

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PROTOTIPO PARA  
PANTALLAS GIGANTES TIPO LED”

GABRIELA ELIZABETH JÁCOME AYALA  
DAVID ALEJANDRO MONTENEGRO DAZA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2012

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA AUTOMATIZACION Y CONTROL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

GABRIELA ELIZABETH JÁCOME AYALA  
DAVID ALEJANDRO MONTENEGRO DAZA

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PROTOTIPO PARA PANTALLAS GIGANTES TIPO LED”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 11 de Julio de 2012

---

Gabriela Elizabeth Jácome Ayala

---

David Alejandro Montenegro Daza

*Autorización de publicación*

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

**GABRIELA ELIZABETH JÁCOME AYALA  
DAVID ALEJANDRO MONTENEGRO DAZA**

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PROTOTIPO PARA PANTALLAS GIGANTES TIPO LED”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 11 de Julio de 2012

---

Gabriela Elizabeth Jácome Ayala

---

David Alejandro Montenegro Daza

*Certificado de tutoría*

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**CERTIFICADO**

ING. DIEGO MORILLO  
ING. EVELIO GRANIZO

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PROTOTIPO PARA PANTALLAS GIGANTES TIPO LED”, realizado por Gabriela Elizabeth Jácome Ayala portador de la CI.1721152815 y David Alejandro Montenegro Daza portador de la CI. 1721749289, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Gabriela Elizabeth Jácome Ayala y David Alejandro Montenegro Daza, que lo entregue al Ingeniero Víctor Proaño, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 11 de Julio de 2012

---

Ing. Diego Morillo  
DIRECTOR

---

Ing. Evelio Granizo  
CODIRECTOR

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto de tesis se lo dedico a toda mi familia especialmente a mis padres Rita y César por todo el apoyo y estar siempre junto a mi y guiarme en este duro camino. A mi hermano Luis que ha sido siempre mi apoyo incondicional por que sin ustedes y DIOS este logro no habria sido posible.*

**Gabriela Elizabeth Jácome Ayala**

*Este trabajo se lo dedico a mi madre Flor María, a mi padre Washington y a mi hermana Paola por apoyarme durante todos estos años de estudios, gracias a ustedes he llegado alcanzar esta nueva etapa de mi vida.*

**David Alejandro Montenegro Daza**

## AGRADECIMIENTOS

*Primero quiero agradecer a DIOS por todo lo que me ha dado una hermosa familia, grandes amigos, sabiduría y sencillez.*

*A mis padres César y Rita por ser hombres luchadores y emprendedores que me enseñaron que en la vida hay tropiezos pero hay que saber superarlos.*

*A mi hermano Luis que con su cariño, apoyo y comprensión me alegro siempre cada minuto de mi vida y me alento a culminar con esfuerzo esta nueva etapa de mi vida. Y como olvidar a mi Toa mi mascota tan fiel y dulce que en todo momento me acompaña.*

*A toda mi familia especialmente a mis dos Abuelitas que son el pilar y la luz que siempre guio mi camino llenando mi vida.*

*A mi amor Diego que me brindo su cariño, apoyo y confianza porque siempre estuvo en todo momento con una palabra de aliento que me ayudo a seguir y no rendirme.*

*A David por ser un gran compañero de tesis y amigo por su gran calidad humana y por cada momento que compartimos realizando este trabajo que nos enseñó mucho.*

*A todos mis amigos que hicieron esta etapa de mi vida mas llevadera con experiencias y momentos inolvidables.*

*A los Coordinadores de esta tesis y todos los ingenieros que con su sabiduría y paciencia inculcaron todos sus conocimientos.*

**Gabriela Elizabeth Jácome Ayala**

*A todos los Ingenieros que supieron impartir sus conocimientos, en especial en ciencias básicas ya que fue ahí donde afinqué la base de mi formación como Ingeniero.*

*A mi compañera de tesis Gaby por todo el trabajo.*

*A Israel Inca por haberme inculcado la música en mi vida, sin la cual no estuviera aquí.*

*A Santiago Inca, gracias por acompañarme como un verdadero hermano durante toda mi vida.*

*A Lily por haber sido una gran compañera en la universidad y una gran novia que me ha brindado su apoyo incondicional para lograr esta nueva meta.*

*A toda mi familia que siempre han estado pendientes de mí.*

*A las fuerzas que mueven el mundo y a la ciencia que trata de entenderlas.*

**David Alejandro Montenegro Daza**

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se diseñó e implementó un módulo prototipo para pantallas gigantes tipo LED, este módulo es la base principal de una pantalla gigante ya que al unir varios módulos se puede formar gabinetes y la unión de los gabinetes forman pantallas gigantes de un tamaño personalizado.

Se realizó una esquematización de como se podría armar una pantalla gigante a partir del módulo implementado, se especificó los componentes de un gabinete y las interconexiones que deben tener los módulos para funcionar en conjunto.

Para el diseño del módulo se recopiló teoría de pantallas a color, LEDs RGB, microcontroladores de 16 bits, drivers multicanales PWM y lenguaje de programación JAVA.

La implementación del módulo se lo realizó en un circuito impreso de doble lado con calidad profesional que incluye micro pistas, vías entre caras, mascara de anti soldado y mascara de impresión, además se usó componentes de montaje superficial.

Para controlar el módulo se diseñó una interface realizada en JAVA la cual permite realizar diferentes pruebas en el módulo y enviar información como imágenes y texto.

Finalmente se realizó un análisis económico el cual demuestra la factibilidad de la fabricación de pantallas gigantes en el país.



## PRÓLOGO

Esta tesis presenta el diseño e implementación de un módulo prototipo para pantallas gigantes tipo LED, la importancia de este proyecto es que dicho módulo es la base para la implementación de pantallas gigantes para exteriores tipo LED las cuales no son fabricadas en el país y actualmente son importadas de otros países.

El presente proyecto se divide en seis capítulos, los cuales se detallan a continuación.

**Capítulo 1.** Se plantea los objetivos del proyecto y se destaca la importancia de diseñar e implementar un módulo prototipo para pantallas gigantes tipo LED.

**Capítulo 2.** Se presenta toda la información teórica sobre pantallas a color y sus características. Se recopila información y se realiza la selección del microcontrolador a utilizar de la familia PIC24F, además se profundiza en la teoría de los drivers PWM de Texas Instruments y sus características. Se dará una breve introducción acerca del lenguaje de programación de la interface a implementar.

**Capítulo 3.** Este capítulo se divide en el diseño del hardware y software.

En la parte de hardware se realiza el diseño de la placa de control y de la placa de la pantalla en circuito impreso de doble lado usando elementos de montaje superficial.

En la parte de software se realiza el diseño del programa del microcontrolador del módulo y de la interface realizada en JAVA.

**Capítulo 4.** Se realizan pruebas sobre el módulo y la interface mostrando los resultados obtenidos. Las pruebas que se realizan son de comunicación entre la interface y el módulo, dibujo, colores e imágenes.

**Capítulo 5.** Se realiza un análisis económico de la implementación de pantallas gigantes en el país basado en la experiencia de construcción del módulo prototipo y se demuestra la factibilidad de la implementación.

**Capítulo 6.** Se muestran las conclusiones obtenidas del proyecto, además se plantean recomendaciones para futuras implementaciones.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

<b>“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PROTOTIPO PARA PANTALLAS GIGANTES TIPO LED”</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Objetivo General .....	1
1.1.2 Objetivos Específicos .....	1
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>1</b>
1.2.1 Antecedentes .....	1
1.2.2 Justificación e Importancia .....	2
1.2.3 Alcance del Proyecto .....	3
<b>2.1 PANTALLAS A COLOR</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Pixel .....	5
2.1.2 Tamaño de punto .....	7
2.1.3 Ángulo de Visión .....	8
2.1.4 Luminancia .....	9
2.1.5 Tiempo de respuesta .....	10
2.1.6 Contraste .....	11
2.1.7 Frecuencia de Refresco Vertical .....	12
2.1.8 Frecuencia de Refresco Horizontal .....	14
2.1.9 Resolución de la Pantalla .....	15
2.1.10 Colores .....	16
2.1.11 Formatos de Pantallas .....	18
<b>2.2. LEDS RGB</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 Funcionamiento del LEDS RGB .....	20
2.2.2 Características de los LEDS RGB .....	21
2.2.3 Características del LEDS SMD 5050 RGB .....	22
<b>2.3 MICROCONTROLADORES DE 16 BITS</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 Características principales .....	24
2.3.2 Características de los periféricos .....	25
2.3.3 Selección del microcontrolador a usar .....	27
2.3.3.1 Descripción de puertos .....	28
<b>2.4. DRIVERS TLC5951 PWM DE TEXAS INSTRUMENTS</b> .....	<b>28</b>
2.4.1 Características generales .....	29
2.4.2 Arquitectura .....	30
2.4.2 Descripción de los módulos .....	33
2.4.4 Comunicación serie SPI .....	47
<b>2.5. LENGUAJE DE PROGRAMACION JAVA</b> .....	<b>50</b>

2.5.1	Introducción.....	51
2.5.2	Características .....	52
2.5.3	Ventajas.....	53
<b>3.1</b>	<b>DISEÑO DEL HARDWARE .....</b>	<b>55</b>
3.1.1	Diagrama de bloques.....	55
3.1.2	Diseño de circuito de protecciones .....	56
3.1.3	Diseño del controlador de la pantalla .....	58
<b>3.</b>	<b>DRIVER TLC5951 .....</b>	<b>63</b>
3.1.4	Diagrama de interconexión del sistema .....	68
3.1.5	Diseño de la placa del controlador .....	70
3.1.6	Diseño de la placa para montaje de la pantalla.....	74
3.1.7	Memoria EEPROM 24LC512 .....	76
<b>3.2</b>	<b>DISEÑO DEL SOFTWARE.....</b>	<b>79</b>
3.2.1	Diagrama de Flujo del programa del PIC.....	80
3.2.2	Algoritmo del programa .....	80
3.2.2.1	Algoritmos de comunicación SPI.....	81
3.2.2.2	Algoritmo de comunicación con JAVA .....	83
3.2.2.3	Algoritmo de multiplexación de la pantalla.....	85
3.2.3	Diagrama de Flujo de la Interface en JAVA.....	86
3.2.4	Algoritmo del programa de la Interfaz en JAVA .....	86
3.2.4.1	Algoritmo general de colores .....	87
3.2.4.2	Algoritmo de Dibujo .....	88
3.2.4.3	Algoritmo de Importación de imágenes .....	90
3.2.4.4	Algoritmo de comunicación hacia el PIC.....	91
<b>3.3</b>	<b>ESQUEMATIZACIÓN DE PANTALLA GIGANTES TIPO LED.....</b>	<b>93</b>
3.3.1	Hardware de la Pantalla Gigante.....	93
3.3.2	Software del Controlador Central de la Pantalla Gigante.....	104
<b>4.1</b>	<b>PRUEBAS .....</b>	<b>109</b>
4.1.1	Pruebas de funcionamiento de la pantalla.....	109
4.1.2	Pruebas de dibujo en la Interface .....	113
<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>117</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>120</b>
<b>5.2</b>	<b>DESARROLLO DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD: MÓDULO PROTOTIPO PARA PANTALLA LED.....</b>	<b>121</b>
5.3	Análisis de los proyectos .....	122
5.3.1	Análisis de mercado.....	123
5.3.2	Características de los consumidores .....	124
<b>5.4</b>	<b>PRONÓSTICO DE VENTA.....</b>	<b>125</b>
5.4.1	Costo de producción del módulo .....	126
5.4.2	Rendimiento del proyecto .....	127
5.4.3	Costo de producción de la pantalla .....	128

<b>5.5 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD .....</b>	<b>129</b>
<b>Estudio comparativo .....</b>	<b>129</b>
<b>6.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>6.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>132</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Características Generales De Los Leds Rgb .....	22
Tabla 2. 2. Características Fotoeléctricas De Los Leds Smd 5050 Rgb.....	23
Tabla. 2. 3 Características Principales Del Proyecto.....	28
Tabla. 2. 4. Características Del Pic24fj64ga006 .....	29
Tabla. 2. 5. Máxima Salida De Corriente Vs Riref .....	33
Tabla. 2. 6. Asignación De Los Bits De Datos De Escala De Grises.....	40
Tabla. 2.7. Asignación De Bits De Datos De Corrección De Punto .....	42
Tabla. 2.8. Asignación De Bits De Datos Bc. ....	42
Tabla. 2.10. Tabla De Verdad De Modo De Contador Gs .....	44
Tabla. 2.9. Asignación De Bits Para Registro Del Control. ....	43
Tabla. 2. 11. Asignación De Bits De Datos Del Registro De Desplazamiento De 288 Bits .....	45
Tabla. 3. 1. Características De La Fuente De Alimentación .....	56
Tabla. 3. 2. Consumo De Corriente De Los Dispositivos. ....	57
Tabla. 3. 3. Valores De Los Reguladores De Voltaje. ....	59
Tabla. 3. 4. Características Eléctricas Fmmt493. ....	66
Tabla. 3.5. Característica Eléctricas .....	77
Tabla. 4. 1. Resultado De Funcionamiento De Pantalla.....	117
Tabla. 4. 2. Resultado De Dibujo En La Interface. ....	118
Tabla. 5. 1. Costos De Pantallas Gigantes Tipo Led.....	124
Tabla. 5. 2. Costo De Insumos Directos.....	126
Tabla. 5. 3. Costos De Producción .....	127
Tabla. 5.4. Costos De Producción Módulo. ....	128
Tabla. 5. 5. Costo De Insumos Directos.....	128
Tabla. 5. 6. Costos De Producción .....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2. 1. Pantalla Tipo Led [1].	5
Figura. 2. 2. Píxeles En Una Pantalla [3]	6
Figura. 2. 3. Estructura De Un Pixel [4].	6
Figura. 2. 4. Tipos De Tamaño De Punto.	7
Figura. 2. 5. Ángulo De Visión En Pantallas Led Smd [5]	8
Figura. 2. 6. Ángulo De Visión En Pantallas Tipo Lcd Y Plasma [6].	8
Figura. 2. 7. Rangos De Ángulos De Visión [7]	9
Figura. 2. 8. Escala De Luminancia [8].	9
Figura. 2. 9. Señal De Luminancia [9]	10
Figura. 2. 10. Medición Del Tiempo De Respuesta.	11
Figura. 2. 11. Niveles De Contraste [10].	12
Figura. 2. 12. Frecuencia De Refresco Vertical [11].	13
Figura. 2. 13. Frecuencia De Refresco Horizontal [11]	14
Figura. 2. 15. Barrido Vertical Y Horizontal [12].	14
Figura. 2. 16. Resoluciones De Pantallas [13]	15
Figura. 2. 17. Tipos De Resoluciones Comerciales [14].	16
Figura. 2. 18. Espectro De Colores [15].	16
Figura. 2. 19. Combinación De Colores Rgb [15].	17
Figura. 2. 20. Círculo Cromático Rgb [15]	17
Figura. 2. 21. Combinación De Colores Cmyk [15]	18
Figura. 2. 22. Formatos De Pantalla [16]	18
Figura. 2. 23. Ejemplos De Formatos De Pantalla [16]	19
Figura. 2. 24. Polaridad Led Rgb De 2 Pines [17]	20
Figura. 2. 25. Arquitectura De Led Rgb De 4 Pines De Ánodo Común [17].	21
Figura. 2. 26. Led Rgb [18].	21
Figura. 2. 27. Dimensiones Del Led Smd 5050 Rgb [19]	22
Figura. 2. 28. Diagrama De Bloques General De La Familia Pic24f [20]	26
Figura. 2. 29. Diagrama De Bloques General De La Familia Pic24h/E [20]	27
Figura. 2. 30. Estructura De Una Aplicación Típica [21].	30
Figura. 2. 31. Configuración De Pines [21]	31
Figura. 2. 32. Diagrama De Bloques Tlc 5951 [21].	32
Figura. 2. 32. Configuración Del Registro De Desplazamiento De Escala De Grises	38
Figura. 2.33. Configuración De Memoria De Datos De Escala De Grises [21].	40
Figura. 2.34. Configuración De La Memoria De Datos Dc/Bc/Fc/Ud [21].	41
Figura. 2. 35. Asignación De Carga De Datos Dc/Bc/Fc/Ud [21]	44
Figura. 3. 1. Diagrama De Bloques Del Sistema.	56
Figura. 3. 2. Reguladores De Voltaje	60
Figura. 3. 3 Interface Icsp.	62
Figura. 3. 4. Diagrama De Conexión Tlc	64
Figura. 3. 5. Selección De Señal De Reloj Gsckr/G/B.	65
Figura. 3. 6. Interface De Potencia.	66
Figura. 3. 7. Acoplamiento De Señales Max232.	68
Figura. 3. 8 Circuito De Interconexión De La Pantalla De Leds	69
Figura. 3. 10. Medidas De Placa De Control.	71
Figura. 3. 11. Manejo De Las Reglas De Diseño.	72
Figura. 3. 12. Parámetros De Auto Ruteo.	72
Figura. 3. 14. Dispositivos Modelados.	73
Figura. 3.15. Espacio De Trabajo De “Sketchup Pro”	74
Figura. 3. 23. Diagrama De Pines	77
Figura. 3.24. Conexión Para Grabar Con Pickit V2	78

Figura. 3. 25. Conexión Grabar Con Microcontrolador.....	79
Figura. 3.26. Diagrama De Flujo Rutina Principal.....	80
Figura. 3.27. Rutina De Comunicación Spi. ....	82
Figura. 3.28. Rutina De Comunicación Java.....	84
Figura. 3.29. Rutina De Multiplexación.....	85
Figura. 3.30. Algoritmo De Interfaz En Java .....	86
Figura. 3.31. Algoritmo De Colores.....	88
Figura. 3.32. Algoritmo De Dibujo. ....	89
Figura. 3.33. Algoritmo De Importación De Imágenes.....	90
Figura. 3.35. Esquema De Pantalla Gigante De Exteriores Tipo Led.....	93
Figura. 3.36. Diseño De Pantalla Gigante De Exteriores Tipo Led .....	94
Figura. 3.37. Esquema De Gabinete.....	95
Figura. 3.38. Gabinete De Pantalla Gigante De Exteriores Tipo Led.....	96
Figura 3.39. Fuente De Poder.....	97
Figura 3.40. Diagrama De Conexión De Módulos.....	98
Figura 3.41. Diagrama De Comunicación De Módulos.....	100
Figura. 3.42. Comunicación Rs-232.....	102
Figura. 3.43. Comunicación Fibra Óptica .....	103
Figura. 3.45. Comunicación Rf.....	104
Figura. 3. 46. Diagrama De Flujo Rutina Principal.....	105
Figura. 3. 47. Rutina De Imagen .....	106
Figura. 3. 48. Rutina De Video .....	107
Figura. 3. 49. Diagrama De Controlador De La Pantalla.....	108
Figura. 4. 1. Prueba De Color Rojo.....	110
Figura. 4. 2. Prueba De Color Verde.....	110
Figura. 4. 3. Prueba De Color Azul.....	111
Figura. 4. 4. Prueba De Color Morado.....	111
Figura. 4. 5. Prueba De Color Amarillo.....	112
Figura. 4. 6. Prueba De Color Cyan.....	112
Figura. 4. 7. Prueba De Color Blanco.....	113
Figura. 4. 8. Prueba De Dibujo En La Interface.....	113
Figura. 4. 9. Prueba De Dibujo En La Pantalla.....	114
Figura. 4. 10. Prueba De Dibujo En La Interface.....	114
Figura. 4. 11. Prueba De Dibujo En La Pantalla.....	115
Figura. 4. 12. Prueba De Importar Imagen Interface.....	116
Figura. 4. 13. Prueba De Importar Imagen Pantalla.....	116
Figura. 4. 14. Grafica De Resultados De Funcionamiento De Pantalla .....	118
Figura. 4. 15. Grafica De Resultados De Dibujo De Interface.....	119



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un módulo prototipo de pantalla tipo LED como base para una pantalla gigante.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar acerca de la generación de imágenes en diferentes tipos de pantallas LED.
- Caracterizar el funcionamiento general de los drivers PWM TLC5951 de Texas Instruments.
- Generar la información a ser desplegada y enviarla al controlador del prototipo mediante una interfaz realizada en lenguaje JAVA.
- Esquematizar la unión de los módulos para la generación de pantallas gigantes tipo LED.

### 1.2 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

#### 1.2.1 Antecedentes

En el año de 1962 se comercializó formalmente el primer LED rojo, que fue el primer paso en la evolución de este elemento y en sus diversas aplicaciones de señalización, iluminación, displays y letreros de mensaje variable hasta llegar a las pantallas gigantes para exteriores basadas en LEDs de colores primarios [1].

Gracias al avance tecnológico de LED ahora contamos con un elemento que incluye tres colores primarios, en un mismo elemento denominado LED tricolor o RGB por sus siglas en inglés, facilitando la generación de colores mediante la mezcla de sus primarios, esto se aprovecha en la fabricación de pantallas de video gigantes, las cuales usan un LED RGB por cada pixel de la imagen.

Estudios realizados por Cedatos-Gallup en Quito, Guayaquil, Salinas y Atacames han demostrado la gran aceptación del sistema de video para proyección publicitaria en pantallas gigantes tipo LED, convirtiéndose en un de las estrategias más efectiva de la comunicación visual, porque atrae a las audiencia permitiendo asociar y comprender más fácilmente la información presentada al público. [2]

### **1.2.2 Justificación e Importancia**

La importancia del presente proyecto radica en el estudio e implementación de un módulo prototipo de pantalla LED de 32 x 32 pixeles, dicho módulo es la base para la implementación de pantallas gigantes basados en un conjunto de los módulos antes mencionados, este primer modelo que se plantea consta de todas las características principales para poder presentar una imagen visible a una distancia de 5 a 100 metros.

La estructura de este tipo de pantallas es modular, lo que permite construir pantallas de diferentes dimensiones y agiliza el montaje de la misma. Para la implementación de una pantalla comercial se unen hasta dieciséis gabinetes que son estructuras donde se montan varios módulos pequeños cada uno con su propio controlador y en comunicación entre sí. El ahorro energético es una ventaja en la implementación de estas pantallas por el mismo hecho de estar construidas con diodos LED que presentan dichas características de ahorro energético.

Lastimosamente en el Ecuador no existen empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de pantallas gigantes tipo LED, debido a falta de propuestas de implementación propias, y a desconocimiento de los costos reales de implementación, obligando la importación de estas pantallas tipo LED provenientes de otros países.

Los costos de implementación de este prototipo son relativamente bajos, ya que los elementos utilizados no representan un gran costo, además una vez que se haya implementado el prototipo se podrá hacer un análisis económico que muestre la factibilidad de construcción de pantallas gigantes tipo LED en el país.

### **1.2.3 Alcance del Proyecto**

Se realizará el diseño y construcción de un prototipo de pantalla basada en un arreglo de 32 filas y 32 columnas, un total de 1024 LEDS SMD 5050 RGB que permite la presentación de información e imágenes.

El encargado de realizar el control de la pantalla, manejando la información e imágenes, es el microcontrolador ha seleccionar de la familia 24F, el mismo que se comunica con los drivers PWM para el control de los LEDS RGB.

La comunicación entre el microcontrolador y los drivers PWM se realiza mediante un protocolo de comunicación serial, propio de estos drivers PWM de TEXAS INSTRUMENTS TLC5951, que tienen 8 bits de resolución PWM y 24 canales independientes.

La implementación será de un solo módulo con la capacidad de intercomunicación entre varios de estos para poder formar una pantalla gigante tipo LED, la misma que cuenta con veinticuatro módulos por gabinete y un máximo de 16 gabinetes por pantalla completa.

La transferencia de información al prototipo, como imágenes, textos, símbolos, se realizará mediante una interfaz realizada en lenguaje de programación JAVA.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 PANTALLAS A COLOR

Las pantallas son habitualmente utilizadas en televisores, monitores para los ordenadores, cámaras fotográficas e incluso a gran escala como son las pantallas gigantes. El color en las pantallas ha ido evolucionando, lo que da como resultado que se puede crear imágenes más nítidas e inimaginables. Pero para que las imágenes presentadas en las pantallas tengan esa perfección deseada se deben tomar en cuenta algunas características que son las siguientes: pixel, tamaño de punto, ángulo de visión, luminancia, contraste y resolución. Todos estos parámetros antes mencionados serán descritos con mayor profundidad durante este capítulo.

La historia de la pantalla tiene dos clasificaciones según el estándar y según su tecnología las mismas que se nombra a continuación:

Según estándares comenzó en el año 1981 con los monitores Adaptador de gráficos a color CGA (*Color GraphicsAdapter*), el primero en tener tarjeta con soporte gráfico a color, luego años después se incorporo los monitores Adaptador de gráficos mejorada EGA (*EnhancedGraphicsAdapter*) que tienen mejoras en la amplitud, colores y resolución con respecto a la anterior.

Los monitores Matriz gráfica de video VGA (*Video GraphicsArray*) tuvieron su lanzamiento ya que los monitores anteriores empezaban a quedar obsoletos. Los monitores Súper matriz gráfica de video SVGA (*Super Video GraphicsArray*) se desarrollaron para eliminar incompatibilidades en la resolución.

La clasificación según la tecnología comenzó en el año de 1987 con los monitores de Tubo de rayos catódicos CRT (*CathodeRayTube*), los cuales tienen alta calidad en la imagen y resolución, luego de algunos años se implementó las pantallas de cristal líquido LCD (*LiquidCrystalDisplay*) que tienen mejora en la calidad de colores, poco peso, tamaño y casi no consumen energía. En los años de 1995 se crearon pantallas plamas a color que tienen una mayor resolución y ángulo de visibilidad.

Gracias al avance tecnológico de las pantallas a color, ahora contamos con pantallas electrónicas tipo LED como se muestra en la Figura. 2.1, las mismas que han evolucionado con el objetivo de ofrecer mayores prestaciones como son una gran brillantez, mejores niveles de contraste y resolución lo que nos ofrece una calidad única, además que consumen menos energía, es menos nociva con el medio ambiente y su vida útil. Y su vida útil que es la duración estimada de un objeto que puede tener cumpliendo correctamente la función para la que fue creado, en este caso es de más o menos 100000 horas, estimada por los fabricantes, si funciona durante las 24 horas seguidas.



**Figura. 2.1. Pantalla Tipo LED [1]**

### **2.1.1 Pixel**

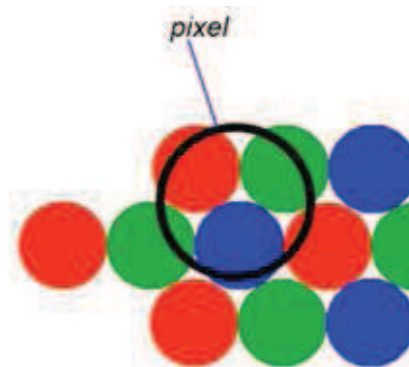
El pixel es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico [2], como se muestra en la Figura. 2.2.



**Figura. 2.2. Pixeles en una Pantalla [3]**

Las pantallas ya sean blanco y negro o a color están conformadas por un punto de color en la escala de grises o azul, rojo y verde respectivamente como se muestra en la Figura. 2.3, los también llamados *pixeles*, son representados por un conjunto de bits que se codifican formando diferentes colores y que deben tener una secuencia exacta para formar de una manera coherente la información e imágenes.

En la actualidad los *pixeles* son utilizados también como una medida de resolución que utilizan los dispositivos como pantallas, cámaras fotográficas, etc.



**Figura. 2.3. Estructura de un Pixel [4]**

### 2.1.2 Tamaño de punto

El tamaño de punto se lo conoce como el espacio que existe entre dos pixeles de un mismo color. Se debe tomar en cuenta que no siempre es el mismo valor de tamaño de punto en la distribución si medimos en vertical que en horizontal.

Los puntos de color se pueden encontrar en diferentes disposiciones en la pantalla ya sean tipo de rejilla o mascara de sombra como se muestran en la Figura. 2.4.

Se debe tomar en cuenta que la relación entre el tamaño de punto y la nitidez es inversamente proporcional; diciendo de esta manera que mientras menor es el tamaño de punto mayor será la nitidez de la imagen y viceversa, por esta razón, para que una pantalla sea considerada de gran formato el tamaño de punto debe encontrarse entre 0,25 a 0,28.

