ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEMÁFORO EMPLEANDO DIODOS EMISORES DE LUZ DE ALTA LUMINOSIDAD

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

FERNANDO ROBERTO GONZÁLEZ GARZÓN

HENRY GONZALO JARAMILLO GRANDA

DIRECTOR: ING. FERNANDO VÁSQUEZ

QUITO, ABRIL 2005

DECLARACIÓN

Nosotros, Fernando Roberto González Garzón y Henry Gonzalo Jaramillo Granda, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

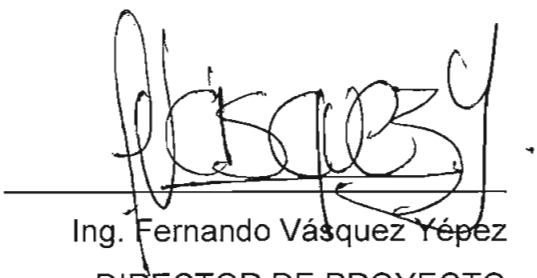
A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Fernando Roberto González Garzón

Henry Gonzalo Jaramillo Granda

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fernando Roberto González Garzón y Henry Gonzalo Jaramillo Granda, bajo mi supervisión.



Ing. Fernando Vásquez Yépez
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido cumplir esta meta y a mis padres por el apoyo que me dieron. Doy gracias también al ing. Vásquez por la guía brindada para la realización de este trabajo, y a Verito, por su amor y paciencia.

Fernando

Doy gracias a Dios por la vida, gracias a mis padres por mis primeros años de vida, a mis hermanos por el aprecio que me tienen, a OISA que fue una empresa llena de gente que siempre me brindó apoyo en todos los años de mi carrera; al Ing. Vásquez por su apoyo y guía, y a cada persona que de alguna manera supo darme su ayuda.

Henry

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, hermanos y amigos.

CONTENIDO:

Página:

RESUMEN ..... **I**

PRESENTACIÓN ..... **III**

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES **1**

1.1 DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) 1

1.1.1 PARTES DE UN LED 2

1.1.2 DESARROLLO DE LOS LEDS 3

1.2 MATRIZ DE LEDS 4

1.3 SISTEMAS MICROPROCESADOS 5

1.3.1 HISTORIA 6

1.3.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA MICROPROCESADOR 6

1.3.3 EL MICROCONTROLADOR 7

1.3.4 DIFERENCIAS ENTRE MICROPROCESADOR Y MICROCONTROLADOR 8

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE SEMAFORIZACIÓN **10**

2.1 DEFINICIONES 10

2.1.1 CONTROL DE TRÁFICO 10

2.1.2 SEÑALES DE TRÁFICO 11

2.1.3 SEMÁFORO 12

2.1.3.1 Uso 12

2.1.3.2 Historia 12

2.2 SEMÁFOROS CONVENCIONALES 14

2.2.1 ELEMENTOS DE SEMÁFOROS 14

2.2.1.1 Cara 15

2.2.1.2 Cabezal 15

2.2.1.3 Unidad Óptica 15
2.2.1.4 Reflector 16
2.2.1.5 Lente 16
2.2.1.6 Visera 17
2.2.1.7 Soportes 17
2.2.2 UNIDAD DE CONTROL 18
2.2.2.1 Controladores Electromecánicos 18
2.2.2.2 Controladores Electrónicos 18
2.2.3 DETECTORES 18
2.2.3.1 Detectores vehiculares 19
2.2.3.2 Detectores Peatonales 20
2.2.4 TIPOS DE SEMÁFOROS 20
2.2.4.1 Semáforo de tiempo programado fijo 20
2.2.4.2 Semáforos Activados por el Tránsito 21
2.2.4.3 Semáforos Coordinados 21
2.2.5 TIEMPOS DE LOS SEMÁFOROS 22
2.2.5.1 Movimientos 23
2.2.5.2 Fases 23
2.2.5.3 Ciclos 23
2.2.6 CONFIGURACIÓN DE POSTES Y CABEZALES 24
2.2.6.1 Configuración de postes 24
2.2.6.2 Cabezales vehiculares 24
2.2.6.3 Cabezales peatonales 26
2.2.7 INGENIERÍA DE TRÁNSITO 27
2.3 SEMÁFOROS CON LEDS 28
2.4 ESTÁNDARES PARA SEMAFORIZACIÓN 31
2.4.1 ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN 31
2.4.1.1 Instituto de Ingenieros del Transporte, ITE 32
2.4.1.2 Comité Europeo de Normalización, CEN 32
2.4.2 VTCSH PARTE 2: MÓDULOS DE SEÑALIZACIÓN VEHICULAR CON DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) 33
2.4.2.1 Propósito 33
2.4.2.2 Definiciones 33

2.4.2.2.1 Fuente luminosa de LEDs 33
2.4.2.2.2 Módulo de Señalización de LEDs 34
2.4.2.2.3 Intensidad Luminosa 34
2.4.2.2.4 Cromaticidad 34
2.4.2.2.5 Degradación de la Intensidad Luminosa a Largo Plazo 34
2.4.2.3 Requisitos Físicos y Mecánicos 34
2.4.2.3.1 Módulo de Señal de LEDs 35
2.4.2.3.2 Construcción 35
2.4.2.3.3 Condiciones Ambientales 35
2.4.2.4 Requisitos Fotométricos 35
2.4.2.4.1 Intensidad y Distribución Luminosa 35
2.4.2.4.2 Cromaticidad 37
2.4.2.5 Requisitos Eléctricos 37
2.4.2.5.1 Rango de Voltaje 37
2.4.2.5.2 Montaje del Mando de LEDs 37
2.4.3 COMPARACIÓN ENTRE ESTÁNDARES 37
2.5 SITUACIÓN DE LOS SEMÁFOROS DE LA CIUDAD DE QUITO 38
2.5.1 ADMINISTRACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN 38
2.5.2 SISTEMA CENTRALIZADO DE SEMAFORIZACIÓN 39
2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SEMÁFOROS 40

CAPÍTULO 3
DISEÑO DEL PROTOTIPO DE SEMÁFORO 42
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA 42
3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO 43
3.3 DISEÑO DE LA MATRIZ Y EL CONTROLADOR DE LEDS 44
3.3.1 DISEÑO DE LA MATRIZ 44
3.3.1.1 Diámetro 44
3.3.1.2 Píxeles 45
3.3.1.3 Número de LEDs 45
3.3.1.4 Pitch 46
3.3.1.5 Configuración de la matriz 47
3.3.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR 48

3.3.2.1 Multiplexacion 49
3.3.2.2 Microcontrolador 55
3.3.2.3 Interfaz Serial 56
3.3.2.4 Cálculos 56
3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL MICROCONTROLADOR 58
3.4.1 ALGORITMO 61
3.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO 61
3.4.3 MODOS DE OPERACIÓN 63
3.4.3.1 Modo Normal 63
3.4.3.2 Modo Gráfico 64
3.4.3.2.1 Números 64
3.4.3.2.2 Flechas 65
3.4.3.2.3 Control de tránsito peatonal 67
3.4.3.2.4 Palabras 67

CAPÍTULO 4
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 69
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE 69
4.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LED 69
4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR 72
4.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA CONFIGURACIÓN DEL PROTOTIPO 75
4.3 MONTAJE DEL PROTOTIPO 78

CAPÍTULO 5
PRUEBAS Y RESULTADOS 81
5.1 CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS, ELÉCTRICAS Y ENERGÉTICAS 81
5.2 MODOS DE OPERACIÓN 83
5.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO 86
5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A UN SEMÁFORO NORMAL 87
5.5 APLICACIONES 90

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92

6.1 CONCLUSIONES 92

6.2 RECOMENDACIONES 94

BIBLIOGRAFÍA 96

ANEXO A

HOJAS DE ESPECIFICACIONES

ANEXO B

MATERIALES Y FRECUENCIAS TÍPICAS DE EMISIÓN DE LOS LEDS

ANEXO C

ESTÁNDAR VTSCH

ANEXO D

TABLAS DE DATOS Y FIGURAS PARA EL PROTOTIPO

ANEXO E

CIRCUITOS IMPRESOS PARA LAS TARJETAS DEL PROTOTIPO

RESUMEN

El presente proyecto de titulación describe el diseño y construcción de un prototipo de semáforo que utiliza LEDs de alta luminosidad como medio luminoso, por medio de los cuales se pueden visualizar las señales de tránsito características de los semáforos y adicionalmente, caracteres y figuras. Este prototipo puede configurarse de una manera sencilla a través de un computador personal conectado serialmente con el mismo. Todo esto se ha conseguido utilizando como unidad óptica del prototipo una matriz de LEDs y como controlador de la operación del mismo, un sistema microprocesado basado en el microcontrolador AT89C51 de ATMEL, compatible con la familia de microcontroladores MCS51.

En el Capítulo 1 se resumen el principio de funcionamiento y características de los diodos emisores de luz (LEDs), de las matrices de LEDs y de los microcontroladores, característicos del presente proyecto de titulación.

En el Capítulo 2 se describen las características de los sistemas de semaforización desde sus inicios, así también el funcionamiento y operación de los mismos y de los dispositivos que sirven para este propósito. Además, se describe brevemente los estándares que sirven de referente para la operación de dichos sistemas y la situación actual de los semáforos en nuestra ciudad.

En el Capítulo 3 se detallan las consideraciones de hardware y software en base a las cuales se realizó el diseño del prototipo de semáforo, necesario para la posterior implementación del mismo.

En el Capítulo 4 se describe el proceso seguido para la construcción del prototipo, detallando paso a paso la implementación del hardware para la matriz y el controlador y el desarrollo del software para la configuración del prototipo.

El Capítulo 5 describe las pruebas realizadas al prototipo de semáforo y en base a los resultados obtenidos, se evalúa y se compara el desempeño del mismo, respecto a un semáforo tradicional. Además, se mencionan las posibles aplicaciones que se pueden dar al prototipo desarrollado.

Finalmente, en el Capítulo 6 se mencionan las conclusiones a las que se llegó una vez finalizado el presente proyecto y se enumeran las recomendaciones que servirían para mejorar o ampliar el mismo.

PRESENTACIÓN

El semáforo eléctrico, desde su aparición en 1914 hasta la actualidad, ha sido el dispositivo controlador de tránsito más utilizado en todo el mundo. La reducción de los costos por consumo de potencia y la mejora de la eficiencia lumínica, debido al uso de lámparas incandescentes, han sido los motivos por los cuales en la actualidad, algunas de las ciudades más importantes del mundo, están reemplazando sus cabezales semafóricos tradicionales por cabezales que utilizan módulos de LEDs, ya que la utilización de estos dispositivos tiene muchas ventajas respecto a las lámparas.

En el presente trabajo se ha desarrollado un prototipo de semáforo cuya unidad óptica es un módulo de LEDs de alta luminosidad, el cual funciona de manera similar a un semáforo convencional, con algunas opciones adicionales como el despliegue de mensajes y presentación de figuras. El control del dispositivo construido, se ha realizado utilizando un microcontrolador compatible con la arquitectura de la familia MCS51.

El prototipo desarrollado puede adaptarse fácilmente sin ningún inconveniente a nuestro medio, ya que las características del mismo, le permiten reemplazar a los semáforos actualmente utilizados.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

El presente capítulo describe el principio de funcionamiento y características de los diodos emisores de luz (LEDs), las matrices de LEDs y los microcontroladores, que son la base de aplicación para el presente proyecto de titulación.

1.1 DIODOS EMISORES DE LUZ (LED)

El diodo emisor de luz ó LED[1] es un componente electrónico que genera luz al pasar una corriente a través de el.

El LED consiste de la unión de dos capas diferentes de material semiconductor formando una unión P-N; una de las dos capas es electrónicamente más enriquecida que la otra. Cuando la corriente eléctrica circula en sentido directo a través de un diodo, los electrones son excitados; al pasar al estado de conducción, se generan fotones de luz a distintas longitudes de onda de radiación visible, o incluso infrarroja o ultravioleta, dependiendo del material semiconductor empleado[2].

El LED es un dispositivo de longitud de onda fija que trabaja en una amplia banda del espectro o lo que es lo mismo, en un determinado color (monocromático).

---

[1] LED, acrónimo de Light-Emitting Diode

[2] Los materiales y frecuencias típicas de emisión de los LEDs se encuentran en el Anexo B

1.1.1 PARTES DE UN LED

Un encapsulado típico de LED y sus partes, es el que se aprecia en la figura 1.1.

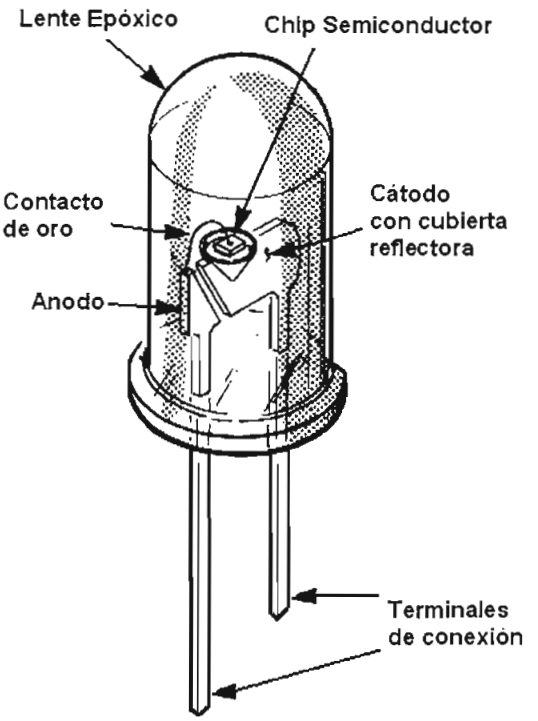


Figura 1.1 Partes de un LED

El lente epóxico mantiene todo el paquete estructurado, determina el haz de luz, protege el chip, el reflector, y extrae el flujo luminoso; está hecho de un material resistente a impactos fuertes. El contacto de oro es un cable muy delgado que conecta cada terminal con cada uno de los filamentos conductores. El chip semiconductor consiste de dos capas de material emisor semiconductor. La cubierta reflectora se encuentra debajo del chip, reflejando y proyectando luz hacia fuera. El cátodo conduce carga negativa y al igual que el ánodo, que conduce carga positiva, es un filamento de aleación de cobre y plata.

1.1.2 DESARROLLO DE LOS LEDS

La aparición de los LEDs marca un punto de inflexión en la industria de la iluminación. En los 60's, Nick Holonyak Jr., inventó el primer LED en los laboratorios de General Electric. Se obtuvo por la combinación de tres elementos primarios: galio, arsénico y fósforo (GaAsP). Se logró una fuente de luz roja con longitud de onda de 655 nm, aunque de intensidad luminosa muy baja; estos primeros LEDs se emplearon como indicadores.

En la década de los 70's, aparecen los LEDs de color verde, amarillos y naranjas, los cuales han sido ampliamente utilizados en calculadoras, relojes digitales y equipos de monitoreo. A principio de los 80's se desarrollan LEDs de mayor calidad con nuevas tecnologías; estos eran más eficientes, consumiendo menor energía y generando mayor intensidad luminosa que las generaciones anteriores, lo cual permitió aplicar estos LEDs en tableros de mensajes y señalización exterior.

A finales de los 80's y principios de los 90's, se tienen grandes avances en las características de los leds, que les permitieron competir con otras fuentes de luz, tales como son las lámparas incandescentes, fluorescentes o halógenas.

A mediados de los 90's se consigue el color azul en los LEDs; a partir de esto, a finales de la década se consiguió cubrir el espectro de colores y se incrementó notablemente la potencia luminosa.

Los LEDs desde su invención hasta la actualidad han experimentado un notable avance en todas sus características; entre ellas podemos mencionar su reducido tamaño, alta resistencia mecánica por su solidez, la direccionalidad de la luz emitida, el bajo consumo, la alta eficiencia lumínica y la durabilidad[3]. Esto

---

[3] El tiempo de vida útil de un LED está alrededor de las 100,000 horas y el de las lámparas incandescentes, alrededor de las 8,000 horas, según varios fabricantes.

permite que tengan una mayor aplicación en dispositivos de ingeniería óptica lo que hace eminente su aparición en sistemas de señalización vial, y con la aparición del LED blanco de similares características luminosas que los fluorescentes, sin duda va a acelerar su incorporación en iluminación.

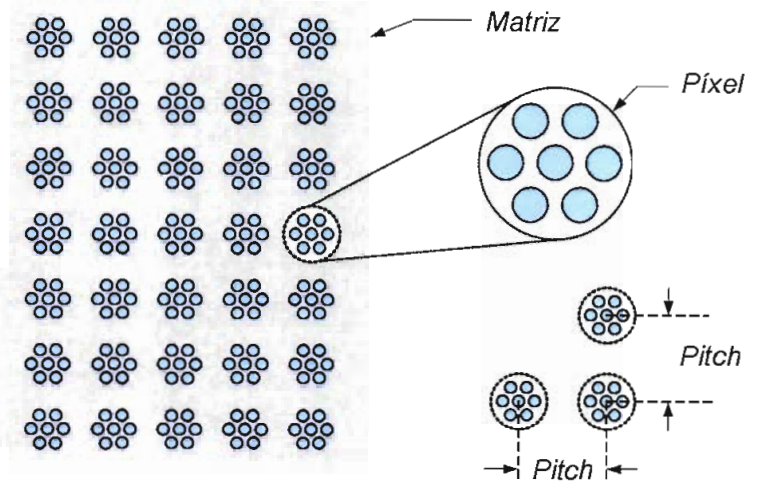
Entre las diversas aplicaciones que se dan hoy en día a los LEDs están los tableros electrónicos de mensajes, semáforos, iluminación, aplicaciones automotrices, etc. El rango de intensidad luminosa que poseen actualmente los LEDs, va desde las unidades de milicandelas hasta decenas de candelas, considerándose como LEDs superbrillantes o ultrabrillantes, a aquellos que se encuentran en un rango superior a las 1000 milicandelas[4].

1.2 MATRIZ DE LEDS

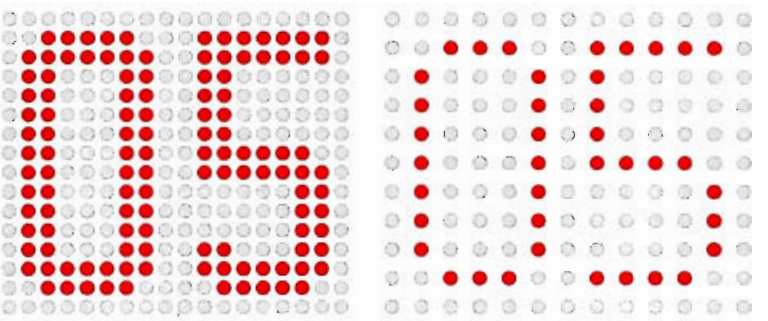
Se refiere a la disposición en filas y columnas de puntos o píxeles de un display. El elemento constitutivo de una matriz es el píxel (picture element), el cual es un punto de luz que puede estar formado por un solo LED o un conjunto de estos.

La calidad de imagen en una matriz de LEDs está determinada por la densidad de píxeles que la compone. La resolución es el grado de nitidez y claridad con que una imagen es desplegada y está determinado por el área de la matriz y la distancia entre centros de píxeles; a mayor número de puntos luminosos, mejor calidad de imagen y la distancia entre centros (pitch) es determinante en el tamaño de la matriz. La figura 1.2 ilustra estos conceptos.

[4] Los LEDs normales se encuentran por debajo de este valor. Los valores y la clasificación varían de acuerdo al fabricante.



a)



b)

Figura 1.2 a) Píxel y pitch; b) Ejemplos de resolución

1.3 SISTEMAS MICROPROCESADOS

El microprocesador es un circuito integrado digital que puede programarse con una serie de instrucciones, para realizar funciones específicas con los datos. Cuando un microprocesador se conecta a un dispositivo de memoria y se provee de dispositivos de entrada/salida, pasa a ser un sistema microprocesador.

1.3.1 HISTORIA

Inicialmente cuando no existían los microprocesadores, las personas se ingeniaban en diseñar sus circuitos electrónicos y los resultados estaban expresados en diseños que implicaban muchos componentes electrónicos y cálculos matemáticos. Un circuito lógico básico requería de muchos elementos electrónicos basados en transistores, resistencias, etc., lo cual desembocaba en circuitos con muchos ajustes y fallos; pero en el año 1971, apareció el primer microprocesador, el cual originó un cambio decisivo en las técnicas de diseño de la mayoría de los equipos.

Al principio se creía que el manejo de un microprocesador era para aquellas personas con un coeficiente intelectual muy alto; por el contrario, con la aparición de este circuito integrado todo sería mucho más fácil de entender y los diseños electrónicos serian mucho más pequeños y simplificados. Los diseñadores de equipos electrónicos ahora tenían equipos que podían realizar mayor cantidad de tareas en menos tiempo y su tamaño se redujo considerablemente; sin embargo, después de cierto tiempo, aparece una nueva tecnología llamada microcontrolador que simplifica aun más el diseño electrónico.

1.3.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA MICROPROCESADOR

Existen tres bloques funcionales básicos: la unidad central de procesamiento (CPU), memoria y puertos. Los tres se encuentran conectados mediante buses. Los dispositivos de entrada y salida se conectan mediante puertos. La figura 1.3 presenta el diagrama de bloques de un sistema microprocesador básico.

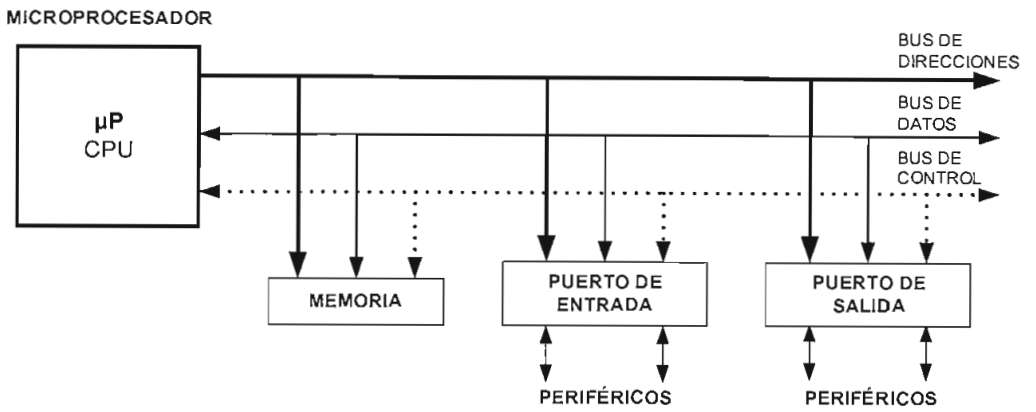


Figura 1.3 Sistema microprocesado

La CPU es la unidad central de proceso, es decir, donde se ejecutan los programas, los cuales son un conjunto de instrucciones que entiende la CPU y que se ejecutan para resolver un problema específico. El programa se almacena en memoria.

Un puerto es una interfaz física a través del la cual pasan los datos hacía y desde los periféricos. Cada posición de memoria tiene asignada una dirección exclusiva. Las instrucciones son leídas por la CPU a través del bus de datos cuando ésta las solicita. La CPU las interpreta, y las ejecuta secuencialmente; con frecuencia las instrucciones vienen acompañadas de datos o direcciones, con objeto de modificarlos.

1.3.3 EL MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado de muy alta escala de integración, el cual contiene todos los elementos electrónicos que se utilizan para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador.

El microcontrolador es un sistema cerrado, todas las partes del procesador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos, como se observa en la figura 1.4.

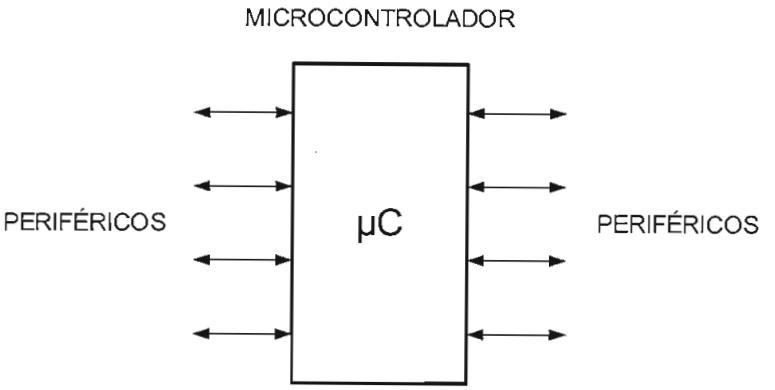


Figura 1.4 Representación de un microcontrolador

1.3.4 DIFERENCIAS ENTRE MICROPROCESADOR Y MICROCONTROLADOR

Un diseño con un microprocesador dependiendo del circuito, requiere circuitos integrados adicionales además del microprocesador, como por ejemplo: memorias RAM para almacenar los datos temporalmente y memorias ROM para almacenar el programa que se encargaría del proceso del equipo, un circuito integrado para los puertos de entrada y salida, y finalmente un decodificador de direcciones.

La configuración mínima básica de un sistema microprocesado está constituida generalmente por un circuito integrado microprocesador, una memoria RAM, una memoria ROM y un decodificador de direcciones.

Un microcontrolador contiene en un solo circuito integrado la CPU, la memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada, salidas y otros periféricos, con la consiguiente reducción de espacio.

Las ventajas del uso de los microcontroladores son muchas y muy diversas. Los sistemas microprocesados son alambrados permanentemente para realizar una función específica; si los requerimientos del diseño cambian, es probable que sea necesario rediseñar todo el circuito para ajustar estas nuevas necesidades. Con

un microcontrolador, la mayoría de los cambios pueden implementarse simplemente reprogramando el dispositivo, es decir, solo es necesario cambiar un programa y no el circuito lógico.

Las aplicaciones de los microcontroladores son limitadas por la imaginación del usuario, ya que se pueden encontrar en televisiones, teclados, módems, impresoras, lavadoras, teléfonos, automóviles, línea blanca, unidades de seguridad en la oficina y/o casa, juegos de video, etc.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE SEMAFORIZACIÓN

En el presente capítulo se describen las características de funcionamiento y operación de los sistemas de semaforización desde sus inicios, y además, se realiza una breve descripción de los estándares en base a los cuales se implementan dichos sistemas.

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 CONTROL DE TRÁFICO

El Control de tráfico es el sistema de gestión del tránsito rodado que aplica normas, reglamentos y métodos del tráfico tales como señales y signos para reducir la congestión vehicular y la contaminación atmosférica y para favorecer la seguridad y la movilidad de los peatones, por lo general en zonas urbanas muy pobladas. En las ciudades más pequeñas donde el tráfico es menor, se utilizan métodos de control y técnicas de gestión similares pero más sencillas.

El primer objetivo del control del tráfico es la seguridad y el movimiento fluido de vehículos en las calles de las ciudades y en las carreteras. La forma de conseguirlo va desde la simple mejora de las calles mediante la instalación de señales de tráfico y marcas en la carretera hasta la construcción de completos sistemas de control vial. Estos sistemas utilizan contadores de acceso a la vía para vigilar y controlar el acceso a las carreteras, controles por circuito cerrado de televisión y servicios de emergencia para auxiliar a los heridos en caso de accidentes. Otros medios para controlar el tráfico son las calles de dirección única, las normas de circulación y el empleo de señales.

2.1.2 SEÑALES DE TRÁFICO

Las señales de tráfico tienen un carácter internacional y están concebidas para transmitir información con un mínimo de palabras, la forma y color de las señales son indicativos de su contenido. Las señales de tráfico, tanto de las ciudades como de carretera son las mismas en todo el mundo a fin de no confundir a los conductores que no conozcan el lugar ni el idioma. Las señales de tráfico se instalan para que vehículos y peatones se muevan sin riesgos en intersecciones muy concurridas. El sistema de tiempo fijo es el más utilizado en las señales de tráfico, la duración de la luz verde es siempre la misma y se regula para dar más paso al tráfico de la vía principal; el tráfico de esta vía se detiene periódicamente para que el tráfico de la vía secundaria atraviese la intersección durante un breve lapso antes de que el semáforo vuelva a dar paso al tráfico de la vía principal. La duración de los ciclos de cambio de señal se determinan mediante estudios sistemáticos del flujo de tráfico y de las necesidades de los peatones y pueden modificarse a lo largo del día según el grado de intensidad de la circulación. También pueden utilizarse controladores activados por el propio tráfico, que modifican la duración de la luz verde de una calle según los cambios del tráfico.

Otro sistema es el denominado sistema progresivo, empleado en las grandes arterias de diversas ciudades. Las señales de los sucesivos cruces de la arteria están sincronizadas para que cambien de rojo a verde a intervalos fijos, de forma que un vehículo que mantenga una velocidad constante pueda moverse sin interrupción en circunstancias normales. La sincronización progresiva de las señales forma parte del funcionamiento de muchos sistemas para grandes arterias de un solo sentido.

Un tercer tipo de control de señales se basa en el control informatizado de las redes de señales, donde los cambios de señal no están predeterminados sino que se ordenan según las necesidades del tráfico y están programados en función de los datos que envían unos sensores situados en las calles.

2.1.3 SEMÁFORO

El semáforo es un dispositivo que mediante el uso de señales luminosas de colores rojo, amarillo y verde, regula la circulación en calles, avenidas y caminos tanto de vehículos como también de peatones; la principal función de un semáforo es el dar el paso a diferentes grupos de vehículos y/o peatones de manera que éstos puedan transitar a través de una intersección con un mínimo de problemas, riesgos y demoras.

2.1.3.1 Uso

Los semáforos se usan para desempeñar, entre otras, las siguientes funciones:

- Eliminar o reducir y prevenir accidentes en las intersecciones y sus alrededores.
- Interrumpir por determinados intervalos de tiempo el tránsito vehicular y/o peatonal en cierto sentido de circulación para permitir el paso en otro sentido.
- Controlar la circulación por carriles específicos.
- Reducir las demoras que sufren tanto vehículos como también peatones cuando se desea cruzar una intersección.
- Reducir el consumo de combustibles de los automotores en las intersecciones y por ende, la emanación de sustancias contaminantes del aire y otros factores que como el ruido, deterioran el ambiente.

2.1.3.2 Historia

Las señales de tráfico y los semáforos fueron desarrollados como resultado directo del creciente aumento de los vehículos motorizados; antes de que el automóvil fuera inventado ya hubo ideas en torno a cómo regular el tráfico de carruajes y peatones, los departamentos de policía eran asignados para esta labor.

El primer dispositivo de señales conocido para regular el tráfico vial fue instalado en Londres, en 1868 y servía para controlar el flujo de los carruajes a caballos. Este dispositivo tenía dos brazos los cuales, cuando se extendían horizontalmente, significaban "pare"; y cuando pendían en un ángulo de 45 grados, significaban "precaución". La señal "pare" se mostraba cuando era necesario que los vehículos se detengan a cada lado de la intersección, para permitir el paso a los transeúntes. De este modo se notificaba a los conductores que debían detenerse. Con la señal "precaución", los conductores eran advertidos de circular con cuidado hacia la intersección para seguridad de los transeúntes. En la noche, una linterna con luces roja y verde asistía a las posiciones de "pare" y "precaución" respectivamente.

El semáforo fue el primer dispositivo para control del tráfico en ser aceptado. Este era operado manual o mecánicamente con la desventaja de que en cualquiera de los dos casos se requería de un policía para controlar la operación, esto condujo al desarrollo de un semáforo eléctrico. El primer semáforo de este tipo fue instalado en 1914 en Cleveland, Ohio. Este poseía lámparas de color rojo y verde las cuales se sujetaban a 4.5 metros del nivel de la calle; cuando se acercaba un cambio de señal, los motoristas eran alertados por un timbre.

Por esos mismos años, se empezaron a construir torres para tráfico en el medio de las intersecciones, las cuales impedían el flujo normal del tráfico en el medio de la intersección y además requerían de un oficial de policía para operarlas.

William L. Potts, del Departamento de Policía de Detroit, diseñó el primer semáforo con lámparas de color rojo, ámbar y verde. Este semáforo que se observa en la figura 2.1, operaba manualmente y fue colocado en una intersección en las calles de Detroit, Michigan en 1920.

Figura 2.1 Semáforo con lámparas de color rojo, ámbar y verde, de William Potts

La señal amarilla se utilizaba para advertir al tránsito del cambio entre las señales roja y verde o viceversa, básicamente como las actuales, con la excepción de que la señal amarilla ahora aparece únicamente en el cambio de verde a rojo y no de rojo a verde.

2.2 SEMÁFOROS CONVENCIONALES

Un semáforo es un dispositivo diseñado para controlar la circulación de vehículos (y peatones) por medio de señales luminosas.

2.2.1 ELEMENTOS DE SEMÁFOROS

Un semáforo vehicular, como el que se muestra en la figura 2.2, se compone de tres secciones modulares ensambladas entre si y que constituyen un sistema rígido donde cada sección de semáforo o módulo está compuesta por una caja la cual alojará todo el sistema óptico y la conexión eléctrica del semáforo; en la misma se aloja una lente de color rojo, amarillo o verde, según el caso.

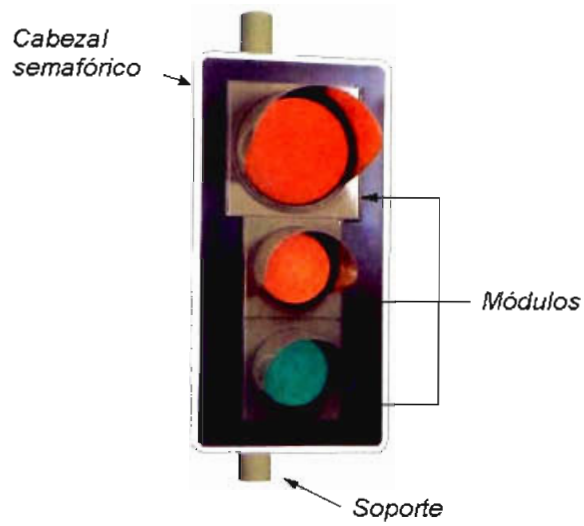


Figura 2.2 Semáforo convencional

A continuación se describe cada uno de los elementos de un semáforo:

2.2.1.1 Cara

Es la parte frontal del semáforo que controla el sentido de circulación del tráfico en una sola dirección, y una o más indicaciones de viraje pueden estar incluidas.

2.2.1.2 Cabezal

Es el conjunto de una o más caras del semáforo.

2.2.1.3 Unidad Óptica

La unidad óptica está conformada por el reflector, portalámpara, lámpara, lente y visera, como se aprecia en la figura 2.3. Su función es proporcionar una señal de indicación.

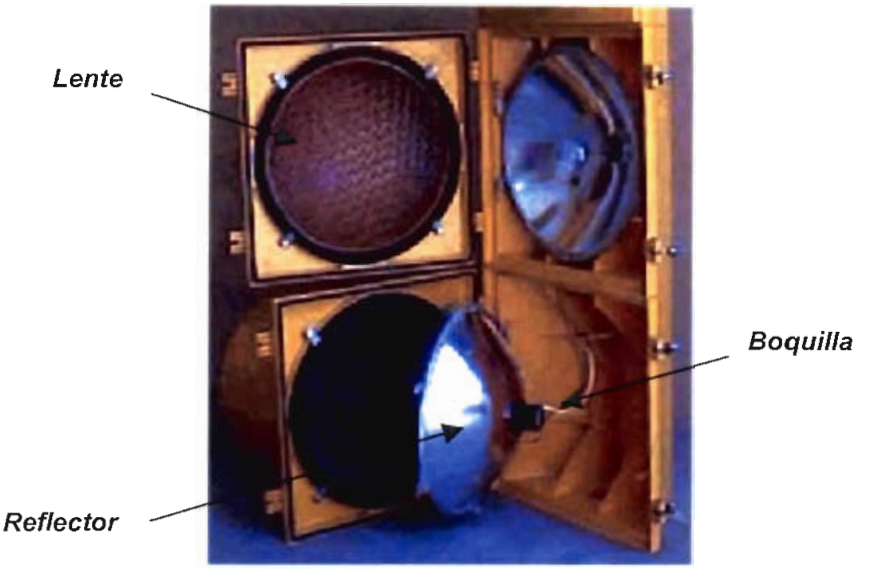


Figura 2.3 Conjunto de reflector, boquilla y lente de la unidad óptica

2.2.1.4 Reflector

El reflector es un aparato de superficie reluciente que refleja los rayos luminosos de un foco en una determinada dirección. El sistema óptico del semáforo está compuesto por un elemento reflector y un portalámpara o boquilla para lámparas para sistemas de señalización.

Las características de brillantez y pulimentado del elemento reflector deben ser las mejores, y su curvatura debe ser calculada de manera que pueda reflejar la mayor cantidad de luz de la lámpara.

2.2.1.5 Lente

Objeto de cristal o de policarbonato de tipo prismático, que se utiliza para refractar los rayos luminosos provenientes del sistema óptico hacia los conductores y peatones. Las lentes de cada semáforo son de color rojo, amarillo y verde, y pueden poseer adicionalmente flechas o símbolos peatonales.

Figura 2.4 Diferentes tipos de lentes de semáforos vehiculares

2.2.1.6 Visera

Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre estas y den la impresión de estar iluminadas e impedir que la señal emitida por el semáforo, sea vista desde otros lugares distintos a aquel hacia el que está enfocada.

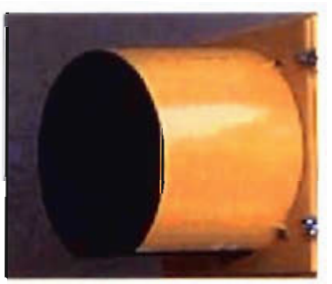


Figura 2.5 Visera

2.2.1.7 Soportes

Son estructuras que se usan para sujetar el cabezal del semáforo y situar sus caras en una posición donde se tenga mejor visibilidad para conductores y peatones. Los soportes pueden estar ubicados a un lado o dentro de la vía.

2.2.2 UNIDAD DE CONTROL

La unidad de control o controlador, provee los mecanismos necesarios para enviar la energía eléctrica hacia las lámparas, respetando una determinada programación, y así visualizar las diferentes señales luminosas en el semáforo.

Los controladores se clasifican de acuerdo a su funcionamiento en:

- Electromecánicos
- Electrónicos

2.2.2.1 Controladores Electromecánicos

Son controladores accionados por pequeños motores y piñones, y con limitados tiempos de programación.

2.2.2.2 Controladores Electrónicos

Los controladores electrónicos son dispositivos con elementos de estado sólido, por lo que su funcionamiento es muy dinámico. Existen dos tipos de controladores electrónicos:

- Con controladores lógicos programables
- Con microprocesadores

Los primeros utilizan como componente central, un *PLC*; en cambio, los últimos, utilizan la tecnología de microprocesadores como procesador central único.

2.2.3 DETECTORES

Se definen como los dispositivos capaces de registrar y transmitir los cambios que se producen en una determinada característica del tránsito.

2.2.3.1 Detectores vehiculares

En un sistema coordinado y controlado electrónicamente, es muy útil contar con información inmediata de los flujos de tránsito en las arterias principales. Los detectores vehiculares detectan e indican al controlador la presencia y paso de vehículos. La forma más práctica de realizar esto es mediante un detector de lazo inductivo, el cual consiste en una bobina de alambre de cobre que se ubica debajo del asfalto, de tal manera que un automóvil, al circular normalmente por la calle, pase sobre ella.

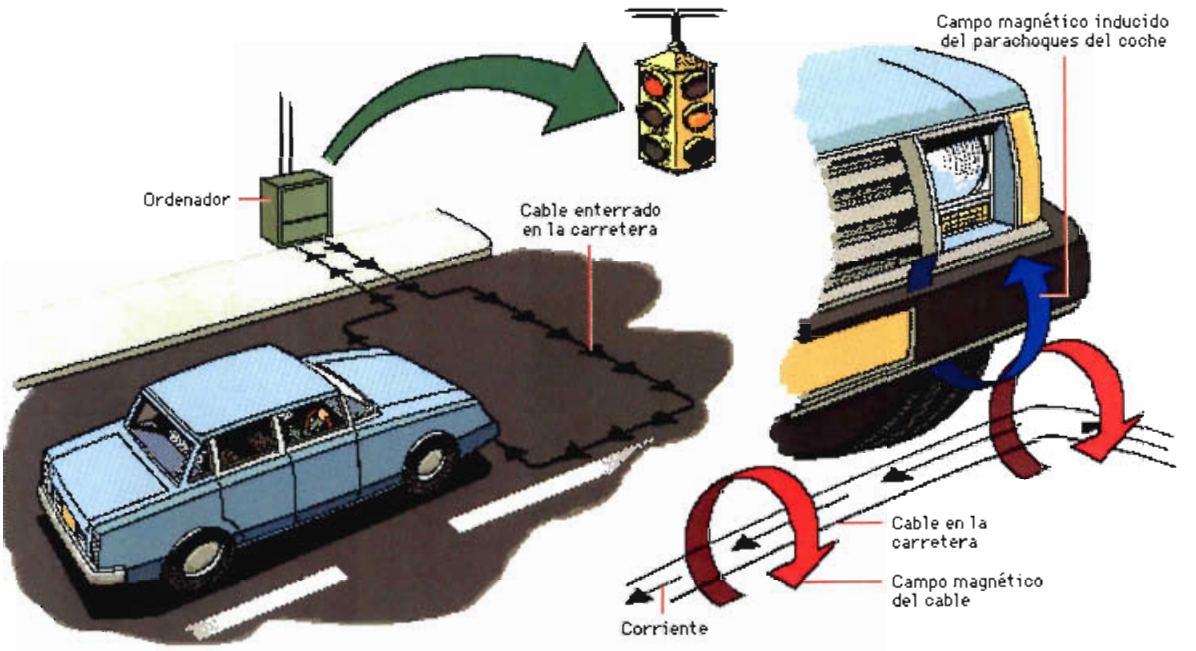


Figura 2.6 Detector de lazo inductivo

La bobina es excitada para que oscile a una frecuencia determinada, al pasar el auto sobre ella afecta el campo electromagnético modificando la frecuencia de oscilación de la bobina, como se observa en la figura 2.6; ante la variación de frecuencia se activa una señal la cual es capturada por el equipo controlador de tráfico y de acuerdo con la configuración usada, estos detectores pueden entregar información sobre flujos, velocidades, densidades de tránsito y largo de colas. El

equipo de detección puede estar integrado en el controlador o ser instalado como una unidad independiente del mismo.

Aunque se han desarrollado otros tipos de detectores, fundamentalmente del tipo ultrasonido, de radar o de tubos neumáticos, éstos no se han implementado por el momento, ya que presentan problemas ya sea de mantenimiento, alineación o de falsas señales.

2.2.3.2 Detectores Peatonales

Tienen por finalidad detectar e indicar al controlador las demandas peatonales, las cuales son registradas, en base a botoneras localizadas convenientemente en los postes de los semáforos.

2.2.4 TIPOS DE SEMÁFOROS

Los semáforos que generalmente se utilizan son aquellos que permiten controlar la circulación de vehículos y de peatones; se pueden distinguir los siguientes tipos de semáforos:

- De tiempo programado fijo.
- Regulados o activados por el tránsito.
- Interconectados y coordinados.
- Combinaciones de los anteriores.

2.2.4.1 Semáforo de tiempo programado fijo

Es el más utilizado en semaforización, la secuencia de fases presentadas al tránsito cambia según un programa fijo especificado externamente por el diseñador. Un semáforo puede tener varios programas, los cuales se determinan mediante estudios sistemáticos del flujo de tráfico y de las necesidades de los

peatones y pueden ser activados a diferentes horas del día para adaptarse mejor a la demanda.

2.2.4.2 Semáforos Activados por el Tránsito

En este tipo de semáforos, la duración de cada fase y a veces su orden depende del tránsito mismo que usa la intersección; esta demanda es identificada mediante detectores. Este tipo de semáforos resulta ventajoso para niveles medios y bajos de volumen vehicular, pero por otra parte, tiene normalmente un costo de inversión más alto; además, tienen más posibilidades de falla en los detectores y un mayor costo de mantenimiento.

2.2.4.3 Semáforos Coordinados

Se trata de un conjunto de semáforos interconectados y coordinados, en el que los programas de cada semáforo son establecidos de antemano y obedecen a un control central; la coordinación de semáforos es una de las formas más eficientes de reducir demoras, consumo de combustibles, contaminación y accidentes.

El avance de los computadores ha permitido su uso en la operación de sistemas coordinados. Cuando se usa un computador se cubre un área geográfica mayor y el control se hace más sofisticado; además se pueden agregar otros tipos de servicios complementarios como la detección de fallas.

En los sistemas controlados por computador, éste se encarga de enviar señales o instrucciones de cambio de fase a los controladores locales y también provee otras funciones, tales como:

- Planes para vehículos de emergencia (ambulancias, bomberos, policía) de manera que éstos cuenten con una banda verde[5] especial.
- Letreros variables que indiquen el cambio de sentido de una arteria.
- Información sobre la disponibilidad de estacionamiento.
- Conteo automático de tránsito.
- Comprobación del correcto funcionamiento de los controladores locales, e inclusive de las lámparas.

Para ayudar con la detección de problemas, estos sistemas por lo general se complementan con el uso de circuitos cerrados de televisión; gracias al desarrollo de los microprocesadores, es posible adquirir este tipo de sistemas a bajo costo.

2.2.5 TIEMPOS DE LOS SEMÁFOROS

Un semáforo vehicular puede desplegar tres tipos de indicaciones luminosas: verdes, amarillas y rojas (normales o flechas, continuas o intermitentes). Todas ellas son mostradas durante determinados intervalos de tiempo, cuya duración obedece a observaciones y cálculos realizados mediante estudios de tránsito en los cruces o intersecciones donde se requiere implementar los semáforos.

Para diseñar una intersección controlada por semáforos, se requiere seleccionar los parámetros críticos de control y es necesario identificar los movimientos críticos de la intersección; esta información debe obtenerse por medio de estudios de Ingeniería de Tránsito, lo cual está más allá de los objetivos del presente trabajo.

A continuación se describen algunos términos relacionados a los tiempos de los semáforos:

---

[5] Una "banda verde" es una sincronización de varios semáforos instalados sobre un corredor largo.

2.2.5.1 Movimientos

La mejor manera de identificar un movimiento o corriente, es mediante el comportamiento de las colas de vehículos en cada calzada de una intersección; los movimientos están constituidos por la dirección, uso de pistas y provisión de derecho a paso que caracterizan a cada grupo de vehículos.

2.2.5.2 Fases

Una fase del semáforo es el período durante el cual no hay cambios en los colores que presenta un semáforo.

2.2.5.3 Ciclos

El ciclo de un semáforo es la secuencia completa de sus fases, la duración del ciclo está dada por la suma de todos los períodos presentados. El tiempo mínimo para la fase de amarillo es de 3 segundos; el alargar demasiado este período, puede tentar a los conductores a continuar. El ciclo óptimo tiene una duración intermedia entre el ciclo máximo (generalmente 120 segundos) y el ciclo mínimo que permita satisfacer la demanda existente. El diseño de un sistema de fases depende del diseño geométrico de la intersección (el número de calzadas y su relación física) y la cantidad de virajes. El objetivo del diseño de fases, es minimizar accidentes y maximizar la eficiencia operativa de la intersección, reduciendo demoras, colas, detenciones, etc.

En el caso de luces peatonales las indicaciones mostradas son de colores rojo, verde continuo y verde centellante o discontinuo. La duración del verde continuo tendrá un mínimo de 5 segundos y comenzará un segundo después del fin del período amarillo para los flujos vehiculares problemáticos. El verde centellante terminará (cambiará a rojo) al menos tres segundos antes del comienzo del verde que da derecho de paso a movimientos vehiculares.

Estos criterios deberán usarse también en el diseño de fases peatonales exclusivas y el ingeniero de tránsito o diseñador debe usar su juicio y experiencia para escoger el esquema de fases que mejor combine seguridad y eficiencia según sea el caso.

2.2.6 CONFIGURACIÓN DE POSTES Y CABEZALES

2.2.6.1 Configuración de postes

La parte inferior de un semáforo montado en un poste o pedestal debe estar generalmente a no menos de 2,4 metros y no más de 4 metros del nivel de la acera, o de no existir ésta, del pavimento.

Si la visibilidad es deficiente, se monta el cabezal en una ménsula, báculo o brazo largo por sobre las pistas de circulación. La altura sobre el pavimento de la base del cabezal, está comprendida entre 4,5 metros y 6 metros.

2.2.6.2 Cabezales vehiculares

Controlan el tránsito por medio de luces de color verde, amarillo y rojo, fijando principalmente el derecho de paso de vehículos en calles, avenidas y caminos. Tienen una configuración vertical de luces, las que incluyen por lo menos una roja, una amarilla y una verde, en ese orden desde arriba hacia abajo.

La interpretación de los colores es la siguiente:

- *Rojo:* indica a los conductores de vehículos detenerse antes de la raya de parada y los peatones no pueden cruzar la vía a menos que algún semáforo les dé la indicación de paso.
- *Amarillo*: advierte a los conductores de vehículos que está a punto de aparecer la luz roja y que el flujo vehicular regulado por la luz verde debe detenerse; advierte a los peatones que no disponen del tiempo suficiente para cruzar,

excepto cuando exista algún semáforo indicándoles que pueden realizar el cruce; y, sirve para despejar el tránsito en una intersección y para evitar frenadas bruscas. En ningún caso se cambia de luz verde a luz roja sin que antes aparezca el amarillo durante el intervalo necesario para desalojar la intersección, sin embargo, no se empleará en cambios de rojo a verde.

- *Verde:* indica a los conductores de vehículos que pueden seguir de frente o dar vuelta a la derecha o a la izquierda, a menos que alguna señal prohíba dichas vueltas y los peatones que avancen hacia el semáforo pueden cruzar, a menos que algún otro semáforo les indique lo contrario.
- *Destello rojo intermitente:* indica a los conductores de vehículos deben hacer un alto obligatorio y detenerse antes de la raya de parada. El destello rojo se empleará en el acceso a una vía preferencial.
- *Destello amarillo intermitente:* indica a los conductores de vehículos cruzar con precaución; el destello amarillo debe emplearse en la vía que tenga la preferencia.
- *Destello verde intermitente:* advierte a los conductores el final del tiempo de luz verde.

Las flechas direccionales apuntan hacia el sentido de la circulación permitida; la flecha vertical, apuntando hacia arriba, indica circulación de frente, mientras la horizontal indica vuelta aproximadamente en ángulo recto hacia la izquierda o hacia la derecha. Cuando la cara del semáforo contenga una *o* varias flechas con luz verde, el hecho de encenderse esta o estas flechas, significa que los vehículos solo pueden tomar la dirección o direcciones así indicadas.

Se utilizan dos diámetros nominales de los lentes de un cabezal, estos son 200 y 300 milímetros con una tolerancia de ± 5 milímetros.

Los cabezales tienen como mínimo dos caras para cada acceso a una intersección y a menudo se complementan con semáforos para peatones ubicados en los extremos de cada paso peatonal. Al acercarse a una intersección los conductores deben poder percibir todas las indicaciones de al menos dos cabezales vehiculares del semáforo a una distancia de 80 metros. Cuando el

límite de velocidad es mayor que 50 Km/h, dicha distancia es 200 metros, todo ello sin la presencia de neblina; en caso que esto no pueda lograrse, la presencia del semáforo se anunciada usando la señal preventiva correspondiente.

Figura 2.7 Cabezal vehicular de 3 caras

En la figura 2.7 se observa un cabezal semáforico para control del tránsito vehicular compuesto por 3 caras.

2.2.6.3 Cabezales peatonales

Son aquellos que tienen el propósito exclusivo de controlar el tránsito de personas en los cruces, es decir informar a los peatones cuándo se les concede o no derecho de paso; y, se presentan las siguientes indicaciones:

- Figura de un hombre de pie en rojo: detenerse, no cruzar.
- Figura de un hombre caminando, verde continua: empiece a cruzar o cruce.
- Figura de un hombre caminando, verde destellante: peligro, termine de cruzar, pero no inicie un cruzamiento.

La indicación de alto está montada directamente arriba de la indicación de pase o integrada en la parte alta de la misma señal. Estos cabezales poseen una visera corta y los mismos se ubican a una altura sobre la acera de entre 2.30 y 3.00 metros.

Figura 2.8 Cabezales peatonales

2.2.7 INGENIERÍA DE TRÁNSITO

La ingeniería de tráfico o de tránsito es aquella ingeniería que trata la planificación, el diseño geométrico y las operaciones de tráfico de las calles, avenidas y carreteras, redes, terminales y relaciones con otros modos de transporte, para lograr seguridad, eficiencia y movimientos convenientes de personas y bienes.

Para garantizar que un proyecto de semáforización funcione correctamente, se requiere efectuar un estudio de ingeniería de tránsito y de las características físicas del lugar, el cual generalmente considera:

- La razón de vehículos por hora que atraviesan una intersección.
- Los volúmenes de vehículos en cada acceso a una intersección, clasificado por tipos de vehículos.

- Los volúmenes de peatones en cada cruce.
- La velocidad media de los vehículos en cada acceso.
- Un diagrama que muestre las características físicas y operacionales de la intersección.
- Un inventario de diagramas de colisión de los accidentes, de por lo menos un año.

No suelen instalarse semáforos en las intersecciones, sin que se satisfagan por lo menos dos de los siguientes requisitos:

- Si se iguala o supera el volumen mínimo de vehículos.
- Cuando es necesario interrumpir el tránsito continuo.
- Si se iguala o supera el volumen mínimo de peatones.
- Si son necesarios cruces escolares.
- Para facilitar la circulación progresiva.
- Si existen antecedentes sobre accidentes.
- Si pertenece a un sistema de ruta principal[6].
- Por la combinación de los requisitos anteriores.

2.3 SEMÁFOROS CON LEDS

Desde que apareció el LED como un dispositivo de señalización en la década de los '60, se han realizado importantes avances para conseguir fuentes luminosas de estado sólido. El color que mostraban los primeros LEDs era rojo y solo se visualizaba en interiores, nunca bajo la incidencia de luz solar.

