

**“SISTEMA DIGITAL DE TURNOS CON DESPLIEGUE EN PANEL MATRICIAL
DE INFORMACIÓN”**

RICARDO ERNESTO GONZÁLEZ AMAYA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**

**“SISTEMA DIGITAL DE TURNOS CON DESPLIEGUE EN PANEL MATRICIAL
DE INFORMACIÓN”**

RICARDO ERNESTO GONZÁLEZ AMAYA

Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director MSe. Jorge Hernando Ramón Suárez

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. LAS MATRICES DE LEDS	16
1.1 VENTAJAS PRESENTES	17
1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MATRICES DE LEDS	18
1.2.1 Configuración de conexión interna	18
1.2.2 Características electro-ópticas	20
1.3 REFERENCIA DE UNA MATRIZ DE LEDS	24
1.4 LA MATRIZ SELECCIONADA 2388ASRG	25
2. MANEJO DEL PANEL	29
2.1 MANEJO ESTÁTICO	29
2.2 MANEJO DE PULSO	29
2.2.1 Persistencia de visión	30
2.2.2 Multiplexando un arreglo de LEDs	30
2.3 PROCESO DE CARGA DE INFORMACIÓN	35
2.3.1 El circuito multiplexor y de carga de datos	34
2.3.2 El microcontrolador	37
2.3.2.1 Configuración del temporizador	38
2.3.2.2 Manejo de multiplexión en el microcontrolador	39
2.4 CARGA DE ANIMACIÓN EN PANEL DE PRUEBAS	41

3. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN EN PANEL	43
3.1 EL CIRCUITO DRIVER	44
3.2 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA	45
4. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO	47
4.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA	48
4.2 CIRCUITOS IMPRESOS	50
5. DESARROLLO DEL PROGRAMA	51
5.1 EL DESPLIEGUE DE MENSAJES	54
5.2 EL DESPLIEGUE DE ANIMACIONES	56
6. EDICIÓN Y GRABACIÓN DE MENSAJES	60
6.1 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN SERIAL	61
6.2 CIRCUITO DE CONEXIÓN SERIAL	61
6.3 PROGRAMA INTERFAZ DE EDICIÓN	62
6.4 GRABACIÓN PERMANENTE DE INFORMACIÓN	63
7. MEDICIÓN Y DESPLIEGUE DE HORA-TEMPERATURA	66
7.1 CARGA DE DATOS DE HORA-TEMPERATURA	66
7.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA	67
8. DESARROLLO E INCORPORACIÓN DEL SISTEMA DE TURNOS	69
8.1 DESPLIEGUE EN MODO TURNO	69
8.2 CONTROL DE MODO TURNO DESDE LA INTERFAZ	70
8.3 EL MANDO INDEPENDIENTE	71
9. CONCLUSIONES	74
10. RECOMENDACIONES	76

BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Matrices de LEDs de uso interior	16
Figura 2. Corte transversal en pixel de una matriz de LEDs	17
Figura 3. Diagrama ejemplo de un pixel de matriz de uso exterior	18
Figura 4. Las MLEDs y los displays de segmentos LED	19
Figura 5. a) Circuito ánodo común; b) Circuito cátodo común	20
Figura 6. a) Matriz de ánodo común; b) Matriz de cátodo común	21
Figura 7. Característica corriente-voltaje para distintos colores de LED	22
Figura 8. Matriz LPT2157AG orientada correctamente con su referencia	24
Figura 9. La matriz 2388ASRG	25
Figura 10. a) Diagrama de asignación de pines. b) Configuración 2388ASRG	26
Figura 11. Probador de matrices 2388ASRG	28
Figura 12. Esquema de multiplexión de una MLED	31
Figura 13. Señal de pulsos de corriente con PWM, para el brillo del LED	32
Figura 14. Elementos presentes en la carga de información	35
Figura 15. Diagrama funcional del CI 4094	37
Figura 16. Microcontrolador 68HC908GP32	38
Figura 17. Diagrama del modulo temporizador TIM y registro de control	39
Figura 18. Animación de prueba en panel de 16 x 16 pixeles	42
Figura 19. Sistema de información en panel	43

Figura 20. Sección del circuito driver de datos y circuito driver multiplexión	45
Figura 21. Esquema eléctrico del sistema de información	48
Figura 22: Continuación esquema eléctrico	49
Figura 23. Circuitos impresos implementados	50
Figura 24. Contenido de un mensaje almacenado	54
Figura 25. Desplegando y desplazando texto	56
Figura 26. Estructura de la tabla de animaciones	57
Figura 27. Desplegando animación	58
Figura 28. Transmisión de datos seriales con 8 bits de datos por trama	60
Figura 29. Circuito de programación-conexión serial	61
Figura 30. Interfaz en modo normal	63
Figura 31. Interfaz en modo edición	63
Figura 32. Pantalla de confirmación en la grabación de mensaje	65
Figura 33. Visualización de hora y temperatura	66
Figura 34. Circuito sensor de temperatura ambiente	68
Figura 35. Despliegue en modo turno	69
Figura 36. Pantalla de interfaz en modo turno	70
Figura 37. Esquema del circuito mando	71
Figura 38. Mando del sistema de información	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Códigos de color y longitud de onda para dispositivos LED	21
Tabla 2. Voltajes en adelanto típicos	23
Tabla 3. Principales características de la matriz 2388ASRG	27
Tabla 4. Ventajas del manejo estático y de pulso	34
Tabla 5. Puertos del microcontrolador para el manejo del circuito panel	40
Tabla 6. Mapa de memoria y subdivisiones programadas	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Programa desarrollado

Anexo B. Información MOTOROLA 68HC908GP32

Anexo C. Edición gráfica

Anexo D. Hojas de datos

Anexo E. Circuitos impresos

Anexo F. Videos del proyecto

GLOSARIO

ADC: Analog to Digital Converter. Conversor digital análogo, convierte señales analógicas en señales digitales

ASCII: American Standard Code for Information Interchange. Código binario estándar de Intercambio de Información, utilizado para representar letras, números, etc.

BIT: Binary Digit. Dígito binario que puede tomar los valores de 1 o 0.

BYTE: medida estándar de memoria. Un byte es un grupo de 8 bits que representa a un número o a un carácter.

CI: abreviatura de circuito integrado.

DIP: Dual In-line Package. Encapsulado convencional de circuitos integrados, con dos líneas de pines dispuestos cada uno verticalmente.

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory. Memoria programable que puede ser borrada únicamente por medios eléctricos

FLASH: Memoria no volátil de alta densidad utilizada en el almacenamiento estable de información.

FRAME: en aplicaciones visuales corresponde a la información que conforma una imagen.

KBI: Keyboard Interrupt Module. Módulo de interrupción de teclado del microcontrolador.

LED: Light Emitting Diode. Diodo emisor de luz. Contiene unión PN de material semiconductor que emite fotones cuando circula corriente a través de ellos.

MLED: Abreviatura empleada para designar las matrices de LEDs en este proyecto.

PIXEL: es un único punto en una imagen gráfica.

PC: Personal Computer. Ordenador personal.

PCB: Printed Circuit Board. Tablero con circuito impreso, cuyos componentes eléctricos están interconectados.

PN: unión de material semiconductor, el lado P contiene exceso de portadores de carga, mientras que el lado N presenta ausencia de los mismos.

PLL: Phase locked Loop. Es un circuito que permite que una señal de referencia externa controlar la frecuencia y la fase de un oscilador.

PWM: Pulse Width Modulation. Modulación de ancho de pulso.

RAM: Random Access Memory. Memoria volátil de acceso aleatorio.

ROM: Read Only Memory. Memoria de sólo lectura, memoria que normalmente no puede ser alterada por el usuario.

TBM: Timebase Module. Módulo de base de tiempo del microcontrolador.

TIM: Timer Interface Module. Módulo temporizador del microcontrolador.

SCI: Serial Communications Interface Module. Módulo de comunicación serial del microcontrolador.

SIP: abreviatura empleada en este proyecto para designar al Sistema de Información en Panel

STACK RAM: área de la memoria en el cual se puede almacenar información y retirarla en un orden inverso al de entrada.

RESUMEN

Título: SISTEMA DIGITAL DE TURNOS CON DESPLIEGUE EN PANEL MATRICIAL DE INFORMACIÓN*

Autor: RICARDO ERNESTO GONZÁLEZ AMAYA**

Palabras claves: panel, matriz de LEDs, microcontrolador, despliegue.

Los sistemas de turnos que se ofrecen comúnmente, quedan limitados cuando se desea especificar información referente como: horarios de atención, disponibilidad, requisitos y cualquier mensaje en continuo cambio que permita mejorar la atención al usuario. Partiendo de esta idea, en este proyecto se desarrolló e implementó un sistema de información en panel, para aprovechar plenamente las capacidades de contraste lumínico que ofrece la actual tecnología de LEDs. El sistema tiene la característica de integrar distintos tipos de información en un solo equipo, a la vez que esta puede ser actualizada rápidamente, por medio de un mando a distancia.

Se inicia con el proceso de estudio y selección de la matriz que se ajuste a los requerimientos del sistema propuesto. Luego con estas matrices se montan circuitos de prueba para desarrollar los fundamentos del manejo de información en el sistema. A continuación se inician de los procesos de diseño de las tarjetas que lo conforman, y se realizan mejoras basadas en puestas a prueba bajo ambientes reales.

El sistema obtenido trabaja en las modalidades: normal, turno, pausa y edición. El despliegue se logró gracias a una laboriosa optimización del código del microcontrolador, y se creó una técnica eficiente para el despliegue de animaciones. Se realizó un diseño conjunto de los circuitos impresos y carcasas, con el propósito de lograr una apariencia adecuada a este tipo de aplicaciones.

Con este esquema propuesto, se consiguieron bajos costos que hacen más viable su uso. Luego de su implementación y de varias puestas en funcionamiento para diferentes establecimientos, se observó la versatilidad del sistema al desplegar fluidamente todos los tipos de información presentes.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Fisicomecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Director: MSc. Jorge Hernando Ramón Suárez.

Title: TURN DIGITAL SYSTEM WITH DISPLAY OF INFORMATION IN LED MATRIX PANEL *

Author: RICARDO ERNESTO GONZÁLEZ AMAYA**

Key words: Turns, panel, LEDs' matrix, microcontroller, display.

Nowadays, the turn systems offered are limited for specific information like: schedules, availability, requirements and any other messages that should be constantly changed to improve the customer service. Considering this, the following project developed and implemented a data system on panel, to take fully advantage of the light contrast features that current LED's technology offers. This system can integrate different kinds of information in just one equipment and it also can be updated quickly.

The process starts by studying and selecting the specific LED's matrix that fixes the requirements of the suggested system. Then with these matrices some testing circuits are built to develop the system information basis. Then the design processes of the cards begins and it is improved by testing them in real conditions.

The obtained system works in the following categories: normal, by turns, pause, and edition. The display of information was accomplished due to the optimization of the microcontroller's code, creating an efficient technique to show different animations. Simultaneously, it was developed a design of circuit and cases seeking for a good appearance for both of them.

With the project developed costs were lower, which makes it viable to apply. After implementing it in different institutions, it was observed its versatility by showing fluent and helpful information.

* Final Project.

** Faculty of Physical-mechanical Engineering
Department of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering
Director: MSc. Jorge Hernando Ramón Suárez.

INTRODUCCIÓN

En el ritmo de vida actual, el desarrollo tecnológico debe prestar continua atención a las pequeñas actividades del ser humano que son generadoras de conflicto. Una de ellas es la atención al público con extensas filas de usuarios; actividad ineficiente que se considera cuando se hace parte de una de ellas, durante horas de espera y sin posibilidad de moverse del sitio. Aunque sea subvalorado y difícil de ver, este fenómeno afecta continuamente la calidad de vida de muchas personas.

En la aplicación de un primer sistema de turnos desarrollado con displays siete segmentos, se consiguió liberar la congestión durante la inclusión de asignaturas debido a que la información del turno era visible inmediatamente para todo el público, evitando desorganización en el punto de atención. Sin embargo, estos sistemas sencillos quedan limitados cuando se desea especificar información referente como: horarios de atención, disponibilidad, requisitos y cualquier mensaje importante en continuo cambio.

También se observó que en la gran mayoría de los establecimientos donde se instalan estos sistemas, con el tiempo, el operador deja a un lado su uso al pasar la novedad de la adquisición porque no hay un continuo incentivo para emplearlo. Ahora bien, si el operador sabe que la gente recibe simultáneamente la publicidad del establecimiento, esta motivación en el uso del sistema se da en ambos sentidos y el más beneficiado del proceso siempre será el usuario final que recibe el servicio.

Partiendo de esta idea básica, en este proyecto se desarrolló e implementó un sistema de información en panel de LEDs. El sistema tiene la característica de desplegar no solo información de turnos sino que su tarea primordial es integrar de manera eficientemente distintos tipos de información en un solo equipo, y que esta pueda ser actualizada rápida y fácilmente por cualquier persona.

En el diseño planteado se obtuvieron costos reducidos que hacen factible su uso. Las aplicaciones tienen lugar en empresas, locales comerciales, corporaciones o cualquier establecimiento que requiera comunicar información en constante actualización, y si es necesario, establecer un orden de atención por medio del mismo.

Con este proyecto se desea arraigar el siguiente concepto: en el empleo de los futuros sistemas de información que busquen captar la atención del cliente, se debería retribuir mejor el beneficio. Una de las formas de hacerlo es mediante el control de turnos, actuando no como un equipo provisional y sujeto a la novedad, sino más bien como parte integral y complementaria de los sistemas. Tarea que

hoy en día debería ser fácil de llevar a cabo gracias a los avances en pantallas y a la reducción de costos en la tecnología en general.

En el desarrollo del proyecto se buscó aprovechar plenamente las capacidades de contraste lumínico que ofrecen los LEDs. Pero para lograr esto fue indispensable profundizar en todos los elementos que intervienen en la correcta operación de las matrices. En consecuencia, se desea que el presente trabajo sirva como guía en el aprendizaje, y como punto de partida de futuros diseños que puedan usar matrices de LEDs para cualquier tipo de aplicación.

Se inicia el presente informe con una breve introducción a las principales ventajas y características en el desarrollo actual de la tecnología de LEDs. Luego se presenta el estudio hecho a las matrices y se expone la matriz de LEDs elegida para esta aplicación en particular. Posteriormente se muestran las bases y la metodología seleccionada para manejar el sistema y pruebas con animaciones.

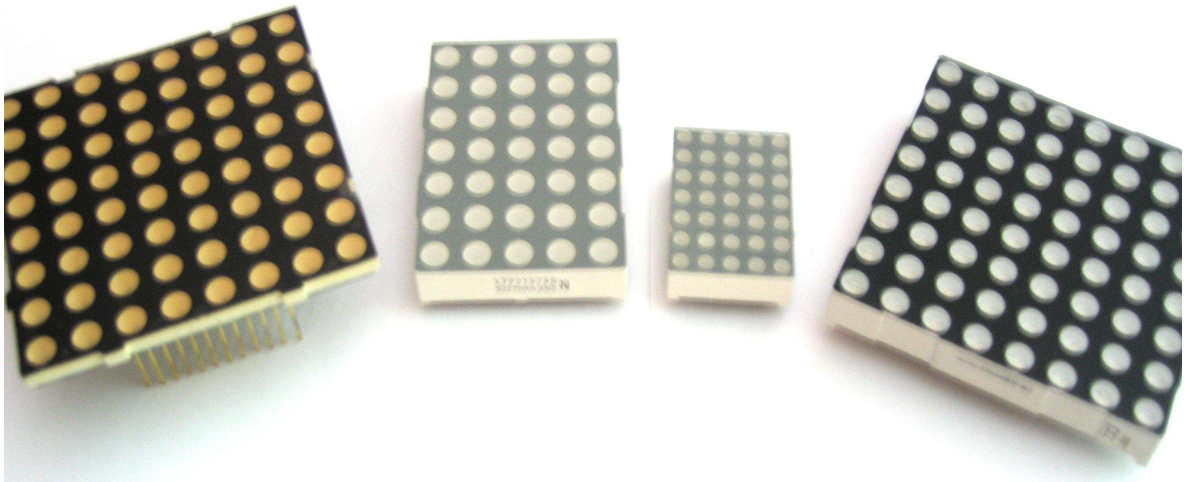
Con esta información primordial, se hace la presentación del sistema desarrollado, para la posterior exposición de sus componentes.

El sistema diseñado despliega en un panel con pixeles de tres colores y con 16 filas de altura. Como se verá, estas condiciones generan limitaciones en velocidad de procesamiento y crearon un verdadero reto a la hora de manejar todos los datos necesarios. Otra dificultad se presentó al empalmar los distintos tipos de información, para que todos se visualizaran de forma fluida, en el momento preciso y haciendo un uso eficiente del panel. Cabe decir finalmente que la apariencia final se tomó muy presente en los diseños de la tarjeta y las carcasas.

1. LAS MATRICES DE LEDS

Las matrices de LEDs se encuentran en el grupo de displays más versátiles, capaces de desplegar una amplia variedad de símbolos. En comparación con otras tecnologías de displays, la disponibilidad y precio de las **matrices de LEDs (MLEDs)** han hecho que sean usadas hoy en día en un sinnúmero de aplicaciones de información, señalización, instrumentación, publicidad, aprendizaje entre otras.

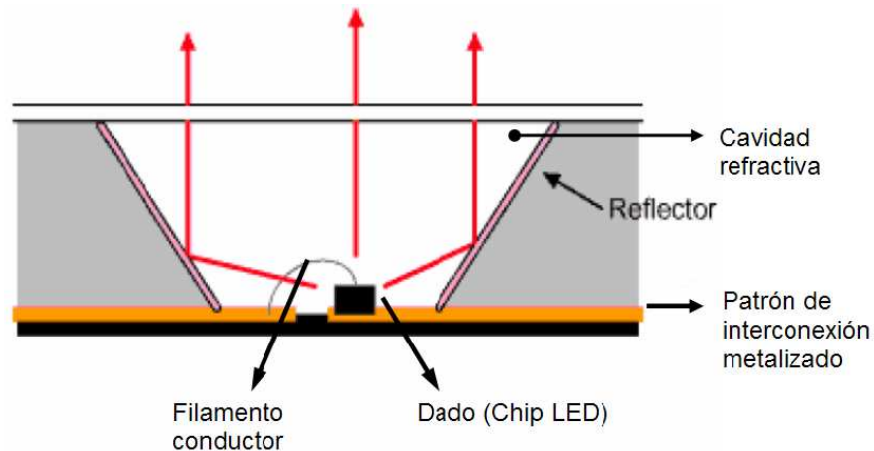
Figura 1. Matrices de LEDs de uso interior



Fuente: Autor

Taiwán produce actualmente alrededor de la mitad de la demanda mundial con más 30 fábricas de LEDs, le siguen Japón y Estados Unidos. En la fabricación de las matrices de LEDs y al igual que en los IC de silicio, los LEDs son procesados en obleas y estas son divididas en “**dados**” o chip LEDs. El tamaño de estos chip LEDs es generalmente de 0.18 a 0.36 mm de lado, y se montan sobre un patrón de interconexión metalizado empleando para ello pasta conductiva. Finalmente el patrón de interconexión se ensambla con las cavidades de los píxeles de la MLED, y se llenan con un material refractivo dándole protección mecánica al chip, como se observa en la figura 2.