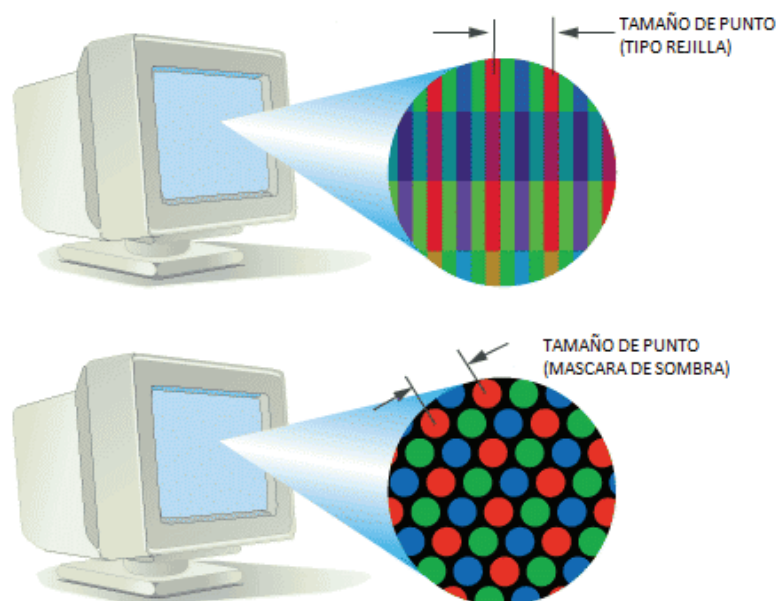


Figura. 2.4. Tipos de Tamaño de Punto

### 2.1.3 Ángulo de Visión

El ángulo de visión en las pantallas, es otra característica importante poco utilizada y no tomada en cuenta, que determina desde que ángulo de visualización las imágenes tendrán mayor nitidez al ser observadas por los humanos.

Dependiendo la tecnología de las pantallas y los diferentes usos que se les quiera dar, los ángulos de visión que se ofrecen en el mercado son de 160 grados para pantallas LED dispositivo de montaje superficial SMD “*Surface Mounted Device*” como se muestra en la Figura.2.5, y para los demás tipo de pantallas ya sean LCD o plasma varían entre 140 /150 y 170 grados como se muestra en la Figura. 2.6.



Figura. 2.5. Ángulo de Visión en Pantallas LED SMD [5]



Figura. 2.6. Ángulo de visión en pantallas tipo LCD Y Plasma [6]

Para comprobar que el ángulo de visión de la pantalla se encuentra en los rangos antes mencionados; se debe situar dentro de los 160 grados o de 140 / 150 y 170 grados dependiendo la pantalla, si el color negro se vuelve de color azul o rojo, o si el contraste disminuye es que la pantalla no tiene un buen ángulo de visión como se muestra en la Figura. 2.7.



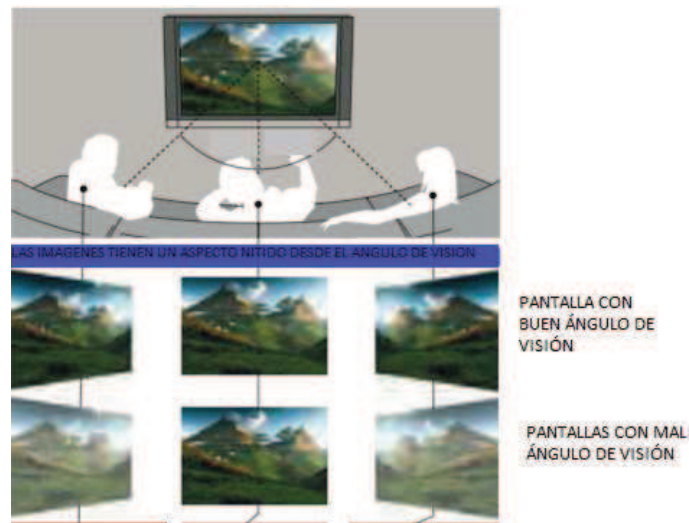


Figura. 2.7. Rangos de Ángulos de visión [7]

### 2.1.4 Luminancia

La luminancia es un factor directamente proporcional con el brillo de la imagen que se presenta en las pantallas, lo que quiere decir que; si la luminancia es alta, la imagen es brillante, si la luminancia es baja, la imagen es oscura. Esta característica es muy importante en los componentes de las señales de video que se presenta a través de las pantallas con la información de la parte de los blancos, negros y escala de grises de la imagen a presentar.

Para esto existe una escala de valores relativos para la luminancia como se muestra en la Figura. 2.8. Se debe tomar en cuenta que la luminancia se mide en candelas por metro cuadrado.

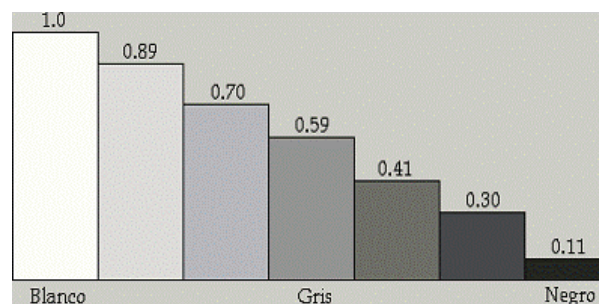


Figura. 2.8. Escala de Luminancia [8]

La señal de la luminancia viene discretizada con una subportadora de color, también llamada señal de crominancia que no interfiere con la señal de luminancia como se muestra en la Figura. 2.9.

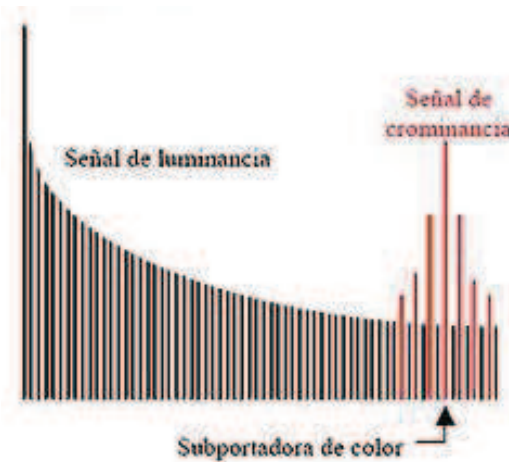


Figura. 2.9. Señal de Luminancia [9]

### 2.1.5 Tiempo de respuesta

Es tiempo de respuesta en las pantallas es el tiempo que se demora para que un pixel se prenda, se apague y regrese al estado inicial, por eso es uno de los parámetros más importantes, ya que es inversamente proporcional con el performance del equipo, esto quiere decir que si el tiempo de respuesta es mínimo la calidad aumenta y viceversa.

Para medir el tiempo de respuesta en las pantallas existen algunos métodos el de negro > blanco > negro también llamado Tiempo de subida tiempo para morir o TrTf (*Rise Time Fall Time*) como se muestra en la Figura. 2.10, gris a gris GtG (Gray to Gray) o el tiempo entre otros colores, para mejorar el tiempo de respuesta de Gris a gris se utiliza Compensación de Tiempo de Respuesta RTC (*Response Time Compensation*).

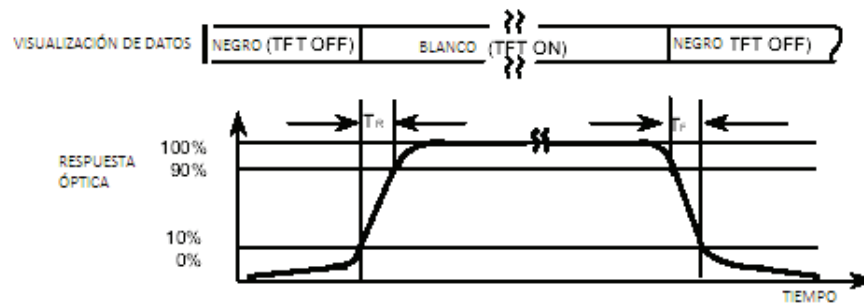


Figura. 2.10. Medición del tiempo de Respuesta

Es importante saber que cada marca de pantallas tiene su método independiente, encontrándose términos como:

- *Clear Motiv (Viewsonic).*
- *AMA (BenQ).*
- *Magic Speed (Samsung).*
- *ODC (LG.Philips).*

Comercialmente los tiempos de respuestas son de 8 ms, 4 ms y 2 ms. Cada avance de la tecnología en las pantallas presenta disminuciones en los tiempos de respuestas.

### 2.1.6 Contraste

Este parámetro de las pantallas es el resultado de la división de la intensidad lumínica del blanco por la del negro, y es directamente proporcional con la imagen que se presenta, esto quiere decir que cuanto más alto es el contraste más uniforme y realista es la imagen y viceversa.

Se debe tomar en cuenta que lo más importante no es la luz que puede emitir la pantalla sino la profundidad del negro, eso quiere decir que no es determinante si el contraste de una pantalla es de 1000:1 o de 500:1 sino lo que realmente importa es el nivel de negro.

No existe una forma o directriz en la que los fabricantes de pantallas informen acerca del contraste, la mayoría toman como referencia el estándar del Instituto Nacional de Estándar Americano ANSI (*American National Standards Institute*), mediante el cual se mide los blancos más luminosos y los negros más oscuros, pero también existen otras formas de medir el contraste en función del Nivel de la Imagen Promedio APL (*Average Picture Level*) que consiste en medir los diferentes % de blanco, como se muestra en la Figura. 2.11. Las pruebas de full-on full-off, miden sucesivamente una imagen blanca y una imagen negra, aunque es una irreal visualización de lo típico.

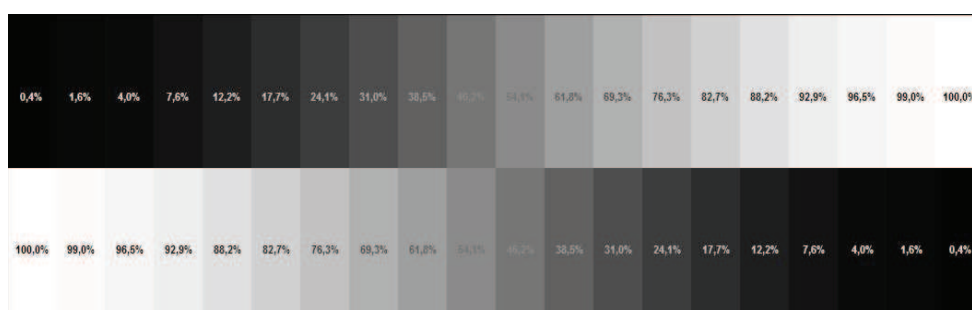


Figura. 2.11. Niveles de Contraste [10]

Para poder medir el contraste se debe tener en cuenta que existen dos tipos de contrastes para las pantallas de televisión que son:

- **Contraste estático:** que es el que mide la relación entre el blanco y el negro de la pantalla en dos imágenes sucesivas.
- **Contraste dinámico:** se realiza mediante artificios, bajando la luminosidad de la pantalla cuando la imagen es negra y aumentado cuando la imagen es blanca, en imágenes consecutivas.

### 2.1.7 Frecuencia de Refresco Vertical

Este parámetro es la velocidad de barrido vertical, o en un segundo el número de veces que se dibuja la pantalla, todo esto expresado en Hertzios. La relación es directamente proporcional entre la frecuencia de refresco vertical y la estabilidad, lo

que quiere decir que mientras mayor sea la frecuencia de refresco vertical es mayor la estabilidad de la imagen que se presenta en la pantalla, eliminando los parpadeos que se producen por el recorrido del haz de electrones.

La frecuencia de refresco vertical es cuantas veces se vuelve a pintar desde la línea de arriba hasta la última línea de abajo en la pantalla, como se muestra en la Figura 2.12.

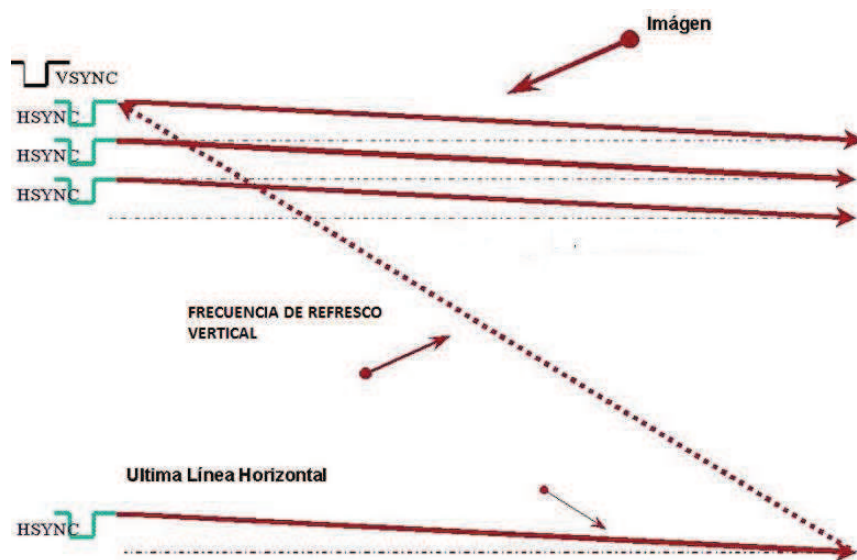


Figura. 2.12. Frecuencia de Refresco Vertical [11]

La frecuencia de refresco vertical debe ser mayor a 60 Hz, de preferencia 70 u 80 Hz para que la estabilidad y nitidez de la imagen en la pantalla sea la máxima sin parpadeos, de esta manera la vista sufre mucho menos, estos parámetros y explicación es de gran importancia para las pantallas CRT que la imagen se genera a través de un barrido de rayos.

Para las pantallas LCD, PLASMA, LED y las que son manejadas independientemente por un Transistor de Película Fina TFT (*Thin Film Transistor*), el parpadeo que se produce por el barrido que realizan las pantallas CRT, prácticamente ha desaparecido por lo cual la frecuencia para este tipo de pantallas es normalmente de 56 Hz a 75 Hz, y se puede utilizar un refresco de 60 Hz lo que nos muestra una imagen totalmente estable, sin el molesto parpadeo que irrita y cansa nuestra vista.

### 2.1.8 Frecuencia de Refresco Horizontal

La frecuencia de refresco horizontal, es en un segundo cuantas líneas pueden ser pintadas llevando el trazo hasta el borde izquierdo de la pantalla y luego comienza a barrer la línea siguiente, como se muestra en la Figura. 2.13. La relación con la resolución es directamente proporcional, lo que quiere decir que si el valor de frecuencia de refresco horizontal es superior la resolución será más alta y viceversa.

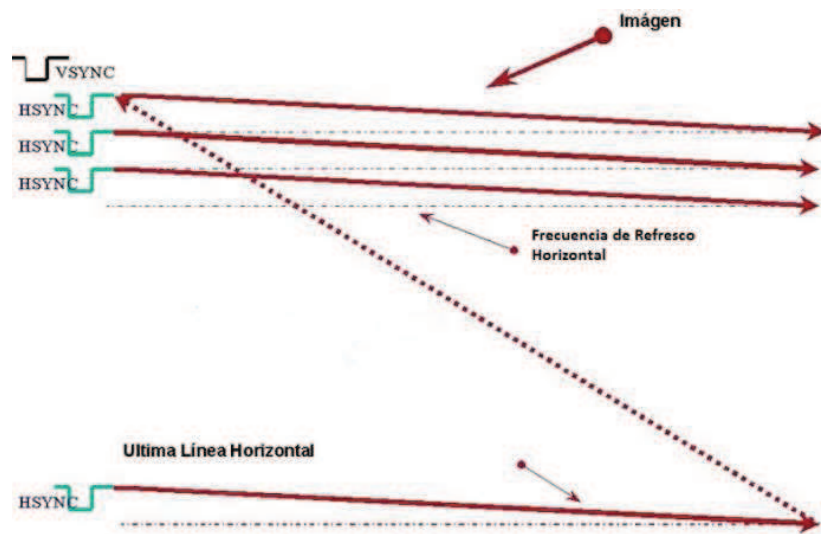


Figura. 2.13. Frecuencia de Refresco Horizontal [11]

Los valores estándar para este parámetro son de 30 KHz a 80 KHz, para el tipo de pantallas CRT que su barrido se realiza por medio de rayos. Es importante saber que para que la imagen presentada tenga la mejor resolución se debe combinar las frecuencias de refresco vertical y la horizontal como se muestra en la Figura. 2.14.

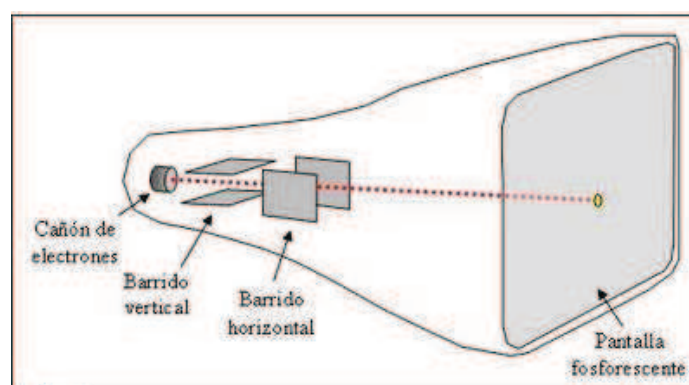


Figura. 2.14. Barrido Vertical y Horizontal [12]

Las frecuencias de refresco horizontal para las pantallas tipo LCD, PLASMA y LED, se deben tomar en cuenta las resoluciones que tengan las mismas.

### 2.1.9 Resolución de la Pantalla

La resolución de la pantalla viene dado por el número de píxeles que está conformada la misma, tanto de ancho como de altura, como se muestra en la Figura 2.15.

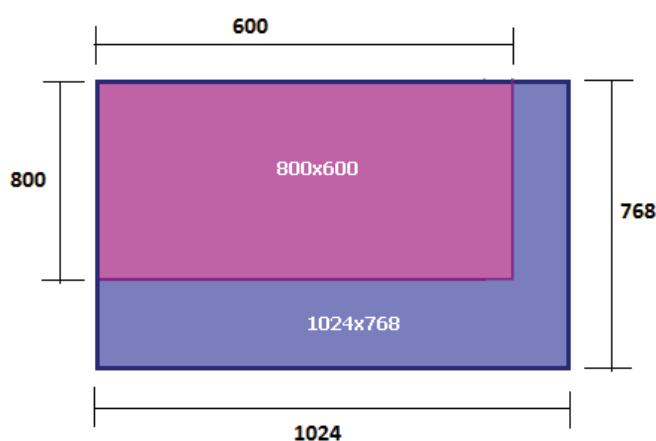


Figura. 2.15. Resoluciones de Pantallas [13]

Para describir lo que significa el 800 x 600 píxeles, quiere decir que es capaz de mostrar 800 puntos en 600 líneas más o menos cerca de 480000 píxeles. Se debe tomar en cuenta que la ventana de la pantalla es medido en pulgadas y es el tamaño real de la misma, mientras que la resolución es el tamaño relativo. Este parámetro se utiliza para describir pantallas de televisión, monitores, imágenes, cámaras fotográficas y de video.

A continuación se muestra en la Figura. 2.16 algunas pantallas comerciales con sus respectivas resoluciones.

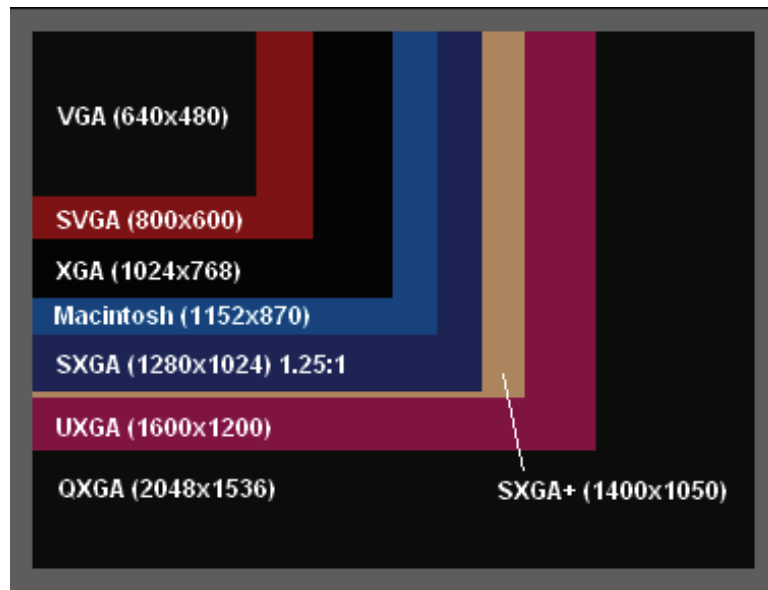


Figura. 2.16. Tipos de Resoluciones Comerciales [14]

### 2.1.10 Colores

El color es una parte del espectro lumínico, percepción visual que es interpretada por el cerebro a partir de los órganos visuales. Los colores son un fenómeno físico químico que dependen de las distintas combinaciones de luz, que se pueden interpretar y distinguir mediante sus diferentes longitudes de onda, en la parte visible del espectro electromagnético, como se muestra en la Figura. 2.17.

Los colores primarios, son los que no se los puede obtener a través de la mezcla de ningún otro, y son: Rojo, Verde y Azul, mediante la mezcla de estos se puede obtener el espectro de colores visibles, como se muestra en la Figura. 2.18.

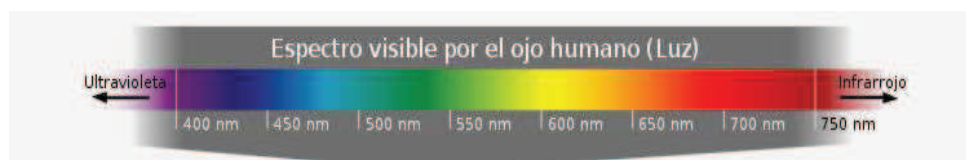
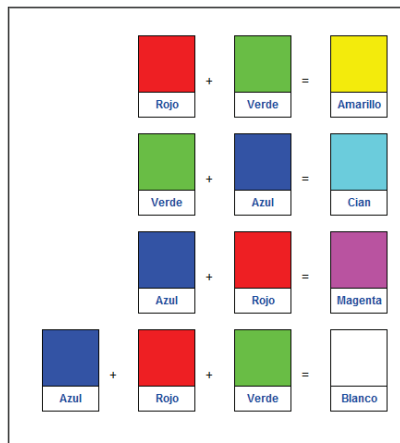


Figura. 2.17. Espectro de Colores [15]





**Figura. 2.18. Combinación de Colores RGB [15]**

Los colores complementarios son también llamados colores opuestos y se representan en el círculo cromático del modelo RGB como se muestra en la Figura. 2.19. Algunos ejemplos de colores complementarios son:

- Verde  $\longrightarrow$  Magenta.
- Azul  $\longrightarrow$  Amarillo.
- Rojo  $\longrightarrow$  Cian.



**Figura. 2.19. Círculo Cromático RGB [15]**

Se dice que son colores complementarios si al mezclar dos de ellos se obtiene un color neutral (negro, blanco o gris).

Nuevos estudios demuestran que el color rojo y el azul no son colores primarios por que mediante ciertas mezclas se los puede obtener, es por esta razón que se usa el color cyan en lugar del azul y el color Magenta en lugar del rojo, ando de esta manera el modelo correcto que es el CMYK (C= Cyan, M= Magenta, Y= Yellow, K= Keyo Black), como se muestra en la Figura. 2.20.

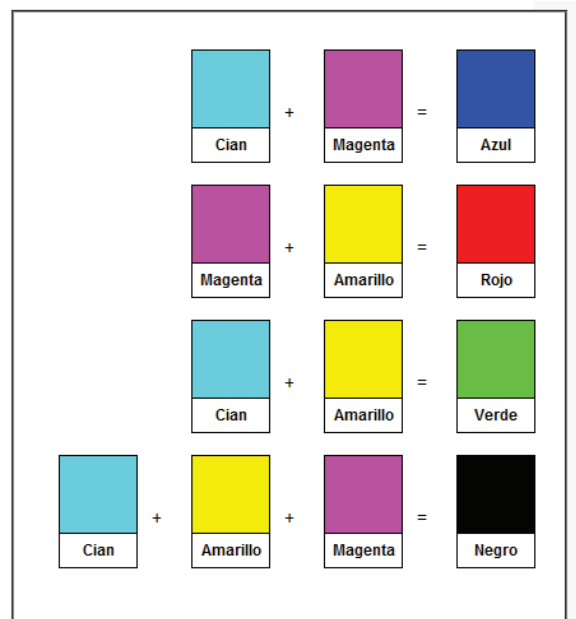


Figura. 2.20. Combinación de Colores CMYK [15]

### 2.1.11 Formatos de Pantallas

El formato de pantalla se refiere a la proporción que existe entre el ancho y la altura en una pantalla. Existen actualmente en el mercado dos tipos de formatos que son los 4:3 y los 16:9, como se muestra en la Figura. 2.21.



Figura. 2.21. Formatos de Pantalla [16]

El formato 4:3 es el convencional o pantalla completa, este formato no siempre es compatible con todos los formatos de visión, debido a su diferencia en cuanto a diseño, tamaño y tecnologías añadidas, pero algunos formatos 4:3 ofrecen una función de adaptación al formato panorámico 16:9. Este formato ha sido utilizado en las pantallas de televisión desde su origen hasta el 2009 y los monitores de computadoras.

El formato 16:9 es el panorámico y escaneado, este formato es compatible con los de pantalla ancha (*widescreen*), cinemascopio. Es el formato estándar de la televisión digital en alta definición y pantallas anchas.

Las superficies en los dos formatos antes mencionados son diferentes aun cuando el tamaño de la pantalla es el mismo. Si el televisor es de 28 pulgadas y el formato es de 4:3 la superficie será mayor que en el formato 16:9, para que la altura sea la misma la pantalla debe ser de 32 pulgadas como se muestra en la Figura. 2.22.

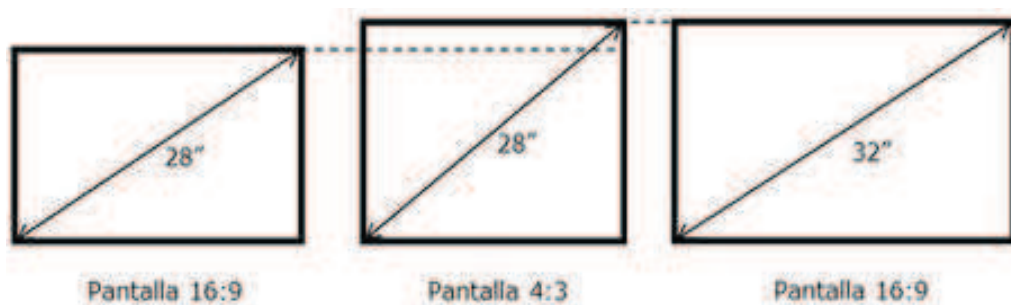


Figura. 2.22. Ejemplos de Formatos de Pantalla [16]

## 2.2. LEDS RGB

El Diodo Emisor de Luz LED (*Light Emitting Diode*) es un dispositivo electrónico, diodo semiconductor, que emite Luz; al permite el paso de corriente en un solo sentido, lo que quiere decir que tiene polaridad.

Los LEDS RGB (*Red, Green, Blue*) emiten tres colores diferentes rojo, verde y azul, que se los puede mezclar para crear una gran gama de colores, su funcionamiento para generar diversos colores.

Es muy importante saber que se pueden encontrar 2 tipos de LEDS RGB: Los que tienen 2 pines (el ánodo que es el positivo y el cátodo que es el negativo) y los de 4 pines (3 cátodos y un ánodo).

Tienen muchas utilidades, se los usa como iluminación, señalización (semáforos, emergencia, etc) indicadores (paneles informativos) y empleado en pantallas de visualización de algunos aparatos (teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, etc) y es previsible que se incremente en el futuro las aplicaciones de este dispositivo.

Las ventajas de este dispositivo son muchas entre ellas el ahorro energético, calidad, luz más brillante porque es nítida y brillante, seguridad, bajo consumo ya que se alimentan a baja tensión, versátiles, mayor duración, fiabilidad y ecológicos.

