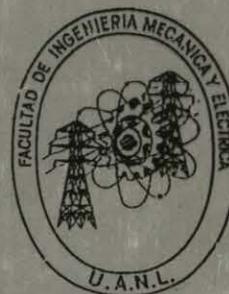


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



# TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
EN CONTROL Y COMPUTACION

CON EL TEMA  
SEMAFORIZACION A BASE DE CONTROLADORES  
LOGICOS PROGRAMABLES PLC'S

PRESENTA  
OZIEL PINAL ORTIZ

ASESOR  
ING. FRANCISCO JAVIER ESPARZA RAMIREZ

CL. UNIVERSITARIA

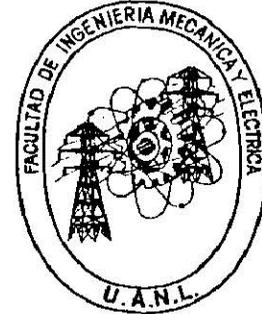
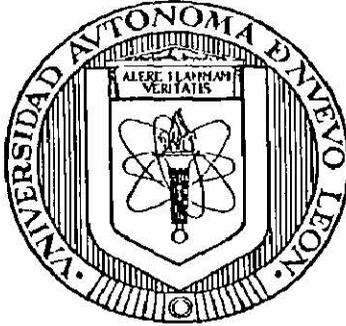
AGOSTO 1996

F  
TJ223  
.P76  
P553  
C.1



1080086995

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



# TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
EN CONTROL Y COMPUTACION

CON EL TEMA  
SEMAFORIZACION A BASE DE CONTROLADORES  
LOGICOS PROGRAMABLES PLC'S

PRESENTA  
OZIEL PINAL ORTIZ

ASESOR  
ING. FRANCISCO JAVIER ESPARZA RAMIREZ

T  
T 223  
P 22  
P 553



**ING. OZIEL PINAL ORTIZ**

**INGENIERO EN CONTROL Y COMPUTACION**

**A MI MADRE :**

**SRA. BERTHA ORTIZ GUTIERREZ (Q.E.P.D**

**A ti :**

A la cual le debo el haber podido lograr esta meta,  
porque supiste infundir en mi, el espíritu de  
superación y me diste tu apoyo siempre.

Con agradecimiento y cariño:

Tu hijo.

**A MI PADRE :**

**SR. FIDEL PINAL AREVALO**

**A ti :**

Porque me demuestras, siempre el cariño y la ternura  
que me tienes, dándome con esto  
un gran apoyo.

Con agradecimiento y cariño:

Tu hijo.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A "DIOS" :**

Por convertir en realidad lo que fue un sueño.  
Te adoro, Señor, porque no te cansas de hacerme  
el bien. Que tu sabiduría me dirija siempre.

### **A MIS HERMANOS :**

GRACIELA, RAUL, MARTHA DELIA,  
FIDEL Y SILVIA ADRIANA

### **A ellos :**

Por su comprensión, cariño, ternura y amor  
que siempre me brindaron y por pensar en  
mi futuro. Gracias

### **A MIS COMPAÑEROS Y MAESTROS:**

#### **Gracias :**

Por haberme ayudado al motivarme y al  
darme la mano cuando lo necesitaba.  
Siempre los recordare.

# INDICE

	Pag
Introducción	1
Descripción Genérica De Los Controladores Lógicos Programables PLC's	2
SEMAFORIZACION	
• Historia de la Semaforizacion	11
• Evolución de la Semaforizacion	13
• Criterio para instalar los Semáforos	25
• Ubicación y numero de Semáforos	25
Sistemas para la regulación de transito	27
Ingeniería de Sistemas aplicada al control de transito	37
Ingeniería de Sistemas apoyados por PLC's su contexto	39
Algoritmo de Control y Calculo	46
Ciclo	47
PLC SEMAFORIZACION	
• Razón por lo cual se uso un PLC para Semaforizar	49
• Ventajas del uso del Micro PLC en Semaforizacion	49
• Desventajas del uso del Micro PLC en Semaforizacion	50
PROYECTO	
Explicación del proyecto de Semaforizacion por PLC's	51
Diagrama escalera	53
Codificación	61

## INTRODUCCIÓN

Debemos de ser enormemente conscientes de que lo que más importa en cualesquier proyecto de ingeniería es la seguridad de la gente, ningún costo es elevado cuando protegemos la vida y sobretodo la humana, así mismo, ningún ahorro es justificable cuando entra en riesgo la vida y por su puesto la vida humana.

Esto descrito anteriormente es una premisa que deberá ser tomada en cuenta en cualesquier proyecto ingenieril, por esto mismo, la ingeniería de tránsito, que es una de las ramas de la Ingeniería Civil, es la materia encargada de administrar el espacio y tiempo donde se desenvuelve el tráfico vehicular y peatonal, todo esto en pro de la seguridad de la gente que interviene en estos sucesos.

La ingeniería de tránsito se auxilia de otras Ingenierías como lo es la informática, las comunicaciones, la electrónica, la electricidad y la mecánica para poder llevar a cabo su funcionalidad.

Dentro de este contexto establecido la investigación hecha por el equipo de trabajo que realizó esta tesina, encontramos que en la semaforización no se usan los PLC's, esta situación encontrada nos resulta difícil de creer ya que resulta en que las gentes que se encargan de realizar la ingeniería de tránsito, no conocen los PLC's, y esto aparece como una gran contradicción, estando en una ciudad que cuenta con gente muy preparada e informada en muy diversas materias. Por esta razón antes mencionada la Ingeniería de Control pareciera haber sido desplazada del campo de trabajo de la Ingeniería de Tránsito, ya que debemos de tener muy en cuenta que el cordón umbilical entre la electrónica y la electricidad es la electrónica de potencia, materia que es ampliamente dominada por la Ingeniería de Control, así como también el conocimiento acerca de PLC's.

De acuerdo a el parrafo anterior caemos en la deducción lógica que no tienen noción de las bondades que los PLC's podrían traer. Claro esta de que no lo proponemos para la cura de todos los males de la semaforización, pero consideramos que ciertos PLC's serian enormemente útiles en la semaforización en pequeña escala.

Pues bien, cuando nosotros contamos con tantas ramas de la ingeniería trabajando en equipo y con eficiencia y si a esto le agregamos que el costo en la automatización utilizada con PLC's es bajo, debido a diversas ventajas, pues tendremos un poco más de camino recorrido en la eficiencia del progreso y por lo tanto será un granito de arena, ampliamente útil, en nuestro trabajo por que esta tesina resulte una tesis, entiéndase, una propuesta útil.

## PLC's (CONTROL LÓGICOS PROGRAMABLES)

### Historia

Como resultado de un esfuerzo de investigación iniciado por General Motors Co. en 1968, los controladores lógicos programables (PLC's) se erigieron en la alternativa para reemplazar a los relevadores electromecánicos y el alambrado que se asocia con los mismos. Tradicionalmente, estos últimos se encontraban montados en un tablero de construcción rígida próximo a los equipos que tenía que accionar. No obstante, y si bien dicha rigidez es buena (ya que resiste las agresiones externas de un ambiente febril), es contraproducente desde el punto de vista de la manufactura flexible.

En una empresa automotriz, por ejemplo, los cambios en los procesos de manufactura son muy dinámicos y la secuencia debe modificarse periódicamente en cada una de las estaciones de trabajo para ajustarse a las demandas de las líneas de automóviles que reclama el mercado. Así, para modificar las secuencias de fabricación en un tablero rígido, se debe rediseñar todo, agregando o quitando relevadores, creando o eliminando nuevas rutas para el alambrado, de tal manera que la inversión en recursos (tiempo y dinero) incrementa considerablemente los costos de producción.

Aunque General Motors implemento su diseño de PLC con lógica booleana en un computador digital PDP-14, es la empresa Bedford Associated a la que se debe el desarrollo del primer PLC, disponible comercialmente bajo el nombre de Modicom 084 (se trata del proyecto numero 84 de la firma). Aunado a lo anterior se debe realzar el impacto del primer lenguaje de programación que nació junto con este primer PLC, el lenguaje de *lógica de escalera*. Desarrollado por un equipo de trabajo de la misma firma Richard Morley a la cabeza, permite programar las secuencias en un PLC utilizando símbolos adaptados a los diagramas eléctricos convencionales, de manera que cualquier buen electricista es capaz de interpretar sin confusión.

El lenguaje se ha enriquecido con nuevas funciones, pero en lo fundamental, sigue siendo de fácil asimilación para los técnicos que necesitan programar funciones discretas no muy complejas. Existen otros lenguajes mucho más poderosos que se han desarrollado recientemente y sobre los que se hablara más adelante.

### Lo básico

El estándar NEMA ICS3-1978 proporciona la siguiente definición de PLC : *dispositivo electrónico operado digitalmente que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones a fin de implementar funciones específicas, tales como lógicas, secuencias, tiempo, contén y aritméticas, y así controlar varios tipos de maquinas o procesos a través de módulos de I/O analógicos o digitales.*

Un PLC se compone :

- Módulos de I/O
- Unidad de memoria principal
- Unidad de Procesamiento Central (CPU)
- Fuente de suministro de energía, que alimenta el voltaje, requerido por el dispositivo.

Para que todos estos componentes operen coordinadamente y generen las señales de control que necesite el proceso se utilizan lenguajes de programación muy especializados.

A continuación se escriben brevemente las peculiaridades de cada componente.

### **Fuente de poder**

Esta sección incluye los circuitos necesarios para convertir la corriente alterna que alimenta la planta a los diferentes niveles de voltaje que necesitan para poder alimentar sus circuitos electrónicos. La *fuentes de poder* contiene circuitos de aislamiento entre el voltaje de suministro y los componentes electrónicos del PLC. Así se impide el paso a los picos transitorios de alto voltaje que se encuentran generalmente en el suministro de la planta. El tamaño de la fuente y su diseño facilitan la disipación de calor que necesitan los circuitos, razón por la cual el dispositivo puede operar en ambientes fabriles con temperaturas extremas. En algunas instalaciones industriales se encuentran sometidos a temperaturas arriba de los 55° C.

### **Módulos de I/O**

Procesan las señales que entran y salen de el PLC, y constituyen una barrera de aislamiento entre los dispositivos externos y la unidad. Esta protección es muy importante, porque si se carece de ella, se pueden introducir señales indeseables que podrán dañar los circuitos electrónicos. Las entradas se canalizan a través del *modulo de I/O*, donde se utilizan diversos circuitos electrónicos para detectar y medir las señales que generan los dispositivos montados en campo, tales como : movimiento, nivel, temperatura, presión, posición, corriente y voltaje.

En función de los valores de entrada, el PLC canaliza las salidas mediante el *modulo de I/O* hacia los dispositivos de control y monitoreo : válvulas, motores, alarmas, etc... Cuando el dispositivo de salida requiere un gran consumo de corriente (motor, calentador eléctrico, etc.), la salida del *modulo de I/O* no deberá actuar directamente sobre el dispositivo, sino que lo deberá hacer por alguna manera indirecta, a través de una bobina de arranque, triac's u otro equipo similar que se sea capaz de manejar altas cantidades de corriente.

Para facilitar su manejo y agilizar su montaje, los módulos se construyen sobre tarjetas de circuito impreso con terminales de conexión rápida. Se acostumbra montar un cierto numero de módulos en gabinetes especialmente diseñados para que en la parte posterior corra un bus de comunicación que facilite el intercambio de señales entre las

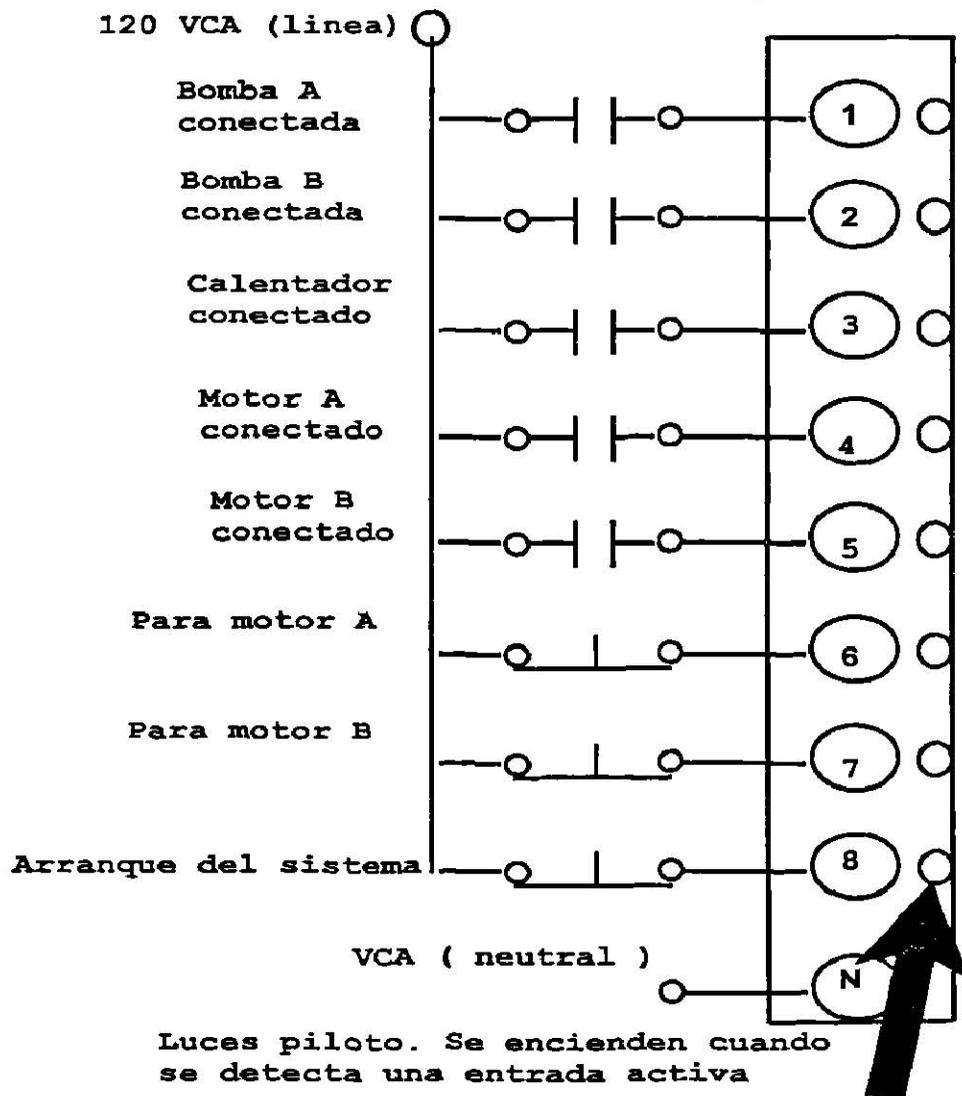
unidades. Las ranuras en que se montan están diseñadas bajo un standard universal, de tal manera que las tarjetas, se pueden intercambiar sin afectar su funcionalidad.

En resumen, los *módulos de I/O* se comportan como circuitos multiplexor de alta velocidad que permiten el intercambio de las señales de I/O con el procesador central de la unidad. Resultaría importante notar que un modulo con alta densidad de entradas consume mayor corriente de suministro, por lo que es fundamental que el ingeniero calcule el consumo de corriente total de el modulo montado en el gabinete y de esta manera, evitar que la fuente de suministro se sobrecarge.

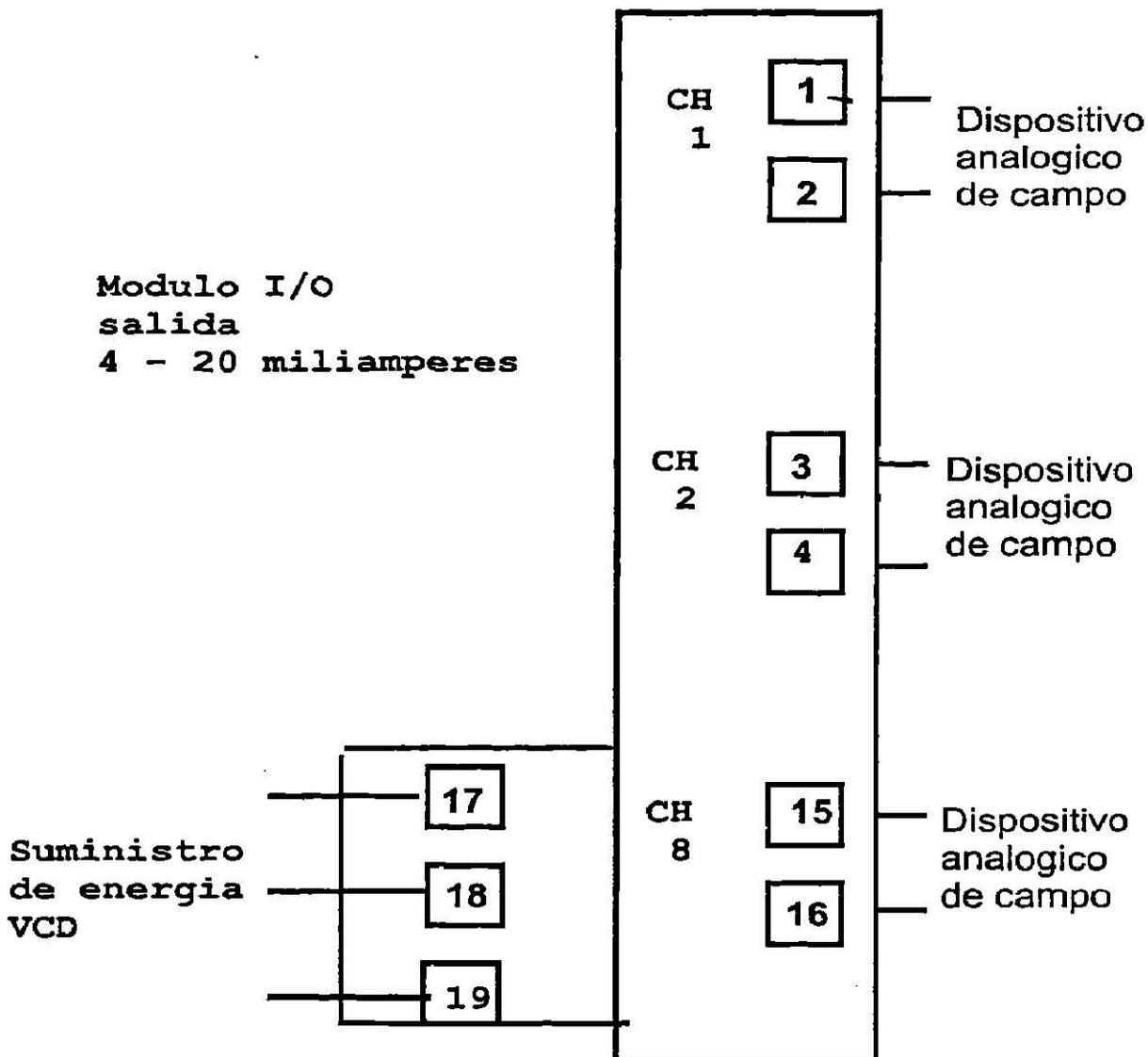
Los proveedores de PLC's se apegan a estándares muy preciso en la manera en como diseñan la parte posterior del gabinete, donde se encuentran las ranuras que reciben los módulos. El objetivo de estos estándares es permitir que productos de otros proveedores puedan coexistir con el sistema.

Los *módulos de I/O* tienen tres modalidades de procesamiento : discreto, analógico y digital.

