UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

UNIDAD DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA PARA ESTACIONES AUTOMATIZADAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TRÁFICO AUTOMOTOR.

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: VEINTE PUNTOS MENCIÓN HONOR Y PUBL

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Carlos Pantsios	Nombre: Ángel Aponte	Nombre: Iñaki Mendizábal

ANGEL APONTE

REALIZADO POR	*Ángel Alberto Bracho Biondo.* *Raúl Enrique Carpio Domínguez.*
PROFESOR GUÍA	*Ing. Iñaki Mendizábal.*
FECHA	*Caracas, 13 de octubre de 2006.*

UNIDAD DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA PARA ESTACIONES AUTOMATIZADAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TRÁFICO AUTOMOTOR

El crecimiento desmesurado del parque automotor en Venezuela, ha generado un congestionamiento constante de las arterías viales más importantes causando grandes incomodidades a los usuarios, por lo que se ha detectado la necesidad de crear herramientas automatizadas que aporten soluciones eficientes a esta problemática. En el siguiente trabajo de grado se desarrolla una solución que consiste en la creación de estaciones automatizadas y remotas basadas en la detección de vehículos automotores a través de sensores láser y su transmisión vía comunicación inalámbrica a un centro de procesamiento, y de esta manera poder realizar, a distancia y en tiempo real, la medición de diversos parámetros significativos de tráfico vehicular tales como la cantidad y la velocidad promedio por clase de vehículo. El prototipo de dicha estación esta conformada por tres unidades: 1) la unidad de detección vehicular, encargada de adquirir los datos en el lugar de ocurrencia; esta etapa se precisó desarrollar con la unidad óptica comercial Autosense II, que debido a su imposible adquisición por razones de índole económico fue sustituido por un software simulador del mismo, que proporciona datos de tráfico pseudoaleatorios. 2) La unidad de control y almacenamiento temporal que es desplegada utilizando un microcontrolador Silabs C8051F120, el cual involucra el procesamiento y la acumulación de los datos adquiridos por la unidad de detección, además de funcionar como interfaz entre las etapas de adquisición de las muestras y de transmisión inalámbrica. 3) La unidad de transmisión inalámbrica, constituida por un módulo AnyData EMII-800 de tecnología 1xRTT CDMA2000 proporcionado por la empresa Movilnet, a través de la cual se establece el envío de los datos entre la estación remota y una unidad de control central, donde se generan los reportes sobre la información recabada por la estación. Para finalizar, se documentan una serie de pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo para corrección de errores y medición de su rendimiento.

Palabras Claves: Tráfico vehicular, sensor láser, microcontrolador, CDMA2000.

Introducción

Con el fin de contribuir a la búsqueda de nuevas alternativas destinadas a minimizar los efectos de los congestionamientos de tráfico vehicular en el territorio nacional, surge un proyecto que establece la creación de una **P**lataforma **I**ntegrada para el Seguimiento, Análisis y **CO**ntrol del **T**ráfico **A**utomotor (PISACOTA), el cual está siendo desarrollado actualmente por investigadores y estudiantes de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) bajo la coordinación del Profesor Angel Aponte, quien está adscrito al **C**entro de **I**nvestigación y **D**esarrollo de **I**ngeniería de la UCAB (CIDI). Entre los subsistemas de PISACOTA se encuentran las Estaciones Automatizadas de Adquisición de Datos de Tráfico Automotor (EAADTA), las cuales permiten obtener la información del flujo del tráfico en tiempo real para su posterior procesamiento, seguimiento y análisis. Partiendo de esta idea y en pro de ofrecer soluciones a la problemática planteada, surge este Trabajo de Grado basado en el desarrollo de un prototipo de las estaciones previamente definidas.

Es relevante destacar, que en el presente Trabajo Especial de Grado se ha llevado a cabo un desarrollo mayor al representado por el título del mismo, debido a que no sólo se desarrolla la unidad de transmisión inalámbrica, sino también todas las unidades que conforman a las EAADTA. Por lo tanto, se considera "Estaciones remotas automatizadas de adquisición y transmisión de datos de tráfico automotor" un título más consumo con el proyecto realizado. Este cambio no se llevó a cabo debido al engorroso proceso administrativo involucrado para ello.

Por otra parte, el presente documento, estructurado en capítulos, refleja el procedimiento realizado para la materialización de las EAADTA. El capítulo I define el planteamiento del proyecto, el cual a su vez esta constituido por el Planteamiento del problema, objetivos, alcance, limitaciones y justificación; en el capítulo II se despliega el marco teórico, donde se describe la revisión bibliográfica sobre los

antecedentes de sistemas con unidades automatizadas de adquisición de datos y las posibles tecnologías a utilizar en las diversas etapas que conforman las estaciones.

En el capítulo III se describe la metodología a emplear en el proyecto, abarcando las siguientes fases: 1) Investigación y estudio, 2) Diseño, 3) Dotación de Recursos, 4) Implementación y 5) Pruebas; este mismo capítulo comprende el desarrollo detallado de cada una de estas fases, además del análisis de las dificultades encontradas durante el proceso y cómo se resolvieron. El capítulo IV está constituido por los resultados previos y finales obtenidos en cada una de las actividades realizadas, tales como: montaje final del prototipo y funcionamiento general de la EAADTA, el diseño e implementación del hardware utilizado, la solución empleada para la comunicación y los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

Por su parte, en el capítulo V se exponen las conclusiones sobre los resultados obtenidos en el presente proyecto, además de ciertas recomendaciones sobre aspectos que puedan mejorar el funcionamiento general del sistema. Adicionalmente, se encuentran los anexos y apéndices, en los cuales se recoge información complementaria a la investigación realizada y que puede ser usada para futuros desarrollos del tema.

Capítulo I

Planteamiento del Proyecto

Este capítulo describe la idea fundamental por la cual se llevó a cabo este Trabajo Especial de Grado, así como los objetivos, tanto general como específicos, el alcance y las limitaciones establecidas para el desarrollo del proyecto.

I.1 Planteamiento del Problema

Actualmente, en Venezuela, se ha evidenciado la carencia de parámetros estadísticos necesarios para obtener verdaderas dimensiones del flujo del tráfico automotor, especialmente en las grandes ciudades. Además de esto, la insuficiencia de soluciones de tecnologías avanzadas impide que se logre un monitoreo efectivo y su regulación y control.

A raíz de esta situación, surge la necesidad de recabar automáticamente y en tiempo real, información precisa de parámetros de tráfico vehicular, por lo cual, se ha planteado desarrollar una solución que consiste en la medición remota de diversos parámetros significativos de tráfico vehicular a través de la detección de vehículos automotores utilizando sensores electrónicos, y la transmisión de éstos por medio de un sistema inalámbrico.

Para desplegar dicha solución, se propone el desarrollo del prototipo de las Estaciones remotas de Adquisición Automatizada de Datos de Tráfico Automotor (EAADTA), las cuales estarán constituidas por una unidad para detección de los vehículos UDV, una unidad de control y almacenamiento temporal UDCAT de los datos requeridos y una unidad de transmisión inalámbrica UTI.

- Unidad para detección de vehículos UDV: esta fase consiste en un dispositivo basado en un sensor láser que obtiene la imagen del vehículo detectado y con la cual se determinan las dimensiones del vehículo. Además, a través de un doble barrido del láser, se calculan las velocidades a las cuales se desplazan los automóviles.
- Unidad de control y almacenamiento temporal de los datos requeridos UDCAT: en esta etapa se desarrolla la inteligencia del sistema, involucra el procesamiento y la acumulación de los datos adquiridos por la UDV. Esta unidad funciona como interfaz entre las etapas de adquisición de las muestras y de transmisión inalámbrica.
- Unidad de transmisión inalámbrica UTI: en esta fase se realiza la comunicación inalámbrica entre la estación remota y una unidad de control central (UCC). En este centro se generan los reportes sobre la información recabada por las distintas estaciones. Es importante resaltar, que se decidió emplear la comunicación inalámbrica por razones de seguridad, costos de implementación y capacidad de monitorear vías a grandes distancias del centro de control.

La Figura 1 ilustra el diagrama del funcionamiento general del sistema planteado.

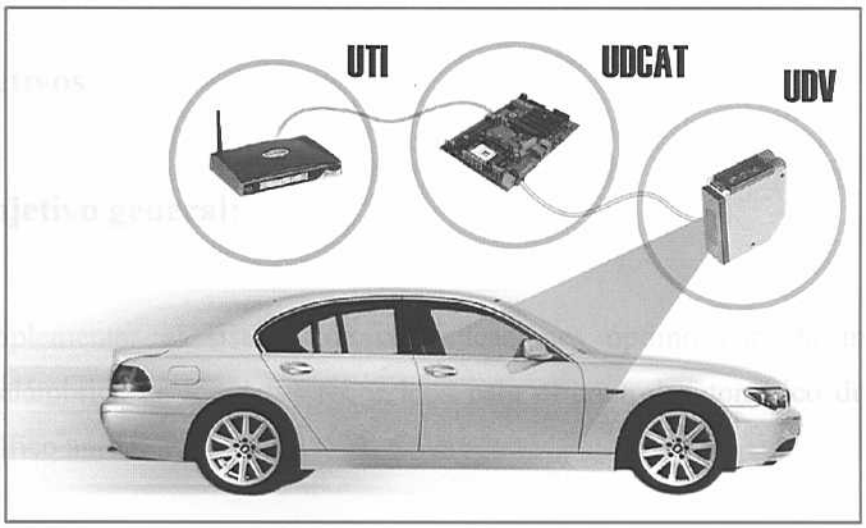


Figura 1. Diagrama del funcionamiento general de las EAADTA.

Como se expuso anteriormente, las EAADTA forman parte del proyecto PISACOTA desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB y cuyo esquema general se muestra en la Figura 2.

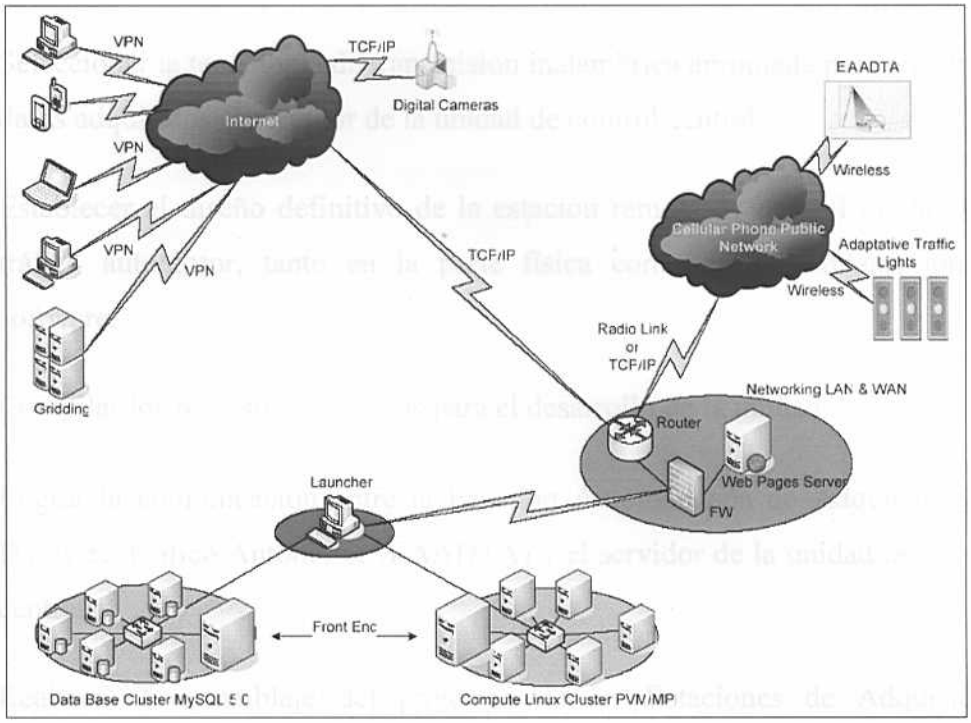


Figura 2. Modelo General del proyecto PISACOTA (tomado de la documentación del proyecto PISACOTA, 2006).

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general:

- Implementar el sistema de comunicaciones óptimo para la transmisión inalámbrica de los datos requeridos para el control automático de datos de tráfico automotor.

I.2.2 Objetivos específicos:

- Seleccionar los dispositivos de adquisición de datos y de almacenamiento-control de los mismos.
- Seleccionar la tecnología de transmisión inalámbrica apropiada para enviar los datos adquiridos al servidor de la unidad de control central.
- Establecer el diseño definitivo de la estación remota de control de datos de tráfico automotor, tanto en la parte física como en la implantación de software.
- Compilar los recursos necesarios para el desarrollo de la unidad.
- Lograr la comunicación entre la Estación Automatizada de Adquisición de Datos de Tráfico Automotor (EAADTA) y el servidor de la unidad de control central.
- Realizar el ensamblaje del prototipo de las Estaciones de Adquisición Automatizada de Datos de Tráfico Automotor.
- Identificar y corregir las posibles fallas de ensamblaje y funcionamiento.
- Desarrollar herramientas de prueba y simulación.

I.3 Justificación

Las Estaciones remotas Automatizadas de Adquisición de Datos de Tráfico Automotor representan una solución factible y ventajosa para la ausencia de mecanismos de captura y procesamiento de datos de tráfico automotor, debido a que se ofrece rapidez y precisión en la obtención de los mismos, permitiendo de esta manera la posibilidad de llevar un control del tráfico a distancia y en tiempo real.

Este tipo de unidades tienen la finalidad de complementar y/o sustituir a las antiguas herramientas utilizadas para la adquisición de datos, tal como los sensores mecánicos (también conocidos como mangueras viales) y los conteos manuales, las cuales además de resultar imprecisas, no ofrecen información detallada de las muestras tomadas. A diferencia de los sensores mecánicos, las EAADTA poseen la gran ventaja de ser capaces de cuantificar la cantidad de automóviles exactos (flujo vehicular), identificar su clase y la velocidad a la que se desplazan, datos que adicionalmente son manejables en el momento de ocurrencia. Por otra parte, frente a los conteos manuales, la unidad evita los errores intrínsecos humanos que en aquellos se presentan, representando esto un avance importante en el control de flujo vehicular.

Otra ventaja que justifica este proyecto, es la implantación de un sistema de transmisión inalámbrico que logra minimizar los costos de instalación del cableado requerido por otras alternativas, además de facilitar el acceso a lugares remotos donde dicho cableado es difícil de llevar. También, esta solución representa ventajas en el aspecto de seguridad, debido a que se evitan posibles saboteos y accidentes en cableados de interconexión de las unidades.

Adicionalmente, con el desarrollo de este proyecto se abren oportunidades para crear un abanico de soluciones que ataquen el problema del congestionamiento constante de las arterias viales más transitadas del país, lo cual generaría una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos. Entre las soluciones más destacadas se encuentran las siguientes:

- Monitoreo vía Internet por parte del ciudadano común, que le permita tomar decisiones de selección de la vía óptima a utilizar para alcanzar su destino.

- Avisos informativos ubicados en las vías expresas que indican a los conductores el tiempo estimado que tomará llegar a un lugar determinado.

- En caso donde existan soluciones con canales de contraflujo, ayudará a tomar decisiones sobre su posible habilitación.

I.4 Alcance

El alcance del proyecto está limitado a la ejecución de las siguientes actividades:

- Estudio sobre los sistemas automatizados de adquisición de datos de tráfico automotor en Venezuela.

- Investigación y análisis detallado de las distintas alternativas existentes y sus prestaciones para su posible aplicación en las etapas de la unidad.

- Selección de los dispositivos y las tecnologías para su implementación en el proyecto.

- Desarrollo de simulador del dispositivo contenedor del sensor láser seleccionado, basado en las características del mismo.

- Diseño e implementación del software de la UDCAT para el análisis y procesamiento de las muestras adquiridas.

- Empleo de la tecnología de transmisión inalámbrica elegida para el establecimiento de la comunicación entre la estación y la unidad central.

- Integración de las tres fases a nivel de hardware para conformar la EAADTA.

- Desarrollo de aplicación para la recepción de los datos adquiridos que genere un reporte diario y en tiempo real de los mismos.

- Realización de pruebas en el laboratorio de la unidad piloto.