Figura 2. Corte transversal en pixel de una matriz de LEDs



Fuente: MAXIM Dallas semiconductor, Autores. Nota de aplicación 1883

1.1 VENTAJAS PRESENTES

Entre las ventajas de las MLEDs se encuentran:

- Tecnología LED en creciente desarrollo. Actualmente todos los colores están disponibles incluyendo el azul y blanco, ofreciendo una fiabilidad tan buena o mejor que las de otras tecnologías de displays. A la vez, los avances en eficiencia lumínica han permitido usar las MLEDs en muchos ambientes. Entre estos avances cabe destacar el desarrollo de los **LEDs orgánicos** (OLEDs) y **polymer LEDs** (PLEDs) que producen alto brillo a bajas voltajes y corrientes, además de que permiten la fabricación de **pantallas flexibles** que a futuro tendrán infinidad de usos.
- El relativo bajo costo, ha permitido su comercialización e implementación en nuevos diseños.
- La característica de alto contraste la hace conveniente para desplegar información llamativa y que llegue a más personas.
- Su amplia disponibilidad para distintas aplicaciones. Esta disponibilidad es tanto de las MLEDs como de los CI necesarios para manejarlas. Hoy en día se encuentran MLEDs de muchos tamaños, colores emitidos, brillo deseado, de uso en exteriores e interiores, cantidad de pixeles por MLED, etc.

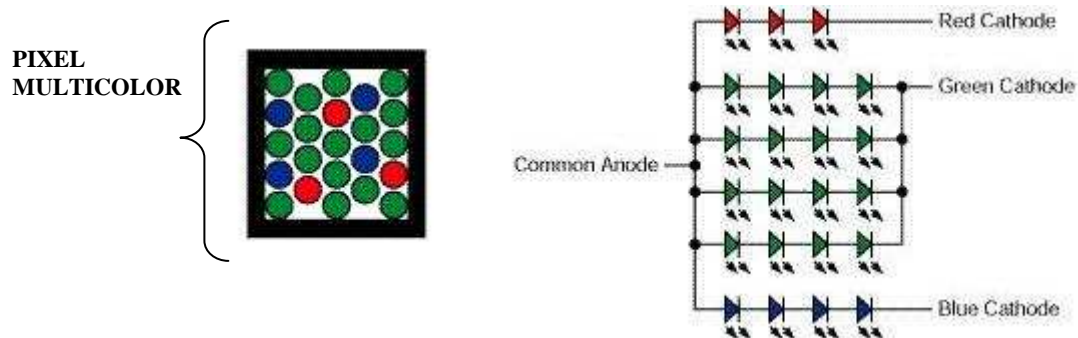
- Largo tiempo de vida. Las MLEDs tienen una vida útil de más de 50000 horas, pero se debe contar con un buen diseño para asegurar un tiempo de vida cercano. Este buen diseño permitirá que el mantenimiento de un sistema de MLEDs sea prácticamente insignificante dentro de una estimación de vida útil.

1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MATRICES DE LEDS

En esencia una matriz de LEDs es un arreglo de diodos LED ordenados en filas y columnas y operan dependiendo de la corriente que circule por cada LED. Cada píxel en una MLED contiene mínimo un LED y cada uno es direccionado (encendido) por separado al especificar su posición en términos de fila-columna, suministrando la corriente eléctrica en la dirección adecuada.

Cada píxel de una matriz de LEDs puede contener uno o varios LEDs. Por ejemplo, las matrices de LEDs usadas para exteriores emplean varios chip LEDs de un mismo color dentro del píxel, con el fin de incrementar la intensidad lumínica y así este píxel sea observable con la luz solar. Por otro lado un píxel también puede contener chip LEDs de colores distintos y su mezcla produce otros colores.

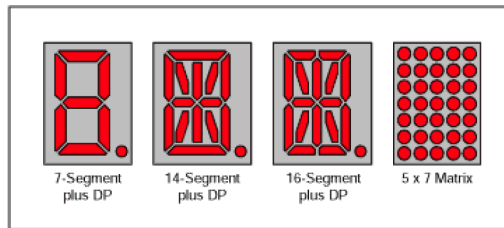
Figura 3. Diagrama ejemplo de un píxel de matriz de uso exterior



Fuente: MAXIM Dallas semiconductor, Autores. Nota de aplicación 1883

1.2.1 Configuración de conexión interna. Las MLEDs presentan las características típicas de un display de segmentos basado en LED. Cada píxel se comporta como uno de estos segmentos y también se configuran en ánodo y cátodo común con el fin de reducir el número de pines.

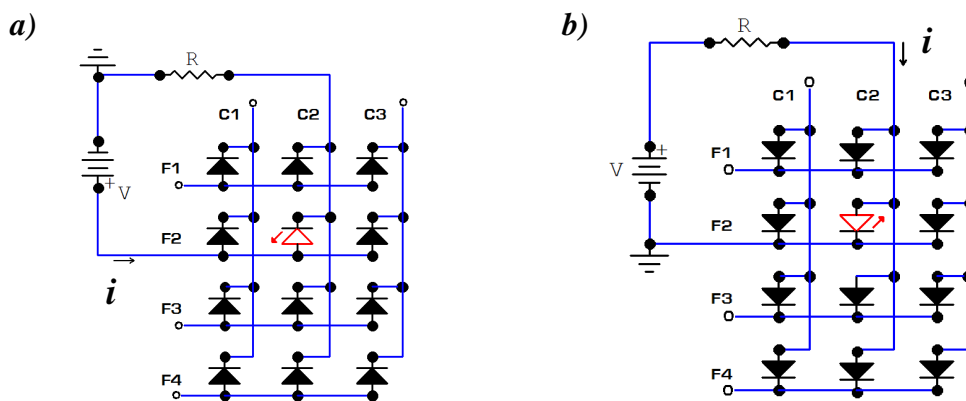
Figura 4: Las MLEDs y los displays de segmentos LED



Fuente: MAXIM Dallas semiconductor, Autores. Nota de aplicación 1883

Dentro de una matriz de *ánodo común* en cada fila todos los ánodos son conectados entre si, y en cada columna todos los cátodos son interconectados. Por lo tanto la fuente de la corriente (**source**) de una matriz de ánodo común se encontrará conectada a las filas y el sumidero de la corriente (**sink**) se encontrará en las columnas.

Figura 5. a) Circuito con *matriz de ánodo común*; b) Circuito con *matriz de cátodo común*



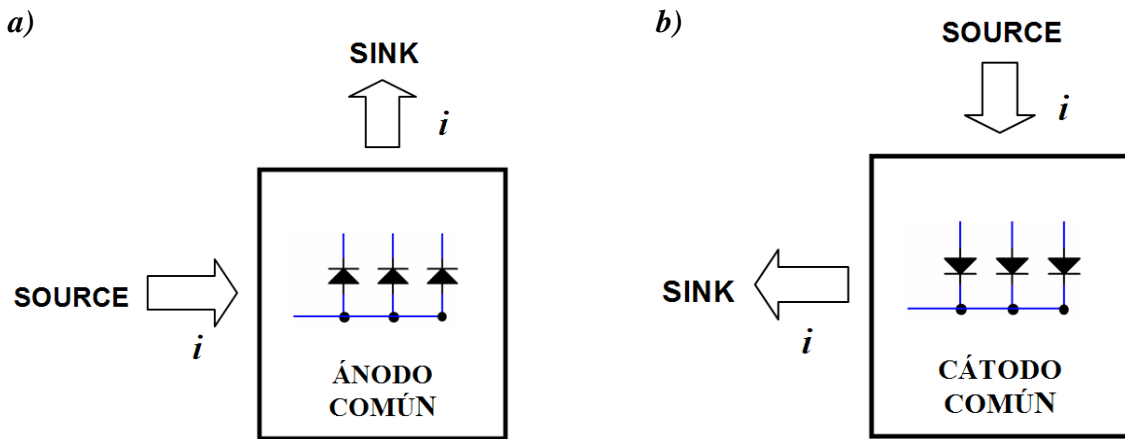
Fuente: Autor

Por otra parte dentro de una *matriz de cátodo común* en cada fila todos los cátodos son interconectados y en cada columna todos los ánodos son conectados. En este caso la fuente de la corriente se encontrará conectada hacia las columnas de la matriz de cátodo común, como se observa en la figura 5.

Para fines prácticos, es conveniente resumir lo anterior de la siguiente forma:

- Una MLED de ánodo común tiene en las filas un ánodo común y la fuente de la corriente debe estar en las filas (flujo de corriente de fila hacia columna).
- Una MLED de cátodo común tiene en las filas un cátodo común y la fuente de la corriente debe estar en las columnas (flujo de corriente de columna hacia fila).

Figura 6. a) Matriz de ánodo común; b) Matriz de cátodo común



Fuente: Autor

Para determinar correctamente las filas en una MLED, se debe orientar la marquilla de referencia de la MLED hacia el lado inferior. Se recomienda probarla en un circuito resistivo con máximo 20 mA por LED y nunca conectar sus terminales directamente a la fuente de tensión.

1.2.2 Características electro-ópticas. Es de importancia conocer las características que intervienen en la correcta adquisición y posterior operación de una matriz de LEDs; a continuación se explican brevemente las características más relevantes que se presentan en las hojas de datos dada por los fabricantes.

Intensidad luminosa I_v . Corresponde al flujo de luz que es útil para el observador. La *candela (cd)* es la unidad oficial en el sistema internacional a partir de la cual se describe la intensidad luminosa. Una candela es el flujo luminoso que se recibe sobre un metro cuadrado de una esfera de un metro de radio, en cuyo centro está la fuente de luz.

$$\text{Intensidad Luminosa } I_v = \frac{\text{flujo luminoso (lumens)}}{\text{m}^2 \text{ de una esfera a 1m de radio}} = \frac{\ell m}{4\pi} = \text{candela (cd)}$$

Como ejemplo una bombilla de una linterna con un flujo de luz de $19 \ell m$ tiene $19/4\pi$ candelas y estará marcada con 1.5 cd.

En displays se usa comúnmente la *milicandela* o *mcd*. En los LEDs la luz se genera en el proceso de recombinación de portadores en la unión PN y ante un incremento en la corriente la velocidad de recombinación crece, aumentando el flujo de luz. Por esta razón el valor en milicandelas (Intensidad luminosa) siempre estará ligado a la corriente que circula. Esta corriente debe ser tenida muy en cuenta para efectos de comparación y medición de displays como se observa en la tabla 1. Por ejemplo, el LED rojo de una MLED pequeña, de uso interior, puede tener 5 mcd ante una corriente de prueba de 20 mA. Aquella intensidad luminosa es suficiente para generar buen contraste, y así el píxel es apreciable.

Longitud de onda pico λ_p (color predominante). Cada color en el espectro electromagnético está asociado con una longitud de onda específica, por ejemplo el color rojo se encuentra alrededor de los 700 nanómetros de longitud de onda, el verde y el azul se encuentran alrededor de los 546 y 435 nm respectivamente.

En la unión PN de un chip LED, la longitud de onda emitida (y por lo tanto el color de la luz) depende del tipo de semiconductor usado y del proceso de dopado en dicha unión. La siguiente tabla es un ejemplo de los códigos de color usados en las referencias de las MLED. También muestra el material que produce cada color de luz, la longitud de onda asociada y la intensidad luminosa ante una corriente de prueba de 20 mA.

Tabla 1. Códigos de color y longitud de onda para dispositivos LED usuales

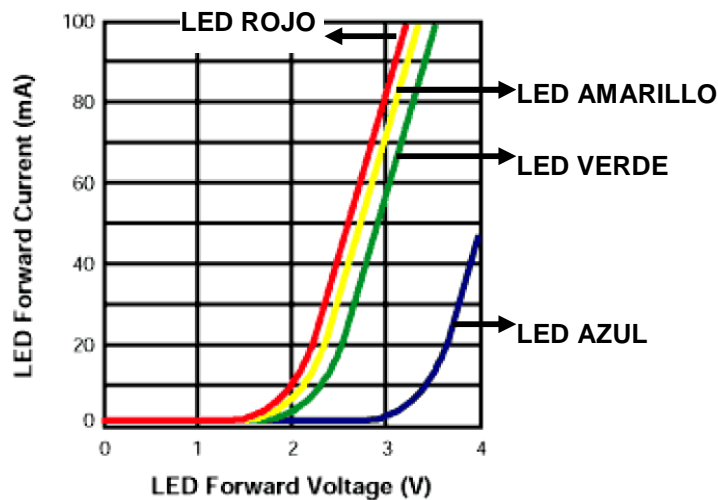
COLOR EMITIDO	CÓDIGO	MATERIAL	LONGITUD DE ONDA PICO λ_p (nm)	INTENSIDAD LUMINOSA I_v (mcd) Con $I_F = 20$ mA
BLUE	B	GaN / SiC	470	6.0
RED	R	GaP	700	5.0
SUPER-RED	SR	GaAlAs / GaAs	660	18
ULTRA-RED	UR	GaAlAs / GaAs	660	25
ORANGE	E	GaAlAs / GaP	630	10
HI-ORANGE	HO	GaAlAs / GaAs	648	12
GREEN	G	GaP	570	12

YELLOW	Y	GaAlAs / GaP	585	12
--------	---	--------------	-----	----

Fuente: BOND OPTOELECTRONICS, Autores. Información de inventario.
 Disponible en Internet: <http://www.bond-led.com>

El voltaje en adelanto V_F . Corresponde al mismo voltaje en polarización directa de un diodo de unión común, pero en los LEDs este voltaje siempre es más alto. Este voltaje disminuye con la temperatura alrededor de 2 mV / °C. La característica corriente-voltaje en adelanto depende del tipo de material y por lo tanto del tipo de color.

Figura 7. Característica corriente-voltaje para distintos colores de LED



Fuente: MAXIM Dallas semiconductor, Autores. Nota de aplicación 1883

Como ejemplo, algunas MLEDs de luz azul tienen voltaje en adelanto de 3.5 V, mientras que en MLEDs de luz verde este voltaje es cercano a 2 V como se observa en la tabla 2.

Medir el voltaje en adelanto V_F es muy importante a la hora de diseñar el circuito que maneje las MLEDs; además se debe tener presente que en una determinada matriz hay distintos V_F si hay más de un color.

Tabla 2. Voltajes en adelanto típicos

COLOR EMITIDO	VOLTAJE EN ADELANTO V_F (V)
Ámbar	1.9 a 2.65
Azul	3.0 a 4.0
Verde	1.8 a 2.2
Rojo	1.6 a 2.25
Blanco	3.5 a 4.0
Amarillo	2.0 a 2.1

Fuente: Autor

Rango de temperatura de operación T_{opr} . Al igual que otros dispositivos semiconductores, los LEDs también se ven afectados por temperaturas elevadas. Las MLEDs deben ser operadas a temperaturas no muy altas donde la temperatura ambiente sea por lo general menor de 80°. La cantidad de luz emitida cae con el aumento de temperatura debido a que disminuye la eficiencia de la recombinación de portadores de carga en el semiconductor, y sumado a esto, la longitud de onda también se ve afectada con la temperatura al cambiar el potencial en la unión PN.

Máxima corriente continua en adelanto por punto $I_F \max$. Con la máxima corriente continua, se obtiene el máximo brillo recomendado (en corriente continua) para determinada MLED. Para matrices de interiores este valor se encuentra por lo general en el rango de 25 a más de 40 mA. Pero se insistirá en la recomendación de probar siempre una MLED desconocida con máximo 20 mA sin conectarla directamente a la fuente de tensión.

Máxima corriente pico en adelanto por punto $I_p \max$ ¹. Este valor de corriente es de importancia a la hora de manejar las MLEDs, y se establece únicamente cuando se maneja la MLED mediante una modulación de ancho de pulso. Por esta razón el fabricante especifica el valor de corriente I_p , junto con valores de ciclo de trabajo (Duty Cycle) y tiempo de encendido.

Máxima disipación de potencia por punto P_d . Puesto que el voltaje en adelanto varía relativamente poco ante un cambio de corriente de adelanto, la máxima

¹ Véase el numeral 2.2.2

potencia disipada revelará la corriente a partir de la cual, se ocasionarán daños en el chip LED.

Finalmente es de notar que también se presentan los máximos valores de tensión y corriente inversa V_R e I_R respectivamente. Estos valores de polarización inversa pueden ser tenidos en cuenta para efectos de protección, y normalmente están alrededor de los 5 V y los 100 uA respectivamente.

1.3 REFERENCIA DE UNA MATRIZ DE LEDS

Por lo general la hoja de datos para estos dispositivos no se consigue fácilmente y en los puntos de venta se cuenta con poca información sobre cada display que se ofrece. Por eso se recomienda aprender a interpretar toda la información que contiene la marquilla de referencia, porque da una idea general de la MLED además del ahorro de tiempo en la búsqueda.

La mayoría de las MLED tienen marquillas de referencia que presentan la siguiente información: configuración interna (ánodo o cátodo común), número de pixeles en fila y columna, colores presentes y número de modelo. Además es importante recordar que gracias a la marquilla se puede orientar adecuadamente la MLED ubicando la referencia hacia el lado inferior. A continuación se describe la referencia de una matriz de ejemplo:

Figura 8. Matriz LPT2157AG orientada correctamente con su referencia



Fuente: Autor

- a. Marca de fábrica

- b. Modelo. Por lo general indica la altura de la matriz en pulgadas/10. En el ejemplo 21/10 pulgadas corresponden a cerca de 5,3 cm de altura.
- c. Número total de columnas-pixel: 5 pixeles horizontalmente.
- d. Número total de filas-pixel: 7 pixeles verticalmente.
- e. Configuración interna: A - ánodo común. C - cátodo común. La matriz de ejemplo es de ánodo común.
- f. Código de colores emitidos. La matriz de ejemplo solo emite luz verde (código G) en condiciones normales de temperatura y corriente.

