un lugar determinado, se requiere obligatoriamente de un medio físico a escala, que en este caso es la maqueta. Con esto, si se quiere hacer la implementación en la vida real, lo único que se necesita es ajustar la proporción de los materiales necesarios para la automatización, ya que el funcionamiento del sistema automatizado va a ser prácticamente el mismo.

Los materiales utilizados para la construcción de este modelo a escala en particular, siguiendo los requerimientos arquitectónicos recomendados para este tipo de proyectos, se detallan a continuación

- Cartón Blanco
- 2 Tablas de Madera MDF tamaño A1
- Pega UHU

Para la construcción de la maqueta primero procesaron las bases de la misma, como se puede ver en la figura 2.1; este proceso se comprendió el ensamblaje de las bases y sus bordes, a demás de la pintura de la misma. Posteriormente se construyeron los edificios utilizando fotos de la zona y mediciones realizadas a la misma en una fase previa.

Debe notarse que esto fue hecho para que la maqueta pueda estar a la escala convenida en las especificaciones del proyecto, es decir escala 1:200.



*Figura 2.1 Elaboración de la maqueta en base a cartón blanco, sobre planchas de MDF*

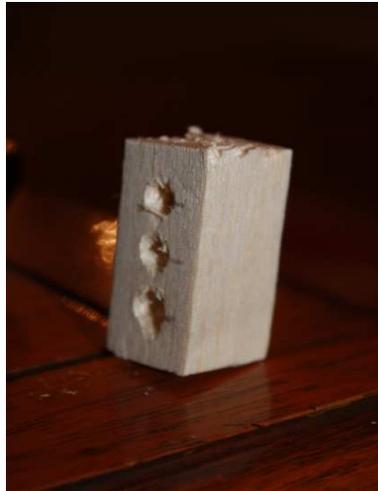
## **2.2 Cableado de luces y semáforos**

A continuación se describe como se implementó físicamente en la maqueta todo el sistema de semaforización e iluminación de calles. En cada apartado se hablará tanto de los materiales utilizados como de su ensamblaje para el modelo final. Cabe mencionar que en ciertos elementos, sobre todo de carácter electrónico, por ser de conocimiento común, se omite la explicación de su funcionamiento en caso de no ser necesaria para justificar la elección de dicho material.

### **2.2.1 Semáforos en base a LEDS**

Los semáforos fueron contruidos en madera de balsa como se puede ver en la figura 2.2, debido principalmente a su facilidad de modelaje y su reducido peso, además de que se ajustaba perfectamente a la escala de la maqueta. Si bien es cierto que el proyecto tiene

como objetivo principal la automatización de la semaforización, no por ello se puede presentar semáforos de tamaño extremadamente grande, que dejen fuera de contexto a los edificios y al resto de componentes del modelo arquitectónico. Es por esto que el tamaño de los semáforos se trató de ajustar lo máximo posible a la escala propuesta en la maqueta.



*Figura 2.2 Prototipo de semáforo a escala, fabricado en madera de balsa*

Con respecto de la utilización de los LEDs, se justifica por su bajo consumo de energía y su tamaño pequeño que permitía su manipulación fácil dentro de los semáforos. A parte de esto, la ventaja de los LEDs es que están disponibles en varios colores y luminosidades diferentes, que en este caso serán los colores de las luces de los semáforos: rojo, amarillo y verde.

Ahora, antes de explicar cómo se procedió al cableado de los semáforos (figura 2.3), es importante mencionar el criterio que se tuvo al momento de poner resistencias para el encendido de cada uno de las luces LED. De acuerdo a la corriente deseada para que las luces LED tengan el brillo adecuado, que generalmente están alrededor de los 25mA según los datasheets de los fabricantes (Casadelled), se instalaron valores de resistencias de 510 y 470 ohm para cada uno de los LEDs conectados en los semáforos del circuito. Debe decirse que se pudo haber instalado una resistencia más pequeña para un conjunto

de LEDs, pero el problema en este caso hubiera sido el no poder controlar cada una de las luces de los semáforos por separado, sino de acuerdo a los circuitos colocados. Además, se vio que la instalación de los LEDs en serie produciría la falla de todo un circuito, es decir de varios semáforos, en caso de que uno de los focos se quemara, por ello la instalación de circuitos independientes parece ser la mejor opción.



*Figura 2.3 Cableado y ubicación de LEDs para semáforos a escala*

El cableado de la maqueta se lo realizó en la parte posterior de la misma, tratando de que el mismo quede lo más ordenado y escondido posible, para así evitar desconexiones accidentales y tratar que estéticamente el modelo sea lo más agradable posible. Para las conexiones internas de los semáforos y luminarias se utilizó cable sólido número 22, debido a que las corrientes esperadas en los diferentes circuitos no son muy grandes, como ya se ha especificado anteriormente. Por otra parte, las conexiones generales a las fuentes distintas fuentes de voltaje de alimentación fueron realizadas con cable sólido número 14 debido a que estas conexiones son las que tendrán la carga de todas las redes de iluminación instaladas en el modelo.

A continuación se presenta el circuito que se utilizó para cada uno de los 16 semáforos instalados en la maqueta.

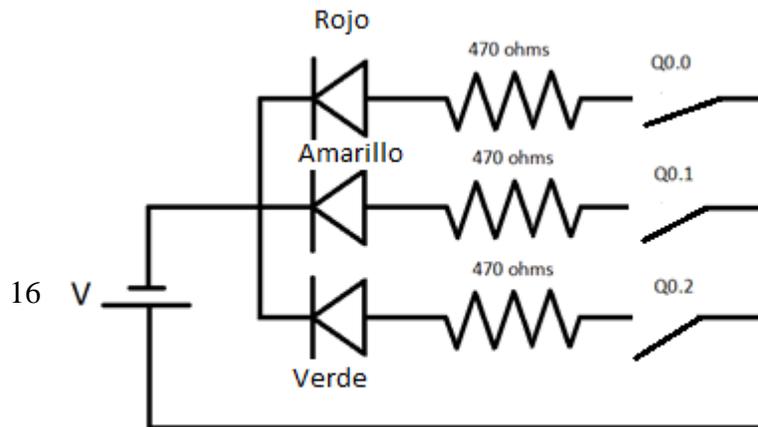


Figura 2.4 Circuito eléctrico para funcionamiento de semáforos

En el circuito de la figura 2.4, se observa que la entrada positiva del LED está conectada a una resistencia de  $470 \Omega$  la que a su vez se conecta a la parte positiva de la fuente de alimentación, y para cerrar el circuito se conecta la parte negativa de la fuente a la entrada negativa del LED. Es así que la corriente a la cual el dispositivo LED se encuentra operando se la puede obtener aplicando la ley de Ohm.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{16 - 2V}{470 \text{ ohms}}$$

$$I = 29.70 \text{ mA}$$

Como ya se ha dicho anteriormente, para poder encender un LED generalmente se necesita una corriente de 25 mA, aunque en DC la corriente máxima puede ser de 50 mA y las corrientes pico pueden llegar hasta 100 mA, antes de que el dispositivo pueda sufrir fallas. Es decir, que dependiendo del uso al que los LEDs vayan a ser sometidos, mediante la variación de la fuente de alimentación o de la resistencia que necesariamente se debe conectara a este dispositivo, se puede llegar a variar la intensidad lumínica de estos. Además, llegan a tener un tiempo de vida entre 25000 y 100000 horas de uso, aunque dependiendo del calor y de la corriente con la que trabajan, pueden alcanzar a extender o acortar este tiempo de vida.

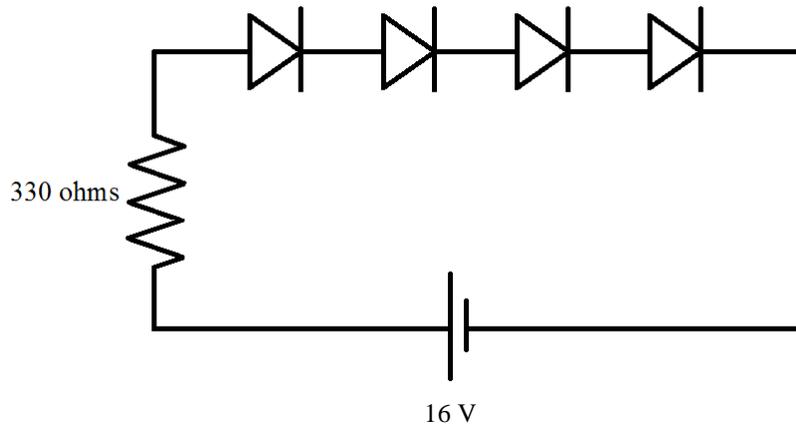
Por lo tanto, del cálculo anteriormente realizado, se deduce que la corriente de operación de cada uno de los semáforos implementados en el proyecto, es de aproximadamente 30 mA. Este corriente es un poco mayor al rango en el cual generalmente operan los LEDs, pero con esto nos aseguramos que cada uno de ellos tengan una máxima iluminación, que es necesaria para la optimización del proyecto.

### **2.2.2 LEDS blancos para iluminación de calles**

Estos componentes fueron colocados a los largo de la Avenida Naciones Unidas en la Maqueta, como luces de iluminación nocturna. Una vez más, el tamaño compacto y la alta intensidad de luz que puede ser emitida por los LEDs fueron de gran ayuda al momento de su elección, siendo esta última propiedad la que tuvo una mayor influencia en la decisión de su colocación. Estas series de LEDs sirven para representar las condiciones nocturnas de uno de los escenarios planteados en este diseño de automatización.

Ahora, siguiendo el mismo principio de funcionamiento de los LEDs que se hizo para los semáforos, en relación a la corriente que necesita para su óptima intensidad de luz

y funcionamiento, presentamos también el circuito que se utilizó para los LEDs blancos de iluminación.



*Figura 2.5 Circuito eléctrico para implementación de luces de alumbrado en las vías*

Este circuito (figura 2.5), a diferencia de los anteriores, presenta una configuración de 4 LEDs en serie instalados en la parte central de la maqueta dentro del ciclo nocturno programado en el PLC. El cálculo de la corriente de operación del circuito varía un poco en comparación con circuitos anteriores, ya que el hecho de que exista una configuración en serie de LEDs, genera una caída de aproximadamente 2 voltios por cada LED que se conecte. Es por esta razón que al tener una configuración en serie de 4 LEDs va a existir una caída de 8 voltios en el circuito, lo que implica que el cálculo de la corriente se tiene que efectuar con un voltaje de 8V. Al dividir 8V para el valor de la resistencia, se obtiene que la corriente de operación de este circuito es de aproximadamente 24.5 mA, corriente suficiente para que los LEDs emitan la luz a una buena intensidad.

Por último, debe también hablarse de la colocación de un LED especial en la parte superior de uno de los edificios más grandes del completo representado. Este LED simula una luz indicadora que proporciona información acerca de la ubicación de los diferentes edificios

a los aviones que se dirigen a aterrizar en el aeropuerto, el cual se encuentra en las inmediaciones de la zona representada en la maqueta. La implementación de dicho LED se la hizo de la misma manera que para los LEDs de los semáforos, con la particularidad que esta luz cambia de colores mientras está encendida.

## 2.3 Selección e implementación de sensores

A continuación se presenta una descripción de todos los sensores utilizados a lo largo del proyecto. En cada apartado se explicará el principio de su funcionamiento, el cómo fue elaborado, y la función que cumple dentro del sistema de semaforización inteligente propuesto.

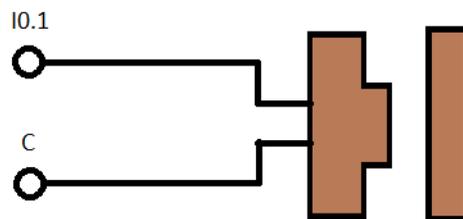
### 2.3.1 Sensores Magnéticos para detección de tráfico

Para la detección de tráfico en cada una de las intersecciones representadas se utilizaron sensores magnéticos del tipo que se colocan usualmente en las ventanas para los sistemas de alarma. Estos sensores podían haber sido sensores de tipo inductivo u óptico, como los que usualmente se colocan en las intersecciones de tráfico, pero no se instalaron en este diseño por el costo que tiene cada uno de ellos. Sin embargo, los sensores que se escogieron actúan también con un principio parecido uno de los anteriormente descritos y sobretodo la señal que generan es del mismo tipo, por lo que el modelo no pierde su aplicación por el uso de este tipo de sensores.



*Figura 2.6 Sensor magnético de ventanas*

En la figura 2.6 se pueden apreciar los sensores que se utilizaron para detectar presencia de vehículos tanto en calles como intersecciones de la maqueta. Como mencionamos anteriormente, son los interruptores de alarma para ventana y transmiten una señal digital la cual será leída por el PLC. Este tipo de sensores se emplean comúnmente para la detección sin contacto y sin desgaste, de posiciones en el sector de las tecnologías de control. Los detectores magnéticos poseen un alcance notablemente conservando al mismo tiempo un diseño compacto. Estos alcances pueden llegar hasta 16 milímetros (Sensores de Alarma) dependiendo de la calidad del sensor, ya que usando imanes de mayor calidad se pueden llegar a alcanzar rangos de detecciones de hasta 20 milímetros.



*Figura 2.7 Configuración de un sensor magnético*

La figura 2.7 presenta la configuración de uno de los sensores que se encuentra adaptado al proyecto. Uno de sus terminales (C) va conectado a la entrada común del PLC, mientras que el otro terminal (IO.1) se lo conecta a una entrada digital. Este tipo de sensor basa su funcionamiento en la presencia de un resorte en la parte central del sensor. Al momento en que el receptor del sensor se ve excitado por un imán, el resorte es atraído hacia las paredes del sensor lo que cierra el contacto eléctrico y permite la transferencia de la señal hacia el PLC.

Cabe mencionar que para que los vehículos puedan ser detectados, se instaló en su parte frontal un imán para poder ser detectados.

### 2.3.2 Sensor de luminosidad para cambio de semáforos a modo nocturno

Para la detección de las condiciones de luz en el sistema, específicamente el modo nocturno de los semáforos, se utilizó un sensor foto-resistivo, el cual se diseñó y acopló por medio de circuitos para obtener una señal digital que sea acoplable al módulo del PLC. El circuito que se utilizó para la realización de dicho acoplamiento fue diseñado y calibrado de acuerdo a los materiales disponibles en el mercado.

Ya enfocados en la aplicación directa de un sensor de luminosidad en el proyecto, este básicamente indica al sistema de control si es de día o de noche para que el mismo pueda entrar en modo de ahorro de energía si es del caso, o se pueda programar un ciclo optimizado de tiempos en los semáforos para la noche.

El diagrama del circuito se muestra a continuación en la figura 2.8, y también se presenta una breve explicación del mismo.

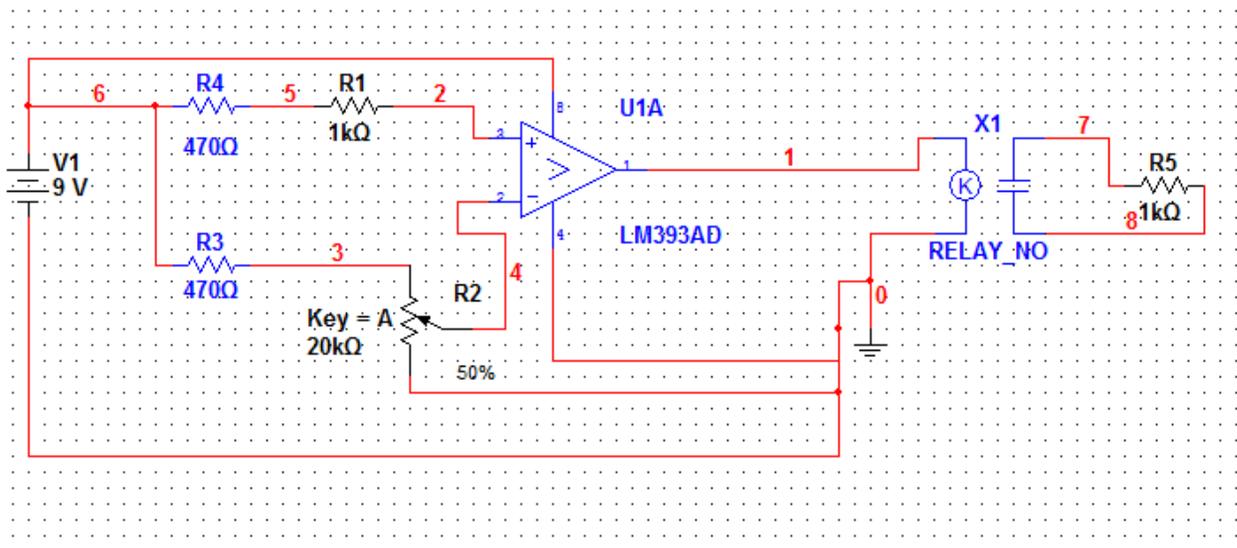


Figura 2.8 Circuito eléctrico para la implementación de un sensor de luminosidad

La base de este circuito es el foto-resistor, el cual se presenta por medio de la resistencia R1. Básicamente la caída del voltaje en el foto-resistor se compara con un voltaje de referencia, el cual puede ser regulado por medio del potenciómetro que se representa mediante R2. Si la caída de voltaje es mayor, el comparador de voltaje saca una señal lógica en estado alto lo que activa el relé, el cual está conectado al PLC y activa la entrada del mismo. El relé sirve para acoplar la señal del sensor con la señal de las entradas del PLC. Esto sucede porque la señal que produce el sensor foto resistivo es de tipo análogo y se transforma a una salida de tipo digital por medio del comparador de voltaje. Sin embargo el comparador de voltaje no proporciona un nivel de salida que sea compatible con el PLC, por ello la necesidad del relé. Debe tenerse en cuenta que el relé también proporciona aislamiento entre los dos circuitos y ello es bueno para eliminar cualquier tipo de ruido electromagnético o de interferencia que pueda existir en el sistema.

### **2.3.3 Sensor capacitivo**

Para la detección de agua en caso de inundación del paso a desnivel, lo que ocurre en promedio una vez al año en la vida real y que genera que bastante gente se quede atrapada en el mismo, se utilizó un sensor capacitivo en este sitio. La ventaja de este sensor es que puede ser calibrado para no detectar objetos a distancias muy cercanas, por ello permite que se detecte el agua en el paso a desnivel y se puedan ignorar las paredes del mismo. Este sensor produce una respuesta digital, compatible con el módulo del PLC que se pretende utilizar.

Para esta aplicación en particular, se utilizó el sensor capacitivo del fabricante Sick: SICK CM30-25NPP-KC1, el cual nos permite detectar el momento en que hay una presencia. En este caso dicha presencia está dada por la simulación de lluvias o cualquier otro factor climático que produzca una inundación en el paso a desnivel de la Av. 10 de Agosto,

impidiendo así el tránsito normal de vehículos a través de él. Además nos permitirá encender dos señales de precaución que indiquen a los vehículos en tránsito la AV. 10 de Agosto, que se desvíen y no pasen por debajo del puente. Se eligió este sensor en particular ya que es bastante fiable en cuanto a detección de proximidad. Además es un dispositivo muy práctico y sus distancias de detección, de entre 1 y 25 mm, proporcionan margen suficiente en casi cualquier situación de instalación y los hacen extremadamente adaptables para una amplia gama de aplicaciones. Tanto su apariencia como algunas de sus especificaciones podemos verlas a continuación en la figura 2.9.



