



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ LED CON
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

PRESENTA:
Andrés Domínguez Miranda

Para obtener el título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

Asesor:
Maestro en Ciencias
Alberto Carlos Salas Mier

Morelia, Michoacán México - Agosto de 2016

Agradecimiento

Quiero agradecer principalmente a mi familia, mi madre, Sonia y mis abuelos, José y Teresa, quienes con su apoyo incondicional me brindaron la oportunidad de tener una educación universitaria y acompañarme en el largo camino que ha sido el llegar a la conclusión de la licenciatura.

Agradezco también a mis otros familiares, mis tíos, primos y primas, que siempre me apoyaron y me mantuvieron firme en visualizar la meta de la finalizar mi carrera profesional.

De igual manera agradezco a mis profesores los cuales me mantuvieron motivado, comprometido y forjaron mi carácter como ingeniero a lo largo de mi estancia en la universidad, principalmente agradezco a mi asesor Alberto Carlos por el apoyo, el tiempo, la confianza y la amistad que me brindo en todo momento.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mi madre Sonia que sobre toda adversidad, siempre veló por que yo tuviera todo lo necesario para poder concluir mis estudios de licenciatura y estar preparado para enfrentar cualquier obstáculo que se interponga en un futuro.

De igual forma, dedico este trabajo a mis abuelos, Teresa y José por su confianza y siempre creer en mi, y sobre todo, por ser el apoyo más grande en mi familia.

Índice

Agradecimiento	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice.....	iv
Resumen.....	vi
Palabras Clave	vii
Abstract	viii
Keywords	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Tablas	xi
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Esbozo Histórico.....	2
1.2 La Evolución del Display LED.....	3
1.3 Objetivo	6
Capítulo 2 Fundamentos Teóricos.....	8
2.1 Funcionamiento de un LED.....	8
2.2 Funcionamiento de un Microcontrolador	10
2.3 Comunicación Serial SPI	13
2.4 Perfiles Bluetooth	14
Capítulo 3 Desarrollo del Hardware.....	16
3.1 Estructura de la Matriz LED.....	16
3.2 Control de Barrido mediante el Microcontrolador	18
3.3 Configuración del Demultiplexor	20
3.4 Negación de las Salidas del Demultiplexor	23
3.5 Esquema del Circuito.....	24
3.6 Modulo Bluetooth HM-10.....	28

Capítulo 4 Desarrollo del Firmware	31
4.1 Desarrollo del Driver.....	31
4.2 Lógica de Funcionamiento.....	32
4.3 Función de Impresión	32
4.4 Función de Desplazamiento (Scroll)	33
4.5 Conversión de Caracteres a Valores Hexadecimales	34
4.6 Obtención de la Cadena de Caracteres a través del enlace SPI.....	35
Capítulo 5 Conclusiones.....	36
5.1 Resultados Obtenidos.....	36
5.2 Recomendaciones.....	37
5.3 Trabajos Futuros.....	38
Bibliografía.....	xii

Resumen

En los últimos años el uso de los dispositivos móviles como medio de control de cualquier otro dispositivo electrónico se ha vuelto un hábito común en la población mundial. Cada día este hábito se vuelve más popular y va ganando terreno en el mercado de la electrónica.

El principal objetivo de este trabajo, es la realización de un dispositivo electrónico de uso cotidiano, el cual pueda ser controlado a través de una interfaz de un dispositivo móvil con sistema operativo iOS, y que mediante un enlace inalámbrico (RF) controle el funcionamiento de una Matriz LED.

Palabras Clave

Comunicación Inalámbrica, Comunicación Bluetooth, Protocolo SPI, Diseño Electrónico, Electrónica Digital, Diodo Emisor de Luz, Matriz LED, Dispositivos Móviles, Microcontroladores, Sistema Operativo iOS.

Abstract

In recent years the use of mobile devices to controlling other electronic devices has become a common habit in the world. Everyday this habit has become more common and has gained priority in the electronics market.

The main objective of this work is create an electronic device for everyday use, which can be controlled through a grafic interface on a mobile device with iOS operating system, with a wireless communication (RF) control the LED matrix.

Keywords

Wireless Communication, Bluetooth Communication, SPI Protocol, Electronic Design, Digital Electronic, LED (Light Emissor Diode), Mobile Devices, Microcontroller, Operative System iOS.

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - NICK HOLONYAK.....	3
FIGURA 1.2 - SEÑALAMIENTO DE TRANSITO CON MATRIZ LED.....	4
FIGURA 1.3 - DISPLAY LED RGB EN NUEVA YORK.....	4
FIGURA 1.4 - MÚSICO USANDO UN DISPLAY LED RGB DE FORMA ESFÉRICA.....	5
FIGURA 1.5 - DISTRIBUCIÓN DE LEDS RGB EN UNA PANTALLA.....	5
FIGURA 1.6 - MÓDULO MATRIZ LED DE 8 x 8	7
FIGURA 2.1 - COMBINACIÓN DE ELECTRONES Y HUECOS DE UN LED.....	9
FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN MICROCONTROLADOR CON ARQUITECTURA HARVARD.....	11
FIGURA 2.3 - DIAGRAMA GENERAL CON EL MICROCONTROLADOR COMO MÓDULO CENTRAL DEL PROYECTO.....	12
FIGURA 2.4 - DIAGRAMA DE UN ENLACE SPI ENTRE UN MÓDULO MAESTRO Y UN MÓDULO ESCLAVO	13
FIGURA 3.1 - ESTRUCTURA INTERNA DEL MODULO SH1088AS	17
FIGURA 3.2 - LAUCHPAD MSP430F5529	18
FIGURA 3.3 - DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL DEMULTIPLEXOR DM74LS154	22
FIGURA 3.4 - DIAGRAMA INTERNO CI 74LS04	23
FIGURA 3.5 - DIAGRAMA DEL CIRCUITO COMPLETO.....	25
FIGURA 3.6 - CIRCUITO FÍSICO EN PROTOBOARD.....	26
FIGURA 3.7 - DISEÑO FINAL DE LAS PISTAS PARA LA TARJETA DE DOBLE CAPA.....	27
FIGURA 3.8 - MÓDULO HM-10 FÍSICO CON VISTA SUPERIOR E INFERIOR.....	29
FIGURA 3.9 - MAPA DE PINES Y PUERTOS DEL MICROCONTROLADOR MSP430F5529.....	30

Lista de Tablas

TABLA 1 - CARACTERÍSTICAS DEL MODULO MSP430F5529	19
TABLA 2 - TABLA DE VERDAD DEL DEMULTIPLEXOR DM74LS154	21
TABLA 3 - CONEXIONES MÓDULO HM-10	29
TABLA 4 - CONEXIONES ENTRE EL MÓDULO HM-10 Y EL MICROCONTROLADOR.....	30

Capítulo 1

Introducción

Los avances tecnológicos de los últimos años han permitido que el uso de dispositivos digitales sea más común en el día a día de cualquier individuo.

Un ejemplo claro es el uso de electrodomésticos en casa como son el refrigerador, el horno de microondas, la licuadora, cafetera, etc. Todos ellos facilitan las labores del hogar, cada uno destinado a una tarea específica.

Actualmente, las empresas encargadas de la producción y desarrollo de estos aparatos electrodomésticos han comenzado a seguir una tendencia, la cual es la modernización, la amplificación de capacidad de trabajo, digitalización y comunicación con otros dispositivos como celulares, tabletas electrónicas y ordenadores.

En el mercado estos dispositivos electrónicos son llamados popularmente “SMART”, por ejemplo, Televisiones Smart, Impresoras Smart, Celulares Smart y últimamente Refrigeradores y Lavadoras Smart.

