



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN NUEVO SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN PARA EL  
PROYECTO DE TRANSMETRO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA APLICANDO  
TECNOLOGÍA DE VIDEO-DETECCIÓN VEHICULAR DE PRESENCIA Y MONITOREO DE  
LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL, PARA LA FLOTILLA DE AUTOBUSES.**

**Luis Edmundo Rodríguez Marroquín**

Asesorado por el Ing. Ever Manolo Sánchez de León

**Guatemala, noviembre de 2007**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN NUEVO SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN PARA  
EL PROYECTO DE TRANSMETRO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA APLICANDO  
TECNOLOGÍA DE VIDEO-DETECCIÓN VEHICULAR DE PRESENCIA Y MONITOREO DE  
LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL, PARA LA FLOTILLA DE AUTOBUSES.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**LUIS EDMUNDO RODRÍGUEZ MARROQUÍN**

ASESORADO POR EL ING. EVER MANOLO SÁNCHEZ DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN NUEVO SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN PARA EL PROYECTO DE TRANSMETRO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA APLICANDO TECNOLOGÍA DE VIDEO-DETECCIÓN VEHICULAR DE PRESENCIA Y MONITOREO DE LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL, PARA LA FLOTILLA DE AUTOBUSES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 31 de octubre de 2006.

---

Luis Edmundo Rodríguez Marroquín





## **AGRADECIMIENTO A:**

<b>DIOS</b>	Por todas las bendiciones que ha traído a mi vida.
<b>MI PADRE Y MADRE</b>	Por sus consejos, por ser mi mayor ejemplo y orgullo, porque siempre me han brindado su amor, comprensión, confianza y sobre todo su apoyo para alcanzar esta gran meta.
<b>MI ESPOSA</b>	Por su apoyo, su amor y sus palabras de aliento.
<b>MI HIJO</b>	Por ser el motivo que me inspira a seguir adelante.
<b>MIS HERMANAS</b>	Por su apoyo incondicional.
<b>MI ASESOR</b>	Por su colaboración y asesoría para alcanzar este triunfo.
<b>MIS AMIGOS</b>	En especial a Mario Corado, Marco Penagos y Estuardo Rivera, por sus consejos y apoyo.



## **DEDICATORIA A:**

**DIOS**

Porque todo lo alcanzado ha sido por su voluntad.

**MI ESPOSA E HIJO**

Por su apoyo, ayuda y comprensión para culminar mi carrera.

**MI PADRE**

Porque este triunfo es suyo y no mío.

**MI MADRE**

Por su apoyo para alcanzar todas mis metas.

**MIS HERMANAS**

Por todo el cariño y consejos.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO TRANSMETRO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Componentes que conforman un BRT .....	2
1.3. Área a intervenir.....	4
<b>2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE SEMÁFOROS DE</b>	
<b>GUATEMALA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Componentes de un controlador electrónico de semáforos. ....	9
2.1.1 Características generales.....	10
2.1.2 Características de operación.....	11
2.2 Descripción y partes del Control C28. ....	13
2.2.1 Tablero C28 para tarjetas.....	13
2.2.2 Tarjeta CPU.....	14
2.2.3 Relevador de carga RC-628.....	15
2.2.4 Relevador de señal RS-828. ....	16
2.2.5 Fuente de poder C28. ....	17

2.2.6	Panel de Control C28.....	17
2.2.7	Gabinete.....	18
2.3	Diagramas electrónicos de los componentes:.....	18
2.4	Descripción de la forma de operación del control C28.....	21
2.5	Programación del control C28. ....	26
2.5.1	Programación del control mediante el panel de control. ....	26
2.5.1.1	Organización de la información presentada en la pantalla alfanumérica. ....	26
2.6	Desventajas del Sistema Actual. ....	28
<b>3.</b>	<b>SISTEMAS DE SEMÁFOROS RESPONSIVOS AL TRÁFICO .....</b>	<b>31</b>
3.1.	Definición .....	31
3.2.	Elementos que conforman un sistema responsivo al tráfico .....	33
3.2.1	Controlador de intersección semaforizada.....	34
3.2.2	Protocolos y medios de comunicación.....	35
3.2.3	Detectores.....	36
3.3	Características generales y modos de operación .....	37
3.3.1	Programación del controlador.....	38
3.4	Norma NEMA TS-2.....	41
3.4.1	Definición .....	41
3.4.2	Aplicación.....	42
3.4.3	Requisitos de un controlador de Semáforo para cumplir con la norma NEMA TS-2.....	43
3.4.3.1	BIU .....	43
3.4.3.2	Unidad de monitoreo de fallas .....	44
3.4.3.3	Fuente de voltaje del gabinete.....	44
3.5	Modo de operación con prioridad para el bus .....	46
3.5.1	Video-detección vehicular de presencia .....	46
3.5.1.1	Definición .....	46
3.5.1.2	Requerimientos técnicos del controlador.....	47

3.5.1.3	Aplicación y equipo utilizado .....	48
<b>4.</b>	<b>SISTEMA DE MONITOREO DE LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS EN TIEMPO REAL.....</b>	<b>51</b>
4.1	Definición .....	51
4.2	Sistema de Posicionamiento Global (GPS) .....	52
4.2.1	Definición y características básicas .....	52
4.2.2	Equipo receptor .....	54
4.2.3	Protocolos de comunicación .....	55
4.3.1	Definición y características generales.....	57
4.3.1.1	Celdas .....	59
4.3.1.2	Controlador de celda.....	59
4.3.1.3	Conmutador .....	60
4.3.1.4	Base de datos .....	61
4.3.2	Protocolo GPRS y SMS .....	61
4.3.2.1	Unidad de control de paquetes .....	64
4.3.2.2	SGSN .....	64
4.3.2.3	GGSN.....	64
4.3.2.4	DNS.....	65
4.3.2.5	GC.....	65
4.4	Integración del equipo GPS y GPRS .....	66
4.5	Software utilizado para el sistema de AVL .....	68
4.5.1	Descripción básica del funcionamiento .....	68
4.5.1.1	Login(Ingreso al sistema).....	68
4.5.1.2	Pantalla de inicio .....	69
4.5.1.3	Rastreo de vehículos .....	70
4.5.1.4	Reglas .....	73
4.5.1.5	Reportes.....	75
4.3.2.1	Administración de Grupos y usuarios .....	76

**CONCLUSIONES ..... 79**

**RECOMENDACIONES..... 81**

**BIBLIOGRAFÍA ..... 813**

**ANEXO ..... 85**



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Lista de intersecciones a semaforizar.....	5
2.	Recorrido Transmetro Centro Histórico .....	6
3.	Recorrido Transmetro Avenida Bolívar.....	7
5.	Tablero C28 para tarjetas .....	13
6.	Esquema de Tarjeta CPU C28.....	14
7.	Esquema de Tarjeta CPU C28.....	15
8.	Esquema de Tarjeta RS-828.....	16
9.	Panel de control C28.....	17
10.	Esquemático de la tarjeta CPU C28. ....	18
11.	Esquemático de la tarjeta del relevador de carga RC-628. ....	19
12.	Esquemático de la tarjeta del relevador de señal RS-828. ....	20
13.	Página uno pantalla del control C28 .....	27
14.	Página dos pantalla del control C28 .....	27
15.	Página tres pantalla del control C28 .....	28
16.	Operación Convencional.....	31
17.	Operación Responsiva.....	32
18.	Diagrama de retroalimentación para sistemas responsivos .....	32
19.	Operación Adaptativa.....	33
20.	CPU NEMA TS-2. ....	35
21.	Ubicación del detector.....	37
22.	Zonas de detección.....	37
24.	Firmware del Control.....	38
23.	Pantalla y teclado alfanuméricos .....	38

25. Pantalla Inicial.....	39
26. Configuración de agencias .....	39
27. Control de densidad.....	39
28. Pantalla de Mapas .....	39
29. Registro de eventos .....	39
31. Ejemplo de parametrización .....	40
30. Pantalla Inicial.....	40
32. Opciones de programación para el controlador en campo.....	40
34. Ejemplo de cableado TS-1.....	42
33. Ejemplo de cableado TS-2.....	42
36. Vista lateral BIU .....	43
35. Vista frontal BIU .....	43
37. Bahía de carga TS-2.....	44
38. Vista frontal MMU .....	44
39. Conector para fuente de voltaje TS-2.....	45
40. Gabinete y sus partes interconectadas .....	45
41. Componentes del video-detector .....	47
43. Detección de sentido de circulación .....	47
42. Detección nocturna.....	47
44. Zonas de detección.....	48
45. Software de configuración .....	48
46. Arquitectura de conexión del video-detector. ....	49
47. Satélites del sistema GPS en orbita .....	53
48. Esquema utilizado para triangulación.....	53
49. Elementos de una red GSM.....	58
50. Interacción de una red GSM/GPRS y una red externa.....	63
51. Componentes del GPRS.....	63
52. Receptor GPS/GPRS evolution TT8540.....	66
53. Vista frontal del receptor .....	66

54. Vista posterior del receptor .....	66
55. Pantalla de <i>login</i> al sistema .....	68
56. Pantalla de inicio del sistema.....	69
57. Menú para rastreo de unidades .....	70
58. Pantalla de rastreo de unidades .....	71
59. Rastreo de vehículos mediante Google Earth .....	73
60. Menú de Reglas .....	73
61. Pantalla de visualización de reglas .....	74
62. Pantalla de configuración de reglas .....	74
63. Ejemplo de visualización de reportes.....	75
64. Menú de manejo de usuarios.....	76
65. Pantalla de creación y manejo de grupos .....	76
66. Pantalla de creación y manejo de usuarios .....	77

## TABLAS

I. Posibles formas de operación del C-28 .....	12
II. Lista de partes Tarjeta CPU C28 .....	14
III. Lista de partes de tarjeta RC-628. ....	15
IV. Lista de partes tarjeta RS-828 .....	16
V. Capas OSI para redes .....	55
VI. Especificaciones técnicas del equipo receptor .....	67



## GLOSARIO

<b>Actuado</b>	Tipo de control que responde a la detección vehicular o peatonal.
<b>AVL</b>	Localización automática de vehículos. Servicio que ofrece el control de todos los movimientos de un vehículo.
<b>BTS</b>	Sistema de Estación Base. Conjunto de elementos que hacen posible la transmisión y recepción de información.
<b>Ciclo</b>	Es el período de tiempo, en segundos, que tarda el control en ejecutar una secuencia completa, ó el tiempo que transcurre entre el encendido de una luz verde, hasta que esa misma luz verde vuelve a encender otra vez.
<b>Coordinación</b>	Manera de proveer una relación de las señales de verde entre intersecciones adyacentes de acuerdo a un plan de tiempo para permitir operación continua de grupos de vehículos a una velocidad constante a lo largo de una calle.
<b>Densidad</b>	Medida de la concentración de vehículos. Representada por vehículos por kilómetro por carril.
<b>Detector</b>	Un dispositivo utilizado para sensar la presencia de un vehículo en una fase actuada.

<b>Fase</b>	Es la parte del ciclo que se le asigna a cada movimiento vehicular y/o peatonal. Normalmente el tiempo asignado incluye el tiempo de verde, ámbar y, en algunos casos, el tiempo de todo rojo.
<b>GPRS</b>	Sistema Global para Comunicaciones Móviles. Tecnología basada a nivel mundial en redes celulares. Basa su funcionamiento en TDMA.
<b>Intervalo</b>	Una parte del ciclo durante el cual todas las luces de los semáforos, permanecen sin cambio.
<b>Llamada</b>	Registro de una demanda de derecho de vía hacia el controlador.
<b>Modo</b>	Características de un controlador actuado donde varias características de relación con un detector pueden ser establecidas.
<b>Rellamada</b>	Una característica de los controles actuados que causa un regreso al verde de una fase inclusive si no se detecta presencia vehicular.
<b>Semáforo</b>	Dispositivo electromecánico o electrónico que sirve para regular el tránsito vehicular en una intersección.
<b>Split</b>	Segmento de la longitud del ciclo asignada a cada fase o intervalo posible, expresada en segundos.

## RESUMEN

Uno de los principales problemas de la población guatemalteca es el crecimiento urbano, lo cual crea la necesidad de transporte público o colectivo eficiente. De las tecnologías de transporte colectivo existentes, el más viable desde el punto de vista económico y social es el sistema de bus rápido (BRT), que ha sido exitosamente implementado en varias ciudades latinoamericanas y del resto del mundo, teniendo al mismo tiempo, una capacidad de transporte equiparable a las de un metro o un tren ligero.

Dentro de este marco, existen algunos componentes indispensables al momento de implementar una solución de este tipo y, debido a los avances tecnológicos de los últimos años, es posible aplicar estos recursos para mejorar el sistema BRT en general.

De tal cuenta, es necesaria la actualización de dicho sistema con tecnología nueva, de tal manera que permita la escalabilidad de componentes y la adición de dispositivos para poder aprovechar al máximo los recursos disponibles y traducirlo en bienestar para la población en general y, especialmente, para los usuarios del transporte público.

Dos de los componentes de la plataforma tecnológica aplicada a estos sistemas corresponden a:

- La implementación de un sistema de semáforos responsivo al tráfico, a través de una retroalimentación de las condiciones de tránsito en tiempo real, mediante la utilización de sensores. En este caso particular se implementa video-detección de presencia vehicular.
- El monitoreo de la flotilla de autobuses en tiempo real, aplicando las tecnologías de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la red de telecomunicaciones inalámbricas de telefonía celular, GPS/GPRS para ser más específicos.

El presente informe consolida la documentación y análisis de los requisitos técnicos y los procedimientos tecnológicos necesarios aplicables para los dos aspectos antes mencionados en un proyecto real en la implementación de una de las soluciones más novedosas en el campo del transporte público



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Implementar, analizar y documentar los requisitos tecnológicos y procedimientos técnicos necesarios para la correcta aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería electrónica, para la solución de problemas en campos como la ingeniería de tránsito y planificación urbana.

### **ESPECÍFICOS**

1. Conocer a fondo el actual sistema de semáforos de la ciudad de Guatemala para tomarlo como punto de partida en la implementación de una solución para la problemática del tráfico vehicular.
2. Describir los elementos básicos que conforman un controlador de semáforos que cumpla con la norma internacional NEMA TS/2.
3. Describir el funcionamiento del equipo video-detección de presencia vehicular, aplicado a sistemas responsivos al tráfico.
4. Describir los componentes de una red de telefonía celular con tecnología GSM necesaria para implementar los protocolos GPRS y SMS a usarse en la transmisión de datos de coordenadas, velocidad, etc. de la flotilla de autobuses, en la parte del proyecto que corresponde al monitoreo de localización en tiempo real.



## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Guatemala cuenta con una gran cantidad de vehículos y peatones en constante circulación que deben interactuar de una manera segura y eficiente entre si. Existen muchas ventajas directas al momento de contar con un sistema de transporte público en óptimas condiciones, algunas de éstas son la reducción del tráfico vehicular y, por ende, la reducción del consumo de combustible, lo que conlleva también la reducción de la contaminación ambiental. Además, siendo el transporte público uno de los principales problemas que afectan a la población guatemalteca, se propone e implementa por parte de la Municipalidad de Guatemala el proyecto de TRANSMETRO, que no es más que un sistema de bus rápido (BRT por sus siglas en inglés) de alta calidad que ofrece movilidad urbana tomando en cuenta los principios de seguridad, rapidez, puntualidad y eficiencia. Debido a los avances en muchas de las ramas de la electrónica, es ahora posible aplicar ésta en muchos campos que anteriormente eran considerados poco prácticos. Uno de estos campos era la ingeniería de tránsito y planificación urbana

El presente informe documenta la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y se enfoca básicamente en la implementación y análisis de dos componentes importantísimos del proyecto de Transmetro como lo son, por un lado, la semaforización a lo largo del recorrido de la ruta de los autobuses, utilizando video-detección de presencia vehicular en las intersecciones principales para darle prioridad al bus y, por el otro, la implementación y análisis del sistema de monitoreo de localización en tiempo real de la flotilla de autobuses.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO TRANSMETRO**

## **1.1. Antecedentes**

Para cualquier ciudad como la capital de Guatemala, con la cantidad de vehículos y peatones en constante circulación que deben interactuar de una manera segura y eficiente entre sí, existen muchas ventajas directas al momento de contar con un sistema de transporte público y semaforización en óptimas condiciones. Algunas de estas ventajas son la reducción del tráfico vehicular y, por ende, la reducción del consumo de combustible, lo que conlleva a la reducción de la contaminación ambiental. También existen algunas ventajas indirectas como la reducción de los tiempos de viaje que, a la vez, se traduce en una mejor calidad de vida.

De las tecnologías de transporte colectivo existentes, el más viable desde el punto de vista económico y social es el sistema de bus rápido (BRT por sus siglas en inglés), que ha sido exitosamente implementado en varias ciudades latinoamericanas y del resto del mundo, teniendo, al mismo tiempo, una capacidad de transporte equiparable a las de un metro o un tren ligero. TRANSMETRO es la respuesta institucional al problema del transporte colectivo urbano. Constituye un Sistema BRT formal, con todos los componentes básicos que se requieren de él, y no es más que un sistema de bus rápido de alta calidad que ofrece movilidad urbana tomando en cuenta los principios de seguridad, rapidez, puntualidad y eficiencia.

El sistema BRT se origina en América Latina en los años 70 como una opción económicamente viable a los sistemas sobre rieles. En la actualidad existen sistemas de BRT implementados en 42 ciudades en los 5 continentes. Es importante hacer notar que existen ciertos componentes imprescindibles para que la implementación de un sistema de este tipo sea un éxito. Si uno de ellos hace falta, es altamente probable que su implementación no conduzca al logro de los resultados esperados.

## **1.2. Componentes que conforman un BRT**

### **1) Vías exclusivas separadas del resto del tránsito.**

La característica principal de un sistema BRT consiste en contar con carriles dedicados para los buses que operan de manera separada del resto de tráfico. Esto permite a los buses operar con un alto grado de confiabilidad ya que únicamente pilotos profesionales pueden conducir en dicha vía.

### **2) Buses de alta capacidad.**

Debido a que el sistema tiene que ser masivo, es decir poder transportar a altos volúmenes de pasajeros, es necesario contar con unidades de alta capacidad. En sistemas de BRT alrededor del mundo se utilizan, de acuerdo a las necesidades específicas del lugar, buses articulados (165 pasajeros), como en nuestro caso, o bi-articulados (220 pasajeros) y hasta tri-articulados (280 pasajeros).

### **3) Concesión a un solo operador.**

La razón de dar la exclusividad a una empresa para operar las unidades que circulan en la vía exclusiva es eliminar la competencia entre buses que causa mucho del desorden vial.

#### **4) Prioridad para el Bus en intersecciones.**

Un trato preferencial hacia los buses en las intersecciones puede involucrar la extensión del tiempo de verde o la actuación de este tiempo cuando se detecte que se acerca un bus a la intersección. Otra técnica que se utiliza comúnmente es la reducción del tiempo de rojo cuando se detecta la presencia de un bus y estas técnicas combinados pueden ser particularmente útiles cuando se utilizan conjuntamente con las vías exclusivas. Para poder implementar estas técnicas de control de tráfico por medio de semáforos es preciso contar con la plataforma tecnológica que soporte estas características de operación y permita su aplicación. Es por esto que en el proyecto de transmetro se utiliza equipo específico para este fin, que cumple con normas internacionales de seguridad y operación (específicamente NEMA TS-2).

#### **5) Sistema de recaudo centralizado fuera de borda.**

Los sistemas de recaudo convencionales disminuyen la velocidad de abordaje, particularmente cuando hay diferentes cuotas a cobrar en diferentes lugares. Otro beneficio de eliminar el cobro de tarifa por parte del piloto es que desaparece la necesidad de pelear el pasaje con otras unidades, pues ya no existe un incentivo económico.

#### **6) Paradas elevadas de acceso controlado**

Al ubicar el sistema prepago antes de ingresar a la estación, se crea un sistema de transporte cerrado, donde todo usuario que esté dentro, puede utilizar y trasbordar a las rutas que desee sin que se tenga que volver a pagar. El tener las estaciones elevadas al nivel del piso del bus facilita el abordaje y la salida del bus y garantiza que el bus solo para en los lugares asignados, lo cual provee seguridad a un costo aceptable.

## **7) Sistema de Monitoreo de Ubicación del Bus.**

Otra de las características tecnológicas aplicable a los sistemas de BRT es el monitoreo en tiempo real de la ubicación de los Buses. Esto se hace generalmente aplicando la tecnología de GPS combinada con algún medio de comunicación, como lo es, en el caso de TRANSMETRO, el GPRS, y así centralizar la información para mejorarlo continuamente y auditar al operador.

### **1.3. Área a intervenir.**

El proyecto de TRANSMETRO está dividido en 8 ejes principales que cubren toda el área metropolitana con el fin de sustituir el transporte urbano convencional en su totalidad, en el perímetro de la ciudad de Guatemala, en un período aproximado de 20 años. El primer eje a implementar lo constituye el eje sur-occidente de la ciudad y tiene un recorrido aproximado de 11.2 Kilómetros que van desde la Central de Transferencia (CENTRA) ubicada al final del boulevard CENMA en el Municipio de Villa Nueva hasta la 18 calle de la Zona 1 de esta capital, atravesando la calzada Raúl Aguilar Batres y Avenida Bolívar, con 12 paradas distribuidas a distancias que oscilan hasta los 600 metros entre sí. Este eje fue escogido principalmente debido que es uno de los principales en cuanto a cantidad de personas que necesitan trasladarse mediante el transporte urbano.

A lo largo del eje se atraviesa por 24 intersecciones vehiculares semaforizadas en donde se aplicará la priorización para los Buses mediante video-detección vehicular, para así implementar un sistema responsivo al tránsito y, por lo tanto, optimizar los tiempos de viaje y la calidad del servicio en general.



Para darle servicio de manera eficiente a los 170,000 usuarios diarios se tiene previsto utilizar una flotilla de 70 Autobuses articulados con capacidad de 165 personas y 5 autobuses de repuesto en caso de que alguno necesite servicio. A esta flotilla se le instalará equipo de monitoreo de ubicación en tiempo real por medio del sistema de GPS (Sistema de Posicionamiento Global por sus siglas en inglés) en conjunto con la red de telefonía celular mediante la utilización de la tecnología de GPRS (Servicio General de Paquetes por Radio, de sus siglas en inglés) para así brindar un monitoreo constante de tiempo real.

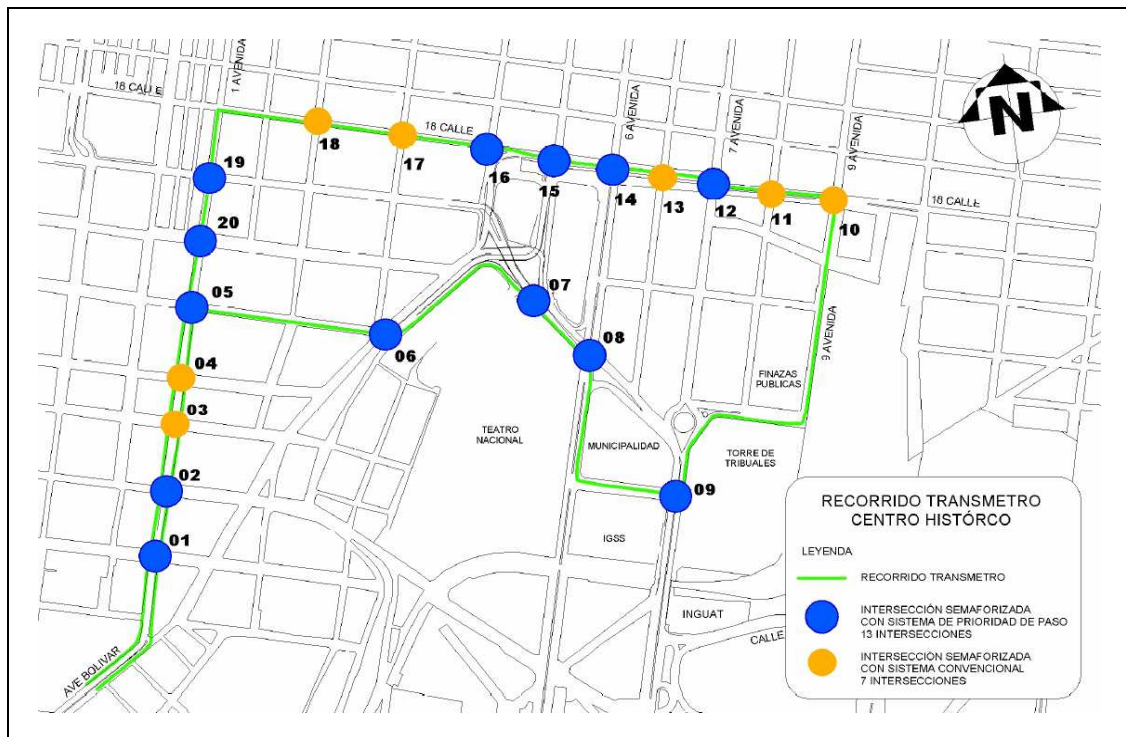
Las áreas de intervención donde se efectuarán los trabajos de suministro e instalación de semáforos serán en el Centro Histórico, en el sector del Centro Cívico, a inmediaciones de la Avenida Bolívar y, por último, en la zona cercana a la Central de Transferencia (CENTRA SUR).