I.5 Limitaciones

- Los altos costos, con respecto a los recursos disponibles, de la unidad de detección vehicular seleccionada imposibilitaron su compra, por lo que se desarrolló una aplicación que simula su funcionamiento.

- Debido a limitaciones económicas, se concurrió al contacto existente entre la UCAB y la empresa Movilnet con el fin de lograr la dotación de los recursos necesarios para desarrollar la unidad de transmisión inalámbrica. A raíz de esto, tanto la selección del dispositivo como el canal de comunicación de datos a utilizar en esta fase se vio limitada a la disponibilidad que tuviese la empresa Movilnet.

- Las prestaciones brindadas por la Unidad de Transmisión Inalámbrica se vieron restringidas por las condiciones que presenta el dispositivo y la línea proporcionada por Movilnet.

- Debido a la escasez de información estadística de tráfico automotor, los parámetros de control fueron dimensionados arbitrariamente.

Capítulo II
Marco Teórico

En este capítulo, se reúnen un conjunto de conceptos, teorías y conocimientos que sirven de base al desarrollo de este proyecto. En el mismo se incluyen investigaciones de los antecedentes que dan soporte a este Trabajo Especial de Grado.

II.1 Tecnología de adquisición de datos de tráfico mediante el uso de Sensores Láser

La adquisición de datos de tráfico puede llevarse a cabo a través del uso de sensores láser. Gran parte de este tipo de sensores están basados en un diodo láser de inyección de InGaAs (Arseniuro de Galio), el cual es manejado por una corriente pulsante para generar una señal de barrido con una precisión de 10 grados. Este barrido del láser produce el efecto de una cortina de luz que detecta cualquier perturbación en su campo de trabajo. En el punto de observación se proyecta una doble cortina de luz a cierta distancia (ver Figura 3) y con el período de tiempo entre ambas detecciones se realiza una estimación de la velocidad a la que se desplaza el vehículo.

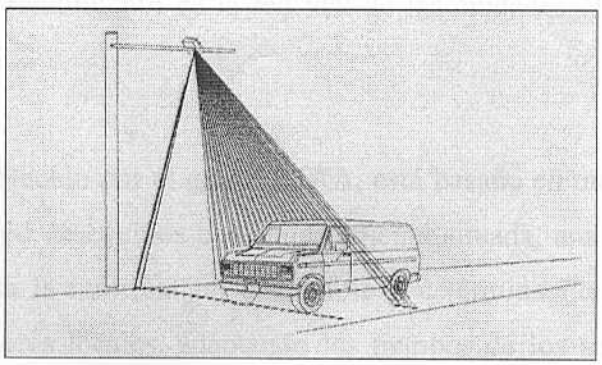


Figura 3. Sensor láser de vehículos (tomado de Laser Detection Sensors and Vehicle Detection Systems, OSI LASERSCAN).

El muestreo se realiza con un pulso de luz de 904 nm que es la luz que permite una mejor detección en las condiciones ambientales naturales. Cada muestreo se realiza a una tasa de 720 muestras por segundo con una separación angular fija. Esto produce una imagen muy precisa que es capaz de determinar el paso de cualquier vehículo a altas velocidades con una resolución de 0,2 mts. o menos (OSI LASERSCAN, 2003)

II.2 Antecedentes de sistemas con unidades automatizadas de adquisición de datos

Diversas son las experiencias que se han tenido con Estaciones de Adquisición Automática de Datos de Tráfico. En Europa, específicamente en España, el grupo ETRA viene desarrollando desde el año 1979, Sistemas de Control de Tráfico Urbano e instalándolos en ciudades principales de España. Sus primeras versiones han ido evolucionando con la tecnología hasta llegar a los actuales Sistemas Distribuidos de Control.

El Sistema Distribuido de Control de Tráfico Urbano (SDCTU), denominado comercialmente "ARTTICS", es una herramienta integral que ha permitido el conocimiento y la gestión del tráfico urbano, generando las acciones necesarias para obtener el máximo rendimiento de la red vial de las ciudades que al presente están provistas del servicio.

El Sistema establecido por el grupo ETRA, está basado en una tecnología propia que mediante una red de equipos convenientemente situada, analiza constantemente la situación, procesa la información disponible y determina Planes de Tráfico que envía a los reguladores locales, adaptando los tiempos de los semáforos en tiempo real al estado de la circulación. El proceso se completa, por una parte con sistemas de información al usuario (avisos de mensaje variable, itinerarios alternativos,

información automática por teléfono, etc.), y por otra, con un sistema experto, el análisis estadístico y una serie de utilidades que permiten tomar decisiones a medio y largo plazo para adaptar la programación del conjunto a la variación del tráfico y al propio crecimiento de la ciudad.

Por su parte, en Alemania, se tiene también implantado un control de tráfico basado en sensores, en donde la información recabada va a un centro de control de datos. Allí, son analizados para luego generar la descripción de la congestión vehicular de cada vía. Toda esta información se presenta en mapas simulados que se encuentran ubicados en Internet, para que cada usuario pueda tener la oportunidad de saber el estado de las vías de comunicación de la ciudad.

También existen sistemas de este estilo en Japón, con el nombre de *Advanced Cruise-Assist Highway System* (AHS), el cual esta diseñado para prevenir los accidentes de tráfico y reducir la congestión vehicular.

En materia de comunicaciones del sistema, se han llevado a cabo soluciones que incluyen centrales multiplexoras conectadas tanto a los equipos dispuestos en la vía pública como con el servidor, conformándose la red de comunicaciones principalmente por cableado (pares de cables, fibra óptica, etc.), dependiendo siempre de la disponibilidad de infraestructura, de las condiciones de cada entorno y de las prestaciones finales que se requiera del sistema final. Actualmente, se han desarrollado soluciones inalámbricas para transportar la información a las estaciones centrales.

Por otro lado, en Venezuela se han establecido soluciones limitadas geográfica y tecnológicamente, que abarcan la instalación de semáforos inteligentes y sistemas de conteo del tránsito automotor para facilitar los controles estadísticos. A pesar de esto, no se han desarrollado sistemas automatizados para el control de tráfico vehicular,

desaprovechándose la posibilidad de ofrecer servicios de seguridad, prevención de accidentes, congestión, etc. que ya son una realidad en otros países.

II.3 Situación actual de las unidades de control de tráfico en Caracas.

Entre los desarrollos más resaltantes, se encuentra el desplegado por el Departamento de tránsito del Municipio Chacao, el cual esta conformado por las siguientes salas:

Sala de recepción y procesamiento de imágenes e información: En esta sala se encuentran los servidores 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.

Las videos son grabados 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.

Sala del Centro integral de seguridad y emergencia: En esta sala se encuentran expuestas en pantallas las secuencias de imágenes y los videos que son recibidos constantemente por el departamento anterior (ver Figura 4), las cuales son verificadas constantemente por el personal de tránsito y defensa civil con la finalidad de captar anormalidades y poder atenderlas en un tiempo eficiente.

Sala de control de semáforo: En esta sección se encuentra una pantalla en donde se muestra el estado de la comunicación con cada una de las intersecciones, así como también una maqueta de una intersección donde se prueban y verifican los posibles cruces. En ella se ubica la caja de los semáforos inteligentes (controladores).

Figura 4. Pantalla de plasma, secuencias de imágenes (tomado del Trabajo Especial de Grado: Diseño de un semáforo inalámbrico, soportado por un subsistema de la plataforma de control de tráfico PISACOTA, Gómez y Mas).

Desde esta sala se dirige y monitorea un sistema que controla 63 intersecciones con semáforos (ver Figura 5), y el cual también posee sensores que miden el flujo vehicular para adecuar los tiempos de los semáforos, además de presentar un sistema de conteo del tránsito automotor que facilita a los controles estadísticos (Gómez y Mas, 2006).

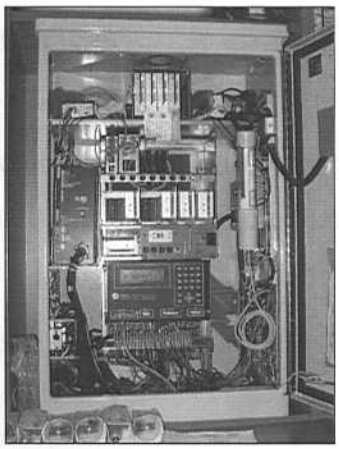


Figura 5. Equipos de radio y de transmisión de señales para cada intersección (tomado del Trabajo Especial de Grado: Diseño de un semáforo inalámbrico, soportado por un subsistema de la plataforma de control de tráfico PISACOTA, Gómez y Mas) .

II.4. Microcontroladores

Una de las piezas fundamentales de proyectos de esta índole es el microcontrolador. Éste consiste en un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un computador: Unidad Central de Procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés), Memoria y Unidades de E/S (Entradas y Salidas). Aunque sus prestaciones son limitadas, además de dicha integración, su característica principal es su alto nivel de especialización. Aunque los hay del tamaño de un sello de correos, lo normal es que sean incluso más pequeños, ya que, lógicamente, forman parte del dispositivo que controlan. (Wikipedia, 2005)

Los microcontroladores típicos poseen un generador de reloj integrado, una pequeña cantidad de memoria RAM y ROM/EPROM/EEPROM, un cristal de sincronización, además de tener una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidores analógico-digitales, temporizadores, UARTs y buses de interfaz serie especializados, como I^2C y CAN. (Microchip, 2005)

II.5. Redes de datos inalámbricas

A continuación, se presenta un breve desarrollo de las redes de datos inalámbricas tomadas en cuenta para su posible aplicación en el proyecto.

II.5.1. Redes de telefonía celular

La red de telefonía móvil o celular consiste en un sistema telefónico en el que mediante la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (estaciones base) y una serie de centrales telefónicas de conmutación, se posibilita la

comunicación entre terminales telefónicos portátiles (teléfonos móviles) o entre terminales portátiles y teléfonos de la red fija tradicional.

Este tipo de redes ofrece dos posibles soluciones para enviar los datos de tráfico las cuales son: las redes de datos (Basada en *Internet Protocol*) y los mensajes cortos de textos o SMS (*Short Message Service*).

II.5.1.1. Redes de datos (basada en *Internet Protocol (IP)*)

Es un mecanismo de conexión inalámbrica hacia redes de datos mediante el uso de las redes celulares, en donde se puede acceder a ciertos servicios de información y entretenimiento. Se utiliza la tecnología de conmutación por paquetes, en donde la información se transmite en pequeñas ráfagas de datos a través de una red basada en IP. Es la vía más adecuada para aplicaciones con transmisión de datos de carácter esporádico, por ejemplo, aplicaciones como servicios de Protocolos de Aplicación Inalámbrica (WAP, por sus siglas en inglés), Servicios de Mensajería Multimedia (MMS, por sus siglas en inglés) y acceso a Internet. Proporciona un rápido establecimiento de sesión y notable velocidad en la transmisión de datos.

En Venezuela, existen dos tecnologías utilizadas para las redes celulares, ellas son *Global System for Mobile Telecomunication* (GSM, por sus siglas en inglés) y *Code Division Multiple Access* (CDMA, por sus siglas en inglés), las cuales utilizan *General Packet Radio Service* (GPRS, por sus siglas en inglés) y las soluciones de CDMA 2000, respectivamente, para ofrecer este tipo de servicios. A continuación se analizarán al detalle cada una de ellas.

II.5.1.1.1 GPRS

GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet). En GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la necesidad. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios. (Molina, 2006)

La conmutación por paquetes permite fundamentalmente compartir los recursos de radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información. Todo el tiempo en que esté inactivo, permitirá el uso de los recursos por parte de otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores ofrecer más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red. En GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de bajada y dos de subida, a 40 Kbps y a 20 Kbps, respectivamente. (Nokia, 2005)

II.5.1.1.2 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 6 muestra la arquitectura de la red CDMA 2000 para ofrecer la norma 1xRTT.

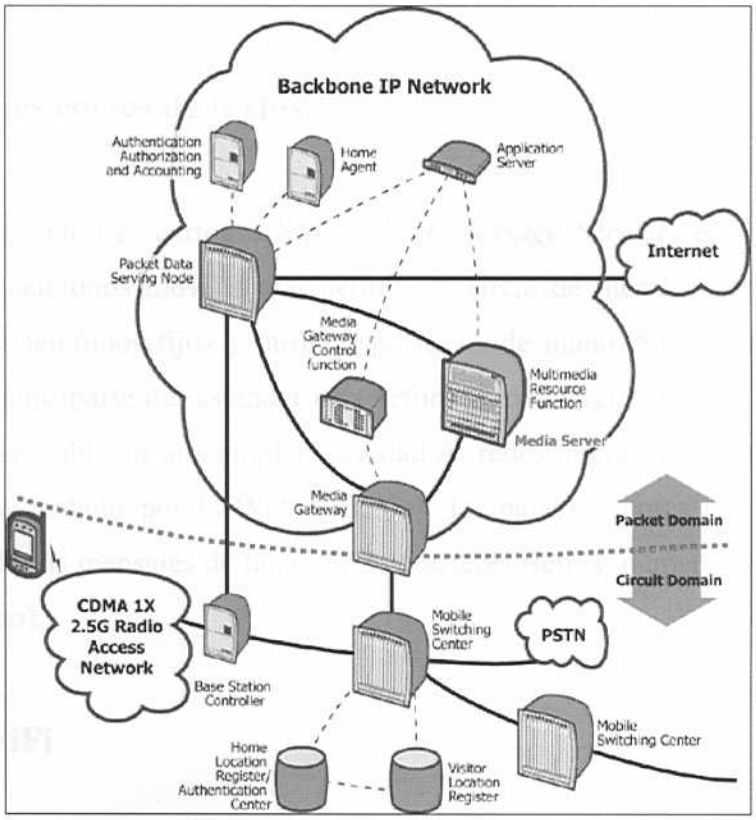


Figura 6. Arquitectura de la red CDMA 2000 para brindar la norma 1xRTT. (tomado del CDMA Network Evolution to CDMA2000, Convedia, 2004).

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.5.1.2 Mensajes cortos de textos.

El servicio de mensajes cortos o SMS (*Short Message Service*) es un servicio disponible en los teléfonos móviles que permite el envío de mensajes cortos entre teléfonos móviles, teléfonos fijos y otros dispositivos de mano. SMS fue diseñado originariamente como parte del estándar de telefonía móvil digital GSM, pero en la actualidad está disponible en una amplia variedad de redes, incluyendo las redes 3G (en Venezuela implantado por CDMA también). La palabra "corta" se refiere al tamaño máximo de los mensajes de texto: 160 caracteres (letras, números o símbolos en el alfabeto latino).

II.5.2 Redes WiFi

Las redes WiFi (abreviatura de *Wireless Fidelity*) son redes locales inalámbricas. El término WiFi es utilizado para los aparatos con tecnología 802.11, el estándar

dominante en el desarrollo de las redes inalámbricas, de aceptación prácticamente universal, que funciona en las bandas de frecuencias de 2,4 GHz y 5,8 GHz y permite la transmisión de datos a una velocidad de hasta 100 Mbps en una distancia de 100 metros (aunque la velocidad real de transmisión depende en última instancia del número de usuarios conectados a un punto de acceso). Para establecer este tipo de red se necesita un dispositivo de conexión inalámbrico de nombre *Access Point* (AP), el cual es un *transceiver* que recibe la información, la almacena y la transmite entre la red WiFi y la red de área local cableada.

Capítulo III
Metodología y Desarrollo

El proyecto del Trabajo Especial de Grado se dividió en cinco fases principales: 1) Investigación y estudio, 2) Diseño, 3) Dotación de recursos, 4) Implementación y 5) Pruebas. Ellas, tuvieron a su vez actividades específicas que permitieron el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente. Estas fases se describen a continuación.

III. 1 Fase I: Investigación y estudio.

Con el fin de lograr una documentación apropiada que permitiera guiar y apoyar el desarrollo del proyecto, se elaboró una búsqueda de material bibliográfico que permitiera identificar las diferentes opciones para cada una de las tres unidades establecidas en el planteamiento inicial.

Para la etapa de detección vehicular, y teniéndose la premisa del uso de una unidad óptica comercial especializada en este tipo de actividades, se realizó un sondeo de las empresas internacionales que desarrollan estos productos. La empresa norteamericana SEO y la compañía finlandesa NOPTEL fueron las dos opciones más destacadas.