### 2.2.1 Funcionamiento del LEDS RGB

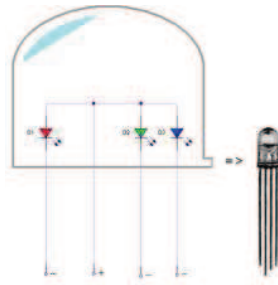
Existe una gran variedad de LEDS RGB con diferente arquitectura y para diversas aplicaciones, se especificará el funcionamiento básico de los LEDS RGB con arquitectura de 2 pines, 4 pines y posteriormente un análisis de las características de los LEDS SMD 5050 RGB.

El funcionamiento de los LEDS RGB que tiene 2 pines es muy común se debe polarizar directamente, el ánodo al positivo y el cátodo al negativo, como se muestra en la Figura. 2.23, mientras el LED este alimentado realizara una secuencia infinita de cambios de colores. A este tipo de LEDS RGB no hay como controlar para que de un color específico, cambia de color automáticamente.



Figura. 2.23. Polaridad LED RGB de 2 pines [17]

El funcionamiento de los LEDs RGB de 4 pines, tienen un borne en común que es el ánodo o el cátodo, entre los tres LEDs internos, como se muestra en la Figura. 2.24. Este tipo de LEDs pueden generar un color específico, para esto se debe alimentar el ánodo o el cátodo que es el común, y los otros tres LEDs ya sea independientemente o a la vez todos.



**Figura. 2.24. Arquitectura de LED RGB de 4 pines de ánodo común [17]**

Para poder generar diferentes colores con estos LEDs se debe utilizar resistencias variables o un sistema de ancho de pulsos PWM (Pulse width modulation), para poder atenuar o intensificar los colores combinando una infinidad de tonalidades de rojo, verde y azul, generando de esta forma prácticamente toda la gama de colores.

### 2.2.2 Características de los LEDs RGB

Las características de los LEDs RGB en general se resumen en los voltajes de polarización, las corrientes máximas, las longitudes de onda de cada color y la intensidad luminosa del LED como se muestra en la Figura. 2.25.



**Figura. 2.25. LED RGB [18]**

En la Tabla 2.1 se aprecia las características generales que se encuentra en todo tipo de LED RGB.

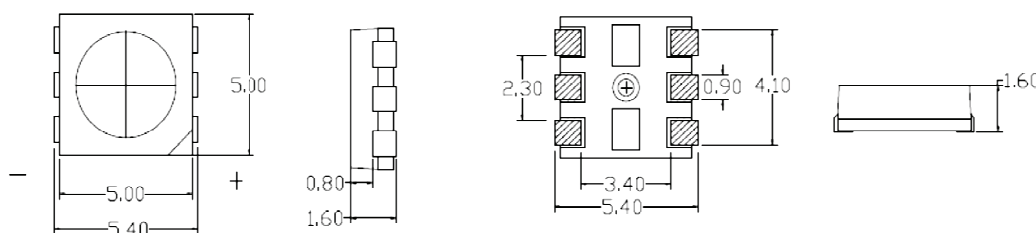
**Tabla 2.1. Características Generales de los LEDS RGB**

LEDS RGB			
Características			
Color de Emisión	Rojo	Verde	Azul
Longitud de Onda	625 - 635	520 - 525	465 - 475
Ángulo de emisión	140°	140°	140°
Intensidad Luminosa (mcd/led)	600	1300	300
Corriente (mA)	385	350	350
Lúmenes	600		
Consumo de energía	0.72 Watt por cada 3 piezas LEDS		
Voltaje de operación (v)	2.20	3.55	3.55
Resistencia (ohm)	2.4	1	1
Dimensiones	7.4 ancho, 7.4 largo y 3.0 de alto		
Temp. de operación	-20° a 55° C		

### 2.2.3 Características del LEDS SMD 5050 RGB

Los LEDS SMD son dispositivos semiconductores que emiten luz, cuando son atravesados por una corriente eléctrica generalmente pequeña. Su color depende del material empleado en su fabricación y de los aditivos añadidos. Generalmente estos LEDS están encapsulados en resina semirrígida, se utiliza hoy en día en diferentes aplicaciones como: fuentes de luminosidad, pantallas de video, señales luminosa.

Los LEDS SMD 5050 RGB tienen características de alta eficiencia, robustez y principalmente por su alto brillo, sus dimensiones lineales son de 5x5 mm y una altura total de 1.6 mm como se muestra en la Figura. 2.26.



**Figura. 2.26. Dimensiones del LED SMD 5050 RGB [19]**

Internamente está distribuido con tres diodos emisores de luz independientes, con acceso a sus respectivos ánodos y cátodos, teniendo así un mejor control del color. Las características principales de este LED se resumen en la Tabla. 2.2 que se muestra a continuación:

**Tabla 2.2. Características fotoeléctricas de los LEDS SMD 5050 RGB**

Parámetros	Símbolo	Color	Min.	Max.	Unidad	Tolerancia	Condiciones de Prueba
Voltaje Directo	Vf	R	1.80	2.4	V	±0.05v	Corriente Directa IF= 20mA Temperatura de prueba 25 °C
		G	2.80	3.6			
		B	2.80	3.6			
Intensidad Luminosa	IV	R	100	---	mcd	±10 mcd	
		G	400	---			
		B	100	---			
Longitud de Onda	λ	R	620	630	nm	±2 nm	
		G	515	530			
		B	460	475			
Ángulo de Luz	Θ	/	115	125	deg	± 2	
Corriente Reversa	IR	/	---	10	μA	±0.1 μA	Vr= 5v

### 2.3 MICROCONTROLADORES DE 16 BITS

Existen varios fabricantes de Microcontroladores de 16 bits como por ejemplo: Atmel, Intel, Texas Instrument, Zilog y Microchip, este último es uno de los más usados a nivel académico y profesional, por sus facilidades de programación y gran cantidad e información que Microchip proporciona a sus usuarios.

Microchip en el 2004 realiza el lanzamiento de los PIC con bus de datos inherente de 16 bits con las prestaciones anteriores de los PICs y añadiendo varias operaciones de procesamiento digital de señales, implementadas en hardware, como multiplicación con suma de acumulador y además vienen provistos con una nueva tecnología de bajo consumo de corriente.

Las aplicaciones de los PICs de 16 bits cubren los mercados industrial, comercial, médicos y de automoción, incluyendo controles remotos, medidores, monitores, temporizadores y sensores. Esta nueva familia de PICs incorpora la tecnología de Bus Universal Serial USB (*Universal Serial Bus*) en la marcha OTG (*OntheGo*), que

permite al microcontrolador ser configurado como un dispositivo máster para que otros dispositivos USB se conecten a él.

### 2.3.1 Características principales

Dentro de la gama de Microcontroladores de 16 bits de Microchip se encuentran las familias PIC24F, PIC24H/E, dsPIC30F y dsPIC33F/E.

La familia PIC24F se caracteriza por su bajo costo y consumo de potencia, presentan un rendimiento de 16 Mega instrucciones por segundo MIPS (*Mega instructions per seconds*), con un voltaje de 3.3 voltios y hasta 96 Kb de Memoria de Acceso Randómico RAM (*Random Access Memory*), UBS OTG, gráficos y un motor de control de periféricos integrados.

La familia PIC24H/E se caracteriza por un rendimiento de 60 MIPS a 3.3 voltios, conversores Análogo – Digital ADC (*Analog Digital Converter*) de alta fidelidad, canales Acceso Directo de Memoria DMA (*Direct memory Access*) para transferencia de datos más rápida, motor de control de periféricos y amplificadores operacionales integrados, posee hasta 2 buses Controlador de Red de Área CAN (*Controller Área Network*), Interfaz Serial de Periféricos SPI (*Serial Periphera Interface*) y opciones de alta temperatura extendida de hasta 150 °C.

La familia dsPIC30F se caracteriza por su versatilidad en el manejo de 5 voltios, tienen un rendimiento de procesamiento digital de señales de 30 MIPS a 5 voltios, alcanza hasta 4 Kb de Memoria ROM programable y borrable eléctricamente EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*), motor de control de periféricos y una interfaz de codecs integrados.

La familia dsPIC33F/E tiene un rendimiento de procesamiento digital de señales de hasta 60 MIPS a 3.3 voltios, posee hasta 32 canales conversores análogo- digital de 10 y 12 bits, un motor de control digital de potencia y periféricos de audio, amplificadores operacionales integrados, hasta dos buses CAN, SPI y opción de alta temperatura extendida de hasta 150 °C.



### 2.3.2 Características de los periféricos

Los periféricos que disponen cada una de las familias de Microcontroladores de 16 bits varían según las capacidades internas de los mismos.

Los periféricos principales de la familia PIC24F se resumen de la siguiente manera y se puede visualizar un diagrama de bloques donde se incluyen estos periféricos en la Figura 2.27.

- Puerto transmisor Receptor Asíncrono Universal UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), que facilitan la comunicación hacia otros dispositivos con protocolos de comunicación seriales como por ejemplo RS 232.
- Puertos SPI, para el acceso de datos entre dispositivos.
- Puertos de Circuitos Inter-Integrados  $I^2C$  (*Inter Integrated circuit*), para la comunicación entre varios dispositivos de manera Maestro – Esclavo, como puede ser Microcontroladores, sensores, memorias externas y periféricos adicionales.
- Canales PWM, que incluyen un motor de control específico para la generación de señales PWM
- Canales ADC de 10 bits con conversión simultánea.
- Comparadores de voltaje.
- Un puerto USB OTG que sirve para la comunicación o diferentes dispositivos.
- Contadores y Timers de 5 a 16 bits.

Los periféricos de la familia PIC24H/E en la gran mayoría son los mismos que de la familia PIC24F, pero añade mejores características de las mismas y nuevas funciones para periféricos, que a continuación se describe.

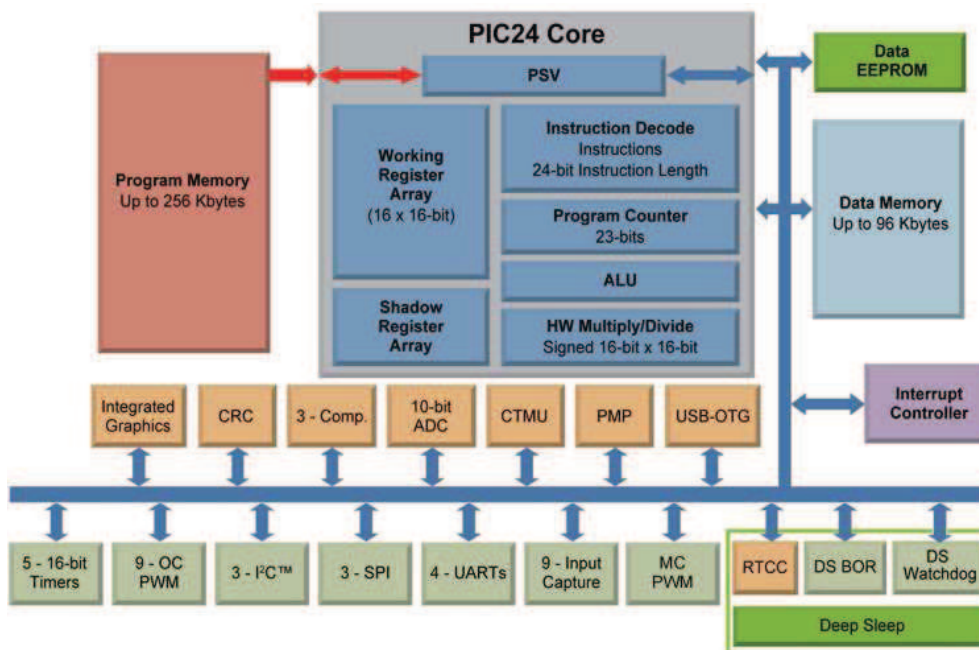


Figura. 2.27. Diagrama de bloques general de la familia PIC24F [20]

- Amplificadores Operacionales integrados, eliminando la necesidad de etapas de acondicionamiento de señales.
- Hasta 32 canales ADC de 10 y 12 bits de resolución, 4 con conversión simultanea.
- Puertos de Entrada Salida de propósito general GPIO (*General Purpose Input/Output*).
- Puertos CAN mejorados, diseñados específicamente para este protocolo.

En la Figura. 2.28 se muestra un diagrama de bloques general de la familia PIC24H/E donde se incluye los periféricos disponibles.

Para las familias dsPIC30F y dsPIC30F/E s mantienen las mismas características de periféricos con las dos anteriores familias, cambiando solo su rendimiento y aplicación gracias al motor de procesamiento digital de señales.

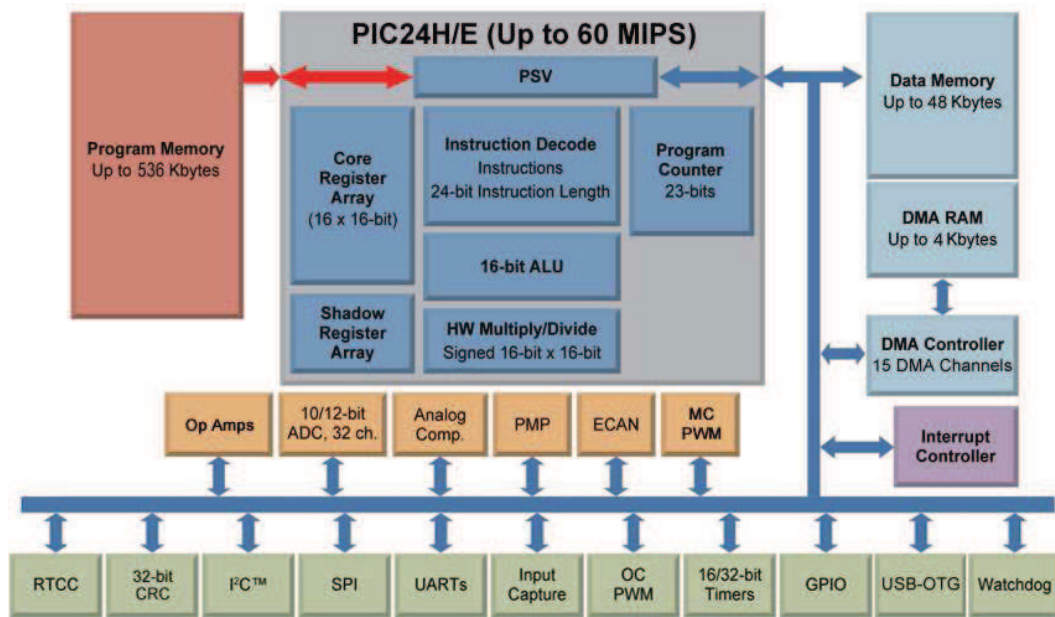


Figura. 2.28. Diagrama de bloques general de la familia PIC24H/E [20]

### 2.3.3 Selección del microcontrolador a usar

La selección del microcontrolador a utilizar, se basará en los parámetros necesarios para realizar el proyecto, además de los costos y disponibilidad del mismo.

Los parámetros principales que caracterizan al proyecto a realizar son los que se detallan en la Tabla 2.3.

Según las características del proyecto revisadas anteriormente se puede destacar de la necesidad de dos puertos SPI para la comunicación con los drivers TLC5951 y un alto rendimiento de procesamiento de datos, sin la necesidad de incorporar canales PWM internos, ni características analógicas ya que todos los datos se generarán y usarán digitalmente.

Con los parámetros que se ha descrito hasta el momento, la familia de Microcontroladores PIC24F se ajusta a los requerimientos necesarios para el proyecto presentando características de bajo costo y consumo de potencia, incluyen hasta 2 puertos SPI y 4 UART, la velocidad de procesamiento es alta, con un rendimiento de hasta 16 MIPS y un voltaje de operación de 3.3 voltios.

**Tabla. 2.3 Características principales del proyecto**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Velocidad de comunicación SPI	La comunicación SPI será usada para el control de los driver PWM de TLC5951, requiriendo 2 canales de comunicación SPI
Velocidad de procesamiento de datos	Los datos guardados en la memoria interna del PIC o leída externamente deben ser procesados dentro de un arreglo para poder interpretarlos y generar la información necesaria para los drivers PWM, además de realizar la multiplexación de las filas del arreglo de LEDS
Puerto de comunicación serial UART	Puerto para comunicación serial con la interfaz de control Java, con una velocidad de transmisión alta.
Bajo consumo de potencia	Bajo consumo de potencia por el número de controladores implementados.
Voltaje de Operación de 3.3v	Para ser totalmente compatible con los drivers TLC5951 que también manejan voltajes de 3.3v
Tamaño físico reducido	El espacio físico que ocupe el microcontrolador debe ser reducido para ocupar el menor espacio en la tarjeta de control.

Dentro de la Familia de Microcontroladores PIC24F existen varios PICs que se ajustan a las necesidades del proyecto, siendo el más apto por las características que presenta además de precio y disponibilidad el PIC24FJ64GA006.

### 2.3.3.1 Descripción de puertos

El microcontrolador seleccionado PIC24FJ64GA006 dispone de una arquitectura de 16 bits, con un rendimiento de 16 MIPS, 64 KB de memoria de programa, 8KB de memoria RAM, un voltaje de operación de 3.3 voltios, Oscilador interno de 8MHz y 32KHz, características de bajo consumo de potencia, 2 puertos UART, 2 puertos SPI, 1 puerto ADC, todas estas características y otras resumidas en la Tabla 2.4.

## 2.4. DRIVERS TLC5951 PWM DE TEXAS INSTRUMENTS

Dentro de toda la gama de elementos electrónicos disponibles en Texas Instruments, se encuentra la familia de drivers PWM TLCXXXX, que se caracteriza por integrar varios canales PWM en un solo dispositivo capaz de controlar un arreglo de LEDS.

**Tabla. 2.4. Características del PIC24FJ64GA006**

Arquitectura	16-bit
Velocidad del procesador (MIPS)	16
Tipo de memoria	Flash
Memoria de programa (KB)	64
Bites de memoria	8,192
Rango de temperatura °C	-40 a 85
Voltaje de operación (V)	2 a 3.6
Pines de Entrada/Salida	53
Oscilador interno	8 MHz, 32 kHz
Características de bajo consumo	Nanowatts
Periféricos de comunicación	2-UART, 2-SPI, 2-I2C
Periférico Análogo	1-A/D 16x10-bit 500 Kilo muestras por Segundo KSPS ( <i>Kilo Samples Per Seconds</i> )
Comparadores	2
Periféricos PWM	5
Resolución PWM	16
Timers	5 x 16-bit
Puerto Paralelo	PMP

Para la selección del driver más adecuado se tomó en cuenta la necesidad de varios canales PWM y el control a través de un protocolo de comunicaciones rápido y robusto, además del precio y disponibilidad, con lo que se selecciono el driver TLC5951 cuyas características y funcionamiento se describen a continuación.

#### 2.4.1 Características generales

El TLC5951 es un driver de 24 canales de corriente constante. Cada canal tiene una modulación de ancho de pulso (PWM) ajustada individualmente de 4096 pasos para la escala de grises (GS) de control de brillo y un punto de corrección de corriente constante de 128 pasos (DC). La corrección de punto ajusta la desviación de brillo entre canales y otros drivers de LED. Los canales de salida están agrupados en tres grupos de 8 canales.

Cada grupo de canales tiene una función de control global de brillo (BC) de 256 pasos y una entrada de reloj de escala de grises individual.

Los datos GS, DC, BC son enviados por un puerto de interfaz serial (SPI). DC y BC pueden ser programados por puertos de interfaz serial dedicados.

El TLC 5951 tiene tres circuitos de detección de error para detección de LED abierto (LOD), detección de LED en corto (LSD), y una bandera de error térmico (TEF). LOD detecta un LED dañado o desconectado, mientras que LSD detecta un LED en corto. TEF indica una condición de sobre temperatura. En la Figura. 2.29 se muestra una aplicación típica donde un controlador maneja varios drivers en cascada teniendo el control de un gran número de LEDs.

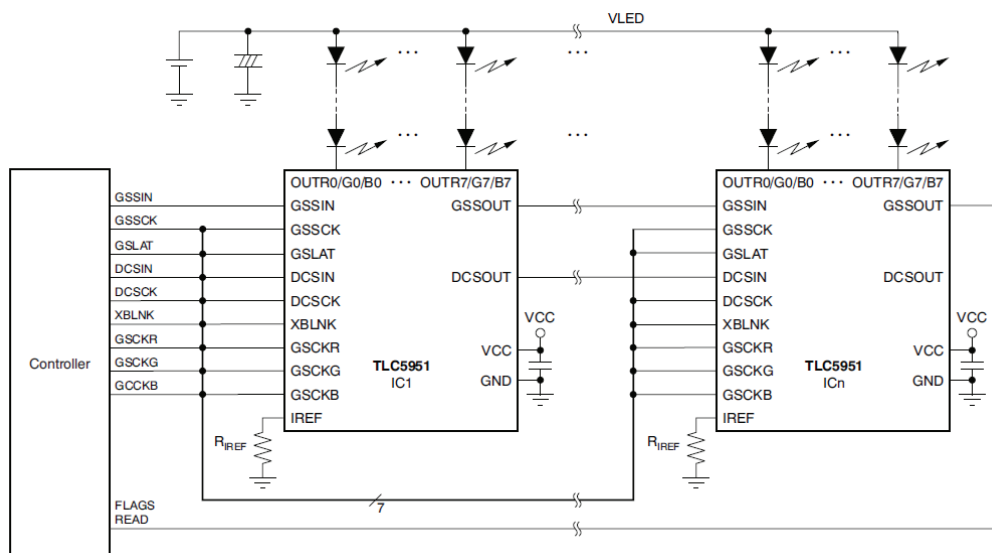


Figura. 2.29. Estructura de una aplicación típica [21]

#### 2.4.2 Arquitectura

La arquitectura interna del TLC5951 está basada en un arreglo de registros de desplazamiento de fácil escritura, localidades de memoria donde permanecen los datos a ser usados, control de corriente y módulos generadores de señales PWM para generar la diferente gama de colores que los tres grupos primarios pueden generar.

## 1. Configuración de pines

El TLC5951 es fabricado en dos tipos de paquetes de 38 y 40 pines en formatos HTSSOP-38 y QFN-40 respectivamente, estos paquetes se caracterizan por ser de montaje superficial y contar con un tamaño muy reducido ideal para no ocupar demasiado espacio físico en la placa donde son montados.

Para este trabajo se ha escogido el tipo de paquete HTSSOP-38 debido a su facilidad de soldadura en placa con respecto al otro que demanda más precisión. Este paquete cuenta con un contacto térmico localizado en la parte inferior del integrado que sirve para disipar el calor interno del integrado añadiéndole una característica de eficiencia energética debida al consumo de potencia.

En la Figura. 2.30 se muestra el empaquetado que se puede encontrar para el TLC5951 así como la distribución física de pines y la localización del contacto térmico.

## 2. Pines de entrada y salida

Los pines de entrada y salida de datos y de control PWM del TLC5951 tienen características eléctricas especiales, es decir, ayudan a disminuir posibles interferencias o en general ruido presente en estos pines, a demás de dar una protección de sobre voltajes y polaridad, en el ANEXO. 1 se resumen características técnicas de estos pines de entrada y salida.

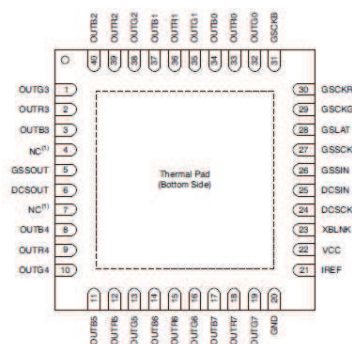
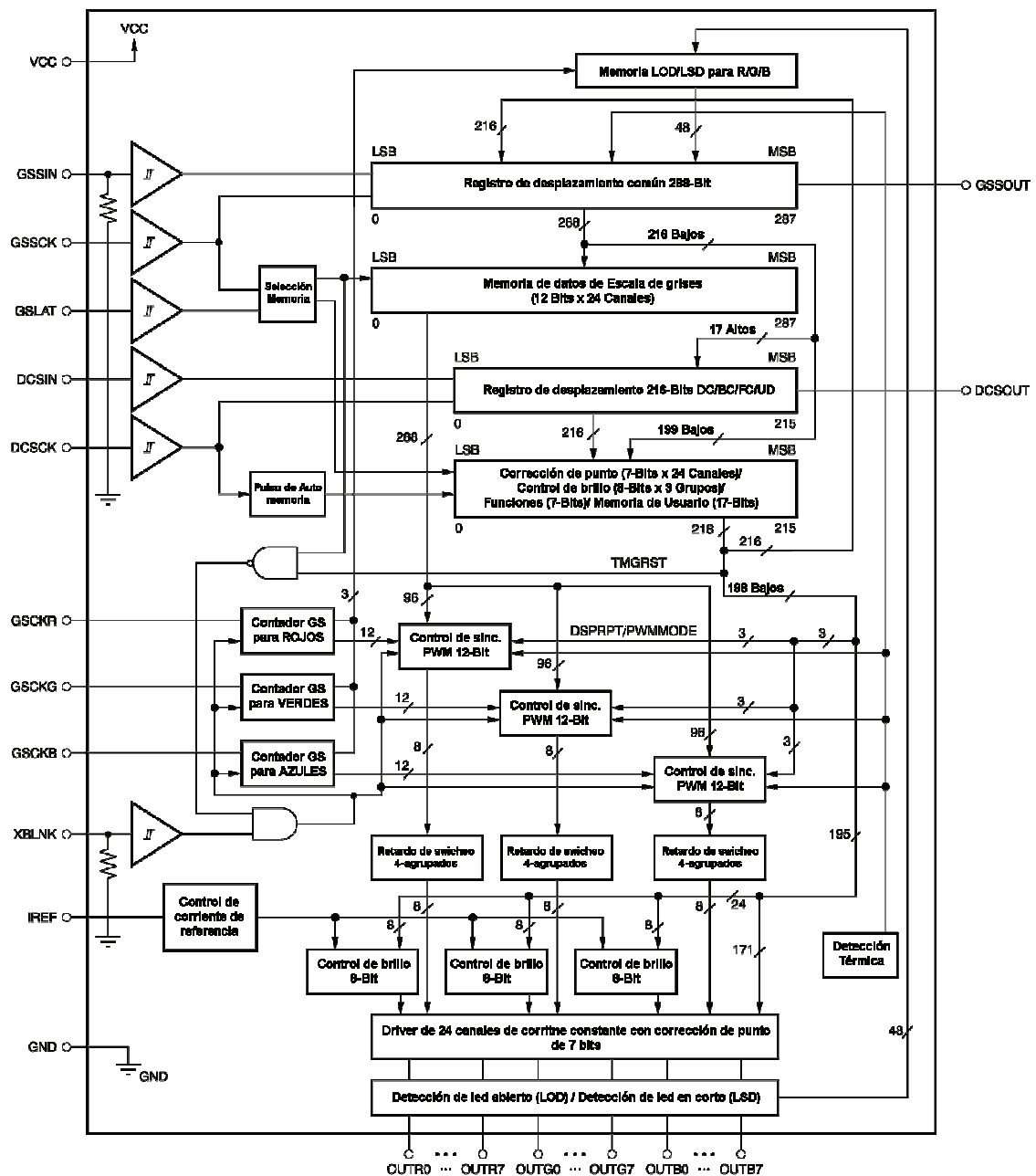


Figura. 2. 30. Configuración de pines [21]

### 3. Diagrama de bloques

Para un mejor entendimiento del funcionamiento estructural del TLC5951 la Figura. 2.31 muestra un diagrama de bloques del funcionamiento interno de este integrado, aquí se detallan el número de bits manejados por cada registro y las conexiones internas que estos tienen.





## 2.4.2 Descripción de los módulos

### 1. Valor de máxima corriente contante

El valor de corriente máximo por canal para el TLC5951,  $I_{OLCMax}$ , se determina por un resistor externo, colocado entre  $R_{IREF}$  y tierra. El valor del resistor  $R_{IREF}$  se calcula con la Ecuación 2.1.

$$R_{IREF}(k\Omega) = \frac{V_{IREF}(V)}{I_{OLCMax}(mA)} \times 40 \quad (2.1)$$

Donde:  $V_{IREF}$  = Voltaje interno de referencia en IREF (típicamente, 1.20 V)

$I_{OLCMax}$  es la mayor corriente para cada canal de salida. Cada salida entrega la corriente  $I_{OLCMax}$  cuando se enciende, la corrección de punto se instancia al valor máximo de 7Fh (127d), y el dato de control de brillo global se instancia igual al máximo valor de FFh (255d). Cada salida de corriente puede ser reducida disminuyendo la salida de corrección de punto o el valor del control de brillo.  $R_{IREF}$  debe ser entre 1.2 K $\Omega$  y 24 K $\Omega$  para mantener  $I_{OLCMax}$  entre 40 mA y 2mA; la salida puede ser inestable cuando  $I_{OLCMax}$  sea menor que 2 mA. Las salidas de corriente menores que 2 mA se pueden lograr ajustando  $I_{OLCMax}$  a 2 mA o mayor y usando la corrección de punto y el control de brillo global para disminuir la salida de corriente.