Es en la década de los '90, cuando se consiguieron dos logros muy importantes: cubrir el espectro de colores, obteniéndose LEDs rojos, amarillos, verdes, azules

---

[6] Sistema de calles o carreteras que funcionan como la red principal de flujo de tránsito. Conecta áreas de generación importante de tránsito. Incluye caminos rurales o suburbanos externos, que atraviesan o entran en una ciudad.

y blancos; y, desarrollar la potencia luminosa suficiente para poder ser vistos a plena luz del día. El verde fue el color que más se hizo esperar.

La mayoría de semáforos hoy en día usan lámparas incandescentes como su fuente luminosa, y lentes de vidrio o plástico coloreado proyectan los colores rojo, verde o amarillo a los observadores.

Las ciudades más progresistas iniciaron ya hace algunos años el reemplazo de todas sus señales de tránsito rojas por tecnología de LEDs; el principal material utilizado en los LEDs para las señales roja y amarilla es el Fosfato de Aluminio, Indio y Galio (AlInGaP). Para los LEDs azules y verdes el principal substrato es el Nitruro de Indio y Galio (InGaN). En la figura 2.9 se muestran dos cabezales de semáforos que utilizan LEDs.

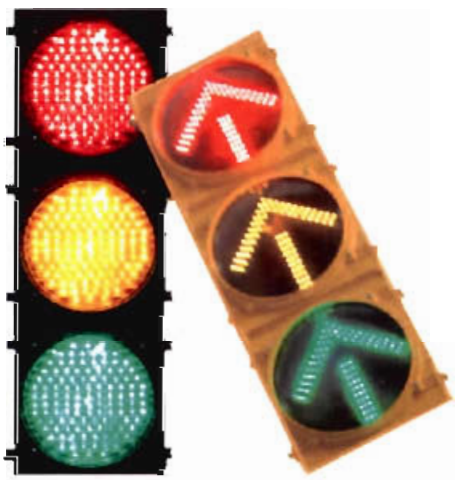


Figura 2.9 Semáforos de LEDs

Debido a que las señales incandescentes producen luz blanca y deben filtrar todos los colores como el rojo, verde, o amarillo deseado, la luz incandescente es substancialmente una ineficaz fuente de luz para aplicaciones de señalización. En contraste, los LEDs, esencialmente monocromáticos, son una fuente luminosa lo bastante eficiente para luces de semáforos. Las lámparas incandescentes

producen luz fuera del espectro visible lo cual es emitido en el cabezal como calor. Los LEDs minimizan tanto el calor como la luz desperdiciada.

Son varios los factores que afectan el rendimiento energético y la vida útil de un semáforo de LEDs: química del color de la señal, el uso y la temperatura ambiente, y la circuitería del controlador del semáforo; los LEDs duran mucho más que las lámparas incandescentes (5 a 10 años en relación a 1 año), lo cual incide directamente en el mantenimiento, y se obtienen mayores beneficios por el reducido riesgo de daño del semáforo.

Los LEDs en los semáforos, son agrupados en matrices o arreglos, los cuales son acoplados a los módulos existentes para lámparas incandescentes; los actuales estándares por los cuales los semáforos incandescentes están especificados, fueron inicialmente desarrollados por el Instituto de Ingenieros del Transporte, *ITE*, en 1930.

La principal fuente luminosa de los semáforos han sido las lámparas incandescentes, aunque otras tecnologías, además de la de LEDs, han sido consideradas y probadas: tecnología de cátodo frío, paneles electroluminiscentes, fluorescencia inducida por radio frecuencia, y fibra óptica.

Debido a varios factores, la tecnología con LEDs es la más desarrollada para el mercado, ya que cuenta con una gran infraestructura y un costo más efectivo que las otras tecnologías mencionadas.

A pesar de algunas complicaciones iniciales con los LEDs como degradación del brillo y pronta quema del dispositivo, en general, los módulos con LEDs han producido grandes ahorros en los costos por consumo de energía y mantenimiento, sin comprometer el rendimiento relativo a los semáforos incandescentes.

El principal limitante para el uso de los semáforos de LEDs ha sido el alto costo que enfrentan los compradores; esto se debe a la mayor complejidad en la

fabricación de los LEDs respecto a las lámparas incandescentes, al limitado número de fabricantes y también debido a que los semáforos con LEDs es una tecnología relativamente nueva. La mayoria de fabricantes cree que este mercado continuará creciendo y eventualmente los semáforos de LEDs serán la norma futura para el control de tráfico. La aplicación de las fuentes de luz de estado sólido recién comienza y sin duda en los próximos años reemplazará a la vieja lámpara incandescente con filamento en varias aplicaciones en las cuales su uso cada vez es menos eficiente.

2.4 ESTÁNDARES PARA SEMAFORIZACIÓN

2.4.1 ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN

Cada año, más gente compra automóviles, y muchas ciudades se enfrentan a serios problemas de transporte debido a este crecimiento acelerado; desafortunadamente el transporte genera diversos impactos ambientales adversos, como lo son el congestionamiento vehicular, la contaminación del aire, ruido, y además existe el riesgo de los accidentes viales. Esto ha resultado en un acrecentado énfasis de encontrar maneras para un mejor uso del sistema vial existente y mejorar la movilización de conductores, pasajeros y peatones.

A nivel mundial existen muchos organismos que regulan el transporte y que emiten especificaciones y estándares relacionados con todo lo que implica el tráfico vehicular; en Estados Unidos, y en general, en América, el Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE) es la primera organización que emite estándares para dispositivos de control de tráfico; en Europa, el Comité Europeo de Normalización (CEN), es el encargado de emitir estándares relativos a tales dispositivos, y Japón al igual que otros países, ha desarrollado sus propios estándares.

2.4.1.1 Instituto de Ingenieros del Transporte, ITE

Fundado en 1930, el Instituto de Ingenieros del Transporte (ITE) es la primera asociación educativa y científica internacional de transporte e ingenieros de tránsito y otros profesionales, y es responsable de escribir estándares y especificaciones para dispositivos de control vehicular tales como los semáforos. Los actuales estándares por medio de los cuales se especifican los semáforos, fueron desarrollados inicialmente por el ITE en los años 30 y están basados en viejas tecnologías, como son las lámparas incandescentes las cuales han sido la principal fuente luminosa utilizada en semáforos por varias décadas; además, el ITE facilita la aplicación de tecnología y principios científicos para la investigación, planificación, diseño funcional, implementación, operación, desarrollo de políticas y manejo de cualquier forma de transporte.

El Estándar desarrollado por el ITE para dispositivos de control vehicular es el *VTCSH, Vehicle Traffic Control Signal Heads*, o Cabezales de Señalización para el Control del Tráfico Vehicular.

2.4.1.2 Comité Europeo de Normalización, CEN

El Comité Europeo Normalización, CEN, fue fundado en 1961 por los grupos nacionales de estandarización en la Comunidad Económica Europea y los países de la Asociación Europea de Libre Comercio, EFTA. El estándar referente a dispositivos de control vehicular desarrollado por el CEN, es el *EN 12368: 2000, Traffic Control Equipment - Signal heads* (Equipo para Control del Tráfico – Cabezales de Señalización), publicado en el año 2000.

2.4.2 VTCSH PARTE 2: MÓDULOS DE SEÑALIZACIÓN VEHICULAR CON DIODOS EMISORES DE LUZ (LED)

El Estándar VTCSH[7] consta de dos partes; la primera contiene especificaciones para cabezales cuya fuente luminosa es una lámpara incandescente, mientras que la parte 2 contiene especificaciones para módulos con LEDs, de la cual se describen brevemente los aspectos más importantes:

2.4.2.1 Propósito

El propósito de ésta especificación es proveer los requisitos mínimos de desempeño para los módulos de semáforos de 200 mm y 300 mm. Esta especificación no impone restricciones acerca de diseños determinados o materiales que están descritos en esta especificación, sino que se refiere a definiciones y prácticas descritas en Cabezales de Señalización para el Control del Tráfico Vehicular.

Esta especificación se aplica a los módulos de señalización vehicular circulares con LEDs, y no está restringida a alguna tecnología específica de LEDs.

2.4.2.2 Definiciones

Entre las definiciones más importantes tenemos:

2.4.2.2.1 Fuente luminosa de LEDs

Un simple diodo emisor de luz (LED) o una matriz de LEDs.

---

[7] El estándar VTCSH parte 1 y el borrador de la parte 2 se encuentra en el Anexo C

2.4.2.2.2 Módulo de Señalización de LEDs

Una matriz de LEDs y un lente, los cuales son capaces de proveer una señal de indicación circular. Un módulo con LEDs será capaz de reemplazar la unidad óptica de una sección de semáforo vehicular existente.

2.4.2.2.3 Intensidad Luminosa

El flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una dirección dada, expresado en Candelas (cd).

2.4.2.2.4 Cromaticidad

El color de la luz emitida por el módulo de señalización de LED.

2.4.2.2.5 Degradación de la Intensidad Luminosa a Largo Plazo

La reducción de la intensidad luminosa que normalmente ocurre cuando un LED es iluminado por un extenso periodo de tiempo.

2.4.2.3 Requisitos Físicos y Mecánicos

Los módulos de LEDs diseñados para acoplarse como reemplazo de las lámparas existentes, no necesitarán herramientas especiales para su instalación. Estos módulos se acoplarán en el chasis de los semáforos existentes construidos acorde al Estándar VTSCH, sin modificación del chasis. Para su acoplamiento, sólo se requerirá desmontar los componentes de la unidad óptica existente, sujetarla firmemente al chasis, y conectar directamente al cableado existente.

2.4.2.3.1 Módulo de Señal de LEDs

Será capaz de reemplazar la unidad óptica; el color del lente es opcional y puede ser transparente o tinturado.

2.4.2.3.2 Construcción

El módulo de señal de LEDs, debe ser un dispositivo firme construido de manera que no necesite un ensamblaje adicional al de reemplazo y acople en el chasis existente en el lugar de instalación.

2.4.2.3.3 Condiciones Ambientales

El módulo debe operar normalmente en un rango de temperatura ambiente que va desde -40°C hasta +74°C; además, el módulo debe estar protegido de la humedad y del polvo y el lente del módulo debe ser estabilizado para los rayos ultravioletas.

2.4.2.4 Requisitos Fotométricos

2.4.2.4.1 Intensidad y Distribución Luminosa

Los valores de intensidad luminosa mínimos para los módulos de semáforos de LEDs, deben mantenerse durante el período de tiempo para el cual se previó su correcto desempeño, y no deben ser menores que los valores mostrados en la tabla 2.1

PUNTO DE PRUEBA		VALORES DE INTENSIDAD LUMINOSA (candelas)					
ÁNGULO VERTICAL	ÁNGULO HORIZONTAL	SEÑAL DE 200 mm			SEÑAL DE 300 mm		
		VERDE	AMARILLO	ROJO	VERDE	AMARILLO	ROJO
2.5	2.5	162	402	211	358	892	466
	7.5	133	331	174	295	735	383
	12.5	94	233	122	207	517	270
	17.5	62	153	80	136	340	177
7.5	2.5	125	310	163	276	689	360
	7.5	103	256	134	228	567	296
	12.5	72	180	94	160	399	208
	17.5	48	118	62	105	262	137
	22.5	34	83	44	74	185	97
	27.5	28	69	36	61	153	80
12.5	2.5	46	115	60	103	256	134
	7.5	38	95	50	85	211	110
	12.5	27	67	35	59	148	77
	17.5	18	44	23	39	97	51
	22.5	12	31	16	28	69	36
	27.5	10	26	13	23	57	30
17.5	2.5	21	51	27	46	114	59
	7.5	17	42	22	38	94	49
	12.5	12	30	16	26	66	34
	17.5	8	20	10	17	43	23
	22.5	6	14	7	12	31	16
	27.5	5	11	6	10	25	13

Tabla 2.1 Intensidad y distribución luminosa

Cuando opere dentro del rango de temperatura especificado, la máxima intensidad luminosa para las señales de 200 mm y 300 mm no debe exceder 800 candelas para el Rojo, 1600 candelas para el Verde, y 3700 candelas para el Amarillo.

2.4.2.4.2 Cromaticidad

Las coordenadas de cromaticidad medidas para los módulos de LEDs deben estar entre 500 nm y 650 nm, conforme a los requisitos de cromaticidad.

2.4.2.5 Requisitos Eléctricos

El cableado debe cumplir los requisitos del estándar VTCSH para el receptáculo de la lámpara, y las instalaciones eléctricas para el módulo de LEDs deben ser dos cables AWG 20 (como mínimo), con aislamiento para 600 V.

2.4.2.5.1 Rango de Voltaje

Los módulos de LEDs deben operar con una línea de alimentación de corriente alterna de 60±3 ciclos sobre un rango de voltaje desde 80Vac rms hasta 135Vac rms. El voltaje de operación nominal para todas las mediciones debe ser 120±3 voltios rms.

2.4.2.5.2 Montaje del Mando de LEDs

El montaje de los LEDs debe ser realizado de manera que la falla en un LED, no afecte en más del 20% de todo el montaje.

En el mencionado estándar también se especifican parámetros de calidad, condiciones para realizar pruebas y recomendaciones adicionales.

2.4.3 COMPARACIÓN ENTRE ESTÁNDARES

A continuación, se presenta un cuadro en el cual se aprecian las características luminosas más importantes de los estándares predominantes:

INTENSIDAD LUMINOSA EN EL EJE DE REFERENCIA POR COLOR (CANDELAS)	ITE: VTSCH (Abril 1985)		ITE: VTCSH Parte 2 (Junio 1998)		BORRADOR DEL ESTÁNDAR EUROPEO (Enero 1988)	ESTÁNDAR JAPONÉS (Abril 1986)	CIE: SUGERENCIAS PARA SEMÁFOROS DE CONTROL DE TRÁFICO (1994)
	200 mm	300 mm	200 mm	300 mm			
ROJO	mínimo 157	mínimo 399	mínimo 133 máximo 800	mínimo 339 mínimo 800	mínimo 100 máximo 2500	mínimo 240	mínimo 200
AMARILLO	mínimo 726	mínimo 1848	mínimo 617 máximo 3700	mínimo 1571 mínimo 3700	Igual que el rojo	mínimo 250	No disponible
VERDE	mínimo 314	mínimo 798	mínimo 267 máximo 1600	mínimo 678 mínimo 1600	Igual que el rojo	mínimo 240	No disponible

Tabla 2.2 Valores luminosos recomendados para los semáforos

2.5 SITUACIÓN DE LOS SEMÁFOROS DE LA CIUDAD DE QUITO

2.5.1 ADMINISTRACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN

En nuestro país, los semáforos existentes hasta el año de 1995 eran de características elementales de tiempo fijo único, establecidas mediante un sistema electromecánico; esto reducía las posibilidades de brindar eficiencia a la circulación vehicular y peatonal, debido a que el tráfico es variable, y los tiempos asignados a esos semáforos permanecían inalterables sin una intervención física en los mismos.

La ciudad de Quito actualmente registra un parque automotor de más de 250000 vehículos[8] que circulan diariamente por las calles y avenidas de la urbe, esto produce una situación crítica en las intersecciones y cruces de las vías generándose problemas de congestión y atascamiento vehicular y peatonal. En diciembre de 1995, entra en operación del Sistema Trolebús, y se implanta conjuntamente el "Sistema Centralizado de Semaforización", único en el país, a cargo del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y de la Empresa Metropolitana de Servicios y Administración del Transporte (EMSAT).

Quito cuenta con 500 intersecciones semaforizadas dentro del área urbana de las cuales, el 50% administra y regula la EMSAT, a través de un único Centro de Control; el restante, está en proceso de sustitución e integración a este sistema, y es administrado por la Dirección Nacional de Tránsito de la Policía Nacional. Esto se debe a que tanto la Constitución de la República como la Ley de Régimen del Distrito Metropolitano de Quito, delega al Municipio el planificar, organizar, y regular el tránsito y transporte terrestre, dentro de su jurisdicción.

En agosto del 2004, la EMSAT realizó la instalación de 85 semáforos a LEDs en 19 intersecciones del Centro Histórico de la ciudad, con el propósito de mejorar el sistema óptico de los semáforos.

2.5.2 SISTEMA CENTRALIZADO DE SEMAFORIZACIÓN

El Sistema Centralizado de Semaforización es un sistema computarizado, el cual controla el tráfico vehicular y peatonal; es un sistema jerárquico y versátil con varios modos de funcionamiento. El nivel superior o la Sala de Control, es donde se localizan las computadoras que manejan el sistema, los monitores de televisión y el panel sinóptico (plano electrónico de Quito con sus semáforos); el nivel intermedio lo conforman las centrales de zona, que son elementos electrónicos de

---

[8] De acuerdo a datos proporcionados por la EMSAT

comunicación que controlan grupos de intersecciones semaforizadas; y, el nivel inferior lo conforman los controladores o reguladores de tráfico ubicados en las intersecciones, esto es, los semáforos propiamente dichos y los detectores de vehículos.

Este sistema está presente a lo largo de ruta del Trolebús, de la Ecovía, y en las zonas aledañas o de influencia de las mismas.

2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SEMÁFOROS

Debido a que los semáforos controlados por la Policía Nacional, tienen que reemplazarse y posteriormente integrarse al Sistema Centralizado de Semaforización, es necesario revisar las características más importantes de los semáforos controlados por la EMSAT, los cuales constituyen un referente para los primeros.

Los semáforos son de policarbonato estabilizado y de policarbonato de aluminio, los sistemas óptico reflectores son de aluminio anodizado niquelado y las lentes o lunas son de policarbonato; los diámetros de los lentes de los cabezales para el control vehicular son de 200 y 300 milímetros para cada color (rojo, amarillo, verde), así también en el caso de las flechas direccionales para giro de los vehiculos.

Para tipo peatonal, los lentes de los cabezales son de color rojo y verde de 210 x 210 milímetros, la cara frontal es de color negro mate en todos los casos y la señal de NO CRUCE o la silueta del hombre parado es de color rojo, y la indicación de PASO es de color verde con un hombre en marcha. Los semáforos peatonales accionados por los peatones constan de pulsadores en los que se indica "PULSE PEATÓN" y "ESPERE EL VERDE" de función alternativa de acuerdo con la acción del peatón, la indicación de "PULSE PEATÓN" es intermitente. Las señales acústicas para los invidentes, son señales con tonos audibles que equivalen al "PARE" y "SIGA".

Las lámparas para cada módulo son del tipo incandescentes de 60 W y 65 W a 120V para las secciones de 200 milímetros y 300 milímetros respectivamente, cuya vida útil es de aproximadamente 6000 a 8000 horas.

La secuencia de luces de los cabezales en el caso de control vehicular es verde–amarillo–rojo (también en el caso de las flechas). Para el control peatonal se tiene verde–verde intermitente–rojo.

La altura libre para los semáforos vehiculares es de 3 metros y para semáforos peatonales es de 2.4 metros mínimo a partir del pavimento, los pulsadores para los semáforos peatonales controlados están ubicados a una altura de 1.2 metros a partir de la acera.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PROTOTIPO DE SEMÁFORO

Este capítulo describe detalladamente las consideraciones de hardware y software seguidas para el diseño del prototipo de semáforo.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El prototipo de semáforo a diseñarse deberá estar en la capacidad de utilizarse como una alternativa de reemplazo para los sistemas de semaforización, con características mecánicas y luminosas similares a las de los semáforos de los sistemas actuales, mediante el uso de LEDs de alta luminosidad. En base a las características de los sistemas de semaforización descritas en el capítulo anterior, se realizará el diseño del prototipo, considerando principalmente que un semáforo requiere básicamente un controlador de operación y una unidad óptica para mostrar las señales características de los semáforos. El prototipo se sustentará en la utilización de un sistema microprocesado y una matriz de LEDs, la misma que mostrará señales en color verde, rojo, y amarillo resultado de combinar los anteriores; además, el prototipo deberá estar en la capacidad de mostrar información adicional a las señales de tránsito, como pueden ser mensajes alfanuméricos y gráficas sencillas. Adicionalmente la configuración del prototipo se realizará mediante un software que proporcione la interfaz entre un computador PC y el sistema microprocesado mediante comunicación serial.

En la figura 3.1 se muestra el sistema completo a diseñar, basado en la descripción anterior.

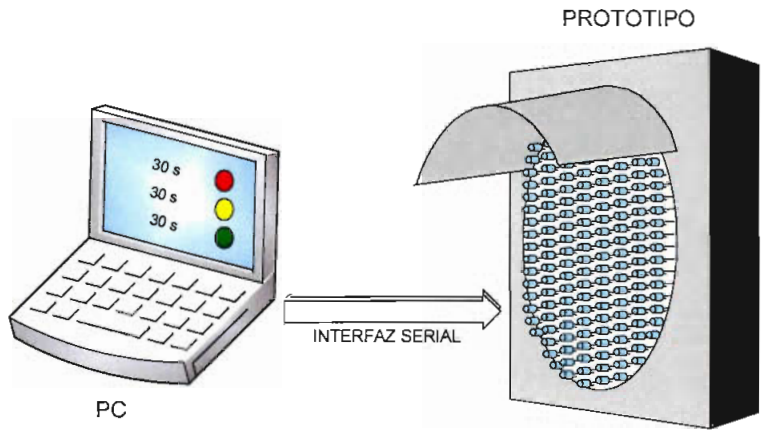


Figura 3.1 Sistema completo

3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El prototipo de semáforo es en esencia una matriz de LEDs, controlada por un sistema microprocesado, el mismo que se encarga del control de la operación del prototipo, que no es más que la multiplexación de datos almacenados en tablas predeterminadas que representan tanto las señales de tránsito como también caracteres y figuras.

Para lograr esto, van a ser necesarios los siguientes elementos:

- Una matriz de LEDs.
- Un circuito para el control de los LEDs (driver).
- Un sistema microprocesador que maneje los elementos anteriores.
- Una interfaz de comunicación entre el prototipo y un computador personal, para configuración.

La siguiente figura ilustra los bloques constitutivos del sistema:

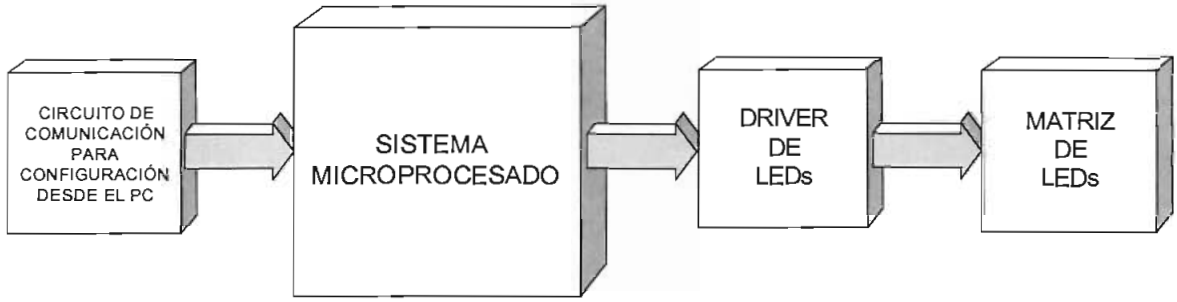


Figura 3.2 Diagrama de bloques del Prototipo de Semáforo

A continuación se detalla el diseño de cada bloque del prototipo.

3.3 DISEÑO DE LA MATRIZ Y EL CONTROLADOR DE LEDS

3.3.1 DISEÑO DE LA MATRIZ

Físicamente, la matriz debe tener forma circular, de manera que se acople al chasis de un semáforo normal, reemplazando todo el conjunto que conforma la unidad óptica del mismo; el número de LEDs que van a conformar la matriz y todas sus características va a depender de las consideraciones relativas al diseño que se detallan a continuación.

3.3.1.1 Diámetro

Tomando como referencia los estándares para semaforización, el primer paso a seguir en el proceso de diseño de la matriz, es definir su diámetro. Para semáforos de tránsito, existen únicamente dos tamaños normalizados para el módulo de señal de LEDs: 200 mm y 300 mm; siendo éste último el seleccionado para cumplir con los objetivos del proyecto, debido a que al tener un indicador de señal más grande, se puede conseguir caracteres alfanuméricos y gráficas de mayor tamaño, facilitando su visualización.

3.3.1.2 Píxeles

Para el prototipo en cuestión cada píxel va a estar conformado por 2 LEDs, uno verde y el otro rojo, de manera que al encender cualquiera de ellos, se obtengan píxeles del respectivo color. Partiendo del modelo de color RGB[9], se puede establecer una serie de mezclas que nos llevarán a la obtención de una extensa gama de colores. Los píxeles amarillos deberán ser obtenidos al encender LEDs verdes y rojos conjuntamente. Este efecto se lo observa en la figura 3.3.

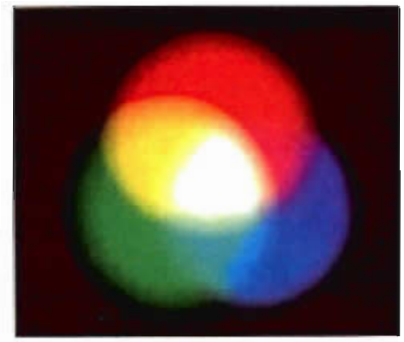


Figura 3.3 Mezcla de colores

3.3.1.3 Número de LEDs

El siguiente paso es definir el número de LEDs que van a conformar la matriz, para lo cual se debe considerar además del tipo de encapsulado, el ángulo de visibilidad y la intensidad luminosa de los mismos, la manera en que se van a manejar los datos que se desean mostrar y el nivel de resolución. Partiendo de los requisitos fotométricos de la norma americana descritos en la tabla 2.1 del capítulo anterior, es necesario considerar con qué valor de intensidad luminosa se va a trabajar, por lo cual se recomienda no exceder las 800, 1600 y 3700 candelas para el rojo, verde, y amarillo respectivamente.

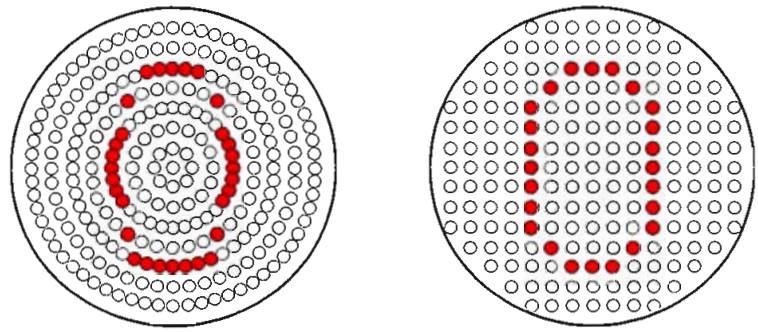
---

[9] RGB: modelo formado por los colores rojo, verde y azul.

Por ejemplo, si se utilizaran LEDs de alta luminosidad de 1000 milicandelas, serían necesarias 800 unidades para mostrar la señal roja en su máxima intensidad. El tener un gran número de LEDs permitiría una muy buena resolución, pero a la par afectaría la rentabilidad del proyecto, debido a que estos dispositivos actualmente tienen un elevado costo y el uso de un número mayor de circuitos de control es evidente. Por estos motivos, para el diseño de la matriz del prototipo, se van a utilizar tentativamente 600 LEDs con un valor de intensidad luminosa típico cercano a las 2000 milicandelas cada uno, ángulo de visibilidad de 50° y encapsulado de 3 milímetros[10].

3.3.1.4 Pitch

La separación o distancia que se tiene entre los píxeles de la matriz, de define como *pitch*. La forma circular de la matriz permite que los píxeles puedan distribuirse en variedad de formas pero para la aplicación que se dará al prototipo, la distribución afín es la que se muestra en la figura 3.4.b, ya que la presentación de caracteres y gráficas se vuelve más sencilla. Los elementos que queden fuera del área del círculo, serán descartados, para cumplir con la forma que debe tener la matriz.



a) b)

Figura 3.4 Distribución de píxeles: a) distribución radial, b) distribución lineal.

[10] Ver Anexo A: Hojas de Especificaciones

Para determinar la separación entre píxeles es necesario considerar que una reducción o aumento de la misma en valores pequeños, incrementa o decrementa grandemente el número de LEDs a utilizar. Para un pitch de 10 mm tanto en filas como en columnas, el número de LEDs que conformarían la matriz, con la distribución mencionada, sería mayor a 1300. De diversos valores probados, se optará por utilizar un pitch de 11 mm horizontal y 18 mm vertical, lo cual se indica en la figura 3.5, ya que con estas dimensiones, el número de LEDs a utilizar será 608, valor cercano al preestablecido (600) y que permite lograr una intensidad luminosa para cada color dentro del rango recomendado por las normas.

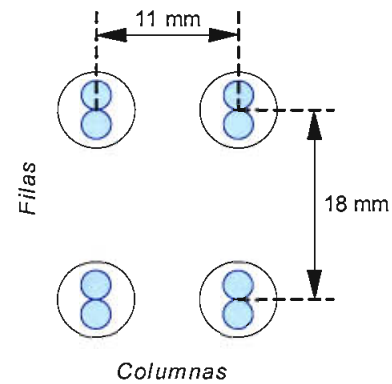


Figura 3.5 Pitch vertical y horizontal

3.3.1.5 Configuración de la matriz

El tipo de matriz a diseñar, por familiaridad de uso tendrá la configuración de sus filas en cátodo común y columnas en ánodo común, como se puede observar en la figura 3.6.

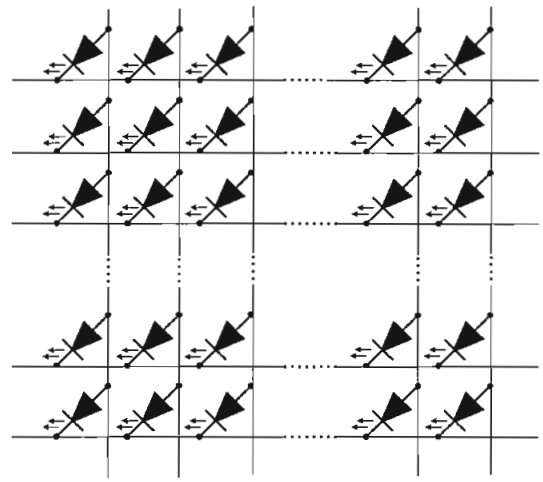


Figura 3.6 Configuración de filas y columnas de la matriz

Físicamente, el espaciamiento determina que se tenga una matriz de LEDs de 32 filas y 24 columnas, aunque estos valores son susceptibles de optimización; además, los LEDs que se encuentren fuera de la circunferencia de la matriz, serán descartados, por lo que algunas columnas no tendrán igual número de elementos en sus filas, pero para simplificar el diseño, se considera que todas las columnas son iguales.

3.3.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR

El sistema microprocesado es el responsable del control y la administración del prototipo, ya que va a manejar los ánodos y cátodos de la matriz de LEDs y adicionalmente encargarse de la configuración del prototipo. No se puede conectar directamente LEDs a las líneas del bus de datos provistas por el microprocesador, porque se dificulta el proceso de selección y no se provee la suficiente corriente para una operación normal de los LEDs; para conseguir este propósito, es necesario el uso de hardware adicional al circuito integrado del microprocesador. El método con el que se va a manejar los datos que luego serán mostrados en la matriz se describe a continuación en el siguiente punto.

3.3.2.1 MULTIPLEXACIÓN

Cuando se trabaja con matrices, generalmente se utiliza la multiplexación como técnica de optimización de potencia y reducción de la circuitería, ya que al multiplexar la información, los LEDs reciben pulsos de corriente durante pequeños intervalos de tiempo. El método de Controlador Dinámico o llamado también Refresco por Multiplexación en el Tiempo, permite habilitar secuencialmente cada una de las filas y/o columnas de una matriz y actualizar sus datos continuamente, aún cuando éstos no cambien; es decir, se realiza en una matriz un proceso de barrido que puede ser por filas, por columnas o por filas y columnas. El ojo humano detecta como parpadeo frecuencias inferiores a 50 Hz (periodo 20 milisegundos) y como señales continuas, frecuencias por encima de ese valor. La frecuencia de refresco o de barrido es la frecuencia a la que se selecciona un LED.

En una matriz de *m x n* píxeles donde *m* es el número de columnas y *n* el número de filas, la frecuencia de barrido es aquella a la cual un determinado LED vuelve a ser seleccionado luego de haber realizado el mismo proceso en el resto de elementos de toda la matriz. El valor considerado para el diseño del prototipo es de 85 Hz.

El período de tiempo durante el cual un LED se habilita para desplegar un dato, se conoce como ciclo de trabajo, el cual se denota con la letra d y se obtiene de la relación entre el tiempo T necesario para actualizar toda la matriz y el tiempo t_e en que un LED está encendido como se aprecia en la figura 3.7.

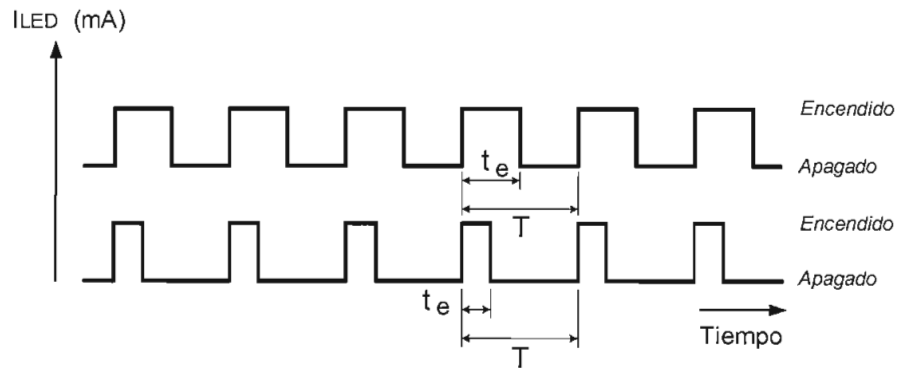


Figura 3.7 El pulso superior producirá un mayor brillo que el inferior

Conforme disminuye el ciclo de trabajo, disminuye la luminosidad y viceversa debido a que el nivel de corriente efectiva que circula a través de un LED determina el nivel de brillo del mismo. De acuerdo a los criterios de diseño previos, para la matriz se necesitarán 24 líneas de control para columnas y 32 líneas para control de filas; por lo tanto, es más apropiado aplicar barrido por columnas que por filas debido al menor número de líneas en las columnas.

Para administrar de mejor manera la matriz del prototipo, es necesario dividirla en matrices más pequeñas o submatrices; en donde se podría tener las siguientes opciones:

- 2 submatrices de 24 columnas por 16 filas de LEDs.
- 2 submatrices de 12 columnas por 32 filas de LEDs.
- 4 submatrices de 12 columnas por 16 filas de LEDs.

La primera opción tiene mayor número de columnas por lo que se descarta su aplicación al igual que el segundo caso, debido a similar situación en las filas, en comparación con el tercer caso, el cual optimizará la circuitería y flexibilizará la programación del microprocesador al manejar 16 líneas en lugar de 32. De acuerdo con la forma física que debe tener la matriz, ésta se dividirá en cuadrantes de manera que a cada uno de ellos corresponda una submatriz de 12 columnas por 16 filas de LEDs (8 filas de píxeles), como se indica en la figura 3.8.

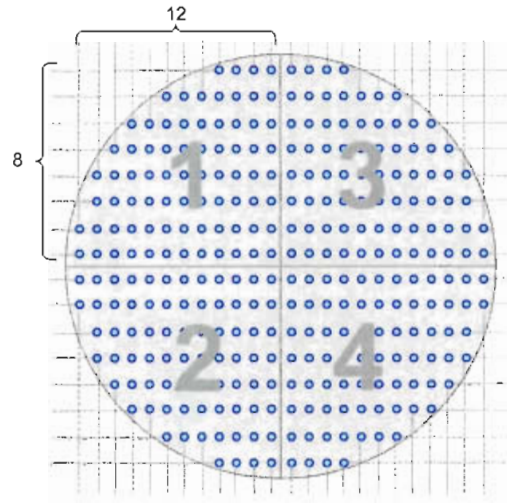


Figura 3.8 4 submatrices de 12 columnas por 8 filas de píxeles.

Para acceder a un píxel de una matriz, generalmente se lo ubica de acuerdo a la dirección de fila y de columna en la que éste se encuentra ubicado. Al tener 4 submatrices, será necesario disponer de un bus que lleve la información desde el microprocesador hacia cada una de ellas y utilizar un conjunto formado por un decoder y circuitos retenedores o latches para cada submatriz. La función de los latches será capturar la información del bus de datos y almacenarlos, mientras que el decoder será el encargado de habilitar el funcionamiento de estos circuitos. Cuando el microprocesador envíe información de una determinada columna a través del bus de datos, todos los latches recibirán estos datos y el decoder determinará cuál de ellos entra en funcionamiento almacenando los datos y mostrándolos en la columna correspondiente a ese dato; para la siguiente columna, el microprocesador enviará un nuevo dato y se seguirá de esta manera hasta terminar el barrido de todas las columnas de la submatriz. En ese instante, el decoder habilitará otro latch correspondiente a la siguiente submatriz, repitiéndose todo el proceso anterior hasta completar toda la matriz y cuando eso suceda, se reiniciará la secuencia. Cabe señalar que a cada columna le corresponderá su propio dato de fila; en la figura 3.9 se ilustra este procedimiento.

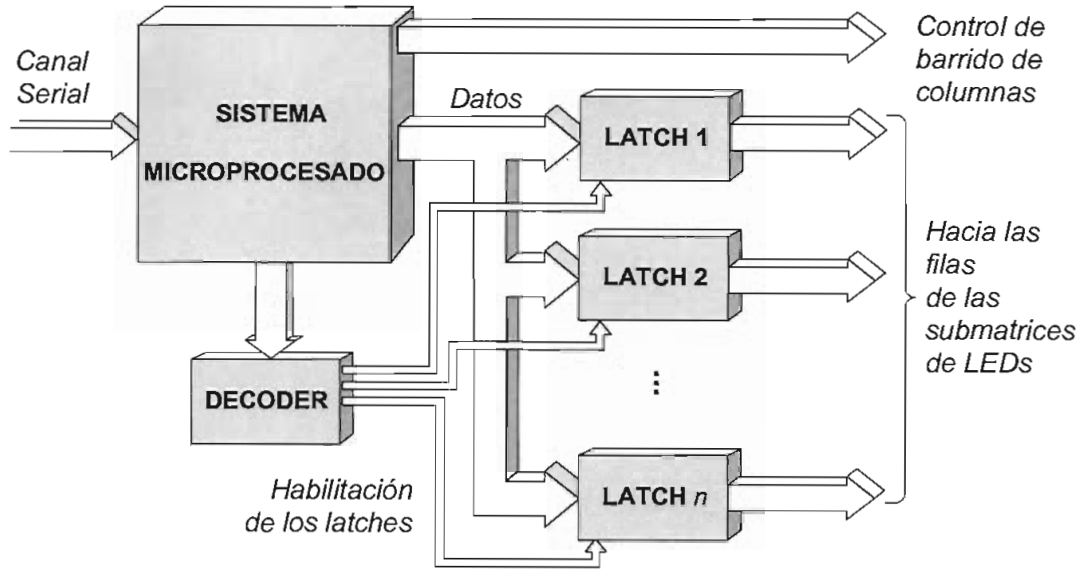


Figura 3.9 Multiplexación

Al realizar el barrido de las columnas, habilitar una de ellas significa habilitarla en toda la matriz, por la configuración de ánodo común que se definió, pero los datos sólo serán mostrados en la submatriz que tenga sus latches activos.

Los circuitos digitales existentes manejan información orientada al byte. El circuito integrado 74LS373, el cual es un latch transparente compuesto de 8 flip-flops tipo D, es el que se va a encargar de la captura de los datos. De acuerdo con el número de líneas de control en las filas de la matriz (64), serán necesarios 8 latches (2 para cada submatriz), mientras que el circuito encargado de la habilitación de cada uno de los anteriores, será el decoder 74LS138, el cual es un decodificador de 3 a 8; estos dos circuitos se pueden conectar directamente, ya que las salidas del decoder al igual que la habilitación de los latches son activas en 0 lógico.

Como se mencionó al inicio del diseño del controlador, es necesario utilizar un circuito que proporcione la corriente necesaria para tener un brillo similar en todos los LEDs. Para manejar un elemento de una matriz, es necesario tener un control tanto de la fila como también de la columna a la que pertenece dicho elemento. Debido a la multiplexación de los datos y por las características de los circuitos

integrados a utilizar, simultáneamente se encenderán 8 LEDs de una misma columna, por lo que se hace necesario utilizar para cada columna un transistor que conmute la cantidad de corriente necesaria, debido a que los requerimientos de corriente son mayores por el hecho de alimentar varios LEDs a la vez. Para obtener una intensidad luminosa aceptable dentro del rango recomendado, es necesario que por cada LED circule una corriente de 20 mA; por lo tanto, como fuente de corriente constante para las filas (y columnas) se utilizará el circuito ULN2803, el cual proporciona hasta 500 mA de salida. Los transistores a utilizar son del tipo PNP.

A continuación se muestra todo el sistema del prototipo en bloques, con todas las consideraciones anteriores:

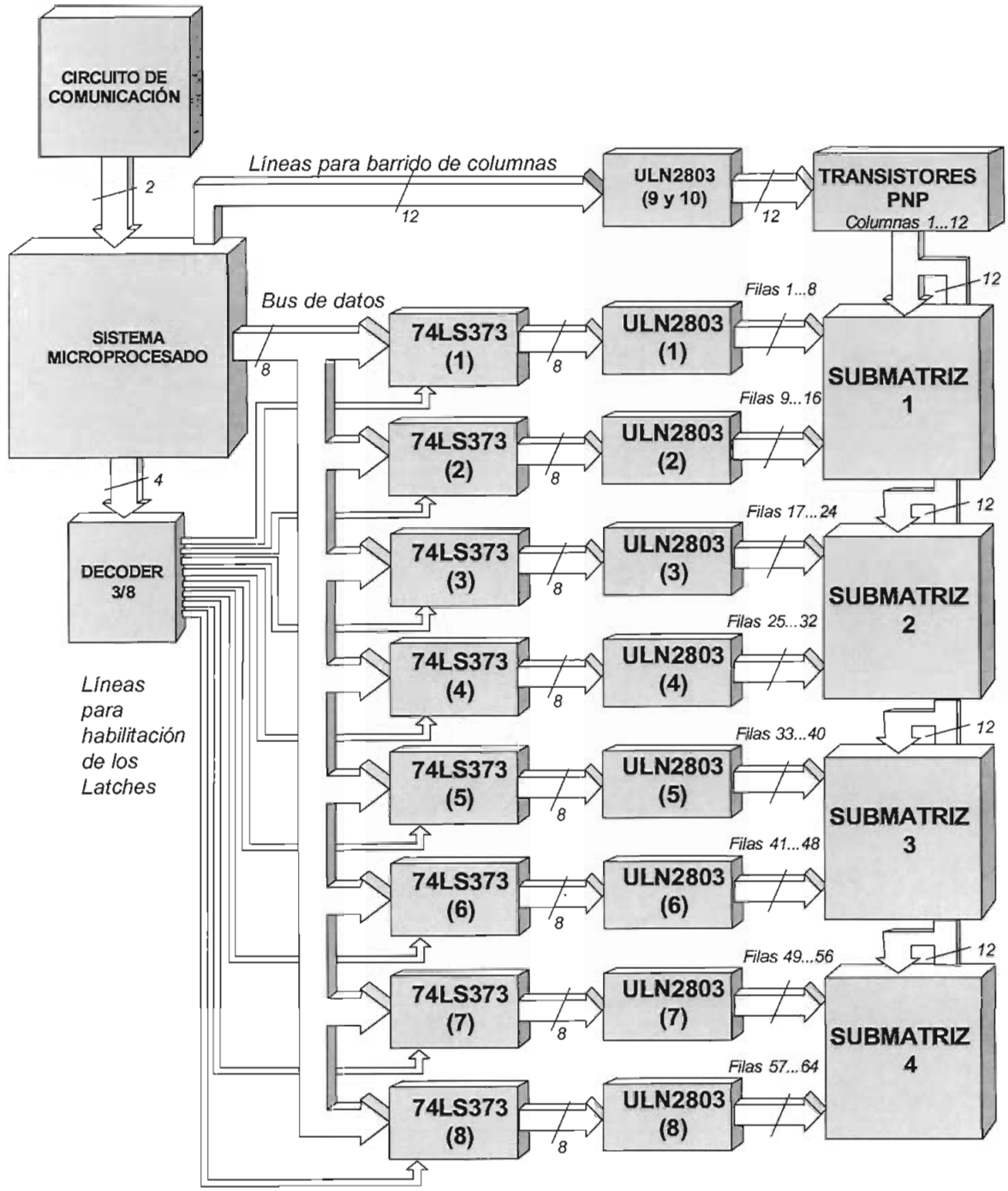


Figura 3.10 Diagrama de bloques según elementos del prototipo

3.3.2.2 Microcontrolador

Debido a que un microcontrolador contiene en un solo circuito integrado todos los elementos electrónicos que se utilizan para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador, su consideración de uso optimiza grandemente el diseño, principalmente por la reducción de la circuitería. Para implementar el sistema microprocesado del prototipo de semáforo se utilizará el microcontrolador AT89C51 de ATMEL, siendo las características más importantes de este dispositivo las siguientes:

- Capacidad de procesamiento de palabras de 8 bits.
- 32 líneas de entrada/salida programables.
- 4 Kbytes de memoria flash.
- Memoria de programa y de datos (ROM y RAM).
- Un canal serial programable.
- 6 tipos de interrupciones.
- 2 contadores/temporizadores de 16 bits.

Las 32 líneas de entrada/salida del microcontrolador están asignadas en 4 puertos (P0, P1, P2 y P3) de 8 bits cada uno, de las cuales se utilizarán básicamente:

- 8 líneas para envío de datos hacia el driver de LEDs (P1).
- 3 líneas para selección de salidas del decoder (P3) y 1 línea para habilitación del mismo.
- 2 líneas para realizar la comunicación serial con el computador PC (P3).
- 12 líneas para el control de barrido de las columnas (P0 y P2).

Se ha considerado una línea para habilitar el decoder ya que si se lo dejara activo permanentemente (por construcción), siempre existiría una salida seleccionada, es decir un latch activo, restándole eficiencia a la operación del prototipo; entonces, cuando el decoder se encuentre inhábil, ningún latch estará funcionando y solamente entrarán en operación (uno a la vez) cuando se habilite el decoder. De 6 líneas restantes, una de ellas se utilizará para indicar el

funcionamiento del microcontrolador mediante un LED. Las otras líneas están libres y servirán para aplicaciones posteriores que se requieran. El cristal con el cual operará el microcontrolador será de 11.0592 MHz, ya que con este valor, se puede establecer la comunicación serial en cualquiera de los valores de velocidad estándar.

3.3.2.3 Interfaz Serial

Permitirá a un usuario comunicarse con el prototipo desde un computador personal y mediante una aplicación de software, se podrá configurar los parámetros de operación del prototipo; para establecer la comunicación, será necesario el uso de un circuito integrado MAX-232, el cual convierte los niveles de voltaje RS-232 a TTL y viceversa, adaptando de esta manera las señales entre el computador personal y el microcontrolador.

3.3.2.4 Cálculos

La fuente de alimentación *Vcc* para la operación del prototipo, es de 15 V no regulados para la operación de la matriz y 5 V regulados para el circuito de control.

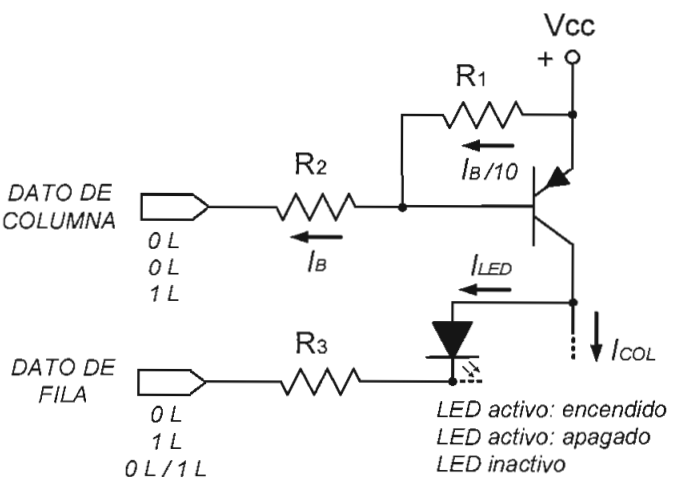


Figura 3.11 Encendido y apagado de un LED

En la figura 3.11, se muestra el circuito de encendido y apagado de un LED, en el cual un pulso en bajo en la base del transistor lo hará operar como circuito cerrado y se activará el ánodo del LED, cuando la fila lleve un pulso en bajo hacia el cátodo, se encenderá el LED; para que el LED se encuentre apagado, el dato en la fila deberá estar en alto. Cuando el transistor trabaje como circuito abierto mediante un pulso en alto en la base del transistor, ningún dato será mostrado. Debido a que los circuitos ULN2803 trabajan con lógica inversa, para activar una columna, el software que se implemente en el microcontrolador debe enviar por la línea de salida correspondiente a esa columna, un 1 lógico, y para encender un LED, el nivel en la línea de salida para la fila debe estar también en alto; de esta manera los transistores pueden operar como se mencionó anteriormente.

De acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante, el voltaje considerado para cada LED es de 4.5 voltios mientras que el valor de corriente para el LED es de 20 miliamperios. La corriente requerida cuando se realiza multiplexación debe ser mayor a la que circularía sin multiplexación, debido a que se va a trabajar con pulsos y no con una señal continua. A partir del número de columnas a multiplexar y de la corriente típica del LED, se obtiene la corriente necesaria que debe circular a través de un LED de una columna multiplexada:

$$I_{\text{LED multiplexado}} = \sqrt{n} \cdot I_{\text{LED sin multiplexar}} = \sqrt{12} \cdot 20\ \text{mA} = 69{,}28\ \text{mA}$$

La corriente máxima en el colector del transistor será:

$$I_{\text{COLECTOR}} = I_{\text{LED multiplexado}} \cdot \text{Número de filas de la columna} = 69{,}28\,\text{mA} \cdot 8 = 554{,}3\ \text{mA}$$

Los transistores considerados para el diseño tienen una ganancia β mínima de 30 veces. La corriente I_B se calcula:

$$I_B = \frac{I_{\text{COLECTOR}}}{\beta_{\text{MÍNIMO}}} = \frac{554{,}3\,\text{mA}}{30} = 18{,}48\,\text{mA}$$

Por lo tanto, se calculan la resistencia de columna R2 y la resistencia R1:

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{EB\,saturación}}{I_B} = \frac{15 - 0{,}6\ V}{18{,}48\,mA} = 779{,}4\,\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{EB\,saturación}}{\frac{I_B}{10}} = \frac{0{,}6}{0{,}1848} = 324{,}8\,\Omega$$

La resistencia R3 para cada una de las filas tiene un valor de:

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_{CE-PNP} - V_{LED} - V_{CE-saturación}}{I_{LED\,multiplexado}} = \frac{15 - 0{,}6 - 4{,}5 - 8{,}5\ V}{69{,}28\ mA} = 20{,}21\,\Omega$$

De los valores estándar para resistencias, se escoge 820Ω para la resistencia R2, 330Ω para R1 y 18Ω para R3, ya que estos valores son los que más se aproximan a los obtenidos del diseño.

3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador será el encargado de manejar la operación de la matriz de LEDs y permitir establecer la comunicación serial para la configuración del mismo desde un computador personal; la matriz opera mediante un proceso de multiplexaje, descrito anteriormente, el cual se lo implementa por medio de software en el microcontrolador.

Para el control de columnas, se utilizarán 12 líneas de salida pertenecientes a los puertos 2 y 0 del microcontrolador, las cuales necesitan ser habilitadas secuencialmente durante un período de tiempo en el cual los datos que se encuentran almacenados en forma de tablas en localidades de memoria ROM y que salen al bus de datos a través del puerto 1, sean mostrados como LEDs encendidos o apagados en las filas de la matriz. A cada columna, le

corresponderán 8 datos para los LEDs de color verde y 8 para los rojos, los cuales serán controlados por un latch de acuerdo al color correspondiente.

En la figura 3.12 se muestra un ejemplo de cómo se asignan los datos de las tablas desde memoria de programa a las columnas de la matriz, se considera para el ejemplo que las localidades correspondientes a la submatriz 3 empiezan en la dirección 0549h; para completar el barrido en esta submatriz, se necesitarán 24 localidades de memoria, 12 para cada grupo de LEDs. En cada multiplexación, solamente un latch puede estar activo, se podría activar alternadamente los latches para completar los datos en cada una de las columnas, pero a simple vista esta solución representa utilizar mayor número de instrucciones respecto a las que se necesitarían si se activara únicamente un latch hasta completar cada grupo de LEDs de la submatriz. Cada una de las 12 localidades de memoria desde la dirección 0549H, corresponde a una columna de la submatriz y los datos almacenados en esas localidades contienen información para los LEDs verdes, las 12 localidades siguientes (desde la dirección 05A1H) corresponden a las mismas columnas pero la información contenida es la que presentarán los LEDs rojos. Para presentar un cuadro completo en la matriz (barrido en las 4 submatrices), serán necesarias 96 localidades de memoria, las cuales representan una tabla de datos la cual almacena la información de las diferentes señales indicativas que debe mostrar el prototipo.

