TESIS
IT 2007
665
V.1

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES

"DISEÑO DE UN SEMÁFORO INALÁMBRICO, SOPORTADO POR UN SUBSISTEMA DE LA PLATAFORMA DE CONTROL DE TRÁFICO PISACOTA"

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR	Marian Gómez Carolina Mas
PROFESOR GUÍA	Iñaki Mendizabal
FECHA	Caracas, 21 de febrero del 2007

Resumen

El presente Trabajo Especial de Grado, titulado "**Diseño de un semáforo inalámbrico, soportado por un subsistema de la plataforma de control de tráfico PISACOTA**", consiste en el diseño de una comunicación inalámbrica, para el control de semáforos, formando parte del proyecto PISACOTA (**P**lataforma **I**ntegrada para el **S**eguimiento, **A**nálisis y **CO**ntrol del **T**ráfico **A**utomotor), el cual busca ser una alternativa destinada a mitigar los efectos del congestionamiento del tráfico vehicular. Este subsistema está compuesto por 5 unidades: Unidad de Simulación de Central (USC), Unidad de Transmisión Inalámbrica (UTI), Unidad de Control de Intersección (UCI), Unidad de Control de Semáforo (UCS) y prototipos de semáforos.

Una vez esquematizado el diagrama general del sistema y elegidos los dispositivos que conformarían cada unidad, considerando el protocolo de comunicación "central-intersección", previamente acordado con los encargados de desarrollar el software de la Central; se procedió a realizar los diagramas de flujo de los microcontroladores y el diagrama esquemático de los circuitos impresos. Debido a que la central no cuenta actualmente con todas las herramientas necesarias para la integración de este subsistema, fue necesario complementarlo con el desarrollo de una aplicación que permitiera introducir y observar los datos manejados por la central.

Por consiguiente todo el proceso metodológico establecido, junto con las actividades de investigación, reuniones, visitas y desarrollo, elaborado en estos últimos meses, permitieron obtener un subsistema capaz de controlar una intersección sincronizada, compuesta por 4 semáforos vehiculares y 4 semáforos de peatones, dotados de dos botones (alarma y peatones). Así como también, capaz de reportar a la Central, el estado de la conexión con cada una de las Unidades de Control de Semáforo (UCS) y las solicitudes de alarma y paso de peatones. Este reporte se visualiza a través de la aplicación USC, encargada de simular las características de la central, necesarias para este subsistema.

Palabras claves: microcontrolador, tecnología inalámbrica, PISACOTA, semáforo, sincronismo.

Índice General

Introducción 1

Capítulo I 2

Planteamiento del Proyecto 2

I.1.- Planteamiento del Problema 2

I.2.- Objetivos 4

1.2.1.- General 4

1.2.2.- Específicos 4

I.3.- Alcance y Limitaciones 5

Capítulo II 7

Marco referencial o teórico 7

Capítulo III 25

Metodología y Desarrollo 25

III.1.- Diseño del sistema de control de semáforos inalámbrico 26

III.2.- Selección del microcontrolador a emplear para el control de intersección y su justificación 27

III.3.- Selección del microcontrolador a emplear para el control de los semáforos y su justificación 29

III.4.- Selección de la Tecnología inalámbrica a emplear y su justificación 30

III.5.- Comunicación USC - UTI 32

III.6.- Comunicación UCI – UCS 33

III.7.- Formato de tramas 34

III.8.-Unidad de Simulación de la Central (USC) 36

III.9.- Programación del microcontrolador SILABS C8051F120 37

III.10.-Programación del microcontrolador 16F877 41

III.11.-Elaboración de los circuitos impresos 45

III.12.-Pruebas 48

III.13.-Análisis de Costos 50

Capítulo IV 54

Resultados 54

IV.1.- Unidad de Simulación de la Central (USC) 54

IV.2.- Hardware del Sistema 57

IV.2.1.- Unidad de Transmisión Inalámbrica 57

IV.2.2.- Unidad de Control de Intersección (UCI) 57

IV.2.3.- Unidad de Control de Semáforo (UCS) 58

IV.2.4.- Prototipo de semáforo 60

IV.3. Montaje final del prototipo del Sistema. 61

IV.4. Especificaciones del sistema 63

IV.5.- Reporte de fallas detectadas en las pruebas efectuadas 63

Capítulo V 65

Conclusiones y recomendaciones 65

V.1.- Conclusiones 65

V.2.- Recomendaciones 66

Bibliografía 69

Apéndice A 71

kit C8051F12x-DK 71

Apéndice B 73

Código del Microcontrolador C8051F120 73

Apéndice C 91

Código del Microcontrolador F16877 91

Apéndice D 113

Construcción de Circuitos impresos 113

Apéndice E 117

Layout de circuitos impresos 117

Apéndice F 120

Pruebas 120

Apéndice G 124
Tablas de Costos Detallado 124
Apéndice H 127
Glosario 127
Anexo A 133
Extracto de la Norma Venezolana. COVENIN (2753:1999) 133
Anexo B 141
Extracto de la hoja de información del microcontrolador C8051F120 141
Anexo C 157
Extracto de la hoja de información del microcontrolador 16F877 157
Anexo D 171

Índice de Figuras

Figura 1.- .Modelo General del proyecto PISACOTA 3
Figura 2.-. Grupo de procesadores para recepción de señales 7
Figura 3.- Centro de control de emergencias 8
Figura 4.- Pantalla de plasma, secuencias de imágenes 9
Figura 5.- Pantalla representación del estado de cada intersección 9
Figura 6.- Maqueta de intersección para pruebas 10
Figura 7.- Caja de control 10
Figura 8. Arquitectura de la red CDMA 2000 22
Figura 9.- Diagrama del sistema 26
Figura 10.- Diagrama de Flujo de la USC 39
Figura 11.- Diagrama de Flujo de la UCI 40
Figura 12.- Programador PIPO2 41
Figura 13.- Diagrama de Flujo del Microcontrolador 16F877 42
Figura 14.- Diagrama esquemático de la UCS en SCH 46

Figura 16.- Ventana "Modo Automático" 54
Figura 17.- Ventana "Modo Manual" 54
Figura 15.- Ventana de la unidad de simulación de la central 54
Figura 19.- Ventana de la barra de herramientas "Ayuda" 56
Figura 20.- Módulo AnyData EMII-800 CDMA2000 1xRTT y sus componentes 57
Figura 22.- Diagrama esquemático de la Unidad de Control de Intersección 58
Figura 23.- Tarjeta impresa de alimentación. 59
Figura 25.- Tarjeta impresa del prototipo de semáforo de control vehicular 60
Figura 26.- Tarjeta impresa del prototipo de semáforo de luces de cruce para el control vehicular 60
Figura 27.- Tarjeta impresa del semáforo peatonal 60
Figura 28.- Prototipo del Sistema 61
Figura 29.- Secuencia de luces representada por los prototipo de semáforo 62

Índice de Tablas

Tabla 1.-Microcontroladores 28
Tabla 2.- PIC16F877 30
Tabla 3.-Tecnología inalámbrica y sus restricciones 31
Tabla 4.-Métodos de acceso en la tecnología celular. 32
Tabla 5.- Formato de tramas 35
Tabla 6.- Trama de comunicación UCI-UCS 36
Tabla 7.- Significado de cada Byte en trama de subida UCS- UCI 36
Tabla 8.- Inversión total por horas trabajadas 50
Tabla 9.- Inversión total (materiales) del Sistema para control de semáforo 51
Tabla 10.- Fallas detectadas en las pruebas. 64

Introducción

Con el fin de contribuir a la búsqueda de nuevas alternativas destinadas a mitigar los efectos de los congestionamientos de tráfico vehicular en la ciudad de Caracas, un grupo de investigadores adscritos al **C**entro de **I**nvestigación y **D**esarrollo de **I**ngeniería de la UCAB (CIDI) propone una **P**lataforma **I**ntegrada para el **S**eguimiento, **A**nálisis y **CO**ntrol del **T**ráfico **A**utomotor (PISACOTA). Entre uno de los subsistemas de PISACOTA se encuentra un semáforo inalámbrico, cuya secuencia es modificada según las señales de control transmitidas por la central y además puede reportar a la central sobre la presencia de peatones y de emergencias en la vía. Este subsistema está desarrollado en el presente documento, el cual presenta una división por capítulos.

El capítulo I define, el planteamiento problema, el objetivo general y los objetivos específicos propuestos para este trabajo especial de grado. Adicionalmente, se encuentra el alcance y las limitaciones del proyecto. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico, donde se realiza una breve explicación de los sistemas de control de semáforos instalados en Caracas y posteriormente, en este capítulo se realiza un estudio de las tecnologías inalámbricas. En el capítulo III se describe la metodología a emplear en el proyecto, conformada por cinco fases: 1) Investigación y estudio, 2) Diseño y programación 3) Construcción del hardware, 4) Ensamblaje e implementación y 5) Pruebas; y seguidamente se encuentra el desarrollo del proyecto.

El capítulo IV está constituido por los resultados finales obtenidos en cada una de las fases, tales como: la unidad de simulación de la central, las unidades de control de semáforo y los prototipos de semáforos, tanto vehiculares como de peatones. Por su parte, en el capítulo V se exponen las conclusiones sobre los resultados obtenidos, además de ciertas recomendaciones que puedan mejorar el funcionamiento general del sistema. Adicionalmente, se encuentran los anexos y apéndices.

Capítulo I
Planteamiento del Proyecto

I.1.- Planteamiento del Problema

En el desarrollo y crecimiento de las grandes ciudades se ha dado importancia a las necesidades automovilísticas, no obstante el problema del tráfico las afecta notablemente. Tal es el caso de Caracas, Maracaibo, Mérida, Valencia, las cuales padecen los efectos nocivos de los congestionamientos vehiculares tales como la contaminación ambiental, calentamiento global, estrés, accidentes, entre otros. En los últimos años se ha llegado al límite del desarrollo de nuevas carreteras, autopistas y otras vías para disminuir el congestionamiento vehicular, por lo cual ha surgido la necesidad de buscar opciones menos costosas y más viables que permitan solucionar la molestia que ocasiona el tráfico vehicular comúnmente conocido como "cola".

Con el fin de contribuir a la búsqueda de nuevas alternativas destinadas a mitigar los efectos de los congestionamientos de tráfico vehicular en la ciudad de Caracas, un grupo de investigadores adscritos al Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB (CIDI) proponen una Plataforma Integrada para el Seguimiento, Análisis y COntrol del Tráfico Automotor (PISACOTA), proyecto que está siendo desarrollado actualmente por estudiantes de la Universidad Católica Andrés Bello; encontrándose esta plataforma a cargo del Profesor Ángel Aponte.

PISACOTA, como se observa en la figura 1, se encuentra distribuida en varios subsistemas, donde cada uno está siendo desarrollado por distintos investigadores, algunos como Trabajos Especiales de Grado. Uno de los subsistemas consiste en una Unidad de Transmisión Inalámbrica para Estaciones Automatizadas de Adquisición de Datos de Tráfico (EAADT), el cual se encargaría de recopilar información que describa el congestionamiento vehicular en ciertas zonas de Caracas. Otro subsistema consistiría en la Gestión y Monitoreo

del Tránsito a través de Semáforos Inteligentes, incluido en el CEntro de COntrol inteligente de Tránsito Automotor (CECOTA) que sería donde se ejecutarían los algoritmos de control de semáforos.

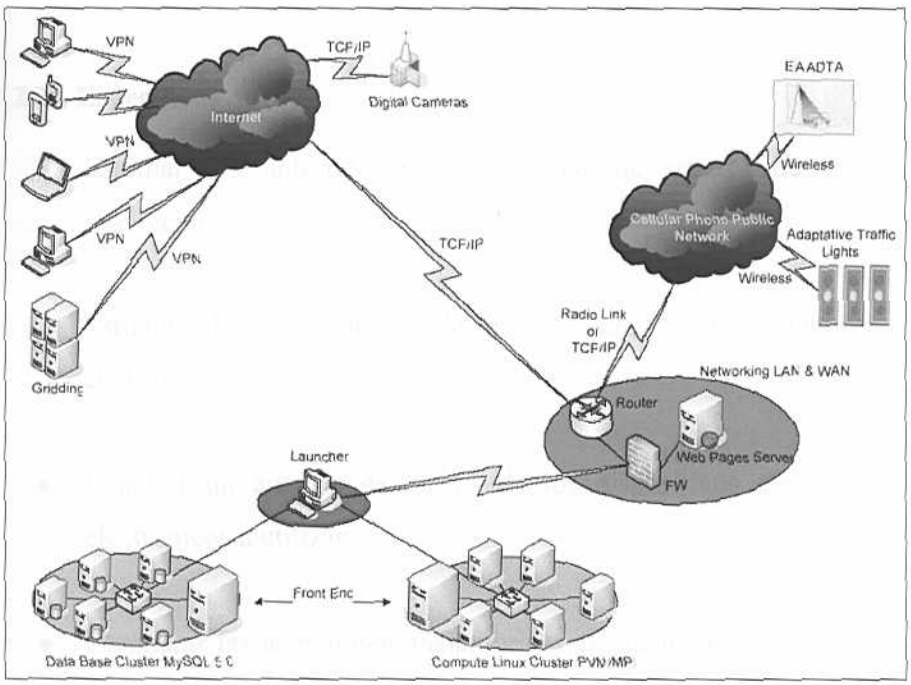


Figura 1.- .Modelo General del proyecto PISACOTA
Fuente: Documentación del proyecto PISACOTA, 2006

Adicionalmente otro de los subsistemas sería un semáforo inalámbrico, desarrollado en este Trabajo Especial de Grado, cuya secuencia sería modificada según las señales de control transmitidas por la central (CECOTA). El semáforo también se encontraría dotado de dos pulsadores, uno de ellos para transmitir a la central información sobre la presencia de peatones, que podrán ser accionados por los transeúntes, y el otro para transmitirle a la Central señales de alarma tales como accidentes y emergencias.

I.2.- Objetivos

1.2.1.- General

- Diseñar un semáforo inalámbrico como parte de la plataforma de control de tráfico PISACOTA

1.2.2.- Específicos

- Estudiar los antecedentes de sistemas de control de tráfico inteligentes.
- Estudiar el funcionamiento de los semáforos y sus parámetros a controlar.
- Elaborar un análisis de costos de los dispositivos eléctricos y electrónicos a utilizar
- Comparar las tecnologías inalámbricas existentes para seleccionar la más adecuada, económica y confiable.
- Diseñar una tarjeta de control local que permita recibir y enviar señales entre la central y el semáforo.
- Integrar el medio de comunicación inalámbrico, la tarjeta de control local y las partes eléctricas del semáforo.
- Construir un prototipo del semáforo inalámbrico para realizar las pruebas pertinentes

I.3.- Alcance y Limitaciones

Este Trabajo Especial de Grado incluye la aplicación de una tecnología inalámbrica para transporte de datos, una tarjeta de control de intersección y una tarjeta de control de semáforo, encargadas de recibir los comandos de la central para controlar la secuencia del mismo y transmitir a dicha central las señales de alarma y paso de peatones para la toma de decisiones adecuadas del semáforo. Adicionalmente se diseñaron y construyeron tarjetas de circuito impreso, para la alimentación del sistema, la demostración del sincronismo y el encendido de las luces.

Este Trabajo Especial de Grado no incluye algoritmos para la agilización del tráfico, el comportamiento del semáforo va a depender especialmente de los datos enviados desde la Central. Debe aclararse que tanto la central como la adquisición de los datos de flujo vehicular recopilados no son parte de este Trabajo Especial de Grado sino que esos subsistemas están siendo desarrollados por otros equipos de trabajo. No obstante, actualmente, el algoritmo de la Central no se encuentra desarrollado totalmente; para solventar este inconveniente, se programó una aplicación que permite introducir la secuencia de datos a enviar y reportar al usuario el estado de los parámetros de la intersección.

Al realizar la búsqueda de información sobre estadística de tráfico automotor se encontraron dos métodos principales para el conteo de tránsito: la observación manual y la recolección mecánica o automática (Dávalos y Guerra, 1997), los cuales permiten determinar los tiempos necesarios para cada caso particular. En vista de que estos estudios deben ser realizados por observadores entrenados; los tiempos usados para los parámetros de control en las pruebas fueron dimensionados arbitrariamente.

En este Trabajo Especial de Grado se consideró solamente el desarrollo de las partes eléctricas, electrónicas y el medio de comunicación, no así las partes mecánicas o estructurales del semáforo.

El prototipo construido del semáforo inalámbrico fue empleado para pruebas de laboratorio.