1.1 Esbozo Histórico

La búsqueda del ser humano por simplificar, perfeccionar y facilitar cualquier proceso, ha dado pie a desarrollar nuevas tecnologías que realizan tareas de forma más rápida y precisa.

Otro factor que ha impulsado al ser humano al desarrollo de la tecnología ha sido el confort, controles automáticos, los sistemas de comunicación, los mandos a distancia, por mencionar algunos, han sido proyectos que permiten mejorar la experiencia del usuario ante la realización de cualquier tarea.

En el caso de transmitir un mensaje de manera gráfica, a través de pantallas, display ó señales simbólicas, se ha visto un incremento en el desarrollo de estas tecnologías, buscando que sean más eficientes, más accesibles y de mayor capacidad de edición.

Uno de los primeros dispositivos usados como medio de comunicación gráfica fue el uso de luces LED, donde principalmente los colores del LED que se encendiera simbolizaban cierto estado, notación o mensaje.

1.2 La Evolución del Display LED

En el año de 1962 el inventor Nick Holonyak Jr. desarrolla el primer un diodo emisor de luz (LED) mientras trabajaba como científico asesor en un laboratorio de General Electric.



Figura 1.1 - Nick Holonyak

El primer LED desarrollado por Holonyak era color rojo debido a las reacciones químicas de los materiales utilizados durante el proceso de embalaje. Los primero LEDs salieron al mercado a finales de la década de los años 60. Fueron principalmente utilizado como indicadores dado que no emitían la luz necesaria para ser usados como dispositivo de iluminación.

A principios de los años 70, el conjunto de LEDs en un arreglo de matriz, permitía mostrar símbolos, encendiendo ciertas partes específicas del arreglo matricial como se muestra en la Figura 1.2 Estos símbolos permitían mostrar ciertos mensajes o avisos específicos.



Figura 1.2 - Señalamiento de Transito con Matriz LED

El uso de anuncios LED tuvo un crecimiento exponencial, debido a la facilidad de mostrar diferentes mensajes o figuras con un mismo dispositivo, además de la disposición de diferentes tamaños en el mercado.

En las siguientes figuras se muestran diferentes matrices LED o comúnmente llamados Display LED y su uso e impacto en la actualidad.



Figura 1.3 - Display LED RGB en Nueva York

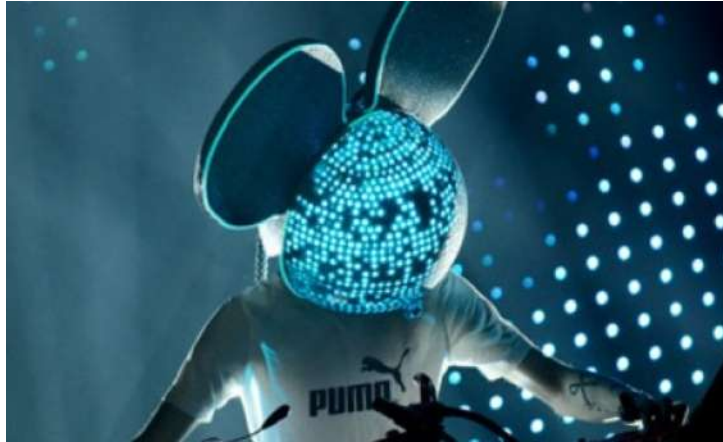


Figura 1.4 - Músico usando un Display LED RGB de forma esférica

Hoy en día los LEDs son un elemento esencial en el diseño de pantallas; actualmente las pantallas planas de mayor resolución están compuestas por millones de LEDs así como las nuevas tecnologías que se están desarrollando de pantallas OLED (LED Orgánico) las cuales usan componentes en su fabricación que generan una mayor gamma de color, o las pantallas AMOLED (Matriz Activa OLED) las cuales optimizan la energía y generan un mayor contraste al solo encender las zonas necesarias de la pantalla.



Figura 1.5 - Distribución de LEDs RGB en una pantalla

1.3 Objetivo

A pesar del gran avance que ha tenido la tecnología de display LED, en la actualidad el uso de matrices LED monocromáticas para señales y mensajes rápidos y concretos sigue con cierta tendencia para usos específicos.

Un ejemplo claro son las terminales y aeropuertos los cuales actualizan la información para los usuarios a través de este tipo de dispositivos. Así como negocios que usan matrices LED para anunciar precios ó indicar si está abierto o cerrado el local, otro ejemplo también es el indicador de turno en los bancos los cuales comúnmente están compuestos por un arreglo de LED's.

En este proyecto se desarrolla un display LED de dimensiones 8 X 16, que permitirá a cualquier usuario que tenga un terminal con conexión bluetooth configurar la cadena del mensaje a mostrar.

Las secciones medulares del proyecto consisten en desarrollar el hardware y software necesarios para lograr la flexibilidad planteada en el párrafo anterior. La matriz LED se implementará usando un arreglo de LEDS en forma matricial y el diseño de hardware se basa en un microcontrolador.

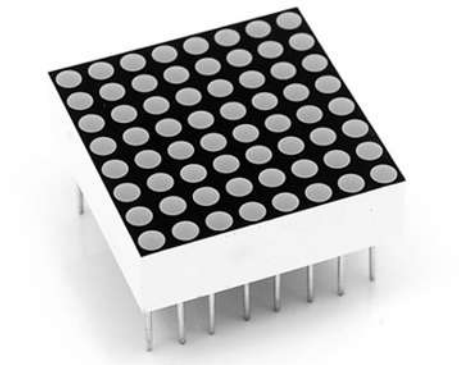


Figura 1.6 - Módulo Matriz LED de 8 x 8

La motivación de desarrollar este proyecto es la combinación de dispositivos de uso común como el celular o una tableta electrónica y controlar un dispositivo de uso común que permita al usuario mejorar la experiencia de usar un display LED y tener la facilidad de programar cualquier mensaje a mostrar en el display LED.

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos

En este capítulo se verá de manera más técnica y profunda los fundamentos que permiten comprender el funcionamiento de los dispositivos que se utilizan en el desarrollo de este proyecto.

2.1 Funcionamiento de un LED

El diodo emisor de luz, por sus iniciales LED tiene como característica principal una emisión de luz debida a la inyección de electrones en un semiconductor. La luz emitida en este caso procede de la recombinación electrón-hueco. Esto se ve claramente al considerar que cuando un electrón se recombina, cae desde un nivel sin ligadura, o de alta energía, a su estado neutro y se obtiene luz de una longitud de onda correspondiente a la diferencia de niveles de energía asociada con esta transición. En los diodos emisores de luz, el suministro de electrones de mayor energía proviene de la polarización directa, inyectando así electrones en la región n (y huecos en la región p), como observa en la Figura 2.1.

Los huecos y electrones inyectados se recombinan con los portadores mayoritarios próximos a la unión. La radiación por recombinación es emitida en todas direcciones, observándose la luz en la superficie superior porque el promedio de material entre la unión esta en la superficie. (Malvino)

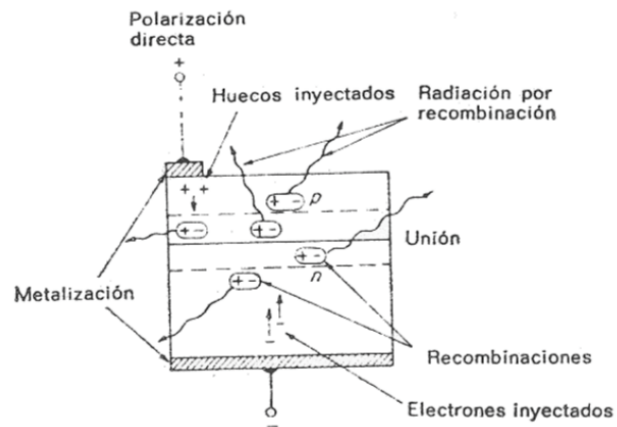


Figura 2.1 - Combinación de Electrones y Huecos de un LED

Las características eléctricas principales así como las ventajas de usar este tipo de dispositivo son:

- Consumo de energía, una ventaja del uso de LED es la poca potencia demandada necesaria para el funcionamiento.
- Los LED's tienen la ventaja de poseer un tiempo de encendido muy corto, y son resistentes a altas velocidades de cambio de estado sin alterar su tiempo de vida promedio.
- La intensidad luminosa permite un rango considerable de distancia para la aplicación a la cual se pretende destinar en este trabajo y permita la visualización de las señales a mostrar.