Figura 1. Lista de intersecciones a semaforizar

CODIGO	DIRECCION
<b>CENTRO HISTÓRICO</b>	
SEM-00	18 calle y 1 avenida zona 1
SEM-01	25 calle y 1 avenida zona 1
SEM-02	24 calle y 1 avenida zona 1
SEM-03	23 calle y 1 avenida zona 1
SEM-04	22 calle y 1 avenida zona 1
SEM-05	21 calle y 1 avenida zona 1
SEM-06	21 calle y Avenida Bolívar zona 1
SEM-07	C/ del Castillo paso a desnivel Amate) zona 1
SEM-08	C/ del Castillo y 6 avenida zona 1
SEM-09	22 calle y 7 avenida zona 1
SEM-10	18 calle y 9 avenida zona 1
SEM-11	18 calle y 8 avenida zona 1
SEM-12	18 calle y 7 avenida zona 1
SEM-13	18 calle y 6 avenida A zona 1
SEM-14	18 calle y 6 avenida zona 1
SEM-15	18 calle y 5 avenida zona 1
SEM-16	18 calle y 4 avenida zona 1
SEM-17	18 calle y 3 avenida zona 1
SEM-18	18 calle y 2 avenida zona 1
SEM-19	19 calle y 1 avenida zona 1
SEM-20	20 calle y 1 avenida zona 1
<b>AVENIDA BOLÍVAR</b>	
SEM-21	33 calle y Avenida Bolívar zona 3 y 8
SEM-22	35 calle y Avenida Bolívar zona 3 y 8
SEM-23	37 calle y Avenida Bolívar zona 3 y 8
<b>BULEVAR DE CENTRA</b>	
SEM-24	Bulevar Centra (viraje en U) zona 12
SEM-25	Bulevar Centra y salida Mezquitil zona 12
SEM-26	Bulevar Centra y 3 avenida zona 12

En la parte Norte del recorrido los buses del sistema Transmetro ingresarán a una zona mucho más densa, El Centro Histórico, en donde el recorrido es compartido con el tránsito mixto, lo que condiciona a una modificación de los cruceros semaforizados del sector con el fin de dar prioridad de circulación al sistema de buses. De tal cuenta, se requiere de la modernización del sistema de semáforos del sector afectado, el cual estará conformado de veinte intersecciones, en las cuales trece serán con sistema inteligente de detección de buses y siete con sistema convencional, (Figura 2: Recorrido Transmetro Centro histórico).

Figura 2. Recorrido Transmetro Centro Histórico



De igual manera, existen otros dos sectores en donde se modificarán los cruces con el fin de dar prioridad a Transmetro. El primero, es el sector de Avenida Bolívar, con tres cruces (Figura 3: Recorrido Transmetro Avenida Bolívar), y el segundo, el sector del Bulevar de Centra, con otros tres cruces. (Figura 4: Recorrido Transmetro Aproximación de Centra).

Figura 3. Recorrido Transmetro Avenida Bolívar

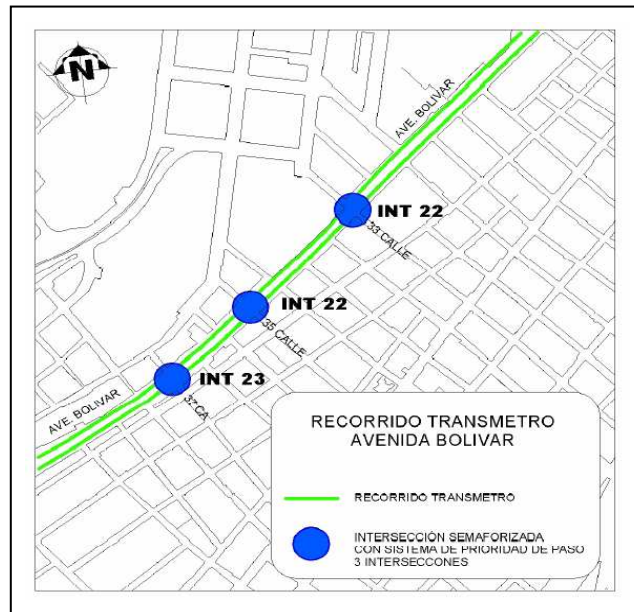
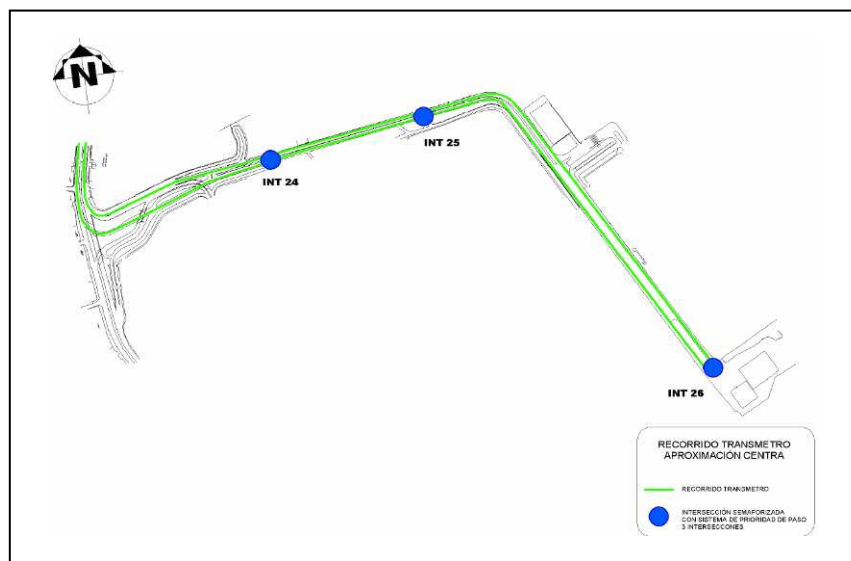


Figura 4. Recorrido Transmetro aproximación a CENTRA





## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE SEMÁFOROS DE GUATEMALA**

### **2.1. Componentes de un controlador electrónico de semáforos.**

La función primordial de los sistemas de control de tráfico mediante semáforos es la dosificación del tráfico vehicular y peatonal cuando se intersecan dos o más vías de circulación para proveer una adecuada interacción entre los usuarios.

Inicialmente los semáforos eran controlados mediante dispositivos electromecánicos que suponían una gran ventaja pero al mismo tiempo requerían demasiado mantenimiento debido a la gran cantidad de partes móviles con las que estos contaban. Con el surgimiento de los dispositivos electrónicos de almacenamiento de estado sólido y los semiconductores fue posible crear sistemas de control de tráfico basados en microprocesadores, los cuales carecen de partes móviles y son mucho más eficientes, además de poseer la capacidad de almacenar un gran número de datos, por lo que de ser necesario es posible, adecuar el funcionamiento de la intersección controlada a cambiar cada día durante un año y varias veces durante el día y así ajustarse a las situaciones cambiantes del tráfico. Es necesario acotar que si bien es posible anticipar horarios pico y valle de tráfico, en un sistema como con el que actualmente cuenta la ciudad de Guatemala los datos que se manejan en el controlador son estimados en base a aforos vehiculares, ya que se trata de un sistema convencional y no de un sistema responsivo ni adaptativo de tráfico.

En la actualidad el 99% de los controladores de semáforos en la ciudad de Guatemala son marca SEMEX S.A. y modelo C28MF-AS, por lo que el análisis y descripción que se hacen se basa en este modelo específico de controlador electrónico de semáforo.

El control electrónico C28MF-AS (Control C28 de aquí en adelante para abreviar), es un sistema que opera basándose en un microprocesador y cuyo diseño modular facilita su operación y mantenimiento.

El control C28 puede aplicarse tanto para cruceros coordinados, cruceros aislados completamente actuados y también para cruceros coordinados con fases actuadas.

### **2.1.1 Características generales.**

Las características generales del control son:

- Seis Modos de operación de los escenarios:
  - 1) Normalmente Actuado.
  - 2) Actuado con rellamada.
  - 3) Tiempo fijo (no actuado).
  - 4) Normalmente Actuado en el modo sincronizado
  - 5) Actuado con rellamada en el modo sincronizado.
  - 6) Destello nocturno.
- Entrada para cambio de escenarios (módulo operado manualmente por el agente de tránsito).
- De dos a ocho fases (Todas las fases pueden ser actuadas).
- 2 secuencias.

- 8 ciclos para cada una de las secuencias.
- 3 desfases por cada ciclo.
- Generador Inalámbrico de Sincronía “GIS” integrado.
- Programación para cada semana del año eligiendo días tipo (30 días tipo con 15 eventos cada uno).
- Panel de control para programación avanzada del control.
- Puerto Serial RS-232 para comunicación con el control mediante el programador ‘P C-26’.
- Protección contra luces conflictivas.
- El voltaje nominal de operación es de 127 VCA y acepta valores de voltaje desde 95 hasta 135 VCA.

### **2.1.2 Características de operación**

Las características de operación del control C28 son:

- Funciona con una secuencia de fases predeterminada (escenarios).
- Modifica la secuencia de escenarios, cuando no existe detección en uno o más accesos (en el caso de que el acceso esté programado como actuado).
- Cuando el escenario está trabajando como actuado, se le programa un tiempo mínimo y un tiempo máximo de verde a cada escenario. El mínimo sirve para que pase un vehículo sin riesgo y el máximo para dar paso a la cantidad promedio de vehículos que determine un estudio de aforos.
- Cuando el control esté en modo completamente actuado cada escenario podrá tener hasta ‘n’ valores de tiempo máximo adicionales. Si el tiempo máximo seleccionado no es suficiente para despejar el escenario, en el siguiente ciclo tomará el valor del siguiente máximo programado. Por otra parte cuando el escenario con tiempo

incrementado se despeje antes del tiempo que le concede el control, este tomará el máximo inferior y así hasta llegar al máximo básico.

- Cuando el control esté en modo Sincronizado-Actuado, el tiempo para cada escenario se tomará de la tabla de tiempos dependiendo del ciclo que esté activado. Si en un escenario se corta el tiempo, porque ya no existen vehículos, entonces el tiempo sobrante se le suma al tiempo del siguiente escenario.
- Para cada escenario existen cinco posibles formas de operación:

**Tabla I. Posibles formas de operación del C-28**

Valor	Sincronizado-Actuado	Totalmente Actuado (Libre)
0	Tiempo Fijo	Normalmente Actuado
1	Tiempo Fijo	Actuado con Rellamada
2	Tiempo Fijo	Tiempo Fijo (sin detector)
3	Normalmente Actuado	Normalmente Actuado
4	Actuado con Rellamada	Actuado con Rellamada

- Se pueden programar los tiempos de retraso, destello en verde, ámbar y todo rojo para cada una de las fases de forma independiente.
- Se puede programar cada fase como vehicular o peatonal según sea el caso.
- En todos los escenarios en los que exista una fase peatonal el destello en verde siempre será obligatorio aun y cuando no se haya cumplido el tiempo máximo del escenario. Por otra parte, cuando en un escenario (en modo sincronizado-actuado ó actuado-libre) todas las fases sean vehiculares, el destello en verde solo será valido cuando se cumpla el tiempo máximo del escenario.
- De manera opcional se puede programar un parámetro para decrementar el tiempo de separación en un segundo en forma automática. El decremento lo efectuará siempre y cuando el tiempo de separación sea mayor de 2 segundos.



## 2.2 Descripción y partes del Control C28.

El control es de construcción modular y está compuesto por varios módulos que llevan a cabo diferentes funciones. Algunos de estos módulos se alojan en un rack como el que se puede ver en la Figura 5.

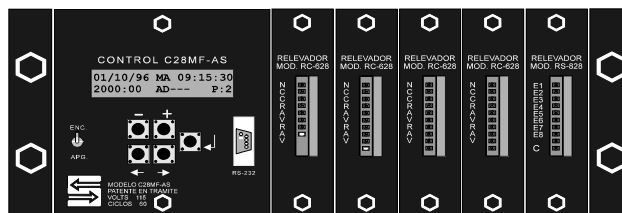
El control C28 se compone de los siguientes módulos.

1. Tablero C28 para tarjetas.
2. Tarjeta CPU (insertable).
3. Relevador de carga RC-628 (insertable).
4. Relevador de señal RS-828 (insertable).
5. Fuente de Poder (montada en el rack) para el C28.
6. Panel de control.
7. Amplificador de detector de 2 ó 4 canales.
8. Gabinete.

### 2.2.1 Tablero C28 para tarjetas.

El tablero sirve de enlace entre la tarjeta “CPU C28“, la tarjeta RC-628 y la tarjeta RS-828. Sirve también para alojar la fuente de voltaje autorregulable.

Figura 5. Tablero C28 para tarjetas



## 2.2.2 Tarjeta CPU.

En la tarjeta CPU C-28 (Ver Figura 6) se encuentra la microcomputadora que implementa todas las funciones del control, así como la información necesaria para el funcionamiento del control, como son la distribución de las fases en los escenarios, los parámetros para los escenarios, los parámetros para las fases, los tiempos de los ciclos, los valores de desfase y los eventos (cambios de programas). Esta tarjeta está conectada a un panel de control el cual sirve para modificar datos y desplegar información.

Figura 6. Esquema de Tarjeta CPU C28

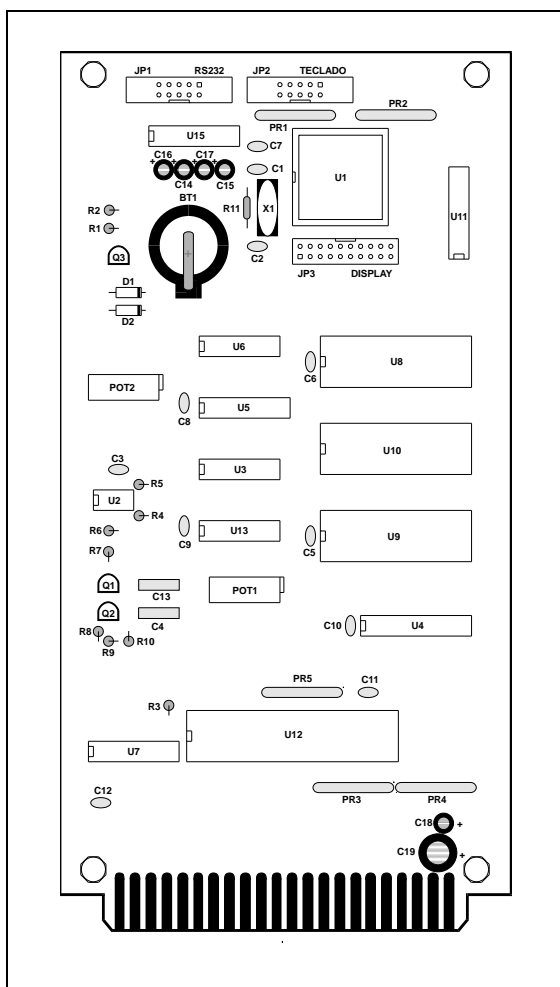


Tabla II. Lista de partes Tarjeta CPU C28

Parte	Descripción
C1 y C2	Capacitor de 27 pF
C3	Capacitor de 4700 pF.
C4	Capacitor de 0.022 uF.
C5 al C12	Capacitor de 0.1 uF.
C13	Capacitor de 0.22 uF.
C14 al C17	Capacitor de 1 uF.
C18	Capacitor de 10 uF.
C19	Capacitor de 220 uF.
R1 y R2	Resistencia de 150
R3	Resistencia de 1 K
R4	Resistencia de 2.2 K
R5 al R10	Resistencia de 10 K
R11	Resistencia de 10 M
POT1 y POT2	Potenciometro de 1 K
PR1 al PR5	Paquete resistivo de 10 K.
X1	Cristal de Cuarzo
D1 y D2	Diodo 1N4001
Q1 al Q3	Transistor 2N3904
BT1	Batería de 3 Voltios
U1	C. Integrado : "MPU"
U2	C. Integrado : "Watchdog"
U3	C. Integrado : "Drive"
U4	C. Integrado : "Latch"
U5 y U7	C. Integrado : "Decoder"
U6 y U13	C. Integrado : "Selector"
U8	C. Integrado : "EEPROM"
U9	C. Integrado : "RAM"
U10	C. Integrado : "EPROM"
U11	C. Integrado : "RTC"
U12	C. Integrado : "PIA"
U14	C. Integrado : "TX/RX"

### 2.2.3 Relevador de carga RC-628.

El Relevador de Carga (Ver Figura 7) sirve para soportar la carga de las luces de los semáforos, donde cada relevador maneja seis circuitos de salida (10 amperes por circuito, equivalente a manejar 17 focos de 69 watts de 127 VAC. por circuito de salida). En el frente del relevador está el conector para las seis luces que van a los semáforos.

El Relevador de carga tiene integrado un detector de conflictos y un destellador independiente las luces, en caso de fallo del CPU.

Figura 7. Esquema de Tarjeta CPU C28

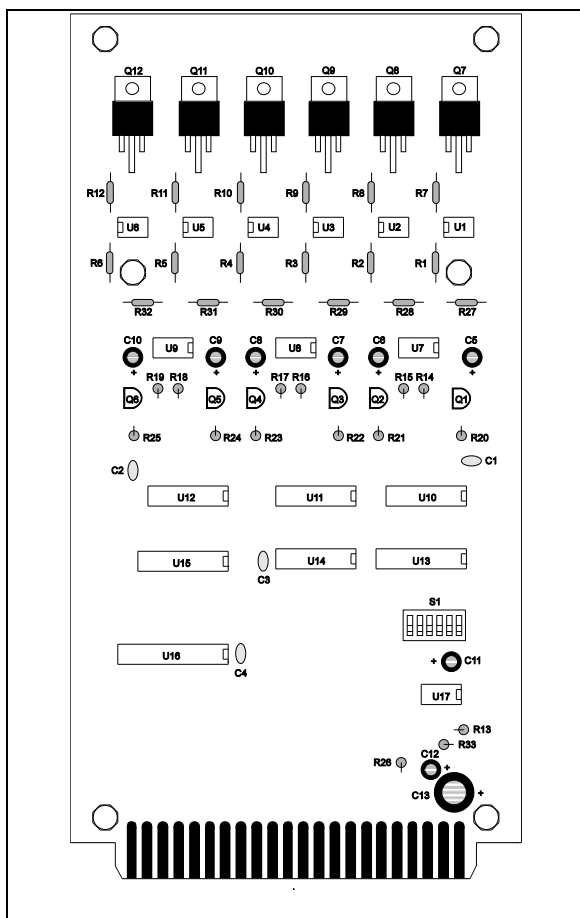


Tabla III. Lista de partes de tarjeta RC-628.

Parte	Descripción
C1 al C4	Capacitor de 0.1 uF
C5 al C11	Capacitor de 1 uF.
C12	Capacitor de 10 uF.
C13	Capacitor de 220 uF.
R1 al R6	Resistencia de 220
R7 al R12	Resistencia de 1 K
R13	Resistencia de 4.7 K
R14 al R26	Resistencia de 10 K
R27 al R32	Resistencia de 56 K
R33	Resistencia de 100 K
Q1 al Q6	Transistor 2N3904
Q7 al Q12	Triac de 25 amperes
U1 al U6	C. Integrado "Optoaislador"
U7 al U9	C. Integrado "Optoaislador"
U10 y U12	C. Integrado "Lógica"
U11	C. Integrado "Lógica"
U13 y U15	C. Integrado "Decoder"
U14	C. Integrado "Selector"
U16	C. Integrado "Latch"
U17	C. Integrado "Timer"
S1	Interruptor "Selector"

## 2.2.4 Relevador de señal RS-828.

El Relevador de señal (Ver Figura 8) tiene como función recibir las llamadas provenientes de los detectores de vehículos y aislarlas ópticamente mediante opto acopladores. Al mismo tiempo, estas señales de corriente alterna (C.A.) son convertidas a señales de corriente directa (C.D.).

Figura 8. Esquema de Tarjeta RS-828

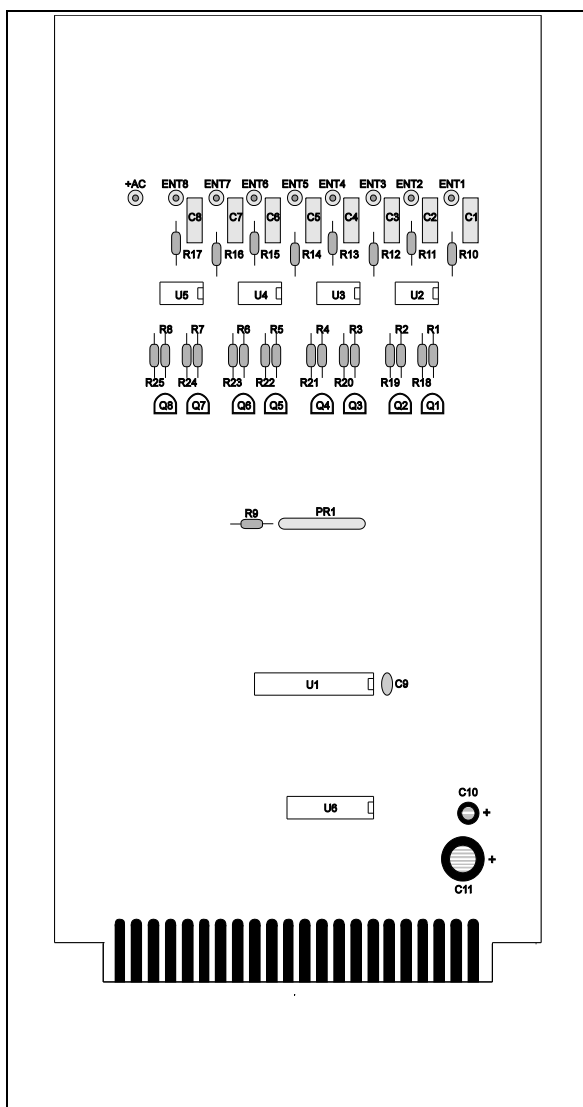


Tabla IV. Lista de partes tarjeta RS-828

Parte	Descripción
C1 al C8	Capacitor de 0.022 uF
C9	Capacitor de 0.1 uF.
C10	Capacitor de 10 uF.
C11	Capacitor de 220 uF.
R1 a R9	Resistencia de 10 K
R10 a R17	Resistencia de 56 K
R18 a R25	Resistencia de 100 K
PR1	Paquete Resistivo de 10 K
Q1 al Q8	Transistor 2N3904
U1	C. Integrado "Latch"
U2 al U5	C. Integrado "Optoaislador"
U 6	C. Integrado "Selector"

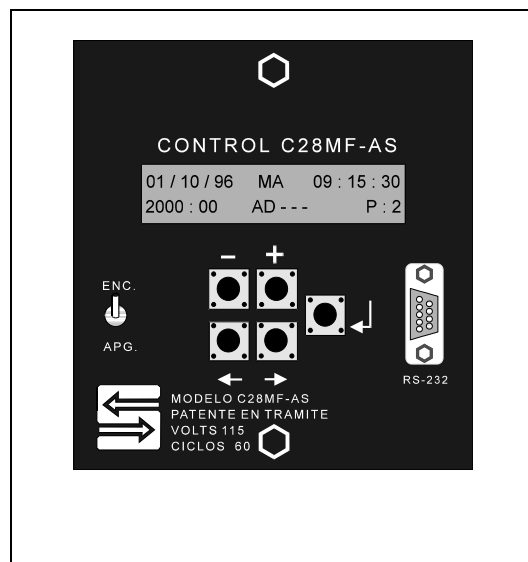
### 2.2.5 Fuente de poder C28.

La Fuente de Poder Regulada del control C28, suministra la energía necesaria para alimentar sus módulos en la forma de un voltaje de 5 Volts de Corriente Directa (VCD) a un máximo de 3 Amperes. Esta fuente esta diseñada para trabajar con un amplio rango de voltaje de línea que va desde 95 hasta 135 Volts de Corriente Alterna (VCA).

### 2.2.6 Panel de Control C28.

El panel de control (Ver figura 9) permite mediante su teclado y exhibidor de cristal líquido 'LCD', programar completamente el control C28. Además el panel cuenta con un puerto serie (RS-232) para conectarse al Programador 'P C-26', por medio del cual se puede extraer o transmitir información.

Figura 9. Panel de control C28



## 2.2.7 Gabinete.

La función del gabinete es proteger todo el equipo que va adentro, ya que en éste va instalado el rack o armario donde se insertan todos los componentes antes descritos. Este gabinete es de aluminio fundido, pintura horneada, empaque de neopreno, chapa doble y mufa de ventilación.

## 2.3 Diagramas electrónicos de los componentes:

Figura 10. Esquemático de la tarjeta CPU C28.

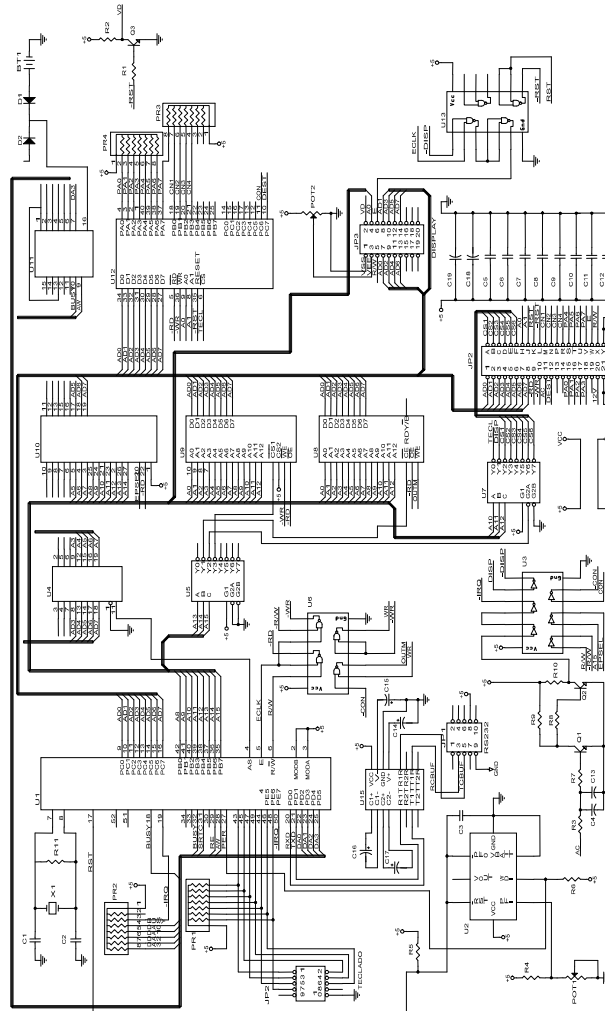


Figura 11. Esquemático de la tarjeta del relevador de carga RC-628.