Capítulo II
Marco referencial o teórico

II.1.- Antecentes

En la visita al Departamento de Tránsito de Chacao, el cual forma parte del Instituto Autónomo de Tránsito, Transporte y Circulación del Municipio Chacao (IATTC), se pudo observar que se encuentra conformado por cuatro salas diferentes, cada uno con su función predefinida:

Sala de recepción y procesamiento de imágenes e información

En este departamento se encuentran los MODEM y servidores (Figura 2) que se encargan de recopilar, procesar y transmitir la información enviada por cada uno de los dispositivos (semáforos, cámaras, etc) ubicados de forma estratégica en importantes calles y avenidas del municipio.

Figura 2.-. Grupo de procesadores para recepción de señales

Las cámaras cuyas imágenes son grabadas 24 horas y 365 días del año llegan a la sala por fibra óptica y forman parte del monitoreo vial, permitiendo la supervisión de la circulación vehicular y peatonal, brindando con ello información

rápida y efectiva a los cuerpos de seguridad, sobre siniestros o cualquier otra eventualidad.

Centro de Atención de llamadas al 171

En esta sala se encuentran representantes del cuerpo de Bomberos, tránsito, defensa civil y salud Chacao, dedicados a atender cada una de las llamadas de emergencias recibidas, en función de su especialidad y en caso de ser necesario, transmitir la llamada al departamento adecuado para la resolución del problema.

Sala del Centro integral de seguridad y emergencia:

En esta sala (Figura 3) se encuentran expuestas en pantallas de plasma (Figura 4) y televisores, las imágenes en secuencias y videos que son recibidas por el departamento anterior, las cuales verifica constantemente el personal de tránsito y defensa civil con la finalidad de captar anomalías y poder atenderlas en el menor tiempo posible.

Figura 3.- Centro de control de emergencias

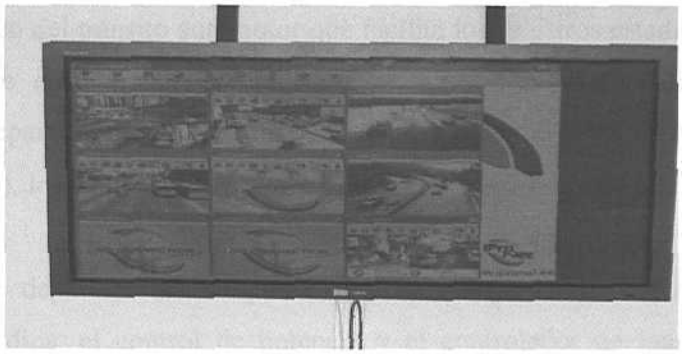


Figura 4.- Pantalla de plasma, secuencias de imágenes

Departamento de Control de Semáforo:

Finalmente está el departamento de Control de Semáforo, en el cual se encuentra una pantalla que señala cuál es el estado de la comunicación con cada una de las intersecciones (Figura 5), así como también una maqueta de una intersección donde se prueban y verifican los posibles cruces (Figura 6).

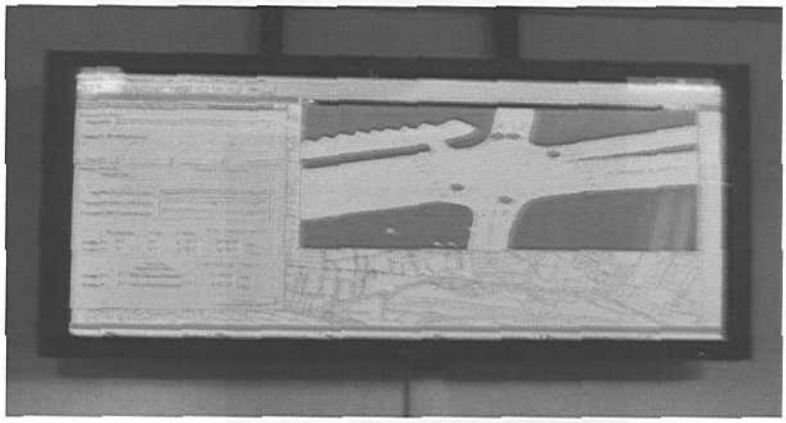


Figura 5.- Pantalla representación del estado de cada intersección

Desde esta sala se dirige y monitorea un sistema que controla 63 intersecciones semaforizadas manejadas por controladores adquiridos en Canadá, los cuales también poseen sensores que miden el flujo vehicular, permitiendo adecuar los tiempos de los semáforos de acuerdo a éste; también poseen un

sistema de conteo del tránsito automotor que facilita los registros estadísticos. Los controladores se encuentran conectados a la sala central de tránsito (SCT), ubicada en el departamento de tránsito de Chacao, vía radio – MODEM (modelo 96SR Dataradio), los cuales trabajan en la banda UHF (4.7 - 4.9 MHz).

En este departamento se pudo observar el gabinete (Figura 7), que contiene: los radios, el control de potencia y el controlador de los semáforos inteligentes.

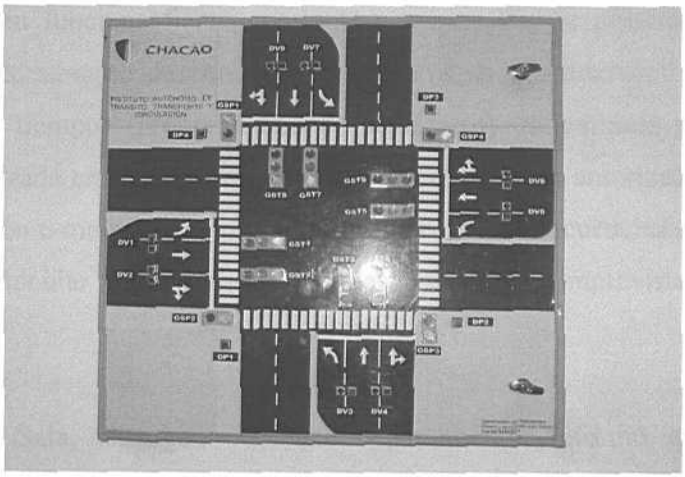


Figura 6.- Maqueta de intersección para pruebas

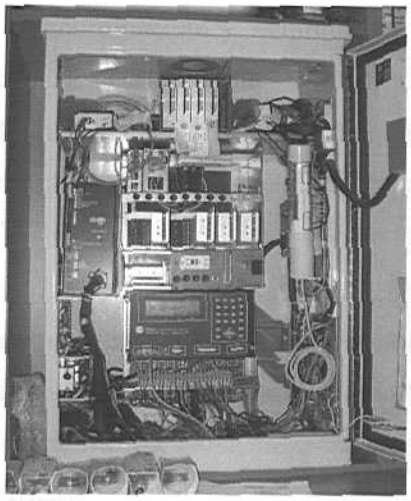


Figura 7.- Caja de control

En conversaciones con los funcionarios se pudo conocer que el principal inconveniente que presenta el sistema, se encuentra en el subsistema de la comunicación "Central – Semáforos", ya que en muchas ocasiones a la hora de ser necesario realizar cambios en la secuencia o estado de los semáforos, resulta complicado el establecimiento de la comunicación.

Se constató que en un día normal, los semáforos contienen cuatro planes prefijados diferentes según la hora del día: AM, meridiano, PM y nocturno, los cuales permanecen en funcionamiento constante a menos que se presente una emergencia y el departamento de control de semáforos decida intervenir. Esta planificación de los tiempos (programación de semáforos) es realizada por la unidad y será actualizada en caso de ser necesario por el personal autorizado. Lo cual limita la inclusión o modificación dinámica e inmediata de secuencias que se adapten al flujo vehicular del momento y a las situaciones imprevistas del municipio.

El Sr. Luís Sala, encargado de este departamento, informó que el mantenimiento de los semáforos del municipio Chacao y otras zonas de Caracas, se encuentran a cargo de SEMAVENCA. Empresa que también estuvo a cargo del "Proyecto de factibilidad de la coordinación y centralización de la red de semáforos del Municipio Chacao". Luego de conocer estos datos, se decidió contactar a dicha empresa con la intención de fijar entrevistas que permitieran la recopilación de información más específica sobre el funcionamiento de los semáforos y sus controladores.

SEMAVENCA (Semáforos de Venezuela C.A) es una empresa con más de 23 años de experiencia, dedicada al desarrollo de tecnología electrónica, enfocada principalmente a los controladores de tráfico, incluyendo también construcción de obras civiles e instalaciones eléctricas.

En la visita a esta empresa se obtuvo información de trabajos de grado realizados anteriormente en el área de instalación de semáforos y teoría de la semaforización, así como también algunas especificaciones de los controladores de tráfico y semáforos empleados actualmente.

Se conversó personalmente con el Sr. Arturo Fernández, Presidente de la empresa y el Sr. Oscar Navas, gerente de operaciones del área metropolitana, quienes dieron a conocer las siguientes características de los sistemas:

- Las fuentes de voltaje con las que trabajan las luminarias actuales poseen voltajes entre 80 y 120 Voltios, unidos a los valores estándares de potencia entre 70 y 150 W
- La vida útil de las luminarias convencionales tienen un promedio de vida de un año
- Tienen en proyecto trabajar con *leds* de alta luminosidad, los cuales cuentan con mayor brillo y requieren menor energía, permitiendo manejar voltajes DC menores, con un consumo de 20 mA aproximadamente, facilitando el uso de los paneles solares, al ser menor la energía y la potencia requerida, además de tener una vida útil comprendida entre cinco y ocho años.
- Se están realizando estudios para trabajar con energía solar como fuente alternativa a través del uso de paneles solares
- Hasta ahora todos los controladores diseñados poseen las unidades de control en un cajetín ubicado en zonas cercana a la intersección; estos se encargan de los tiempos prefijados, las decisiones de cambio y el control de potencia de cada una de las luminarias, lo cual requiere cableado de cobre individual para cada bombillo desde el cajetín hasta cada uno de los semáforos.
- Las instalaciones realizadas para cada intersección reciben muy poco mantenimiento por lo cual, si se desea realizar algún cambio en el sistema existente, sea cambio de cables, de semáforos o implementación de

controladores generalmente es necesaria la realización de una infraestructura totalmente nueva.

II.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS SEMÁFOROS

El semáforo "es un dispositivo luminoso operado eléctricamente por un controlador y que visualmente comunica una acción o acciones preestablecidas al tránsito" (Covenin 2753:1999), ubicados generalmente en intersecciones para poder regular el flujo de vehículos y peatones en calles y carreteras. Tiene como funciones principales:

- Alternar el permiso de circulación entre una corriente vehicular o peatonal y otras.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación contínua.
- Controlar la circulación por canales.
- Reducir el número de accidentes y colisiones, ocasionados generalmente en intersecciones
- Generar orden en el tráfico

Los semáforos, al ser un mecanismo de regulación de flujo, pueden estar destinados a controlar tres grandes grupos de usuarios, lo cual se puede apreciar en el siguiente diagrama.

Semáforos para el control del tránsito de vehículos
- Semáforos pre-sincronizados o de tiempos predeterminados.
- Semáforos accionados o activados por el tránsito.

Semáforos para pasos peatonales
- Semáforos pre-sincronizados o de tiempos predeterminados.
- Semáforos accionados o activados por el tránsito.

Semáforos especiales
- Semáforos de destello o intermitentes
- Semáforos para regular el uso de carriles
- Semáforos para puentes levadizos
- Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia
- Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes

II.2.1.- UNIDAD DE CONTROL DE SEMÁFOROS

La unidad de control, es un dispositivo que evolucionó, pasando de ser electromecánico a electrónico, y es el encargado de ordenar los cambios de fases en un semáforo. Su configuración se puede establecer para que procese información del tráfico, con el objeto de modificar los tiempos de las señales luminosas y adaptarlas al tráfico existente; se puede conectar a un centro de control para permitir el envío de información y de fallas en el semáforo, y también puede ser capaz de recibir señales de control.

II.2.2.- TIPOS DE CONTROL DE SEMÁFOROS

De acuerdo con el MTC (Perú) y Dávalos - Guerra (1.997), se elaboró la siguiente clasificación de algunas de las formas empleadas para el control de semáforos, explicadas a continuación:

II.2.2.1.- Semáforos No-interconectado

Es aquel donde el desfase de los controladores locales de cada intersección debe ser configurado previamente; y en caso de que se pierda el sincronismo debe ser programado nuevamente de forma manual. Es un sistema que carece de controlador maestro.

a.-Semáforos de tiempos predeterminados

Poseen un algoritmo donde las características de operación del semáforo (duración de cada señal, secuencia, etc.) permanecerán invariables ante la situación del tráfico, repitiéndose una y otra vez el mismo patrón. Si el administrador así lo desea puede cambiar este modelo ingresando al algoritmo y modificándolo manualmente.

Es un tipo de control que de emplearse, debe buscar zonas donde las intersecciones presenten un patrón de tráfico relativamente estable y constante; y es muy útil para lograr la sincronización con los semáforos adyacentes que sean del mismo tipo.

b.- Semáforos coordinados en Base a Tiempo

Es un sistema de control de semáforos, donde se cambian los planes de temporización según el reloj interno del controlador.

c.- Semáforos activados por el tránsito

Estos semáforos presentan planes de tiempo prefijados, cuyo funcionamiento dependerá de las fluctuaciones del tráfico existentes en la zona. El cambio de plan será activado por medio de los sensores ubicados en cada acceso de la intersección, que permiten un control totalmente accionado, teniendo la prioridad de paso el corredor principal.

d.- Semáforos para peatones

Son semáforos destinados a dirigir exclusivamente la circulación de peatones en una intersección y deben trabajar sincronizadamente con los semáforos para vehículos. Estos semáforos brindan dos tipos de información, expresada a través de los dos lentes que posee, uno rojo y otro verde, los cuales indican las señales de "ALTO" y PASE" respectivamente.

II.2.2.2- Semáforos Interconectados

Son aquellos semáforos cuyos controladores locales poseen la capacidad de establecer comunicación con un centro de operaciones encargado de recibir y almacenar la información, procesarla y/o efectuar los cambios pertinentes en la secuencia del semáforo.

a.-Semáforos sensibles al tránsito

Generalmente es un sistema formado por varios planes de tiempo prefijados. Se colocan detectores de tránsito para tomar muestra de volúmenes de tránsito por sentido; y estos volúmenes a su vez se usan para determinar el ciclo que debe entrar a operar.

b.- Control computarizado de semáforos

Es el método más sofisticado, emplea al computador para controlar, operar y/o supervisar el sistema de semáforos. Los planes de tiempo ó secuencias se pueden proporcionar en una variedad de formas dependiendo de las necesidades específicas. Este método está conformado por un computador central, una red de comunicaciones (vía cable, teléfono, radio o una combinación de medios) y el equipo de control de campo (controladores, detectores, etc).

II.3.- MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado. Sus prestaciones son limitadas, pero su característica principal es su alto nivel de especialización. Difiere de un CPU normal en que es más fácil convertirlo en un controlador en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que solo sea necesario que el chip se coloque en el dispositivo, conectado a la fuente de energía y de información necesaria. Un microprocesador tradicional no permitiría hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips.

Generalmente este chip incluye un procesador o CPU (Unidad Central de Procesamiento), una memoria RAM para contener los datos, una memoria tipo ROM / PROM / EPROM / FLASH para el programa, varias líneas de E/S para controlar los periféricos, encargados de manejar: comunicación serial, comunicación paralelo, temporizadores, conversores A/D y D/A, watchdog, oscilador externo, comparadores analógicos, entre otros y una unidad Lógico Aritmética (ALU).

La arquitectura de un microcontrolador puede ser RISC (reducido) o CISC (complejo), lo cual dependerá del número de instrucciones que pueda manejar; siendo definido el conjunto de estas instrucciones por el modelo y por el fabricante.

II.4.- TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

En estos últimos años, la comunicación inalámbrica ha evolucionado notablemente, desde el uso masivo de teléfonos móviles hasta acceso a Internet, lo cual apunta a seguir apostando a convertir el aire en el mejor medio de transporte de datos.

Los sistemas de comunicación inalámbricos utilizan el aire como medio de transporte, y su característica principal es complementar, y en algunos casos, reemplazar los sistemas de comunicación alámbricos.

Entre las características principales de los sistemas de comunicación inalámbrica se encuentran:

Economía y rapidez en la instalación: existen múltiples casos en que es más económico implementar una solución inalámbrica, en reemplazo a un cableado o como extensión de una red alámbrica: en lugares tales como edificios, oficinas, campamentos provisionales, plantas libres de gran tamaño, etc.