La Tabla 2.5 muestras las características de la salida corriente constante versus el resistor externo,  $R_{IREF}$ . Varias salidas se pueden unir para incrementar la capacidad de corriente. Diferentes voltajes pueden ser aplicados a cada salida.

**Tabla. 2.5. Máxima salida de corriente vs RIREF**

$I_{OLCMax}$	$R_{IREF}$ (K $\Omega$ )
40	1.2
35	1.371
30	1.6
15	1.92
12	2.4
14	3.2
10	4.8
5	9.6
2	24

## 2. Función de corrección de punto (DC)

EL TLC5951 tiene la capacidad de ajustar la salida de corriente de cada canal (OUTR0-OUTR7, OUTG0-OUTG7, OUTB0-OUTB7) individualmente. Esta función es llamada corrección de punto (DC). La función DC permite ajustar la desviación de color y de brillo entre los LEDS conectados a cada salida individualmente. Cada salida DC es programada con una palabra de 7-bit para cada canal de salida. Cada uno de estos canales se ajusta con 128 pasos dentro de uno o dos rangos de ajustes. La corrección de punto de rango mas grande, permite ajustar la salida de corriente desde 33.3% al 100% de la máxima corriente de salida,  $I_{OLCMax}$ . La corrección de punto de rango menor permite ajustar la salida de corriente desde 0% al 66.7% de  $I_{OLCMax}$ . Los bits de control de rango en la función de control seleccionan el rango mayor o menor. La Ecuación 2 y la Ecuación 3 calculan la salida actual de corriente como una función de  $R_{REF}$ , Valor DC, rango de ajuste, y el valor de control de brillo. Hay tres bits de control de rango que controlan el rango de ajuste DC para tres grupos de salida: OUTR0-OUTR7, OUTG0-OUTG7, OUTB0-OUTB7. Los datos DC se programan en el TLC5951 mediante una interfaz serial.

Cuando el circuito integrado se enciende, los datos DC en el registro de desplazamiento de 216 bit y los datos guardados contienen valores randómicos. Por lo tanto, los datos DC deben ser escritos en la memoria DC antes de encender la salida de corriente constante. Adicionalmente, XBLNK debería estar en bajo cuando el dispositivo se enciende para prevenir que las salidas se enciendan antes que se ajusten valores apropiados para la escala de grises. Todas las salidas de corriente se apagan cuando XBLNK está en bajo.

## 3. Función de control de brillo global (BC)

El TLC5951 tiene la capacidad de ajustar las salidas de corriente de cada grupo de colores simultáneamente. Esta función es llamada control de brillo global (BC). El control global de brillo para cada uno de los tres grupos de colores (OUTR0-OUTR7, OUTG0-OUTG7, OUTB0-OUTB7), es programada con un palabra separada de 8-bits. El BC de cada grupo se ajusta con 256 pasos desde 0% al 100%. 0% corresponde a

0mA. 100% corresponde a la máxima salida de corriente programada por el resistor  $R_{IREF}$  y cada valor de salida DC. Se debe tener en cuenta que a pesar que el valor BC para todos los grupos de color es idéntico, las salidas de corriente pueden ser diferentes si los valores DC son diferentes. La Ecuación 2 y la Ecuación 3 calculan la salida actual de corriente como una función de  $R_{IREF}$ , Valor DC, rango de ajuste, y el valor de control de brillo. Los datos BC se programan en el TLC5951 mediante una interfaz serial.

Cuando el circuito integrado se enciende, los datos BC en el registro de desplazamiento de 216 bits y los datos guardados contienen valores randómicos. Por lo tanto los datos BC deben ser escritos en la memoria BC antes de encender las salidas de corriente constantes. Adicionalmente, XBLNK debería estar en bajo cuando el dispositivo se enciende para prevenir que las salidas se enciendan antes de programar valores de escala de grises apropiados. Todas las salidas de corriente se apagan cuando XBLNK está en bajo.

La Ecuación 2.2 determina la salida de corriente para cada grupo de colores cuando se selecciona el rango alto de ajuste de corrección de punto.

$$I_{OUT}(mA) = \left[ \frac{1}{3} I_{OLCMax}(mA) + \frac{2}{3} I_{OLCMax}(mA) \times \left[ \frac{DC}{127} \right] \right] \times \left[ \frac{BC}{255} \right] \quad (2.2)$$

La Ecuación 2.3 determina la salida de corriente para cada grupo de colores cuando se selecciona el rango bajo de ajuste de corrección de punto.

$$I_{OUT}(mA) = \left[ \frac{2}{3} I_{OLCMax}(mA) \times \left[ \frac{DC}{127} \right] \right] \times \left[ \frac{BC}{255} \right] \quad (2.3)$$

Donde:

$I_{OLCMax}$  = la máxima corriente por canal determinado por  $R_{IREF}$

DC = El valor decimal de corrección de punto. El rango de este valor está entre 0 y 127

BC = El valor decimal del control de brillo para cada grupo de colores. El rango de este valor está entre 0 y 255

#### 4. Función de escala de grises (GS) (PWM)

El TLC5951 puede ajustar el brillo de cada canal de salida usando modulación de ancho de pulso (PWM). El uso de 12 bits por canal da como resultado 4096 pasos de brillo, desde 0% hasta 100% de brillo. El circuito de escala de grises se duplica para cada uno de los tres grupos de colores.

La operación del PWM para cada grupo de colores está controlado por un contador de 12 bits GS. Tres contadores GS están implementados para controlar cada una de las tres salidas de color, OUTF0-OUTF7, OUTG0-OUTG7, y OUTB0-OUTB7. Cada contador se incrementa en un flanco positivo de la señal de reloj de referencia de escala de grises (GSCKR, GSCKG, GSCKB).

El flanco negativo de XBLNK encera los tres contadores. Los valores de los contadores se mantienen en '0' mientras XBLNK está en bajo, a pesar que la entrada de señal de reloj GS este cambiando de alto a bajo. Poniendo XBLNK en alto, habilita el reloj GS. El primer flanco positivo del reloj GS después que XBLNK se ponga en alto, incrementa el contador correspondiente de la escala de grises en uno y enciende todas las salidas con un valor GS diferente de cero programado en la memoria GS. Cada flanco positivo adicional del reloj GS incremente el contado correspondiente en uno.

El contador GS mantiene la cuenta del número de pulsos de cada señal de reloj (GSCKR, GSCKG, GSCKB). Cada salida se mantiene encendida mientras el contador es menor o igual que el valor programado de escala de grises. Cada salida se apaga en un flanco positivo del contador GS cuando el contador es mayor que el valor de salida de la escala de grises guardada.

La Ecuación 2.4 calcula cada salida (OUTRn/GN/Bn) en el tiempo ( $t_{OUT\_on}$ ):

$$t_{OUT\_on}(ns) = T_{GSCKR/G/B} (ns) \times GS_n \quad (2.4)$$

Donde:

$T_{GSCKR/G/B}$  = un período de reloj GS para el color.

GS<sub>n</sub> = El valor programado de la escala de grises para OUTR<sub>n</sub>/GN/B<sub>n</sub> (GS<sub>n</sub> = 0 a 4095).

Cuando el dato GS se guarda en la memoria de datos GS con un flanco positivo de GSLAT durante un ciclo PWM, el registro de datos GS se actualiza inmediatamente.

Esta actualización puede causar que la salida se encienda o se apague inesperadamente. Para una correcta operación, el dato GS solo debería ser guardado en el circuito integrado en el final de un periodo de muestra cuando XBLNK está en bajo. El ANEXO 2 resume tablas para valores de datos GS versus el ciclo de trabajo actual de la salida, así como otros valores importantes para cada función disponible en el TLC5951.

Cuando el circuito integrado se enciende, los 288-bits del registro de desplazamiento común y la memoria de datos GS contienen datos randómicos. Por lo tanto, los datos GS deben ser escritos en la memoria de datos GS antes de encender las salidas de corriente constante.

Adicionalmente, XBLNK debería estar en bajo cuando se encienda el dispositivo para evitar que las salidas se enciendan antes de ajustar los valores apropiados de GS en los registros. Todas las salidas de corriente se apagan cuando XBLNK está en bajo.

Si hay alguna salida no conectada, incluyendo LEDs en corto o en condición abierta, el dato GS correspondiente a la salida desconectada debería ser ajustado a cero antes de encender los LEDs. De otra manera, la corriente entregada por la fuente de voltaje VCC (I<sub>vcc</sub>) incrementa mientras que la salida de corriente constante se programa para estar encendida.

Para un mejor entendimiento de los tiempos que manejan las funciones PWM véase el ANEXO. 3.

### 5. Configuración de registros y memorias de datos

El TLC5951 tiene dos localidades de memoria volátil para guardar la información. Memoria de escala de grises (GS) y memoria DC/BC/FC/UD. La memoria de datos GS puede ser escrita 288 bits a través de GSSIN con GSSCK. La memoria DC/BC/FC/UD puede ser escrita a través de DCSIN con DCSCCK. Además los datos DC/BC/FC/UD pueden ser escritos a su respectiva memoria mediante GSSIN con GSSCK. Los datos UD ocupan los 17 bits superiores del registro de desplazamiento de 216 bits. Los datos en la memoria DC/BC/FC/UD pueden ser leídos mediante GSSOUT con GSSCK.

La Figura. 2.32 muestra la configuración del registro de desplazamiento de escala de grises y la memoria de datos.

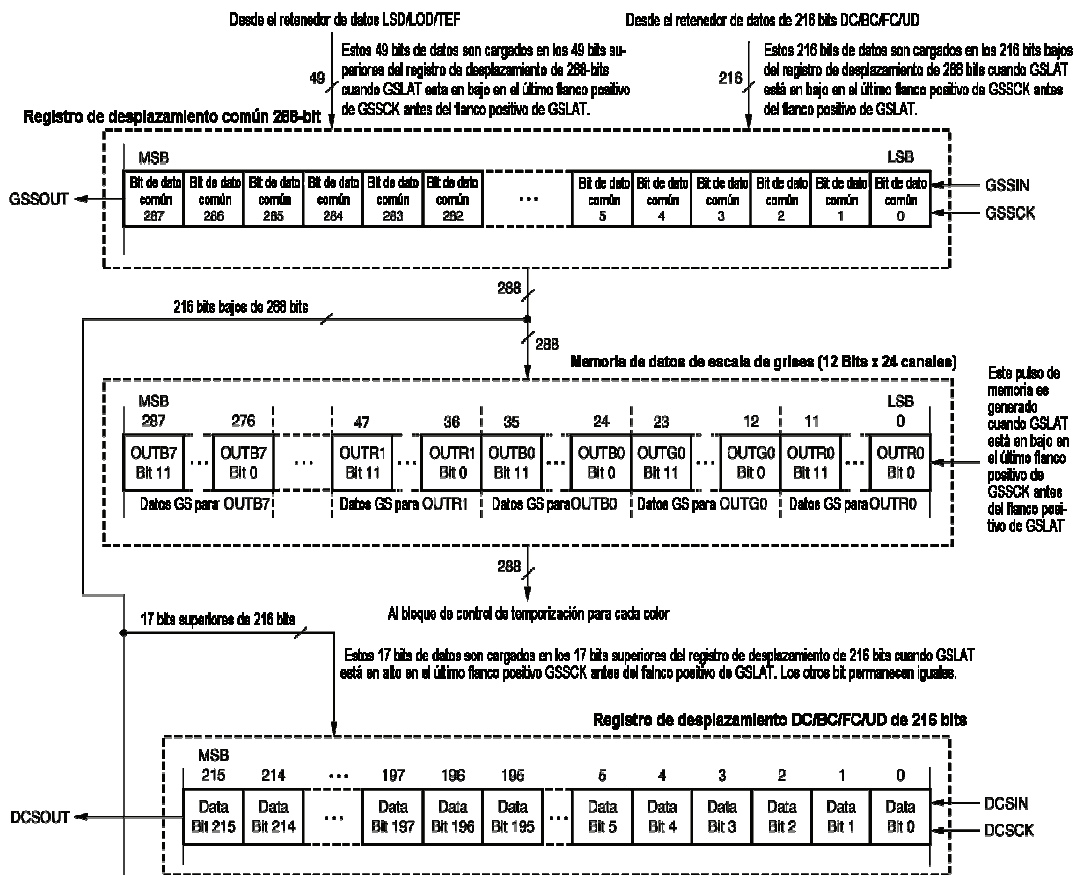


Figura. 2.32. Configuración del registro de desplazamiento de escala de grises y memoria de datos [21]

## 6. Registro de desplazamiento común de 288 Bits

Este registro es usado para desplazar los datos del pin GSSIN al TLC5951. Los datos desplazados dentro de este registro son usados para los datos de escala de grises, control de brillo global, y datos de corrección de punto. El bit menos significativo está conectado a GSSIN y el más significativo a GSSOUT. En cada flanco positivo de GSSCK, los datos en GSSIN son desplazados al bit menos significativo del registro y todos los 288 bits son desplazados hacia el bit más significativo. El bit más significativo esta siempre conectado a GSSOUT.

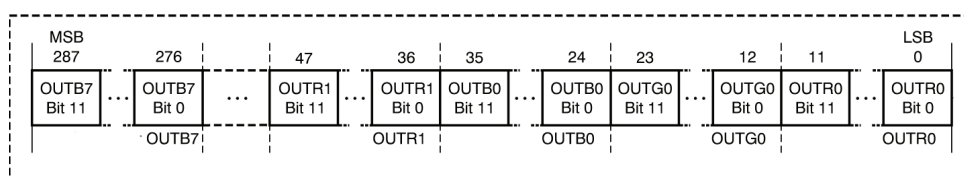
El nivel lógico de GSLAT al último GSSCK antes del flanco positivo de GSLAT determina a donde son trasferidos los datos. Cuando GSLAT está en bajo en el último flanco positivo de GSLAT, todos los 288 bits son guardados en la memoria de escala de grises. Cuando GSLAT está en alto en el último flanco positivo de GSSCK, los bits 0-198 son copiados a los bits 0-198 del registro de memoria DC/BC/FC/UD y los bits 199-215 son copiados a los bit 199-215 del registro de desplazamiento de 216 bits DC/BC/FC/UD en el flanco positivo de GSLAT. Para prevenir que los datos se corrompan, el flanco positivo de GSLAT debe ser ingresado más de 7 ms después del último DCSCCK para una escritura de datos DC/BC/FC/UD. Cuando el Integrado se enciende, el registro de desplazamiento común contiene datos randómicos.

## 7. Memoria de datos de escala de grises

La memoria de datos de escala de grises (GS) es de 288 bits. Esta memoria contiene el valor PWM de 12 bits para cada una de las salidas de corriente constante. Los datos son guardados desde el registro de desplazamiento común de 228 bits en la memoria de datos GS en un flanco positivo de GSLAT.

Cuando los datos son guardados en la memoria de datos GS, los nuevos datos están inmediatamente disponibles en las salidas de corriente constante. Por esta razón los datos solo deberían ser guardados cuando XBLNK está en bajo. Si los datos son guardados cuando XBLNK está en alto, las salidas podrían encenderse o apagarse

inesperadamente. La Figura. 2.33 muestra la configuración de memoria de datos de escala de grises



**Figura. 2.33. Configuración de memoria de datos de escala de grises [21]**

Cuando el integrado se enciende, la memoria de datos de escala de grises contiene datos randómicos. Por lo tanto, los datos de escala de grises deben ser escritos al registro de desplazamiento de 288 bits y guardados dentro de la memoria de datos GS antes de encender las salidas de corriente constante. XBLNK debería estar en bajo cuando se encienda el TLC5951 para forzar a que las salidas se apaguen hasta que los registros internos puedan ser programados. Todas las salidas de corriente constante se apagan cuando XBLNK está en bajo. La asignación de datos se muestra en la Tabla.2.6.

**Tabla. 2.6. Asignación de los bits de datos de escala de grises**

<b>BITS</b>	<b>DATOS</b>	<b>BITS</b>	<b>DATOS</b>
11-0	OUTR0	155-144	OUTR4
23-12	OUTG0	167-156	OUTG4
35-24	OUTB0	179-168	OUTB4
47-36	OUTR1	191-180	OUTR5
59-48	OUTG1	203-192	OUTG5
71-60	OUTB1	215-204	OUTB5
83-72	OUTR2	227-216	OUTR6
95-84	OUTG2	239-228	OUTG6
107-96	OUTB2	251-240	OUTB6
119-108	OUTR3	263-252	OUTR7
131-120	OUTG3	275-264	OUTG7
143-132	OUTB3	287-276	OUTB7

## 8. Registro de desplazamiento DC/BC/FC/UD

El registro de desplazamiento de 216 bits DC/BC/FC/UD es usado para desplazar los datos desde el pin DDSIN hacia el TLC5951. Los datos desplazados en este registro de usan para guardar los datos de corrección de punto, control global de brillo, función



de control y datos definidos por el usuario. Cada uno de estas memorias se describe en las siguientes secciones. El bit menos significativo del registro está conectado con DCSIN y el más significativo con DCSOUT. En cada flanco positivo de DCSCCK, el dato presente es DCSIN es desplazado hacia el bit menos significativo del registro y todos los 216 bits son desplazados hacia el más significativo. El bit más significativo siempre está conectado con DCOOUT. Cuando el integrado se enciende, el registro de desplazamiento de 216 bits contiene datos randómicos.

## 9. Memoria de datos DC/BC/FC/UD

La memoria de datos de 216 bits contiene datos de corrección de punto, control global de brillo, función de control y definidos por el usuario. Los datos pueden ser escritos en esta memoria desde el registro de desplazamiento de 216 bits. Además, los datos DC/BC/FC/UD pueden ser escritos en esta memoria desde el registro de desplazamiento común de 288 bit. En este momento, datos UD están escritos en los bits 199-215 en el registro de desplazamiento de 216 bits. Cuando el integrado se enciende, la memoria DC/BC/FC/UD contiene datos randómicos. La Figura. 2.34 muestra la configuración de memoria de datos DC/BC/FC/UD

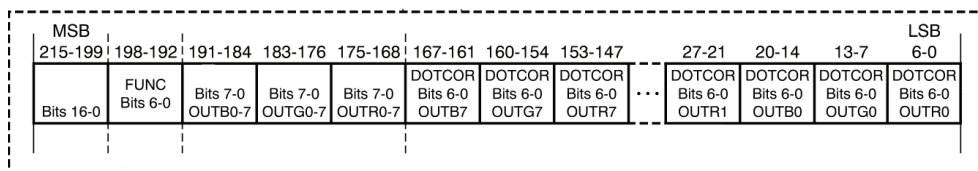


Figura. 2.34. Configuración de la memoria de datos DC/BC/FC/UD [21]

## 10. Memoria de datos de corrección de punto

La memoria de datos de corrección de punto tiene un tamaño de 168 bits. Esta memoria contiene los valores DC de 7 bits para cada salida de corriente constante. Cada valor DC ajusta individualmente la salida de corriente para cada driver. Los datos DC son automáticamente guardados desde el registro de desplazamiento DC/BC/FC/UD a la memoria de datos DC con una señal interna memoria. La señal interna de memoria es generada 3 a 7 ms después del último flanco positivo DCSCCK.

Cuando del integrado se enciende, la memoria de datos DC contiene datos randómicos. Por lo tanto, los datos DC deben ser escritos en el TLC5951 y guardados en la memoria de datos DC antes de encender las salidas de corriente constante. XBLNK debería estar en bajo cuando se encienda para forzar el apagado de las salidas hasta que los registros internos puedan ser programados. La asignación de bits de datos se muestra en la Tabla. 2.7.

**Tabla. 2.7. Asignación de bits de datos de corrección de punto**

<b>BITS</b>	<b>DATOS</b>	<b>BITS</b>	<b>DATOS</b>
6-0	OUTR0	90-84	OUTR4
13-7	OUTG0	97-91	OUTG4
20-14	OUTB0	104-98	OUTB4
27-21	OUTR1	111-105	OUTR5
34-28	OUTG1	118-112	OUTG5
41-35	OUTB1	125-119	OUTB5
48-42	OUTR2	132-126	OUTR6
55-49	OUTG2	139-133	OUTG6
62-56	OUTB2	146-140	OUTB6
69-63	OUTR3	153-147	OUTR7
76-70	OUTG3	160-154	OUTG7
83-77	OUTB3	167-161	OUTB7

## 11. Memoria de datos de control de brillo global

Esta es una memoria de 24 bits, consiste de los bits 168-191 in la memoria DC/BC/FC/UD.

Estos datos son usados para ajustar los valores de corriente constante para ocho canales de corriente constante de cada grupo de color. La corriente puede ser ajustada desde 0% a 100%de cada grupo de color con una resolución de 8-bits.

**Tabla. 2.8. Asignación de bits de datos BC**

<b>BITS</b>	<b>Bits de datos de control de brillo global 7-0</b>
175-168	Grupo OUTR0-OUTR7
183-176	Grupo OUTG0-OUTG7
191-184	Grupo OUTB0-OUTB7

## 12. Memoria de datos de control de funciones

La memoria de datos de control de funciones (FC) tiene un tamaño de 7 bits y es usada para seleccionar el rango de ajuste de la corrección de punto, modo del contador de escala de grises, habilitación de auto repetición y función de tiempo de reseteo.

Cuando el integrado se enciende, los datos en la memoria FC no tienen datos específicos. Por lo tanto, los datos de control de funciones deben ser escritos antes de encender las salidas de corriente constante. La Tabla. 2.9 muestra la asignación de bits para este registro y la Tabla. 2.10 muestra la configuración de bits para modos de función PWM.

El tamaño de bit de la escala de grises es siempre de 288 bits en cualquier modo de contador. Todas las salidas de corriente constante se apagan en la señal de reloj 256 en el modo de 8 bits incluso si todos los datos de escala de grises son FFFh. En el modo de 10 bits, todas las salidas se apagan con la señal de reloj 1024 incluso si todos los datos de escala de grises son FFFh.

**Tabla. 2.9. Asignación de bits para registro del control**

<b>BIT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
192	Rango de ajuste de corrección de punto para las salidas de color rojo (0=Rango bajo, 1=Rango alto).
193	Rango de ajuste de corrección de punto para las salidas de color verde (0=Rango bajo, 1=Rango alto).
194	Rango de ajuste de corrección de punto para las salidas de color azul (0=Rango bajo, 1=Rango alto).
195	Modo de auto repetición (0=deshabilitado, 1=habilitado). Cuando este bit es '0', la función de auto repetición está deshabilitada. Cada salida del driver se enciende y apaga una vez después que XBLNK cambia a alto.
196	Modo de tiempo de reseteo (0=deshabilitado, 1=habilitado). Cuando este bit es '1', el contador GS se resetea a '0' y todas las salidas se apagan en un flanco positivo de GSLAT para una escritura de datos GS. Esta función es idéntica al pulso bajo de la señal XBLNK. Por lo tanto la señal XBLNK no necesita ser controlada por el controlador de la pantalla. El control PWM empieza de nuevo por el siguiente flanco positivo de GSCKR/G/B.
198, 197	Selección del modo de contado de escala de grises, bits 1-0. El modo de contador de escala de grises es seleccionado programando los bit 1 y 0. Tabla. 2.16 muestra el modo de contador GS.

**Tabla. 2.10. Tabla de verdad de modo de contador GS**

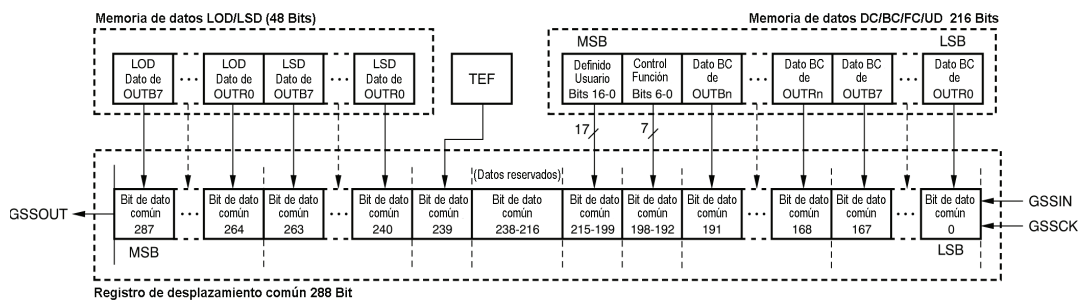
Modo de contador GS		Modo de la función
BIT 1	BIT 0	
0	X	Modo de 12 bits
1	0	Modo de 10 bits
1	1	Modo de 8 bits

**13. Memoria de datos definida por usuario**

Esta memoria es de 17 bit de largo y no es usada para ninguna funcionalidad del dispositivo. Como sea, estos datos pueden ser usados para comunicación entre controladores conectados al DCSIN y otros controladores conectados a GSSIN. Cuando el integrado se enciende, los datos en la memoria UD no contienen ningún dato específico.

**14. Datos de información de estado (SID)**

Los datos de información de datos (SID) son de 288 bits y son datos solo de lectura. SID consiste en la detección de LED abierto (LOD), detección de LED en corto (LSD), Bandera de error térmica (TEF), y los datos en la memoria DC/BC/FC/UD. Los datos SID son desplazados hacia GSSOUT con cada flanco positivo de GSSCK después de una entrada de GSLAT para una escritura de datos GS. Estos datos SID son cargados en el registro de desplazamiento común de 288 bits después que los datos en el registro de desplazamiento común de 288 bits se copian a memoria. La Figura. 2.35 muestra la asignación de carga de datos. Finalmente la Tabla. 2.11, resume la descripción de los bits del registro de desplazamiento común de 288 bits.



**Figura. 2. 35. Asignación de carga de datos DC/BC/FC/UD [21]**

Tabla. 2.11. Asignación de Bits de datos del registro de desplazamiento de 288 Bits

<b>BITS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
6-0	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR0
13-7	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG0
20-14	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB0
27-21	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR1
34-28	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG1
41-35	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB1
48-42	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR2
55-49	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG2
62-56	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB2
69-63	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR3
76-70	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG3
83-77	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB3
90-84	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR4
97-91	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG4
104-98	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB4
111-105	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR5
118-112	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG5
125-119	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB5
132-126	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR6
139-133	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG6
146-140	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB6
153-147	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTR7
160-154	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTG7
167-161	Bits de datos de corrección de punto 6-0 OUTB7
175-168	Bits de datos de control de brillo global 7-0 para el grupo OUTR0-OUTR7
183-176	Bits de datos de control de brillo global 7-0 para el grupo OUTG0-OUTG7
191-184	Bits de datos de control de brillo global 7-0 para el grupo OUTB0-OUTB7
198-192	Bits de datos de control de función 6-0
215-199	Bits de datos definidos por el Usuario 16-0
238-216	Reservado para pruebas de TEXAS INSTRUMENTS
239	Bandera de error térmico (TEF) 1= Temperatura alta, 0= Temperatura normal
247-240	Datos de detección de LED en corto (LSD) para OUTR7-OUTR0 1 = LED está en corto, 0=Operación normal
255-248	Datos LSD para OUTG7-OUTG0 1 = LED está en corto, 0=Operación normal
263-256	Datos LSD para OUTB7-OUTB0 1 = LED está en corto, 0=Operación normal
271-264	Datos de detección de LED abierto (LOD) para OUTR7-OUTR0 1 = LED está abierto o conectado a GND, 0=Operación normal
279-272	Datos LOD para OUTG7-OUTG0 1 = LED está abierto o conectado a GND, 0=Operación normal
287-280	Datos LOD para OUTB7-OUTB0 1 = LED está abierto o conectado a GND, 0=Operación normal

## 15. Base de funcionamiento LOD, LSD, y TEF

Los datos LOD se actualizan en un flanco positivo del pulso 33 de GSCKR/G/B después que XBLNK cambia a alto; los datos LOD/SD son retenidos hasta el siguiente pulso 33 de GSCKR/G/B. Los datos LOD/LSD solo se revisan para las salidas que están encendidas durante el flanco positivo del pulso 33 de GSCKR/G/B. Un '1' en un bit LOD indica un LED abierto o en corto con GND para su correspondiente salida. Un '0' indica operación normal. Es posible para los datos LOD/LSD mostrar un '0' incluso si está abierto cuando los datos de escala de grises son menores que 20h (32d).