1.4 LA MATRIZ SELECCIONADA 2388ASRG

Experimentando con diversos tipos de matrices, finalmente se decidió emplear la matriz 2388ASRG en el diseño del **sistema de información en panel (SIP)**. A simple vista se observaron las siguientes características:

Figura 9. La matriz 2388ASRG



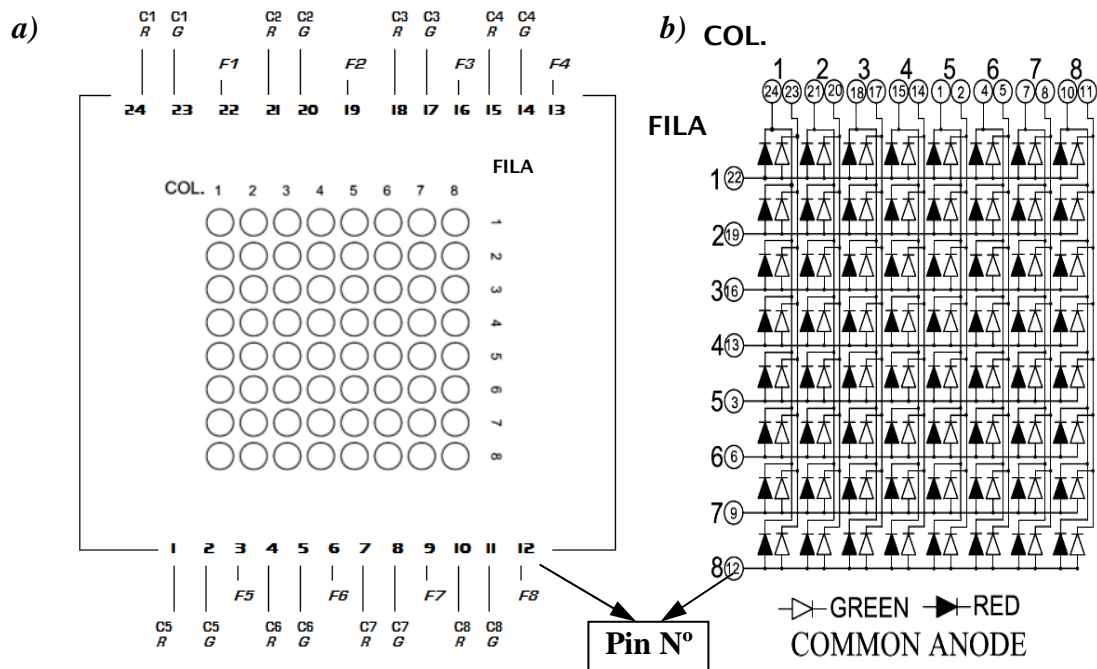
Fuente: Autor

- Matriz cuadrada de 6 cm de lado.
- 8x8 pixeles (8 filas-pixel y 8 columnas-pixel)
- Ánodo común.
- Emite tres colores: Rojo de alta eficiencia (SR), verde y amarillo. El último se obtiene al activar ambos: el LED rojo y verde del píxel.
- Cada matriz tiene 128 LEDs y 24 pines.

Durante el desarrollo del proyecto esta MLED presentó buena disponibilidad en el mercado y características como el número de pixeles (64 pixeles y 128 LEDs por cada MLED), los colores disponibles y las dimensiones de la matriz, la hacen óptima para el desarrollo de paneles de información de texto y gráficos con tres colores para uso interior.

Al realizar varias pruebas, se comprobó en primera instancia la configuración interna y la asignación de pines como se muestra a continuación:

Figura 10. a) Diagrama de asignación de pines. b) Configuración interna de la matriz 2388ASRG



Fuente: a) Autor. b) BOND OPTOELECTRONICS, Autores. Hoja de datos BDM-2388. Disponible en Internet: <http://www.bond-led.com>

Se observa que la matriz tiene internamente 8 filas y 16 columnas (para un total de 24 pines). También se ve que una matriz de ánodo común de más de un color, posee pixeles con la misma configuración, es decir, pixeles de ánodo común. Esto significa que en un píxel cualquiera el color se obtiene activando o desactivando las columnas. En este caso se tienen dos columnas por cada pixel para controlar los colores emitidos (dos columnas por cada columna-píxel).

Se recopila la información obtenida más relevante de la matriz 2388ASRG empleada en el SIP, en la siguiente tabla:

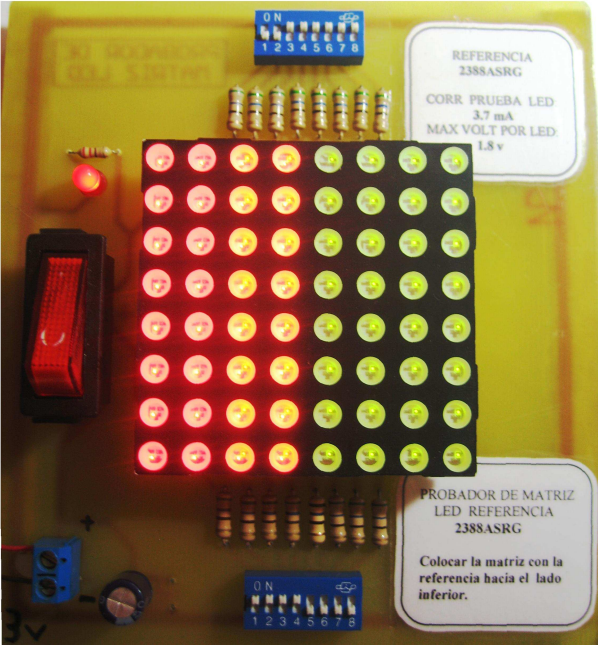
Tabla 3. Principales características de la matriz 2388ASRG

Dimensiones	Matriz cuadrada de 6.02 cm de lado		
Número de pixeles	8x8 pixeles		
Tipo de configuración	Ánodo común		
LEDs por pixel	Súper-red; Green		
Número de pines	24 (12 lado superior y 12 lado inferior)		
	LED ROJO (SR)	LED VERDE (G)	CONDICIONES
Voltaje en adelanto V_F	1.90 V	2.39 V	$I_F = 20$ mA
Intensidad luminosa I_v	18 mcd	12 mcd	$I_F = 20$ mA
Longitud de onda pico λ_p	660 nm	570 nm	$I_F = 20$ mA
Corriente pico en adelanto I_P max	100 mA	100 mA	Ton = 1 ms Ciclo útil = 1/10
Max Tensión inversa V_R	5 V	5 V	
Max corriente inversa I_R	100 μ A	100 μ A	$V_R = 5$ V
Max dis. de potencia P_d	120 mW	105 mW	
Temperatura de operación T_{opr}	-25 a 85 °C		

Fuente: Autor

Al realizar las pruebas y en el diseño circuital del panel del SIP, se vio la necesidad de implementar un probador de matrices para verificar el correcto funcionamiento de todos los 128 LEDs de cada matriz. El probador simplemente activa por separado cada columna, la cual corresponde a un color en el pixel. Por esta razón el circuito probador posee 8 interruptores para las columnas de los LEDs rojos y 8 interruptores para las columnas-LED verdes. Las filas se mantienen encendidas todas a la vez, y la máxima corriente por LED no supera los 5 mA. El probador permitió comprobar en poco tiempo las conexiones y el estado de todos los LEDs para muchas matrices.

Figura 11. Probador de matrices 2388ASRG



Fuente: Autor

2. MANEJO DEL PANEL

Al operar displays basados en LEDs se emplean principalmente dos métodos, el manejo estático y el manejo de pulso.

2.1 MANEJO ESTÁTICO

En el manejo estático de LEDs (conocido como *static drive*) la corriente que controla cada LED es siempre continua. Esta es la forma más sencilla de trabajar con LEDs al usar alguna fuente de corriente o una resistencia, para manejar la corriente de cada LED por separado. El manejo estático es útil para controlar máximo dos displays siete segmentos al conectarlos directamente a los puertos de un microcontrolador (con un puerto por cada segmento), ya que con apenas 5 mA se obtiene un buen brillo y no se hacen necesarios los drivers.

Se puede notar que es relativamente simple programar un microcontrolador para manejar varios LEDs individualmente. Pero a medida que aumenta su número, como en el caso de una MLED, la cantidad de recursos necesarios para controlar todos los LED crece bastante. También es conveniente decir en este punto que la curva característica I_F vs V_F nunca es exactamente la misma entre dos LEDs aparentemente iguales. De esta forma, ante un mismo V_F se pueden emitir brillos notablemente diferentes, y por esta razón se recomienda no configurar LEDs eléctricamente en paralelo si se busca una uniformidad de brillo sobresaliente.

En paneles de MLEDs el manejo estático requiere de una gran cantidad de integrados y/o drivers de carga de datos serie-paralelo para cada una de las filas, con el objetivo de direccionar LEDs individualmente (un puerto de circuito integrado por cada LED de cada fila). Esto ocasiona un enorme aumento en los costos sumado a la complejidad del circuito de interconexión multicapa. Diseños basados en este método se usan en paneles de exteriores donde se necesita el máximo brillo posible. Por esta razón no es apropiado este método para desarrollar el sistema de información SIP, cuyo uso es en espacios interiores y se buscan costos competitivos.

2.2 MANEJO DE PULSO

Este método conocido comúnmente como técnica de multiplexión, es frecuentemente usado en paneles de MLEDs y es posible emplearlo gracias a la "persistencia de visión" del ojo humano que se describe brevemente a continuación.

2.2.1 Persistencia de visión. El sistema visual humano presenta un fenómeno de retención de imagen. Si en un instante se coloca un objeto frente a los ojos y después de cierto intervalo se retira, el observador tiene la sensación de seguir viendo el objeto durante un tiempo muy corto, aun cuando este ya no esté; es decir, la visión del objeto persiste. Este fenómeno se debe a que al llegar la luz a la retina y al enviarse la correspondiente señal nerviosa al cerebro, lleva cierto tiempo para que la señal se procese, además de que la excitación debida a la imagen percibida, se mantiene en las células nerviosas de la retina. De hecho, cuando al sistema visual se le presenta rápidamente una serie de imágenes fijas, estas no se ven de manera discontinua; el cerebro "rellena", las lagunas entre las imágenes e imagina que está viendo un objeto en movimiento continuo.

Este efecto de persistencia se utiliza por lo general de dos formas:

- Para crear “la ilusión de imagen completa” al hacer en pantalla un “barrido” (o scan) de las líneas de imagen. Se empleó inicialmente en TV mediante electrones que rescriben la pantalla (comúnmente a 60 hz), pero hoy en día se usa en muchas aplicaciones incluyendo la multiplexión de displays.
- Para crear “la ilusión de movimiento” al presentar una sucesión de imágenes fijas a razón de 24 a 30 fps (frames o cuadros por segundo). Se usa habitualmente en el cine y TV.

En ambos casos el sistema visual no percibe los intervalos en que hay ausencia de información lumínica y mantiene la información anterior.

Estas dos formas de ilusión visual son empleadas en el SIP y se convierten en el eje central del despliegue de toda la información. La primera crea la imagen completa mediante un barrido, y la segunda da movimiento al texto y gráficos mediante la modificación de la imagen completa. Las dos formas de ilusión óptica deben ser programadas correctamente para evitar la presencia de parpadeo o “flickering” en la imagen.

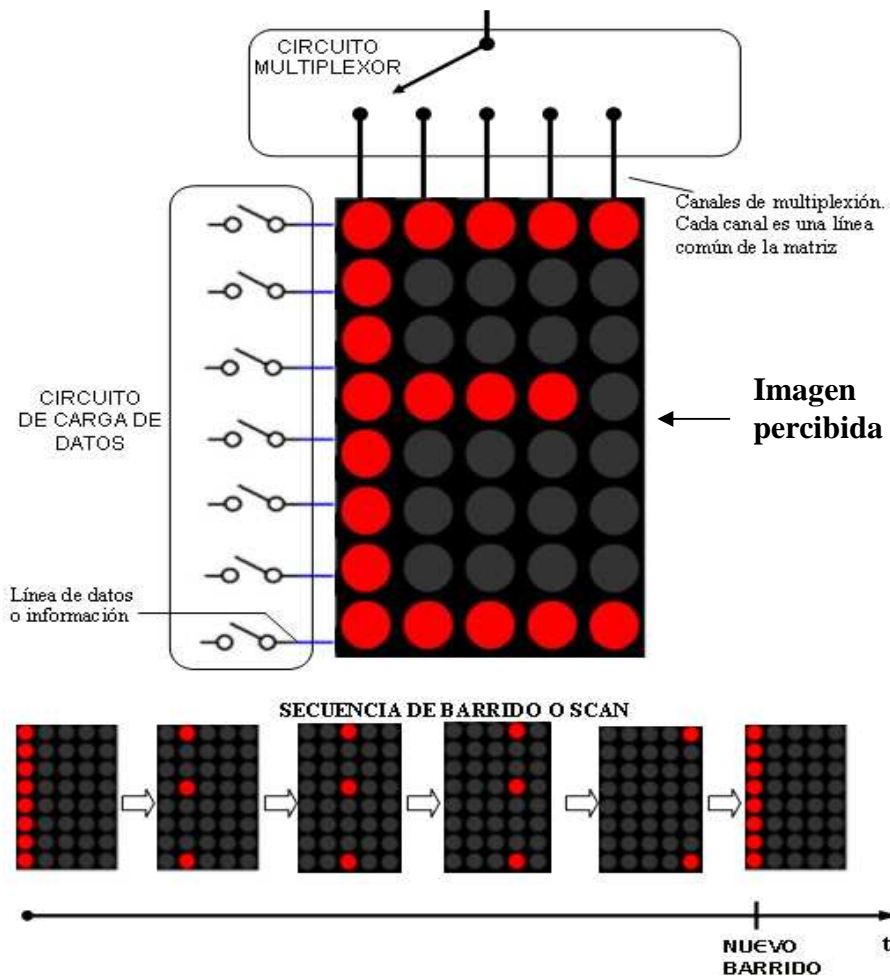
2.2.2 Multiplexando un arreglo de LEDs. La multiplexión es una técnica usada en muchas aplicaciones para incrementar dramáticamente el número de I/O (entradas y salidas) con solo un pequeño incremento en hardware, y en determinadas circunstancias, permite reducir el consumo de energía. Como se mencionó, es posible usar la técnica de multiplexión de LEDs gracias a la persistencia de visión.

La multiplexión reduce las conexiones necesarias de manejo, mediante el barrido o escaneo de un determinado número de canales y donde cada canal² se enciende durante un breve periodo de tiempo antes de activar el siguiente. La

² En estas aplicaciones un canal es típicamente un dígito, una columna o una fila completa

multiplexión es hecha a una frecuencia de encendido suficientemente alta para que el ojo, que se comporta como integrador óptico, perciba iluminación continua y se presente la ilusión de que todas las filas están encendidas al tiempo. Este proceso se ejemplifica en la siguiente figura donde se hace un barrido en las columnas de una MLED, controlada por los dos circuitos siempre presentes en el proceso: el *circuito driver de carga de datos* y el *circuito driver multiplexor*.

Figura 12. Esquema de multiplexión de una MLED



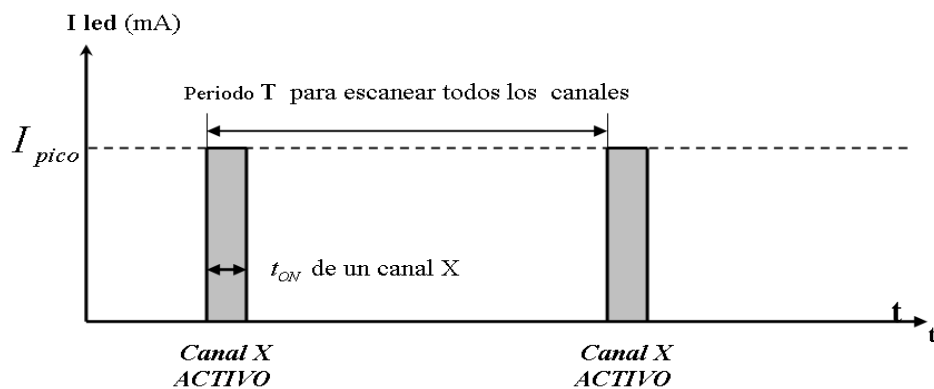
Fuente: Autor

El sistema visual humano se comporta como un medidor de luz parcialmente integrador y parcialmente detector de picos, y en consecuencia, el ojo percibe intensidad de luz entre el brillo promedio y el máximo. Por consiguiente la intensidad luminosa percibida de los LEDs es proporcional a la corriente promedio,

y esto permite prescindir de una fuente continua de luz para producir el mismo efecto.

El método también es llamado manejo de pulso porque permite controlar el brillo mediante variaciones en el tiempo de encendido del LED, de forma que efectivamente se trata de una modulación de ancho de pulso o PWM como se observa en la siguiente figura.

Figura 13. Señal de pulsos de corriente con PWM, para controlar el brillo del LED



Fuente: autor

De esta grafica se puede extraer la siguiente información importante. Como se analizo, el brillo percibido depende de la corriente promedio que se presente en el LED. Se puede ver que la corriente promedio equivale a:

$$I_{promedio} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_{ON}} I_p dt + \int_{t_{ON}}^T (0) dt \right] = \frac{I_p}{T} \cdot t_{ON}$$

Y puesto que el ciclo de trabajo o ciclo útil (DF) es una relación del tiempo de encendido t_{ON} :

$$DF = \frac{t_{ON}}{T}$$

Entonces se puede decir que la corriente promedio y por lo tanto el brillo que se percibe del LED son proporcionales al ciclo de trabajo DF y al pico de corriente:

$$I_{promedio} = I_p \cdot DF$$

Si el barrido o escaneo sobre todos los canales tarda un tiempo T, entonces el tiempo de encendido de cada canal es:

$$t_{on} = \frac{T}{\#Canales}$$

Y por consiguiente:

$$DF = \frac{t_{on}}{T} = \frac{\#canales}{T}$$

De esta manera el ciclo de trabajo para un determinado número de canales multiplexados es el valor inverso de dicho número:

$$DF = \frac{1}{\#canales}$$

También se puede notar que:

$$I_p = I_{promedio} \bullet \#canales$$

Si se requiere que un sistema MLED multiplexado muestre la misma intensidad de luz que se produce ante una determinada corriente continua I_F de un sistema de manejo estático, entonces los valores promedio deben ser iguales:

$$I_{promedio} = I_F$$

Y por lo tanto el valor pico del tren de pulsos I_p debe ser igual el valor I_F escalado tantas veces como canales a multiplexar hallan, para que el sistema multiplexado muestre un brillo similar:

$$I_p = I_F \bullet \#canales$$

Esta última ecuación relaciona los dos métodos de manejo (estático y de pulso) para generar el mismo brillo percibido.

De aquí se observa que los LEDs requieren una corriente elevada para compensar el reducido ciclo útil de la multiplexión. Pero incrementar la corriente LED desmedidamente, puede resultar en ningún cambio, o aun decrementos en la intensidad de luz, provocando un daño irreversible. Esto es debido al aumento de la temperatura en la unión PN. La limitante en el corriente pico en los LEDs manejados con PWM, indirectamente se traduce en una limitación en la cantidad de canales a multiplexar, por lo tanto las características de la MLED deben ser examinadas con cuidado, junto con pruebas sobre matrices destinadas solo para ello.

Por otro lado, en sistemas multiplexados en los que se escanean pocos canales, y por consiguiente la corriente pico no es una limitante, se puede emplear otro proceso PWM para controlar el brillo de cada LED por separado. Para ello el anterior tiempo de encendido t_{on} se subdivide, y cada división representa un nivel de brillo, donde t_{on} será el tiempo requerido para producir el nivel más alto. Se

debe tener en cuenta que este proceso de PWM para controlar brillo individual se realiza en el circuito de datos. En la actualidad hay disponibles una gran variedad de drivers inteligentes que cumplen con esta tarea.