Reutilización de infraestructura: en algunas industrias es necesario reconfigurar la distribución física de una red de datos, o incluso, cambiar de lugar las instalaciones frecuentemente, en estos casos, las comunicaciones inalámbricas proveen una solución eficiente en costo que permite la reutilización de la inversión.

Configuración de red rápida y sencilla: este tipo de instalaciones produce una reducción en la cantidad de cable a utilizar.

Flexibilidad de instalación: los sistemas de comunicación inalámbricos pueden instalarse en lugares donde no es posible colocar cables, y facilitan las configuraciones transitorias y los traslados. Esto es una gran ventaja debido a que los semáforos no poseen una infraestructura amplia en sus alrededores.

Capacidad de ampliación: La expansión y la reconfiguración de los sistemas se efectúan sin complicaciones y es posible agregar usuarios al sistema simplemente instalando un adaptador del sistema local inalámbrico en el dispositivo cliente.

Actualmente existe una variedad de tecnologías inalámbricas, sin embargo sólo se explicarán brevemente, aquellos sistemas que debido a sus características puedan ser considerados para implementarse en este proyecto.

II.4.1.- Infrarrojo:

La luz infrarroja es muy usadas en comunicaciones de corto alcance, éstas requieren línea de vista entre el transmisor y el receptor, y por lo tanto los equipos deben ser direccionales. Las frecuencias utilizadas en esta banda no permiten atravesar los objetos sólidos; lo que puede verse como una ventaja debido a que un sistema infrarrojo no interferirá un sistema similar adyacente; ó puede ser una desventaja ya que limita el área de operación. Adicionalmente la comunicación con infrarrojo siempre será uno a uno, restringiendo las configuraciones punto – multipunto.

II.4.2. -Wi-Fi:

Wi-Fi (Wireless Fidelity) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11, y representa a su vez una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x. A pesar de que fue creado

para ser utilizado en redes locales inalámbricas, en la actualidad es cada vez más frecuente su utilización para el acceso a Internet. Sin embargo su radio de operación se mantiene en el orden de los 100 metros aproximadamente.

Entre los estándares 802.11 existen diferencias tales como su banda de frecuencia de operación y su velocidad de transmisión. Dependiendo de si se escoge 802.11a, 802.11b o 802.11g se opera en la banda de frecuencias de 5.8 Ghz en el primer caso, y en la de 2.4 Ghz en los dos últimos(Para Venezuela). Esta diferencia se evidencia en la asignación del espectro en la banda elegida, lo cual repercute en la selección de los equipos a utilizar.

II.4.3.- Wi-Max:

Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es una tecnología basada en el estándar 802.16, que ofrece conectividad para redes metropolitanas inalámbricas de banda ancha, con un alcance de hasta 50-60 km y con velocidades de hasta 70 Mbps.

El desarrollo de esta tecnología tiene varios años en proceso, pero fue en el año 2002 que surge la primera versión 802.16, basada en enlaces fijos de radio con línea de vista y empleando varias frecuencias en la banda de 10 a 66 Ghz. Para el año 2003 surge la segunda versión 802.16a y es aquí cuando se ratifica como una tecnología de banda ancha inalámbrica alcanzando los 70 Km. de cobertura y operando en la banda de 2 a 11 Ghz. Wi-Max permite las topología punto a multipunto y no requiere línea de vista directa.

Según Fernández, A (mayo 2006), Wi-Max presenta una serie de desventajas tales como la falta de un marco regulatorio adecuado, algoritmos y funciones de procesamiento complicados que incrementarían los costos, niveles altos de potencia, ausencia de elementos esenciales para lograr una red móvil eficiente.

II.4.4.- Tecnología celular:

Dentro de este apartado, se desarrollan tres tecnologías que coexisten actualmente en Venezuela, los cuales son:

II.4.4.1.- TDMA

Time Division Multiple Access, o acceso múltiple por división de tiempo, es una tecnología inalámbrica de segunda generación para teléfonos móviles celulares; su técnica se basa en la división de un único canal de radio en ranuras de tiempo (*time slots*); y en la asignación determinística de cada una de estas ranuras a los usuarios del sistema. La información de cada abonado pasará previamente por un proceso de compresión de voz digital, lo que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal. Con esta tecnología se requiere un ancho de banda de 30 Khz., que admite transportar de 3 a 6 conversaciones por portadora, dependiendo de la calidad de señal deseada.

Uno de los principales problemas con TDMA es que está sujeto a la distorsión por múltiples trayectorias (*mutipath*). Una señal procedente de una torre, podría haber rebotado por varios edificios antes de llegar a la unidad, lo que puede causar interferencia en la señal, generando así un problema relevante en las grandes ciudades.

II.4.4.2.- CDMA 2000

'CDMA2000 es un estándar digital que, en propuesta inicial, ofrecía velocidades de datos de alrededor de 14,4 Kbps vía conmutación de paquetes y vía conmutación de circuitos. Es un método de transmisión móvil celular de espectro extendido que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo. (Ericsson, 2005)

El estándar CDMA2000 está evolucionando para ofrecer continuamente nuevos servicios en una portadora estándar de 1.25 MHz. La primera fase de CDMA2000 es *1 time Radio Transmission Technology* (1xRTT, por sus siglas en inglés) la cual entrega transmisión de datos desde 144 Kbps. La fase dos, llamada *1 time Evolution* (1xEV, por siglas en inglés) provee transmisiones mayores a los 2 Mbps.

CDMA2000 Fase I: La norma 1xRTT establece datos en paquetes a 144 Kbps en un entorno móvil. Las características disponibles representan un incremento doble, tanto en la capacidad para voz como en el tiempo de operación en espera, así como una capacidad de datos de más de 300 Kbps y servicios avanzados de datos en paquetes. 1x se refiere a la implementación de CDMA2000 dentro del espectro existente para las portadoras de 1.25MHz de *cdmaOne*. El término técnico se deriva de N = 1 (es decir, el uso de la misma portadora de 1.25MHz de *cdmaOne*) y el 1x significa una vez 1.25MHz. (Qualcomm, 2004). La Figura 8 muestra la arquitectura de la red CDMA 2000 para ofrecer la norma 1xRTT.

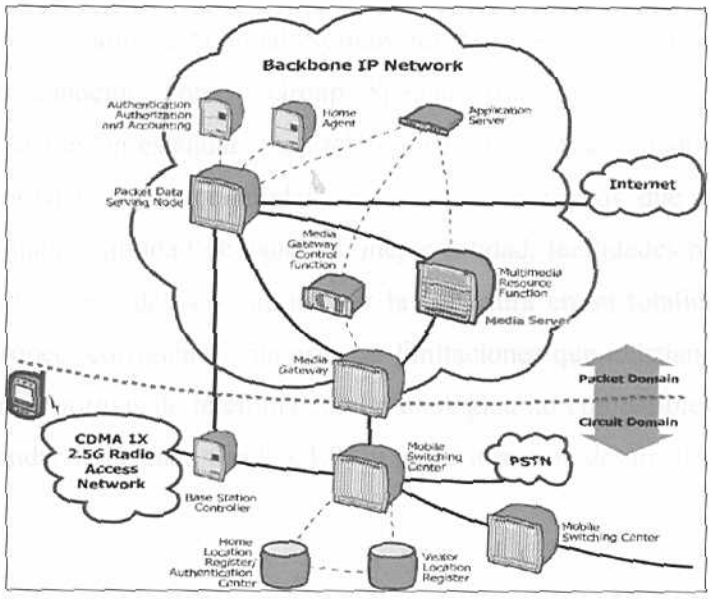


Figura 8. Arquitectura de la red CDMA 2000 para brindar la norma 1xRTT.

Fuente: CDMA Network Evolution to CDMA2000, Convedia, 2004).

Dentro de la primera fase, existe una evolución en donde se usan tres portadoras de 1,25 MHz en un sistema multiportadora para prestar servicios de banda ancha de 3G, el cual se conoce como 3XRTT.

CDMA2000 Fase II: El sistema 1xEV-DO (portadora 1X, EV -*Evolution*-, DO -*Data Only*-) propuesto por Qualcomm es una evolución optimizada para transmisión de paquetes de CDMA2000. Soporta servicios asimétricos no sensibles al retardo (típicamente navegación por Internet). No soporta servicios simétricos sensibles al retardo (servicios conversacionales o de voz). El transporte está basado en tecnología IP. El sistema, además, mantiene la compatibilidad con los estándares IS- 95 y CDMA 2000 1XRTT. Las velocidades de datos estandarizadas son para el enlace descendente de 2.457,6 Kbps y para el enlace ascendente de 153,6 Kbps. (Qualcomm, 2004).

II.4.4.3.- GSM

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles como sería la traducción de su nombre "Global System for Mobile communications", formalmente conocido como "Group Special Mobile" (GSM, Grupo Especial Móvil) es un estándar para teléfonos móviles desarrollado por la ETSI para proveer un único modelo a los países europeos que lograra ofrecer una mayor cantidad de usuarios, mejor calidad, facilidades para las transmisión de voz y datos y suministrar la cobertura en su totalidad del territorio europeo, corrigiendo con esto las limitaciones que existían por el uso de diversas normas de telefonía celular analógica no compatibles entre ellas. El estándar fue creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por ETSI .

Entre las características resaltantes de GSM se encuentra la seguridad del sistema, lograda a través de los mecanismos de autenticación y

privacidad; que en conjunto con el uso de algoritmos de criptografía se emplean para autenticar al usuario y cifrar las conversaciones. Además consta de un módulo de identificación del abonado llamado SIM (*subscriber identity module*).

Para establecer y mantener las comunicaciones entre las terminales móviles y las estaciones bases (BS) de la red, se emplea TDMA (Time Division Multiple Access) con baja utilización de frecuencia (*frequency hopping*) entre canales. Se manejan paquetes de datos a tiempos predeterminados en una frecuencia específica. De modo tal que se lleven a cabo varias conversaciones en forma simultánea empleando la misma frecuencia pero distintos *time slot*.

La implementación de este sistema requiere de dos bandas de frecuencia de 25 Mhz. cada una, para el canal de subida (*Uplink*) y para el canal de bajada (*Downlink*), una separación entre canales de 200Khz, lo que generará 124 portadoras y podrá transportar de 8 a 16 conversaciones por portadora. (Contreras, M., Octubre 2006)

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en la banda: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz), son utilizadas en gran parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, en donde se emplea GSM-850 y GSM-1900 (1,9 GHz), ya que en EE.UU. las frecuencias de 900 y 1800 MHz están ocupadas para usos militares. Inicialmente, GSM trabajó en 900 MHz, posteriormente las redes de telecomunicación pública utilizaron 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los teléfonos móviles celulares de hoy en día sean tribanda. En el caso de Venezuela se utiliza el rango de 890-915 MHz para *Uplink* y de 935-960 para *Downlink*.

Capítulo III
Metodología y Desarrollo

El Trabajo Especial de Grado se dividió en cinco fases, la primera de ellas completamente teórica y abarcó el estudio de los antecedentes en cuanto a la construcción de semáforos y sistemas ya instalados; la segunda etapa implicó la selección de un método confiable de transporte de datos entre la central y la intersección, así como también incluyó la selección de los microcontroladores; la tercera, consistió en la programación de los microcontroladores; la cuarta en el diseño y construcción de las tarjetas requeridas; y la quinta, conformó la integración del método de transporte con las diferentes tarjetas, la realización de pruebas de laboratorio y la detección y corrección de las fallas presentadas.

Para la primera fase del Trabajo Especial de Grado se realizaron trabajos de investigación, observación y recopilación de información, con el fin de estudiar el funcionamiento de sistemas de comunicación inalámbricos.

En la segunda etapa se investigó sobre los diversos métodos inalámbricos que puedan transportar los datos entre la central y los semáforos de manera de compararlos, según criterios de confiabilidad, disponibilidad y costos de instalación, con los cuales se construyeron cuadros comparativos con ventajas y desventajas, permitiendo seleccionar el método más adecuado. Se concluyó que la mejor alternativa es la tecnología móvil celular; debido a que no requiere línea de vista, ni presenta problemas de alcance y ofrece cobertura en gran parte del territorio Venezolano. Igualmente se realizaron cuadros comparativos con ventajas y desventajas para la selección de los microcontroladores adecuados para el proyecto, según criterios de capacidad, disponibilidad y velocidad.

La tercera fase se basó en la programación de los microcontroladores y el establecimiento de los protocolos a utilizar en la comunicación entre los dispositivos del sistema.

La cuarta etapa fue orientada hacia el diseño de la tarjeta de control de semáforos, la tarjeta de alimentación y las tarjetas de los prototipos de semáforos, tanto vehiculares como peatonales.

Por último se encuentra el período de construcción en la cual se armó el subsistema con la integración del medio de comunicación inalámbrico y las diferentes tarjetas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes.

III.1.- Diseño del sistema de control de semáforos inalámbrico

Como se muestra en la Figura 9, se presenta un sistema de comunicación bidireccional; donde la información será enviada por dos canales, uno denominado canal de bajada *(Downlink)* y el otro denominado canal de subida *(Uplink)*.

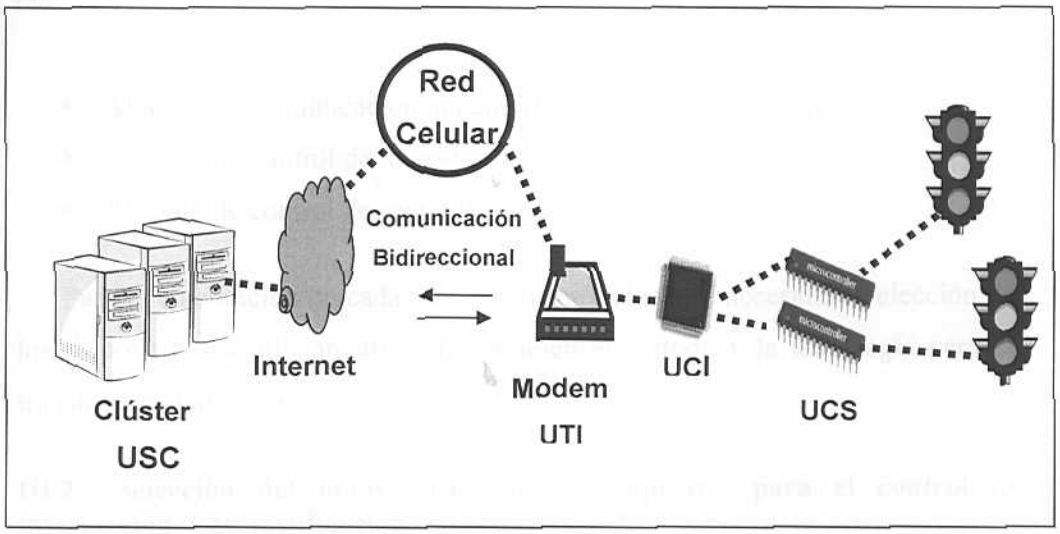


Figura 9.- Diagrama del sistema

Central – Intersección *(Downlink)*

Las señales de información con la secuencia de los semáforos, se originarán principalmente desde la central teniendo como destino la Unidad de Control de Semáforo (UCS).

Intersección – Central *(Uplink)*

Las señales de información hacia la central (USC), se originarán desde la unidad de control de semáforo (UCS), por medio de los dos botones manuales para cada semáforo, destinados al anuncio de solicitud de paso de peatones y a la señal de alarma.

Intersección

Para el diseño de la intersección a controlar, se estudió la Norma Venezolana COVENIN 2753:1999, cuyo artículo 4.2.1 establece que "la unidad de control debe ser de diseño modular mediante tarjetas desenchufables y fácilmente accesibles para mantenimiento". Por esta razón y otras recomendaciones externas se decidió dividir el manejo de la intersección en 3 módulos principales:

- Módulo de comunicación inalámbrica central- intersección
- Módulo de control de intersección
- Módulo de control de semáforo

Para la elaboración de cada uno de los módulos, fue necesaria la elección de los dispositivos a utilizar, así como también el método y la tecnología para la transmisión inalámbrica.

III.2.- Selección del microcontrolador a emplear para el control de intersección y su justificación

Con el fin de seleccionar el microcontrolador más adecuado a emplear en la Unidad de Control de Intersección (UCI), se elaboró la Tabla 1, la cual engloba cuatro modelos equivalentes en cuanto a las características necesarias para la aplicación. En esta tabla se comparan las características más relevantes de cada modelo, requeridas en el proyecto.