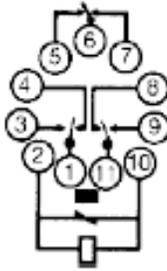
#### CM

- Distancia de detección de 8 a 25 mm
- Alta protección electromagnética
- Protección contra cortocircuitos (pulsado)
- Función de salida complementaria
- Grado de protección IP 67
- LED indicador de estado
- Carcasas M18 y M30 disponibles

*Figura 2.9 Sensor capacitivo utilizado para medición de nivel (Sensor Capacitivo)*

Además, para encender la señal de precaución anteriormente mencionada resulta estrictamente necesaria la utilización de un relé a 24 V, tomando en cuenta que el PLC envía una señal de 24V aproximadamente y el circuito de la señal de precaución requiere una alimentación de 5V. El relé que se utilizó pertenece al fabricante CAMSCO y presenta una estructura como la que muestra la figura 2.9.

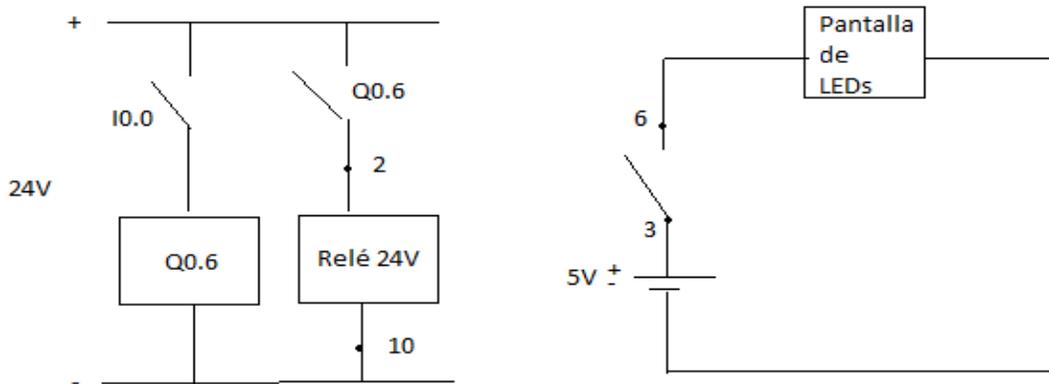
**MK3PV-5-I, -S**



*Figura 2.9 Estructura del relé a 24V utilizado para enlazar la señal del sensor capacitivo al PLC*

De la estructura de este relé, podemos deducir que los terminales 2 y 10 son los que alimentarán el relé con los 24V que proporciona el PLC en sus salidas digitales. Además, los terminales 3 y 4 serán utilizados para introducir un contactor normalmente abierto, que condicione la alimentación del circuito de la flecha y con ello su encendido.

Dicho esto, a continuación en la figura 2.10, se presenta un diagrama de los circuitos que permitirán la implementación de este sensor y su interacción con el sistema inteligente.



*Figura 2.10 Diagrama interno del PLC que activa el sensor capacitivo y enciende las flechas de desvío*

En el primer diagrama podemos ver que al detectar el sensor la presencia de agua, cierra el contacto de entrada I0.0 del PLC. Con esto se cierra el contacto de la salida Q0.6 y se activa el relé a 24V (La explicación acerca de asignación de entradas y salidas del PLC se explicará más adelante en forma detallada). El momento que este dispositivo se activa, vemos que se cierra el circuito que tenemos en el segundo diagrama. Al cerrarse este circuito, el circuito que controla la matriz de LEDs se alimenta con 5V, encendiéndose así la flecha de desvío. El momento que el agua sea desalojada, la entrada del sensor I0.0 se abrirá, desenergizando el relé a 24V y con esto quitando la alimentación al circuito de la flecha, la cual se apagará.

## **2.4 Diseño e implementación de circuito para activación de flechas de desvío.**

Justamente para implementar la señal de desvío que se debe producir por la activación del sensor capacitivo como se mencionaba anteriormente, se utilizaron dos pantallas formadas por matrices de LEDs de 7x5. Con estos dispositivos se logra presentar un mensaje que indique a los usuarios del paso a desnivel y su posible inundación. Debe decirse que se escogió este tipo de pantalla ya que tiene la versatilidad de poder mostrar varios mensajes y además su luminosidad es lo suficientemente clara para poder dar un aviso o alerta. El micro controlador utilizado es un PIC 16F877A, que es un driver bastante completo, eficiente y común que este tipo de sistemas utilizan ya que cuenta con un número de terminales suficiente para la aplicación deseada y el que está disponible en el mercado local. A continuación se describe tanto la elaboración de la placa del circuito, como la programación del micro controlador para conseguir la flecha de desvío.

### 2.4.1 Elaboración de la placa

Para elaborar la placa, lo primero que se realizó fue el diseño del circuito de control para los displays. El circuito que manejamos para el micro controlador se ilustra en la figura 2.11.

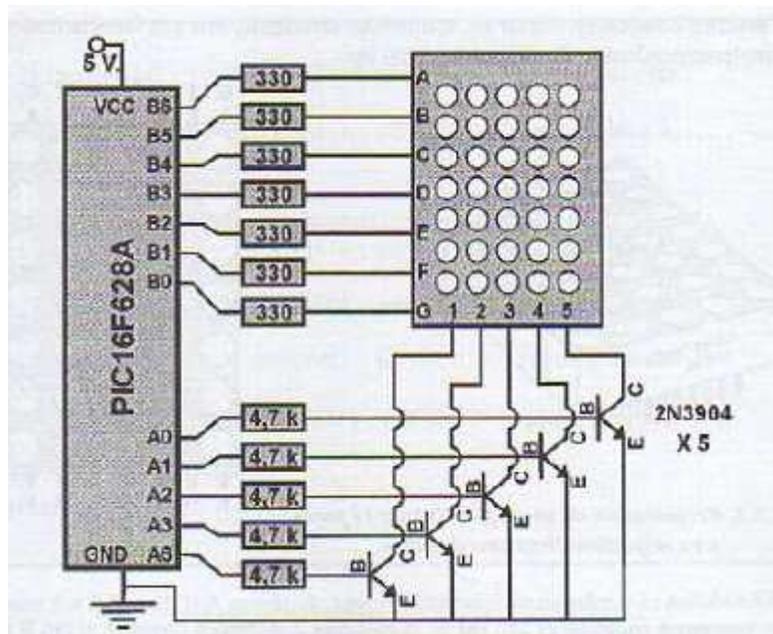


Figura 2.11 Circuito para conectar la pantalla matricial a un Microcontrolador

En donde cada uno de los transistores mostrados en la figura actúa como un interruptor, en modo de saturación, cuando el micro controlador se alimenta en alto.

Debe tenerse en cuenta que las resistencias de la base actúan limitando la corriente que se proporciona al transistor, la cual se amplifica un poco para el encendido de cada uno de los LEDs. Las resistencias en los puertos de salida de los LEDs, que están conectados al display regulan la corriente de cada una de las mallas interiores de LEDs del display.

Ahora, ya con este diagrama de funcionamiento integral de micro controlador y pantallas, el siguiente paso es realizar el diseño integral de la placa, ya incluyendo el circuito de alimentación del PIC, con su reloj de sincronización y sus resistencias de polarización y Reset. El diseño final del circuito realizado en PROTEUS, es el de la figura a continuación.

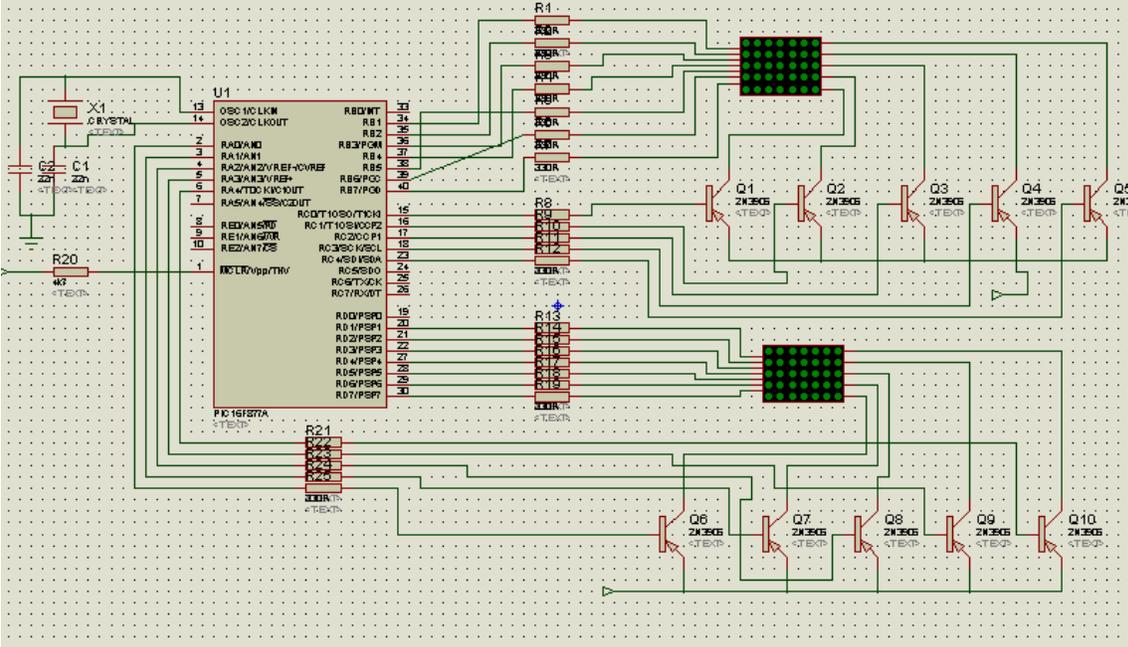
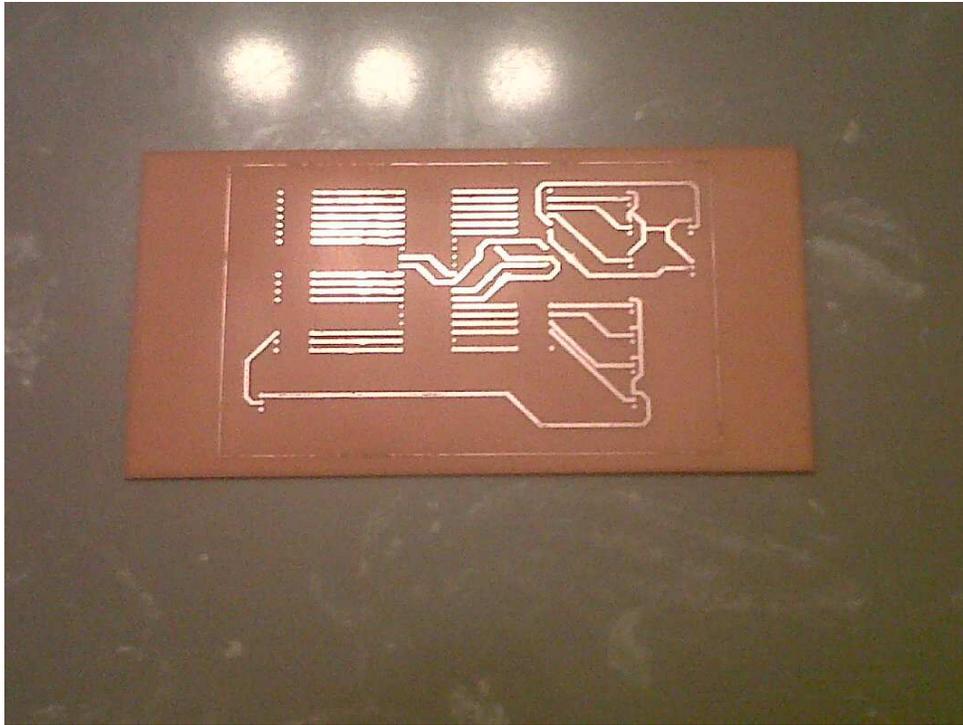


Figura 2.12 Circuito completo para activación de flechas utilizando un PIC 16F877A

Este diseño fue posteriormente implementado en una placa de cobre como se puede apreciar en la figura 2.13, utilizando el procedimiento de impresión en papel film y sumergimiento en ácido para la obtención del circuito en base a pistas.



*Figura 2.13 Elaboración del circuito impreso en la placa de cobre*

Para poder realizar el acoplamiento de este circuito al PLC, se procedió a utilizar un rele que opera a 24V DC, el cual podía ser encendido por una de las salidas del PLC, y tiene a uno de sus contactos normalmente abiertos el vivo de la alimentación de 5V del micro controlador. Por lo tanto la salida del PLC actúa como un interruptor y acciona el micro controlador que empieza a hacer el barrido de la flecha.

#### **2.4.2 Programación del micro controlador**

En principio se tiene que la forma en la que el panel luminoso de display actúa está dada por las indicaciones mostradas en la figura 2.14.

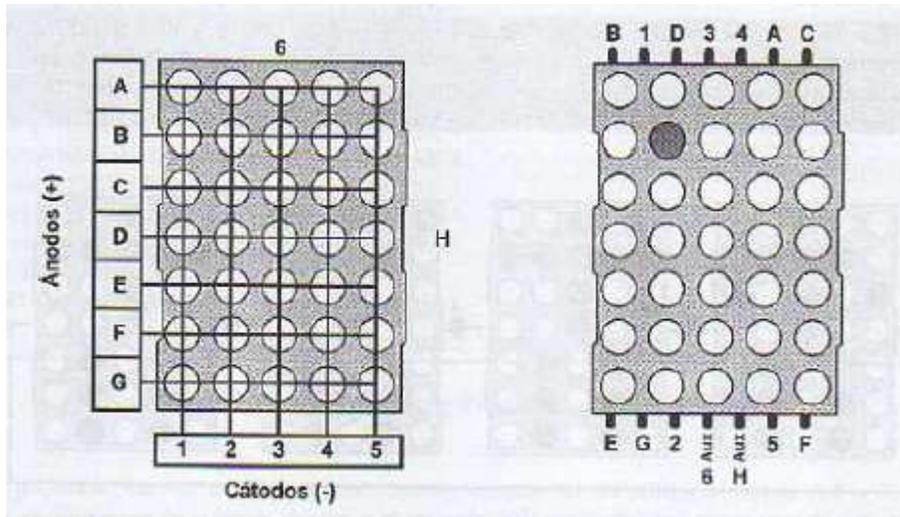


Figura 2.14 Diagrama ilustrativo del funcionamiento de una pantalla matricial 7x5

En la figura se puede ver que el panel es básicamente una matriz de LEDs; el problema en este caso es que no se puede conseguir que una combinación de diodos sea energizada aleatoriamente. De aquí que se impone el uso de un micro controlador. La idea detrás del uso de este sistema es que el micro controlador haga un barrido de la pantalla, encendiendo cada uno de los diodos por un breve intervalo de tiempo y luego volver a iniciar el barrido, de tal forma que cuando el ojo humano vea el display, este parezca que tiene cada uno de los LEDs encendidos.

En el caso de este proyecto, debe decirse que utilizan un micro controlador con un cristal de 11 MHz, se procedió a encender cada uno de los LEDs por 2 milisegundos, ya que valores superiores a estos dejaban ver las oscilaciones del voltaje entre barridos y la imagen se perdía en la pantalla.

### **3. Desarrollo del modelo de semaforización**

#### **3.1 Diseño del controlador lógico difuso**

Para el controlador lógico difuso que se utilizó en el proyecto, se decidió la utilización de dos tipos de señales; a saber se utilizó la cantidad de carros existentes en cada una de las intersecciones en las cuales se trabaja, lo cual está dado en tiempo real por el número de sensores de presencia activados. A su vez, para una mejor respuesta en estado transitorio del controlador se decidió el uso de la derivada de la cantidad de carros como una segunda señal de entrada, esta señal se mide gracias a la diferencia de la cantidad de carros acumulados en las intersecciones entre mediciones. A su vez se debe tomar en cuenta en este momento que el tipo de controlador que se plantea en este apartado es un controlador en tiempo discreto, ya que las mediciones no se hacen de forma continua, sino cuando el semáforo decide el tiempo de activación del mismo; es decir se mide la cantidad de vehículos acumulados en la intersección a lo largo de un tiempo determinado en el que el semáforo ha impedido el paso de los vehículos, esto es que el semáforo se ha encontrado en color rojo.

Los valores medidos por los sensores son leídos una vez por ciclo por el controlador de cada una de las intersecciones y el controlador toma la decisión del tiempo de encendido del semáforo de acuerdo con ello. A su vez, puesto que el mecanismo de control lógico difuso que se plantea en la intersección es un mecanismo adaptivo, se tiene que los centros de las funciones de membresía se actualizan una vez en cada uno de los ciclos. Esto se muestra en la parte superior del controlador, el cual se describe con mayor detalle en las secciones siguientes.

|                              |    | Derivada del error |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|------------------------------|----|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
|                              |    | -5                 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 |
| Número de Sensores Activados | -5 | -5                 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 |
|                              | -4 | -5                 | -5 | -5 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1 |
|                              | -3 | -5                 | -5 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2 |
|                              | -2 | -5                 | -5 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3 |
|                              | -1 | -5                 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4 |
|                              | 0  | -5                 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 |
|                              | 1  | -4                 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5 |
|                              | 2  | -3                 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5 |
|                              | 3  | -2                 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5  | 5 |
|                              | 4  | -1                 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5 |
|                              | 5  | 0                  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5 |

Figura 3.1 Tabla difusa que relaciona las variables de entrada con las funciones de membresía de salida en el sistema de control

De acuerdo a esto la propuesta de controlador difuso que se plantea es una con once valores de entrada en cada una de las dos variables propuestas; a partir de ello, la lógica empleada se muestra en la tabla de la figura 3.1; aquí puede verse como se relacionan las funciones de membresía de entrada con las funciones de membresía de salida. Debe decirse que no se muestran las funciones de membresía de salida ya que el controlador difuso es del tipo adaptivo, es decir los centros de las funciones de membresía cambian con el transcurso del programa.

Para la variable de error de número de carros se utilizo la función de membresía de la figura 3.2 y para el error las funciones de la figura 3.3. En estos casos las unidades de los centros son metros, en general podemos tener una estimación de que cada uno de los vehículos mide aproximadamente 5 metros, de donde se puede sacar el error en número de vehículos que están estacionados en la intersección.