### Modulo I/O entradas tipo discreto



## Modulo I/O salidas de tipo analogico



**Procesamiento discreto :** Se refiere a las operaciones que solamente tiene dos posibilidades abierto/cerrado, conectado/desconectado, etc., Las entradas discretas, las dan dispositivos externos del tipo pulsadores, sensores de proximidad, etc... montados en campo

**Procesamiento analógico :** Son aquellas operaciones que pueden tomar múltiples valores dentro de un rango como pueden ser : incrementos de temperatura, presión, etc... Las salidas analógicas son dispositivos del tipo válvulas de control y servomotores.

**Procesamiento digital :** Resulta en aquellas funciones en las que influya un código binario para la transferencia de datos, como pueden ser : BCD, ASCII .

## Unidad de memoria principal

Los PLC's almacenan en memoria la información que necesitan para efectuar las funciones de control. La memoria interna consiste en un arreglo de celdas magnéticas ordenadas en forma de columnas y renglones, mas conocida como *matriz* . En cada intersección de la matriz se encuentra definida una celda, y a su vez cada celda tiene la capacidad para almacenar un bit (unidad elemental de información, conformada por presencia de energía eléctrica o en su defecto, ausencia de energía eléctrica). Con un *arreglo matricial* es muy fácil establecer las direcciones de memoria para escribir o leer datos que se encuentren almacenados en las celdas.

Los dispositivos electrónicos mas utilizados para construir la memoria se conocen como memoria

**ROM (Memoria de Solo Lectura)** : Aquí, la información solo puede ser grabada una sola vez, de tal manera que aunque se suspenda el suministro de energía, la información contenida en las celdas, no se borra. Dadas las características de la memoria ROM, se utiliza para guardar información del sistema operativo que permite operar el dispositivo.

**RAM (Memoria de Acceso Aleatorio)** : En este caso las celdas de memoria pueden escribirse y borrarse tantas veces sea necesario. Dadas la características específicas de la memoria RAM, se emplea para grabar programas de aplicación que el usuario diseña , a fin de que el PLC lleve a cabo una función de control específica.

Desde otro punto de vista, la memoria puede separarse en cuatro : la memoria de ejecución, de trabajo, de control de programas y tabla de datos.

**Memoria de ejecución** : Contiene los programas del sistema operativo de la unidad.

**Memoria de trabajo** : Es un área de almacenamiento temporal, donde se efectúan cálculos intermedios con una cantidad limitada de datos.

**Memoria para el control de programas** : En esta memoria se almacenan todos los programas elaborados por el usuario para llevar a cabo las rutinas que sean necesarias..

**Memoria de Tablas de datos** : Esta memoria almacena los valores de las constantes que se necesitan para efectuar las acciones de control..

El tamaño de la memoria es algo muy importante, que se debe cuidar cuando se selecciona un PLC. Entre mas memoria tenga el dispositivo, mayor será el numero de programas de aplicación y datos de operación correspondientes que pueda almacenar. La memoria que se encuentra en los dispositivos de pequeña capacidad son del orden de los

4Kb. Los dispositivos de media capacidad, frecen de 50 a 100 Kb. y los modelos modernos, utilizan memoria del orden de 600 Kb. a 1 Mb.

### Procesador

El *procesador* central o CPU es el motor que da potencia a la operación del PLC. Como se ha descrito, este tiene conectadas, múltiples entradas ( Input) y salidas (Output). Los PLC's de rango bajo cuentan con 200 I/O digitales y 16 I/O analógicas.

El *procesador* opera a base de ciclos de barrido (*scan*), es decir el recorrido que efectúa para examinar cada uno de los estados de entrada y salida que se reciben en los *módulos de I/O* conectados al PLC, el *scan* del PLC, se da en unidades de tiempo, el cual depende de :

- Del oscilador con que cuente el circuito electrónico del PLC, el cual es un dato proporcionado en Mega Hertz (Mhz).
- Del numero de entradas y salidas conectadas al PLC.
- De el numero de instrucciones que tenga que efectuar de acuerdo a la complejidad del programa diseñado por el usuario. Este ultimo punto no afecta tanto en los PLC nuevos, ya que su velocidades de procesamiento de datos son muy altas equivalentes a el desempeño de un Intel :
- *Procesador* 386//33Mhz en el rango bajo, en el cual procesaremos 1Kb (1,024 instrucciones en 2 mseg.
- *Procesador* 486DX/50Mhz en el rango medio, en el cual podremos procesar 1Kb (1,024 instrucciones en un tiempo de 1mseg.
- *Procesador* 486DX4/100Mhz en el rango alto, en el cual podremos procesar 1Kb en un tiempo de 0.6 mseg, y en un rango muy alto, podremos tener un desempeño de hasta 0.3 mseg por Kb procesado.
- Probablemente los PLC's mas nuevos ya estén disponibles con *Procesadores* tipo Pentium.

Por lo tanto, también el *scan* nos representa el tiempo que se tarda en muestrear el estado de una entrada o salida, procesar dicha información y volver a muestrear la misma entrada o salida. Obviamente , entre mas entradas y salidas conectadas al PLC, el procesador deberá realizar mas consultas y cada una de ellas consume tiempo.

## Lenguajes de Programación

Cada proveedor ofrece dispositivos de programación dedicados a la configuración de su equipo . Dichos dispositivos consisten, generalmente , en computadoras que corren programas para crear y editar los mismos conforme a las peculiaridades de cada lenguaje.

Si bien existen varias modalidades de programación, las mas comunes son las que se describen a continuación.

### Lenguajes de escaleras (ladder logic).

Como se explico al principio de este segmento, los PLC's son dispositivos creados principalmente para sustituir los arreglos de electromecánicos y eliminar la complejidad que representan los cambios del alambrado, lo cual debía de efectuarse manualmente que se necesita hacer la modificación en el proceso de manufactura.

Quiénes tenían a su cargo la función de cambiar los alambrados eran los oficiales electricistas, personas con una preparación técnica media , pero con gran conocimiento en las funciones de manufactura . por este motivo, para tener éxito en la tecnología emergente de controles programados, era necesario diseñar un lenguaje que pudiera ser entendido por un electricista calificado. Es por eso que los símbolos básicos que se utilizan en el lenguaje de escalera se parecen a los empleados en los esquemas eléctricos. Con tal enfoque en mente, MORLEY desarrollo este lenguaje, cuyo nombre se debe a cada operación se representa en cada línea o peldaño, y el conjunto de operaciones programadas produce múltiples peldaños, que se dibujan de arriba hacia abajo.

No esta de mas decir que el lenguaje ha evolucionado desde aquellos tiempos (1969) gracias a la adición de nuevos símbolos y la utilización de nuevos metodología de programación novedosas . en la actualidad todos los proveedores de PLC's ofrecen la modalidad de programación bajo el lenguaje de escalera.

Programar en él mismo es tan sencillo como escribir en un papel los símbolos que representan circuitos cerrados, circuitos abiertos , bobinas y temporizadores conectados entre líneas entre si por líneas todo con respecto a la función que se desea desarrollar.

### Mnemotécnicos de lógica booleana.

Los nemotécnicos son expresiones cortas de fácil retención en la memoria que se utilizan para describir las funciones de programación que se requieren. Existen una equivalencia entre los símbolo. los de lenguaje de escalera y los nemotécnicos booleanos. por ejemplo,, un contacto abierto en lógica de escalera se describen con la instrucción LD ( Load input, entrada de carga ) , un contacto cerrado , con LD NOT ( Load no contact input, entrada sin carga). Las líneas seriales, con AND( y lógico) las líneas paralelas son OR ( o lógico) y así sucesivamente .

Una expresión en lenguaje booleano tiene la siguiente apariencia: LD 11107 and not 11100 OUT 01000 . En lo tanto , este mismo programa en lógica de escalera se representaría como un circuito serie con un contacto normalmente abierto en dirección (111/07) , un contacto normalmente cerrado en dirección y una bobina en la dirección (010/00) que se energiza siempre que haya continuidad en el circuito.

### **Bloques de funciones**

Se emplean en aquellos casos en las operaciones que se tienen que programar son bastantes complejas y no es posible elaborar una rutina con los lenguajes anteriormente descritos . Muchas de estas funciones son procesos internos que tienen que ver con el procesador de la unidad ; por ejemplo , instrucciones para transferir archivos , para escribir/leer bloques de transferencia , para correr registros o para operaciones secuenciales. Dada la complejidad de este lenguaje , considerado de alto nivel no se profundizara mas adentro

### **Diagrama de flujo**

conocido también como *Sequential Function Chart* (SFC) , Este tipo de lenguaje ofrece un mayor control al operador para que elabore programas bajo el concepto de programación estructurada.

Tiene un principio en la parte superior del esquema y un final en la anterior y entre las ambas se dibujan los bloques y las líneas que representan las acciones a ejecutar. Las tareas complejas se desglosan en el siguiente nivel , de manera que cuando el procesador ejecuta el programa , solamente examina ciertas posesiones del esquema y no tiene que recorrer la secuencia completa. Esta característica permite que los programas se ejecuten con mayor rapidez.

**Lista de instrucciones .** Usada para representar funciones de control mas complejas y en las cuales el lenguajes de escalera no resulta la mejor opción, consiste en un conjunto de nemotécnicos de fácil retención .

Una instrucción es la unidad autónoma mas pequeña del programa y constituye una orden de trabajo para el procesador . se compone de un código de operación, que indica el procesador , lo que tiene que hacer y un operador que enuncia con que lo tiene que hacer, Algunos nemotécnicos que se emplean para expresar la parte operacional son : A ( Formar una combinación binaria "y" ) , C ( llamar un bloque de datos) y JU (saltar un bloque determinado) . La parte del operando contiene dos informaciones: la identificación del tipo de operando y su dirección. Algunos operandos se identifican como I ( Entradas), Q( salidas) , F ( banderas) , etc.

Un programa en esta modalidad de programación tiene la siguiente apariencia :

```
Segment 1      0000
0000 : A      1  1.1  Comentario
0001 : AN     1  1.1  Comentario
0002:=        Q  4.0  Comentario
0003: ***
```

**Texto estructurado.** Utiliza instrucciones tomadas del ingles ( como el lenguaje BASIC) , se fundamenta en el estándar IEC - 1131-3 y ayuda a resolver expresiones complejas de difícil implementación con el lenguaje escalera . Para escribir un programa en texto estructurado se utilizan comandos del tipo IF- ELSIF-ELSE , CASE , FOR, WHILE, REPEAT, ETC. A su vez estos se complementan con operadores del tipo + ( suma), - (resta), \* ( multiplicación ) , SQR ( raíz cuadrada) , NOT (no lógico) etc.

A continuación , un ejemplo de texto estructurado :

```
FOR N7:0 := 10 TO 0 BY -1 DO
N7 : 4 :=N7:4 +1 ;
END_FOR;
```

### Lenguaje natural

En esta modalidad, también llamado lógica de estados , el lenguaje de programación se maneja como una conversación coloquial en la que se insertan palabras clave , que se pueden definir en cualquier idioma ( incluido por supuesto el español ). De esta manera se facilita , programar las tareas que se lleven a cabo por el PLC . Antes de programar se necesita separar el proceso en tareas ver figura . Algunos de los criterios para identificar estas son :

- Las acciones secuenciales pertenecen a la misma tarea
- Las acciones paralelas pertenecen a tareas distintas.
- Si las instrucciones se repiten en estados sucesivos, esto indica que necesita otra tarea

## Lenguajes de Programación

Cada proveedor ofrece dispositivos de programación dedicados a la configuración de su equipo . Dichos dispositivos consisten, generalmente , en computadoras que corren programas para crear y editar los mismos conforme a las peculiaridades de cada lenguaje.

Si bien existen varias modalidades de programación, las mas comunes son las que se describen a continuación.

### Lenguajes de escaleras (ladder logic).

Como se explico al principio de este segmento, los PLC's son dispositivos creados principalmente para sustituir los arreglos de electromecánicos y eliminar la complejidad que representan los cambios del alambrado, lo cual debía de efectuarse manualmente que se necesita hacer la modificación en el proceso de manufactura.

Quienes tenían a su cargo la función de cambiar los alambrados eran los oficiales electricistas, personas con una preparación técnica media , pero con gran conocimiento en las funciones de manufactura . por este motivo, para tener éxito en la tecnología emergente de controles programados, era necesario diseñar un lenguaje que pudiera ser entendido por un electricista calificado. Es por eso que los símbolos básicos que se utilizan en el lenguaje de escalera se parecen a los empleados en los esquemas eléctricos. Con tal enfoque en mente, MORLEY desarrollo este lenguaje, cuyo nombre se debe a cada operación se representa en cada línea o peldaño, y el conjunto de operaciones programadas produce múltiples peldaños, que se dibujan de arriba hacia abajo.

No esta de mas decir que el lenguaje ha evolucionado desde aquellos tiempos (1969) gracias a la adición de nuevos símbolos y la utilización de nueva metodología de programación novedosas . en la actualidad todos los proveedores de PLC's ofrecen la modalidad de programación bajo el lenguaje de escalera.

Programar en el mismo es tan sencillo como escribir en un papel los símbolos que representan circuitos cerrados, circuitos abiertos , bobinas y temporizadores conectados entre líneas entre si por líneas todo con respecto a la función que se desea desarrollar.

### Mnemotécnicos de lógica booleana.

Los nemotécnicos son expresiones cortas de fácil retención en la memoria que se utilizan para describir las funciones de programación que se requieren. Existen una equivalencia entre los símbolos de lenguaje de escalera y los nemotécnicos booleanos. por ejemplo,, un contacto abierto en lógica de escalera se describen con la instrucción LD ( Load input, entrada de carga ) , un contacto cerrado , con LD NOT ( Load no contact input, entrada sin carga). Las líneas seriales, con AND( y lógico) las líneas paralelas son OR ( o lógico) y así sucesivamente .

Una expresión en lenguaje booleaano tiene la siguiente apariencia: LD 11107 and not 11100 OUT 01000 . En lo tanto , este mismo programa en lógica de escalera se representaría como un circuito serie con un contacto normalmente abierto en dirección (111/07) , un contacto normalmente cerrado en dirección y una bobina en la dirección (010/00) que se energiza siempre que haya continuidad en el circuito.

### **Bloques de funciones**

Se emplean en aquellos casos en las operaciones que se tienen que programar son bastantes complejas y no es posible elaborar una rutina con los lenguajes anteriormente descritos . Muchas de estas funciones son procesos internos que tienen que ver con el procesador de la unidad ; por ejemplo , instrucciones para transferir archivos , para escribir/leer bloques de trasferencia , para correr registros o para operaciones secuenciales. Dada la complejibilidad de este lenguaje , considerado de alto nivel no se profundizara mas adentro

### **Diagrama de flujo**

conocido también como *Sequential Function Chart* (SFC) , Este tipo de lenguaje ofrece un mayor control al operador para que elabore programas bajo el concepto de programación estructurada.

Tiene un principio en la parte superior del esquema y un final en la anterior y entre las ambas se dibujan los bloques y las líneas que representan las acciones a ejecutar. Las tareas complejas se desglosan en el siguiente nivel , de manera que cuando el procesador ejecuta el programa , solamente examina ciertas posesiones del esquema y no tiene que recorrer la secuencia completa. Esta característica permite que los programas se ejecuten con mayor rapidez.

**Lista de instrucciones** . Usada para representar funciones de control mas complejas y en las cuales el lenguajes de escalera no resulta la mejor opción, consiste en un conjunto de nemotécnicos de fácil retención .

Una instrucción es la unidad autónoma mas pequeña del programa y constituye una orden de trabajo para el procesador . se compone de un código de operación, que indica el procesador , lo que tiene que hacer y un operador que enuncia con que lo tiene que hacer, Algunos nemotécnicos que se emplean para expresar la parte operacional son : A ( Formar una combinación binaria "y" ) , C ( llamar un bloque de datos) y JU (saltar un bloque determinado) . La parte del operando contiene dos informaciones: la identificación del tipo de operando y su dirección. Algunos operandos se identifican como I ( Entradas), Q( salidas) , F ( banderas) , etc.

Un programa en esta modalidad de programación tiene la siguiente apariencia :

```
Segment 1      0000
0000 : A      1  1.1  Comentario
0001 : AN     1  1.1  Comentario
0002:=        Q  4.0  Comentario
0003: ***
```

**Texto estructurado.** Utiliza instrucciones tomadas del ingles ( como el lenguaje BASIC) , se fundamenta en el estándar IEC - 1131-3 y ayuda a resolver expresiones complejas de difícil implementación con el lenguaje escalera . Para escribir un programa en texto estructurado se utilizan comandos del tipo IF- ELSIF-ELSE , CASE , FOR, WHILE, REPEAT, ETC. A su vez estos se complementan con operadores del tipo + ( suma), - (resta), \* ( multiplicación ), SQR ( raíz cuadrada) , NOT (no lógico) etc.

A continuación , un ejemplo de texto estructurado :

```
FOR N7:0 := 10 TO 0 BY -1 DO
N7 : 4 :=N7:4 +1 ;
END_FOR;
```

### Lenguaje natural

En esta modalidad, también llamado lógica de estados , el lenguaje de programación se maneja como una conversación coloquial en la que se insertan palabras clave , que se pueden definirse en cualquier idioma ( incluido por supuesto el español ). De esta manera se facilita , programar las tareas que se lleven a cabo por el PLC . Antes de programar se necesita separar el proceso en tareas ver figura . Algunos de los criterios para identificar estas son :

- Las acciones secuenciales pertenecen a la misma tarea
- Las acciones paralelas pertenecen a tareas distintas.
- Si las instrucciones se repiten en estados sucesivos, esto indica que necesita otra tarea

## HISTORIA DE LA SEMAFORIZACION

Día a día las grandes ciudades del mundo registran mayores cantidades de vehículos de motor y, consecuentemente, mayores volúmenes de tránsito. En muchas de estas urbes la circulación vial ha alcanzado la capacidad de las calles en consecuencia, los niveles de servicio se ven seriamente deteriorados. Conforme pasa el tiempo un mayor porcentaje de calles resulta afectado con el congestionamiento y los accidentes. Para atender este problema ha alcanzado notable desarrollo la tecnología de los dispositivos que controlan el tránsito, es decir, semáforos. En este aspecto se ha avanzado mucho, especialmente en los Estados Unidos, Alemania Occidental, Inglaterra, Francia y España ya que la tecnología de semáforos y el equipo producido en estos países han traspasado fronteras y son aprovechados por muchos países. Hoy en día no se evita el control de la circulación vial, en una gran ciudad, sin tratar de emplear sistemas más avanzados de control por medio de semáforos llegando, incluso a la aplicación de las computadoras para coordinarlos.

Pero no se debe pensar en que ha sido fácil y que se llegó rápidamente al grado de avance que se registra actualmente en los modernos sistemas de semáforos. Una larga historia de invenciones, investigaciones, manufacturas y otros diferentes tipos y sistemas de semáforos, llena casi medio siglo de esfuerzos por lograr la automatización óptima del control del tránsito en las calles de la ciudad, así se trate de la traza antigua de la misma o de las modernas autopistas urbanas.

Al principio de este siglo se empezó a utilizar los semáforos de tiempo en cruces aislados, que venían a sustituir a los policías encargados de controlar la circulación y permitir el uso ordenado y seguro del espacio común a dos corrientes de tránsito vehicular. El objetivo se logró con todo éxito al instalar un dispositivo que, trabajando 24 horas del día y bajo cualquier condición atmosférica, sustituía al policía y resultaba más barato para la ciudad. De esos semáforos en cruces aislados se pasó a la interconexión de los semáforos de varios cruces, con objeto de coordinar su operación. Dado el éxito obtenido la interconexión se realizó no solo a lo largo de las arterias sino en redes formadas por varias calles del centro de las ciudades. Posteriormente, los semáforos de tiempo fijo adquirieron más flexibilidad al dotárseles de capacidad para variar el tiempo de ciclo y su distribución para los diferentes accesos a la intersección.