2.2 Funcionamiento de un Microcontrolador

Un microcontrolador (μ C) es un circuito integrado programable de alta escala de integración que incorpora varios bloques funcionales, los cuales están destinados a una tarea específica.

Un microcontrolador normalmente dispone de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso)
- Memoria RAM para contener datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM
- Pines INPUT/OUTPUT para comunicación exterior
- Módulos de Control como:
 - Temporizadores
 - Puertos Serie / Paralelo
 - Convertidores A/D y/o D/A
- Generador de Pulsos de Reloj interno con posibilidades de Multiplicación o División de Frecuencia.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales (Procesador, Memoria de datos y de instrucciones, Periféricos, Oscilador de reloj y Módulos de Control).

Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

En los microcontroladores el modo en que operan la memoria de datos y la memoria de instrucciones se dividen en dos tipos de arquitectura, la arquitectura Von Neumann y la arquitectura Harvard. La diferencia entre ellas es el modo de comunicación entre los módulos, mientras que la arquitectura de Von Neumann solamente tiene un bus de datos para los dos tipos de memoria, en la arquitectura Harvard las memorias se maneja por buses separados, cada uno conectado a la UCP. En la Figura 2.2 se muestra un diagrama de la arquitectura Harvard la cual describe al microcontrolador usado en este proyecto.



Figura 2.2 Diagrama de Bloques de un Microcontrolador con Arquitectura Harvard

De esta manera con el microcontrolador que se va a utilizar, podemos desarrollar el programa que generará las señales en los puertos periféricos así como el comportamiento en los bloques internos que nos permitirá hacer el control sobre la matriz LED y la comunicación con el módulo bluetooth.

En resumen, el microcontrolador será la parte central que permitirá hacer el control de la matriz LED, del demultiplexor y el módulo bluetooth. Como se muestra en le siguiente diagrama de bloques:

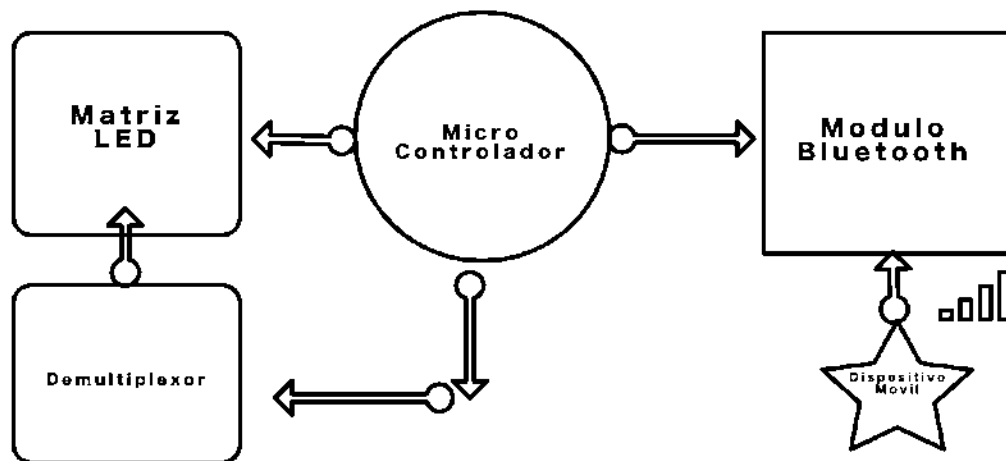


Figura 2.3 - Diagrama General con el Microcontrolador como módulo central del proyecto

De tal manera que usaremos las características del microcontrolador de la siguiente manera:

1. Periféricos de propósito general para el control de los LED's renglón a renglón con estados lógicos (High & Low) dependiendo del estado del renglón conforme a la posición de la columna a imprimir. Esto se explica más a detalle en el capítulo 3 y 4.
2. Módulo de comunicación serial, que nos permitirá recibir los datos por medio del módulo bluetooth, el cual recibió los datos de la cadena de caracteres vía inalámbrica que fueron enviados por el dispositivo móvil.
3. Módulo de Timers, para la optimización del sistema, para el control de tiempos de espera y refrescamientos que permitan una interrupción para la re-impresión de la nueva cadena así como el tiempo necesario para una visualización optima del mensaje dependiendo de la longitud de cadena que este tenga.

2.3 Comunicación Serial SPI

La comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) entre dos dispositivos electrónicos digitales es un estándar que acepta un flujo de bits serie regulado por un reloj (comunicación sincrónica).

Incluye una línea de reloj, dato entrante, dato saliente y un pin de chip select, que conecta o desconecta la operación del dispositivo con el que uno desea comunicarse. De esta forma, este estándar permite multiplexar las líneas de reloj.

La ventajas de un bus serie es que minimiza el número de conductores, pines y el tamaño del circuito.

La comunicación SPI consiste en señales de reloj, data in, data out y chip select para cada circuito integrado que tiene que ser controlado.

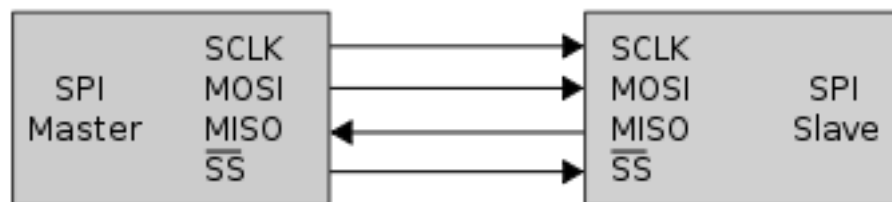


Figura 2.4 - Diagrama de un enlace SPI entre un módulo Maestro y un módulo Esclavo

La comunicación SPI se realiza por medio de 4 señales las cuales son:

- SCLK (Clock): Es el pulso que marca la sincronización. Con cada pulso de este reloj, se lee o se envía un bit. También llamado TAKT (en Alemán).
- MOSI (Master Output Slave Input): Salida de datos del Master y entrada de datos al Esclavo. También llamada SIMO.
- MISO (Master Input Slave Output): Salida de datos del Esclavo y entrada al Master. También conocida por SOMI.
- SS/Select: Para seleccionar un Esclavo, o para que el Master le diga al Esclavo que se active. También llamada SSTE.

La configuración del puerto SPI para este proyecto será el arreglo MISO (Master Input Slave Output) ya que el que estará recibiendo los datos será el microcontrolador y el que envía los datos a la entrada del microcontrolador es el módulo bluetooth.

2.4 Perfiles Bluetooth

Los perfiles del protocolo bluetooth son descripciones de comportamientos generales y específicos que los dispositivos pueden utilizar para comunicarse. La forma de utilizar las capacidades de Bluetooth se basa en los perfiles que soporta cada dispositivo. Los perfiles permiten la manufactura de dispositivos que se adapten a necesidades más específicas de uso.

A continuación se mencionan algunos de los perfiles más utilizados en la actualidad con la descripción de su propósito específico.