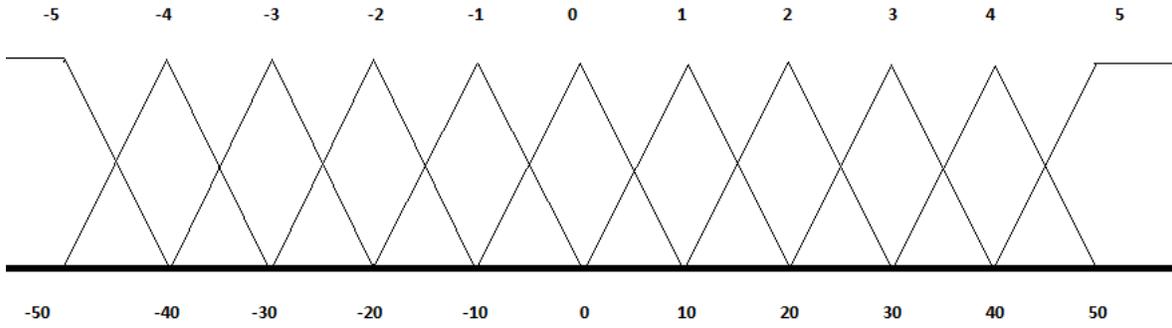


Figura 3.2 Funciones de membresía entrada para el error en la planta

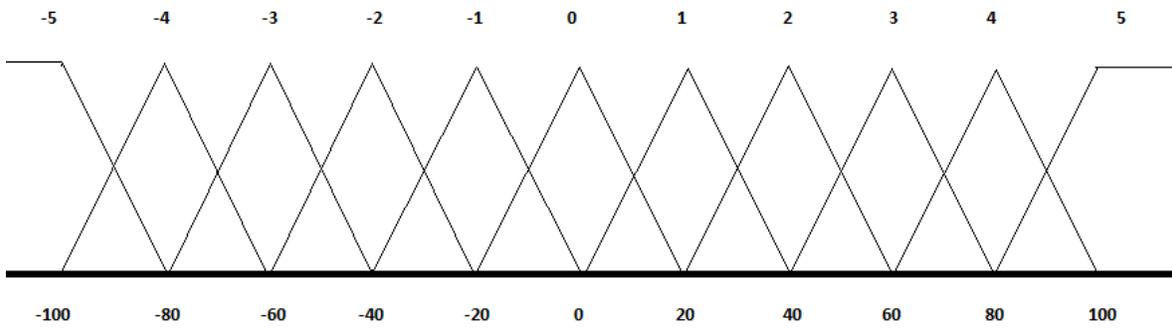


Figura 3.3 Funciones de membresía entrada para la derivada del error en la planta

Los valores finales de las funciones de membresía son los siguientes:

|    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |   |
|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|---|
| -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 |
| 14 | 29 | 44 | 59 | 73 | 89 | 104 | 119 | 134 | 147 | 0 |

Figura 3.4 Tabla difusa de valores finales para las funciones de membresía del modelo

Debe tenerse en cuenta que puesto que el control es de tipo adaptivo los centros de las funciones de membresía de salida varían de acuerdo a lo que ocurre con el controlador, por ello no se muestran gráficas de dichas funciones sino que se limita a presentar los centros obtenidos luego de las simulaciones.

Con ello se puede tener una idea de los tiempos máximos y mínimos del controlador.

### **3.2 Modelado del controlador difuso usando MATLAB.**

El controlador anterior se modeló en MATLAB para una intersección como la de la Avenida Amazonas y Naciones Unidas, en la cual existe un solo cruce. De forma general el controlador que se presentó tiene una planta a cada lado, la cual representa un set de semáforos, cuya salida es la cantidad de carros que han pasado en un intervalo determinado durante el cual este se encuentra encendido, es decir en color verde. De aquí, se tiene que la salida del controlador difuso no es sino un pulso de activación, es decir un pulso binario en donde 1 significa que el semáforo de la intersección está en color verde, mientras que un 0 significa que el semáforo está en color rojo. Para que esta salida pueda darse de forma adecuada, el controlador se encarga de hacer los cálculos de acuerdo al número de vehículo que han sido detectado en la intersección en la cual este trabaja y a partir de los centros de las funciones de membresía que se actualizan en cada uno de los momentos en los que se realizan los cálculos.

En la figura 3.3 se muestra el esquema general del archivo de simulación utilizado. Para este caso, la planta, que puede identificarse por medio del nombre semáforos, al igual que los controladores difusos y sus mecanismos de adaptación son bloques programados como funciones en c, dentro de la interface para MATLAB simulink.

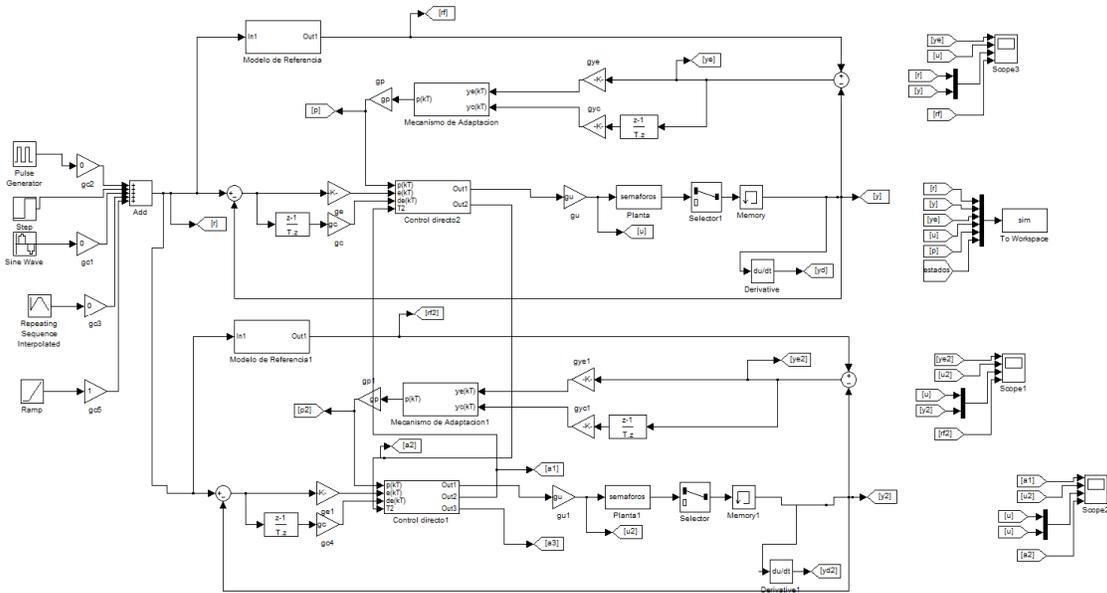


Figura 3.5 Implementación del modelo difuso utilizando la herramienta Simulink de Matlab

Debe decirse que en este modelo, cada una de los controladores se comunica entre sí por medio de una señal de sincronización y una señal en la que se envía el tiempo de salida del controlador anterior. Este tiempo de salida tiene una doble función, indica al controlador de la otra parte de la intersección que el semáforo debe alagarse, es decir que el color rojo debe ser encendido, y a su vez da una idea de la cantidad de tráfico en la otra parte de la intersección. Hay que tomar en cuenta que durante este proceso el tiempo indicado debe ser comparado con las funciones de membresía del otro controlador, ya que por ser funciones adaptivas, los centros de los cuales se dispone no necesariamente son los mismos y puede usarse un proceso de defusificación por medio de ellos.

Con respecto de las memoria utilizadas para la simulación, debe decirse que estas almacenan datos y condiciones iniciales en los estados del programa de simulación, sin embargo debe tomarse en cuenta que este tipo de elementos producen un cierto retraso en toda la red y el proceso, los cuales se trata de eliminar mediando software y mediante la programación de las plantas en cada una de las dos intersecciones.

A continuación se presenta el código de la planta en lenguaje c. Debe decirse que la planta se programa por medio de las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Con respecto de la aceleración utilizada en este caso se tomo

%%%

```

#define S_FUNCTION_NAME semaforos

#include "simstruc.h"
#include <math.h>

#define XINIT ssGetArg(S,0)
#define PARAM ssGetArg(S,1)
#define MAX(A,B) ((A) > (B) ? (A) : (B))

/*
 * mdlInitializeSizes - initialize the sizes array
 */
static void mdlInitializeSizes(SimStruct *S)
{
    ssSetNumContStates( S, 0);
    ssSetNumDiscStates( S, 3);
    ssSetNumInputs( S, 1);
    ssSetNumOutputs( S, 2);
    ssSetDirectFeedThrough(S, 1);
}

```

```

ssSetNumSampleTimes( S, 1);
ssSetNumSFcnParams( S, 2);
ssSetNumRWork( S, 0);
ssSetNumIWork( S, 0);
ssSetNumPWork( S, 0
}

```

```

static void mdlInitializeSampleTimes(SimStruct *S)
{
    //ssSetSampleTime(S, 0, CONTINUOUS_SAMPLE_TIME);
    ssSetSampleTime(S, 0, 0.05);
    ssSetOffsetTime(S, 0, 0.0);
}

```

```

static void mdlInitializeConditions(double *x0, SimStruct *S)
{
    int i;
    for (i = 0; i < 3; i++) {
        x0[i] = mxGetPr(XINIT)[i];
    }
}

```

```

static void mdlOutputs(double *y, double *x, double *u, SimStruct *S, int tid)
{
    //Output 0 el espacio
    //Output 1 tiempo recorrido
    double a;
    a = mxGetPr(PARAM)[0];

    x[1] = x[1]+0.05*a;
    if (x[1]>14)
        x[1]=14;

    x[0] = x[0]+x[1]*0.05;
    y[0] = x[0];

    if (u[0]==0)
    {
        //x[0] = 0;
        x[1] = 0;
    }
}

```

```

        x[2] = 0;
    }else
        x[2]=x[2]+0.05;
    y[1]=x[2];
}

/*
 * mdlUpdate - perform action at major integration time step
 */
static void mdlUpdate(double *x, double *u, SimStruct *S, int tid)
{
}

/*
 * mdlDerivatives - compute the derivatives
 */
static void mdlDerivatives(double *dx, double *x, double *u, SimStruct *S, int tid)
{
}
static void mdlTerminate(SimStruct *S)
{
}

#ifdef MATLAB_MEX_FILE
#include "simulink.c"  #else
#include "cg_sfund.h"
#endif

```

%%%

El archivo de datos iniciales contiene los siguientes datos:

```

XINIT = [0 0 0];
PARAM = [1.6]; %[aceleracion ]
gp = 1;
W = [10 20 30];
gu = 1;
T = 5e-2;

```

Con respecto del controlador difuso, este implementa varias salidas como las que se ha mencionado antes. El controlador envía una información que contiene el tiempo de salida del mismo para que el segundo semáforos se sincronice, esto se guarda en los estados x [12] y el estado x [13] del controlador guarda el tiempo que ha transcurrido desde que el controlador ha asumido un nuevo estado, es decir que se ha enviado una señal de encendido o de apagado a la segunda planta. El estado x [15] del controlador representa el estado del mismo, en donde 1 es encendido y 0 apagado; debe decirse que un controlador está apagado cuando el semáforo se encuentra en color rojo. El estado x[11] almacena la salida del controlador, es decir el tiempo que se ha decidido mantener los semáforos encendidos; por último el estado x[16] indica si el controlador debe hacer un nuevo cálculo o no, es decir si el controlador ha entrado en la parte inicial del ciclo; debe decirse que por programación se ha decidido que el controlador únicamente decida a cerca del tiempo que permanece encendido al principio de cada ciclo, para lo cual este utiliza la información que se obtiene en a cerca de la cantidad de vehículos.

La parte principal del código anterior se detalla a continuación:

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
static void mdlOutputs(double *y, double *x, double *u, SimStruct *S, int tid)
{
    double dom1[11], dom2[11];
    double widths[3], centro1[11], centro2[11], centro_out[11];
    double outdom, area, Atot = 0.0, WAtot = 0.0;
```

```

int pos[2];
int i, j, out_index;
int cmuestreo;
int MAD[11][11]={
    {-5,-5,-5,-5,-5,-5,-4,-3,-2,-1,0},
    {-5,-5,-5,-5,-5,-5,-4,-3,-2,-1,0,1},
    {-5,-5,-5,-5,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2},
    {-5,-5,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3},
    {-5,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4},
    {-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5},
    {-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,5},
    {-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,5,5},
    {-2,-1,0,1,2,3,4,5,5,5,5},
    {-1,0,1,2,3,4,5,5,5,5,5},
    {0,1,2,3,4,5,5,5,5,5,5}
};

```

```

//u[3] es el tiempo del otro controlador
cmuestreo = 18;
if(x[15]==1)
{
    if (x[16]==1)
    {
        /* Se asignan los anchos a las MF de entrada y salida */
        for (i=0;i<3;i++)
            widths[i]=mxGetPr(MF_WIDTH)[i];

        /* Se asignan los centros de las MF de entrada y salida */
        for (i=0; i<11; i++) {
            centro1[i] = (-1 + i*widths[0]);
            centro2[i] = (-1 + i*widths[1]);
            centro_out[i] = x[i];
        }

        /* Fusificacion de la primera variable*/
        dom1[0] = leftall(u[1], widths[0],centro1[0]);
        for (i=1; i<10; i++)
            dom1[i] = triangle(u[1], widths[0],centro1[i]);
        dom1[10] = rightall(u[1], widths[0],centro1[10]);

        /* Fusificacion de la segunda variable variable*/
        dom2[0] = leftall(u[2], widths[1], centro2[0]);

```

```

for (i=1; i<10; i++)
    dom2[i] = triangle(u[2], widths[1], centro2[i]);
dom2[10] = rightall(u[2], widths[1], centro2[10]);

for(i=0; i<11; i++) {
    for(j=0; j<11; j++) {
        if ( (dom1[i] != 0 ) && (dom2[j] != 0) )
        {
            outdom = 0;
            out_index = MAD[i][j];
            out_index += 5;           // Mover indices hacia la derecha para
comenzar desde el indice 0 hasta 10
            outdom = MIN((dom1[i]), (dom2[j]));    // Determinar el valor de verdad de
la premisa

            area = 2*widths[2]*(outdom - (outdom*outdom)/2);
            Atot += area;
            WAtot += area*centro_out[out_index];
        }
    }
}

y[12] = (WAtot/Atot)-(0.05+0.05*18*x[18]); //Salida del tiempo dado por el
controlador
x[18]+=1;
x[12] = 0;
x[13] = y[12]; //Realimentacion del tiempo
x[14] = 1; //x[14] es el update 1 significa que se debe hacer update
//x[15]= 0;
x[16]=0;
y[0] = 1;
for(i=1;i<12;i++)
    y[i]=x[i];

}
else
{
    x[12] += (0.05/cmuestreo);
    y[12] = x[13];
//x[13]=x[13]*cmuestreo; //****
if(x[12]>=x[13]) //Cambio de tiempo#####

```

```

    {
        x[15]=0; //Reset de la activacion del controlador
        x[16]=1;
        x[12]=0;
    }
    //x[13]=x[13]/cmuestreo; //***
    y[0] = 1;
    for(i=1;i<12;i++)
        y[i]=x[i];
}
}else
{
    //u[3]=u[3]*10; //***

    if(x[12]>= u[3]) //Cambio de tiempo
    {
        x[12]=0;
        x[15]=1; //Set de la activacion del controlador

    }
    else
    {
        x[12]+=(0.05/cmuestreo);
        y[12]=x[13];
    }
    //u[3]=u[3]/10; //***
    y[0] = 0;
    for(i=1;i<12;i++)
        y[i]=x[i];
}
x[17]+=(0.05/cmuestreo);
y[13]=x[17];