En el caso de la unidad de control y almacenamiento temporal, resultó necesaria la realización de un curso en la Universidad Católica Andrés Bello, con el fin de obtener conocimientos de los conceptos fundamentales para el diseño de proyectos basados en microcontroladores. Partiendo de ello, se establecieron las tres tendencias más comunes sobre este tipo de dispositivos electrónicos: Microchip, Intel y Motorola.

En lo que respecta a la unidad de transmisión, se llevó a cabo una investigación para captar las posibles opciones de tecnologías inalámbricas adaptables al entorno venezolano, entre las cuales se identificaron las redes WiFi, las redes WiMAX, las redes celulares, redes satelitales, entre otras.

III.2 Fase II: Diseño.

Con el objetivo de seleccionar los dispositivos y las tecnologías a utilizar en la estación para lograr establecer el diseño definitivo de la misma, se realizó un estudio, presentado a continuación, de las prestaciones de las alternativas identificadas en la fase de investigación para cada una de las unidades.

III.2.1. Unidad de Detección Vehicular UDV

En la Tabla 1 se expone un comparación entre las unidades ópticas Autosense II y Noptel CM ofrecidos por las empresas SEO y Noptel, respectivamente.

Modelo	SEO: Autosense II	NOPTEL: CM
Operación	• Se coloca a siete metros de altura. • El dispositivo se encuentra justo sobre el punto de medición.	• Se instala a una altura de cinco a siete metros. • El dispositivo se encuentra a 30 metros de distancia del punto de medición.
Dimensiones	• 48.5 cm (largo) x 24.4 cm (ancho) x 14.6 cm (alto) • 11.3 Kg (Peso).	• 13.5 cm (largo) x 7.5 cm (ancho) x 3.5 cm (alto) • 3.75 Kg (Peso)

Tabla 1. Cuadro comparativo de los sensores láser para detección de vehículos.

(Continúa)

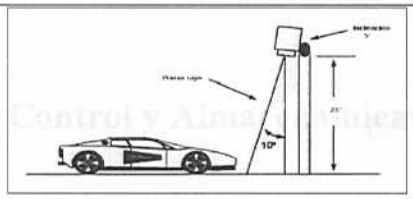
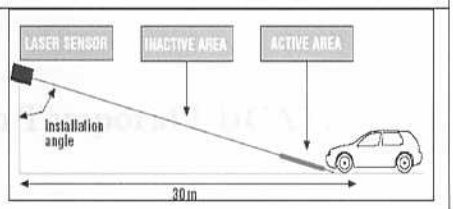
Modelo	SEO: Autosense II	NOPTEL: CM
Usos y parámetros ofrecidos	• Clasificación del vehículo • Velocidad del vehículo • Relé de disparo para cámara • Establecimiento de la dimensiones del vehículo • Detección de barra de tracción	• El accionar de la cámara fotográfica. • Medida del perfil del vehículo. • Medida de la velocidad.
Interfaz de comunicación	• RS-232 a 57.6 Kbaud, 8 data bit, 1 stop bit, no paridad	• RS-232, Digital I/O, y salida analógica
Documentación disponible	• Documentación técnica detallada sobre su operación	• Sólo documentación comercial
Precio	• 6000 US$	• 3300 US$
Consideraciones adicionales	• Expandible a dos canales. • MTBF de 14,700 horas min.	• Orientado a sistemas de semáforos
Diagrama de instalación		
Imagen del equipo		

Tabla 1. Cuadro comparativo de los sensores láser para detección de vehículos (Continuación)

Luego de analizar la Tabla 1, se ha decidido emplear la unidad óptica Autosense II debido a que cumple con mayores prestaciones que el dispositivo Noptel, aunque es importante indicar que ambos poseen un nivel aceptable para los objetivos del proyecto ya que brindan múltiples mediciones que van más allá del conteo de vehículos.

Para el caso de este Trabajo de Grado, se busca un dispositivo que sea adaptable para cualquier aplicación de control de tráfico. Por esta razón, el uso que brinda el Noptel esta por debajo de lo requerido ya que, como se observa, esta orientado para realizar la medición en sistemas de semáforos (realiza la lectura a 30 metros del vehículo). En contraposición, la unidad elegida establece la medición justo por encima del vehículo, lo cual hace que se ajuste a cualquier configuración.

La facilidad de adquisición de una extensa y detallada documentación del Autosense II es una gran ventaja debido a que como se estableció, por razones de índole económico, se lleva a cabo el proyecto con una simulación del equipo. A raíz de esto, es necesario tener una explicación detallada de su funcionamiento para poder realizar una aplicación de tal manera que cuando se tenga la unidad óptica no sea necesario cambiar ningún parámetro de los otros dispositivos que integran la EAADTA.

III.2.2 Unidad de Control y Almacenamiento Temporal UDCAT.

En la Tabla 2 se presenta una comparación de los tres microcontroladores mas adecuados en la actualidad para este tipo de actividades.

Modelo	**PIC 4550**	**SILABS C8051F120(*)**	**M68HC08GP32**
Fabricante	Microchip	Silicon Laboratories	Motorola
Capacidad de memoria de programa	32 KBytes	64 KBytes	32 KBytes
Capacidad de memoria de datos (RAM)	2 KBytes	8 KBytes	512 Bytes
Velocidad de Procesamiento	8 MHz	24.5 MHz	8 MHz

Tabla 2. Cuadro comparativo de los tres microcontroladores utilizables en el proyecto. (Continúa)

Modelo	PIC 4550	SILABS C8051F120(*)	M68HC08GP32
Puertos para comunicación serial (UART)	1 PUERTO	2 PUERTOS	1 PUERTO
Lenguaje de Programación	Ensamblador	Compilador de C	Compilador de C
Facilidades de adquisición	Accesible	Poco accesible	Accesible
Posibilidad de ampliar memoria	NO	SI	SI

Tabla 2. Cuadro comparativo de los tres microcontroladores utilizables en el proyecto. (Continuación)

(*) Basado en la arquitectura del Intel 8051

En esta fase se ha seleccionado el microcontrolador C8051F120 del fabricante Silicon Laboratories. La razón primordial de esta decisión es el volumen de datos que puede acumular gracias a la posibilidad de expansión de memoria, junto a la gran velocidad de procesamiento que puede manejar. Otra característica de gran peso es la capacidad de soportar dos puertos de comunicación serial necesarios para hacer las interconexiones con las dos unidades. Adicionalmente, la alta capacidad de procesamiento permite desarrollar aplicaciones que involucren grandes cantidades de flujos de datos y reducidos tiempos de respuesta. Por su parte, este fabricante brinda la ventajosa posibilidad de realizar la programación del microcontrolador bajo lenguajes de alto nivel (Lenguaje C).

III.2.3 Unidad de Transmisión Inalámbrica UTI.

En la Tabla 3 se expone un cuadro comparativo con tres tecnologías de transmisión inalámbrica con capacidad de desarrollo en Venezuela que se pueden ajustar al proyecto en progreso

Tecnología	Wi-Fi	SMS (Short Message Service)	Datos sobre redes celular
Velocidad	Alta (máximo 54 Mbps)	No aplica	Media (máximo 2 Mbps)
Cobertura (Celda)	100 m	2–10 km	2–10 km
Confiabilidad	• Asegura el envío de los datos.	• No asegura el envío de los datos y, durante períodos de alto tráfico, puede ser que sea minutos u horas antes de que un mensaje consiga su destino.	• Asegura el envío de los datos.
Hardware necesario para su implementación	• CPE Wi-Fi en cada unidad de adquisición de datos. • Unidad suscriptora con un AP para todas las unidades que se encuentren a 100 metros de éste. • Enlace punto a punto desde el AP hacia la UCC.	• Dos módulos transmisor- receptor (o tantos módulos como unidades de adquisición existan) para establecer la comunicación entre las EAADTA y la UCC.	• Módulo transmisor para establecer la comunicación vía Internet entre las EAADTA y la UCC • Punto de red para conexión a Internet (Dirección IP fija) en la UCC para la recepción.

Tabla 3. Cuadro comparativo de las tecnologías de transmisión inalámbricas disponibles en el mercado venezolano utilizables en el proyecto. (Continúa)

Tecnología	WiFi	SMS (Short Message Service)	Datos sobre redes celular
Servicios empleados	• No aplica, debido a que no requiere ninguna suscripción a un operador de Internet debido a que se puede establecer una red privada para la comunicación.	• Se necesita utilizar el servicio de una operadora de telefonía celular que soporte esta tecnología, ya que se establece como medio físico para hacer llegar los mensajes hacia la UCC.	• Se necesita utilizar el servicio de una operadora de telefonía celular que soporte esta tecnología, ya que se establece que la red celular se conecta con el ISP para hacer llegar los datos hacia la UCC.
Variables administrativas involucradas en la operación del sistema	• Adquisición y mantenimiento de equipos. • Costos de infraestructura y de montaje.	• Adquisición y mantenimiento de equipos • Pago de tarifa a la operadora de los mensajes de textos utilizados.	• Adquisición y mantenimiento de equipos. • Pago de tarifa a la operadora de las líneas de comunicación de Internet inalámbrico de la EAADTA. • Pago de tarifa al proveedor de Internet fijo de la UCC.

Tabla 3. Cuadro comparativo de las tecnologías de transmisión inalámbricas disponibles en el mercado venezolano utilizables en el proyecto. (Continuación)

Se ha decidido utilizar la solución de la red de datos sobre las redes celulares. Como se puede notar en la Tabla 3, el uso de mensajes de textos para este tipo de aplicaciones no es lo más eficiente ya que no garantiza una entrega en segundos de la información y, como se conoce, para establecer un control de tráfico se necesitan los datos en la UCC casi instantáneamente al momento de realizar la medición.

En el caso de la red WiFi, el incorporar esta solución sería bastante costoso debido a que no se ajusta a cualquier zona. Cada vez que sea necesario implantar una EAADTA se debe establecer un enlace punto a punto con la estación base. Esto trae consigo diversas complicaciones adicionales, ya que no se puede fijar un parámetro general para su instalación por no tener certeza de las distancias que estarían involucradas. Además es una tecnología que maneja velocidades muy altas para esta aplicación.

El uso de la red de datos sobre redes celulares asegura que se envíen los datos en segundos y a una tasa de transferencia aceptable. Además, sólo se tiene que adquirir el equipo y el servicio para poder implementar una EAADTA en cualquier lugar ya que utiliza una red que se encuentra instalada.

La tecnología de celulares seleccionada es la de CDMA debido a que existen en Venezuela operadoras que prestan el servicio en todo el país, a diferencia de los que ofrecen GPRS que se mantienen limitadas a un nivel regional. En lo que corresponde a la técnica de CDMA 2000, se utilizará la norma 1xRTT ya que ofrece una tasa de transmisión de datos adecuada para la cantidad de datos que la UDV genera en su medición.

Es importante mencionar que para la selección de esta unidad no se realizó ningún estudio de costos ni se desarrolló ningún análisis de factibilidad económica, por lo tanto todo lo estipulado a este nivel es de una manera aproximada.

III.3 Fase III: Dotación de Recursos.

En esta fase se realizaron todas las actividades necesarias y pertinentes para poder adquirir los equipos y servicios seleccionados en la etapa anterior. Seguidamente se muestran los procedimientos empleados para cada unidad.

Para la UDV se estableció el contacto con el proveedor de la unidad óptica seleccionada para la posible opción de compra, pero debido a los altos costos que representaba su adquisición, además de las dificultades existentes en el mercado cambiario venezolano, no resultó viable concretar esta operación. Como solución, se llevó a cabo un simulador con la capacidad de generar datos *pseudoaleatorios,* coherentes y acordes a la realidad. La estructura de trama, velocidad y demás características del Autosense II fueron conservadas para que existiese compatibilidad y fuera posible su integración en el sistema a posteriori.

En el caso de la UDCAT, se adquirió el microcontrolador elegido en la fase previa mediante el uso del comercio electrónico. Los demás componentes necesarios para su programación fueron incluidos en la misma transacción.

Con respecto a la UTI, se estableció un contacto con la empresa de telecomunicaciones Movilnet, la cual suministró, gratuitamente, el módulo EMII-800 del fabricante AnyDATA con tecnología CDMA 2000 y norma 1xRTT, así como también una línea de datos (IP) sobre su red.

III.4 Fase IV: Implementación.

En esta etapa de la metodología se realizaron las actividades necesarias para desarrollar tanto el software como el hardware de cada uno de los dispositivos establecidos en la fase de diseño y así lograr la puesta en marcha de la estación.

III.4.1 Desarrollo del simulador del Autosense II.

Se realizó una revisión exhaustiva de la documentación del dispositivo Autosense II (Ver Anexo A o visitar: http://www.osi-ls.com/pdfs/ASII_UsersGuide_Rev_G-Feb_2004.pdf para más información). Se identificaron las siguientes características:

- Tipo de comunicación: Interfaz RS-232, conector DB9, rata de baudios de 57600, 8 *bits* de datos, sin paridad, 1 *bit* de inicio y 1 *bit* de parada.
- Formato de la trama de datos: Cada trama de datos consiste en una cabecera con dos *Bytes*, seguido por el mensaje de salida y termina con un *Byte* de *Checksum* como se muestra en la tabla 4.

Nombre	Descripción	Tamaño	Valor
Sincronismo de la trama	Primer Byte de la cabecera	1 Byte	Hex A5
Inicio de la trama	Segundo Byte de la cabecera	1 Byte	Hex 5A
Bloque del mensaje	Contenido del mensaje de salida	1-N bytes	Ver tabla 5.
Checksum	OR exclusivo del mensaje	1 Byte	De Hex 0 a FF

Tabla 4. Formato de la trama de salida del Autosense II.

Nombre	Descripción	Tipo	Tamaño	Valor	Medida
Nro Mensaje	Identifica el mensaje de salida	Byte	1	5	N/A
ID vehículo	Número del vehículo	Byte	1	0-255	N/A
Clasificación del vehículo	Número que representa el tipo del vehículo: 0 = Desconocido 1 = Motos 2 = Motos con trailer 3 = Vehículo particular 4 = Vehículo particular con trailer 5 = Camioneta 6 = Camioneta con trailer 7 = Camión sencilla o autobús 8 = Clase 7 con trailer 9 = Gandola de dos ejes 10 = Gandola de tres ejes 11 = Gandola de cuatro ejes	Byte	1	0-11	N/A
Confiabilidad de la clasificación	Porcentaje que indica el nivel de certeza de la clasificación	Byte	1	0-100	Porcentaje
Data	Largo del vehículo	Byte	1	0-255	Pies
Data	Ancho del vehículo	Byte	1	0-255	Pies
Data	Alto del vehiculo	Byte	1	0-255	Pies
Data	Espacio	Byte	5	0	N/A
Data	Velocidad del vehículo	Byte	1	0-255	MPH

Tabla 5. Formato y contenido del mensaje de salida que suministra el Autosense II.

A continuación, tomando como base las características del Autosense II, se procedió a realizar la programación de la aplicación en el software Microsoft Visual Basic 2005. La Figura 7 muestra el diagrama de flujos donde se esquematiza la operación de la aplicación. Para ello, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

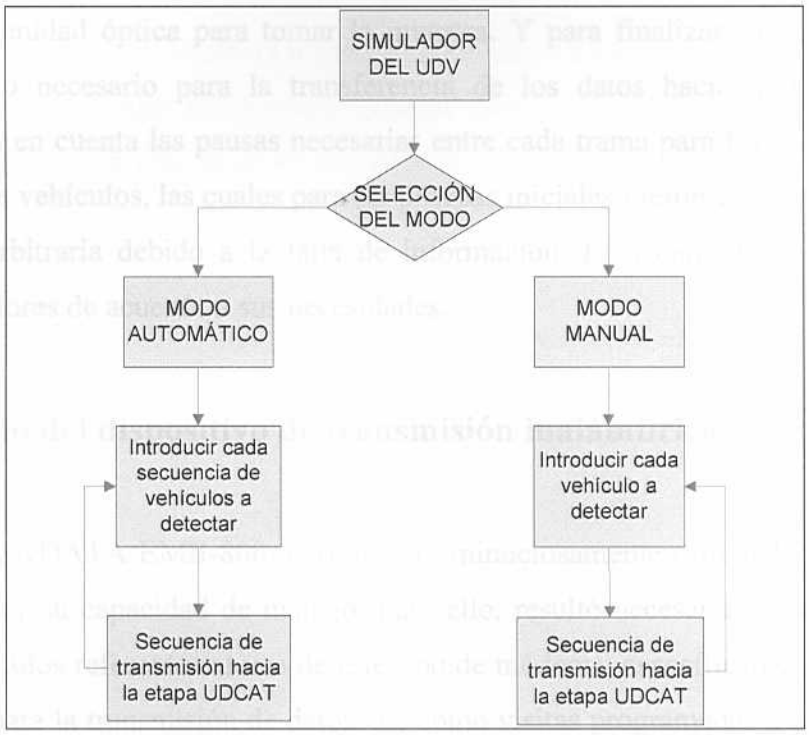


Figura 7. Diagrama en flujos de la operación del simulador del sensor Autosense II.