La incorporación de detectores de vehículos y los consiguientes mecanismos de registros y mando en los controles locales constituyó un gran avance al permitir que las variaciones en el volumen de tránsito hicieron variar la duración del tiempo destinado a cada acceso de intersección. Con esto se logró el aprovechamiento óptimo del tiempo de ciclo de los semáforos. Fue en esta etapa

cuando se empezaron a incorporar elementos electrónicos a los mecanismos de los semáforos, que hasta entonces habían estado constituidos únicamente por elementos electromecánicos. Los semáforos citados, denominados **accionados por el tránsito** permitieron, al poco tiempo, que arterias ya congestionadas agilizaran el movimiento de vehículos.

El control centralizado mediante computadora ha permitido la combinación de un número enorme de datos, de muchos cruces, en forma simultánea y el establecimiento de estrategias para el manejo de elementos como volúmenes y densidad de vehículos, tiempos de ocupación del espacio, tiempos y repartos de ciclo, tiempos de desfase, longitudes de colas, etc. Esta nueva tecnología, con la utilización de computadoras, tiene un poco más de 20 años de haberse iniciado y está en continua evolución.

En 1974, cuando se realizó en la ciudad de México la instalación de un sistema piloto de semáforos controlados por computadora, se organizó un seminario para repasar la nueva tecnología. El evento fue organizado por la Asociación Mexicana de Ingeniería de Tránsito, A.C. y la empresa Eyssa Mexicana, S.A. y contó con el apoyo de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito y Transporte, del Departamento del Distrito Federal. Participaron seis conferencistas, quienes aportaron importante información tendiente a actualizar los conocimientos de los técnicos y profesionistas interesados en la materia. Dichas conferencias originaron el material que compone este libro, cuya finalidad es, precisamente, dar a otros ingenieros la oportunidad de actualizar sus conocimientos en esta moderna tecnología.

El contenido del libro se formó con base en los temas tratados en el seminario mediante las debidas modificaciones para lograr la secuencia necesaria y la uniformidad de expresión. En primer lugar, los conferencistas revisaron los textos con objeto de darles forma a fin de integrar un libro y, en segundo lugar, se encargó la revisión general al Ing. Luis Domínguez Pommerencke, quien dedicó muchas horas a fin de lograr un texto claro y conciso.

Se espera que este libro sirva para introducir en el ambiente técnico la motivación necesaria para encauzar acciones tendientes a aliviar los problemas de tránsito en las grandes ciudades. En la habilidad de los ingenieros y los administradores públicos para captar las ventajas de la moderna tecnología reside en la oportunidad de otorgar al usuario la calidad de circulación vial que mejor satisfaga sus necesidades de transportación.

A parte de las satisfacciones que hemos recibido quienes participamos en la realización del seminario citado y en la de este libro, tuvimos una más singular. Esta fue la de auspiciar la unión de esfuerzos de tres ingenieros españoles y tres ingenieros mexicanos que tuvieron a su cargo el desarrollo de los temas. Los ingenieros de España que estuvieron con nosotros los señores : Julio García,

José Jalle Alari y José Luis Ramírez Camacho. Su amplitud de conocimientos, su buena voluntad hacia el proyecto y su trato amable hicieron de esta empresa una agradable experiencia. Vaya para ellos y para sus colegas mexicanos el Dr. en Ing. Alejandro Martínez Marquez y los Ings. Rodolfo Aldape Cantu y Luis Domínguez Pommerencke, nuestro mas amplio agradecimiento.

## **EVOLUCION DE LOS SEMAFOROS**

### **Antecedentes.**

La Ingeniería de Transito tiene sus raíces desde antes de la existencia del Imperio Romano; por ejemplo, en Babilonia, en el año 2000 a.C. fue necesario tomar medidas de regulación y reglamentación del transito para controlar el flujo de vehículos en sus calles empedradas. Después, en Roma, se usaron las calles de un solo sentido y se aplicaron restricciones especiales de estacionamiento para apartar los carruajes de las calles principales. En las grandes ciudades del Imperio, debido a los congestionamientos, fue prohibida la entrada de vehículos a los centros de negocios durante ciertas horas del día. Las marcas sobre el pavimento fueron usadas desde el año 1600 en un camino que partía de lo que hoy es la Ciudad de México y tenía incorporada en su construcción una línea central contrastante para definir los sentido de circulación.

En París, como lo muestra la magnífica pintura de Pizarro, en el siglo pasado, antes de la aparición del automóvil ya existían problemas de circulación en la Avenida de la Ópera, con grandes volúmenes de transito de carruajes, estacionamiento lateral y gran número de peatones que tenían dificultades para cruzar la calle.

Es de imaginarse que en aquella época los accidentes eran por atropellamiento de peatones, causados por carruajes con caballos desbocados. Ingeniería de Transito.

Hace algunos años el trabajo del ingeniero quedaba terminado con la construcción del camino. Sin embargo, el advenimiento del automóvil como medio popular de transportación y el uso de camiones de motor para el transporte de bienes, incorporaron al panorama grandes velocidades y elevados volúmenes de transito. Este desarrollo vino a crear problemas que fueron demasiados complejos para ser resueltos por métodos tradicionales de control policiaco y de regulación. Como resultado, el ingeniero fue llamado para aplicar métodos científicos a la solución de los problemas viales naciendo así la Ingeniería de Transito.

La Ingeniería de Transito, tal como se conoce y se practica hoy en día, puede definirse como sigue :

**La Ingeniería de Transito** es la parte de la ingeniería que trata de la planificación, diseño geométrico y operación del transito en las calles y carreteras, de sus terminales, de las áreas colindantes, de la red vial y las relaciones con otros medios de transporte, para lograr un movimiento de personas y mercancías en forma segura, económica y cómoda.

### **La Invasión del Vehículo de Motor**

Los primero vehículos movidos por motor de gasolina estuvieron disponibles para el publico fueron, quizás, aquellos que la Connelly Motor Co. de Nueva York puso a la venta en 1888. Los Daimler y Duryea fueron ofrecidos a la venta en 1891 y 1892, respectivamente. Hoy en día el automóvil se ha convertido en un factor dominante de nuestra vida.

El transporte en vehículos de motor, siempre creciente, se ha traducido en congestionamiento de transito, evidenciándose en mayor grado en las áreas urbanas. El uso del automóvil, el camión y el autobús han pasado a ser una parte tan significativa de la vida social, comercial e industrial de la comunidad, que al no poderse mover con eficiencia y seguridad, surgen la angustia, la inconveniencia y las perdidas económicas. El desahogo del congestionamiento del transito en las áreas urbanas es vital y se le debería conceder la máxima importancia.

### **Semáforos**

En un principio se llamo semáforo a una torre destinada a transmitir señales luminosas, especialmente desde la costa a los barcos. No se puede determinar con exactitud cuando comenzó su aplicación a los problemas de circulación. Existen antecedentes de que en 1868 se instalo en Londres un rudimentario semáforo destinado a vehículos de tracción animal para facilitar el cruce de la calle, a los miembros de la Cámara de los Lores. En Estados Unidos se instalaron los primeros semáforos eléctricos en Cleveland, en 1914, en tanto que en Detroit, en 1917, William P. Eno instalaba la primer Torre de Transito.

En Madrid funcionaron unos semáforos en la Puerta del Sol en los anos de la década de los "Veintes".

En México, en 1924, se instalaron los primeros semáforos en el cruce de la Av., Juárez y San Juan de Letran y también frente al Teatro Nacional. Estos no eran eléctricos sino mecánicos y consistían de un tubo en cuya parte mas alta tenia dos letreros en forma de cruz; en uno decía Adelanta Adelante y en el otro

decía Alto Alto. Lo manejaba un agente de la policía desde el centro de la intersección, quien hacia girar el tubo con una palanca y así cambiaba el letrero en una y otra dirección. El 20 de noviembre de 1932 fueron puestos en servicio los primeros semáforos eléctricos en San Juan de Letran y en la Plaza del Seminario. Estos consistían en una caja sobre un pedestal alumbrada con un foco, en donde los letreros de Adelante y Alto se alternaban en forma simultánea para permitir el paso de vehículos mientras el orto sentido permanecía en alto.

### **Semáforos de Tiempo Fijo**

Como consecuencia de los problemas de transito ocasionados por la invasión del automóvil se desarrollo el dispositivo llamado de **Tiempo Fijo** que en realidad fue el primer electromecánico. Como su nombre lo indica el tiempo de ciclo no varía, es decir, el tiempo que transcurre entre la aparición de una indicación verde y la siguiente, después de pasar por el ámbar y el rojo, no cambia. Fue William Potts del Departamento de Policía de la ciudad de Detroit, E.U.A., a quien se acredita el origen del primer semáforo de tiempo fijo con el arreglo convencional de luces roja, ámbar y verde que aun se utiliza en nuestros días. La primera instalación tuvo lugar en 1920, en la ciudad antes citada.

### **Coordinación de Semáforos**

Los primeros esfuerzos para coordinar semáforos se hicieron con el sistema simultáneo en el cual todas las luces a lo largo de una calle indican siga simultáneamente, en tanto que los transversales se tiene la indicación de alto. El primer sistema de intersecciones interconectadas se llevo a cabo en la ciudad de Houston, en 1922. De ahí en adelante este sistema cobro gran popularidad.

El siguiente paso fue el desarrollo del sistema alternado. A alguien se le ocurrió, un día, la idea de invertir las lentes roja y verde en grupos alternados de semáforos. El principio del sistema alternado había sido ya esbozado en 1916 por el Ing. E. P. Goodrich, uno de los fundadores del Instituto de Ingenieros de Transito en E.U.A. y su primer presidente. En 1925 y 1926 se pusieron en operación los primeros sistemas de esta naturaleza en el estado de Michigan y en el Distrito de Columbia, E.U.A.

Entre tanto, se venían ya desarrollando los sistemas progresivos. En 1924 la Compañía Crouse Hinds introdujo el primer interruptor automático de programación variable que hizo posible la operación de sistemas progresivos flexibles para la coordinación de semáforos. Fue en la ciudad de Chicago. E.U.A. en 1926 donde se llevo a cabo la primera instalación.

## Semáforos Accionados por el Transito

El sistema progresivo para la coordinación de semáforos hizo posible, mediante el interruptor automático de programación variable, dar mayor flexibilidad al control del transito. Sin embargo no la suficiente.

El requisito de un ciclo constante para todos los semáforos dentro del sistema significa, a menudo, que se tuviera la luz roja en una calle donde se necesitaba verde y viceversa.

No obstante que los tiempos podían ajustarse para satisfacer las necesidades de volúmenes fuertes a ciertas horas, no había manera de cubrir fluctuaciones que podían ocurrir durante el día, por razones a veces difíciles de pronosticar. A.A. Carter y J. Rant en un artículo publicado en 1967 para la Sociedad de Ingenieros Civiles de Londres, comentaba :

*"En algunos aspectos, estos primeros semáforos significaron un retroceso... El nuevo policía automático era totalmente ciego. El control de tiempos fijos no tenía ningún conocimiento de la demanda"*.

Charles Alder ingeniero en el campo de la semaforizacion de ferrocarriles en E.U.A., era de aquellos que sentía inquietud por el problema del control del transito. Si los trenes sobre rieles podían accionar un semáforo de ferrocarril, porque un vehículo no habría de hacerlo con un semáforo de transito?. La respuesta fue un dispositivo inventado por Adler en 1928 el cual respondía al tocar la bocina del automóvil. Esta fue la primera instalación para controlar el transito en intersecciones de calles mediante semáforos accionados por los vehículos.

Sin embargo, el propio Adler admitía que su dispositivo era poco practico en zonas congestionadas o de gran demanda de transito, por el gran numero de interferencias producidas por el ruido de los vehículos.

En este mismo año de 1928, la Universidad de Yale, E.U.A. desarrollo lo que podría considerarse como el tipo moderno de semáforo accionado por le transito. El prototipo de detector sensitivo de presión fue instalado en New Haven, el 10 de abril de 1928. Precisamente 7 semanas después de la instalación de Adler, en Baltimore, E.U.A.

Esta instalación pionera de Yale se basaba en los mismos principios que utilizan los detectores de nuestros días : las planchas de metal que se juntan bajo

la presión del peso de los vehículos envían impulsos eléctricos al control de los semáforos.

En comparación con los años '20, las dos siguientes décadas fueron de años relativamente poco dramáticos en la evolución de dispositivos para el control del tránsito.

Para 1931 había ya instalados semáforos accionados por el tránsito en más de 29 estados de la Unión Americana. En la ciudad de Chicago se instaló el primer semáforo accionado el 23 de julio de 1929 y en Washington D.C., a fines de 1931.

Montreal, Canadá, tenía 50 intersecciones equipadas con semáforos accionados en junio de 1933. Este fue el primer intento de instalación a esta escala, en el centro comercial de una gran ciudad.

#### Semáforos Controlados por Computadoras

El siguiente paso, realmente significativo, no se produjo sino hasta principios de los '50 : las computadoras para el control del tránsito hicieron su aparición en escena.

Las computadoras permitieron el procesamiento de los datos registrados por los detectores haciendo posible que los cambios de ciclo, reparto y desfaseamiento se llevaran a cabo en respuesta a los movimientos reales de tránsito dentro de cierta área geográfica.

Una de las aplicaciones más ampliamente aceptadas fue el control accionado del tipo volumen-densidad. Esta es una computadora que toma en cuenta : el número de vehículos esperando ante la luz roja del semáforo; el tiempo del primer vehículo que llega a la intersección y la densidad de vehículos en la fase que tiene la luz verde.

Probablemente el más extenso entre los primeros sistemas supervisados por computadora, fue el que se puso en operación en Denver, E.U.A. el 5 de mayo de 1952.

El sistema comprendía 120 intersecciones del centro comercial y su periferia, usaba una computadora simple y seis detectores sensibles a presión; tres median el tránsito entrando en el área y tres el tránsito saliendo.

A pesar de todas las nuevas ventajas que ofrecían estas primeras computadoras, los ingenieros de tránsito no dejaban de reconocer que había ciertas limitaciones:

\* Los sistemas utilizaban un número limitado de detectores.

- \* Los programas locales solo se podían cambiar en cada intersección
- \* Los sistemas no suministraban datos sobre el funcionamiento de tal manera que no había modo de hacer una evaluación del mismo.

El advenimiento de computadoras mas sofisticadas abrió el camino para salvar estas limitaciones. Fue posible ahora que la computadora enviara a cada intersección la programación individual de los semáforos. Mas aun, con las nuevas computadoras, los datos registrados por los detectores podían almacenarse y ser procesados de diversas maneras haciendo posible un avance gigantesco en el control y supervisión del transito.

El área metropolitana de Toronto-Ontario, Canadá, fue la primera en usar este tipo de computadoras para el control de una red de calles. El sistema fue diseñado en 1963.

La computadora fue conectada a las intersecciones, a través de líneas telefónicas rentadas y para suministrar información a la misma, se instalaron gran numero de detectores.

Inicialmente se programaron 9 rutas comprendiendo 159 intersecciones semaforizadas. Cada ruta fue optimizada para que la circulación fluyera en toda la longitud, sin considerar el transito en calles transversales. Mas adelante se desarrollo un arreglo en el que optimizaba una red de calles lográndose mejoramientos en tiempos de recorrido hasta de 30 por ciento en algunas rutas.

Desde entonces, la proliferación de sistemas para el control del transito mediante computadoras ha sido verdaderamente impresionante. Alemania, España, Inglaterra y Francia son algunos de los países de Europa donde se han logrado avances importantes en este campo de la Ingeniería de Transito. Un articulo reciente de la revista *Traffic Engineering*, destaca que existen actualmente en Estados Unidos de América alrededor de 150 ciudades donde se están instalando sistemas de esta naturaleza. En América Latina se ha despertado la inquietud por aplicar las técnicas mas modernas al control de transito. Buenos Aires, Argentina y la ciudad de México son buenos ejemplos de este movimiento que ha adquirido popularidad a nivel mundial.

## **ESTUDIOS DE INGENIERIA DE TRANSITO**

El propósito de este capitulo es el de explicar los estudios de ingeniería de transito que debe realizarse para formular un plan de esta naturaleza. Estos estudios comprenden :

- \* Inspección Preliminar de la Zona
- \* Delimitación de la Área por Controlar
- \* Recopilación y Análisis de Información
- \* Proposición de Medidas de Ordenación del Tránsito
- \* Planteo de Posibles Soluciones
- \* Criterios de Evaluación

### **Inspección Preliminar de la Zona**

En ciudades donde se pretende instalar un nuevo sistema de semáforos es necesario hacer recorridos a pie y a bordo de vehículo con el fin de familiarizarse con las características del tránsito en el lugar. Pero antes de realizar la inspección es conveniente estudiar y analizar toda aquella información básica que pueda proporcionar la municipalidad, pudiendo citarse entre las más importantes, la siguiente :

- A) Mapa de la ciudad a una escala conveniente en la que se pueda distinguir la vialidad principal y la secundaria.
- B) Datos estadísticos sobre el crecimiento de la población, vehículos, consumo de combustible, etc.
- C) Mapa con el inventario de recorridos de toda clase de vehículos.
- D) Plan a futuro de vialidad para la ciudad.
- E) Disponibilidad de personal local para estudios de campo.
- F) Mapa con el inventario de los recorridos de autobuses, trolebuses, tranvías, etc.

Todo este proceso previo permitirá establecer los lineamientos básicos del plan de trabajo a seguir.

### **Delimitación del Área por Controlar**

Es evidente que el objetivo que se busca es el beneficio aportado por un nuevo sistema de semáforos alcance el mayor número de usuarios. Para tal efecto, el área por controlar debe limitarse bajo las siguientes premisas básicas :

- A) Abarcar la zona con mayores problemas térmicos de : volúmenes de tránsito y peatones, accidentes de tránsito, velocidad y tiempos de recorridos, paradas y colas de vehículos.
- B) Dar preferencia a los corredores viales de penetración y salida del área central.
- C) Resolver las intersecciones críticas del área central de la ciudad.
- D) Controlar el flujo de tránsito entrando al área mediante zonas de almacenamiento, antes de las intersecciones periféricas controladas por semáforos.

## Recopilación y Análisis de Información

La planeación de cualquier sistema de semáforos, requiere de información relativa a las condiciones físicas y operacionales del sistema vial. A continuación se hace una descripción de los procedimientos convencionales para recopilar, procesar y analizarla. Los datos que son necesarios obtener son :

- A) Volúmenes o intensidades del tránsito durante las 24 horas de los 7 días de una semana, en puntos estratégicos de la zona, localizados sobre la vialidad principal y sobre la secundaria.
- B) Aforo de 24 horas durante el día que haya registrado mayor demanda, en aquellas avenidas y calles no cubiertas por las estaciones de 7 días.
- C) Aforo direccionales en la hora de máxima demanda, del día máximo, en las intersecciones críticas del sistema.
- D) Estudios de velocidad y retardo.
- E) Característica de flujo de tránsito controlado tales como, número de vehículos por hora luz verde, equivalencia de vehículos ligeros por camión, etc.
- F) inventario físico y de tránsito en intersecciones con semáforos.

**Estudios de velocidad y retardo.** Este procedimiento es conocido como procedimiento del vehículo flotante. Consiste en hacer una serie de recorridos a bordo de un vehículo sobre rutas preestablecidas, manteniendo una velocidad aproximadamente igual a la velocidad del flujo vehicular. Se requiere de un mínimo de 2 personas provistas de cronómetros. El procedimiento consiste en anotar los tiempos progresivos del cronometro al paso por cada una de las intersecciones controladas por semáforos, debiendo registrarse el número de paradas, tiempo en segundos de cada parada y la longitud aproximada de la cola de vehículos; deberán hacerse durante los periodos de máxima demanda siendo necesario utilizar 2 vehículos simultáneamente.