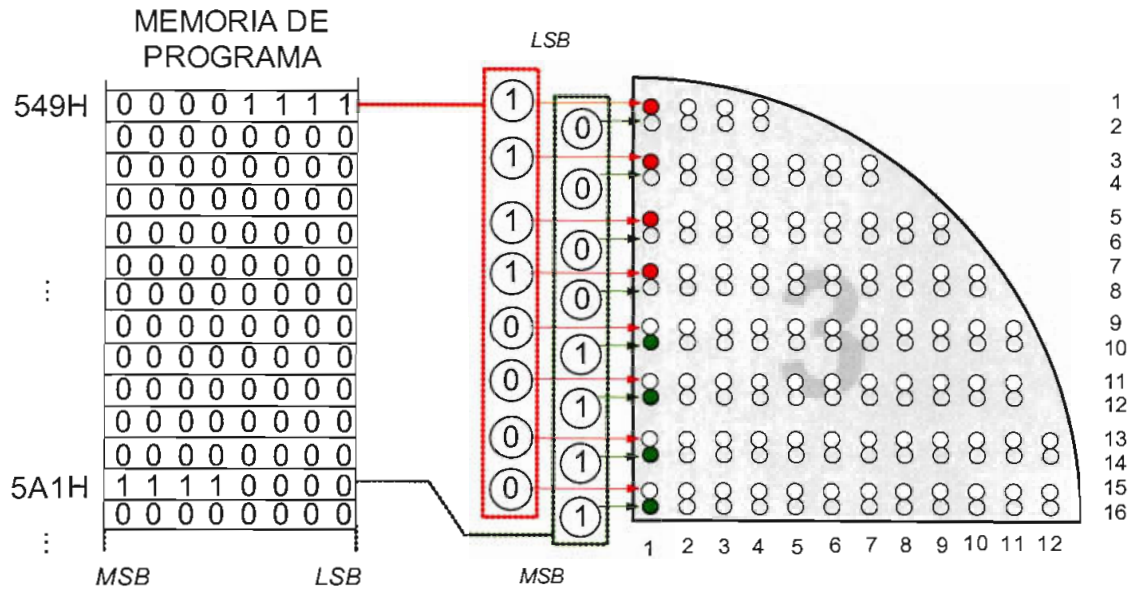


Figura 3.12 Ejemplo de correspondencia de localidades de memoria a columnas de la submatriz 3

El ciclo de un semáforo, como se describió en el capítulo 2, es el período de tiempo en el cual el semáforo muestra una secuencia completa de fases, es decir, un ciclo está compuesto por el tiempo que debe durar cada una de las señales del semáforo. El software para el microcontrolador del prototipo en desarrollo, además de administrar la duración de cada señal, debe permitir desplegar no solamente la secuencia siga-precaución-alto convencional representada por los colores verde, amarillo y rojo respectivamente, sino también secuencias consistentes de otro tipo de señales tales como flechas, palabras, números y animaciones sencillas, las cuales se describirán más adelante.

Cada vez que ocurra una interrupción serial, se podrá configurar la duración de cada fase del semáforo, como también la secuencia con la que se desea que este trabaje; existe una secuencia predeterminada con la cual trabajará el prototipo, la cual corresponde al modo normal, en caso que no se requiera configurarlo luego de su entrada en funcionamiento.

3.4.1 ALGORITMO

Se describe a continuación el algoritmo en base al cual estará desarrollado el software con el que debe operar el microcontrolador.

Al arrancar el programa, se inicializa primeramente el puerto serial del microcontrolador, de manera que en cualquier instante se pueda establecer la comunicación con el computador personal a una velocidad de 1200 bps mediante una interrupción serial, a continuación, el programa entra a operar en modo predeterminado, en el cual se tiene una secuencia convencional de señales siga-precaución-pare con valores de tiempo preestablecidos: 20 segundos para el verde, 3 para el amarillo y 10 para el rojo[11] y se mantiene así indefinidamente. Cuando una interrupción serial ocurre, se detiene el proceso anterior que está ejecutándose y mediante el software para configuración desde el PC, se envían al microcontrolador los valores del tiempo de duración para cada señal y también del modo de operación, estos valores reemplazarán a los valores por defecto, y una vez que cesa la interrupción, el programa volverá a ejecutarse con la nueva configuración, con la que operará hasta que no se vuelva a configurar el prototipo.

En el proceso de multiplexación, el tiempo durante el cual un LED de una columna deben mostrar un dato, se controla mediante una base de tiempo, la cual determina la duración del almacenamiento de los datos en los latches y por consiguiente, el ritmo de la multiplexación.

3.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se muestra el diagrama de flujo del programa principal a implementarse para el microcontrolador.

---

[11] Los tiempos para siga y alto han sido tomados arbitrariamente.

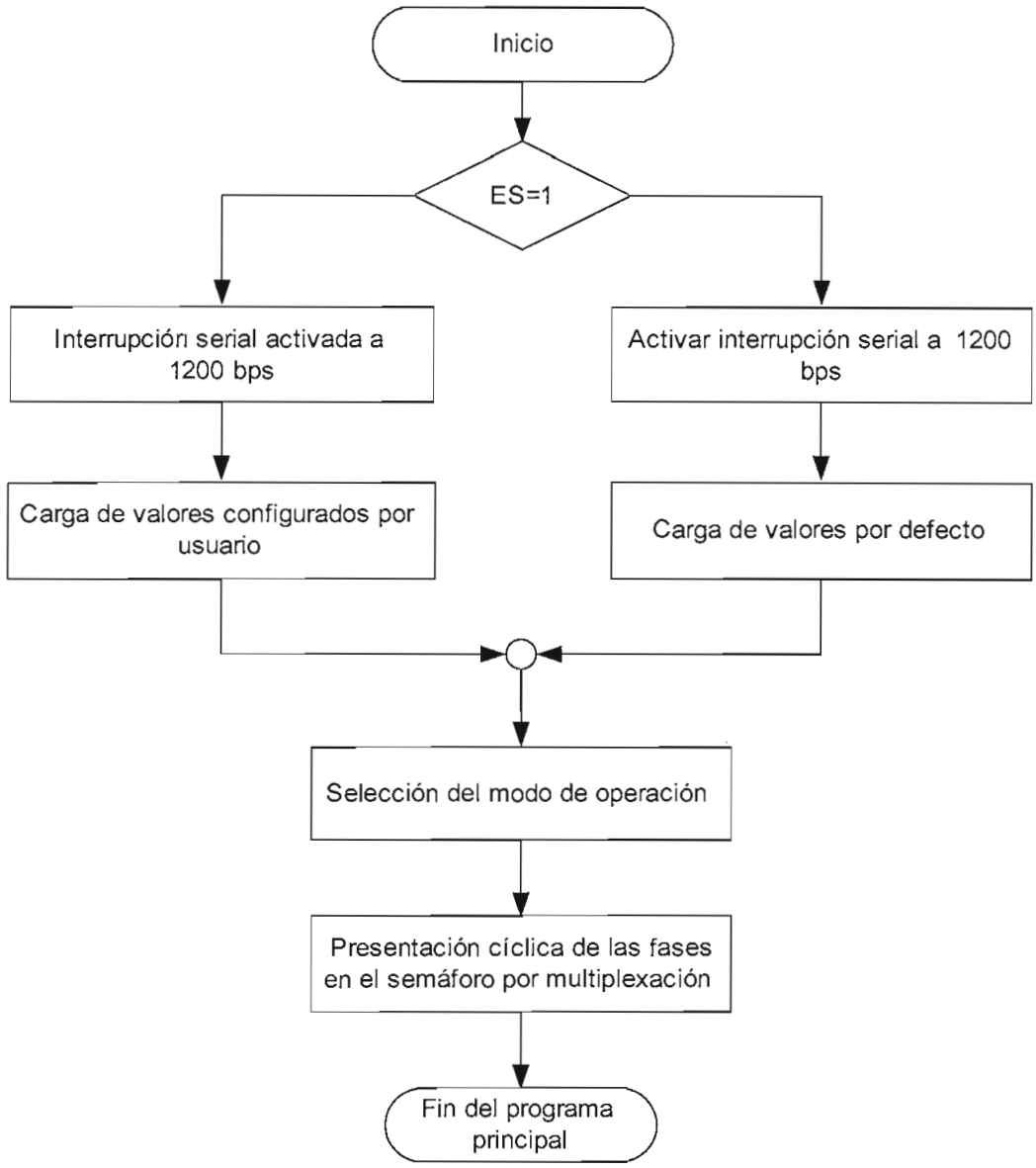


Figura 3.13 Diagrama de flujo del programa principal

La interrupción serial, como muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.14, será la encargada de recibir los bytes desde la aplicación de usuario, los cuales contienen la información referente a la duración de las fases del semáforo y la selección del modo de operación del prototipo, los cuales serán almacenados en la memoria interna del programa y utilizados posteriormente por el programa principal en el momento que cese la interrupción. La velocidad seleccionada para este proceso es 1200 bps, ya que la cantidad de información a recibir en el puerto serie es mínima.

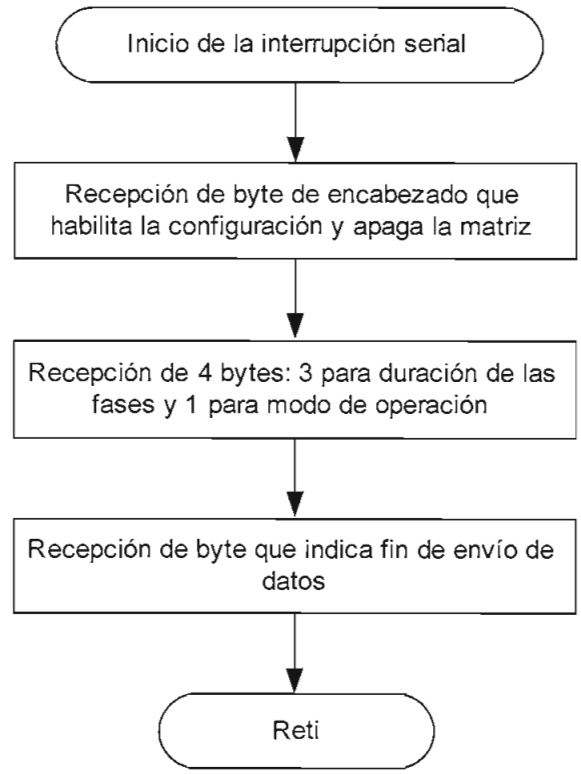


Figura 3.14 Diagrama de flujo de la subrutina de interrupción serial.

3.4.3 MODOS DE OPERACIÓN

El prototipo de semáforo, por diseño, puede operar en modo normal o en modo gráfico; los ciclos para cada uno de ellos tienen como base la secuencia de fases siga-precaución-alto. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

3.4.3.1 Modo Normal

En este modo, se mostrarán las señales convencionales (verde, amarillo, rojo), las cuales se consiguen al encender todos los LEDs de la matriz, es decir, el valor de los datos de las tablas correspondientes a estas señales, es 1 lógico (lógica directa). La figura 3.15 ilustra señales similares a las que debe mostrar el prototipo en este modo de operación, de acuerdo con las características de diseño de la matriz.

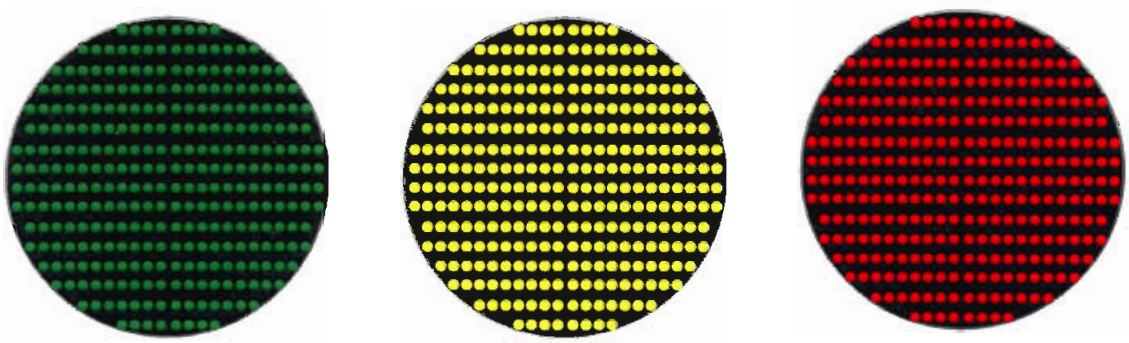


Figura 3.15 Simulación de señales convencionales para el prototipo

3.4.3.2 Modo Gráfico

El modo de operación gráfico permitirá mostrar números, flechas, palabras y las gráficas relativos al control del tránsito peatonal, además de las señales convencionales, se tendrán diferentes opciones con las que el prototipo puede trabajar dentro del modo gráfico, las cuales son:

3.4.3.2.1 Números

En este modo se mostrarán en cada fase del ciclo las señales convencionales hasta 10 segundos antes de que cambie de fase (de siga a precaución y de alto a siga), y a partir de ese tiempo hasta el cambio, se podrá visualizar los números correspondientes a la cuenta regresiva de dicho tiempo, lo cual se ilustra en la figura 3.16.

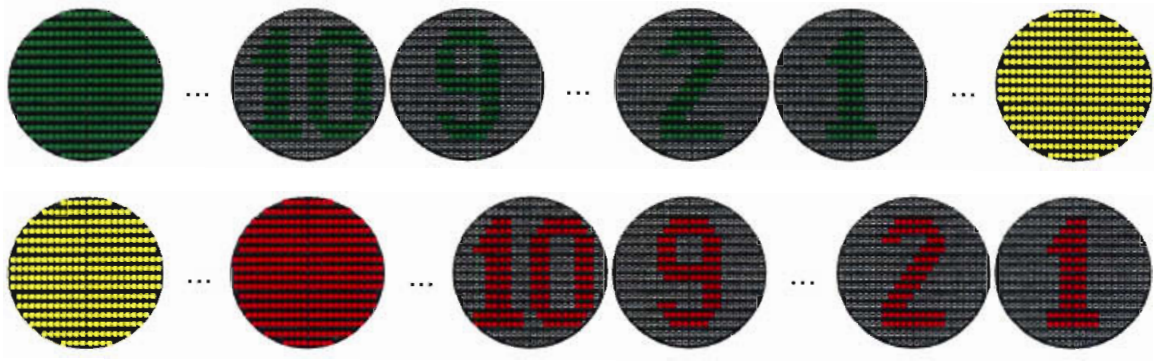


Figura 3.16 Fases el modo gráfico con números

La otra alternativa existente para representar tanto los números como así también los caracteres y las flechas, consiste en utilizar los valores complementarios de los datos en las tablas (lógica inversa); como resultado se obtendrán señales complementarias para los números, como se indica a continuación:

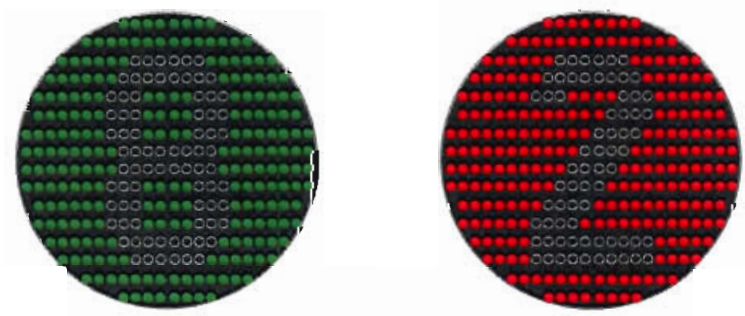
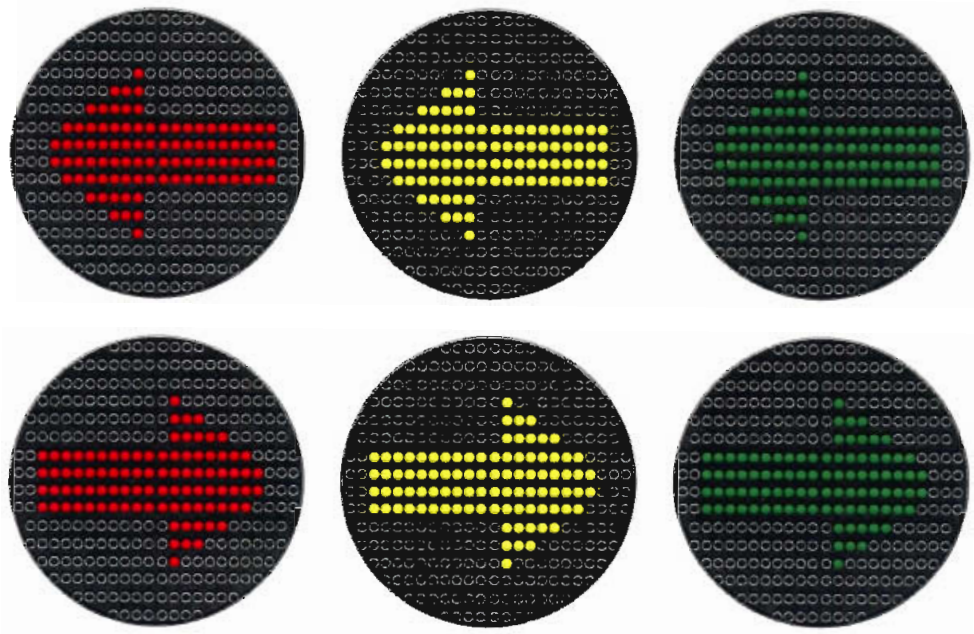


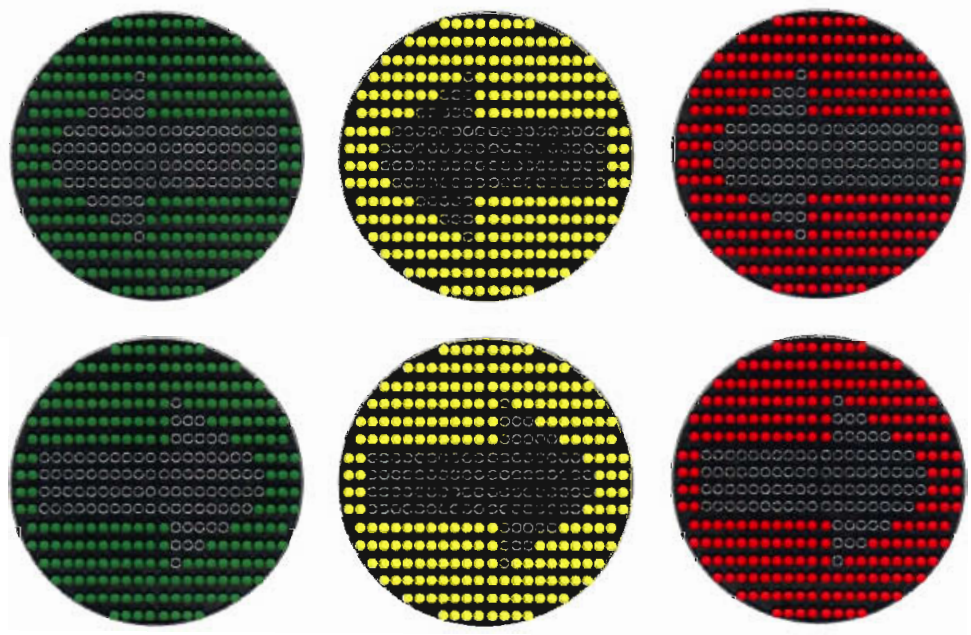
Figura 3.17 Ejemplos de números alternativos

3.4.3.2.2 Flechas

En este modo de operación cada fase presentará únicamente una flecha direccional a la izquierda o a la derecha, como se indica en la figura 3.18.



a)



b)

Figura 3.18 Flechas para las fases. a) modo directo; b) modo alternativo

3.4.3.2.3 Control de tránsito peatonal

Este modo de operación permite controlar el flujo peatonal mediante la presentación de una figura que simboliza un peatón. En la fase de siga se presenta en la matriz la simulación del movimiento de un peatón mientras que en las fases de precaución y de alto, se muestra únicamente un peatón inmóvil, con los correspondientes colores de cada fase, tal como se muestra en la figura 3.19.

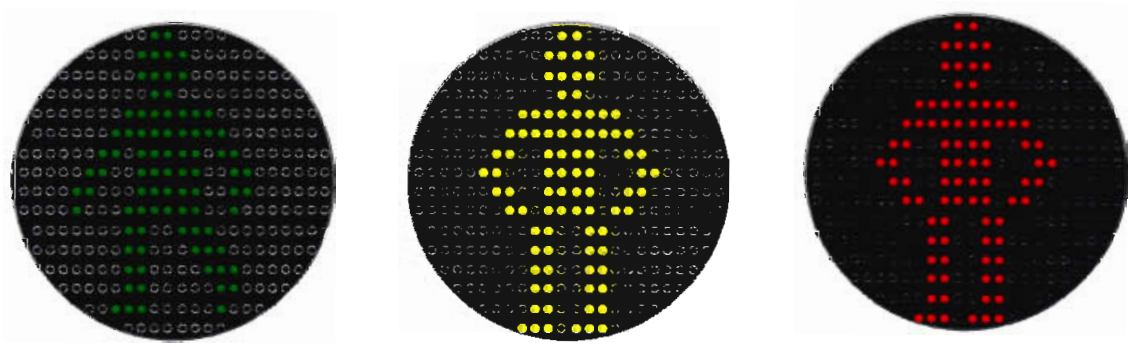


Figura 3.19 Señales del modo de control peatonal

3.4.3.2.4 Palabras

Adicionalmente, como una alternativa para control peatonal, se pueden mostrar las palabras "SIGA" y "PARE" para sus respectivas fases; en el caso de precaución también se mostrará la palabra "siga", pero en color amarillo. Similar a los casos de los números y las flechas, se podrán mostrar las palabras usando lógica directa o inversa.

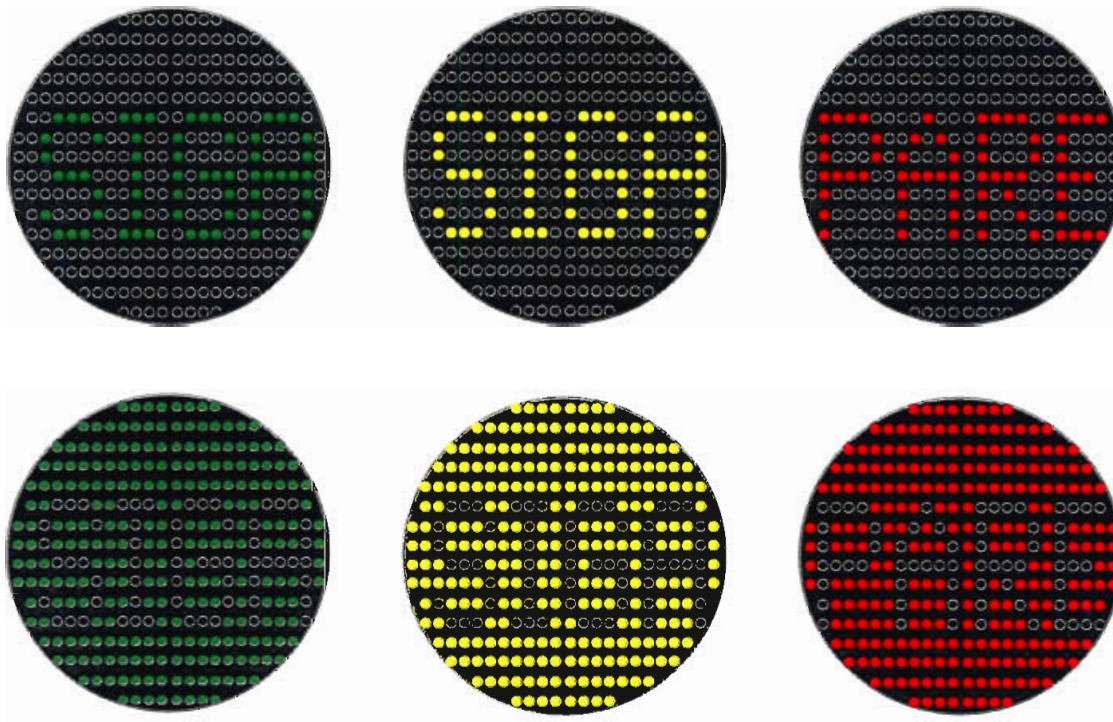


Figura 3.20 Señales del modo de caracteres

A partir de todas las consideraciones de hardware y software descritas, se procederá a la construcción del prototipo de semáforo con LEDs de alta luminosidad.

Las tablas de datos correspondientes a cada una de las señales que el prototipo desplegará en los diferentes modos de operación y las figuras que se obtienen a partir de las mismas se encuentran especificadas en el Anexo D al final del presente trabajo.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se describe el proceso de implementación del hardware y el desarrollo del software para la configuración del prototipo de semáforo.

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

A partir de las consideraciones de diseño mencionadas en el capítulo anterior, se inicia la construcción del prototipo, empezando por la matriz de LEDs, la cual se detalla a continuación.

4.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LED

Una vez determinado el número de elementos y la disposición de columnas y filas de la matriz, se implementó la placa para la matriz mediante el diseño del circuito impreso en base al diagrama esquemático de la figura 4.1.; cada una de las submatrices que conforman la matriz general, posee el mismo número de elementos, esto es 152 LEDs y la distribución es simétrica en todas ellas. Se las construyó por separado y con la forma de una cuarta parte del círculo, de manera que al juntarlas, se obtiene la matriz del prototipo.

El diámetro final de la matriz fue ligeramente mayor al establecido en el diseño (305 milímetros) ya que con esto se logra que la placa se acople mecánicamente sin ningún problema al chasis de un semáforo normal; las columnas de las submatrices se interconectan mediante cable plano.

La matriz mostrada en la figura 4.2, presentó una serie de problemas cuando se realizaron pruebas para comprobar su funcionamiento, debido a la falta de calidad de las placas de circuito impreso utilizadas para la misma, ya que dichas placas se construyeron manual y rudimentariamente.

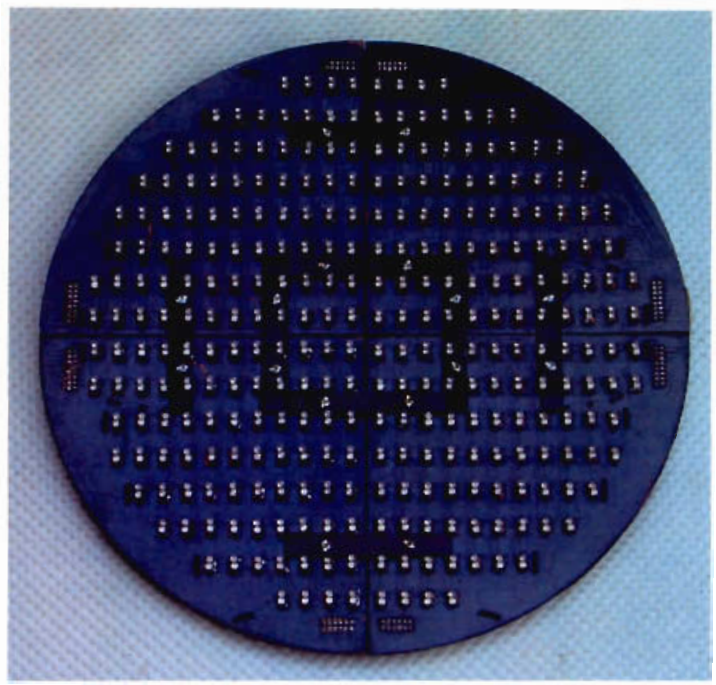


Figura 4.2 Tarjeta de la primera matriz construida

Por este motivo, fue necesario construir una segunda matriz, cuyas placas de circuito impreso fueron implementadas mediante técnicas profesionales de elaboración, la cual no presentó ningún problema y se muestra a continuación.

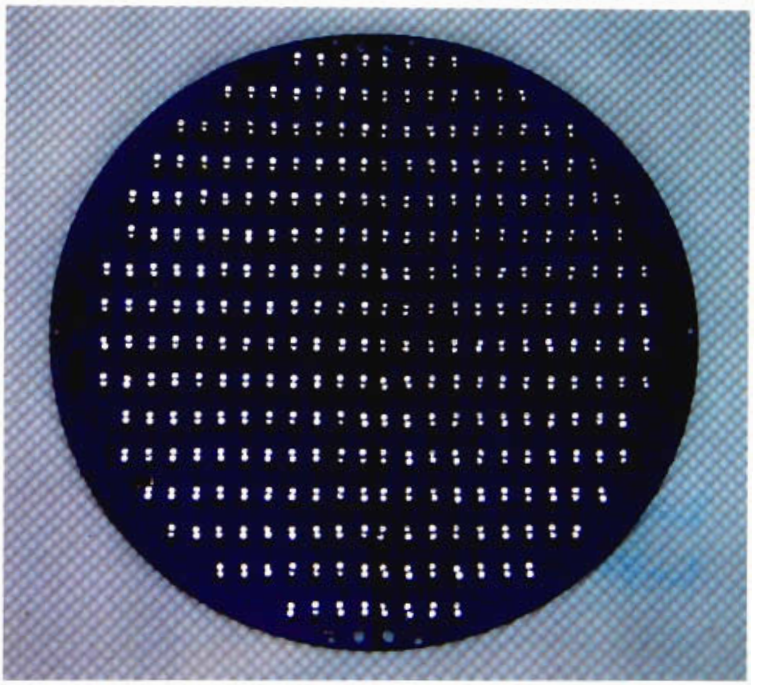


Figura 4.3 Tarjeta definitiva de la matriz

Esta última matriz está conformada por dos placas de circuito impreso[12], donde cada una de ellas agrupa 2 submatrices de 12 columnas por 16 filas de LEDs, ya que dichas placas tienen la forma de un semicírculo.

4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

El circuito de control implementado para el manejo de la matriz de LEDs, se muestra en el diagrama esquemático de la figura 4.4.

---

[12] El diagrama esquemático final de la matriz de LEDs y el respectivo circuito impreso se encuentran en el Anexo E.

Las líneas de salida del puerto 1 del microcontrolador conforman el bus de datos, el dato menos significativo estará en la línea P1.0 y el más significativo en la línea P1.7. Las 8 líneas del puerto 2 manejarán el mismo número de columnas mientras que las líneas restantes se las obtiene del puerto 0, las mismas que necesitan de resistencias de pull-up para funcionar correctamente, por lo que se utilizó resistencias de 10 KΩ; los valores de los elementos que conforman el circuito de RESET del microcontrolador, son los recomendados por el fabricante. Adicionalmente, para eliminar el ruido de alta frecuencia que pudiera existir, se sumó a cada circuito integrado un capacitor de 0,1 μF.

En el diagrama esquemático anterior consta el circuito para la fuente de alimentación regulada, para la construcción se consideró el implementar dos fuentes, de manera que con el mismo prototipo se pueda alimentar otro módulo de LEDs, para simular la operación de un cabezal semafórico de dos caras en una intersección.

El circuito integrado MAX232 realiza todo el proceso de conversión de los niveles de voltaje RS-232 a TTL y viceversa cuando se realiza la comunicación serial entre el computador PC y el microcontrolador. Los valores de los capacitores que se conectan al circuito integrado son los recomendados por el fabricante. Las líneas del microcontrolador utilizadas para la transmisión y recepción serial están conectadas a los pines 11 y 12 del mencionado circuito, mientras que las líneas provenientes del computador están conectadas a los pines 13 y 14.

Se implementó los circuitos de cada una de las secciones descritas anteriormente para comprobar el funcionamiento de los mismos y corregir posibles errores; una vez realizado esto, a partir de los diagramas esquemáticos, se diseñó el circuito impreso para la tarjeta, el cual se lo puede observar en el anexo E al final del presente trabajo. A continuación se muestra la tarjeta construida en la cual ya están incluidos todos los elementos para su operación.

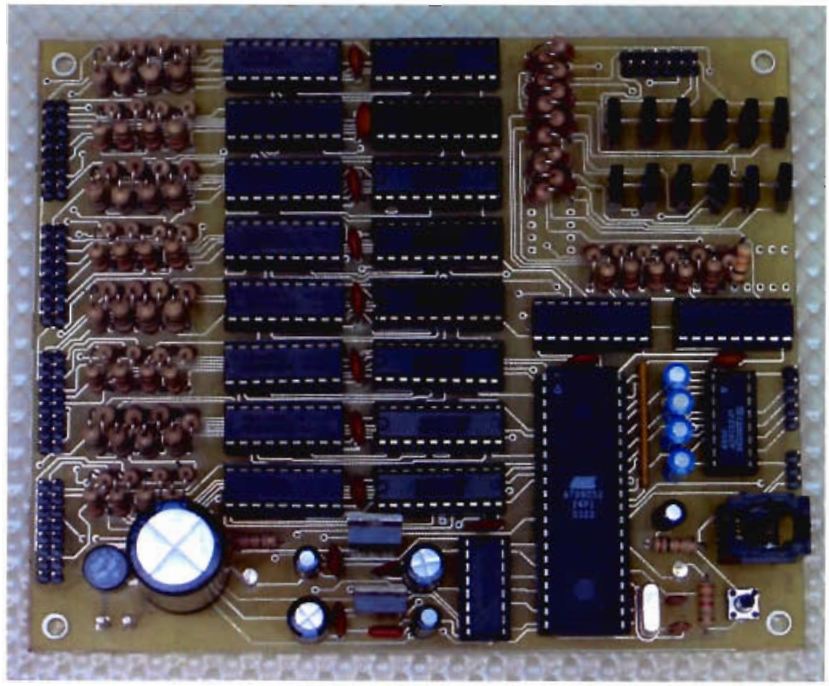


Figura 4.5 Tarjeta de control

El programa principal que se ejecuta conforme al diagrama de flujo mostrado en la sección 3.4.2 es el que se encarga de controlar la tarjeta, y éste debe estar almacenado en el microcontrolador para que el prototipo pueda funcionar correctamente.

4.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA CONFIGURACIÓN DEL PROTOTIPO

La aplicación a desarrollarse deberá permitir al usuario ingresar por teclado valores que especifiquen el tiempo de duración de cada fase (siga, precaución y pare) y seleccionar el modo de operación del prototipo, el cual puede ser normal o cualquiera de las alternativas del modo gráfico. De acuerdo con la interrupción serial descrita en la sección 3.4.2, se necesitan 6 bytes en total para cumplir con el proceso de configuración del prototipo:

- 1 byte de encabezado
- 3 bytes para definir tiempo de duración de las fases

- 1 byte para definir el modo de operación
- 1 byte para indicar el fin de los datos

El lenguaje de programación Visual Basic, por su facilidad de uso, es el que permitirá desarrollar el software requerido, el cual debe transmitir los datos para la configuración del prototipo por el puerto serial del computador; los códigos para los bytes de encabezado y de fin de datos son 53H y 46H respectivamente.

La ventana de interfaz de usuario del programa se muestra en la figura 4.6. El puerto serial del computador a través del cual se van a enviar los datos hacia el microcontrolador se puede seleccionar por medio de la opción *Puerto* en el menú.

El puerto preestablecido por defecto en el programa es *COM1*. El byte de encabezado se envía el momento en que se selecciona la opción *Conectar* en el menú mediante la cual se establece la conexión.

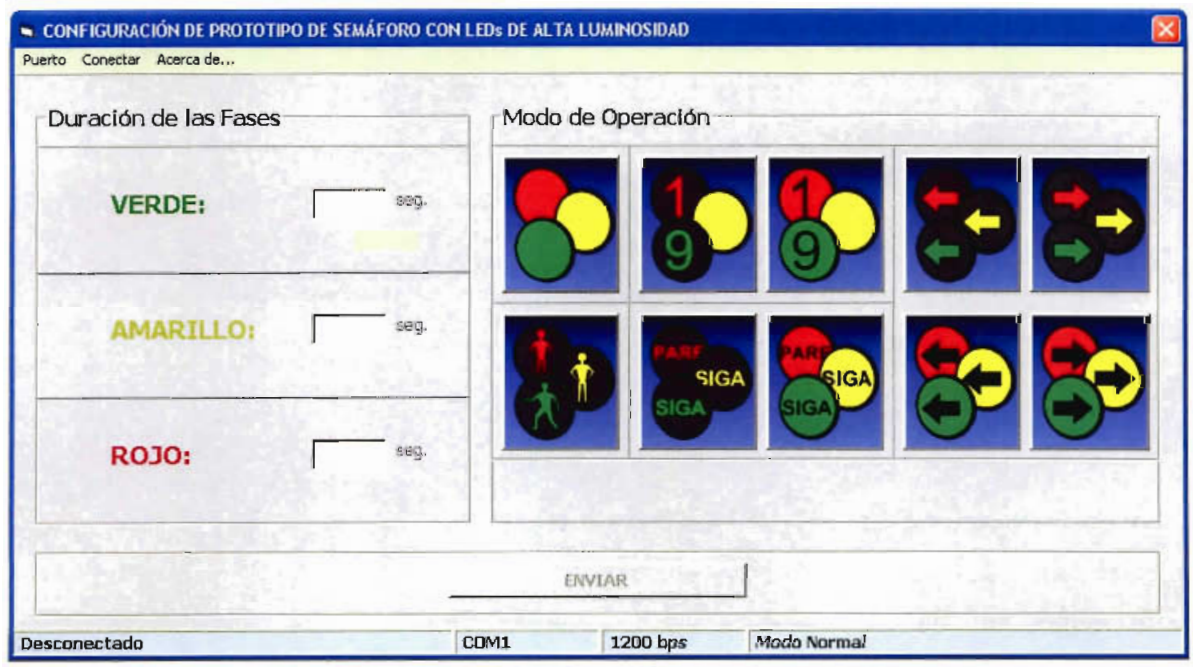


Figura 4.6 Interfaz del programa de configuración

Existen tres cuadros de texto en los cuales se puede ingresar los valores en segundos para la duración de las fases, como se muestra en la figura 4.7.

Figura 4.7 Cuadros de texto para duración de fases

Para las fases de siga y de pare, el rango de valores que se pueden ingresar está comprendido entre los 10 y los 120 segundos. Este último valor se adoptó tomando como referencia la duración de un ciclo máximo, el cual es generalmente 120 segundos. La fase de precaución puede establecerse entre 1 y 10 segundos, ya que valores fuera de este rango no tendrían sentido para la señal de precaución.

Se han definido 10 botones mediante los cuales se selecciona el modo de operación del prototipo, los cuales se muestran a continuación:

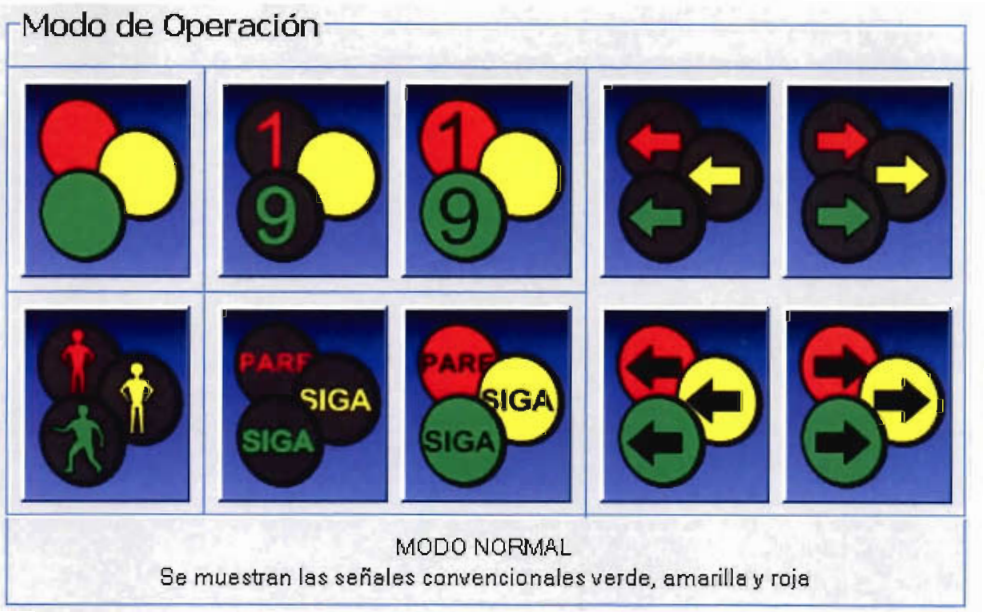


Figura 4.8 Cuadros de texto para duración de fases

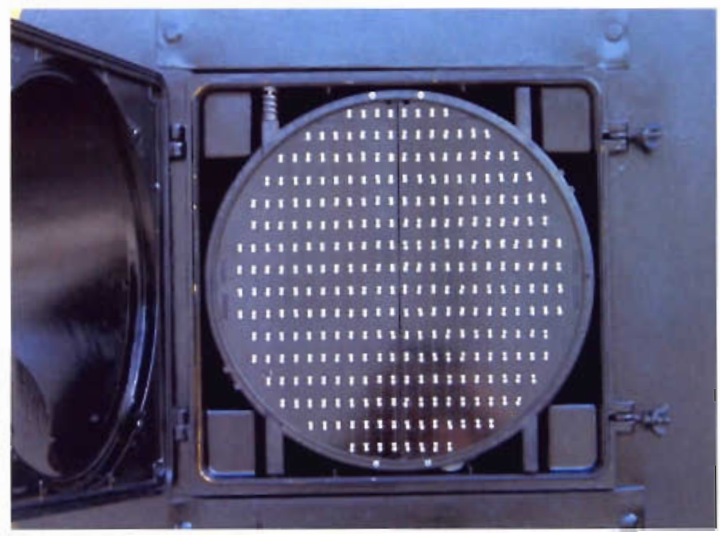
En la parte inferior de esta sección se muestra una breve descripción del modo de operación cada vez que el *mouse* se ubica encima de cualquiera de los botones. Los modos de operación son aquellos descritos en la sección 3.4.3.

Una vez que todos los valores han sido ingresados y el modo de operación se ha seleccionado, esta serie de datos puede ser enviada al microcontrolador mediante el botón *ENVIAR*, el cual adiciona a los 4 bytes anteriores el byte de fin de datos. Los valores que se envíen al microcontrolador pueden ser variados y reenviados mientras no se seleccione la opción *Desconectar* del menú, la cual aparece cada vez que se establece una conexión.

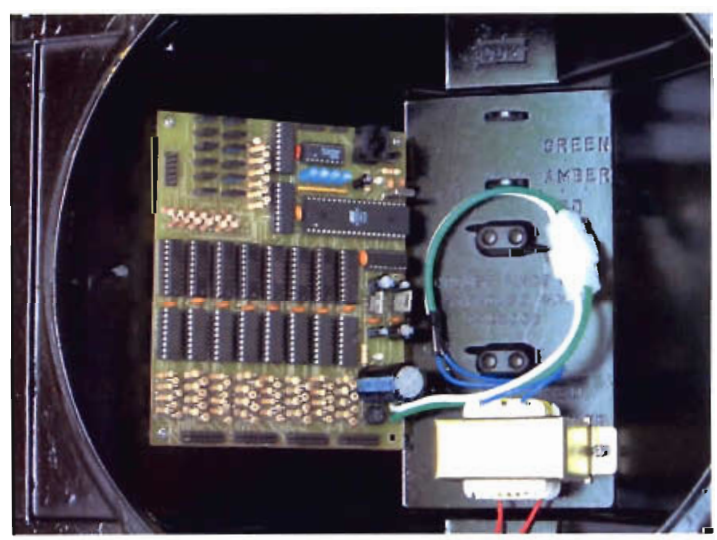
4.3 MONTAJE DEL PROTOTIPO

Una vez construida la matriz de LEDs y la tarjeta de control, se procedió al montaje de las mismas en el chasis de un semáforo convencional de 300 milímetros para lo cual únicamente se utilizó una sección del semáforo (módulo).

Las dos tarjetas se sujetan al chasis mediante tornillos, sin alterar la estructura física del mismo, tal como se muestra a continuación.



a)



b)

Figura 4.9 a) matriz acoplada al chasis; b) Acoplamiento de la tarjeta de control

De esta manera se finalizó la construcción del prototipo, el cual se observa en la figura 4.10; para conectar físicamente el computador personal con el prototipo, se

utiliza un cable que posee en un extremo un conector DB-9 para la conexión con el puerto serie en el computador, y un conector RJ-11 para la tarjeta de control. Todo el proceso de prueba del prototipo y los resultados del mismo, se describe en el siguiente capítulo.

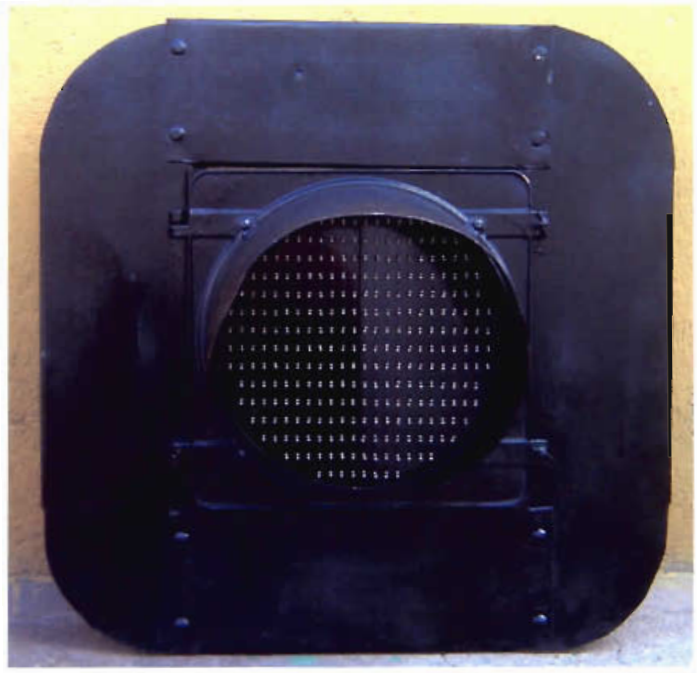


Figura 4.10 Prototipo de semáforo con LEDs de alta luminosidad terminado

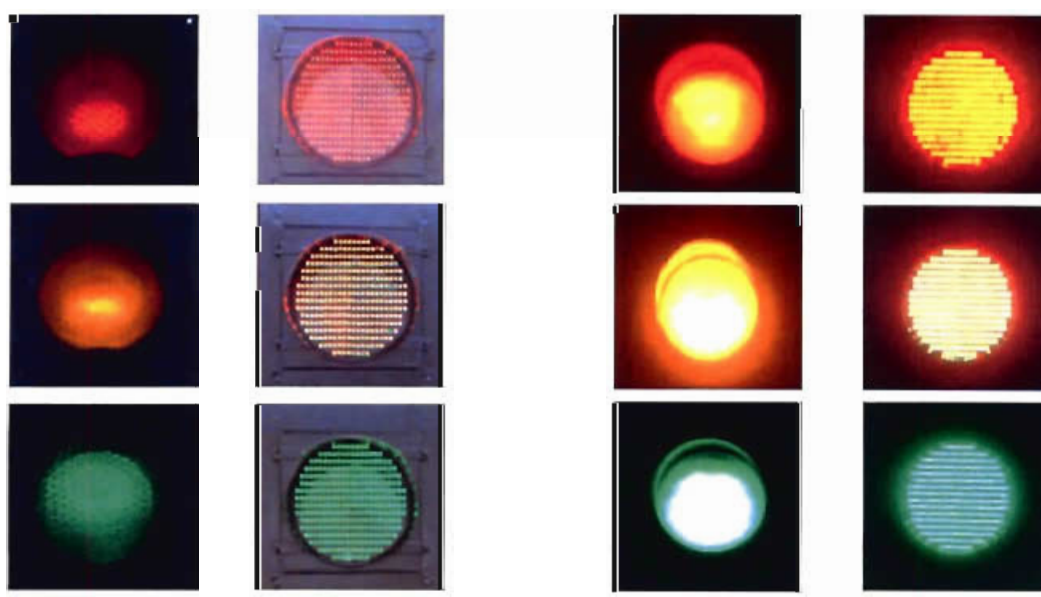
CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las pruebas realizadas al prototipo de semáforo y se evalúa el desempeño del mismo a través de los resultados obtenidos.

5.1 CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS, ELÉCTRICAS Y ENERGÉTICAS

Una vez terminado el prototipo, se procedió a comparar las características ópticas del mismo, con las de un semáforo normal. La siguiente figura ilustra un semáforo convencional con lámpara incandescente y el prototipo de LEDs, bajo las mismas condiciones ambientales operando en modo normal.



a) b)

Figura 5.1 Semáforos operando normalmente: a) en el día; b) en la noche

Como se observa en cada caso de la figura 5.1, las señales que muestra el prototipo en cada fase son similares, en cuánto al nivel de brillo de las señales que muestran los semáforos estándar; esta característica es la principal razón que permitiría al prototipo reemplazar sin ningún problema a los semáforos convencionales, como se ha realizado actualmente en limitado número de casos.

En el caso de la señal de precaución (amarillo), su obtención fue resultado de la mezcla de colores mencionada en la sección 3.3.1.2. Con resistencias de 18Ω en las líneas de las filas que alimentan los LEDs verdes y rojos (R3), se obtuvo una señal de tonalidad amarillo-verdosa en el caso de la fase de precaución, debido a las diferencias de intensidad luminosa[13] entre los LEDs verdes y rojos. Para corregir esta situación, se debía incrementar la intensidad luminosa de los LEDs rojos o reducirla en el caso de los verdes. Se optó por la primera opción, ya que al aumentar el valor de las resistencias, se reduce el brillo de los LEDs, lo cual representa señales menos intensas. En el caso de las resistencias correspondientes a las filas de LEDs rojos, se redujo gradualmente su valor hasta obtener el color deseado, lográndose una tonalidad amarilla en la señal con valores de resistencias de 3Ω. Valores menores a este, dan como resultado una señal de tonalidad anaranjada.

El prototipo necesita un voltaje de alimentación de 110 voltios de corriente alterna para operar correctamente; mediante mediciones realizadas, se determinó el consumo de potencia del dispositivo el cual es de 19.1 vatios.

VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	110 V
POTENCIA	19.1 W

Tabla 5.1 Parámetros de operación del prototipo

[13] Este diferencia se puede observar en las curvas de Intensidad Luminosa vs. Corriente que se encuentran en las hojas de especificaciones de los LEDs, en el Anexo A.

5.2 MODOS DE OPERACIÓN

A continuación se muestra una serie de imágenes relacionadas con las señales mostradas en cada uno de los modos de operación desarrollados.

Figura 5.2 Modo normal

A continuación se muestran algunos números de la secuencia de la cuenta regresiva en las fases siga y pare en el modo gráfico numérico.

Figura 5.3 Ejemplos de números en el modo gráfico

Para el modo que presenta señales direccionales mediante flechas, se muestran a continuación algunos ejemplos:

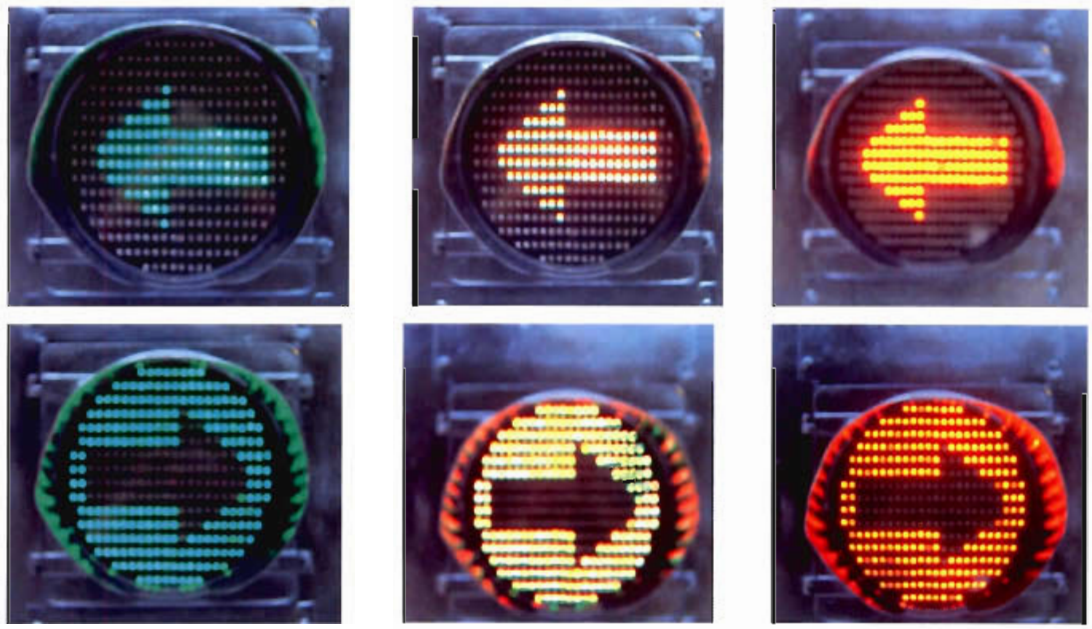
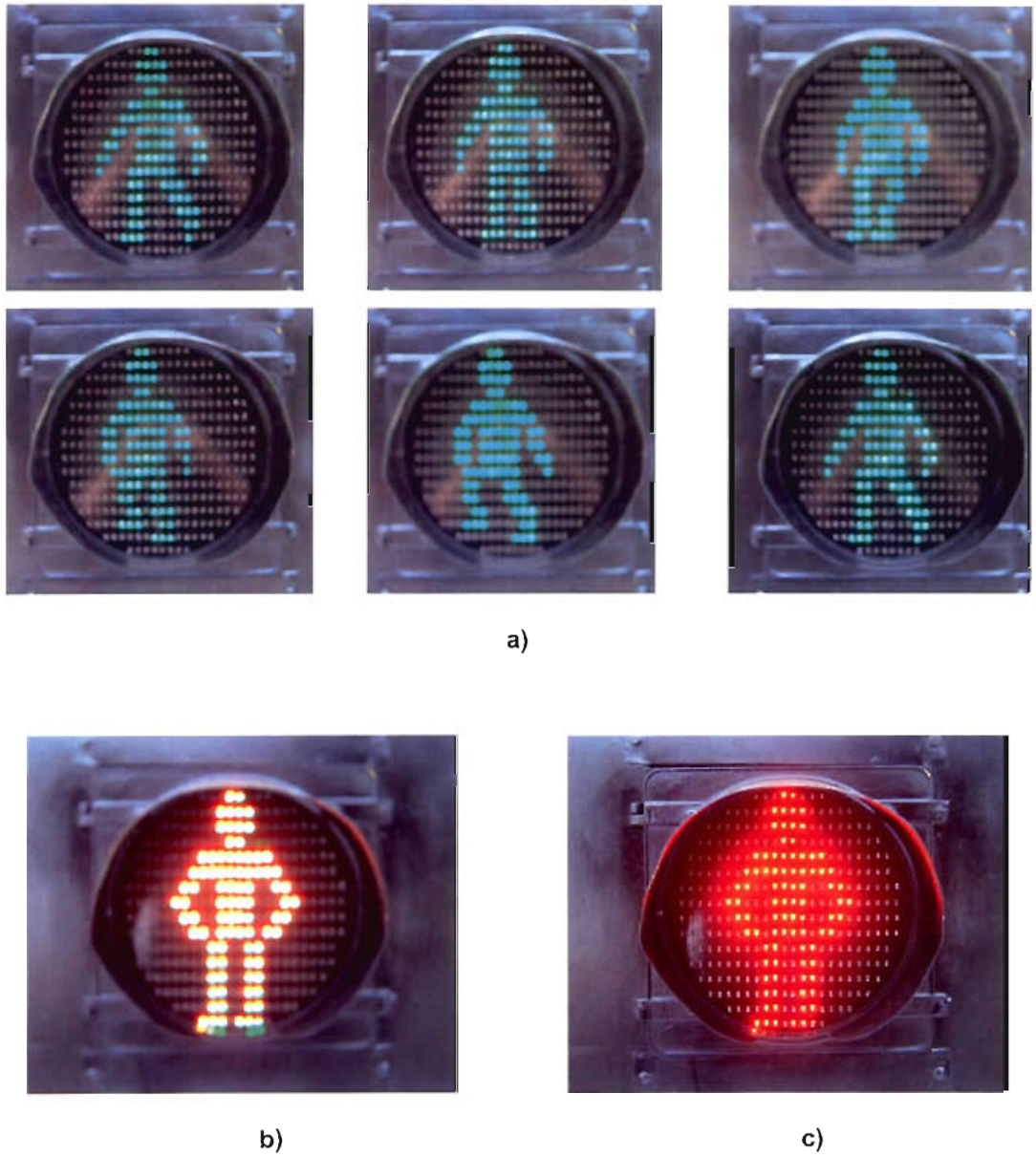


Figura 5.4 Ejemplos del modo gráfico flechas

Las señales que muestra el prototipo en el modo de control peatonal se observan en la figura 5.5.



a)

b)

c)

Figura 5.5 Modo gráfico para control peatonal: a) secuencia de cuadros para la fase de siga; b) señal mostrada en fase precaución; c) señal mostrada en la fase pare

Las señales correspondientes a las fases del modo de palabras se muestran en la figura 5.6.