- **Perfil A2DP.** Es un perfil de audio avanzado y sirve para enviar audio por Bluetooth. Éste se complementa con otros que ahora veremos y digamos que es el que se encarga de todo el proceso.
- **Perfil HFP.** Éste perfil es el que se encarga del funcionamiento de dispositivos manos libres. Gracias a él, podemos hablar por teléfono en el coche o con un auricular Bluetooth sin cables.
- **Perfil HSP.** Con éste perfil, podemos escuchar música enviada por Bluetooth. Cuando compramos un auricular con la idea de escuchar música y además hacer llamadas, debe incorporar éste perfil y el de HFP.
- **Perfil OPP.** Es uno de los más usados y con éste, es con el que nos enviamos archivos de un dispositivo a otro. Por ejemplo fotos, música, etc.
- **Perfil HID.** Éste es el encargado de conectar dispositivos de control, como pueden ser ratones y teclados Bluetooth. Podemos trabajar con un ordenador sin cables gracias a éste perfil.

El perfil que se utiliza para la comunicación entre el módulo bluetooth HM-10 y el dispositivo móvil con sistema operativos iOS que permite el control por medio del enlace serial es el perfil HID soportado en ambos dispositivos.

Capítulo 3

Desarrollo del Hardware

En este capítulo veremos el desarrollo del hardware, que nos permitirá controlar los 128 LEDs de dos (Instruments, 2015) módulos SH1088AS que nos permitirán tener una resolución de display de 8 x 16.

El desarrollo de hardware involucra las conexiones entre los circuitos integrados necesarios para hacer el control necesario sobre la matriz LED, la cual necesita 24 entradas lógicas para el control de las 16 columnas y 8 renglones, así como un barrido de impresión a una velocidad específica que permita dar el efecto óptico de tener un conjunto de LEDs encendidos y no se alcance a percibir que únicamente se esta haciendo un encendido columna por columna.

3.1 Estructura de la Matriz LED

El arreglo que maneja el circuito integrado SH1088AS es la interconexión de 64 LEDs con ánodo común por renglón, y de cátodo común por columna. Este arreglo se muestra en la Figura 3.1. Esto nos permite elegir de manera exacta qué LED prender dependiendo de la alimentación que apliquemos al circuito.

Por ejemplo, si se busca encender el LED en la posición (1,1) tendremos que alimentar con VCC el renglón 1 y mandar a GND la columna 1, de igual manera si quisiéramos encender los LEDs de la posición (2,3) y (5,8), tendremos que aplicar un voltaje a los renglones 2 y 5, y mandar a GND las columnas 3 y 8.

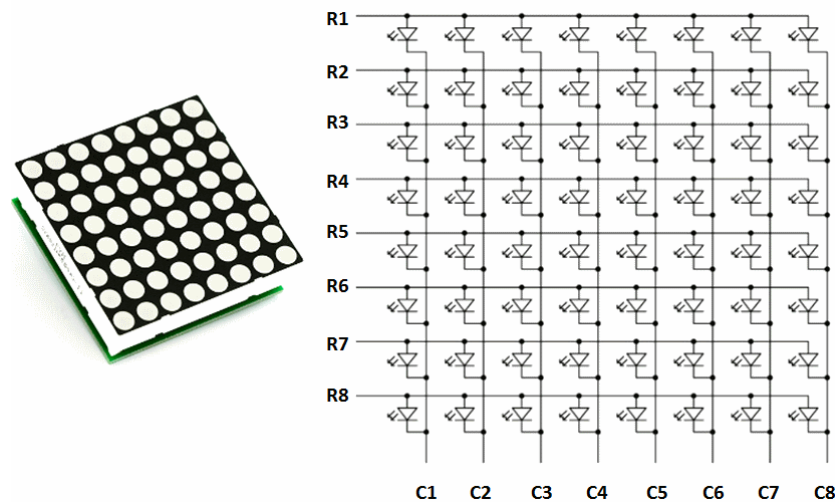


Figura 3.1 - Estructura Interna del modulo SH1088AS

Para este proyecto, se utilizarán dos módulos SH1088AS, estos al momento de hacer un puente entre los renglones de cada uno de los módulos, podemos simplificar de 32 entradas a solamente 24 entradas necesarias para controlar la matriz de 8 x 16.

La idea principal del control de encendido y apagado de los LEDs es en base a un barrido realizado en cada una de las columnas, esto es, todas las columnas están desactivadas o en corto circuito y solo una columna de interés será la que se mandará a GND para cerrar el circuito y encender los LEDs de los renglones específicos de esa columna de interés.

De manera que necesitamos el control de barrido, con un tiempo que permita dar el efecto óptico de ver un conjunto de columnas y renglones encendidos al mismo tiempo. Este barrido se controlará a través del microcontrolador.

3.2 Control de Barrido mediante el Microcontrolador

El microcontrolador que se utiliza para este proyecto es de la compañía Texas Instruments, la tableta de desarrollo Launchpad MSP430F5529 (Instruments, 2015) se muestra en la Figura 3.2,

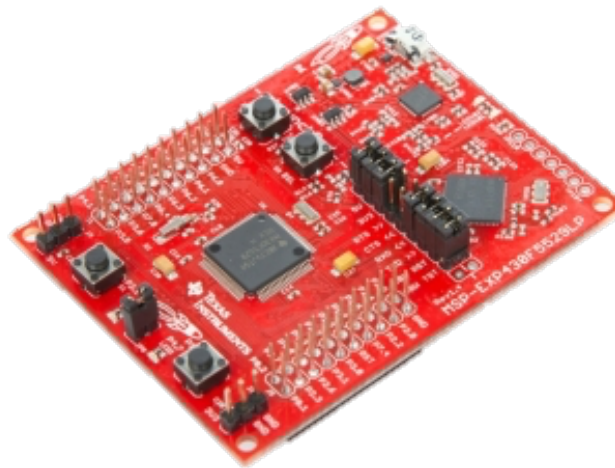


Figura 3.2 - Launchpad MSP430F5529

El microcontrolador de Texas Instruments nos permite generar las salidas lógicas necesarias para crear el barrido en las columnas de la matriz, este microcontrolador cuenta con 40 pines lógicos de salida disponibles, la mitad de I/O, distribuidos en 8 puertos. Salidas lógicas suficientes para hacer la conexión de los 24 pines de entrada a los módulos SH1088AS.

La siguiente Tabla 1 muestra las características más importantes que ofrece el modulo del microcontrolador:

CPU	16 Bits
Frecuencia de Reloj Interno	Hasta 25 MHz
Memoria Flash	128KB
Memoria RAM	Hasta 8 KB + 2KB sin uso de USB
Comunicación Serial	I2C, UART, SPI
Timers	4 de 16bit con Capacidad PWM
Convertidor Analógico - Digital	12 Bits de 16 Canales

Tabla 1 - Características del Modulo MSP430F5529

En este caso se utiliza el Puerto No. 3 el cual nos permite el acceso a sus 8 pines, 3.0, 3.1, 3.2, ..., 3.7. Este puerto nos permitirá generar los valores necesarios para los 8 renglones de la matriz LED por cada columna que se esté utilizando. De igual manera utilizaremos el Puerto No. 6 con sus 4 primero bits (6.0, 6.1, 6.2, 6.3). Estos 4 bits de salida permitirán hacer el control del demultiplexor el cual hace una selección única de canal de entre 16 canales. Esto con el fin de solamente utilizar 4 pines de salida y no 16, el demultiplexor nos permite el control de 16 salidas con tan solo 4 entradas. Por último se utiliza el modulo de comunicación SPI, con el nombre UCB0, este modulo permitirá hacer la conexión con el módulo bluetooth, para permitir al usuario un enlace con su terminal mediante este protocolo RF y cambiar la cadena de caracteres por una cadena definida por el mismo usuario.