Para objeto de diseño se ofrecen las siguientes recomendaciones al manejar MLEDs mediante multiplexión:

- Aunque la multiplexión se usa hoy en día muy frecuentemente y de manera casi intuitiva al manejar pocos displays, esta se debe analizar con atención en aplicaciones con más de tres canales a escanear o donde haya movimiento de la información percibida.
- Estudiar la o las máximas corrientes pico de una MLED determinada, ya que esta corriente limita el máximo de canales a multiplexar. Entre más canales, más corriente pico se debe emplear para compensar el brillo. Después de cierto punto, aumentar la corriente del LED no produce ninguna mejora del brillo y la temperatura de unión puede dañar el chip LED.
- Se recomienda escanear cada canal a una frecuencia de al menos 45 hz, para reducir el parpadeo o flickering. En el caso de displays rojos se puede usar un filtro de color rojo, el cual mejora el contraste y permite reducir frecuencia de escaneo.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los dos métodos:

Tabla 4. Ventajas del manejo estático y de pulso en displays basados en LEDs

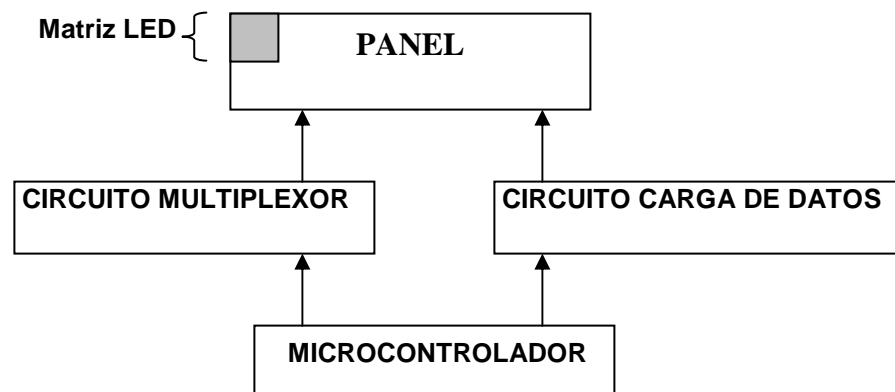
VENTAJAS MANEJO ESTÁTICO	VENTAJAS MANEJO DE PULSO
Diseño e Implementación más sencilla para menos de tres displays.	Diseño e Implementación más eficiente para MLEDs y para sistemas con más de dos displays.
Fácil programación en general.	Diseño más factible en paneles modulares de cualquier tamaño.
Requiere poca velocidad de procesamiento.	Permite el control de brillo individual de cada LED mediante PWM (requiere velocidad de procesamiento).
Uso apropiado en paneles de exteriores, donde se requiere el máximo brillo posible ante la luz solar.	Mejor eficiencia brillo-potencia para diseños con pocos canales a multiplexar.
<i>En general es el método más práctico y económico con pocos displays (se sugiere para menos de dos displays).</i>	<i>En general es el método más práctico y económico en sistemas con MLEDs y en sistemas con varios displays de segmentos.</i>

Fuente: Autor

2.3 PROCESO DE CARGA DE INFORMACIÓN

Ya establecido el método de multiplexión como estrategia de manejo del panel matricial del SIP, ahora se adentra en los elementos de manejo y carga de información hacia el panel.

Figura 14. Elementos presentes en la carga de información



Fuente: Autor

Durante el desarrollo y estudio del panel del SIP, se ensambló un panel de pruebas de 16 columnas y 16 filas, y sobre él se desarrollaron las bases tanto del hardware como del programa, en cuanto al despliegue de la información se refiere. Este circuito está compuesto de tres elementos: el circuito multiplexor, el circuito de carga de datos y el circuito de control. Todos ellos actuando sobre el panel de matrices 2388ASRG.

Teniendo presente la limitación del número de canales, se observó que lo más conveniente era establecer la multiplexión de canales hacia las filas, con esto se aseguraba que los datos a cargar en cada canal contuvieran la información de color y también garantizaba que al ampliar el panel horizontalmente, no implicaría aumentar los canales. Aunque este esquema es de uso frecuente, también existen paneles verticales con multiplexión de columnas, de esta manera cada configuración depende de la aplicación, y las capacidades de la MLED empleada.

2.3.1 El circuito multiplexor y de carga de datos. En pruebas iniciales, el circuito multiplexor para manejar los 16 canales, fue implementado intuitivamente por medio de CI multiplexores 74138, cuyos canales de salida eran manejados por transistores convencionales PNP 2N2907, los cuales manejaban la corriente de

las filas a multiplexar. Pero durante las pruebas se observó favorablemente que al ser la multiplexión de LEDs, una multiplexión secuencial, es decir siempre seleccionando el canal siguiente, se puede reemplazar ese CI de multiplexión por uno que se base en registros de desplazamiento, cuya información desplazada será de un bit 1 o 0, de forma cíclica. De esta manera, la presencia de este bit selector en un determinado canal establece la activación del mismo.

En cuanto al circuito de carga de datos, este último maneja los pixeles de toda la “fila activa” con la información del color. El proceso de carga de datos debe ser realizado cuidadosamente porque esos datos solo corresponden al canal activo y se debe actualizar en cada cambio de canal. Comúnmente se opta por un circuito de entrada serie y salida paralelo para reducir al máximo las conexiones, y debido a este proceso el método de multiplexión exige más velocidad de procesamiento en el controlador.

Para este circuito de carga de datos se probaron varios registros serie-paralelo, pero como estos no tenían la opción de habilitar o deshabilitar las salidas, se generaba un fenómeno llamado **ghosting**, que se manifiesta como una imagen de brillo muy tenue que aparece junto a la imagen que se desea desplegar. Esto ocurre porque en el proceso de multiplexión, la información de canales anteriores se alcanza a mostrar en el canal actual. Por consiguiente, para las estas aplicaciones de displays se hacen necesarios registros serie a paralelo que tengan “control de salida y de almacenamiento” de los datos.

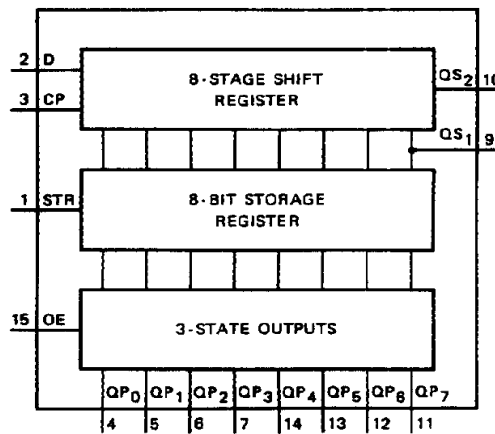
Una opción es el uso de registros serie paralelo con salidas de “corriente constante”, los cuales ajustan todas las salidas a un valor fijo de corriente mediante espejos de corriente controlados por un resistor externo. Estos integrados de uso profesional en el campo de displays son de costo elevado pero aseguran un brillo uniforme a lo largo de todo el panel.

La opción que se finalmente se implemento, se basa en el CI 4094 que es un registro de desplazamiento serie paralelo de 8 bits y 86 MHz, con entradas de control y almacenamiento de datos. Este integrado además de mostrar buena disponibilidad en el mercado, presenta un precio reducido.

Como se observa en la figura 15, este integrado contiene los siguientes bloques:

- Registro de desplazamiento entrada serie (puerto D) y salida paralelo, controlado por la señal de reloj en el puerto CP (clock port) y se permite conexión en cascada.
- Registro de almacenamiento controlado por el puerto STR (store), que permite o no el almacenamiento de todos los 8 bits presentes en el anterior registro.
- Buffer triestado controlado por el puerto OE (output-enable), que activa o desactiva todas las salidas en paralelo.

Figura 15. Diagrama funcional del CI 4094



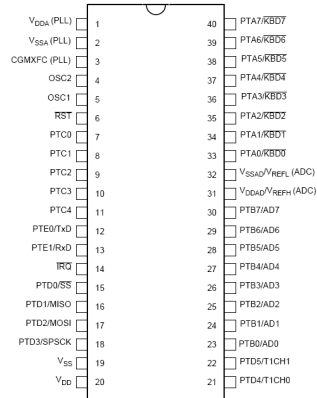
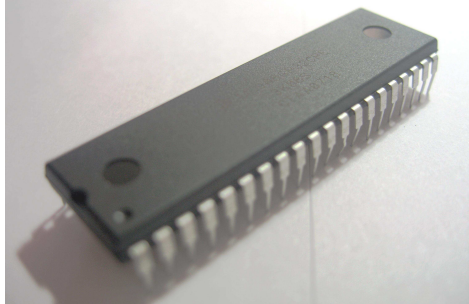
Fuente: PHILIPS semiconductor, Autores. Hoja de datos HC/HCT4094

Parte del circuito de carga de datos se implementó mediante la conexión en cascada de dos CI 4094 por cada MLED, teniendo en cuenta que se debe cargar 16-bits de datos por matriz. Las entradas de control OE, STR y CP se interconectan entre todos los CI 4094. Las salidas se interconectan con una etapa driver que permite aislar y suministrar la corriente necesaria al panel.

2.3.2 El microcontrolador. Debido al trabajo previo con displays empleando el microcontrolador 68HC908GP32³ 40-pin PDIP de Motorola, se percató que sus atributos permitían el diseño de un dispositivo de información más llamativo y completo. El microcontrolador posee entre otras características: máxima velocidad de bus de 8 MHz, 32 Kbytes de memoria FLASH, 512 bytes de memoria RAM, módulo de comunicación serial, módulo de convertor análogo a digital y módulos de temporizado.

³ Véase technical data MC68HC908GP32. Disponible en anexo B

Figura 16. Microcontrolador 68HC908GP32



Fuente: Izquierda, Autor. Derecha, MOTOROLA INC, Autores. TECNICAL DATA MC68HC908GP32.

En el proceso de multiplexión de los 16 canales, es necesario establecer una frecuencia de cambio de canal cada $16 \cdot 47 \text{ hz} = 752$ veces por segundo, con lo que se asegura que cada fila por separado parpadee a 47 hz, creando la ilusión de imagen completa.

Para realizar el conteo interno del tiempo de multiplexión sin consumir recursos de procesamiento, es indispensable el uso de interrupciones del módulo temporizador. Estas interrupciones son cada $1/752 = 1.33$ mseg aproximadamente, el cual es el tiempo disponible para procesar y cargar los datos de la fila. El reto que se presenta está ligado a la limitación al contar con un bus de máximo 8 MHz o 125 nseg por instrucción, lo que permite solo 10638 instrucciones procesadas para cada canal.

En comparación, si solo se trabaja con 8 filas (panel multiplexado convencional) se podría procesar el doble de instrucciones porque se tendría el doble de tiempo entre cambios. Por esta razón los paneles grandes emplean esquemas modulares y de doble controlador, para liberar el procesamiento de datos de las interrupciones debidas a la multiplexión. En el caso del las 16 filas del SIP en lugar de usar doble microcontrolador, se optó por trabajar su código y optimizar la velocidad de ejecución exhaustivamente, haciendo mas eficiente el proceso a la vez que se permiten modificaciones o ampliaciones futuras.

2.3.2.1 Configuración del temporizador. Empleando un cristal de 4.9152 Mhz, el ciclo de bus del microcontrolador se logra establecer en 8 Mhz gracias a la

configuración del PLL interno⁴. A continuación, con esta frecuencia de bus se configura el módulo temporizador (TIM), el cual contiene los siguientes registros:

- Registro de conteo del temporizador (TCNT)
- Registro módulo del temporizador (TMOD)

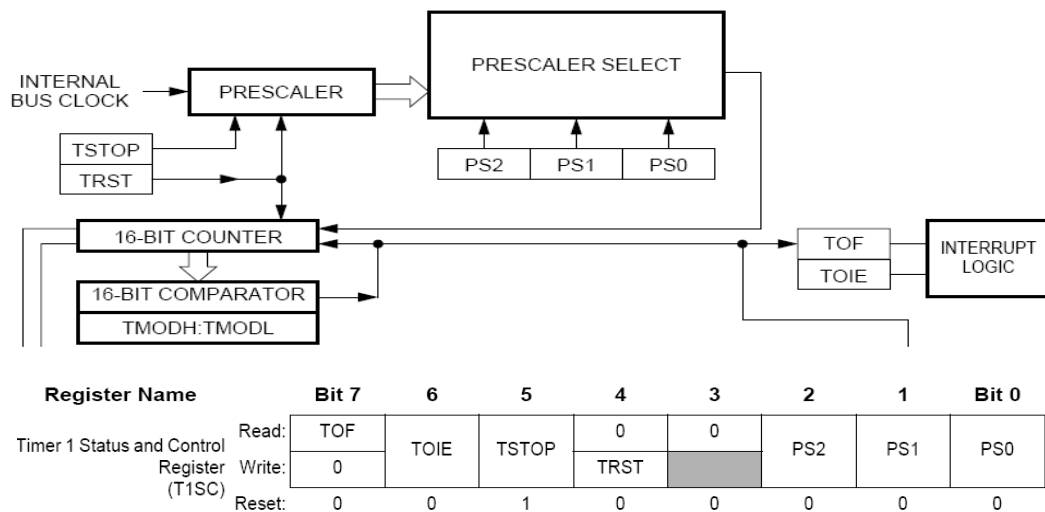
En el registro de conteo se lleva una cuenta cíclica usando como reloj un escalamiento de la frecuencia de bus, cuando el valor presente en el registro de conteo alcance el valor del registro módulo, se activa la bandera de desborde (TOF), y junto con el bit activo de interrupción habilitada (TOIE) se da el llamado de interrupción del temporizador.

Para programar correctamente la frecuencia de las interrupciones, se configura el módulo de conteo con el TMOD, de la siguiente forma:

$$TMOD = \frac{1}{f_{deseada}} \cdot \left(\frac{f_{BUS}}{2^{PS}} \right)$$

Como se mencionó, la frecuencia programada de interrupción del TIM es de 752 Hz y PS corresponden a los bits que escalan la frecuencia de bus.

Figura 17. Diagrama del modulo temporizador TIM y registro de control



Fuente: MOTOROLA INC, Autores. TECNICAL DATA MC68HC908GP32.

⁴ Véase technical data MC68HC908GP32 módulo CGMC, pág 105. Disponible en anexo B

2.3.2.2 Manejo de multiplexión en el microcontrolador. Se establecieron los siguientes puertos de salida que manejan y controlan el despliegue de los datos, estos puertos están presentes en el microcontrolador del sistema SIP:

Tabla 5. Puertos del microcontrolador para el manejo del circuito panel

Nombre en programa	Nombre del puerto	Operación
DATA_serie_out	PTD1	Por este puerto se traspasan los bits seriales al puerto de entrada <i>D</i> del circuito de carga de datos.
CLK_data	PTD2	Este puerto actúa sobre el puerto general de reloj <i>CP</i> del circuito de carga de datos, con el fin de ir desplazando los datos que van entrando en forma serial.
STORE_data	PTD0	Controla el almacenamiento de los bits presentes en el circuito de carga de datos, activando o desactivando la señal en el puerto general <i>STR</i> .
habili_data_paral	PTD3	Controla el despliegue de la información en una determinada fila, activando o desactivando la señal en el puerto general <i>OE</i> .
MUX_serie_out	PTD4	Genera un bit 0 o 1 con el fin de activar una fila y opera sobre la entrada serial del circuito multiplexor.
MUX_clk	PTD5	Actúa sobre el puerto reloj del circuito multiplexor para desplazar la fila activa en el proceso de multiplexión.

Fuente: Autor

2.4 CARGA DE ANIMACIÓN EN PANEL DE PRUEBAS

Cuando se presenta la interrupción del temporizador programada, el proceso de carga de información se explica mediante el despliegue de una sencilla animación⁵ de 32 bits de ancho (16 pixeles), como se describe a continuación:

Al iniciar la rutina de interrupción, se hace $STORE_data = 0$, con el propósito de mantener la información desplegada en el circuito de carga de datos, mientras se procesa y carga la información para la nueva fila activa.

Luego se procesa la información de la animación, seleccionando la posición del frame correspondiente con ayuda de un contador para tal fin, donde el frame se cambia 24 frames por segundo generando ilusión de movimiento, como se muestra en la figura 18. Se observa que el bit con información del color rojo se encuentra a la izquierda del bit verde.

Con esta información se selecciona la fila de ese frame en la tabla con los bits de la animación, que corresponde a la fila del panel a ser activada. Luego se toma esta información de 32 bits y se envía en forma serial al circuito de carga de datos. Esto se hace mediante los puertos $DATA_serie_out$ y CLK_data .

Una vez cargado la fila se deshabilita la salida de datos en pantalla haciendo $habili_data_paral = 0$, con el fin de evitar el despliegue los datos en el canal incorrecto.


Ahora se selecciona el nuevo canal correspondiente al llamado de interrupción, mediante los puertos MUX_serie_out y MUX_clk . Finalmente se carga la nueva información y se despliega haciendo $STORE_data = 1$, y $habili_data_paral = 1$ respectivamente.

Este proceso es llevado a cabo en el programa implementado por las rutinas $A_CONTROL_MUX$ y $A_MULTIPLEXAR$, que se ejecutan en las interrupciones del temporizador. Esto se repite con la frecuencia de multiplexión deseada para obtener la imagen completa. Para observar la animación una y otra vez, se reinicia la posición del frame realizando el empalme correcto y creando un bucle de animación.