Microcontrolador	INTEL 8051	MOTOROLA MC68HC908GP 32	PIC 18F4550	SILABS C8051F120(*)
Interrupciones	6	18	20	20
Temporizadores	3	3	4	5
Líneas E/S	32	33	35	32
Puerto Serial	1	1	1	2
Memoria FLASH	32KBytes	32KBytes	32KBytes	64 KBytes
Memoria RAM	512 Bytes	512 Bytes	2KBytes	8 KBytes
Memoria EEPROM	-	(flash)	256Bytes	(flash)
Lenguaje de programación	Assembler	Assembler/ Lenguaje C	Assembler / Lenguaje C	Assembler / Compilador de C

Tabla 1.-Microcontroladores

(*) Basado en la arquitectura del Intel 8051

El microcontrolador seleccionado fue el **SILABS C8051F120(*)**, debido a que cuenta con dos puertos de comunicación serial lo cual facilita la implementación de la comunicación bidireccional con las dos unidades, el Modem y las unidades de control de semáforo UCS, y además ofrece mayor número de temporizadores, memoria y suficientes interrupciones.

Otra ventaja es que el fabricante unido a la posibilidad de trabajar con Lenguaje de alto nivel o bajo nivel de manera eficiente, ofrece un kit de herramientas que facilita: la inclusión del software al microcontrolador, la emulación del dispositivo cuando esté en marcha y una tarjeta impresa que ofrece conexiones con los puertos de entrada y salida.

Adicionalmente, la implementación de este microcontrolador permitiría unificar el proyecto PISACOTA a nivel del establecimiento de la comunicación y la utilización de un dispositivo con ciertas características adaptadas al sistema que se encuentra en desarrollo; debido a que también fue el dispositivo utilizado por los encargados de desarrollar otro de los subsistemas de la plataforma, cuyo trabajo se titula "Unidad de transmisión inalámbrica para estaciones automatizadas de adquisición de datos de tráfico automotor".

III.3.- Selección del microcontrolador a emplear para el control de los semáforos y su justificación

Dada la necesidad de comunicación serial con un solo dispositivo, se realizó una comparación de modelos similares de las distintas casas para la selección del microcontrolador. En esta comparación se emplearon modelos de menor nivel a los considerados en el punto anterior, dado que estos cubren las necesidades requeridas.

Se observó que el dispositivo Motorola posee prestaciones favorables en casi todos los aspectos, sin embargo las características del PIC16F877 (Ver tabla 2) resultan suficientes, además de poseer las siguientes razones para su selección:

- Fácil adquisición en el mercado Venezolano y precio inferior a los demás, lo cual sería vital en caso de realizar la implantación del subsistema.
- Experiencia previa con la tecnología de microchip y disponibilidad de programadores, como el PIPO2, necesario para grabar el código en el microcontrolador.
- Arquitectura similar y compatible pin a pin con modelos más avanzados de Microchip, como el PIC 18F4550, lo que facilitará el transporte del software diseñado para el PIC 16F877A a los de nueva generación en caso de ser necesario para la inclusión de nuevas funciones.

CARACTERÍSTICAS	16F877
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc

Tabla 2.- PIC16F877

III.4.- Selección de la Tecnología inalámbrica a emplear y su justificación

Con el propósito de seleccionar la tecnología inalámbrica más adecuada para el proyecto, se estudiaron algunos sistemas presentes en el mercado tales como microondas, infrarrojo, WI-FI, Wi-Max y tecnología celular; donde los 4 primeros tuvieron que ser descartados por presentar limitaciones en las necesidades requeridas. Por medio de la Tabla 3 se pueden apreciar las restricciones de cada tecnología.

TECNOLOGÍA	RESTRICCIÓN
Microondas	• Requiere línea de vista
Infrarrojo	• Requiere línea de vista • Ondas de corto alcance
Wi-Fi	• Cobertura de 300 m
Wi-Max	• Está en proceso de estandarización • Equipos costosos

Tabla 3.-Tecnología inalámbrica y sus restricciones

Como resultado de esta investigación, se decidió, que la mejor alternativa es la tecnología móvil celular, debido a que no requiere línea de vista ni presenta problemas de alcance y ofrece cobertura en todas las áreas de interés, es decir, está implementada en gran parte del territorio Venezolano.

Dentro de la telefonía móvil celular, existen tres tecnologías que coexisten actualmente en Venezuela y para poder seleccionar la más adecuada, se elaboró una tabla comparativa donde se evaluaron los aspectos más relevantes de cada una. (Ver Tabla 4)

Tecnología	TDMA	CDMA	GSM
Esparcimiento del Canal	30KHz	1.250KHz	200KHz
Número de canales	333	20	125
Número de usuario por Canal	3/6	42 aprox. Dependen de interferencias	8/16
Índice Binario de Canal	48.6 Kbps	1.2288 Kbps	384 Kbps

Calidad de Servicio	Disminuye al estar asignando AB a CDMA	CDMA Ofrece mayor Seguridad que GSM	
Servicios	Voz y Datos	Voz, Data y Video	Voz, Data y Video
Cobertura	Nacional	Nacional	*Regional

Tabla 4.-Métodos de acceso en la tecnología celular.

* Para el momento de la selección de la tecnología a utilizar el servicio GSM estaba en manos de operadores diferentes y no se encontraba integrado a nivel nacional.

TDMA por su capacidad e índice binario del canal no presenta características atractivas al proyecto, y sus equipos se encuentran descontinuados. En Venezuela no existe ninguna operadora que actualmente ofrezca servicios apropiados a la aplicación por medio de esta tecnología.

El método de acceso seleccionado fue CDMA, debido a que la capacidad que presenta es 4 ó 5 veces mayor que la capacidad GSM, es más rápida en velocidad y transmisión, además de ofrecer una seguridad superior y un uso del espectro radioeléctrico más eficiente, como valor agregado cuenta con aproximadamente 19 millones de usuarios en el país y posee una tecnología integrada a nivel nacional. Otro factor determinante para la elección del sistema CDMA fue la facilitación de equipos y líneas de prueba por parte de la empresa Movilnet.

III.5.- Comunicación USC - UTI

La comunicación entre estos dos elementos se realiza a través del protocolo TCP / IP (CDMA2000 1xRTT), y a una velocidad de 144 Kbps.

Para definir el establecimiento de la conexión, se realizó un estudio detallado del equipo inalámbrico y su *datasheet* , conociendo que el procedimiento para

inicio de conexión debe realizarse a través de comandos "AT" enviados al servidor(central) por el modem, lo cual favorece el reporte de alarma y solicitud de paso de peatones en tiempo real.

Dadas estas condiciones la UCI se programó para iniciar la comunicación al presentarse alguna de estas señales (alarma o peatones). Adicionalmente el controlador se configuró con un temporizador, cuya interrupción inicia la conexión. Este tiempo predeterminado fue asignado de forma arbitraria dado que, como se explicó anteriormente, es necesario realizar un estudio con personal especializado para la determinación de los mismos.

En cuanto a la desconexión, la UCI también fue programada para iniciarla en cuanto se haya recibido toda la información requerida, evitando la ocupación del canal por períodos innecesarios.

III.6.- Comunicación UCI – UCS

La comunicación entre la UCI y la UCS se efectúa a una velocidad de 57,6 Kbps, y está conformada por tres bloques de información:

- Señal de secuencias: información que viaja desde la UCI hasta la UCS, en forma serial.

- Señal de sincronismo: byte que viaja desde la UCI hasta UCS por medio de una conexión vía hardware, y es el encargado de permitir la activación de los planes de tiempo en las unidades de control de semáforo.

- Señal de alarma, señal de solicitud de paso peatonal y señal de monitoreo: información que viaja desde la UCS hasta la UCI, en forma serial. Es importante destacar que el diseño del sistema, para este último bloque, también brinda la posibilidad de enviar la información en forma paralela a través del hardware.

III.7.- Formato de tramas

USC - UCI

Para el desarrollo de la Unidad de simulación de la central, se efectuaron varias reuniones con los integrantes del grupo PISACOTA, donde se discutió y se acordó el formato de las tramas que viajarían desde y hacia la central. Los campos se explican a continuación y el formato de las mismas se puede observar en la tabla 5.

Características:

- Cada campo tiene una longitud de 1 Byte
- Delimitador de inicio y fin de trama, el carácter "#"
- Id de la intersección: cada intersección tendrá un identificador único
- Id del semáforo: cada semáforo dentro de una intersección, tendrá un identificador único
- Tipo de trama: valor "0" trama de solicitud de paso de peatones, valor "1" trama de alarma, valor "2" respuesta de monitoreo
- SA: semáforo A
- SB: semáforo B
- SC: semáforo C
- SD: semáforo D

En la trama UCI-USC, los campos SA, SB, SC y SD pueden tomar el valor de "0" o "1", lo cual indicara inactividad o actividad, respectivamente, para cada uno de los tipos de trama; como se expone a continuación:

- Si el tipo de trama es igual a "0", la presencia de un "1", en un campo, indica que se ha accionado el botón de solicitud de peatones en ese semáforo.

- Si el tipo de trama es igual a "1", la presencia de un "1", en los cuatros campos indica la presencia de una alarma en la intersección
- Si el tipo de trama es igual a "2", la presencia de un"0", en un campo, indica falla de comunicación entre la UCI. y la UCS de ese semáforo.

Trama de bajada USC – UCI:

Longitud = 18 Bytes

#	ID de la Inter.	ID del semáforo	Sec1	Sec2	Sec3	Sec4	Sec5	Sec6	Sec7	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	#

(a)

Trama de subida UCI – USC

Longitud = 8 Bytes

#	ID de la Inter.	ID del semáforo	Tipo de Trama	SA	SB	SC	SD	#

(b)

Tabla 5.- Formato de tramas
(a) Trama de bajada USC – UCI, (b) Trama de subida UCI - USC

UCI - UCS

Para el desarrollo de la Unidad de Control de Intersección (UCI), se definió el formato de la trama a transmitir desde la UCI hacia la UCS. Los campos, tiene el mismo significado que en el caso anterior, y el formato se puede observar en la tabla 6.

La trama de subida, está compuesta por un sólo *byte*; octeto que estará conformado, por el ID del semáforo que lo genera y un *bit* característico de la señal solicitada (monitoreo, paso peatonal ó confirmación de recepción de secuencia), que en conjunto generan un *byte* único, como se puede observar en la tabla 7. Para el caso de señal de alarma se definió un único octeto independiente

del semáforo que la genera, debido a que el interés en esta señal es a nivel de intersección y no de semáforo.

Trama de bajada UCI - UCS

Longitud = 18 Bytes

U	Tipo de Trama	ID del semáforo	Sec1	Sec2	Sec3	Sec4	Sec5	Sec6	Sec7	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	*

Tabla 6.- Trama de comunicación UCI-UCS

Byte		Alarma	Monitoreo	Peatón	ACK
Semáforo A	Binario	11111111	100000000	10000001	10000010
	Decimal	255	128	129	130
Semáforo B	Binario	11111111	01000000	01000001	01000010
	Decimal	255	64	65	66
Semáforo C	Binario	11111111	00100000	00100001	00100010
	Decimal	255	32	33	34
Semáforo D	Binario	11111111	000100000	00010001	00010010
	Decimal	255	16	17	18

Tabla 7.- Significado de cada Byte en trama de subida UCS- UCI

III.8.-Unidad de Simulación de la Central (USC)

Se empleó el software Microsoft Visual Basic 6.0, para programar la aplicación que emulará a la Central, desarrollando únicamente las características relacionadas con el control de los semáforos. El diagrama de flujo de la aplicación se puede observar en la figura 10, donde se visualizan los procedimientos de la USC.

Al iniciarse la aplicación, ésta espera por una petición de conexión que eventualmente solicitará la unidad de comunicación inalámbrica (UCI); una vez establecido el enlace, la USC ejecuta diferentes acciones, según sea su estado: enviar o recibir.

Antes de poder enviar las tramas por el canal de bajada, se requiere que las mismas sean previamente generadas, para lo cual el usuario cuenta con dos modos de operación; el modo automático donde las secuencias de los semáforos serán generadas automáticamente; y el modo manual donde las secuencias deberán ser ingresadas por el usuario.

En el estado de recepción, la aplicación identifica a través de la cabecera, el tipo de trama y el semáforo de origen, para proceder a actualizar los valores respectivos, los cuales pueden ser: monitoreo, alarmas y solicitud de paso de peatones.

III.9.- Programación del microcontrolador SILABS C8051F120.

Para realizar esta actividad se utilizaron las herramientas de desarrollo ofrecidas por el kit C8051F12x-DK de la empresa Silicon labs, (Ver Apéndice B), y una vez establecidos en el ambiente de desarrollo y empleando el leguaje de programación C, se procedió a desarrollar el código, definiendo los valores iniciales del microcontrolador, en lo que respecta a los registros del oscilador, de las unidades de comunicación serial, los temporizadores, y del manejador de interrupciones. Se fijó un ciclo infinito general y un temporizador para establecer las condiciones que indiquen necesidad de conexión. En la figura 11 se puede observar el diagrama de flujo del microprocesador.

El microcontrolador está programado para solicitar conexión, a través de dos condiciones: bien sea por interrupción del temporizador al expirar el tiempo límite de espera, ó al detectar una solicitud de alarma o de paso peatonal. Una vez que entre en el proceso de "conexión", seguirá los siguientes pasos:

1. Solicitud de estado de conexión de las Unidades de Control de Semáforo (Monitoreo)
2. Establecimiento de la conexión con la central.

3. Recepción de secuencias.
4. Generación de tramas de información: alarma, monitoreo y paso de peatones.
5. Envío de tramas de información a la central.
6. Desconexión.
7. Si el proceso de monitoreo fue satisfactorio, se envían las secuencias recibidas a las Unidades de Control de Semáforo.
8. Si el proceso de monitoreo muestra una UCS desconectada, la secuencia a enviar es un estado intermitente, tal como lo establece la norma COVENIN (2753:1999) en su artículo 5.4.3.8.4 "Intermitencia por falla o conflicto".
9. Retorna al ciclo principal

En el Apéndice B, se encuentra expuesto de forma detallada todo el código de programación del microcontrolador.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA USC