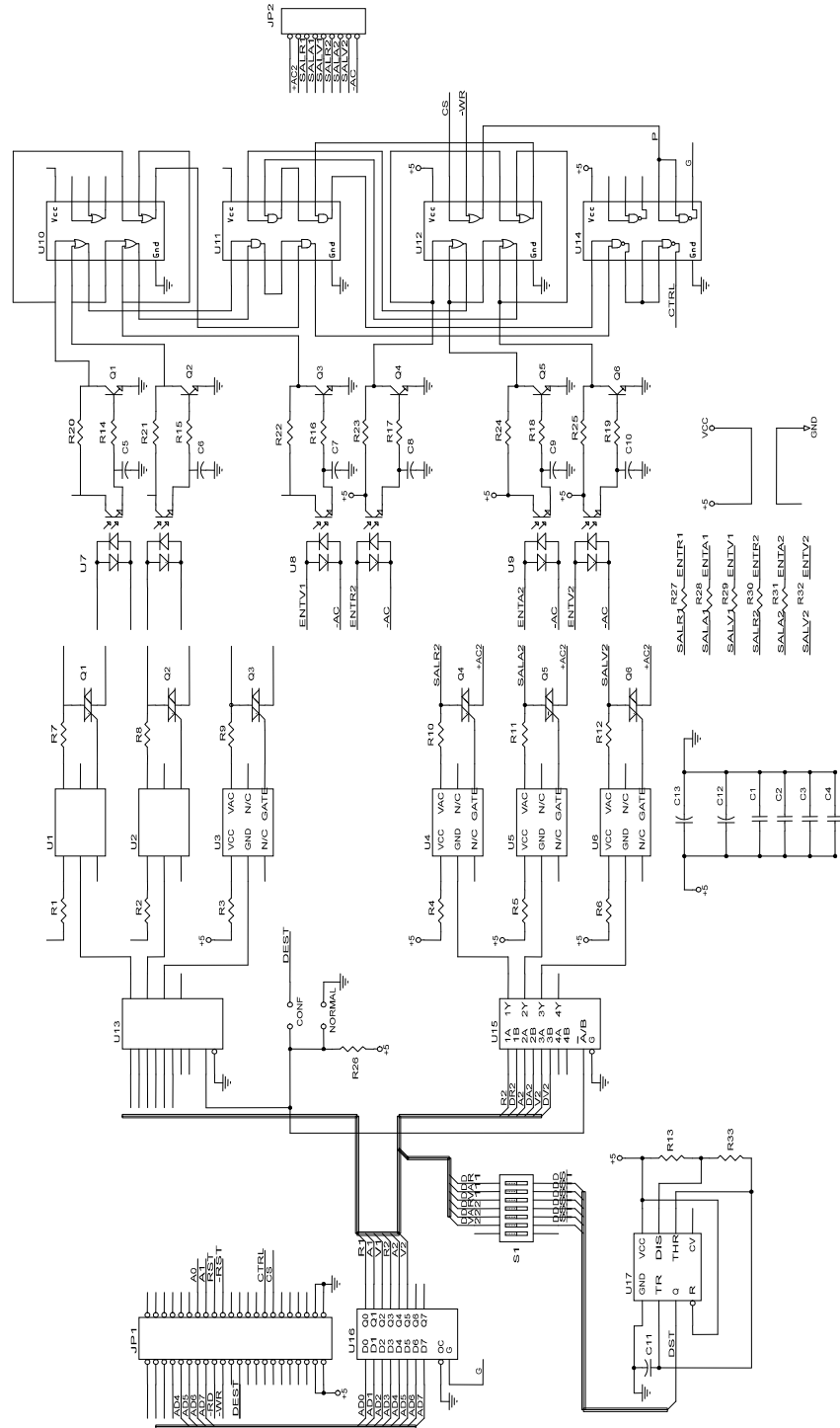
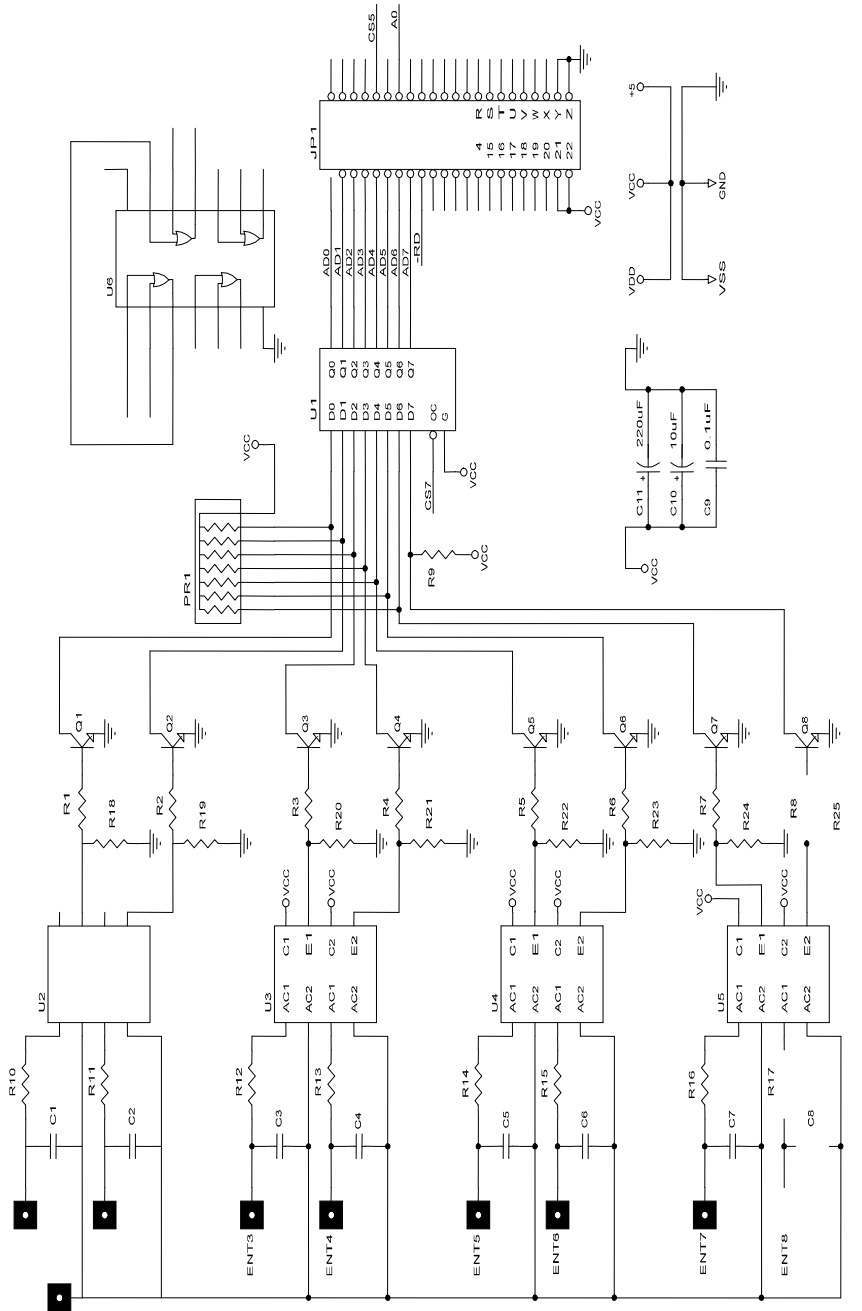


Figura 12. Esquemático de la tarjeta del relevador de señal RS-828.





## 2.4 Descripción de la forma de operación del control C28.

Para una mejor comprensión de la forma de operación del control se definen los términos más comunes que encontrarán:

- **Fase:** Es un conjunto de luces que controlan el movimiento de vehículos o de peatones por alguno de los accesos del cruce. Si una fase está formada por tres luces (verde, ámbar y rojo) o por una sola luz (flecha izquierda), se le llama fase vehicular; pero si la fase está formada por dos luces (pase y no pase) se le llama fase peatonal.
- **Escenario:** Es un conjunto de fases a las que se les asigna una parte del ciclo.
- **Detectores Asignados:** Un escenario puede activarse por uno o varios detectores y sirven para que el control pueda tomar decisiones adecuadas. Se pueden asignar hasta 3 detectores a un escenario.

Para una correcta operación del control C28 se requiere programar los parámetros necesarios para su funcionamiento de acuerdo a las necesidades del cruce.

Los parámetros para los escenarios son:

- **Tiempo inicial:** Es el tiempo (segundos) que tardan los vehículos en circular en forma normal una vez que inicia el verde del escenario. Los valores comunes son de 2 a 10 segundos, tomando en cuenta que este tiempo siempre se va a respetar.
- **Tiempo de Separación @:** Es el tiempo mínimo que requiere un vehículo para pasar por el cruce sin ningún riesgo. Este tiempo es activado una vez que termina el tiempo inicial. Si se cumple el tiempo de

separación, las fases del escenario empezarán a perder verde y se activará el siguiente escenario de la secuencia. Los valores comunes son de 2 a 10 segundos.

@Este tiempo sólo se toma en cuenta cuando el escenario está programado como actuado.

- **Forma de Operación:** Existen cinco posibles formas de operación para cada escenario (Ver tabla de programación para los valores o equivalencias) las cuales son:

1) **Normalmente Actuado:** Cuando un escenario es normalmente actuado el tiempo total del escenario dependerá del flujo vehicular, es decir, el tiempo máximo se puede incrementar o decrementar dependiendo si existe o no demanda de vehículos que quieran pasar por los detectores asignados a este escenario. En esta forma de operación el escenario sólo podrá ser activado si existe demanda de vehículos para ese escenario. Todas las condiciones anteriores sólo serán válidas cuando el control esté en modo completamente actuado. Si el Modo es sincronizado-actuado y el escenario está programado con esta forma de operación entonces el escenario será de tiempo fijo, es decir, será un escenario coordinado. El valor de programación, para este modo de operación, es 0 (cero).

2) **Actuado con rellamada:** Cuando un escenario es programado como actuado con rellamada el tiempo total también dependerá del flujo vehicular igual que en el normalmente actuado, la diferencia será que el escenario será activado en cada ciclo aun y cuando no exista demanda de vehículos para ese escenario. Esta forma de operación es recomendable cuando en el escenario se encuentre presente la fase principal, de esta manera, se

mantendrá en verde dicha fase cuando en ningún acceso exista detección. Todas las condiciones anteriores sólo serán válidas cuando el control esté en modo completamente actuado; si el modo es sincronizado-actuado y el escenario está programado con esta forma de operación entonces el escenario será de tiempo fijo, es decir, será un escenario coordinado. El valor de programación es 1 (uno).

3) **Tiempo fijo (no actuado):** En esta forma de operación el tiempo que se le asigna a un escenario siempre es el mismo, es decir, no depende de ningún detector (Siempre toma el tiempo máximo). Los escenarios que estén programados como tiempo fijo serán activados en todos los ciclos. Si el control está en modo sincronizado-actuado y el escenario está programado con esta forma de operación, entonces el tiempo del escenario será tomado de la tabla de tiempos de ciclos y el escenario será coordinado. El valor de programación es 2 (dos).

4) **Normalmente actuado y activado en el modo sincronizado:** Esta forma de operación es similar a la 1 pero con la diferencia que el escenario será actuado tanto en el modo actuado como en el modo sincronizado-actuado. El valor de programación es tres.

5) **Actuado con rellamada y activado en el modo sincronizado:** Esta forma de operación es similar que la 2 pero con la diferencia que el escenario será actuado tanto en el modo actuado como en el modo sincronizado-actuado. El valor de programación es 4 (cuatro).

- **Tiempo máximo:** (Parámetro para el modo completamente actuado). Es el tiempo máximo que puede durar un escenario, este tiempo incluye además del tiempo de verde, el tiempo inicial, el tiempo de separación, el tiempo de retraso, el tiempo de destello, el tiempo de ámbar y el

tiempo de todo rojo; de esta manera la suma de los tiempos máximos de los escenarios será el tiempo máximo del ciclo. Existe un tiempo máximo básico y 'n' números de incrementos (Ver los siguientes dos puntos).

- **Incremento:** Es el tiempo, en segundos, que se le incrementará al tiempo máximo básico programado, cada vez que éste se cumpla. También es el tiempo que se le decrementará al tiempo máximo cuando no se cumpla éste (hasta que llegue al máximo básico).
- **Limite de Máximo:** Es el tiempo máximo en segundos al que puede llegar el tiempo del escenario, es decir, este tiempo se incrementará 'n' número de veces hasta llegar a este valor.
- **Decremento:** Al llegar el tiempo transcurrido del escenario, a este valor, el tiempo de separación se decrementará un segundo. Siempre y cuando el tiempo de separación sea mayor a dos segundos (dos segundos es el valor mínimo aceptable). Se pueden programar dos decrementos por cada escenario.

Los parámetros para las fases son:

- **Tiempo de retraso:** Este tiempo sólo se usa cuando existen fases de traslape o peatonales; y es el tiempo que tiene que esperar la fase para ejecutar el tiempo de destello, el de ámbar y el tiempo de todo rojo. Este tiempo empieza a correr a partir de que el control decide cambiar de escenario. Durante este tiempo la fase permanecerá en verde. (Ver ejemplos para una mejor comprensión).
- **Tiempo de destello:** Es el tiempo que una fase permanecerá en destello en verde. Cada fase puede tener distinto tiempo de destello.

- **Tiempo de ámbar:** Es el tiempo que permanecerá en ámbar una fase. Cada fase puede tener distinto tiempo de ámbar.
- **Tiempo de todo rojo:** Este tiempo es usado cuando se requiere que en un escenario todas las fases se pongan en rojo antes de activar el siguiente escenario.
- **Tipo de fase:** Este parámetro se usa para distinguir entre una fase vehicular y una fase peatonal, los valores que puede tomar son 0 ó 1 dependiendo del caso.

Además de los parámetros anteriores el control realiza de forma automática la función de detección de errores, es decir, no requiere ninguna programación para que éste la realice:

- **Detección de errores:** Si existe algún error en el control, éste se pondrá a destellar. Para que salga de destello se tiene que corregir la falla y volver a inicializar el control. Existen dos tipos de errores los cuales son:
  - 1) El control verifica que la suma de los parámetros (tiempo inicial, tiempo de separación, tiempo de retraso, tiempo de destello, tiempo de ámbar y tiempo de rojo) sea menor o igual que el tiempo máximo, si existe algún error en la programación de parámetros el control se pondrá a destellar y aparecerá un letrero en la pantalla indicando que existe un error de programación.
  - 2) Si los relevadores de carga detectan un conflicto de luces el control se pondrá a destellar y aparecerá en pantalla el número de tarjeta donde ocurrió el error.

## **2.5 Programación del control C28.**

La programación del Control se lleva a cabo típicamente mediante el uso del programador 'P C-26'. Esta es la forma de programación sugerida para el control C28, por su facilidad y rapidez, aunque existe un método alternativo de programación mediante el panel de control. Este último se lleva a cabo modificando directamente la memoria interna del control en los lugares donde se encuentran los parámetros que necesitan modificarse. Para lograr esto, es necesario emplear las hojas de programación con las direcciones de cada parámetro del control C28.

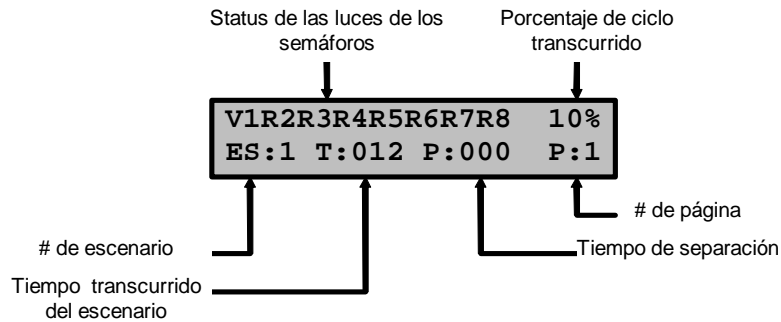
### **2.5.1 Programación del control mediante el panel de control.**

#### **2.5.1.1 Organización de la información presentada en la pantalla alfanumérica.**

La información que la pantalla alfanumérica despliega, está dividida en 3 páginas, cada una de éstas contiene la siguiente información:

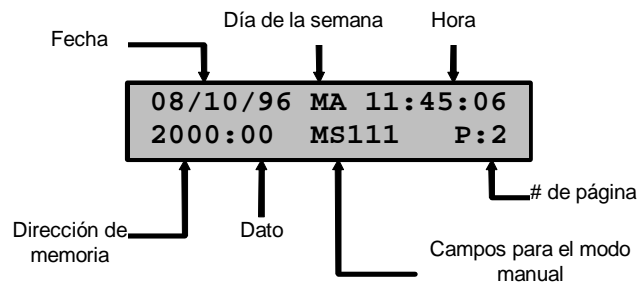
**Página 1.** Esta pantalla despliega el status de las luces de los semáforos así como el porcentaje de ciclo transcurrido. También despliega el número del escenario en el que se encuentra el control, el tiempo transcurrido del escenario en forma descendente, el tiempo de separación y el número de página. Esta página es solo de lectura ya que el único campo a modificar es el de número de página (Ver Figura 13.).

Figura 13. Página uno pantalla del control C28



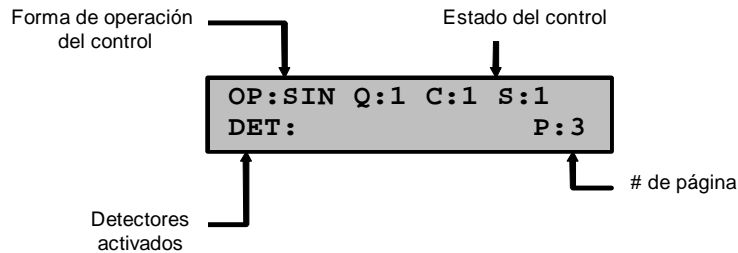
**Página 2.-** Esta pantalla despliega la fecha, el día de la semana, la hora, la dirección de memoria, el dato, los campos para modificar el status del control en modo manual y el número de página. En esta pantalla se pueden modificar todos los campos disponibles (Ver Figura 14.).

Figura 14. Página dos pantalla del control C28



**Página 3.-** Esta pantalla despliega la forma de operación del control, así como el estado del mismo [Q:1 = Secuencia 1, C:1 = Ciclo 1, S:1 = Sincronía 1], el detector que esté activado en ese momento y el número de página. Esta página es sólo de lectura ya que el único campo a modificar es el de número de página (Ver figura15.).

Figura 15. Página tres pantalla del control C28



## 2.6 Desventajas del Sistema Actual.

Es importante hacer notar que, aunque este controlador de intersección semaforizada tiene muchas ventajas sobre los sistemas electromecánicos anteriores, posee a su vez un número de desventajas entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Tanto la forma de operación como la construcción y fabricación no cumplen con ninguna norma internacional, por lo que es un sistema cerrado y poco escalable.
- No posee protección para los semiconductores ni filtración de picos y armónicos en la entrada, por lo que es muy susceptible a las variaciones de la línea de distribución de energía eléctrica y al propio medio que lo rodea.
- Están diseñados para operar principalmente de manera aislada o adaptativo al tráfico por lo que es muy difícil tratar de integrarlo a un sistema centralizado de control de tráfico.



- d. No posee ninguna protección en software ni en hardware para el conflicto de verdes para fases en las intersecciones.
- e. No es posible priorizar fases vehiculares o peatonales por lo que no se puede utilizar de una manera responsiva al tráfico.
- f. Tiene capacidad para manejar únicamente una intersección a la vez aunque el número de fases utilizadas por intersección sea solamente dos y que no sean utilizadas seis fases.
- g. Al no estar diseñado para ser un control centralizable, carece de todas las características necesarias para esto, como una interfaz de comunicación específica para este fin y los protocolos de comunicación necesarios.



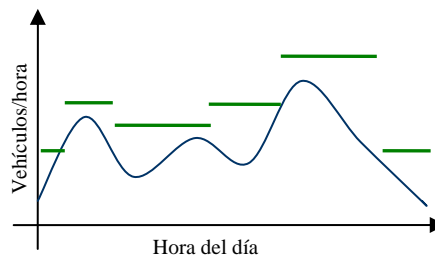
### 3. SISTEMAS DE SEMÁFOROS RESPONSIVOS AL TRÁFICO

#### 3.1. Definición

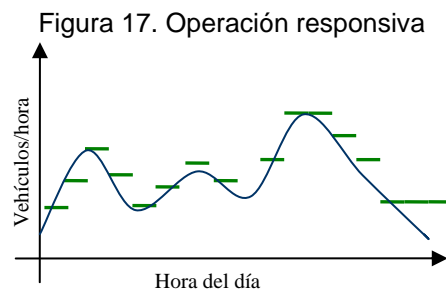
Se puede conceptualizar que el proceso de llegada de vehículos a una intersección semaforizada en una red es un proceso estocástico, donde en algunas ocasiones un vehículo llega él solo a la intersección y en otras llega como parte de un pelotón. Los intervalos de llegada para estos vehículos y pelotones varía de una manera no determinística, siendo esto afectado por la hora del día, tipos de vehículos, accidentes viales, variables demográficas y socioeconómicas, características físicas del camino o carretera, etc.

En la actualidad existen tres maneras de enfrentar este problema mediante la utilización de controles de intersección semaforizada. El primer enfoque consiste en la manera tradicional de controlar intersecciones, en donde cada intersección esta funcionando de manera “aislada” y los cambios de planes de tiempo durante el día depende únicamente de la programación inicial que le fuese ingresada al controlador (Figura 16.). El problema con este enfoque es que el más mínimo cambio en una de las variables, como un bache en la rodadura, genera una gran variación en el proceso de arribo a las intersecciones y el sistema deja de ser el óptimo.

Figura 16. Operación convencional

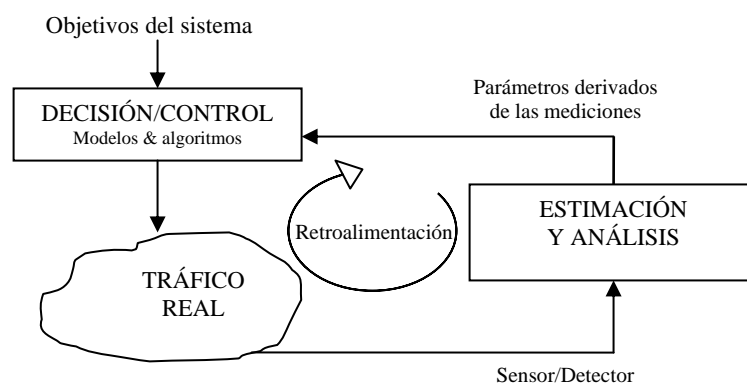


Con los adelantos tecnológicos en el área de semiconductores y dispositivos de almacenamiento de estado sólido, sumándose los avances en teoría de comunicaciones, fue posible la integración de sensores de presencia vehicular de diferente tipo, como lo son por inducción magnética, rayos infrarrojos, microondas, video-detección, etc. y un nivel alto de intercomunicación entre controles y un centro de control. Esta retroalimentación de las condiciones de tráfico es la que permite la creación de sistemas de semaforización responsivos al tráfico (Figura 17.).



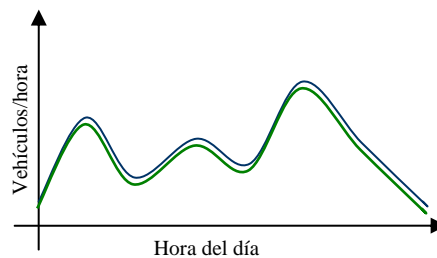
Este enfoque se basa principalmente en la retroalimentación en cada intersección mediante sensores de presencia y los cambios de planes de tiempo son implementados por un control maestro que tiene a su cargo cierto número de controladores esclavos como se puede simplificar en el esquema de la Figura 18, lo que da lugar a una mejora significativa en la manera de operación sobre el enfoque anterior debido a la reducción de los tiempos de viaje.

Figura 18. Diagrama de retroalimentación para sistemas responsivos



Por último, existe en la actualidad un tercer enfoque para el control de tráfico, el cual consiste en un sistema adaptativo en tiempo real a las condiciones del tránsito. La diferencia principal de este sistema es que todos los controladores necesitan estar conectados a una sola red y las decisiones son tomadas por un centro de control basadas en mediciones segundo a segundo de las condiciones cambiantes del tránsito (Figura 19.).

Figura 19. Operación adaptativa



Este sistema requiere una gran inversión financiera para lograr su implementación y sus principales beneficios se logran apreciar únicamente en vías donde la velocidad promedio es de 60Km/h. Por estas razones se implementó para el proyecto transmetro un sistema responsivo al tránsito y no adaptativo en tiempo real, ya que este enfoque es el mas económicamente viable y mucho mas efectivo para esquemas viales tipo malla, como por ejemplo la zona 1 de la capital, donde hay un alto volumen vehicular y las velocidades promedio son de 40Km/h o menores.

### **3.2. Elementos que conforman un sistema responsivo al tráfico**

En todo sistema responsivo al tráfico pueden enumerarse algunos componentes fundamentales que lo hacen que funcione como tal:

- Capacidad de los controladores de interpretar y manipular información proveniente de cierto número de sensores vehiculares, peatonales, etc.

- Capacidad de comunicación entre los controladores de Intersección “Esclavos” y un control Maestro o centro de control.
- Capacidad de manipulación de planes de tiempo para seleccionar por parte del control Maestro el plan que se ajuste más a las necesidades de un área específica.

Entre los aspectos específicos del Hardware aplicados en el proyecto de Transmetro para implementar un sistema responsivo al tráfico, podemos mencionar los siguientes:

### **3.2.1 Controlador de intersección semaforizada**

Es uno de los componentes principales del sistema implementado en este proyecto, por lo que a través de un evento de licitación pública internacional le fue adjudicado a la empresa SIEMENS el proyecto y fue seleccionado debido a que cumple con normas internacionales de funcionamiento responsivo al tráfico (NEMA TS-2) y tiene las siguientes características de funcionamiento (Figura 20):

- 16 Fases vehiculares
- 16 Fases peatonales
- 4 Anillos de tiempo.
- 80 Entradas para Detectores
- Rutinas adaptativas por tiempo máximo
- Rutinas adaptativas protegidas/permisivas
- 6 Modos de coordinación
- 250 eventos programables
- 99 días programables
- 10 semanas programables
- 6 Rutinas de Priorización
- Diagnóstico de fallas

- Reportes de operación y fallas
- Comunicación vía Ethernet, infrarroja, RS-232, SDH.