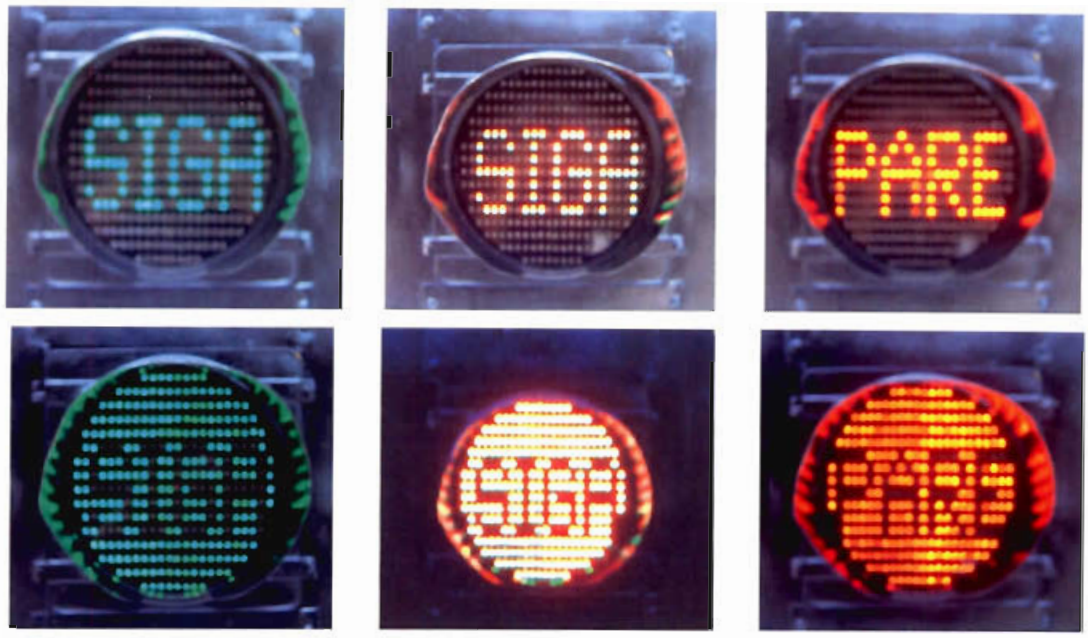


Figura 5.6 Modo gráfico con palabras

5.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

A continuación se presenta la lista con el precio de los elementos utilizados para la construcción del prototipo de semáforo, en la cual se incluye el costo de los mismos[14] y el costo total del proyecto.

[14] Los precios de los elementos están referidos al mercado nacional.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Microcontrolador AT 89C51	6.50	6.50
8	Circuito integrado 74LS373	0.80	6.40
8	Circuito integrado ULN 2803	1.15	9.20
2	Circuito integrado LM 7805	0.45	0.90
1	Circuito integrado MAX 232	3.95	3.95
304	LED color verde 3 mm., 2000 mcd	0.70	212.80
304	LED color rojo 3 mm., 1990 mcd	0.15	45.60
3	Placas de circuito impreso	-----	142.60
23	Capacitores de varios tipos y valores	-----	2.64
12	Transistor 2N5193	0.25	3.00
91	Resistencias de varios valores , ½ watt	0.03	2.73
1	Puente rectificador de diodos	0.20	0.20
1	Transformador 110/12 V AC, 1.5 A	3.50	3.50
21	Zócalos de diferente número de pines	-----	2.73
1	Puente de resistencias pull -up	0.35	0.35
1	Switch pulsador	0.15	0.15
1	Cristal resonante 11.0592 Mhz	0.80	0.80
---	Espadines, conectores y cables	------	5.00
---	Suelda	1.00	1.00
---	Switch y fusible	-----	1.00
---	Tornillos	-----	0.50
Costo total de construcción del prototipo de semáforo		$	451.55

Figura Tabla 5.2 Lista de precios de los elementos utilizados en el proyecto

5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A UN SEMÁFORO NORMAL

El costo inicial del prototipo es elevado, lo cual constituiría la desventaja más evidente; al realizar análisis del costo por concepto del consumo energético del prototipo y comparando este resultado con el obtenido por el mismo concepto, en

el caso de un semáforo normal, como se muestra en la tabla 5.3, se observa que el costo por consumo anual de energía del prototipo de semáforo de LEDs de alta luminosidad es mucho menor que el de un semáforo estándar. Se considera que ambos dispositivos se encuentran encendidos las 24 horas del día durante 365 días.

TIPO DE DISPOSITIVO	CONSUMO DE POTENCIA (W)	COSTO DEL KW/H USD	COSTO ANUAL USD
SEMÁFORO NORMAL 300 mm	65	0.08	45.55
PROTOTIPO DE SEMÁFORO	19.1		13.38

Tabla 5.3 Análisis de costos por consumo energético

El ahorro en los costos por consumo de energía[15], compensaría a largo plazo el elevado costo inicial del prototipo. La vida útil estimada para los LEDs utilizados en la construcción de la matriz del prototipo, según su fabricante, es de 100.000 horas (más de 10 años); esta particularidad de los LEDs permitiría reducir el mantenimiento preventivo y correctivo que se deba dar al dispositivo construido, a diferencia de los semáforos con lámparas incandescentes, las cuales necesitan ser cambiadas, de acuerdo a su vida útil, al menos una vez por año lo cual incidiría directamente en una reducción de costos por mantenimiento. El diseño modular de la matriz facilitará la detección y corrección de fallas que pudieran darse, de una manera ágil y eficiente.

Debido a que el prototipo despliega la secuencia de fases en una sola sección, se reduce notablemente el volumen y el espacio ocupado por el cabezal, cumpliendo a la vez con el diámetro que debe tener la señal (300 milímetros). Adicionalmente, el prototipo está en la capacidad de trabajar en varios modos gráficos fácilmente

[15] El precio referencial de $0.08 del KW/h, ha sido proporcionado por la Empresa Eléctrica Quito.

seleccionables y programables, relacionados a caracteres numéricos, palabras y figuras, los cuales tienen como referencia las señales de tránsito.

A continuación se enumeran las ventajas y desventajas del prototipo de semáforo con LEDs de alta luminosidad respecto a un semáforo convencional con lámpara incandescente descritas anteriormente:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Reducción de costos por consumo de potencia • Mantenimiento mínimo • Menor tamaño y peso del cabezal • Flexibilidad para el despliegue de secuencias de operación • Fácil configuración	Elevado costo inicial

Tabla 5.4 Cuadro de ventajas y desventajas del prototipo

Adicionalmente, el prototipo está en la capacidad de ser operado por las líneas de control que manejan a un semáforo convencional, mediante la adaptación de los niveles de voltaje de las señales provenientes de las mismas a niveles TTL. En este caso, el tiempo de duración de cada fase y el modo de operación, no serían susceptibles de configuración.

En el caso de tener un cabezal de varias caras cuya completa operación no sea controlada remotamente, sino de una manera independiente, seria necesario sincronizar adecuadamente la operación de cada una de las caras del cabezal, para que no existan desfases en la presentación de las señales.

a)

b)

c)

Figura 5.7 a) Información de la hora; b) Temperatura; c) Mensajes

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Por medio del presente proyecto de titulación, se consiguió diseñar y construir un prototipo de semáforo utilizando LEDs de alta luminosidad el cual es controlado y administrado por un sistema microprocesado.

- Los diodos emisores de luz (LEDs) utilizados en semáforos permiten significantes ahorros de energía sobre las tradicionales lámparas incandescentes que se usan comúnmente en este tipo de aplicaciones.

- La vida útil de los LEDs es mucho mayor que la de las lámparas incandescentes lo cual disminuye la ocurrencia de fallas, reflejándose en un ahorro debido al reducido mantenimiento de rutina y emergencia que se deba dar a dispositivos que utilicen esta clase de diodos como el elemento más significativo, como sería el caso del prototipo desarrollado.

- Para reducir el costo involucrado en la implementación de la placa de la matriz, se construyó una primera placa de una manera rudimentaria, pero esto incidió en una matriz defectuosa, debido a la falta de calidad de la misma. Por este motivo, se debió realizar técnicamente una segunda placa, la cual no presentó ningún problema.

- El alto costo del proyecto se debe a los LEDs, especialmente los de color verde, los cuales representan el 45% del costo total del prototipo construido. El elevado costo inicial, se vería compensado a largo plazo, debido al ahorro económico producto del bajo consumo de potencia del prototipo.

- Debido a su reciente aparición, los LEDs de alta luminosidad son de difícil adquisición en el mercado nacional, por lo cual fue necesario importar los mismos, con las respectivas dificultades que esto conlleva.

- Los precios en el caso de la fabricación de semáforos a partir de este prototipo, podrían reducirse significativamente si se realizara una producción de un número considerable de semáforos.

- Para el diseño del presente proyecto, se tomaron como referencia criterios utilizados en la construcción de matrices de LEDs, adaptados a las necesidades propias del proyecto.

- El desplegar en un solo módulo cada una de las fases de un semáforo, reduce el tamaño del cabezal, lo cual incide en un menor peso del mismo.

- El calor generado por el dispositivo es mínimo, a diferencia de un semáforo normal, en iguales condiciones.

- Para obtener la señal de color amarillo mediante la mezcla de colores, es necesario que la luz emitida por cada grupo de color de LEDs (verdes y rojos), esté en la misma proporción, ya que de no darse esto, predomina la tonalidad del color que tenga superioridad en cuanto a la intensidad luminosa.

- De acuerdo con las ventajas del prototipo respecto a un semáforo normal, la aplicación práctica del mismo para el control del tránsito es totalmente viable y los beneficios de utilizar el prototipo son inmediatos. Su implementación dependería únicamente de la factibilidad económica para iniciar con la misma.

- La ciudad y el país en general, debido a que no cuentan con una adecuada reglamentación en cuestión de regulación de equipos para control del tránsito, se han limitado a adquirir equipos, basados únicamente en el criterio de empresas proveedoras. La ingeniería de tránsito a nivel país, no se ha desarrollado y es por esta razón que existen intersecciones en las cuales se ha

dimensionado de una manera errónea los tiempos de las fases; y en otras, su aplicación a sido en base al criterio de prueba-error.

- A pesar de que los semáforos de LEDs están siendo aplicados en un grado muy bajo a nivel mundial, estos podrían convertirse en la norma para el futuro. Esto dependerá únicamente de una reducción en el precio de los LEDs que actualmente es alto, y de cómo se de a conocer a las autoridades respectivas las ventajas que se tienen al utilizar dispositivos como el desarrollado en el presente proyecto.

- El prototipo de semáforo funcionó de la manera prevista en cada modo y no surgieron inconvenientes en cuanto a la operación del mismo. La selección de cada uno de los modos y el establecimiento de la duración de cada fase, se realizó satisfactoriamente y de una manera fácil gracias a la sencillez de la interfaz gráfica del programa para la configuración del prototipo.

- Las normas descritas en el Capítulo 2, sirvieron únicamente como referencia para la elaboración del presente proyecto, ya que las mismas son muy flexibles en cuanto a su aplicación.

6.2 RECOMENDACIONES

- Si se adicionara un LED de color azul a cada píxel conformado por un LED verde y uno rojo, se podría obtener 8 posibles colores resultantes de las distintas combinaciones entre estos, dando como resultado una matriz de LEDs a color. Además, se puede aumentar el número de píxeles de la matriz para mejorar la resolución de la misma y obtener imágenes de mayor calidad.

- La sincronización del prototipo podría realizarse de manera inalámbrica mediante RF o a control remoto mediante infrarrojos. Estas posibilidades se abren por la capacidad y flexibilidad que tiene el microcontrolador de adaptarse a tecnologías de ese tipo.

- Se puede añadir un reloj en tiempo real y un sensor de temperatura al prototipo para aumentar la funcionalidad del mismo.

- La transmisión de datos hacia el prototipo se la puede implementar de una manera alámbrica o inalámbrica,

- Para aumentar el brillo de la unidad óptica del prototipo, se podría incrementar el número de LEDs o a su vez reemplazar los existentes con LEDs de mayor intensidad.

- Si se utilizaran circuitos integrados que posean un mayor número de líneas para el manejo de LEDs, tanto la circuitería como el número de circuitos integrados utilizados, se reducirían, lo cual permitiría tener un diseño más compacto.

BIBLIOGRAFÍA

- SMITH, Steven, "The scientist and Engineer's Guide to Digital Processing", USA, 1999

- ATMEL, "ATMEL Corporation 851 Flash Microcontroller Data Book", San Jose CA, 1997

- STEWART, David, Nacional Semiconductor, Application Note 371

- WEIGEL, R. G., Luminotecnia, Sus principios y Aplicaciones, 1973

- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS ITE, http://www.ite.org

- EMPRESA METROPOLITANA DE SERVICIOS Y ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE E.M.S.A.T., http://www.emsat.gov.ec

- SEDESOL, http://www.sedesol.gob.mx

ANEXO A

HOJAS DE ESPECIFICACIONES

Features

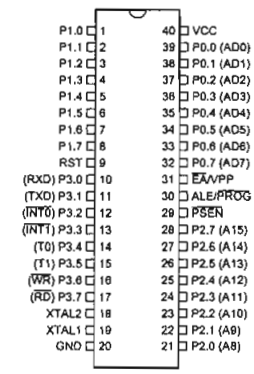
- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

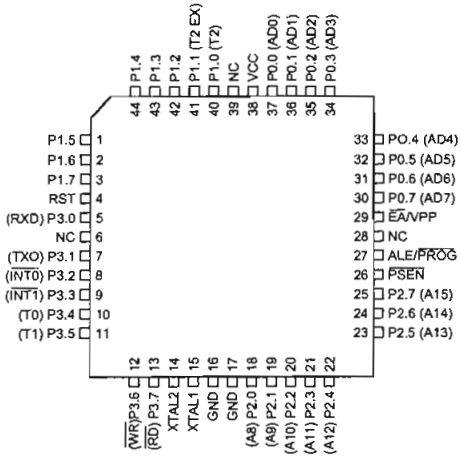
The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

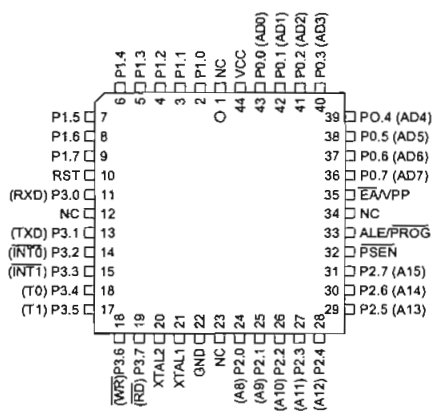
PDIP



PQFP/TQFP



PLCC



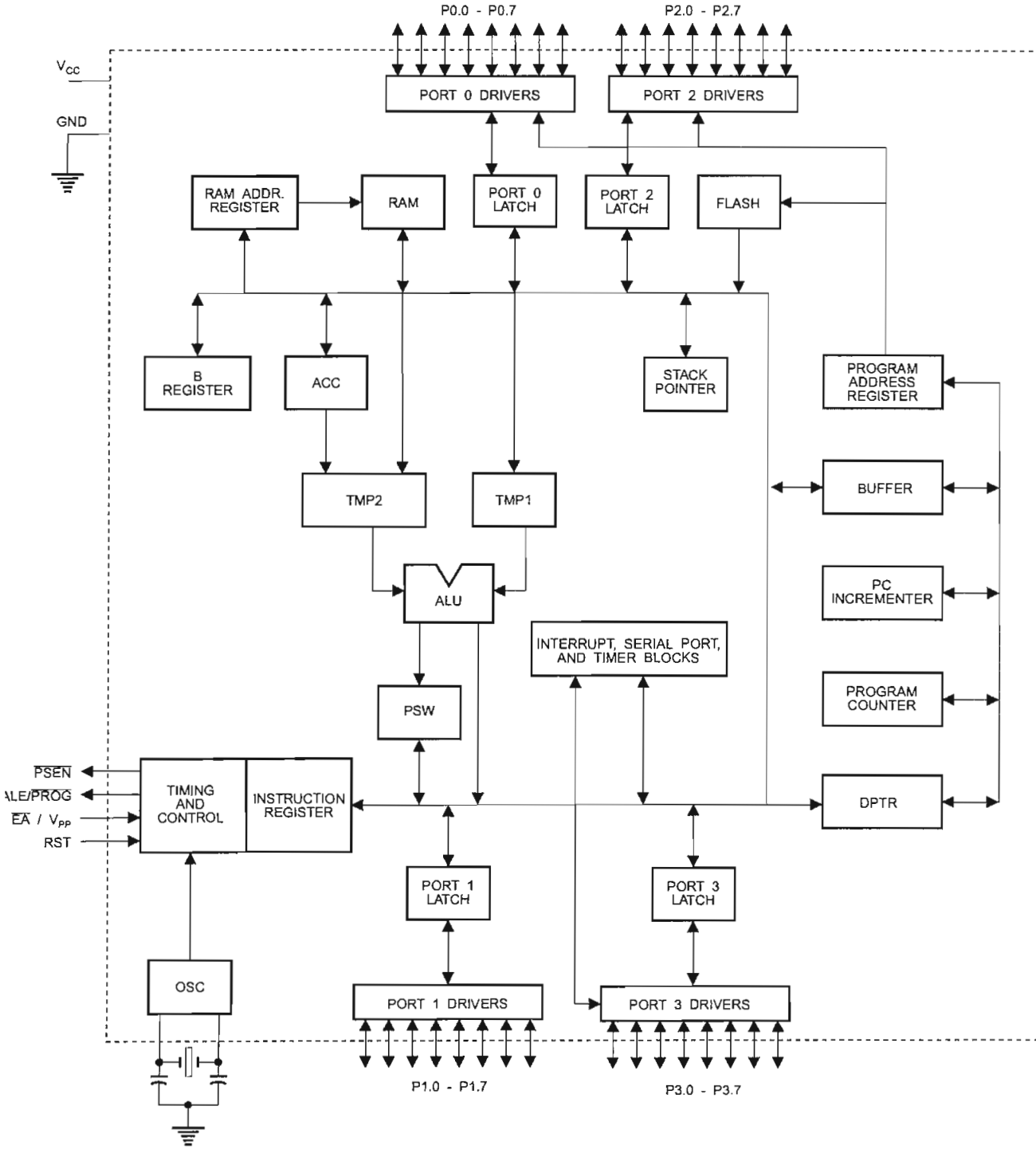
8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

Not Recommended for New Designs. Use AT89S51.

Rev. 0265G–02/00

Block Diagram



The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/$\overline{PROG}$

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{PROG}$) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE

pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

$\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}$/VPP

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP}.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

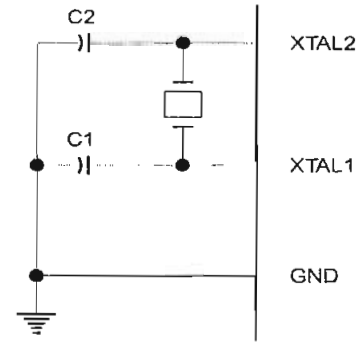
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hard ware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

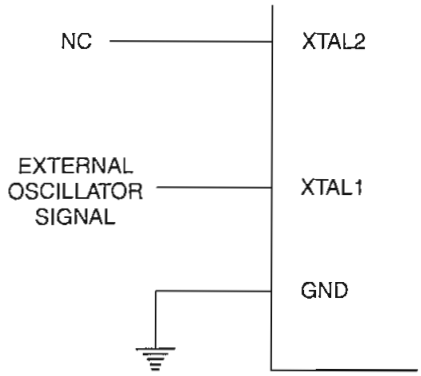


Note: C1, C2 = 30 pF ±10 pF for Crystals
= 40 pF ±10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the $\overline{EA}$ pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of $\overline{EA}$ be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				
	LB1	LB2	LB3	Protection Type
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	V_{PP} = 12V	V_{PP} = 5V
Top-side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) =F FH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise $\overline{EA}/V_{PP}$ to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/$\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

$\overline{Data}$ Polling: The AT89C51 features $\overline{Data}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. $\overline{Data}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/$\overline{Busy}$: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/$\overline{BSY}$ output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/$\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 51H indicates 89C51
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode		RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

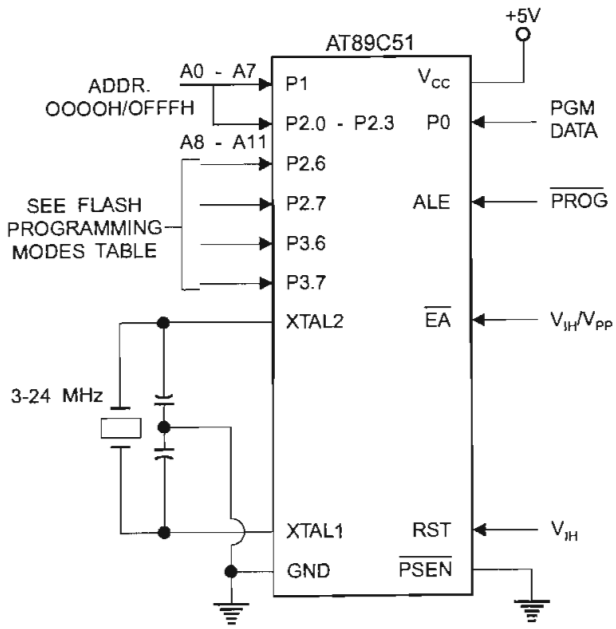
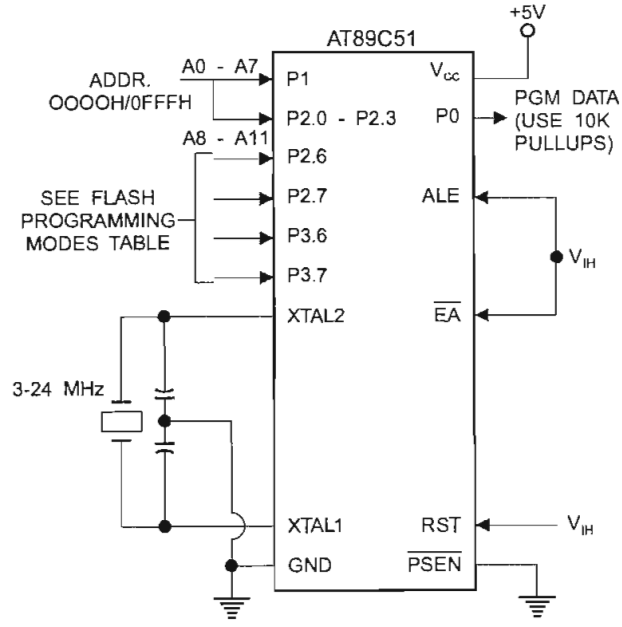
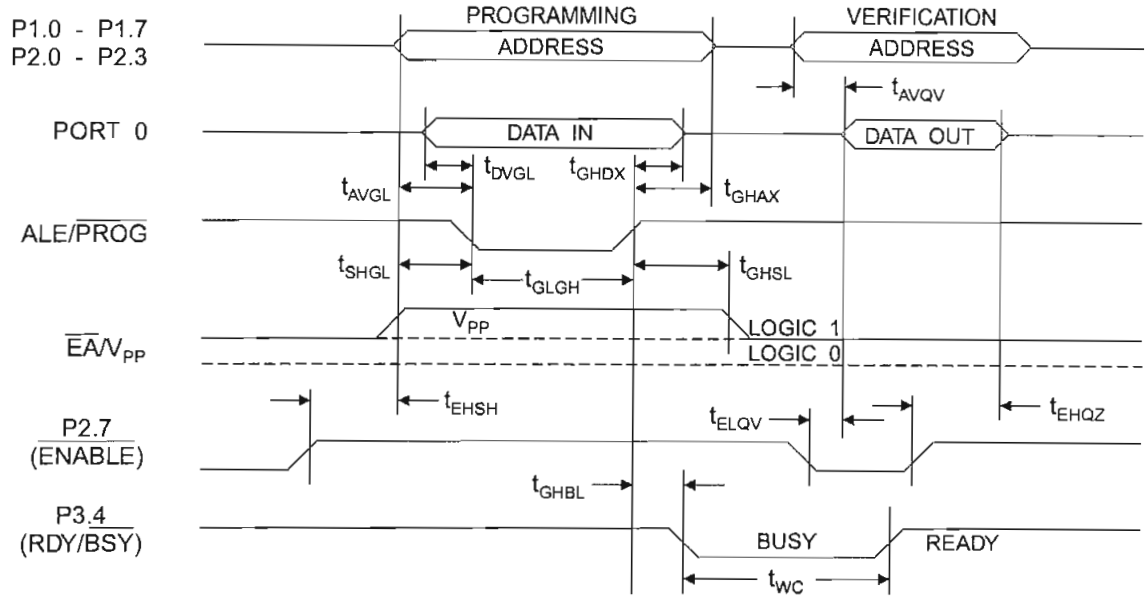


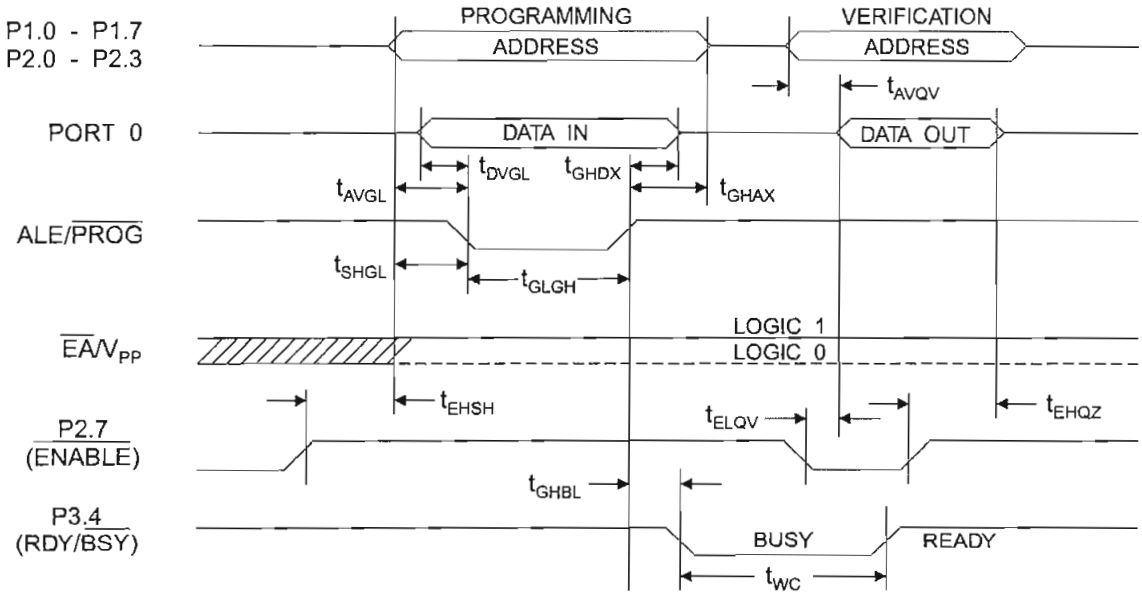
Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode (V_{PP} = 12V)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode (V_{PP} = 5V)



Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}[1]	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}[1]	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold after $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHSH}	P2.7 ($\overline{ENABLE}$) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{PROG}$ Low	10		µs
t_{GHSL}[1]	V_{PP} Hold after $\overline{PROG}$	10		µs
t_{GLGH}	$\overline{PROG}$ Width	1	110	µs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{ENABLE}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float after $\overline{ENABLE}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{PROG}$ High to $\overline{BUSY}$ Low		1.0	µs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0V ±20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\overline{EA}$)	-0.5	0.2 V_{CC} - 0.1	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\overline{EA}$)		-0.5	0.2 V_{CC} - 0.3	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V_{CC} + 0.9	V_{CC} + 0.5	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V_{CC}	V_{CC} + 0.5	V
V_{OL}	Output Low-voltage[1] (Ports 1,2,3)	I_{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage[1] (Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OH} = -60 µA, V_{CC} = 5V ±10%	2.4		V
		I_{OH} = -25 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -10 µA	0.9 V_{CC}		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I_{OH} = -800 µA, V_{CC} = 5V ±10%	2.4		V
		I_{OH} = -300 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -80 µA	0.9 V_{CC}		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 0.45V		-50	µA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 2V, VCC = 5V ±10%		-650	µA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\overline{EA}$)	0.45 < V_{IN} < V_{CC}		±10	µA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	KΩ
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T_A = 25°C		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode[2]	V_{CC} = 6V		100	µA
		V_{CC} = 3V		40	µA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
Ports 1, 2, 3: 15 mA
Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

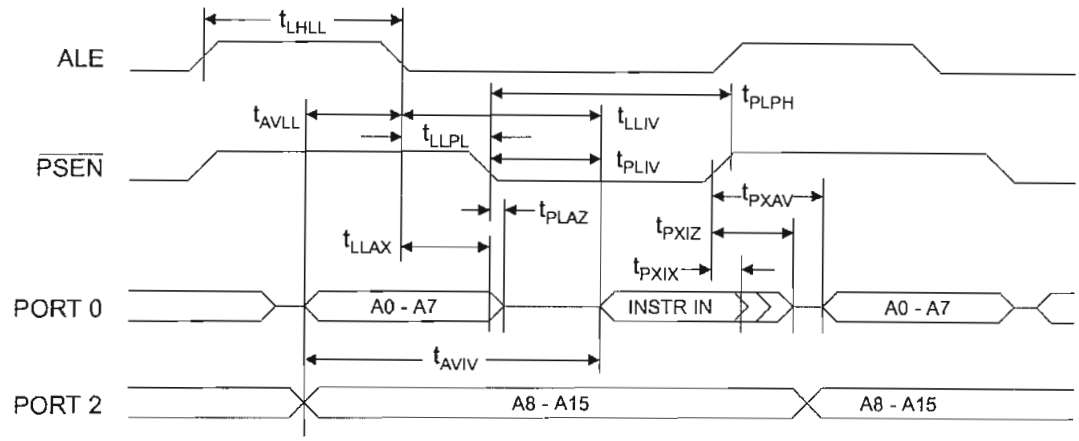
AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/$\overline{PROG}$, and $\overline{PSEN}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

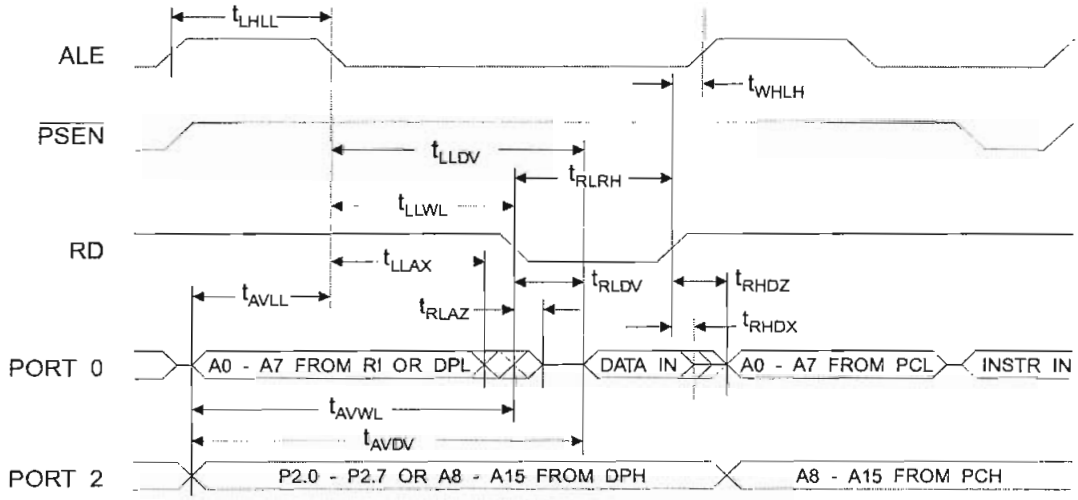
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold after ALE Low	48		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{PSEN}$ Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{PSEN}$ Pulse Width	205		$3t_{CLCL}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{PSEN}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold after $\overline{PSEN}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float after $\overline{PSEN}$		59		$t_{CLCL}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{PSEN}$ to Address Valid	75		$t_{CLCL}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{PSEN}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{RD}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{WR}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{RD}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold after $\overline{RD}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float after $\overline{RD}$		97		$2t_{CLCL}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	200	300	$3t_{CLCL}-50$	$3t_{CLCL}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	203		$4t_{CLCL}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{WR}$ Transition	23		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{WR}$ High	433		$7t_{CLCL}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold after $\overline{WR}$	33		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{RD}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ High to ALE High	43	123	$t_{CLCL}-20$	$t_{CLCL}+25$	ns

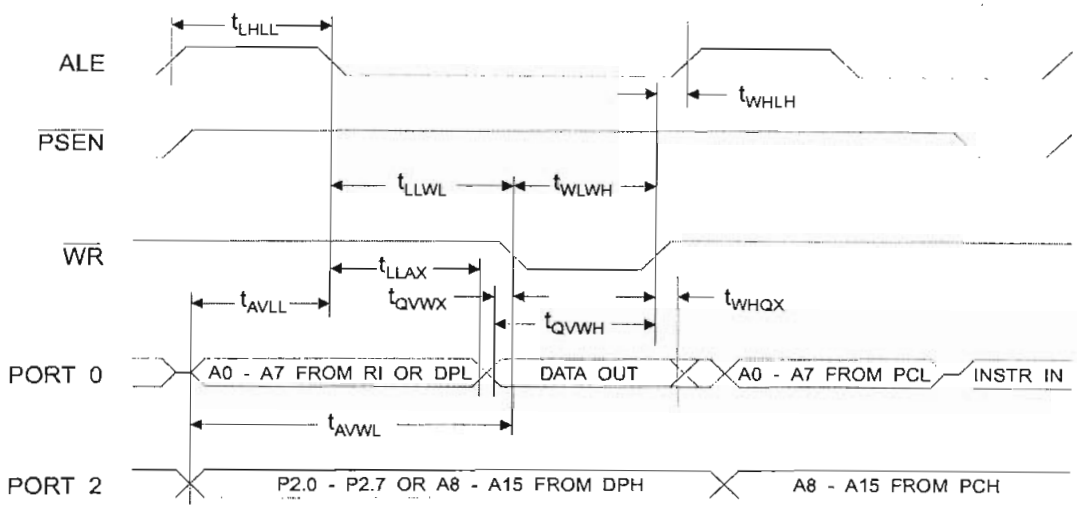
External Program Memory Read Cycle



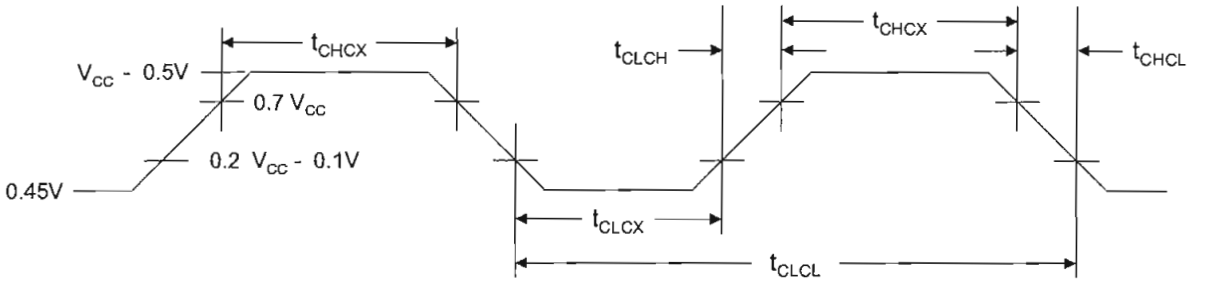
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

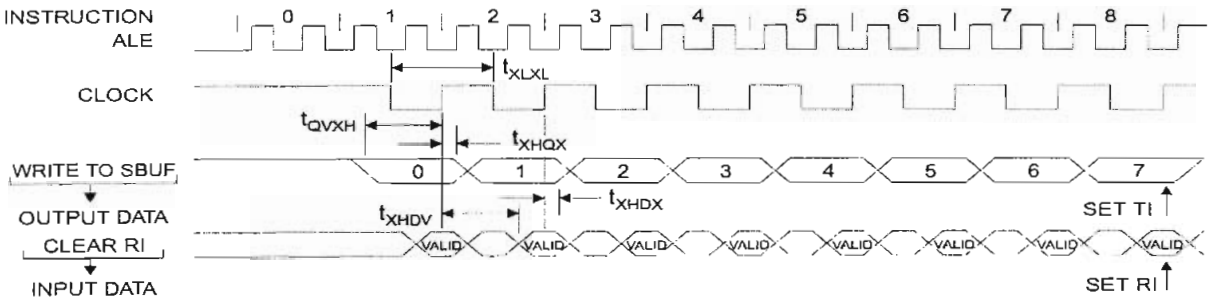
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

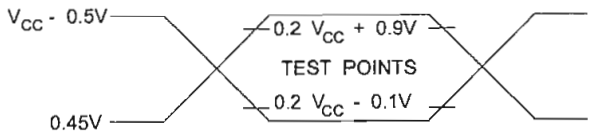
(V_{CC} = 5.0 V ±20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		µs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}$-133		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}$-117		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}$-133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

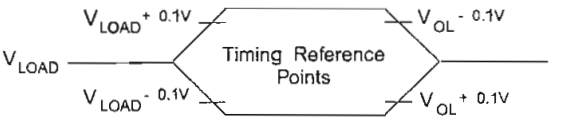


AC Testing Input/Output Waveforms[1]



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms[1]



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

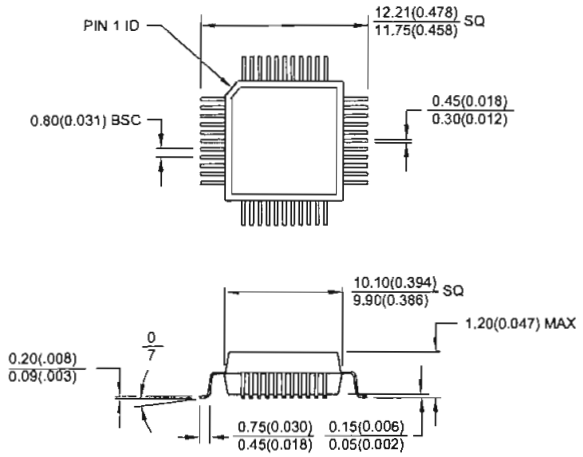
Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial
		AT89C51-12JC	44J	(0° C to 70° C)
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial
		AT89C51-12JI	44J	(-40° C to 85° C)
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial
		AT89C51-16JC	44J	(0° C to 70° C)
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial
		AT89C51-16JI	44J	(-40° C to 85° C)
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ±20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial
		AT89C51-20JC	44J	(0° C to 70° C)
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial
		AT89C51-20JI	44J	(-40° C to 85° C)
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ±20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial
		AT89C51-24JC	44J	(0° C to 70° C)
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial
		AT89C51-24JI	44J	(-40° C to 85° C)
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

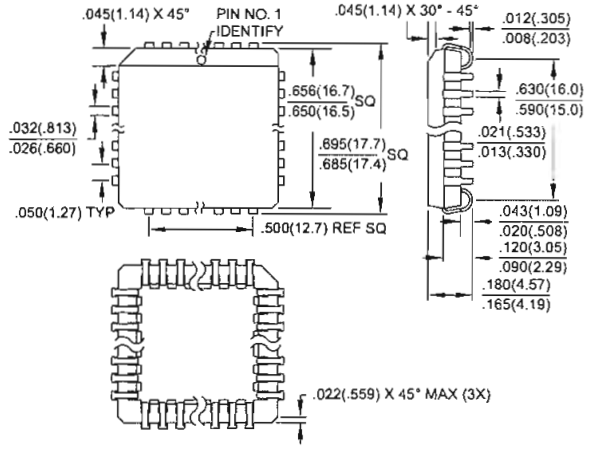
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 ACB

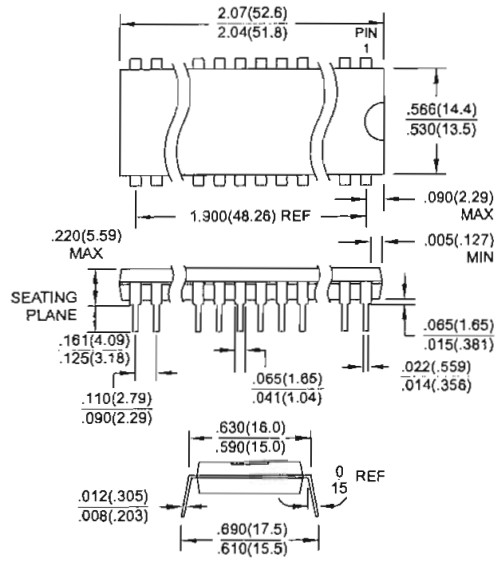


Controlling dimension: millimeters

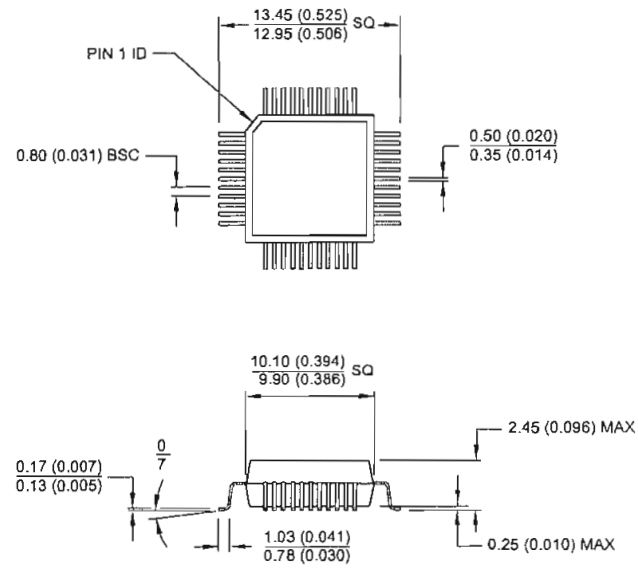
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters

Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe
Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia
Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan
Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand
North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.

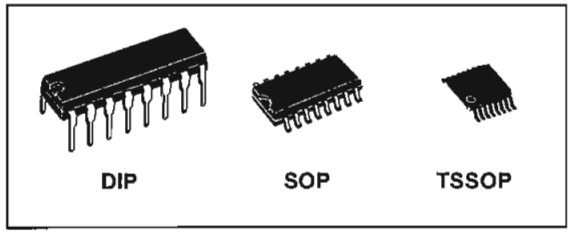
Printed on recycled paper.

0265G–02/00/xM

M74HC138

3 TO 8 LINE DECODER (INVERTING)

- HIGH SPEED:
  t_{PD} = 13ns (TYP.) at V_{CC} = 6V
- LOW POWER DISSIPATION:
  I_{CC} = 4μA(MAX.) at T_A=25°C
- HIGH NOISE IMMUNITY:
  $V_{NIH} = V_{NIL}$ = 28 % V_{CC} (MIN.)
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE:
  $|I_{OH}| = I_{OL}$ = 4mA (MIN)
- BALANCED PROPAGATION DELAYS:
  $t_{PLH} \equiv t_{PHL}$
- WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE:
  V_{CC} (OPR) = 2V to 6V
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH 74 SERIES 138



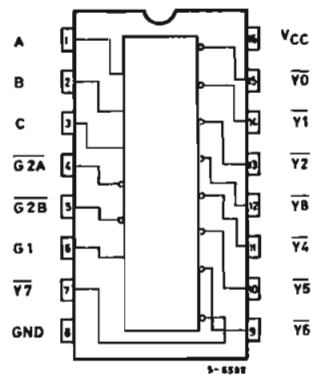
ORDER CODES

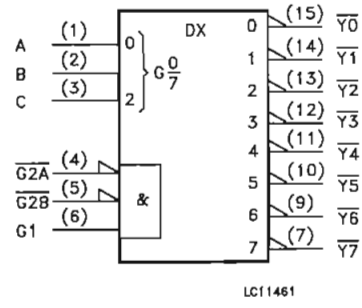
PACKAGE	TUBE	T & R
DIP	M74HC138B1R	
SOP	M74HC138M1R	M74HC138RM13TR
TSSOP		M74HC138TTR

DESCRIPTION

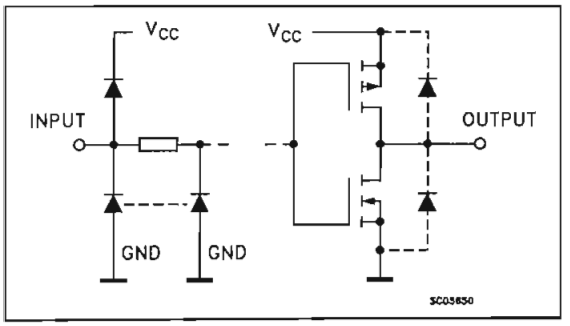
The M74HC138 is an high speed CMOS 3 TO 8 LINE DECODER fabricated with silicon gate C^2MOS technology.
If the device is enabled, 3 binary select inputs (A, B, and C) determine which one of the outputs will go low. If enable input G1 is held low or either $\overline{G2A}$ or $\overline{G2B}$ is held high, the decoding function is inhibited and all the 8 outputs go high. Three enable inputs are provided to ease cascade connection and application of address decoders for memory systems.
All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.