Los bits TEF indican que la temperatura del integrado es muy alta. La bandera TEF además indica que el integrado ha apagado todas las salidas para evitar daños al dispositivo por sobrecalentamiento. Un '1' en el bit TEF indica que la temperatura del integrado a excedido el nivel de temperatura ( $T_{TEF}$ ) y todas las salidas se han apagado. Un '0' en el bit TEF indica una operación normal con condición de temperatura estable.

El integrado se enciende de nuevo automáticamente cuando la temperatura haya disminuido menos que ( $T_{TEF} - T_{HYST}$ ).

Cuando el Integrado se enciende, los datos LOD/LSD no muestran datos correctos. Por lo tanto los datos LOD/LSD deben ser leídos desde el pulso 33 de GSCKR/G/B después de que XBLNK cambie a alto. La Tabla. 2.12, muestra una tabla de verdad para LOD/LSD y TEF.

**Tabla. 2.12 Tabla de verdad LOD/LSD/TEF**

DATOS SID	CONDICIÓN		
	LOD	LSD	TEF
0	LED no está abierto ( $V_{outRn/Gn/Bn} > V_{LOD}$ )	LED no está en corto ( $V_{outRn/Gn/Bn} \leq V_{LSD}$ )	La temperatura del dispositivo es menor que la temperatura de corte
1	LED está abierto o en corto con GND ( $V_{outRn/Gn/Bn} \leq V_{LOD}$ )	LED está en corto entre el ánodo y el cátodo o en corto con el lado de mayor voltaje ( $V_{outRn/Gn/Bn} \leq V_{LSD}$ )	La temperatura del dispositivo es mayor que la temperatura de corte y el driver se apaga

## 16. Bandera apagado térmico

La función de apagada térmica (TSD) apagada todas las salidas de corriente constante del integrado cuando la temperatura de juntura ( $T_J$ ) excede el umbral ( $T_{TEF} = +163^\circ\text{C}$ ) y programa la bandera de error térmico (TEF) a '1'. Todas las salidas permanecen apagadas cuando TEF se encuentra en '1' y permanece así hasta el siguiente ciclo de escala de grises después que XBLNK cambie a alto y la temperatura de juntura baje ( $T_{TEF} - T_{HYST}$ ). TEF permanece con '1' hasta que GSLAT se ingresa ya con una baja temperatura. TEF cambia a '0' una vez que la temperatura de juntura baje ( $T_{TEF} - T_{HYST}$ ), pero las salidas no se encienden hasta el primer GSCKR/G/B en el siguiente período.

### 2.4.4 Comunicación serie SPI

SPI es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full duplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj.

Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que transmite datos también puede recibir.

Un ejemplo podría ser una memoria EEPROM, el cual es un dispositivo que puede transmitir y recibir información.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control.

Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select

Slave, por lo tanto es esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo.

En un tiempo determinado T1, solo podrá existir un maestro sobre el bus. Cualquier dispositivo esclavo que no esté seleccionado, debe deshabilitarse (ponerlo en alta impedancia) a través de la línea selectora (chip select).

El bus SPI emplea un simple registro de desplazamiento para transmitir la información.

## 1. Especificaciones del Bus

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección. La señal sobre la línea de reloj (SCLK) es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.

La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo. La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.

Cada esclavo es seleccionado por un nivel lógico bajo ('0') a través de la línea (CS = Chip Select o SS Slave Select). Los datos sobre este bus pueden ser transmitidos a una razón de casi cero bits /segundo hasta 1 Mbits/ segundo. Los datos son transferidos en bloques de 8 bits, en donde el bit más significativo (MSB) se transmite primero.

## 2. Modos del Reloj

Todos la transferencia de los datos, son sincronizados por la línea de reloj de este bus. Un BIT es transferido por cada ciclo de reloj.

La mayoría de las interfaces SPI tienen 2 bits de configuración, llamados CPOL (ClockPolarity = Polaridad de Reloj) y CPHA (ClockPhase = Reloj de Fase). CPOL



determina si el estado Idle de la línea de reloj esta en bajo (CPOL=0) o si se encuentra en un estado alto (CPOL=1). CPHA determina en que filo de reloj los datos son desplazados hacia dentro o hacia fuera.

Si CPHA=0 los datos sobre la línea MOSI son detectados cada filo de bajada y los datos sobre la línea MISO son detectados cada filo de subida. Cada BIT tiene 2 estados, lo cual permite 4 diferentes combinaciones, las cuales son incompatibles una de la otra. Por lo que si dos dispositivos SPI desean comunicarse entre sí, estos deben tener el mismo la misma Polaridad de Reloj (CPOL) y la misma Fase de Reloj (CPHA).

Existen cuatro modos de reloj definidos por el protocolo SPI, estos modos son:

- Modo A
- Modo B
- Modo C
- Modo D

Estos determinan el valor de la polaridad del reloj (CPOL = ClockPolarity) y el bit de fase del reloj (CPHA = ClockPhase). La mayoría de los dispositivos SPI pueden soportar al menos 2 modos de los 4 antes mencionados. El BIT de Polaridad del reloj determina el nivel del estado de Idle del reloj y el BIT de Fase de reloj determina que flanco recibe un nuevo dato sobre el bus. El modo requerido para una determinada aplicación, esta dado por el dispositivo esclavo. La capacidad de multi-modo combinada con un simple registro de desplazamiento hace que el bus SPI sea muy versátil.

### **3. Polaridad del reloj (CPOL=ClockPolarity)**

Si CPOL está en un 0 lógico y ningún dato está siendo transferido (Estado Idle), el maestro mantiene la línea SCLK en bajo. Si CPOL está en un 1 lógico, el maestro desocupa la línea SCLK alta.

### **4. Fase Del Reloj (CPHA)**

CPHA, conjuntamente con CPOL, controlan cuando los nuevos datos son colocados en el bus. Si CPHA es igual a un '1' lógico, los datos son desplazados sobre la línea MOSI según lo determinado por el valor de CPOL.

Si CPOL = 1, los nuevos datos se colocados sobre la línea cuando el flanco del reloj es descendente y se leen cuando el flanco del reloj es ascendente.

Si CPOL = 0, los nuevos datos se ponen en la línea cuando el flanco del reloj es ascendente y se leen cuando el reloj tiene un flanco descendente.

Si CPHA = 0, el reloj de cambio es la OR de SCLK con la terminal Chip Select.

Tan pronto como el terminal Chip Select se coloca en un nivel lógico 0, los nuevos datos se ponen en la línea y el primer filo de del reloj se leen los datos. Si CPOL se activa a un nivel lógico '1', el primer borde de reloj baja y los bits de datos subsecuentes se leen en cada filo de bajada sobre la línea de reloj.

Cada nuevo bit se pone en la línea cuando el reloj tiene un flanco ascendente de Reloj. Si CPOL es cero, el primer filo de reloj ascendente y los bits de datos subsecuentes se leen en cada filo ascendente de reloj. Cada nuevo bit se coloca en la línea cuando el filo del reloj baja.

En resumen, Si CPHA=1, la transferencia (datos válidos leídos por el receptor) comienza en el segundo filo de reloj.

Si CPHA=0, la transferencia comienza en el primer filo de reloj. Todas las transferencias subsecuentes dentro del byte ocurren en cada filo de reloj.

## **2.5. LENGUAJE DE PROGRAMACION JAVA**

Java es un lenguaje de programación y la primera plataforma informática creada por Sun Microsystems en 1995. Es la tecnología subyacente que permite el uso de programas punteros, como herramientas, juegos y aplicaciones de negocios.

Java se ejecuta en más de 850 millones de ordenadores personales de todo el mundo y en miles de millones de dispositivos, como dispositivos móviles y aparatos de televisión.

### 2.5.1 Introducción

Java como lenguaje de programación es de fácil aprendizaje. Resulta relativamente sencillo escribir programas desde el principio. Para las personas que se encuentran familiarizadas con el lenguaje de programación C++ encontrarán que Java es más sencillo, ya que se han eliminado ciertas características, como los punteros. Debido a su semejanza con C y C++, y dado que la mayoría de la gente los conoce aunque sea de forma elemental, resulta muy fácil aprender Java. Los programadores experimentados en C++ pueden migrar muy rápidamente a Java y ser productivos en poco tiempo.

Uno de los problemas más comunes en los lenguajes de programación es la posibilidad de escribir programas que pueden bloquear el sistema. Algunas veces este bloqueo puede ser inmediato, pero en otras ocasiones llega a aparecer inesperadamente porque, por ejemplo, la aplicación accede a zonas de memoria que no estaban siendo ocupadas por otros programas hasta ese momento. Un ejemplo claro de lenguaje no robusto es C. Al escribir código en C o C++ el programador debe hacerse cargo de la gestión de memoria de una forma explícita, solicitando la asignación de bloques a punteros y liberándolos cuando ya no son necesarios.

En Java, los punteros, la aritmética de punteros y las funciones de asignación y liberación de memoria no existen. En lugar de los punteros se emplean referencias a objetos, los cuales son identificadores simbólicos. El gestor de memoria de Java lleva una contabilidad de las referencias a los objetos. Cuando ya no existe una referencia a un objeto, éste se convierte en candidato para la recogida de basura.

### 2.5.2 Características

Java fue diseñado como un lenguaje orientado a objetos desde el principio. Los objetos agrupan en estructuras encapsuladas tanto sus datos como los métodos (o funciones) que manipulan esos datos. La tendencia del futuro, a la que Java se suma, apunta hacia la programación orientada a objetos, especialmente en entornos cada vez más complejos y basados en red.

Java proporciona una colección de clases para su uso en aplicaciones de red, que permiten abrir sockets y establecer y aceptar conexiones con servidores o clientes remotos, facilitando así la creación de aplicaciones distribuidas.

Java es compilado, en la medida en que su código fuente se transforma en una especie de código máquina, los bytecodes (código intermedio más abstracto que el código máquina), semejantes a las instrucciones de ensamblador. Por otra parte, es interpretado, ya que los bytecodes se pueden ejecutar directamente sobre cualquier máquina a la cual se hayan portado el intérprete y el sistema de ejecución en tiempo real (run-time).

Java fue diseñado para crear software altamente fiable. Para ello proporciona numerosas comprobaciones en compilación y en tiempo de ejecución. Sus características de memoria liberan a los programadores de una familia entera de errores (la aritmética de punteros), ya que se ha prescindido por completo los punteros, y la recolección de basura elimina la necesidad de liberación explícita de memoria.

Dada la naturaleza distribuida de Java, donde las applets se bajan desde cualquier punto de la Red, la seguridad se impuso como una necesidad de vital importancia. A nadie le gustaría ejecutar en su ordenador programas con acceso total a su sistema, procedentes de fuentes desconocidas. Así que se implementaron barreras de seguridad en el lenguaje y en el sistema de ejecución en tiempo real.

Java está diseñado para soportar aplicaciones que serán ejecutadas en los más variados entornos de red, desde Unix a Windows Nt, pasando por Mac y estaciones de trabajo, sobre arquitecturas distintas y con sistemas operativos diversos. Para acomodar requisitos de ejecución tan variados, el compilador de Java genera bytecodes: un formato intermedio indiferente a la arquitectura diseñada para transportar el código eficientemente a múltiples plataformas hardware y software. El resto de problemas los soluciona el intérprete de Java. Por lo que la indiferencia a la arquitectura permite su portabilidad.

Por lo tanto Java especifica los tamaños de sus tipos de datos básicos y el comportamiento de sus operadores aritméticos, de manera que los programas son iguales en todas las plataformas. Estas dos últimas características establecen que exista la *Máquina Virtual Java*(JVM).

Hoy en día ya se ven limitadas las aplicaciones que sólo pueden ejecutar una acción a la vez. Java soporta sincronización de múltiples hilos de ejecución (*multi threading*) a nivel de lenguaje, especialmente útiles en la creación de aplicaciones de red distribuidas. Así, mientras un hilo se encarga de la comunicación, otro puede interactuar con el usuario mientras otro presenta una animación en pantalla y otro realiza cálculos.

El lenguaje Java y su sistema de ejecución en tiempo real son dinámicos en la fase de enlazado. Las clases sólo se enlazan a medida que son necesitadas. Se pueden enlazar nuevos módulos de código bajo demanda, procedente de fuentes muy variadas, incluso desde la Red.

### **2.5.3 Ventajas**

Existen varias ventajas en el uso del lenguaje de programación java frente a otros lenguajes de programación y en particular con las necesidades del proyecto a implementar. Las principales ventajas de los programas desarrollados en java se detallan a continuación:

- Son multiplataforma (funcionan en Linux, Windows, Mac OS, y en cualquier sistema operativo para el cual exista una JVM).
- El mismo programa puede trabajar en "todas" las versiones de Java.
- Es soportado por la mayoría de los navegadores Web.
- Puede ser almacenado en la memoria cache de la mayoría de los navegadores Web, de modo que se cargará rápidamente cuando se vuelva a cargar la página Web.
- Puede tener acceso completo a la máquina en la que se está ejecutando, si el usuario lo permite.
- Puede ejecutarse con velocidades comparables a la de otros lenguajes compilados, como C ++.
- Puede trasladar el trabajo del servidor al cliente, haciendo una solución Web más escalable tomando en cuenta el número de usuarios / clientes.

## **CAPÍTULO 3**

### **HARDWARE Y SOFTWARE**

En este capítulo se diseñará los elementos que contiene el módulo prototipo de pantalla LED, que en conjunto logran cumplir las funciones de transferencia de la información hacia la pantalla, ya sea de imágenes, textos o símbolos, para esto se implementa algunas etapas de hardware y software que se detallará durante este capítulo.

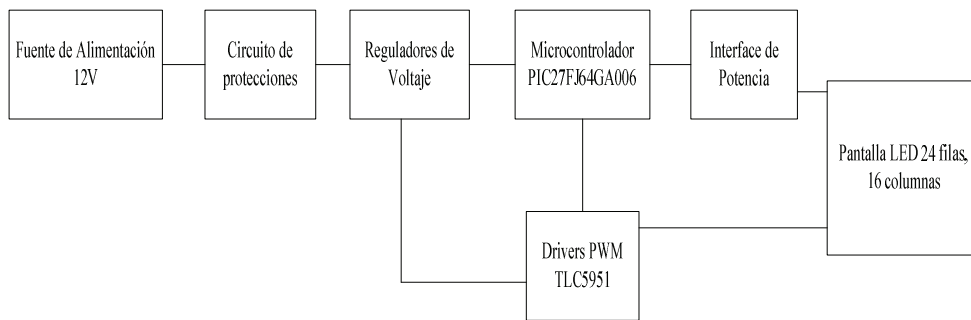
#### **3.1 DISEÑO DEL HARDWARE**

El hardware que compone el prototipo de pantalla LED está dividido en varias secciones que incluyen la fuente de alimentación, circuitos de protecciones, reguladores de voltaje, el controlador principal, drivers PWM, interfaz de potencia y el circuito de la pantalla que contiene el arreglo de LEDs.

##### **3.1.1 Diagrama de bloques**

Para poder describir la relación interna que existe entre todas las partes del hardware se usó un diagrama de bloques.

El diagrama de bloques de la Figura 3.1 especifica el proceso, las entradas y salida del hardware que componen el prototipo de pantalla LED.



**Figura. 3.1. Diagrama de bloques del sistema**

En la Tabla. 3.1 se describe las características de hardware necesarias que debe tener la fuente de alimentación que se conecta al prototipo de pantalla LED.

**Tabla. 3.1. Características de la Fuente de Alimentación**

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	
Voltaje de Entrada	110-240 V
Corriente de Entrada	2.5 A
Frecuencia	50-60 Hz
Voltaje de Salida	12 V
Corriente de Salida	4 A

### 3.1.2 Diseño de circuito de protecciones

Para el circuito de protecciones, se debe tomar en cuenta que todo dispositivo electrónico debe tener protecciones eléctricas para que el uso del dispositivo sea seguro para las personas que trabajan con ellas.

Existen muchos circuitos de protecciones que se pueden implementar a un circuito eléctrico, en este caso para el prototipo de pantalla LED se va a realizar el diseño de la protección contra cortocircuitos y contra sobrecargas, los dispositivos que se utilizan para estas protecciones son fusibles que sirven tanto para cortocircuitos como sobrecargas, siempre y cuando la calibración sea la apropiada, para esto se realiza un estudio de la corriente consumida por los diferentes elementos que componen el hardware para conocer el límite de intensidad de corriente nominal y así poder diseñar la protección necesaria para el circuito.



El mayor consumo de corriente se presenta en los LEDs RGB smd 5050 ya que el consumo de corriente por color es de 20 mA, y en el caso que toda una fila muestre el color blanco, es decir, se enciendan todos los colores, se tendrían 72 LEDs individuales encendidos con un total de consumo de corriente de 1.44 A.

Los elementos de control como el microcontrolador, los drivers PWM y demás circuitería electrónica incluida en el hardware del controlador y de la pantalla no representan un consumo de corriente tan alto como el de los LEDs, a continuación se resumen sus diferentes consumos en la Tabla. 3.2.

**Tabla. 3.2. Consumo de Corriente de los dispositivos**

Dispositivo	Consumo [mA] por dispositivo	Cantidad de dispositivos	Total de Corriente [A]
Led RGB smd 5050	60	24	1.44
TLC5951	300	3	0.9
PIC24FJ64GA006	250	1	0.25
Dispositivos varios	100	1	0.1
		Total	2.69

El consumo total de los dispositivos electrónicos es de aproximadamente de 2.69 amperios que es el dato de corriente que se usará para el diseño del circuito de protección.

Para dimensionar el fusible que protegerá las líneas de alimentación del sistema en caso de un cortocircuito o una sobrecarga, se deben cumplir con dos condiciones. La primera condición es que el valor de ruptura del fusible sea mayor al consumo nominal del sistema, para que no influya en el funcionamiento normal del prototipo. La segunda condición es que la corriente máxima permisible no deteriore los cables de alimentación, en este caso como se usará una fuente de alimentación de 12V la corriente máxima permisible debe ser menor a la corriente máxima que puede entregar la fuente de alimentación.

Basados en las condiciones antes dadas, el dimensionamiento del fusible debe cumplir con la siguiente Expresión 3.1.

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3.1)$$

Donde:

$I_b$  Corriente nominal del sistema.

$I_n$  Corriente del Fusible.

$I_z$  Corriente máxima entregada por la fuente.

En la expresión 3.2 se determina la corriente seleccionada para el fusible de protección es de 3A con lo que aseguramos el funcionamiento normal del sistema y a la vez protegemos a la fuente de poder en caso de un cortocircuito.

$$2.69A \leq I_n \leq 4A \quad (3.2)$$

### 3.1.3 Diseño del controlador de la pantalla

#### 1. Reguladores de Voltaje

Lo primero que se debe tomar en cuenta es la tensión con la que los diferentes dispositivos deben ser alimentados, el Microcontrolador PIC24FJ64GA006 y los drivers TLC5951 deben ser alimentados con una tensión de 3.3V como se especifican en sus hojas de datos, mientras que para la alimentación de los LEDs, se tiene una tensión según el color: Rojos 2.1V, Verde y Azul 3.15V.

Tomando en cuenta que la fuente de alimentación es de 12V, se realizó tres diseños de reguladores de voltaje, para obtener las tensiones correspondientes de voltaje de control, voltaje de lógica TTL, y los voltajes para alimentar al LED RGB según su color.

Como regulador de voltaje se seleccionó el dispositivo LM317 por su capacidad de corriente de hasta 1.5 Amperios, regulación de voltaje a partir de 1.25 voltios, rizado de voltaje menor al 1%, fácil control del voltaje de salida mediante dos resistores.

A continuación se presenta la Ecuación 3.3 para el diseño de los reguladores de voltajes y en la Tabla. 3.3 se presenta los valores de  $R_2$ , evaluados en la Ecuación. 3.4 para los diferentes reguladores de voltajes.

$$V_{out} = 1.25v \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}(R_2) \quad (3.3)$$

La corriente de ajuste es una constante del dispositivo igual a:

$$I_{ADJ} = 50\mu A \text{ a } 25^\circ C$$

Se despeja  $R_2$  de la Ecuación. 3.3.

$$V_{out} = 1.25v + 1.25 \left(\frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}(R_2)$$

$$V_{out} - 1.25v = R_2 \left(\frac{1.25}{R_1} + I_{ADJ}\right)$$

$$R_2 = \frac{V_{out} - 1.25v}{\left(\frac{1.25}{R_1} + I_{ADJ}\right)} \quad (3.4)$$

**Tabla. 3.3. Valores de los Reguladores de Voltaje**

	Voltaje de Salida[V] que se desea obtener	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$ [ $\Omega$ ] Valor Calculado	$R_2$ [ $\Omega$ ] Valor Comercial
Voltaje de Control	3.3V	240 $\Omega$	397.41 $\Omega$	390 $\Omega$
Voltaje LED RGB Rojo	2.1V	240 $\Omega$	161.64 $\Omega$	160 $\Omega$
Voltaje LED RGB Verde	3.2V	240 $\Omega$	370.83 $\Omega$	360 $\Omega$
Voltaje LED RGB Azul	3.2V	240 $\Omega$	370.83 $\Omega$	360 $\Omega$

Los valores de  $R_2$  se aproximaron a los valores comerciales más cercanos para que los voltajes de salida sean lo más cercano a lo deseado. La Figura. 3.2 muestra el diagrama de los reguladores implementados.

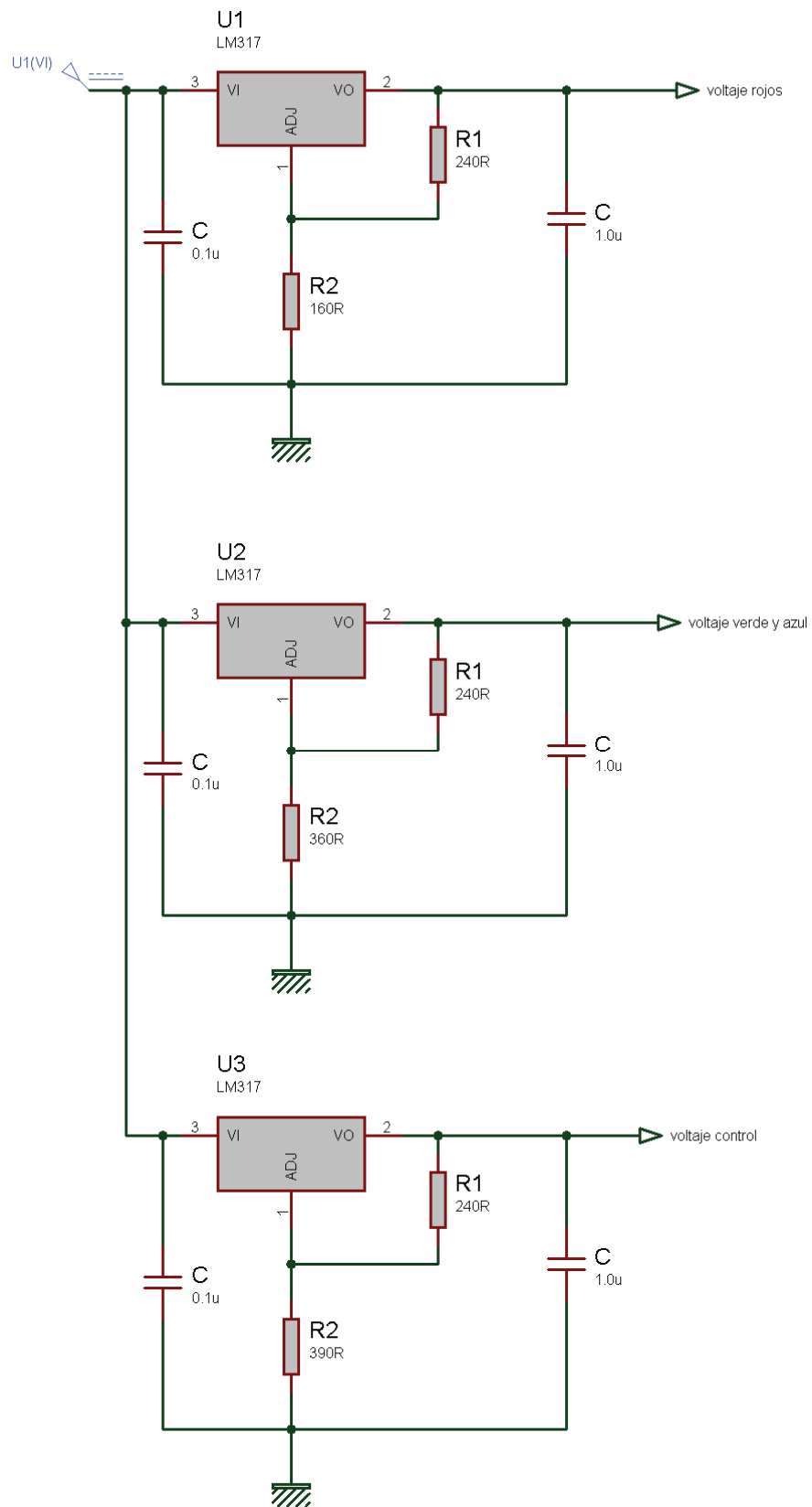


Figura. 3.2. Reguladores de Voltaje

## 2. Microcontrolador

El controlador que se va a utilizar para este diseño es el PIC24FJ64GA006 por sus prestaciones y características que se ajustan a las necesidades del proyecto, a continuación se presentan algunas de ellas.

- Incluye 2 puertos SPI para la comunicación con los drivers TLC5951.
- Tiene alto rendimiento de procesamiento de datos.
- Tiene 4 UART para la comunicación con la interface en JAVA.
- Maneja un voltaje de operación de 3.3 voltios.

Para la escritura y lectura del programa del microcontrolador se ha dispuesto de una pequeña interface ICSP compatible con grabadores universales. En particular para este prototipo se ha utilizado PICkit 2 versión 2.6, que es un grabador que trabaja con señales TTL de 5V, y ya que el microcontrolador trabaja con señales de 3.3V, se realizó divisores de voltajes que aseguran el voltaje en las entradas del microcontrolador.

Para poder grabar al microcontrolador en la misma placa de control se usan los pines provistos por el microcontrolador para la grabación mediante ICSP, estos pines son PGD1, PGC1, MCLR. Estos pines manejan una comunicación sincrónica con una línea de datos y un reloj de sincronía además se usa el Pin MCLR para seleccionar el estado de programación del microcontrolador.

La Figura. 3.3 muestra el circuito ICSP para la comunicación con el grabador del PIC, donde se usan dos divisores de voltaje basados en resistencias, el cálculo de las mismas se muestra en la Ecuación 3.5.

El valor de  $R_1$  es de 10k y  $R_2$  es de 5.1k como se muestra en la Ecuación 3.6, con lo que se consigue 3.3 V a la entrada del microcontrolador, adicionalmente se han agregado diodos para aislar el divisor de voltaje de los pines del microcontrolador ya que los pines PGC1 y PGD1 son usados como salidas durante la ejecución del

programa. Para el Pin MCRL se ha dispuesto de una configuración que permite al grabador indicar el estado de grabación y además se cuenta con un pulsador para resetear el programa del microcontrolador.