Para que el controlador se pueda comunicar con los dispositivos periféricos como lo son los detectores, semáforos, unidad de manejo de fallas (MMU por sus siglas en ingles), etc. Es necesario contar con un gabinete que también cumpla con la norma NEMA TS-2 y sus componentes serán desglosados en los siguientes incisos.

Figura 20. CPU NEMA TS-2.



### 3.2.2 Protocolos y medios de comunicación

Como se mencionó anteriormente otra característica de los sistemas responsivos al tráfico es la comunicación que ocurre entre los controladores esclavos y el controlador maestro para un sector o un centro de control. Con este fin están especificados en la norma NEMA TS-2 varios métodos y protocolos de comunicación entre los que podemos mencionar los siguientes.

- SDLC
- RS-232
- NTCIP

- TCP/IP
- FSK
- SDH

La explicación de cada uno de estos protocolos está fuera del alcance de este informe y son mencionados únicamente para mostrar la capacidad y requerimientos de los controladores implementados en el proyecto.

### **3.2.3 Detectores.**

Otro aspecto fundamental es la utilización de detectores vehiculares y/o peatonales de presencia y volumen para retroalimentarlo al control maestro o al centro de control, para la manipulación de datos mediante algoritmos de predicción y así seleccionar el plan de tiempo que mas se adecua a las condiciones propias del área. Entre las tecnologías de detección disponibles en la actualidad podemos mencionar los siguientes:

- Espiras inductivas
- Microondas
- Infrarrojos
- Video-detección
- Ultrasónica.

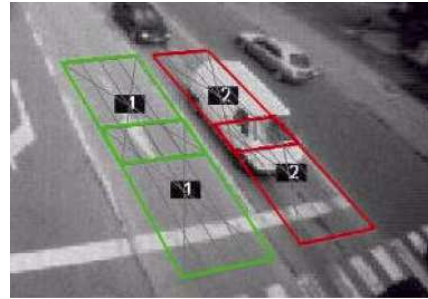
Para el caso específico de este proyecto se utilizó la tecnología más nueva, que corresponde a video-detección de presencia (Figuras 21 y 22) y será detallada en los siguientes incisos.



Figura 21. Ubicación del detector



Figura 22. Zonas de detección



### 3.3 Características generales y modos de operación

Para el caso del controlador de intersección utilizado en este proyecto podemos mostrar las siguientes características y modos de operación enfocados hacia un sistema responsivo:

- **Rutinas adaptativas por tiempo máximo:** que son habilitadas vía base de tiempo y ofrece tres posibles valores que se pueden incrementar al tiempo máximo o disminuir al tiempo máximo basado en las condiciones de tráfico.
- **Rutinas adaptativas protegidas/permisivas:** se mide el volumen de tráfico de virajes a la izquierda para determinar si esta fase debe operar de manera protegida o permisiva.
- **Rutinas de coordinación por Split virtual:** Este tipo de control provee un período de tiempo en cada ciclo que es distribuido hacia la fase coordinada o la fase no coordinada dependiendo de la actividad del tráfico.

- **Rutinas de coordinación por Split adaptativo:** que son habilitadas por base de tiempo y ajusta los tiempos de split basado en las condiciones de tránsito.
- **Base de tiempo del control:** el control es capaz de manejar 250 eventos o cambios de plan, 99 días típicos, 10 semanas típicas.
- **Coordinación:** es posible operar con 6 modos de coordinación.
- **Operación con prioridad:** provee 6 rutinas de prioridad para vehículos de emergencia o especiales.

### 3.3.1 Programación del controlador

El equipo cuenta con una interfaz de programación en sitio basada en una pantalla y teclado alfanumérico (Figura 23.) en el que se pueden cambiar todos los parámetros de operación del controlador mediante el firmware especializado (Figura 24.).

Figura 23. Pantalla y teclado alfanuméricos



Figura 24. Firmware del Control

```

EAGLE TRAFFIC CONTROL SYSTEMS
EPAC300 SERIES - GOS # 3.32f (SEP 01)
* 16 MHz CPU *
1-ACTIVE STATUS      5-COORD DATA
2-UTILITIES          6-TIME BASE DATA
3-PHASE DATA        7-PREEMPT DATA
4-UNIT DATA         8-SYSTEM DATA
                     9-REPORTS
  
```

Al momento de estar comunicados a un centro de control, es posible programar el equipo remotamente mediante protocolos de red como por

ejemplo TCP/IP y un software específico para este fin (Algunas pantallas en las figuras siguientes). Este software es el que utiliza algoritmos especiales aprovechando la información que le proveen los detectores instalados y de esta forma se implementa la forma responsiva de operación o adaptativa según sea el caso (la explicación del funcionamiento de este software está fuera del alcance del presente informe).

Figura 25. Pantalla Inicial



Figura 26. Configuración de agencias

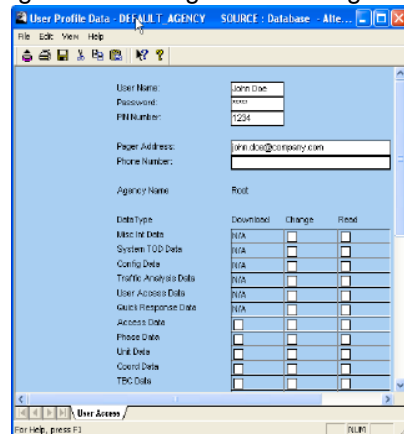


Figura 27. Control de densidad

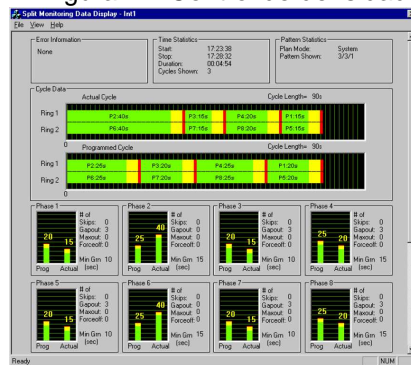


Figura 28. Pantalla de Mapas

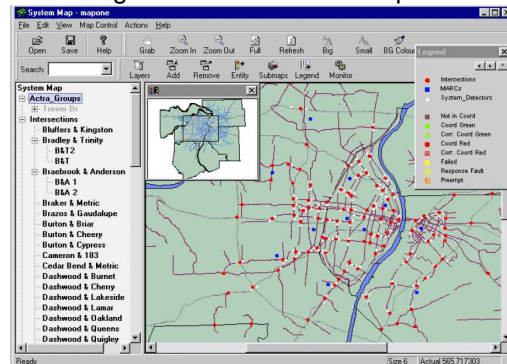
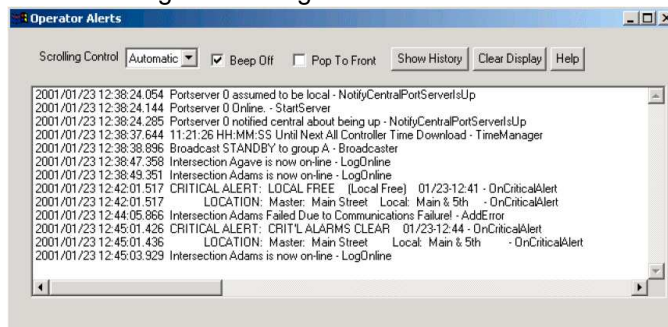


Figura 29. Registro de eventos

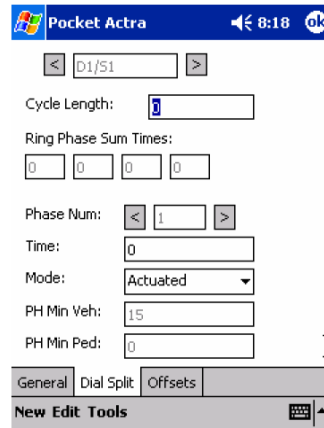


Por último está la posibilidad de programar individualmente cada controlador mediante una PDA utilizando software específico (Figura 30 y 31) y cualquiera de los puertos de comunicación con los que cuenta el controlador.

Figura 30. Pantalla Inicial

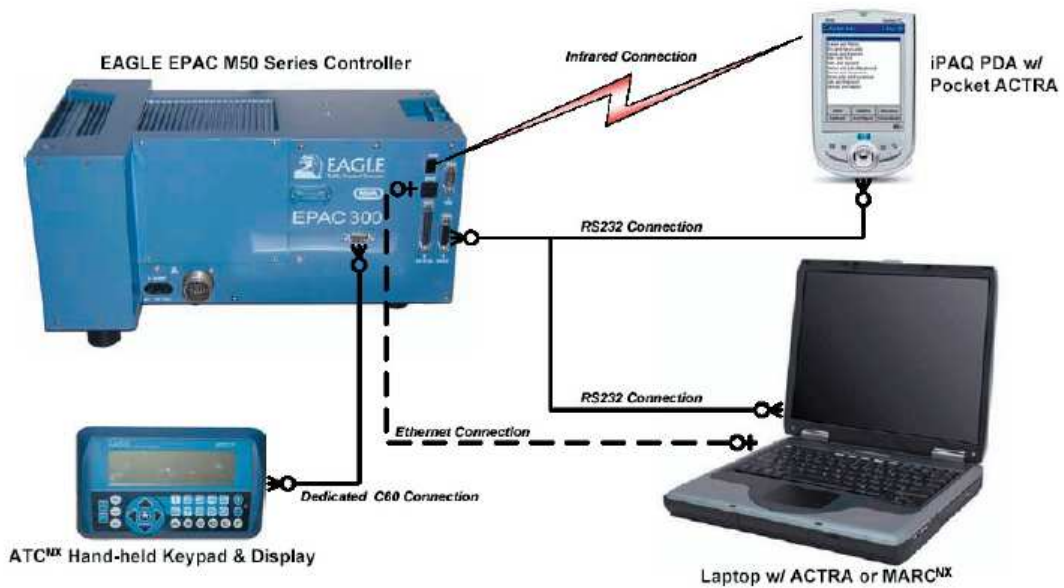


Figura 31. Ejemplo de parametrización



Podríamos resumir todas las opciones de programación en el siguiente esquema:

Figura 32. Opciones de programación para el controlador en campo



## **3.4 Norma NEMA TS-2**

### **3.4.1 Definición**

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA por sus siglas en inglés) es un ente que regula la publicación de normas y estándares para la fabricación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la industria, que se basa en un proceso desarrollado por voluntarios y especialistas con interés en un tema específico. Siguiendo esta línea de acción y por interés del sector de control de tráfico inteligente (ITS por sus siglas en inglés), se publica la norma que rige estos dispositivos de control de tráfico TS-1, en la que están definidos todos los aspectos de fabricación mecánicos, eléctricos, electrónicos para controladores de intersección semaforizada. Esta norma, pese a ser una mejora, poseía un gran número de limitaciones inherentes. Por esta razón, las siguientes metas fueron propuestas:

- Los requerimientos de equipo deberían estar basados en conceptos válidos de ingeniería.
- Se debía proveer un alto grado de inter-cambiabilidad sin obviar la compatibilidad hacia atrás.
- Hacer énfasis en el uso de capacidades de diagnóstico mejoradas.
- Prever para expansiones futuras
- Mejorar la interfaz de usuario.

Es así como en el año de 1992 se publica la especificación de la norma TS-2 para sistemas de tráfico inteligente. Entre las mejoras implementadas en esta nueva versión de la norma se encuentran:

- Una dramática reducción del cableado punto a punto, lo cual contribuye directamente a mejorar la fiabilidad y la facilidad de mantenimiento. Esta es la mayor característica de TS-2.

- Un más alto grado de estandarización entre diferentes fabricantes.
- El monitor de conflictos y el controlador tienen un link de comunicación inherente, lo cual contribuye a la localización de fallas más fácilmente.

Para poder disminuir el cableado punto a punto dentro del gabinete fue necesario implementar un bus de comunicaciones en común y fue seleccionado como protocolo de comunicaciones el SDLC que provee comunicación entre el CPU, MMU, BIU, etc. La capa de abstracción de link físico (Capa 1 OSI) utilizada por la información SDLC utiliza una frecuencia de reloj EIA-485 a una frecuencia de 153.6 Kbits/s, y cada componente que necesita comunicarse utiliza su propio reloj de transmisión. TS-2 especifica una topología de red tipo estrella para el protocolo.

Figura 33. Ejemplo de cableado TS-2    Figura 34. Ejemplo de cableado TS-1



### 3.4.2 Aplicación

Mejoras en todos los equipos de control de tráfico inteligente basados en sistemas responsivos, adaptativos y de tiempo fijo.

### 3.4.3 Requisitos de un controlador de Semáforo para cumplir con la norma NEMA TS-2.

Existen muchos componentes de hardware necesarios en un sistema de tráfico que deben cumplir con la norma NEMA TS-2 para poder implementarlos con éxito. Podemos enumerar a grandes rasgos los componentes principales de un controlador TS-2.

#### 3.4.3.1 BIU

La Unidad de Interfaz de Bus (BIU de sus siglas en ingles) es uno de los componentes de la red que cumple con la especificación y su función es proveer comunicaciones seriales provenientes de los detectores hacia el CPU. Entre las características eléctricas del BIU podemos mencionar:

- Posee un conector macho de doble fila y 64 pines tipo DIN en uno de los lados y un conector de 15 pines SDLC en el otro.
- Funciona con 24 VCD, siendo de 0 a 4 voltios el uno lógico y de 16 a 24 voltios el cero lógico.
- Posee 4 entradas ópticamente aisladas, que son utilizadas para los detectores peatonales.

Figura 35. Vista frontal BIU



Figura 36. Vista lateral BIU





Estas unidades se instalan directamente en el rack del gabinete para manejar las salidas hacia los semáforos y las señales de los detectores (Figura 37).

Figura 37. Bahía de carga TS-2



#### 3.4.3.2 Unidad de monitoreo de fallas

La Unidad de Monitoreo de Fallas (MMU de sus siglas en ingles) es otro componente primordial de un sistema TS-2 y su función, como su nombre lo indica, es monitorear las fallas en el gabinete en lo que se refiere a comunicación, entradas, salidas y niveles de voltaje. Es un dispositivo de 16 canales según la especificación y se comunica con el CPU mediante SDLC.

Figura 38. Vista frontal MMU



#### 3.4.3.3 Fuente de voltaje del gabinete

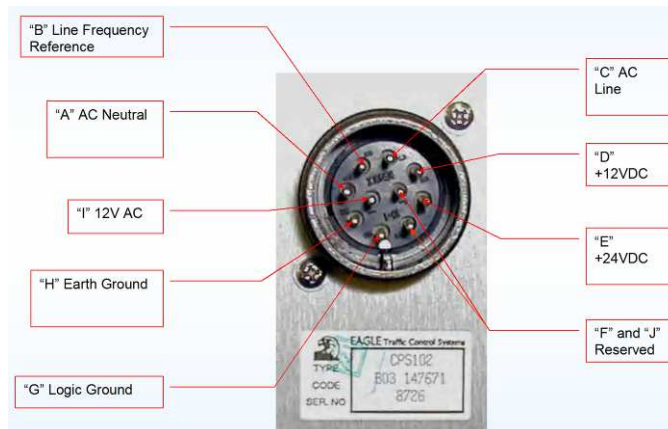
La fuente diseñada para estos sistemas debe proveer  $12 \pm 1$  Voltios DC,  $24 \pm 2$  voltios DC y voltaje en una línea AC que varía de 89 a 135 voltios que va



desde 0.25 hasta plena carga. También debe proveer una línea no regulada AC de 12 voltios. La potencia mínima es como sigue:

- 12VDC 2.0 Amp.
- 24VDC 2.0 Amp.
- 12 VAC 0.25 Amp.

Figura 39. Conector para fuente de voltaje TS-2



A continuación se muestra el detalle de uno de los controladores de intersección, utilizados para este proyecto, con todos sus componentes interconectados y funcionando:

Figura 40. Gabinete y sus partes interconectadas



### **3.5 Modo de operación con prioridad para el bus**

La priorización interna es una rutina flexible de operación dentro del controlador para preferenciar el paso de vehículos de transporte público, transporte masivo, emergencia, ambulancias y bomberos. El sistema incluye seis rutinas de preferencia que proporcionan control de señal completo, siendo este el modo que se utiliza por ejemplo en lugares en donde circulan trenes y se necesita un control total sobre los cambio dentro del ciclo.

Además, el controlador posee seis rutinas de prioridad que proporcionan control completo de fase y retorno sincronizado a coordinación; este modo de operación es el que se utiliza en el proyecto de transmetro para proveer prioridad al recorrido del bus, pero sin impactar demasiado de manera negativa al resto de usuarios.

Para poder implementar cualesquiera de los dos modos de operación mencionados anteriormente, es necesario e imprescindible la utilización de detectores de tráfico; ya sea para detectar el bus y darle prioridad o para detectar acumulación de vehículos en las vías transversales y dar únicamente el tiempo mínimo necesario. Para la implementación de transmetro se decidió la utilización de la tecnología más novedosa en detección de presencia vehicular, la cual es video-detección.

#### **3.5.1 Video-detección vehicular de presencia**

##### **3.5.1.1 Definición**

La arquitectura básica del sistema de video-detección consta de una cámara CMOS, un detector y su respectivo firmware integrados en un solo

bastidor (Figura 41). Al utilizar una cámara para captar imágenes, se cuenta con dos opciones para el lente:

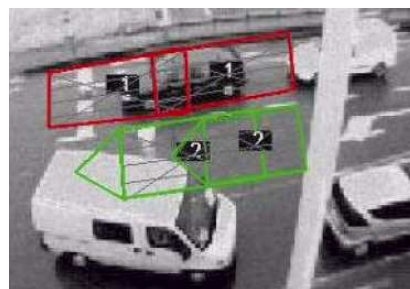
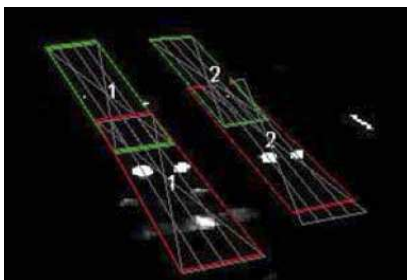
- Gran angular: utilizado para detección a poca distancia (hasta 25 metros) y con una cámara de visión amplia con distancia focal de 3.0 mm.
- Angulo Estrecho: utilizado para detección a larga distancia (hasta 75 metros) y con una cámara de visión amplia pero con acercamiento y una distancia focal de 8.0 mm.

Figura 41. Componentes del video-detector



Otro aspecto que vale la pena mencionar es que el detector es capaz de detectar vehículos tanto en el día como en la noche (Figura 42.) y también es capaz de discriminar el sentido de circulación de ser necesario (Figura 43.).

Figura 42. Detección nocturna.      Figura 43. Detección de sentido de circulación



### 3.5.1.2 Requerimientos técnicos del controlador

Entre las características eléctricas del detector podemos mencionar las siguientes:

- Hasta 8 zonas de detección (Figura 44)
- Configuración vía software especializado (Figura 45)
- Puerto de configuración mediante protocolo RS-485
- Hasta 4 salidas (con funcionalidad lógica “y” “o”).
- Las salidas utilizan niveles CMOS.
- Protección IP67
- Opción de comunicación inalámbrica.

Por lo tanto, el controlador que se utilice con este medio de detección tiene que tomar en cuenta estas características. La norma TS-2 cumple en todos los sentidos.

Figura 44. Zonas de detección

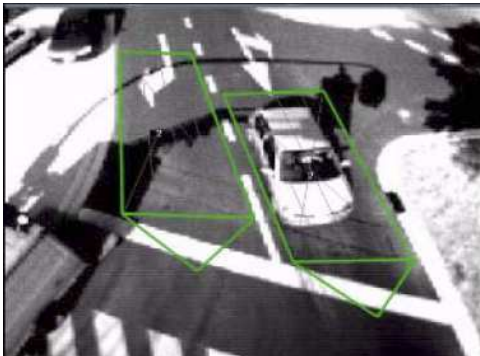


Figura 45. Software de configuración

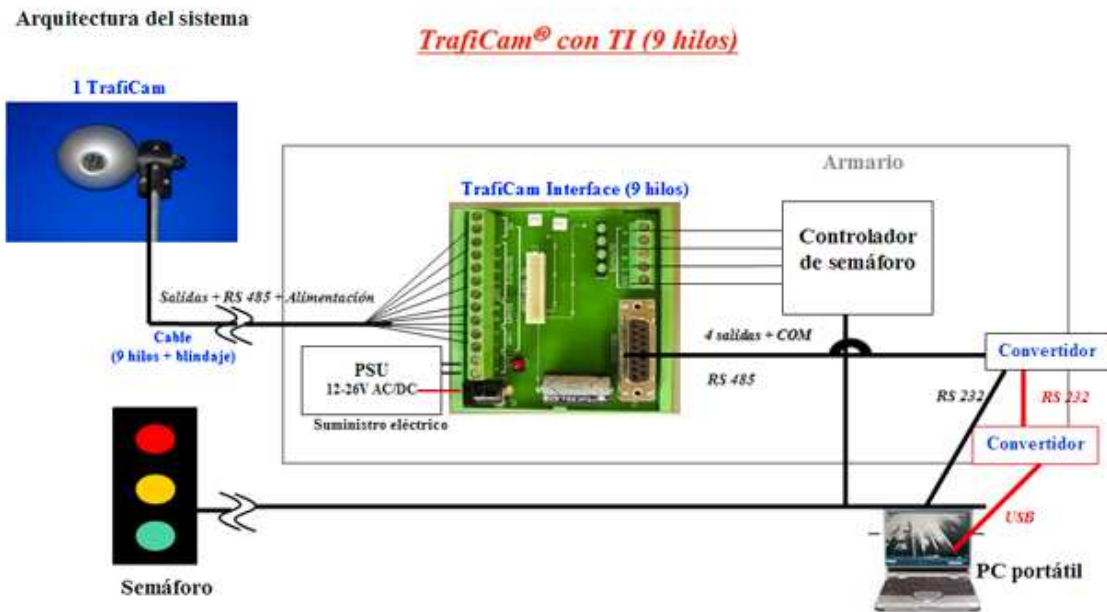


### 3.5.1.3 Aplicación y equipo utilizado

Para el proyecto de transmetro se utilizaron 24 video-detectores con las características antes mencionadas a lo largo de todo el recorrido y en las intersecciones consideradas como críticas para poder lograr preferencia al bus y mejorar los tiempos de viaje. Es conveniente hacer mención que no es necesario tener detección vehicular en todas las intersecciones del recorrido ya que existen estudios que demuestran que, en un sistema como en el utilizado en transmetro se conocen con antelación los tiempos aproximados de

separación entre bus y bus. Podríamos esquematizar la arquitectura utilizada para la detección vehicular en el proyecto de transmetro como sigue:

Figura 46. Arquitectura de conexión del video-detector.





## 4. SISTEMA DE MONITOREO DE LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS EN TIEMPO REAL

### 4.1 Definición

El término Localización Automática de Vehículos (AVL por sus siglas en inglés) es una tecnología para conocer la posición geográfica de vehículos (camiones, automóviles, trenes, barcos, etc.) transmitiendo esta información a un lugar en donde es utilizada y se aplica a los sistemas de localización remota en tiempo real, basados generalmente en el uso de un receptor del Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) y un sistema de transmisión que es frecuentemente un MODEM inalámbrico. Algunas otras posibilidades para determinar la localización del vehículo, si no es con GPS son el uso de DR (*Dead reckoning*), Navegación Inercial o RFID e incluso, alguna combinación de varias de dichas tecnologías.

En el caso de la transmisión de datos, en sus inicios el principal medio fue la radio, posteriormente se usó la tecnología celular (generando una llamada) o mediante mensajes de texto (SMS). Actualmente la mayoría de los sistemas modernos utilizan tecnologías celulares diseñadas para la transmisión de datos como GSM/GPRS, CDMA/1xRTT y EDGE entre otras, aprovechando la gran cobertura de estas redes de datos en la actualidad y la ventaja de que el cobro de transmisión se realiza normalmente por Kilobytes transmitidos y no por tiempo de conexión. Adicionalmente, dada la baja de los costos y el mínimo ancho de banda utilizado por esta tecnología, cada vez es más común el uso de tecnología Satelital para la transmisión de datos, con la ventaja de su cobertura

global en cualquier punto del planeta, lo que es imprescindible para aplicaciones como navegación, minería o forestal en que se trabaja en zonas en que normalmente no existe cobertura de las redes celulares.