- Se fijaron dos modos de operación: 1) modo manual, en el cual se genera el dato de cada automóvil individualmente y 2) modo automático, en donde se establecen secuencias de varios vehículos a una misma velocidad promedio.

- Para el modo manual, se introducirá la información de cada vehículo que se quiere simular, es decir, el tipo o clase del mismo y a la velocidad que se desplaza. De la misma manera ocurre para el modo automático, con la diferencia que en éste se adiciona el número de automóviles que posee cada secuencia.

- Luego se estableció el proceso para el envío de las muestras, el cual es de forma similar para ambos modos. Primeramente, se fijaron los valores necesarios para la comunicación serial así como también la información contenida en la trama a transmitir, ambos aspectos de manera similar a los utilizados por el Autosense II. Posteriormente, se incluyeron los tiempos que dura la unidad óptica para tomar la muestra. Y para finalizar, se realizó el algoritmo necesario para la transferencia de los datos hacia la UDCAT, teniendo en cuenta las pausas necesarias entre cada trama para las secuencias de varios vehículos, las cuales para las pruebas iniciales fueron establecidas de forma arbitraria debido a la falta de información. El usuario final ajustará estos valores de acuerdo a sus necesidades.

III.4.2 Estudio del dispositivo de transmisión inalámbrica.

El equipo AnyDATA EMII-800 tuvo que ser minuciosamente estudiado para así lograr aprovechar su capacidad de manejo. Para ello, resultó necesaria la lectura de manuales y artículos referentes al uso de este tipo de módems, específicamente sobre comandos AT para la transmisión de datos, así como visitas programadas a empresas con experiencia en la utilización del módulo (Microtel y Movilnet), con el fin de obtener el soporte técnico necesario para lograr el correcto funcionamiento del dispositivo. En el anexo B se puede observar el *datasheet* del módulo y en el apéndice F se muestra la descripción de cada uno de los comandos AT necesarios para lograr las comunicaciones UDCAT-UTI y UTI-UCC. La utilización de las aplicaciones Hyperterminal y Docklight® fueron claves para alcanzar el antes mencionado nivel de pericia determinante.

III.4.3 Definición de modelo y tamaño de la trama a transmitir desde la estación remota hacia la unidad de control central.

Previo al desarrollo del programa de la UDCAT, se realizaron una serie de encuentros con los demás integrantes del proyecto PISACOTA para llegar a un acuerdo sobre el modelo de la trama a transmitir desde la EAADTA hacia la unidad central, para así establecer un formato general para todo el sistema. La trama establecida cuya longitud total es de 41 *Bytes* fue la siguiente:

#n°id|estado|dd/mm/yyyy|hh:mm|Conteo1|vel1|Conteo2|vel2|Conteo3|vel3|Conteo4|vel4|Conteo5|vel5|Conteo6|vel6|Conteo7|vel7|Conteo8|vel8|Conteo9|vel9|Conteo10|vel10|Conteo11|vel11|velprom|ciclo1|ciclo2|ciclo3|ciclo4|ciclo5|ciclo6|ciclo7|ciclo8|ciclo9|ciclo10|ciclo11|

En donde,

n°id: indica la identificación de la EAADTA.(1 *Byte*)

Estado: puede ser 1, si el envío se realiza en el transcurso de los cinco minutos, 2, si el envío se realiza por desborde de memoria, o 3, si el envío se realiza en el transcurso de una hora. (proceso explicado en la sección III.4.4) (1 *Byte*)

dd/mm/yyyy: indica el día, el mes y año de ocurrencia.(3 *Bytes*)

hh:mm: indica la hora y los minutos de ocurrencia. (2 *Bytes*)

Conteo#: número de vehículos detectados del tipo indicado en el "#". El tipo se establece según la clasificación establecida por el Autosense, según lo expuesto en la tabla 5. Este valor muestra los vehículos que se detectaron desde el último envío de datos realizado. (1 *Byte*)

vel#: indica la velocidad promedio del tipo indicado en el "#".(1 *Byte*)

Velprom: indica la velocidad promedio total de los últimos 5 min. (1 *Byte*)

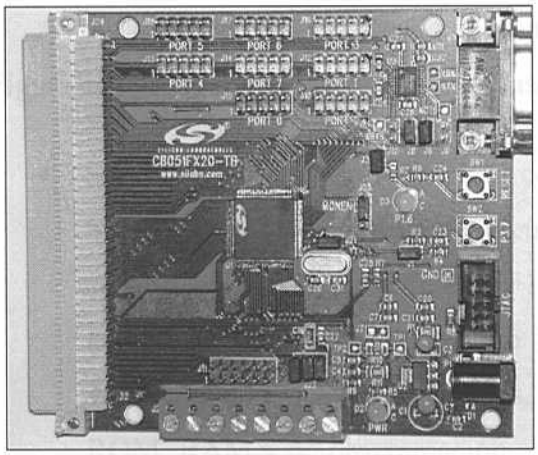
ciclo#: factor multiplicativo que permite representar números mayores de 256 en la variable conteo# (debido a que el puerto serial trabaja con un *Byte* de datos) (1 *Byte*)

III.4.4 Proceso para la programación de microcontrolador SILABS C8051F120.

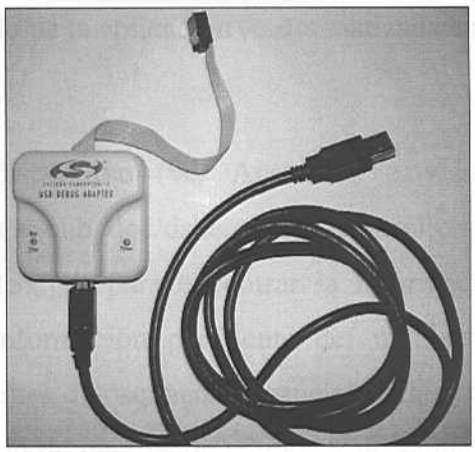
Para realizar esta actividad se utilizaron las herramientas de desarrollo ofrecidas por el kit C8051F12x-DK de la empresa Silicon labs, las cuales son las siguientes:

- Tarjeta con un dispositivo C8051F120 instalado para realizar las actividades de inclusión de software al microcontrolador así como también para realizar la emulación del dispositivo cuando esté en marcha, ésta se muestra en la Figura 8.(a). La tarjeta ofrece conexiones con los puertos de entrada y salida lo cual facilita las pruebas con elementos exteriores.

- Conector JTAG con adaptador USB para conectar el computador con la tarjeta y así realizar las actividades de inclusión de software en el microcontrolador y emulación del programa, el cual se muestra en la Figura 8.(b).



(a)



(b)

Figura 8. Elementos físicos del kit C8051F12x-DK: (a) Tarjeta para la programación del microcontrolador C8051F120, (b) Conector JTAG con adaptador USB.

- El ambiente de desarrollo *Silicon Laboratories Integrated Development Environment (IDE).* En la Figura 9, se muestra la pantalla principal de éste en donde se desarrolla el código del programa del microcontrolador.

Figura 9. Ambiente de desarrollo Silicon Labs Integrated Development (IDE).

- Herramientas de desarrollo para 8051(Ensamblador, *linker,* compilador de C).

A continuación, se llevó a cabo el desarrollo de la aplicación (esquematizada en la Figura 10) por medio de los siguientes pasos:

- Se analizó la documentación del dispositivo (ver Anexo C o visitar: http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F12x-13x.pdf para encontrar la información detallada), de donde se extrajo la información pertinente de: niveles de voltajes y de corriente requeridos, fuentes de oscilación, manejo de memoria ROM, RAM y de programación, manejo de puertos de entrada y de salida, el set de instrucciones utilizables, manejo de las interrupciones, manejo de las unidades para la comunicación serial, manejo de los temporizadores, manejo de los registros de las funciones especiales de cada unidad y el manejo de la interfaz para su programación.

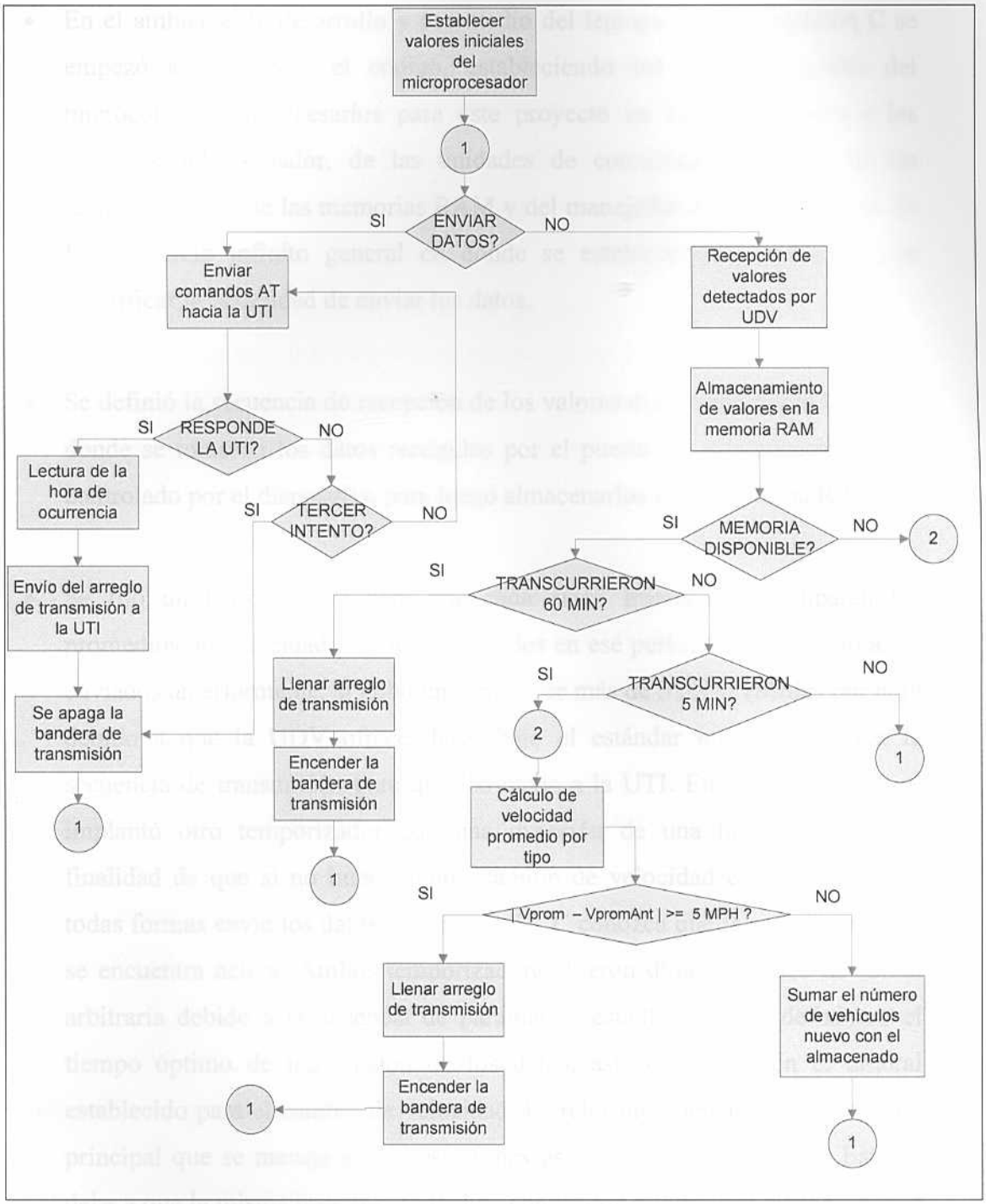


Figura 10. Diagrama de flujos del programa de operación de microcontrolador C8051F120.

- En el ambiente de desarrollo y por medio del leguaje de programación C se empezó a desarrollar el código, estableciendo los valores iniciales del microcontrolador necesarios para este proyecto en lo que respecta a los registros del oscilador, de las unidades de comunicación serial, de los temporizadores, de las memorias RAM y del manejador de interrupciones. Se fijó un ciclo infinito general en donde se establece una condición para identificar la necesidad de enviar los datos.

- Se definió la secuencia de recepción de los valores detectados por la UDV, en donde se tomaron los datos recogidos por el puerto de comunicación serial controlado por el dispositivo para luego almacenarlos en la memoria RAM.

- Se fijó un temporizador para que cada cinco minutos se comparen los promedios de velocidad por tipo, recabados en ese período con respecto a los enviados anteriormente, si hubo un cambio de más de 5 MPH (Millas por hora debido a que la UDV ofrece datos bajo el estándar inglés) se activa la secuencia de transmisión para que los envíe a la UTI. En adición a esto, se implantó otro temporizador con una duración de una hora, éste con la finalidad de que si no hubo ningún cambio de velocidad en ese tiempo de todas formas envíe los datos para que la UCC conozca que la estación remota se encuentra activa. Ambos temporizadores fueron dimensionados de forma arbitraria debido a la ausencia de parámetros estadísticos que definieran el tiempo óptimo de transmisión de los datos, así como también el umbral establecido para el cambio de velocidad. Es relevante mencionar, que el dato principal que se maneja en las estaciones es la velocidad promedio. Esto se debe a que la misma muestra el nivel de congestión que poseen las vías, por lo cual sólo es necesario realizar la transferencia cuando exista un cambio, previamente descrito, de 5 MPH en este dato.

- Para evitar problemas con la capacidad de memoria RAM, se estableció que en el caso de no existir memoria disponible previo al cumplimiento de los cinco minutos se realice la actividad de análisis para limpiar la memoria y así tener nuevamente la posibilidad para el almacenamiento.

- A continuación, se realizó la secuencia de transmisión para enviar los datos, en donde se utilizó el formato de la trama previamente expuesta. Esta sección se estableció mediante la inclusión de los comandos AT necesarios para interactuar con el dispositivo de transmisión inalámbrica y así conectarlo a la red para que envíe los datos a la UCC. En el caso que la UTI no responda, se establecieron arbitrariamente tres intentos para su posible conexión y de no ser exitoso ninguno de ellos se descarta la trama debido a que pierde validez por el retraso de tiempo que se generó. Es importante mencionar que no se identificó necesidad alguna de enviar información desde la UCC hacia las EAADTA, por lo que el sistema de comunicación se estableció de manera unidireccional. Sin embargo, este tipo de sistemas requieren señales de control basadas en la interrogación por parte del equipo central para identificar si el dispositivo remoto se encuentra operativo, la cual en este proyecto está implementada a través del envío constante de la información por parte de la EAADTA.

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

III.4.5 Procedimiento para la elaboración de las tarjetas impresas para la integración a nivel de hardware.

Conjuntamente con el kit de desarrollo adquirido del microcontrolador que se seleccionó, tuvo que implementarse una serie de tarjetas complementarias que permitieran alcanzar las prestaciones dimensionadas al principio del proyecto. En dichas tarjetas, además de la inclusión de los componentes necesarios tanto para la etapa de almacenamiento como para la protección del microcontrolador, se desarrollaron las interfaces (EIA RS-232C, DB-9) que cohesionaron las tres unidades componentes de la EAADTA. En primer lugar se llevó a cabo el diseño esquemático del circuito en el software de aplicación Express SCH®, luego se realizó el *layout* a través del software Express PCB® para ser adherido 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 A se describe con detalle el proceso seguido para la realización de las tarjetas impresas, así como en el apéndice D se muestran los planos obtenidos en Express PCB®.

III.4.6 Desarrollo de la aplicación para la recepción en la unidad de control central.