⁵ Véase circuito de pruebas iniciales, disponible en anexo F: Videos del proyecto

Figura 18. Animación de prueba en panel de 16 x 16 pixeles (Anexo G)

TABLA DE FRAMES*

	<p><i>/* FRAME 1 DE 15 */</i></p> <pre> 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000101, 0b00000000000000000000000000000010100, 0b000010101010101010101000000000001, 0b001000000000000000000010000000000, 0b100010000000000000000000100000000, 0b100000101010101010101000010100000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b10000010100000000000101000001000, 0b0010101000010101010101000010100000, 0b000000101010000000010101000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000001, 0b000000000000000000000000000000100, </pre>
<p><i>/* FRAME 2 DE 15 */</i></p> <pre> 0b00000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000101, 0b0000000000000000000000000000001010100, 0b000000000000000000000000000000101000000, 0b0000101010101010101010000000010101, 0b001000000000000000000000100000000001, 0b10001000000000000000000001000000001, 0b100000101010101010101000010100001, 0b1000000000000000000000000000001001, 0b1000000000000000000000000000001001, 0b100000101010000000001010100001001, 0b00101010000010101010100000100000, 0b00000010101000000000101010000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000101010100, 0b0000000000000000000000000000001001, </pre>	<p><i>/* FRAME 3 DE 15 */</i></p> <pre> 0b00000000000000000000000000000000, 0b0000000000000000000000000000001010100, 0b00000000000000000000000000000010101000001, 0b0000000000000000000000000000001010000000101, 0b0000101010101010101010000101010000, 0b001000000000000000000000100001000000, 0b10001000000000000000000001001000000, 0b100000101010101010101000010100000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b1000000000000000000000000000001000, 0b100000101010000000001010100001000, 0b0010101000010101010101000010100000, 0b00000010100000000000101000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, </pre>
<p><i>/* FRAME 4 DE 15 */</i></p> <pre> 0b00000000000000000000000000000000, 0b0000000000000000000000000000001010100000, 0b000000000000000000000000000000101010000010100, 0b00000000000000000000000000000010100000001010000, 0b00001010101010101010101000000000, 0b001000000000000000000000000000000000, 0b1000100000000000000000000000000000, 0b100000101010101010101000010100000, 0b1000000000000000000000000000000000, 0b1000000000000000000000000000000000, 0b100000101010000000001010100001000, 0b0010101000010101010101000010100000, 0b00000010001000000000100010000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, 0b00000000000000000000000000000000, </pre>	<p><i>/* FRAME 5 DE 15 */</i></p> <pre> 0b00000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000000000, 0b000000000000000000000000000000000000, 0b0000101010101010101010000000000000, 0b0010000000000000000000000000000000, 0b1000100000000000000000000000000000, 0b100000101010101010101000010100000, 0b1000000000000000000000000000000000, 0b1000000000000000000000000000000000, 0b100000101010101010101000010100000, 0b0010101000010101010101000010100000, 0b0000000000000000000000000000000000, 0b0000000000000000000000000000000000, 0b0101010000000000000000000000000000, 0b0000000000000000000000000000000000, </pre>

Fuente: Autor

3. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN EN PANEL

Una vez afianzado el proceso de multiplexión y carga de información a las MLEDs, se inició el desarrollo del SIP. Se decide presentar ahora sus principales características para tener una idea general del sistema y posteriormente mostrar el desarrollo de cada uno de los elementos implicados.

Figura 19. Sistema de información en panel



Fuente: Autor

Características:

- Despliegue en panel de doble línea con pixel rojo, verde y amarillo.
- Modos de operación: modo normal (mensajes-animación), modo turno (mensajes-turno), modo clock y modo edición.

- Sistema de turnos con visualización simultánea de turno y mensajes, mando independiente, señal sonora y monitoreo desde PC no dedicado.
- Visualización permanente de hora y temperatura ambiente en todos los modos.
- Animaciones personalizadas y capacidad de 40 mensajes.
- Alimentación de 12 V DC y batería de 9 V.
- Software interno para edición de mensajes.

3.1 EL CIRCUITO DRIVER

El diseño del circuito driver sigue el esquema de un panel de ánodo común donde la corriente fluye de filas a columnas. Teniendo esto presente, se puede decir que el driver de donde parte el flujo de corriente es llamado “*source driver*”, responsable del suministro de corriente a las filas, mientras que el driver que drena la corriente es llamado “*sink driver*”, el cual debe manejar las columnas, cerrando el circuito y llevando la corriente a tierra. El circuito driver implementado sigue el diagrama presente en la figura 20.

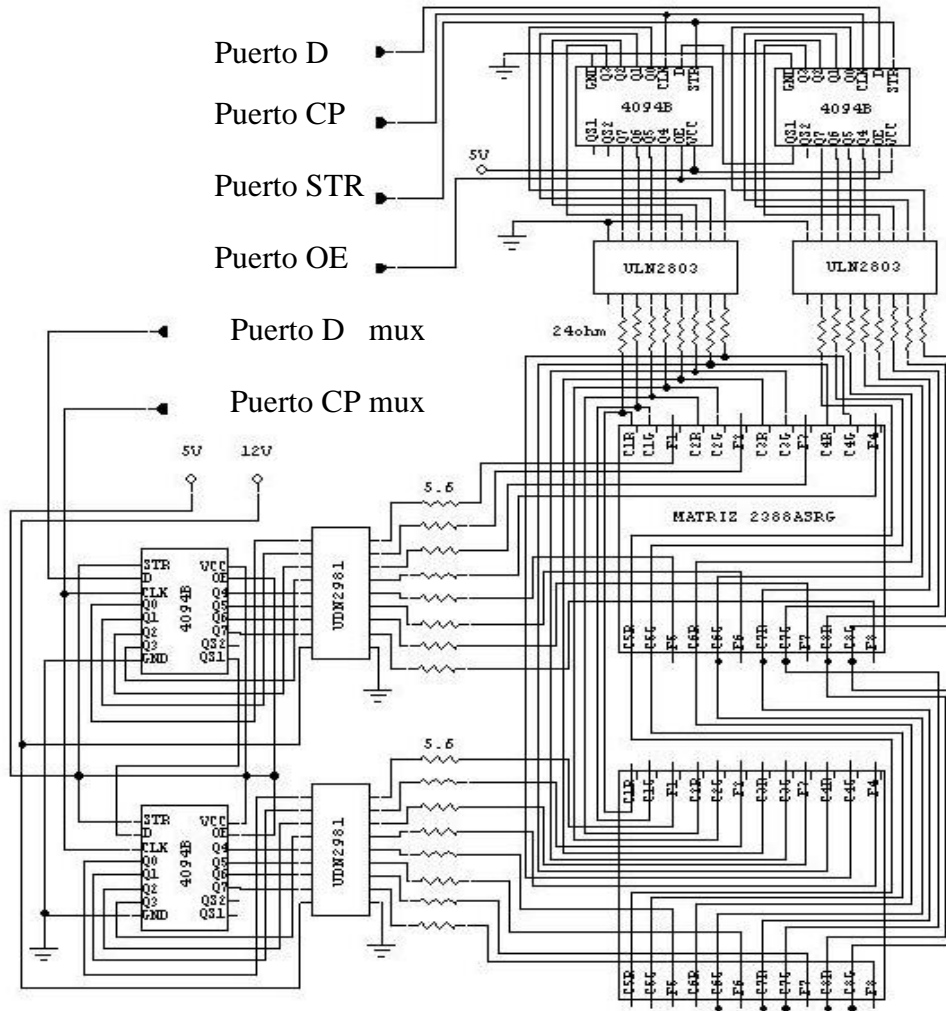
Se eligió finalmente el *source driver* UDN2981A de 8 canales y 18 pines DIP que permite un máximo de 500 mA por canal. Este driver suministra la corriente necesaria a las filas, ante una activación del canal dado por el circuito de multiplexión. Estos 500 mA por canal son suficientes para activar la fila de 96 LEDs con el bajo ciclo de trabajo presente.

El driver UDN2981A presenta un tiempo de apagado (o *turn-off Delay*) de 10 microsegundos mínimo en cada canal. Tiempo que debe ser tenido en cuenta como limitante para multiplexiones de alta velocidad. En el caso del SIP, el tiempo entre activaciones es de alrededor de 1.33 milisegundos, permitiendo con amplio margen el uso de este integrado.

El proceso de activación de cada LED en la fila se lleva a cabo por el *sink driver* ULN2803A de 8 canales y 18 pines DIP. Cada driver está conectado a las salidas paralelo del circuito de datos y de esta forma cuando aparece un 1 o un 0 a la salida, el driver cierra o no el flujo de corriente a tierra respectivamente y de esta forma se controla la activación de cada LED. El empleo de este driver se hace necesario como dispositivo para aislar y proteger el circuito de datos. Con la activación de una fila del panel, cada puerto del driver solo controlará la corriente de un único LED.

En cada MLED la presencia de los dos voltajes de adelanto distintos de 1.90 V y 2.39 V, correspondientes a los LEDs rojos y verdes respectivamente, provoca que sea necesaria una compensación en el brillo. Esta se logró por medio de resistencias de 24Ω en las columnas de los LEDs rojos.

Figura 20. Sección del circuito driver de datos y circuito driver de multiplexión



Fuente: Autor

3.2 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

El consumo de energía en el SIP es el siguiente:

- Consumo máximo de corriente: 900 mA
- Potencia consumida desde circuito de mando: 10.8 W
- Potencia consumida desde red eléctrica: 13.53 W

El SIP tiene dos líneas principales de alimentación, mientras que una energiza los circuitos del panel, la otra alimenta el microcontrolador y demás integrados.

Ambos circuitos de alimentación emplean el regulador LM7805 que permite un máximo de 1 A. Con este regulador de fácil consecución, se toma la tensión de aproximadamente 12 V de una fuente regulada de 1200 mA y se distribuye en el sistema la tensión requerida de 5 V. Los drivers del circuito de multiplexión toman una tensión filtrada de 11.5 V.

Se hace uso de condensadores de tantalio de 0.1uf en la salida de estos reguladores con la finalidad de recargar condensadores de desacople, los cuales mejoran el nivel de inmunidad al ruido en los integrados.

Es de importancia mencionar que durante el desarrollo del sistema se generaron algunos daños en las matrices a causa del proceso de activación del panel. En el instante en que se encendía, los datos necesarios para operar correctamente el panel aun no se habían cargado en su circuito. En ese momento los bits presentes hacían que ocasionalmente se encendieran filas individuales. Al ocurrir esto, y aun fuera del proceso de multiplexión, la corriente que alcanzaba a circular por los LEDs generaba daños irreversibles.

La forma de corregir este problema fue la implementación de un puerto de entrada en el microcontrolador que detecta si el panel está o no encendido. Este puerto de entrada es llamado *sensor_pantalla*, se ubica en PTC2 y está conectado a los 5 V que alimentan el circuito de datos.

Cuando el panel se desactiva, una sección del código presente en la rutina principal suspende el proceso de multiplexión, deshabilita la salida en el circuito de datos y desactiva la medición de temperatura. En el momento que se enciende el panel, se genera un retardo de tiempo, luego se reinicia el circuito multiplexor cargándolo con ceros y finalmente se activa la multiplexión de forma segura.

4. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

En el diseño de los PCB se empleó el programa “Protel 99SE Trial⁶” conocido con el nombre de “Protel”, nombre que también corresponde a su fabricante. Este software presenta herramientas que permiten y agilizan el trabajo con tarjetas de tamaño considerable.

A diferencia de otro tipo de equipos, la apariencia de los dispositivos informadores debe ser tenida muy presente. Esta apariencia afecta directamente la distribución de los componentes. En el SIP el desarrollo de los circuitos impresos se llevó a cabo alternadamente con el diseño de las carcasas. Su forma demandó el reto de ajustar simétricamente el panel y acercar al máximo el circuito de datos al mismo, buscando la menor distancia entre los bordes y el panel en sí. En su desarrollo, fue muy importante realizar los arreglos y mediciones exactas de las MLEDs para que estas se ajustaran adecuadamente unas con otras conformando el panel.

Como un primer prototipo, se decidió dejar algunos espacios libres de islas de tierra, con el fin de continuar experimentando con distintos tipos de circuitos para la señal sonora. En el proceso de diseño de los PCBs, las principales consideraciones encaminadas a evitar el ruido son las siguientes⁷:

- Principio básico: líneas directas, cortas y anchas. Líneas más anchas de alimentación y tierra. De esta forma se reduce la impedancia común.
- Ángulos de 45° para evitar radiación de ruido (generalmente para altas frecuencias).
- Apantallar o bordear tarjeta con nivel de tierra, usar conexiones a tierra de forma directa y en lo posible emplear islas de tierra para romper bucles inductivos.
- El circuito del cristal se traza cuidadosamente debido a que es susceptible y a la vez fuente de ruido.

El PCB de la tarjeta del panel es de doble cara y tiene las dimensiones: 54.6 x 16.6 cm. El PCB del mando es de cara sencilla y sus dimensiones son: 10.7 x 7.6 cm. En la figura 23, se muestra los PCBs implementados⁸ y el esquema eléctrico del SIP se muestra a continuación.

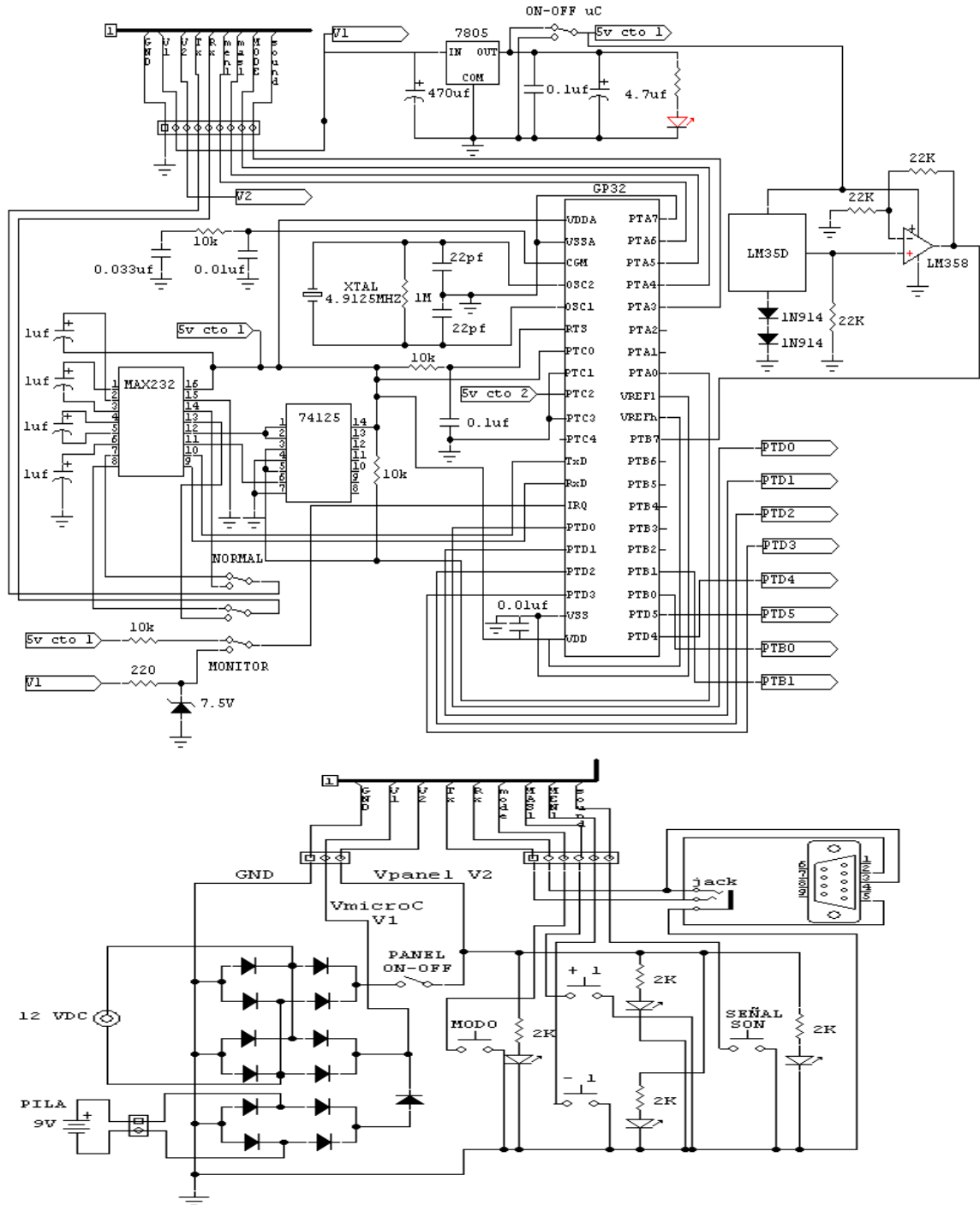
⁶ Información disponible en www.protel.com

⁷ Para más información véase notas de aplicación AN1259, AN1505 y AN1263 de MOTOROLA INC. Disponible en www.freescale.com

⁸ El archivo con los PCBs diseñados esta disponible en el anexo E: Circuitos impresos

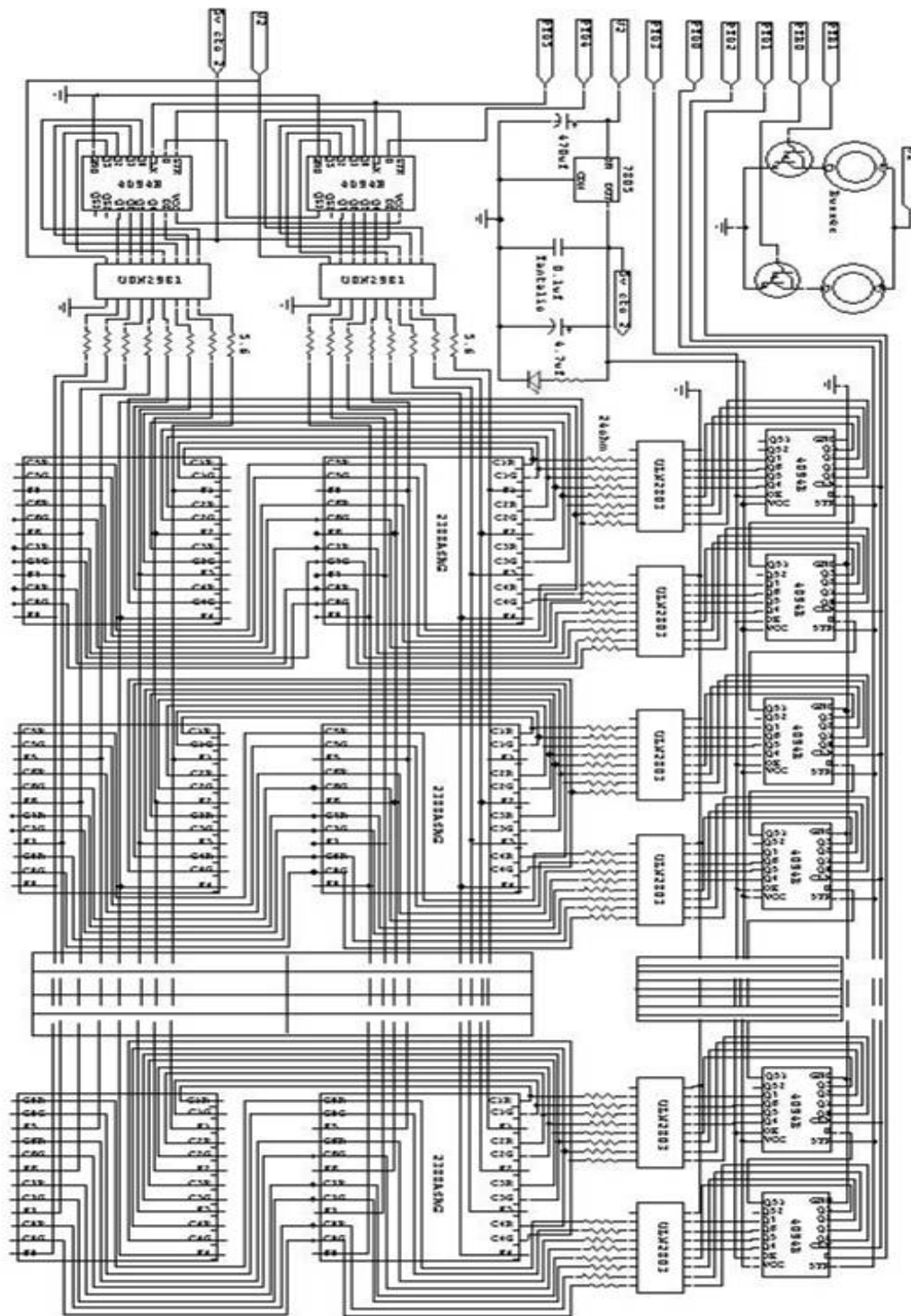
4.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA

Figura 21: Esquema eléctrico del sistema de información



Fuente: Autor

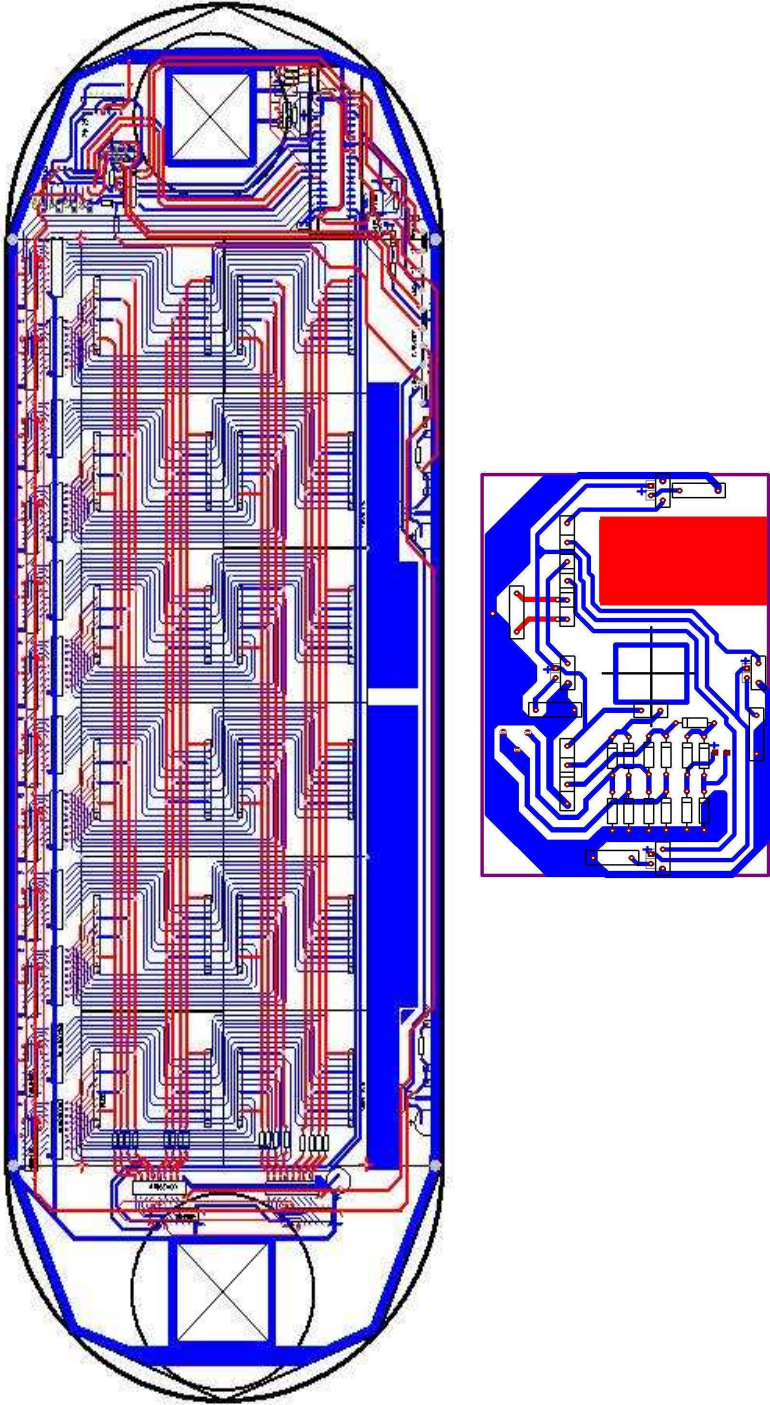
Figura 22: Continuación esquema eléctrico



Fuente: Autor

4.2 CIRCUITOS IMPRESOS

Figura 23: Circuitos impresos implementados



Fuente: Autor

5. DESARROLLO DEL PROGRAMA

El programa del microcontrolador se desarrolló en lenguaje C, empleando el software CodeWarrior⁹, el cual es un entorno de desarrollo para microcontroladores HC08. Para lograr las características del SIP, el programa base está compuesto por alrededor de 70 rutinas operando sobre 5 tipos de interrupción. Por esta razón, en el desarrollo del mismo se observó la necesidad de identificar y organizar cada nueva rutina con una letra inicial para mostrar la sección a la que hace parte. Las secciones del programa desarrollado¹⁰ se muestran a continuación:

MAIN

A: RUTINAS DE MULTIPLEXIÓN

B: RUTINAS DE MANEJO Y VISUALIZACIÓN DE TEXTO

C: RUTINAS DEL MODO EDICIÓN

D: RUTINAS DE GRABACIÓN

E: RUTINAS DEL MODO TURNO

F: RUTINAS DE MANEJO DE ANIMACIONES

H: RUTINAS PARA CONTEO Y VISUALIZACIÓN DE HORA

I: RUTINAS PARA MEDICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE TEMPERATURA

S: Z: RUTINAS DE ENVIÓ SERIAL AL PANEL

Como se mencionó anteriormente, el límite de velocidad del microcontrolador en el proceso de multiplexión de 16 canales, junto con el manejo de 16 bits por cada MLED, hacen que sea crítica la velocidad de procesamiento de texto y gráficos. Estas condiciones provocaron muchas dificultades al aumentar el tamaño del panel horizontalmente, llevando a rediseñar el programa en muchas ocasiones, a fin de lograr manejar la información entre las interrupciones de multiplexión. En el desarrollo del programa se emplearon consideraciones de optimización para

⁹ Para más información véase <http://www.metrowerks.com>

¹⁰ Véase el programa completo en el anexo A: Programa desarrollado

microcontroladores de 8 bits,¹¹ que favorablemente permitieron mejorar el tiempo de ejecución y establecer una posibilidad de ampliación a un máximo de 12 ventanas o 96 pixeles de ancho. Las pautas de optimización más importantes con las que se construyó el programa son las siguientes:

- Las variables locales se localizan en un segmento de RAM llamado pila o stack, aunque ahorran memoria porque se destruyen luego de ser usadas en una subrutina, ese mismo proceso hace que su uso sea lento ya que requieren de un byte extra y un ciclo de instrucción extra. Por esta razón en la mayor parte de las subrutinas no se emplearon este tipo de variables, ni argumentos de entrada (que son copias en variables locales). En general se emplearon variables globales que permiten mayor velocidad de ejecución, y están disponibles para todas las rutinas dentro del mismo archivo.
- En el mapa de memoria del microcontrolador, existe un segmento que va desde la posición 00 a la posición FF, correspondiente a los primeros 255 bytes, el cual contiene los registros de entrada-salida y los primeros 192 bytes de RAM. Esta región se conoce con el nombre de “pagina cero” o “pagina directa” ya que el acceso a los datos es un ciclo de instrucción más rápido que en el resto de regiones del mapa de memoria. Para usar esta ventaja en velocidad se debe emplear la expresión del compilador *#pragma* declarando las variables dentro de la región de pagina directa. Las variables que se definieron dentro de esta región son las variables de más uso en la ejecución del programa del SIP. La declaración dentro de la RAM de página cero o Z_RAM presenta la siguiente forma:

```
#pragma DATA_SEG SHORT  ZEROPAGE  
  
    “declaración de variables de más uso en el SIP”  
  
#pragma DATA_SEG          DEFAULT
```

Donde ZEROPAGE se declara en el archivo “ P&E_ICD_linker.prm”¹² de la siguiente forma:

```
ZEROPAGE INTO Z_RAM;  Z_RAM  = READ_WRITE 0x0040 TO 0x00FF;
```

- Teniendo en cuenta que la pila donde se ubican temporalmente las variables locales se ubica por defecto en la página cero, se re-localizo en otra posición de la RAM. Al hacer esto se liberaron todos los 192 bytes de la RAM de pagina cero para colocar las variables de uso más frecuente.

¹¹ Véase nota de aplicación AN2093. Disponible en www.freescale.com

¹² Véase el archivo en el anexo A: Programa desarrollado

- Puesto que los microcontroladores de 8-bits procesan los datos de 8-bit más eficientemente que datos de mayor tamaño, se empleo el proceso de seccionar los datos en el envió serial. Por esta misma razón el empleo de datos complejos como matrices y estructuras, requieren el empleo de cálculos internos de indexado que hacen lento el acceso a ellos. En consecuencia, las tablas de mayor uso dieron mejores resultados estableciéndolas como vectores.
- En el importante proceso de envió de datos serial, se evito el uso de bucles de programa en la mayoría de los casos, con lo cual se aumento notablemente la velocidad de ejecución.

A continuación se muestra el mapa de memoria del microcontrolador, que muestra la distribución de las secciones programadas más relevantes:

Tabla 6. Mapa de memoria y subdivisiones programadas

Secciones Generales	Subdivisiones programadas		Posición*
Registros de entrada-salida			\$0000
Memoria RAM de 512 Bytes	Z_RAM		\$40 a \$FF : 192 Bytes
		RAM	\$100 a \$23F: 320 Bytes
	STACK		Stack inicia en \$23F y se llena hacia atrás.
No disponible			
Memoria FLASH de 32192 Bytes	Memoria de mensajes	ROM de constantes	\$8000
	Tabla Caracteres y otros		
	Tabla Animaciones		
	Código de programa y programa de edición	ROM de código	**
Registros de control del microcontrolador, ROM monitor y vectores-dirección de interrupciones			\$FE00

* Se muestran posiciones en base hexadecimal mediante el signo \$.

** El inicio de la ROM de código depende del espacio asignado a la ROM de constantes, el cual a su vez depende del campo de mensajes y de las animaciones que se programen.

Fuente: Autor

5.1 EL DESPLIEGUE DE MENSAJES

En la operación del despliegue de información son fundamentales las siguientes tablas:

- **TABLA_FLASH_EEPROM [MAX_NUM_MENSAJES] [128]:** Este segmento de memoria FLASH se usa como memoria EEPROM¹³. Contiene una matriz en la que se graban los mensajes que se crean en el modo edición, y donde cada elemento es un dato de un byte. Su ubicación en el mapa de memoria está al inicio de la ROM y su tamaño depende del máximo de mensajes diferentes que una aplicación determinada podría usar.

Los mensajes almacenados en la *TABLA_FLASH_EEPROM* disponen 128 de bytes y cada mensaje tiene la siguiente estructura de almacenamiento:

Figura 24. Contenido de un mensaje almacenado

Información en código ASCII (120 caracteres)	Byte 0 al Byte 119
0 (indicador fin de información)	Byte 120
Bandera de grabación	Byte 121
0	Byte 122
Número de presentaciones seguidas	Byte 123
0	Byte 124

¹³ Memoria programable que puede ser borrada únicamente por medios eléctricos

Nº Animación	Byte 125
Tipo de introducción de animación	Byte 126
Frame de bucle de animación	Byte 127

Fuente: Autor

La información de texto de cada mensaje se almacena en código ASCII. De esta forma cada carácter ocupa un byte. En el mensaje, el byte 120 se usa para indicar el fin de la información en el despliegue del mensaje. A partir de este byte hasta el byte 127 se almacenan las características referentes a cada mensaje en particular.

- **TABLA_GENERAL_DE_CARACTERES [1760]:** Es un vector en el que se almacenan los pixeles de todos los caracteres que se muestran en el panel, donde cada elemento es un dato de 16 bits. Un carácter desplegado requiere 8 datos del vector y su posición en la tabla se basa en el código ASCII. La tabla se programó con capacidad de 220 símbolos que usan 1760 datos.

En el despliegue de texto inicialmente se buscaba cargar toda la información de pixeles de cada letra o símbolo directamente en la memoria RAM, para luego procesarlos y enviarlos al circuito de datos; pero este método además de gastar muchos ciclos de instrucción, consumía gran parte de esta memoria.

El método que se implementó usa un vector en RAM llamado *dataBUFFER* de 128 bytes, que en lugar de manejar información de pixeles, lo que hace es cargar todos los bytes del mensaje presente en la *TABLA_FLASH_EEPROM*.

Como la información de cada letra aparece en código ASCII, su valor se usa como índice para encontrar su representación en pixeles en la *TABLA_GENERAL_DE_CARACTERES*, la cual esta organizada para tal fin y donde cada carácter en pantalla emplea ocho filas. La información de la fila de pixeles de una letra o símbolo, se carga en una variable llamada *trozo_16_BITS*, de la siguiente forma:

$$indiceTXT = Canal_Activo_MUX - posY;$$

$$z = 8 * (data_BUFFER[k]) + indiceTXT;$$

$$trozo_16_BITS = TABLA_GENERAL_DE_CARACTERES[z];$$

La variable *Canal_Activo_MUX* contiene el valor de 1 a 16 correspondiente a la fila del panel a ser activada en determinada interrupción. La variable *posY* ubica el

texto en una determinada fila en el panel de LEDs del SIP. Como se observa, mientras que una determinada letra (ubicada en *data_BUFFER[k]*) indexa la posición donde se encuentran los pixeles correspondientes, la variable *indiceTXT* va seleccionando la fila en cada multiplexión a partir de esa posición.

A continuación la información contenida en *trozo_16_BITS*, se procesa para seleccionar el color y enviarla al panel, empleando distintos tipos de programas optimizados. Estos programas seccionan los datos a un mínimo de 8 bits, luego comparan, envían el bit por el puerto *DATA_serie_out* y desplazan los bits. Cada bit enviado debe ser alojado en el circuito de carga de datos y para ello se requiere de un flanco de subida en el puerto general CP, controlado por el puerto *CLK_data* del microcontrolador.

En el programa implementado se presentan las rutinas *B_SCROLL_LINE* y *B_ENVIO_DE_FILA_DE_LETRAS*, que en su conjunto van seleccionando y procesando los caracteres contenidos en el buffer de datos, para desplegar e ir desplazando todo el texto.

Figura 25. Desplegando y desplazando solo texto.



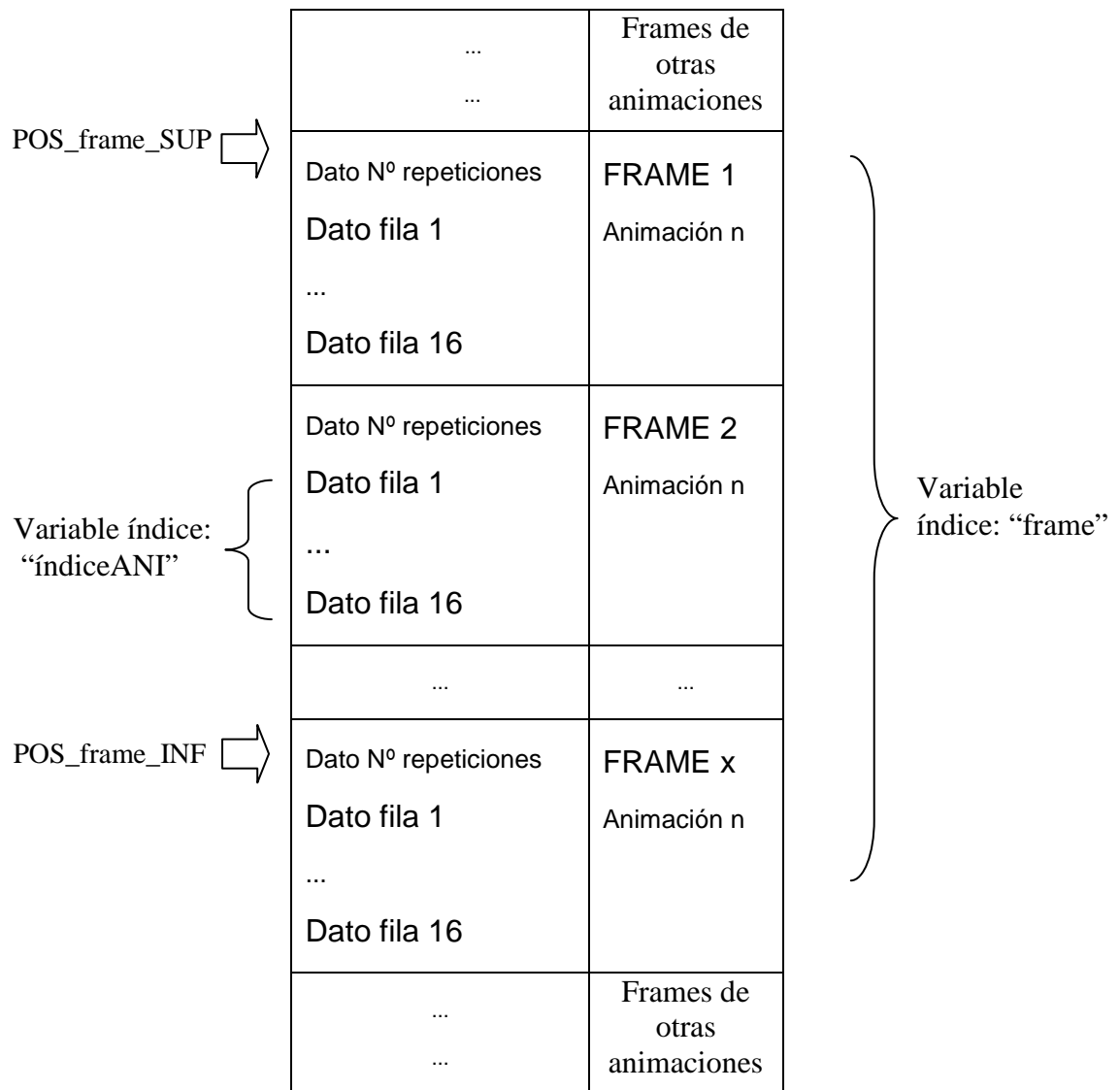
Fuente: Autor.

5.2 EL DESPLIEGUE DE ANIMACIONES

La elaboración de las animaciones requirió considerable tiempo y concentración visual debido a que se trabajaba directamente con cada bit de color, y se debía comparar y corregir los frames para crear movimiento fluido. Debido a esto, fue indispensable la elaboración de un pequeño programa que permitiera la producción de los bits a partir de una matriz de botones. De esta forma se visualizaba mejor la imagen en su elaboración, aunque las tareas de creación, comparación y corrección de frames siguen haciendo laborioso el proceso.

Todas las animaciones se almacenaron consecutivamente en la tabla llamada: *TABLA_GENERAL_DE_ANIMACIONES*. La que en realidad es un vector en el que cada elemento es un dato de 32 bits, y almacena la información de pixeles de las filas de cada frame.

Figura 26. Estructura de la tabla de animaciones.