La tecnología AVL es una herramienta poderosa en aplicaciones de administración de flotas de transporte, asignación de vehículos de emergencia, sistemas de transporte público, etc. especialmente si se integra con otras aplicaciones relacionadas como sistemas de *Call Center*, Central de Monitoreo, planificadores de ruta, sistemas de bodega y sistemas de despacho entre otras

## **4.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

### **4.2.1 Definición y características básicas**

El Sistema de Posicionamiento Global (más conocido con las siglas GPS aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20,200 Km. con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra (Figura 47.). Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las



señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición (Figura 48). Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

Figura 47. Satélites del sistema GPS en órbita

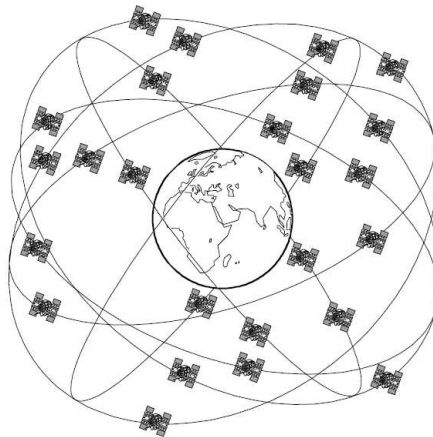
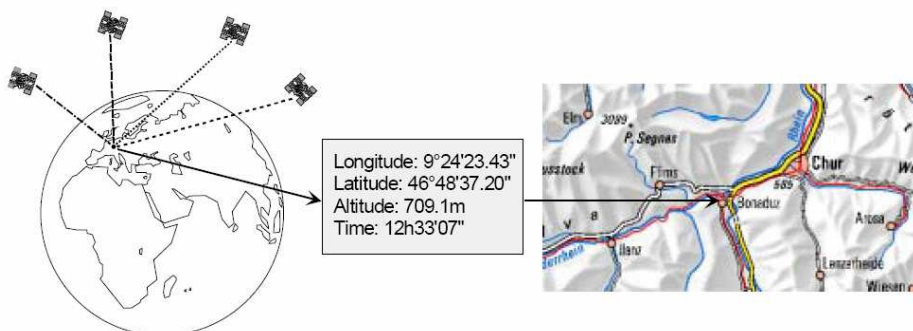


Figura 48. Esquema utilizado para triangulación



#### 4.2.2 Equipo receptor

El sistema de GPS esta formado por tres componentes básicos:

- **Segmento Espacial:** Talvez el componente más importante, son 24 los satélites que orbitan la Tierra. Cada uno de los satélites pesan entre 3,000 y 4,000 libras, y utilizan energía solar que recolectan a través de sus celdas solares. Cada satélite da dos vueltas diarias a la Tierra. Las órbitas y alturas están calculadas para que, en cualquier momento, en cualquier lugar del planeta, hayan por lo menos seis satélites "visibles" en el cielo.
- **Estaciones de Control:** Se mantienen estaciones de control que constantemente monitorean y sincronizan los relojes atómicos dentro de cada satélite a una millonésima de segundo, así como también revisan y ajustan las trayectorias y órbitas de los satélites. Existen estaciones de control en Hawai, Diego García, Isla de la Asunción, y Colorado, Estados Unidos.
- **Receptor de GPS:** Esto es el último componente necesario del GPS, el que le indica a la persona cuál es su ubicación exacta en la Tierra. Los receptores simplemente reciben la información transmitida por los satélites, y calcula el tiempo que toman las señales en llegarle. En base a esto, utilizando un principio llamado triangulación, calcula la posición exacta de la persona sobre el globo terráqueo. Se necesita la señal de por lo menos 3 satélites para esto. Algunos receptores de GPS también utilizan otras fuentes de sincronización terrestres, para intentar hacer más precisa la información dada al usuario.

De los tres componentes mencionados anteriormente, únicamente tenemos control sobre el receptor y este lo podemos escoger dependiendo de las necesidades específicas de la aplicación, ya que existe en el mercado una gran cantidad de proveedores de productos, servicios y accesorios para escoger. En nuestro caso específico para el proyecto de Transmetro se escogió un equipo que esta conformado por el receptor de GPS y un radio MODEM para GPRS en una sola unidad y con las características técnicas que se enumeran en los incisos siguientes.

### 4.2.3 Protocolos de comunicación

Existe una gran cantidad de protocolos utilizados para lograr implementar el AVL. Estos protocolos abarcan todos los niveles de las capas del modelo OSI para redes abiertas por lo que únicamente se muestra la tabla siguiente a manera de resumen de este modelo, ya que explicar cada uno de estos protocolos está fuera del alcance del presente informe.

**Tabla V. Capas OSI para redes**

Tecnologías y protocolos de red*	
Nivel de aplicación	DNS, FTP, HTTP, IMAP, IRC, NFS, NNTP, NTP, POP3, SMB/CIFS, SMTP, SNMP, SSH, Telnet, SIP, <i>ver más</i>
Nivel de presentación	ASN.1, MIME, SSL/TLS, XDR, <i>ver más</i>
Nivel de sesión	NetBIOS, ONC RPC, DCE/RPC <i>ver más</i>
Nivel de transporte	SCTP, SPX, TCP, UDP, <i>ver más</i>
Nivel de red	AppleTalk, IP, IPX, NetBEUI, X.25, <i>ver más</i>
Nivel de enlace	ATM, Ethernet, Frame Relay, HDLC, PPP, Token Ring, Wi-Fi, STP, <i>ver más</i>
Nivel físico	Cable coaxial, Cable de fibra óptica, Cable de par trenzado, Microondas, Radio, RS-232, <i>ver más</i>
* según el Modelo OSI	

A manera de información, se describirán las capas que conforman al modelo OSI (*Open System Interconnection*), el cual fue elaborado para el diseño de redes. El propósito de dar a conocer el modelo es saber que tarea desempeña cada capa ya que en la actualidad existen nuevos protocolos que de alguna forma encajan en determinada capa del modelo OSI. La arquitectura del modelo OSI es el siguiente:

- Capa 7, **Aplicación**: tal como su nombre lo indica es la capa que se encarga de la comunicación entre la aplicación que se esta manejando.
- Capa 6, **Presentación**: se encarga del formato que llevara la información desde un punto A y que al llegar al punto B, debe ser capaz de dar la misma información que se ve en el punto A.
- Capa 5, **Sesión**: su función es mantener la conexión entre dos puntos.
- Capa 4, **Transporte**: es el ente que da la conexión entre dos puntos y que además realiza la detección y recuperación de errores.
- Capa 3, **Red**: establece el direccionamiento lógico de una conexión, es decir que esta capa sabe enlutar o encaminar los paquetes a otras direcciones lógicas.
- Capa 2, **Enlace de Datos**: encargada de regular el acceso a un punto, cuando en un momento dado hay más de dos solicitudes queriendo ser atendidas. Además se encarga del direccionamiento físico.
- Capa 1, **Capa Física**: es la responsable por la conexión física, es decir que considera el cable, conectores, etc.

## 4.3 Red de telecomunicaciones GSM

### 4.3.1 Definición y características generales

En el año de 1982 fue establecido en Europa el *Groupe Special Mobile* a quien se le asignó la tarea de implementar un nuevo concepto en las comunicaciones ya que por aquella época los sistemas existentes eran análogos. Este grupo estableció los estándares que regirían a la nueva tecnología, y subdividió todo el recurso humano y físico en los siguientes tres bloques:

- Interfase de Radio.
- Transmisión y definición de protocolos de señalización.
- Arquitectura de la red y las diferentes interfaces de interconexión.

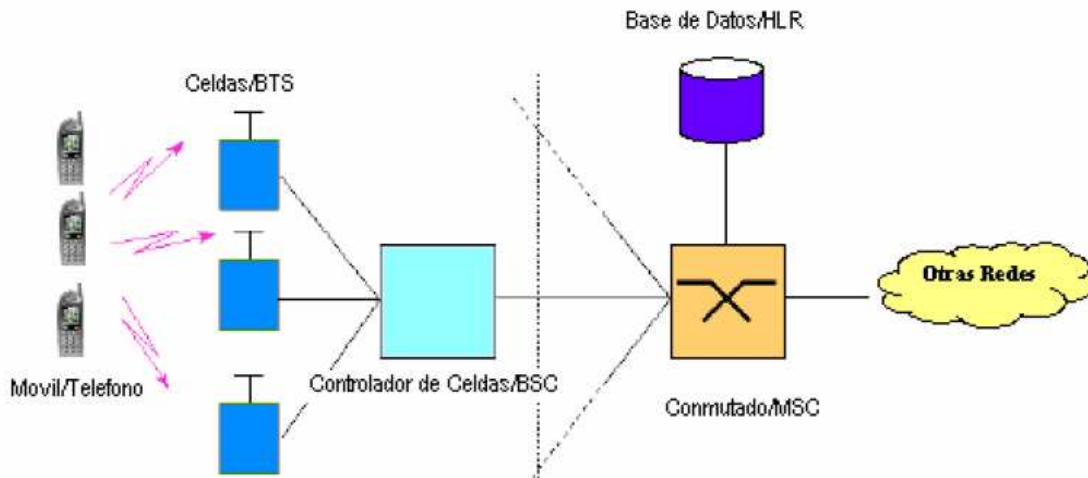
Para el año de 1986 el *Groupe Special Mobile* presenta el informe de su investigación y establece los conceptos que deberían de implementarse en la nueva tecnología digital. En el año de 1988 se realiza las primeras pruebas en la interfase de radio y se demuestra que el nuevo concepto tiene futuro y que es funcionalmente factible su operabilidad. En ese mismo año el *Groupe Special Mobile* resuelve sumarse a la ETSI que es la *European Telecommunication Standards Institute*, la cual rige los estándares técnicos de las telecomunicaciones de Europa. Con esta unión se logró tener una visión más amplia para poder utilizar esta nueva tecnología a nivel mundial. Finalmente en el año 1992 se lanza comercialmente en Finlandia el concepto GSM que por sus siglas en inglés fue definido como *Global Systems for Mobile Communications* o Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

Actualmente ésta tecnología es mundialmente conocida y en términos de frecuencia, esta siendo explotada de la siguiente forma:

- En el continente Europeo se están manejando dos bandas, la cuales espectralmente están ubicadas en los 900 y 1800 MHz.
- Para el continente Americano, dicha tecnología maneja las bandas de 800 y 1900 MHz.

Una red básica de GSM esta constituida por las estaciones base (BTS) o celdas y representa el primer contacto con los móviles. Ya interno en la red se encuentra el controlador de celdas (BSC), el cual tiene como finalidad mantener el control de todas las celdas que posee la red. Otro elemento importante, es el Conmutador (MSC) el cual permite el manejo simultáneo de varias llamadas dependiendo de su capacidad en hardware. Existe además una base de datos (HLR y VLR), la cual guarda todos los datos de los usuarios a quienes la red les brinda servicio. En la figura 49 se muestra un esquema en el cual se detalla los elementos que conforman una red GSM.

Figura 49. Elementos de una red GSM



#### **4.3.1.1 Celdas**

Definiremos como BTS (*Base Transceiver Station*) al conjunto de hardware y software que tienen como finalidad servir a los móviles a una frecuencia determinada por medio de un transmisor/receptor y un sistema radiante. En el diseño de una celda se debe considerar aspectos como: Cobertura, tráfico, sectorización y Plan de Frecuencias. La cobertura de la celda dependerá de la topografía del lugar y de la población que pretenda cubrir, que puede ser rural o urbana. Generalmente una celda que se ubique en un área urbana tendrá un alcance máximo de 8 Km. Para una celda que se ubique en el área rural, su alcance puede ser de 35 Km. El tráfico es muy importante ya que da un cálculo de la capacidad que debe tener una celda instalada, para poder cubrir la demanda.

Una celda o BTS (*Base Transceiver Station*) realiza las siguientes funciones:

- Procesamiento de la Señal.
- *Handover*.
- Control de Potencia.
- Salto de Frecuencia.

#### **4.3.1.2 Controlador de celda**

Un controlador de estación base o BSC (*Base Station Controller*) es un ente capaz de monitorear, configurar y re-establecer todo el funcionamiento de una o varias celdas a nivel de interfaz gráfica o comandos de programación. Las celdas se conectan al controlador a través de la interfase *Abis* la cual puede ser un enlace vía micro-ondas o conexión directa de E1/T1's. La interfase *Abis* maneja modulación PCM con 32 canales (*timeslots*) con un ancho de banda de

2.048 Mbps, un T1 maneja 24 canales con 1.544Mbps. Para propósitos de voz el BSC y BTS utilizan Codificadores adicionales para poder enviar en un TS 4 conversaciones. Las funciones básicas del BSC son:

- Manejo de enlaces de radio.
- Conmutación de canales entre la BTS y el MSC.
- Procesamiento del acceso vía radio.
- Asignación de canales de tráfico y señalización.
- Configuración de BTS.
- Administración, supervisión y funcionalidad de BTS.
- Control para los *Handover*.

#### **4.3.1.3 Conmutador**

Este es el corazón de una red celular, se le conoce como MSC (*Mobile Switch Center*) y su tarea principal es el procesamiento de llamadas. El MSC esta conectado hacia la BCS a través de la interfase A, la cual utiliza E1/T1. Para el caso de transmisión de voz, 1 TS o canal puede llevar una sola llamada desde el BSC hasta el MSC. El proceso de una llamada dependerá de las opciones que el usuario tenga habilitadas en la base de datos (HLR).

Las funciones que desempeña el conmutador (MSC) son:

- Procesamiento de llamadas.
- Enrutamiento de llamadas.
- Señalización.
- Manejo de Servicios Suplementarios, tales como desvío y bloqueo de llamadas,
- Llamada en espera.
- Es punto de interconexión hacia redes de telefonía pública.



#### **4.3.1.4 Base de datos**

Todos los datos de un suscriptor se guardan en una base de datos conocida como HLR (*Home Location Register*), la función de esta base de datos es validar los servicios que al MSC le estén requiriendo y almacenar los datos de los suscriptores. Los servicios pueden ser:

- Mensaje Corto (SMS, *Short Message Service*).
- Llamada en Espera.
- Desvío de llamadas.
- Bloqueo de llamadas.
- Llamadas Tripartitas.
- GPRS.

#### **4.3.2 Protocolo GPRS y SMS**

Para cubrir la demanda de transmisión de datos entre un móvil y una red externa de paquetes para utilizar los servicios de Internet, transmisión de Fax y WAP, en GSM se implementó un medio de transmisión de paquetes que utiliza la técnica de Circuitos Conmutados para el establecimiento y mantenimiento de la conexión entre dos puntos. Es decir que al momento de que un móvil requiera un servicio específico, la red de datos le asigna un canal físico y lógico al móvil de forma permanente; este hecho hizo que al momento de aumentar la demanda por los servicios el recurso fuera limitado, ya que la asignación de canales de forma fija, aun cuando los usuarios no estuvieran realizando ninguna transferencia de paquetes, provocaba que cualquier otro usuario no obtuviera éxito en su conexión. Además de ello, esta red de transmisión no posee Calidad de Servicio para tratamiento de paquetes, es decir que todos los servicios que ofrezca el operador son tratados por la red de transporte de igual manera.

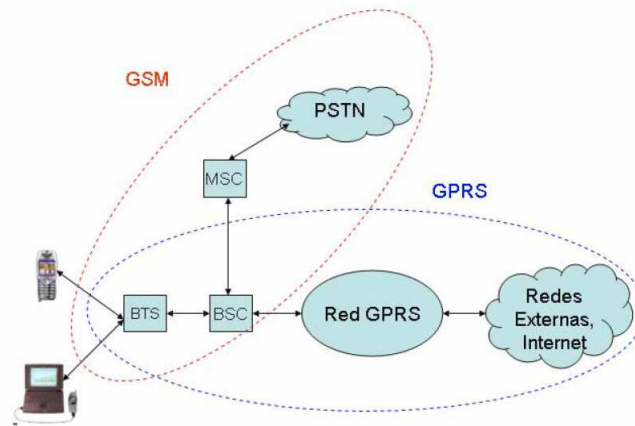
Por todo lo que adolece la transmisión de paquetes por circuitos conmutados y debido al surgimiento de nuevos servicios, aparece una nueva opción de transporte conocida como GPRS (*General Packet Radio Service*) que por sus siglas en inglés significa Servicio General de Radio por Paquetes. Esta nueva red se caracteriza por utilizar la técnica de Paquetes Conmutados que permite mantener conectados a varios usuarios simultáneamente. Esto se logra a través del establecimiento de una conexión lógica, la cual no utilizará recurso de ancho de banda, sino que hasta el momento de enviar o recibir información desde o hacia una red externa de datos. Para lograr el establecimiento de una conexión GPRS, se necesitan los siguientes elementos:

- Interfase de Radio.
- El *core* GPRS.
- Acceso a Red Externa.

La interfase de radio está referida al acceso vía radiofrecuencia que el conjunto de celdas y controlador de celdas proporcionará al móvil y que será el mismo que utiliza GSM para transmisión de voz, considerando que los canales de acceso serán diferentes. El *core* de GPRS corresponde al conjunto de elementos de red que hacen posible el envío y recepción de paquetes de un móvil hacia una red externa y viceversa. Básicamente el *core* realiza la traducción de los protocolos de GSM a los protocolos de IP.

El punto de acceso a una red externa, es el último enlace entre GPRS y la red externa de Datos. En la figura 50 se observa de forma general cómo es la interacción de GSM, GPRS y la red externa.

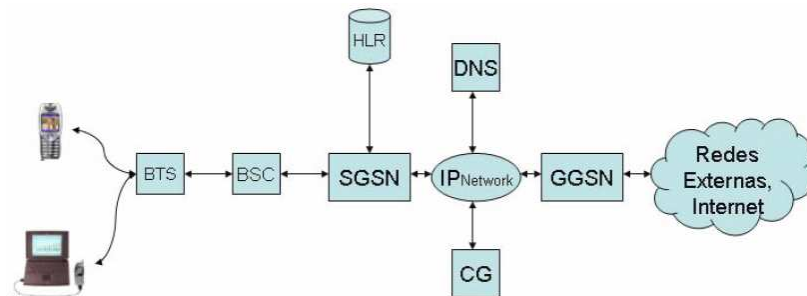
Figura 50. Interacción de una red GSM/GPRS y una red externa



El GPRS, ofrece las siguientes ventajas sobre la transmisión de circuitos conmutados que la convierten en un medio de transporte más eficaz y eficiente.

- No se necesitan conexiones físicas.
- El recurso de ancho de banda es compartido.
- Se permiten los tiempos de espera entre envíos de paquetes.
- Permite el cobro por volumen de paquetes enviados o recibidos.
- Posee corrección de errores.
- Soporta y permite más servicios de valor agregado tales como envío/recepción de mensajes multimedia MMS, sesiones WAP, Internet, AVL y VoIP.

Figura 51. Componentes del GPRS



#### **4.3.2.1 Unidad de control de paquetes**

Esta unidad suele considerarse como un módulo extra pero que pertenece al controlador de celdas y que sirve como medio para interconectar al SGSN con el controlador de estaciones base mediante la interfase *Gb*. Esta interfase utiliza *Frame Relay* como tecnología para realizar la conexión entre dos puntos. Hasta aquí podemos decir que una o varias celdas son manejadas por un controlador de celdas, lo que a su vez, a nivel de sesiones GPRS, una Unidad de Control de Paquetes maneja una o dos Controladoras de celdas.

#### **4.3.2.2 SGSN**

El primer elemento de Red GPRS es el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) que significa Nodo de Soporte de Servicios GPRS, es el encargado de darle acceso a los móviles a la red GPRS mediante su registro conocido como *GPRS Attach*. Las funciones que desempeña este elemento son:

- Conversión de protocolos IP a *Frame Relay* de los BSC.
- Autenticación de los usuarios GPRS.
- Administración y acceso de usuarios pegados (*Attach*) a la red GPRS.
- Administración de la movilidad de los usuarios.
- Enrutador de Datos.
- Comunicación con el HLR y GGSN.

#### **4.3.2.3 GGSN**

El GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), es el elemento de red que dentro de sus múltiples funciones se encarga del enrutamiento final de los

paquetes a la red externa de datos, o a los equipos de servicios de valor agregado tales como MMS, WAP, etc. Las funciones del GGSN son:

- Asignación dinámica o estática de IP a los móviles.
- Enrutamiento de datos que vienen de una red externa al respectivo SGSN.
- Enrutamiento de paquetes de información proveniente de los móviles hacia determinada red externa de datos o servicios de valor agregado.
- Sirve de interconexión hacia redes IP mediante la interfase Gi externa.
- Verifica que las IP estén activas.

#### **4.3.2.4 DNS**

Un DNS (*Domain Name Server*), es un servidor de nombres de dominios y cumple un papel importante en convertir nombres IP en direcciones IP. Es decir que el DNS recibe solicitudes para poder llegar a otros servidores que el conoce con un formato de texto, por ejemplo recibe [www.google.com.gt](http://www.google.com.gt) y entrega una IP 209.85.135.99. Generalmente en la implementación de una Red GPRS, existen dos DNS ejecutando distintas tareas. El primero se encarga de resolver o convertir los APN que el operador tenga designado para sus servicios en una dirección IP, que generalmente corresponde a la dirección del CGSN, el cual enrutará los paquetes a la red externa. El segundo DNS resolverá todo lo relacionado a Internet.

#### **4.3.2.5 GC**

El CG (*Charging Gateway*) es una base de almacenamiento y procesamiento de registros de tarificación recibidos de los elementos SGSN y GGSN. Estos archivos conocidos como CDR (*Charging Data Register*) contienen información referente a:

- Servicio Utilizado, el cual puede ser MMS, WAP, Internet, etc.
- Cantidad de datos enviados/recibidos, los cuales se especifican en bytes.
- Fecha y Hora de la transferencia de paquetes.
- MSISDN e IMSI del subscritor.

#### 4.4 Integración del equipo GPS y GPRS

Para el proyecto de transmisor se escogió la utilización de una unidad que integra en un solo paquete GPS/GSM/GPRS, ya que para lograr la implementación de AVL se utiliza un módulo receptor GPS que al mismo tiempo está compuesto por un radio MODEM GSM/GPRS. Dicho equipo es fabricado por la compañía SkyPatrol y el modelo específico utilizado es el Evolution TT8540. Este equipo fue instalado en los buses y conectado al sistema eléctrico de estos.

Figura 52. Receptor GPS/GPRS evolution TT8540

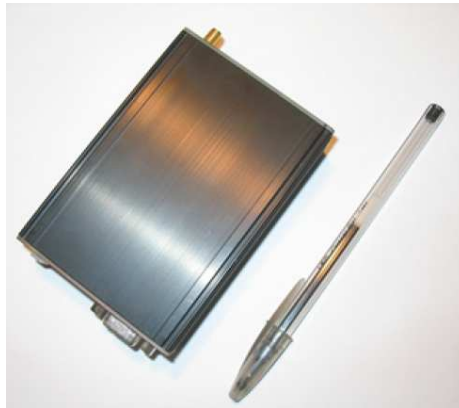


Figura 53. Vista frontal del receptor



Figura 54. Vista posterior del receptor



**Tabla VI. Especificaciones técnicas del equipo receptor**

System Requirements		Application Interface			
Interface:	Serial – Host DSUB 9 connector	· Host Protocols:	PPP, AT Commands, UDP, TCP/IP		
L x W x H:	4.0 x 5.0 x 1.6 in	· Internal Protocols:	UDP, TCP/IP (future release)		
Housing:	One Piece, seamless Aluminum Extrusion	· API Control/Status:	AT or UDP		
TX Power:	Class 4 (2W @850/900 MHz) Class 1 (1W @1800/1900 MHz)	· Friend's IP Feature			
Slot Class:	MS10(4RX/2TX, 5 MAX)	· Auto-Registration software upon power-up			
		· Over the air commands for:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I/O Control</li> <li>- GPS TX Interval</li> <li>- Binary Reporting</li> <li>- Timed Reporting</li> <li>- Alarm Reporting</li> <li>- Status Change Reporting</li> <li>- GPS Content</li> <li>- Event Reporting</li> <li>- Distance Reporting</li> <li>- Geo-Fencing</li> </ul>		
Band Operation		SIM CARD / INTERFACE / I/O			
TT8540 (850/900/1800/1900)		· SMA Antenna Connector for 3.3 Vdc GPS 3.3			
		· External SIM accessible via end cap			
		· Audio connection			
		· TNC Antenna Connector for GSM			
		· 3 Pin I/O – 2 Input, 1 Output			
		3 LED Status indicators			
		1 Ignition Sense			
		· 1 Audio Input/Output			
GPRS Packet Data		Environment			
Mode:	Class B, Multislot 10 Certified	Operating:	-30°C to +70°C		
Protocol:	GPRS Release 97, SMG 31	Spec. Compliant:	-20°C to +60°C		
Coding Schemes:	CS1 – CS4	Storage:	-40°C to +85°C		
Packet Channel:	PBCCH/PCCCH	Humidity:	Up to 95% non-condensing		
GSM Functionality		Status Indicator			
Voice:	Full Rate, Enhanced full rate and half rate, AMR (TT8540)	<b>POWER ON</b>			
CS Data:	Asynchronous, transparent and non transparent up to 9.6 KB	· Registration Status			
GSM SMS:	Text, PDU, MO/MT Cell broadcast	· GPS Status			
		· User Defined			
Certification (Pending)		Power			
TT8540		DC Voltage:	9 – 30 V		
FCC: Part 15,22,&24	Part 15	<b>TT8540</b>	<b>@ 12V</b>	<b>Avg</b>	<b>Peak</b>
GCF: Version 3.11.0	Version 3.5.1	<b>BAND</b>	<b>MODE</b>	<b>(mA)</b>	<b>(A) @ (dBm)</b>
PTCRB: Version 2.9.1	Version 2.7.2	GSM 850&	1TX/1RX	390	0.600 @ 32.5
Industry Canada	Industry Canada	900	1RX	180	
RTTE	RTTE		Idle	65	
		GSM 1800&	1TX/1RX	400	0.570 @ 32.0
		1900	1RX	190	
GPS Functionality		Part Number			
· SMA Antenna Connector for GPS		TT8540	850/900/1800/1900		
· Supports 3.3V Active Antenna					
· GPS Protocols: NMEA, TAIP, Sky patrol binary					
· Stored GPS Messages Feature					

## 4.5 Software utilizado para el sistema de AVL

El software utilizado para monitoreo de buses está basado en una arquitectura cliente-servidor, sobre una aplicación Web, y el cliente puede acceder al servidor desde cualquier computadora con conexión a Internet de por lo menos 64 Kbps y que tenga un explorador Web con soporte de Macromedia flash.