**Flujo de Saturación.** Es el flujo que podría obtenerse si el movimiento de la cola de vehículos fuera continua y se hubiera dado un 100 % de tiempo verde.

El flujo de saturación puede obtenerse haciendo mediciones en intersecciones típicas representativas de diferentes zonas de la ciudad. Se escogen las rayas de alto en los accesos de cruce determinándose el tiempo que necesita una cierta cantidad de vehículos que se encuentran parados ante una luz roja para poder pasar la raya de parada durante la luz verde.

El resultado de dividir el número de unidades que pasan por la línea de alto entre el tiempo empleado hasta que pasa el último vehículo permite conocer el tiempo promedio por unidad requerido para cruzar la intersección.

**Velocidad de Peatones.** La velocidad con que caminan los peatones a lo largo de los pasos para peatones, en las intersecciones controladas por

semáforos, puede obtenerse mediante muestreos midiendo el tiempo y la distancia que estos emplean para pasar de una acera a la otra.

**Índice de Saturación.** Se obtiene dividiendo el volumen de demanda efectivo por carril, es decir al numero de vehículos que pasan durante la luz verde del semáforo mas los vehículos que queden en la cola, entre la saturación del flujo.

**Factor de Carga.** Viene a ser un indicador del grado de utilización del acceso de una intersección controlada por semáforos, durante la hora de flujo máximo. Es la relación entre el numero de fases que están cargadas totalmente utilizadas por el transito y el numero total de fases disponibles para ese acceso durante el mismo periodo de tiempo.

### **Proposición de Medidas de Ordenación del Transito**

Se refiere a una serie de medidas de ingeniería aplicadas a la infraestructura vial , pudiéndose mencionarse entre las mas importantes las siguientes :

- A)Modificación de los sentido de circulación.
- B)Reducción del numero de fases de los semáforos a través de la eliminación de las vueltas o giros a la izquierda.
- C)Modificación geométricas consistentes en ampliación de arroyos de circulación, carriles especiales de vuelta izquierda, etc.
- D)Prohibición del estacionamiento para lograr mayor capacidad de las vías.
- E)Señalamiento horizontal y vertical a fin de orientar a los usuarios.

**Modificación de los Sentidos de Circulación.** Es uno de los recursos de ingeniería de transito que suele utilizarse para lograr mayor fluidez en la circulación, a un costo bajo. Varias son las ventajas que ofrecen las calles de un sentido; entre algunas se puede mencionar :

- \* Proporcionar mayor seguridad a los usuarios debido a que el numero de *conflictos en las intersecciones se reducen a una cuarta parte.*
- \* Aumentan la capacidad de la vía en virtud de que se eliminan las fases de vueltas o giros a la izquierda en las intersecciones y se aprovechan mejor la superficie de rodamiento sobre todo cuando existe un numero impar de carriles.
- \* Los tiempos de recorridos se abaten y es mas fácil la coordinación de los semáforos de las intersecciones (calles de un solo sentido).
- \* Se reduce el numero de accidentes por colisiones de frente.
- \* Al reducirse los tiempos de recorridos se reduce el numero de paradas y como consecuencia la contaminación ambiental.

**Eliminación de vueltas o Giros a la Izquierda.** El propósito de suprimir los giros a la izquierda en intersecciones controladas por semáforos es el de

lograr mayor capacidad. Mientras mayor sea el numero de movimientos a los que hay que cederles el derecho de paso mediante fases del semáforo, menor será el tiempo de luz verde disponible y por consiguiente el numero de vehículos de cada movimiento que puedan cruzar la intersección.

### **Planteo de Soluciones**

A continuación se hará referencia a una serie de criterios que es necesario tomar en cuenta en la selección del sistema de semaforizacion, para el control dinámico del transito.

**Control Dinámico** significa que la secuencia y duración de las luces de los semáforos varia de acuerdo con el comportamiento del flujo vehicular.

La operación antes descrita se puede lograr automáticamente y en forma mas económica, mediante la instalación de detectores en cada acceso a la intersección los cuales registran el paso de los vehículos, enviando la información al control o mando local el que a su vez determina la duración que debe tener la luz verde del semáforo.

Mediante el análisis de la información obtenida sobre las características del transito, es posible preparar un plan. La secuela a seguir es la siguiente :

- 1.- Presentar la magnitud del problema que tratamos de resolver, en términos de conflictividad del transito. Esta se puede cuantificar a través de los parámetros : tiempo y velocidad de recorrido, demoras, paradas y accidentes de transito.
- 2.- Determinar las estrategias a seguir en el control del transito, en función del patrón y la magnitud de los movimientos vehiculares en el área estudiada; estas incluyen :
  - A) Delimitacion y evolución futura del área por controlar.
  - B) Establecimiento de grupos de intersecciones dentro del área.
  - C) Localización de detectores dentro el área por controlar.
  - D) Determinación del numero de programas de semáforos de cada subsistema.
  - E) Determinación del numero de estructuras en cada intersección.
- 3.- Seleccionar el sistema de semáforos, considerando los siguientes requisitos básicos :
  - A) Optimizacion de los parámetros del transito.
  - B) Flexibilidad y manejabilidad.
  - C) Confiabilidad.
  - D) Factibilidad de implementacion.
  - E) Experiencia en otras instalaciones semejantes.

- 4.- Justificar operacional y económicamente el sistema propuesto a través de :
- A) Mejoramiento del nivel de servicio por reducción de tiempos de recorridos, demoras y paradas, y por aumento en la capacidad.
  - B) Reducción de accidentes de transito.
  - C) Análisis beneficio/costo.

### **Criterio de Evaluación**

A continuación se detallan los objetivos básicos con los que debe cumplir el sistema de semáforos controlados por computadora, así como los criterios de evaluación de estos objetivos, al comparar distintas alternativas.

#### **Objetivo A : Operación del Transito.**

El objetivo mas importante es el que se refiere al cumplimiento de ciertas condiciones de operación, siendo los factores para alcanzar dicho objetivo los siguientes :

- 1.- Hacer mínimos los tiempos totales de recorrido.
- 2.- Hacer mínimo los tiempos totales de espera.
- 3.- Hacer mínimo el numero de paradas.
- 4.- Lograr el máximo flujo de transito posible.
- 5.- Lograr el máximo de seguridad para el transito de peatones y de vehículos.
- 6.- Hacer mínimo los costos de viaje.

A fin de alcanzar este objetivo, el sistema debe ser capaz de detectar las variaciones del transito en diversos puntos del área bajo control y reaccionar de inmediato después de esta detección.

#### **Objetivo B : Flexibilidad y Manejabilidad.**

Este objetivo es especialmente importante en términos de desarrollo futuro del sistema. Las premisas para conseguirlo son :

- 1,- Variabilidad de los programas y de los tiempos de las indicaciones de los semáforos.
- 2,- Variabilidad de la red de semáforos y de su organización.
- 3.- Variabilidad de la filosofia de control.
- 4.- Aptitud para adaptarse al crecimiento de la ciudad.
- 5.- Redacción automática de informes relativos a las operaciones de servicio.

#### **Objetivo C : Confiabilidad.**

Es de gran importancia dado que cuando el sistema se encuentra en perfecto estado, podrá responder con eficacia a las exigencias planteadas por los ingenieros de transito. Los factores que condicionan la confiabilidad son :

- 1.- Pronósticos de los tiempos de falla en elementos importantes del sistema.
- 2.- Grado de dificultad y gastos en capacitación del personal encargado del mantenimiento.
- 3.- Posibilidad de supervisión central automática, de los elementos críticos del sistema.

Estos factores pueden interpretarse en el sentido de que lo que interesa es, un máximo de tiempo libre de averías y un mínimo en los costos de mantenimiento.

#### **Objetivo D : Factibilidad.**

Por *factibilidad* se entiende la suma de todas las dificultades que han de superarse hasta que el sistema completo este funcionando. Las características son las siguientes :

- 1.- Grado de dificultad técnica de la instalación.
- 2.- Tiempo necesario para que el sistema funcione.
- 3.- Grado de dificultad para formar personal especializado.

#### **Objetivo E : Diversos.**

- 1.- Es necesario determinar si un sistema ha probado ya su eficiencia en la practica.
- 2.- Determinados sistemas ofrecen, además de su función básica, algunas otras que también deben ser valoradas.
  - A) Numero de sistemas aislados.
  - B) Control de semáforos por carril, para movimientos direccionales.
  - C) Funciones directivas en el transito.

## CRITERIOS PARA LA INSTALACIÓN DE SEMÁFOROS

La diferencia fundamental entre una regulación con señales de ceda el paso o señales de alto, contra semáforos, estriba en que el primer caso, se deja a el criterio del conductor la posibilidad de cruzar la intersección, mientras que en el segundo, son las indicaciones luminosas las que obligan, sin dejar opción a el conductor de tomar alguna iniciativa.

Es evidente que en el primer tipo de señalización, es el que deja mas libertad a el conductor, suele ser mas agradable para el mismo, y tiene una mejor acogida entre los usuarios de los vehículos. No obstante esta libertad relativa de la que disfrutan los conductores en los cruceros con señales de ceda el paso o señales de alto, pueden producir un numero elevado de accidentes o demoras excesivas a vehículos que esperan el acceso y no tienen ninguna oportunidad de paso y, por lo tanto se obliga a la instalación de un semáforo.

Para saber si una intersección precisa de regulación con semáforos o no, se han establecido ciertas normas basadas en criterios de *capacidad, confortabilidad y seguridad*.

## UBICACIÓN Y NUMERO DE SEMÁFOROS

No existe ninguna norma sobre la ubicación y numero de semáforos que deben colocarse en una intersección y, en general, es el criterio del técnico que diseña la instalación la que prevalece.

A pesar de esto, admitiremos que la experiencia ha dictado una serie de normas que, sin tener carácter imperativo, muy bien pueden servir de punto de partida para realizar una instalación.

En general los semáforos pueden situarse en cada uno de los accesos que se desean regular, antes de cruzar la intersección; si esta es de dimensiones reducidas, es posible que sea mas conveniente ubicarlos después de cruzar la intersección.

Es conveniente también, por razones de seguridad que existan por lo menos dos semáforos para cada dirección, funcionando simultáneamente, ya que de esta forma, si un vehículo impide la visibilidad, o si se funde una lampara, siempre quedara otra lampara visible, para así evitar posibles "cuellos de botella", y por su puesto, lo indeseable, accidentes donde quede expuesta la seguridad de la gente.

El numero de semáforos debe aumentarse con la anchura de la calzada, así como con la intensidad de el transito.

Otro aspecto a considerar es el de los semáforos colgantes o sustentados en mensulas. Es evidente que su visibilidad es mucho mayor y son muy convenientes en lugares donde abundan los vehículos pesados. El único inconveniente de estos semáforos es la poca visibilidad que tiene para la gente que este cerca de la intersección.

La ubicación de semáforos antes de la intersección puede verse modificada por la existencia de pasos de peatones.

Es conveniente que entre el semáforo y la línea de detención exista una distancia de tres o cuatro metros para asegurar que el conductor de un vehículo parado, podrá ver bien el semáforo.

## SISTEMAS PARA LA REGULACION DEL TRANSITO

Se entiende por un **Sistema Dinámico de Control de Transito** aquel que hace posible una serie de indicaciones a los conductores de vehículos, generada por la información que del movimiento de esos vehículos posee el sistema.

En este capitulo son clasificado y descritos con sus funciones, organización básica y elementos constituyentes, los sistemas actuales.

Clasificación.

Se denomina **Programa o Plan de Regulación**, aquel que permite a los equipos que distribuyen energía a los semáforos, establecer la secuencia ordinal y duración de los tiempos de verde-ambar-rojo en los semáforos de un cruce aislado y la interrelación entre cruce, cuando sea preciso coordinar los programas locales.

Para una intersección, el programa contiene tres parámetros, si es aislado, o cuatro si esta relacionada con otras. Cualquier variación de por lo menos uno de los parámetros, dará lugar a un nuevo programa. Tanto desde el punto de vital local como de zona, los equipos y sistemas podemos clasificarlos como sigue :

- \* De un solo programa.
- \* De "n" programas

y dentro de los "n" programas se establece una subclasificación de aquellos sistemas capaces de :

- A) Una variación discreta del valor de los parámetros = numero limitado de P.
- B) Una variación continua del valor de los parámetros = numero ilimitado de P.

En el grupo "A)" de sistemas, es preciso el calculo de los parámetros y la selección de los mismos separadamente o en conjunto. El calculo se efectúa previamente en las oficinas técnicas o centros de ingeniería especializada, en función del conocimiento previo del transito con datos de :

- \* Características físicas de las calles e intersecciones.
- \* Variables del flujo de vehículos, volumen, intensidad, ocupación, densidad y velocidad.

La selección del momento en que debe finalizar o iniciar un programa predeterminado esta en función del :

\* **Tiempo.**- Por medio de unos relojes en los que se han programado las horas de inicio mas adecuadas para cada programa a lo largo del día, incluso diferenciando algunos días de la semana.

\* **Transito.**- Por la información del numero de vehículos que circulan y comparando el nivel actual con ciertos niveles predeterminados, se elige periódicamente el programa mas adecuado, de entre los preestablecidos para resolver aquella configuración del transito.

Se define como **Configuración del Transito** la determinada por valores concretos de la topografía y el flujo vehicular. Salvo en las configuraciones que coincidan idénticamente, los sistemas del grupo "A)" ofrecen únicamente soluciones aproximadas.

Los del grupo "B)" ofrecen posibilidad de un numero ilimitado de programas. Se justifica tal posibilidad por ser, en líneas generales, sistemas autosuficientes para determinar, en el preciso momento en que es conocida la configuración de transito, todos los parámetros, ahora variables, que configuraran el programa para dicho momento. Este es un sistema ideal dado que genera el programa optimo en cuanto surge variación en la configuración del transito.

Finalmente y desde el punto de vista de realización del sistema, es decir : concepción, organización, tecnología de los elementos que lo constituyen, pueden agruparse en :

- 1.- Descentralizados
- 2.- Centralizados :
  - A) Jerárquico
  - B) Absolutos

y a su vez en :

- 3.- Electromecánicos
- 4.- Electrónicos :
  - A) Válvulas
  - B) Estado sólido :
    - \* Circuitos con componentes discretos
    - \* Circuitos con componentes integrados

Sintetizando lo visto hasta aquí, en un sistema global distinguimos claramente una estructura en tres grupos de subsistema :

- \* Locales
- \* De transmisión
- \* Central

Para fines comparativos y de simplificación semántica, utilizaremos para designar las funciones que podríamos llamar **inteligentes** del sistema : programación lógica decisonal y ejecutiva la palabra **PROLDE** y para el accionamiento de potencia a los semáforos, **POT**.

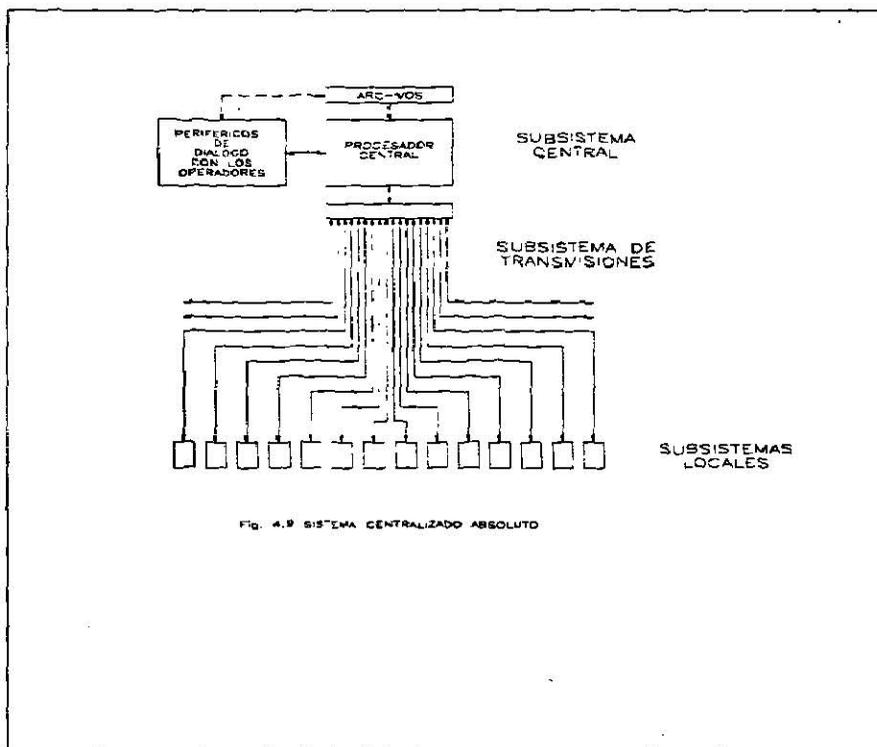
### Sistema Descentralizado.

No poseen mas que subsistemas locales funcionando con sus Pi (a lo sumo existen subsistemas de transmisiones y central con mínima PROLDE que posibilita un nexo elemental entre ellas; ortodoxamente ya seria un sistema centralizado). La característica básica de los subsistemas locales que lo constituyen, es la de que los equipos de regulación son accionados por el transito que llega a una intersección a través de detectores o sensores.

### Sistema Centralizado Absoluto

El subsistema central contiene la mayor parte o toda la PROLDE quedando el subsistema de transmisiones pasivo y los subsistemas locales con mínima PROLDE y POT, o solo con POT.

La Fig. 1 es el esquema de los bloques. Estos son :



En un subsistema central :

- \* Entradas/salidas información.
- \* Procesador Central en donde serán seleccionados o generados lo Pz
- \* Periféricos para el dialogo entre los operadores y el procesador central.
- \* Archivo de información para efectos estadísticos.

En el subsistema de transmisión :

- \* Múltiple equipo E/S en el subsistema central.
- \* Cables de unión.
- \* Equipo E/S en cada subsistema local.

En los subsistemas locales :

- \* Equipo regulador local
- \* Transmisiones de potencia a semáforos
- \* Semáforos
- \* Detectores.