Los datos adquiridos por la Estación Automatizada deben ser recibidos por la UCC para su posterior procesamiento, por lo que se desarrolló una aplicación en el ambiente de desarrollo Visual Basic 6.0 que cumpliendo funciones de servidor, escuche y reciba la información proveniente desde la UTI. Ésta aplicación, cuya dirección IP se asignó de manera fija, también se diseñó para generar una serie de archivos que permitieran obtener un control de los datos adquiridos y el procesamiento de los mismos por parte de la base de datos de la UCC. En la Figura 11 se observa el diagrama de flujo que representa la esquematización gráfica del

algoritmo de la aplicación de recepción, y a partir del cual se desarrolló el código de programación.

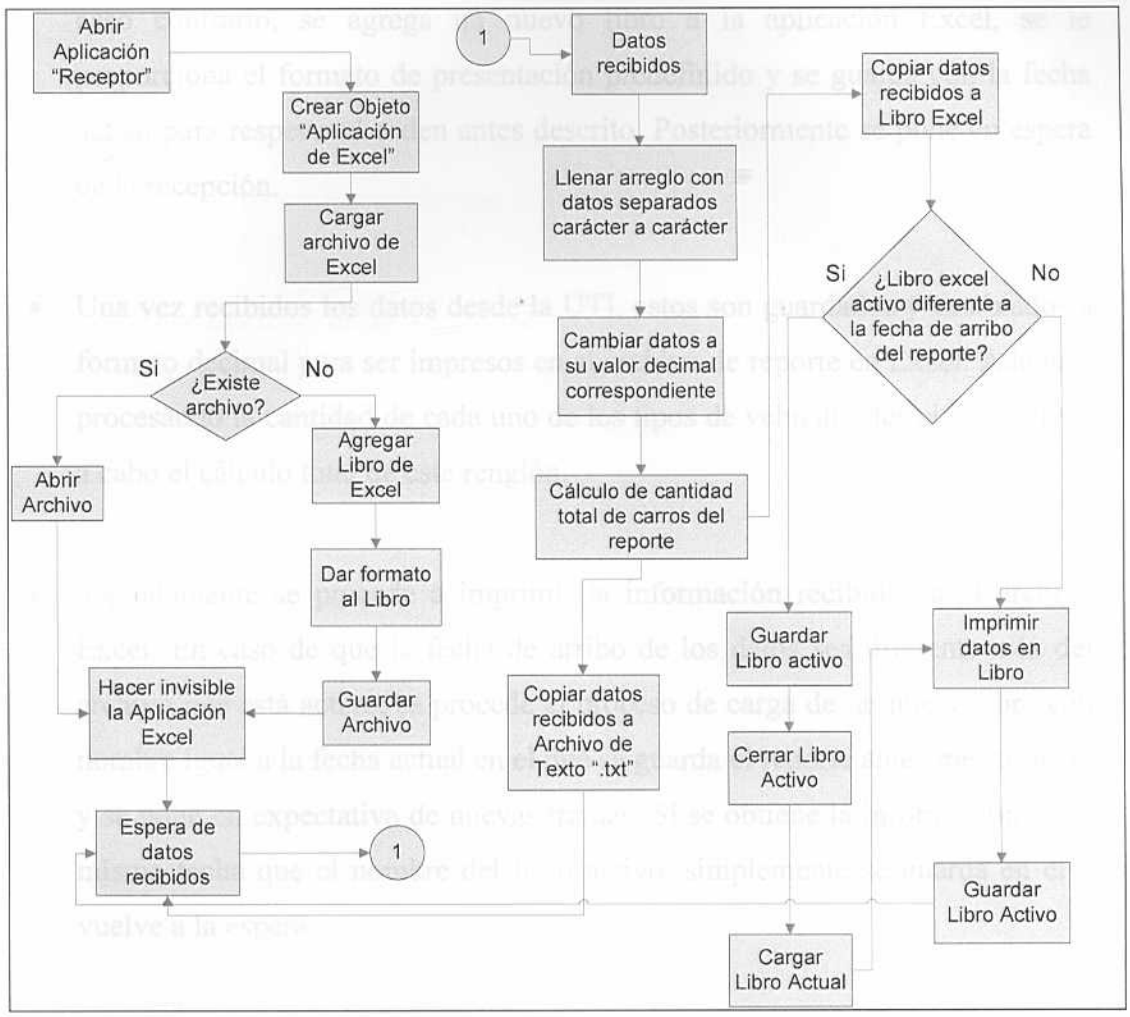


Figura 11. Diagrama de flujos de la aplicación receptor.

- Al ser corrida la aplicación, el primer paso que se ejecuta es la carga del archivo Excel donde se lleva el reporte de los datos adquiridos por la UDV. Es importante mencionar que el nombre del archivo cargado será el de la fecha actual, para que de esta manera exista un orden cronológico de la información recibida.

- Como paso próximo, el programa revisa si el archivo ya fue creado o si éste no existe en la memoria del computador. En caso de existir, es abierto y puesto en espera para recibir los próximos datos que lleguen desde la UTI; en caso contrario, se agrega un nuevo libro a la aplicación Excel, se le proporciona el formato de presentación predefinido y se guarda con la fecha actual para respetar el orden antes descrito. Posteriormente se pone en espera de la recepción.

- Una vez recibidos los datos desde la UTI, estos son guardados y cambiados a formato decimal para ser impresos en el archivo de reporte en Excel. Además, procesando la cantidad de cada uno de los tipos de vehículo definidos se lleva a cabo el cálculo total de este renglón.

- Seguidamente se procede a imprimir la información recibida en el archivo Excel. En caso de que la fecha de arribo de los datos sea diferente a la del archivo que está activo, se procede al proceso de carga de un nuevo libro con nombre igual a la fecha actual en el que se guarda el reporte antes mencionado y se pone en expectativa de nuevas tramas. Si se obtiene la información en la misma fecha que el nombre del libro activo, simplemente se guarda en él y vuelve a la espera.

- Al mismo tiempo, los datos recibidos son recogidos en un archivo de texto separados por el carácter " | " para ser utilizado por la unidad de control central para su posterior procesamiento y almacenamiento, tal y como se acordó en una reunión realizada con Daniel Deternoz y Félix Fernández, desarrolladores de dicha unidad en el proyecto PISACOTA.

III.5 Fase V: Pruebas.

La última etapa del proyecto consistió en desarrollar unas pruebas en el laboratorio de la unidad piloto para 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. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

Prueba 1. Interconexión entre el simulador del UDV y el microcontrolador: Se enviaron una serie de datos para verificar los diferentes parámetros de comunicación involucrados, tales como velocidad y sincronismo. Además se comprobó si la secuencia de recepción de la UDCAT recibía los datos de manera correcta.

Prueba 2. Interconexión entre el microcontrolador y la UTI: Mediante los comandos AT necesarios para la comunicación con el módulo, se intentó interactuar exitosamente con el mismo a través del microcontrolador para verificar los diferentes parámetros de comunicación involucrados, tales como velocidad, sincronismo, niveles de voltaje de los pines del puerto serial para funcionamiento y desconexión y la secuencia de Comandos AT utilizada.

Prueba 3. Establecimiento de la conexión a la red de datos de Movilnet a través de la UTI: Utilizando el software de aplicación *Dockligth®* y *Hyper Terminal®,* se probó la capacidad de la UTI para establecer una comunicación bajo el protocolo TCP/IP sobre la red de datos de Movilnet y los parámetros derivados de la misma, como los tiempos necesarios previos a la conexión y sus intervalos de duración.

Prueba 4. Verificación del buen funcionamiento de las tarjetas impresas elaboradas: Se probó la continuidad de las líneas conductoras realizadas.

Prueba 5. Interconexión entre la estación remota y la unidad de control central: Se enviaron una serie de reportes desde la UDCAT hacia la UCC mediante la UTI, para verificar que la aplicación de recepción obtuviera los reportes de manera satisfactoria y con un retardo de tiempo arbitrario menor a 30 segundos del momento en que la UDCAT lo necesita enviar para mantener la condición de tiempo real del proyecto.

Prueba 6. Confiabilidad de la conexión entre la UTI y la UCC: Se realizaron 300 intentos de conexión entre el módulo EMI-800 y el UCC en diferentes localidades del área Metropolitana de Caracas a distintas horas. Localidades: 1) Colinas de Valle Arriba entre 8 pm y 10 pm, 2) Macaracuay entre 3 pm y 4 pm, 3) Montalbán (UCAB) entre 8 am y 10 am y 4) Monte Claro entre 10 am y 12 pm.

Prueba 7. Interconexión de todo el sistema: Verificar que la integración general de la EAADTA funcione de manera satisfactoria en los siguientes aspectos: los datos impresos en los reportes de la UCC concuerden con los enviados por la UDCAT provenientes de la información suministrada por la UDV, la UCC sólo reciba datos cuando ocurran los eventos preestablecidos (5 min., 60 min. o desborde de memoria) y que la UTI logre una conexión satisfactoria cada vez que sea requerido con los retardos de tiempo estipulados.

Prueba 8. Interconexión de todo el sistema durante 24 horas: Se realizaron las pruebas descritas en el punto anterior para un período de funcionamiento de 24 horas continuas con la finalidad de identificar el rendimiento tanto en hardware como en software de cada una de las etapas de la EAADTA. Además, a través de esta prueba se determinó la confiabilidad del sistema.

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

Capítulo IV
Resultados

En este capítulo se explican detalladamente los resultados obtenidos en cada una de las unidades que fueron creadas para cumplir los objetivos planteados en el inicio de este proyecto.

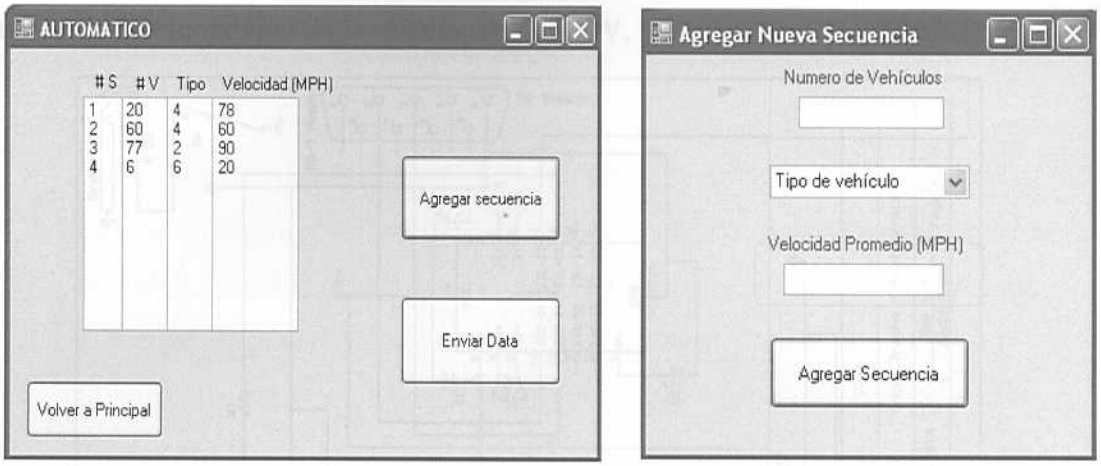
IV.1 Simulador del Autosense II.

Una vez inicializada la aplicación Simulador del Autosense II, el usuario visualizará la ventana mostrada en la Figura 12, la cual indica los dos modos posibles de funcionamiento de la herramienta, automático o manual.

Figura 12. Ventana de selección de modo del Simulador de la unidad óptica.

En caso de seleccionar el modo "AUTOMATICO" se presenta una nueva ventana mostrada en la Figura 13.(a) en donde exponen la cantidad, el tipo y la velocidad promedio de las secuencias de vehículos que se desea simular. Para añadir un nuevo dato se oprime el botón "Agregar Secuencia" lo cual genera la ventana auxiliar

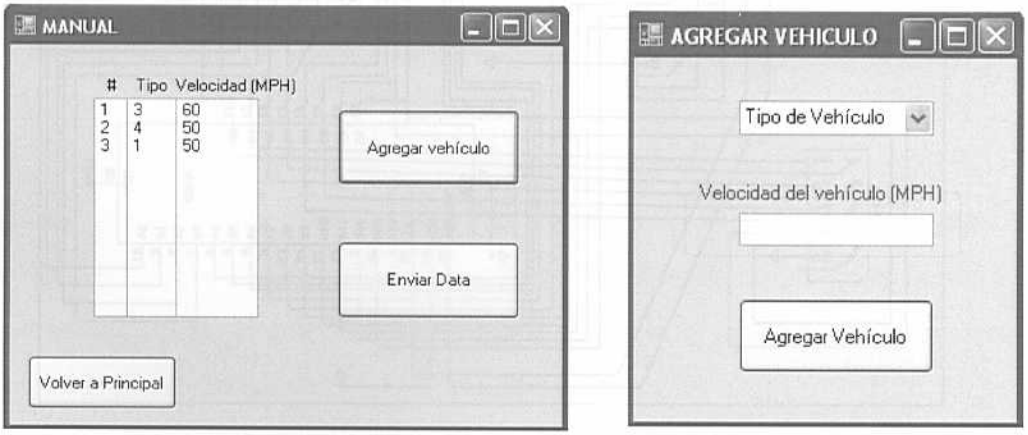
presentada en la Figura 13.(b) en la que el usuario introduce las características de la nueva cadena de automóviles. Luego de completar los datos, se oprime el botón "Enviar Data" para que así se transfieran los valores simulados mediante el puerto serial hacia la etapa de la UDCAT.



(a) *(b)*

Figura 13. Ventanas empleadas por la aplicación en el modo "AUTOMATICO".

Si se selecciona el modo "MANUAL" se realiza el mismo procedimiento que en la rutina anterior con la diferencia que se trabaja con el dato de cada vehículo de forma individual, en esta modalidad se trabajan con las ventanas expuestas en las Figuras 14.(a) y 14.(b).



(a) *(b)*

Figura 14. Ventanas empleadas por la aplicación en el modo "MANUAL".

IV.2 Diseño e implementación del hardware de la UDCAT.

El hardware de la UDCAT esta formado por tres secciones principales: sección de almacenamiento, sección de las interfaces con las otras unidades y sección de control. La Figura 15 muestra el esquema circuital de la sección de almacenamiento junto a la interfaz de interconexión de la misma con la UDV.

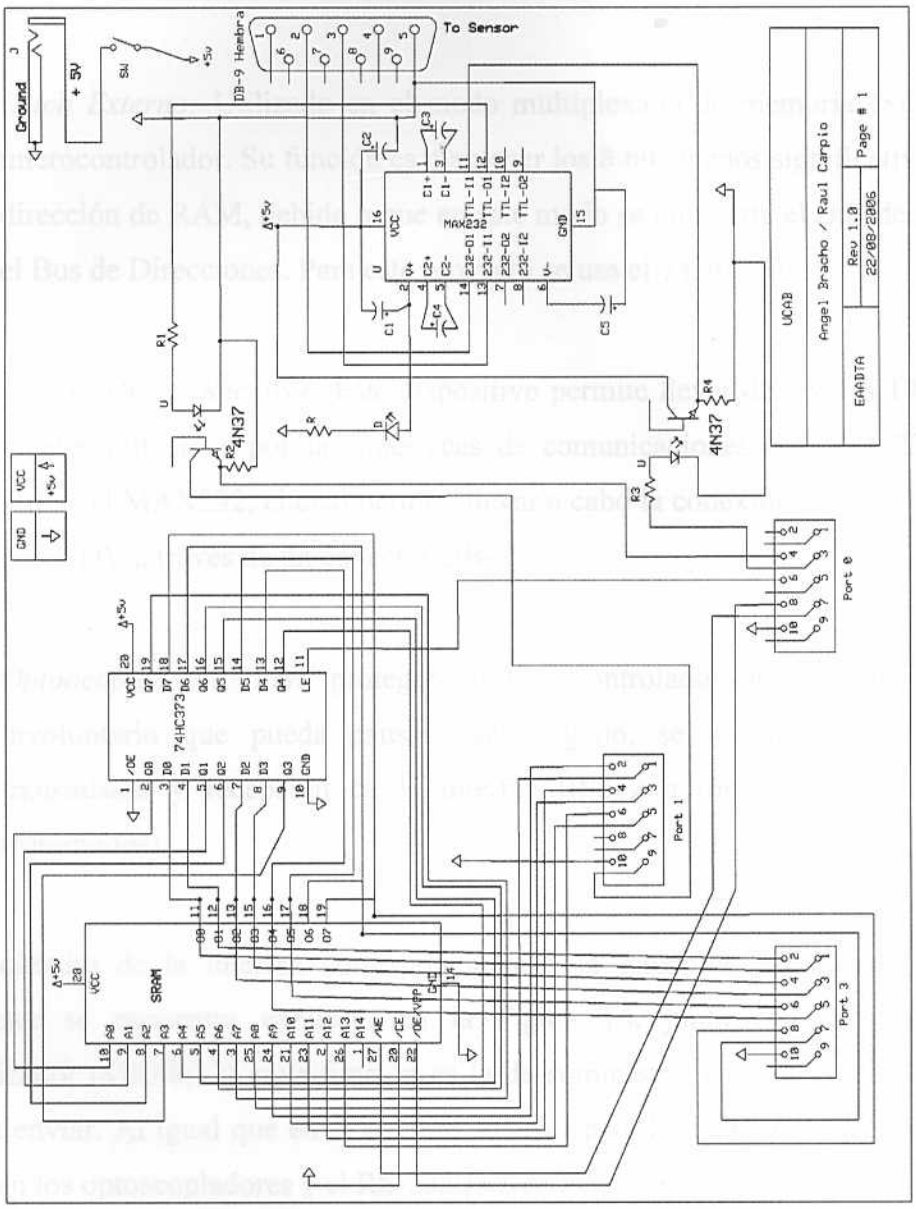


Figura 15. Diagrama esquemático de la sección de almacenamiento junto la sección de interfaz hacia la UDV.