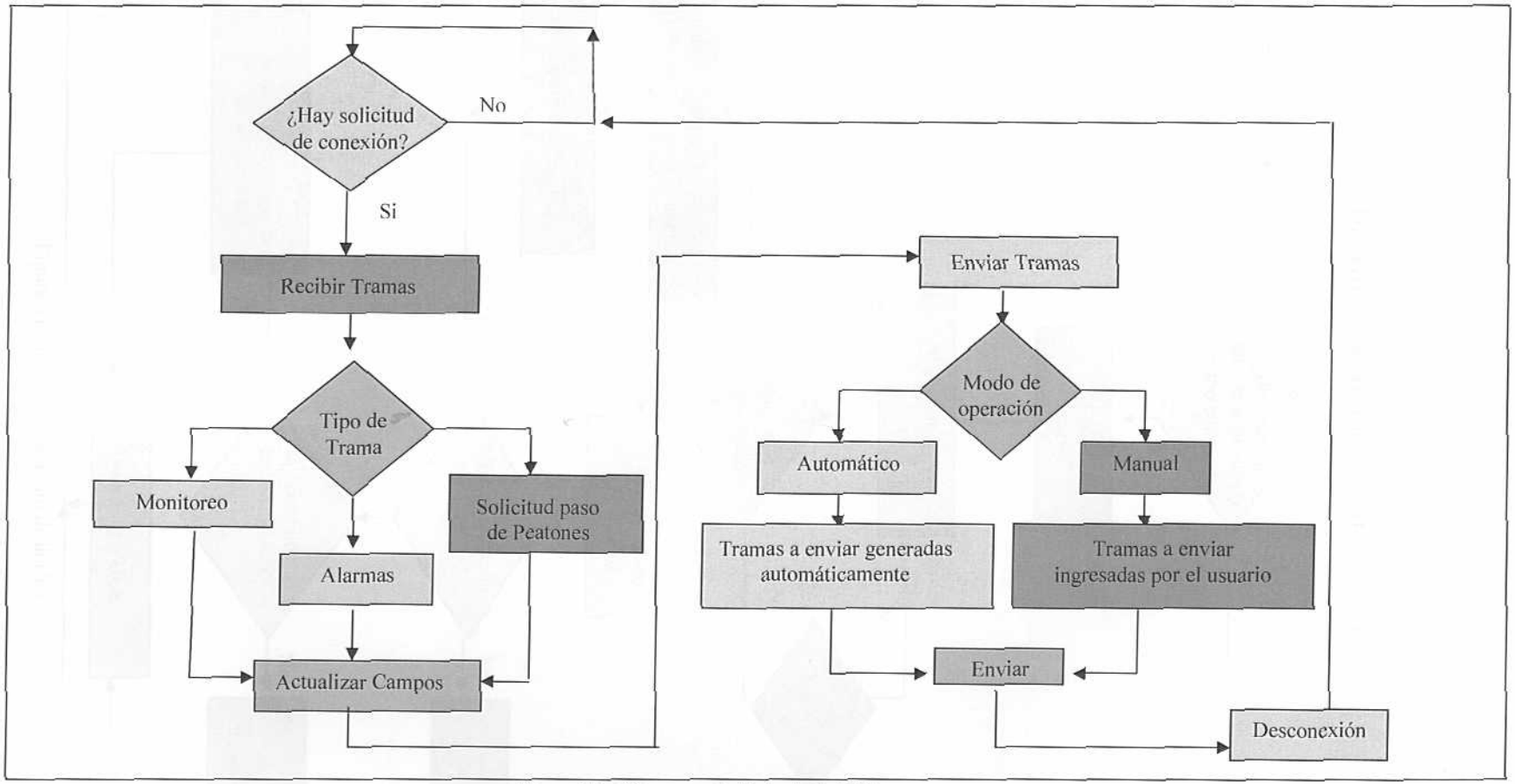


Figura 10.- Diagrama de Flujo de la USC

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UCI

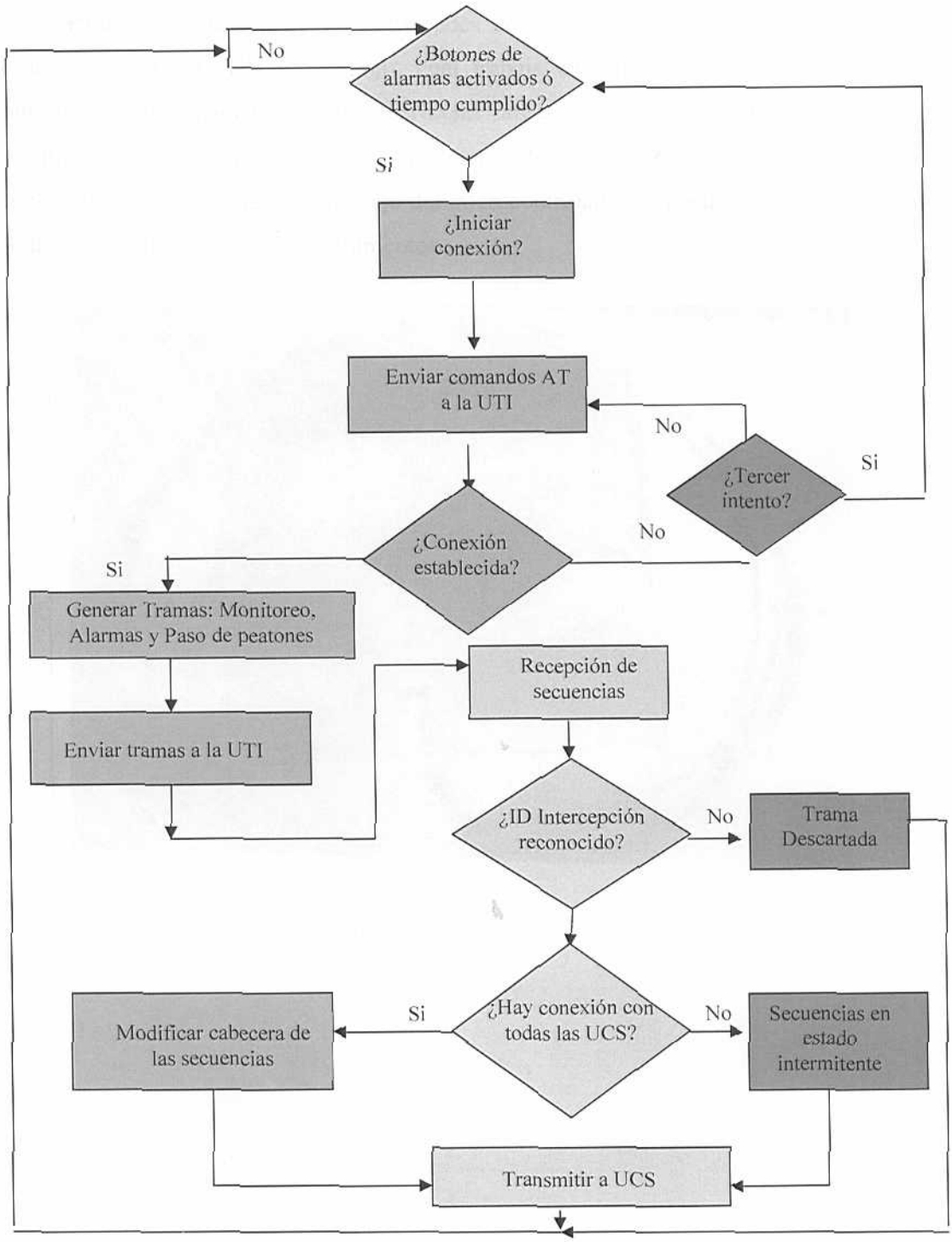


Figura 11.- Diagrama de Flujo de la UCI

III.10.-Programación del microcontrolador 16F877

Para la realización de las actividades del PIC se trabajó con dos ambientes de desarrollo: MPLAB IDE v 7.21, el cual trabaja en lenguaje ensamblador y permite configurar el PIC para que realicen diversas tareas, y el software ICPROG v 1.5, en conjunto con el programador PIPO2 (ver figura 12), para la grabación del programa en el microcontrolador. El diagrama de flujo del microcontrolador se puede observar en la figura 13, donde se visualizan los procedimientos.

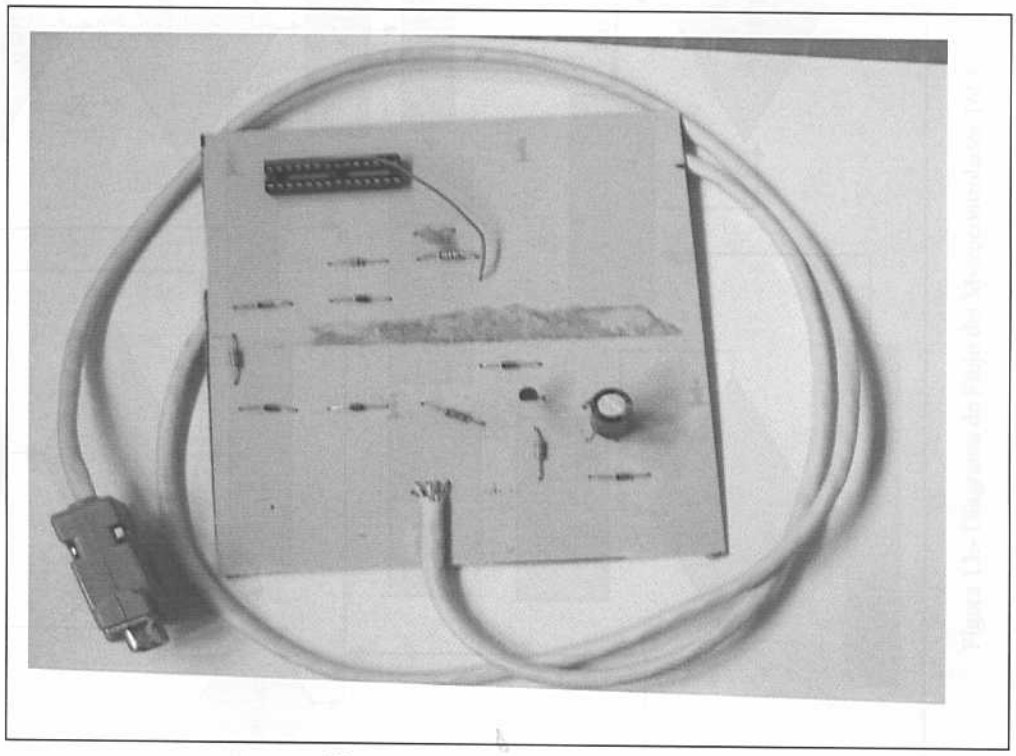


Figura 12.- Programador PIPO2

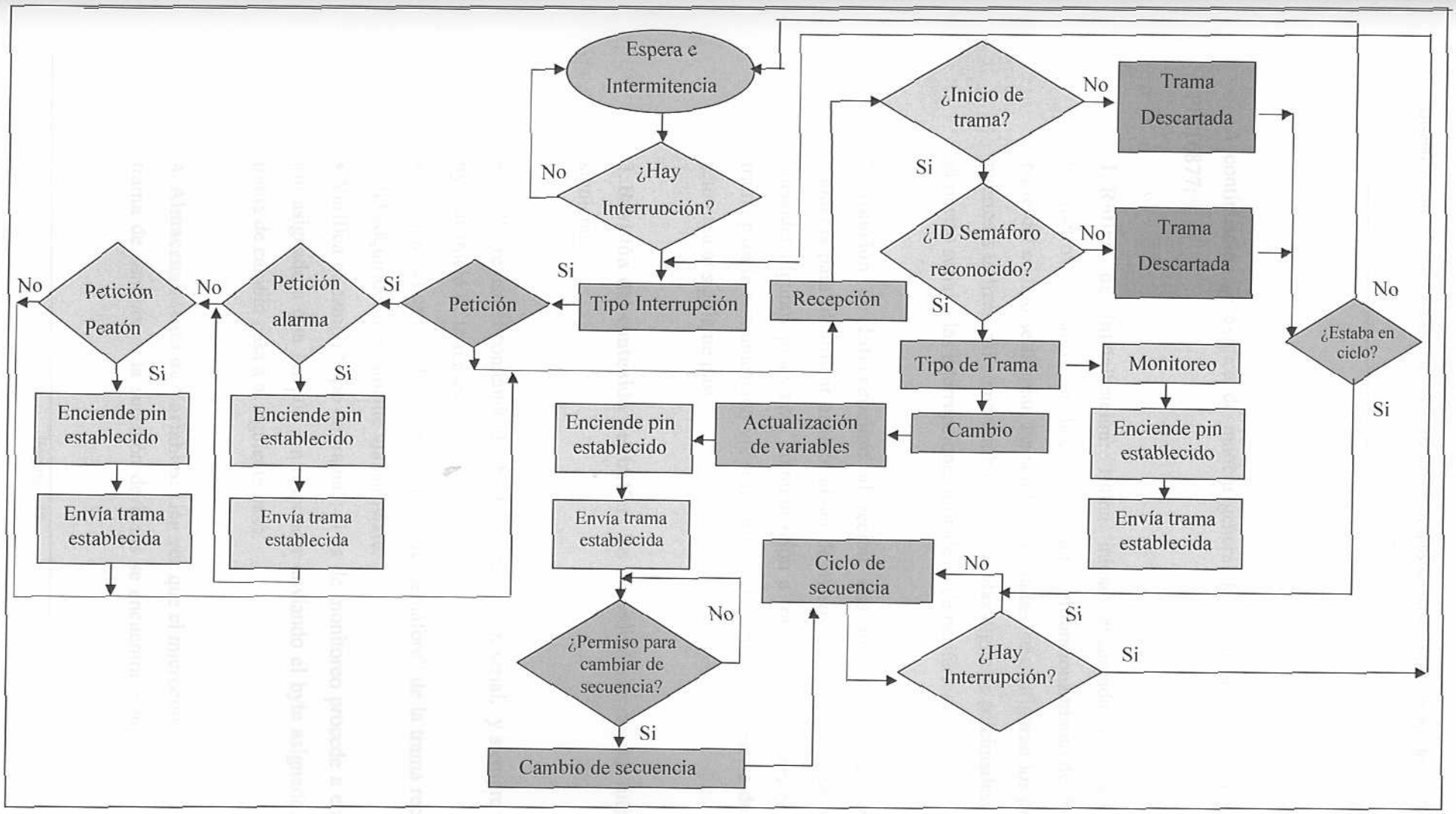


Figura 13.- Diagrama de Flujo del Microcontrolador 16F877

A continuación se explica de manera general la estructura de programación del PIC16877:

1. Rutina de inicialización: rutina inicial encargada de configurar los parámetros necesarios para la comunicación y el funcionamiento del PIC. En esta parte del código se limpian las salidas y entradas, se configuran los pines de los puertos a utilizar, así como también las entradas digitales adicionales, se habilita el puerto serial y las interrupciones globales y de periféricos

2. Atención de Interrupción: al recibir una interrupción se verifican las banderas para identificar el tipo, al ser de avisos de Alarma o Peatones pasa a encender algunos pines para comunicación a través de Hardware y envía una trama para la comunicación vía software; se comprueba la bandera de recepción y se pasa al siguiente paso.

3. Revisión del contenido del búffer: los procedimiento de esta rutina son los siguientes:

- El PIC revisa el contenido del búffer de recepción serial, y siempre verifica el byte de inicio de trama establecido.
- Compara el campo de "identificación del semáforo" de la trama recibida, con el ID adquirido previamente vía hardware.
- Verifica el campo "tipo de trama": si es de monitoreo procede a encender un pin asignado a esta función y a responder enviando el byte asignado; si es una trama de cambio pasa a al siguiente paso.

4. Almacenamiento de Variables: Una vez que el microcontrolador identifica la trama de cambio, si la sucesión de bytes se encuentra completa. almacena los

5.parámetros recibidos de secuencia y tiempos, en las distintas variables creadas; al recibir el fin de trama enciende el pin asignado a esta función y envía el byte establecido.

6. Ciclo encendido: Luego de almacenar cada uno de los parámetros, revisa la señal de sincronismo, si este se encuentra en "uno lógico", pasa al ciclo de encendido, en el cual se procede a configurar los puertos, de acuerdo a las secuencias y los tiempos especificados en la trama.

Las características configuradas en el PIC para la comunicación serial, fueron las siguientes: trama de 18 bytes y velocidad de transmisión de 57600 Baudios/seg, los tiempos para cada configuración serán dados por retardos realizados con ciclos de maquina.

En el Apéndice C, se encuentra expuesto de forma detallada todo el código de

programación del microcontrolador.

III.11.-Elaboración de los circuitos impresos

La Unidad de Control de Semáforo (UCS), así como los prototipos de semáforos, fueron montados en circuitos impresos, con el propósito de lograr la integración del sistema a nivel de hardware.

En primer lugar se llevó a cabo el diseño esquemático de cada circuito, en el software de aplicación Express SCH®, (en la figura 14 se puede observar el diseño de la UCS). Luego se realizó el *layout* a través del software Express PCB® para ser transferido a la lámina de cobre y finalmente someterse al tratamiento químico. Soldar y hacer pruebas de continuidad fueron las actividades finales que se realizaron para implementar las tarjetas. En el apéndice D se describe con detalle el proceso seguido para la realización de los circuitos impresos, así como en el apéndice E se muestran los planos obtenidos en Express PCB®.