}

```

%%%

Los códigos aquí presentados han sido diseñados de acuerdo al tipo del problema que se ha planteado en el proyecto, sin embargo procedimientos básicos de fusificación y de fusificación han sido tomados de las notas de clase con Alberto Sánchez (Ver Referencia).

### **3.2 Adaptación del controlador para implementación en un modelo real.**

Puesto que el controlador debe ser instalado en una intersección como una de las propuestas en este proyecto, se debe tomar en cuenta que los datos suministrados al controlador de la misma deben pasados por los sensores de presencia, ya sean estos capacitivos o inductivos de acuerdo al modelo que se haya seleccionado e instalado. A su vez, el controlador lógico difuso debe ser cargado en un plc, por lo que se debe tomar en cuenta la limitación de memoria y velocidad, que el mismo puede tener y adaptar el código y modelo que se han propuesto a ello.

Es por esto que para la adaptación del modelo se ha procedido a reducir la tabla de reglas a la que se muestra en la figura siguiente. Debe tomarse en cuenta dos cosas aquí: Los índices que se muestran de la tabla de adaptación son todos positivos, esto se lo hace de dicha forma en adaptación a la numeración de índices en el PLC, y con el afán de reducir cálculos en el programa del mismo. De igual forma, la tabla se ha reducido en tamaño por dos razones, la primera debido a que cada uno de los datos que almacenan las reglas del controlador lógico difuso de la misma deben ser almacenados como datos de tipo Word, en la memoria del PLC, de donde cada uno de los datos se almacena en 2 bytes y por lo tanto ocupan bastante memoria. Este tipo de almacenamiento es requerido en la memoria del PLC debido a que se necesitan realizar varios cálculos con estos datos, lo que de otra manera es incompatible con el programa. La segunda razón para la reducción de la tabla de reglas lógicas difusas, es el número de sensores que se maneja en la implementación realizada del modelo. Debe tomarse en cuenta que como el modelo se realiza a escala, no se puede instalar un número mayor de sensores de presencia que los que se han instalado en la maqueta. El número de sensores de presencia instalados en la maqueta limitan la cantidad de información que se recibe sobre en tráfico y la cantidad de

vehículos que están atascados en una determinada intersección y en un determinado sentido. De aquí que una tabla de reglas más grande que la propuesta para la implementación únicamente desperdiciará recursos y obtendrá los mismos resultados. Sin embargo, la tabla actual de reglas y la tabla anterior, presentada en la simulación guardan concordancia respecto del peso de cada una de las reglas en el momento de la aplicación del controlador. A su vez la forma de la superficie de reglas, se mantiene igual, de donde la simulación corresponde a un controlador que funciona de la misma forma, pero que es aplicable a varios escenarios e intersecciones de mayor tamaño; simplemente es un controlador algo más general para varios casos, pero no por ello su funcionamiento es diferente.

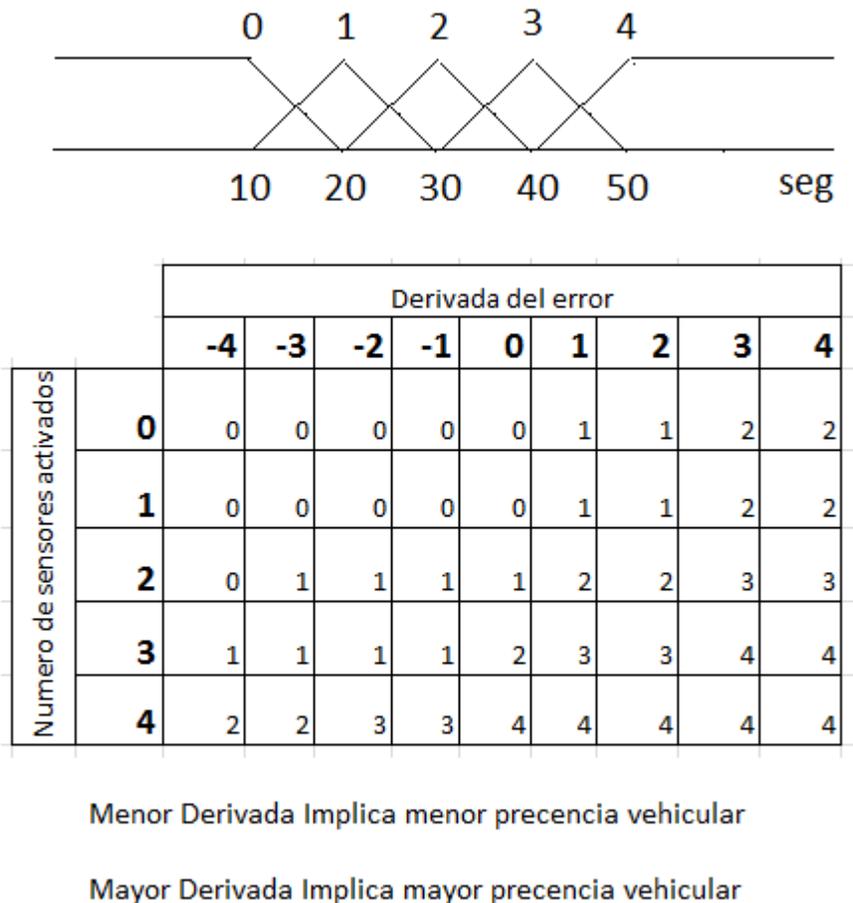


Figura 3.6 Tabla difusa que relaciona las variables de entrada con las funciones de membresía de salida en el sistema de control (PLC)

En la tabla presentada a continuación se proporciona el dato del número de sensores que se utiliza en cada una de las intersecciones de las maquetas, al igual que la derivada de los mismos. Debe decirse que ya que los sensores y las mediciones son utilizados en tiempo discreto y los cálculos de ingreso a la tabla son también en tiempo discreto, no existen otras posibles combinaciones que las anteriormente presentadas para el número de sensores que se han implementado. Por último, el mecanismo de defusificación empleado y es el mismo que se presenta en la parte de simulaciones anteriormente expuesta.

## 4. Programación del modelo de semaforización

### 4.1 Cableado a PLCs.

A continuación se presenta un diagrama real de las intersecciones, donde se pueden identificar los números de cada semáforo y sensor.

Con esto, basándonos en el diagrama del PLC Siemens S7-200 mostrada a continuación en la figura 4.1, se presenta una tabla en la que se muestra el tipo componente que se conecta a cada una de las entradas y salidas del PLC (figura 4.2).

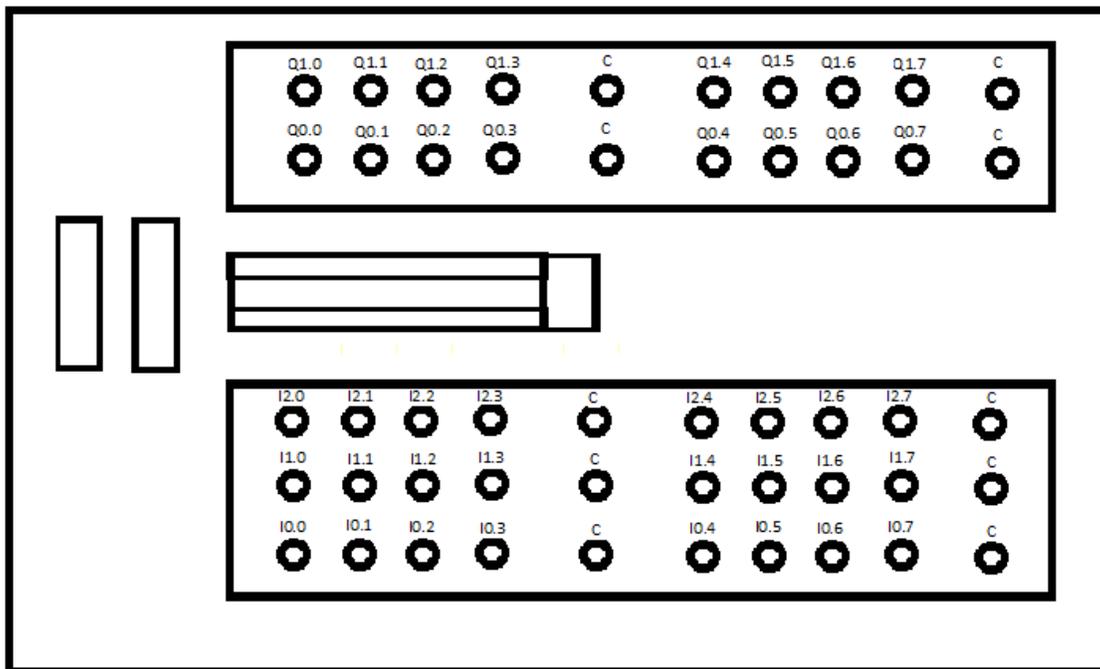


Figura 4.1 Esquema físico de un PLC Siemens S7-700

| <b>SALIDA DEL PLC</b> | <b>COMPONENTE CONECTADO</b>           |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Q0.0                  | LEDs rojos de los semáforos 2 y 5     |
| Q0.1                  | LEDs amarillos de los semáforos 2 y 5 |
| Q0.2                  | LEDs verdes de los semáforos 2 y 5    |
| Q0.3                  | LEDs s rojos de los semáforos 3 y 6   |
| Q0.4                  | LEDs amarillos de los semáforos 3 y 6 |
| Q0.5                  | LEDs verdes de los semáforos 3 y 6    |
| Q0.6                  | Sensor Capacitivo                     |
| Q1.0                  | LEDs rojos de los semáforos 1 y 8     |
| Q1.2                  | LEDs verdes de los semáforos 1 y 8    |
| Q1.3                  | LEDs rojos de los semáforos 4 y 7     |
| Q1.4                  | LEDs amarillos de los semáforos 4 y 7 |
| Q1.5                  | LEDs verdes de los semáforos 4 y 7    |
| Q1.6                  | LEDs amarillos de los semáforos 1 y 8 |
| Q1.7                  | LEDs blancos                          |

*Figura 4.2 Tabla de conexiones a salidas del PLC*

Cabe mencionar que el común de las entradas del PLC se conectó a tierra y el común de las salidas, al vivo de la fuente (24V)

## **4.2 Programación del modelo de semaforización en PLCs (Ladder)**

En esta sección se presenta en un principio el código que se colocó el cada uno de los dos PLC por separado. El código incluye los comentarios que se colocaron durante la programación para mejorar la comprensión del código y facilitar su mantenimiento. La explicación general del código se encuentra en el párrafo subsiguiente al mismo.

PLC definido para controlar Avenida Naciones Unidas y Amazonas:

```

// COMENTARIOS DEL PROGRAMA
// Pulse F1 para obtener Ayuda y un programa de ejemplo.
//
//
Network 1
LD SM0.1
MOVB 16#08, SMB130
//Tabla de Controlador Fuzzy
MOVW 0, VW400
MOVW 0, VW402
MOVW 0, VW404
MOVW 1, VW406
MOVW 2, VW408
MOVW 0, VW410
MOVW 0, VW412
MOVW 0, VW414
MOVW 1, VW416
MOVW 2, VW418
MOVW 0, VW420
MOVW 1, VW422
MOVW 1, VW424
MOVW 2, VW426
MOVW 3, VW428
MOVW 1, VW430
MOVW 1, VW432
MOVW 2, VW434
MOVW 3, VW436
MOVW 4, VW438
MOVW 2, VW440
MOVW 3, VW442
MOVW 4, VW444
MOVW 4, VW446
MOVW 4, VW448
//Puntero a la direccion VB400
MOVD &VB400, AC1
//Memoria de almacenamiento para la derivada
MOVD 0, VD170
MOVD 0, VD570
Network 2 // TÍTULO DE SEGMENTO (una línea)
//
// COMENTARIOS DE SEGMENTO
// Recibe datos del sensor de luz

```

```
//  
LD V200.0  
S Q0.7, 1  
S Q1.7, 1  
S V100.0, 1
```

```
//Set de la memoria V100.0 como sensor de luz
```

```
Network 3  
LDN V200.0  
R Q0.7, 1  
R Q1.7, 1  
R V100.0, 1
```

```
//Inicializa timer para ciclo noche
```

```
Network 4  
LD V100.0  
TON T37, +10
```

```
//Empieza ciclo noche, enciende leds
```

```
Network 5  
LD T37  
AN V0.0  
A V100.0  
R Q0.0, 16  
S Q0.1, 1  
S Q0.4, 1  
S Q1.1, 1  
S Q1.4, 1  
R T37, 1  
R T38, 1  
S V0.0, 1
```

```
//Ciclo noche, apaga leds.
```

```
Network 6  
LD T38  
A V0.0  
A V100.0  
R Q0.1, 1  
R Q0.4, 1  
R Q1.1, 1  
R Q1.4, 1  
R T37, 1
```

```
R T38, 1
R V0.0, 1
```

```
//Reset timer ciclo noche
```

```
Network 7
```

```
LD V0.0
```

```
A V100.0
```

```
TON T38, +10
```

```
//Inicio de ciclo de dia
```

```
Network 8
```

```
LDN V100.0
```

```
AN V1.0
```

```
TON T39, +20
```

```
//Encendido verde S4 y rojo S1
```

```
Network 9
```

```
LD T39
```

```
AN V100.0
```

```
AN V1.0
```

```
R Q0.0, 16
```

```
S Q0.2, 1
```

```
S Q1.5, 1
```

```
S Q0.3, 1
```

```
S Q1.0, 1
```

```
R T39, 1
```

```
R T40, 1
```

```
S V1.0, 1
```

```
S V2.0, 1
```

```
//Ciclo Amarillo 1
```

```
Network 10
```

```
LDN V100.0
```

```
A V2.0
```

```
TON T40, VW150
```

```
//Accion ciclo amarillo
```

```
Network 11
```

```
LD T40
```

```
AN V100.0
```

```
A V2.0
```

```
R Q0.0, 16
```

```
S Q0.1, 1
```

```
S Q1.4, 1
```

```
S Q0.3, 1
S Q1.0, 1
R T40, 1
R T41, 1
R V2.0, 1
S V3.0, 1
```

```
// Timer Paso a ciclo Rojo
```

```
Network 12
LDN V100.0
A V3.0
TON T41, +20
```

```
//Paso a ciclo rojo
```

```
Network 13
LD T41
AN V100.0
A V3.0
R Q0.0, 16
S Q0.0, 1
S Q1.3, 1
S Q1.2, 1
S Q0.5, 1
R T41, 1
R T42, 1
R V3.0, 1
S V4.0, 1
```

```
//Segundo ciclo amarillo
```

```
Network 14
LDN V100.0
A V4.0
TON T42, VW160
```

```
//Paso a segundo ciclo amarillo
```

```
Network 15
LD T42
AN V100.0
A V4.0
R Q0.0, 16
S Q0.4, 1
S Q1.1, 1
S Q0.0, 1
S Q1.3, 1
```

```
R T42, 1
R T39, 1
R V4.0, 1
R V1.0, 1
```

```
//Escritura en los bytes que se van a leer
Network 16
BIR IB0, VB250
BIR IB1, VB251
BIR IB2, VB252
MOVB QB0, VB253
MOVB QB1, VB254
//VB253 y VB 254 corespnde a las salidas
```

```
//NETWORK 16
//LD SM0.0
//MOVB 2, VB301
//MOVD &VB100, VD302
//MOVB 1, VB306
```

```
//NETWORK 17
//LD SM0.0
//NETR VB300, 0
```

```
//NETWORK 18
//LD SM0.0
//MOVB VB307, VB200
```

```
//Ciclo priorizado
//*****
//Control de TON 40 (Sentido norte sur)
Network 17
LD SM0.0
MOVD 0, VD174
MOVW 0, VW150
```

```
//Condicion de ciclo con prioridad
Network 18
// //Calculo del numero de sensores encendidos
LD I2.2
+D +1, VD174
```

Network 19

```
LD I2.0
+D +1, VD174
```

Network 20

```
LD I2.1
+D +1, VD174
```

Network 21

```
LD I2.3
+D +1, VD174
```

Network 22

```
// //calculo de la Derivada de la señal
LD SM0.0
MOVD VD174, VD178
-D VD170, VD178
+D +4, VD178
MOVD VD174, VD170
//I 2, VW174
```

Network 23

```
// //Calculo del indice de la Tabla
LD SM0.0
MOVD 0, VD182
+D VD174, VD182
*D +10, VD182
+D VD178, VD182
MOVD &VB400, AC1
+D VD182, AC1
MOVW *AC1, VW150
*I +100, VW150
+I +100, VW150
```

Network 24

```
// //Segmento Antiguo
//
//
//LD I2.3
//A I2.2
//A I2.5
//A I1.5
//MOVW +300, VW150
```

```

//Control de TON 42 (este oeste)
Network 25
// //Reset de la memoria 574 a cero y de la memoria del timmer
LD SM0.0
MOVD 0, VD574
MOVW 0, VW160

Network 26
// //Empieza el conteo de sensores
LD I1.0
+D +1, VD574

Network 27
LD I1.1
+D +1, VD574

Network 28
LD I2.4
+D +1, VD574

Network 29
LD I2.5
+D +1, VD574

Network 30
// //Calculo de la Derivada de la señal
LD SM0.0
MOVD VD574, VD578
-D VD570, VD578
+D +4, VD578
MOVD VD574, VD570

Network 31
// //Calculo del indice de la Tabla
LD SM0.0
MOVD 0, VD582
+D VD574, VD582
*D +10, VD582
+D VD578, VD582
MOVD &VB400, AC1
+D VD582, AC1
MOVW *AC1, VW160
*I +100, VW160
+I +100, VW160

```

```
Network 32
//LD SM0.0
//MOVW +100, VW160
//Condicion de ciclo con prioridad
Network 33
//LD I2.0
//A I2.1
//A I2.4
//MOVW +300, VW160
Network 34
```

De acuerdo al código anteriormente presentado se tiene que las primeras dos Networks son las que controlan si se debe utilizar un ciclo de día o de noche para los semáforos en ese momento. En principio de información viene del sensor de luz, pero es escrita en las memorias de este PLC por medio de un cable en el puerto serial 1 del PLC que controla la intersección de las avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto. Posteriormente las Networks 3, 4, 5 y 6 controlan el ciclo de la noche de los semáforos, a su vez si es de noche se enciende las salidas de iluminación pública del escenario.

Las siguientes Networks, como puede verse en el comentario accionan el ciclo de día del PLC. El ciclo de día está compuesto de varias Networks que lo que hacen es determinar el tiempo en el que los semáforos se mantienen en cada uno de los estados, esto se hace por medio de la información que es transmitida por los sensores y que se procesa en tiempo real. El ciclo de día de los semáforos se compone de cuatro partes, todas ellas manejadas por un timer. El primer estado de ciclo es el dar paso a los vehículos que vienen por la Avenida Amazonas, el segundo paso es encender la luz amarilla de los semáforos, lo que indica a los conductores un inminente cambio en los semáforos. El tercer estado es el encendido de las luces verdes para los vehículos que circulan por la avenida Naciones Unidas, y consecuentemente el encender el rojo de los semáforos para los vehículos que van por la Avenida Amazonas. El último estado es el encendido de las luces amarillas que indican un inminente cambio de estado.

Debe decirse que las últimas Networks del código son las que toman la información de los sensores y hacen las modificaciones a los tiempos de encendido de los diferentes pasos del ciclo de los semáforos.

A partir de la Network 18, se procede a leer los sensores de presencia que se encuentran encendidos en las distintas intersecciones; esto proporciona la información a cerca de la cantidad de tráfico que existe y el número de vehículos que están atascados en el mismo. Posteriormente se procede a realizar el cálculo de la derivada de dicha señal, lo que se hace con información que previamente se ha guardado de ciclos anteriores del PLC, con esta información se determina si la cantidad de vehículo que se han acumulado en la intersección ha cambiado de un ciclo de semáforos a otro, a partir de lo cual el controlador realiza las modificaciones necesarias del tiempo. El las Networks 24 y 25, de la programación del plc, lo que se hace es la lectura de las reglas activas en cada uno de los casos, para lo cual se utiliza un proceso de fusificación de las variables, el cual está implícito en la programación misma, a partir de ello se busca la regla activa en la tabla y se realiza el proceso de cálculo de la salida del controlador. La salida del proceso anteriormente mencionado se graba en una variable de control del timer, el cual está encargado de hacer los cambios de color en cada uno de los ciclos de los semáforos.

Con respecto a la tabla de reglas, debe esta ha sido grabada previamente en la memoria del plc, y se carga cada vez que se inicia el mismo, y por una sola vez durante la operación del plc.

Por último debe hacerse referencia a la comunicación de los plcs entre sí para la sincronización de los diferentes ciclos y de la noche y el día. La maqueta y el proyecto en cuestión consta de dos intersecciones, las cuales se encuentran construidas por separado y fueron unidas posteriormente, a demás cada una de las intersecciones está manejada por un plc independiente el cuál se encarga de controlar las mismas, y de apagar las luces

de cada uno de los semáforos. Las conexiones que se han realizado permiten que los diferentes semáforos puedan ser manejados por el PLC en forma independiente cada uno de ellos, pero además la forma de las conexiones de la misma previenen errores fatales en el PLC, es decir previenen que el PLC pueda encender dos semáforos de calles que se cruzan con colores iguales al mismo tiempo, lo que reduce el riesgo de accidentes al mínimo. La comunicación y sincronización de los PLCs se desarrolla por medio del protocolo RS-485, en donde para la aplicación actual, el PLC de la intersección de las avenidas 10 de Agosto y Naciones Unidas es el maestro y el segundo PLC es el esclavo. El primer PLC realiza las lecturas de la información del segundo, la cual se mapea a direcciones de memoria V, en el mismo PLC. Esta información se usa para la sincronización, y para el envío de información.

Por último debe comentarse que el sistema de control y monitoreo SCADA se conecta al PLC maestro. Una segunda forma para la utilización de este sistema podría ser la de conectar dos sistemas SCADA cada uno conectado independientemente al mismo PLC, y a un puerto independiente, pero debido a limitaciones en equipo como lo son el conseguir un switch que soporte el protocolo, o varios puertos RS-485 en la misma terminal, esta opción ha sido descartada.

A continuación se presenta el código de lo que para el caso de la automatización es el PLC principal o el PLC maestro. Debe decirse que este PLC escribe en la memoria del que se ha descrito inicialmente y envía la información que sincroniza a los dos. La información incluye el estado del sensor de luminosidad, puesto que las luces de alumbrado público en la maqueta son controladas independientemente por cada uno de los dos PLCs.

```
Network 1 // Set de este PLC como Master en la red
```

```
LD SM0.1
```

```
MOVB 16#0A, SMB130
```

```
//Tabla de Controlador Fuzzy
```

```
MOVW 0, VW400
```

```
MOVW 0, VW402
```

```
MOVW 0, VW404
```

```
MOVW 1, VW406
```

```

MOVW 2, VW408
MOVW 0, VW410
MOVW 0, VW412
MOVW 0, VW414
MOVW 1, VW416
MOVW 2, VW418
MOVW 0, VW420
MOVW 1, VW422
MOVW 1, VW424
MOVW 2, VW426
MOVW 3, VW428
MOVW 1, VW430
MOVW 1, VW432
MOVW 2, VW434
MOVW 3, VW436
MOVW 4, VW438
MOVW 2, VW440
MOVW 3, VW442
MOVW 4, VW444
MOVW 4, VW446
MOVW 4, VW448
//Puntero a la direccion VB400
MOVD &VB400, AC1
//Memoria de almacenamiento para la derivada
MOVD 0, VD170
MOVD 0, VD570

```

Network 2 // TÍTULO DE SEGMENTO (una línea)

//

// COMENTARIOS DE SEGMENTO

// Recibe datos del sensor de luz

//

LD I2.6

S Q0.7, 1

S V100.0, 1

//Set de la memoria V100.0 como sensor de luz

Network 3

LDN I2.6

R Q0.7, 1

R V100.0, 1

//Inicializa timer para ciclo noche

```
Network 4
LD V100.0
TON T37, +10
```

//Empieza ciclo noche, enciende leds

```
Network 5
LD T37
AN V0.0
A V100.0
R Q0.0, 16
S Q0.1, 1
S Q0.4, 1
S Q1.4, 1
S Q1.6, 1
R T37, 1
R T38, 1
S V0.0, 1
```

//Ciclo noche, apaga leds.