PIN CONNECTION AND IEC LOGIC SYMBOLS





INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



PIN DESCRIPTION

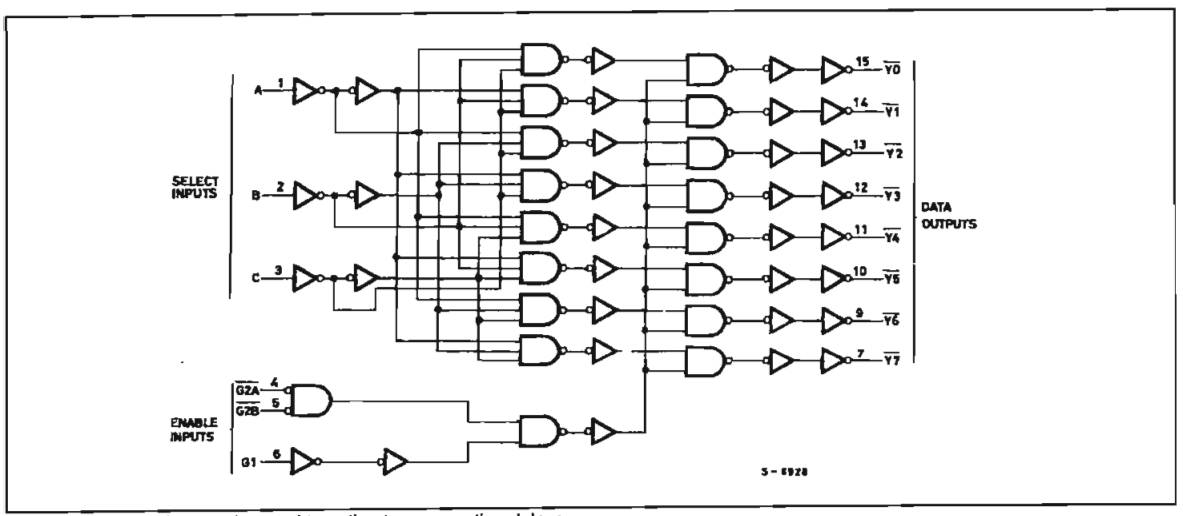
PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 2, 3	A, B, C	Address Inputs
4, 5	$\overline{G2A}$, $\overline{G2B}$	Enable Inputs
6	G1	Enable Input
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 7	$\overline{Y0}$ to $\overline{Y7}$	Data Outputs
8	GND	Ground (0V)
16	V_{CC}	Positive Supply Voltage

TRUTH TABLE

INPUTS						OUTPUTS							
ENABLE			SELECT										
$\overline{G2B}$	$\overline{G2A}$	G1	C	B	A	$\overline{Y0}$	$\overline{Y1}$	$\overline{Y2}$	$\overline{Y3}$	$\overline{Y4}$	$\overline{Y5}$	$\overline{Y6}$	$\overline{Y7}$
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

X : Don't Care

LOGIC DIAGRAM



This logic diagram has not be used to estimate propagation delays

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7	V
V_I	DC Input Voltage	-0.5 to V_{CC} + 0.5	V
V_O	DC Output Voltage	-0.5 to V_{CC} + 0.5	V
I_{IK}	DC Input Diode Current	± 20	mA
I_{OK}	DC Output Diode Current	± 20	mA
I_O	DC Output Current	± 25	mA
I_{CC} or I_{GND}	DC V_{CC} or Ground Current	± 50	mA
P_D	Power Dissipation	500(*)	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (10 sec)	300	°C

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied
(*) 500mW at 65 °C; derate to 300mW by 10mW/°C from 65°C to 85°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage		2 to 6	V
V_I	Input Voltage		0 to V_{CC}	V
V_O	Output Voltage		0 to V_{CC}	V
T_{op}	Operating Temperature		-55 to 125	°C
t_r, t_f	Input Rise and Fall Time	V_{CC} = 2.0V	0 to 1000	ns
		V_{CC} = 4.5V	0 to 500	ns
		V_{CC} = 6.0V	0 to 400	ns

DC SPECIFICATIONS

Symbol	Parameter	Test Condition		Value							Unit
		V_{CC} (V)		T_A = 25°C			-40 to 85°C		-55 to 125°C		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
V_{IH}	High Level Input Voltage	2.0		1.5			1.5		1.5		V
		4.5		3.15			3.15		3.15		
		6.0		4.2			4.2		4.2		
V_{IL}	Low Level Input Voltage	2.0				0.5		0.5		0.5	V
		4.5				1.35		1.35		1.35	
		6.0				1.8		1.8		1.8	
V_{OH}	High Level Output Voltage	2.0	I_O=-20 µA	1.9	2.0		1.9		1.9		V
		4.5	I_O=-20 µA	4.4	4.5		4.4		4.4		
		6.0	I_O=-20 µA	5.9	6.0		5.9		5.9		
		4.5	I_O=-4.0 mA	4.18	4.31		4.13		4.10		
		6.0	I_O=-5.2 mA	5.68	5.8		5.63		5.60		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	2.0	I_O=20 µA		0.0	0.1		0.1		0.1	V
		4.5	I_O=20 µA		0.0	0.1		0.1		0.1	
		6.0	I_O=20 µA		0.0	0.1		0.1		0.1	
		4.5	I_O=4.0 mA		0.17	0.26		0.33		0.40	
		6.0	I_O=5.2 mA		0.18	0.26		0.33		0.40	
I_I	Input Leakage Current	6.0	V_I = V_{CC} or GND			± 0.1		± 1		± 1	µA
I_{CC}	Quiescent Supply Current	6.0	V_I = V_{CC} or GND			4		40		80	µA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, Input t_r = t_f = 6ns)

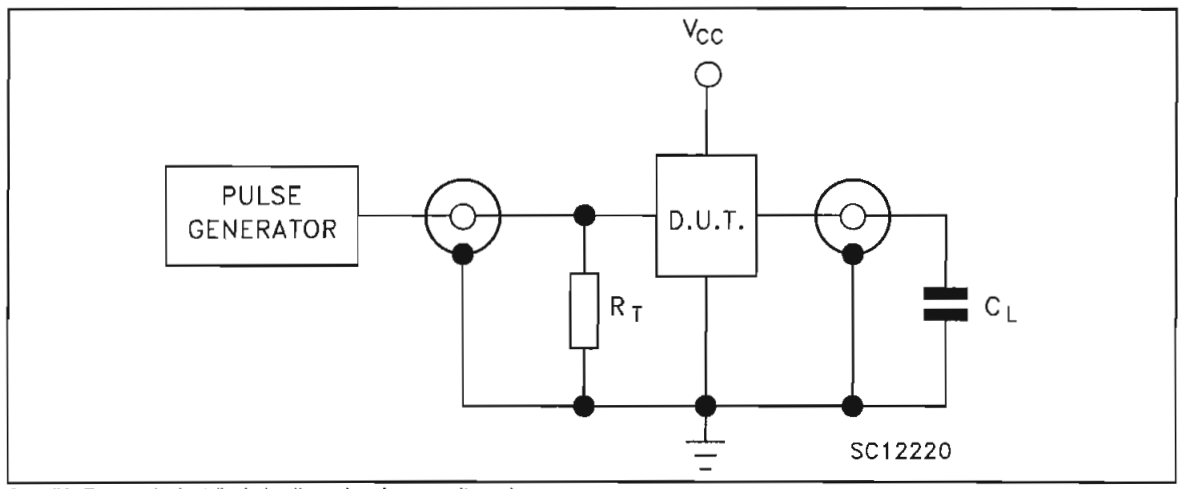
Symbol	Parameter	Test Condition		Value							Unit
		V_{CC} (V)		T_A = 25°C			-40 to 85°C		-55 to 125°C		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{TLH} t_{THL}	Output Transition Time	2.0			30	75		95		110	ns
		4.5			8	15		19		22	
		6.0			7	13		16		19	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Time (A, B, C - $\overline{Y}$)	2.0			60	125		155		190	ns
		4.5			15	25		31		38	
		6.0			13	21		26		32	
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay Time (G, $\overline{G}$ - $\overline{Y}$)	2.0			56	120		150		180	ns
		4.5			14	24		30		36	
		6.0			12	20		26		31	

CAPACITIVE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Test Condition		Value							Unit
		V_{CC} (V)		T_A = 25°C			-40 to 85°C		-55 to 125°C		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
C_{IN}	Input Capacitance	5.0			5	10		10		10	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (note 1)	5.0			47						pF

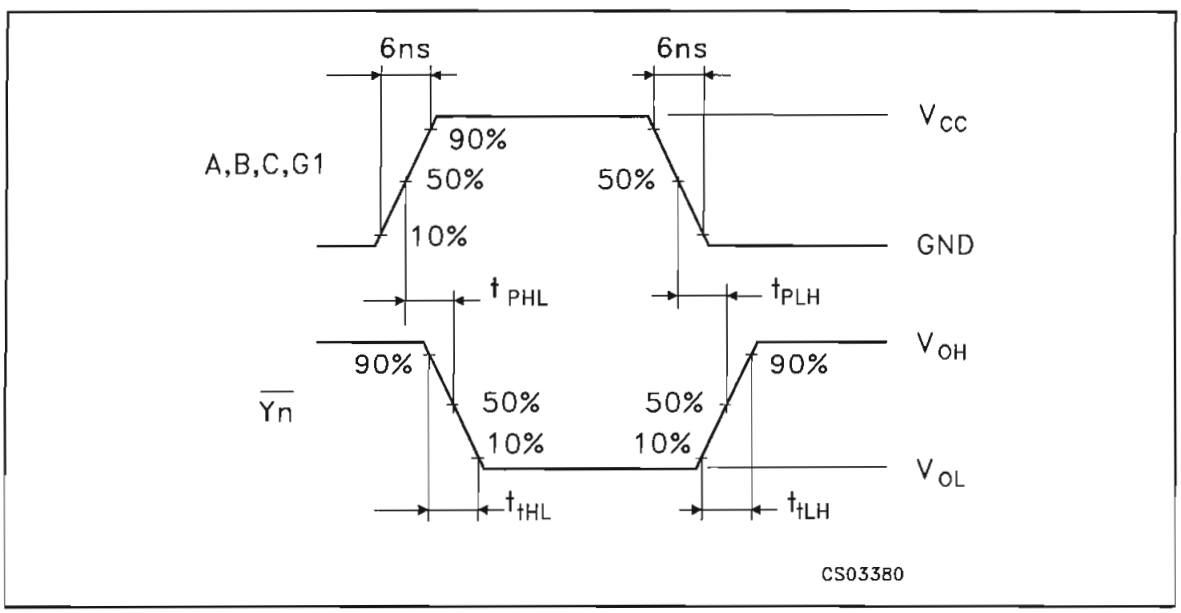
1) C_{PD} is defined as the value of the IC's internal equivalent capacitance which is calculated from the operating current consumption without load. (Refer to Test Circuit). Average operating current can be obtained by the following equation. $I_{CC(opr)} = C_{PD} \times V_{CC} \times f_{IN} + I_{CC}$

TEST CIRCUIT

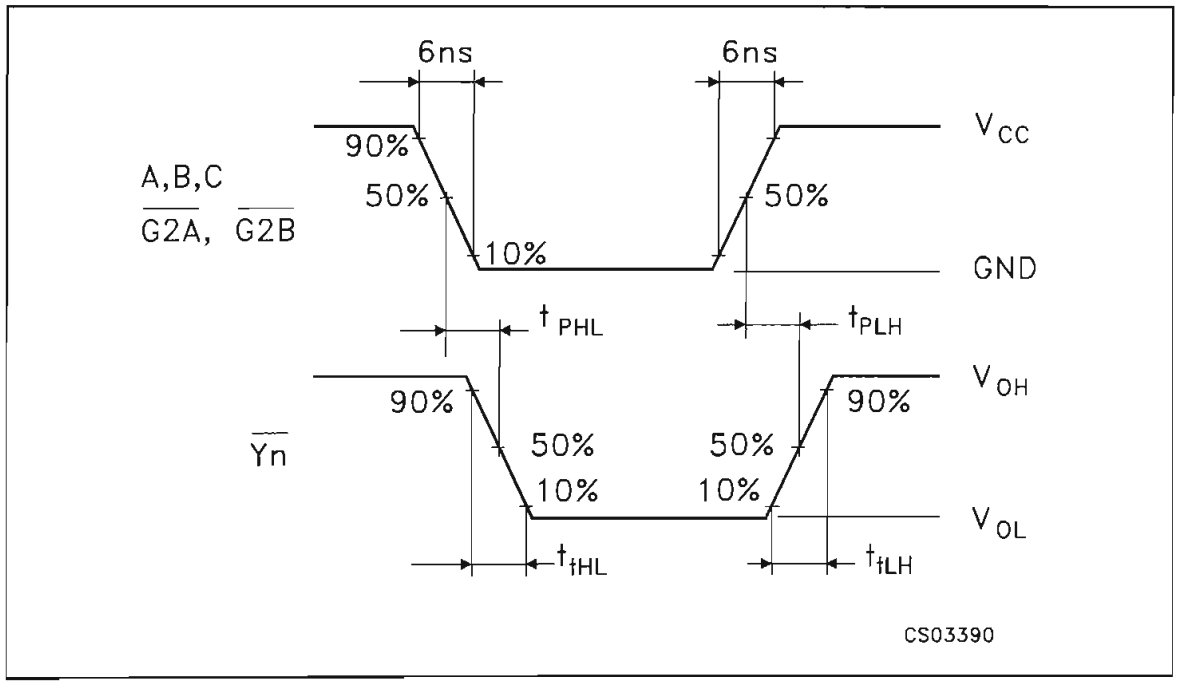


C_L = 50pF or equivalent (includes jig and probe capacitance)
$R_T = Z_{OUT}$ of pulse generator (typically 50Ω)

WAVEFORM 1: PROPAGATION DELAYS FOR INVERTING OUTPUTS (f=1MHz; 50% duty cycle)

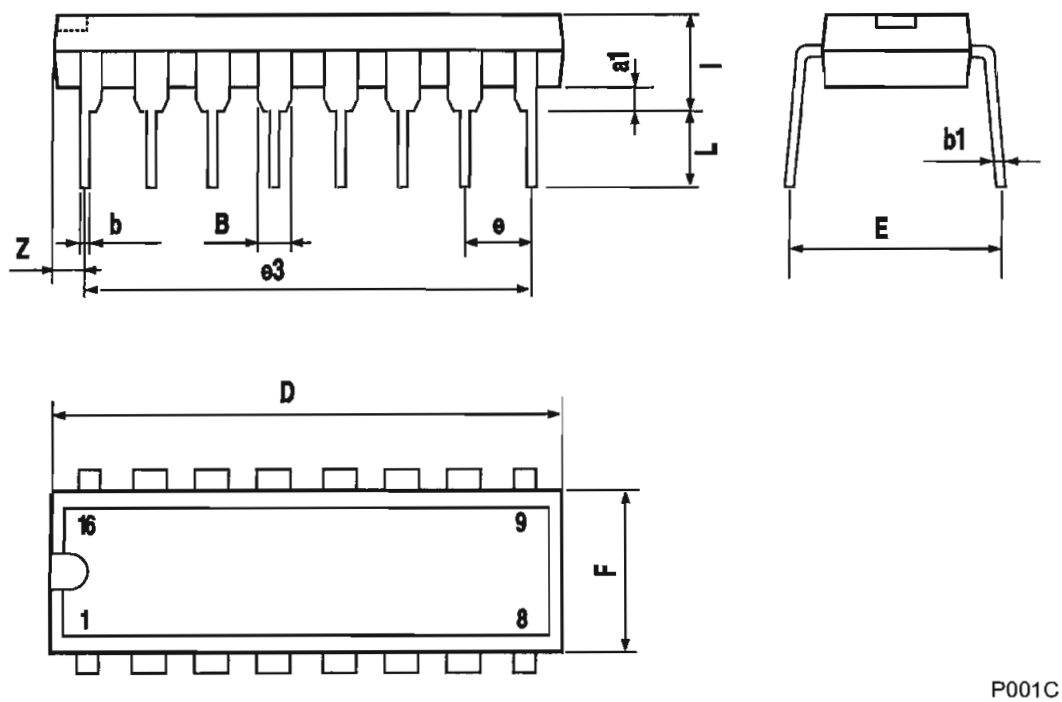


WAVEFORM2: PROPAGATION DELAYS FOR NON-INVERTING OUTPUTS (f=1MHz; 50% duty cycle)



Plastic DIP-16 (0.25) MECHANICAL DATA

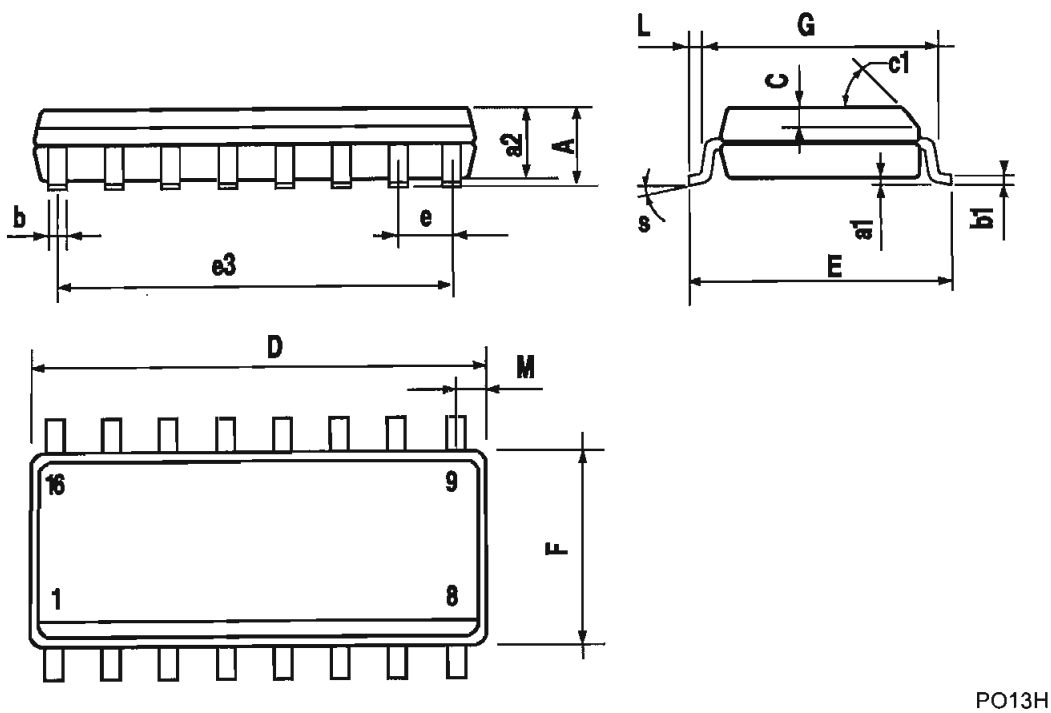
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



P001C

SO-16 MECHANICAL DATA

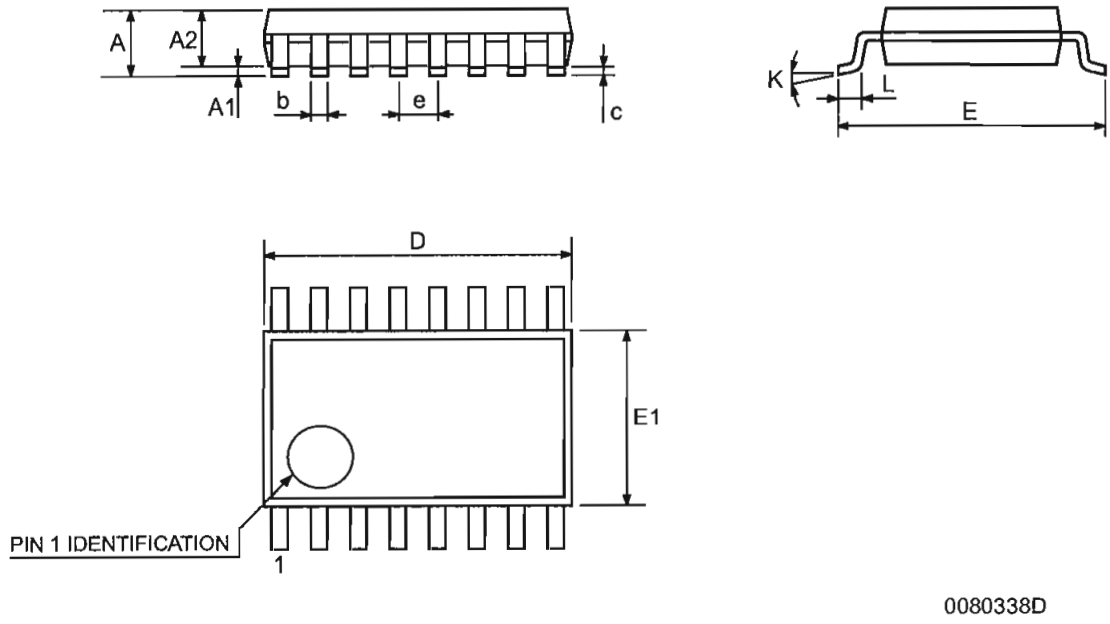
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.068
a1	0.1		0.2	0.003		0.007
a2			1.65			0.064
b	0.35		0.46	0.013		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.019	
c1	45° (typ.)					
D	9.8		10	0.385		0.393
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F	3.8		4.0	0.149		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.019		0.050
M			0.62			0.024
S	8° (max.)					



PO13H

TSSOP16 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.2			0.047
A1	0.05		0.15	0.002	0.004	0.006
A2	0.8	1	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.012
c	0.09		0.20	0.004		0.0089
D	4.9	5	5.1	0.193	0.197	0.201
E	6.2	6.4	6.6	0.244	0.252	0.260
E1	4.3	4.4	4.48	0.169	0.173	0.176
e		0.65 BSC			0.0256 BSC	
K	0°		8°	0°		8°
L	0.45	0.60	0.75	0.018	0.024	0.030



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom
© http://www.st.com

National Semiconductor

May 1992

DM54LS373/DM74LS373, DM54LS374/DM74LS374 TRI-STATE® Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

General Description

These 8-bit registers feature totem-pole TRI-STATE outputs designed specifically for driving highly-capacitive or relatively low-impedance loads. The high-impedance state and increased high-logic level drive provide these registers with the capability of being connected directly to and driving the bus lines in a bus-organized system without need for interface or pull-up components. They are particularly attractive for implementing buffer registers, I/O ports, bidirectional bus drivers, and working registers. (Continued)

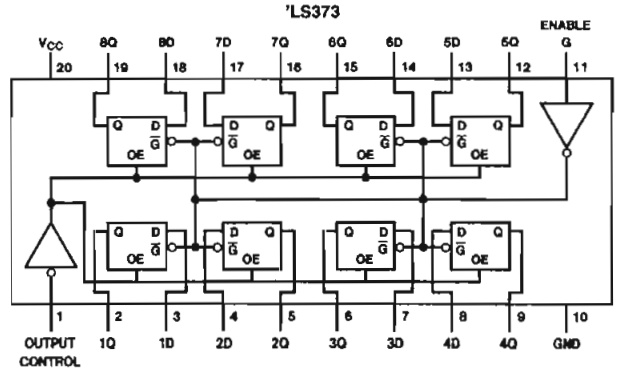
Features

- Choice of 8 latches or 8 D-type flip-flops in a single package
- TRI-STATE bus-driving outputs
- Full parallel-access for loading
- Buffered control inputs
- P-N-P inputs reduce D-C loading on data lines

Connection Diagrams

Dual-In-Line Packages

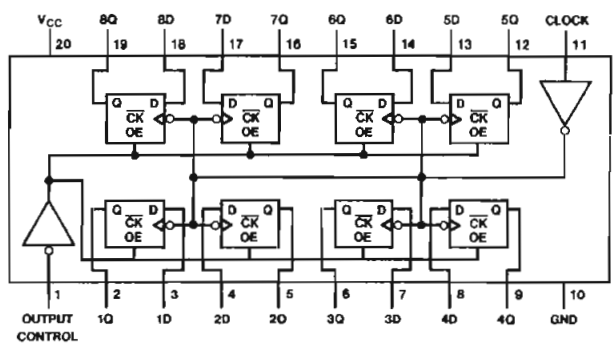
'LS373



TL/F/6431–1

Order Number DM54LS373J, DM54LS373W, DM74LS373N or DM74LS373WM
See NS Package Number J20A, M20B, N20A or W20A

'LS374



TL/F/6431–2

Order Number DM54LS374J, DM54LS374W, DM74LS374WM or DM74LS374N
See NS Package Number J20A, M20B, N20A or W20A

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

© 1995 National Semiconductor Corporation

General Description (Continued)

The eight latches of the DM54/74LS373 are transparent D-type latches meaning that while the enable (G) is high the Q outputs will follow the data (D) inputs. When the enable is taken low the output will be latched at the level of the data that was set up.

The eight flip-flops of the DM54/74LS374 are edge-triggered D-type flip flops. On the positive transition of the clock, the Q outputs will be set to the logic states that were set up at the D inputs.

A buffered output control input can be used to place the eight outputs in either a normal logic state (high or low logic levels) or a high-impedance state. In the high-impedance state the outputs neither load nor drive the bus lines significantly.

The output control does not affect the internal operation of the latches or flip-flops. That is, the old data can be retained or new data can be entered even while the outputs are off.

Function Tables

DM54/74LS373

Output Control	Enable G	D	Output
L	H	H	H
L	H	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

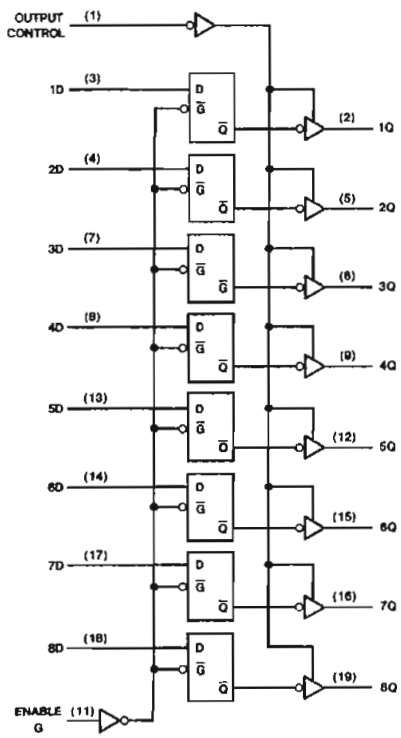
DM54/74LS374

Output Control	Clock	D	Output
L	↑	H	H
L	↑	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

H = High Level (Steady State), L = Low Level (Steady State), X = Don't Care
↑ = Transition from low-to-high level, Z = High Impedance State
Q_0 = The level of the output before steady-state input conditions were established.

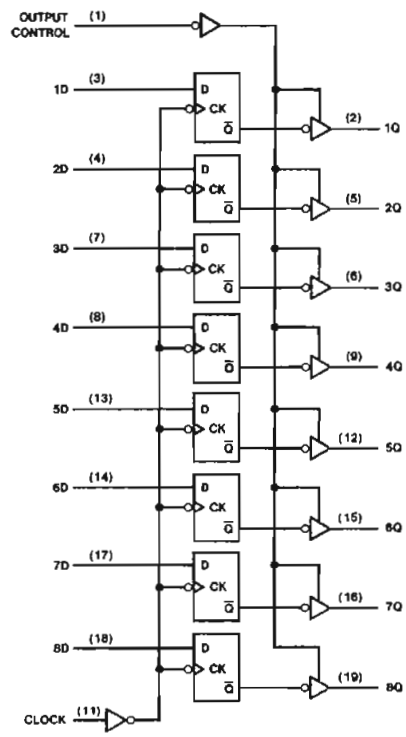
Logic Diagrams

DM54/74LS373
Transparent Latches



TL/F/6431-3

DM54/74LS374
Positive-Edge-Triggered Flip-Flops



TL/F/6431-4

Absolute Maximum Ratings (See Note)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Operating Free Air Temperature Range	
DM54LS	−55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C

Note: *The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommanded Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.*

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter		DM54LS373			DM74LS373			Units
			Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V_{CC}	Supply Voltage		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High Level Input Votage		2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage				0.7			0.8	V
I_{OH}	High Level Output Current				−1			−2.6	mA
I_{OL}	Low Level Output Current				12			24	mA
t_W	Pulse Width (Note 2)	Enable High	15			15			ns
		Enable Low	15			15			
t_{SU}	Data Setup Time (Notes 1 & 2)		5 ↓			5 ↓			ns
t_H	Data Hold Time (Notes 1 & 2)		20 ↓			20 ↓			ns
T_A	Free Air Operating Temperature		−55		125	0		70	°C

Note 1: The symbol (↓) indicates the falling edge of the clock pulse is used for reference.

Note 2: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

'LS373 Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OH} = Max, V_{IL} = Max, V_{IH} = Min	DM54	2.4	3.4		V
			DM74	2.4	3.1		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OL} = Max, V_{IL} = Max, V_{IH} = Min	DM54		0.25	0.4	V
			DM74		0.35	0.5	
		I_{OL} = 12 mA, V_{CC} = Min	DM74			0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	V_{CC} = Max, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 2.7V				20	µA
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V				−0.4	mA
I_{OZH}	Off-State Output Current with High Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 2.7V, V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				20	µA
I_{OZL}	Off-State Output Current with Low Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 0.4V, V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				−20	µA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max (Note 2)	DM54	−20		−100	mA
			DM74	−50		−225	
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = Max, OC = 4.5V, D_n, Enable = GND			24	40	mA

'LS373 Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

(See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	From (Input) To (Output)	R_L = 667Ω				Units
			C_L = 45 pF		C_L = 150 pF		
			Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Data to Q		18		26	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Data to Q		18		27	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Enable to Q		30		38	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Enable to Q		30		36	ns
t_{PZH}	Output Enable Time to High Level Output	Output Control to Any Q		28		36	ns
t_{PZL}	Output Enable Time to Low Level Output	Output Control to Any Q		36		50	ns
t_{PHZ}	Output Disable Time from High Level Output (Note 3)	Output Control to Any Q		20			ns
t_{PLZ}	Output Disable Time from Low Level Output (Note 3)	Output Control to Any Q		25			ns

Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 3: C_L = 5 pF.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter		DM54LS374			DM74LS374			Units
			Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V_{CC}	Supply Voltage		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High Level Input Voltage		2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage				0.7			0.8	V
I_{OH}	High Level Output Current				−1			−2.6	mA
I_{OL}	Low Level Output Current				12			24	mA
t_W	Pulse Width (Note 4)	Clock High	15			15			ns
		Clock Low	15			15			
t_{SU}	Data Setup Time (Notes 1 & 4)		20 ↑			20 ↑			ns
t_H	Data Hold Time (Notes 1 & 4)		1 ↑			1 ↑			ns
T_A	Free Air Operating Temperature		−55		125	0		70	°C

Note 1: The symbol (↑) indicates the rising edge of the clock pulse is used for reference.

Note 4: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

'LS374 Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min I_{OH} = Max V_{IL} = Max V_{IH} = Min	DM54	2.4	3.4		V
			DM74	2.4	3.1		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min I_{OL} = Max V_{IL} = Max V_{IH} = Min	DM54		0.25	0.4	V
			DM74		0.35	0.5	
		I_{OL} = 12 mA V_{CC} = Min	DM74		0.25	0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	V_{CC} = Max, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V				−0.4	mA
I_{OZH}	Off-State Output Current with High Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 2.7V V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				20	μA
I_{OZL}	Off-State Output Current with Low Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 0.4V V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				−20	μA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max (Note 2)	DM54	−50		−225	mA
			DM74	−50		−225	
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = Max, D_n = GND, OC = 4.5V			27	45	mA

'LS374 Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

(See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

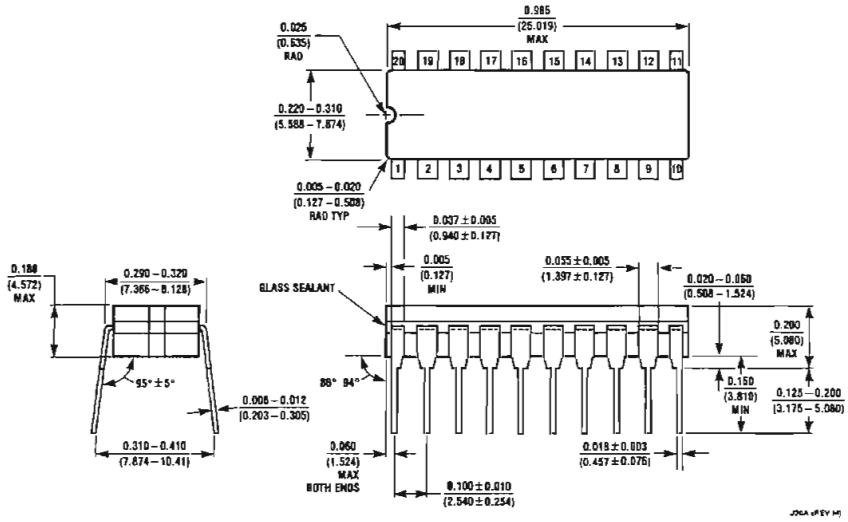
Symbol	Parameter	R_L = 667Ω				Units
		C_L = 45 pF		C_L = 150 pF		
		Min	Max	Min	Max	
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	35		20		MHz
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output		28		32	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output		28		38	ns
t_{PZH}	Output Enable Time to High Level Output		28		44	ns
t_{PZL}	Output Enable Time to Low Level Output		28		44	ns
t_{PHZ}	Output Disable Time from High Level Output (Note 3)		20			ns
t_{PLZ}	Output Disable Time from Low Level Output (Note 3)		25			ns

Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

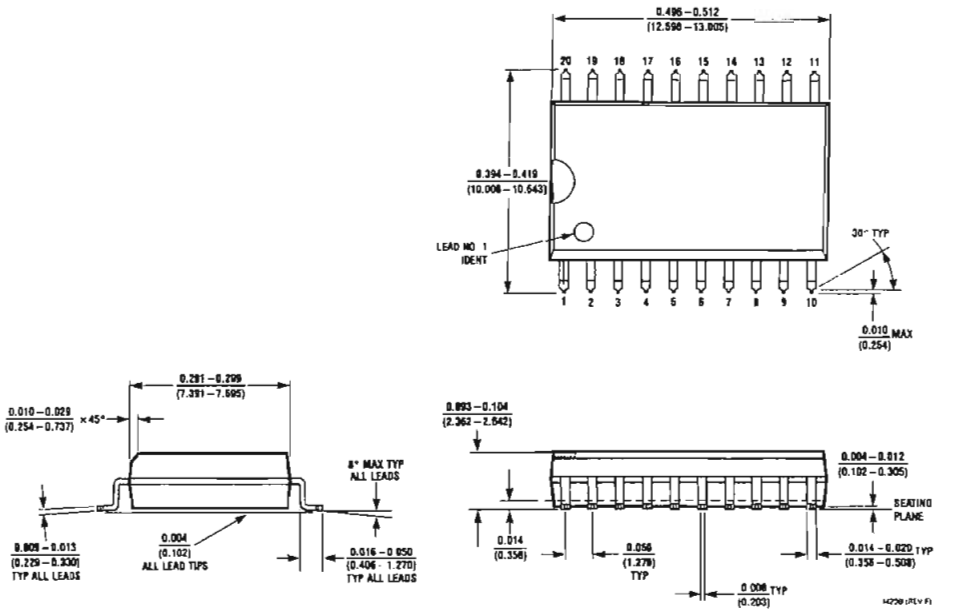
Note 3: C_L = 5 pF.

Physical Dimensions inches (millimeters)

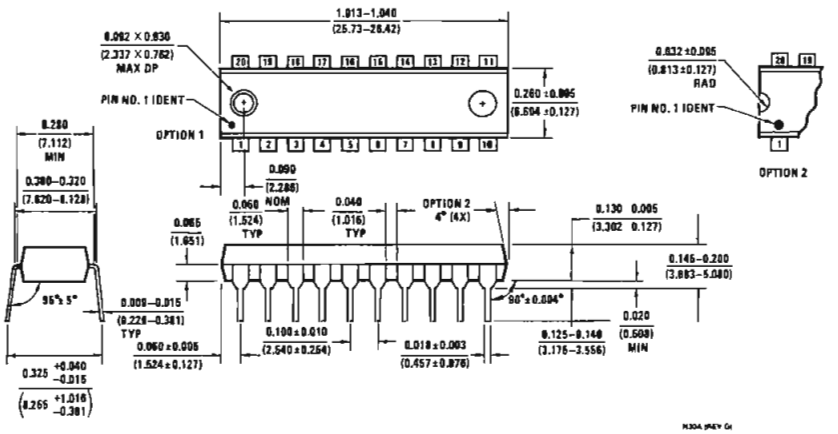


20-Lead Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number DM54LS373J or DM54LS374J
NS Package Number J20A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

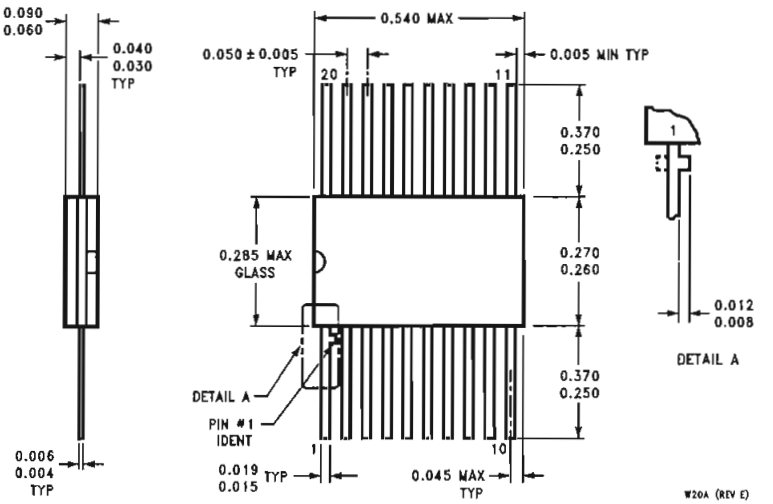


20-Lead Wide Small Outline Molded Package (M)
Order Number DM74LS373WM or DM74LS374WM
NS Package Number M20B



20-Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number DM74LS373N and DM74LS374N
NS Package Number N20A

Physical Dimensions Inches (millimeters) (Continued)



20-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number DM54LS373W or DM54LS374W
NS Package Number W20A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

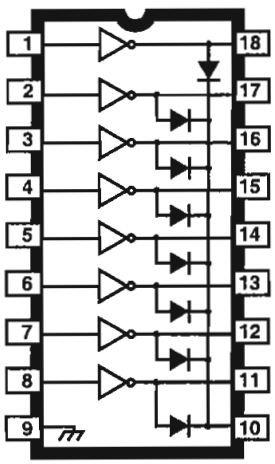
National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

2803 THRU 2824

Data Sheet 29304.3E*

HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS



Dwg. No. A-10,322A

Note that the ULx28xxA series (dual in-line package) and ULx28xxLW series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, V_{CE}
- (x2803x and x2804x) ..... **50 V**
- (x2823x and x2824x) ..... **95 V**

Input Voltage, V_{IN} ..... **30 V**

Continuous Output Current, I_C .... **500 mA**

Continuous Input Current, I_{IN} ..... **25 mA**

Power Dissipation, P_D
- (one Darlington pair) ..... **1.0 W**
- (total package)..... **See Graph**

Operating Temperature Range, T_A
- Prefix 'ULN' ..... **-20°C to + 85°C**
- Prefix 'ULQ' ..... **-40°C to +85°C**

Storage Temperature Range,
T_S ..... **-55°C to +150°C**

Featuring continuous load current ratings to 500 mA for each of the drivers, the Series ULN28xxA/LW and ULQ28xxA/LW high-voltage, high-current Darlington arrays are ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads. Typical power loads totaling over 260 W (350 mA x 8, 95 V) can be controlled at an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned on simultaneously. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULx2803A, ULx2803LW, ULx2823A, and ULN2823LW have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULx2804A, ULx2804LW, ULx2824A, and ULN2824LW have series input resistors for operation directly from 6 V to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULx2803A/LW and ULx2804A/LW are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the off state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULx2823A/LW and ULx2824A/LW will withstand 95 V in the off state.

These Darlington arrays are furnished in 18-pin dual in-line plastic packages (suffix 'A') or 18-lead small-outline plastic packages (suffix 'LW'). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. Prefix 'ULN' devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C; prefix 'ULQ' devices are rated for operation to -40°C.

FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Package or Wide-Body Small-Outline Package

The ULx2804, ULx2823, & ULx2824 are last-time buy. Orders accepted until October 19, 2001.

x = Character to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.

DEVICE PART NUMBER DESIGNATION

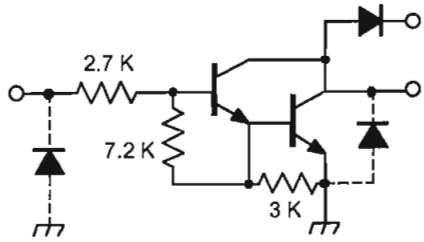
$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_{C(MAX)}$	500 mA	500 mA
Logic	**Part Number**	
5V TTL, CMOS	ULN2803A* ULN2803LW*	ULN2823A* ULN2823LW
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2804A* ULN2804LW*	ULN2824A* ULN2824LW

*Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from 'ULN' to 'ULQ'.

The ULx2804, ULx2823, & ULx2824 are last-time buy. Orders accepted until October 19, 2001.

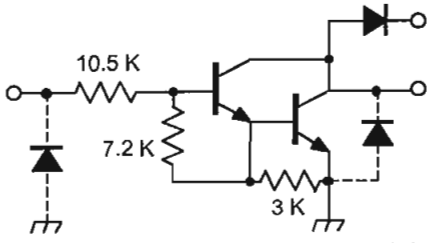
PARTIAL SCHEMATICS

ULx28x3A/LW (Each Driver)

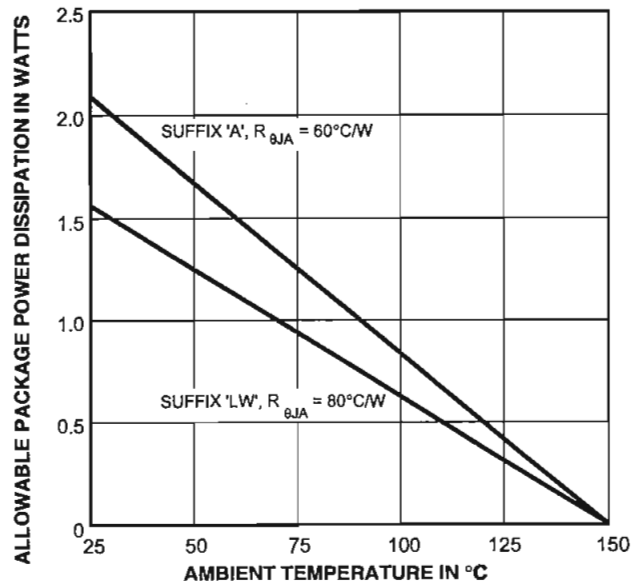


Dwg. FP-052-2

ULx28x4A/LW (Each Driver)



Dwg. FP-052-3



Dwg. GP-018B

x = Character to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.

115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
Copyright © 1977, 2001 Allegro MicroSystems, Inc.

Types ULx2823A, ULN2823LW, ULx2824A, and ULN2824LW ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	I_{CEX}	1A	All	V_{CE} = 95 V, T_A = 25°C	—	< 1	50	µA
				V_{CE} = 95 V, T_A = 70°C	—	< 1	100	µA
		1B	ULx2824x	V_{CE} = 95 V, T_A = 70°C, V_{IN} = 1.0 V	—	< 5	500	µA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	I_C = 100 mA, I_B = 250 µA	—	0.9	1.1	V
				I_C = 200 mA, I_B = 350 µA	—	1.1	1.3	V
				I_C = 350 mA, I_B = 500 µA	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULx2823x	V_{IN} = 3.85 V	—	0.93	1.35	mA
			ULx2824x	V_{IN} = 5.0 V	—	0.35	0.5	mA
				V_{IN} = 12 V	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	I_C = 500 µA, T_A = 70°C	50	65	—	µA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULx2823x	V_{CE} = 2.0 V, I_C = 200 mA	—	—	2.4	V
				V_{CE} = 2.0 V, I_C = 250 mA	—	—	2.7	V
				V_{CE} = 2.0 V, I_C = 300 mA	—	—	3.0	V
			ULx2824x	V_{CE} = 2.0 V, I_C = 125 mA	—	—	5.0	V
				V_{CE} = 2.0 V, I_C = 200 mA	—	—	6.0	V
				V_{CE} = 2.0 V, I_C = 275 mA	—	—	7.0	V
				V_{CE} = 2.0 V, I_C = 350 mA	—	—	8.0	V
Input Capacitance	C_{IN}	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	t_{PLH}	8	All	0.5 E_{IN} to 0.5 E_{OUT}	—	0.25	1.0	µs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	8	All	0.5 E_{IN} to 0.5 E_{OUT}	—	0.25	1.0	µs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	All	V_R = 95 V, T_A = 25°C	—	—	50	µA
				V_R = 95 V, T_A = 70°C	—	—	100	µA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	I_F = 350 mA	—	1.7	2.0	V

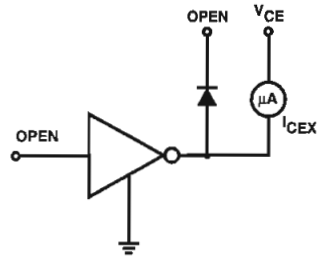
Complete part number includes prefix to operating temperature range: ULN = -20°C to +85°C, ULQ = -40°C to +85°C and a suffix to identify package style: A = DIP, LW = SOIC. Note that the ULQ2823LW and ULQ2824LW are not presently available.

The ULx2823 & ULx2824 are last-time buy.
Orders accepted until October 19, 2001.

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

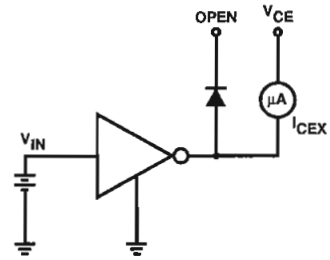
TEST FIGURES

FIGURE 1A



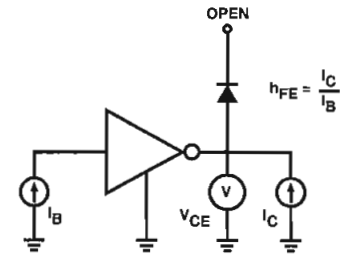
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



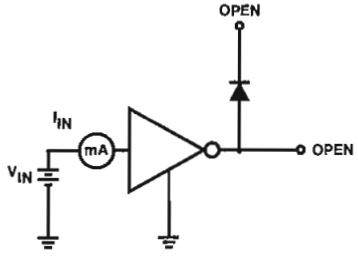
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



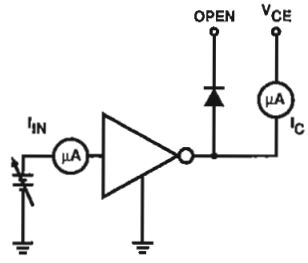
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



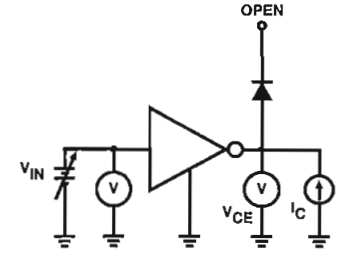
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



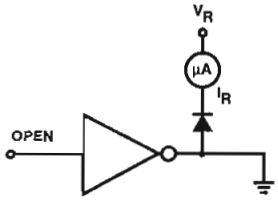
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



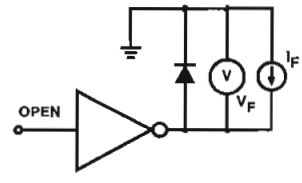
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



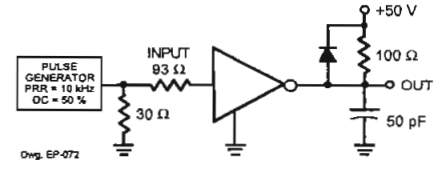
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

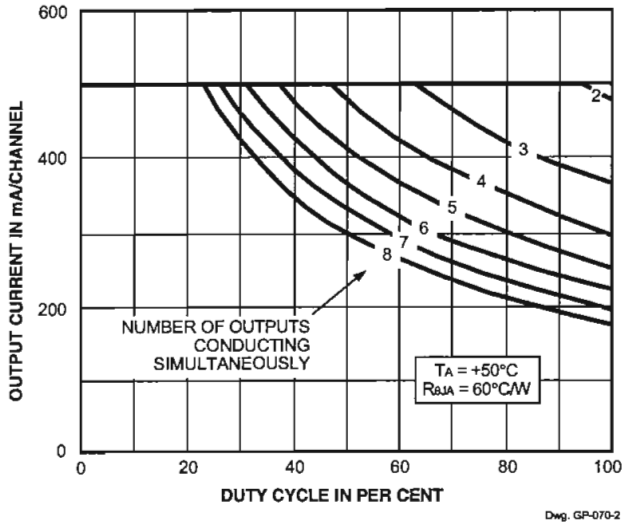
FIGURE 8



Dwg. EP-072

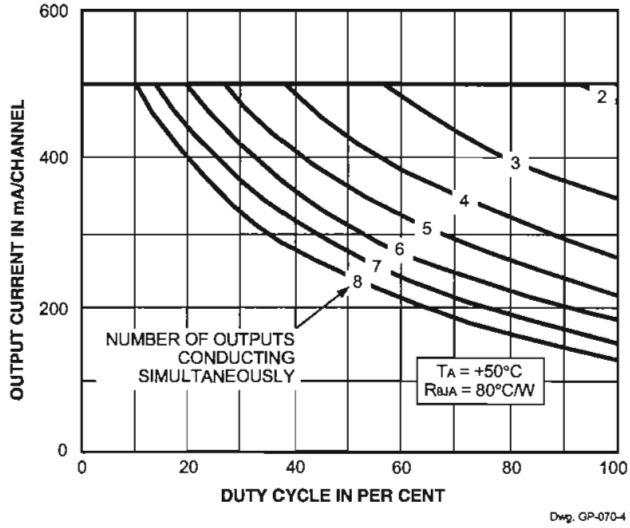
	V_{in}
ULx28x3x	3.5 V
ULx28x4x	12 V

ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
ULx28xxA

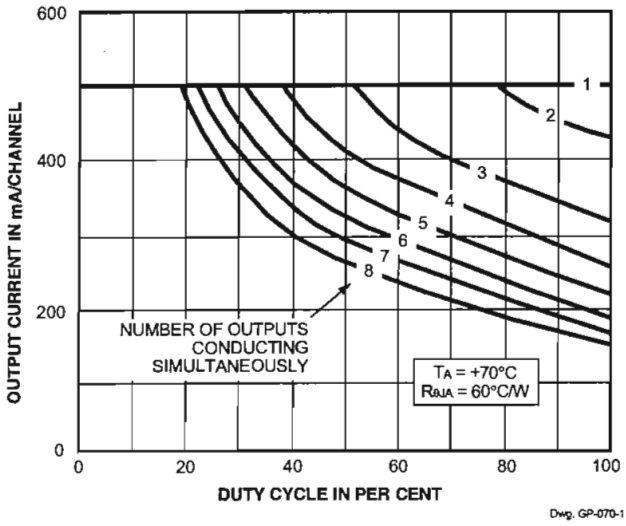


Dwg. GP-070-2

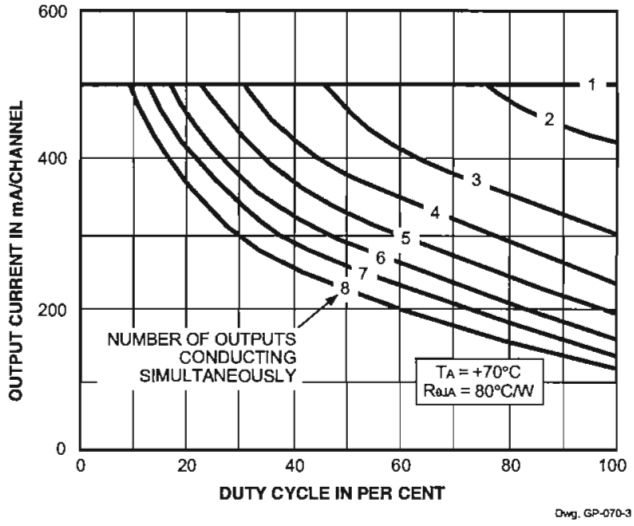
ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
ULx28xxLW



Dwg. GP-070-4



Dwg. GP-070-1



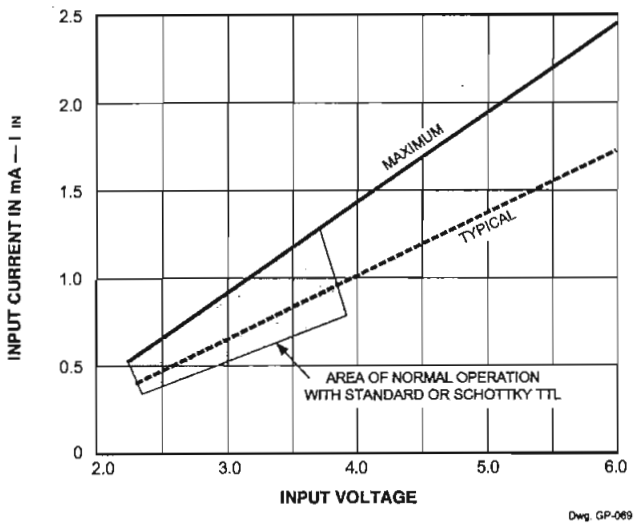
Dwg. GP-070-3

x = Characters to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

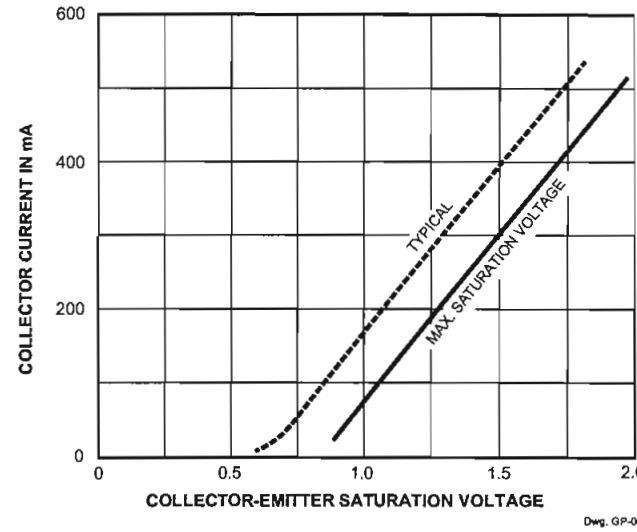
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

INPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE

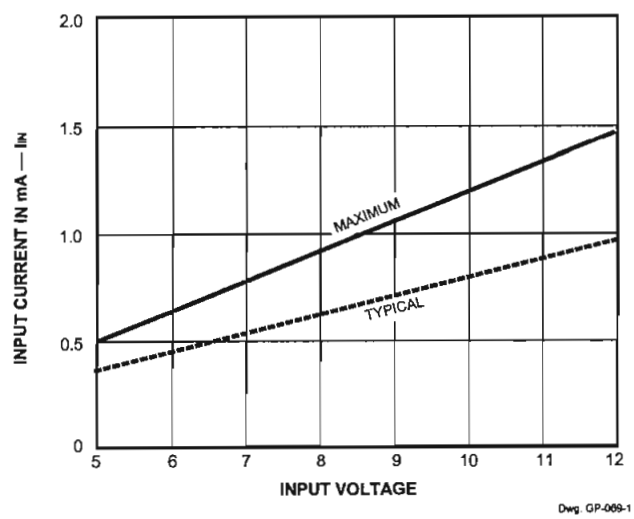
ULx28x3x



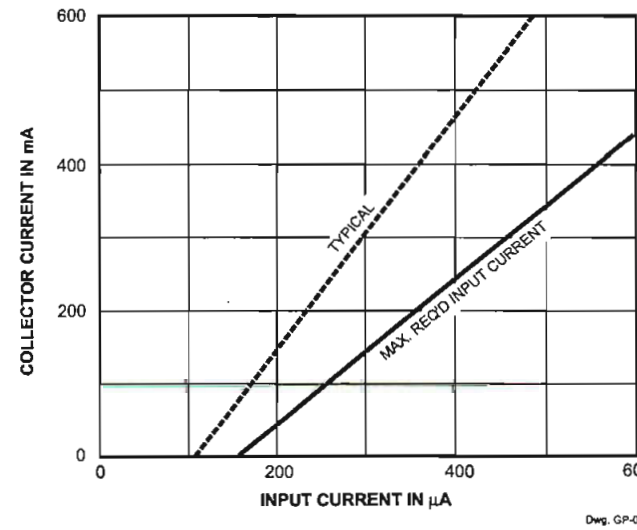
SATURATION VOLTAGE AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT



ULx28x4x



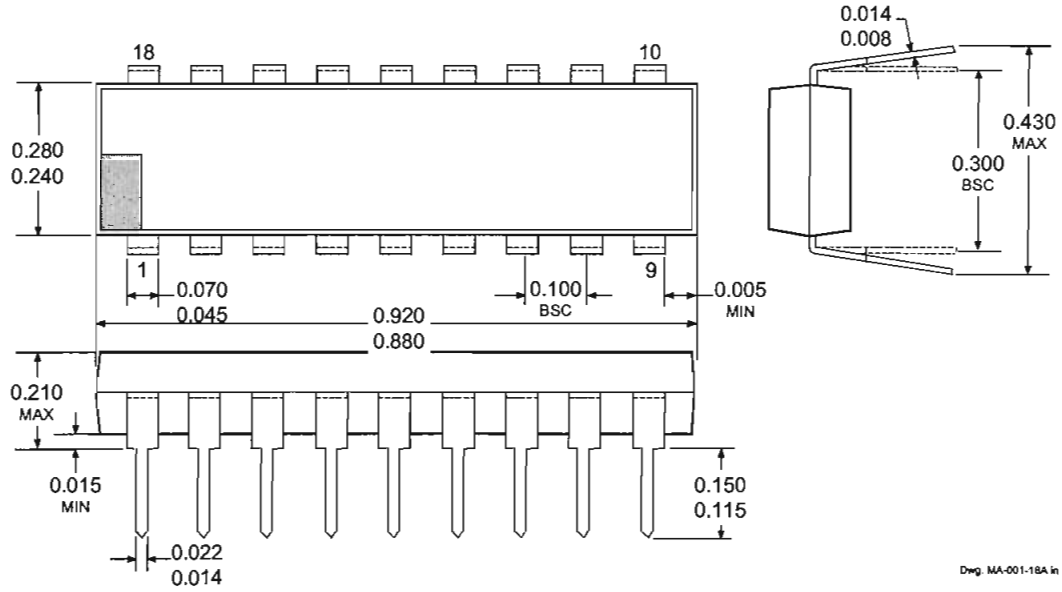
COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT CURRENT



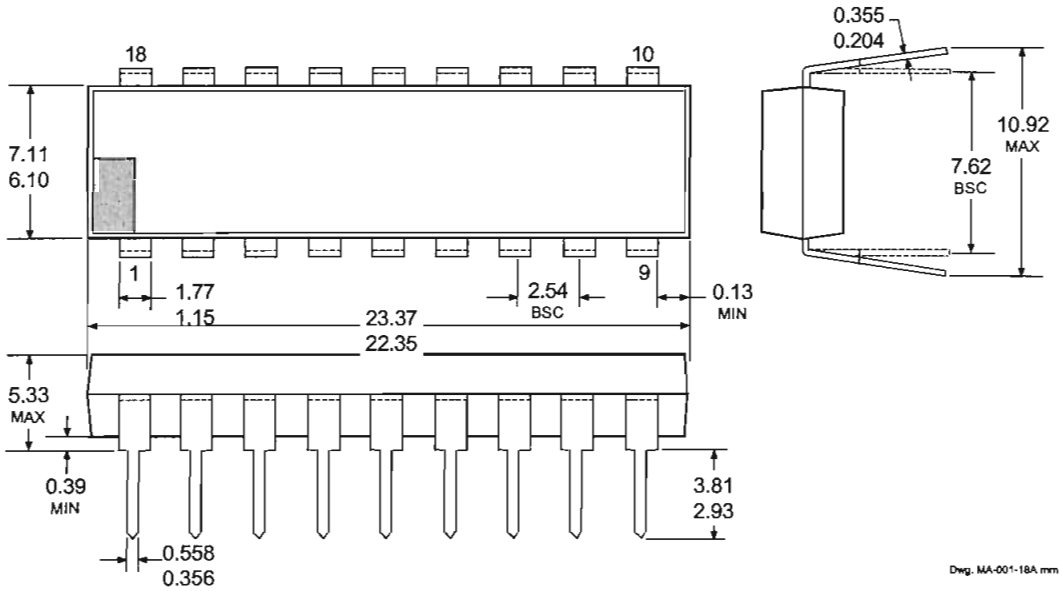
x = Characters to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

PACKAGE DESIGNATOR "A" DIMENSIONS

Dimensions in Inches
(controlling dimensions)



Dimensions in Millimeters
(for reference only)

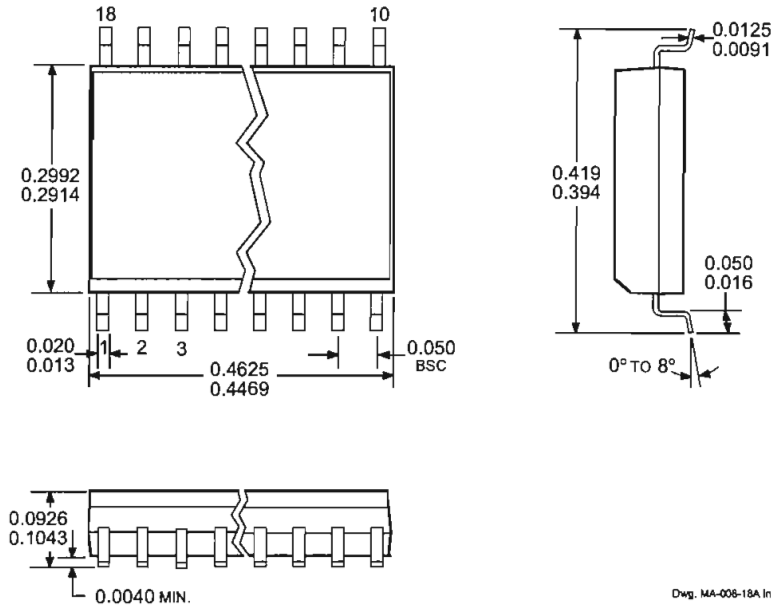


NOTES: 1. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
2. Lead spacing tolerance is non-cumulative.
3. Lead thickness is measured at seating plane or below.