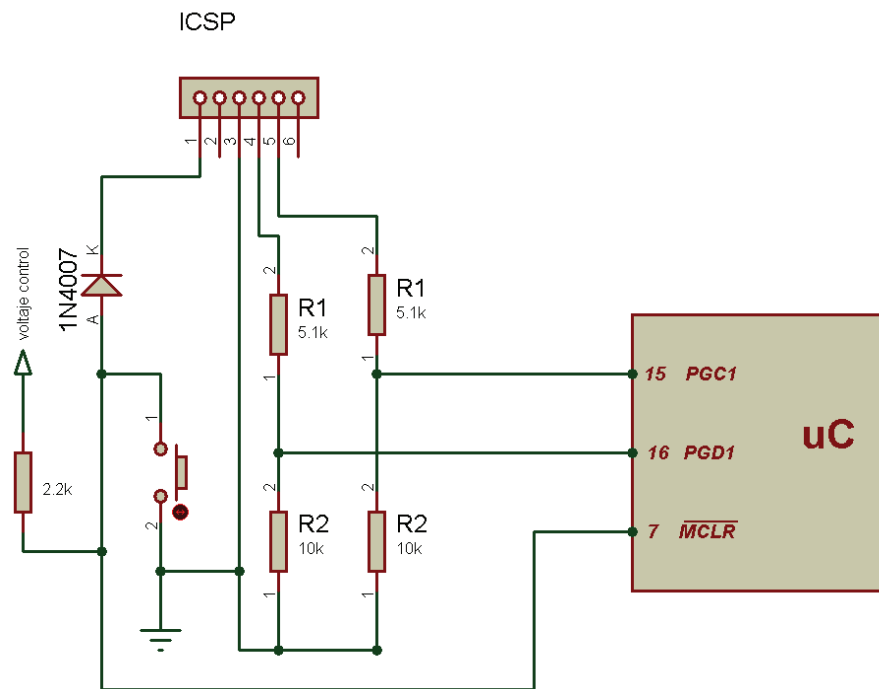


Figura. 3. 3 Interface ICSP

(3.5)

Donde:

Voltaje de salida del Divisor 3.3V.

Voltaje de Alimentación del Divisor 5V (señal TTL del grabador).

Resistencia de 10k.

Resistencia a calcular.

(3.6)

### 3. Driver TLC5951

Para la selección del driver TLC5951, se tomó en cuenta las prestaciones y características que ofrece este integrado, como son la necesidad de varios canales PWM y el control a través de un protocolo de comunicaciones rápido y robusto, además del precio y disponibilidad.

Los drivers TLC requieren de una señal de reloj externa para sincronizar todos los canales PWM para lo cual se tiene disponible dos opciones de señales de reloj seleccionables mediante un jumper que escoge una señal PWM del microcontrolador o una señal externa generada por un circuito digital basado en un cristal de cuarzo y compuerta NOT.

El circuito de oscilación digital externa implementado con un cristal de cuarzo y una compuerta NOT genera una señal cuadrada de la misma frecuencia del cristal ya que las compuertas se encargan de excitar al cristal y mostrar su estado en un pin de salida y así sucesivamente se genera la señal cuadrada.

La interconexión de los drivers se muestra en la Figura. 3.4 donde se puede observar las señales de control y PWM.

Circuito de selección de la señal de reloj y el circuito de selección externo se muestra en la Figura. 3.5.

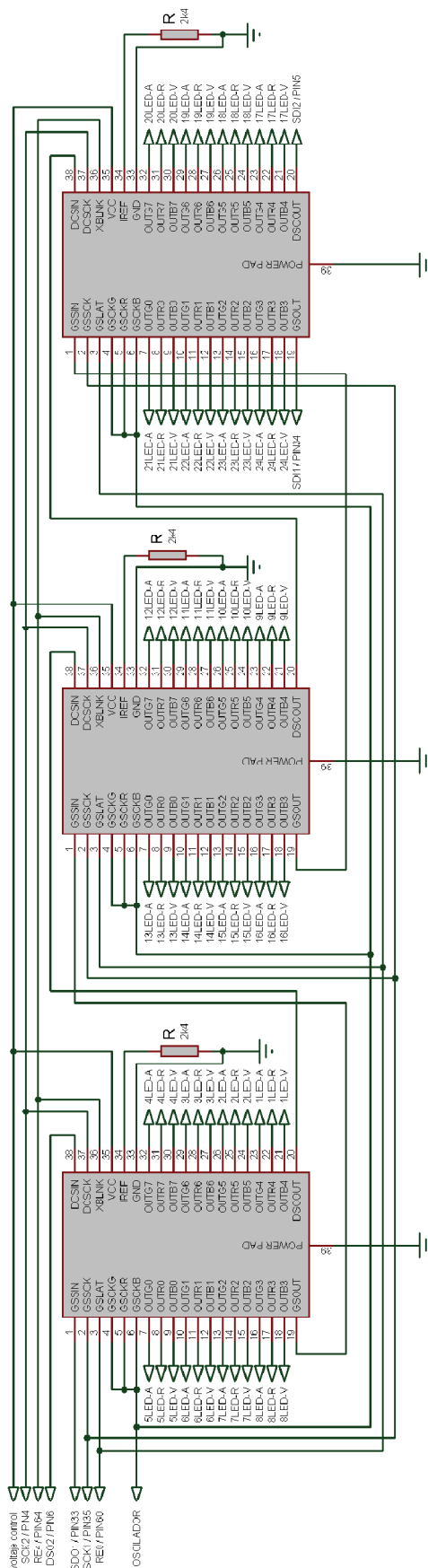


Figura. 3.4. Diagrama de conexión TLC



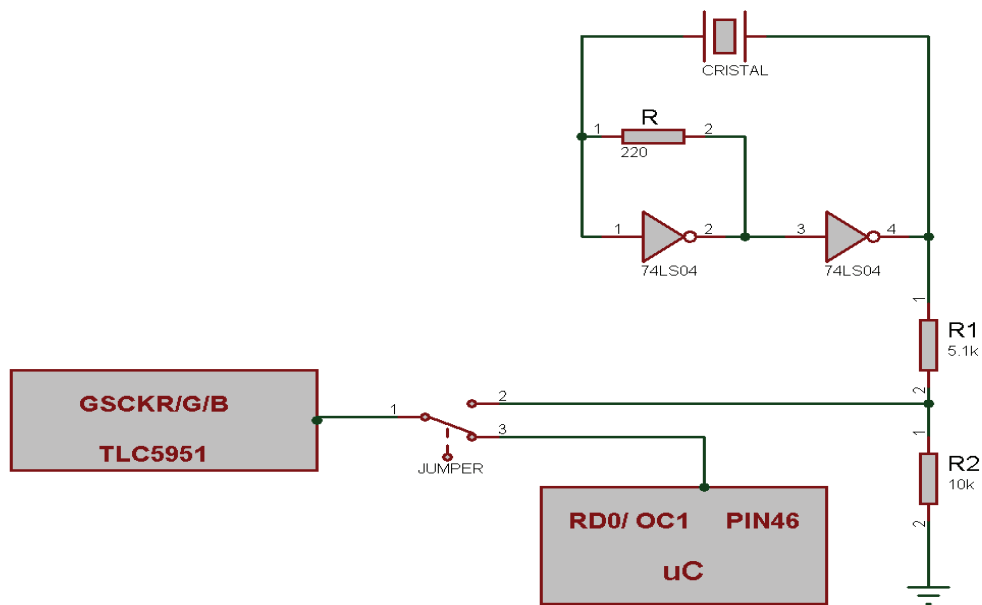


Figura. 3.5. Selección de señal de reloj GSKR/G/B

#### 4. Circuito de Potencia

El circuito de potencia se basa en una interfaz para controlar la multiplexación de las filas de la pantalla, encendiendo todo una fila a la vez y durante un corto tiempo alrededor de un milisegundo, el microcontrolador se encarga de activar cada fila con sus datos correspondientes mediante 16 pines de salida estos pines no tienen la capacidad de corriente necesaria para activar toda la fila por lo tanto se usarán transistores para ejecutar dicha acción.

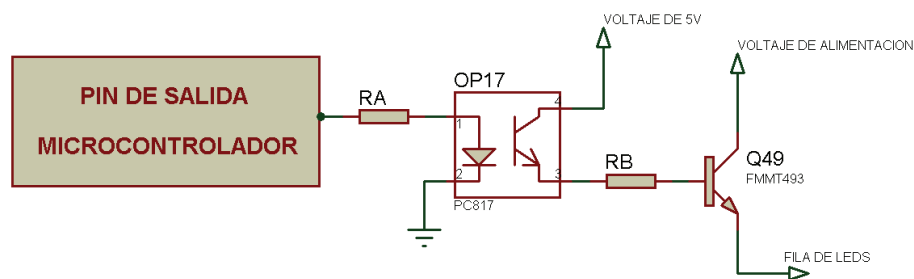
Se usará tres transistores por cada fila que serán los encargados de alimentar cada color, y al tener 24 LEDS por cada fila a un consumo de 20mA por color, se obtiene que cada transistor debe entregar hasta 480mA. La selección del transistor a usar se la realizó con el dato de corriente, además de ser del tipo SMD y que el consumo nominal de corriente que se le exige al transistor sea un porcentaje pequeño de la capacidad total que este puede entregar.

El transistor a usar es el FM493, que es un transistor de media potencia NPN cuyas características principales se describen en la Tabla. 3.4.

**Tabla. 3.4. Características Eléctricas FMMT493**

Parámetro	Símbolo	Mínimo	Máximo	Unidad	Condición
Voltaje de Ruptura		120		V	Ic=100uA
		100		V	Ic=10mA
		5		V	Ie=100uA
Corriente de Colector apagado			100	nA	V <sub>CB</sub> =100V
Voltajes de saturación			0.3	V	Ic=500mA, I <sub>B</sub> =4mA
			0.6	V	Ic=1A, I <sub>B</sub> =8mA
			0.7	V	Ic=1A, I <sub>B</sub> =100mA
Voltaje de encendido Base-Emisor			1.0	V	Ic=1 A, V <sub>CE</sub> =10V
Tasa de transferencia de Corriente		100	300		IC=1mA, VCE=10V*
		100			IC=250mA, VCE=10V*
		60			IC=500mA, VCE=10V*
		20			IC=1A, VCE=10V*
Voltaje de ruptura Colector-Emisor			10	pF	V <sub>CB</sub> =10V, f=1MHz

Los transistores están conectados mediante optoacopladores para asegurar que la corriente de base no se vea limitada por la corriente máxima que puede entregar el microcontrolador como lo muestra la Figura 3.6 que es como se conectarán cada color de las 16 filas.



**Figura. 3. 6. Interface de Potencia**

Para el cálculo de R<sub>B</sub> se toma en cuenta los datos provistos por la hoja de datos del transistor, donde se tiene que la corriente de Base necesaria para poner al transistor en la zona de saturación es de 4 miliamperios, tomando en cuenta que el voltaje de los

pin de salida del microcontrolador es de 3.3 voltios, la resistencia de base se puede calcular mediante la Ecuación 3.7.

$$R_B = \frac{V_{\mu c} - V_{BE(SAT)}}{I_{BSAT}} = \frac{3.3V - 0.7V}{4mA} = 650 \Omega \quad (3.7)$$

Donde:

$R_B$ : Resistencia de Base.

$V_{\mu c}$ : Voltaje del pin de salida del microcontrolador.

$V_{BE(SAT)}$ : Voltaje Base-Emisor en condición de saturación.

$I_{BSAT}$ : Corriente de saturación.

La resistencia de base necesaria para poner al transistor en saturación es de 650  $\Omega$  pero se usará resistencias comerciales de 620  $\Omega$  capaces de disipar hasta un octavo de vatio ya que el consumo de las mismas es de 10 mW como se demuestra con la Ecuación 3.8.

$$\begin{aligned} P_{RB} &= R_B * (I_{BSAT})^2 \\ P_{RB} &= 620 \Omega * (4mA)^2 \\ P_{RB} &= 10mW \end{aligned} \quad (3.8)$$

Donde:

$P_{RB}$ : Potencia disipada en el Resistor de Base

$R_B$ : Resistencia de Base.

$I_{BSAT}$ : Corriente de saturación.

## 5. Comunicación RS-232

La comunicación del prototipo de pantalla LED con la interface en JAVA se realiza mediante el protocolo de comunicaciones RS232 de 3 hilos (Rx, Tx, GND). Para el acoplamiento de señales entre el protocolo RS232 y el microcontrolador se usó el integrado MAX232 de Texas Instruments, que transforma los niveles de voltaje del protocolo RS232 a señales TTL y viceversa, en este caso se necesita de un divisor de voltaje para transformar la señal TTL al voltaje requerido por el microcontrolador. El

divisor de voltaje es el mismo calculado anteriormente. Se dispuso de un conector DB9 hembra para la conexión con el puerto serial del computador.

Para la alimentación del integrado MAX232 se necesita de una fuente de voltaje de 5V por lo que se implementó un circuito regulador de voltaje a 5V con el regulador de voltaje 7805. La Figura. 3.7 muestra el circuito de conexión para la comunicación RS232.

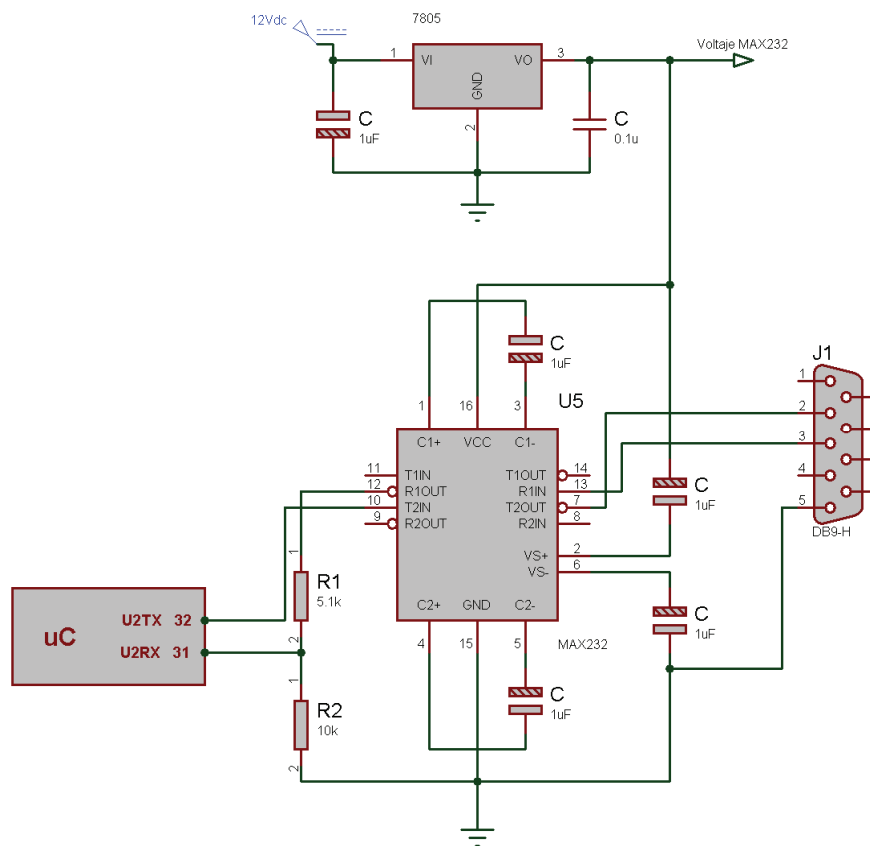


Figura. 3. 7. Acoplamiento de señales MAX232

### 3.1.4 Diagrama de interconexión del sistema

En esta sección se mostrará un digrama que contiene todas las conexiones lógicas del prototipo de pantalla LED separadas entre la pantalla que contiene los LEDS y el sistema de control.

## 1. Diseño de la pantalla

Para la pantalla que contiene los LEDs, se realizó un arreglo matricial rectangular que esta formado por filas y columnas, cada LED es un pixel que pueden ser controlado individualmente desde el microcontrolador. Toda una fila de LEDs comparten la alimentación de voltaje de cada color proveniente de la etapa de potencia. Para establecer los colores de los LEDs, cada columna de la pantalla estan interconectadas entre si y conectadas a un pin del driver TLC. La Figura 3.8. muestra la interconexión de los LEDs a modo de pixel, es decir, cada led representa un pixel y se muestra como ejemplo 6 filas y 9 columnas aunque el prototipo real tiene 24 columnas y 16 filas.

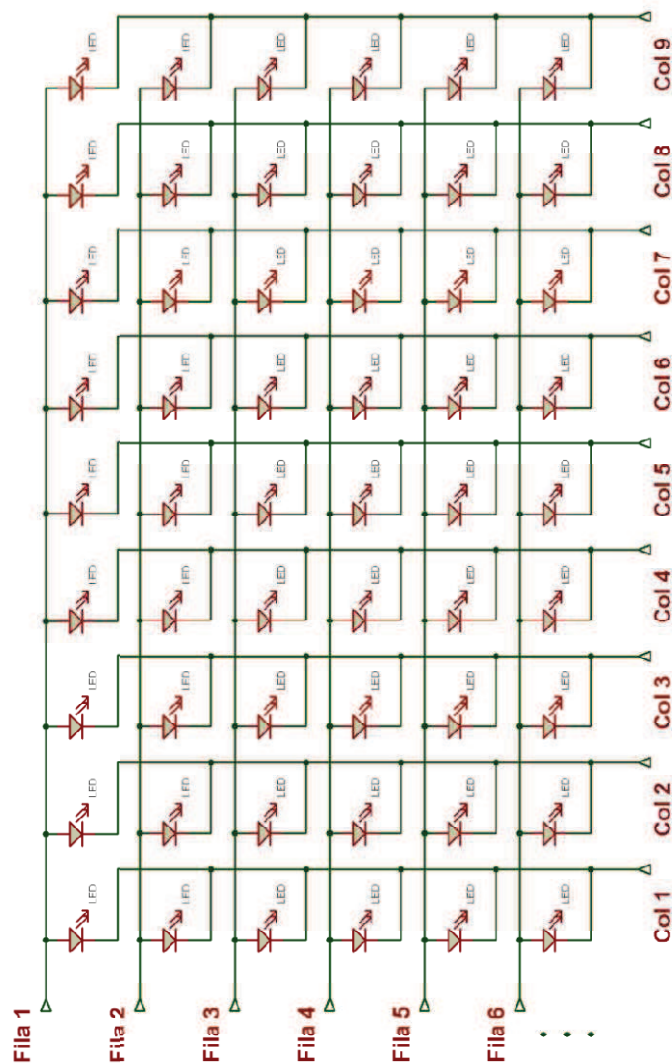


Figura. 3. 8 Circuito de interconexión de la pantalla de LEDs

## 2. Diseño del controlador

El circuito de control está formado por varias etapas que se encuentran interconectados entre si para poder cumplir con todas las funciones necesarias que se requieren, la Figura.3.9 se encuentra en el Anexo. 4 muestra el diagrama de interconexión del controlador de la pantalla con todos sus elementos.

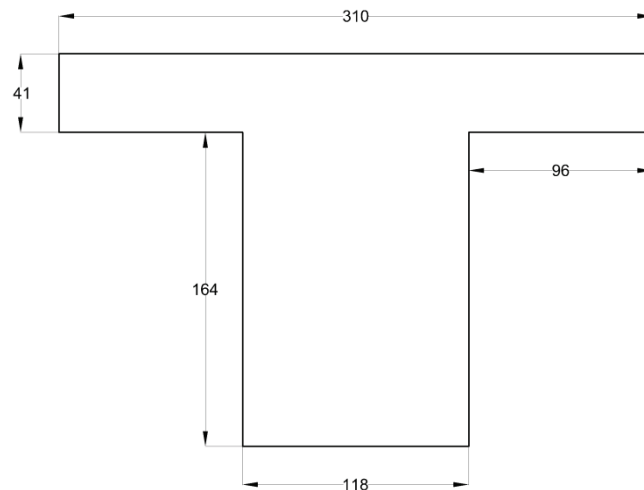
### 3.1.5 Diseño de la placa del controlador

El diseño de la placa de control es realizado en un circuito impreso PCB “*Printed Circuit Board*”, se explicará: el ruteado de las pistas de interconexión, el posicionamiento de los diferentes dispositivos, las consideraciones eléctricas que se tomaron. La herramienta que se utilizó es ARES Professional de Labcenter Electronic. Una vez que se tiene el diagrama esquemático, en este caso el diagrama de interconexión, se importa a un nuevo archivo de ARES donde automáticamente se seleccionan los empaquetados de los elementos utilizados y en el caso de no existir en la librería propia de ARES se crea los componentes de acuerdo a lo que el diseño necesite, en este caso se creó un empaquetado para diferentes conectores así como para un porta fusibles.

La placa de control se colocará en la parte posterior de la placa de la pantalla y conectándose entre sí mediante conectores tipo SIL hembra y macho, creando un solo dispositivo.

El circuito de control dispone de varios elementos de montaje superficial y de montaje a través de orificios, todos los dispositivos son colocados en la parte posterior de la placa “*Bottom Copper*” para que sean visibles en la parte posterior del conjunto pantalla – controlador, y en la parte superior “*Top Cooper*” se colocan los conectores tipo SIL machos para que empaten con la parte posterior de la placa de la pantalla donde se dispondrán los conectores tipo hembra.

Se define el área física que ocupará el circuito como se muestra en la Figura. 3.10 donde se dibuja mediante líneas rectas el área que encierra la placa final.



**Figura. 3. 10. Medidas de Placa de Control**

Para continuar se definen reglas de diseño donde se incluyen las tolerancias máximas de separación que puede existir entre las pistas y elementos. Estas reglas están definidas por el fabricante de la placa ya que expresa la calidad de terminado que se le puede dar a la placa. Otras consideraciones como capacitancias, inductancias y en general impedancias se toman en cuenta. Una vez que se tienen las tolerancias deseadas se ingresa en ARES en la opción Manejo de las Reglas de diseño “*Design Rule Manager*” como se muestra en la Figura. 3.11.

Se arrastra los empaquetados de los dispositivos al área de trabajo definido tratando de sectorizar los subgrupos, es decir, colocar lo más cerca posibles elementos que pertenezcan a un mismo bloque y los conectores de comunicación hacia la pantalla son alineados con respecto a la misma.

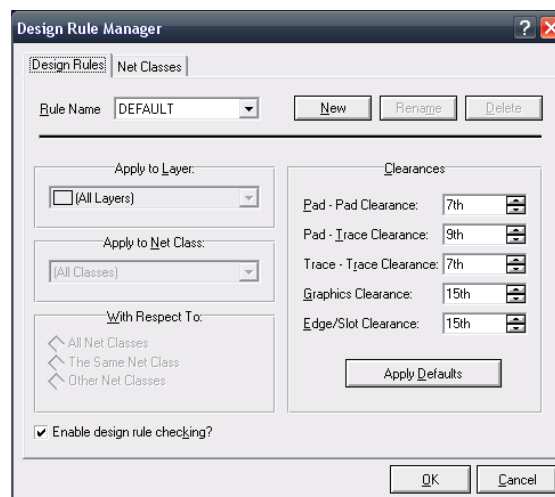


Figura. 3. 11. Manejo de las Reglas de Diseño

Una vez que se tienen todos los dispositivos en posición se aplica la función Auto Ruteo “*Auto Router*” que genera las conexiones físicas entre los dispositivos de acuerdo al diagrama esquemático, esta función requiere de un número determinado de interacciones para realizar las conexiones, es decir, por donde pasan las pistas físicamente sin que existas cruces físicos entre las pistas por lo que en cada interacción se evalúa la eficiencia del trabajo final.

Para usar la función de auto Ruteo “*Auto Router*” se definen los parámetros como se muestra en la Figura. 3.12.

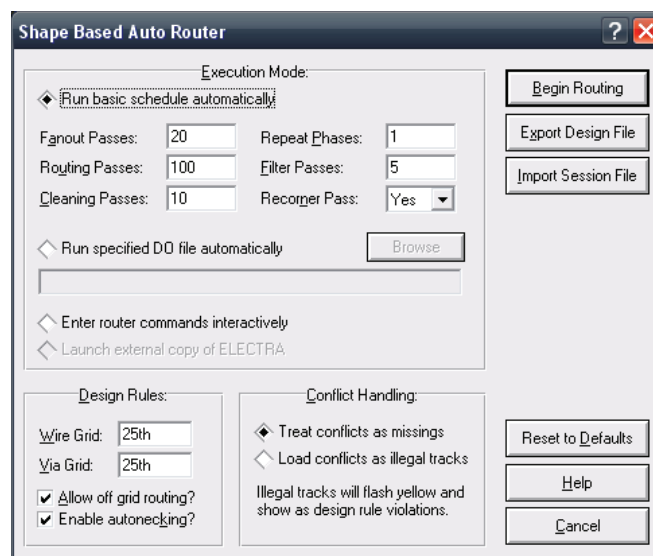


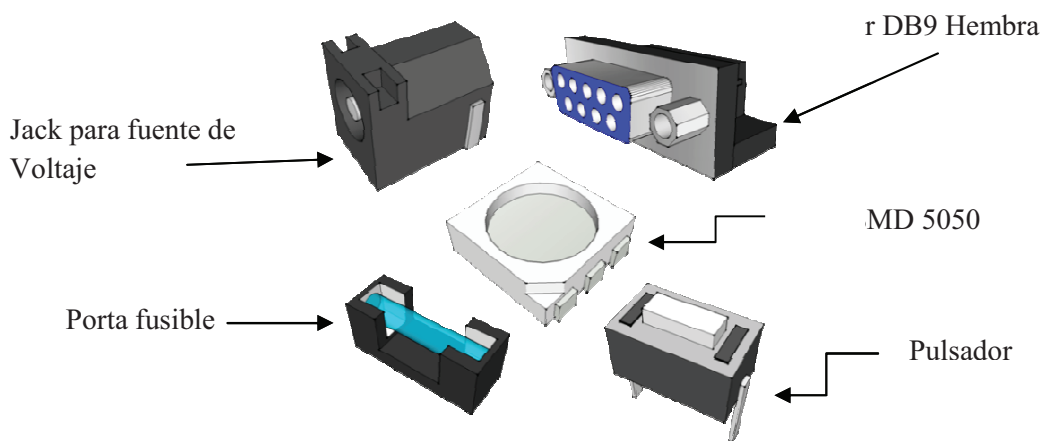
Figura. 3. 12. Parámetros de Auto Ruteo



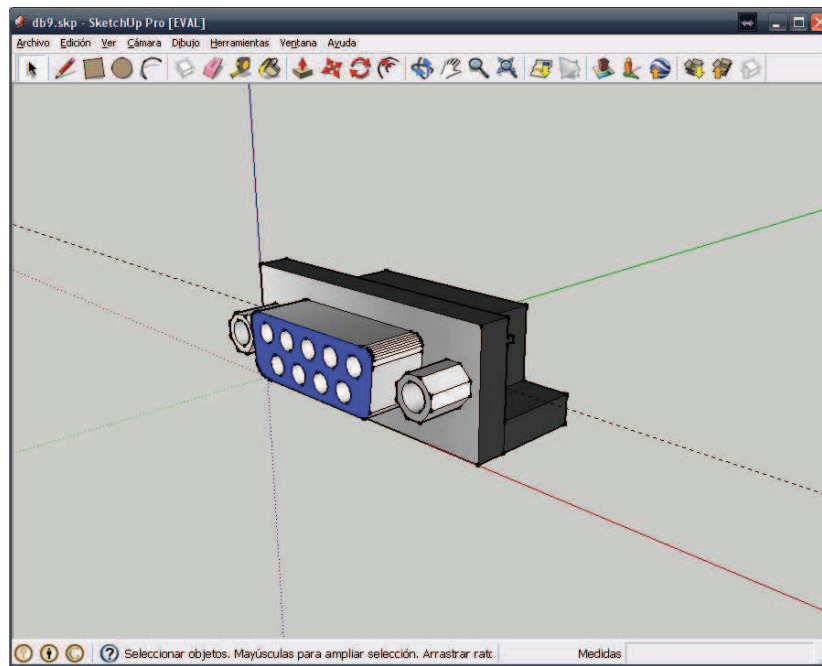
Finalmente terminado el diseño como se muestra en la Figura. 3.13 se encuentra en el ANEXO 5 donde se puede visualizar claramente tanto las pistas frontales “*Top Copper*”, las posteriores “*BottomCopper*” y la capa de dispositivos frontales y posteriores “*Top Silk*” y “*BottomSilk*”.

ARES nos facilita una pre visualización en 3D de como quedará ensamblada la placa diseñada, para esto cuenta con una librería que contiene modelos 3D de varios dispositivos como circuitos integrados conectores elementos activos y pasivos entre otros. Para algunos dispositivos no se contó con su modelo en 3D por lo que se modeló dichos elementos, para lo cual se usó la herramienta “*SketchUp Pro*” de GOOGLE que es un software que nos permite modelar objetos en 3D de manera fácil y rápida, además se tiene la posibilidad de exportar dichos modelos en un formato que ARES puede leer.