```
Network 6
LD T38
A V0.0
A V100.0
R Q0.1, 1
R Q0.4, 1
R Q1.4, 1
R Q1.6, 1
R T37, 1
R T38, 1
R V0.0, 1
```

//Reset timer ciclo noche

```
Network 7
LD V0.0
A V100.0
TON T38, +10
```

//Inicio de ciclo de dia

```
Network 8
LDN V100.0
AN V1.0
TON T39, +20
```

//Encendido verde S4 y rojo S1

Network 9

LD T39  
AN V100.0  
AN V1.0  
R Q0.0, 16  
S Q1.5, 1  
S Q0.2, 1  
S Q1.0, 1  
S Q0.3, 1  
R T39, 1  
R T40, 1  
S V1.0, 1  
S V2.0, 1

//Ciclo Amarillo 1

Network 10

LDN V100.0  
A V2.0  
TON T40, VW150

//Accion ciclo amarillo

Network 11

LD T40  
AN V100.0  
A V2.0  
R Q0.0, 16  
S Q1.4, 1  
S Q0.1, 1  
S Q1.0, 1  
S Q0.3, 1  
R T40, 1  
R T41, 1  
R V2.0, 1  
S V3.0, 1

// Timer Paso a ciclo Rojo

Network 12

LDN V100.0  
A V3.0  
TON T41, +20

//Paso a ciclo rojo

Network 13

```
LD T41
AN V100.0
A V3.0
R Q0.0, 16
S Q1.3, 1
S Q0.0, 1
S Q1.2, 1
S Q0.5, 1
R T41, 1
R T42, 1
R V3.0, 1
S V4.0, 1
```

//Segundo ciclo amarillo

```
Network 14
LDN V100.0
A V4.0
TON T42, VW160
```

//Paso a segundo ciclo amarillo

```
Network 15
LD T42
AN V100.0
A V4.0
R Q0.0, 16
S Q1.3, 1
S Q0.0, 1
S Q1.6, 1
S Q0.4, 1
R T42, 1
R T39, 1
R V4.0, 1
R V1.0, 1
```

//\*\*\*\*\*Inicio de Comunicación Envío de Datos a VB200

```
Network 16
LD SM0.0
MOVB 3, VB301
MOVD &VB200, VD302
MOVB 2, VB306
MOVB VB100, VB307
NETW VB300, 1
```

```
//*****Segundo paso Mapeo de datos tomados de VB250
```

```
Network 17
```

```
LD SM0.0
```

```
MOVB 3, VB350
```

```
MOVD &VB250, VD302
```

```
MOVB 5, VB306
```

```
NETR VB300, 1
```

```
//Ciclo priorizado
```

```
//*****
```

```
//Control de TON 40 (Sentido norte sur)
```

```
Network 18
```

```
LD SM0.0
```

```
MOVD 0, VD174
```

```
MOVW 0, VW150
```

```
//Condición de ciclo con prioridad
```

```
Network 19
```

```
// //Calculo del numero de sensores encendidos
```

```
LD I2.3
```

```
+D +1, VD174
```

```
Network 20
```

```
LD I2.2
```

```
+D +1, VD174
```

```
Network 21
```

```
LD I2.5
```

```
+D +1, VD174
```

```
Network 22
```

```
LD I1.5
```

```
+D +1, VD174
```

```
Network 23
```

```
// //calculo de la Derivada de la señal
```

```
LD SM0.0
```

```
MOVD VD174, VD178
```

```
-D VD170, VD178
```

```
+D +4, VD178
```

```
MOVD VD174, VD170
```

```
//I 2, VW174
```

#### Network 24

// //Calculo del indice de la Tabla

LD SM0.0

MOVD 0, VD182

+D VD174, VD182

\*D +10, VD182

+D VD178, VD182

MOVD &VB400, AC1

+D VD182, AC1

MOVW \*AC1, VW150

\*I +100, VW150

+I +100, VW150

#### Network 25

// //Segmento Antiguo

//LD I2.3

//A I2.2

//A I2.5

//A I1.5

//MOVW +300, VW150

//Control de TON 42 (este oeste)

#### Network 26

// //Reset de la memoria 574 a cero y de la memoria del timmer

LD SM0.0

MOVD 0, VD574

MOVW 0, VW160

#### Network 27

// //Empieza el conteo de sensores

LD I2.0

+D +1, VD574

#### Network 28

LD I1.1

+D +1, VD574

#### Network 29

LD I2.1

+D +1, VD574

```
Network 30
LD I2.4
+D +1, VD574
```

```
Network 31
///Calculo de la Derivada de la señal
LD SM0.0
MOVD VD574, VD578
-D VD570, VD578
+D +4, VD578
MOVD VD574, VD570
```

```
Network 32
///Calculo del indice de la Tabla
LD SM0.0
MOVD 0, VD582
+D VD574, VD582
*D +10, VD582
+D VD578, VD582
MOVD &VB400, AC1
+D VD582, AC1
MOVW *AC1, VW160
*I +100, VW160
+I +100, VW160
```