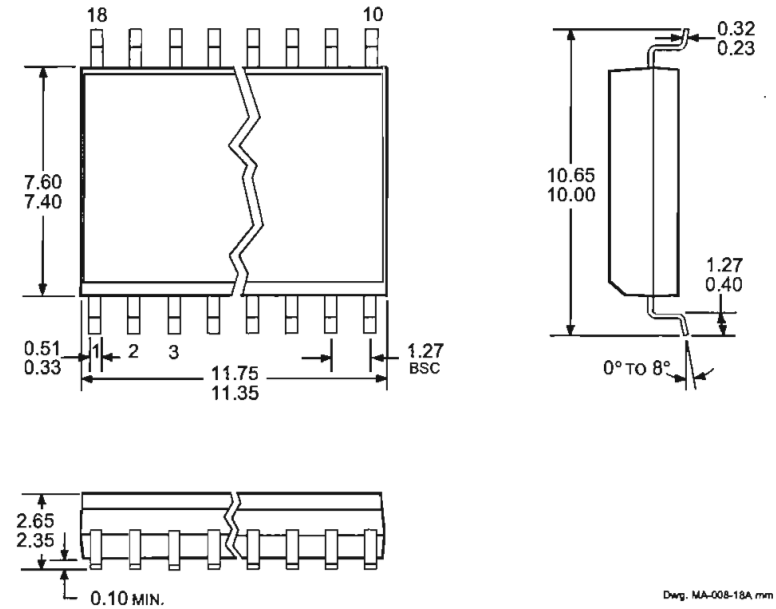
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

PACKAGE DESIGNATOR "LW" DIMENSIONS

Dimensions in Inches
(for reference only)



Dimensions in Millimeters
(controlling dimensions)



NOTES: 1. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
2. Lead spacing tolerance is non-cumulative.

The products described here are manufactured under one or more U.S. patents or U.S. patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Allegro® MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

SunLED
www.SunLED.com

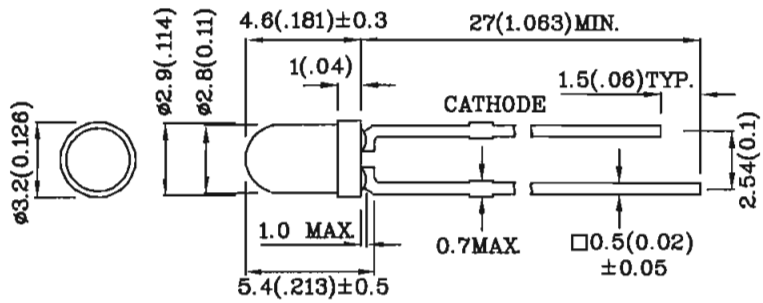
Part Number: **XLBG32WE**

T-1 (3mm) SOLID STATE LAMP

Features

- LOW POWER CONSUMPTION.
- POPULAR T-1 DIAMETER PACKAGE.
- GENERAL PURPOSE LEADS.
- RELIABLE AND RUGGED.
- LONG LIFE - SOLID STATE RELIABILITY.

ATTENTION
OBSERVE PRECAUTIONS
FOR HANDLING
ELECTROSTATIC
DISCHARGE
SENSITIVE
DEVICES



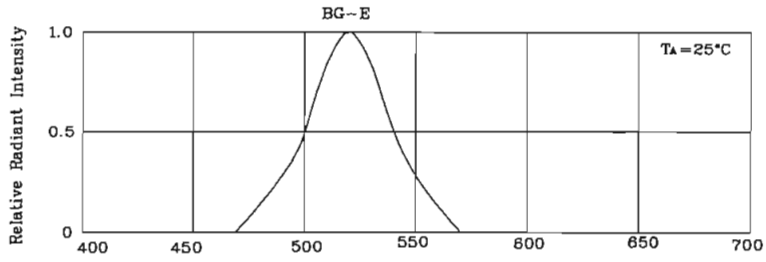
Notes:

1. All dimensions are in millimeters (inches).
2. Tolerance is ± 0.25(0.01") unless otherwise noted.

Absolute maximum ratings (T_A=25°C)		**BG-E (InGaN)**	**Unit**
Reverse voltage	V_R	5	V
Forward current	I_F	30	mA
Forward current (peak) 1/10Duty cycle 0.1ms pulse width	i_{FS}	150	mA
Power dissipation	P_T	120	mW
Operating temperature	T_A	-40 ~ +85	°C
Storage temperature	Tstg	-40 ~ +85	
Lead solder temperature [2mm below package base]	260°C For 5 Seconds		

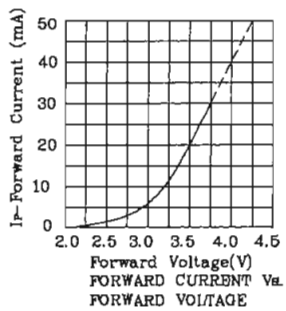
Operating Characteristics (T_A=25°C)		**BG-E (InGaN)**	**Unit**
Forward voltage (typ.) (I_F=20mA)	V_F	3.5	V
Forward voltage (max.) (I_F=20mA)	V_F	4.5	V
Reverse current (V_R=5V)	I_R	10	uA
Wavelength at peak emission (I_F=20mA)	λ peak	518	nm
Wavelength at Dominate emission (I_F=20mA)	λ D	525	nm
Spectral Line half-width (I_F=20mA)	Δλ	36	nm
Capacitance (V_F=0V, f=1MHz)	C	50	pF

Part Number	Emitting Color	Emitting Material	Lens-color	Luminous Intensity (IF=20mA) mcd		Wavelength nm λ P	Viewing Angle 2θ 1/2
				min.	typ.		
XLBG32WE	Green	InGaN	Water Clear	1500	1990	518	50°

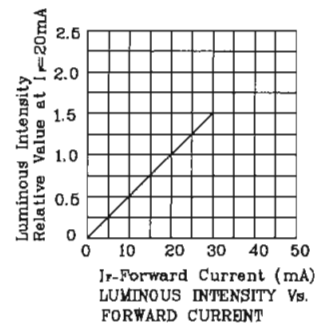


RELATIVE INTENSITY Vs. WAVELENGTH

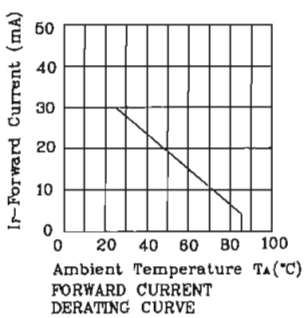
❖ BG-E



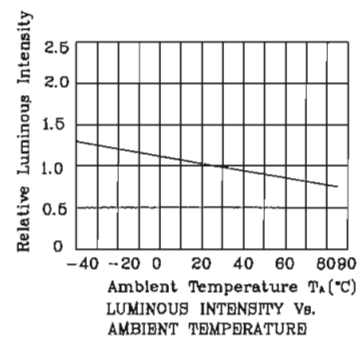
FORWARD CURRENT Vs.
FORWARD VOLTAGE



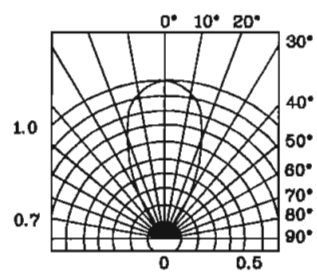
LUMINOUS INTENSITY Vs.
FORWARD CURRENT



FORWARD CURRENT
DERATING CURVE



LUMINOUS INTENSITY Vs.
AMBIENT TEMPERATURE



SPATIAL DISTRIBUTION

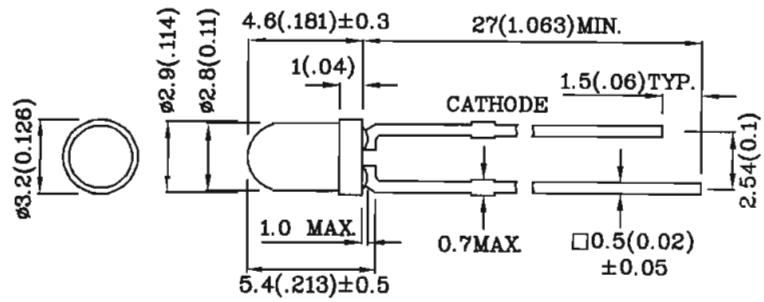
SunLED
www.SunLED.com

Part Number: **XLME32W**

T-1 (3mm) SOLID STATE LAMP

Features

- LOW POWER CONSUMPTION.
- POPULAR T-1 DIAMETER PACKAGE.
- GENERAL PURPOSE LEADS.
- RELIABLE AND RUGGED.
- LONG LIFE - SOLID STATE RELIABILITY.



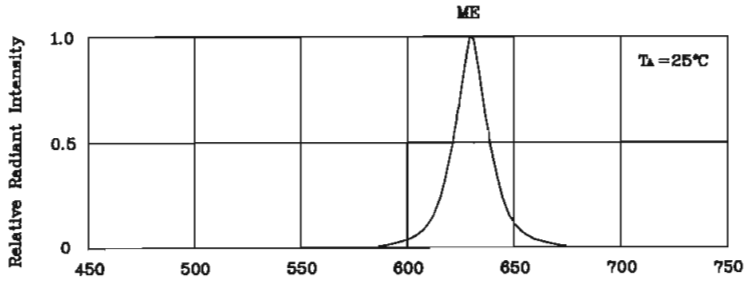
Notes:

1. All dimensions are in millimeters (inches).
2. Tolerance is ± 0.25(0.01") unless otherwise noted.

Absolute maximum ratings (T_A=25°C)		**ME (InGaAlP)**	**Unit**
Reverse voltage	V_R	5	V
Forward current	I_F	30	mA
Forward current (peak) 1/10Duty cycle 0.1ms pulse width	i_{FS}	195	mA
Power dissipation	P_T	150	mW
Operating temperature	T_A	-40 ~ +85	°C
Storage temperature	Tstg	-40 ~ +85	
Lead solder temperature [2mm below package base]	260°C For 5 Seconds		

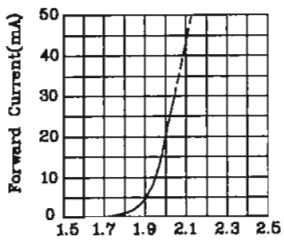
Operating Characteristics (T_A=25°C)		**ME (InGaAlP)**	**Unit**
Forward voltage (typ.) (I_F=20mA)	V_F	2.0	V
Forward voltage (max.) (I_F=20mA)	V_F	2.5	V
Reverse current (V_R=5V)	I_R	10	uA
Wavelength at peak emission (I_F=20mA)	λ peak	630	nm
Wavelength at Dominate emission (I_F=20mA)	λ D	621	nm
Spectral Line half-width (I_F=20mA)	Δλ	20	nm
Capacitance (V_F=0V, f=1MHz)	C	25	pF

Part Number	Emitting Color	Emitting Material	Lens-color	Luminous Intensity (IF=20mA) mcd		Wavelength nm λ P	Viewing Angle 2 θ 1/2
				min.	typ.		
XLME32W	Red	InGaAlP	Water Clear	900	1990	630	50°

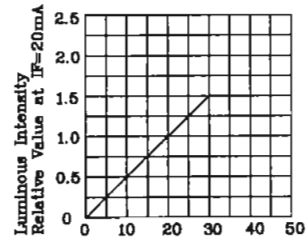


RELATIVE INTENSITY Vs. WAVELENGTH

❖ ME

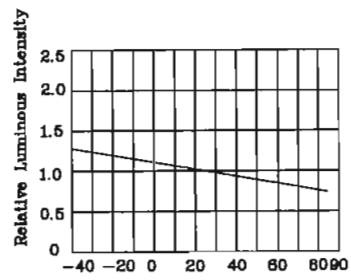


FORWARD CURRENT Vs. FORWARD VOLTAGE

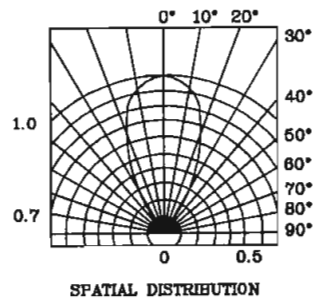


LUMINOUS INTENSITY Vs. FORWARD CURRENT

FORWARD CURRENT DERATING CURVE



LUMINOUS INTENSITY Vs. AMBIENT TEMPERATURE

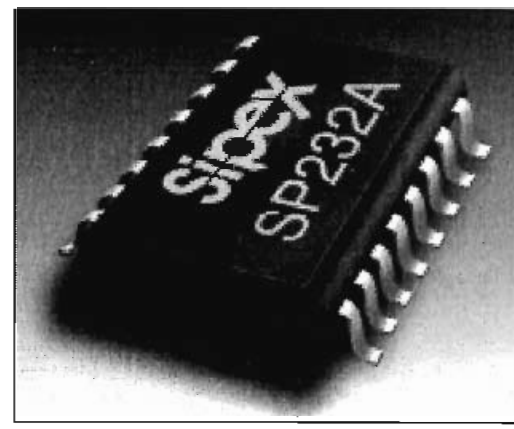


SPATIAL DISTRIBUTION

SP231A/232A/233A/310A/312A

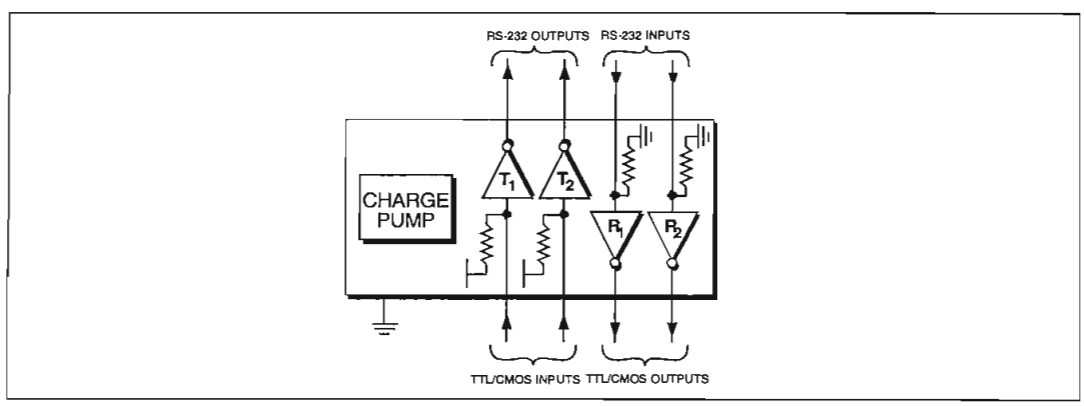
Enhanced RS-232 Line Drivers/Receivers

- Operates from Single 5V Power Supply
- Meets All RS-232D and V.28 Specifications
- Multiple Drivers and Receivers
- Small Charge Pump Capacitors – 0.1µF
- Operates with 0.1µF and 100µF Capacitors
- High Data Rate – 120kbps Under Load
- High Output Slew Rate – 10V/µs Under Load
- Low Power Shutdown ≤1µA
- 3-State TTL/CMOS Receiver Outputs
- ±30V Receiver Input Levels
- Low Power CMOS – 15mA Operation



DESCRIPTION...

The **Sipex SP231A**, **SP232A** and **SP233A** are enhanced versions of the **Sipex SP231**, **SP232** and **SP233** RS-232 line drivers/receivers. They are pin-for-pin replacements for these earlier versions and will operate in their sockets. Performance enhancements include 10V/µs slew rate, 120k bits per second guaranteed transmission rate, and increased drive current for longer and more flexible cable configurations. Ease of use enhancements include smaller, 0.1µF charge pump capacitors, enhanced ESD protection, low power dissipation and overall ruggedized construction for commercial environments. The series is available in plastic and ceramic DIP and SOIC packages operating over the commercial, industrial and military temperature ranges.



 © Copyright 2000 Sipex Corporation

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

V_{CC} ..... +6V
V^+ ..... (Vcc-0.3V) to +13.2V
V^- 13.2V
Input Voltages
T_{IN} ..... -0.3 to (Vcc +0.3V)
R_{IN} ..... ±30V

Output Voltages
T_{OUT} ..... (V+, +0.3V) to (V-, -0.3V)
R_{OUT} ..... -0.3V to (Vcc +0.3V)
Short Circuit Duration
T_{OUT} ..... Continuous
Power Dissipation
CERDIP 675mW
(derate 9.5mW/°C above +70°C)
Plastic DIP 375mW
(derate 7mW/°C above +70°C)
Small Outline 375mW
(derate 7mW/°C above +70°C)

SPECIFICATIONS

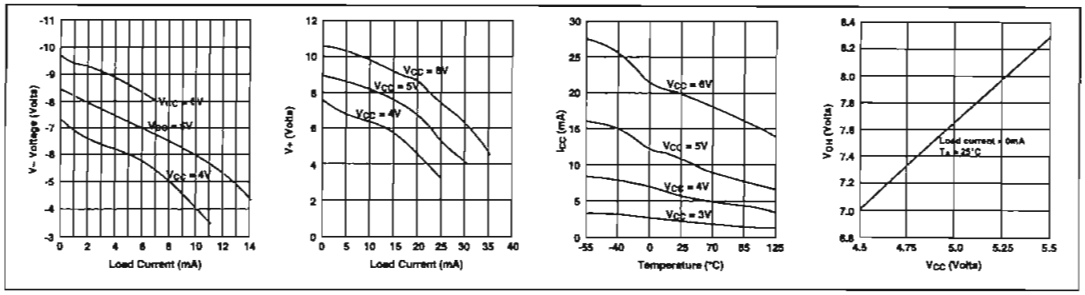
V_{CC}=+5V±10%; V+=+8.5V to +13.2V (SP231A only) 0.1µF charge pump capacitors; T_{MIN} to T_{MAX} unless otherwise noted.

PARAMETERS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
TTL INPUT					
Logic Threshold					
LOW			0.8	Volts	T_{IN} ; $\overline{EN}$, $\overline{SD}$
HIGH	2.0			Volts	T_{IN} ; EN, SD
Logic Pullup Current		15	200	µA	T_{IN} = 0V
Maximum Data Rate	120			kbps	C_L = 2500pF, R_L = 3kΩ
TTL OUTPUT					
TTL/CMOS Output					
Voltage, Low			0.4	Volts	I_{OUT} = 3.2mA; Vcc = +5V
Voltage, High	3.5			Volts	I_{OUT} = -1.0mA
Leakage Current **; T_A = +25°		0.05	±10	µA	$\overline{EN}$ = V_{CC}, 0V≤V_{OUT} ≤V_{CC}
RS-232 OUTPUT					
Output Voltage Swing	±5	±9		Volts	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to Ground
Output Resistance	300			Ohms	V_{CC} = 0V; V_{OUT} = ±2V
Output Short Circuit Current		±18		mA	Infinite duration
RS-232 INPUT					
Voltage Range	-30		+30	Volts	
Voltage Threshold					
LOW	0.8	1.2		Volts	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C
HIGH		1.7	2.4	Volts	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C
Hysteresis	0.2	0.5	1.0	Volts	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C
Resistance	3	5	7	kΩ	T_A = +25°C, -15V ≤ V_{IN} ≤ +15V
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Propagation Delay, RS232 to TTL		1.5		µs	
Instantaneous Slew Rate			30	V/µs	C_L = 10pF, R_L = 3-7kΩ; T_A =+25°C
Transition Region Slew Rate		10		V/µs	C_L = 2500pF, R_L = 3kΩ; measured from +3V to -3V or -3V to +3V
Output Enable Time **		400		ns	SP310A and SP312A only
Output Disable Time **		250		ns	SP310A and SP312A only
POWER REQUIREMENTS					
V_{CC} Power Supply Current		10	15	mA	No load, T_A= +25°C; V_{CC} = 5V
		25		mA	All transmitters R_L = 3kΩ; T_A = +25°C
V+ Power Supply Current ***		9	15	mA	No load, V+ = 12V, T_A=+25°C
Shutdown Supply Current **		1	10	µA	V_{CC} = 5V, T_A = +25°C

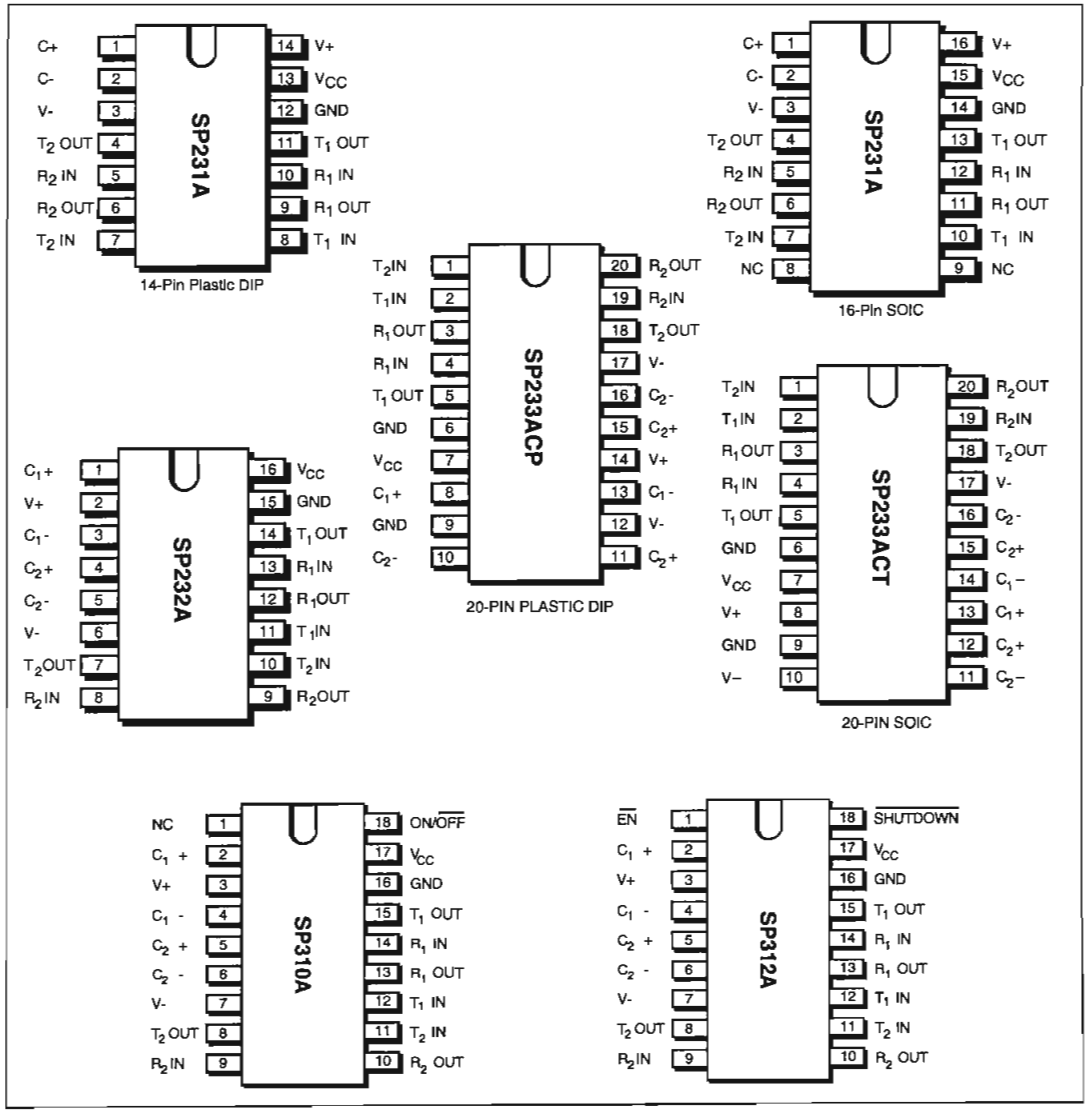
****SP310A** and **SP312A** only; ***** **SP231A** only

© Copyright 2000 Sipex Corporation

PERFORMANCE CURVES



PINOUT...



 © Copyright 2000 Sipex Corporation

FEATURES...

The **Sipex SP231A, SP232A** and **SP233A** are enhanced versions of the **Sipex SP231, SP232** and **SP233** RS-232 line drivers/receivers. They are pin-for-pin replacements for these earlier versions, will operate in their sockets with capacitors ranging from 0.1 to 100µF, either polarized or non–polarized, and feature several improvements in both performance and ease of use. Performance enhancements include 10V/µs slew rate, 120k bits per second guaranteed transmission rate, and increased drive current for longer and more flexible cable configurations. Ease of use enhancements include smaller, 0.1µF charge pump capacitors, enhanced ESD protection, low power dissipation and overall ruggedized construction for commercial environments.

The **SP232A, SP233A, SP310A** and **SP312A** include charge pump voltage converters which allow them to operate from a single +5V supply. These converters convert the +5V input power to the ±10V needed to generate the RS-232 output levels. Both meet all EIA RS-232D and CCITT V.28 specifications. The **SP231A** has provisions for external V+ supplies. With this power supplied externally, the current drain due to charge pump operation is considerably reduced, typically to 400µA.

The **SP310A** provides identical features as the **SP232A**. The **SP310A** has a single control line which simultaneously shuts down the internal DC/DC converter and puts all transmitter and receiver outputs into a high impedance state. The **SP312A** is identical to the **SP310A** with separate tri-state and shutdown control lines.

The **SP231A** is available in 14-pin plastic DIP, CERDIP and 16-pin SOIC packages for operation over commercial, industrial and military temperature ranges. The **SP232A** is available in 16-pin plastic DIP, SOIC and CERDIP packages, operating over the commercial, industrial and military temperature ranges. The **SP233A** is available in a 20-pin plastic DIP and 20–pin SOIC package for operation over the commercial and industrial temperature ranges. The **SP310A** and **SP312A** are available in 18-pin plastic, CERDIP and SOIC packages for operation over the commercial and industrial temperature ranges. Please consult the factory for DIP and surface-mount packaged parts supplied on tape-on-reel, as well as parts screened to MIL-M-38510.

THEORY OF OPERATION

The **SP231A, SP232A, SP233A, SP310A** and **SP312A** devices are made up of three basic circuit blocks – 1) a driver/transmitter, 2) a receiver and 3) a charge pump. Each block is described below.

Driver/Transmitter

The drivers are inverting transmitters, which accept TTL or CMOS inputs and output the RS-232 signals with an inverted sense relative to the input logic levels. Typically the RS-232 output voltage swing is ±9V. Even under worst case loading conditions of 3kOhms and 2500pF, the output is guaranteed to be ±5V, which is consistent with the RS-232 standard specifications. The transmitter outputs are protected against infinite short-circuits to ground without degradation in reliability.

The instantaneous slew rate of the transmitter output is internally limited to a maximum of 30V/µs in order to meet the standards [EIA RS-232-D 2.1.7, Paragraph (5)]. However, the transition region slew rate of these enhanced products is typically 10V/µs. The smooth transition of the loaded output from V_{OL} to V_{OH} clearly meets the monotonicity requirements of the standard [EIA RS-232-D 2.1.7, Paragraphs (1) & (2)].

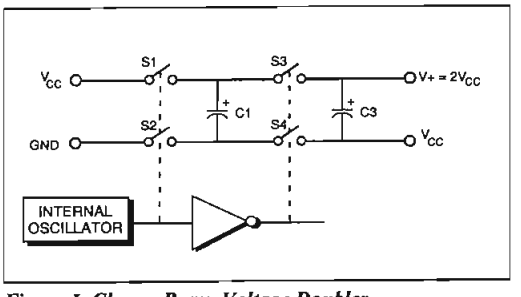


Figure I. Charge Pump Voltage Doubler

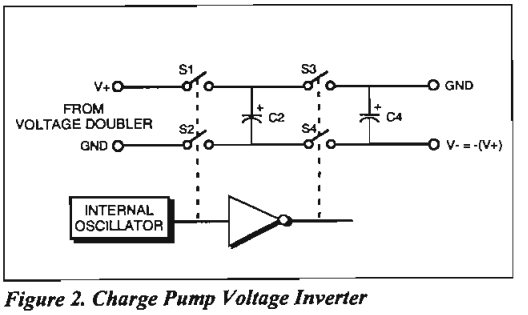


Figure 2. Charge Pump Voltage Inverter

 © Copyright 2000 Sipex Corporation

Receivers

The receivers convert RS-232 input signals to inverted TTL signals. Since the input is usually from a transmission line, where long cable lengths and system interference can degrade the signal, the inputs have a typical hysteresis margin of 500mV. This ensures that the receiver is virtually immune to noisy transmission lines.

The input thresholds are 0.8V minimum and 2.4V maximum, again well within the ±3V RS-232 requirements. The receiver inputs are also protected against voltages up to ±30V. Should an input be left unconnected, a 5kOhm pulldown resistor to ground will commit the output of the receiver to a high state.

In actual system applications, it is quite possible for signals to be applied to the receiver inputs before power is applied to the receiver circuitry. This occurs, for example, when a PC user attempts to print, only to realize the printer wasn't turned on. In this case an RS-232 signal from the PC will appear on the receiver input at the printer. When the printer power is turned on, the receiver will operate normally. All of these enhanced devices are fully protected.

Charge Pump

The charge pump section of the these devices allows the circuit to operate from a single +5V ±10% power supply by generating the required operating voltages internal to the devices. The charge pump consists of two sections — 1) a voltage doubler and 2) a voltage inverter.

As shown in *Figure 1*, an internal oscillator triggers the charge accumulation and voltage inversion. The voltage doubler momentarily stores a charge on capacitor C_1 equal to V_{cc}, referenced to ground. During the next transition of the oscillator this charge is boot-strapped to transfer charge to capacitor C_3. The voltage across C_3 is now from V_{cc} to V^+.

In the inverter section *(Figure 2)*, the voltage across C_3 is transferred to C_2 forcing a range of 0V to V^+ across C_2. Boot-strapping of C_2 will then transfer charge to C_4 to genrate V^-.

One of the significant enhancements over previous products of this type is that the values of the capacitors are no longer critical and have been decreased in size considerably to 0.1µF. Because the charge pump runs at a much higher frequency, the 0.1µF capacitors are sufficient to transfer and sustain charges to the two transmitters.

APPLICATION HINTS

Protection From Shorts to ±15V

The driver outputs are protected against shorts to ground, other driver outputs, and V^+ or V^-. If the possibility exists that the outputs could be inadvertently connected to voltages higher than ±15V, then it is recommended that external protection be provided. For protection against voltages exceeding ±15V, two back-to-back zener diodes connected from each output to ground will clamp the outputs to an acceptable voltage level.

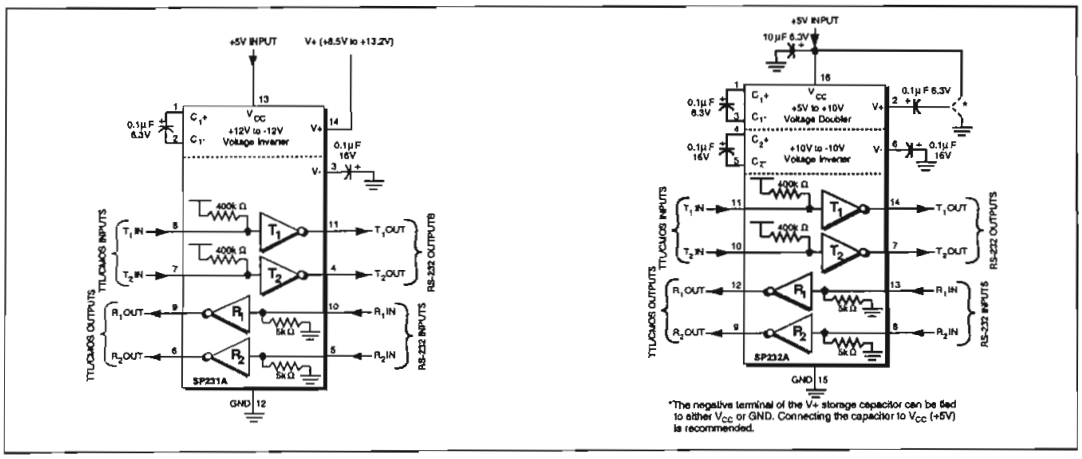


Figure 3. Typical Circuits using the SP231A and 232A.

 © Copyright 2000 Sipex Corporation

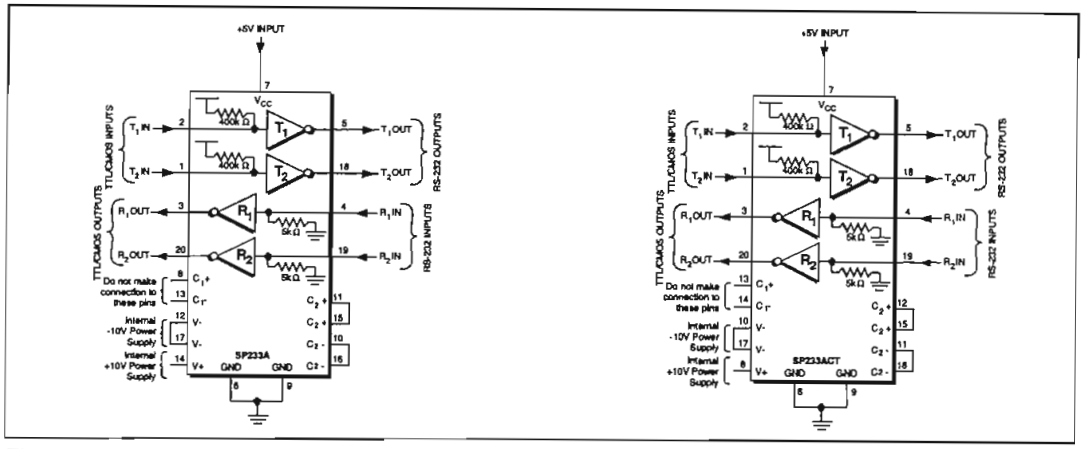


Figure 4. Typical Circuits using the SP233ACP and SP233ACT

Shutdown ($\overline{SD}$) and Enable ($\overline{EN}$) SP310A/SP312A Only

Both the **SP310A** and **SP312A** have a shut-down/ standby mode to conserve power in battery-powered systems. To activate the shutdown mode, which stops the operation of the charge pump, a logic "0" is applied to the appropriate control line. For the **SP310A**, this control line is ON/$\overline{OFF}$ (pin 18). Activating the shutdown mode also puts the **SP310A** transmitter and receiver outputs in a high impedance condition (tri-stated). The shutdown mode is controlled on the **SP312A** by a logic "0" on the $\overline{SHUTDOWN}$ control line (pin 18); this also puts the transmitter outputs in a tri–state mode. The receiver outputs can be tri–stated separately during normal operation or shutdown by a logic "1" on the $\overline{ENABLE}$ line (pin 1).

Wake–Up Feature (SP312A Only)

The **SP312A** has a wake–up feature that keeps all the receivers in an enabled state when the device is in the shutdown mode. *Table 1* defines the truth table for the wake–up function.

With only the receivers activated, the **SP312A** typically draws less than 5µA supply current (10µA maximum). In the case of a modem interfaced to a computer in power down mode, the Ring Indicator (**RI**) signal from the modem would be used to "wake up" the computer, allowing it to accept data transmission.

After the ring indicator signal has propagated through the **SP312A** receiver, it can be used to trigger the power management circuitry of the computer to power up the microprocessor, and bring the $\overline{SD}$ pin of the **SP312A** to a logic high, taking it out of the shutdown mode. The receiver propagation delay is typically 1µs. The enable time for V^+ and V^- is typically 2ms. After V^+ and V^- have settled to their final values, a signal can be sent back to the modem on the data terminal ready (**DTR**) pin signifying that the computer is ready to accept and transmit data.

Pin Strapping — SP233ACT Only

The **SP233A** packaged in the 20–pin SOIC package (**SP233ACT**) has a slightly different pinout than the **SP233A** in other package configurations. To operate properly, the following pairs of pins must be externally wired together:

the two V– pins (pins 10 and 17)
the two C_2+ pins (pins 12 and 15)
the two C_2– pins (pins 11 and 16)

All other connections, features, functions and performance are identical to the **SP233A** as specified elsewhere in this data sheet.

$\overline{SD}$	$\overline{EN}$	Power Up/Down	Receiver Outputs
0	0	Down	Enable
0	1	Down	Tri–state
1	0	Up	Enable
1	1	Up	Tri–state

Table 1. Wake-up Function Truth Table.

© Copyright 2000 Sipex Corporation

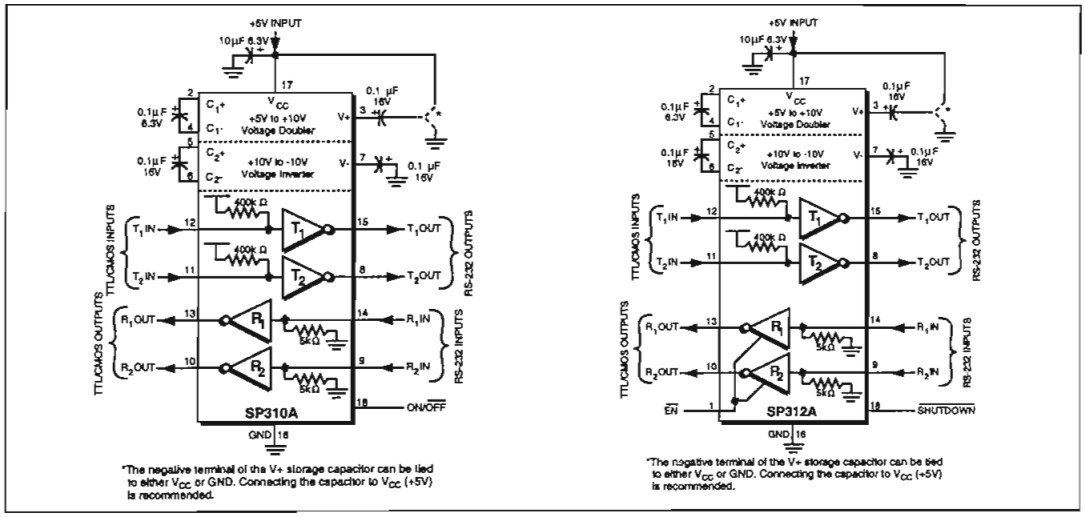


Figure 5. Typical Circuits using the SP310A and SP312A

 © Copyright 2000 Sipex Corporation

ORDERING INFORMATION

Model	Temperature Range	Package
SP231ACP	0°C to +70°C	14–pin Plastic DIP
SP231ACT	0°C to +70°C	16–pin SOIC
SP231ACX	0°C to +70°C	Dice
SP231AEP	–40°C to +85°C	14–pin Plastic DIP
SP231AET	–40°C to +85°C	16–pin SOIC
SP232ACN	0°C to +70°C	16–pin N–SOIC
SP232ACP	0°C to +70°C	16–pin Plastic DIP
SP232ACT	0°C to +70°C	16–pin SOIC
SP232ACX	0°C to +70°C	Dice
SP232AEN	–40°C to +85°C	16–pin N-SOIC
SP232AEP	–40°C to +85°C	16–pin Plastic DIP
SP232AET	–40°C to +85°C	16–pin SOIC
SP233ACP	0°C to +70°C	20–pin Plastic DIP
SP233ACT	0°C to +70°C	20–pin SOIC
SP233AEP	–40°C to +85°C	20–pin Plastic DIP
SP233AET	–40°C to +85°C	20–pin SOIC
SP310ACP	0°C to +70°C	18–pin Plastic DIP
SP310ACT	0°C to +70°C	18–pin SOIC
SP310ACX	0°C to +70°C	Dice
SP310AEP	–40°C to +85°C	18–pin Plastic DIP
SP310AET	–40°C to +85°C	18–pin SOIC
SP312ACP	0°C to +70°C	18–pin Plastic DIP
SP312ACT	0°C to +70°C	18–pin SOIC
SP312ACX	0°C to +70°C	Dice
SP312AEP	–40°C to +85°C	18–pin Plastic DIP
SP312AET	–40°C to +85°C	18–pin SOIC

Please consult the factory for pricing and availability on a Tape-On-Reel option.

Sipex

SIGNAL PROCESSING EXCELLENCE

Sipex Corporation

Headquarters and Sales Office
22 Linnell Circle
Billerica, MA 01821
TEL: (978) 667-8700
FAX: (976) 670-9001
e-mail: sales@sipex.com

Sales Office
233 South Hillview Drive
Milpitas, CA 95035
TEL: (408) 934-7500
FAX: (408) 935-7600

Sipex Corporation reserves the right to make changes to any products described herein. Sipex does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein; neither does it convey any license under its patent rights nor the rights of others.

ANEXO B

MATERIALES Y FRECUENCIAS TÍPICAS DE EMISIÓN DE LOS LEDS

FRECUENCIA	COLOR	MATERIAL
940	Infrarrojo	GaAs
890	Infrarrojo	GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660	Rojo profundo	GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630	Rojo	GaAsP/GaP
626	Rojo	AlInGaP
615	Rojo - Naranja	AlInGaP
610	Naranja	GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590	Amarillo	AlInGaP
565	Verde	GaP
555	Verde	GaP
525	Verde	InGaN
525	Verde	GaN
505	Verde Turquesa	InGaN/Zafiro
498	Verde Turquesa	InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450	Azul	InGaN/Zafiro
430	Azul	GaN
425	Azul	InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

ANEXO C

ESTÁNDAR VTSCH

The Institute of Transportation Engineers (ITE) is an international educational and scientific association of transportation and traffic engineers and other professionals who are responsible for meeting mobility and safety needs. ITE facilitates the application of technology and scientific principles to research, planning, functional design, implementation, operation, policy development and management for any mode of transportation by promoting professional development of members, supporting and encouraging education, stimulating research, developing public awareness, and exchanging professional information; and by maintaining a central point of reference and action.

Founded in 1930, ITE serves as a gateway to knowledge and advancement through meetings, seminars, and publications; and through our network of more than 15,000 members working in some 80 countries. ITE also has more than 70 local and regional chapters and more than 100 student chapters that provide additional opportunities for information exchange, participation and networking.

Institute of Transportation Engineers
1099 14th Street, NW, Suite 300 West
Washington, DC 20005-3438 USA
Telephone: +1 202-289-0222
Fax: +1 202-289-7722
ITE on the Web: www.ite.org

© 1997 Institute of Transportation Engineers. All rights reserved.
Publication No. ST-017B
300/IG/102

ISBN: 0-935403-16-7
Printed in the United States of America

chapter 2

Vehicle Traffic Control Signal Heads

This report was approved as an Equipment Standard of the Institute of Transportation Engineers in April 1985. It supersedes the Proposed Revised Standard dated May 1984.

This equipment standard was developed and approved in accordance with formally adopted Institute procedures, which are designed to help ensure that all interested parties are given opportunities to provide input. All input received has been considered in order that the report would represent the best consensus obtainable on the state of the art at the time of approval.

Any requests for revisions must be submitted to the Director of Technical Affairs, Institute of Transportation Engineers, 525 School Street, S.W., Suite 410, Washington, D.C. 20024-2729 USA.

Technical Council Committee 7S-1 was responsible for the development of this standard. Members of this committee were Raj S. Ghaman (chairman) (M); Edward F. Cleary (vice-chairman) (M); Norman C. Barnett (F); Richard J. Bututa (M); Everett J. Childs, Jr. (A); Van G. Cook (A); Ronald G. Goodin; John R. Gray (F); Fred M. Greenberg (A); Michael Miller; David J. Russo (M); Dave Scioli; and Vernon H. Waight (F). Herman E. Haenel (F) was chairman of Technical Council Department 7—Equipment Standards, and Frank Dolan (M) was assistant department chairman.

1.00 Purpose

The purpose of this standard is to provide a guide for the preparation of specifications for vehicle traffic control signal heads. The standard represents the requirements for equipment described herein and is not intended to impose restrictions upon (1) design and materials that conform to the purpose and the intent of this standard or (2) installation of traffic signal heads. Further, this standard is not intended to describe fiberoptic or optically programmable signal heads or components.

2.00 General

2.01 *Definitions*

1. Traffic Control Signal—A device by which traffic is alternately assigned the right-of-way to the various movements at an intersection or other roadway location.
2. Signal Head—An arrangement of one or more signal lenses in signal faces that may be designated accordingly as one-way, two-way, etc.
3. Signal Face—That part of a signal head provided for controlling traffic in a single direction. Turning indications may be included in a signal face.
4. Signal Section—That part of a signal face containing an optical unit.
5. Optical Unit—An assembly of lens, reflector, lamp, and lamp socket with the necessary supporting parts to be used for providing a single signal indication.
6. Signal Indication—The illumination of a traffic signal lens or equivalent device or a combination of several lenses or equivalent devices at the same time.

2.02 *Position of Signal Indications*

Signal indications shall be assembled in accordance with the latest revision of the *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways.*[1]

3.00 Physical and Mechanical Requirements

3.01 *General*

Each vehicle traffic signal head shall consist of an assembly of one or more signal faces.

Each signal face shall consist of an assembly of signal sections to provide the required number of indications. The sections shall be joined together in a manner that provides both mechanical integrity and maximum protection against intrusion of dust and weather.

Each signal section shall consist of a housing, a door, and an optical assembly together with the necessary gaskets.

Each signal section shall be provided with a visor.

Each signal section and its associated optical system shall be capable of operating satisfactorily with the section's axis either vertical or horizontal.

Each signal section shall be provided with openings in the top and bottom (at either end in the case of a horizontally oriented signal section as needed) for mounting purposes. Each opening shall be round to accommodate 1½ inch nominal diameter pipe. Each unused opening shall be closed with a plug or cap.

Each signal face shall be capable of being rotated 360 degrees about its axis, either vertical or horizontal, and shall be capable of being locked at 5-degree intervals. Locking shall be accomplished by the engagement of serrations in the end signal sections engaging with similar serrations in the mounting bracket assembly. Serrations shall be integral with the signal section and designed to permit interlocking of adjacent sections.

3.02 *Strength Requirements*

(It is recognized that each purchaser can require signals to be made up of different materials and also that signal sections may be arranged in various configurations and that certain physical tests may be required by the purchaser. For this purpose an optional strength requirement is included.)

A three-section face made up of all 8-inch or all 12-inch sections, complete with optical units with backplates, shall have backplates extending beyond the side by 8 inches for an 8-inch lens and 5 inches for a 12-inch lens. The entire assembly shall, when supported solely from the top or bottom section, be capable of withstanding the laboratory equivalent of a sustained wind load of 25 pounds per square foot applied perpendicular to the front and rear of the signal face and backplate.[2]

The applied wind loading will be equally distributed among the three sections. "Withstanding" means that the specified load, when applied for a period of 24 hours, shall not cause any damage to the signal face or backplate or any permanent deformation sufficient to result in adverse performance of the signal face. "Adverse performance" means a permanent deflection of more than 10 degrees in either the vertical or horizontal plane after the test load has been removed from the rear of the signal face and more than 6½ degrees in either the vertical or horizontal plane after the test load has been removed from the front of the signal face.

[1] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

[2] An external bracket assembly may be used for supporting or reinforcing signal faces that are to be postop or mast-arm mounted. Such bracket assemblies shall be capable of withstanding the tests specified above.

4.00 Housing, Door, and Visor

4.01 *General*

The door of each signal section shall be hinged to the housing to permit access to the section for relamping. The door shall be secured with simple devices or design features that will hold the door closed when the section is subjected to the loading as specified in section 3.02. Use of tools to open and close doors shall not be required.

4.02 *Dimensions*

Each 8-inch and 12-inch signal section shall be constructed to accommodate the 8-inch and 12-inch nominal dimension optical units.

4.03 *Visors*

Each signal section shall be provided with a visor. Visors will be classified on the basis of lens enclosure as full circle, tunnel (bottom open), or cap (bottom and lower sides open).

The visor shall be a minimum of 9½ inches in length for nominal 12-inch round lenses and 7 inches in length for nominal 8-inch round lenses, with a downward tilt of 3½ degrees.

Each visor shall be mounted on its door in a manner that eliminates the escape of light from the lens between the visor and the door.

Each visor shall be secured to its door in a manner that will prevent its removal by wind. Each visor shall be capable of being oriented for either vertical or horizontal mounting of the signal section.

4.04 *Materials and Fabrication*

1. Each housing shall be made using one of the following methods and materials.

A. Cast from aluminum alloy. Material for die cast housings shall be aluminum alloy S-12A, S-12B, SC-84A, SC-84B, or SG-100B, conforming to the specifications in ASTM Designation B-85-71, or the latest revision thereof. Material for permanent mold castings shall be aluminum alloy S-5A or CS-72A conforming to the requirements of and as listed in ASTM Designation B-108-60T, or the latest revision thereof.

B. Plastic shall be ultraviolet and heat stabilized and conforming to ASTM specifications. Plastic housings may be either molded in one piece or may be fabricated from two or three pieces joined into a single piece using thermal, chemical, or ultrasonic bonding.

2. Each door shall be made of a material that is one of the above materials and which is compatible with the material of the housing.

3. The lens opening in the doors shall provide a visible diameter of not less than 7¾ inches nor more than 8 inches for a nominal 8-inch round lens, and a visible diameter of not less than 11 inches nor more than 11½ inches for a nominal 12-inch round lens.

4. All exterior metal fasteners, including hinge pins, shall be made from stainless steel.

5. Metal visors and backplates shall be made from 0.05-inch minimum thickness aluminum alloy sheets. Plastic visors and backplates shall be a minimum of 0.100 inch thick, either formed from sheet plastic or assembled from one or more injection, rotational, or blow-molded plastic sections.

6. Gasketing material for the optical unit shall withstand temperatures up to 250°F without permanent deformation and discoloration, without adversely affecting the lens, reflector, or lamp.

5.00 Optical Unit

Each optical unit shall consist of an assembly of a lens, a reflector, a lamp, a lamp receptacle, and other components as required.

Each optical unit shall provide as a minimum the light distribution set forth in Section 11.00 when used with the proper lamp and with the appropriate colored lens. Each optical unit shall also meet the chromaticity limits as defined in Section 8.00.

5.01 *Sun Phantom*

Each optical unit, including lens, reflector, lamp, and visor, shall be designed to minimize the return through the lens of outside light entering the lens at low sun angles, to prevent the effect termed *Sun Phantom*.

Sun Phantom is defined as the effect of an outside light source entering the optical unit and being returned in such a manner as to present the appearance of the optical unit being illuminated.

5.02 *Separate Illumination*

Each optical unit shall be so designed that its lens shall be illuminated separately and so assembled within its signal section housing that no light can escape to an adjacent signal section(s).

6.00 Mounting Assemblies

All traffic signal mounting brackets and fittings shall be assembled raintight.

Each mounting fitting in contact with a signal section shall have serrations to match those specified in Section 3.01.

All brackets shall be of sufficient strength to withstand both the vertical loading of the signal faces as well as the horizontal wind loading specified in Section 3.02.

All brackets shall provide a wireway free of sharp edges and protrusions that might damage conductor insulation.

Mast arm slip-fitters and span-wire suspension fittings shall include means for adjusting the signal head to the proper vertical alignment. Signal heads to be span-wire mounted, in addition to the upper suspension fitting, shall be provided with a means for mounting attachments to secure the signal to a lower span wire.

7.00 Exterior Finish

7.01 All exterior parts of metallic signal heads, excepting the lens and parts specified in Section 6.00, but including the mounting and assemblies, shall be finished of the best quality synthetic resin enamel of the color specified by the purchaser. Nonmetallic materials shall have the color completely inpregnated in the material.

7.02 The exterior color of the entire signal head, including the outside of visors, shall be user specified. However, the inside of visors and all surfaces of backplates shall be dull black in color.