3.3 Configuración del Demultiplexor

El circuito integrado con la matrícula DM74LS154 es un dispositivo TTL de demultiplexión, esto permite que a partir de 4 entradas lógicas se haga una selección de un solo canal a partir de 16 canales disponibles.

Como cualquier circuito integrado de la familia 74LSXX, los niveles de voltaje lógicos aceptados a la entrada son de 3V hasta 5V, y la salidas lógicas tendrán los valores de 0 y 5V según su estado lógico.

La siguiente tabla de verdad muestra el comportamiento del demultiplexor respecto a sus entradas – salidas.

Entradas				Salidas															
D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H

H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

Tabla 2 - Tabla de verdad del Demultiplexor DM74LS154

De esta manera el control del barrido columna a columna simplifica el número de salidas del microcontrolador de 16 a 4, evitando de esta manera el uso excesivo de puertos, una problemática mayor en la realización del programa del microcontrolador, y la gran demanda de corriente que tendría el microcontrolador.

Ciertamente la tabla de verdad nos muestra el comportamiento del demultiplexor, siendo las salidas en bajo lo que necesitamos para seleccionar cada columna. Ya que una columna en bajo y las salidas del microcontrolador a los renglones en alto, nos generarían un circuito cerrado y encenderían los LEDs seleccionados para la columna seleccionada, mientras los demás LEDs permanecerían en un corto circuito, por lo tanto se mostrarán apagados. (Datasheet, 1986)

Lamentablemente al ver el diagrama de conexión del demultiplexor el cual se muestra en la Figura 3.3 se observa que las 16 salidas están negadas, lo cual nos genera un funcionamiento inverso al esperado en la matriz LED, esto es, la columna seleccionada será la única que se ponga en corto circuito mientras que las demás columnas permanecerán en circuito cerrado y por lo tanto todos los LEDs no deseados permanecerán encendidos.

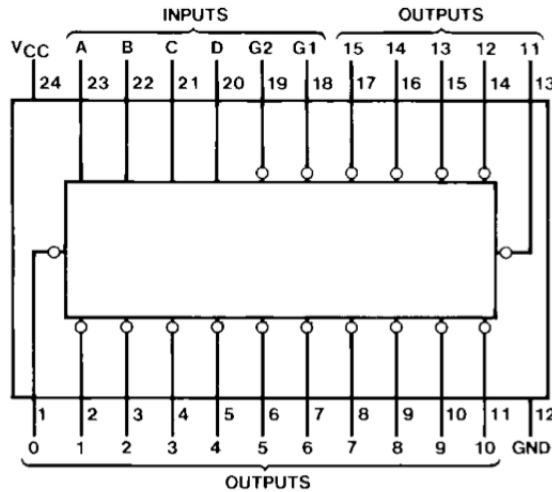


Figura 3.3 - Diagrama de Conexión del Demultiplexor DM74LS154

Debido a esto, se buscó un CI con el mismo comportamiento 4 entradas 16 salidas, pero evitando que las salidas fueran negadas. Pero no se encontró ninguno. Se propusieron varias soluciones para evitar el uso de compuertas negadas, ya que tendrían que ser 16 compuertas NOT las necesarias para negar cada una de las salidas y así tener el comportamiento deseado. Una de las soluciones propuestas fue el uso de otro microcontrolador, pero en cuestión de eficiencia, usar un microcontrolador como un demultiplexor es un desperdicio de capacidad, espacio, potencia, etc. Otra de las soluciones propuestas fue usar un circuito TTL programable como una GAL, pero el problema de las GAL es su limitado número de salidas, la GAL22V10 solamente permite 8 salidas lógicas, a pesar de tener 16 pines de configuración.

Debido a esto, se decidió hacer la implementación de la negación de las 16 salidas del demultiplexor, y así hacer la conexión de cada salida a su respectiva columna, (Salida 1, Columna 1, Salida 2, Columna2, etc).

3.4 Negación de las Salidas del Demultiplexor

Como se mencionó en el apartado anterior, el funcionamiento del demultiplexor DM74LS154, es el adecuado para el barrido de las 16 columnas, pero con la complicación de que las salidas lógicas del CI son inversas a las requeridas por nuestro arreglo de los módulos de matriz LED.

Debido a lo anterior, se realiza una negación de cada de las salidas mediante el CI 74LS04 el cual contiene por cada DIP de 14 patitas 6 compuertas NOT como se muestra en la Figura 3.4, las cuales permitirán tener ahora si el comportamiento mostrado en la tabla de verdad del demultiplexor y de esta manera tener todas las columnas en corto circuito, excepto aquella que se haya seleccionado por la entrada al demultiplexor.

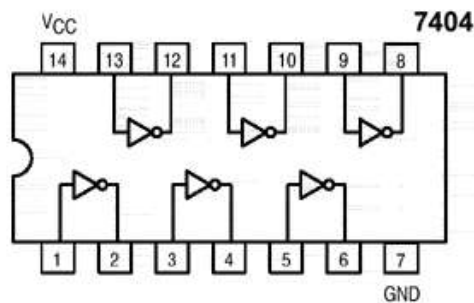


Figura 3.4 - Diagrama Interno CI 74LS04

Teniendo las salidas del demultiplexor inversas por las compuertas NOT, nuestro circuito esta listo para ser programado en el microcontrolador.

3.5 Esquema del Circuito

Ahora que se tiene el acondicionamiento para el manejo de las señales lógicas que serán programadas por el microcontrolador para mostrar cualquier carácter, mensaje o señal deseado en la matriz LED.

El diagrama del circuito se puede observar en la Figura 3.5, el esquema fue desarrollado en el programa para circuitos impresos EAGLE®, para posteriormente hacer su implementación en PCV.

Los conectores de los módulos JP se refieren a lo siguiente:

- Módulo JP1, son los 16 pines de la contra parte a la matricula de los dos módulos LED unidos en serie. (Los números 10, 11 y 12 de JP1, son solamente de separación).
- Módulo JP2, son los 16 pines del lado de la matricula de los módulos LED más 3 conectores que solamente sirven de separación, igual que en JP1.
- Módulo JP3, son los 4 bits de entrada del demultiplexor, para la selección de canal (A,B,C,D), se puede apreciar que directamente se está mandando los pines de Strobe a tierra, ya que solamente de esta manera el circuito respondería a la tabla de verdad mostrada en la Tabla 2.
- Módulo JP4, son los 8 bits para cada renglón, esto es, cada renglón está conectado al pin correspondiente del Puerto No. 3 del microcontrolador. Ejemplo, si se busca encender los LEDs (1,1), (3,1) y (1,8), el Puerto No. 3 tendría que tener los activo el P3-BIT0, P3-BIT2 y P3-BIT7.

Debido a que en este microcontrolador el único puerto completo al que se tiene acceso a los 8 bits es el Puerto No. 3, la numeración de cada bit ó pin comienza en 0 y termina hasta el número 7, por lo tanto tenemos la conexión entre los bits de configuración en el micro y la numeración de los renglones, respectivamente (BIT0 → Renglón 1, BIT1 → Renglón 2, ..., BIT7 → Renglón 8).