```
Network 33
//LD SM0.0
//MOVW +100, VW160
```

```
//Condicion de ciclo con prioridad
```

```
Network 34
//LD I2.0
//A I2.1
//A I2.4
//MOVW +300, VW160
```

```
//Sensor Capacitivo encendido de flecha
```

```
Network 35
LD I0.0
S Q0.6, 1
```

```
//Sensor capacitivo apagado de flecha  
Network 36  
LDN I0.0  
R Q0.6, 1
```

El funcionamiento de este segundo PLC es muy parecido al del primero. En principio se tiene el código que determina si es de día o de noche en el escenario. Debe decirse que la diferencia en este caso es que la información es tomada directamente del sensor de luminosidad. Como en el caso anterior, con esta información se da paso al ciclo del día o de la noche y el encendido del alumbrado para la calle.

El primer ciclo que se programó es el ciclo de noche, el cual en este caso es un ciclo de ahorro de energía, y el cual se puede ver en las diferentes partes de la ciudad a horas avanzadas. Este ciclo, debe decirse se colocó por este motivo, ya que las regulaciones estatales y municipales requieren la desactivación de algunas de las luces del alumbrado público, como parte del plan de ahorro de energía y de administración responsable de los recursos nacionales.

Por otra parte, el ciclo de día tiene toda la información necesaria para actuar de varias formas diferentes, priorizando la intersección que tienen una mayor cantidad de carros estacionados en las mismas. La programación presentada anteriormente da como resultado 4 tipos de ciclos diferentes de acuerdo con la información presentada por los sensores. Debe decirse que de acuerdo a como esta información sea administrada, se puede generar varios ciclos extra que difieran en duración de tiempos y prioricen a cualquiera de los cruces, según se requiera.

Por otra parte, si bien el ciclo y su programación permiten priorizar ciertos cruces, debe decirse que el tiempo de encendido de las luces amarillas de los semáforos no es variable. El encendido de este tipo de luces está regulado de acuerdo al tamaño de la intersección y

de la velocidad a la cual se espera que los vehículos la crucen, a demás de visibilidad esperada en cada cualquier hora.

Este programa incluye la sección de código en donde el PLC realiza la escritura en la memoria del primer PLC. Además, como ya se dio a conocer existe una última sección en la que el PLC lee la información de los sensores y de acuerdo a ello actualiza los tiempos de las distintas intersecciones, priorizan a aquella en las que el tráfico es más pesado.

### **4.3 Sistema SCADA para monitoreo del prototipo (Indusoft)**

El sistema SCADA diseñado para el modelo que se implementó está compuesto de las pantallas, las cuales representan cada una de las dos intersecciones en las cuales se han implementado los controladores lógicos difusos. La primera pantalla Figura 4.3.1 muestra los sensores y semáforos instalados la intersección de las Avenidas Naciones Unidas y Amazonas. En este sistema puede monitorearse el estado de cada uno de los semáforos, así como la forma en la que estos cambian de color y los tiempos que demoran en este proceso entre cada uno de los ciclos. A demás, como puede verse en la figura 4.3.2 los sensores colocados en cada una de las avenidas se activan cuando sienten la presencia de cada uno del vehículo con los cuales se realizó las pruebas del sistema. Los recuadros en la calle muestran la posición de cada uno de los sensores. Un recuadro de color gris indica que no existe la presencia de un vehículo en esa parte de la vía, mientras que un recuadro de color celeste indica que hay vehículos estacionados en esa parte de la vía.

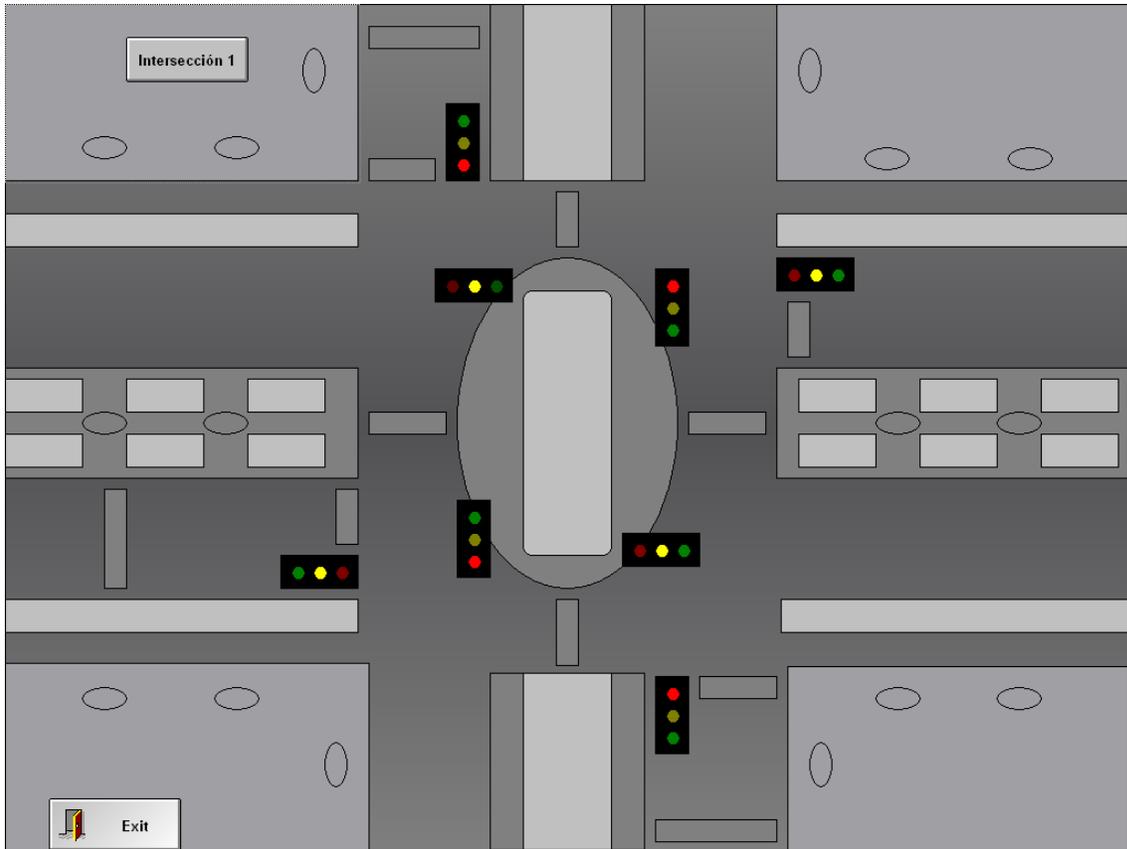
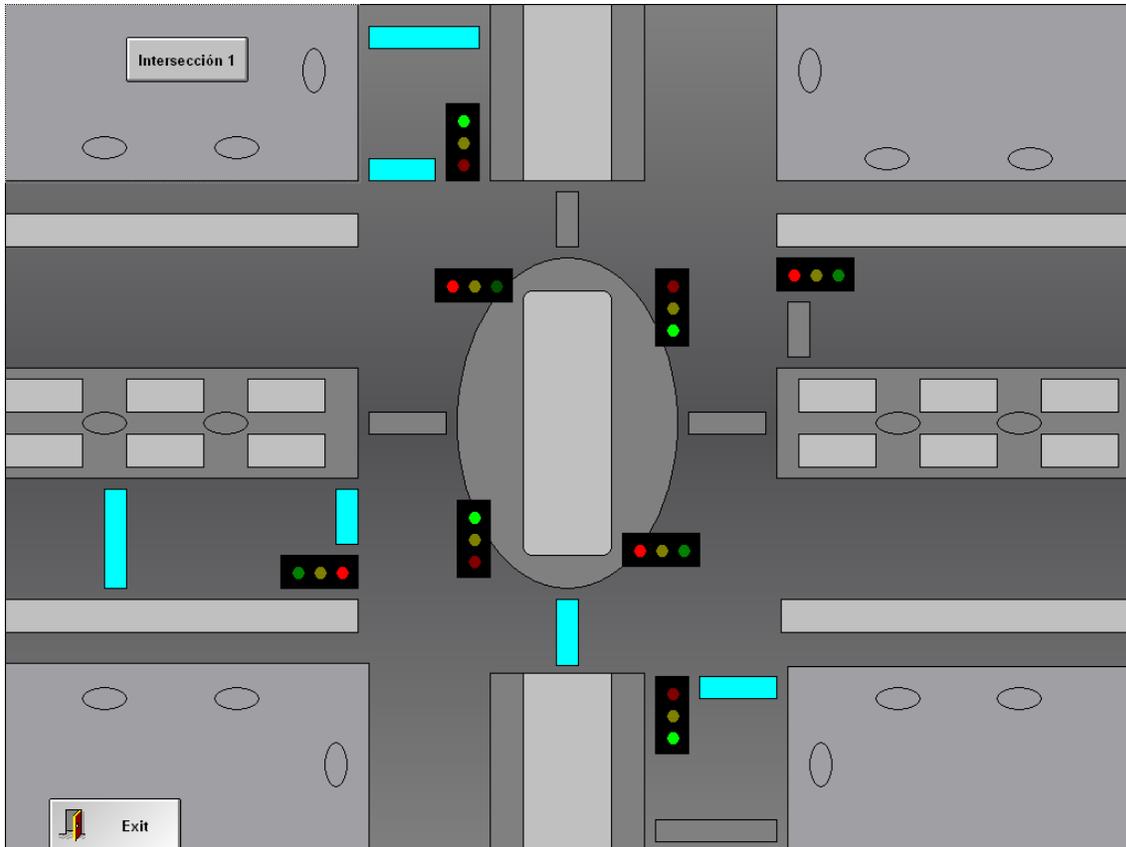


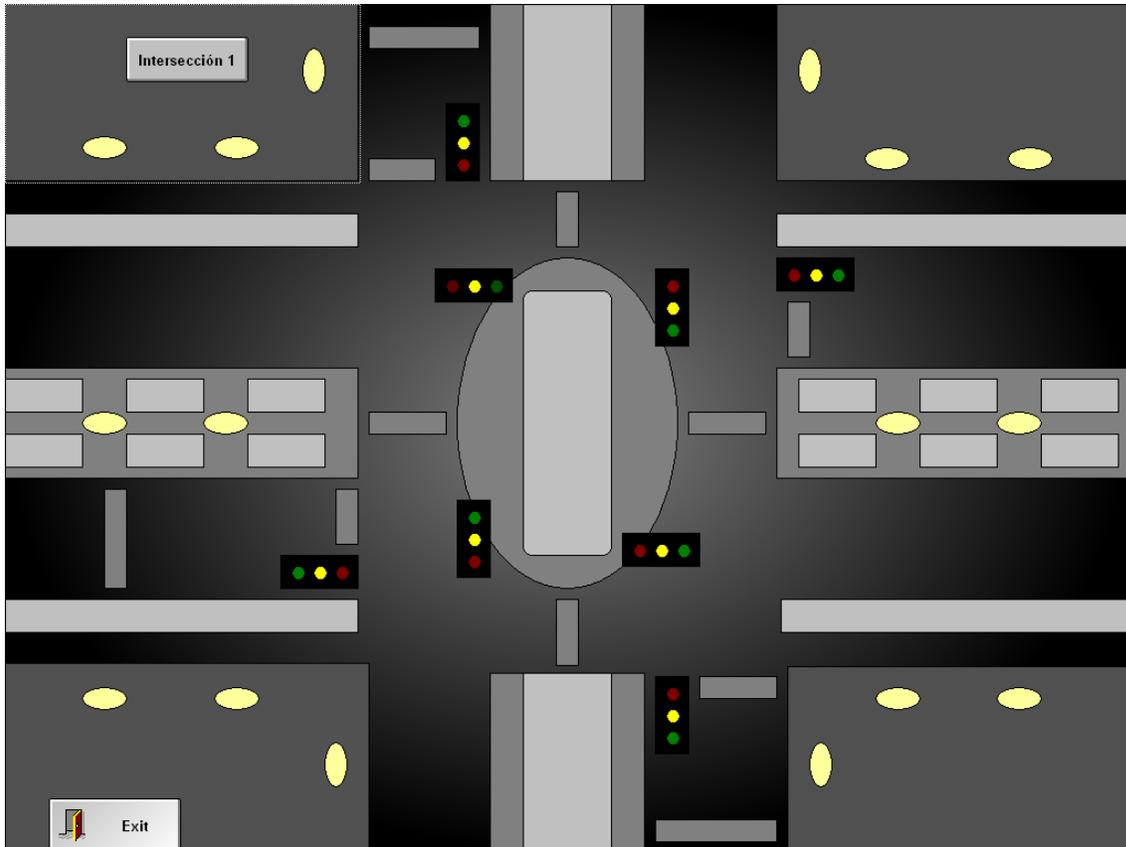
Figura 4.3.1. SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto.



*Figura 4.3.2 SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto, sensores de presencia activados.*

Los sensores se encienden uno en la intersección si la cola de vehículos no es muy larga, y dos si la cola de vehículos es larga. El operador puede monitorear como avanza esta cantidad con respecto al funcionamiento de los semáforos.

Por otra parte, la figura 4.3.3 muestra una toma de la pantalla del SCADA cuando los ciclos de la noche se han encendido. El operador puede saber si esto ha sucedido por el cambio del color de la pantalla. A su vez, el encendido de las luces de iluminación pública en la vía puede ser monitoreada ya que se muestran en color amarillo cuando están encendidas. En caso de haber algún problema con ellas, el operador podría monitorearlos desde su estación de trabajo.



*Figura 4.3.3 SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto, sistema nocturno.*

Para finalizar, la Figura 4.3.4 del sistema SCADA muestra la pantalla de la intersección de las avenidas Naciones Unidas y Amazonas. En esta pantalla se muestra la misma convención de colores que se ha utilizado en la intersección anterior, y que son comunes en todo el sistema. Además debe decirse que las pantallas de las distintas intersecciones pueden ser visualizadas cuando se presiona en la parte superior izquierda del programa. A su vez debe decirse que por el tipo de la comunicación existente entre los dos PLCs, las dos pantallas deben ser conectadas directamente a cada uno de los dos PLCs por separado para poder ver cada una de las dos pantallas.

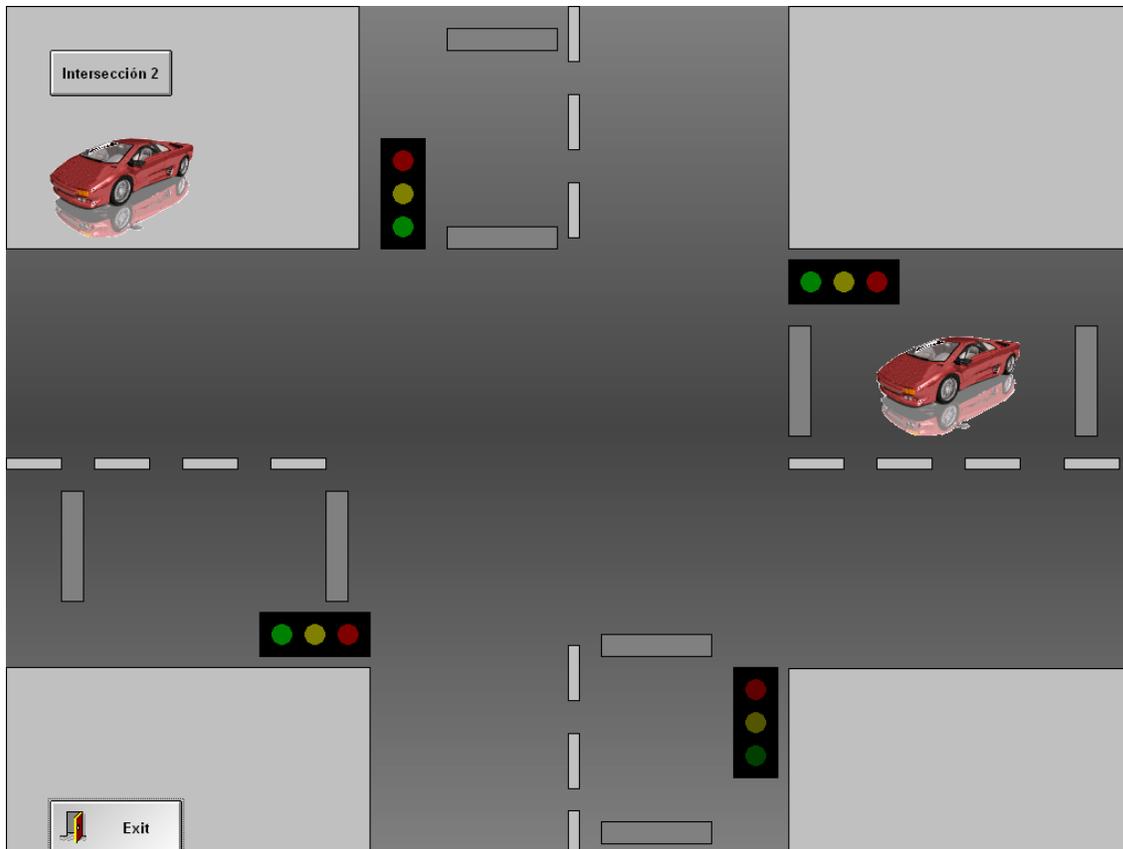


Figura 4.3.4. SCADA Intersección de las Avenidas Naciones Unidas y Amazonas.

Las figuras 4.3.5 y 4.3.6 muestran las variables que se utilizaron para la programación del sistema. En la primera de las mencionadas figuras se muestran las variables declaradas y el tipo de las mismas. En general puesto que la señal que maneja cada una de las direcciones de memoria es una señal digital de los sensores, o es una salida digital que controla alguna de las luces de la intersección, se tiene que el tipo de todas estas variables es booleana. La convención para nombrar las diferentes variables fue la siguiente:

Los dos primeros dígitos indican el PLC del que se toma la lectura, así por ejemplo P3 significa que la lectura es tomada del PLC que tiene la dirección 3. Debe decirse que los PLC tienen la dirección 2 y 3 y que la dirección 1 está reservada para la computadora que monitorea el sistema SCADA. Las siguientes Letras indican si la variable se relaciona con un sensor, esto se muestra con la letra S; si envés se tienen dos letras "SS" de indica que la variable se relación con el control de luz de un semáforo. El número siguiente indica el

semáforo que se desea controlar o el número del sensor. A parte se tiene que de un semáforo se distinguen los colores de las luces mediante los prefijos R (rojo), A (amarillo), V (verde).

La segunda figura de las mencionadas muestra las mismas variables con las convenciones y la dirección de memoria en la que se lee o escribe en el Controlador Lógico Programable (PLC). En general cada una de las variables es leídas en cada scan del programa de diseño utilizado.

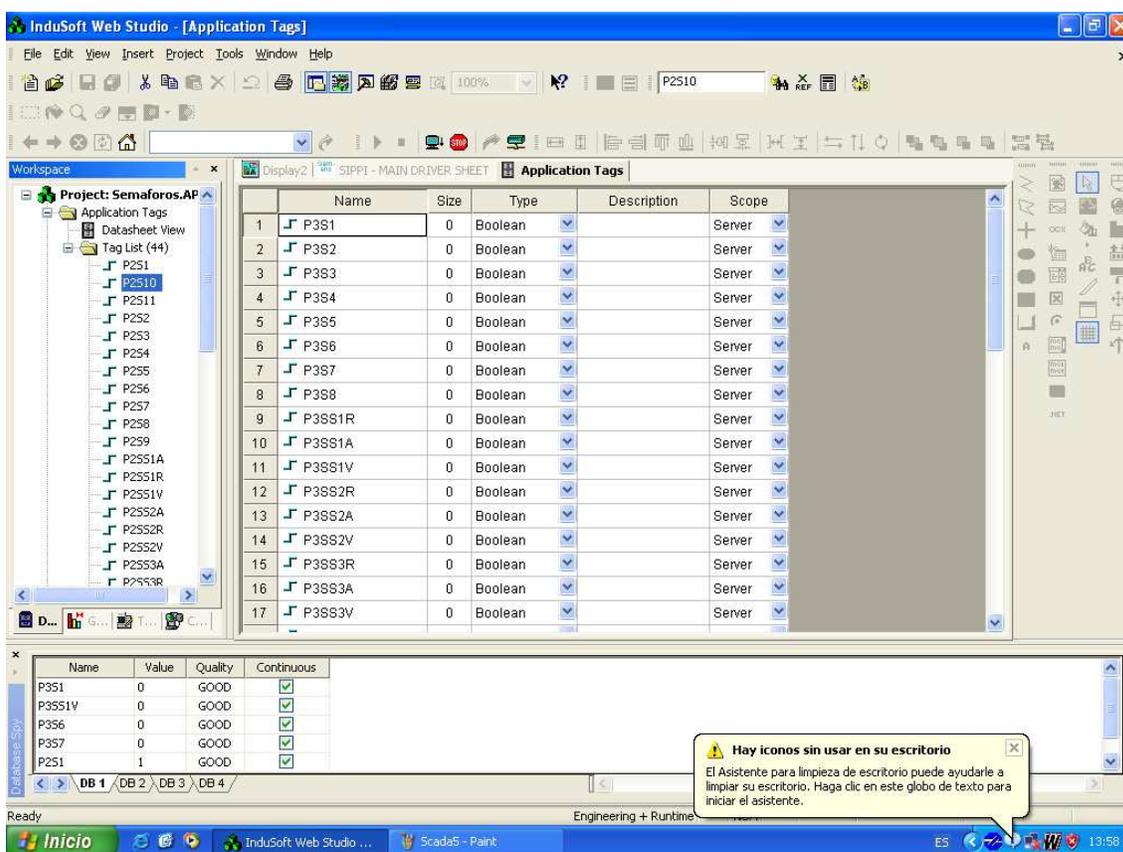


Figura 4.3.5 SCADA Cuadro de las variables utilizadas (Tags).

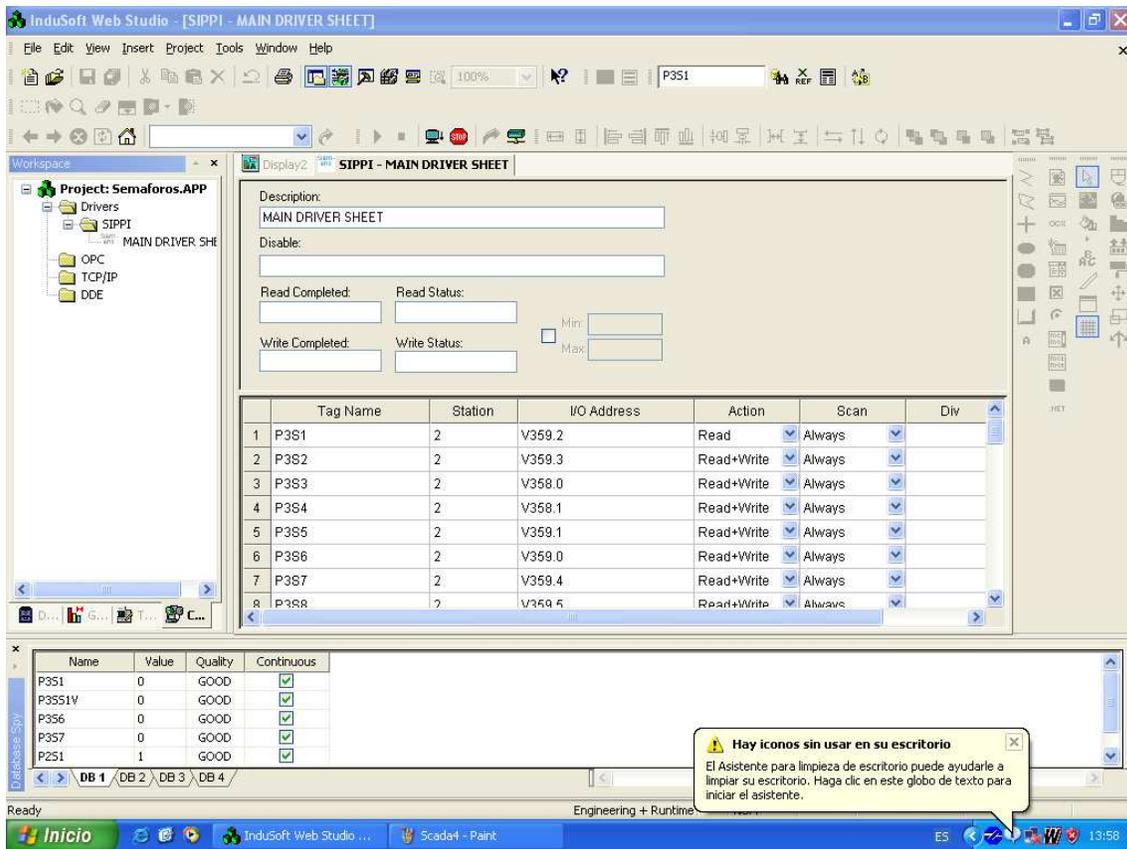
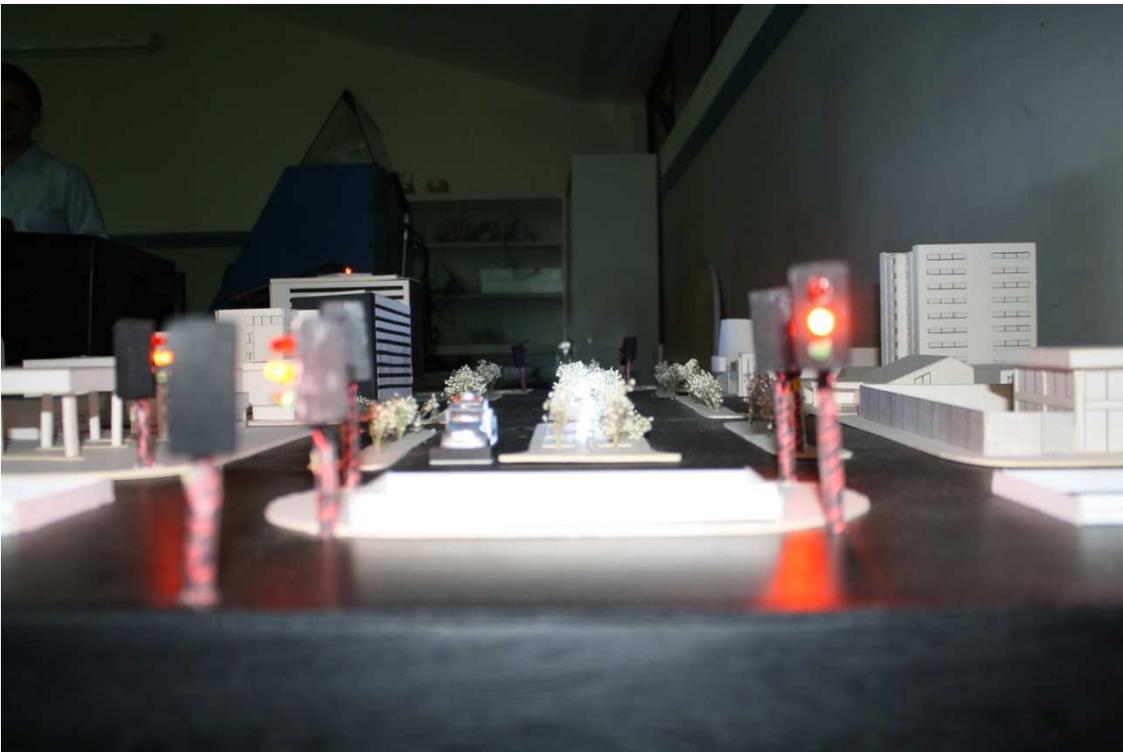


Figura 4.3.6 SCADA Cuadro de las variables utilizadas (Tags); lectura de las variables en la memoria del PLC.

## 5. Pruebas y Resultados

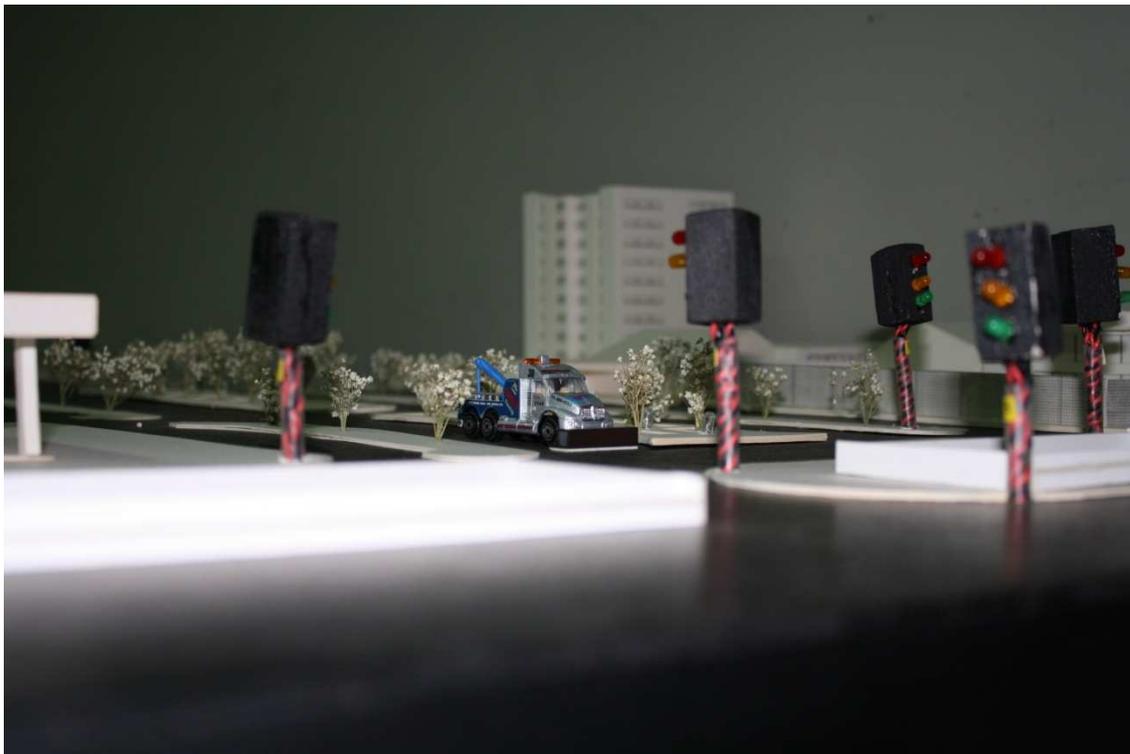
Para el sistema que se ha implementado existieron dos tipos de pruebas las cuales se detallan. En principio se hicieron las respectivas pruebas del diseño implementado en la maqueta. Este diseño se ha explicado en la sección 3.3. Como se puede demostrar en el proyecto, el controlador lógico difuso funciona de acuerdo al número de vehículos que se encuentran estacionados en cada uno de los sensores. La disposición de cada uno de los sensores se puede ver de forma esquemática en las pantallas del SCADA. Ver figuras 4.3.1 y 4.3.4.



*Figura 5.1 Implementación adaptada del Proyecto.*

De acuerdo a las pruebas hechas de los controladores se llega a determinar que el resultado de los mismos es muy bueno. La prueba debe ser realizada con el modelo, y por ello aquí únicamente se mencionan las conclusiones obtenidas. Para comenzar se tiene que el tiempo de los semáforos cambia de acuerdo a las condiciones que se presentan en el sistema de acuerdo a la información que se obtiene por medio de los sensores. El

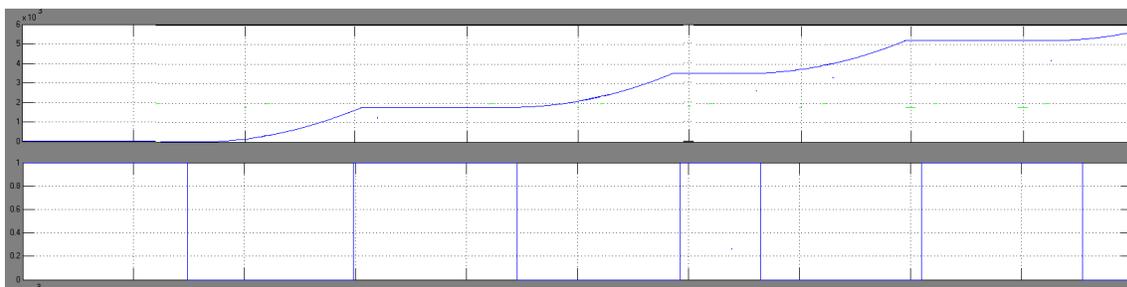
cuadro se muestra en la Figura 3.4 en donde se muestra que los tiempos de variación van desde los 10 segundos hasta los 50 segundos para el modelo implementado. En un modelo real estos tiempos podrían ser duplicados y los resultados serían muy buenos. De acuerdo con el cambio de tiempo en los intervalos, se tiene que más vehículos pueden pasar a través de la intersección y el flujo de vehículos se puede mejorar. Con respecto de las implementaciones actuales, esto es una ganancia ya que se optimiza el tiempo y los semáforos darán paso a la intersección que más congestionada se encuentre, no sin olvidarse de la otra.



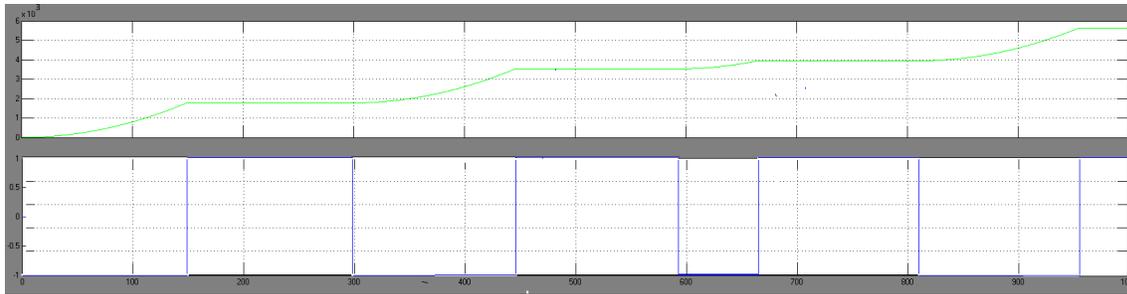
*Figura 5.2 Vista lateral de la intersección de las Avenidas Naciones Unidas y 10 de Agosto.*

Puesto que los resultados en la implementación no pueden ser sino solo descritos en este apartado, nos proponemos mostrar los resultados obtenidos de la implementación del modelo a mayor escala, el cual fue simulado por medio de un software de computación y lo principal se muestra a continuación.

En principio se debe notar que en la simulación presentada los dos controladores que se conectan en las intersecciones funcionan de forma alternada; es decir cuando el uno esta activado y calcula en tiempo de encendido, el otro se apaga y espera que transcurra el tiempo dado por el primer controlador para este realizar su función. Las graficas de las Figuras 5.3 y 5.4 muestran como los dos controladores interactúan entre sí. Se muestra a su vez la cantidad de vehículos que sale por cada una de las intersecciones. En estos gráficos debe notarse que la forma en que los vehículos se mueven está dada por una ecuación de movimiento uniformemente acelerado; hay dos razones para esto; la primera es que se ha simulado una aceleración que puede ser común para todos los vehículos, ni muy rápida ni muy lenta, y es más que nada un promedio tomado de un conocido fabricante de vehículos, lo que representa el movimiento general en una intersección. Por lo tanto ya que es un promedio, no se puede tomar en cuenta cada una de las velocidades. La segunda razón es que el límite de velocidad en el área urbana es de 50 km/h por lo tanto cuando se llega a esta velocidad el modelo debe hacer una desconexión de la aceleración y tomar una velocidad constante, lo que hace que el modelo pueda enviar resultados un poco menores pero lo real en el mejor de los casos legalmente hablando.



*Figura 5.3 Intersección 1. Sentido Norte Sur, Control de Tráfico. A) Cantidad de vehículos que cruzan la intersección. B) Tiempos de encendido del semáforo. Verde representa el estado encendido = 1, y rojo es representado por el estado encendido = 0.*

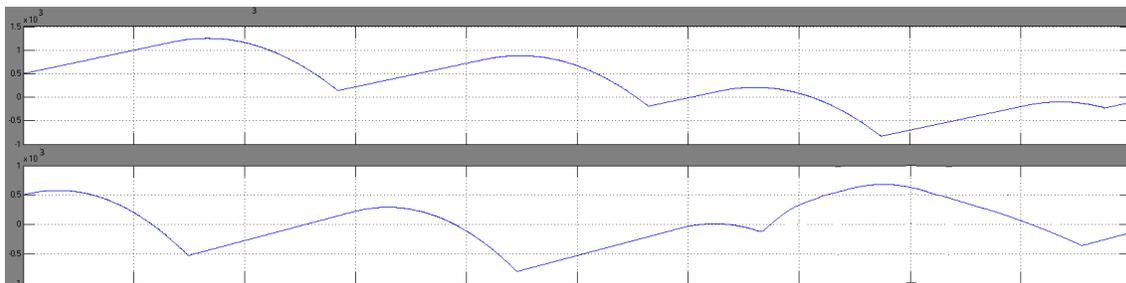


*Figura 5.4 Intersección 1.Sentido Ese-Oeste, Control de Tráfico. A) Cantidad de vehículos que cruzan la intersección. B) Tiempos de encendido del semáforo. Verde representa el estado encendido = 1, y rojo es representado por el estado encendido = 0.*

Ahora, una vez visto la forma en la cual los semáforos actúan, se puede ver la parte principal del proyecto, lo que se representa en la figura 5.4. Aquí se muestra la cantidad de vehículos que se encuentra en cada una de las intersecciones en cada uno de los momentos. Para esta simulación se ha supuesto una forma de entrada rampa de vehículos a las diferentes intersecciones. De aquí que a cada momento se supone que entran vehículos y se determina como responde el sistema de control difuso implementado. No es de extrañarse que la forma de la gráfica se cuadrática, ya que el movimiento es uniformemente acelerado, como se ha dicho; a demás en ciertas partes del mismo la pendiente de la misma tiende a ser constante, esto ocurre ya que la respuesta esperada de los conductores el sistema la satura a medida que se llega al límite de velocidad en el predio urbano.

Como puede verse aquí se tiene que el controlador prioriza las intersecciones que tienen una mayor cantidad de vehículos; esto puede verse en los tres primeros ciclos de la grafica a) aquí se ve que a medida que es la intersección con mayor cantidad de vehículos, el tiempo que los semáforos se mantienen en color verde es mayor que en la intersección b),