8.00 Traffic Signal Lenses

8.01 *Purpose*

The purpose of this section is to define the limits of chromaticity for signal indication colors by combinations of illuminant and redirecting cover lens material.

The specification covers the particular red, yellow, and green colors used in signals.

The lens size shall be 8⅜ inches for nominal 8-inch signal lenses and 12 inches for 12-inch lenses with a minimum rim thickness of 8/32 inches.

8.02 *Basis of Chromaticity Requirements*

The values given in the specifications were derived from spectrophotometric data obtained by the Colorimetry Section, National Bureau of Standards, with

defining glasses selected by a technical committee of the Institute of Transportation Engineers. These values were computed on the following basis:

1. Observer and coordinate system: CIE Standards. (CIE, Commission Internationale d'Eclairage, formerly ICI, International Commission on Illumination.)
2. Illuminant: CIE Illuminant A. Planckian Radiator at 2856 K for values of x, y, and z.
3. Angular distribution of illumination: Approximately at right angles to the surface of the glass.
4. Angle of view: Approximately at right angles to the surface of the glass.

The conditions specified above shall be used in testing lens materials for conformity to this section and the following section of this specification, except that to test a lens for conformity to this section, a photometric procedure must be used similar to that indicated in Section 11.00.

Any color can, in general, be adequately specified in terms of three colorimetric quantities. In the case of the signal colors, the three quantities adequate for the purpose are two numbers defining the chromaticity of the color, i.e., its hue and saturation, and one number defining the luminous transmission of the lens material. Since no two observers would, in general, get the same numbers by direct observation (because of the difference in luminosity function and chroma vision), it is desirable to express such numbers in terms of a hypothetical average normal observer. Such an observer was defined by resolutions adopted at the 1931 meeting of the International Commission on Illumination at Cambridge. (See Figure 1.)

The chromaticity of a color expressed in terms of this 1931 ICI standard observer is given by number x, y, z (called trichromatic coefficients or trilinear coordinates), which may be considered as expressing roughly the respective red, green, and blue contents of the color. Since the sum of x, y, and z always equals unity, the chromaticity is adequately specified by giving x and y only.

The chromaticity of all colors may, therefore, be represented graphically on a "mixture diagram" with values of y plotted against values of x, as seen in Figure 1. Permissible values of chromaticity for the signal colors are represented by certain areas on this diagram; the boundaries of these areas may be expressed as functions of x and y.

8.03 *Materials*

Lenses shall be made of either glass or ultraviolet stabilized plastic; the quality and processing of the material from which the lenses are made shall be of the best for the purpose. The composition must be durable on prolonged exposure to weather; all lenses shall be uniformly colored throughout the body of the material, true to size and form and free from any streaks, wrinkles, chips, or bubbles that in any way prohibit the optical assembly from meeting the candlepower and chromaticity requirements of this specification. If plastic, the material shall conform to the appropriate ASTM specification of the plastic being used.

8.04 *Limits of Chromaticity Coordinates*

Lenses shall be tested as specified in Section 11.00 as part of the optical assembly. The measured chromaticity coordinates shall fall within the following limits:

1. Red lens color: The value of y shall not be greater than 0.308 nor less than 0.998-x.
2. Yellow lens color: The value of y shall not be less than 0.411 nor less than 0.995-x, nor greater than 0.452.
3. Green lens color: The value of y shall not be less than 0.506-0.519x nor less than 0.150 + 1.068x nor more than 0.730-x.

8.05 *Chromaticity Tests*

The purpose of this section is to define the equipment and method of testing for chromaticity of the optical unit.

Trichromatic Coefficients

Trichromatic coefficients of x and y are used to define the color of light emitted by the optical unit.

The lamp used in the optical unit must be operated at voltage and current necessary to supply a color temperature of CIE Illuminant A at 2856 K when measurements are taken.

Equipment

A spectroradiometer, spectrophotometer, or colorimeter equipped with tristimulus filters is to be used to measure chromaticity of the optical unit. The calibration of the instrument should be tested by measurement of a set of certified limit filters used with a test lamp operating at 2856 K.

Position of Reading

The signal section containing the optical unit should be mounted on the goniometer and aimed as defined in Section 11.00. The readings should be taken when the signal is aimed at 0 degrees horizontal and 7½ degrees vertical.

8.06 *Tests by Approved Labs*

If required by the purchaser, certification of conformance shall be furnished by the manufacturer based on results of tests made by an approved laboratory.

8.07 *Labeling*

The lens manufacturer shall place on each lens a label that shall indicate the lens meets the requirements of this specification.

8.08 *Markings on Lens*

Each lens shall have pressed on its flange the word "TOP," if applicable, to indicate the proper positioning of the lens in the door for obtaining the light distribution required, together with the diameter and other designations including the name or trademark of the manufacturer needed for proper identification and help in purchasing replacements.

9.00 Arrow Lenses

9.01 *General*

For use in directing traffic moving in a certain direction during a specific interval, this specification provides for an arrow indication in a standard size signal lens of the type shown on Figure 2.

9.02 *Design*

All lenses shall have a uniform prismatic diffusing or equal interior surface.

9.03 *Color*

The lens shall be of an approved color conforming to previous sections of these standards for the particular color of the lens.

9.04 *Backing*

All lenses shall be covered, except for the arrow, with an opaque material of a thickness sufficient to totally hide the light from a 2000-lumen lamp placed behind it operating at rated voltage. The opaque material shall be hard and durable and shall be bonded such that it will not peel or flake when subject to the heat

of the proper wattage signal lamp when the lens is in use or when the lens is washed. The arrow shall be the only illuminated portion of the lens.

9.05 *Marking*

All lenses will be clearly marked to indicate the maximum wattage of the lamp to be used.

10.00 Reflectors

10.01 *General*

1. Reflectors may be either silvered glass, specular aluminum with anodic coating, or metalized plastic.
2. Reflectors shall be attached to the housing or shall be supported in such a fashion so that the alignment of all optical components is maintained except when purposely dissembled.

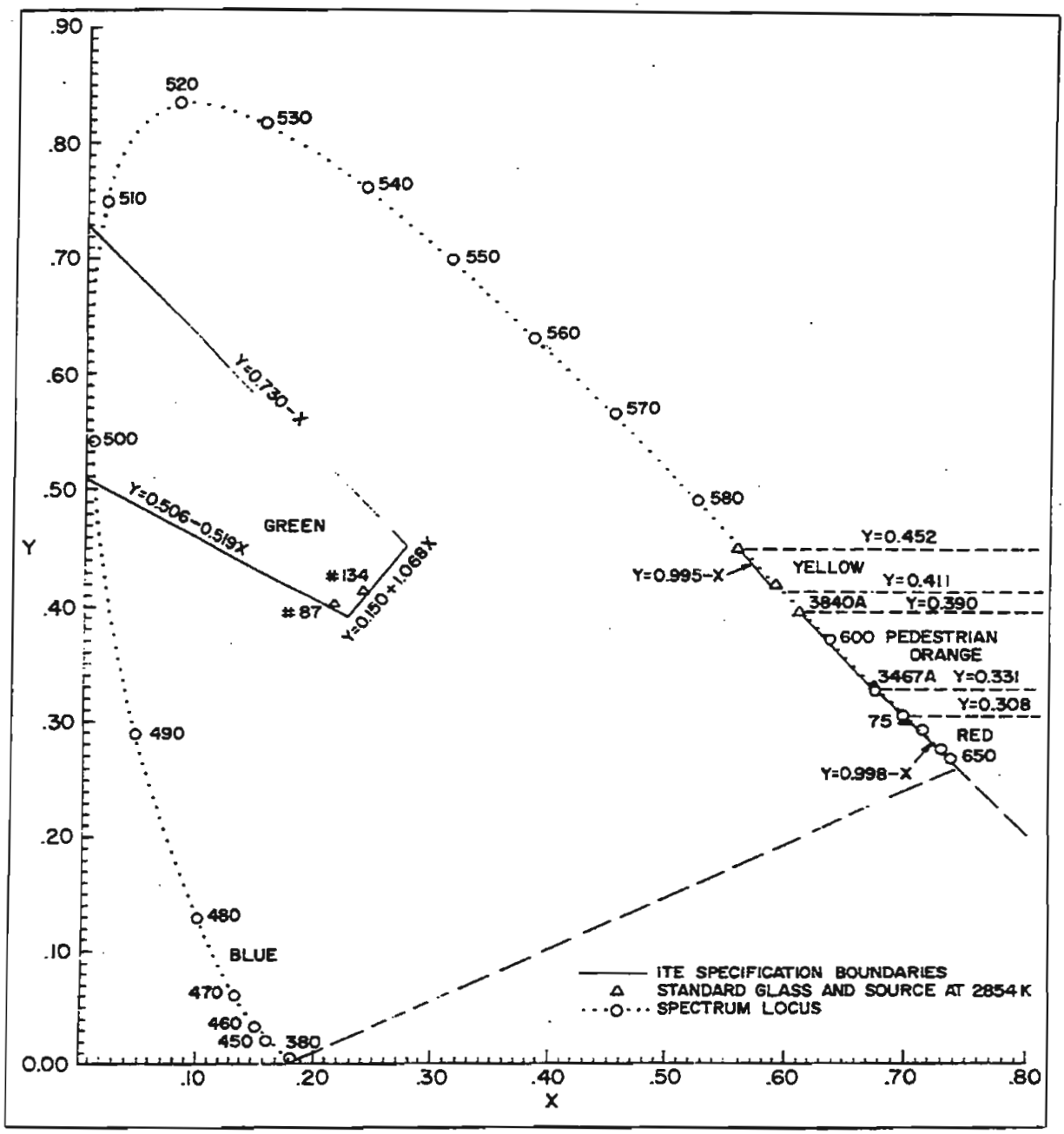


Figure 1. Institute of Transportation Engineers color specification for traffic signal lenses. Chromaticity diagram according to 1931 Commission Internationale d'Eclairage standard observer and coordinate system.

3. The reflector support assembly if used shall be pivoted to the housing, and shall be designed so that it can be swung out or easily removed without the use of any tools.
4. The method of mounting and fastening reflectors shall be sufficiently rigid to secure proper alignment between the lens and reflector when the door is closed.
5. The construction of the signal head and its components shall be such that the fit between the reflector and the lens will eliminate all possibility of false indications.
6. Reflectors shall have an opening in the back for the lamp socket.

10.02 *Glass Reflectors*

1. Glass reflectors shall be made from best-quality clear glass reasonably free from bubbles or ripples with its back surface coated with evenly applied metallic silver, protected with metallic copper, and covered with backing of sufficient thickness so that light from a 2000-lumen incandescent lamp is not visible.

10.03 *Aluminum Reflectors*

Aluminum reflectors shall be formed or spun from 0.025-inch minimum thickness aluminum sheet. The outer edge shall be provided with a bead or flange to ensure the reflector being held to shape.

The reflecting surface shall be specular with a protective anodic coating and shall be electrochemically brightened prior to anodizing. The finished surface shall be highly resistant to corrosion, abrasion, staining, and discoloration; the long-term effects of light, heat, and aging; and shall be such that fingerprints may be easily removed with a soft cloth. In addition, the reflecting surface shall be free of scratches in the anodized coating. Acceptance testing of aluminum reflectors will, in addition to candlepower distribution and chromaticity of the optical unit, include subjecting the sample reflectors to the tests and inspection of Section 10.05.

10.04 *Metalized Plastic Reflectors*

Plastic reflectors shall be made of a material that will not distort when the reflector is used with a lamp of the wattage necessary to meet the candlepower distribution requirements of Section 11.00. The reflector surface, prior to being coated with reflective material, shall be reasonably free of surface imperfections. In addition, the UL nonmechanical loading temperature rating of the material shall exceed, by at least 18°F, the maximum observed temperature in the optical unit with the lamp "ON" and measured in an ambient air temperature of 77°F in accordance with UL Publication UL746B. Acceptance testing of plastic reflectors will, in addition to candlepower distribution and chromaticity of the optical unit, include subjecting the sample reflectors to the tests and inspection of Section 10.05.

10.05 *Test and Inspection*

The reflector shall meet the following test: the reflector shall first be immersed for 24 hours at room temperature in a solution composed of tap water and 20 percent by weight of salt. It shall then be removed from the salt solution and rinsed in clear water, after which it shall be placed in clean water that is maintained at a temperature of 185°F for 4 hours. After that heating, the reflector shall be removed from the water and placed in dry air at 185°F for 4 hours.

After the above test the reflector shall show no chipping, cracking, or softening of the coatings and shall show no separation of the coating into layers or from the reflective surface of the reflector. Although a change in the color of the clear coating on aluminum and plastic reflectors will likely occur during this test, a reflector is considered to have failed only if there is an absence of the protective coating following this test.

If required by the purchaser, certification as to conformance to these specifications shall be furnished by the manufacturer.

11.00 Laboratory Tests & Inspection of Optical Unit

A signal section containing an optical unit of the type to be provided shall be laboratory tested. Separate tests will be conducted on each color lens. Each signal section must provide the candlepower values as called for in Section 11.04 for the color and nominal size being tested. Each optical unit will provide chromaticity coordinates which lie

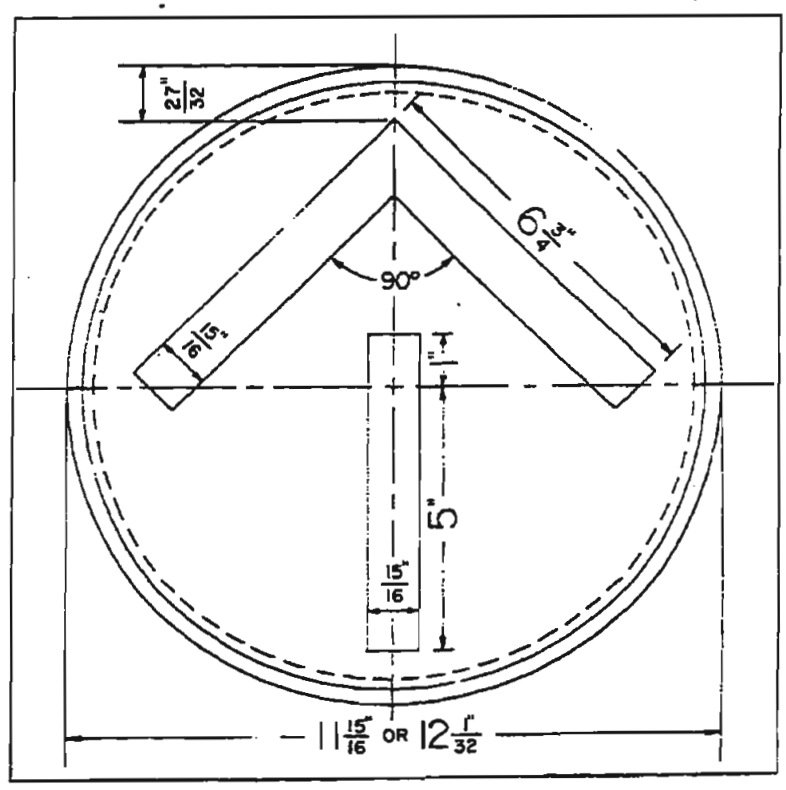


Figure 2. Twelve-Inch Arrow Lens.

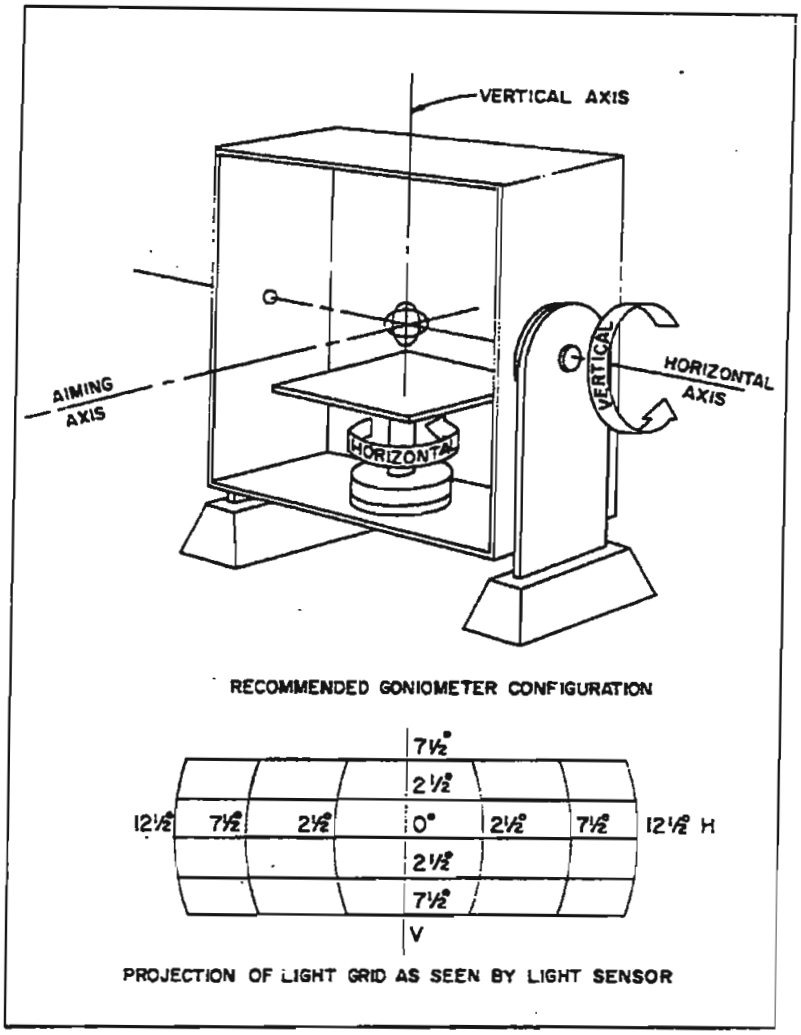


Figure 3. Test Apparatus.

within the boundaries defined in Section 8 and as shown on Figure 1.

No visor is to be attached to the signal section during testing. The lighted signal shall appear to be illuminated over its entire surface when viewed from the usual angles encountered in service.

11.01 *Candlepower Tests*

The purpose of this section is to define the test equipment to be used, alignment procedures, and candlepower values required from the optical units.

11.02 *Test Apparatus*

1. Goniometer—The goniometer shall be similar to the type shown in Figure 3, but must provide the rotational axes as depicted in this figure.

   The mounting table for the signal section shall be parallel to the plane defined by the horizontal axis and the aiming axis of the goniometer ±0.25 degrees.

2. Photometer—The response of the photoelectric cell or photomultiplier tube of the measuring device shall be calibrated to match the human eye response curve of the CIE 1931 Standard Observer, and shall be linear in relation to signal light intensity to be encountered during testing.

3. Power Supply—A regulated power supply is to be used in the operation of the lamp while testing is being conducted. Direct current power supplies are preferred for their stabilized output.

4. Lamps—Only seasoned and calibrated test lamps shall be used.

   Test lamps shall be seasoned for 1% of the rated lamp life but no less than 100 hours prior to calibration. The lamp envelope shall be clear with the opening between filament ends up.

   Test lamps will be operated at the voltage and current necessary to maintain a color temperature of CIE Illuminant A between 2600 K and 2856 K during the photometry testing of the signal.

   Test lamps will have a nominal 2-7/16-inch light center length for 8-inch signals and a 3-inch light center length for 12-inch signals.

   Intensity readings from the signal section being tested will be corrected by a lamp correction factor (LCF) necessary to adjust the difference of the lumen output of the test lamp at 2856 K to 665 lumens for 8-inch signals and 1950 lumens for 12-inch signals.

   For example, the LCF for a 60-watt test lamp having an output of 632 lumens is as follows:

$$LCF = \frac{\text{Lumen Requirement}}{\text{Test Lamp Lumens}}$$

$$= \frac{665}{632}$$

$$= 1.052$$

Test reading at 2½° down, 2½° left, is 352 candelas x 1.052 = 370 candelas (Report Value x LCF). Note: It is possible to have an LCF less than 1.00.

11.03 *Alignment of Optical Unit for Test*

1. It is recommended that the test distance between the goniometer pivot axis and light sensor shall be 25 feet.
2. The aiming axis shall be perpendicular to the horizontal and vertical axes of the goniometer. (See Figure 3).
3. The light center (lamp filament) shall be located on the vertical and horizontal axes of the goniometer.
4. The front face of the signal section shall be parallel to the plane defined by the horizontal and vertical axes of the goniometer ±0.25 degrees.
5. The face of the light sensor shall be perpendicular to the aiming axis of the goniometer.

11.04 *Test Points and Minimum Values*

1. Above the horizontal, no maximum or minimum values of light intensity are

specified. Candlepower readings are to be taken at each of the 44 test points defined on the chart in Table 1. All values shown on the chart are minimum candlepower values below the horizontal.

2. Minimum candlepower requirements at each of the 44 test points shall not be lower than 80 percent of the values in Table 1. In addition, no more than 8 points of these test points having values less than 90 percent of Table 1 values will be allowed.

12.00 Lamps

Wattage and Output Standards

Lamps to be used in traffic signal heads must conform to the standards set forth in the Institute of Transportation Engineers' latest Standard for Traffic Signal Lamps.

Test lamps shall be seasoned according to Section 11.02(4).

13.00 Electrical

13.01 *Lamp Receptacles*

The lamp receptacles shall be of heat-resisting material designed to properly position a traffic signal lamp with means for correct filament positioning. Lamp receptacles designed to properly position a medium screw base traffic signal lamp shall accommodate a lamp having a light center length of 2-7/16 inches for an 8-inch section or a light center length of 3 inches for a 12-inch section. The receptacle shall be provided with a lamp grip to prevent the lamp from working loose due to vibration. Provision shall be made on either the lamp receptacle or the reflector holder to permit rotation of the lamp so that the opening between filament ends is up and secure fastening for the retention of the lamp in that position, but shall not permit any change in position of the socket with respect to the optical center of the reflector. The metal portion of the lamp receptacle shall be compatible with brass, copper, or phosphor bronze.

Table 1. Minimum Laboratory Intensity Requirements of Colored Lenses

Test Point		*Candlepower Values (candelas)*					
		8-inch Signal			*12-inch Signal*		
Vertical Angle Down	*Horiz. Angle Left & Right*	*Red*	*Yellow*	*Green*	*Red*	*Yellow*	*Green*
2.5°	2.5°	157	726	314	399	1848	798
	7.5°	114	528	228	295	1364	589
	12.5°	67	308	133	166	770	333
	17.5°	29	132	57	90	418	181
7.5°	2.5°	119	550	238	266	1232	532
	7.5°	105	484	209	238	1100	475
	12.5°	76	352	152	171	792	342
	17.5°	48	220	95	105	484	209
	22.5°	21	99	43	45	209	90
	27.5°	12	55	24	19	88	38
12.5°	2.5°	43	198	86	59	275	119
	7.5°	38	176	76	57	264	114
	12.5°	33	154	67	52	242	105
	17.5°	24	110	48	40	187	81
	22.5°	14	66	29	26	121	52
	27.5°	10	44	19	19	88	38
17.5°	2.5°	19	88	38	26	121	52
	7.5°	17	77	33	26	121	52
	12.5°	12	55	24	26	121	52
	17.5°	10	44	19	26	121	52
	22.5°	7	33	14	24	110	48
	27.5°	5	22	10	19	88	38

13.02 *Wiring*

Each lamp receptacle shall be provided with two color-coded No. 18 or larger lead wires, 600-volt appliance wiring material (AWM), with 30 mil insulation rated at 190°F or with insulation that conforms to Military Specification MIL W-16878D, Type B, with vinyl jacket rated at 190°F securely fastened to the socket, and with sufficient length to reach the terminal block with the reflector fully open. The thermoplastic insulation shall at -34°F be capable of being bent six times around a one-inch mandrel without damage to its insulating properties at rated voltage. Each lead shall have a terminal attached to its end, connection of which to the terminal block in signal shall not require any tools other than a screwdriver. A suitable terminal block for connection of the wires from the signal circuits shall be provided in the signal housing.

chapter 2a

VTCSH Part 2: Light Emitting Diode (LED) Vehicle Signal Modules (Interim)

Vehicle Traffic Control Signal Heads—Part 2: Light Emitting Diode (LED) Vehicle Traffic Signal Modules—An *Interim* Purchase Specification of the Institute of Transportation Engineers, prepared by the ITE Joint Industry and Traffic Engineering Council Committee.

Members of the Joint Industry and Traffic Engineering Council Committee are: T. Darcy Sullivan, P.E. (F), Consultant, Knoxville, TN (Chair); Curtis L. Gobeli, P.E. (M), MnDOT, St. Paul, MN; R. Henry Mohle, P.E. (F), Hank Mohle & Associates, LaHabra, CA; Nathaniel S. Behura, (M), City of Anaheim, Anaheim, CA; John A. Davis, P.E. (M), Lee County Department of Transportation, Fort Myers, FL; George Schongar, NYDOT, Albany, NY; David L. Evans, (A), Hewlett-Packard Company, San Jose, CA; Henri Arcand, Ecolux, Inc., Dorval, Quebec, Canada; Peter A. Hochstein, Relume Corporation, Troy, MI; Gary R. Durgin, (A), Dialight Corp., Manasquan, NJ; Peter Lemme, Marktech International Corp, Latham, NY.

Preface

This Interim Purchase Specification has been prepared to provide guidance to agencies and individuals making decisions regarding the use of Light Emitting Diode (LED) technology as a light-source alternative to incandescent lamps.

The LED modules covered by this specification are sealed units incorporating an LED array, circuitry to drive the assembly, and those optical components needed to satisfy the light distribution pattern. Other devices using LEDs as the light source are available which screw-in to the AC socket in an existing traffic signal housing and use elements of the existing optical assembly to control the light distribution pattern. Optical assemblies made in conformance with ITE's Vehicle Traffic Control Signal Head (VTCSH) standard were designed to operate with a point light source located at a specified distance behind the lens. The use of non-point light source configurations was determined to be outside the scope of this committee's activity. Therefore, screw-in LED lamps used as replacements for incandescent lamps are not covered by this specification.

The specification has been written to reflect what is currently known about LED technology and the needs of the drivers on our streets and highways. While the committee responsible for its preparation believes that it reflects what is known as of the time of preparation, the committee also recognizes that LED technology is evolving rapidly and that we have more to learn about driver needs.

There were several issues upon which the committee was able to reach consensus but unable to reach a unanimous conclusion. The following specification uses the consensus values as default values. **The default values used in the specification should be adequate to meet the needs of most agencies under the majority of conditions. However, those individuals using this specification should carefully review the Technical Notes included in the Appendix and discuss the issues of local concern with anticipated suppliers.** Issues which should be evaluated on a local basis include:

- LED traffic signal modules use very little power and, as a result, have failed to operate properly when used with some older load switches and conflict monitors. While such occurrences are infrequent, failure modes may include flickering and complete blackouts. *Jurisdictions with cabinet hardware which does not meet current NEMA standards should review Technical Note #2 and may choose to either replace older cabinet hardware or to specify modules specifically designed to be compatible with such hardware. In all cases, the matter should be discussed with the selected supplier prior to the awarding of a contract to ensure that the vendor and the agency staff fully understand the underlying issues and the performance criteria to be met before the modules are accepted by the agency.*

- The operating temperature range reflected in the specification was selected to accommodate most geographical areas. *Jurisdictions which use dark colored signal heads and experience temperatures in excess of 100°F should review Technical Note # 3 before making a decision to rely on the default temperature range values.*

- The warranty period reflected in the specification was selected as being adequate to allow sufficient energy cost savings to cover the cost of the conversion to the LED modules. *Jurisdictions should review Technical Note #5 and evaluate local energy and conversion cost data before making a decision to rely on the default warranty period.*

The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) has funded project 5-15, *Visibility Performance Requirements for Vehicular Traffic Signals*, to undertake human factors research to determine the light output required for vehicular traffic signals. Based on a request from ITE, NCHRP has asked that the 5-15 contractor provide preliminary, research-based findings on driver traffic signal intensity needs on an accelerated schedule. It is anticipated that those preliminary findings will be available by mid-1998. ITE will review the preliminary findings and consider revisions to this "Interim" specification. The final results of that research will not be available from NCHRP until the fall of 1999. When that research is available, ITE will review the results and make appropriate changes to this specification. Following approval of any recommended change, the word "Interim" will be removed from the title of this specification.

section 1 Purpose

The purpose of this specification is to provide the minimum performance requirements for 300 mm (12 in) and 200 mm (8 in) LED traffic signal modules. This specification is not intended to impose restrictions upon specific designs and materials that conform to the purpose and the intent of this specification. This specification refers to definitions and practices described in "Vehicle Traffic Control Signal Heads" published in the *Equipment and Materials Standards of the Institute of Transportation Engineers*, referred to in this document as "VTCSH." This specification applies to the circular LED vehicle signal modules purchased after June 17, 1998. Pedestrian and arrow signal modules will be addressed in updates to this specification. This specification is not restricted to any specific LED technology.

section 3 Physical and Mechanical Requirements

3.1 General

LED traffic signal modules designed as retrofit replacements for existing signal lamps shall not require special tools for installation. Retrofit replacement LED signal modules shall fit into existing traffic signal housings built to the VTCSH Standard without modification to the housing.

Installation of a retrofit replacement LED signal module into an existing signal housing shall only require the removal of the existing optical unit components, i.e., lens, lamp module, gaskets, and reflector; shall be weather tight and fit securely in the housing; and shall connect directly to existing electrical wiring.

3.2 LED Signal Module

3.2.1 The retrofit LED signal module shall be capable of replacing the optical unit.

3.2.2 Tinting (Optional)—The lens shall be tinted or shall use transparent film or materials with similar characteristics.

3.2.3 The LED signal module lens may be a replaceable part without the need to replace the complete LED signal module.

3.3 Environmental Requirements

3.3.1 The LED signal module shall be rated for use in the ambient operating temperature range, measured at the exposed rear of the module, of -40°C (-40°F) to +74°C (+165°F).

3.3.2 The LED signal module shall be protected against dust and moisture intrusion per the requirements of NEMA Standard 250-1991, sections 4.7.2.1 and 4.7.3.2, for Type 4 enclosures to protect all internal LED, electronic, and electrical components.

3.3.3 The LED signal module lens shall be UV stabilized.

3.4 Construction

3.4.1 The LED signal module shall be a single, self-contained device, not requiring on-site assembly for installation into an existing traffic signal housing. The power supply for the LED signal module may be either integral or packaged as a separate module. The power supply may be designed to fit and mount inside the traffic signal housing adjacent to the LED signal module.

3.4.2 The assembly and manufacturing process for the LED signal assembly shall be designed to assure all internal LED and electronic components are adequately supported to withstand mechanical shock and vibration from high winds and other sources.

3.5 Materials

3.5.1 Materials used for the lens and signal module construction shall conform to ASTM specifications for the materials where applicable.

3.5.2 Enclosures containing either the power supply or electronic components of the signal module shall be made of UL94VO flame retardant materials. The lens of the signal module is excluded from this requirement.

3.6 Module Identification

Each individual LED signal module shall be identified for warranty purposes.

3.6.1 Each LED signal module shall be identified on the backside with the manufacturer's name and serial number.

3.6.2 The following operating characteristics shall be identified: nominal operating voltage, power consumption, and Volt-Ampere.

3.6.3 Modules shall have a prominent and permanent vertical indexing indicator, i.e., UP ARROW or the word UP or TOP, for correct indexing and orientation inside a signal housing.

3.6.4 Modules conforming to this specification, may have the following statement: "Manufactured in Conformance with the Interim Purchase Specification of the ITE for LED Vehicle Traffic Signal Modules" on an attached label.

section 4

Photometric Requirements

4.1 Luminous Intensity & Distribution

4.1.1 The maintained minimum luminous intensity values for LED traffic signal modules throughout the warranty period, under the operating conditions defined in Sections 3.3 and 5.2.1, and at the end of the warranty period, shall not be less than the values shown in Table 1.

4.1.2 When operating within the temperature range specified in Section 3.3.1 during the warranty period, the maximum luminous intensity for the 8-inch or 12-inch signals shall not exceed 800 candelas for the Red, 1,600 candelas for the Green, and 3,700 candelas for the Yellow.

4.2 Chromaticity

The measured chromaticity coordinates of LED signal modules shall be between 500 nm and 650 nm, conforming to the chromaticity requirements of Section 8.04 and Figure 1 of the VTCSH standard.

4.3 Photometric Maintenance

The manufacturer shall make available a process to test compliance of minimum intensity values in a controlled and independent laboratory during anytime in the warranty period. Alternately, the manufacturer shall make available a portable, calibrated light meter to allow for field measurement of luminous intensity of LED traffic signal modules.

Table 1. Maintained Minimum Luminous Intensity for LED Signal Modules Candlepower Values (candelas (cd))

Vertical Angle Down	*Horiz. Angle Left & Right*	*8-inch Signal*			*12-inch Signal*		
		Red	*Yellow*	*Green*	*Red*	*Yellow*	*Green*
2.5°	2.5°	133	617	267	339	1571	678
	7.5°	97	449	194	251	1159	501
	12.5°	57	262	113	141	655	283
	17.5°	25	112	48	77	355	154
7.5°	2.5°	101	468	202	226	1047	452
	7.5°	89	411	178	202	935	404
	12.5°	65	299	129	145	673	291
	17.5°	41	187	81	89	411	178
	22.5°	18	84	37	38	178	77
	27.5°	10	47	20	16	75	32
12.5°	2.5°	37	168	73	50	234	101
	7.5°	32	150	65	48	224	97
	12.5°	28	131	57	44	206	89
	17.5°	20	94	41	34	159	69
	22.5°	12	56	25	22	103	44
	27.5°	9	37	16	16	75	32
17.5°	2.5°	16	75	32	22	103	44
	7.5°	14	65	28	22	103	44
	12.5°	10	47	20	22	103	44
	17.5°	9	37	16	22	103	44
	22.5°	6	28	12	20	94	41
	27.5°	4	19	9	16	75	32

section 5 Electrical

5.1 General

All wiring and terminal blocks shall meet the requirements of Section 13.02 of the VTCSH standard. Two secured, color coded, 914 mm (36 in) long 600 V, 20 AWG minimum, jacketed wires, conforming to the National Electrical Code, rated for service at +105°C, are to be provided for electrical connection.

5.2 Voltage Range

5.2.1 LED signal modules shall operate from a 60±3 cycle ac line power over a voltage range from 80 Vac rms to 135Vac rms. The current draw shall be sufficient to ensure compatibility and proper triggering and operation of load current switches and conflict monitors in signal controller units the procuring traffic authority customer has in use.

5.2.2 Nominal operating voltage for all measurements shall be 120±3 volts rms.

5.2.3 Fluctuations in line voltage over the range of 80Vac to 135Vac shall not affect luminous intensity by more than ±10 percent.

5.2.4 The LED circuitry shall prevent flicker at less than 100 Hz over the voltage range specified in Section 5.2.1.

5.3 Transient Voltage Protection

5.3.1 The signal module on-board circuitry shall include voltage surge protection to withstand high-repetition noise transients and low-repetition, high-energy transients as stated in Section 2.1.6, NEMA Standard TS-2, 1992.

5.4 LED Drive Circuitry

5.4.1 The individual LED light sources shall be wired so that a catastrophic failure of one LED light source will result in the loss of not more than 20 percent of the signal module light output.

5.5 Dimming (optional)

5.5.1 The LED signal module circuitry shall be designed to reduce the intensity of the light output in response to diminished ambient light levels. The design of the dimming circuitry shall cause all modules on the same traffic signal light circuit to operate at the same percentage of the maintained minimum luminous intensity at all times.

5.5.2 Dimming, if provided, shall diminish light output to levels established to match threshold ambient light conditions. The dimming may be in stepped increments or may be continuously variable. The minimum light output when dimmed at –2.5°V and 2.5°L and R shall not be less than 30 percent of the maintained minimum luminous intensity for the same coordinates.

5.6 Electronic Noise

The LED signal and associated on-board circuitry must meet Federal Communications Commission (FCC) Title 47, SubPart B, Section 15 regulations concerning the emission of electronic noise.

5.7 Power Factor (PF) and AC Harmonics

5.7.1 LED signal modules shall provide a power factor of 0.90 or greater when operated at nominal operating voltage, and 25°C (77°F).

5.7.2 Total harmonic distortion induced into an ac power line by an LED signal module, operated at nominal operating voltage, with a power consumption equal to or greater than 15 watts at 25°C (77°F) shall not exceed 20 percent. Total harmonic distortion induced into an ac power line by an LED signal module, operated at nominal operating voltage, with a power consumption less than 15 watts at 25°C (77°F) shall not exceed 40 percent.

5.8 Failed State Impedance (Optional)

5.8.1 The module shall be designed to sense a loss of light output due to catastrophic LED failures of between 25 and 40 percent. Loss of light output due to LED failure will not be detected for losses of less than 25 percent but will be detected for any loss of light greater than 40 percent. The unit, upon sensing a valid loss of light, shall present an impedance of 500 Kohms to the AC line.

section 6 Quality Assurance

6.1 General

6.1.1 Quality Assurance Program
LED signal modules shall be manufactured in accordance with a vendor quality assurance (QA) program. The QA program shall include two types of quality assurance: (1) design quality assurance, and (2) production quality assurance. The production quality assurance shall include statistically controlled routine tests to ensure minimum performance levels of LED signal modules built to meet this specification.

6.1.2 Record Keeping
QA process and test results documentation shall be kept on file for a minimum period of seven years.

6.1.3 Conformance
LED signal module designs not satisfying design qualification testing and the production quality assurance testing performance requirements in Sections 6.3 and 6.4 shall not be labeled, advertised, or sold as conforming to this specification.

6.2 Manufacturers Serial Numbers

Each LED signal module shall be identified by a manufacturer's serial number for warranty purposes. Identification of the component and sub-assembly level may be required if the reliability and performance of the module must be traceable to the original item manufacturer(s).

6.3 Production Quality Assurance (QA) Testing

All new LED signal modules shall undergo the following Production Quality Assurance testing prior to shipment. Failure of any LED signal module to meet requirements of these QA tests shall be cause for rejection. QA test results shall be maintained per the requirement of Section 6.1.2.

6.3.1 Signal Module Burn-in
All LED signal modules or the electronic circuitry sub-assemblies, including all LEDs, shall be energized for a minimum of 24 hours, at 100 percent on-time duty cycle, in an ambient temperature of 60°C (+140°F).

Any failure within an LED signal module after burn-in shall be cause for rejection.

6.3.2 Maintained Minimum Luminous Intensity
All LED signal modules shall be tested for maintained minimum luminous intensity after burn-in. A single point measurement (at –2.5°V, 2.5° R or L) with a correlation to the intensity requirements of Table 1 in Section 4.1.1 may be used. The LED signal module shall be operated at nominal operating voltage and at an ambient temperature of 25°C (77°F).

LED signal modules not meeting maintained minimum luminous intensity requirements as per Table 1 in Section 4.1.1 shall be rejected.

6.3.3 Power Factor
All LED signal modules shall be tested for power factor after burn-in per the requirements of Section 5.7.1. A commercially available power factor meter may be used to perform this measurement.

6.3.4 Current
All LED signal modules shall be measured for current flow in Amperes after burn-in. The measured current values shall be compared against current values resulting from design qualification measurements in Section 6.4.4.1. Measured current values in excess of 120 percent of the design qualification current values shall be cause for rejection.

6.3.5 Visual Inspection
All LED signal modules shall be visually inspected for any exterior physical damage or assembly anomalies. Careful attention shall be paid to the surface of the lens to ensure there are no scratches (abrasions), cracks, chips, discoloration, or other defects. Any such defects shall be cause for rejection.

6.4 Design Qualification Testing

Design qualification testing shall be performed on new LED signal module designs, and when a major design change has been implemented on an existing design. The minimum sample quantity of LED signal modules shall be as stated for each test. Failure to meet requirements of any of these tests shall be cause for rejection.

Testing shall be performed once every 5 years or when the module design or LED technology has been changed. Test data shall be retained by the testing laboratory and the LED signal module manufacturer for a minimum period of 5 years.

6.4.1 Burn-in
LED signal modules shall be energized for a minimum of 24 hours, at 100 percent on-time duty cycle, in an ambient temperature of +60°C (+140°F) before performing any design qualification testing. Any failure within an LED signal module after burn-in shall be cause for rejection.

6.4.2 Maintained Minimum Luminous Intensity

6.4.2.1 After burn-in, a random sample of six LED signal modules shall be tested for maintained minimum luminous intensity at each of the 44 points indicated in Table 1, Section 4.1.1. These measurements shall be recorded at an ambient temperature of 25°C after the signal has been operated for 60 min.

6.4.2.2 After burn-in, a random sample of six LED modules shall be tested for maintained minimum luminous intensity. Signals to be tested shall be mounted in a temperature testing chamber so that the lensed portion of the signal is outside the chamber and all portions behind the lens are within the chamber at a temperature of 74°C (165°F). The air temperature in front of the lens of the signal shall be maintained at a minimum of 49°C (120°F) during all tests.

Signals shall be tested for luminous output at 74°C, allowing the signals to achieve thermal equilibrium for 60 minutes, while the signal is energized at nominal operating voltage, at a 100% duty cycle, a single luminous intensity measurement at (-2.5°V, 2.5°R or L) shall be recorded.

A single point correlation measurement, accounting for measurement variables, shall be made at 25°C (77°F). A measurement shall be made at 74°C (165°F) (lens at 49°C (120°F)). The 74°C measurement factored to the 25°C measurement shall be able to be correlated to the requirements of Table 1, Section 4.1.1. Signal modules not meeting this correlation shall be cause for rejection. .

6.4.3 Chromaticity

A sample of two LED signal modules shall be measured for chromaticity per the requirements of Section 4.2. A spectroradiometer shall be used for this measurement. The ambient temperature for this measurement shall be +25°C (+77°F).

6.4.4 Electrical

6.4.4.1 Current. A sample of six LED signal modules shall be measured for current flow in Amperes. The measured current values shall be used for quality comparison of Production Quality Assurance current measurements on production modules. The manufacturer shall provide information (charts, tables, and/or graphs) on the variation in current over time within operating temperatures for the period of the warranty.

6.4.4.2 Power Factor (PF). A sample of six LED modules shall be measured for power factor per the requirements of Section 5.7.1. A commercially available power factor meter may be used to perform this measurement.

6.4.4.3 Total Harmonic Distortion (THD). A sample of six LED modules shall be measured for total harmonic distortion per the requirements of Section 5.7.2. A commercially available total harmonic distortion meter may be used to perform this measurement.

6.4.4.4 Electronic Noise. Sample LED signal modules shall be tested per the requirements of Section 5.6, with reference to Class A emission limits referenced in Federal Communications Commission (FCC) Title 47, SubPart B, Section 15.

6.4.4.5 Controller Assembly Compatibility.

Due to the low load current draw and high off-state impedance of LED signal modules, the following design qualification tests shall be performed to ensure the signal module design is compatible and operates properly with load current switches and conflict monitors in NEMA and Type 170 traffic signal control units.

Before performing the following testing, an LED signal module manufacturer should ascertain which type of signal controller unit(s) the procuring traffic authority customer has in use and tailor these tests to meet the requirements of that type of controller unit(s).

6.4.4.5.1 Load Switch Compatibility. A sample of six LED signal modules shall be tested for compatibility and proper operation with load current switches. Each LED signal module shall be connected to a variable ac voltage supply. The ac line current into the LED signal module shall be monitored for sufficient current draw to ensure proper load switch operation while the voltage is varied from 80 V rms to 135 V rms. Failure of the current draw to ensure proper load current switch operation shall be cause for rejection.

6.4.4.5.2 Signal Conflict Monitor Compatibility. A sample of six LED signal modules shall be tested for compatibility and proper operation with signal conflict monitors. Each LED signal module shall be operated from a 135 V ac voltage supply. A 19.5 kΩ resistor shall be wired in series in the hot line between the LED signal monitor and the ac power supply. A single-pole-single-throw switch shall be wired in parallel across the 19.5 kΩ resistor. A 220 kΩ shunt resistor shall be wired between the hot line connection and the neutral line connection on the LED signal module. Conflict monitor compatibility shall be tested by measuring the voltage decay across the 220 kΩ shunt resistor as follows: The single-pole-single-throw switch shall be closed, shorting out the 19.5 kΩ resistor, allowing the ac power supply to illuminate the LED signal module. Next the switch shall be opened, and the voltage across the 220 kΩ shunt resistor shall be measured for a decay to a value equal to or less than 10 V rms within a time period equal to or less than 100 milliseconds. This test shall be repeated a sufficient number of times to ensure testing occurs at the peak of the ac line voltage cycle.

A voltage decay across the 220 kΩ shunt resistor to a value greater than 10 V rms or a decay time to 10 V rms greater then 100 milliseconds shall be cause for rejection.

6.4.4.6 Nondestruct Transient Immunity. A sample of six LED modules shall be tested for transient immunity using the procedure described in Section 2.1.8, NEMA Standard TS 2-1992.

6.4.5 Mechanical Vibration

Mechanical vibration testing shall be performed on a sample of three LED signal modules per MIL-STD-883, Test Method 2007, using three 4-minute cycles along each x, y, and z axis, at a force of 2.5 Gs, with a frequency sweep from 2 Hz to 120 Hz. The loosening of the lens, of any internal components, or other physical damage shall be cause for rejection.

6.4.6 Environmental

6.4.6.1 Temperature Cycling. Temperature cycling shall be performed on a sample of three LED signal modules per MIL-STD-883, Test method 1010. The temperature range shall be per Section 3.3. A minimum of 20 cycles shall be performed with a 30-minute transfer time between temperature extremes and a 30-minute dwell time at each temperature. Signals under test shall be non-operating. Failure of a module to function properly or any evidence of cracking of the module lens or housing after temperature cycling shall be cause for rejection.

6.4.6.2 Moisture Resistance. Moisture resistance testing shall be performed on a sample of three LED signal modules per NEMA Standard 250-1991 for Type 4 enclosures. Any evidence of internal moisture after testing shall be cause for rejection.

section 7 Warranty Provisions

7.1 Certificate of Compliance

Manufacturers shall provide a Certificate of Compliance to this specification for each shipment of LED signal modules to an end user. Each LED signal module shall be identified per Section 6.2.

7.2 Warranty Provisions

Manufacturers shall provide the following minimum warranty provisions:

7.2.1 LED signal modules shall be replaced or repaired if an LED signal module fails to function as intended due to workmanship or material defects within the first 60 months from the date of delivery.

7.2.2 LED signal modules which exhibit luminous intensities less than the minimum values specified in Section 4.1.1 within the first 36 months of the date of delivery shall be replaced or repaired.

appendix

Technical Note #1: Dimming

Dimming (optional)

The specification provides the user the option to require dimming capability on LED signal modules in response to ambient lighting conditions.

The technology used to dim may be incorporated into the design of the LED traffic signal module. Where dimming is currently provided at an intersection, the existing sensing device can be used to trigger dimming of new LED modules. *Note of CAUTION: The use of devices or technologies designed to dim incandescent traffic signal lamps may damage LED traffic signal modules or cause the modules to malfunction.* Purchasers should inform the supplier of the LED modules of their intent to use the existing sensing device and of the nature of the existing control mechanisms and hardware characteristics.

Technical Note #2: Compatibility of LED Modules with Load Switches and Conflict Monitors

Background

Since LED modules use very little power, some agencies have encountered incompatibility problems with existing load switches and signal conflict monitors in the field, especially if the field equipment is older. Such problems may include flickering of the LED modules, or complete blackouts. Though the occurrence is not very common, it is difficult to estimate the number of incompatible units in the field and the actual potential for such a problem. An agency may choose to replace field equipment, or specify a module that will be compatible with its field equipment, whichever is more economical or feasible to the agency.

Recommendation

While the incompatibility problem with conflict monitors may be avoided by conducting the test specified in section 6.4.4.5.2 of the specification, load switches operating at the reduced levels of LED module load current may still fail to operate correctly. If the agency chooses to specify a compatible unit, the following verbiage may be included in the specifications:

> "A sample of LED signal modules shall be tested for compatibility with existing load switches. Each signal module shall be connected to an AC voltage supply between the values of 80 Vac and 135 Vac, and the line current shall be measured under conditions where the LED signal module has the minimum power consumption. Within each half line cycle, the load current shall temporarily exceed 150 mA to ensure proper triggering of the load switch. The load current shall, after reaching 150 mA, remain continuously above 100 mA for a time span long enough to ensure that the rms load current during this time span is at least 50% of the total rms load current."

It may be wrongly concluded that this requirement may increase the wattage of the LED unit significantly. Please note that the current needed for proper triggering and holding of load switch triacs will not require a continuous high current level but a modification in the current profile. This uneven flow may increase the total harmonic distortion (THD) in the current drawn. This specification will allow for design of low wattage units, if the maximum THD requirement for such low wattage units is set at 0.4, unlike high power units, where the maximum should be 0.2 (see section 5.7.2 of the specification).

Technical Note #3:
Operating Temperature Range and the Impact of Environmental Conditions

Background

An operating temperature range is included in the Interim Specification that is based on standards typical in the electronics industry. Since the light output of LEDs diminishes as ambient temperature increases, internal temperatures substantially in excess of the 165°F upper limit included in the specification could result in unacceptable LED module performance. A study undertaken by ITE as a part of the specification development process indicates that the internal temperature within a traffic signal section is likely to exceed the upper limit of the operating range under certain combinations of signal material, signal color, solar load, and ambient temperature.

Established study boundaries included the following:

- Both 8-inch and 12-inch heads were tested.
- Traffic signal head types included aluminum and polycarbonate both yellow and black in color.
- Ambient temperatures of 90° to 120°F were evaluated.
- Solar loads of 900, 960, 985 and 1,000 watts/m^2 (representative of those experienced at latitudes of 20°, 30°, 40°, and 50° respectively) were evaluated.

In addition to the basic signal head, color, and size combinations previously described, one 8-inch head and one 12-inch head were equipped with vents to permit convection cooling within the signal head cavities. Vents were installed in the back of the red sections and at the bottom of the green sections. The vents used were 2-inches and 3-inches in diameter for the 8-inch and 12-inch heads respectively.

Conclusions

The underlying question, which prompted ITE to initiate the testing, was "Are there environmental and/or geographic conditions that present operating temperatures and conditions beyond what is reflected in the interim specification which would cause an additional reduction in the luminous intensity of an LED module?"

The following test conditions produced temperatures internal to the red indication housing which exceeded the upper limit of the operating temperature range defined in the interim specification:

- Solar loads equivalent to those typically encountered at 40° or less latitude with ambient temperatures of 110°F or higher within 8-inch black plastic heads
- Solar loads equivalent to those typically encountered at 30° or less latitude with ambient temperatures of 120°F or higher within 12-inch black plastic heads

None of the other color/material combinations resulted in internal temperatures in excess of 164°F at any solar load/ambient temperature combination. Venting of the signal heads was found to be an effective means of reducing temperatures within the heads to a point within the operating temperature range reflected in the specification.

Recommendation

Agencies which use 8-inch black plastic signal housings **and** are located at or less than 40° latitude **and** regularly experience ambient air temperatures in excess of 110°F should approach the use of LED modules (with an upper limit operating temperature of 164°F) with caution. The use of 12-inch modules in black plastic housings should also be approached with caution but the critical range is limited to 30° latitude or less **and** an ambient air temperature of 120°F or higher.

Modification of the operating temperature range to provide an upper limit of 81°C (178°F) would result in maintenance of the required light output under all of the conditions tested. The use of vents or other means of controlling the internal temperature may be an appropriate alternative to modifying the operating temperature range.

Technical Note #4: Design Qualification Testing in an Environmental Chamber

Introduction

This technical note addresses the issues implicit in Section 6.4.2.2 Design Qualification Testing. Specifically, this note relates to the testing methodology employed to ascertain compliance with the maintenance of the specified minimum luminous intensity for LED modules at the specified temperatures. The operating temperature for this test has been established to be 74°C (165°F) for the air at the rear of the LED module, and 49°C (120°F) for the air in front of the module.

A method to establish this "dual environment" for design qualification testing and/or subsequent validation of production samples is outlined below.

Test Hardware Description

The testing hardware described below involves an adaptation of existing environmental testing chambers which are normally configured to provide an adjustable hot or cold environment and have provisions for visual or instrumental inspection.

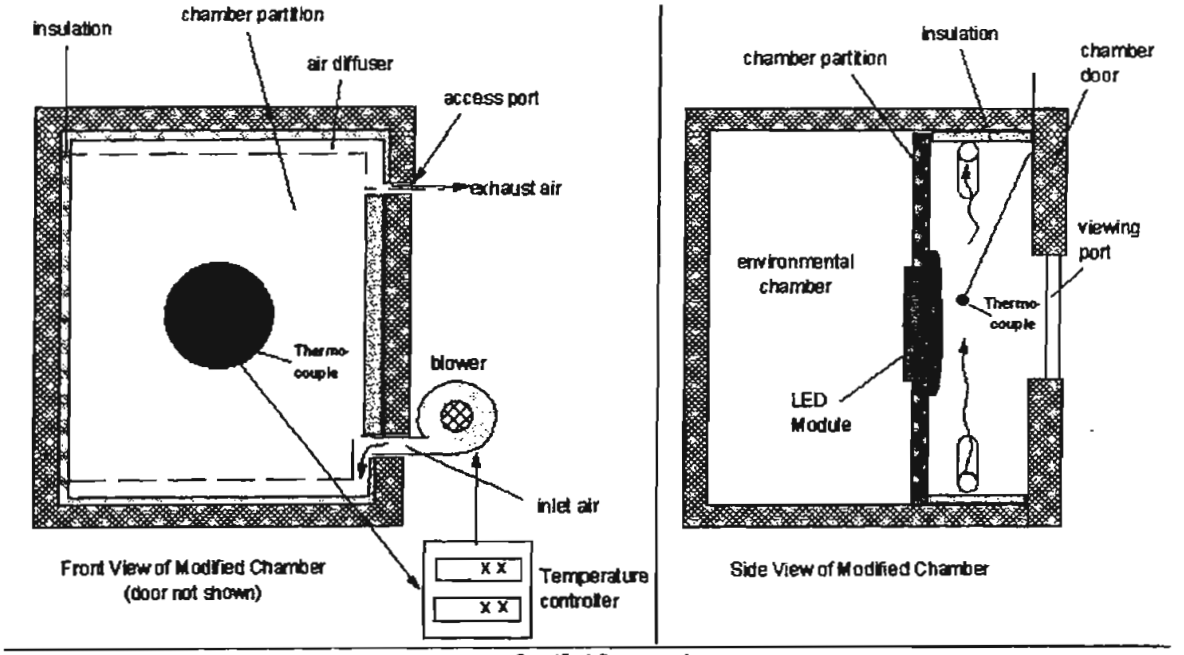
On page 14 is a diagram showing how to achieve a dual temperature environment with an existing commercial environmental test chamber. A plywood chamber divider, with provision for mounting one or more LED signal modules, is equipped with adequate edge insulation to partially isolate the front partition of the test chamber from the rear section.