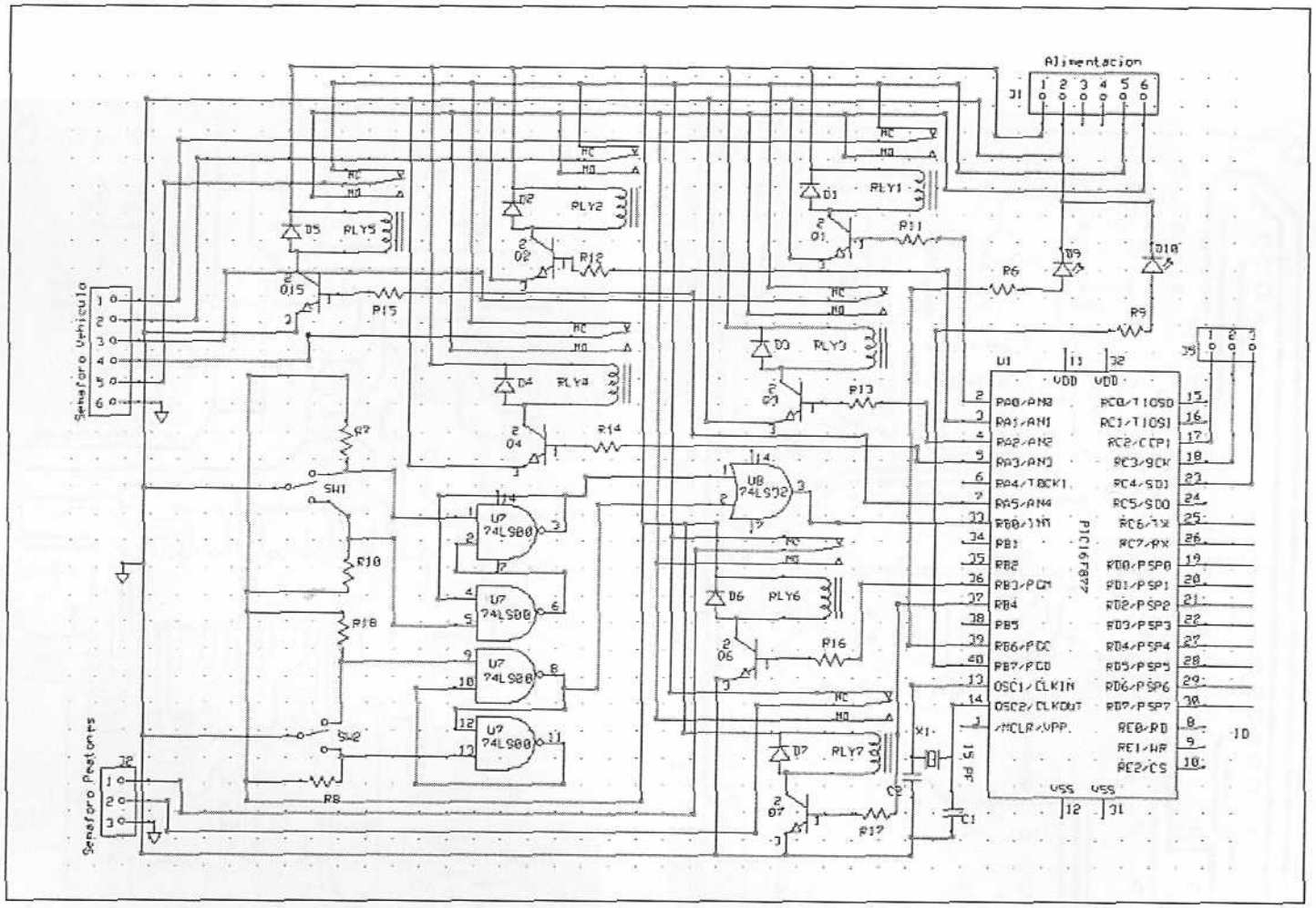


Figura 14a.- Diagrama esquemático de la UCS en SCH

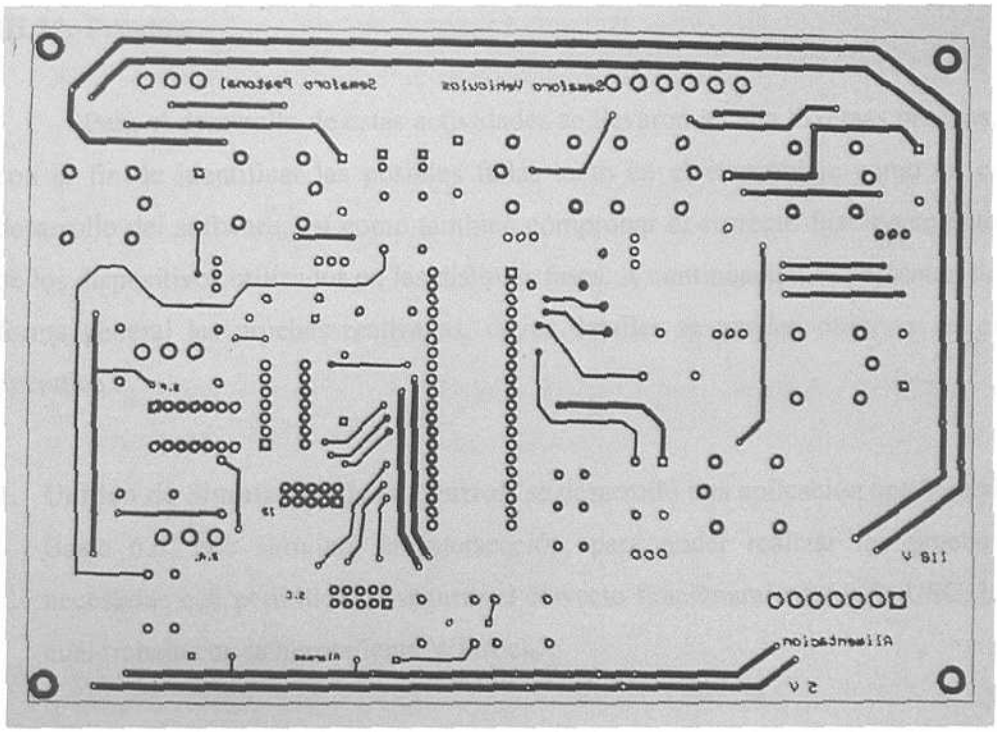


Figura 14b.- Circuito impreso de la cara A de la UCS en PCB

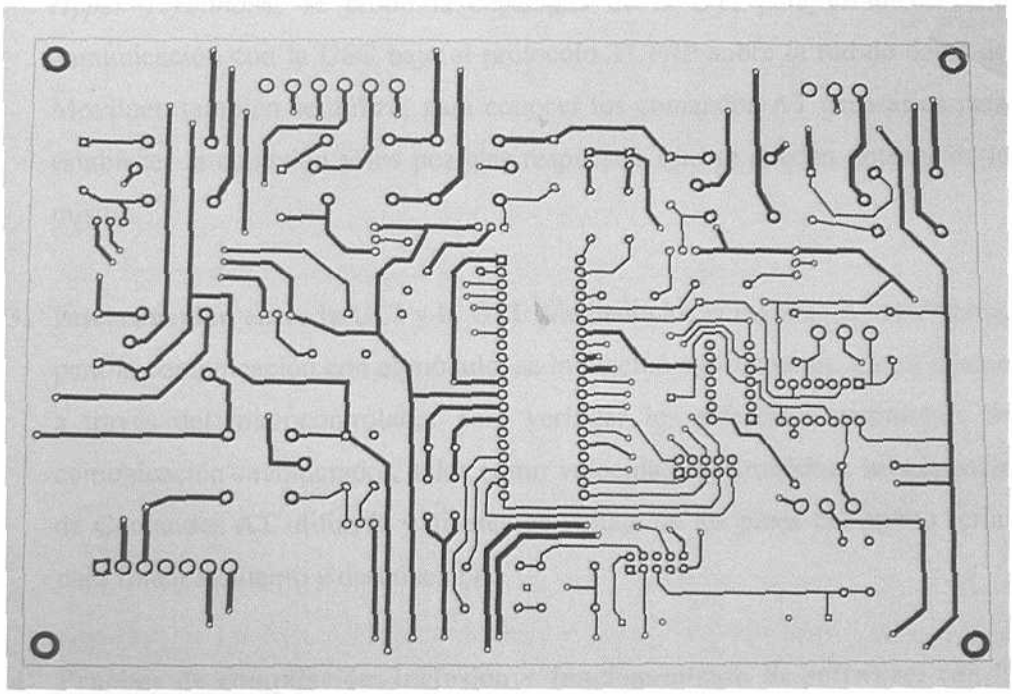


Figura 14c.- Circuito impreso de la cara B de la UCS en PCB

III.12.-Pruebas

Para el desarrollo de estas actividades se llevaron a cabo diversas pruebas, con el fin de identificar las posibles fallas tanto en el ensamblaje como en el desarrollo del software, así como también comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos utilizados en las distintas fases. A continuación se presentan de forma general las pruebas realizadas, cuyos detalles se pueden observar en el apéndice F.

1. **Unidad de Simulación de la Central:** se desarrolló una aplicación con Visual Basic 6.0, que simulará la intersección, para poder realizar las pruebas necesarias que permitieran asegurar el correcto funcionamiento de la USC, la cual trabaja con la herramienta Winsock.

2. **Unidad de Transmisión Inalámbrica:** Utilizando el software de aplicación *Hyper Terminal®*, se probó la capacidad de la UTI para establecer una comunicación con la USC bajo el protocolo TCP/IP sobre la red de datos de Movilnet, también se utilizó, para conocer los comandos AT necesarios para establecer la conexión y los posibles respuestas que se pueden obtener de la misma.

3. **Interconexión entre la UCI y la UTI**: Mediante los comandos AT necesarios para la comunicación con el módulo, se interactuó exitosamente con el mismo a través del microcontrolador para verificar los diferentes parámetros de comunicación involucrados, tales como velocidad, sincronismo, la secuencia de Comandos AT utilizada y niveles de voltaje de los pines del puerto serial para funcionamiento y desconexión.

4. **Pruebas de compilación, inclusión y funcionamiento de software:** con la ayuda de IDE v 7.21, el software ICPROG v 1.5, en conjunto con el programador PIPO2, se realizaron varias integraciones de software al PIC y se

hicieron corridas con la herramienta de simulación MPLAB SIM, la cual permitió observar la evolución del código y el cambio en los valores de las variables, para detectar los errores de programación.

5. **Interconexión entre la UCS y el Computador**: se desarrolló una aplicación con Visual Basic 6.0, que permite la comunicación del PIC16F877 con el puerto serial del computador utilizando Mscomm, para símular el envió de los comandos realizados por la UCI. A través de esta herramienta se pueden modificar las secuencias a enviar y observar los caracteres enviados y recibidos, en forma de caracteres y en código ASCII, facilitando el análisis del funcionamiento del PIC.

6. **Verificación del buen funcionamiento de los componentes y los circuitos impresos elaboradas:** Se probó la continuidad de las líneas conductoras realizadas y el funcionamiento de cada uno de los componentes antes de ser incluidos en las tarjetas.

7. **Interconexión entre la UCS la UCI y el Computador**: dada la limitación de trabajar con direcciones IP públicas, en los laboratorios de la universidad, fue necesario realizar un código sencillo para la UCI, que permitiera enviar y transmitir caracteres, con la finalidad de realizar pruebas, que facilitaran observar el comportamiento de la UCS ante los comandos enviados por la UCI y poder percibir mediante el interfaz del Mscomm, las respuestas enviadas por la UCS, obteniendo resultados satisfactorios al recibir los caracteres esperados para cada acción, permitiendo con esto pasar a la prueba final de integración del sistema.

8. **Interconexión total del sistema:** una vez establecida la conexión entre la USC y UCI se enviaron varias secuencias previamente definidas, observando resultados satisfactorios en cuanto a encendido de luces, cambio de fases, sincronismo y transmisión de los caracteres lo cual se constató a través de la

interfaz. Los caracteres enviados representan los parámetros a monitorear especificados anteriormente en la Tabla 7.

9. Luego de cada una de las pruebas se realizó la corrección de los errores detectados y se registraron las fallas en el desempeño de los dispositivos y de la red empleada

III.13.-Análisis de Costos

Dado que este proyecto no abarca la fase de instalación, se realizó un análisis de costos, en base a los dispositivos eléctricos y electrónicos a utilizar en el proceso de construcción del subsistema, más no el estudio económico necesario para la puesta en servicio del mismo; solamente se consideraran algunos costos de instalación relacionados con el cableado. A continuación se muestran las fases desarrolladas:

a. Costo de desarrollo

Esta fase engloba la inversión realizada en horas hombre, sin embargo como el proyecto abarca actividades de diseño, programación y ensamblaje, se decidió dividir este costo en horas de ingeniero y horas de técnico, como se observa en la tabla 8.

Horas Trabajadas

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
130	Técnico	6.380,00	829.400,00
250	Ingeniero	7.893,00	1.973.250,00
		Total Bs.	2.802.650,00

Tabla 8.- Inversión total por horas trabajadas

b. Costo de materiales

Esta fase comprende el reporte detallado de los costos de materiales necesarios para llevar a cabo la implementación del subsistema; para lo cual se desarrollaron tablas independientes de cada una de las unidades y accesorios que forman parte de los módulos del sistema. El costo total de cada uno de las partes se agrupó en la tabla 9, indicando así la inversión total del subsistema a nivel de materiales

Los costos detallados de cada unidad se pueden observar en el apéndice G.

Sistema para control de semáforos

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total (Bs.)
1	Unidad de Transmisión Inalámbrica	569.400,00	569.400,00
1	Unidad de Control de Intersección	427.050,00	427.050,00
1	Circuitos impresos	238.196,00	238.196,00
1	Tarjeta de Alimentación	148.294,04	148.294,04
4	Unidad de Control de Semáforo	64.340,92	257.363,68
4	Prototipo de semáforo vehicular	40.619,45	162.477,80
4	Prototipo de semáforo peatonal	18.843,78	75.375,12
		Total Bs.	1.878.156,64

Tabla 9.- Inversión total (materiales) del Sistema para control de semáforo

Dadas las limitaciones económicas para la adquisición de equipos, se tomaron las siguientes acciones:

- Una vez seleccionada la tecnología inalámbrica, se contactó a la empresa Movilnet con el fin conseguir disponibilidad de los recursos necesarios para desarrollar la unidad de transmisión inalámbrica. Obteniendo como resultado la concesión del módulo AnyData EMII-800.
- Se solicitó a los Ing. Ángel Bracho y Raúl Carpio, una autorización para trabajar con el kit C8051F12x-DK, adquirido por ellos anteriormente.

- Se ingresó una planilla para "Solicitud de Financiamiento a Proyectos de Investigación", en el CDCHT (Consejo de Desarrollo, Científico, Humanístico y Tecnológico), cuya aprobación fue notificada en enero de 2007.

c. Costo de Instalación

Debido al diseño modular del sistema, se analizaron dos alternativas factibles para la instalación del mismo; en las cuales no se consideró el uso del cableado existente, porque según datos de la empresa Semavenca, el establecimiento de nuevos sistemas, para semáforos ya instalados, implica generalmente la renovación de la infraestructura necesaria para la regulación del voltaje y la potencia, debido principalmente a la falta de mantenimiento. A continuación se explican las alternativas consideradas.

a. Ubicación de la UTI, la UCI y las UCS en el gabinete de la intersección

Para esta alternativa debe considerarse el uso de cable de control AWG N° 14 de 5 u 8 conductores, en función de las necesidades de cada semáforo. Se tiene que tomar en cuenta que cada luminaria requiere de un cable de alimentación, desde el gabinete hacia la parte alta de los postes, considerando que el costo de estos cables se encuentra entre los 15.000 y 30.000 Bs. por metro (según datos de SEMAVENCA). Esta alternativa representa una inversión considerable.

La ventaja de esta distribución, radica en que el control de potencia se conserva en un solo lugar, no hace falta la instalación de cableado

de señalización y permite un fácil acceso para el mantenimiento y sustitución de los equipos.

b. Ubicación de la UTI y la UCI en el gabinete de la intersección y cada UCS ubicada en al poste del semáforo específico que controla.

En esta alternativa se disminuye la inversión en cableado de cobre, debido a que solo se requiere instalar una línea para cada semáforo, sin embargo es necesaria la instalación de un cable UTP protegido, de al menos cinco puntos.

Si en un futuro se pretende implementar la comunicación inalámbrica entre la UCI y la UCS, esta configuración brinda las prestaciones necesarias. De igual forma, resulta una alternativa atractiva, para la instalación de semáforos que operen con leds de alta luminosidad, dada la facilidad de instalación de fuentes independientes, alimentadas por celdas solares, que sirvan como respaldo en caso de fallas eléctricas.

Es importante considerar, que para la aplicación de esta alternativa se debe contar con el equipo y las herramientas necesarias, para llevar a cabo el mantenimiento y sustitución de las UCS.

Capítulo IV
Resultados

Finalmente, todo el proceso metodológico establecido, junto con las actividades de investigación, reuniones, visitas y desarrollo, elaborado en estos últimos meses, han permitido obtener los siguientes resultados.

IV.1.- Unidad de Simulación de la Central (USC)

Una vez inicializada la aplicación Simulador de la Central, el usuario visualizará la ventana mostrada en la Figura 15 (a), la cual indica la dirección IP de la estación, a la cual debe conectarse el modem Anydata.

Establecimiento de la conexión:

La aplicación inicia en el estado "Escuchando peticiones", como se puede observar en la parte inferior de la venta y una vez que reciba una solicitud de conexión, se establece la comunicación; y la barra de información cambia al estado de "Conectado", habilitando la posibilidad de enviar tramas.