Entre los dispositivos que conforman este circuito se tiene:

- *Memoria Externa (SRAM):* Consiste en un circuito integrado capaz de almacenar hasta 32 KB de información, es decir, los datos de 2000 automóviles provenientes de la UDV. El modelo de SRAM utilizada es de la familia KM62256C de la marca Samsung.

- *Latch Externo:* Utilizado en el modo multiplexado de memoria externa del microcontrolador. Su función es mantener los 8 bits menos significativos de la dirección de RAM, debido a que en este modo se comparte el Bus de Datos y el Bus de Direcciones. Para este proyecto se usa el 74HC373.

- *RS-232 Driver/Receiver:* Este dispositivo permite llevar de niveles TTL a los niveles utilizados por las interfaces de comunicaciones EIA/TIA-232E. Se utiliza el MAX232, el cual permite llevar a cabo la conexión entre la UDCAT y la UDV a través de un conector DB-9.

- *Optoacopladores:* Para proteger el microcontrolador de cualquier voltaje involuntario que pueda causar daño alguno, se aíslan sus puertos de transmisión y recepción de la interfaz RS232 a través integrados 4N37 (fotodiodos).

El circuito de la interfaz correspondiente a la interconexión con el módulo transmisor se encuentra expuesto en la Figura 16, junto con un dispositivo temporizador (MK48t12) cuya función es la de suministrar la hora y la fecha de la trama a enviar. Al igual que en el circuito anterior para la interfaz con el módulo se requieren los optoacopladores y el RS-232 *Driver/Receiver*.

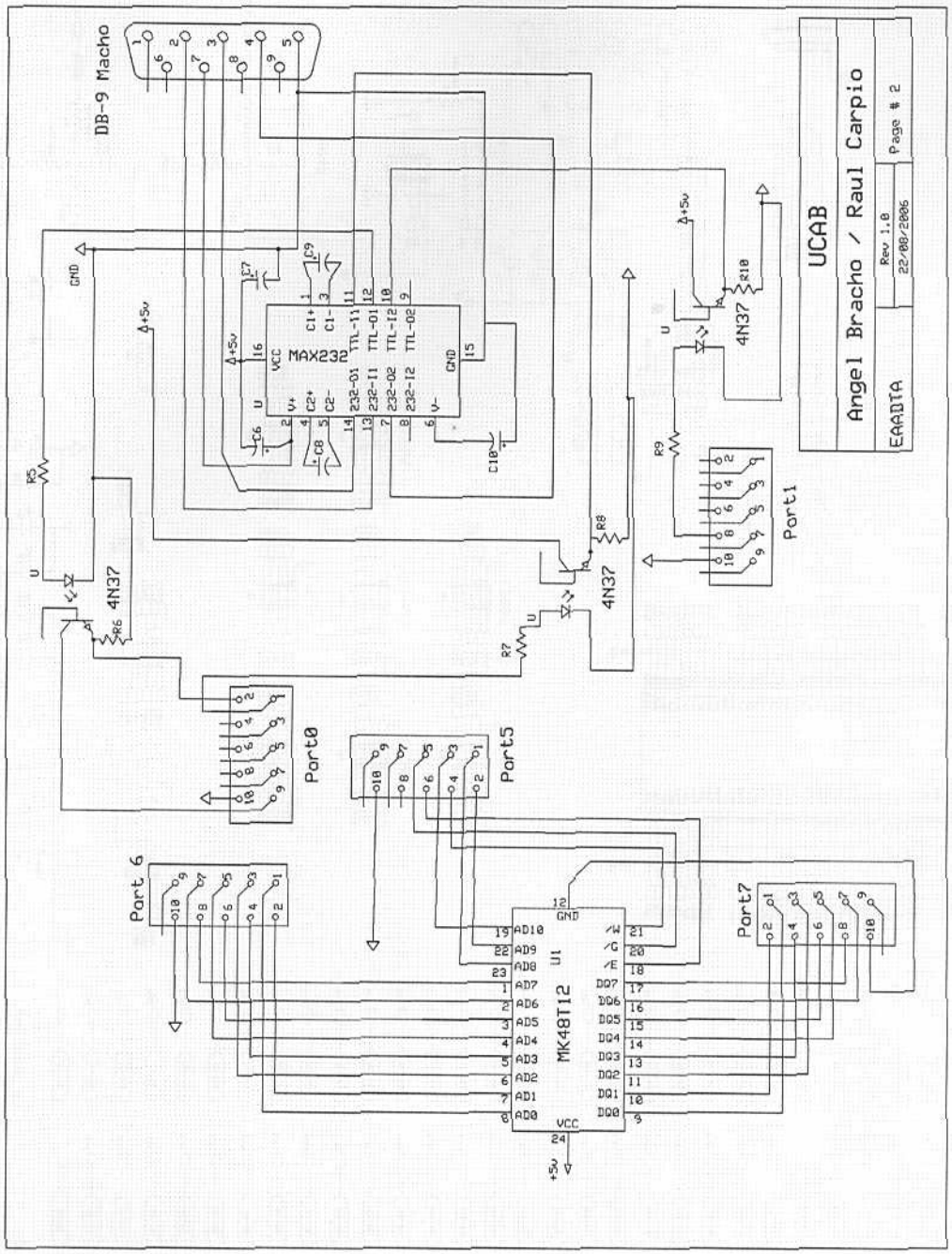


Figura 16. Diagrama esquemático de la interfaz de la UDCAT con la UTI.

La Figura 17 muestra la sección de control, la cual esta constituida por el microcontrolador y los componentes necesarios para su funcionamiento. Es importante mencionar que para esta fase se utiliza la tarjeta incluida en el kit C8051F12x-DK.

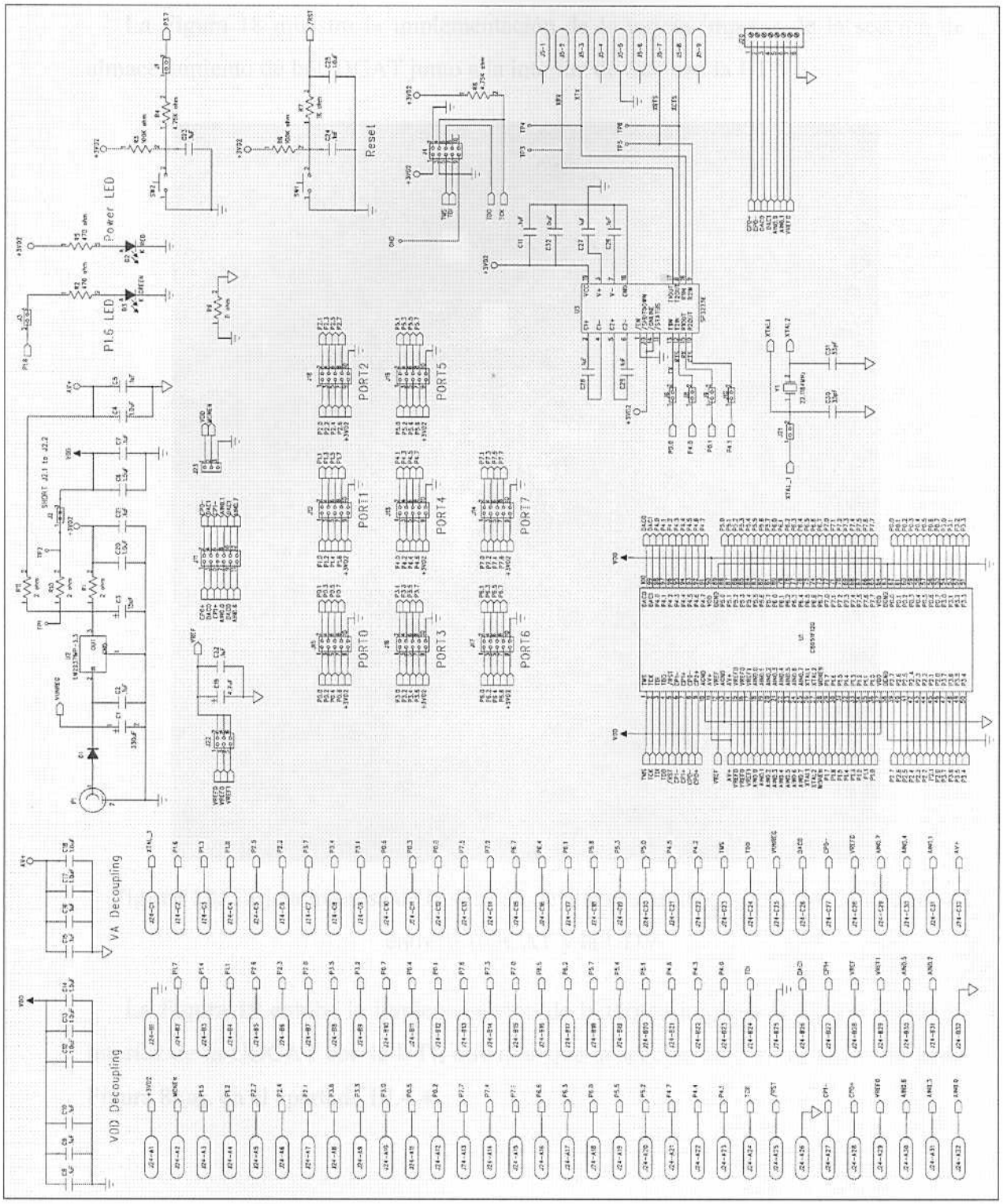


Figura 17. Diagrama esquemático de la conexión de la sección de control de la UDCAT.

La Figura 18 muestra la implementación de la tarjeta impresa de la sección de almacenamiento de la UDCAT junto a la interfaz de ésta con la UDV.

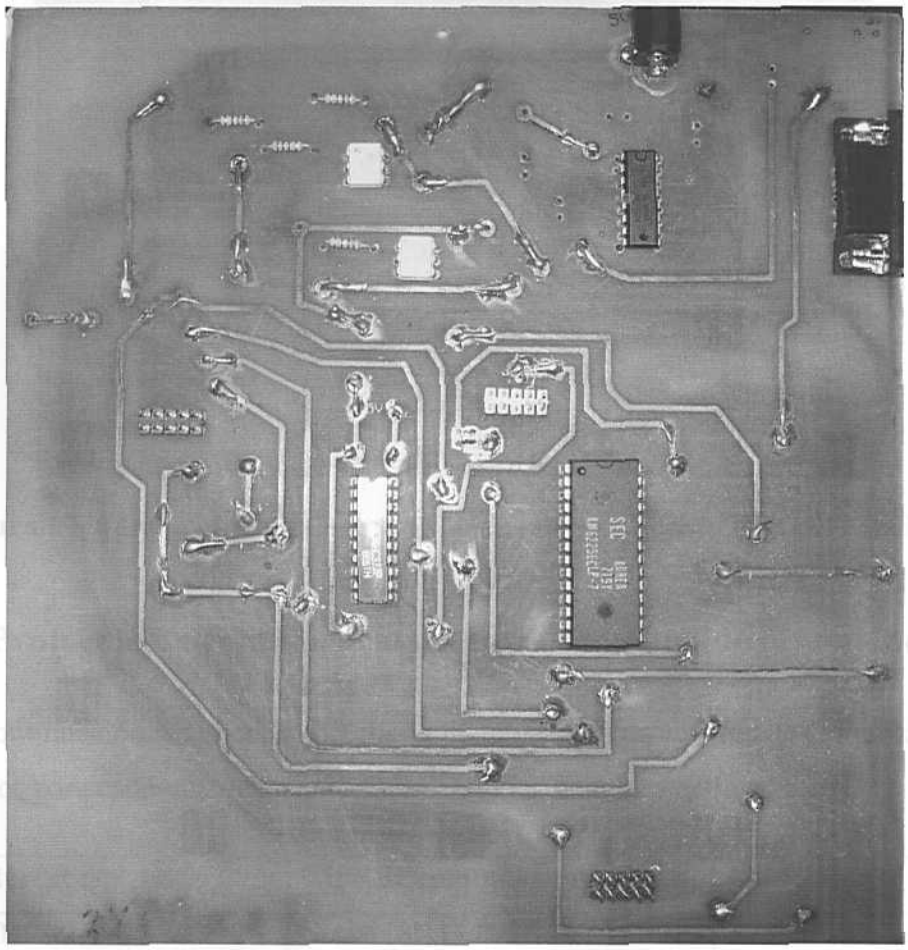


Figura 18. Tarjeta impresa de la sección de almacenamiento junto con la interfaz entre la UDCAT y la UDV.

La Figura 19 exhibe la implementación de la tarjeta impresa de la sección de la interfaz de la UDCAT con la UTI, mientras que la sección de control se ilustra en la Figura 8.(a). en el apartado III.4.4.

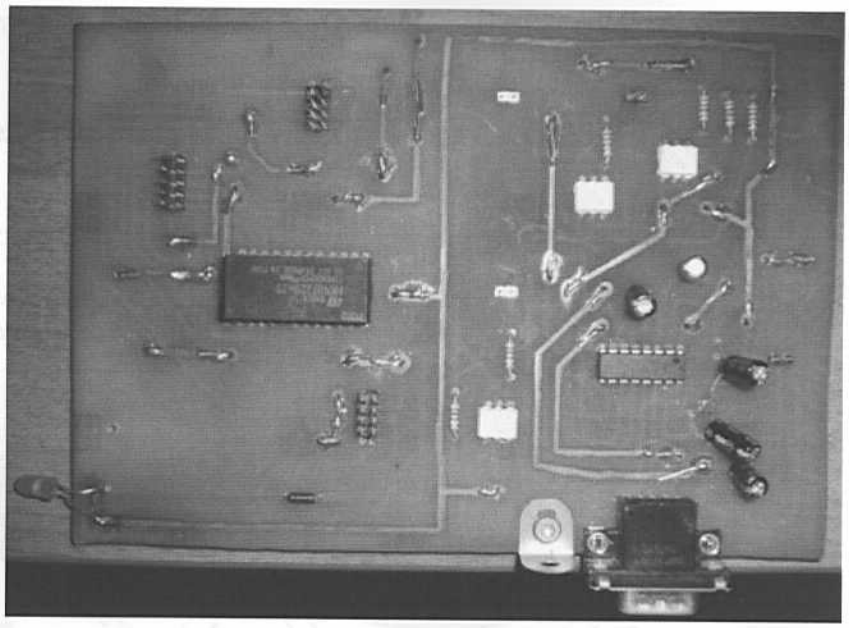


Figura 19. Tarjeta impresa de la sección de interfaz entre la UDCAT y la UTI.

IV.3. Protocolo de comunicaciones entre cada una de las unidades.