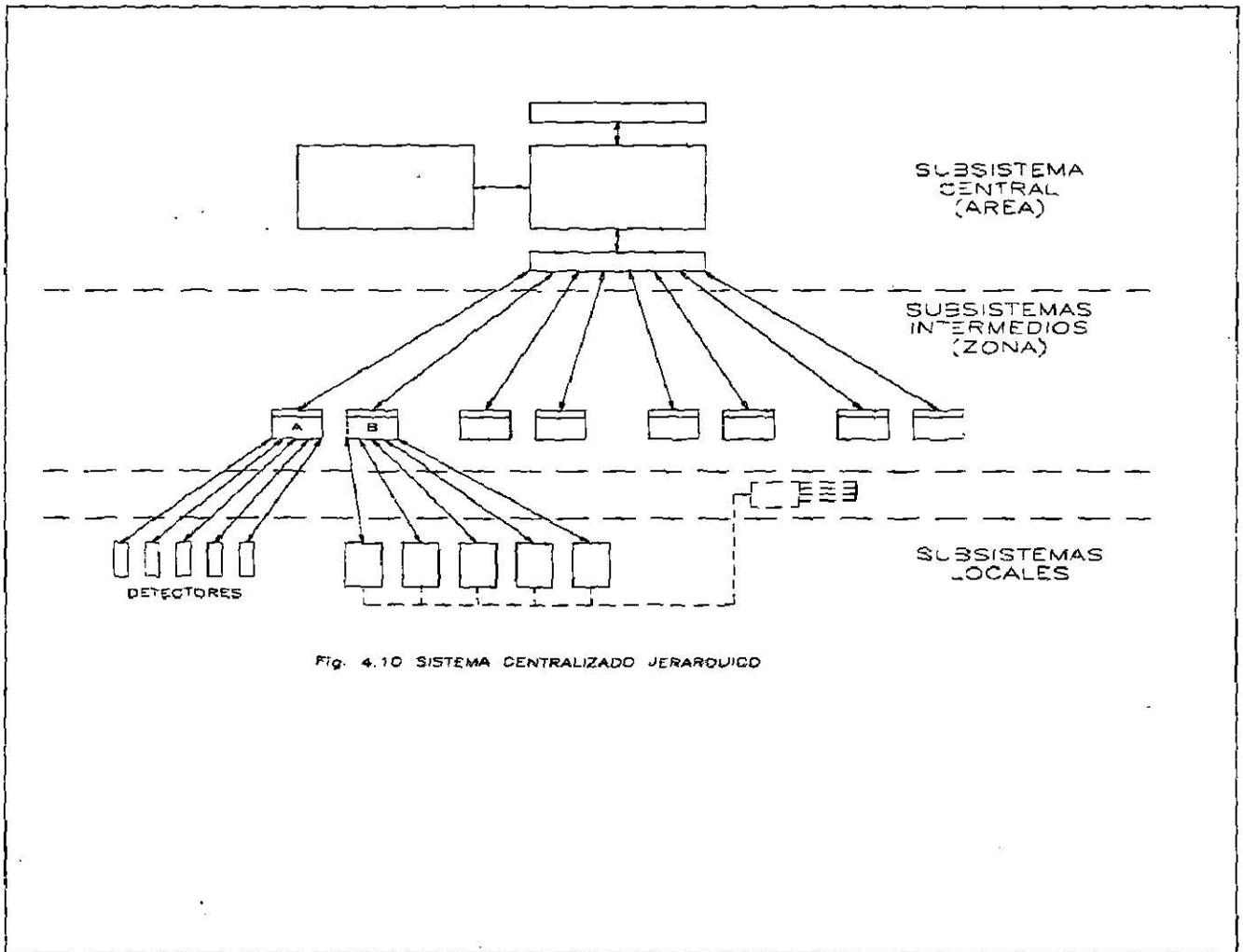
### **Sistema Centralizado Jerárquico**

En la Fig. 2 se representa el diagrama de flujo para este sistema que podemos considerar como una evolución lógica de los sistemas absolutos, los cuales confrontan una serie de limitaciones en el tiempo, capacidad y seguridad de la regulación del transito. La descripción/mas general de esta evolución podría ser : el sistema jerárquico es consecuencia de la separación de funciones paralelas de un sistema absoluto, que este realizaba completamente en su subsistema central, y que en el sistema jerárquico se llevan a cabo en un sistema central y en subcentrales o intermedios, según una distribución por niveles de PROLDE.

Un subsistema central de organización parecida al absoluto pero con :

- \* Procesamiento de menor numero de funciones, con el mas alto nivel de PROLDE.
  - \* Menor tamaño y complejidad del equipo.
  - \* Menor complejidad en E/S transmisiones.
  - \* Mayor capacidad para control de cruceros.
  - \* Mayor velocidad de operación.
  - \* Menor tiempo de respuesta ante las variaciones en la configuración del transito.
- todo ello básicamente por la existencia de :

- \* Subsistemas intermedios a uno o varios niveles y dentro de cada nivel, idénticos en funciones, lo cual permite :
- \* Tratamiento paralelo de las diversas zonas que pueden componer un área, estando cada zona bajo el control de un subsistema intermedio.
- \* Posibilidad de Pz propios en cada zona, independientes del subsistema central, que garantiza una continuidad en el control de los subsistemas locales ante una emergencia en el central. Es decir, niveles de seguridad de funcionamiento entre los subsistemas central y local.



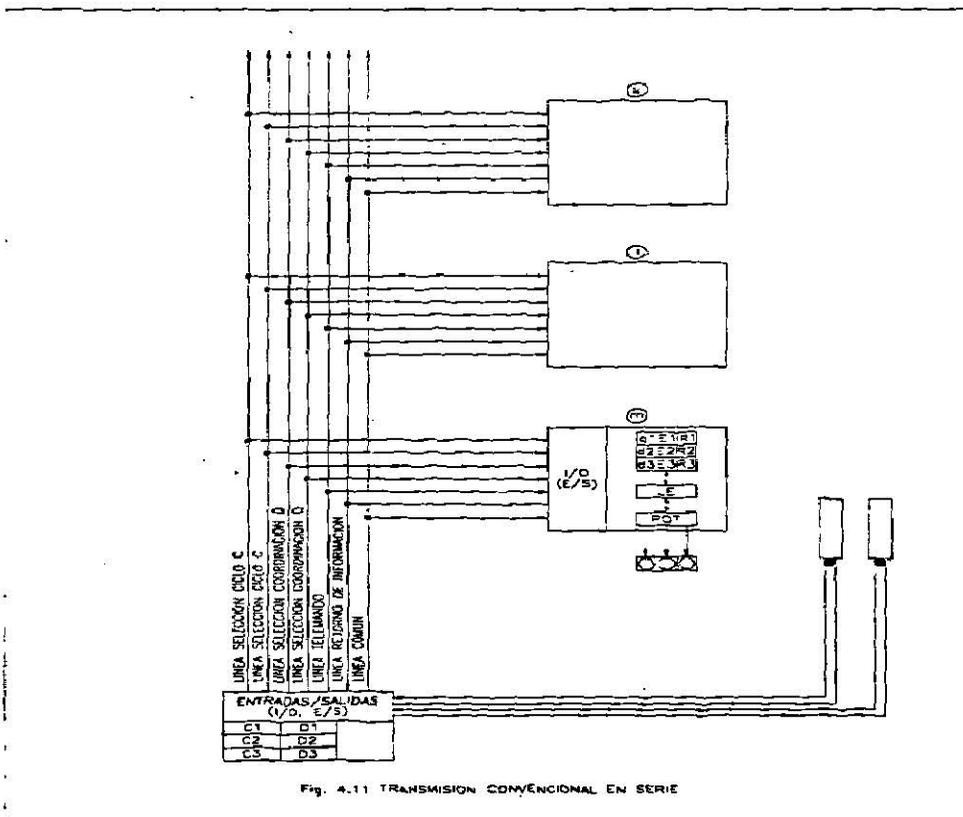
Expondremos a continuación la funcionalidad y tecnologías empleadas en cada uno de ellos, según las organizaciones básicas descritas.

**Subsistemas de Transmisiones :**

Son muy dispares los sistemas usados, pero básicamente se agrupan en dos :

- A) Convencionales
- B) Codificados

**Convencionales.** Son aquellos en que las señales de telemando son variables en tamaño, frecuencia e intensidad, utilizando como soporte conductores eléctricos de cobre de sección y aislamiento variable y no requiriéndose mas que los equipos de emisión directa de señales y los receptores normalmente integrados en la lógica decisonal. Así, en la Fig. 3 nos muestra un ejemplo de sistema centralizado de 3 Pz con ciclo y desfaseamiento alojados en el subsistema central; la interconexión se hace en serie mediante conductores que van desde el subsistema central a todos los sistemas locales.



**Multiplexados.** Se denominan de esta manera, a los sistemas mas modernos de transmisión, es decir, envío de instrucciones mediante impulsos con modulación de frecuencia a través de un cable telefónico de dos conductores, portadores de información totalmente codificada. Estos conductores pueden ser instalados en ductos construidos expresamente para el sistema de control o bien alquilados, por lo general, a las compañías de teléfonos.

### **Subsistemas Locales**

Son equipos de regulación en que los detectores son elementos característicos dentro de la regulación.

Estos equipos actualmente son realizados con tecnologías :

- \* Electromecánica
- \* Electrónica, estado sólido :
  - A) Circuitos discretos
  - B) Circuitos integrados

En los reguladores locales pueden presentarse las siguientes combinaciones electrónico-electromecánicas atendiendo a dos partes perfectamente diferenciadas.

- \* Mando, comprendiendo :
  - A) Entradas-Salidas (E/S)
  - B) Programas propios (Pi)
  - C) PROLDE
  - D) Lógica Ejecutiva (LE)
- \* Potencia, comprendiendo :
  - A) Salidas Potencia (POT)
  - B) Elementos de seguridad y auxiliares (SA)

El **detector de vehículos** es otro elemento de un subsistema local característico de la microactuación o de acción directa sobre los reguladores locales (detector táctico) o bien utilizado para el suministro a un subsistema intermedio o central de información, que permitirá la operación desde un nivel de macroactuación, sobre los reguladores locales (detector estratégico). Según el medio y energía que utilizan para captar la presencia de vehículos pueden ser :

- \* Neumáticos
- \* Electromagnéticos
- \* Ultrasónico
- \* Radar
- \* Infrarrojos

Los mas usuales son los electromagnéticos, formados por un equipo sensor-amplificador de la señal que genera una espira o bucle de "n" conductores enterrados en el pavimento al variar su campo magnético por la presencia metálica de un vehículo. El sensor-amplificador puede ser de ajuste manual normalmente con tecnología de estado sólido -circuitos discretos, o autoajustable, con lo cual se logra la mas alta confiabilidad.

### **Subsistemas Centrales**

Es bastante largo y complejo describir todas las tecnologías posibles. A modo de acotación de todo lo posible, detallaremos los mas simples y los mas complejos.

#### **Simple :**

Los primeros dispositivos para coordinar un numero reducido de cruces de una zona con un Pz en donde únicamente se introduce el ciclo en el subsistema central sirviendo de nexo con los subsistemas locales, son los electromecánicos. La realización comprende un motor sincrónico que hace girar a un tambor dividido en 100 a 50 ranuras o posiciones que es el soporte físico para la programación de los parámetros ciclo © en la central y Desfasamiento (D), Reparto ® y Estructura (E) en cada uno de los locales, según una distribución mínima de centralización.

#### **Complejos :**

Comprenden, básicamente, los de generación de programas o dinámicos y entre estos, con máxima complejidad, los centralizados **absolutos**. Tanto estos como los jerárquicos utilizan como procesadores centrales computadoras digitales generales de programación libre realizadas con circuitos integrados de medio (MSI) y alto (LSI) grado de integración con técnicas DTL, TTL y MOS, lo que permite altas velocidades de operación. La capacidad interna varia substancialmente, dado que si se trata de un sistema jerárquico esta es mucho menor, pudiendo utilizarse minicomputadoras. Tanto en unos como en otro, las palabras de la memoria se realizan generalmente por núcleos de ferrita, con 16 + 1 bits. La velocidad de un ciclo (lectura/escritura) es del orden de 1.5 microsegundos y de 3 a 4 para la ejecución de una instrucción.

En la aplicación al control del transito se distinguen cuatro partes esenciales en la programación de todo ordenador :

- \* Unidad entradas/salidas
- \* Unidad de memoria
- \* Unidad aritmética
- \* Unidad de control

Son las unidades de entrada/salida, las que hacen compatible el dialogo entre los detectores, subsistemas locales, intermedios y periféricos del subsistema central (lentos) y la unidad de memoria interna (rápida). La unidad aritmética es la que ejecuta las operaciones básicas bajo la dirección de la unidad de control. Esta, según las normas del IEEE, es la que realiza las instrucciones en una secuencia correcta, interpreta cada instrucción y da las ordenes adecuadas a las unidades restantes de acuerdo con dicha interpretación. Junto con la unidad de memoria, contiene los programas necesarios para que el conjunto resulte operativo en términos del control propuesto. Toda esta programación (software) se implementa utilizando los lenguajes empleados en calculo técnico y control de proceso : FORTRAN, ALGOL, ASSEMBLER y se halla organizado en tres grandes grupos de programas los cuales comprenden por lo general :

- 1.- Programas de Base
- 2.- Algoritmo de Transito
- 3.- Sistema Operativo

Podemos concluir con algunas afirmaciones y con algunas dudas, como siempre sucede en cualquier modalidad de decisión, aunque no por ello debemos renunciar tomarla :

#### ¿ Electrónicos o electromecánicos ?

- \* Electrónicos por mayor seguridad y flexibilidad
- \* Mayor costo inicial
- \* Menor tiempo de amortización con mejor rendimiento

#### ¿ Selección o generación ?

- \* Ambos en dos niveles, generación en el principal, selección en emergencia
- \* Mayor costo inicial en la solución mixta. El costo depende del tamaño del área. En pequeñas, el sistema de selección resulta mas económica que el de generación. En áreas grandes esta situación se invierte
- \* Menor tiempo de amortización con el sistema de generación
- \* Máxima seguridad en la solución mixta por niveles

#### ¿ Absolutos o jerárquicos ?

- \* Para tamaños pequeños de zona, sector o arteria, los dos son compatibles
- \* Para tamaños grandes, el jerárquico es mas seguro, manejable y fácil de integrar por su modularidad, pudiendo ser mas económico si se ha seguido una evolución cronológica en los equipos
- \* Sin esta lógica el costo inicial para grandes áreas puede llegar a ser inferior con el sistema absoluto
- \* En cualquiera de los dos casos la amortización es mas rápida con el jerárquico

Estas conclusiones objetivas pueden variar en trascendencia según la subjetividad de quien realice el análisis, pudiendo esta subjetividad además, decidir sobre la conveniencia de un determinado sistema que objetivamente no es el mas adecuado.

## **La Ingeniería de Sistemas Aplicada al Control del Tránsito**

En el presente capítulo se considera la problemática del Control de Tránsito enfocada desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas digitales. En forma progresiva, en términos de complejidad, se discuten algunos de los problemas que ocurren con el flujo del tránsito, introduciéndose algunos de los modelos que describan el comportamiento de los vehículos que circulan en una vía urbana rápida, una avenida y una intersección. Se complementa esta presentación con el problema del flujo vehicular en la red urbana. El tratamiento de los problemas presentados en este capítulo utiliza una nueva herramienta que es el controlador lógico programable en el tratamiento en la ingeniería de sistemas de esta manera se espera seguir motivando para la investigación de nuevos métodos para encontrar nuevas soluciones a los problemas convencionales, de tránsito.

El crecimiento rápidamente acelerado del número de vehículos en las ciudades y el deseo de entregar al usuario de la red urbana de operación más eficiente y adecuada del tránsito me interesó para diseñar un sistema piloto con Controladores Lógicos Programables y opera en dos áreas importantes en este artículo se describen con cierta amplitud, las diferentes fases que integran su implementación y presentar algunas respuestas a problemas vigentes además un conjunto de proyectos en vía de ejecución. El objetivo de esta presentación es introducir un sistema más versátil económico en donde se pueda implementar con utilidad si se llega a necesitar de enfrentar la operación de un sistema con los Controladores Lógicos Programables (PLC'S).

Conforme aumenta el número de vehículos en una ciudad y aumenta la actividad económica y social, aumenta también el uso de la red urbana, y eventualmente, puede llegarse a la situación en la que el flujo de vehículos se haga difícil y los tiempos de recorrido aumenten, hasta llegar a valores que hacen considerar seriamente la decisión de realizar un viaje o no dentro de la red. En esta situación se hace necesario aprovechar al máximo la capacidad vial de la red y esto puede lograrse mediante un sistema de control por PLC's enlazadas por computadoras que se encargue de coordinar el flujo y repetir el tiempo verde en cada acceso de cada intersección de acuerdo con la demanda. Desde luego no es la única solución pues otra solución sería ampliar las calles y avenidas derrumbando edificios hasta que el límite se haya construido una nueva ciudad sobre las ruinas de la anterior. Esto se presenta en la actualidad pero sería más costosa que los beneficios que se van a lograr. En consecuencia cabe considerar como solución previa a la destrucción de la ciudad a la instalación de un sistema por control por computadora.

Para el aprovechamiento adecuado de un sistema adecuado de un sistema para el control de transito por PLC's conectados por computadora requiere de un enfoque mas distinto y sofisticado que el usualmente empleado por la ingeniería de transito en el sistema de control de tiempos fijos . En este sentido creemos que la ingeniería de sistemas contribuirá significativamente .una serie de ejemplos de estas posibilidades constituyen el cuerpo de este articulo sin que de ninguna manera, agoten el tema sino solamente orienten. La noción de la onda verde es muy empleada por los operadores de transito , pero llega a tener poca utilidad cuando en las intersecciones se han acumulado vehículos en numero tal que el tiempo de verdes apenas alcanza a despacharlos. el empleo de fórmulas y procedimientos simplificados poco aportan cuando se dispone de la capacidad de computo de una computadora electrónica de gran velocidad . de escasa utilidad resulta emplear valores medios cuando en cinco minutos pueden ocurrir cambios considerables en los volúmenes que impone la demanda de paso al sistema que se controla .En fin que el aprovechamiento adecuado de los modernos sistemas de control por computadora exige un nuevo enfoque y una metodologia acorde con la dinámica del proceso que se intenta controlar .

Al describir el contenido de la Ingenieria de sistemas, es posible que se encuentren algunas diferencias ya que solo quiero implementar alternativas múltiples en lugar de una sola. La selección de las técnicas de la ingeniería de sistemas aplicables a la ingeniería de transito, y no debe de ser exhaustiva y por lo tanto, corresponde a las limitaciones de espacio para el presente trabajo y no otra forma de solución.

Con el propósito de buscar una forma de integración de los diferentes aspectos que participan en la problemática es altamente deseable acudir a las ciencias del comportamiento buscando de esta manera, una forma de comunicación entre un sistema automatizado para el control de transito y el conjunto de respuestas que cabe esperar manifieste el publico usuario . No disponemos por ahora , de un enfoque con esas características pero las razones para adoptarlo son múltiples, algunas de ellas se pueden enunciarse como sigue:

1) En un país en donde la participación de la población es muy limitada por razones de conocimiento previo, se puede cuestionar la siguiente pregunta . De que manera se puede determinar el beneficio económico y social que produce una reducción en el tiempo de recorrido dentro de una red urbana.

2) A la fecha , la preocupación de los técnicos ha estado un poco relacionada con las expectativas de la población . A veces aunque las soluciones técnicas vayan a beneficiar directamente al usuario, este no a sido informado suficientemente, y las molestias que le ocasionan los cambios le parecen innecesarios.

3) El hecho de utilizar tecnología moderna le sugiere generalmente a la población, la idea de progreso y de procuración por parte de las autoridades hacia la solución de problemas. Toca sin embargo, al técnico cuando una solución moderna es útil, cuando su costo es mucho mayor al beneficio esperado, cuando lo aparente es menos aconsejable que lo que la gente no ve en las calles.

Muy frecuentemente puede apreciarse que la reacción de los individuos ante las situaciones de tránsito que se desea controlar, originan que el problema se amplifique indebidamente o se subestime el esfuerzo de las autoridades para reducir los efectos nocivos de un tránsito mal operado.

## **Ingeniería de Sistemas Apoyado por PLC's su Contexto**

Los proyectos que hoy en día se ejecutan, en cuanto a la ingeniería se refieren son en general de una magnitud considerable, de modo que solo pueden realizarse adecuadamente cuando se les trata de una manera sistemática y racional. La complejidad de los sistemas que se realizan en la ingeniería de tránsito y se refieren al tránsito o al transporte urbano, surge con la interacción múltiple de variables totalmente diversas entre sí. Desde aquellas que pueden cuantificarse totalmente y aquellas que rechazan cualquier forma de cuantificación se debe recabar la mayor cantidad de información que son las variables hasta la más pequeña para un mejor resultado.