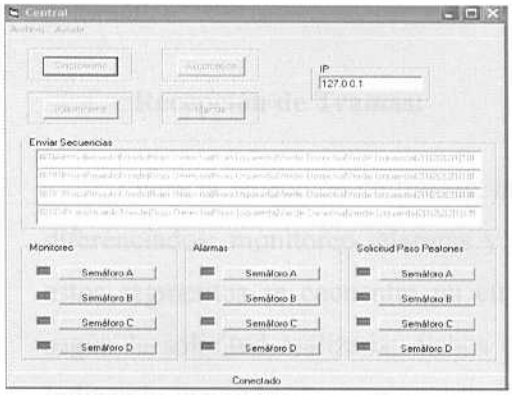


Figura 16.- Ventana "Modo Automático"

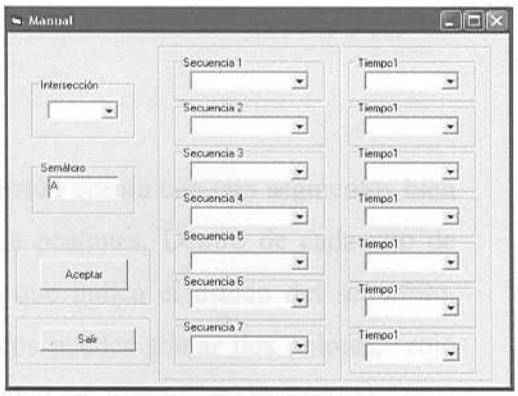


Figura 17.- Ventana "Modo Manual"

Figura 15.- Ventana de la unidad de simulación de la central
(a) Estado inicial, (b) Estado "Conectado"

Generación de Tramas:

Para generar las secuencias de tramas a enviar, el usuario puede elegir hacerlo de forma automática o de forma manual

Automático: Como muestra la figura 16, la aplicación genera cuatro secuencias, una para cada semáforo, indicando la intersección destino y los limitadores de trama, las cuales se pueden observar en el campo "Enviar Secuencias".

Manual: se abre una nueva ventana (figura 17), donde el usuario debe seleccionar la intersección, las secuencias y los tiempos, en los campos indicados para ello, para el semáforo "A". Una vez que presione el botón "Aceptar", se le solicitará seleccionar la secuencia para el semáforo "B" y así sucesivamente hasta completar los semáforos que conforman la intersección. **Envío de tramas:**

Las tramas son enviadas automáticamente a la red Internet, empleando la herramienta Winsock de Visual Basic. Es importante destacar que si no se seleccionó un método de generar tramas, el programa las crea de forma automática.

Recepción de Tramas:

Para la recepción de tramas, la aplicación cuenta con tres segmentos bien diferenciados: monitoreo, alarmas y paso de peatones. Dentro de cada uno de estos segmentos se encuentra un cuadrado que indica el estado del semáforo, según la solicitud realizada; dichos cuadrados pueden tomar dos colores, rojo indicando inactividad y verde indican actividad en el semáforo respectivo. En la figura 18, se puede observa un ejemplo de recepción de tramas, que indica:

- Comunicación estable con los cuatro semáforos
- Botón de alarma no accionado en la intersección

- Botón de solicitud de paso de peatón accionado en semáforo de peatón A, semáforo de peatón C.

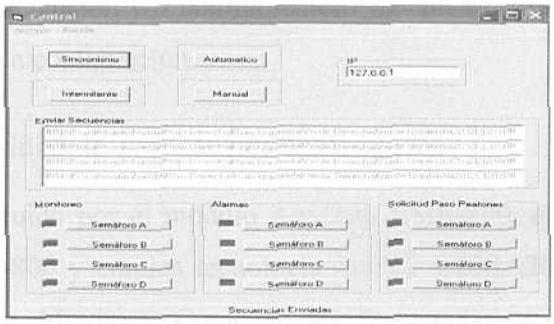


Figura 18.- Recepción de tramas

Desconexión:

La Central se desconecta al recibir una solicitud de desconexión, por parte de la Unidad de Control de Intersección (UCI)

Herramientas:

Desconexión: permite la desconexión de la unidad de transmisión inalámbrica (UTI)

Ayuda: proporciona información sobre la aplicación. Ver figura 19

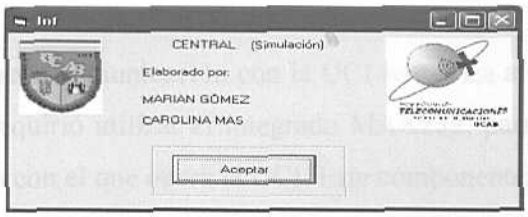


Figura 19.- Ventana de la barra de herramientas "Ayuda"

Salir: finaliza la aplicación

IV.2.- Hardware del Sistema

Cada unidad que conforma el sistema de control de semáforos, requirió del diseño, implementación y/o configuración de un hardware específico. Los cuales se muestran a continuación.

IV.2.1.- Unidad de Transmisión Inalámbrica

Está constituido por el módulo AnyData EMII-800, el cual encapsula al módem DTSS-800 y emplea tecnología 1xRTT CDMA2000, proporcionado por la empresa Movilnet. Como se puede apreciar en la Figura 20, los componentes principales del dispositivo son: la antena necesaria para establecer la comunicación inalámbrica, una interfaz serial con conectores RJ-45 - RS-232 a una tasa de 115.2kbps y una fuente de alimentación con un voltaje comprendido en el rango de 6V a 14V DC.

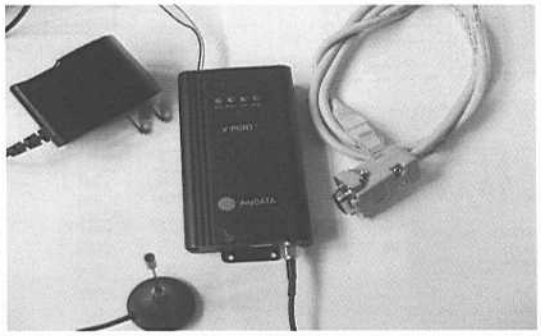


Figura 20.- Módulo AnyData EMII-800 CDMA2000 1xRTT y sus componentes

Debido a que la comunicación con la UCI se realiza a través de la interfaz serial RS-232, se requirió utilizar el integrado MAX232, para conseguir el nivel de voltaje adecuado con el que opera la UCI. Este componente, es un adaptador de voltaje, entre niveles TTL y RS-232 y dicha conversión se efectúa de 5V a –12V, 0V a 12V y viceversa; debido a que la interfaz RS-232 trabaja en lógica negada.

IV.2.2.- Unidad de Control de Intersección (UCI)

Esta unidad está constituida por el microcontrolador C8051F12x y los componentes necesarios para su funcionamiento (Ver Figura 21). Es

importante mencionar que para esta fase se utiliza la tarjeta incluida en el kit C8051F12x-DK, cuyo diagrama se puede observar en la figura 22.

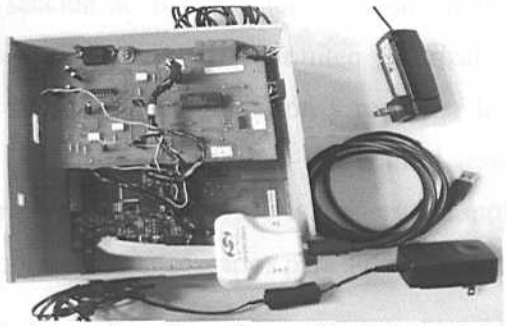


Figura 21. -Tarjetas y dispositivos de conexión de la Unidad de Control de Intersección

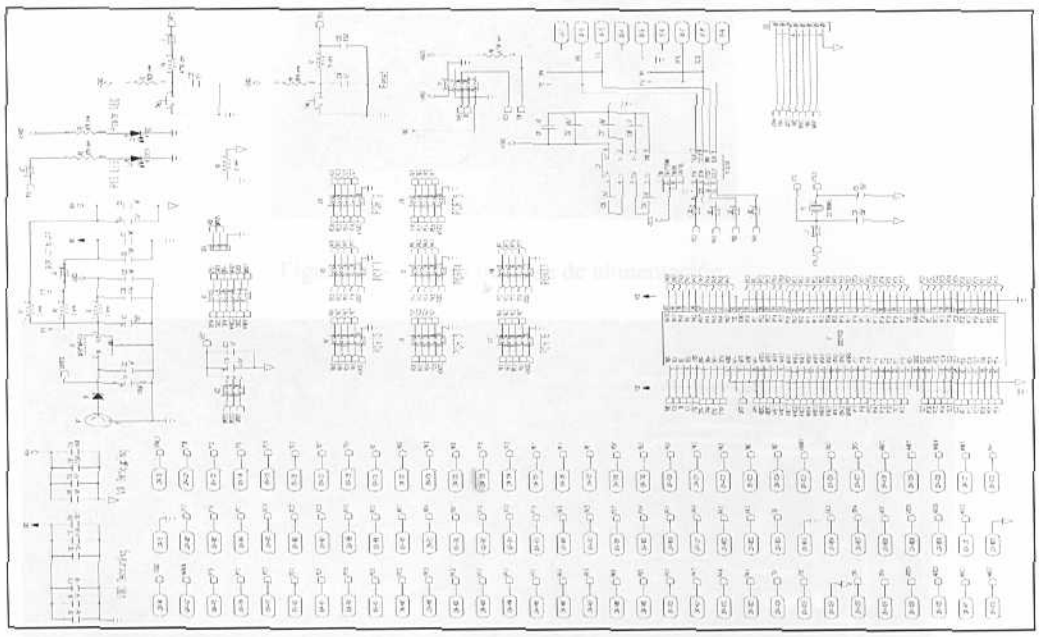


Figura 22.- Diagrama esquemático de la Unidad de Control de Intersección

IV.2.3.- Unidad de Control de Semáforo (UCS)

La UCS se encuentra conformado por dos tipos de circuitos impresos: representado en la tarjeta de alimentación y una tarjeta de

control para cada semáforo, las cuales se pueden observar en la figura 23 y 24 respectivamente.

La sección de alimentación está constituida por conectores jack y conectores molex, los cuales permiten polarizar las tarjetas de control, darles los valores de identificación y recopilar las señales a enviar a la UCI. Por su parte la sección de control está conformada por el microcontrolador PIC16F877, relés, conectores molex, bloques terminales y demás componentes necesarios para su funcionamiento.

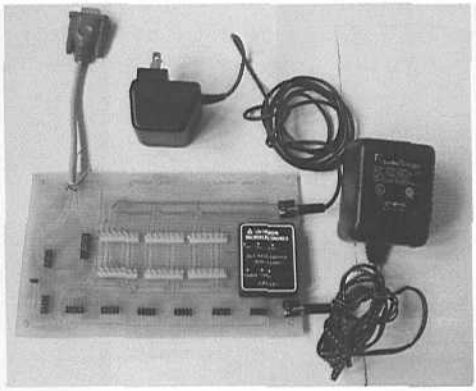


Figura 23.- Tarjeta impresa de alimentación.

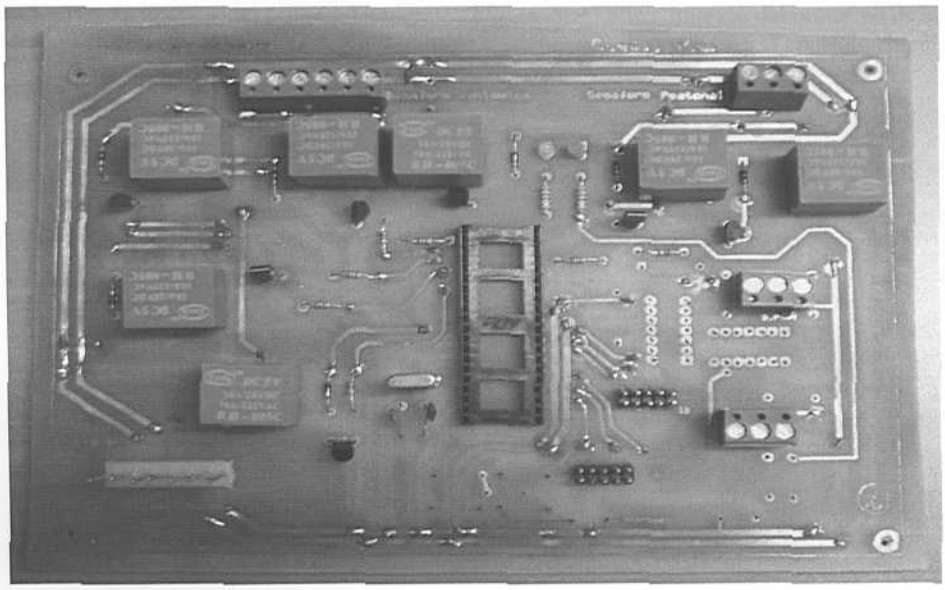


Figura 24.- Tarjeta impresa de Unidad de Control de Semáforo

IV.2.4.- Prototipo de semáforo

El prototipo de semáforo vehicular (figura 25), está constituido por un conjunto de leds, de colores característicos: rojo, amarillo y verde distribuidos de tal forma que permitan observar claramente los cambios de fase. Adicionalmente también se cuenta con el indicador de luces de cruce para el control vehicular (figura 26). Por su parte el prototipo de semáforo peatonal (figura 27), solo emplea leds de color rojo ubicados en forma de "X" y leds de color verde ubicados en forma de "P".

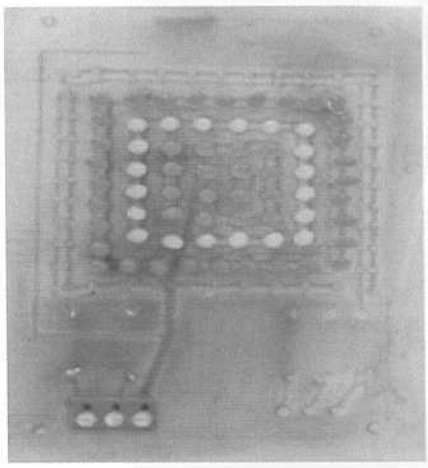


Figura 25.- Tarjeta impresa del prototipo de semáforo de control vehicular

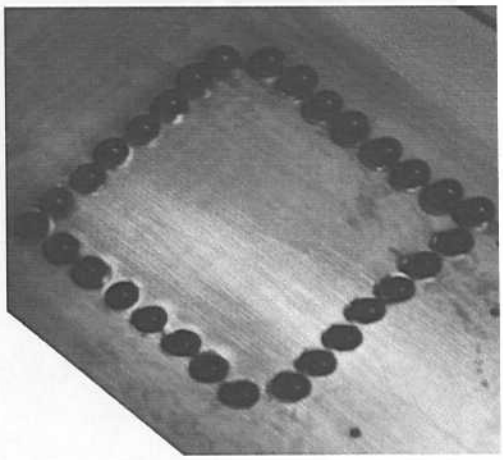


Figura 26.- Tarjeta impresa del prototipo de semáforo de luces de cruce para el control vehicular

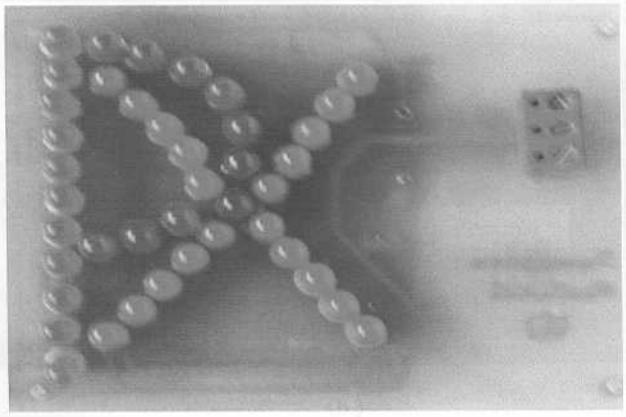
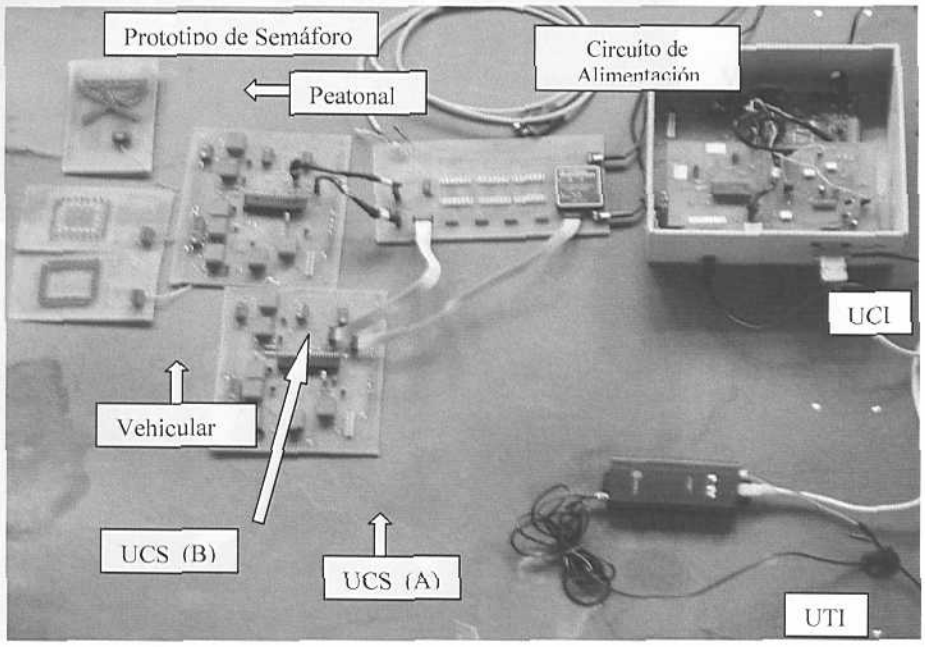


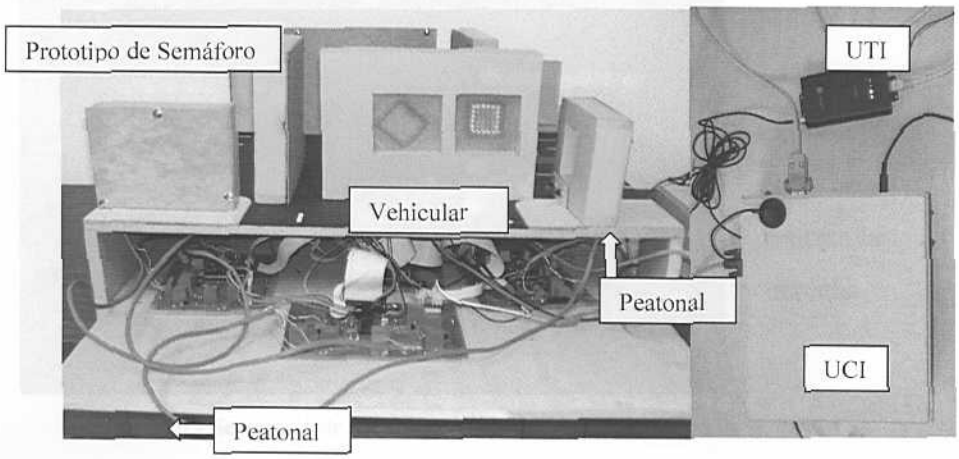
Figura 27.- Tarjeta impresa del semáforo peatonal.