A continuación, se pueden apreciar en la tabla 6 los protocolos de comunicaciones utilizados para cada una de las interfaces entre las unidades de la estación.

Interfaces	Tipo de comunicación	Velocidad
UDV – UDCAT	Serial (8N1)	57,6 Kbaudios
UDCAT – UTI	Serial (8N1)	115,6 Kbaudios
UTI – UCC	TCP/IP(CDMA2000 1xRTT)	144 Kbps

Tabla 6. Protocolos utilizados en las interfaces entre las unidades de la EAADTA.

IV.4 Solución empleada para la comunicación de las EAADTA con la unidad de control central.

El diagrama mostrado en la Figura 20 da a conocer el mecanismo empleado para establecer la comunicación entre las EAADTA y la UCC. El mismo consta de un

módulo transmisor de datos (IP), Anydata EMII-800, colocado en cada EAADTA, de un canal de comunicación de datos (IP) sobre la red celular CDMA 2000 perteneciente a la empresa Movilnet y, de una dirección IP fija, ubicada en la UCC.

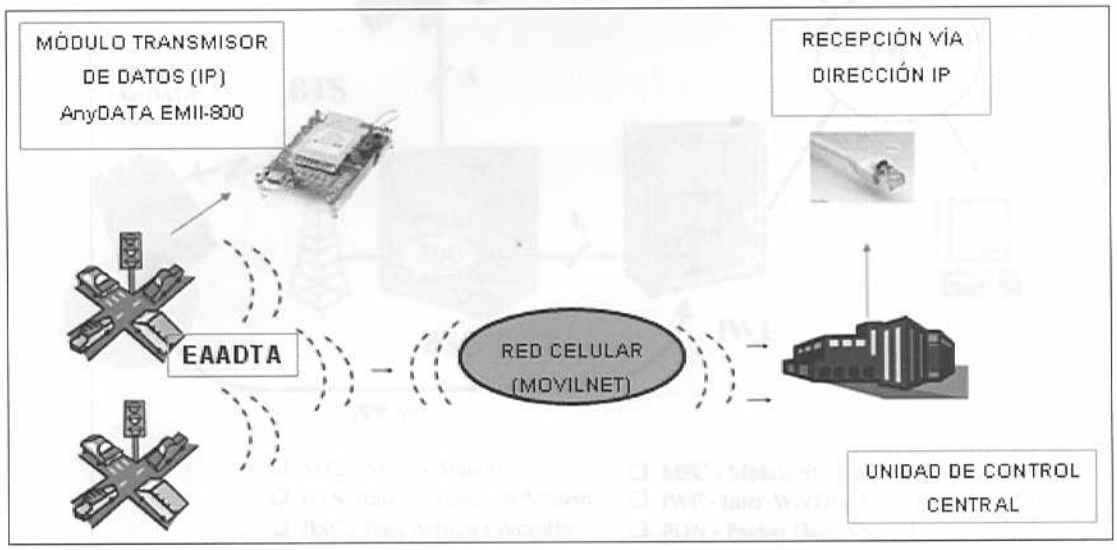


Figura 20. Solución utilizada para la comunicación de las EAADTA, mediante el empleo de la red de datos sobre las redes celulares de la empresa Movilnet.

La unidad de almacenamiento y control temporal se comunica con la UTI mediante el uso de comandos AT (ver apéndice F) a una velocidad de 115,2 Kbps. Luego, a través de la frecuencia de subida (824,04 MHz – 848,97 MHz), el módulo EMI-800 envía la trama hacía la red de transporte CDMA 2000 1xRTT a una rata de baudios máxima de 153,6 Kbps y con un ancho de banda de 1,25 MHz, ingresando ésta a la arquitectura de red mostrada en la Figura 21. De esta forma, la información llega a la red de paquetes de datos y seguidamente a la IP designada en la UCC.

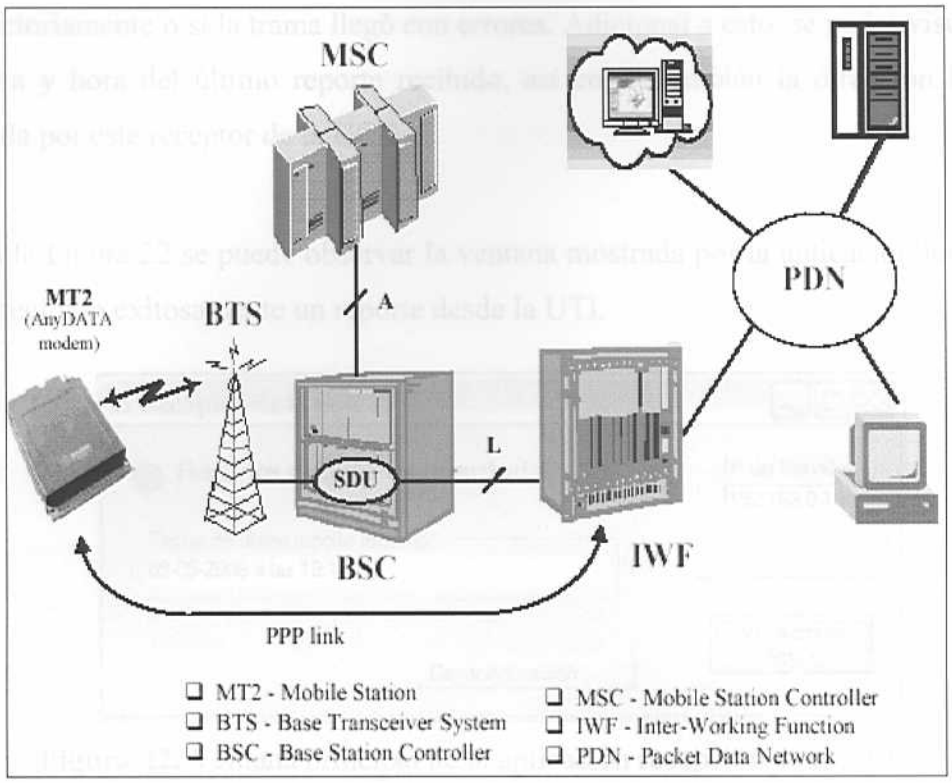


Figura 21. Arquitectura de la red capaz de soportar el envío de paquetes a través del AnyData EMII-800. (tomado de EMII-800: CDMA Data terminal user manual, AnyData, 2001)

IV.5. Aplicación de recepción en la unidad de control central.

Esta aplicación cuenta con una ventana de interfaz básica, donde el usuario podrá visualizar los diferentes aspectos de la comunicación establecida entre las EAADTA y la Unidad de Control Central. Al inicializar el programa, es cargado el archivo de reportes en Excel, y cuyo nombre será la fecha de ese instante; en caso de existir este archivo, el usuario deberá introducir la clave de seguridad para poder modificarlo. A continuación, el operador deberá oprimir el botón "conectar" para habilitar el puerto preestablecido por donde la computadora recibirá los datos provenientes de la UTI y de esta manera colocar a la aplicación en período de espera de los mismos. Una vez detectado flujo de datos por el puerto, la ventana informará al usuario la llegada de un nuevo reporte y el estado de éste, es decir, si es recibido

satisfactoriamente o si la trama llegó con errores. Adicional a esto, se podrá visualizar la fecha y hora del último reporte recibido, así como también la dirección IP fija utilizada por este receptor de la UCC.

En la Figura 22 se puede observar la ventana mostrada por la aplicación luego de haber recibido exitosamente un reporte desde la UTI.

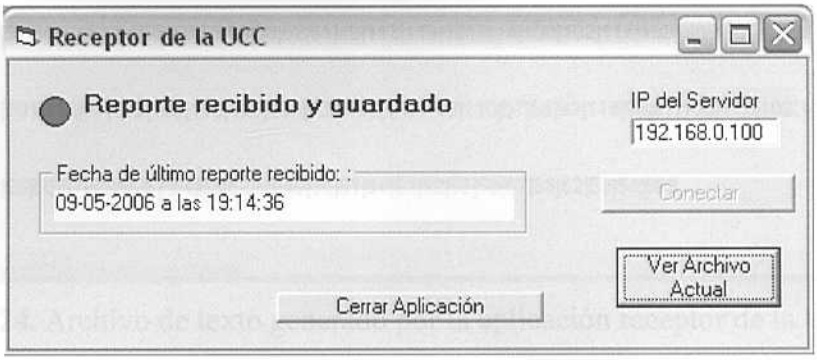


Figura 22. Ventana principal de la aplicación recepción de la UCC.

Por otra parte, tal y como se observa en la Figura 22, el usuario posee la opción de ver el archivo Excel de reportes actual. Como se puede apreciar en el ejemplo de la Figura 23, al oprimir este botón se hará visible la hoja de cálculo donde se han impreso los reportes del día.

EAADTA: Parámetros de Tráfico

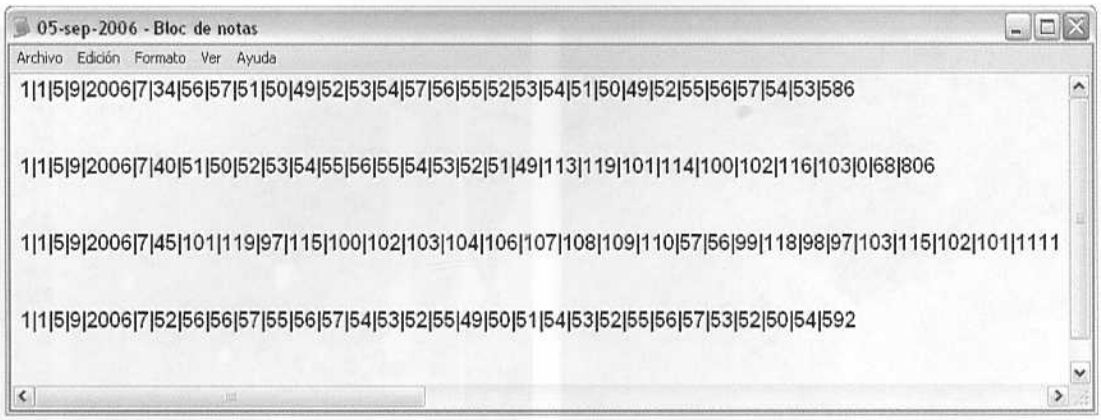
ID	Estado	Fecha de Reporte (D/M/A)			Hora de Reporte (H/M		Tipo 1	V. Tipo 1	Tipo 2	V. Tipo 2
1	1	5	9	2006	7	34	56	57	51	50
1	1	5	9	2006	7	40	51	50	52	53
1	1	5	9	2006	7	45	101	119	97	115
1	1	5	9	2006	7	52	56	56	57	55

Tipo 3	V. Tipo 3	Tipo 4	V. Tipo 4	Tipo 5	V. Tipo 5	Tipo 6	V. Tipo 6	Tipo 7	V. Tipo 7	Tipo 8
49	52	53	54	57	56	55	52	53	54	51
54	55	56	55	54	53	52	51	49	113	119
100	102	103	104	106	107	108	109	110	57	56
56	57	54	53	52	55	49	50	51	54	53

V. Tipo 8	Tipo 9	V. Tipo 9	Tipo 10	V. Tipo 10	Tipo 11	V. Tipo 11	Vel. Promedio	Nº Carros Total
50	49	52	55	56	57	54	53	586
101	114	100	102	116	103	30	68	806
99	118	98	97	103	115	102	101	1111
52	55	56	57	53	52	50	54	592

Figura 23. Archivo Excel generado por la aplicación receptor de la UCC.

De la misma manera, al arribar los reportes se genera un archivo de texto con toda la información recibida, como se muestra en el ejemplo de la Figura 24, el cual será utilizado por los desarrolladores de la Unidad de Control Central en el proyecto PISACOTA.


05-sep-2006 - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

1|1|5|9|2006|7|34|56|57|51|50|49|52|53|54|57|56|55|52|53|54|51|50|49|52|55|56|57|54|53|586

1|1|5|9|2006|7|40|51|50|52|53|54|55|56|55|54|53|52|51|49|113|119|101|114|100|102|116|103|0|68|806

1|1|5|9|2006|7|45|101|119|97|115|100|102|103|104|106|107|108|109|110|57|56|99|118|98|97|103|115|102|101|1111

1|1|5|9|2006|7|52|56|56|57|55|56|57|54|53|52|55|49|50|51|54|53|52|55|56|57|53|52|50|54|592

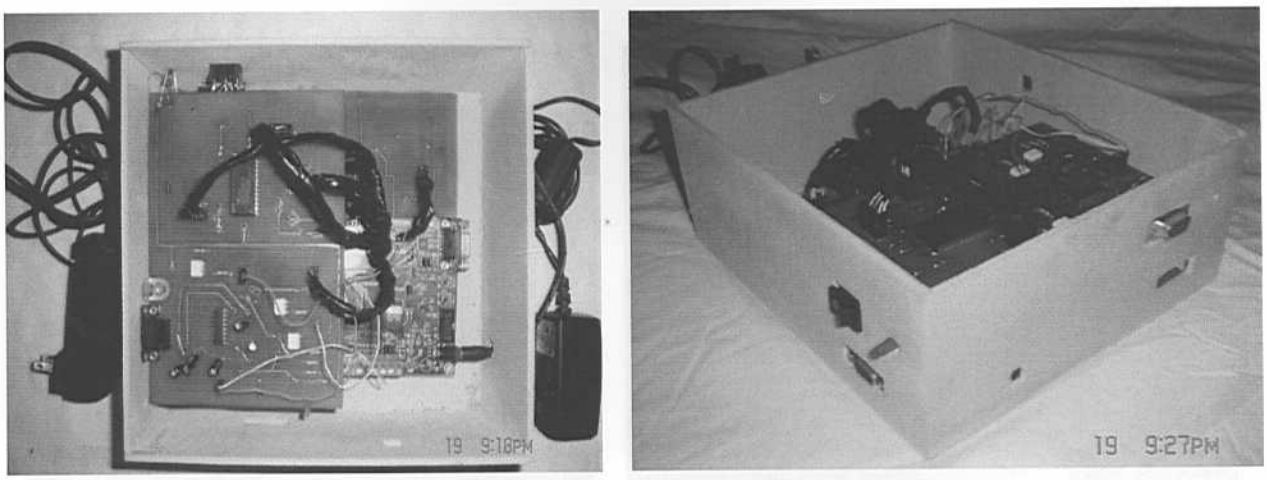
Figura 24. Archivo de texto generado por la aplicación receptor de la UCC.

IV.6. Montaje final del prototipo de la EAADTA.

En este apartado se expone el hardware final de la EAADTA, así como el de cada una de las unidades de la misma. En la Figura 25 se visualiza el modelo de montaje de la UDV que debe realizarse en cada uno de los puntos de la vía donde se desean adquirir datos de tráfico automotor. Como se sabe, para efectos de este trabajo especial de grado se realizó una simulación de este dispositivo.

Figura 25. Montaje exterior de la UDV (tomado de Autosense II,TYSSA, 2004).

Tal y como se observa en la Figura 26, el hardware de la UDCAT consiste en una caja donde se encuentra la integración de las diversas tarjetas impresas realizadas junto al microcontrolador Silabs adquirido. También se pueden observar los puertos DB-9 que funcionan como interfaz con las otras dos unidades.



(a) *(b)*

Figura 26. Caja contenedora de toda la circuitería de la UDCAT.

La unidad de transmisión inalámbrica está constituida por el Módulo CDMA2000 1xRTT de la marca AnyData. Como se puede apreciar en la Figura 27, los componentes principales del hardware son el módem y la antena necesaria para establecer la comunicación inalámbrica.