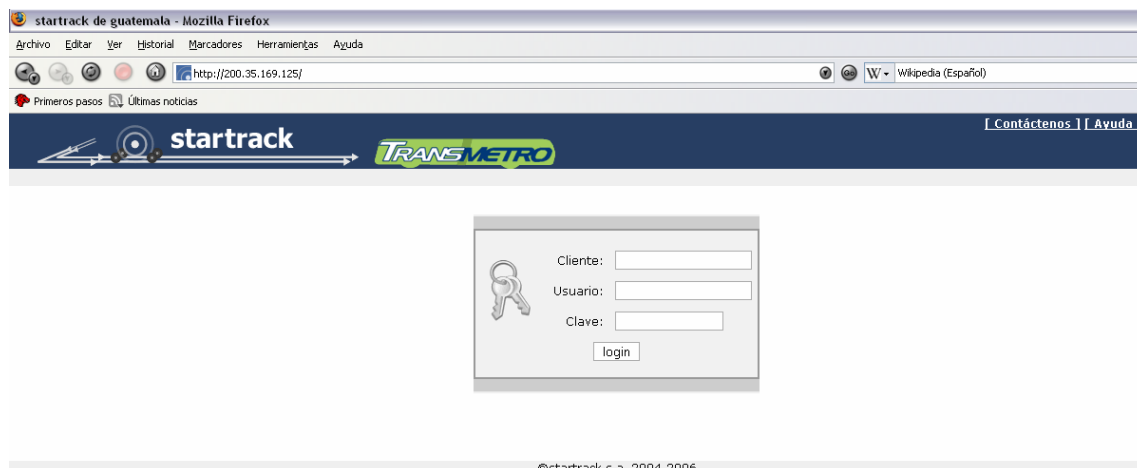
En el caso del proyecto de Transmetro se utilizó un servidor propiedad de la municipalidad para realizar el *hosting* del sistema.

### 4.5.1 Descripción básica del funcionamiento

#### 4.5.1.1 Login(Ingreso al sistema)

Para ingresar al sistema de monitoreo en tiempo real del AVL es necesario abrir el explorador y escribir la URL: <http://200.35.169.125/>

Figura 55. Pantalla de *login* al sistema





En esta pantalla el sistema solicita la información de cada usuario autorizado y, al entrar, inicia con los niveles de ejecución propios que les fueron asignados por el administrador.

#### 4.5.1.2 Pantalla de inicio

La página de inicio es la primera página que ve el usuario al entrar en el sistema (realizar el *login*). Ésta página puede tener mayor o menor número de opciones según el nivel de acceso o los permisos que tenga el usuario.

Figura 56. Pantalla de inicio del sistema

The screenshot shows the 'startrack' web application interface. At the top, there's a navigation bar with 'Rastreo & Control', 'Rutas', 'Reglas', 'Reportes', 'Usuarios', 'Cuentas', and 'Ayuda'. Below this is a table titled 'Estado de Flota' with columns: Vehiculo, Fecha, Lugar, Estado, Dir Ruta, Prox Prda, Prox Bus, and Dist Rorda. The table lists various vehicles with their current status and location. To the right, there's a sidebar titled 'Alertas' showing a list of emergency alerts with details like vehicle ID, date, and location.

Vehiculo	Fecha	Lugar	Estado	Dir Ruta	Prox Prda	Prox Bus	Dist Rorda
31 (0031)	[29-Aug 19:41]	CENTRA	40 km/h	S muni 91%		59 a 1.5km (4m 32s)	21.9
37 (0037)	[29-Aug 19:40]	aguilár batres y 45 calle guatemala	46 km/h	S muni 91%		59 a 643mts (2m 28s)	20.6
40 (0040)	[29-Aug 19:42]	Javier	16 km/h	S muni 84%	Monte Maria en 884mts	29 a 6.7km (22m 5s)	19.1
59 (0059)	[29-Aug 19:41]	aguilár batres y 48 calle villa nueva	50 km/h	O muni 84%	Monte Maria en 681mts	40 a 2.4km (8m 1s)	19.3
29 (0029)	[29-Aug 19:42]	20 calle y 2a av. zona 1, guatemala	34 km/h	O muni 55%	Don Bosco en 588mts	64 a 147mts (28s)	12.1
64 (0064)	[29-Aug 19:41]	21 calle y 3a av. zona 1, guatemala	paró	muni 43%	Muni en 401mts	45 a 1.3km (6m 16s)	10.9
45 (0045)	[29-Aug 19:40]	av. bolívar y 31 calle zona 3, guatemala	37 km/h	muni 37%	Semaforo 6av en 1.5km	57 a 1.3km (3m 45s)	9
57 (0057)	[29-Aug 19:42]	34 calle y av. bolívar zona 3, guatemala	45 km/h	muni 30%	Don Bosco en 1.2km	55 a 2.4km (8m 57s)	8.7
55 (0055)	[29-Aug 12:41]	aguilár batres y 16 calle zona 11, guatemala	44 km/h	E muni 24%	Santa Cecilia en 1.9km	59 a 159mts (34s)	5.9
51 (0051)	[29-Aug 19:41]	Carmen	0 km/h	muni 17%	Trebol Dir Norte en 2.9km		4.6
11 (0011)	[29-Aug 19:41]	av. bolívar y el trebol zona 3, guatemala	25 km/h	O trebol 100%		07 a 4.5km (12m 24s)	7.9
18 (0018)	[29-Aug 19:41]	48 calle y 18 av. villa nueva	42 km/h	S trebol 100%		07 a 1.8km (4m 2s)	14.7
07 (007)	[29-Aug 19:41]	aguilár batres y 1a av. guatemala	53 km/h	S trebol 96%	Descarga en 2.4km	14 a 7.3km (19m 40s)	18.3
14 (0014)	[29-Aug 19:41]	Amate	paró	trebol 93%	Descarga en 9.1km	34 a 5.9km (14m 38s)	11.3
34 (0034)	[29-Aug 19:41]	aguilár batres y 30 calle zona 12, guatemala	43 km/h	O trebol 82%	Descarga en 3.7km	10 a 1.4km (4m 19s)	10.9
10 (0010)	[29-Aug 19:41]	aguilár batres y 17 calle zona 11, guatemala	53 km/h	O trebol 79%	Descarga en 4.9km	22 a 425mts (1m)	15.7
22 (0022)	[30-Jul 15:19]	aguilár batres y 13 calle zona 11, guatemala	48 km/h	O trebol 72%	Descarga en 5.3km	07 a 3.3km	8.7
13 (0013)	[29-Aug 19:41]	Bolívar Sur	44 km/h	S trebol 65%	Descarga en 7.3km	20 a 204mts (28s)	12.5
20 (0020)	[29-Aug 19:41]	1a av. y 26 calle zona 1, guatemala	25 km/h	trebol 62%	Descarga en 8.2km	06 a 4.6km (9m 15s)	9.9
58 (0058)	[29-Aug 19:41]	11 calle y aguilár batres zona 11, guatemala	35 km/h	E trebol 62%	Descarga en 5.4km	06 a 1.6km (2m 51s)	6.9
06 (006)	[29-Aug 19:41]	Reformita Norte	49 km/h	E trebol 37%	Trebol Dir Norte en 1.9km	26 a 4.8km (12m 14s)	5.9
26 (0026)	[29-Aug 19:32]	Inicio Trebol	0 km/h	trebol 10%	Trebol Dir Norte en 6.5km		0.3

Las partes principales de ésta página son:

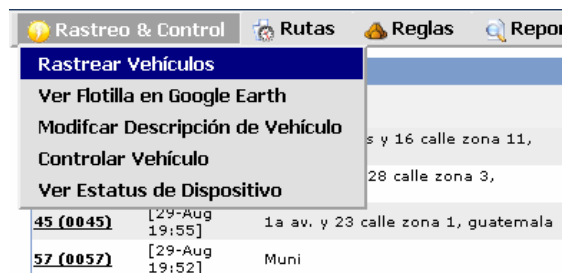
- **Menú** La cantidad de opciones dentro del menú varía según los derechos de acceso que tiene el usuario.

- **Lista de vehículos** esta lista es utilizada para enterarse de la dirección donde se encuentran los vehículos de interés al usuario y su estado: en movimiento o estacionado.
- **Lista de alertas** (banderas rojas) en esta lista aparecen las banderas alerta. Estos los envía el sistema o las reglas del usuario.

#### 4.5.1.3 Rastreo de vehículos

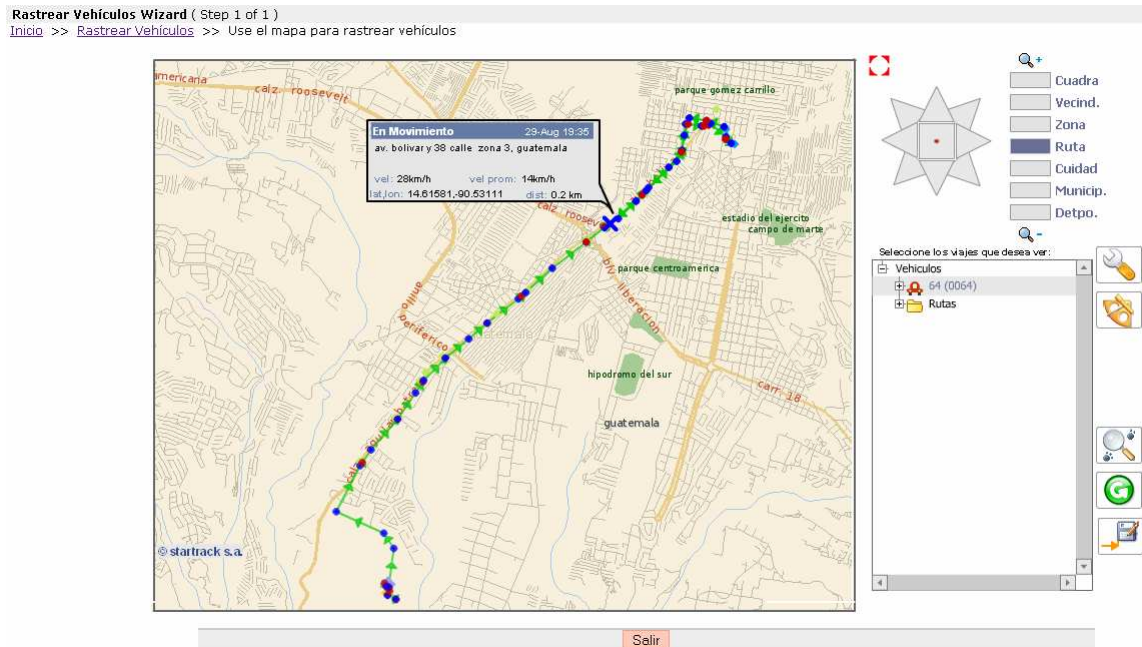
El asistente de rastreo de vehículos le permite ver los viajes que han hecho los vehículos y definir puntos de referencia sobre el mapa. El enlace hacia el asistente se encuentra bajo el folder de Rastreo y Control de Vehículos.

Figura 57. Menú para rastreo de unidades



Cuando se entra en el wizard, el primer y único paso de éste, le permite interactuar con el dibujo de los viajes.

Figura 58. Pantalla de rastreo de unidades



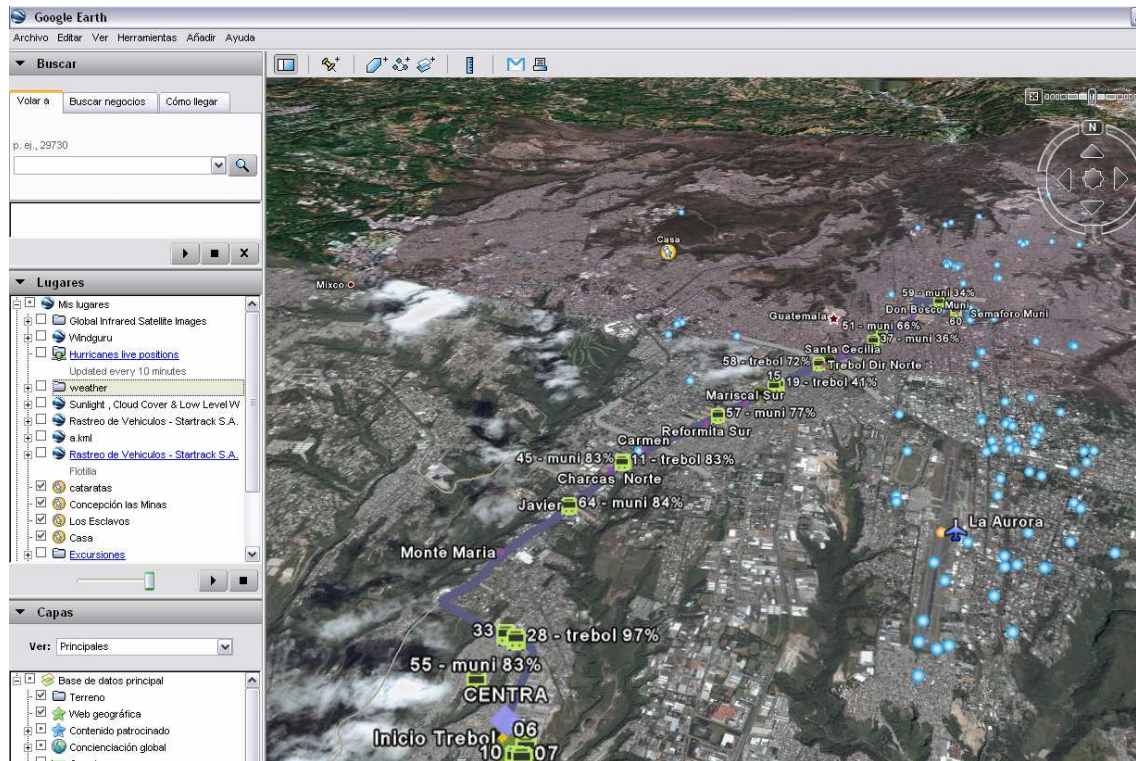
Las seis partes de esta pantalla son:

- **Barra de Zoom:** Sirve para ver el mapa de más cerca o de más lejos. Puede acercarse haciendo clic sobre la lupa de arriba (con un signo de +) o alejarse con la lupa de abajo (con un signo de -) o puede escoger un nivel de zoom directamente haciendo clic sobre el rectángulo al lado del nivel que desea.
- **Lista de Vehículos y Viajes:** Aquí aparecen los vehículos y sus viajes rastreados. Para ver la lista de viajes para un vehículo, haga clic sobre el símbolo + que aparece al costado de la descripción del vehículo. Cada viaje está representado por un icono seguido por la fecha de inicio, la hora de inicio y la hora del último punto. Para ver el dibujo de un viaje sobre el mapa, haga clic sobre la descripción del viaje en la lista. Puede escoger más de un vehículo o viaje manteniendo oprimida la tecla ctrl. y haciendo clic sobre los vehículos o viajes adicionales.

- **Barra de herramientas:** Estos botones permiten realizar varias acciones, las cuales se describen en las próximas secciones.
- **Mapa:** Este tiene como base las calles y carreteras sobre las cual se dibujan los viajes que usted escoge de la lista. Los puntos de los viajes tienen diferente color y forma según su tipo. Puede obtener información detallada sobre cualquier punto poniendo el ratón sobre él y dejándolo un momento. Puede mover el mapa haciendo clic sobre el lugar que quiere centrar o usando la rosa
- **Indicador de conexión:** Si aparece este símbolo rojo, usted recibirá automáticamente cualquier viaje nuevo que realicen los vehículos. De lo contrario, tendrá que utilizar el botón de recargar viajes.
- **Rosa cartográfica de navegación:** Con estas flechas, usted podrá mover el mapa en cualquiera de las direcciones cardinales. El programa para ver el mapa funciona más rápido si se utiliza la rosa en vez de hacer clic sobre el mapa.

Como se logra observar en el menú de rastreo, es también posible visualizar la flotilla en Google Earth, el cual es un software gratuito cuyo instalador puede bajarse de la página de Internet: <http://earth.google.es/download-earth.html>. Una vez instalado se puede hacer clic en la opción “Ver flotilla en Google Earth” en el software del AVL en el Menú de Rastreo & Control y automáticamente se ejecuta dicho programa y carga la información necesaria para visualizar la flotilla en tiempo real y con imágenes satelitales de alta definición (Figura 59). Está fuera del alcance de este informe la descripción de todas las opciones con las que cuenta este programa de computadora.

Figura 59. Rastreo de vehículos mediante Google Earth



#### 4.5.1.4 Reglas

El sistema puede automatizar parte de la supervisión de su flota definiendo las condiciones bajo las cuales quiere ser alertado. Se utiliza el siguiente procedimiento:

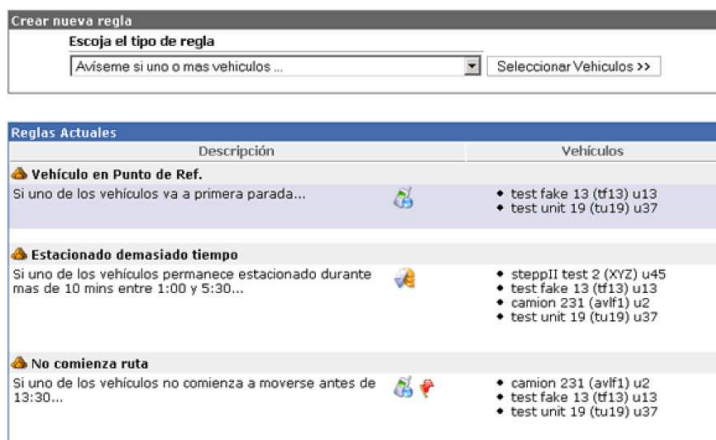
- Se entra en la opción de “Reglas”

Figura 60. Menú de Reglas



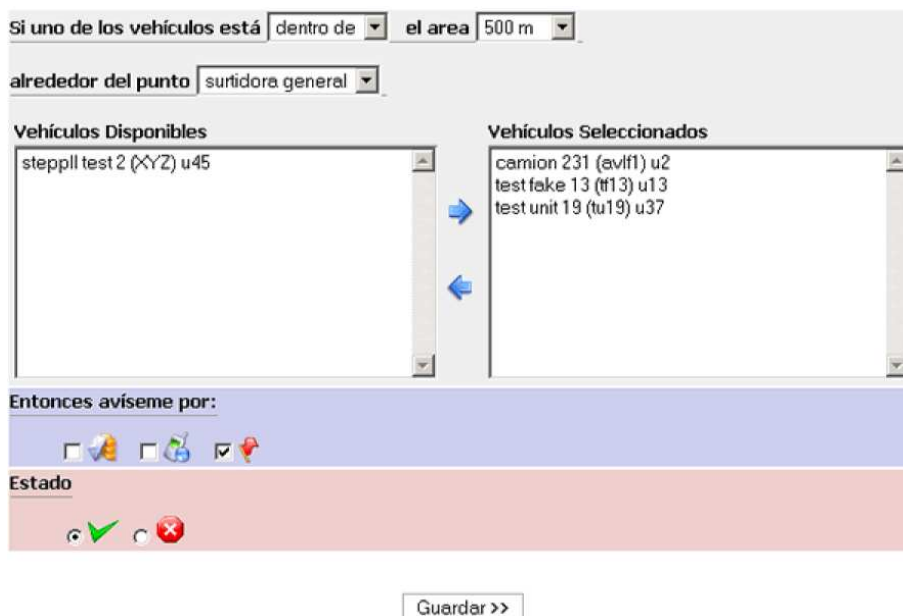
- Se ingresa en la siguiente pantalla:

Figura 61. Pantalla de visualización de reglas



Para definir una regla, escoja el tipo de regla que quiere definir y haga clic en “Continuar”. Para editar una regla que ya existe, haga clic sobre la descripción de la regla. En la siguiente pantalla, podrá definir y cambiar los vehículos a los que aplicará la regla y definir cualquier parámetro adicional de la regla. Seleccione los medios por los cuales quiere recibir el aviso y haga clic en “Grabar”.

Figura 62. Pantalla de configuración de reglas





### 4.5.1.5 Reportes

Una las partes del sistema que más sirve para mejorar los tiempos de viaje de los buses son los reportes. Invirtiendo un poco de tiempo para establecer puntos de referencia y grupos de vehículos, puede llegar a obtener información muy útil para mejorar la eficiencia de su distribución.

Es posible presentar reportes relacionando todos los datos del sistema, como por ejemplo el número de bus, la fecha, la hora, recorridos, tiempos de viaje, paradas, tipos de servicio, etc. A continuación un ejemplo de este tipo de reportes:

Figura 63. Ejemplo de visualización de reportes

Fecha	Evento	Lugar	Vel. Prom. (km/h)	Velocidad (km/h)	Dirección Mag.	Lat	Lon
29 Aug 19:12	paró	Inicio Trebol	0	0	0	14.56254	-90.5641
29 Aug 19:16		Inicio Muni	1	38	9	14.56336	-90.56376
29 Aug 19:17		48 calle y 16 av. villa nueva	43	49	9	14.56988	-90.56283
29 Aug 19:18		48 calle y 1a av. villa nueva	50	41	283	14.57378	-90.56928
29 Aug 19:19		aguiar batres y 46 calle guatemala	24	55	48	14.57736	-90.56963
29 Aug 19:20		aguiar batres y 40 calle guatemala	60	59	44	14.58483	-90.56436
29 Aug 19:21		aguiar batres y 34 calle zona 12, guatemala	55	50	31	14.59161	-90.55958
29 Aug 19:22		Carmen	40	37	47	14.59620	-90.55555
29 Aug 19:23		Reformita Sur	48	1	45	14.60076	-90.54996
29 Aug 19:24		Mariscal Sur	43	46	49	14.60493	-90.54503
29 Aug 19:25		aguiar batres y 8a calle zona 11, guatemala	39	53	46	14.60883	-90.54061
29 Aug 19:26		Trebol Dir Norte	43	42	54	14.61266	-90.53531
29 Aug 19:27		av. bolivar y 38 calle zona 3, guatemala	33	25	54	14.61561	-90.53131
29 Aug 19:28		av. bolivar y 33 calle zona 3, guatemala	23	32	44	14.61805	-90.52873
29 Aug 19:29		av. bolivar y 29 calle zona 3, guatemala	50	50	45	14.62213	-90.52475
29 Aug 19:29		av. bolivar y 29 calle zona 3, guatemala	50	50	45	14.62213	-90.52475
29 Aug 19:30		1a av. y 24 calle zona 1, guatemala	32	31	7	14.62616	-90.52196
29 Aug 19:31	paró	1a av. y 21 calle zona 1, guatemala	19	0	0	14.6291	-90.52153
29 Aug 19:31		1a av. y 21 calle zona 1, guatemala	0	0	0	14.6291	-90.52153
29 Aug 19:32		21 calle y 3a av. zona 1, guatemala	17	0	101	14.62888	-90.51893
29 Aug 19:33		Amate	20	9	276	14.63095	-90.51669
29 Aug 19:33	paró	Amate	0	0	0	14.63095	-90.51683
29 Aug 19:34	paró	Amate	1	0	0	14.63101	-90.51698
29 Aug 19:37		3a av. y 20 calle zona 1, guatemala	4	0	0	14.62983	-90.51868
29 Aug 19:37	paró	3a av. y 20 calle zona 1, guatemala	0	0	0	14.62983	-90.51868
29 Aug 19:38		20 calle y 1a av. zona 1, guatemala	18	17	266	14.63011	-90.52136
29 Aug 19:39	paró	23 calle y 1a av. zona 1, guatemala	17	0	0	14.62758	-90.5218
29 Aug 19:39		23 calle y 1a av. zona 1, guatemala	0	0	0	14.62758	-90.5218
29 Aug 19:40		av. bolivar y 27 calle zona 1, guatemala	24	35	228	14.62401	-90.52265
29 Aug 19:41		Bolivar Sur	48	44	220	14.61895	-90.52791
29 Aug 19:42		Santa Cecilia	43	44	241	14.61471	-90.53288
29 Aug 19:43		aguiar batres y 4a calle zona 11, guatemala	36	229	229	14.61156	-90.5374
29 Aug 19:44		aguiar batres y 11 calle zona 11, guatemala	47	28	231	14.60683	-90.5427
29 Aug 19:45		aguiar batres y 17 calle zona 11, guatemala	34	49	230	14.6034	-90.54666
29 Aug 19:46		aguiar batres y 24 calle zona 12, guatemala	41	42	230	14.59946	-90.55156
29 Aug 19:47		aguiar batres y 30 calle zona 12, guatemala	43	46	228	14.59538	-90.55663
29 Aug 19:48		aguiar batres y 35 calle zona 12, guatemala	43	39	214	14.59010	-90.56058
29 Aug 19:49		aguiar batres y 42 calle guatemala	49	50	236	14.58421	-90.56521
29 Aug 19:50		aguiar batres y 46 calle guatemala	54	50	227	14.57739	-90.56965
29 Aug 19:51		48 calle y 1a av. villa nueva	24	47	106	14.57376	-90.56918
29 Aug 19:52		48 calle y 16 av. villa nueva	49	38	177	14.57003	-90.56281
29 Aug 19:53		CENTRA	40	33	191	14.56408	-90.56394

### 4.3.2.1 Administración de Grupos y usuarios

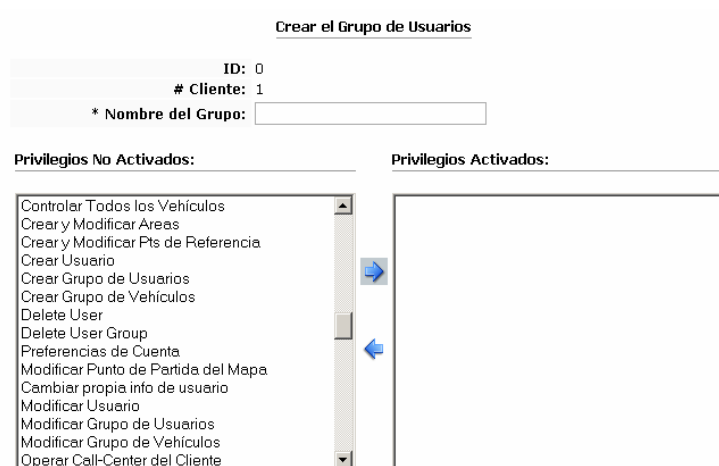
Los grupos de usuarios son importantes porque a éstos se le asignan diferentes niveles de acceso en el sistema. Por ejemplo, se puede crear un grupo de administradores y otro de supervisores de ruta. Los administradores deben tener más privilegios que los supervisores de ruta, ya que un administrador podrá cambiar las claves de los demás usuarios y ver los estados de cuenta.

Figura 64. Menú de manejo de usuarios



Al momento de crear usuarios es posible definir todas las características a las que tendrá acceso. Para esto se utiliza la siguiente pantalla:

Figura 65. Pantalla de creación y manejo de grupos





Luego de crear los grupos de usuarios necesarios, se requiere hacer cuentas para las personas que usarán el sistema. En la pantalla para crear o modificar un usuario, debe ingresar los campos obligatorios y seleccionar los grupos a cuales pertenece el usuario.