La ingeniería de sistemas pretende entonces de alguna manera recabar todas las variables para así cumplir su propósito y así suministrar los métodos que permiten tratar analíticamente con aquellos parámetros o variables cuantificables. También se puede, mediante técnicas estadísticas y aumentar el número de parámetros cuantificables y observando toda aquella de difícil cuantificación en relaciones aceptables estadísticamente. Y además permite tratar con aquellas variables que simplemente no son cuantificables, permitiendo al ingeniero la posibilidad de apreciar, cualitativamente, la magnitud probable de su influencia. Todo esto es posible a partir de una discriminación de las variables del sistema en los términos de: cuantificables y no cuantificables.

En principio consideremos el problema típico del diseño de un sistema. El diseño se simplifica, al menos conceptualmente, si subdividimos el problema de la siguiente manera

- A) Fases cronológicas en la que se dividen el diseño del sistema.
- B) La secuencia lógica de los pasos que forman el diseño del sistema

- C) Las herramientas matemáticas y científicas para el diseño del sistema
- D) los subsistemas en que (administrativamente o funcionalmente ) pueden dividirse el sistema.
- E) las partes funcionales que integran el sistema

Suponiéndose que el objetivo es diseñar un sistema para el control de tránsito cuando la fase de planificación ha sugerido esta como la mejor sugerencia o alternativa lo cual debe ser el resultado de un análisis completo de la efectividad o de la relación beneficio/costo de otros sistemas alternativos podemos asociar los elementos citados a este tipo de sistemas, de la manera siguiente :

Fases. Un proyecto de esta naturaleza se inicia, cuando se aprecia una *calidad baja del flujo en términos de nivel de servicio, dentro de la red urbana* . en seguida es necesario disponer de una definición del área en la que el impacto del sistema de control del tránsito sea mayor, o mas perceptible por el usuario. El diseño propiamente dicho del sistema, puede iniciarse enseguida. La implementación es otra fase distinguible dentro del proceso de diseño.

En el caso particular del Sistema de Control por PLC's, las fases pueden distinguirse de la manera siguiente:

- 1) Recolección de información relativa
- 2) Organización del proyecto
- 3) Definición de los objetivos del proyecto
- 4) Configuración del proyecto piloto
- 5) Diseño final y experimentación
- 6) diseño del proyecto definitivo
- 7) Capacitación del personal
- 8) *Implantación del sistema por etapas*

En el caso del Sistema de Control por PLC's conectados por red a computadoras, se dispone prácticamente de ninguna información previa, las fases se fueron integrando no en un orden predeterminado, sino se considero como fue

siendo necesario. La transición de una etapa a la otra, no fue evidente luego de ser transcurrida .

Secuencia lógica. Tratándose de problemas relativamente simples primero se plantea el problema y luego se resuelve. Sin embargo cuando se trata de un sistema formado por un conjunto complejo de partes, el planteamiento y la solución ocurren prácticamente en paralelo y ambas son de naturaleza interjectiva , es decir cuando mejor conocemos el tipo de solución, nos es mas fácil replantear el problema. Cuando se trata del diseño de un sistema y se realiza por primera vez como es el caso solamente hay unos pasos que lógicamente pueden quedar enlazados . La secuencia del resto queda determinada por un conjunto de eventualidades generalmente ajeno a la lógica.

En el proyecto del Sistema de Control de Transito, la secuencia lógica o no se determino así

- 1) Determinación del proyecto piloto y selección del proveedor.
- 2) Iniciación de la obra civil para la instalación del cableado
- 3) Capacitación del personal para la operación y mantenimiento del sistema
- 4) Desarrollo del sistema de programación según las normas de SQUIRE-D para el desarrollo del sistema piloto, utilizando la computadora
- 5) Estudios de ingeniería de transito para operar temporalmente el sistema sobre la base de selección de programas de tiempos fijos
- 6) Instalación del equipo en las calles y pruebas de si funcionamiento en la computadora
- 7) Prueba para los sistemas de programación introduciendo datos del campo y estado de operación de las calles
- 8) Análisis de sensibilidad del optimo seleccionado por la computadora, a los cambios en los datos para la programación de operación
- 9) Correspondencia del optimo seleccionado por el computador. Con el optimo subjetivo deseable, a partir de los estándares de apreciación de los estándares de apreciación del transito en la calle , según los valores aceptados por la ingeniería de transito
- 10) Desarrollo de nuevos algoritmos para el control de transito y experimentación.

11) Estudios del "antes y después" de acuerdo a los criterios de las ingeniería de transito

12) Análisis de confiabilidad del sistema

13) Mediciones estimadas de las reacciones del usuario.

Susceptibilidad del usuario a la dinamicidad originada por la interacción del sistema

## Las Herramientas

Prácticamente cualquier forma de conocimiento o experiencia previa, expresable por escrito, o mediante un modelo matemático puede considerarse como una herramienta para el diseño de un sistema . en cuando a los sistemas de control automático de transito, queda mucho todavía por ser aprovechado a lo que existe disponible en la ingeniería de sistemas. El conjunto de herramientas actualmente en uso , sugiere un estado de cosas tal . que sin ser menos rudimentario es el menos empírico.

Sin ser exhaustivo el siguiente es un conjunto de teorías que se han aprovechado, aunque sea parcialmente, dentro de un **Sistema de Control de Transito**.

### 1) De programación

- El diseño de sistemas de línea
- Diseño de sistemas en tiempo real
- Programación estructurada
- Lenguajes de programación de PLC's

### 2) De Optimizacion :

- Tratamiento optimo de fenómenos de esperas (colas)
- Programación matemática
- Optimizacion interactivo- empírica
- Flujo optimo de redes

### 3) De simulacion

- Simulación del flujo en la red
- Simulación de Intersecciones.
- Estimación de la eficiencia de nuevos algoritmos vía simulación

- Simulación, de condiciones de falla y ocurrencia de accidentes en intersecciones . Desarrollo de técnicas locales para evitar saturación, de las intersecciones

#### **4) De Soporte Básico:**

- Probabilidad y estadística
- Tratamiento de series cronológicas. Pronósticos.
- Diseño de filtros para extraer información , acerca de la velocidad, por ejemplo Capacidad de flujo en la red urbana.

#### **Partes Funcionales**

El conjunto de elementos básicos que integran un sistema debe identificarse de modo que pueda definirse, con cierta facilidad de cada uno y de forma en la que la falla de uno pueda propagarse a la demás.

En el sistema de Control de Transito por computadora no es difícil identificar sus componentes y describir la función que cada uno desempeña. Básicamente, los componentes son:

1) Un conjunto de detectores, convenientemente situados dentro de la red bajo control , que se encarguen de medir la intensidad o volumen (vehículos por unidad de tiempo y la ocupancia ( tiempo que permanece ocupado el detector por vehículos por porcentaje)

2) Un conjunto de mandos locales encargados de hacer llegar a los semáforos existentes, la forma en que deben de operar (tiempo de ciclo ,reparto y desasimiento)

3) Estaciones concentradas de datos de los detectores (Central de detectores.

4) Unidades de envío de datos y recepción de ordenes. (estación transmisora de datos

5) Computadoras de zona controlando, en forma autónoma o de acuerdo con las instrucciones de la computadora central la operación de un conjunto de mandos locales.

6) Enlaces de comunicación por vía telefónica (Modem) desde el computador central hacia la computadora de zona hasta la estación transmisora de datos o viceversa.

7) Unidades Modem : un par por cada computador de zona

8) Computador central y equipo periférico, incluyendo : mapa representativo del estado de operación del sistema .

9) Enlace de comunicación con el mapa y las unidades de estación transmisora de datos en la calle .

### **Sub-Sistemas.**

La Sub-Division operativa del sistema , da a lugar a una agrupación de funciones dentro del **Sistema de Control de Transito por Computadoras** se distinguen los siguientes grupos de trabajo :

- De programación y desarrollo.
- De operación .
- De mantenimiento.
- De evaluación de resultados en las calles

Esta organización funcional es básicamente autónoma , al menos en cuanto a la operación del sistema .Sin embargo para preservar la idea de organización de la central administrativa del transito de cada ciudad es mejor formar otra dependencia en que cuya oficina que se encargue del mantenimiento, reparación y programación de la red de semáforos de tiempo fijo instalados en el resto de la ciudad.

La impresión que posiblemente sugiere al leer esta tesis es la descripción anterior del Sistema de Control de Transito por Computadora referida a la ingeniería de transito , que no es que una amalgama de ingredientes, alguna parte de equipos, otra mas de técnicas y una tercera todavía de cuestiones administrativas.

La diferencia central entre la ingeniería de sistemas y cualquier otra forma de ingeniería , radica que se trata de sistemas complejos, en cuyo análisis se trata de incorporar el máximo posible de interacciones con el exterior y, además lo que se pretende lograr un sistema cuyo funcionamiento sea optimo, dentro de las limitaciones existentes. El optimo, puede ser definido en términos de relación de costas beneficios o bien , utilizando una norma analítica, en términos de medidas de eficiencia, a su vez relacionadas de alguna manera con el costo del sistema.

El termino optimizacion amerita, desde luego, alguna consideración adicional .La optimizacion como tema de la matemática , surgió seguramente con motivaciones de orden prioritario para resolver problemas inmediatos de magnitud considerables, solamente susceptibles de ser tratados por computadoras.

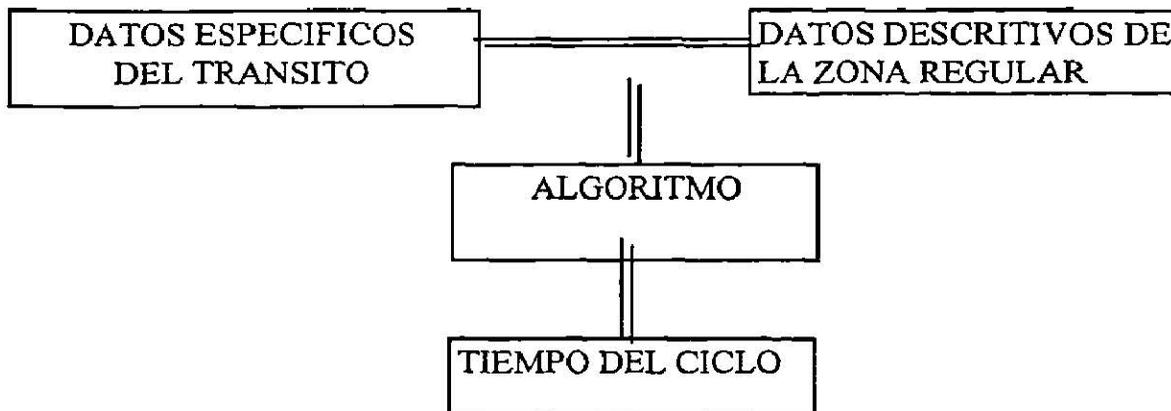
## ALGORITMOS DE CONTROL Y CALCULO

El algoritmo deberá recibir los datos específicos de la situación de tránsito en la calle junto con los datos que describen la zona (longitud de tramos, número de carriles y número de fases para cada intersección) y por lo tanto el algoritmo deberá responder, mínimo con el *tiempo de ciclo* que deberá calcular de acuerdo a los datos recogidos en campo.

Los tiempos de ciclo son recabados gracias a una estructura de comunicaciones como podrá ser una red de trabajo, con todo el equipo que esta implica-\* : Servidores, estaciones de trabajo ( en este caso las intersecciones en campo, que son la que nos proporcionaran la información deseada), tarjetas de red, medios de comunicación (por cable o por microondas), así como una serie de equipo específico según la topología de la red.

El servidor o equipos específicos como pueden ser concentradores se encargara de llevar a cabo la tarea de calcular el *tiempo de ciclo* que significa el dato primordial para el trabajo optimo de cada intersección; esto levanda a cabo un rutina especifica que desarrolla una lógica de calculo de acuerdo a cada situación en cada intersección, esta rutina es llamada *algoritmo*.

El algoritmo deberá contar con programas que regulen la funciones del algoritmo; que defina la estrategia a seguir, para esto deberá tener diferentes tablas con datos que sirvan como punto de referencia y de comparación para poder ponderar los datos recabados en campo. De esta manera se podrá tratar de manera distinta cada situación recogida en campo.



## CICLO

La misión del programa será la de calcular el tiempo de ciclo general para cada área específica, en función de los datos registrados por los detectores.

Por medio de una formula (esta formula es parte primordial de la estrategia del algoritmo), se determina el tiempo de ciclo que necesita la intersección para poder operar con eficiencia.

$$c = \frac{1.5L + 5}{1 - Y}$$

Donde:

**c** = Tiempo optimo de ciclo.

Es el tiempo de ciclo que da menor demora a todos los vehículos que utilizan la intersección.

**L** = Tiempo total perdido por ciclo.

Es la suma de todos los tiempos perdidos en cada fase, incluyendo aquellos periodos cuando todas las luces indican rojo o ambar-rojo.

$$L = nI$$

donde :

**n** = Numero de fases .

**I** = Tiempo perdido promedio por fase debido a demoras por arranque de vehículo.

**Y** = La relación entre el flujo real y el flujo de saturación para una fase dada.

por lo tanto según la ecuación :

Si  $Y > 1$ , **c** será indeterminado; lo que equivale a decir, en términos reales, que la intersección esta saturada y que con cualquier ciclo, se producirán colas en los accesos.

El rango optimo de valores para **c** es :

$$40\text{seg.} \leq c \leq 120\text{seg.}$$

Tendremos un valor de  $c$  para cada intersección monitoreada, por lo cual, después de calculado el valor de  $c$  por el servidor o por el concentrador, los valores son almacenados y comparados entre si con el resto de los valores almacenados, de tal manera, que al finalizar el proceso, tendremos almacenado el *tiempo de ciclo* que tiene el máximo valor, así también como cual es la intersección que lo demanda; al tiempo que se extraen estos datos, el servidor o concentrador pasa a calcular el tiempo que deberán tener las luces verdes.

6) Enlaces de comunicación por vía telefónica (Modem) desde el computador central hacia la computadora de zona hasta la estación transmisora de datos o viceversa.

7) Unidades Modem : un par por cada computador de zona

8) Computador central y equipo periférico, incluyendo : mapa representativo del estado de operación del sistema

9) Enlace de comunicación con el mapa y las unidades de estación transmisora de datos en la calle .

### **Sub-Sistemas.**

La Sub-Division operativa del sistema , da a lugar a una agrupación de funciones dentro del **Sistema de Control de Transito por Computadoras** se distinguen los siguientes grupos de trabajo :

- De programación y desarrollo.
- De operación .
- De mantenimiento.
- De evaluación de resultados en las calles

Esta organización funcional

## **RAZÓN POR LA CUAL SE USO UN PLC PARA SEMAFORIZAR (PLC micro-1 SQUARE-D)**

Donde podremos encontrar mayor ventaja en el uso de los microPLC's en semaforizacion a pequeña escala, donde tengamos intersecciones aisladas y conflictivas, ya sean dentro de colonias, o en demás cruces donde no hay necesidad de que llegue una extensión de la red de trabajo que controlara nuestro centro de la ciudad.

En la realidad nosotros contamos con muy distintas situaciones en el mosaico que nos muestra el trafico vehicular, tendremos situaciones complicadas en los centros de las ciudades, en los cuales solo se podrá aspirar a sistemas especializados para controlar las muy diversas situaciones de conflicto que tengamos. Al mismo tiempo una región urbana también tendremos situaciones en el mismo centro de la ciudad o en algún otra región de la misma donde nosotros solo tendremos la necesidad de un semáforo de una sola fase para el control de una intersección conflictiva aislada, también podremos usar un microPLC para el caso de una sola avenida o calle preferencial que funcione como arteria, y que además tengamos que las calles que la convergen no rinden importancia al trafico vehicular, por lo cual nos podremos concentrar en sincronizar los (varios) semáforos que encuentren a lo largo de la avenida, con mucha facilidad; en esta ultima situación especifica, tendríamos que utilizar una la extensión de PLC micro-1 de SQUARE-D.

Tendremos entonces que los microPLC's resultan muy útiles también en las zonas semiurbanas y rurales donde tengamos la necesidad de la semaforizacion y en las que los recursos económicos son lo suficientemente escasos y no alcancen para poder mantener grupos de gente o equipos muy especializados para llevar a cabo la instalación y mantenimiento de el(los) semáforo(s), por lo tanto, al usar un PLC micro-1 de SQUARE-D, reduciremos substancialmente estos costos.

Debemos de tomar muy encuesta que no podremos tener sistemas de semaforizacion a bases de microPLC's debido a que a gran escala, resultaría incosteable el uso del PLC y encima de esto, tendríamos que trabajar con gente especializa y equipo muy especializado, recursos que resultarian inalcanzables para muchisimas zonas que requieren semaforizarse.

## **VENTAJAS DE EL USO DEL microPLC EN SEMAFORIZACION**

Costo sumamente bajo respecto a algunas tarjetas electrónicas, tomando muy cuenta que los PLC resultan muy fáciles de conseguir respecto a las tarjetas electrónicas, para las cuales no es fácil encontrar quien las diseñe. El uso del modelo propuesto creemos deberá ser orientado a cualesquier país con necesidades amplias de semaforizaciones elementales. Por lo tanto, creemos que México cumple con muchas necesidades y pocos recursos, cualidades que lo hacen el cliente adecuado para este modelo. *La*

*recomendación mas grande en el manejo de los microPLC es que sea empleado en el diseño de semáforos de una sola fase, para así hacer mas rentable su uso.*

- Tiene un manejo mas seguro que las tarjetas electrónicas con microprocesadores, que son la que se utilizan muy comúnmente, así mismo el PLC requiere de equipo mas fácil de utilizar y con menos herramientas que los requeridos para las tarjetas electrónicas.
- Una sola persona puede encargarse de la instalación, programación y futuros cambios al programa del PLC. Esto resulta ser enormemente importante ya que resultaría mas fácil administrar pequeños grupos de gentes, encargados de esta tarea.
- Mantenimiento mínimo, en algunos de los casos podría prácticamente ser nulo.
- Dimensiones pequeñas.
- Inmunidad a el ruido eléctrico y electromagnético.
- De diseño modular. Esto es que se le pueden hacer agregados de equipo compatible con este, sin ningún problema.
- Las secciones de electrónica de potencia empleadas para el manejo de las cargas resultan muy económicas, y con una buena administración del diseño de tarjetas, serian fácil de instalar, así mismo ocupando poco espacio.

## **DESVENTAJAS DE EL USO DEL microPLC EN SEMAFORIZACION**

- Carece de total capacidad para comunicarse con equipos especializados por si solo, debido a que el numero de entradas y salidas es pequeño (muy limitado).
- No tiene dentro de sus funciones de programación la capacidad para aceptar Bytes, así como además, generar Bytes. Entiéndase por Bytes (8 bits) las palabras electrónicas usadas para poder comunicar datos específicos acerca de algún suceso.
- La sección del PLC solo se encargara de el control, deberemos tener una sección de electrónica de potencia para el manejo de cargas con demandas superiores a los 3 Amps. La sección de potencia nos podría robar espacio valioso.
- El manejo de fases con un PLC es limitado. Solo podrá ser utilizado en intersecciones únicas o en avenidas de flujo completamente vertical.

## **FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO :**

Es un semáforo con opción manual o automático; de dos faces, esto es, que controla dos sentidos de circulación.

La opción manual o automático se selecciona con el SW1 \* (ver línea 203), que es el único switch existente

Cuando SW1 = ON, se activara el ciclo manual.

Cuando SW1 = OFF, se activara el ciclo automático.

También tendremos la presencia de un push botton (PB1, línea 203) con la finalidad de alterar el estado de las lamparas únicamente en el ciclo manual.

Nota aclaratoria : Los TIMER's 35 (TIM 35, línea 209) y el TIMER 36 (TIM 36, línea 210) no deben ser eliminados, ya que afectarían al funcionamiento deseado, ya que el TIM 35 y TM 36 nos dosifican el tiempo necesario para apagar las salidas de un ciclo y pasar a el otro ciclo de trabajo.