Se crearon modelos en 3D de los siguientes dispositivos como se muestra en la Figura. 3.14 y una vez que ya fueron modelados la Figura.3.15 muestra el espacio de trabajo de “*SketchUp Pro*”.



**Figura. 3. 14. Dispositivos Modelados**



**Figura. 3.15. Espacio de trabajo de “SketchUp Pro”**

Una vez que se tiene todos los modelos en 3D de los dispositivos que conforman la placa de control se puede visualizar como quedaría armada finalmente la placa de control, como se muestra en sus diferentes vistas en las Figuras. 3.16, 3.17 y 3.18 se encuentran en el ANEXO 6.

### **3.1.6 Diseño de la placa para montaje de la pantalla**

Para el diseño de la placa de la pantalla se debe tomar en cuenta la distancia entre puntos “pixel pitch” que deberán tener los LEDs, para que los colores que se generen en cada uno de los mismos no se superpongan entre si y de esta manera se creen colores no deseados, esto es una de las características más importantes en el momento de diseñar debido a que la imagen que se presente en la pantalla puede salir distorsionada. En el prototipo a realizar la distancia entre puntos es de 7.7mm, se optó por este valor ya que es un rango aceptable para las pantallas de exteriores, la selección se realizó en base a que mientras más pequeña es la distancia entre los LEDs, mayor es la resolución en metros cuadrados del módulo que se realiza.

Inicialmente se planteó que el módulo debía ser de 32 filas por 32 columnas pero se realizó la placa de 24 filas por 16 columnas, el cambio fue necesario por algunos ajustes técnicos, que se explican a continuación:

- La relación de la pantalla debe ser 4:3 (televisión tradicional) o 16:9 (widescreen), si el módulo es cuadrado al unirlos y formar gabinetes no van a cumplir con los estándares de los formatos de las pantallas es por esto que se cambió a un módulo estándar para cumplir con los formatos.
- La resolución del módulo de la pantalla de 32x32 no cumplía con el número de pixeles que debe tener por metro cuadrado al formar la pantalla con ese módulo.

Las dimensiones de la placa del módulo de la pantalla de 24 x 16 se calcularon en milímetros de la siguiente manera:

- **Distancia Horizontal:** Cada fila está compuesta por 24 LEDS y cada uno mide 5 mm dando un total 120mm. El tamaño de punto o distancia entre los LEDS es de 7.7mm y son 24 espacios entre LEDS esto da un total de 184.8mm. La suma total entre la distancia que ocupan los LEDS y el espacio que existe entre ellos es de 304.8 mm
- **Distancia Vertical:** Cada columna está conformada por 16 LEDS y cada uno mide 5 mm dando un total de 80mm. El tamaño de punto o distancia entre LEDS es de 7.7mm y son 16 espacios entre LEDS esto da un total de 123.2mm. La suma total entre la distancia que ocupan los LEDS y el espacio que existe entre ellos es de 203.2 mm

Una vez realizado los cálculos respectivos el módulo prototipo tiene las dimensiones de 305x 204mm horizontal y vertical respectivamente.

La placa que se realizó para la pantalla es en fibra de vidrio de doble cara, en la parte superior tenemos los LEDs con la separación antes mencionada y las rutas de las

alimentaciones de los pines de voltaje para cada una de las filas que se encuentran cortocircuitadas y son enviadas a la placa de control, de la misma manera los pines negativos de los LEDs es decir los datos, se encuentran cortocircuitados pero en columnas para ser multiplexados y enviados a la placa de control.

Para la comunicación con la placa de control se cuenta con conectores tipo SIL machos tanto para la alimentación de voltajes como para el control de brillo, estos conectores se encuentran perfectamente alineados con la placa de control de tal manera que al unirlos forman un solo componente.

La Figura 3.19 se muestra en el ANEXO 7 el diseño realizado en ARES tomando las mismas consideraciones de diseño que en la placa de control.

De igual manera que la placa de control se puede generar una visualización en 3D de como quedaría la placa implementada. La Figura. 3.20, 3.21 y 3.22 se muestran en el ANEXO 8 el modelamiento 3D de la placa de la pantalla finalizada.

### **3.1.7 Memoria EEPROM 24LC512**

Este tipo de memorias son programables y borrables eléctricamente son desarrolladas para aplicaciones avanzadas de adquisición de datos, tiene una capacidad de 128 bytes de datos de escritura, la lectura de los datos puede ser aleatoria. Entradas del trigger de Schmitt para disminuir el ruido. Puede guardar los datos por más de 200 años.

La implementación de esta memoria es opcional para futuras implementaciones dependiendo la necesidad de memoria del proyecto.

#### **1. Características Principales**

Dentro de las características principales es por un bajo consumo de potencia, la lectura y escritura de tiene 10000000 de ciclos, cuenta con protección para descargas

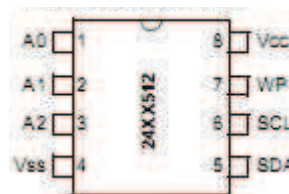
mayores a 4000V, comunicación por I2C compatible con una interfaz de bus serie de 2 hilos. A continuación se presenta la Tabla. 3.5 con las principales características eléctricas de la memoria:

**Tabla. 3.5. Característica Eléctricas**

Característica	Valores	Condiciones
Vcc	2.5V a 5.5V	
Máxima entrada de Voltaje	0.7*Vcc	
Mínima entrada de Voltaje	0.3*Vcc	Vcc ≥ 2.5V
Mínima salida de Voltaje	0.4V	Vcc= 4.5V y IOL = 3 mA
Icc de Lectura	400uA	Vcc=5.5V,SCL= 400kHz
Icc de Escritura	5mA	Vcc= 5.5V
Frecuencia de Reloj	400 kHz	2.5V ≤ Vcc < 5.5V

## 2. Descripción de Pines

Los pines de entrada y salida de datos de la Memoria EEPROM 24LC512, se muestran en la Figura. 3.23.



**Figura. 3. 23. Diagrama de Pines**

Entradas A0, A1, A2, se utiliza para direccionamiento del bus, se debe poner entradas lógicas de “0” y “1”, si la memoria va a ser conectada a un microcontrolador se debe inicializar la operación con valores asignados en estas entradas para su correcto funcionamiento.

Serial ATA (SDA), este pin es bidireccional, existe entrada y salida de datos de la memoria, se lo utiliza para transferencia de datos, para que esto suceda el SCL debe estar en bajo. Se requiere una resistencia de 2k para 400kHz.

Reloj Serial (SCL), se lo utiliza para sincronizar los datos de transferencia de entrada o salida del dispositivo.

Protección de Escritura (WP), se lo utiliza para proteger la lectura que se realiza en la memoria, mientras que limita las operaciones de escritura.

### 3. Esquema de conexión Memoria

Se esquematiza dos formas de como se puede grabar una memoria EEPROM. La primera es mediante un quemador de microcontroladores PICKIT 2 como se muestra en la Figura 3.24.

La segunda es conectada a un microcontrolador que le enviara los datos que serán grabados en la memoria como se muestra en la Figura 3.25.

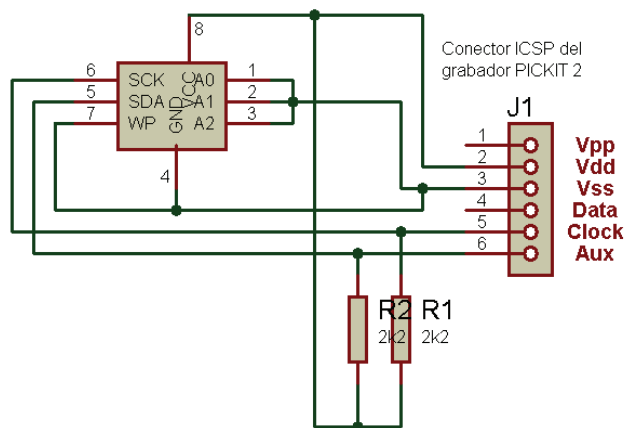


Figura. 3.24. Conexión para Grabar con PICKIT v2

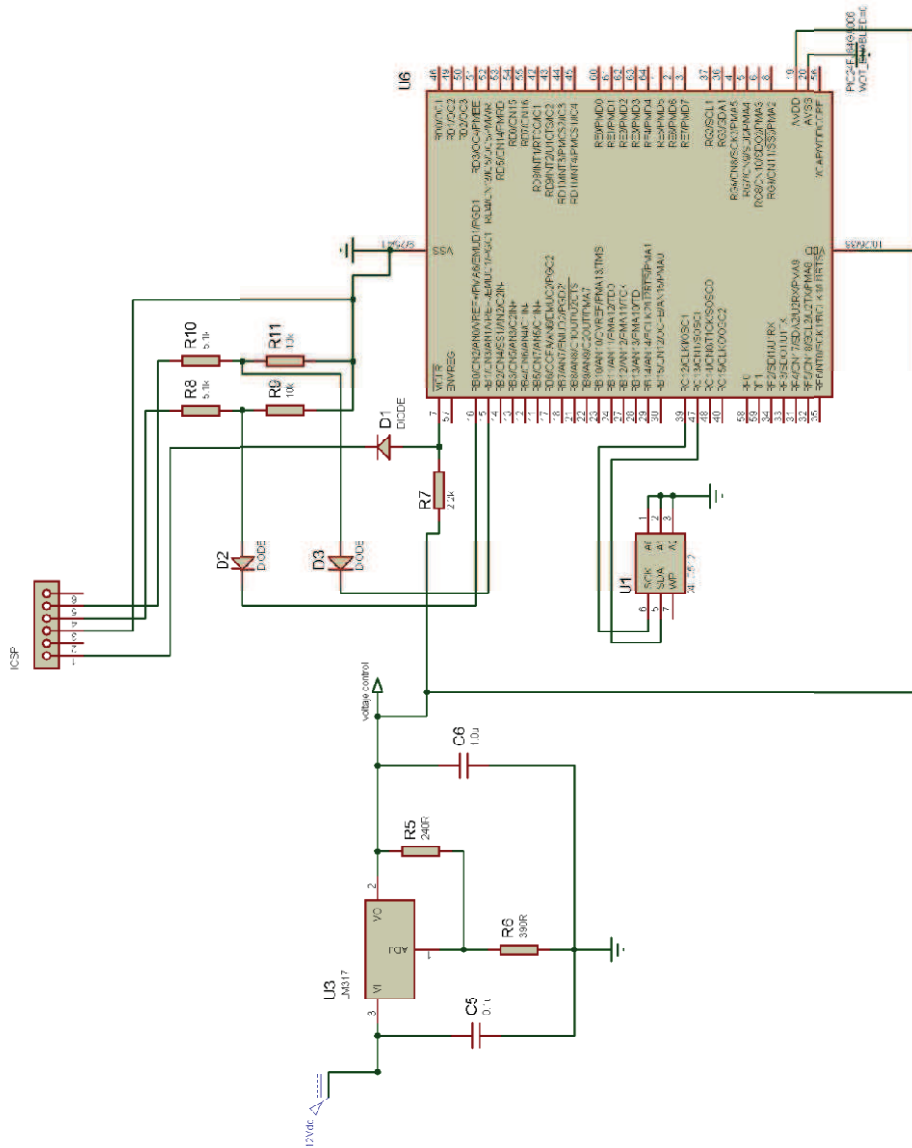


Figura. 3. 25. Conexión Grabar con microcontrolador

### 3.2 DISEÑO DEL SOFTWARE

El diseño del software del prototipo de pantalla LED está dividido en dos partes, primero el diseño del firmware del microcontrolador encargado de presentar la imagen en la pantalla, segundo el diseño de la interface en JAVA encargada de configurar la pantalla y de enviar la información de los datos a presentar.

### 3.2.1 Diagrama de Flujo del programa del PIC

El microcontrolador se encarga de realizar varias tareas para la presentación final de los colores en la pantalla, para esto su firmware contiene la información de las secuencias que debe realizar mediante sus puertos de entrada y salida después de haber realizado su respectivo procesamiento.

Un diagrama de flujo explica de manera general las acciones que el microcontrolador debe realizar para después fácilmente traducirlo a lenguaje de programación que el microcontrolador entiende. A continuación la rutina como se muestra en la Figura. 3.26.

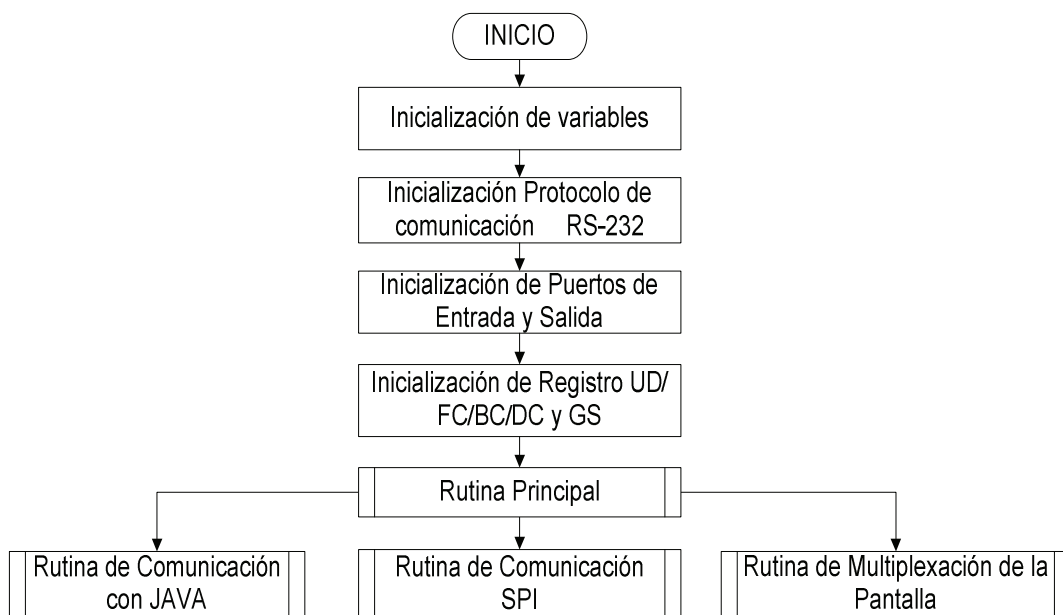


Figura. 3.26. Diagrama de Flujo Rutina Principal

### 3.2.2 Algoritmo del programa

Para la programación del microcontrolador actualmente se disponen de varios lenguajes de programación mediante los cuales se tiene acceso a la amplia variedad de instrucciones que vienen incorporadas en el microcontrolador. En este caso se usó Lenguaje C ya que es una manera fácil y rápida de elaborar un programa en alto nivel,



que a través de su compilador transforma a lenguaje de bajo nivel hasta llegar a lenguaje de máquina entendido por el microcontrolador.

La herramienta PICC versión 4.114 ha sido utilizada para la programación brindándonos todos los beneficios del lenguaje C además tiene compatibilidad con los Microcontroladores de la familia 24F que versiones anteriores no disponían.

### 3.2.2.1 Algoritmos de comunicación SPI

La comunicación SPI es el intercambio de información digital entre el microcontrolador y los periféricos que en este caso son los TLC5951.

Como se explicó en el anterior capítulo los drivers TLC5951 poseen una memoria de datos DC/BC/FC/UD de 216 bits y están distribuidos de la siguiente manera:

- Corrección de punto DC ajusta la corriente analógica de cada LED, son 24 canales de 7 bits, con 128 pasos de regulación de corriente analógica. Bits del 0- 167 bits.
- Control de Brillo BC regula la corriente analógica pero de cada grupo, es decir, del grupo de rojos, verdes y azules, son 3 canales de 8 bits. Bit 168-191.
- Función de control FC son 7 bits, cada bit controla una función, en el registro de desplazamiento. Bit 192-198.
- UD son bits definidos por el usuario, son los 17 bits más significativos del registro, en el registro de desplazamiento. Bit 199-215.

Para configurar este registro se usa un puerto SPI dedicado en el microcontrolador y será usado en los casos que se desee cambiar el registro de control de los driver PWM.

El algoritmo que se sigue para la escritura del registro de control se basa en enviar los 216 bits ordenadamente según lo que se requiera desde la interfaz. Cuando se reciben los datos que se desean escribir, en una subrutina se los ordena y se los adjunta a un vector que contiene la información volátil del registro de control.

### Rutina de Comunicación SPI

El registro GS de igual manera se escribe por SPI, son 24 canales de 12 bits para configurar todos los canales PWM de salida, dando un total de 288 bits. De igual manera al recibir nuevos datos de la interface se ordenan y adjuntan a un vector que tienen información de la escala de grises. En la Figura. 3.27 se muestra la rutina de comunicación SPI.

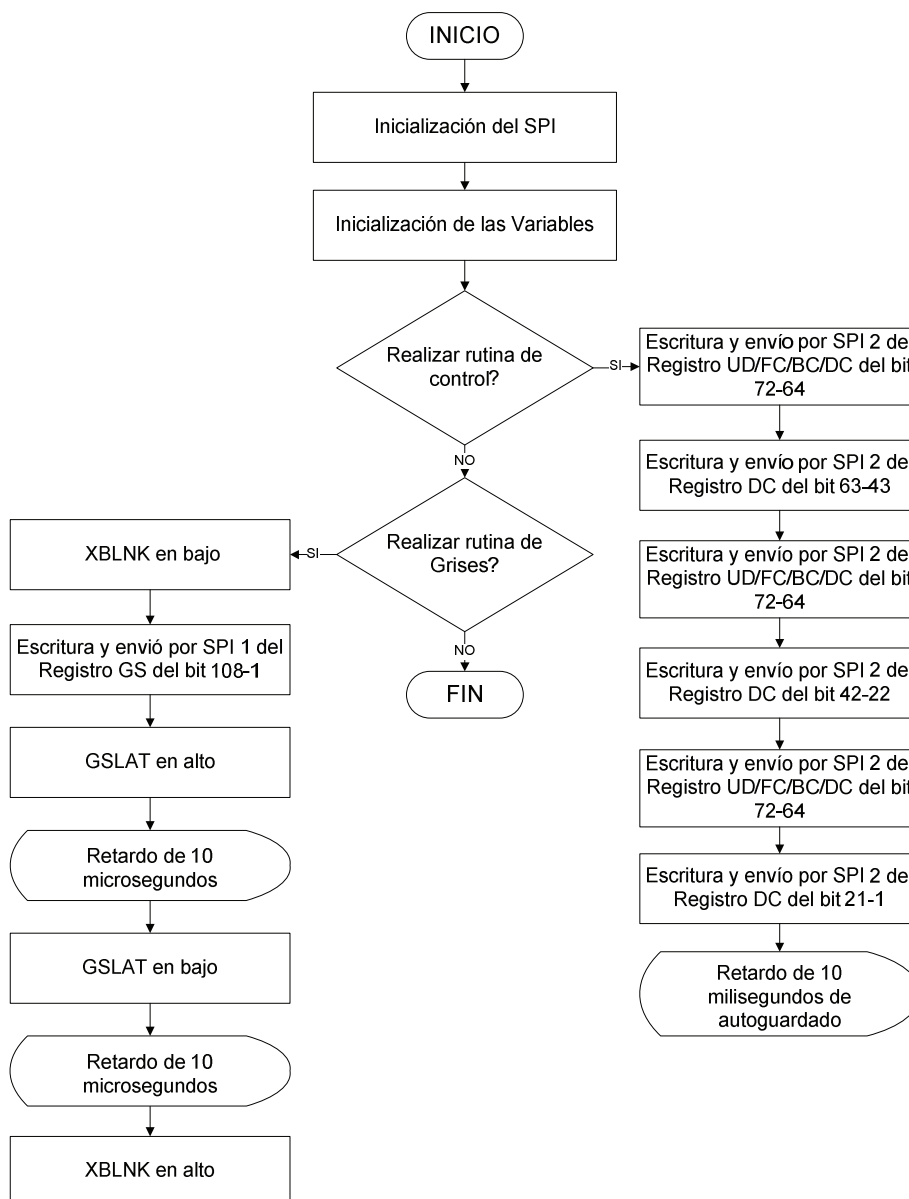


Figura. 3.27. Rutina de Comunicación SPI

### 3.2.2.2 Algoritmo de comunicación con JAVA

La comunicación con JAVA se realiza mediante comunicación serial RS-232, que envía y recibe bytes de información en forma serial.

#### Rutina de Comunicación con JAVA

Se debe configurar al microcontrolador y al programa en JAVA, con los siguientes parámetros:

- Velocidad de transmisión: Es el número de bits por segundo que se transfiere, y se los mide en baudios, para este caso se usó 38400 bps, para que la transferencia de datos sea aproxime al tiempo real.
- Bits de Datos: Se refiere a la cantidad de bits que se envía en un paquete, para este caso se usó 8 bits, que normalmente es utilizado por el protocolo.
- Bits de parada: Este bit se lo utiliza para identificar el fin de la comunicación de un solo paquete, en este caso se utilizó 1.
- Paridad: Es para identificar si existe errores en la transmisión serial, en este caso no existe paridad.

Los parámetros explicados anteriormente deben ser los mismos para el microcontrolador y el programa en JAVA para que la comunicación tenga éxito.

El algoritmo implementado en el microcontrolador es el siguiente, como se muestra en la Figura. 3.28.

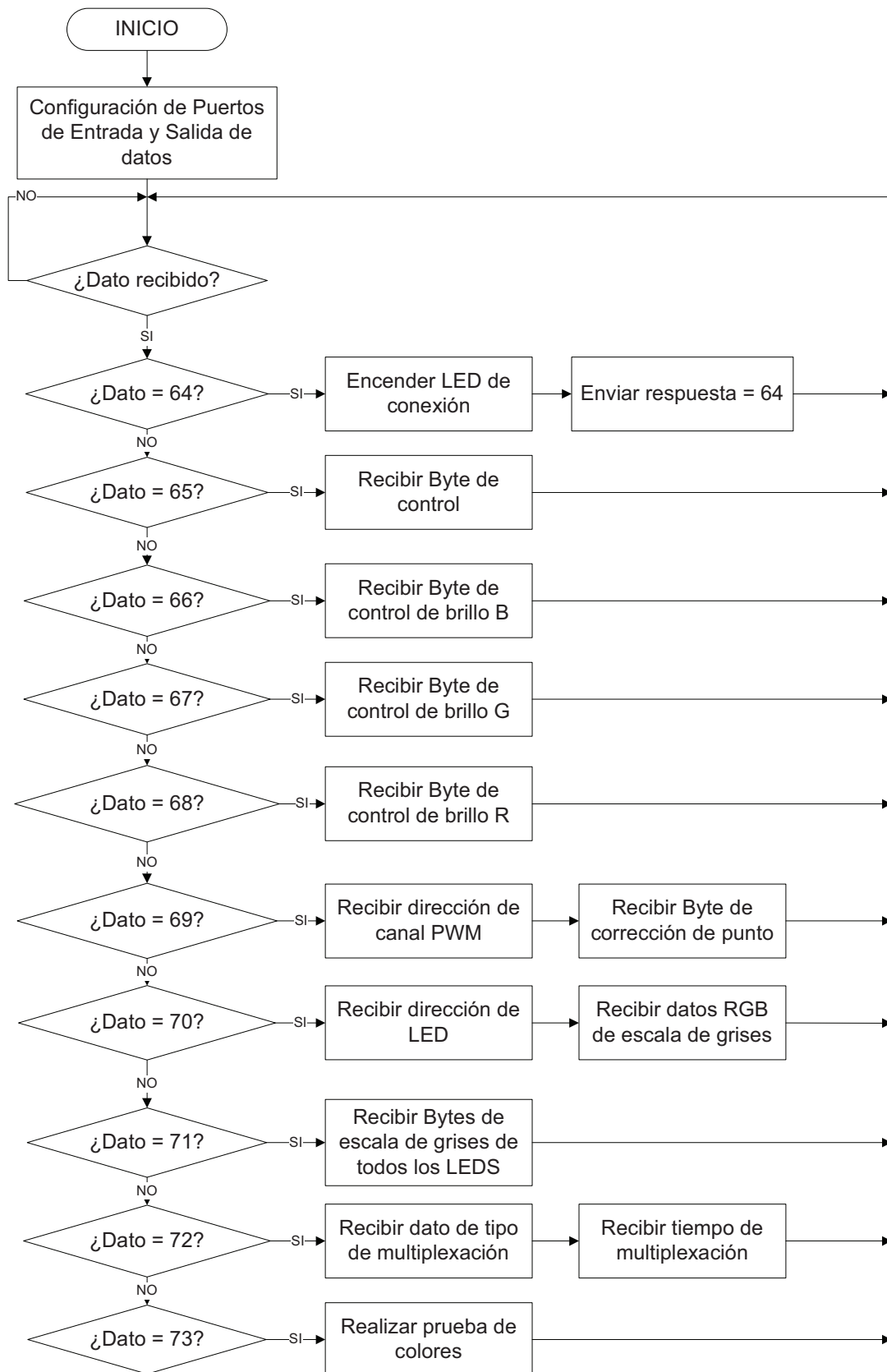


Figura. 3.28. Rutina de Comunicación JAVA

### 3.2.2.3 Algoritmo de multiplexación de la pantalla

La multiplexación se la realiza para operar matrices de LEDS, ya que las líneas de control serian insuficientes si se manejara cada LED individualmente. Es por eso que se utiliza el multiplexado de las filas o columnas para optimizar recursos y hacer más eficaz el manejo de los LEDS, además que el control de los LED se puede realizar individualmente mediante esta técnica.

Para este caso en particular se realizó la multiplexación de las filas, esto quiere decir que cada fila será energizada por un instante de tiempo, los LEDS deseados son encendidos de acuerdo a los datos que se quieran mostrar, para esto se alimentan las columnas respectivas.

#### Rutina de Multiplexación de la Pantalla

El proceso de multiplexación de filas también es llamado barrido vertical o frecuencia de refresco vertical que es la que se encarga de ver en un segundo el número de veces que se dibuja una fila.

A continuación se presenta la Figura. 3.29 que nos explica con mayor facilidad que algoritmo se utilizó para realizar la multiplexación de las filas en el módulo:

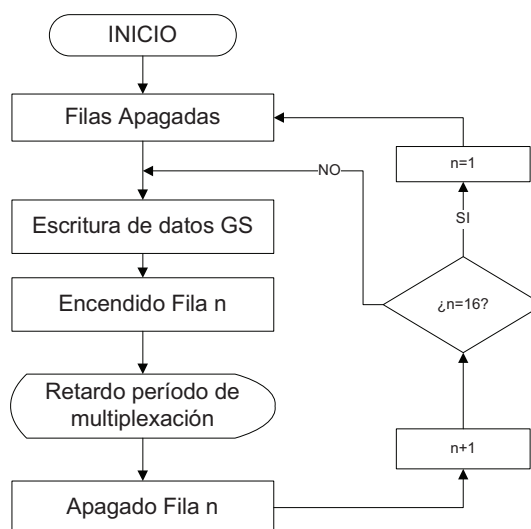


Figura. 3.29. Rutina de Multiplexación

### 3.2.3 Diagrama de Flujo de la Interface en JAVA

La interface en java se encarga de realizar las tareas de enviar y configurar los datos e información para presentar en la pantalla, para esto el lenguaje de programación que se utilizó es orientado a objetos, lo que permite realizar las secuencias requeridas con mayor facilidad para evitar procesamientos innecesarios al microcontrolador.

El diagrama de flujo nos permite tener una mejor comprensión de las rutinas, secuencias que se realiza en la interface, para después traducirlo de una manera más fácil al lenguaje de programación en Java. A continuación la rutina de la interface que se muestra en la Figura. 3.30.