Figura 66. Pantalla de creación y manejo de usuarios

**Crear el Usuario**

ID: \_\_\_\_\_

# Cliente: 1

\* Nombre:

\* Apellido:

\* Usuario:

Clave:

Verify Clave:

Correo Electrónico (email):

Teléfono:

Celular:

Compañía de Celular:

Beeper:

\* Pregunta de seguridad:

\* Respuesta de seguridad:

Idioma:

Deleted:

Logins incorrectos: 0

# Logins: 0

Último Login: \_\_\_\_\_

Prefs: 0

Block Login:

Block Login Reason:

Fecha Creado: 2007-09-03

Fecha Cambiado: 2007-09-03

**Pertenece en estos grupos:**

- Admins
- Users
- Guests
- operador
- vip
- nostop

Existen otras funciones dentro del software, pero podríamos indicar que las anteriormente descritas son las más importantes y necesarias para poder implementar con éxito un sistema de AVL. Esto se logra mediante la integración del software y hardware de última tecnología que se describió a lo largo de todo el capítulo y los anteriores. Esto, aunado al resto de los componentes del proyecto, conforma una alternativa eficaz para darle solución al problema del transporte público mediante una plataforma tecnológica.



## CONCLUSIONES

1. Los sistemas de tráfico inteligente ITS pueden mejorar en gran medida el éxito de los sistemas BRT. A un costo relativamente bajo, las aplicaciones ITS pueden reemplazar algunas de las funciones que tradicionalmente se proveen por una infraestructura cara y difícil de mantener. Estas aplicaciones pueden ser usadas para trasladar información al pasajero, monitorear la operación de los buses, proveer prioridad en las intersecciones, mejorar la seguridad, etc.
2. El sistema de video-detección vehicular de presencia es una solución altamente configurable que requiere un menor mantenimiento y que implica una alternativa viable a los métodos tradicionales de detección a un costo razonable.
3. Los diferentes métodos de detección peatonal y vehicular son uno de los componentes indispensables al momento de implementar sistemas de semaforización responsiva al tráfico, ya que conforman la retroalimentación hacia el sistema de control.
4. La localización automática de vehículos (AVL) constituye una herramienta que mejora en gran medida la operación de un sistema BRT, ya que es posible controlar los tiempos de viaje de las flotillas y detectar cualquier falla a lo largo del recorrido de los buses para implementar alternativas inmediatas.



## RECOMENDACIONES

1. Debido a que el recorrido del sistema BRT de la ciudad de Guatemala denominado TRANSMETRO atraviesa un sector del Centro Histórico y no toma en cuenta los semáforos adyacentes para los cálculos de sincronía, se crean problemas de circulación en estas intersecciones, por lo que se recomienda la implementación de una planificación general para mejorar la interacción con el resto del sistema.
2. Ya que el sistema implementado cuenta con todos los requerimientos técnicos necesarios para crear una central de control y el único componente de este faltante es el medio de comunicación, se recomienda que éste se implemente, debido a que el mayor costo lo representa el equipo en sí y la relación costo/beneficio del medio de transmisión si justifica esta inversión adicional.
3. Debido a que el sistema de AVL está diseñado para control de vehículos en todo el país, éste cuenta con información cartográfica de toda la región del interior y esto implica un uso del ancho de banda innecesario al momento de rastrear los buses, ya que éstos están confinados al recorrido del transmetro. Por esta razón se recomienda una solución a la medida en cuanto al mapeo que incluya únicamente la información necesaria para el proyecto y así optimizar los recursos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Nokia Network, **GPRS System**, Brasil 2002.
2. Nortel Networks, **Helmsman GSM**, USA 2002.
3. Muñoz Rodríguez, David y otros, **Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal**, Marcombo, México 2002.
4. Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, [www.nema.org](http://www.nema.org), 2007.
5. Sistemas de Tráfico Inteligente de Siemens, [www.its.siemens.com](http://www.its.siemens.com), 2007.
6. SEMEX S.A., **Manual de operación del C-28**, 2003.
7. SIEMENS, **Eagle traffic control systems**, Feb. 2002.





## **ANEXO**

**NEMA Standards Publication TS 2-2003 v02.06**

*Traffic Controller Assemblies  
with NTCIP Requirements*

*Published by:*

National Electrical Manufacturers Association  
1300 North 17th Street, Suite 1847  
Rosslyn, Virginia 22209

[www.nema.org](http://www.nema.org)

© Copyright 2003 by the National Electrical Manufacturers Association. All rights including translation into other languages, reserved under the Universal Copyright Convention, the Berne Convention or the Protection of Literary and Artistic Works, and the International and Pan American Copyright Conventions.

## NOTICE AND DISCLAIMER

The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. Consensus does not necessarily mean that there is unanimous agreement among every person participating in the development of this document.

The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) standards and guideline publications, of which the document contained herein is one, are developed through a voluntary consensus standards development process. This process brings together volunteers and/or seeks out the views of persons who have an interest in the topic covered by this publication. While NEMA administers the process and establishes rules to promote fairness in the development of consensus, it does not write the document and it does not independently test, evaluate, or verify the accuracy or completeness of any information or the soundness of any judgments contained in its standards and guideline publications.

NEMA disclaims liability for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of, application, or reliance on this document. NEMA disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein, and disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfill any of your particular purposes or needs. NEMA does not undertake to guarantee the performance of any individual manufacturer or seller's products or services by virtue of this standard or guide.

In publishing and making this document available, NEMA is not undertaking to render professional or other services for or on behalf of any person or entity, nor is NEMA undertaking to perform any duty owed by any person or entity to someone else. Anyone using this document should rely on his or her own independent judgment or, as appropriate, seek the advice of a competent professional in determining the exercise of reasonable care in any given circumstances. Information and other standards on the topic covered by this publication may be available from other sources, which the user may wish to consult for additional views or information not covered by this publication.

NEMA has no power, nor does it undertake to police or enforce compliance with the contents of this document. NEMA does not certify, test, or inspect products, designs, or installations for safety or health purposes. Any certification or other statement of compliance with any health or safety-related information in this document shall not be attributable to NEMA and is solely the responsibility of the certifier or maker of the statement.

## CONTENTS

	Page
Foreword .....	xv
Scope .....	xvi
History .....	xix
TS 2-1998 Update .....	xxi
TS 2-2003 Update .....	xxii
 <b>Section 1 DEFINITIONS</b>	
1.1 Control Equipment .....	1
1.1.1 Auxiliary Equipment .....	1
1.1.2 Barrier .....	1
1.1.3 Cabinet .....	1
1.1.4 Call .....	1
1.1.4.1 Serviceable Conflicting Call .....	1
1.1.5 Check .....	1
1.1.6 Connector .....	1
1.1.6.1 Not Used Connections .....	1
1.1.6.2 Reserved Connections .....	2
1.1.6.3 Spare Connections .....	2
1.1.7 Controller Assembly .....	2
1.1.7.1 Flasher Controller Assembly .....	2
1.1.7.2 Full-Traffic-Actuated Controller Assembly .....	2
1.1.7.3 Isolated Controller Assembly .....	2
1.1.7.4 Master Controller Assembly .....	2
1.1.7.5 Master-Secondary Controller Assembly .....	2
1.1.7.6 Occupancy Controller Assembly .....	2
1.1.7.7 Pedestrian-Actuated Controller Assembly .....	2
1.1.7.8 Pretimed Controller Assembly .....	2
1.1.7.9 Secondary Controller Assembly (Slave) .....	2
1.1.7.10 Semi-Traffic-Actuated Controller Assembly .....	3
1.1.7.11 Traffic-Actuated Controller Assembly .....	3
1.1.8 Controller Unit .....	3
1.1.8.1 Digital Controller Unit .....	3
1.1.8.2 Multi-Ring Controller Unit .....	3
1.1.8.3 Single-Ring Controller Unit .....	3
1.1.9 Coordination .....	3
1.1.10 Coordinator .....	3
1.1.11 Cycle .....	3
1.1.11.1 Cycle Length .....	3
1.1.12 Density .....	3
1.1.13 Detector .....	3
1.1.14 Device .....	3
1.1.14.1 Electromechanical Device .....	3
1.1.14.2 Electronic Device .....	3
1.1.14.3 Solid-State Device .....	4
1.1.15 Dial .....	4
1.1.16 Dwell .....	4
1.1.17 Extension, Unit .....	4
1.1.18 Entry .....	4
1.1.18.1 Dual Entry .....	4
1.1.18.2 Single Entry .....	4

1.1.19 Flasher .....	4
1.1.20 Force Off .....	4
1.1.21 Gap Reduction .....	4
1.1.22 Hold .....	4
1.1.23 Interconnect .....	4
1.1.24 Interval .....	4
1.1.24.1 Minimum Green Interval .....	4
1.1.24.2 Pedestrian Clearance Interval .....	4
1.1.24.3 Red Clearance Interval .....	4
1.1.24.4 Sequence, Interval .....	5
1.1.24.5 Yellow Change Interval .....	5
1.1.25 Manual .....	5
1.1.25.1 Manual Operation .....	5
1.1.25.2 Manual Pushbutton .....	5
1.1.26 Maximum Green .....	5
1.1.27 Memory .....	5
1.1.27.1 Detector Memory .....	5
1.1.27.2 Nonlocking Memory .....	5
1.1.27.3 Non-Volatile Memory .....	5
1.1.27.4 Volatile Memory .....	5
1.1.27.5 Random Access Memory (RAM) .....	5
1.1.27.6 Read Only Memory (ROM) .....	5
1.1.27.7 Programmable Read Only Memory (PROM) .....	5
1.1.27.8 Programmable Read Only Memory (EPROM) .....	5
1.1.28 Malfunction Management Unit .....	5
1.1.29 Modular Design .....	6
1.1.30 Offset .....	6
1.1.31 Omit, Phase (Special Skip, Force Skip) .....	6
1.1.32 Overlap .....	6
1.1.33 Passage Time .....	6
1.1.34 Pattern .....	6
1.1.35 Phase .....	6
1.1.35.1 Traffic Phase .....	6
1.1.35.2 Conflicting Phases .....	6
1.1.35.3 Nonconflicting Phases .....	6
1.1.35.4 Pedestrian Phase .....	6
1.1.35.5 Phase Sequence .....	6
1.1.35.6 Parent Phase .....	6
1.1.35.7 Vehicle Phase .....	6
1.1.36 Portion .....	6
1.1.36.1 Extensible Portion .....	6
1.1.36.2 Initial Portion .....	7
1.1.36.3 Interval Portion .....	7
1.1.37 Preemption .....	7
1.1.38 Preemptor, Traffic Controller .....	7
1.1.39 Preferred Sequence .....	7
1.1.40 Progression .....	7
1.1.41 Red Indication, Minimum (Red Revert) .....	7
1.1.42 Rest .....	7
1.1.43 Ring .....	7
1.1.44 Split .....	7
1.1.45 Suppressors .....	7
1.1.45.1 Suppressor, Radio Interference .....	7
1.1.45.2 Suppressor, Transient .....	8
1.1.46 Switch .....	8

1.1.46.1 Auto/Manual Switch.....	8
1.1.46.2 Flash Control Switch.....	8
1.1.46.3 Power Line Switch (Disconnect Switch).....	8
1.1.46.4 Recall Switch.....	8
1.1.46.5 Signal Load Switch.....	8
1.1.46.6 Signal Shut-Down Switch.....	8
1.1.47 Time Base Control.....	8
1.1.48 Terminals, Field.....	8
1.1.49 Timing.....	8
1.1.49.1 Analog Timing.....	8
1.1.49.2 Concurrent Timing.....	8
1.1.49.3 Digital Timing.....	8
1.1.49.4 Timing Plan.....	8
1.1.50 Yield.....	8
1.2 Detectors.....	8
1.2.1 Actuation.....	8
1.2.2 Antenna.....	9
1.2.3 Call.....	9
1.2.4 Detection.....	9
1.2.4.1 Advisory Detection.....	9
1.2.4.2 Passage Detection.....	9
1.2.4.3 Presence Detection.....	9
1.2.5 Detector.....	9
1.2.5.1 Bidirectional Detector.....	9
1.2.5.2 Calling Detector.....	9
1.2.5.3 Classification Detector.....	9
1.2.5.4 Directional Detector.....	9
1.2.5.5 Extension Detector.....	9
1.2.5.6 Infrared Detector.....	9
1.2.5.7 Light-Sensitive Detector.....	9
1.2.5.8 Loop Detector.....	9
1.2.5.9 Magnetic Detector.....	10
1.2.5.10 Magnetometer Detector.....	10
1.2.5.11 Nondirectional Detector.....	10
1.2.5.12 Pedestrian Detector.....	10
1.2.5.13 Pneumatic Detector.....	10
1.2.5.14 Pressure-Sensitive Detector.....	10
1.2.5.15 Radar Detector.....	10
1.2.5.16 System Detector.....	10
1.2.5.17 Side-Fire Detector.....	10
1.2.5.18 Sound-Sensitive Vehicle Detector.....	10
1.2.5.19 Ultrasonic Detector.....	10
1.2.6 Detector Mode.....	10
1.2.7 Inductive Loop Detector System.....	10
1.2.8 Inductive Loop Detector Unit.....	11
1.2.9 Lead-in Cable.....	11
1.2.10 Output.....	11
1.2.10.1 Extension Output.....	11
1.2.10.2 Delayed Output.....	11
1.2.11 Probe.....	11
1.2.12 Sensor.....	11
1.2.13 Vehicle Detector System.....	11
1.2.14 Zone of Detection (Sensing Zone).....	11
1.3 Signal.....	11
1.4 Cross-Reference Definitions.....	12

**Section 2 ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS**

- 2.1 Environmental and Operating Standards..... 13
  - 2.1.1 Definitions of Major Units of the Controller Assembly ..... 13
  - 2.1.2 Operating Voltage..... 13
  - 2.1.3 Operating Frequency ..... 13
  - 2.1.4 Power Interruption ..... 13
    - 2.1.4.1 Field Terminal Outputs ..... 13
  - 2.1.5 Temperature and Humidity ..... 14
    - 2.1.5.1 Ambient Temperature..... 14
    - 2.1.5.2 Humidity..... 14
  - 2.1.6 Transients, Power Service..... 14
    - 2.1.6.1 High-Repetition Noise Transients..... 14
    - 2.1.6.2 Low-Repetition High-Energy Transients..... 15
  - 2.1.7 Transients, Input-Output Terminals ..... 15
  - 2.1.8 Nondestruct Transient Immunity..... 15
  - 2.1.9 Vibration ..... 15
  - 2.1.10 Shock ..... 15
- 2.2 Controller Unit Tests ..... 15
  - 2.2.1 Timing Accuracy ..... 16
    - 2.2.1.1 Deviation..... 16
    - 2.2.1.2 Setability and Repeatability ..... 16
  - 2.2.2 Timing ..... 16
  - 2.2.3 Vibration ..... 16
  - 2.2.4 Shock ..... 16
  - 2.2.5 Test Facilities ..... 16
  - 2.2.6 Test Unit ..... 16
  - 2.2.7 Test Procedure: Transients, Temperature, Voltage, and Humidity ..... 16
    - 2.2.7.1 Test A: Placement in Environment Chamber and Check-Out of Hook-Up ..... 16
    - 2.2.7.2 Test B: Transient Tests (Power Service)..... 17
    - 2.2.7.3 Test C: Low-Temperature Low-Voltage Tests ..... 19
    - 2.2.7.4 Test D: Low-Temperature High-Voltage Tests..... 20
    - 2.2.7.5 Test E: High-Temperature High-Voltage Tests ..... 20
    - 2.2.7.6 Test F: High-Temperature Low-Voltage Tests ..... 21
    - 2.2.7.7 Test G: Test Termination..... 21
    - 2.2.7.8 Test H: Appraisal of Equipment Under Test..... 21
  - 2.2.8 Vibration Test..... 22
    - 2.2.8.1 Purpose of Test ..... 22
    - 2.2.8.2 Test Equipment Requirements ..... 22
    - 2.2.8.3 Resonant Search..... 22
    - 2.2.8.4 Endurance Test ..... 23
    - 2.2.8.5 Disposition of Equipment Under Test..... 23
  - 2.2.9 Shock (Impact) Test..... 23
    - 2.2.9.1 Purpose of Test ..... 23
    - 2.2.9.2 Test Equipment Requirements ..... 23
    - 2.2.9.3 Test Procedure ..... 25
    - 2.2.9.4 Disposition of Test Unit..... 25
  - 2.2.10 Power Interruption Tests ..... 25
    - 2.2.10.1 500-Millisecond Power Interruption ..... 25
    - 2.2.10.2 1000-Millisecond Power Interruption ..... 25
  - 2.2.11 Timing Accuracy Tests ..... 26
    - 2.2.11.1 Setability ..... 26
    - 2.2.11.2 Repeatability..... 26
- 2.3 Malfunction Management Unit Tests ..... 26

2.3.1 Test Facilities .....	26
2.3.2 Standard Setup .....	26
2.3.3 Ground Isolation Test .....	27
2.3.4 1500 pF Input Test .....	27
2.3.5 Conflict Low Voltage Test .....	27
2.3.6 Conflict High Voltage Test .....	27
2.3.7 Red Input Test .....	27
2.3.8 Minimum Yellow Change/Red Clearance Interval .....	28
2.3.9 Port 1 Timeout .....	28
2.3.10 DC Voltage Monitoring .....	28
2.3.11 MMU Power Failure .....	29
2.3.12 Permissive Programming .....	29
2.3.13 Continuous Reset .....	29
2.3.14 Transient Tests .....	29
2.4 Terminal and Facilities Tests .....	30
2.5 Load Switch Tests .....	30
2.5.1 Test Procedure for PIV and DV/DT Testing .....	30
2.6 Flasher Tests .....	31
2.6.1 Test Procedure for PIV and DV/DT Testing .....	31
2.7 Flash Transfer Relay Tests .....	31
2.8 Loop Detector Unit Tests .....	32
2.8.1 Environmental Requirements .....	32
2.8.1.1 Voltage, DC Supply .....	32
2.8.1.2 Temperature and Humidity .....	32
2.8.1.3 Transients, DC Powered Units .....	32
2.8.1.4 Transients, Loop Detector Input Terminals .....	33
2.8.1.5 Vibration .....	33
2.8.1.6 Shock .....	35
2.9 Bus Interface Unit Tests .....	35

### Section 3 CONTROLLER UNITS

3.1 Definitions .....	36
3.1.1 CRC (Cyclic Redundancy Check) .....	36
3.1.2 Load Switch Driver Group .....	36
3.2 Physical Standards .....	36
3.2.1 Dimensions .....	36
3.2.2 Design .....	36
3.2.3 Material and Construction of Rigid Printed Circuit Assemblies .....	36
3.2.3.1 Materials .....	36
3.2.3.2 Mating Surfaces .....	37
3.2.3.3 Component Identification .....	37
3.3 Interface Standards .....	37
3.3.1 Port 1 Physical and Protocol .....	37
3.3.1.1 Connector .....	37
3.3.1.2 Electrical Interface .....	38
3.3.1.3 Data and Clock Communications Protocol .....	39
3.3.1.4 Information Field Formats .....	42
3.3.1.5 Framing Timing .....	72
3.3.2 Port 2 Interface .....	75
3.3.2.1 Unit to Printer .....	75
3.3.2.2 Unit to Personal Computer .....	76
3.3.3 Port 3 System Interface .....	76
3.3.3.1 Connector .....	76
3.3.3.2 Interface .....	76
3.3.4 Type 1—Interface Standards .....	76



3.3.5 Type 2—Interface Standards.....	77
3.3.5.1 Electrical Limits of Input/Output Terminations.....	77
3.3.5.2 Pin Connections.....	78
3.3.6 NTCIP Requirements.....	81
3.4 Pretimed Control.....	84
3.4.1 Definitions.....	84
3.4.1.1 Signal Plan.....	84
3.4.2 General.....	84
3.4.2.1 Timing Plans.....	84
3.4.2.2 Intervals.....	85
3.4.2.3 Signal Plans.....	85
3.4.2.4 Offset.....	86
3.4.2.5 Sync Monitor.....	86
3.4.2.6 Manual Control.....	86
3.4.2.7 Free Mode.....	86
3.4.3 Initialization.....	87
3.4.4 Actuated Movements.....	87
3.4.4.1 Provision for Storing a Demand.....	87
3.4.4.2 Placement of Vehicle Recall.....	87
3.4.4.3 Placement of Pedestrian Recall.....	87
3.4.5 External Interface.....	87
3.4.5.1 Pin Connections.....	87
3.4.5.2 Inputs.....	89
3.4.5.3 Outputs.....	93
3.4.6 Priority of Input Functions.....	95
3.4.7 Indications.....	95
3.5 Actuated Control.....	96
3.5.1 Definitions.....	96
3.5.1.1 Ring.....	96
3.5.1.2 Barrier (Compatibility Line).....	96
3.5.1.3 Multi-Ring Controller Unit.....	96
3.5.1.4 Single-Ring Controller Unit.....	97
3.5.1.5 Dual Entry.....	97
3.5.1.6 Single Entry.....	97
3.5.1.7 Pedestrian Recycle.....	97
3.5.1.8 Preferred Sequence.....	97
3.5.2 General.....	97
3.5.2.1 Pin Connections.....	98
3.5.3 Per Phase.....	101
3.5.3.1 Time Settings.....	101
3.5.3.2 Phase Intervals.....	101
3.5.3.3 Phase Selection Points.....	108
3.5.3.4 Provision for Storing a Demand.....	108
3.5.3.5 Placement of Maximum Recall.....	108
3.5.3.6 Placement of Minimum Recall.....	108
3.5.3.7 Placement of Pedestrian Recall.....	108
3.5.3.8 Placement of Call at Phase Termination.....	108
3.5.3.9 Conditional Service.....	108
3.5.3.10 Automatic Pedestrian Clearance.....	109
3.5.3.11 Inputs.....	109
3.5.3.12 Outputs.....	109
3.5.4 Per Ring.....	109
3.5.4.1 Inputs.....	110
3.5.4.2 Outputs.....	111
3.5.5 Per Unit.....	111

3.5.5.1 Initialization.....	112
3.5.5.2 Simultaneous Gap Out.....	112
3.5.5.3 Dual Entry.....	113
3.5.5.4 Alternate Sequences.....	113
3.5.5.5 Inputs.....	114
3.5.5.6 Outputs.....	118
3.5.5.7 Red Revert.....	119
3.5.6 Priority of Input Functions.....	118
3.5.7 Indications.....	118
3.5.8 Overlaps.....	119
3.6 Actuated Coordination.....	119
3.6.1 Definitions.....	119
3.6.1.1 Permissive.....	120
3.6.2 Operation.....	119
3.6.2.1 Timing Plans.....	120
3.6.2.2 Offset.....	121
3.6.2.3 Sync Monitor.....	121
3.6.2.4 Manual Control.....	121
3.6.2.5 Free Mode.....	121
3.6.3 Command Priority.....	121
3.6.4 External Interface.....	121
3.6.5 Indications.....	122
3.7 Preemption.....	122
3.7.1 Definitions.....	122
3.7.2 Operation.....	122
3.7.2.1 Input Priority.....	124
3.7.2.2 Memory.....	125
3.7.3 External Interface.....	124
3.7.4 Indications.....	124
3.8 Time Base.....	124
3.8.1 Definitions.....	124
3.8.1.1 Coordinated Universal Time.....	126
3.8.2 Operation.....	125
3.8.3 External Interface.....	125
3.8.4 Indications.....	125
3.9 Miscellaneous.....	126
3.9.1 Flash.....	126
3.9.1.1 Start-Up Flash.....	127
3.9.1.2 Automatic Flash.....	127
3.9.2 Dimming.....	127
3.9.3 Diagnostics.....	127
3.9.3.1 Automatic Diagnostics.....	128
3.10 Future.....	133
3.11 Programming.....	133
3.11.1 Entry.....	133
3.11.2 Display.....	133
3.11.3 Security.....	133
3.11.4 Backup.....	133
3.12 Power Interruption.....	134

#### **Section 4 MALFUNCTION MANAGEMENT UNIT**

4.1 Overview.....	135
4.1.1 Basic Capability.....	135
4.1.2 TS 1-1989 Compatibility.....	135
4.2 Physical.....	136

4.2.1 Accessibility .....	136
4.2.2 Material and Construction of Printed Circuit Assemblies.....	136
4.2.3 Environmental Requirements .....	136
4.2.4 Size .....	136
4.3 Interface Standards.....	136
4.3.1 Port 1 Connector.....	136
4.3.2 Pin Connections.....	136
4.3.2.1 Connectors .....	137
4.3.2.2 Pin Assignments.....	137
4.3.3 Inputs .....	140
4.3.3.1 AC Line.....	140
4.3.3.2 AC Neutral .....	140
4.3.3.3 Earth Ground .....	140
4.3.3.4 Logic Ground .....	140
4.3.3.5 +24V Monitor DC Inputs .....	140
4.3.3.6 Control Inputs .....	140
4.3.3.7 Cabinet Interlock.....	140
4.3.3.8 Field Terminals .....	141
4.3.3.9 Red Enable .....	141
4.3.3.10 Type Select Input.....	141
4.3.3.11 Local Flash Status .....	142
4.3.4 Outputs .....	142
4.3.4.1 Output Relay.....	142
4.3.4.2 Start-Delay Control .....	142
4.3.5 Display .....	142
4.3.6 Control and Programming .....	143
4.3.6.1 Minimum Flash Programming .....	144
4.3.6.2 Minimum Yellow Change Channel Disable Programming .....	144
4.3.6.3 Voltage Monitor Latch Programming .....	144
4.3.7 Compatibility Programming .....	144
4.3.7.1 Connector P1 Programming Card Pin Connections.....	145
4.3.7.2 Connector P2 Programming Card Pin Connections.....	145
4.4 Functions .....	146
4.4.1 MMU Power Failure .....	146
4.4.2 Minimum Flashing Indication .....	146
4.4.3 Conflict Monitoring .....	146
4.4.4 Red Monitoring .....	147
4.4.5 Minimum Yellow Change / Red Clearance Interval Monitoring.....	147
4.4.5.1 Yellow Plus Red Interval .....	147
4.4.5.2 Yellow Change Interval.....	147
4.4.6 Port 1 Timeout .....	148
4.4.7 Voltage Monitoring.....	148
4.4.7.1 Volt Direct Current Supply Monitor .....	148
4.4.7.2 Volt Monitor Inhibit Input.....	148
4.4.8 Controller Voltage/Fault Monitor Input.....	149
4.4.9 Reset .....	149
4.5 Diagnostics .....	149
4.5.1 Memory .....	149
4.5.2 Microprocessor Monitor .....	150