En caso de ser eliminados TIM 35 (línea 209) y TIM 36 (línea 210), el encendido de las lamparas de ambos ciclos se "empalmaran", por lo cual, al desactivar los JUMP's (JMP) debemos dar tiempo al PLC de que apague todo lo que esta dentro de un juego de JUMP's pertenecientes a un ciclo , antes de pasar a el otro ciclo.

Se usan dos juegos de JUMP's por ciclo, ya que si solo usamos un solo JMP por ciclo, el funcionamiento no será adecuado, por lo tanto, tenemos que por cada ciclo, un JMP activa la primera parte de este, y al terminar esta primera parte su funcionamiento, se desactiva a si misma y entra en funcionamiento la segunda parte del ciclo.

\* Todos los números de línea son referenciados a el diagrama del control.

Al pasar el PLC en RUN inmediatamente el dispositivo sensara el estado de la entrada 1 del PLC la cual define el ciclo en el que trabajara el programa, en el caso de que el switch (SW1, línea 203) este en OFF, se activara el ciclo automático y tendremos:

Comienza el ciclo automático (línea 301) con luces precautorias ámbar en los 2 sentidos, teniendo nosotros las luces A1 (201, línea 305) y A2 (204, línea 306) durante 10 seg., esto es con la finalidad de que al haber un cambio de ciclo de "manual a automático" no entren consecutivamente un ciclo tras otro que pueda causar un accidente, es decir, será la separación entre el ciclo automático y manual. Después de transcurridos los 10 seg. iniciara completamente el ciclo.

**Estado 1 (línea 404) :**

Se encienden las luces V2 (201, línea 407) y R1 (203, línea 405) durante 30 seg. (TIMER 1, línea 404), que es el tiempo que tarda en cambiar al estado 2.

**Estado 2 (línea 408) :**

Se mantiene encendida la luz R1 (203, línea 405) y se enciende el A2 (204, línea 409) las cuales se mantendrán encendidas durante 5 seg. (TIMER 2, línea 408) hasta que después de transcurrido este tiempo se pasa al estado 3.

**Estado 3 (línea 410) :**

Se encienden las luces V1 (200, línea 411) y R2 (205, línea 502) las cuales se mantienen encendidas durante 30 seg. (TIMER 3, línea 410) y después de transcurrido este tiempo se pasa al estado 4.

**Estado 4 (línea 504) :**

Se mantiene encendida la luz R2(205, línea 502) y se enciende el A1 (201, línea 505) las cuales se mantienen encendidas durante 5 seg. (TIMER 4, línea 504) hasta que después de transcurrido este tiempo se pasa al siguiente estado .

El ciclo manual comienza con las luces precautorias de ámbar en los 2 sentidos, teniendo nosotros las luces A1 (salida 201) y A2 (salida 204) durante 10 seg. , esto es con la finalidad de que al haber un cambio de ciclo de "automático a manual" no entren consecutivamente un ciclo tras otro que pueda causar un accidente, es decir, será la separación entre el ciclo manual y el automático. Después de transcurrido 10 seg. iniciara completamente el ciclo.

**Estado 1 (línea 709) :**

Se encienden las luces R1 (202, línea 709) y V2 (203, línea 802) y se mantendrán así hasta que se accione la entrada 2 (línea 708) para mandar un pulso al contador para que cambie la estado 2.

**Estado 2 (línea 803) :**

Se mantiene encendida la R1 (202, línea 709) y se enciende el A2 (204, línea 803) y se mantendrá así hasta mandar accionar la entrada 2 (línea 708) y el contador cambie al siguiente estado 3.

**Estado 3 (línea 804) :**

Se encienden las luces V1 (200, línea 806) y el R2 (205, línea 804) y se mantendrá así hasta mandarle un pulso al contador para el cambio de estado 4.

**Estado 4 (línea 807) :**

Se mantiene el R2 (205, línea 804) y se enciende el A1 (201, línea 807) se mantiene así hasta darle el siguiente pulso al contador el cual hace que se resetee y vuelva al estado 1.

101

PROYECTO : SEMAFORO CON OPCION MANUAL/ AUTOMATICO.  
EL DISPOSITIVO QUE DEFINE LA NATURALEZA  
DE LA FUNCION SERA SW1 :  
SI SW1=ON SE ACTIVARA EL MODO MANUAL.  
SI SW1=OFF SE ACTIVARA EL MODO AUTOMATICO.

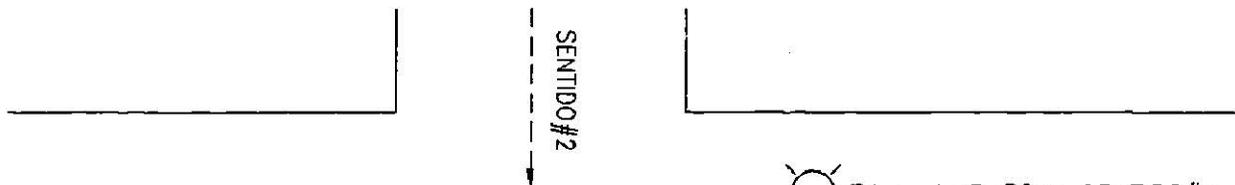
102

103

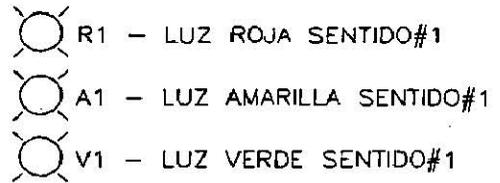
OBJETIVO : SEMAFORIZAR UN CRUCE DE CALLES.  
CADA CALLE TENDRA UN SOLO SENTIDO DE CIRCULACION.  
SE USARA PARA REALIZAR EL PROCESO AUTOMATICO UN  
PLC MICRO-1 DE MARCA SQUARE-D.  
TENIENDO COMO GRAN VENTAJA BAJO COSTO Y MANTENIMIENTO.

104

105



106



107

108

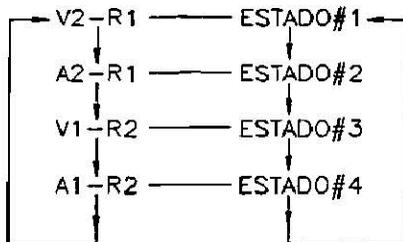


109

110

CICLO DE TRABAJO : (LOGICA DE FUNCIONAMIENTO)

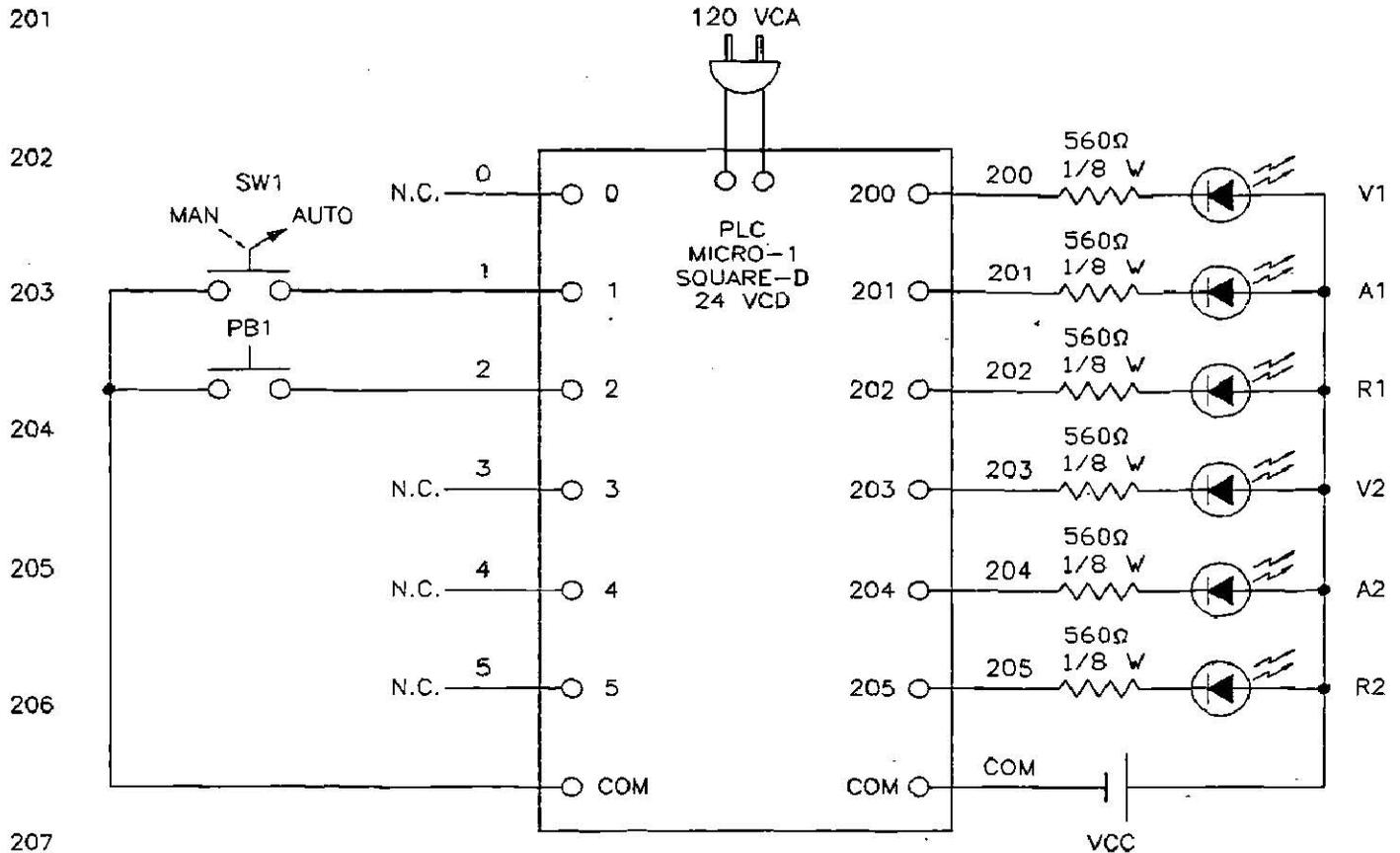
111



112

113

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO: SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : INFORMACION GENERAL	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 1/8

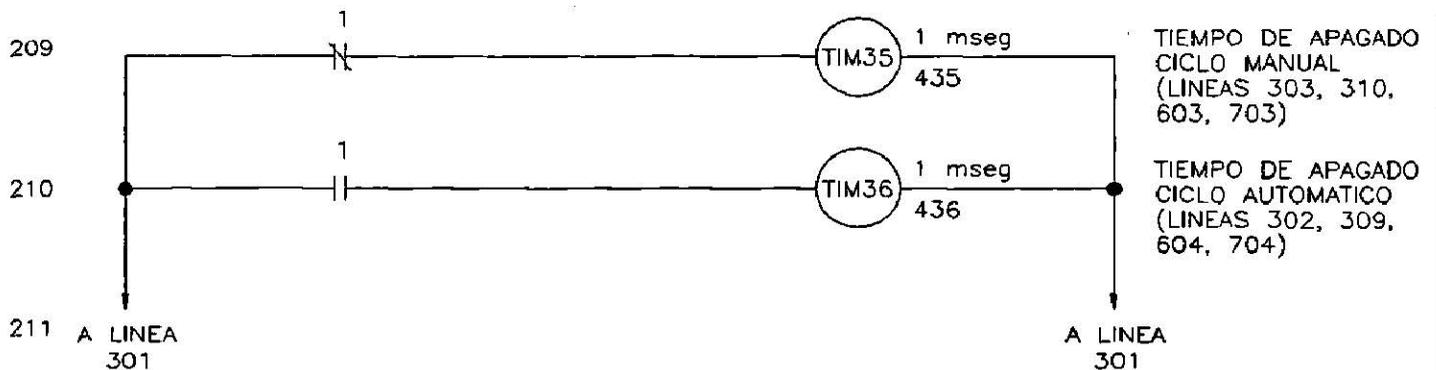


N.C. = NO CONECTADO

ALAMBRADO DE PLC

208

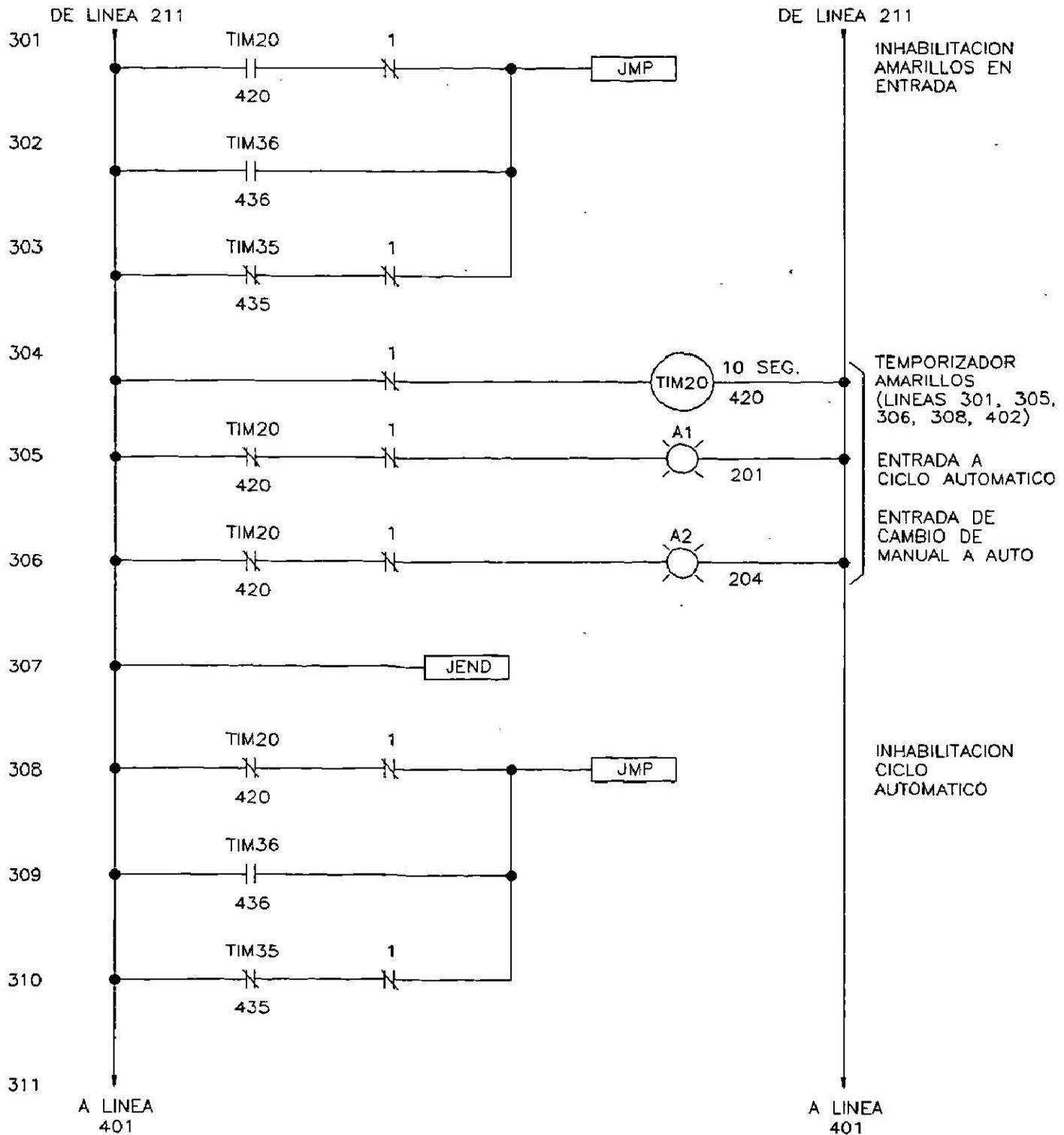
INICIO DE DIAGRAMA DE CONTROL



212

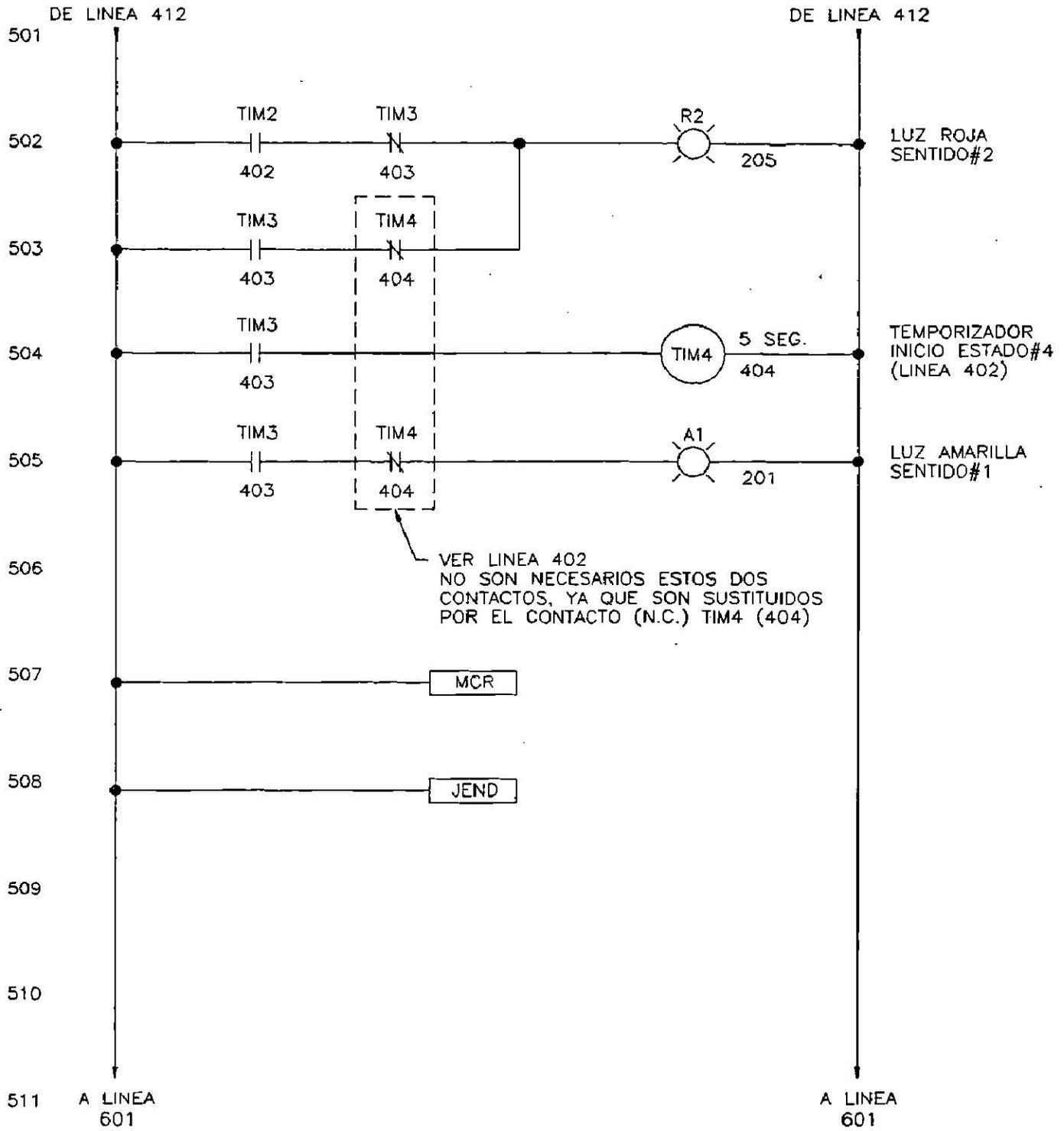
213

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICIA	
DISEÑO:SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : ENERGIZACION Y SELECCION DE CIRCUITO (MAN/AUTO)	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 2/8