IV.3. Montaje final del prototipo del Sistema.

El montaje final del sistema de control de semáforos se puede visualizar en la figura 28; donde se observan las diferentes interfaces de conexión entre las unidades que lo conforman: la USC, la UCI, las UCS y los prototipos de semáforos.



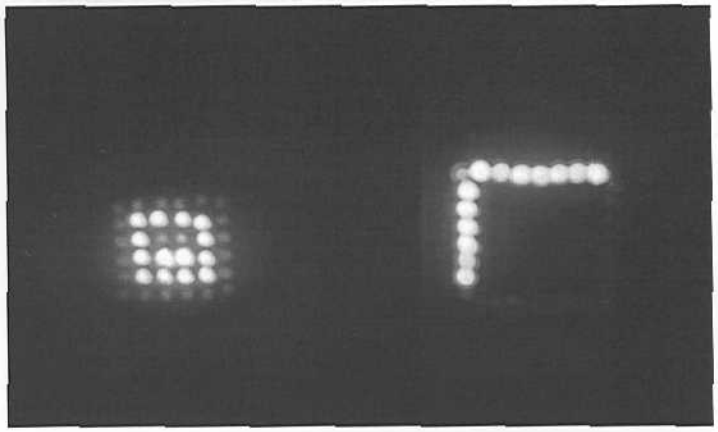
(a)



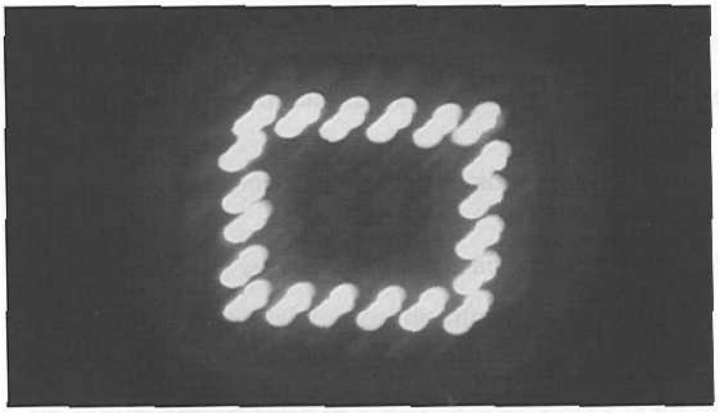
(b)

Figura 28.- Prototipo del Sistema
(a)._Prototipo preliminar , (b)._Prototipo final.

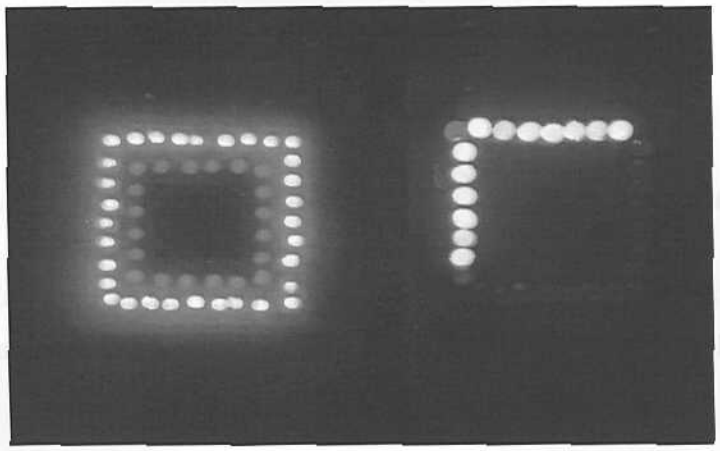
En la figura 29 se pueden observar el prototipo de semáforo con el encendido de algunas de las combinaciones ejecutadas en las pruebas finales.



Verde con cruce a la derecha



Amarillo



Rojo con cruce a la derecha

Figura 29.- Secuencia de luces representada por los prototipo de semáforo

IV.4. Especificaciones del sistema

- Tiempo máximo entre requerimiento de conexión y el establecimiento de la misma es de 30 segundos.
- Velocidad máxima de transmisión de los datos a la USC es 153 Kbps. (Según la documentación del AnyData EMII-800)
- Latencia máxima de la red entre el proceso de conexión y la llegada de los datos a la USC es aproximadamente 10 segundos.
- Necesidad de conexión a Internet disponible.
- El sistema está diseñado para controlar un máximo de cuatro semáforos vehiculares y cuatro semáforos peatonales, con facilidades de extensión.
- No posee protección contra interrupción de energía.
- La central debe esperar la inicialización de la conexión por parte de la intersección para enviar y recibir información.
- La comunicación entre la UCI y la UCS puede realizarse tanto a nivel de software como de hardware.

IV.5.- Reporte de fallas detectadas en las pruebas efectuadas.

En el proceso de ensamblaje y prueba del prototipo se detectaron varias fallas, las cuales se desglosan en la tabla 10, junto con su respectiva solución.

Fallas detectadas	Soluciones
Durante la secuencia AT de recepción se detectaron valores ASCII adicionales no esperados, por lo que el microcontrolador y el módulo no lograban una comunicación efectiva.	Incluir en la programación del microcontrolador los valores detectados en la secuencia AT de recepción.
Durante la ejecución del programa de la UCS se presentaron ciertos reinicios aislados de la rutina en el que se encontrara.	Se colocó un regulador de voltaje para la fuente utilizada.
Fallas en el envió y recepción de datos parte de la UCI	Programas retarnos conalores adecuados para cada una de las etapas de la comunicación
Eventualmente, el microcontrolador luego de aproximadamente 12 horas deja de cumplir con sus instrucciones.	Reiniciar el microcontrolador cada 12 horas.
Falta de continuidad entre las líneas conductoras de las circuitos impresos.	Proceder a soldar, tratando de unir con estaño las líneas discontinuas
Mala activación de las alarmas y peticiones de paso de peatones	Evitar que los pines de entrada para los botones se encuentren al aire, para impedir confusiones del programa en cuanto a la activación de peticiones.
Fallas en la comunicación entre la UCI y la UCS por incompatibilidad de velocidades	Configuración de los microcontroladores con velocidad de 57.600
Persistencia en las fallas anteriores a pesar del cambio de velocidad, dada la presencia de un valor muy alto en el porcentaje de error del cristal utilizado.	Se procedió a sustituir el cristal por uno que presenta un porcentaje de error menor.

Tabla 10.- Fallas detectadas en las pruebas.

Capítulo V
Conclusiones y recomendaciones

V.1.- Conclusiones

Se diseñó y fabricó el subsistema de un semáforo inalámbrico, programable e incorporado a una red inteligente, que funciona correctamente de acuerdo a las especificaciones previstas en el Trabajo Especial de Grado. Este subsistema permite establecer la comunicación, con una intersección conformada por cuatro semáforos vehiculares y cuatro semáforos de peatones, permitiendo reportar el estado de la conexión con cada una de las unidades de control de semáforo; también admite el envío de comandos, a dicha intersección con el fin de modificar algunos parámetros, para optimizar el servicio prestado; entre ellos tiempo, secuencias, fases, luces. Adicionalmente ofrece la posibilidad de dotar a cada semáforo con un botón de alarma y uno de petición de paso de peatones, que reporten a la central estas solicitudes.

Los sistemas de control de tráfico inteligentes existente en Venezuela presentan buen desempeño, pero pueden ser mejorado con la agilización de sus actividades, de forma dinámica, en función de las situaciones reales y momentáneas del tráfico vehicular.

El diseño y construcción de un prototipo para la implementación del subsistema requirió, tomando en cuenta el costo de las horas de trabajo, de una inversión de alrededor de 4.600.000 de bolívares, de los cuales alrededor de 1.800.000 Bs. fueron destinados a la compra de los materiales necesarios, sin incluir el valor de la adquisición de las herramientas utilizadas.

El microcontrolador SILABS C8051F120 seleccionado para el manejo de la intersección, permitió configurar las conexiones con los dispositivos de forma

sencilla y sin mayores inconvenientes, ofreciendo además capacidad para soportar expansión del sistema, de ser requeridos otros servicios.

El microcontrolador PIC 16F877 empleado en el manejo de la unidad de control de semáforo, constituye la herramienta fundamental para el control de cada una de las unidades de semáforo vehicular y peatonal. Representando una adquisición favorable debido, a su costo, a su facilidad de adquisición.

La presencia de botones de alarmas proporcionaría al operador la posibilidad de obtener alertas de forma inmediata., sin necesidad de llamadas telefónicas o presencia directa de personal de servicio.

Se diseñó la USC, de tal forma que permitiera brindarle libertad a quien lo desee implementar, de decidir su ubicarlo, la cual puede ser en el gabinete de la intersección o en el poste de cada semáforo.

La comunicación establecida por software entre la UCI y la UCS ofrece ventajas para la incorporación de semáforos u otro tipo de dispositivos a controlar, frente a la comunicación por hardware que se encuentra limitada por el número de pines libres en la tarjeta de la UCI.

V.2.- Recomendaciones

- Para la rápida integración del subsistema a PISACOTA, es de vital importancia, la implantación del software de la Central.
- Realizar una investigación detallada sobre las estadísticas del flujo vehicular y los intervalos necesarios para cambios de secuencias, que permitan establecer el tiempo de conexión óptimo entre la USC y la intersección, facilitando atender los cambios constantes de forma eficiente,

así como las emergencias. Para esto se previó en el diseño, la posibilidad de modificar ciertos parámetros de funcionamiento.

- Estudiar la factibilidad de la aplicación del subsistema con el uso de GSM, dada la unificación actual que esta llevando a cabo Digitel a nivel nacional y el proceso de migración de las operadoras que trabajan en CDMA a dicha tecnología.

- Estudiar la posibilidad y factibilidad de establecer la comunicación entre la UCI y la UCS de forma inalámbrica, considerando una frecuencia asignada por CONATEL para evitar la presencia de ruido e interferencias.

- Se recomienda la utilización de baterías auxiliares en las estaciones para evitar interrupciones de servicio por falta de energía.

- Instalación de luminarias con la utilización de leds de alta luminosidad, para disminuir el requerimiento de voltaje y potencia.

- Realizar un estudio económico para definir la ubicación más conveniente de las UCS, bien sea dentro del gabinete de la intersección o en el poste de del semáforo.

- Elaboración de las tarjetas de circuito impreso con especial cuidado en el cumplimiento del artículo 4.2.1 de la Norma Venezolana COVENIN 2753:1999.

- Aprovechar la información recopilada en la central, provenientes también de los otros dispositivos que forman parte de PISACOTA, para generar sistemas que permitan brindar información del tráfico en tiempo real.

- Evaluar la conveniencia de utilizar microcontroladores del mismo fabricante y de menor costo, especialmente para la UCI, considerando la programación de otro puerto serial.

- Evaluar el uso de otros microcontrolador, para la implementación de nuevos servicios que presenten mayores prestaciones.
- La capacidad del sistema podría ser aumentada, expandiendo la tarjeta de alimentación y realizando pequeñas modificaciones en algunos segmentos del Software.

Bibliografía

- ✓ AnyDATA.NET Inc. *EMII-800 User Manual Application Information. California*, USA.(Diciembre, 2002)
- ✓ Bracho, Ángel; Carpio, Raúl. (2006).*Unidad de Transmisión Inalámbrica para estaciones Automatizadas de Adquisición de Datos de Tráfico Automotor.* Trabajo Especial de Grado de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela
- ✓ CODELECTRA. *Norma Venezolana: Equipos de control de semáforos.* (1^{era} Revisión). COVENIN 2753:1999.
- ✓ Contreras, Miguel. *Global system for mobile communications.(Octubre 2006)*
- ✓ Ericcson. *CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS.* http://www.ericsson.com/technology/tech_articles/CDMA.shtml(25 de noviembre de 2005).
- ✓ Dávalos, Jorge; Guerra, José.(1.997) *Metodología para la instalación de semáforos.* Trabajo Especial de Grado de Ingeniería. Universidad Santa María, Caracas, Venezuela.
- ✓ Deternoz, Daniel; Fernández , Félix (2006).*Sistema de Gestión y Monitoreo del Tránsito a través de Semáforos Inteligentes* Trabajo Especial de Grado de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela
- ✓ Hernández, Carlos (2005). *Sistema de control vehicular mediante DTMF.* Trabajo Especial de Grado de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- ✓ Fernández, Azael (mayo 2006). *Wimax móvil. La historia de despliegue puede repetirse.* http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2006/mayo/wimax.htm (Noviembre 2006)
- ✓ Lopez, Ely; Velásquez Eduardo (1996). *Proyecto de factibilidad para la coordinación y centralización de la red de semáforos del municipio* Chacao. Trabajo Especial de Grado de Ingeniería, Universidad José Maria Vargas.

- ✓ Microchip. *18F2455/4455/4550 Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/93911/MICROCHIP/ PIC18F4550.html (21 de enero de 2006).
- ✓ Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (3 de Mayo del 2000). *Semáforo*. Cap. 5. http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/ manual/Transito/cap5/seccion51.htm (octubre 2006)
- ✓ Motorola Inc. *M68HC08GP32 Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/ view/82864/ MOTOROLA/ M68HC08.html (20 de enero de 2006).
- ✓ Padilla, Guillermo; Sanpedro Daniel (1998). *Teoría de la Semaforización.* Trabajo Especial de Grado de Ingeniería, Universidad Santa Maria, Caracas, Venezuela
- ✓ Padrón, Milagros (2000). *Análisis y evolución de los sistemas de comunicación inalámbricos: hacia la tercera generación.* Trabajo de Grado de Especialización, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela
- ✓ Qualcomm. *CDMA 2000.* http://www.cdmauniversity.com/cdma/. (2 de diciembre de 2005).
- ✓ Qualcomm. *CDMA 2000 1x.* http://www.qualcomm.com/technology/1x.html. (2 de diciembre de 2005).
- ✓ Sedin, Alberto (2004).*Fundamentos de los sistemas de Comunicaciones móviles (3ª ed.)*. España: McGraw-Hill
- ✓ Semavenca (2005). *SEMAVENCA SEMÁFOROS DE VENEZUELA C.A.* [Folleto]. Mérida. Venezuela
- ✓ Texas Instruments. *Max232 Datasheet.* http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27224/TI/MAX232.html (20 de Abril 2006).
- ✓ Silicom Laboratories. *C8051F12x-13x Datasheet.* http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F12x-13x.pdf (15 de enero de 2006).
- ✓ Wi Fi Alliance. *Wi-Fi Overview.* http://www.wi-fi.org/OpenSection/ why_Wi-Fi.asp?TID=2. (2 de diciembre de 2005).