por lo tanto el nivel de vehículos cae, sin embargo ya que la intersección b se ha congestionado un poco, el controlador rectifica y controla el flujo en la misma. Poco a poco se llega a un equilibrio y estabilidad. De donde el controlador mostrado tiene un muy buen desempeño, véase la Figura 5.4.



*Figura 5.5 Cantidad de vehículos en cada una de las intersecciones. A) Sentido Norte-Sur. B) Sentido Este-Oeste*

## 6. Recomendaciones

- En términos generales, se cumplieron con éxito todas las metas impuestas al principio del proyecto, ya que se lograron instalar y establecer tanto los ciclos de semaforización con prioridad en ambas intersecciones, como los sensores de luz y de nivel para para inicio del ciclo nocturno y detección de agua en el paso a desnivel, respectivamente.
- A lo largo de la implementación del proyecto, se pudo notar la importancia de realizar un cableado organizado y etiquetado. Principalmente en proyectos como el presente, que constan de una gran cantidad de cables diferentes, resulta casi imposible realizar modificaciones y reparaciones en el prototipo sin esta organización. Además, la programación en el PLC se vuelve mucho más rápida el momento de saber mediante etiquetas, que entrada o que salida pertenece a que luz de cada semáforo.
- Dentro del cableado, también es importante mencionar que la calidad y el ancho de cable que se utilice influye directamente en la robustez del sistema. En nuestro caso se utilizó cable 20 en los circuitos y cable 14 para el cableado general. Esto nos proporcionó mucha más fiabilidad en las conexiones, a diferencia del cable UTP común que suele equivocadamente usarse en proyectos de este tipo.
- El uso de borneras para realizar las conexiones también resulta de bastante utilidad en este tipo de prototipos. Mediante su uso, se evitan una gran cantidad de conexiones complicadas y soldaduras. Además, se puede fácilmente puentear estas borneras para así crear ya sea un positivo o una tierra común de varios elementos del sistema, facilitando así la conexión a la fuente principal.
- En cuanto a los sensores que se utilizaron en el proyecto, concluimos que siempre es recomendable conocer perfectamente tanto su funcionamiento, como su sensibilidad y condiciones de operación. En este proyecto en particular, como los 3

tipos de sensores que se utilizaron son básicamente de presencia (Capacitivo, de luz y magnéticos), vimos se deben realizar pruebas para conocer exactamente a que distancia del objeto el sensor detecta. Con esto se podrá realizar una instalación adecuada de los mismos. Además es importante conocer la alimentación a la que trabaja el sensor, para evitar que alguno de ellos se quemara. En caso de requerir voltajes diferentes a los que proporciona la fuente principal o el PLC, se debe utilizar Relés de contacto, como fue el caso del sensor capacitivo.

- En cuanto a lo que es la programación del PLC, es recomendable comenzar con ella el momento que ya todo se encuentra conectado, y que se conoce exactamente a que entradas y salidas corresponde cada elemento del prototipo. Además, ya en la programación en sí, se debe tratar también de ser muy ordenado y metódico. Por ejemplo, utilizar correctamente los espacios de memoria del PLC, resetear los timers o las variables al final de cada network para evitar que estas se queden prendidas y confundan al resto del programa, etc , son factores que influirán directamente en el buen funcionamiento y la efectividad del programa.
- Finalmente, en lo que se refiere al encendido de los LEDs para la iluminación y la semaforización de la maqueta, es extremadamente importante realizar los cálculos de los valores de resistencias a utilizarse en cada caso. Es de conocimiento general que el encendido de un diodo LED se da entre los 25 y los 50 mA, por lo que el cálculo debe realizarse de esa forma de acuerdo a la intensidad que se necesite. De esta manera se evitara que los diodos se quemaran a causa de una sobre corriente.

## **7. Implementación real del proyecto en la ciudad**

Retomando lo que se mencionó al inicio de este escrito, el presente proyecto de tesis se inició con dos metas fundamentales. En las páginas previas se han abarcado a profundidad todos los fundamentos teóricos y las estrategias de ingeniería que levantaron el diseño de control de tráfico inteligente para uno de los sectores más congestionados de la ciudad de Quito en la actualidad. Con esto, ya solo nos queda viabilizar el proyecto de manera que este pueda ser aplicado directamente a la realidad de la ciudad, tomando en cuenta la infraestructura de las vías, la factibilidad de instalación de sensores y sobre todo, buscando que el presupuesto económico requerido se encuentre dentro de valores manejables para el municipio. A continuación se presenta un pequeño informe detallando materiales, estrategias de instalación y costos para llevar a cabo la implementación real del proyecto.

### **7.1 Materiales y estrategias propuestas para la implementación física del proyecto.**

Para la implementación física del proyecto, deben tomarse en cuenta muchos aspectos que pese a ser ajenos a la propuesta teórica que hacemos por medio de esta tesis, son de gran influencia al momento de llevarlo a cabo en la ciudad. La principal dificultad que se tendría, es la selección del sensor que nos va a permitir saber la presencia de automóviles

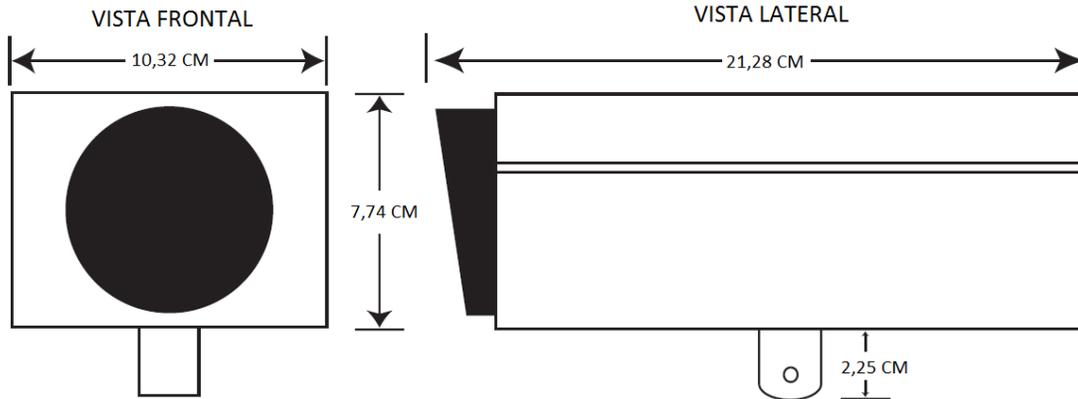
en cada una de las calles e intersecciones seleccionadas, tanto por el costo, como por el tipo de adecuaciones que se tendrían que hacer ya sea en las calzadas o en las calles, dependiendo justamente del tipo de sensor. Además existen factores externos que podrían degradar físicamente a los dispositivos como son lluvias, altas temperaturas, influencia de peatones, etc. Por todo lo antes mencionado, se ha realizado una minuciosa investigación de los dispositivos existentes en el mercado, para determinar cuáles serían las que satisfaciendo de forma precisa y robusta los objetivos del proyecto, entren dentro de un presupuesto asequible para el municipio de Quito.

#### **7.1.1 Sensores de Ultrasonido para detección de vehículos**

La primera opción que presentamos es el sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular introducido al mercado por la empresa norteamericana MS SEDCO. En la figura 7.1 a continuación podemos apreciar físicamente al dispositivo, conjuntamente con sus dimensiones.

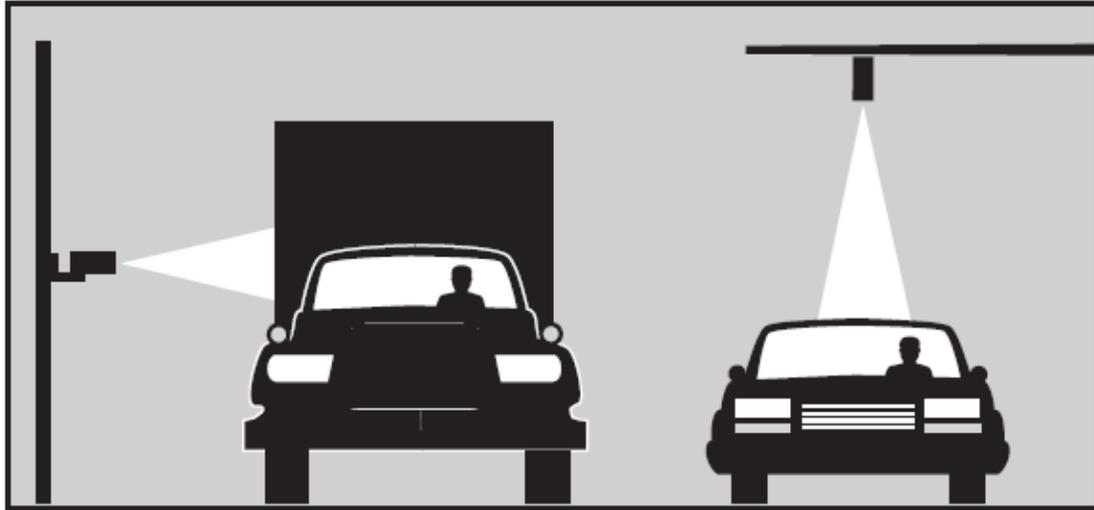


*Figura 7.1.1* Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular



*Figura 7.1.2 Dimensiones del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular*

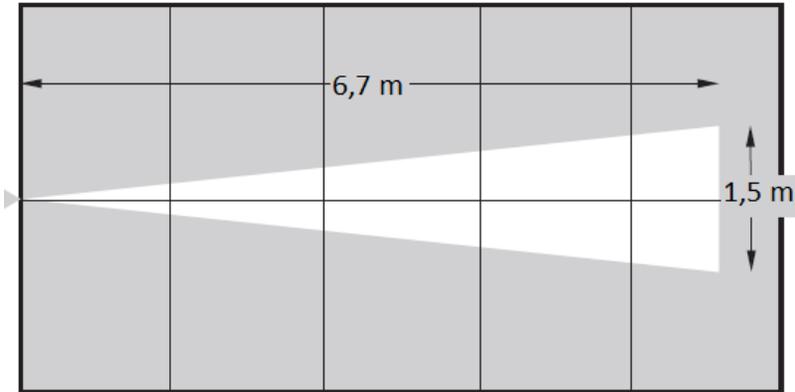
Este dispositivo basa su funcionamiento en la emisión de ondas ultrasónicas, que rebotan a un receptor ubicado en el mismo sensor, permitiendo conocer la presencia o no de un vehículo en un área estratégica de la vía. Tomando en cuenta las dimensiones del sensor, y su modo de operación, este puede ser instalado de dos formas distintas como se muestra en la figura 7.2, buscando siempre la máxima eficiencia de operación.



*Figura 7.2 Formas de operación del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular*

De este diagrama, la opción más eficiente para nuestro propósito de detección de vehículos, es definitivamente la segunda. Decimos esto, ya que con esta configuración, garantizamos la detección de todo tipo de vehículos, ya sean estos altos o medianos, sin dejar expuesto el dispositivo a daños producidos ya sea por choques o manipulación de peatones.

En la figura 6.3 se presenta el rango de cobertura del sensor, con lo que fácilmente podemos intuir la altura a la cual se debe realizar la instalación.



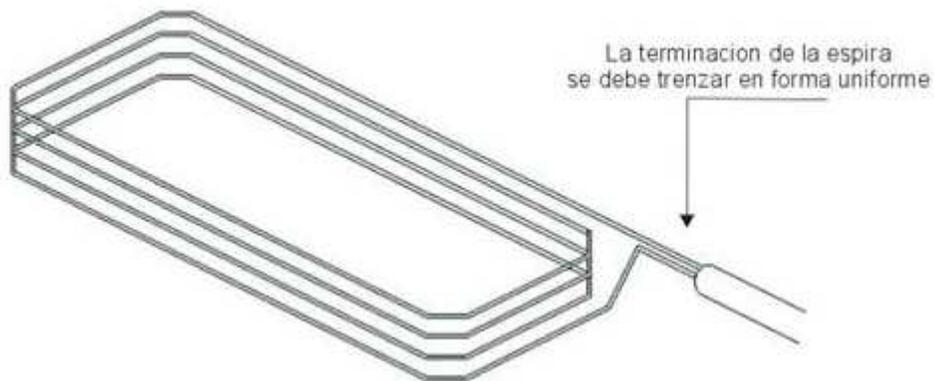
*Figura 7.3 Rango de cobertura del Sensor ultrasónico TC30 de presencia vehicular*

Con estos datos, teniendo una distancia vertical máxima de alcance de 6,7 metros, garantizamos que el sensor instalado a una altura entre 4 y 5 metros tendrá una cobertura perfecta para nuestra aplicación.

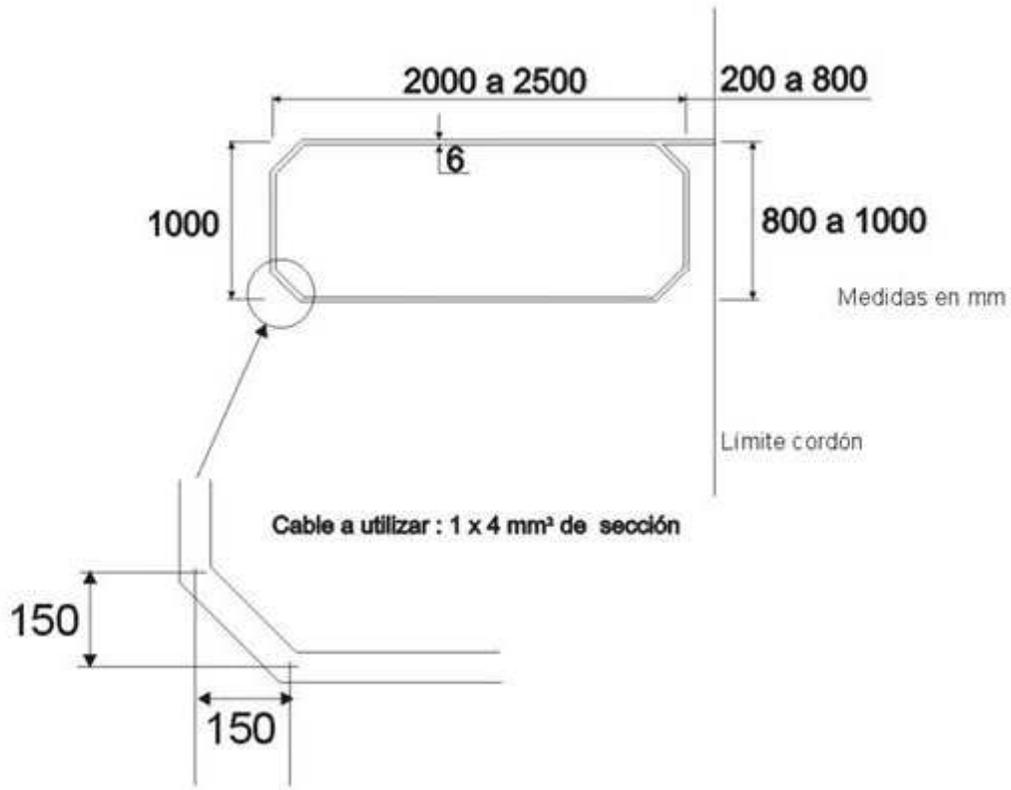
Otra ventaja de este dispositivo es que su conexión es bastante simple y es totalmente compatible con las condiciones de amperaje y voltaje de la ciudad. Su corriente promedio de funcionamiento es de 150mA, pudiendo trabajar con 12V DC o 24V AC e incluso algunos valores más. Además su consumo de potencia es de máximo 3,6 watts a 24V, lo cual es una cantidad manejable en todos los aspectos. Incluso se puede considerar que el funcionamiento de este tipo de sensores es bastante sencillo ya que opera como un relé, es decir, manda o no señal a la unidad de control dependiendo si detecta o no presencia vehicular.

### 7.1.2 Sensores de Espiras Magnéticas subterráneos para detección de vehículos

La otra opción que se presenta son los sensores de espiras magnéticas que se colocan bajo el pavimento para la detección de vehículos como la que se muestra en la figura 6.4. Estos son dispositivos que detectan la presencia de vehículos por medio de un cambio en la inductancia que se origina cuando el móvil pasa por encima del Lazo inductivo formado por la espira. Esta señal es recibida y procesada por un micro controlador, el cual se encarga de la discriminación de la señal según la sensibilidad que se requiera en las espiras. Obviamente esta opción es mucho más económica que la anterior, ya que requiere únicamente de crear espiras metálicas bajo el pavimento como se muestra en la figura 6.5, y conectarlas a una masa metálica que es la que detecta el cambio de inductancia en la espira.



*Figura 7.4.1 Diagrama de una espira magnética para detección vehicular*



*Figura7.5 Dimensiones de instalación de una espira metálica bajo el pavimento*

El problema de la implementación de este tipo de sensores, es que van debajo del asfalto, lo que significa que se necesitaría levantar el pavimento de todas las vías para poder instalarlos. Además, tomando en cuenta los estragos que causaría una obra de estas en la ciudad de Quito, sumado a que el material utilizado en las vías no es el óptimo para la protección de las espiras, se dificultaría un poco pese a ser una opción mucho más económica que la anterior.

La profundidad de instalación de las espiras se ilustra en la figura 6.6 a continuación:

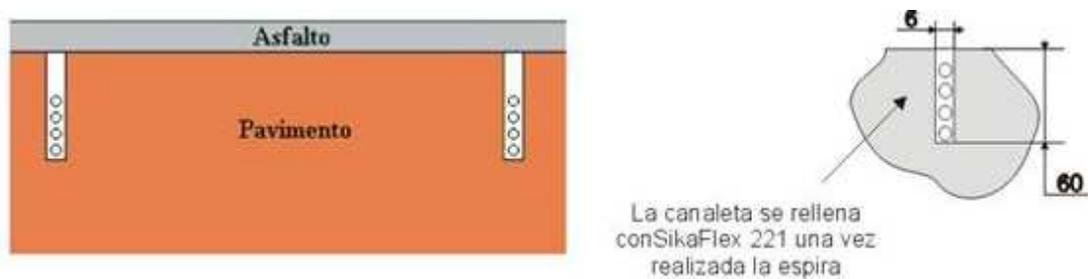


Figura 7.6 Profundidad de instalación de una espira magnética

### 7.1.3 Dispositivos de Control para semaforización inteligente

Como mencionábamos al inicio de este capítulo, la parte fundamental para que la presente tesis pueda ser puesta en práctica en la ciudad, era la selección de los sensores que nos permitan implementar el sistema de control difuso. Además se debe tomar en cuenta que para implementar el proyecto, se puede sin ningún problema utilizar el o los controladores que obligatoriamente ya deben estar instalados en ambas intersecciones, controlando los tiempos de verde de cada semáforo.

Sin embargo, es importante incluir información acerca de los controladores que nosotros recomendaríamos para esta aplicación en particular, tomando en cuenta la magnitud del proyecto y las limitaciones de presupuesto que pueden existir durante la implementación. Luego de investigar un poco los controladores que existen para sistemas de semaforización en el mercado, que sean adaptables a nuestras calles, creemos que la siguiente podría ser una buena opción para la implementación real, tomando en cuenta

todas sus bondades en control de tránsito, y su costo accesible para economías no exuberantes.

## GENIUS II



*Figura 7.7 Controlador de tráfico Genius II instalado en las calles de Santiago de Chile para el control de tráfico vehicular*

El Genius II, como se muestra en la figura 6.7, es un controlador diseñado en Chile para manejar los elementos de semáforos en una o varias intersecciones, específicamente para normas de control de tránsito latinoamericano en ciudades medianas. Este equipo puede

controlar hasta 4 intersecciones simples y tiene varios modos de funcionamiento, por lo que podría tranquilamente ser suficiente en la implementación de la presente tesis para nuestras 2 intersecciones. Dentro de sus principales bondades tenemos (Para mayor detalle, dirigirse a la hoja informativa del dispositivo en el anexo 3):

- 8 etapas vehiculares configurables, con 24 salidas físicas.
- 8 entradas para detección vehicular bidireccional (sensores)
- Monitoreo permanente del estado de los semáforos y sensores en tiempo real
- Opciones de estados conflictivos con detección de fallos que pueden ser registrados en el tiempo.
- Fácilmente reprogramable y borrable para el usuario