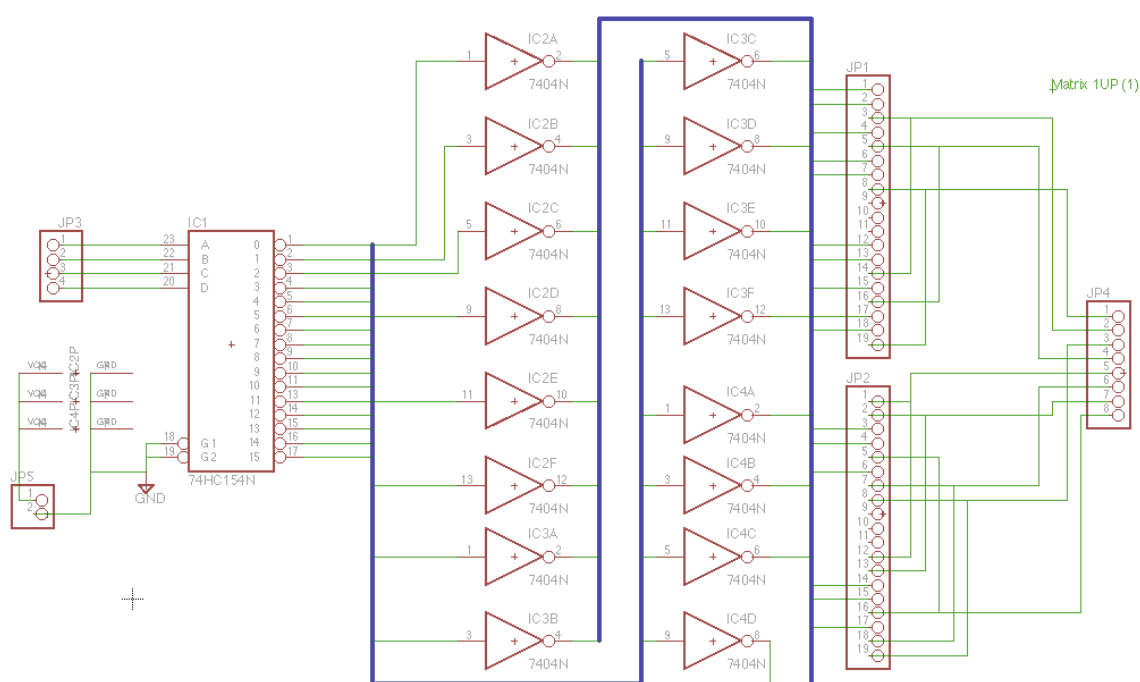


Figura 3.5 - Diagrama del Circuito Completo

Una vez terminado el circuito, lo siguiente es la programación del microcontrolador, en este caso, el desarrollo del driver para el manejo de la matriz LED, en el capítulo cuatro se describe la estructura y formulación del programa.

En la Figura 3.6 se muestra el armado físico del circuito en una tableta de pruebas (protoboard), donde se puede observar el arreglo de caracteres con las letras “FIE” iniciales de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

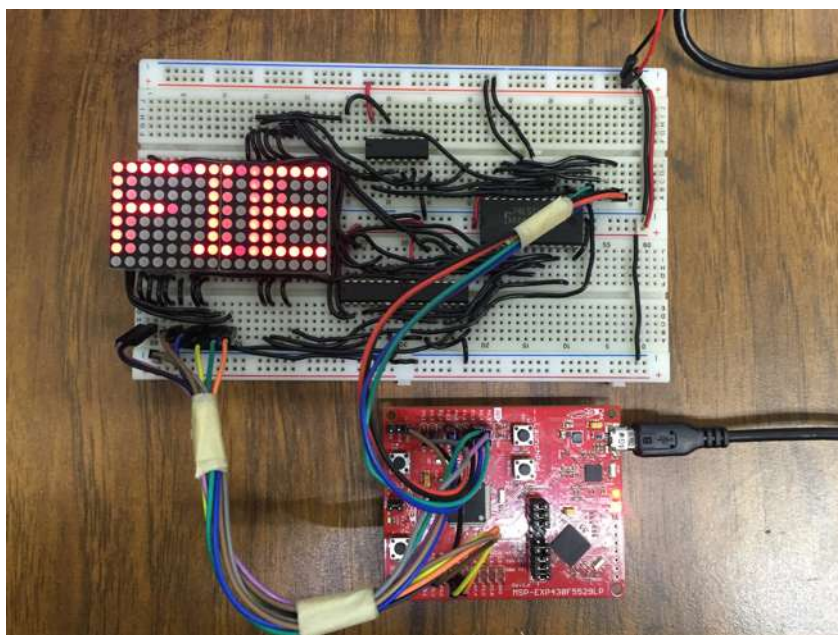


Figura 3.6 - Circuito Físico en Protoboard

Una vez que se corroboró el funcionamiento del circuito armado físicamente se pasa a la fase de construcción de la tarjeta que permitirá tener el circuito de forma fija para el desarrollo y las pruebas de software necesarias.

El diagrama final de las pistas a imprimir en la placa de cobre de doble capa (baquelita) desarrollado en el programa EAGLE® tiene el siguiente aspecto mostrado en la Figura 3.7

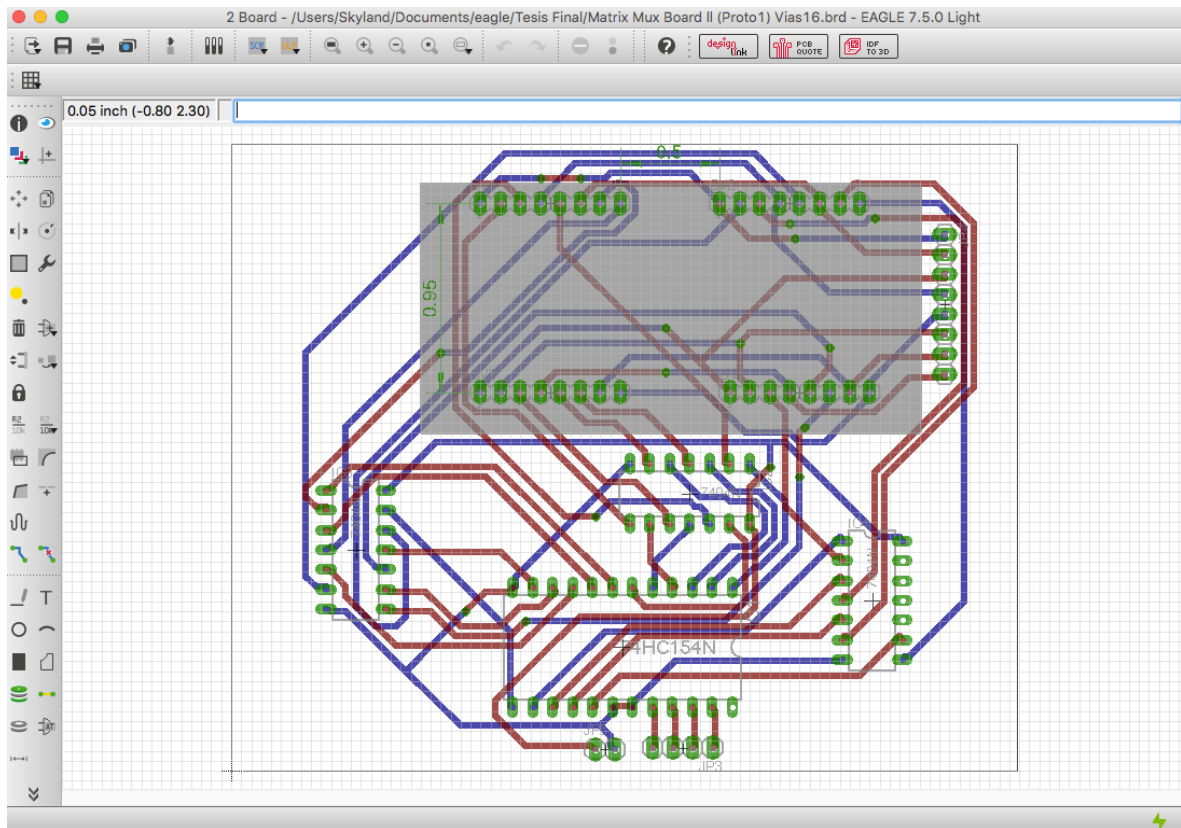


Figura 3.7 - Diseño final de las pistas para la tarjeta de doble capa.