Fuente: Autor.

Cada frame o imagen de una determinada animación está compuesta por 17 datos de 32 bits. Cada dato corresponde a una fila, exceptuando el primer dato que

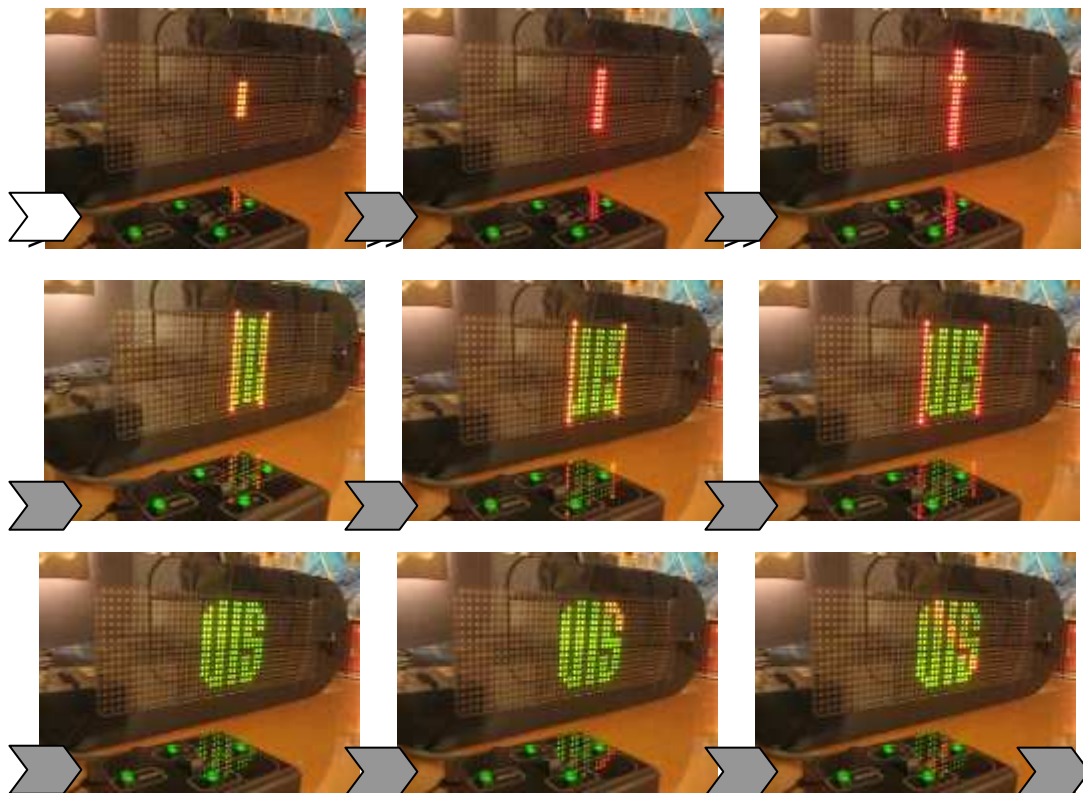
corresponde al número de repeticiones consecutivas de cada frame. Esta información de repeticiones permite economizar la ROM, cuando se desea mantener una imagen por cierto tiempo dentro de la ejecución de una animación, evitando rescribir frames iguales y consecutivos.

Cuando se carga un mensaje, inmediatamente se leen los bytes de características y entre ellos: N° animación (byte 125), introducción de animación (byte 126) y frame del bucle (byte 127). Tomando esta información se selecciona el rango de frames donde se moverá la variable de indexado "frame". Este rango se establece en las variables *POS_frame_SUP* y *POS_frame_INF*.

La operación de selección de fila en una determinada interrupción, es similar al método usado para cargar texto, solo que en este caso se emplean las variables *frame* e *indiceANI*. Esta última variable cambia en cada interrupción debido a que depende del canal a ser activado (*Canal_Activo_MUX*) y selecciona la fila a desplegar en un determinado frame:

```
DATA_fila_32 = TABLA_GENERAL_DE_ANIMACIONES [ 17*( frame)+indiceANI];
```

Figura 27. Desplegando animación.



Fuente: Autor.

Cuando todos los frames son desplegados, la variable *POS_frame_BUCLE* permite repetir la animación desde un determinado frame. Si en un tipo de animación no se desea crear un bucle, entonces esta variable debe contener la posición del último frame.

Es importante decir que además de la carga de la información concerniente a la animación, es imprescindible “rellenar” los pixeles a lado y lado del panel porque los datos de multiplexiones anteriores se mostrarían inevitablemente, ya que estos permanecen en el circuito de carga de datos. En el desarrollo del programa se realiza un conteo preciso de pixeles desplegados, debido a la complejidad de los procesos de movimiento y empalme entre el texto y animaciones.

La posición y el movimiento de la animación dentro del panel dependen del tipo de animación seleccionada. Este movimiento se lleva a cabo por rutinas de conteo de frames y rutinas de carga de animación, como es el caso de *F_ANI_INTRO_1*. En estas rutinas los datos de 32 bits se seccionaron en datos de 8 bits, antes de ser enviados de forma serial. La operación mencionada ahorra tiempo de ejecución porque se evita el uso del stack RAM cuando se manejan temporalmente datos de más de 8 bits.

6. EDICIÓN Y GRABACIÓN DE MENSAJES

En el diseño del SIP se buscaba la forma más sencilla y rápida de editar la información a ser desplegada. Es claro que para lograr tal objetivo la forma más viable es el uso de los recursos de un computador, y por esta razón se hace necesario implementar una interfase de comunicaciones entre los dos equipos.

La interfase física está compuesta por:

- Módulo de comunicación serial SCI del microcontrolador
- Circuito de conexión serial y cable conector RS-232

La interfase de software está compuesta por:

- Programación del modulo SCI
- Programa de edición

6.1 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN SERIAL

Este módulo para comunicación serial SCI, permite transmitir y recibir datos a través de los puertos PTE0 y PTE1 respectivamente. Presenta tres registros de control (SCC1, SCC2 y SCC3), dos registros de estado (SCS1 y SCS2) y dos registros de datos (SCDR y SCBR), todos ellos permiten en su conjunto establecer el tipo de transmisión, la velocidad y el tipo de interrupción deseados. Para el caso del SIP se estableció la siguiente configuración:

- Velocidad 38400 baudios (bits/segundo).
- 8 bits de datos, sin bit de paridad y 1 bit de parada (figura 28).
- Comunicación half-dúplex.
- Interrupciones de recepción cuando llegan datos desde el PC.
- Interrupciones de error de sobreflujo si los datos no se leen a tiempo.

Figura 28. Transmisión de datos seriales con 8 bits de datos por trama



Fuente: MOTOROLA INC, Autores. TECHNICAL DATA MC68HC908GP32.

6.3 PROGRAMA INTERFAZ DE EDICIÓN

Con el deseo de hacer el SIP bastante compatible y portable, surgió la idea de incluir un sencillo programa de edición directamente en el microcontrolador y emplear una terminal de datos “freeware” como es el caso de HyperTerminal¹⁶ para comunicarse con el programa interfaz. Como es de esperarse, la desventaja aparece en una reducción de código disponible, aunque por otro lado, las ventajas que se encontraron al trabajar de esta forma fueron las siguientes:

- Al mantener continuamente la comunicación con el SIP se conoce el modo de operación en que este se encuentra, por lo que permitió más control sobre el funcionamiento del mismo.
- Esta continua comunicación permitió visualizar en el panel los cambios hechos de forma inmediata, en la edición de toda la información. Por ejemplo, el programa de edición desarrollado trabaja directamente con el vector de mensajes *dataBUFFER*, y por esta razón es posible ver como se va editando texto simultáneamente en el PC y el panel del SIP.
- Todo el proceso de edición en su conjunto es bastante ágil, debido a que la interfaz trabaja directamente con la RAM del microcontrolador.
- Al implementar interfaz desde el microcontrolador, las opciones en el proceso de edición son presentadas de forma secuencial y por lo tanto no es necesario el uso de manuales para manejarlo.

El programa interfaz se implementó en la rutina *C_SCI_Recepción*, a la cual se accede cada vez que se genera una interrupción de recepción. Esta rutina trabaja con la variable *NIVELconecPC* para conocer el estado actual en el programa interfaz, dando la respuesta adecuada en cada caso. El envío de datos al terminal se realiza gracias a rutinas como es el caso de *SCITxPutLine*, que en general envían caracteres o tramas de caracteres y esperan mientras está ocupada la transmisión.

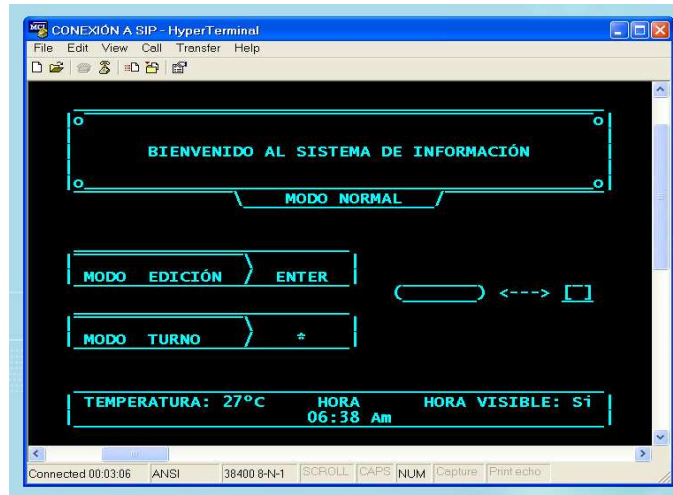
El programa interfaz en el modo normal, dibuja en la terminal la pantalla mostrada en la figura 30. En esta pantalla se muestra como acceder a los otros modos, se obtiene información de hora y temperatura e indica si la visualización de hora en el panel está activada.

Al teclear ENTER se accede a la pantalla del modo edición, la cual muestra las opciones y la lista de mensajes almacenados como se observa en la figura 31.

En la lista de mensajes se muestra la cantidad de mensajes almacenados y las características relevantes de cada mensaje, mostrándolos en grupos de cinco mensajes. Para ver toda la lista se emplean las teclas ENTER y RETROCESO.

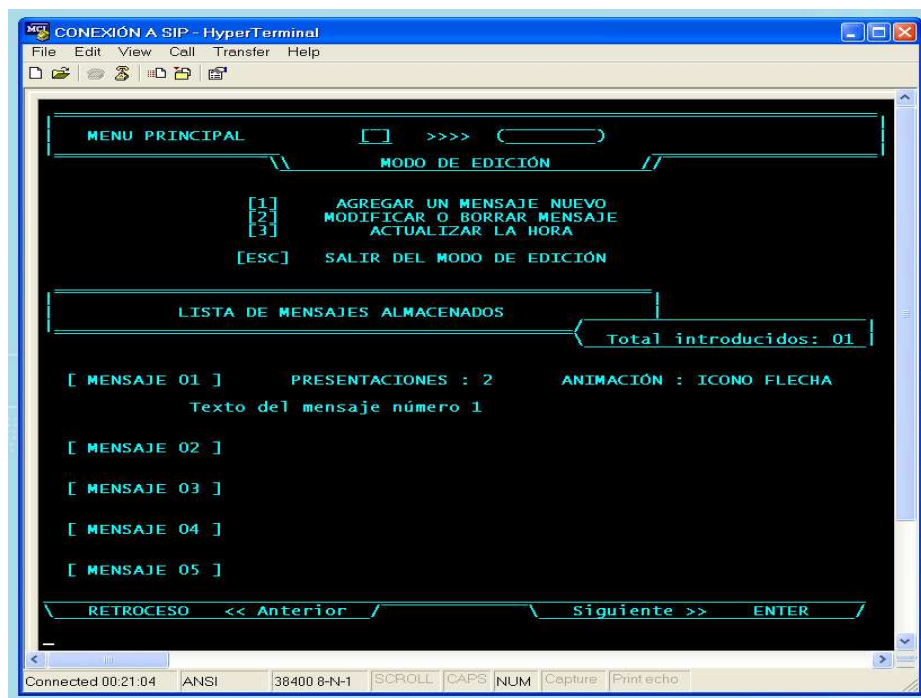
¹⁶ Disponible en <http://www.hilgraeve.com>

Figura 30. Interfaz en modo normal



Fuente: Autor.

Figura 31. Interfaz en modo edición



Fuente: Autor.

6.4 GRABACIÓN PERMANENTE DE INFORMACIÓN

El microcontrolador 68HC908GP32 cuenta con la tecnología de memoria FLASH de segunda generación, la cual ofrece un mínimo de 10.000 ciclos de borrado-

escritura; requiere de solo 30 a 40 microsegundos por byte programado y emplea un sencillo algoritmo de programación que permite escribir en bloques de memoria sin necesidad de un voltaje elevado externo. Estas características de la tecnología FLASH han fomentado la creciente tendencia de programación “en-circuito”, presente en los nuevos dispositivos que aparecen día a día.

En el funcionamiento normal del SIP, estas ventajas nombradas eliminan la necesidad de emplear una memoria externa para almacenar la información que continuamente se va editando. El segmento de memoria que se utiliza para tal fin corresponde a la *TABLA_FLASH_EEPROM* y se aplican las siguientes rutinas para programar cada mensaje¹⁷.

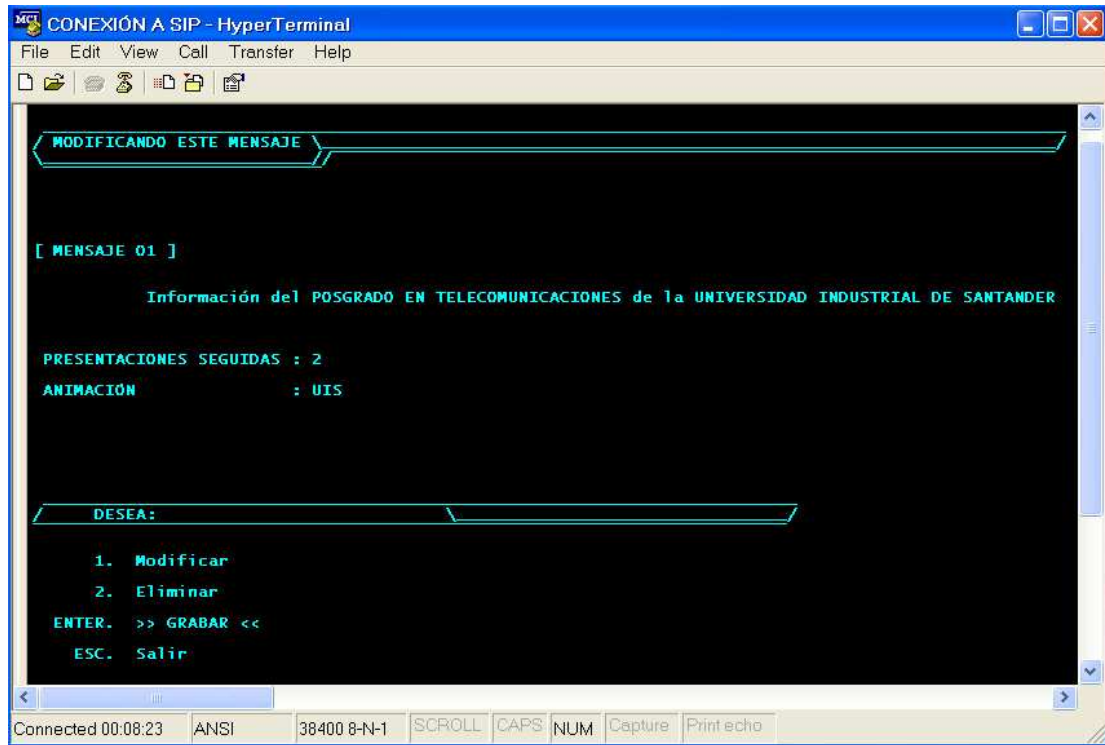
D_EErase: copia el programa de borrado *D_RamEraseEE* en la RAM y lo ejecuta apuntando a la página de 128 bytes a ser borrada. Tanto el proceso de borrado como el de escritura no es posible efectuarlos con programas desde la propia FLASH, por esta razón las rutinas de borrado y grabación se ejecutan desde la memoria RAM.

D_EEWrite: copia el programa de grabación *D_RamWriteEE* en la RAM y lo ejecuta. Al hacer esto, los datos del vector de mensajes *dataBUFFER* se escriben en una determinada dirección FLASH. Mientras que un bit borrado se lee como un 1 lógico, un bit programado se lee como un 0 lógico. Para evitar errores en los datos, siempre es necesaria la operación de borrado antes de grabar un bloque de la memoria FLASH.

El proceso de borrado y grabación de información es controlado en el modo edición de la interfaz del SIP y para ello se accede a la rutina llamada *C_SCI_GRABAR_FLASH*, que se ejecuta cuando se confirma el borrado o la grabación de un determinado mensaje luego del proceso de edición.

¹⁷ Para más información véase nota de aplicación AN2183. Disponible en www.freescale.com

Figura 32. Pantalla de confirmación en la grabación de mensaje



Fuente: Autor.

7. MEDICIÓN Y DESPLIEGUE DE HORA-TEMPERATURA

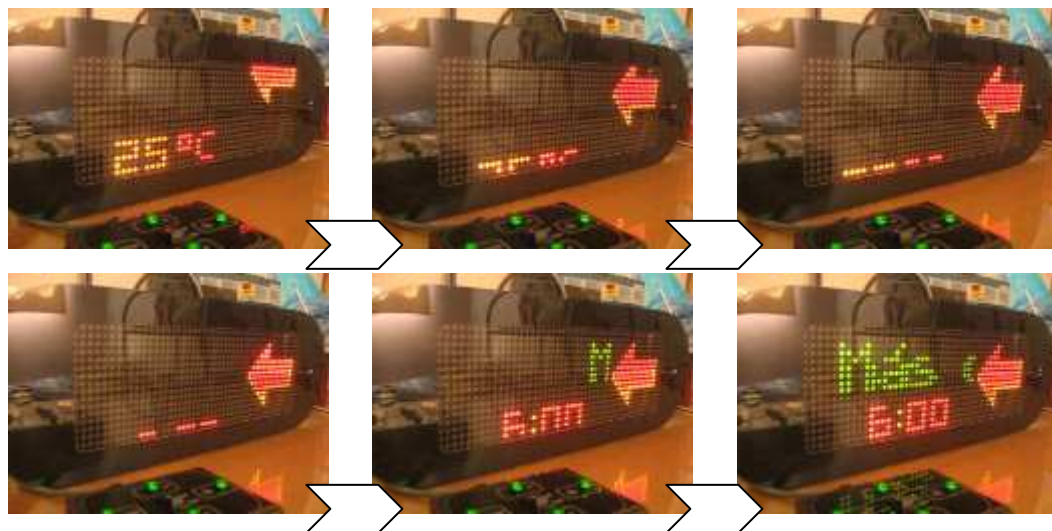
La información de la hora es siempre bien recibida y solicitada con frecuencia por los usuarios en cualquier establecimiento. Aunque los paneles de LEDs convencionales siempre presentan este tipo de información, lo hacen de forma esporádica y el usuario finalmente no relaciona el dispositivo con el despliegue de hora, porque usualmente no espera a que aparezca.