- Conexión sencilla y segura del tipo RS-232 y USB, que permite interacción con todo tipo de computadoras.

#### **7.1.4 Cables utilizados para implementación de sistemas viales**

Al igual que en el caso de los controladores, el tema del cableado vial es un elemento que ya se encuentra estandarizado en cada ciudad, tanto en los tipos de cable que se utilizan, como en su forma de distribución e instalación. Por esta razón, la idea sería cablear los sensores de ultrasonido lo más similar posible al cableado que tienen los semáforos actualmente, pese a ser sistemas completamente independientes los semáforos y los

sensores en el modelo que estamos proponiendo. Entonces tendríamos que considerar 4 tipos de cables:

**Cable para uso subterráneo o aéreo:** Son aquellos que se instalan desde el equipo controlador, hasta el tablero de borneras que se encuentra ubicado en el interior de las columnas, donde se encuentran los semáforos y en este caso se instalaran los sensores. Se debe intentar evitar los empalmes en el interior de estas columnas.

**Cable para uso intemperie:** es el cable que se encuentra dentro de las columnas o tubos y va desde la bornera de las columnas, hasta las borneras de los sensores.

**Cable desnudo:** es el cable que interconecta todas las jabalinas de puesta a tierra de las columnas y el equipo controlador.

**Cable para sincronismo de equipos controladores.** Es cable de comunicación que se utiliza para enlazar los controladores en este caso de las dos intersecciones en gestión. Generalmente este cable es de tipo telefónico, apantallado y armado con doble fleje de acero, de 0.90 mm de diámetro de cada conductor y de seis (6) pares como mínimo. El tendido de los cables se lo realiza por los conductos de una red de sincronismo y se conecta al equipo controlador al punto desde donde se suministra la señal para la sincronización del mismo.

## **7.2 Presupuesto aproximado requerido para la implementación.**

Como mencionamos anteriormente, la clave de la implementación de este proyecto de semaforización inteligente, radica en la selección de sensores para la detección de presencia vehicular. Decimos esto ya que dispositivos anexos como controladores, o cableado para las conexiones entre semáforos, son materiales que normalmente ya se incluyen en un sistema de semaforización común y corriente de cualquier ciudad del mundo. Sin embargo, incluiremos todos estos elementos en base a la información anteriormente detallada, de manera de poder crear una proforma real que nos proporcione una clara idea del costo de implementación del proyecto en la ciudad de Quito.

| RUBRO              | DESIGNACION COMERCIAL                         | TIPO                    | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO *[\$] | COSTO [\$] |         |
|--------------------|---|-------------------------|--------|----------|-----------------------|------------|---------|
|                    |   |                         |        |          |                       | PARCIAL    | RUBRO   |
| <b>Controlador</b> | Controlador de tránsito Genius II             | --                      | --     | 1        | 1725                  |            | 1725    |
| <b>CABLE</b>       | 2,5 mm <sup>2</sup> AWG #12                   | Unipolar uso interperie | metros | 1200     | 0.36/m                | 432        | 723.50  |
|                    | 1,5 mm <sup>2</sup> AWG #14                   |                         |        | 550      | 0.53/m                | 291.50     |         |
| <b>SENSORES</b>    | SEDCO ultrasónico TC30 de presencia vehicular | --                      | --     | 16       | 180                   | 2880       | 2880    |
| <b>VARIOS</b>      | Clavos, cinta aislante, etc.                  |                         |        | -        | -                     | 50         | 50      |
|                    | <b>TOTAL</b>                                  |                         |        |          |                       |            | 5378.50 |

Figura 7.2.1 Tabla de Precios

\*Los precios que se presentan en la tabla anterior, son precios de mercado que proponen los distintos proveedores nacionales y extranjeros para compras al por mayor.

Ahora, con el costo de materiales ya establecido, se puede hacer una evaluación del costo final total del proyecto, tomando en cuenta otros factores que necesariamente deben ser incluidos dentro del presupuesto para la instalación como son el costo de mano de obra, costos sociales, impuestos, entre otros.

### 7.3 Determinación del precio de venta de una instalación eléctrica

| ITEM                              | COSTOS [\\$]                   |         |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------|
|                                   | CALCULO                        | RUBRO   |
| Costo de materiales               | -                              | 5378.50 |
| Costos de la mano de obra directo | 1.5 hora hombre/ dia           | 600     |
| Costos de las cargas sociales     | 40% de mano de obra            | 240     |
| Impuestos                         | 15% de los 2 rubros anteriores | 126     |
| Gastos generales de la obra       | -                              | 6344.50 |

*Figura 7.3.1 Costo Total*

Finalmente, con los datos que se presentan en la tabla anterior, podemos concluir que el costo de implementación física del proyecto de semaforización inteligente para estas dos intersecciones de la ciudad de Quito, es de aproximadamente 6344 USD.

## 8. Bibliografía

- Casadellled. <<http://www.casadellled.com.ar/ZZ-GY-S0001B,ZL-503RCA2.pdf>>
- “ Controlador de tráfico GENIUS II” <[http://www.geniuschile.cl/files/controlador\\_geniusII.pdf](http://www.geniuschile.cl/files/controlador_geniusII.pdf)>
- Google Earth. < <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>>
- Kok Khiang Tan, Marzuki Khalid and Rubiyah Yusof. “Intelligent traffic lights control by fuzzy logic” <<http://mjcs.fsktm.um.edu.my/document.aspx?FileName=13.pdf>>
- Pedraza Martínez Luis Fernando. “Modelo de control de tráfico vehicular” <[http://www.sick.com/es/es/home/products/product\\_portfolio/industrial\\_sensors/Pages/capacitive\\_proximity\\_sensors.aspx](http://www.sick.com/es/es/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/Pages/capacitive_proximity_sensors.aspx)>
- Quito Distrito Metropolitano. <[http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news\\_user\\_view/121\\_mil\\_844\\_vehiculos\\_revisados\\_en\\_quito--140](http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/121_mil_844_vehiculos_revisados_en_quito--140)>
- “Manual del sistema de automatización S7-200 Siemens” <<https://www.swe.siemens.com/spain/web/.../S7200ManualSistema.pdf>>
- Sanchez. Alberto, “Notas de Clase, Control Difuso.” Fall 2011.
- “SEDCO TC30 Ultrasonic Sensor” < [http://www.mssedco.com/tc30\\_sensor.htm](http://www.mssedco.com/tc30_sensor.htm)>
- Sensores de Alarma. <[http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-137037125-sensor-magnetico-de-embutir-para-todo-tipo-de-alarma-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-137037125-sensor-magnetico-de-embutir-para-todo-tipo-de-alarma-_JM)>
- Sensor Capacitivo. <<http://www.tme.eu/es/details/cm30-25npp-kc1/sensores-de-volumen/sick/>>
- “Sensores de Espiras Magnéticas” <<http://www.sictranscore.com.ar/Sensor%20Loops%20Espiras.html>>

- Stephen Chiu and Sujeet Chand. "Self-Organizing Traffic Control via Fuzzy Logic" <<http://chius.homestead.com/files/FuzzyTrafficCtrl.pdf>>
- "SICK sensor intelligence" <[http://www.sick.com/es/es-es/home/products/product\\_portfolio/industrial\\_sensors/Pages/capacitive\\_proximity\\_sensors.aspx](http://www.sick.com/es/es-es/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/Pages/capacitive_proximity_sensors.aspx)>

## 9. Anexos

### Manual del usuario



Universidad  
San Francisco  
de Quito

Quito, 31 de Enero del 2012

A continuación se presenta un breve manual que explica al usuario como interactuar con el prototipo de semaforización de manera que no existan complicaciones al momento de su funcionamiento.

1. **Alimentación de los circuitos:** El primer paso para la interacción con el prototipo es asegurarse que la alimentación de todos los circuitos sea la correcta. Las conexiones ya se encuentran listas pero siempre es bueno verificar para evitar quemar los dispositivos. El positivo y la tierra común de los semáforos y la iluminación van a la fuente de 24V, al igual que el relé que se activa con el sensor capacitivo. Por su parte, el sensor de luz y el circuito de la flecha de señalización van alimentados con 5V. El relé capacitivo posee su propia alimentación de 24V.
2. **Encendido del prototipo:** Una vez verificados los voltajes de alimentación anteriormente mencionados, ya se puede encender prototipo. Para esto, se encienden los dos PLCs y la fuente de voltaje. Además se deberá encender la caja negra de alimentación del sensor capacitivo, y el protoboard que está siendo utilizado como fuente de 5V.



switch del PLC



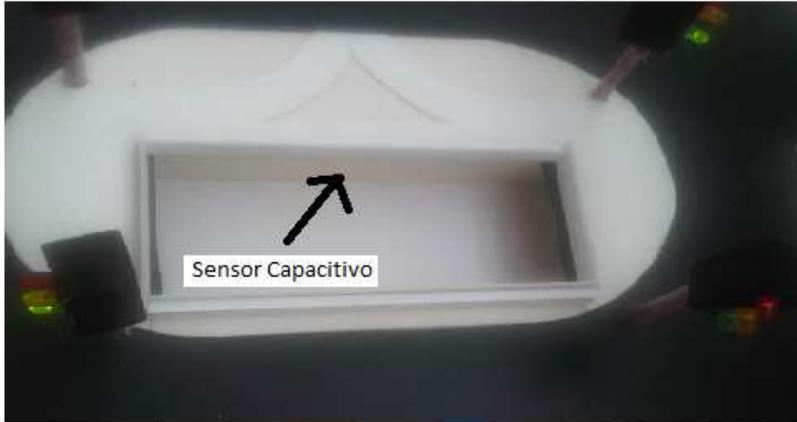
switch de la fuente



switch de la fuente para el sensor  
capacitivo

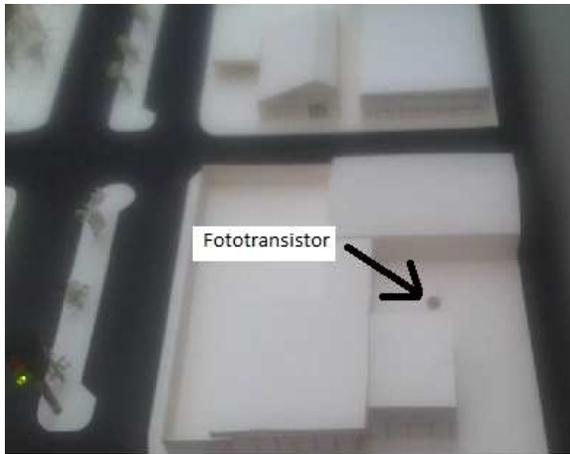
### 3. Funcionamiento de los sensores capacitivo y de luminosidad:

- a) *Sensor Capacitivo*. El sensor capacitivo se encuentra ubicado en un punto estratégico por debajo de la maqueta de manera que se pueda detectar la presencia de agua en el paso a desnivel de la Av. 10 de agosto. Es por esto que para simular este fenómeno, basta con verter agua dentro del recipiente ubicado dentro del paso a desnivel. El momento que el agua alcance la altura crítica de aglomeración de agua, usted podrá ver que en la pantalla de LEDs ubicada en la parte superior del puente, se enciende una flecha verde que obliga a los vehículos a desviarse. Tenga mucho cuidado al momento de verter el agua en el recipiente, procurando no mojar la maqueta.

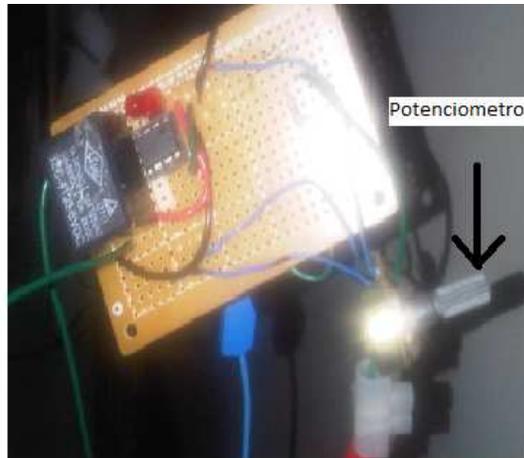


Ubicación del sensor de Nivel de agua en la maqueta

- b) *Sensor de Luz*. El sensor de luz se encuentra ubicado detrás de unas casas ubicadas en la primera parte de la maqueta (intersección de NNUU y 10 de Agosto) al lado derecho, yendo por la Av. NNUU de Oeste a Este. Allí usted podrá ver un pequeño fototransistor de color naranja. Para simular el efecto de noche, basta con apagar las luces o tapar con su mano dicho fototransistor. Automáticamente después de que usted haga esto, se encenderán todas las luminarias blancas de la calle y los semáforos pasaran a su modo nocturno de luces amarillas intermitentes. Además usted podrá ver que en el tope del actual edificio del registro civil, se enciende una luz radiante que cambia de colores, adornando el entorno de la maqueta. Para dejar el modo nocturno y volver al ciclo de día, simplemente retire su mano del fototransistor. Para calibrar la sensibilidad del sensor de luz, busque el circuito que se encuentra pegado en la parte posterior de la maqueta justamente debajo del fototransistor. Allí regule utilizando el potenciómetro, guiándose en el encendido del LED incluido en el mismo circuito.



Ubicación del Sensor de Luz en la maqueta



Potenciómetro para la calibración del sensor de luz

#### 4. Simulación de tráfico

Nótese que desde el momento que usted pone a funcionar el sistema, sin vehículos en las vías, los semáforos funcionan con el ciclo real de las dos intersecciones. Para simular un sistema de semaforización inteligente, tome los carritos y asegúrese que estos cuenten con el imán bien colocado y asegurado en su parte frontal. Dispóngalos en las vías, aglomerando más autos en las vías donde usted quiere apreciar el efecto de los sensores ubicados en las vías para evitar la congestión vehicular. El prototipo cuenta con 20 sensores magnéticos, ubicados en lugares estratégicos. Cada calle, posee un sensor justamente en el cruce que se produce cuando llega a una intersección. Además, también se tienen sensores en cada calle a distancias considerables de la intersección. Esto le permite al sistema detectar cuando hay aglomeración de vehículos que llegan hasta estas distancias, y tomar decisiones como por ejemplo alargar el ciclo de verde en una vía congestionada hasta que el sensor de mitad de calle deje de detectar presencia. De esta manera usted puede simular un sin número de escenarios reales y ser testigo de la eficiencia y precisión que puede proporcionar un sistema de semaforización inteligente al momento de tener una vía congestionada.



Ejemplo de disposición de tráfico

Si tiene cualquier duda acerca del funcionamiento del prototipo, que no haya sido aclarada a lo largo de este breve manual, no dude en contactarnos. Estaremos muy gustos de atenderlo.