La fase de construcción de la tarjeta que permite las conexiones entre la matriz LED y el microcontrolador fue impresa y perforada, la tarjeta se concluyen con el montaje de los elementos (Circuito Integrados del tipo DIP, y las Matrices LED).

3.6 Modulo Bluetooth HM-10

El módulo Bluetooth HM10 es un módulo bluetooth serial similar a los módulos bluetooth HC-05 y HC-06 que permite el uso del protocolo bluetooth más reciente conocido como Bluetooth 4.0 o Bluetooth BLE. Al igual que los módulos seriales anteriores, el HM10 emula un puerto serial sobre el protocolo bluetooth.

Este módulo es ideal para la comunicación de dispositivo de Apple® ya que en su característica de comunicación cuenta con el perfil HID el cual es compatible con los módulos bluetooth de los dispositivos con los que se busca realizar el enlace (iPhone, iPad, iPod). (Studio, 2014)

Algunas de las características del módulo HM-10 son:

1. Permite la comunicación con dispositivos de Apple
2. El módulo HM10 cuenta con tarjeta adaptadora a Pin header estándar
3. Funcionamiento a 3.3 y 5 volts de alimentacion
4. Interfaz UART 3.3 Volts
5. Comunicación con microcontrolador a través de interfaz serial estándar (UART)
6. Módulo completamente compatible con el estándar bluetooth V4.0 BLE

La forma física del modulo HM-10 se muestra a continuación en la Figura 3.8

- Módulo HM-10 Físico con Vista Superior e Inferior de manera que se observa el orden y la accesibilidad de los pines para la conexión del modulo con el microcontrolador.

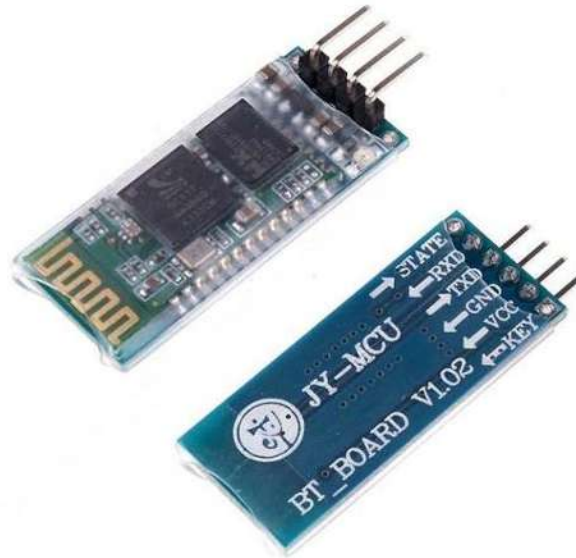


Figura 3.8 - Módulo HM-10 Físico con Vista Superior e Inferior

Como se observa en la figura anterior, el modulo dispone de cuatro pines los cuales son: RXD, TXD, GNF y VCC, donde cada uno se conecta como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3 - Conexiones Módulo HM-10

VCC	3.3V
GND	GND
RXD	TX Launchpad
TXD	RX Launchpad

La conexión que se realiza entre el módulo HM-10 y el microcontrolador de Texas Instruments MSP430F5529 es a través de los pines del modulo a los pines del launchpad destinados a la comunicación Serial SPI.

Los pines del launchpad destinados a la comunicación serial del microcontrolador MSP430F5529 son los pines 3.0 y 3.1 como MOSI y MISO respectivamente. En el mapa de pines y puertos que se muestra en la Figura 3.9 se muestra la ubicación de los pines mencionados en la tarjeta de prueba.

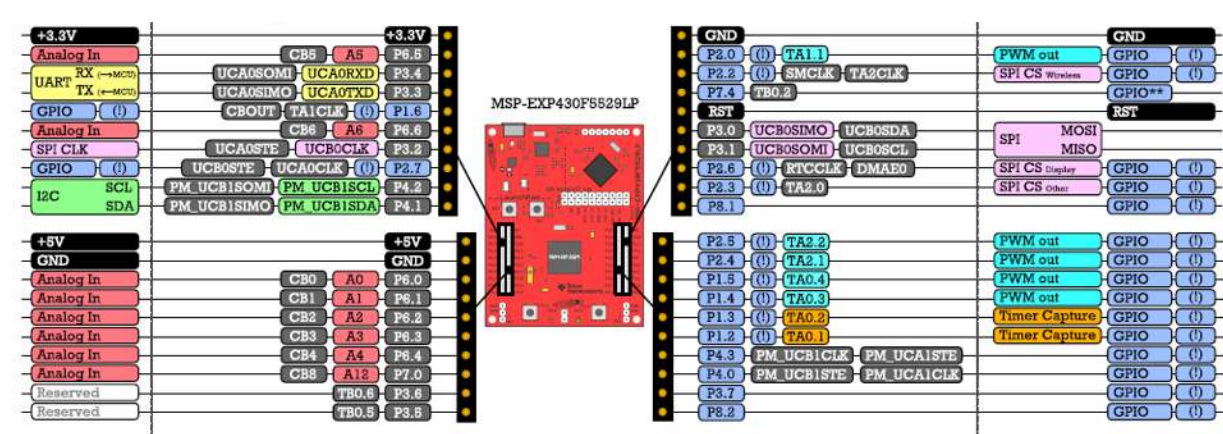


Figura 3.9 - Mapa de Pines y Puertos del Microcontrolador MSP430F5529

De manera que la conexión final entre lo dos módulos queda de la siguiente manera para la comunicación SPI entre los dispositivos.

Tabla 4 - Conexiones entre el módulo HM-10 y el Microcontrolador

PIN 3.0 (MOSI)	RXD
PIN 3.1 (SIMO)	TXD

Capítulo 4

Desarrollo del Firmware

4.1 Desarrollo del Driver

Después de tener el circuito terminado, se programa el microcontrolador para hacer el control de barrido e impresión columna a columna. Este proceso se realiza en el entorno de trabajo para programar el microcontrolador, el software proporcionado por la misma empresa Texas Instruments llamado Code Composer.

El programa Code Composer, es una herramienta que nos permite programar y depurar el microcontrolador de la Launchpad a bajo nivel, en los lenguajes de programación ASM (Ensamblador) y C. La versión del programa usado es la 6.1.0.00031 en un sistema operativo Mac OS X 10.11.5 El Capitán.

Para este proyecto se utiliza lenguaje C para la descripción y configuración de periféricos, los módulos de Timer y la Comunicación Serial SPI. A continuación se describe el desarrollo de la lógica de funcionamiento del programa.

4.2 Lógica de Funcionamiento

Una vez que sabemos como se puede hacer funcionar cada sección de la matriz LED de 8 por 16, necesitaremos generar un código que nos permita movernos columna a columna, mostrando valores deseados en cada una de ella, esto a una velocidad aproximada de 10ms para que no sea apreciado el efecto de conmutación entre las columnas. Para ello, usamos el Puerto No. 6 del microcontrolador y sus primeros 4 bits y los 8 bits totales del puerto No. 3 para los LEDs de renglón o renglones seleccionados. Todo esto debe repetirse e imprimirse varias veces para mantener el efecto del conjunto de LEDs deseados como encendidos el tiempo definido.

4.3 Función de Impresión

La función de impresión desarrollada es la función que nos permite hacer el control de pasar de datos de tipo carácter, a valores binarios y estos a su vez, ser mostrados en la matriz LED como el conjunto de caracteres definidos en el arreglo principal que es el del mensaje a mostrar.

Toda la función de impresión está dentro de un ciclo, el cual define el número de veces que se hará el barrido a través de las 16 columnas de toda la matriz LED.