Una de las ventajas presente al desarrollar un panel de dos líneas, es que permite mostrar distintos tipos de información en cada línea. Al hacer esto, se observó que la visualización permanente de hora y temperatura aumenta la efectividad en la transmisión de los mensajes porque se crea un punto focal común.

7.1 CARGA DE DATOS DE HORA-TEMPERATURA

El conteo de hora se realiza gracias al módulo de base de tiempo (TBM), el cual genera interrupciones periódicas que permiten hacer la medición precisa. La visualización de la hora es permitida siempre y cuando la bandera *Hora_Actualizada* está activa. Cuando se interrumpe el suministro de energía, los datos se reinician y esta bandera impide mostrar información errónea. Para actualizar la hora se hace uso del modo edición de la interfaz¹⁸.

Figura 33. Visualización de hora y temperatura



Fuente: Autor.

¹⁸ Véase el numeral 6.3, figura 31

El proceso de selección y envío de estos datos se realiza en la rutina *H_Cargar_FILA_HORA*. Los pixeles correspondientes al despliegue de hora y temperatura se encuentran en las posiciones 172 a 183 de la tabla de caracteres. Los números de hora y temperatura son de menor tamaño con el fin de dar suficiente espacio al movimiento del texto del mensaje.

El despliegue de temperatura se programó de tal forma que aparezca solo durante un breve lapso de tiempo, para dar paso a la exhibición permanente de hora dentro del mismo campo. Ambas secuencias de salida-entrada se dan de forma vertical, como se observa en la figura 33.

En las distintas puestas a prueba del SIP, se percató de la necesidad de dar una pausa en la continua exhibición de mensajes. Con esta premisa se estableció el modo pausa o modo clock, el cual se activa cada cierto tiempo mostrando la hora en tamaño grande. Este modo también se activa mediante el botón izquierdo del mando del SIP. Acceder al modo clock manualmente permite mantener el sistema en ese estado por tiempo indefinido, hasta que el operador decida desplegar mensajes normalmente.

7.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para medir adecuadamente la temperatura ambiente se emplea el sensor LM35. Este sensor de tres terminales tiene una respuesta lineal de 10 mV por °C y opera en el rango de 4 a 30 V.

Con el propósito de medir la señal de voltaje producida por el sensor, se empleó el convertor análogo a digital de 8 bits disponible en el módulo "ADC" del microcontrolador, y se estableció el puerto PTB7 para medir el voltaje.

La resolución del convertor de 8 bits es:

$$\text{Resolución} = \frac{V_{\text{referencia}}}{2^8} = \frac{5V}{2^8} \approx 19.531 \frac{mV}{bit}$$

Si se toma el voltaje directamente desde el sensor, la resolución de 19.531 mV/bit no permite detectar cambios de solo 10 mV, correspondientes a variaciones de 1°C. Por esta razón, comúnmente se emplea un circuito basado en amplificador operacional para escalar y elevar la señal del sensor. El circuito implementado se muestra a continuación:

8. DESARROLLO E INCORPORACIÓN DEL SISTEMA DE TURNOS

En esta etapa de desarrollo del sistema de información los procesos de despliegue en panel, y manejo de texto y gráficos se habían llevado a cabo de forma satisfactoria. Era el momento en que el sistema de turnos podía ser incorporado como un complemento al despliegue de mensajes.

8.1 DESPLIEGUE EN MODO TURNO

Inicialmente se implementaron tablas independientes para los números grandes y para la animación del letrero turno. Sin embargo con el desarrollo de los frames de las animaciones, se debía optimizar el uso de la memoria ROM ya empleada. Por esta razón, la información de pixeles para visualizar el sistema de turnos se encuentra en la *TABLA_GENERAL_DE_CARACTERES*. Esta tabla contenía espacios sin usar debido a las posiciones de caracteres ASCII que no son útiles en esta aplicación. Las posiciones en la tabla correspondientes al modo turno se ubican entre las posiciones ASCII 130 y 169 recordando que cada posición contiene 8 datos de 16 bits.

Cuando se acciona la tecla para incrementar, se genera en el microcontrolador un incremento en la variable *TURNO* si la comparación con la variable *MÓDULO_TURNO*¹⁹ lo permite. A continuación el nuevo valor se separa en sus tres dígitos en la variable *vecTURNO*. Los datos de esta última variable son los que permiten indexar a los pixeles correspondientes para desplegar el turno. El manejo de los pixeles se lleva a cabo en la rutina *E_Cargar_FILA_TURNO*.

Figura 35. Despliegue en modo turno



Fuente: Autor

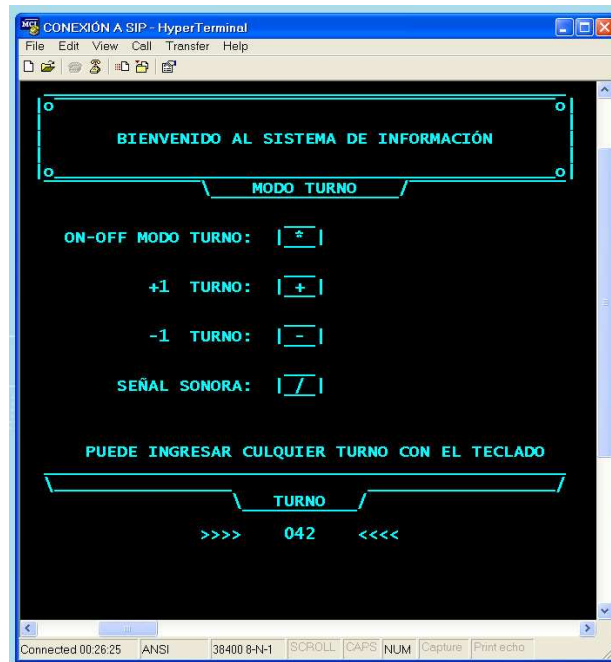
¹⁹ La variable *MÓDULO_TURNO* contiene el máximo valor de conteo y se configura mediante la interfaz con valores de 1 a 999

Se diseñó el modo turno de forma que la información habitual se re-localiza en la primera fila del panel y bajo esta se muestra el letrero turno junto al número de tres dígitos. Para hacer más agradable y efectiva la visualización, tanto el letrero como el número cambian al anunciar el turno y el dígito de las centenas es visible solo cuando es diferente de cero, como se observa en la figura 35.

8.2 CONTROL DE MODO TURNO DESDE LA INTERFAZ

Al ingresar al modo turno ya sea desde la terminal o desde el mando independiente del SIP se dibuja la pantalla presente en la figura 36, desde la cual se exhiben las teclas necesarias para controlar el sistema de turnos desde el computador.

Figura 36. Pantalla de interfaz en modo turno



Fuente: Autor

Además de monitorear el turno desplegado en el SIP, la interfaz permite acceder a cualquier número instantáneamente desde el teclado numérico, además de que permite redefinir el módulo de conteo al presionar la tecla TAB en los tres dígitos.

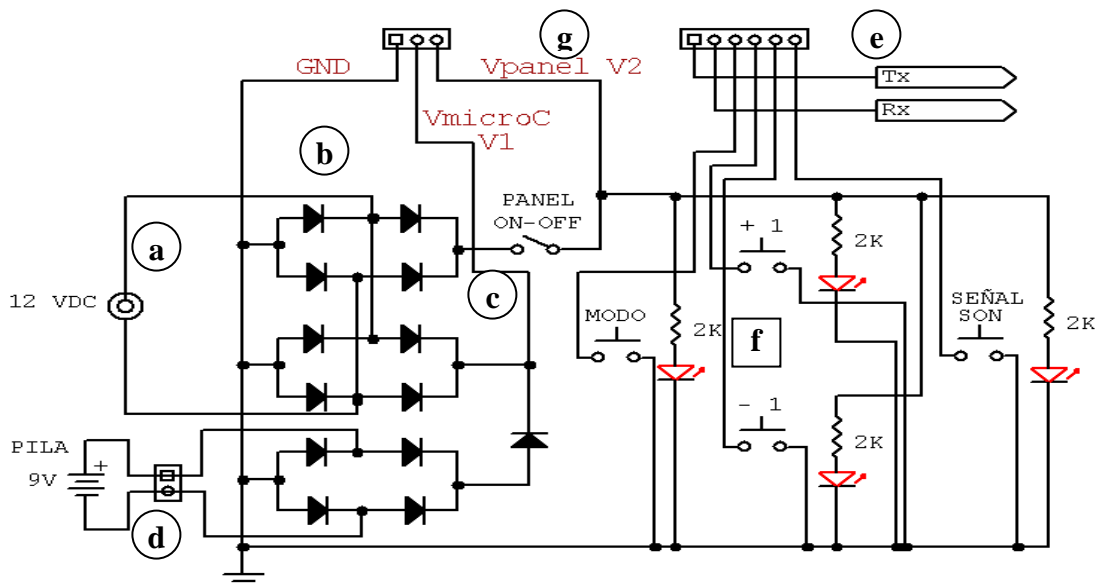
Durante las aplicaciones del SIP manejando turnos, se encontró que la gran ventaja del uso de la interfaz, es que esta también permite editar y desplegar rápidamente cualquier información de interés que se necesite transmitir; como es el caso de modificaciones en horarios de atención, requisitos de algún tipo etc.

8.3 EL MANDO INDEPENDIENTE

El sencillo circuito del mando se diseñó pensando en el control de turnos y en el suministro de energía. El circuito implementado tiene las siguientes características que se refieren a la figura 37:

- Conector de 12 V DC para alimentar el SIP.
- Puente-h de diodos sencillo en la entrada de energía, el cual permite usar las dos polaridades de alimentación sin riesgo de generar daños.
- Interruptor central que activa o desactiva el panel de forma independiente, manteniendo el funcionamiento interno del SIP. De esta forma se permite editar la información con la pantalla apagada.
- Conector para batería opcional de 9V. El empleo de la batería evita el reinicio de hora ante interrupciones en el suministro de energía.
- Conector jack-stereo del cable serial, para la interfaz con el PC.
- Pulsadores para acceder y controlar el modo turno. Cuando se acciona alguno de ellos, el puerto del microcontrolador al que está conectado se lleva a 0 V. Estos pulsadores se iluminan indicando que el panel está encendido.

Figura 37. Esquema del circuito mando



Fuente: Autor

Para comunicar el mando con el panel se emplea un cable apantallado de 10 hilos, el cual se conecta a dos borneras ubicadas en la posición “g” de la figura 37. De izquierda a derecha se enumeran las conexiones en estas borneras:

1. Nivel de tensión de referencia o tierra general.
2. Alimentación para microcontrolador y otros circuitos.
3. Alimentación para circuito Panel de LEDS.
4. Línea de transmisión serial.
5. Línea de recepción serial.
6. Puerto modo turno on-off.
7. Puerto más turno.
8. Puerto menos turno.
9. Puerto señal sonora.

Por recomendaciones en el diseño de PCBs el circuito filtro de ruido y el circuito de alimentación de 5V se implementaron en el PCB del SIP, de esta forma se evitan caídas indeseables de tensión y se mejora la respuesta al ruido.

A continuación se muestra el mando del SIP implementado:

Figura 38. Mando del sistema de información



Fuente: Autor

Para implementar los cuatro pulsadores del modo turno, se empleó el módulo de interrupción de teclado del microcontrolador KBI. Cuando se configura uno de estos puertos, internamente se activa una resistencia de 45 k Ω que conecta el pin con 5V y permite la generación de interrupciones cuando se lleva el puerto a un nivel de 0V o cuando se mantiene en este nivel. Este módulo se configuró para generar interrupciones en flancos de caída en los puertos PTA3 a PTA6.

En el desarrollo del modo turno se configuró el segundo temporizador presente en el modulo TIM, con los siguientes fines:

- Establecer la activación y duración en la señal sonora, a la vez que permite generar un parpadeo de llamado de turno.
- Generar un retardo en la activación del modulo KBI, evitando errores al presionar alguna de los cuatro botones. Este retardo inhibe la respuesta ante transitorios de tensión erraticos debidos a la naturaleza del pulsador.

Los procesos de activación del temporizador y la recepción de la señales de turno se realiza en la rutina *E_interKBIcontrolTURNO*.

9. CONCLUSIONES

Luego de su implementación y de varias puestas en funcionamiento para diferentes establecimientos, se observó la versatilidad del sistema al desplegar fluidamente todos los tipos de información propuestos, y por consiguiente, se logró una mejor atención al usuario. Estas aplicaciones reales fueron muy importantes en el progreso del sistema.

Un adecuado estudio inicial a las matrices de LEDs, permitió afianzar y profundizar los conocimientos sin los cuales no hubiera sido posible un diseño robusto del panel y un aprovechamiento eficiente de los elementos implicados. De esta forma, el equipo obtenido permitió la continua evolución de estos sistemas, a la vez que con su diseño se consiguieron bajos costos que hacen más viable su uso.

Se comprobó la efectividad de la técnica de multiplexión, como método eficaz para reducir dramáticamente la cantidad de conexiones. Gracias a este método, se consiguió un diseño viable.

Si bien esta forma de despliegue hizo posible llevar a cabo el sistema, al realizarla para el panel con 16 filas, se originaron bastantes inconvenientes de velocidad de carga que se superaron gracias a la exhaustiva optimización del código del microcontrolador. Cabe decir que un orden adecuado de los elementos del programa contribuyó notablemente en la labor de perfeccionamiento de cada sección del mismo. Con este programa implementado se logra manejar paneles de 96 x 16 pixeles en tres colores, lo cual es un gran progreso para este tipo de dispositivos con microcontroladores de solo 8 bits a 8 MHz.

A través de los métodos diseñados para el manejo y carga de información, se creó una técnica eficiente para el despliegue de animaciones sencillas. Estas últimas le dieron atractivo y originalidad al sistema, gracias al trabajo dedicado a su aparición e interacción con el resto de información.

El desarrollo del programa de interfaz incluido dentro del propio microcontrolador permitió realizar muy rápidamente las operaciones de edición, carga de información, y monitoreo de turno tal y como se buscaba en este tipo de aplicación.

Con el diseño conjunto de los circuitos impresos y carcasas, basadas en bocetos preliminares de estas últimas, se alcanzó una apariencia agradable, acorde con las exigencias estéticas en los equipos de información actuales. Para lograr esto, se hace un uso correcto del software de diseño disponible.

Se encontró en este tipo de sistema visual, una plataforma motivadora para el diseño creativo de dispositivos que beneficien las distintas actividades del ser humano, y a su vez, se obtuvo una herramienta para la aplicación real de la mayor parte de los módulos del microcontrolador. Esto se evidenció en el mismo desarrollo y evolución del dispositivo, donde cada idea conducía a otras posibilidades de mejoramiento, aprovechando eficientemente los recursos disponibles.

10. RECOMENDACIONES

Aunque el presente sistema de información contiene las debidas protecciones eléctricas de hardware y software, al conectarlo a la toma de red eléctrica, se recomienda que este se encuentre en el estado de “pantalla apagada” (off) en el interruptor del mando independiente. Al hacer esto se permite al software detectar y proteger los LEDs cuando el panel sea encendido.

La tarjeta del SIP se elaboró con la técnica de transferencia térmica gracias a la experiencia en la elaboración de anteriores circuitos impresos. Este método de fabricación género inconvenientes debido al requerimiento de distribución uniforme de calor, en la tarea de estampar el diseño circuital de cada una de las caras de la placa. Por consiguiente, para la elaboración de proyectos similares se recomienda emplear otras técnicas de fabricación, como por ejemplo la técnica de fotograbado.

En el diseño e implementación de sistemas de este tipo, es aconsejable dedicar tiempo suficiente a los elementos que aseguren la robustez mecánica de la tarjeta. Además del empleo de borneras y amarres firmes, se recomienda diseñar campos especiales para alojar barras horizontales que le den la rigidez necesaria en todo punto, y de esta forma se evita estar reparando futuras desconexiones debidas a curvaturas indeseables durante su manipulación. El SIP emplea dos de estas barras aisladas eléctricamente del circuito, pero se puede mejorar el diseño con campos especiales de tierra que permitan anclar las barras sin requerir del aislamiento.

Teniendo presente los alcances obtenidos del sistema, se propone su estructura funcional para las siguientes aplicaciones:

- Desarrollo de pantallas modulares, que permitan ir anexando paneles uno junto a otro para crear pantallas grandes, o un panel horizontalmente extenso.
- Conteo de puntuaciones: posible aplicación práctica en distintos certámenes empleando números grandes en las 16 filas.
- Despliegue y control de nivel de medición: mediante una reprogramación, es posible emplear parte de la estructura, con el fin de visualizar algún tipo de medida de sensor, y ante determinados niveles, se generen distintos avisos visuales y sonoros, a la vez que se produce la acción de control.

A través de este proyecto se desea motivar en la investigación de la tecnología de LEDs, no solo en la creciente aplicación en pantallas, sino también en otras aplicaciones que toman cada vez más fuerza como es el caso de la iluminación y señalización. Con seguridad se puede afirmar que la tecnología de LEDs ha sido, es y será una continua fuente de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEGRO Microsystems. Hoja de datos UDN2981. <http://www.allegromicro.com>

FRESCALE Semiconductor. Led Drive Techniques. Nota de aplicación AN1238. http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN1238.pdf

DIGITAL DNA. Using FLASH as EEPROM on the MC68HC908GP32. Nota de aplicación AN2183. <http://www.freescale.com>

LYSTAR Technology Ltd. Hoja de datos SS2388. <http://lystar.com.tw>

MAXIM DALLAS Semiconductors. LEDs Are Still Popular (and Improving) after All These Years. Nota de aplicación 1883. <http://www.maxim.com>

MOTOROLA Semiconductor. Manual de Referencia del MC68HC908GP32 http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908GP32.

MOTOROLA Semiconductor. Creating Efficient C Code for the MC68HC08. Nota de aplicación AN2093. <http://motorola.com/sps/>

MOTOROLA Inc. Design and Layout Techniques for Noise Reduction in MCU-Based systems. Nota de aplicación AN1259. <http://Design-NET.com>

NATIONAL Semiconductor. Hoja de datos LM35. <http://www.stcom>

PHILIPS Semiconductor. Hoja de datos HC/HCT4094. <http://www.datasheetcatalog.com>

PROTEL Inc. Exploring Protel 99SE. <http://www.protel.com>

PROTEL Inc. Training PCB. <http://www.protel.com>

PROTEL Inc. Protel 99SE PCB supplement. <http://www.protel.com>

SHENZHEN BOND OPTOELECTRONICS. Hoja de datos matriz BDM2388. <http://www.bond-led.com>

HOLTEK Inc. Sound Generator HT2812. <http://www.datasheetcatalog.com>

ANEXOS

Debido al contenido de estos anexos, la presentación de ellos se encuentra en el CD.