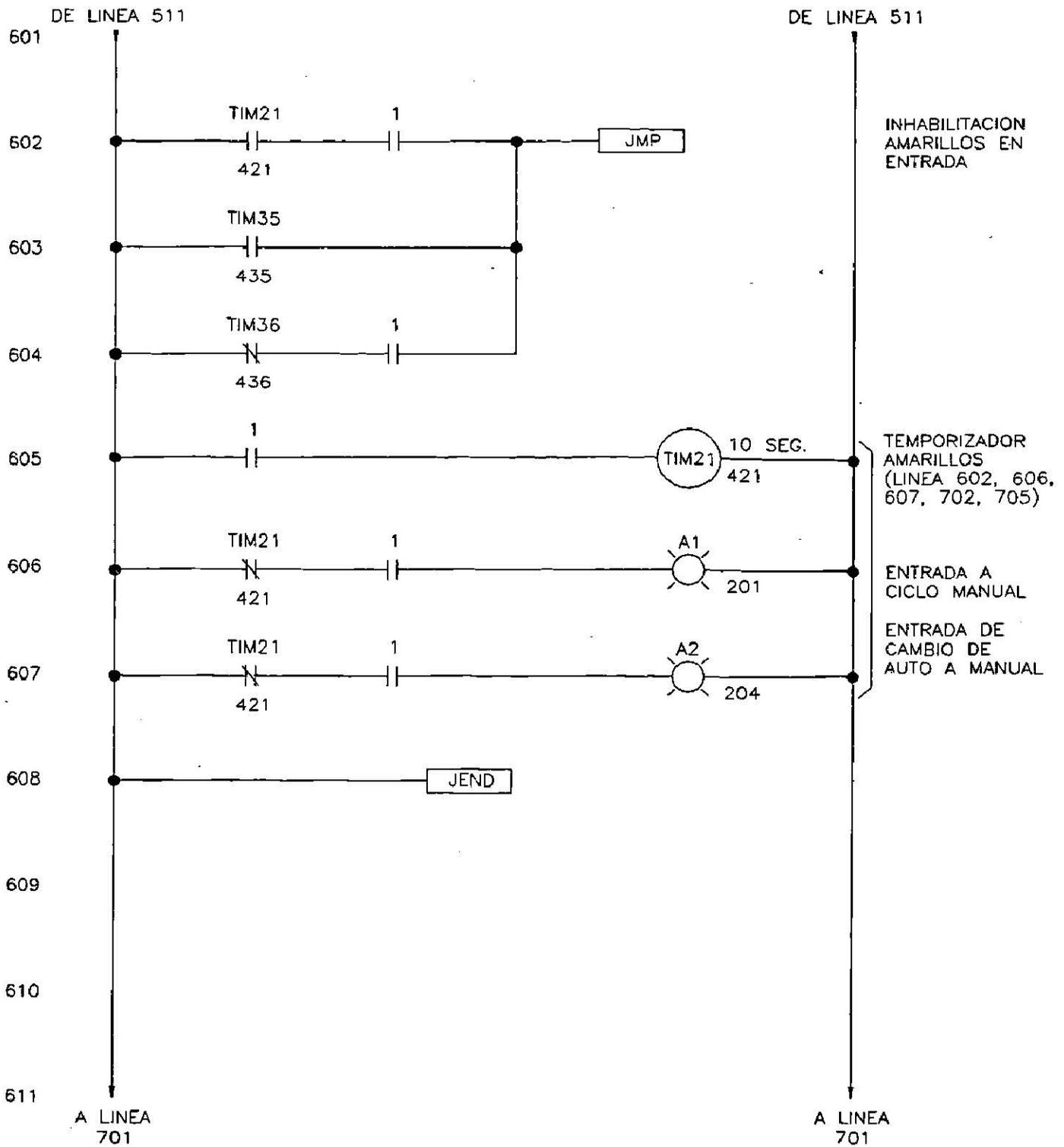
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO: SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : SECCION DE CIRCUITO AUTOMATICO	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 3/8



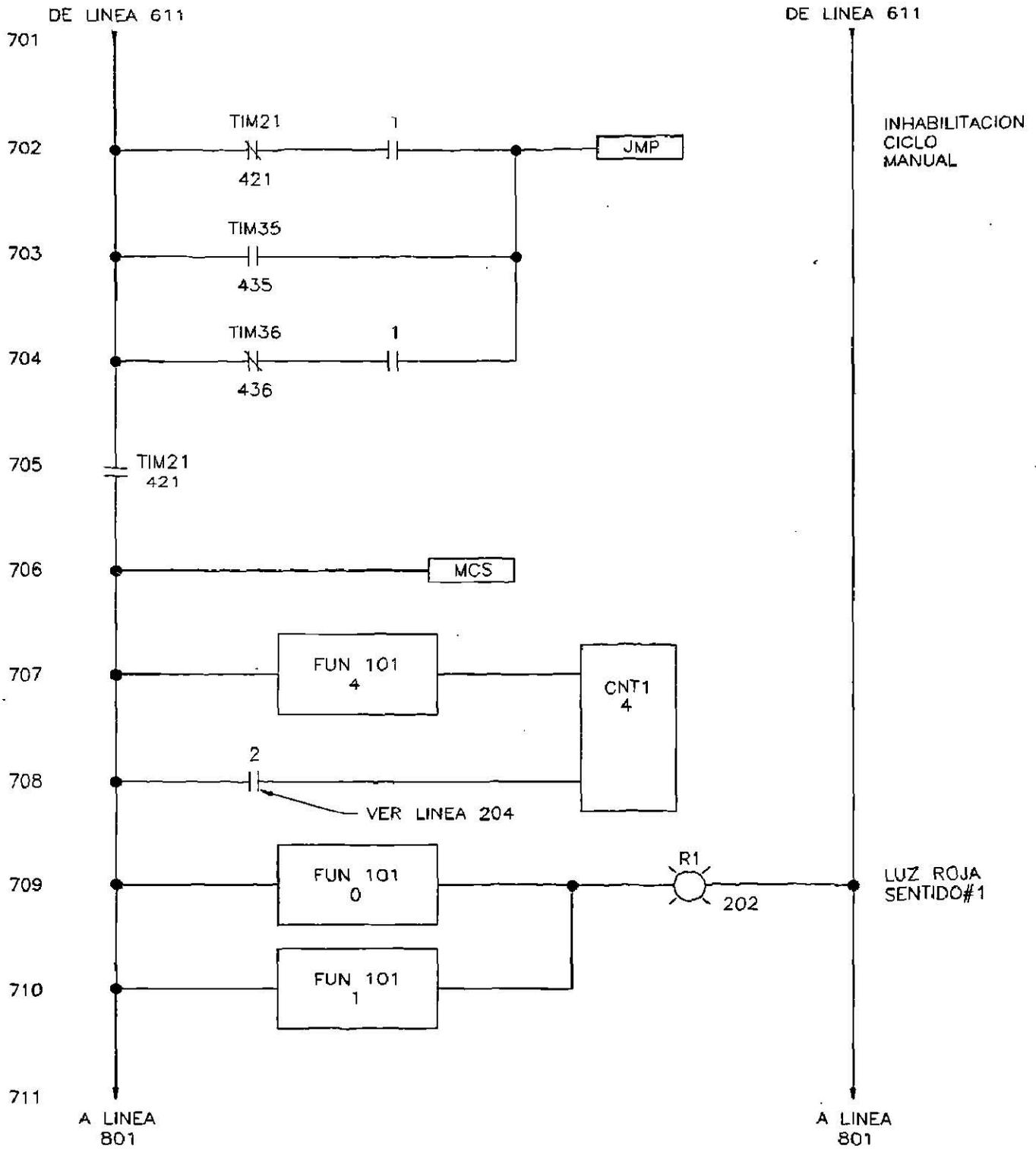


VER LINEA 402  
 NO SON NECESARIOS ESTOS DOS  
 CONTACTOS, YA QUE SON SUSTITUIDOS  
 POR EL CONTACTO (N.C.) TIM4 (404)

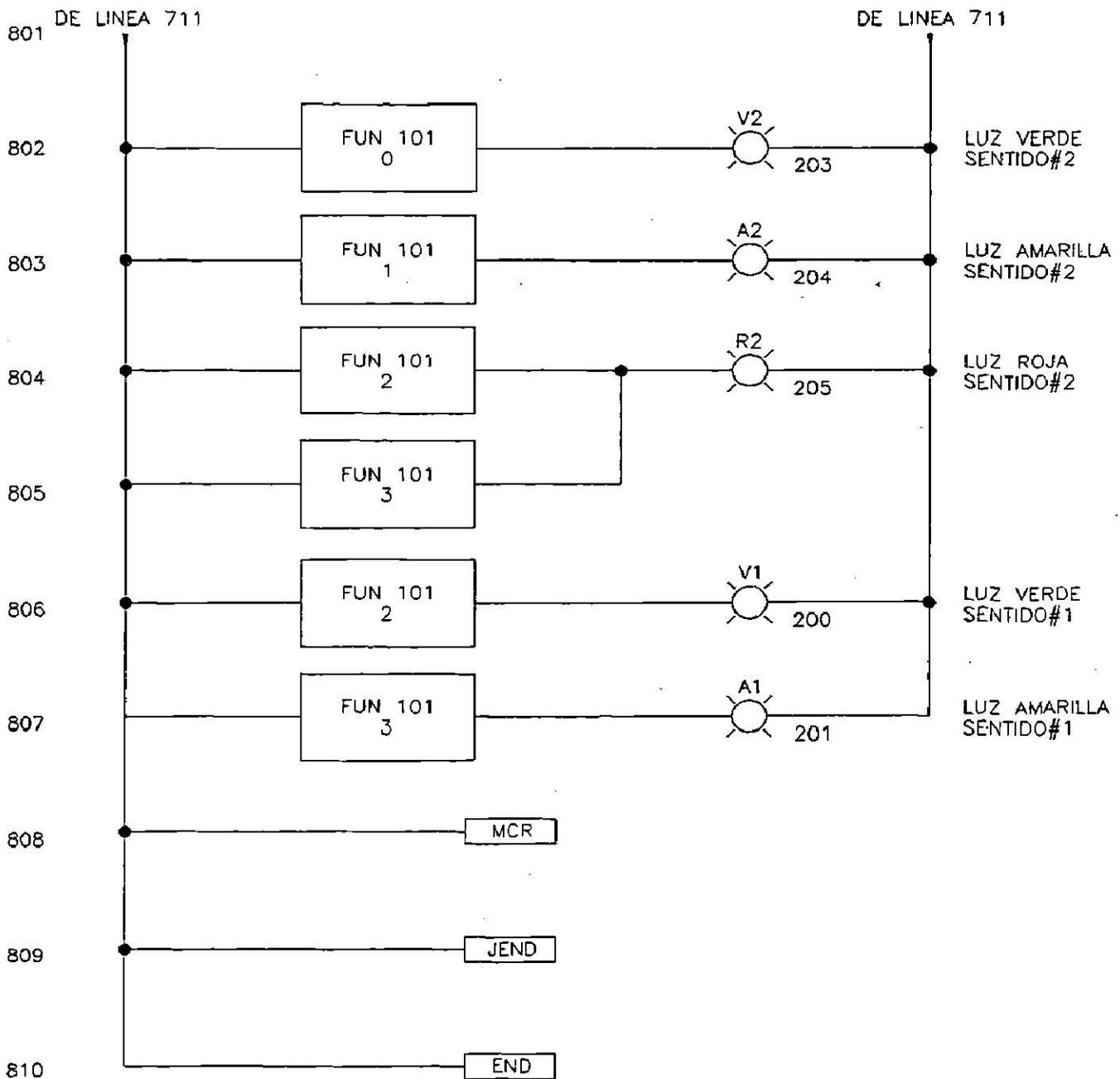
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO:SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO	
CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : SECCION DE CIRCUITO AUTOMATICO	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 5/8



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO:SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO	
CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : SECCION DE CIRCUITO	
MANUAL	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 6/8



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO: SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : SECCION DE CIRCUITO MANUAL	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 7/8

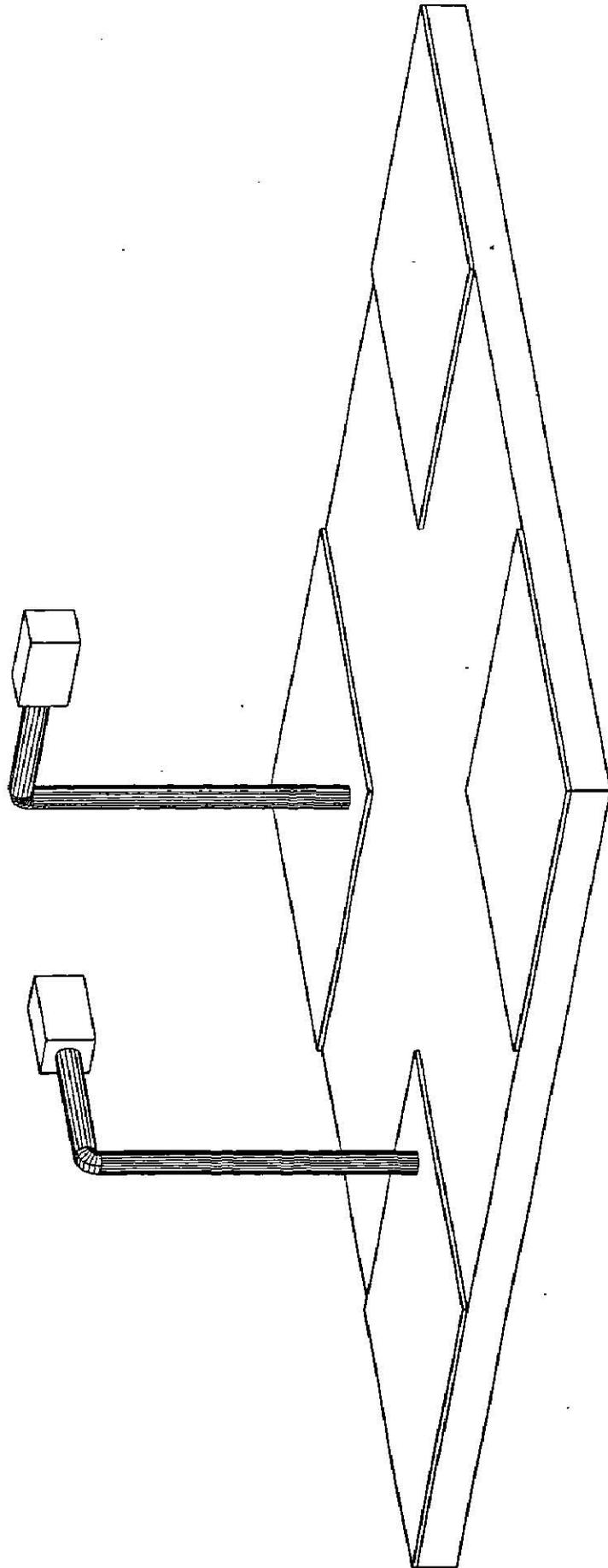


811

812

813

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA	
DISEÑO:SEMAFORO CON OPCION MANUAL/AUTOMATICO CONTROL : PLC MICRO-1 SQUARE-D	
DESCRIPCION : SECCION DE CIRCUITO MANUAL	
CATEDRATICO : ING. FRANCISCO ESPARZA	
FECHA: 7/AGOSTO/1996	HOJA : 8/8



## CODIFICACION

## CICLO AUTOMATICO

001	LOD NOT 1	(LINEA 209)
002	TIMER 35	
003	5	
004	OUT 435	
005	LOD 1	(LINEA 210)
006	TIMER 36	
007	5	
008	OUT 436	
009	LOD 420	(LINEA 301)
010	AND NOT 1	
011	LOD NOT 435	(LINEA 303)
012	AND NOT 1	
013	OR SHIFT LOD	
014	OR 436	(LINEA 302)
015	JMP	(LINEA 301)
016	LOD NOT 1	(LINEA 304)
017	TIMER 20	
018	100	
019	OUT 420	
020	LOD NOT 420	(LINEA 305)
021	AND NOT 1	
022	OUT 201	
023	LOD NOT 420	(LINEA 306)
024	AND NOT 1	
025	OUT 204	
026	JEND	(LINEA 307)
027	LOD NOT 420	(LINEA 308)
028	AND NOT 1	
029	OR 436	(LINEA 309)
030	LOD NOT 435	(LINEA 310)
031	AND NOT 1	
032	OR SHIFT LOD	
033	JMP	(LINEA 308)
034	LOD 420	(LINEA 401)
035	AND NOT 404	(LINEA 402)
036	MCS	(LINEA 403)
037	TIMER 1	(LINEA 404)
038	300	
039	OUT 401	
040	LOD 401	(LINEA 406)

041	AND NOT 402	
042	OR NOT 401	(LINEA 405)
043	OUT 202	
044	LOD NOT 401	(LINEA 407)
045	OUT 203	
046	LOD 401	(LINEA 408)
047	TIMER 2	
048	50	
049	OUT 402	
050	LOD 401	(LINEA 409)
051	AND NOT 402	
052	OUT 204	
053	LOD 402	(LINEA 410)
054	TIMER 3	
055	300	
056	OUT 403	
057	LOD 402	(LINEA 411)
058	AND NOT 403	
059	OUT 200	
060	LOD 402	(LINEA 502)
061	AND NOT 403	
062	OR 403	(LINEA 503)
063	OUT 205	(LINEA 502)
064	LOD 403	(LINEA 504)
065	TIMER 4	
066	50	
067	OUT 404	
068	LOD 403	(LINEA 505)
069	OUT 201	
080	MCR	(LINEA 507)
081	JEND	(LINEA 508)

**CICLO MANUAL**

082	LOD 421	(LINEA 602)
083	AND 1	
084	OR 435	(LINEA 603)
085	LOD NOT 436	(LINEA 604)
086	AND 1	
087	OR SHIFT LOD	
088	JMP	(LINEA 602)
089	LOD 1	(LINEA 605)
090	TIMER 21	
091	100	
092	OUT 421	
093	LOD NOT 421	(LINEA 606)
094	AND 1	
095	OUT 201	
096	LOD NOT 421	(LINEA 607)
097	AND 1	
098	OUT 204	
099	JEND	(LINEA 608)
100	LOD NOT 421	(LINEA 702)
101	AND 1	
102	OR 435	(LINEA 703)
103	LOD NOT 436	(LINEA 704)
104	AND 1	
105	OR SHIFT LOD	
106	JMP	(LINEA 702)
107	LOD 421	(LINEA 705)
108	MCS	(LINEA 706)
109	FUN 101	(LINEA 707)
110	4	
111	LOD 2	(LINEA 708)
112	CNT 1	(LINEA 707 Y 708)
113	4	
114	FUN 101	(LINEA 709)
115	0	
116	FUN 101	(LINEA 710)
117	1	
118	OR SHIFT LOD	
119	OUT 202	(LINEA 709)
120	FUN 101	(LINEA 802)
121	0	
122	OUT 203	
123	FUN 101	(LINEA 803)
124	1	

125	OUT 204	
126	FUN 101	(LINEA 804)
127	2	
128	FUN 101	(LINEA 805)
129	3	
130	OR SHIFT LOD	
131	OUT 205	(LINEA 804)
132	FUN 101	(LINEA 806)
133	2	
134	OUT 200	
135	FUN 101	(LINEA 807)
136	3	
137	OUT 201	
138	MCR	(LINEA 808)
139	JEND	(LINEA 809)