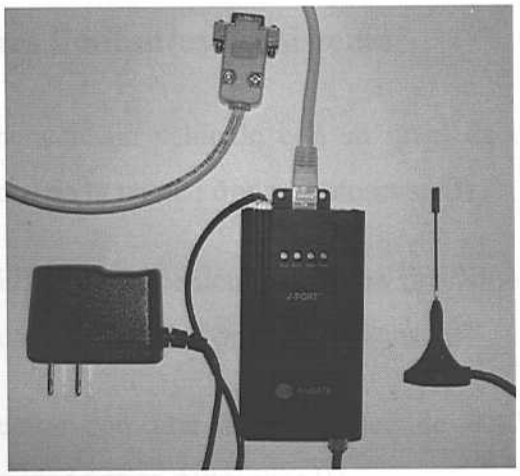
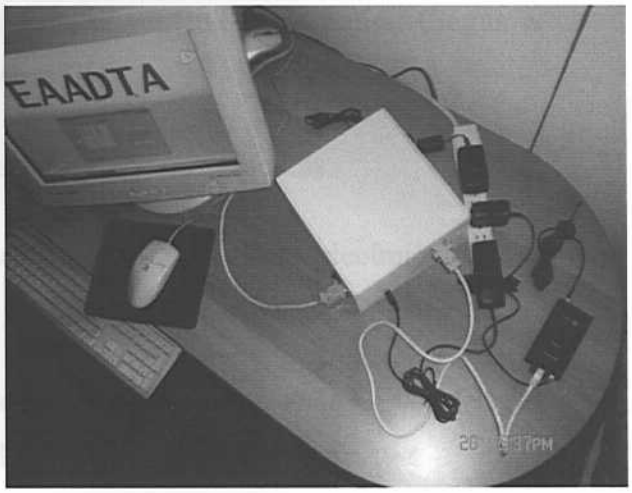


Figura 27. Módulo AnyData EMII-800 CDMA2000 1xRTT y sus componentes.

En la Figura 28 se observa el montaje final del prototipo de la EAADTA. En ésta se puede notar la computadora que simula la UDV la cual se conecta vía interfaz serial con el hardware de la UDCAT, y ésta a su vez mediante otra conexión serial se enlaza con el Módulo transmisor de la UTI.

(a)



(b)

Figura 28. Prototipo de la EAADTA en las pruebas de laboratorio.

En el apéndice E, mediante la ejecución de una prueba completa, se puede visualizar el funcionamiento general de todo el sistema.

IV.7. Especificaciones limitantes del sistema

- Detecta la presencia de un vehículo con un nivel de confianza del 99.5%. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)

- Calcula la velocidad de un vehículo con una precisión mejor del +/- 10%. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)

- Ignora los vehículos con una altura menor de 0.47 metros. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)

- Distingue entre 2 vehículos circulando a 201 km/h, separados entre si 1.2 metros. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)
- Distingue entre 2 vehículos circulando a 97 km/h, separados entre si 0.6 metros. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)
- Detecta una barra de 5 centímetros entre el vehículo y su trailer. (Según el proveedor de la unidad óptica Autosense II)
- Capacidad de almacenamiento de los datos de 2500 vehículos.
- 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 UCC 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 UCC es aproximadamente 10 segundos.

IV.8. Fallas detectadas en las pruebas realizadas.

A continuación se presenta la tabla 7 en donde se desglosan cada una de las fallas detectadas en las pruebas realizadas y las soluciones empleadas para superarlas. Es importante mencionar que la numeración empleada en dicha tabla corresponde a la asignada en el capítulo III.

Prueba	Fallas detectadas	Soluciones
1	El compilador del microcontrolador no soporta realizar de forma paralela la recepción de los datos y los cálculos aritméticos.	Almacenar todos los datos recibidos y cuando se cumplan los 5 minutos inhabilitar la recepción y realizar los cálculos pertinentes. En ese instante se pierden los datos que se generen en la UDV.
2	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.
3	El módulo no lograba conectarse a la red de Movilnet. El módulo se desconectaba luego de un período de inactividad de 18 segundos.	Actualizar la versión del software cargada en el módulo.
4	Falta de continuidad entre las líneas conductoras e imposible recuperación de las mismas.	Llevar a cabo nuevos intentos del proceso de creación de las tarjetas impresas.
5	La aplicación de recepción no se ajustaba a la latencia de la red. No se recibía correctamente valores mayores a 256 en la variable "conteo".	Incrementar el tiempo de escucha en el puerto de recepción. Se agregó a la trama la variable "ciclo".
6	Se detectó un (1) intento fallido por cada trescientos (300).	No Aplica
7	Problemas de depuración en los programas del simulador y el microcontrolador.	Ajuste en la programación de los valores donde se detectaron los errores.
8	Eventualmente, el microcontrolador luego de aproximadamente 12 horas deja de cumplir con sus instrucciones. Se detectaron tres (3) errores por cada cien (100) reportes realizados.	Reiniciar el microcontrolador cada 12 horas.

Tabla 7. Tabla de los errores detectados y sus soluciones.

Capítulo V
Conclusiones y Recomendaciones

V.1 Conclusiones.

La herramienta desarrollada en este Trabajo Especial de Grado permite suministrar, de manera automatizada, parámetros de flujo vehicular en "tiempo real" que pueden ser utilizados como insumos para sistemas de procesamiento y análisis de tráfico automotor, tal y como se desarrolla en el proyecto PISACOTA. Esta herramienta aporta soluciones eficientes a la problemática del congestionamiento constante de las arterías viales más importantes causado por el crecimiento desmesurado del parque automotor en Venezuela.

Una de las características más importantes de las EAADTA es que constituyen un sistema de telemetría, es decir, permiten monitorear diversos parámetros de tráfico automotor generados en un lugar determinado desde una locación remota, de una manera automática, rápida y precisa.

Las EAADTA proporcionan la cantidad y velocidad promedio de cada uno de los tipos de automóviles considerados en el diseño previo de la UDV, dentro de un rango de tiempo que puede considerarse como "tiempo real", mas no instantáneo, para la finalidad de esta aplicación. Con dichos datos se generan reportes en la estación de recepción que pueden ser utilizados para un posterior control estadístico sobre la situación del tráfico automotor en las vías donde se emplee la solución planteada.

Otra característica fundamental de las EAADTA es que están diseñadas para optimizar el uso de la red al transmitirse datos únicamente al producirse cambios relevantes en la vía, además de enviarse tramas con poca cantidad de *Bytes*. Estos dos

factores permiten una reducción de costos de operación en el proyecto, debido a que se minimiza el tiempo de acceso a la red y se requiere la utilización de poco ancho de banda.

Para la fase de detección vehicular, se partió de la premisa de utilizar la tecnología de sensores láser, identificándose durante el desarrollo del proyecto ciertas cualidades como un protocolo de comunicación de fácil manejo, la capacidad de clasificación de los vehículos con alto nivel de precisión, la facilidad de instalación y movilización, el permitir establecer sistemas portátiles y la generación de mensajes constituidos por pocos *Bytes* de longitud. Sin embargo, esta tecnología no permite obtener datos como marca, modelo y color del automóvil detectado, así como su número de matrícula y cantidad de pasajeros, los cuales son mucho más significativos para aplicaciones de seguridad que para proyectos de control de parámetros de tráfico como éste.

De igual manera, el uso de tecnologías inalámbricas constituyó una premisa para este proyecto, obteniéndose beneficios como anchos de banda suficientes, menor exposición a actos vandálicos, accesibilidad a lugares remotos donde se dificulta la instalación de sistemas de cableado, capacidad de movilización y bajos costos de instalación a nivel de red de acceso.

Por otra parte, se seleccionó el equipo de detección Autosense II para la adquisición de los datos en la UDV, el cual proporciona una gran cantidad de información útil para identificar diversas condiciones de tráfico automotor.

Gracias a la extensa documentación técnica suministrada por el proveedor, se pudo simular el dispositivo de una manera similar y precisa, siendo una herramienta de fácil manejo y muy útil para recrear diversos escenarios que pueden surgir durante

el proceso de detección vehicular. Este simulador posibilitó la prueba, de manera eficiente, del funcionamiento general de la estación.

En el caso del microcontrolador Silabs C8051F120 escogido para el desarrollo de la UDCAT se determinó que posee el potencial necesario para la implementación de sistemas con la descripción y alcances de este proyecto.

Con respecto al servicio de red de datos CDMA2000 como tecnología de transmisión inalámbrica, se obtuvo una respuesta aceptable al ofrecer un ancho de banda suficiente para este tipo de aplicación. Adicionalmente, con el uso de la red de Movilnet se consigue una latencia de transmisión de los datos adecuada (aproximadamente 10 seg) para la condición de "tiempo real" del proyecto, la posibilidad de acceso a la red a cualquier hora del día y con una confiabilidad del 99,67%.

En lo correspondiente al módulo AnyData EMII-800 utilizado en la unidad de transmisión inalámbrica, se identificó su gran utilidad para este tipo de aplicaciones gracias a su fácil manejo, rápido acceso a la red, suficiente velocidad de transmisión y sus moderadas dimensiones.

Como resultado de las pruebas, se obtuvo un desempeño satisfactorio de la estación piloto debido a que se logró cumplir el objetivo de enviar los datos suministrados por el simulador a la unidad de control central bajo las condiciones estipuladas y con una confiabilidad del 97 %. Sin embargo, durante el desarrollo de las pruebas se identificó que luego de largos períodos de funcionamiento el microcontrolador deja de cumplir con su tarea y se recomienda reiniciarlo periódicamente.

V.2 Recomendaciones

- Una vez adquirido la unidad óptica Autosense II se recomienda aprovechar los diversos parámetros de tráfico que no fueron tomados en cuenta en este proyecto, así como también la instalación de una cámara fotográfica asistida por el relé de disparo incluido en el equipo.
- Tomar en cuenta el peso de la unidad óptica a la hora de realizar su instalación.
- Considerar establecer una comunicación bidireccional entre la UDV y la UDCAT, para de esta manera poder agregar nuevas funciones que así lo requiera.
- Llevar a cabo un análisis técnico sobre el umbral de cambio de velocidad promedio de los vehículos estipulado para el envío de los reportes.
- Hacer un estudio técnico de los períodos de tiempo de envío de los datos hacía la unidad de control central para cumplir con la condición de "tiempo real" requerida en este tipo de aplicaciones.
- Realizar un estudio detallado sobre el flujo vehicular de las zonas donde se implantarán las estaciones, con el fin de dimensionar de manera precisa la memoria a utilizar en la UDCAT.
- Identificar el tiempo máximo permisible desde la generación del reporte hasta su recepción en la UCC para mantener la condición de "tiempo real" de la aplicación.
- Realizar estudios de nuevas tecnologías inalámbricas que puedan brindar un mejor desempeño de este proyecto.

- Considerar la tecnología de GPRS como una alternativa de transmisión inalámbrica para ofrecer el servicio en zonas en donde CDMA 2000 no brinde cobertura. De tomarse en cuenta esta opción se deben adaptar las tarjetas y el software de la unidad a la tecnología referida.

- Hacer un estudio de costos detallado de cada una de las alternativas posibles para cada unidad de las estaciones, con el fin de seleccionar la solución que brinde mejor relación costo-eficiencia.

- Para aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) se sugiere la instalación de un hardware para realizar un reinicio automático del sistema cada cierto tiempo, dependiendo de la necesidad. Alternativamente se puede implementar un software que realice la nombrada función.

- En el caso que se desee establecer portabilidad en la estación se considera necesario la instalación de un sistema de posicionamiento para que la unidad de control central logre identificar el lugar donde se están recogiendo los datos.

- Se recomienda construir una caja para la UDCAT y la UTI que pueda ser instalada en ambientes *outdoor* o, en su defecto, instalar los equipos dentro de casetas de comunicaciones.

- Se recomienda la utilización de baterías auxiliares en las estaciones para evitar posibles desconexiones por falta de fuente de poder.

- Estudiar otras alternativas de alimentación de la estaciones para su posible instalación en lugares remotos de difícil acceso.

- Buscar la miniaturización de la estación integrando todo el sistema en una sola tarjeta.

Capítulo VI
Bibliografía

1. Grupo ETRA. *Área de tráfico urbano sistemas y productos*. http://www.etra.es/grupoetra/grupo.htm (28 de septiembre de 2005).
2. AHSRA. *Advanced cruise-assist highway system (ahs) technology.* http://www.ahsra.or.jp/index_e.html (25 de septiembre de 2005).
3. Municipio Chacao. *Sala de control de tránsito, tráfico de imágenes*. http://www.chacao.gov.ve/iattcdetail.asp?Id=45 (12 de Octubre de 2005)
4. Semavenca. *Semavenca, semáforos de venezuela.* http://www.semavenca.com.ve/(12 de Octubre de 2005).
5. Autobahn. *Hochrechnung für bundesautobahnen*. http://www.autobahn.nrw.de (25 de octubre de 2005).
6. OSI Laser Scan. *Autosense II. Vehicle detection classification sensor.* http://www.osilaserscan.com/pdfs/ASII_UsersGuide_Rev_Gfeb_2004.pdf. (20 de noviembre de 2005).
7. TYSSA. *Sensor láser infrarrojo activo para la determinación de las dimensiones de los vehículos en circulación.* http://www.tyssatransito.com/Archivos_pdf/Sensor_Laser.pdf (2 de diciembre de 2005).
8. Noptel. *Noptel distance sensors for traffic control.* http://www.noptel.fi/brochures/nms_brochures/nop_traffic_3.pdf(10 de noviembre de 2005).
9. 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).
10. Motorola Inc. *M68HC08GP32 Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/ view/82864/ MOTOROLA/ M68HC08.html (20 de enero de 2006).

11. Microchip. *18F2455/4455/4550 Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/93911/MICROCHIP/ PIC18F4550.html (21 de enero de 2006).
12. IEEE 802.11 Working Group. *IEEE 802.11 Std. General Information.* http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html. (28 de noviembre de 2005).
13. Wi Fi Alliance. *Wi-Fi Overview.* http://www.wi-fi.org/OpenSection/ why_Wi-Fi.asp?TID=2. (2 de diciembre de 2005).
14. Qualcomm. *CDMA 2000.* http://www.cdmauniversity.com/cdma/. (2 de diciembre de 2005).
15. Qualcomm. *CDMA 2000* 1x. http://www.qualcomm.com/technology/1x.html. (2 de diciembre de 2005).
16. Ericcson. *CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS.* http://www.ericsson.com/technology/tech_articles/CDMA.shtml(25 de noviembre de 2005).
17. MOLINA, Andrés. *Tecnologia GPRS.* http://www2.udec.cl/~eduamoli/gprs.htm. (7 de enero de 2006)
18. NOKIA. *GPRS.* http://www.nokia.es/telefonos/tecnologias/gprs_id0204.jsp (7 de enero de 2006).
19. Wireless developer network. *Short Message Service: What, How and Where?* http://www.wirelessdevnet.com/channels/sms/features/sms.html (12 de diciembre de 2005)
20. International Engineering Consortium. *Wireless Short Message Service (SMS).* www.iec.org/online/tutorials/wire_sms/ (15 de diciembre de 2005)
21. Gómez, M y Mas, C. *Diseño de un semáforo inalámbrico, soportado por un subsistema de la plataforma de control de tráfico PISACOTA.* Trabajo Especial de Grado. UCAB (Julio 2006).
22. Deternoz, D y Fernández, F. *Sistema de gestión y monitereo de tránsito a través de semáforos inteligentes.* Trabajo Especial de Grado. UCAB (Mayo 2006).

23. AnyDATA.NET Inc. *EMII-800: Modem Connection Setup Manual.* California, USA.
24. AnyDATA.NET Inc. *EMII-800: CDMA Data terminal user manual.* California, USA.
25. AnyDATA.NET Inc. *IPORT.* http://www.anydata.net/products/em.pdf._(10 deAbril 2006)
26. Silicom Laboratories. *C8051F12X DEVELOPMENT KIT USER'S GUIDE.* Texas, USA.
27. Samsung. *KM62256C Family Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/37297/SAMSUNG/KM62256C.html. (8 de Mayo 2006).
28. Phillips. *74HC/HCT373 Datasheet.* http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/15592/PHILIPS/74HC373.html. (8 de Mayo 2006).
29. Texas Instruments. *Max232 Datasheet.* http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27224/TI/MAX232.html (20 de Abril 2006).
30. Fairchild Semiconductor. *4N37 Datasheet.* http://alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50078/FAIRCHILD/4N37.html .(8 de Mayo 2006)
31. León-García, A. & Widjaja, I. (2002). *Redes de Comunicaciones. Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas.* Madrid: McGraw Hill.
32. Tanenbaum, A (2003). Redes de Computadoras (4a ed.). México: Prentice Hall.
33. Enciclopedia libre Wikippedia. *Microcontrolador* http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador. (25 de junio de 2006).
34. Convedia Corporation. *CDMA Network Evolution to CDMA2000.* http://www.convedia.com/customers/cust_wireless_CDMA_2000.html. (14 de septiembre de 2006.