The front chamber section can be maintained at the required 49°C (120°F) while the rear portion is held at 74°C (165°F) by applying the correct amount of insulation to the chamber divi-der wall. This passive method, while certainly very low in cost, requires a fair amount of experimentation. In light of currently available, moderately priced temperature controllers, an active system is clearly preferable and is described below.

Shown in the page 14 diagram, a small centrifugal blower is used to induce ambient air (nominally 20°C [68°F]) into the front portion of the chamber. This ambient air is used to dilute the heated air that collects in the forward chamber due to heat transfer through the divider wall. A diffuser allows for proper air mixing, and an exhaust port permits heated air to escape from the front chamber to ambient. As noted, a self-optimizing (auto-tuning) P.I.D. set point controller is used to maintain the front chamber at an air temperature of 49°C (120°F). A type K thermocouple, mounted nominally 20 mm from the front lens of the LED module, may be used as the sensing element. The temperature controller specified can be used to operate the small blower in on-off, time proportioning mode so that the preset (49°C) air temperature is maintained. All heat addition is due to conduction through the divider wall, from the environmental chamber (74°C), and minimally from the operating LED module. Front chamber temperature is maintained by controlling the heat loss by means of ambient air induction.

Note that while this approach is very easy to implement, its success is only possible because of the sophisticated, yet low-cost controller. The specified microprocessor-based, autotuning controller (or equivalent device) allows for (2°C set point maintenance over a wide range of operating variables. Establishing the correct loop parameters is made easier because the controller learns the optimal control variables in under two hours of operation. These settings are then stored in memory and are automatically applied to all subsequent tests that require similar testing environments.

8.4a Figure 1: Diagram of Proposed Testing Hardware



Specified Components

1. Chamber partition: Plywood, 3/4 inch to fit chamber interior dimensions
2. Insulation: Rigid Styrofoam insulation board, 1 in. (Dow)
3. Blower: Ametek 11-6679-100; 100 cfm nom., 2 in. discharge port (throttle to 1 inch dia. discharge)
4. Temperature controller: Watlow 965 Series; type K thermo couple

Technical Note #5
Warranty

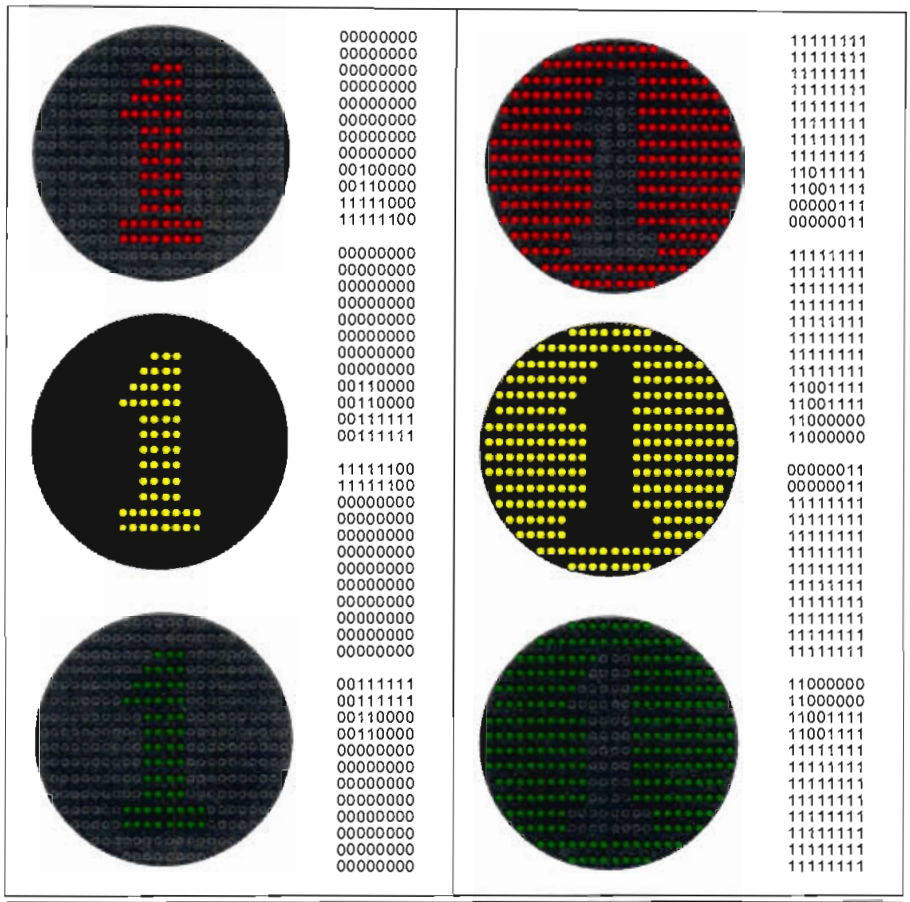
Warranty

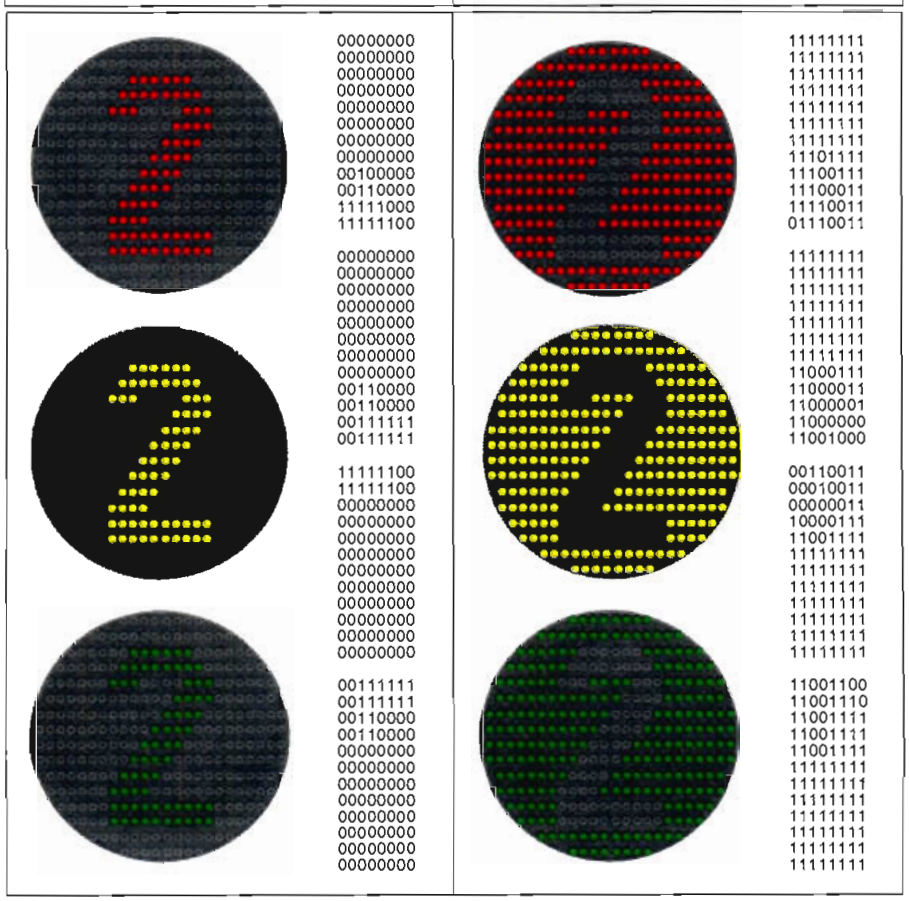
The specification includes a suggested warranty period of 36 months for the loss of luminous intensity. The time period selected is based on an estimate of the module life required to recover the cost of the module through savings from reduced energy use. Users may specify a warranty period that better meets their needs.

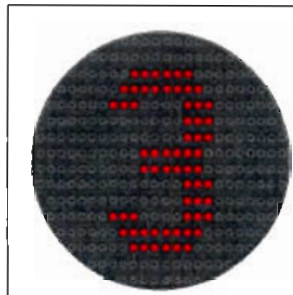
The warranty period may be determined by the users from a life cycle cost analysis procedure that reflects local energy costs and other factors such as the cost of labor and equipment to replace modules that fail, and the cost of routine and emergency replacement of incandescent lamps.

ANEXO D

TABLAS DE DATOS Y FIGURAS PARA EL PROTOTIPO


00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00100000
00110000
11111000
11111100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00110000
00110000
00111111
00111111
11111100
11111100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00111111
00111111
00110000
00110000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11011111
11001111
00000111
00000011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11001111
11001111
11000000
11000000
00000011
00000011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11000000
11000000
11001111
11001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

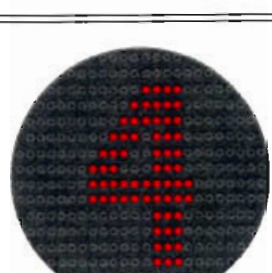

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00100000
00110000
11111000
11111100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00110000
00110000
00111111
00111111
11111100
11111100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00111111
00111111
00110000
00110000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11101111
11100111
11100011
11110011
01110011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11000111
11000011
11000001
11000000
11001000
00110011
00010011
00000011
10000111
11001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11001100
11001110
11001111
11001111
11001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111



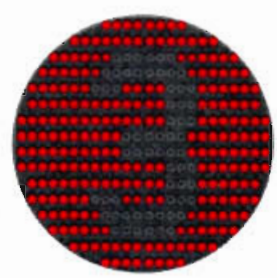
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00010000
00011000
00011100
10001100
10001100
```

```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001000
00011000
00111000
00110001
00110001
```

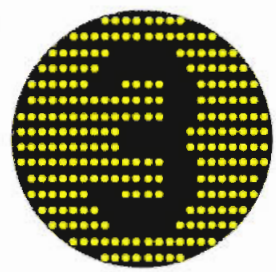
```
10001100
10001100
11111100
11111000
01110000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



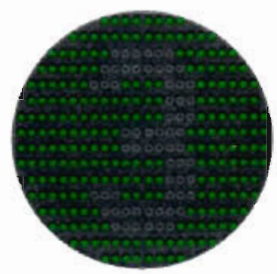
```
00110001
00110001
00111111
00011111
00001110
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



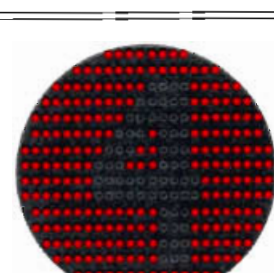
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11101111
11100111
11100011
01110011
01110011
```



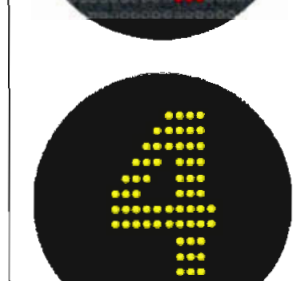
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110111
11100111
11000111
11001110
11001110
```



```
01110011
01110011
00000011
00000111
10001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



```
11001110
11001110
11000000
11110001
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
11100000
01110000
00111000
```

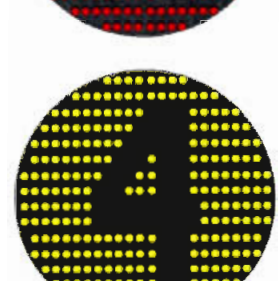
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
```



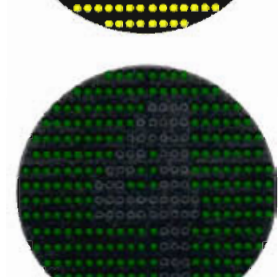
```
00011100
11111100
11111100
11111100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



```
00000011
00111111
00111111
00111111
00000011
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
01111111
00111111
00011111
10001111
11000111
```



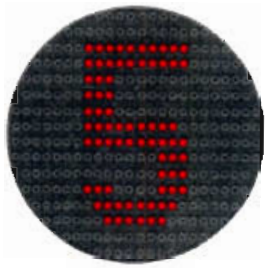
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
```



```
11100011
00000011
00000011
00000011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



```
11111100
11000000
11000000
11000000
11111100
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```

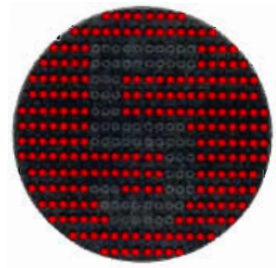


00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11111100
11111100
11111100
10001100
10001100

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001001
00011001
00111001
00110001
00110001

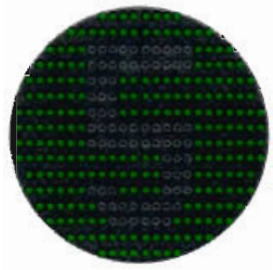
10001100
10001100
10001100
10001100
00001100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

00110001
00110001
00111111
00011111
00001111
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000



11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
00000011
00000011
00000011
01110011
01110011

11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110110
11100110
11000110
11001110
11001110



01110011
01110011
01110011
01110011
11110011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

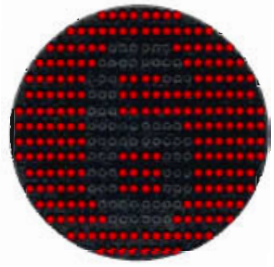
11001110
11001110
11000000
11100000
11110000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11110000
11111000
11111100
10001100
10001100

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001111
00011111
00111111
00110001
00110001

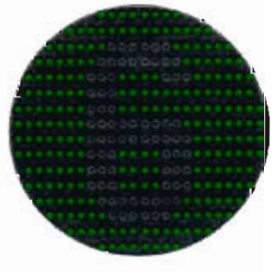
10001100
10001100
10011100
10011000
00010000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

00110001
00110001
00111111
00011111
00001111
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000



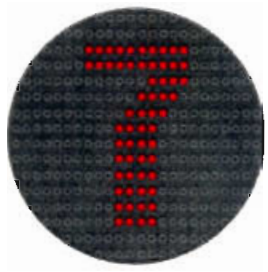
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
00001111
00000111
00000011
01110011
01110011

11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110000
11100000
11000000
11001110
11001110



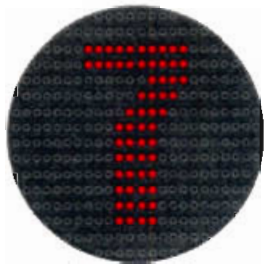
01110011
01110011
01100011
01100111
11101111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

11001110
11001110
11000000
11100000
11110000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

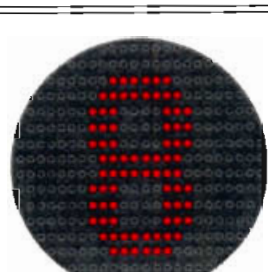


```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001100
00001100
00001100
10001100
11001100
```

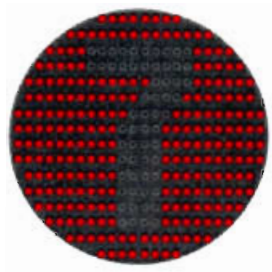
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00111111
00111111
```



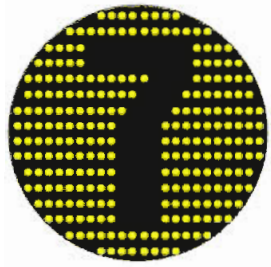
```
11101100
11111100
01111100
00111100
00011100
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



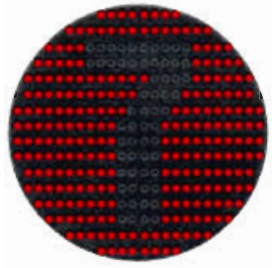
```
00111111
00111111
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



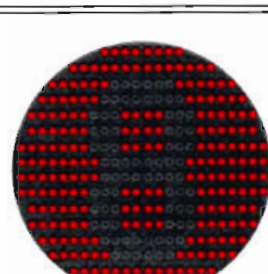
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110011
11110011
11110011
01110011
00110011
```



```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11000000
11000000
```



```
00010011
00000011
10000011
11000011
11100011
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



```
11000000
11000000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



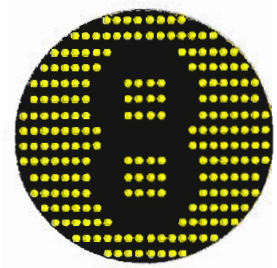
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
01110000
11111000
11111100
10001100
10001100
```

```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001110
00011111
00111111
00110001
00110001
```

```
10001100
10001100
11111100
11111000
01110000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
10001111
00000111
00000011
01110011
01110011
```



```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110001
11100000
11000000
11001110
11001110
```

```
01110011
01110011
00000011
00000111
10001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```

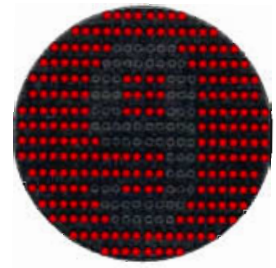


```
00110001
00110001
00111111
00011111
00001110
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

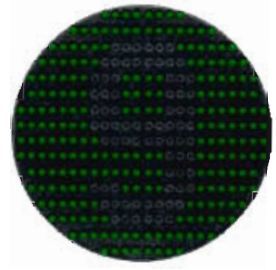


```
11001110
11001110
11000000
11100000
11110001
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```

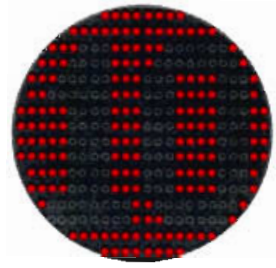
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11110000
11111000
11111100
10001100
10001100

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00001000
00011001
00111001
00110001
00110001

10001100
10001100
11111100
11111000
11110000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

00110001
00110001
00111111
00011111
00001111
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



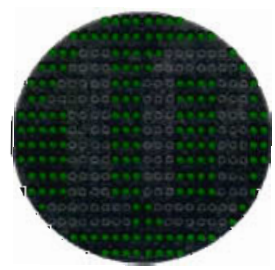
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
00001111
00000111
00000011
01110011
01110011

11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11110111
11100110
11000110
11001110
11001110

01110011
01110011
00000011
00000111
00001111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

11001110
11001110
11000000
11100000
11110000
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



```
00000000
00000000
00000000
00100000
00110000
11111000
11111100
11111100
11111100
00000000
00000000
00000000

00000000
00000000
00000000
00110000
00110000
00111111
00111111
00111111
00111111
00110000
00110000
00000000

11110000
11111000
11111100
00001100
00001100
00001100
00001100
11111100
11111000
11110000
00000000
00000000

00001111
00011111
00111111
00110000
00110000
00110000
00110000
00111111
00011111
00001111
00000000
00000000
```

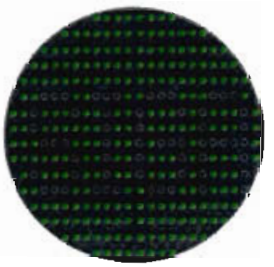


```
11111111
11111111
11111111
11011111
11001111
00000111
00000011
00000011
00000011
11111111
11111111
11111111

11111111
11111111
11111111
11001111
11001111
11000000
11000000
11000000
11000000
11001111
11001111
11111111

00001111
00000111
00000011
11110011
11110011
11110011
11110011
00000011
00000111
00001111
11111111
11111111

11110000
11100000
11000000
11001111
11001111
11001111
11001111
11000000
11100000
11110000
11111111
11111111
```

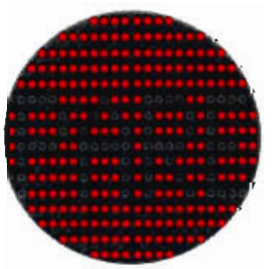


```
00000000
00000000
11000000
00100000
00100000
00100000
01000000
00000000
00100000
11100000
00100000
00000000

00000000
00000000
00000101
00001001
00001001
00001001
00000111
00000000
00001000
00001111
00001000
00000000

11000000
00100000
00100000
00100000
01000000
00000000
11000000
00100000
00100000
00100000
11000000
00000000

00000111
00001000
00001001
00001001
00000111
00000000
00001111
00000001
00000001
00000001
00001111
00000000
```

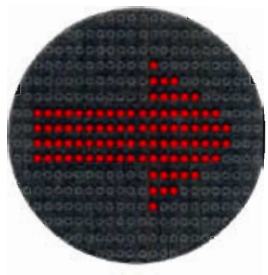
```
00000000
11100000
00100000
00100000
00100000
11000000
00000000
10000000
01000000
00100000
01000000
10000000

00000000
00001111
00000001
00000001
00000001
00000000
00000000
00001111
00000001
00000001
00000001
00001111

00000000
11100000
00100000
00100000
00100000
11000000
00000000
11100000
00100000
00100000
00100000
00000000

00000000
00001111
00000001
00000011
00000101
00001000
00000000
00001111
00001001
00001001
00001000
00000000
```



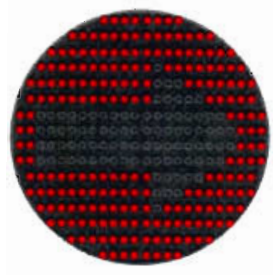
```
11111111
11111111
00111111
11011111
11011111
11011111
10111111
11111111
11011111
00011111
11011111
11111111

11111111
11111111
11111010
11110110
11110110
11110110
11111000
11111111
11110111
11110000
11110111
11111111

00111111
11011111
11011111
11011111
10111111
11111111
00111111
11011111
11011111
11011111
00111111
11111111

11111000
11110111
11110110
11110110
11111000
11111111
11110000
11111110
11111110
11111110
11110000
11111111
```



```
11111111
00011111
11011111
11011111
11011111
00111111
11111111
01111111
10111111
11011111
10111111
01111111

11111111
11110000
11111110
11111110
11111110
11111111
11111111
11110000
11111110
11111110
11111110
11110000

11111111
00011111
11011111
11011111
11011111
00111111
11111111
00011111
11011111
11011111
11011111
11111111

11111111
11110000
11111110
11111100
11111010
11110111
11111111
11110000
11110110
11110110
11110111
11111111
```

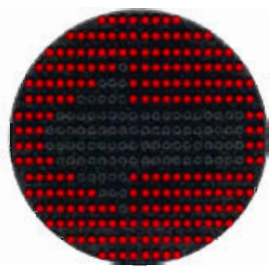


```
00000000
00000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000

00000000
00000000
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011

11000000
11111000
11110000
11110000
11100000
11100000
11000000
11000000
10000000
00000000
00000000
00000000

00000011
00011111
00001111
00001111
00000111
00000111
00000011
00000011
00000001
00000000
00000000
00000000
```



```
11111111
11111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111

11111111
11111111
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100

00111111
00000111
00001111
00001111
00011111
00011111
00111111
00111111
01111111
11111111
11111111
11111111

11111100
11100000
11110000
11110000
11111000
11111000
11111100
11111100
11111110
11111111
11111111
11111111
```

```
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
11000000
11100000
11100000
11110000
11110000
11111000
11000000

00000000
00000000
00000000
00000001
00000011
00000011
00000111
00000111
00001111
00001111
00011111
00000011

11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
11000000
00000000
00000000

00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000011
00000000
00000000
```

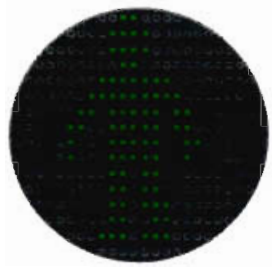


```
11111111
11111111
11111111
01111111
00111111
00111111
00011111
00011111
00001111
00001111
00000111
00111111

11111111
11111111
11111111
11111110
11111100
11111100
11111000
11111000
11110000
11110000
11100000
11111100

00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
00111111
11111111
11111111

11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111100
11111111
11111111
```

1

```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
01100000
00110000
11110110
11111111
11111111

00000000
00000000
00000000
00000000
00000011
00000001
00000000
01000000
01111110
01111111
00000011
00000011

11110110
11110000
00110000
01100000
11000000
10000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

00000111
00001111
00011100
01111000
00110011
00000001
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

2

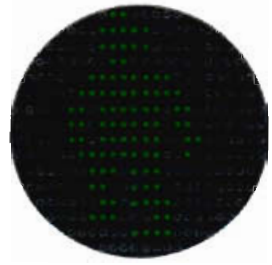


```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
01100000
00110000
11110110
11111111
11111111

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000011
00000000
00000000
01000000
01111111
01111111
00000011

11110110
11110000
00110000
11100000
11000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

01011111
01111111
01110000
00000011
00000001
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

3

```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11000000
01100000
00110000
11110110
11111111
11111111

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000011
01000000
01111110
00111111
01000011
01110011

11110110
11110000
00110000
11100000
11000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

01111111
00001111
00000000
00000011
00000001
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

4



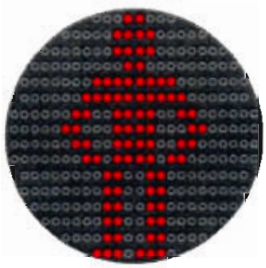
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11000000
11100000
00110000
11110110
11111111
11111111
11110110

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000001
00000011
00101110
00111111
00110111
00000011
01011111

11110000
00110000
11100000
11000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

01111111
01110000
00000000
00000011
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

5

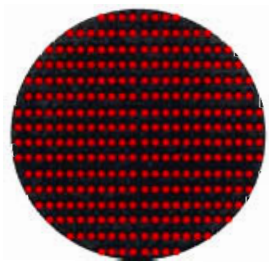
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
11000000
11100000
00110000
11110110
11111111
11111111
11110110

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000001
00101111
00111110
00110011
00000011
00000011
00001111

11110000
00110000
11100000
11000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

01011111
01111000
01110000
00000001
00000011
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```

6

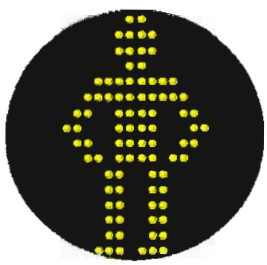
```
00000000
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
01100000
00110000
11110110
11111111
11111111
11110110

00000000
00000000
00000000
00000011
00000001
01000000
01111100
01111110
00000111
00000011
00000011
00000111

11110000
00110000
01100000
11000000
10000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000

00001111
00011100
01111000
00110001
00000011
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



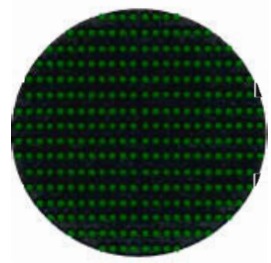
```
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
10000000
11000000
01100000
00110000
00110000
11110110
11111111

00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000001
00000011
10000010
11111100
11111111
00000011

11111111
11110110
00110000
00110000
01100000
11000000
10000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111

11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```



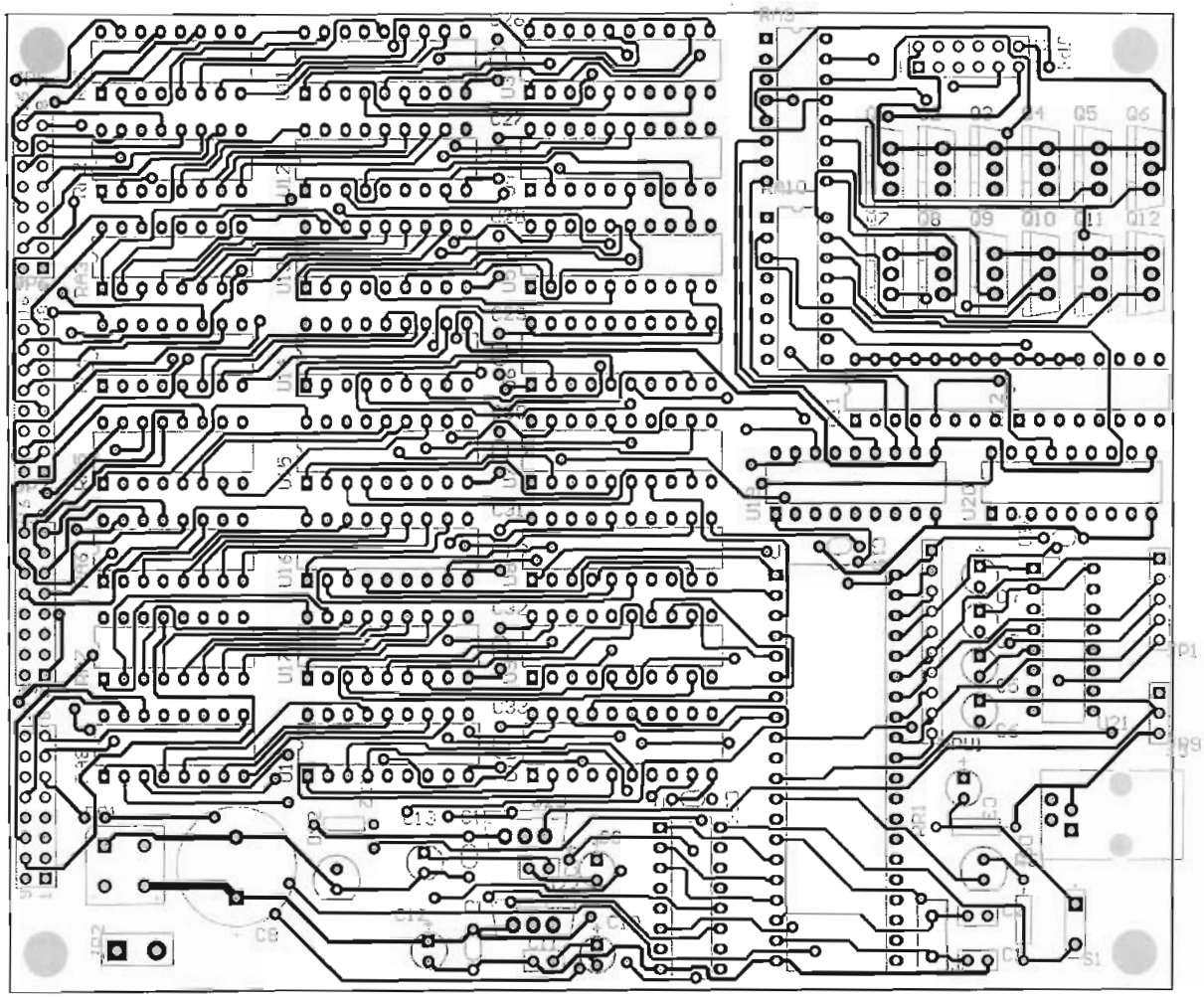
```
10000011
11111111
11111100
00000010
00000011
00000001
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
00000000
```



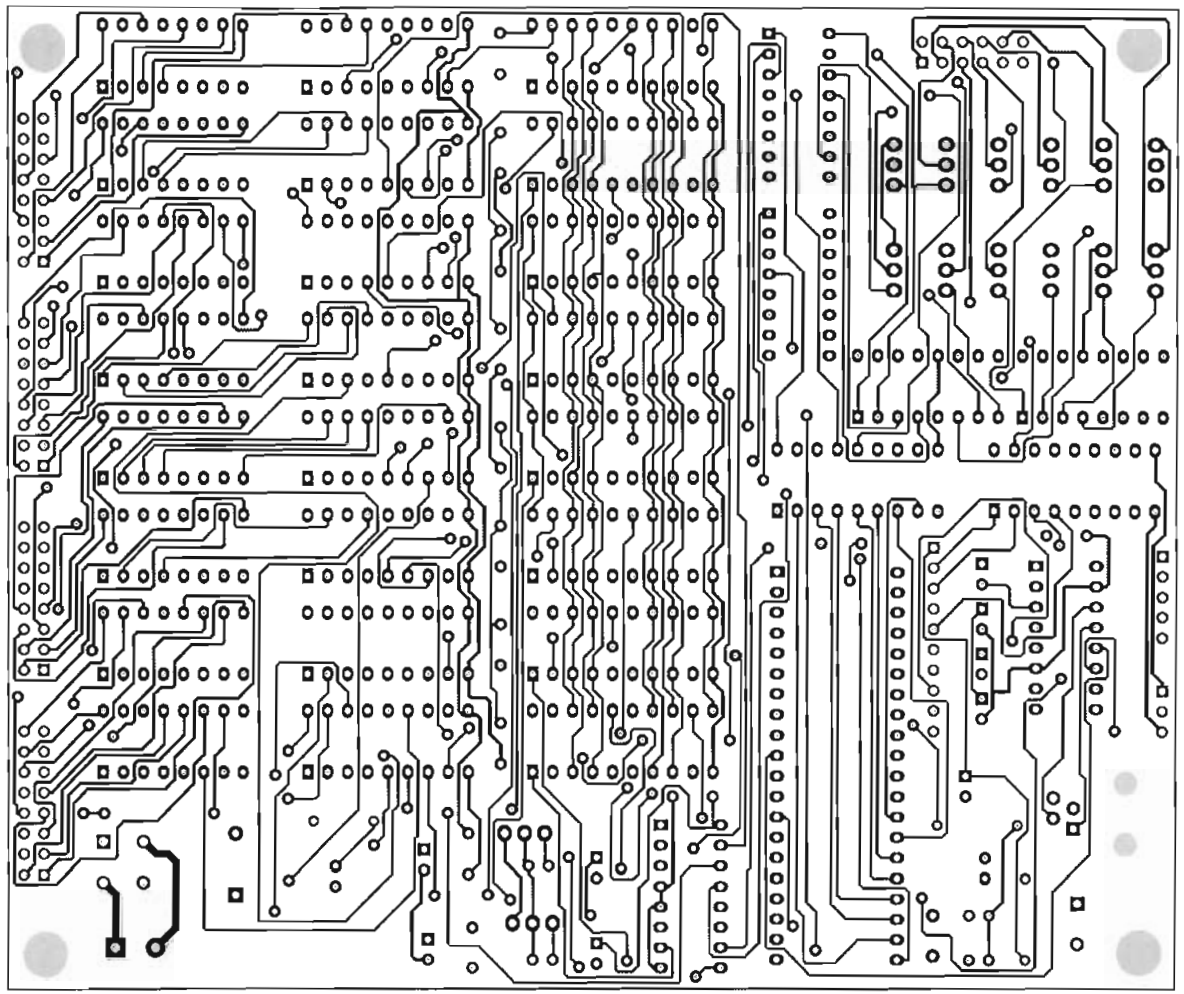
```
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
11111111
```

ANEXO E

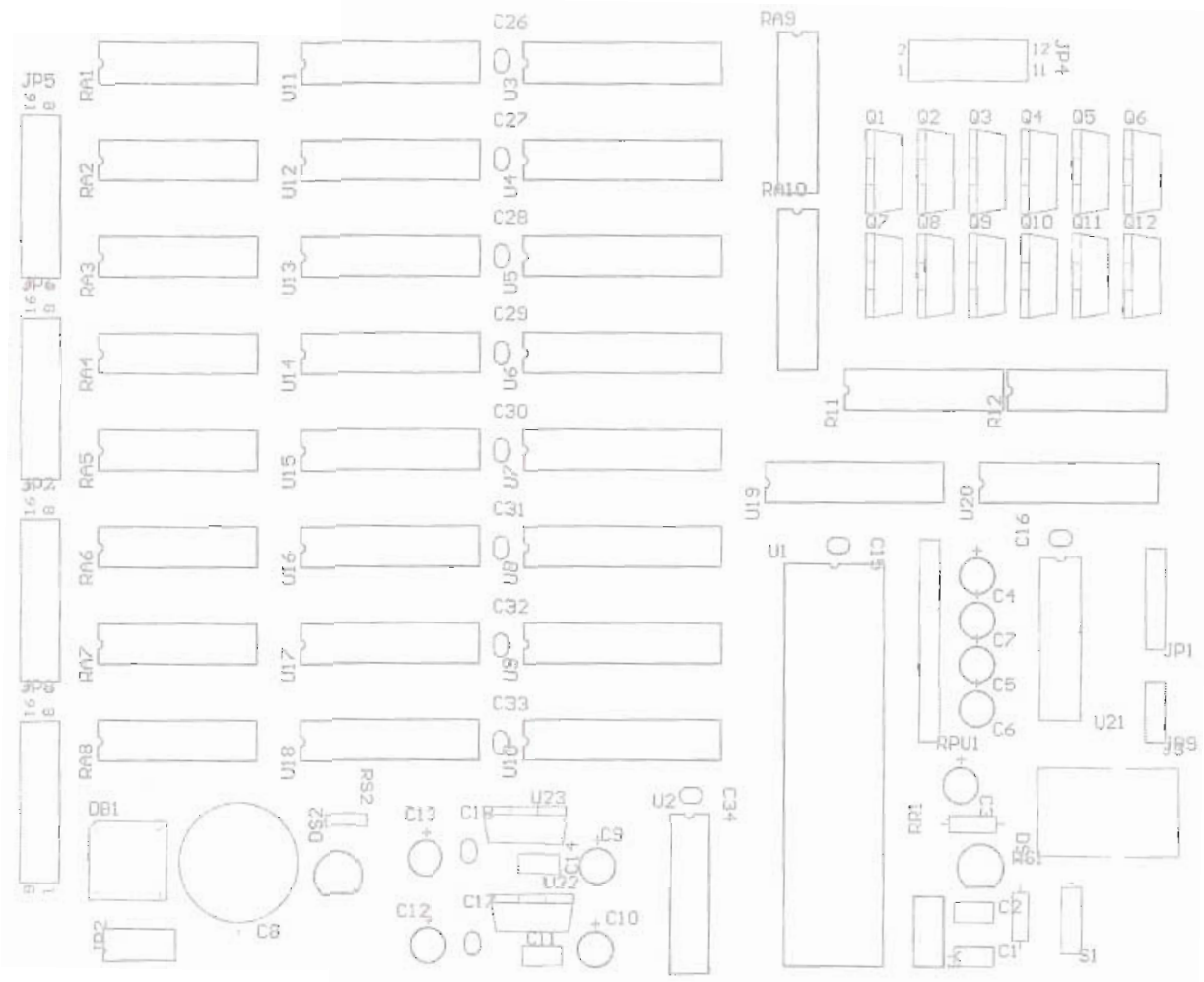
CIRCUITOS IMPRESOS PARA LAS TARJETAS DEL PROTOTIPO



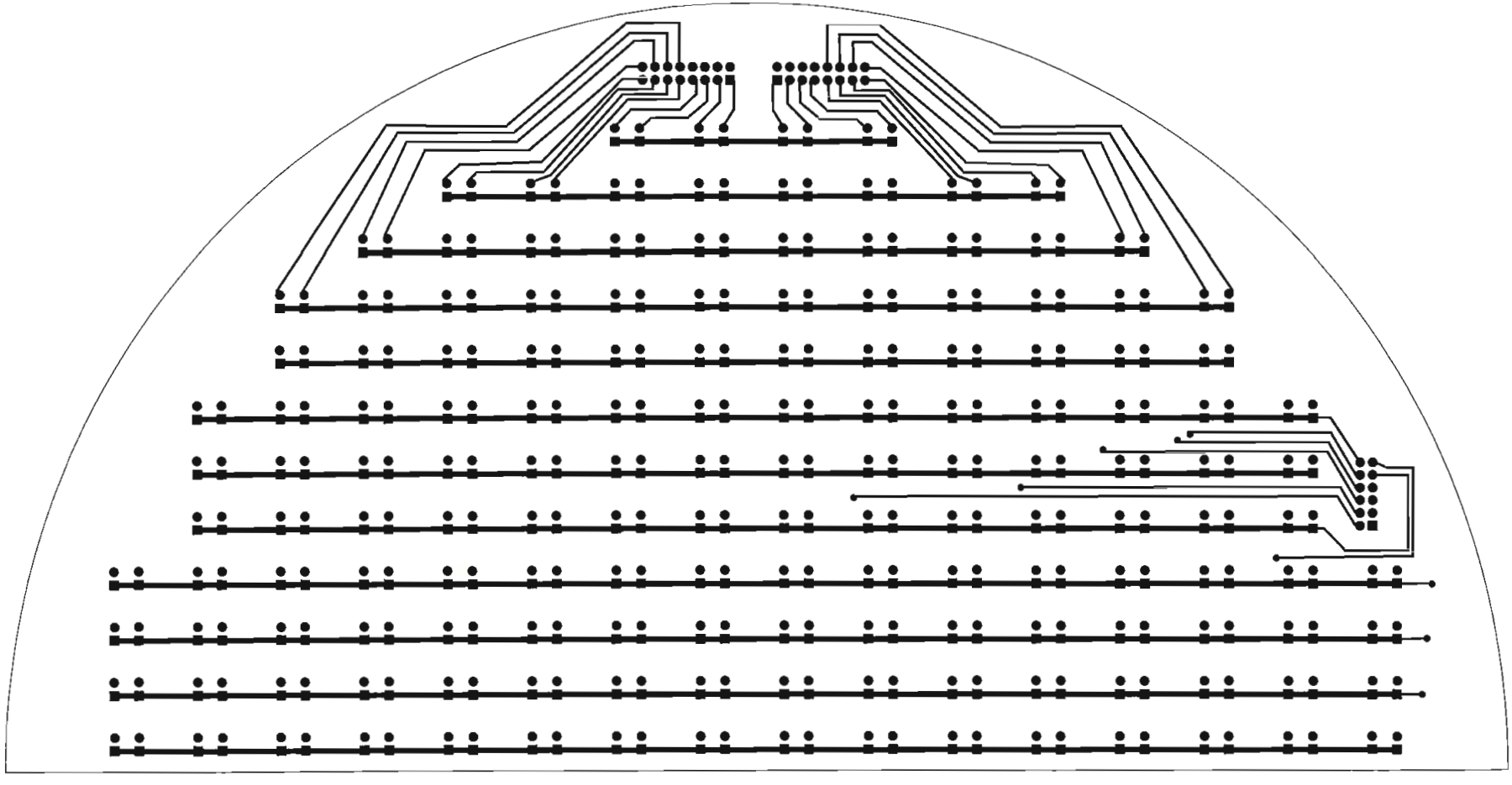
DRIVER: ANVERSO



DRIVER: REVERSO

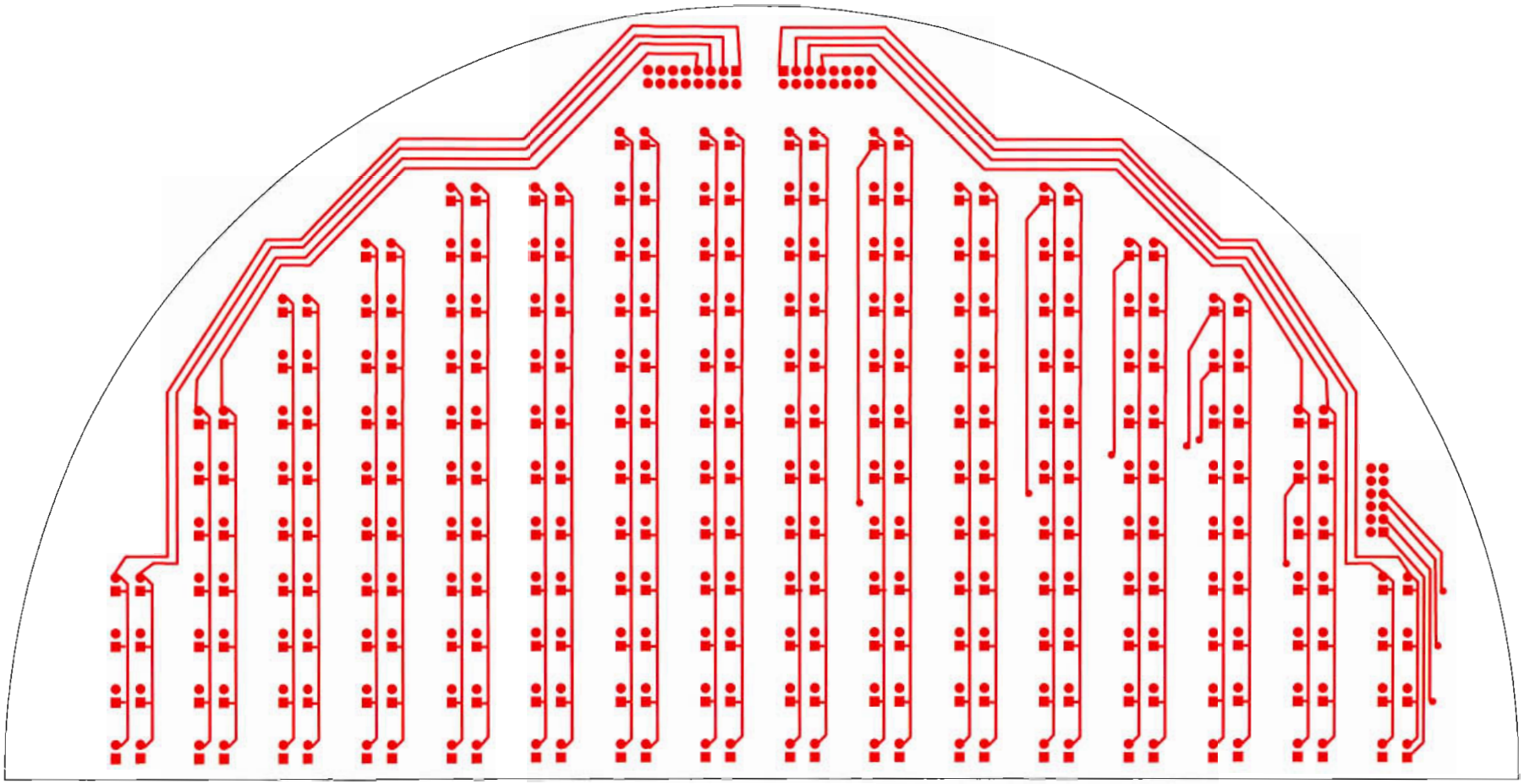


DRIVER: ELEMENTOS



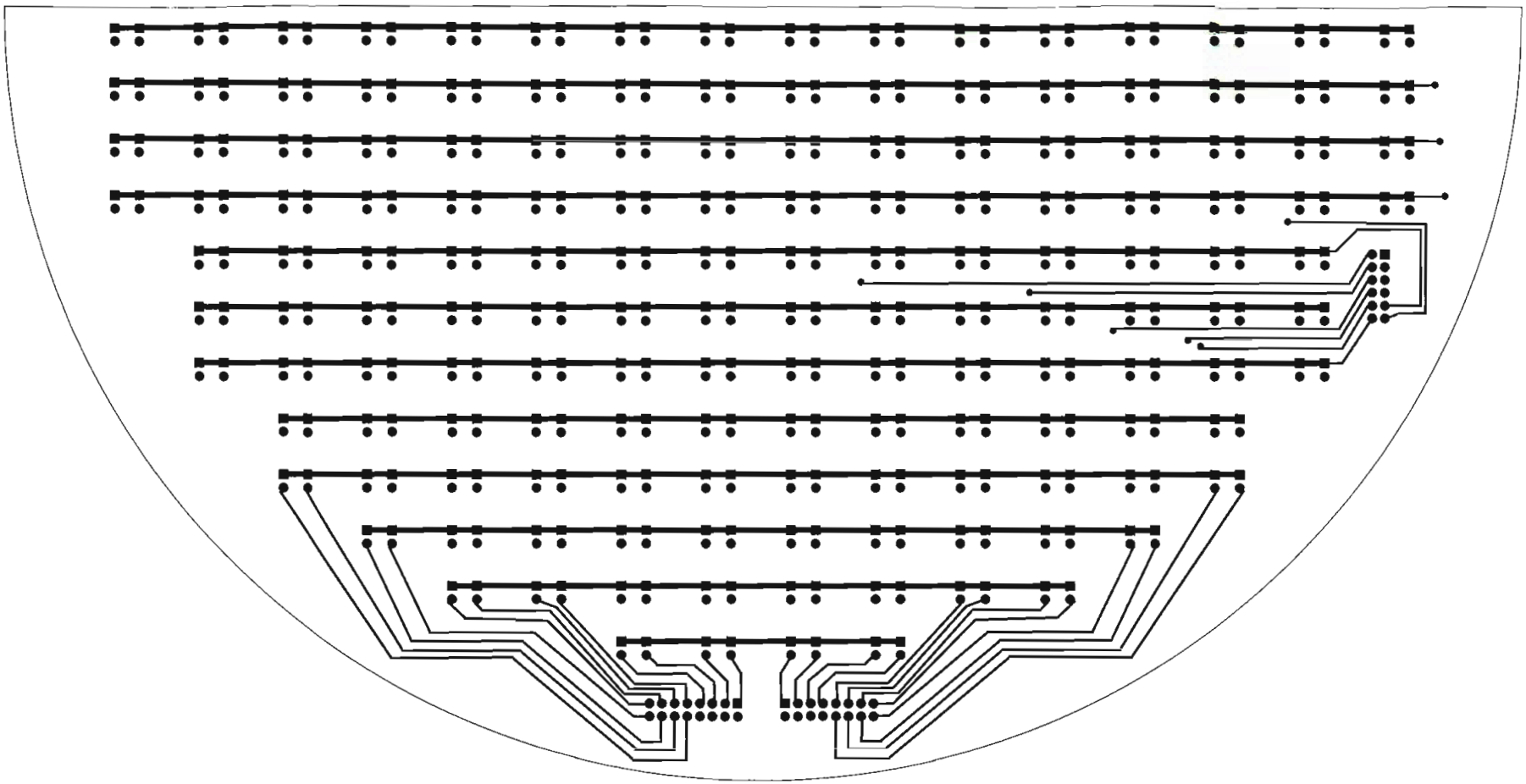
Esc 1:1.25

MATRIZ PARTE 1: ANVERSO



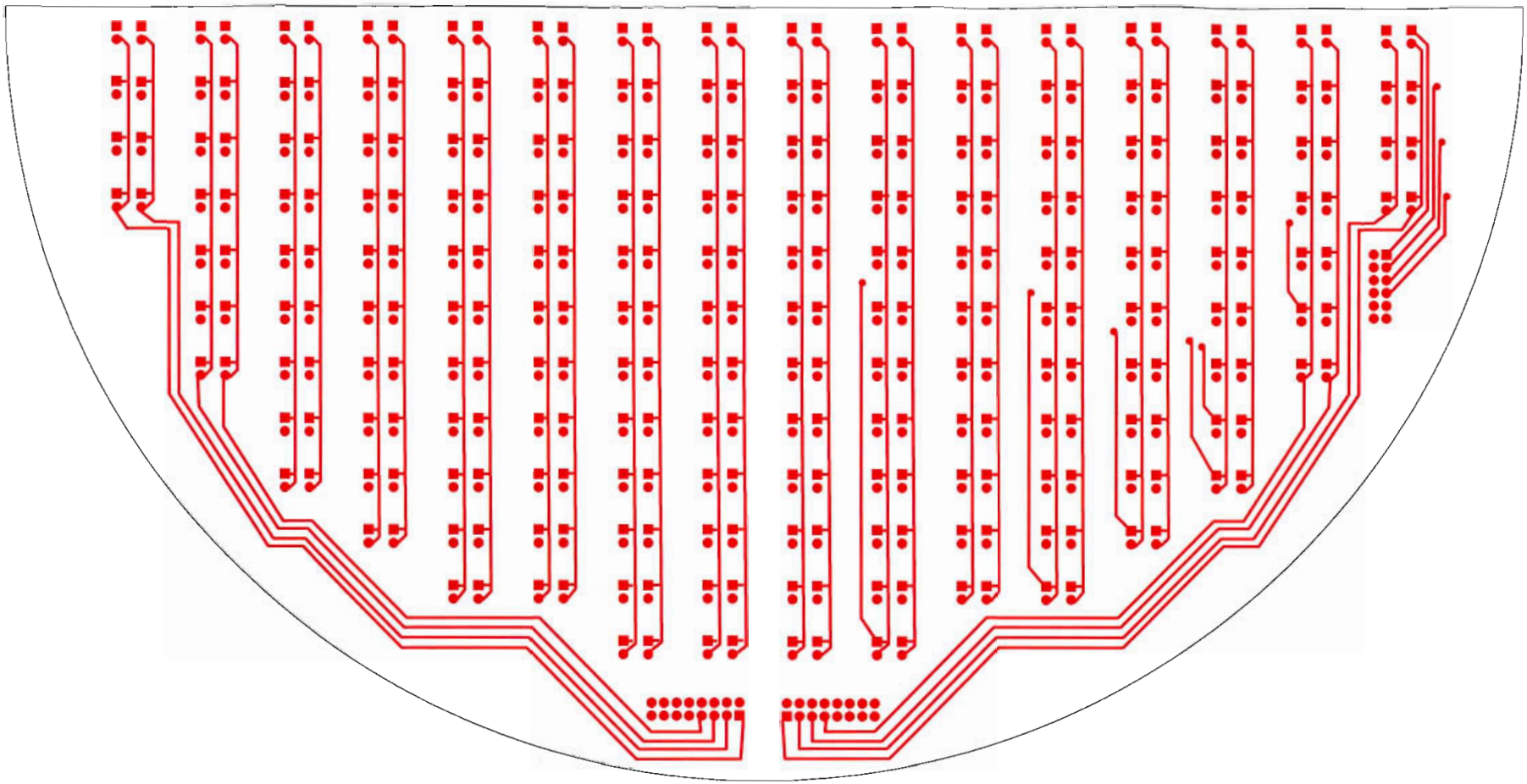
Esc 1:1.25

MATRIZ PARTE 1: REVERSO



Esc 1:1.25

MATRIZ PARTE 2: ANVERSO



Esc 1:1.25

MATRIZ PARTE 2: REVERSO