**Section 5 TERMINALS AND FACILITIES**

5.1 Definitions .....	151
5.1.1 Cabinet .....	151
5.1.2 Flash Bus .....	151
5.1.3 Earth Ground .....	151

5.1.4 Logic Ground .....	151
5.1.5 Primary Feed .....	151
5.1.6 Signal Bus .....	151
5.1.7 Terminal(s).....	151
5.2 Physical .....	151
5.2.1 Material .....	151
5.2.2 Terminal Identification .....	151
5.2.3 Component Identification.....	152
5.2.4 Printed Circuits .....	152
5.2.5 Wire .....	152
5.2.6 Wiring .....	152
5.2.7 Layout .....	153
5.2.8 Load Switch and Flasher Support .....	153
5.3 Interface .....	153
5.3.1 Type 1 Controller Interface.....	153
5.3.1.1 Load Switch and Flasher Positions .....	153
5.3.1.2 Input/Output Terminals.....	154
5.3.1.3 Power and Control Terminals.....	157
5.3.1.4 BIU Interface.....	157
5.3.2 Type 2 Controller Interface.....	163
5.3.2.1 Load Switch and Flash Transfer Positions .....	163
5.3.2.2 Interface Terminals.....	163
5.3.2.3 Input/Output Mode.....	163
5.3.3 Port 1 Communication Cables.....	163
5.3.4 Detector Rack.....	164
5.3.4.1 Dimensions.....	164
5.3.4.2 Design .....	165
5.3.4.3 Detector Rack BIU.....	165
5.3.4.4 Detector Loop Connections.....	167
5.3.4.5 Power Supply Connections .....	167
5.3.5 Power Supply.....	168
5.3.5.1 Dimensions.....	168
5.3.5.2 Environmental Requirements .....	168
5.3.5.3 Electrical Requirements.....	168
5.3.5.4 Power Supply Inputs.....	168
5.3.6 Field Terminals .....	169
5.3.6.1 General.....	169
5.3.6.2 Number and Size of Terminals.....	170
5.3.6.3 Field Terminal Nomenclature .....	170
5.3.7 Terminal Types and Practices .....	171
5.4 Electrical Requirements.....	171
5.4.1 AC Service.....	171
5.4.2 Power Distribution Within Cabinet.....	171
5.4.2.1 Grounding System.....	171
5.4.2.2 Disconnecting Means .....	173
5.4.2.3 Signal Bus .....	173
5.4.2.4 AC Service Transient Suppression .....	173
5.4.2.5 Radio Interference Suppression.....	173
5.4.2.6 Convenience Receptacle .....	173
5.4.2.7 Lighting Fixture .....	173
5.4.3 Communications Transient Suppression.....	174
5.5 Control Circuits .....	174
5.5.1 Auto/Flash Switch.....	174
5.5.2 Flash Transfer Control.....	174
5.5.3 Malfunction Management Unit.....	174

## Section 6 AUXILIARY DEVICES

6.1 Definitions .....	177
6.2 Three-Circuit Solid State Load Switches .....	177
6.2.1 Physical Characteristics .....	177
6.2.2 General Electrical Characteristics .....	178
6.2.3 Input Electrical Characteristics .....	179
6.2.4 Output Electrical Characteristics .....	179
6.3 Solid State Flashers.....	180
6.3.1 Type of Flasher.....	180
6.3.2 Physical Characteristics .....	180
6.3.3 General Electrical Characteristics .....	181
6.4 Flash Transfer Relays.....	182
6.4.1 Environmental Requirements .....	182
6.4.1.1 Temperature and Humidity.....	183
6.4.1.2 Vibration and Shock .....	183
6.4.1.3 Transients.....	183
6.4.2 Mechanical Requirements .....	182
6.4.2.1 Enclosure.....	183
6.4.2.2 Contacts and Connector.....	183
6.4.2.3 Dimensions.....	183
6.4.3 Electrical Requirements.....	182
6.4.3.1 Contact Rating.....	183
6.4.3.2 Contact Material .....	183
6.4.3.3 Coil Rating .....	184
6.4.3.4 Insulation .....	184
6.5 Inductive Loop Detector Units.....	184
6.5.1 Loop Detector Unit Definitions.....	184
6.5.1.1 Channel .....	185
6.5.1.2 Crosstalk.....	185
6.5.1.3 Detector Mode .....	185
6.5.1.4 Lead-In Cable .....	185
6.5.1.5 Loop Detector System.....	185
6.5.1.6 Loop Detector Unit.....	185
6.5.1.7 Reset Channel.....	185
6.5.1.8 Reset Unit.....	185
6.5.1.9 Sensor Loop .....	185
6.5.1.10 Vehicle Detector System .....	186
6.5.1.11 Zone of Detection .....	186
6.5.2 Functional Standards.....	185
6.5.2.1 Operation.....	186
6.5.2.2 Configurations and Dimensions .....	186
6.5.2.3 Accessibility .....	188
6.5.2.4 Material and Construction of Rigid Printed Circuit Assemblies.....	188
6.5.2.5 Power Inputs.....	188
6.5.2.6 Logic Ground .....	188
6.5.2.7 Earth Ground .....	188
6.5.2.8 DC Control Inputs.....	188
6.5.2.9 Data Receive (RX) Input.....	189
6.5.2.10 Loop Inputs.....	189
6.5.2.11 Loop/Lead in Electrical Properties.....	190
6.5.2.12 Test Loop Configurations .....	190
6.5.2.13 Test Vehicle Definition.....	190
6.5.2.14 Sensitivity .....	191
6.5.2.15 Sensitivity Control.....	191

6.5.2.16 Approach Speed.....	191
6.5.2.17 Modes of Operation.....	192
6.5.2.18 Recovery from Sustained Occupancy.....	192
6.5.2.19 Response Time.....	192
6.5.2.20 Tuning.....	192
6.5.2.21 Self-Tracking.....	193
6.5.2.22 Recovery From Reset.....	193
6.5.2.23 Crosstalk Avoidance.....	193
6.5.2.24 Delay/Extension.....	193
6.5.2.25 Controls and Indicators.....	194
6.5.2.26 Outputs.....	195
6.5.2.27 Communication Port Functional Requirements.....	197
6.5.2.28 Electrical Connections.....	198

## Section 7 CABINETS

7.1 Definitions.....	199
7.2 Materials.....	199
7.2.1 Cabinets of Ferrous Material.....	199
7.2.2 Cabinets of Aluminum Alloy.....	199
7.2.2.1 Cabinets of Aluminum Alloy.....	200
7.2.2.2 Cast Aluminum.....	200
7.3 Cabinet Dimensions.....	200
7.4 Top Surface Construction.....	200
7.5 Doors.....	200
7.5.1 Main Cabinet Door.....	200
7.5.2 Hinges.....	200
7.5.3 Door Stop.....	200
7.5.4 Latches and Locking Mechanism.....	200
7.5.4.1 Latching.....	201
7.5.4.2 Rotation of Handle.....	201
7.5.4.3 Locks.....	202
7.5.4.4 Provisions for Padlock.....	202
7.5.5 Door Opening.....	201
7.5.6 Gasketing.....	201
7.5.7 Police Compartment.....	201
7.5.7.1 Door.....	202
7.5.7.2 Locks.....	202
7.5.7.3 Compartment Size.....	202
7.6 Shelves.....	201
7.6.1 Positioning.....	201
7.7 Finish and Surface Preparation.....	202
7.7.1 Steel Cabinets.....	202
7.7.1.1 Preparation.....	203
7.7.1.2 Prime Coat.....	203
7.7.1.3 Interior Surfaces.....	203
7.7.1.4 Exterior Surfaces.....	203
7.7.2 Aluminum Cabinets.....	202
7.7.2.1 Preparation: Painted Cabinets.....	203
7.7.2.2 Prime Coat.....	203
7.7.2.3 Interior Surfaces.....	203
7.7.2.4 Exterior Surfaces.....	203
7.7.3 Unpainted Aluminum Cabinets.....	202
7.8 Cabinet Mounting.....	202
7.8.1 Pole-Mounted Cabinets.....	202
7.8.2 Pedestal-Mounted Cabinets.....	202

7.8.3 Base-Mounted Cabinets .....	203
7.8.3.1 Sizes 3, 4, and 5 .....	204
7.8.3.2 Sizes 6 and 7 .....	204
7.8.4 Anchor Bolts .....	203
7.9 Cabinet Ventilation .....	204
7.9.1 Fan or Cooling System Design .....	204
7.9.2 Fan or Cooling System Operation .....	204
7.9.2.1 Operating Conditions .....	205
7.9.2.2 Fan or Cooling System Controls .....	205
7.9.2.3 Filter .....	205

**Section 8 BUS INTERFACE UNIT**

8.1 General .....	205
8.2 Physical .....	205
8.2.1 Material .....	205
8.2.2 Printed Circuits .....	205
8.2.3 Dimensions .....	205
8.3 Configurations .....	205
8.4 Environmental Requirements .....	205
8.5 Power Requirements .....	206
8.5.1 Initialization .....	206
8.6 Indicators .....	207
8.6.1 Power on Indicator .....	207
8.6.2 Port 1 Indicator .....	207
8.6.3 Rack TX Indicator (BIU2 Only) .....	207
8.7 BIU-to-Rack Communication Port Functional Requirements (BIU2 Only) .....	207
8.7.1 Communication Port Electrical Requirements .....	207
8.7.2 Baud Rate .....	207
8.8 Interface Requirements .....	207
8.8.1 Port 1 Communications .....	207
8.8.2 Port 1 Connector .....	207
8.8.2.1 Port 1 Connector Pin Assignments .....	209
8.8.3 Card Rack Connector .....	208
8.8.3.1 Connector Pin Assignments for BIU Type BIU .....	209
8.8.3.2 Connector Pin Assignments for BIU Type BIU2 .....	209
8.8.4 Outputs .....	209
8.8.4.1 Data Transmit Output (TX) for BIU Type BIU2 .....	211
8.8.5 Inputs .....	210
8.8.5.1 Opto Common .....	211
8.8.5.2 Opto Inputs .....	211
8.8.5.3 Line Frequency Reference .....	212
8.8.5.4 24 Volt Signal Inputs .....	212
8.8.5.5 Data Receive Input (RX) for BIU Type BIU2 .....	213
8.8.5.6 +24 VDC Input .....	213
8.8.5.7 Earth Ground .....	213
8.8.5.8 Logic Ground .....	213

**Tables**

Table 2-1 WET-BULB DRY-BULB RELATIVE HUMIDITY AT BAROMETRIC PRESSURE OF 29.92 In. Hg. ....	14
Table 3-1 COMMAND FRAMES.....	42
Table 3-2 RESPONSE FRAMES.....	43

Table 3-3 COMMAND FRAMES AND FREQUENCY OF TRANSMISSION.....	72
Table 3-4 SERVICE, RESPONSE, AND COMMAND VALUES (MILLISECONDS) .....	74
Table 3-5 OBJECT RANGE VALUES FOR ACTUATED SIGNAL CONTROLLERS.....	83
Table 3-6 TIMING PLAN.....	90
Table 3-7 OFFSET.....	91
Table 3-8 SIGNAL PLAN.....	91
Table 3-9 I/O MODE BITS (3 PER UNIT).....	92
Table 3-10 CODED STATUS BITS (3 PER UNIT).....	94
Table 3-11 CODED STATUS BITS (3 PER RING).....	110
Table 3-12 ALTERNATE SEQUENCE.....	112
Table 3-13 I/O MODE BITS (3 PER UNIT).....	115
Table 3-14 TIMING PLAN.....	121
Table 3-15 OFFSET.....	122
Table 5-1 AMPACITY.....	152
Table 5-2 TYPE 1 CONFIGURATIONS.....	154
Table 5-3 INPUT / OUTPUT TERMINALS.....	154
Table 5-4 BIU ADDRESS ASSIGNMENT.....	158
Table 5-5 BIU 1 SIGNAL ASSIGNMENT.....	158
Table 5-6 BIU 2 SIGNAL ASSIGNMENT.....	159
Table 5-7 BIU 3 SIGNAL ASSIGNMENT.....	161
Table 5-8 BIU 4 SIGNAL ASSIGNMENT.....	162
Table 5-9 DETECTOR RACK CONFIGURATIONS.....	164
Table 5-10 DETECTOR MODULE COMMUNICATIONS ADDRESS.....	165
Table 5-11 DETECTOR RACK BIU ADDRESS ASSIGNMENT.....	166
Table 5-12 BIU 9 SIGNAL ASSIGNMENT.....	166
Table 5-13 FIELD TERMINALS.....	169
Table 5-14 MMU CHANNEL ASSIGNMENTS.....	175
Table 6-1 DETECTOR UNIT TYPES.....	185
Table 6-2 CONNECTOR TERMINATIONS.....	198
Table 7-1 OUTLINE DIMENSIONS.....	200
Table 8-1 BIU TYPES.....	205

**Figures**

Figure 2-1 TEST PROFILE.....	19
Figure 2-2 SHOCK TEST FIXTURE.....	24
Figure 2-3 PIV AND DV/DT TEST CIRCUIT (SOLID STATE LOAD SWITCH OR FLASHER).....	30
Figure 2-4 TEST CONFIGURATIONS.....	32



Figure 2-5 LOOP INPUT TERMINAL TRANSIENT TESTS .....	34
Figure 3-1 PORT 1 CONNECTIONS, TYPE 1 CONTROLLER ASSEMBLY .....	39
Figure 3-2 PORT 1 CONNECTIONS, TYPE 2 CONTROLLER ASSEMBLY .....	39
Figure 3-3 PORT 1 TIMING .....	40
Figure 3-4 PORT 1 FRAME FORMAT .....	40
Figure 3-5 COMMAND AND RESPONSE FRAME TIMING .....	73
Figure 3-6 DUAL RING CONTROLLER UNIT .....	96
Figure 3-7 SINGLE RING CONTROLLER UNIT .....	97
Figure 3-8 VARIABLE INITIAL TIMING .....	102
Figure 3-9 GAP REDUCTION .....	103
Figure 3-10 ACTIVATED PHASE OPERATING IN THE NONACTIVATED MODE.....	104
Figure 3-11 ACTIVATED PHASE OPERATING IN THE NONACTIVATED MODE.....	106
Figure 3-12 LOAD SWITCH DRIVERS, PEDESTRIAN .....	109
Figure 4-1 PROGRAMMING CARD .....	143
Figure 5-1 LOAD SWITCH OR FLASHER SUPPORT .....	155
Figure 5-2 FRONT VIEW—LOAD SWITCH SUPPORT DIMENSIONS.....	156
Figure 5-3 FRONT VIEW—FLASHER SUPPORT DIMENSIONS .....	157
Figure 5-4 CABINET POWER DISTRIBUTION SCHEMATIC .....	172
Figure 5-5 TERMINAL & FACILITIES WIRING .....	176
Figure 6-1 CONNECTOR PIN ASSIGNMENT .....	178
Figure 6-2 CONNECTOR PIN ASSIGNMENTS SOLID STATE FLASHER (VIEWED—CONNECTOR END).....	181
Figure 6-3 FLASH TRANSFER RELAY WIRING DIAGRAM .....	183
Figure 6-4 TWO CHANNEL CARD RACK UNIT .....	186
Figure 6-5 FOUR CHANNEL CARD RACK UNIT .....	186
Figure 6-6 TEST LOOP CONFIGURATIONS.....	190
Figure 6-7 DELAY OPERATION .....	193
Figure 6-8 EXTENSION OPERATION .....	193
Figure 7-1 FOUNDATION FOR SIZES 3, 4, AND 5 BASE-MOUNTED CABINETS.....	203
Figure 7-2 FOUNDATION FOR SIZE 6 AND 7 BASE-MOUNTED CABINETS .....	204
Figure 8-1 BUS INTERFACE UNIT .....	206

## Foreword

This NEMA Standards Publication TS 2-2003, *Traffic Controller Assemblies with NTCIP Requirements*, has been developed as a design guide for traffic signaling equipment which can be safely installed and provide operational features not covered by the NEMA TS 1-1989, *Traffic Control Systems*. Within the standard, any reference to a specific manufacturer is made strictly for the purpose of defining interchangeability where there exists no nationally recognized standard covering all the requirements. The manufacturer references do not constitute a preference.

The TS 2 Standards Publication has been established to reduce hazards to persons and property when traffic signaling equipment is properly selected and installed in conformance with the requirements herein.

The user's attention is called to the possibility that compliance with this standard may require use of an invention covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the validity of this claim or of any patent rights in connection therewith.

Comments and suggestions for the improvement of this document are encouraged. They should be sent to:

Vice President, Engineering Department  
National Electrical Manufacturers Association  
1300 North 17th Street, Suite 1847  
Rosslyn, Virginia 22209  
tel: (703) 841-3200  
fax: (703) 841-3300

## Scope

This Standards Publication covers traffic signaling equipment used to facilitate and expedite the safe movement of pedestrians and vehicular traffic.

Two approaches to expansion of traffic features of NEMA TS 1, *Traffic Control Systems*, are provided:

Type 1—

- Entirely new performance oriented standard.

Type 2—

- Use of the MSA, B, and C connectors in common use with NEMA TS 1 equipment.

The Type 1 approach embraces:

- Controller Unit
  - Display-alphanumeric Display—32 Characters, 2 Lines Minimum
  - Port 1 Connector
    - High speed full duplex data channel connecting controller unit, conflict monitor (malfunction management unit), rear panel (terminals and facilities) and detectors.
    - All data exchange with rear panel.
    - Controller unit and conflict monitor exchange information on a regular basis, performing redundant checks on each other. Controller unit has access to all conflict monitor internal information, making enhanced event logging, remote intersection monitoring, and remote diagnostics feasible.
    - All detector information, including detector diagnostics.
    - EIA-485 serial communications interface with noise immunity characteristics.
    - SDLC (synchronous data link) communication protocol with a bit rate of 153, 600 bits/second, utilizing sophisticated error checking.
    - Vast reduction in number of wires in the cabinet.
  - Port 2 Connector
    - Interface to personal computer.
    - Interface to printer.
  - Port 3 Connector
    - 1200 baud, FSK serial port for on-street communications.

## History

This Standards Publication is predicated upon an industry perceived need to overcome limitations of the NEMA Standards Publication TS 1, *Traffic Control Systems*, which in 1976 reflected the first industry documentation of technically adequate and safe traffic control equipment.

The NEMA TS 1 as subsequently revised and expanded and re-affirmed in 1989:

1. Defined effective actuated intersection control.
2. As a complete package defined all equipment within the cabinet and test procedures.
3. Provided equipment interchangeability between manufacturers.
4. As a minimum functional standard facilitated design innovations.

Limitations inherent in NEMA TS 1 were seen as follows:

1. Reliance on point-to-point wire connection for all functions with termination points for all wires, many of which are not utilized.
  - a. Numerous connections increase failure potential.
  - b. Not cost effective.
  - c. Hardware limited expandability.
2. Out-of-date technology.
3. Lack of uniformity in the implementation of the following functions and the resulting loss in equipment interchangeability:
  - a. Coordination.
  - b. Time base control.
  - c. Preemption.
  - d. Uniform Code flash.
  - e. Communications.
  - f. Diagnostics.
  - g. User interface.

The following industry guidelines were established to overcome the limitations in the NEMA TS 1 Standards Publication:

1. Equipment requirements based on valid engineering concepts.
2. Interchangeability, performance oriented, without precluding downward compatibility with TS 1 equipment.
3. Emphasis on use of enhanced diagnostic techniques.
4. Minimize potential for malfunctions.
5. Provide for future expandability.
6. Enhanced user interface.

Four basic proposals were considered over a four-year period. These were:

1. Standardize the functions being provided on the MSD connector.
2. Free up seldom used pins on the MSA, MSB, and MSC connectors and reassign them to needed functions.
3. Develop an entirely new, performance oriented standard.
4. Proceed with Proposal 1, then move on to Proposal 3 for a long-term solution.

During the investigations, involving debate within the industry and inputs received from traffic engineers and those responsible for the selection, installation and maintenance of traffic control equipment actions were taken on each proposal.

Industry debate of which approach to follow consumed approximately 2.5 years before approval of Proposal 3—proceed with the development of an entirely new, performance oriented standard. While the majority of the industry tended to favor this proposal, some members in opposition had concerns, many of which were valid, and each was carefully studied and evaluated, including joint consultations with delegations from the Institute of Transportation Engineers (ITE) and the International Municipal Signal Association (IMSA), as well as at NEMA sponsored open forums at Annual Meetings of ITE.

The advantages of a new performance oriented standard were identified as:

1. Communication between major equipment within the cabinet over a data channel with virtually unlimited capacity. Potential for future expandability is thereby maximized.
2. Use of a high speed data channel between the controller unit, malfunction management unit, detectors, and rear panel reduces the number of connections and facilitates diagnostic testing, thereby reducing the potential for malfunction.
3. Cost effectiveness of communications protocols.
4. Enhanced user interface.

During the development of the new NEMA Standards Publication TS 2, two approaches evolved:

1. Type 1, which utilizes a high speed data channel between all major equipment to maximize the functionality and expandability.
2. Type 2, which retains the MSA, MSB, and MSC connectors for data exchange with the rear panel, providing a degree of downward compatibility.

Document version numbers are assigned retroactively as follows:

- TS 2-1992 v01.00, *Traffic Controller Assemblies*, is retroactively referenced as v01.00.
- TS 2-1998 v02.04, *Traffic Controller Assemblies*, which includes updates described in the front matter section, "TS 2-1998 Update," is retroactively referenced as v02.04. The letter ballot was of version 98.03.
- TS 2 Amendment 1 v01, March 2001, was approved by NEMA in November 2001. The amendment revises section 8.
- TS 2 -1998 v02.05, *Traffic Controller Assemblies*, which is the 1998 version when revised in accordance with Amendment 1 v01, is retroactively referenced as v02.05.
- TS 2-2003 v02.06, *Traffic Controller Assemblies with NTCIP Requirements*, is the revised and re-balloted version, including the revisions from Amendment 1 v01 and minor revisions to sections 3, 5, and 6, as detailed on the "Update" page and as noted by change bars. TS 2-2003 v02.06 was balloted in January 2003 and approved by NEMA in May 2003.

## TS 2-1998 Update

The following is a summary of the changes provided by the 1998 release of this Standards Publication:

### SECTION 2:

The Standard Publication has been restructured to move all testing criteria into Section 2.

### SECTION 3:

**Type 129 MMU Inputs/Status** frame has been updated to add 'Start-Up Flash Call' bit. This status bit enables the CU to enter the Start-Up Flash state following any Terminal & Facilities flash mode.

**NTCIP Requirements** has been added. Additional Controller Unit types with two Conformance Levels has been added for NTCIP requirements.

**Port 1** Frame Fault flash has been modified to limit the number of times the device may exit this fault state in a specific time without user interaction.

### SECTION 4:

**Pin Assignments** has been modified to add 'Local Flash Status' input on Connector B. This and the Output Relay modification are key to enabling the CU to enter Start-Up Flash following any Terminal & Facilities flash mode.

**Output Relay** operation has been modified to add 'Start-Up Flash Call' bit in Frame 129.

**Display** has been modified to add 'Local Flash Status' input indication.

**Minimum Yellow Change / Red Clearance Interval Monitoring** has been modified to remain enabled when the Load Switch Flash bit is set to 1 in the Type 0 frame from the CU.

**Port 1 Timeout** operation has been modified to limit the number of times the device may exit the fault state in a specific time without user interaction.

### SECTION 5:

**Port 1 Communication Cables** shielding has been modified to terminate to Earth Ground.

**Malfunction Management Unit** wiring has been modified to add 'Local Flash Status' input.

### SECTION 6:

**Detector Configurations** has been modified to add four new types (AC, BC, CC, & DC) with communications port TX & RX capability.

**Detection Outputs & Status Outputs** condition has been added for the Disable and Reset states.

**Detector Connector Terminations** has been modified to add Detector Address Bit #3.

### SECTION 8:

**BIU Configurations** has been modified to add one new type (BIU2) with communications port TX & RX capability.

## TS 2-2003 Update

The following is a summary of the changes provided by the 2003 release of this Standards Publication:

### SECTION 3:

Page 54 : Clause 3.3.1.4.2.2 Type 129 MMU Inputs/Status (Type 1 ACK) - revised  
Page 128 : Clause 3.9.3.1.3 Port 1 - revised

### SECTION 5:

Page 163 : Clause 5.3.3 Port 1 Communication Cables - revised  
Page 171 : Clause 5.4.2.1 Grounding System - revised

### SECTION 6:

Page 198 : Table 6-2  
CONNECTOR TERMINATIONS - revised

### SECTION 8:

Page 206 : Clause 8.5 POWER REQUIREMENTS - revised  
Page 206 : Clause 8.5.1 Initialization - revised  
Page 207 : Clause 8.7.1 Communication Port Electrical Requirements - revised  
Page 209 : Clause 8.8.4 Outputs - revised  
Page 210 : Clause 8.8.4.1.4 TX Output Shorts - revised  
Page 210 : Clause 8.8.5.2 Opto Inputs - revised  
Page 211 : Clause 8.8.5.4 24 Volt Signal Inputs - revised  
Page 211 : Clause 8.8.5.4.2 Function Inputs - revised  
Page 212 : Clause 8.8.5.5 Data Receive Input (RX) for BIU Type BIU2 - revised

Revisions to this update are denoted by a line at the right border as shown for this paragraph. |