Dentro de este ciclo existe otro ciclo que incrementa una cuenta de 0 a 15, la cual toma los valores de un arreglo de tamaño 16, de uno por uno y va mostrando los renglones conforme a la columna, así como este mismo contador del ciclo hace el cambio de columna a columna. En resumen, este ciclo, define columna, renglones en esa columna a través de los valores definidos en el vector “mensaje” e incrementa a la siguiente columna y el índice de la locación de memoria de donde se está obteniendo los valores para los renglones en esa columna espera un momento, y hazlo de nuevo el número de veces que se seleccionara para número de veces de barrido.

4.4 Función de Desplazamiento (Scroll)

Realmente no es un desplazamiento del mensaje, es una función que permite generar el efecto de que la cadena de caracteres definida está siendo arrastrada por el espacio delimitado por la matriz LED, desarrollar esta función permite mostrar mensajes de N dimensiones sin perder información, ya que la matriz LED por su resolución solo permite mostrar la cantidad de 3 caracteres, sin separación ni espacio, de manera que para mensajes de mayor tamaño se requiere que la información se vea desplazando a través de la matriz LED, hasta terminar de ver la información y de nuevo comience a mostrar el mensaje.

Para esta función se necesitó desarrollar un arreglo extra al cual llamamos memoria de video, este vector de dimensiones $N + 32$ nos permite tomar solo 16 valores, imprimirlos mediante la función de Imprimir y luego elegir otros 16 valores cambiando la referencia de inicio. Esto se hace N veces y comienza

nuevamente, generando así el efecto de que el mensaje se desplazo a través de toda la matriz LED hasta que termino de mostrarse todo el mensaje.

4.5 Conversión de Caracteres a Valores Hexadecimales

Cada carácter de la fuente definida dentro del driver es de 7x5, esto quiere decir que la fuente utiliza un espacio de 7 renglones y 5 columnas para la impresión de un solo carácter. Debido a esto, a partir de la dimensión de N caracteres definida en el vector “mensaje”, el vector memoria de video tendrá una longitud total de $(N*5) + 32$.

Ejemplo, para la palabra “HOLA”, la función de conversión realizará lo siguiente:

1. $N = 4$
2. Tamaño del vector Memoria de Video = $(20) + 32 = 52$
3. Esos 52 valores hexadecimales se mostrarán en el display LED cambiando de referencia 20 veces, lo cual generará el efecto de desplazamiento.

Los valores hexadecimales a partir del carácter son obtenidos de una tabla de comparación. Esto es, a partir del carácter entrante se le da un valor, y se compara con el índice de una matriz de datos que es la tabla ASCII, la cual contiene 170 tipos de caracteres, descompuestos en 5 valores hexadecimales que generan la forma física del carácter.

4.6 Obtención de la Cadena de Caracteres a través del enlace SPI

Una vez que la matriz LED permite mostrar una cadena de caracteres de longitud N, el siguiente paso, es obtener esa cadena mediante un enlace SPI entre el microcontrolador y el modulo bluetooth HM-10.

Para esto, habilitamos el modulo de comunicación Serial SPI que se encuentra en el microcontrolador, una vez hecho el enlace, el modulo bluetooth mandará al pin RX del microcontrolador, carácter por carácter que le sean enviados a través del terminal que se halla enlazado vía bluetooth.

El software en el terminal, es una aplicación llamada “Serial BluetooH” desarrollada por un programador ingles. Esta aplicación nos permite hacer el enlace con el modulo HM-10 y mandar caracteres o cadenas de caracteres, las cuales al ser recibías por el modulo son transmitidas mediante el SPI y mandadas al Buffer de Recepción en el microcontrolador.

Una vez que los caracteres son recibidos se hace el llenado del vector “mensaje” hasta que se encuentra el símbolo de fin de cadena, que en este caso es “enter”.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 Resultados Obtenidos

Como era de esperarse, una vez implementado el circuito y teniendo un correcto funcionamiento del driver en el microcontrolador, se logró el objetivo de mostrar cualquier mensaje de longitud N en el arreglo matricial de LEDs de 8 x 16, con el efecto de desplazamiento del mensaje hasta terminar de leer todo el arreglo.

Los resultados obtenidos fueron los deseados debido a que no había variables físicas que interfirieran o involucraran perturbaciones en el sistema, ya que todos los elementos utilizados son sistemas precisos, funcionales ya que trabajan con señales digitales.

El desarrollo de este trabajo permite comprender, analizar y desarrollar los elementos electrónicos que actualmente se usan de manera separada y unirlos con un mismo fin, así como el desarrollo físico de un dispositivo que permita su fácil uso, transporte y una experiencia agradable al usuario.

La inversión de tiempo y esfuerzo para la implementación de este circuito nos permitió entender el comportamiento de los diversos tipos de display que

existen actualmente, desde un las matrices monocromáticas como el de este trabajo, hasta el comportamiento de las más nuevas y modernas pantallas las cuales siguen usando el mismo principio de barrido pero a una escala mucho mayor.

5.2 Recomendaciones

- Para el control de dispositivos LED en gran cantidad, deben considerarse arreglos para la cantidad de voltaje y corriente que demande el circuito de LEDs, ya que conforme el número de LEDs usados aumente, los parámetros de energía serán mayores, por ello, el uso de fuentes externas al circuito lógico, así como el uso de transistores para el control de encendido o apagado de los LEDs.
- El uso de circuitos demultiplexores reduce en gran medida la cantidad de salidas periféricas y puertos del microcontrolador necesarios para el control de la matriz, así como también permiten una optimización en el código para el manejo del barrido de renglones o columnas.
- Una vez teniendo el concepto de control de una matriz LED a partir de lo básico, desarrollar un dispositivo de dimensiones N por N se simplifica teniendo en cuenta que el funcionamiento será el barrido de renglón o columna, contra valores mostrados en ese instante de tiempo.
- Si se busca hacer un enlace Bluetooth con dispositivos que tengan sistema operativo iOS para la transferencia de información o envío de datos, se necesita que el dispositivo a enlazar cuente con un perfil HID o OPP de lo contrario estos dispositivos impiden el enlace.

5.3 Trabajos Futuros

Se planean hacer una mejora del mismo proyecto, buscando simplificar y hacer más eficiente el circuito, una vez que se tenga este nuevo diseño se buscará incrementar las capacidades del dispositivo, como la posibilidad de elegir un color de impresión en una matriz LED RGB o Bicolor.

También se planea desarrollar una aplicación (Studio, 2014) propia a través de SWIFT 2 para dispositivos con sistema operativo iOS, con una interfaz de usuario agradable para el control del mensaje a mostrar, el color (En caso de una matriz LED RGB), velocidad de desplazamiento y tipo de fuente para el mensaje.

Bibliografía

Studio, I. (2014). *ITEAD Studio*. Obtenido de ftp://imall.iteadstudio.com/Modules/IM130614001_Serial_Port_BLE_Module_Master_Slave_HM10/

Usategui, J. M. (2006). *Microcontroladores PIC Diseño practico de Aplicaciones* (2da Edición ed.). McGraw Hill.

Boylestad, R. L. *Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos* (10a edición ed.). Pearson.

Datasheet, F. (Agosto de 1986). Recuperado el Marzo de 2000, de DM74LS154 4-Line to 16-Line Decoder/Demultiplexer.

Instruments, T. (2015). *Texas Instruments*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de Texas Instruments Datasheet: <http://www.ti.com/tool/msp-exp430f5529lp>

José María Ferrero, A. A. (1994). *Bioelectrónica: Señales Bioeléctricas* (2a edición ed.). Valencia, España: Illustrated.

Malvino, A. P. *Principios de Electrónica* (6ta edición ed.). West Balley: McGraw Hill.