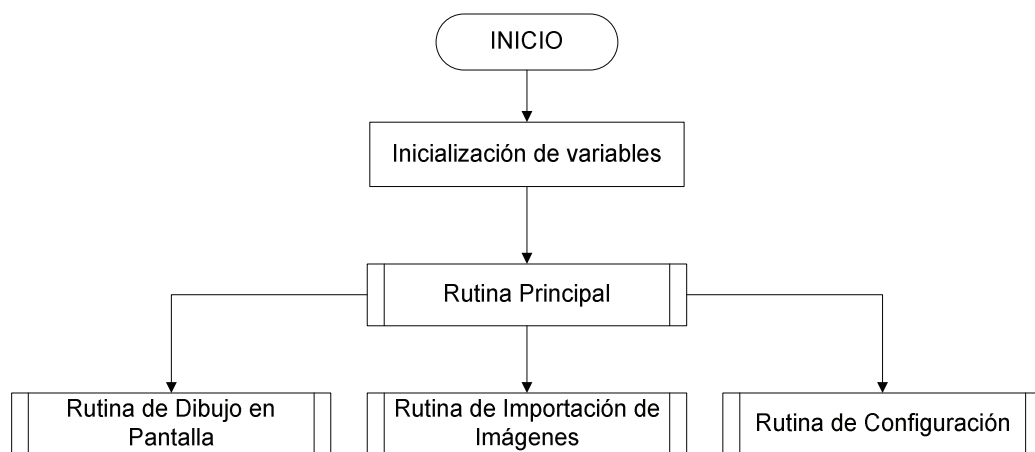


Figura. 3.30. Algoritmo de Interfaz en Java

### 3.2.4 Algoritmo del programa de la Interfaz en JAVA

Para la programación de la Interfaz actualmente se disponen de varios lenguajes de programación mediante los cuales se tiene acceso a la amplia variedad de instrucciones que vienen incorporadas en las librerías del software a utilizar. En este caso se usó Lenguaje Java orientado a objetos, ya que es una manera más fácil y rápida de elaborara un programa de alto nivel, que a través del “*Java Development Kit*” Equipo de desarrollo de Java, transforma a lenguaje de bajo nivel hasta llegar a lenguaje de máquina entendido por el microprocesador de la computadora.

La herramienta que se utilizó para la programación es “*NetBeans*” versión 7 con un JDK versión 1.6, brindándonos todos los beneficios del lenguaje.

#### **3.2.4.1 Algoritmo general de colores**

Para poder generar los colores que se enviarán a los LEDS, se ha realizado un algoritmo que genera una paleta de colores basada en los colores primarios rojo, verde y azul y sus diferentes tonalidades de escala de grises.

La paleta de colores está formada por una matriz de pixeles los cuales obedecen a un patrón definido de la siguiente manera.

- El eje horizontal de la matriz se divide en tres secciones las cuales prevalecen los colores primarios, sobreponiéndose en los extremos de cada una de manera lineal.
- El eje vertical de la matriz se divide en dos partes añadiendo brillo en la parte inferior para lograr colores blancos e inversamente en la parte superior para lograr el color negro.

A continuación se presenta la Figura. 3.31 el algoritmo que se implementó para la generación de la gama de colores:

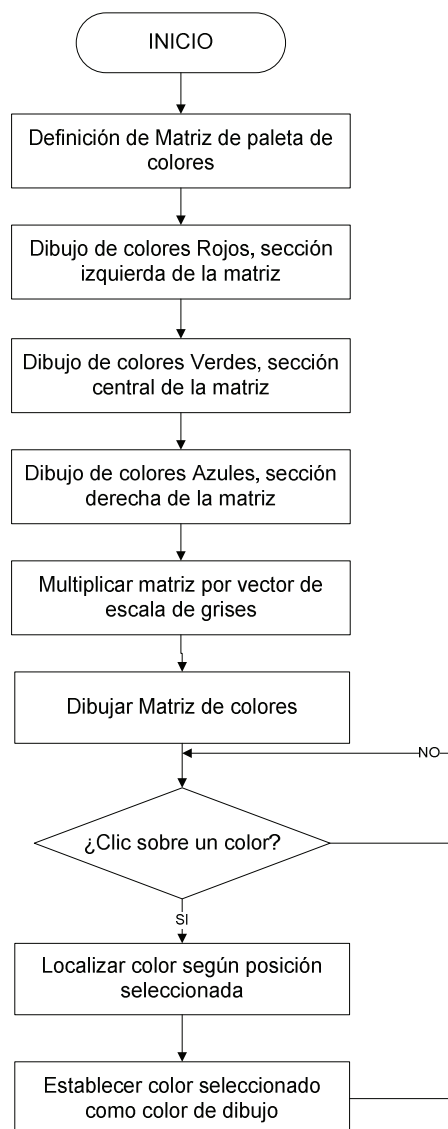


Figura. 3.31. Algoritmo de Colores

### 3.2.4.2 Algoritmo de Dibujo

Para realizar pruebas de colores en la pantalla se tiene la posibilidad de dibujar cada pixel con diferentes colores, el dibujo se realiza seleccionando un color y pintando pixel a pixel la pantalla según como se desee.



## Rutina de Dibujo en la Pantalla

Para dibujar sobre la pantalla física se cuenta con una pantalla virtual donde se aprecia claramente cada pixel. El algoritmo de dibujo de la pantalla engloba la creación de una pantalla virtual, el dibujo de los colores sobre los pixeles y el envío de los datos por el puerto serial.

A continuación se presenta la Figura. 3.32 el algoritmo que se implementó para el dibujo.

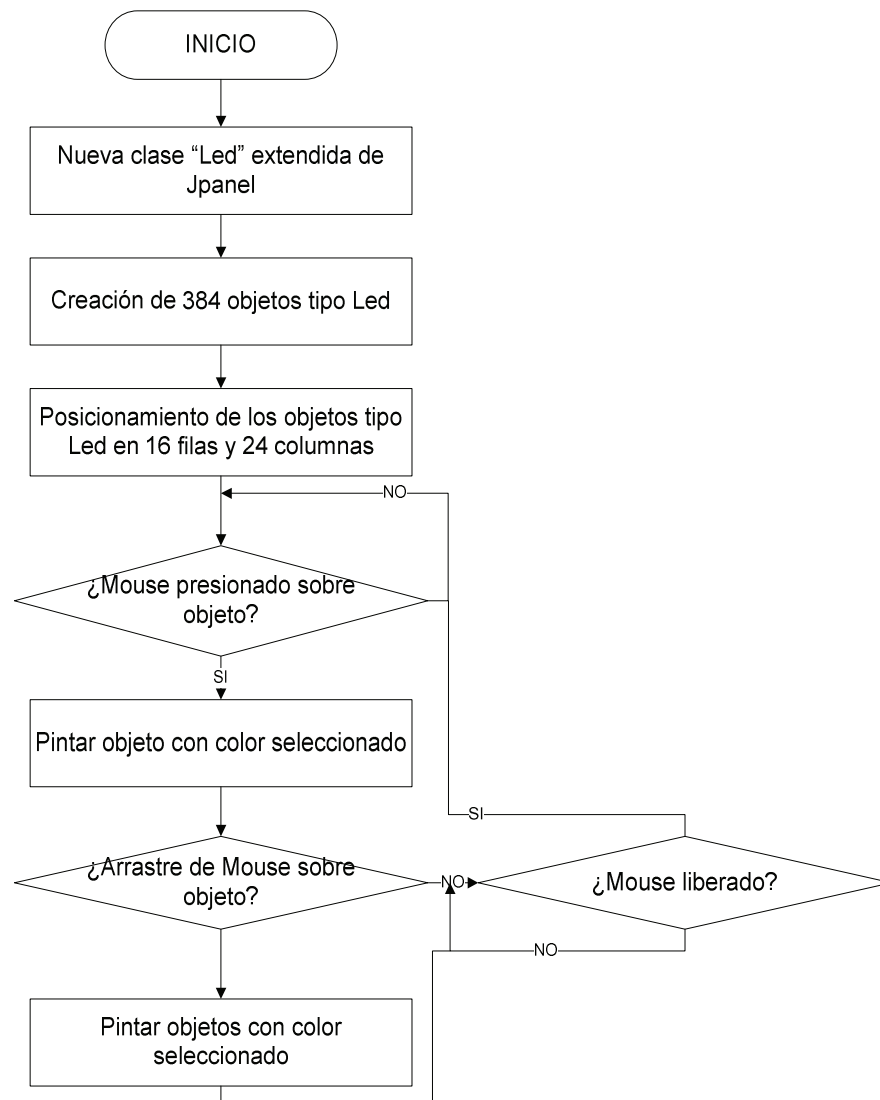


Figura. 3.32. Algoritmo de Dibujo

### 3.2.4.3 Algoritmo de Importación de imágenes

Para realizar la importación de imágenes en la pantalla se debe seleccionar una imagen del disco duro, después se realiza el redimensionamiento para que pueda ser presentada en el panel de muestra y de zoom.

#### Rutina de Importación de Imágenes

El algoritmo de importación de imágenes cuenta un cursor para seleccionar una sección de la imagen que va a ser presentada en la pantalla virtual y posteriormente se envía los datos por el puerto serial hacia la pantalla física.

A continuación se presenta la Figura. 3.33 el algoritmo que se implementó para la importación de imágenes.

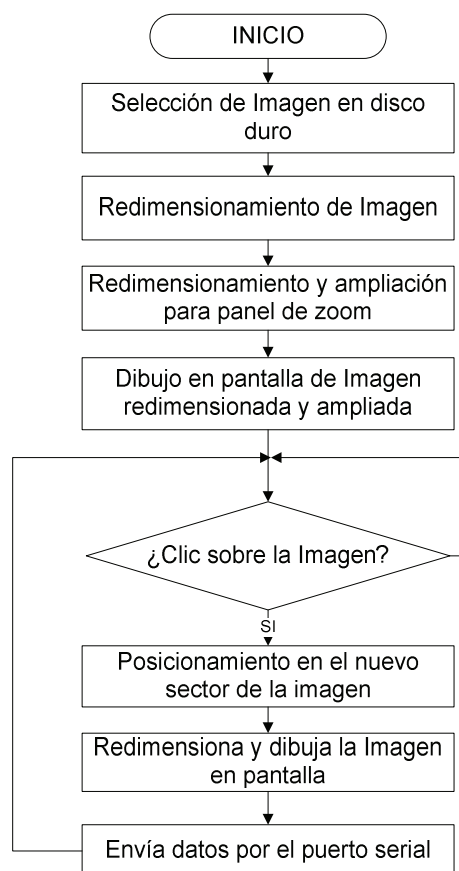


Figura. 3.33. Algoritmo de Importación de Imágenes

#### **3.2.4.4 Algoritmo de comunicación hacia el PIC**

La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante comunicación serial RS-232, que envía y recibe bytes de información en forma serial. La interface cuenta con un menú de configuración de prueba de conexión, selección de puerto serial, control de brillo, selección de canal PWM, tipo y periodo de multiplexación.

#### **Rutina de Configuración**

Los parámetros de comunicación serial como son velocidad de transmisión, bits de datos, bit de parada y paridad, deben ser los mismos para el microcontrolador y el programa en JAVA para que la comunicación tenga éxito.

El algoritmo implementado en la interface en JAVA se muestra en la Figura. 3.34.

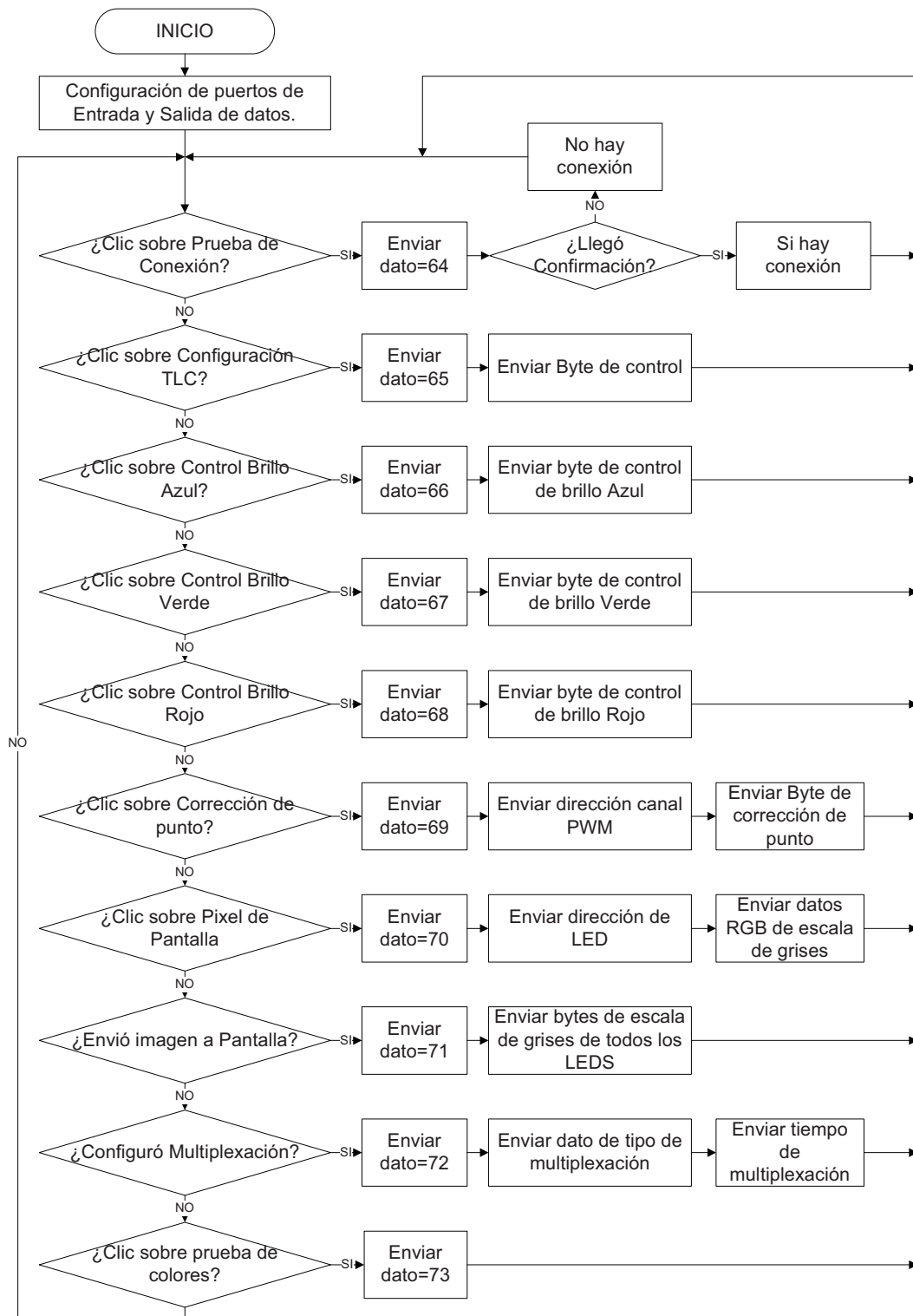


Figura. 3.34. Rutina de Configuración

### 3.3 Esquematación de Pantalla Gigantes tipo LED

La esquematización de la pantalla gigante para exteriores tipo LED, se compone de dos partes Hardware y Software.

- Hardware, describe la relación que existe entre las entradas y salidas de datos, alimentación, comunicación y refrigeración.
- Software, realiza el algoritmo para mostrar una sola imagen en la pantalla a través de la unión de todos los gabinetes, se representa mediante un diagrama de flujo que explica el funcionamiento del programa del controlador central.

#### 3.3.1 Hardware de la Pantalla Gigante

El hardware que se especifica para pantallas gigantes de exteriores tipo LED, está compuesta de la unión de LEDS que forman módulos que a su vez crean gabinetes, como se muestra en la Figura. 3.35.



Figura. 3.35. Esquema de Pantalla gigante de exteriores tipo LED

A continuación se presentan los componentes que forman las pantallas gigantes para exteriores tipo LED:

## 1. Gabinetes forman Pantallas Gigantes

Las pantallas gigantes para Exteriores tipo LED tienen un diseño modular muy flexible, se encuentran formadas por la unión de varios gabinetes, como se muestra en la Figura 3.36. El número de gabinetes no tiene un estándar, se forma según el tamaño que se desea obtener, y que cumpla con el formato 4:3 o 16:9 que especifica el tipo de pantallas.

El tamaño de la pantalla gigante para exteriores tipo LED se elige en base a características importantes como la calidad que se desea obtener y la resolución de la imagen.

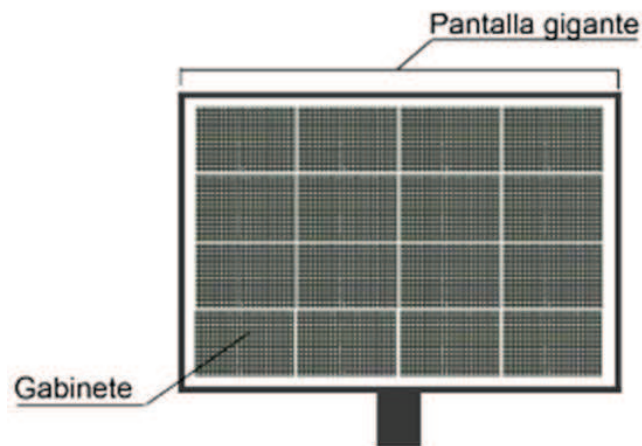


Figura. 3.36. Diseño de Pantalla gigante de Exteriores tipo LED

## 2. Estructura del Gabinete

La estructura externa del gabinete es metálica construida con un sistema de sellado que impide la entrada de polvo, lluvia y resistente al 100% a las inclemencias del tiempo, la parte interna del gabinete está compuesta por señales de entrada y salida de datos, sistema de refrigeración, alimentación y bus de datos para la comunicación entre los módulos, como se observa en la Figura. 3.37.

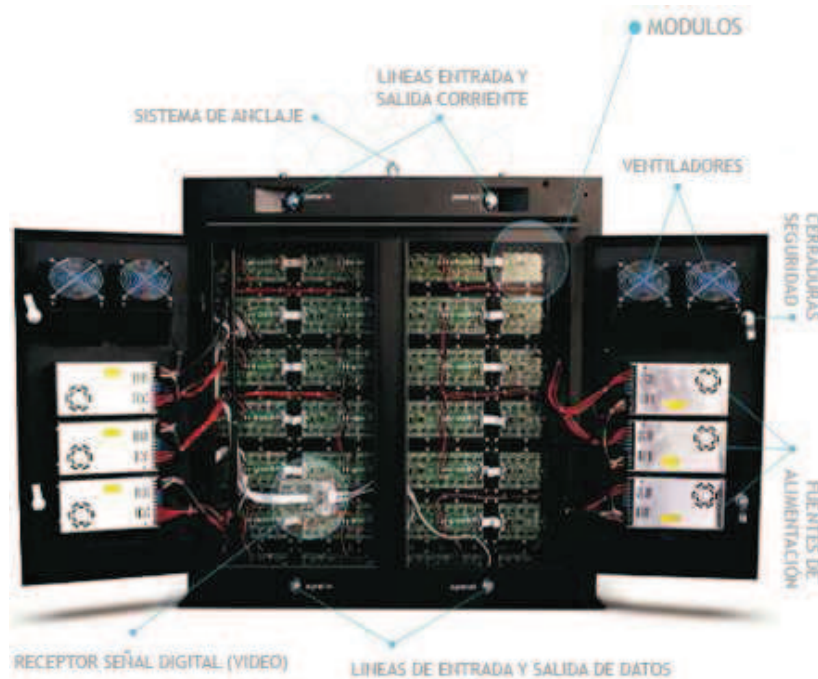
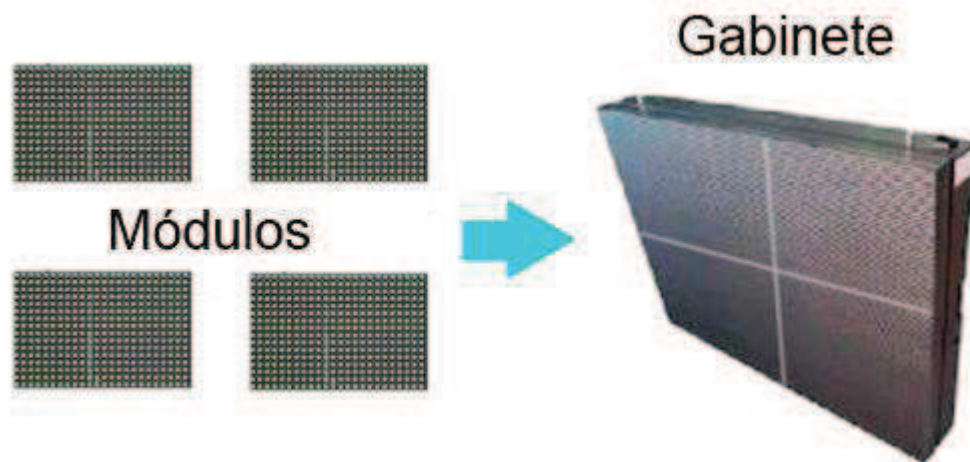


Figura. 3.37. Esquema de Gabinete

### 3. Módulos forman Gabinete

El número de módulos que conforman el gabinete no tiene un estándar, depende del tamaño, configuración y funcionalidad que vaya a tener la pantalla; como se muestra en la Figura 3.38. Los módulos deben ser un número par para construir los gabinetes. Para este proyecto se diseñó e implementó un módulo con una resolución de 24x16 pixeles con un pixel pitch de 7.7 mm.

Una vez que se realiza la construcción en línea de los módulos se los coloca dentro de marcos plásticos negros que los convierte en paneles que se pueden unir a cualquier cantidad o configuración para formar un gabinete. Al módulo se rocía un gel de silicona a prueba de agua entre los LEDS para sellarlos dentro de los paneles y para protegerlos de la lluvia y la intemperie.



**Figura. 3.38. Gabinete de Pantalla gigante de exteriores tipo LED**

#### **4. Alimentación de Módulos**

Para la alimentación de los módulos que componen un gabinete se usan fuentes de poder DC. Una fuente alimenta en paralelo a varios módulos. De acuerdo al diseño de hardware, cada módulo tiene un consumo máximo de 2 amperios y en cada gabinete se dispone de 16 módulos lo que nos da un consumo de 32 amperios DC por cada gabinete.

Una fuente de 32 amperios excedería en costos para la implementación de un gabinete por lo que se secciona la alimentación por filas, de esta manera se necesita 4 fuentes de alimentación de 120 vatios cada una.

Las fuentes de alimentación disponen de su propia ventilación y protecciones eléctricas ante cortocircuitos y sobrecargas, además disponen de un alto rango de voltaje de entrada que se encuentra entre los 110 a 220 Vac y una salida conmutada de 12Vdc. La Figura 3.39 muestra un ejemplo del tipo de fuentes a usar.





**Figura 3.39. Fuente de poder**

Dependiendo del número de módulos por gabinete que se use, se diseñará la alimentación de estos módulos considerando un máximo de 4 módulos por cada fuente.

Las fuentes de alimentación se colocan en las puertas de los gabinetes y se usa un cableado blindado hacia cada uno de los módulos, este cable tiene un calibre 16 AWG el cual evita el sobrecalentamiento del cable.

La Figura 3.40 muestra un diagrama de alimentación de los módulos para un gabinete de 16 módulos en un arreglo de 4 filas y 4 columnas.

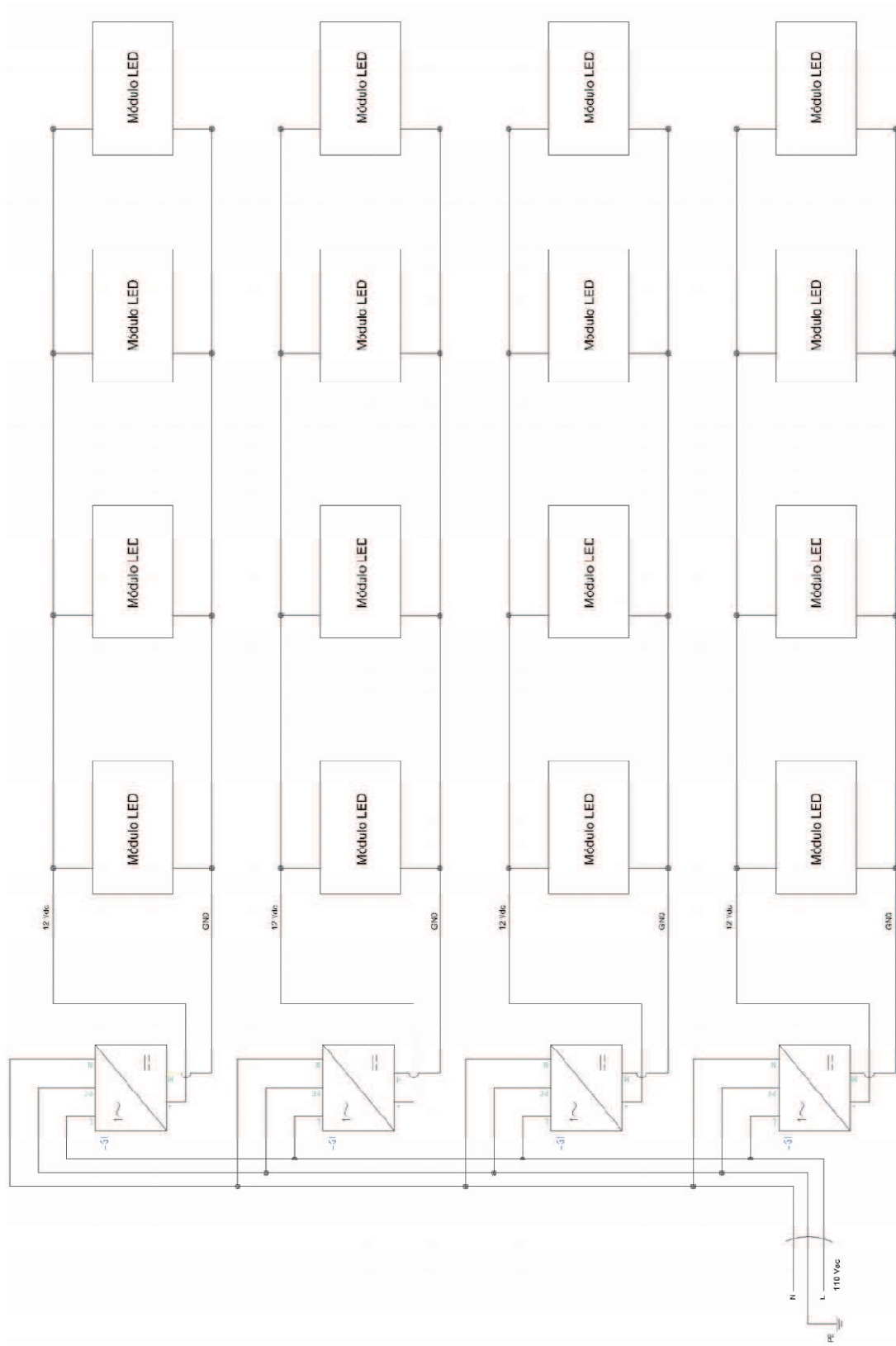


Figura 3.40. Diagrama de conexión de módulos

## 5. Comunicación de datos entre módulos

Para que el controlador principal del gabinete pueda enviar los datos hacia los módulos se necesita de un protocolo de comunicaciones que permita discriminar al módulo al que se le envía los datos, y así poder transmitir los datos a cada módulo que en conjunto forman una pantalla de mayor tamaño.

El protocolo de comunicaciones implementado en el prototipo de pantalla tipo LED es RS232, este protocolo es útil para la comunicación con un PC pero no muy aconsejable en protocolos punto-multipunto, para esto se puede aplicar un protocolo RS-485 que soporta la cualidad de punto-multipunto que en este caso es necesario para que el controlador central pueda enviar información a varios módulos.

Para la implementación de la comunicación en el Gabinete se debe usar un bus de comunicaciones tipo MULTIDROP el cual permite que el controlador central envíe los datos respectivos a cada módulo.

El bus de comunicaciones Multidropconecta a todos los dispositivos físicamente al mismo conjunto de cables eléctricos. Mediante un proceso de direccionamiento se determina cual de los dispositivos conectados al bus recibe los datos enviados por el dispositivo maestro.

En este caso se usará un protocolo RS-485 de 9 bits de datos, el noveno bit es el que determina si es un paquete de dirección o de datos, con esto cada módulo determina si le corresponden los datos para leerlos o solo para escucharlos.

Finalmente el controlador principal sería el encargado de enviar los datos a cada uno de los módulos enviando primero un dato que representa la dirección de un módulo y posteriormente se envía los datos a dicho módulo, de esta misma manera para todos los módulos que comprenden un gabinete.

La Figura 3.41 muestra la conexión que se implementa en un gabinete para la comunicación entre el controlador central y los módulos.

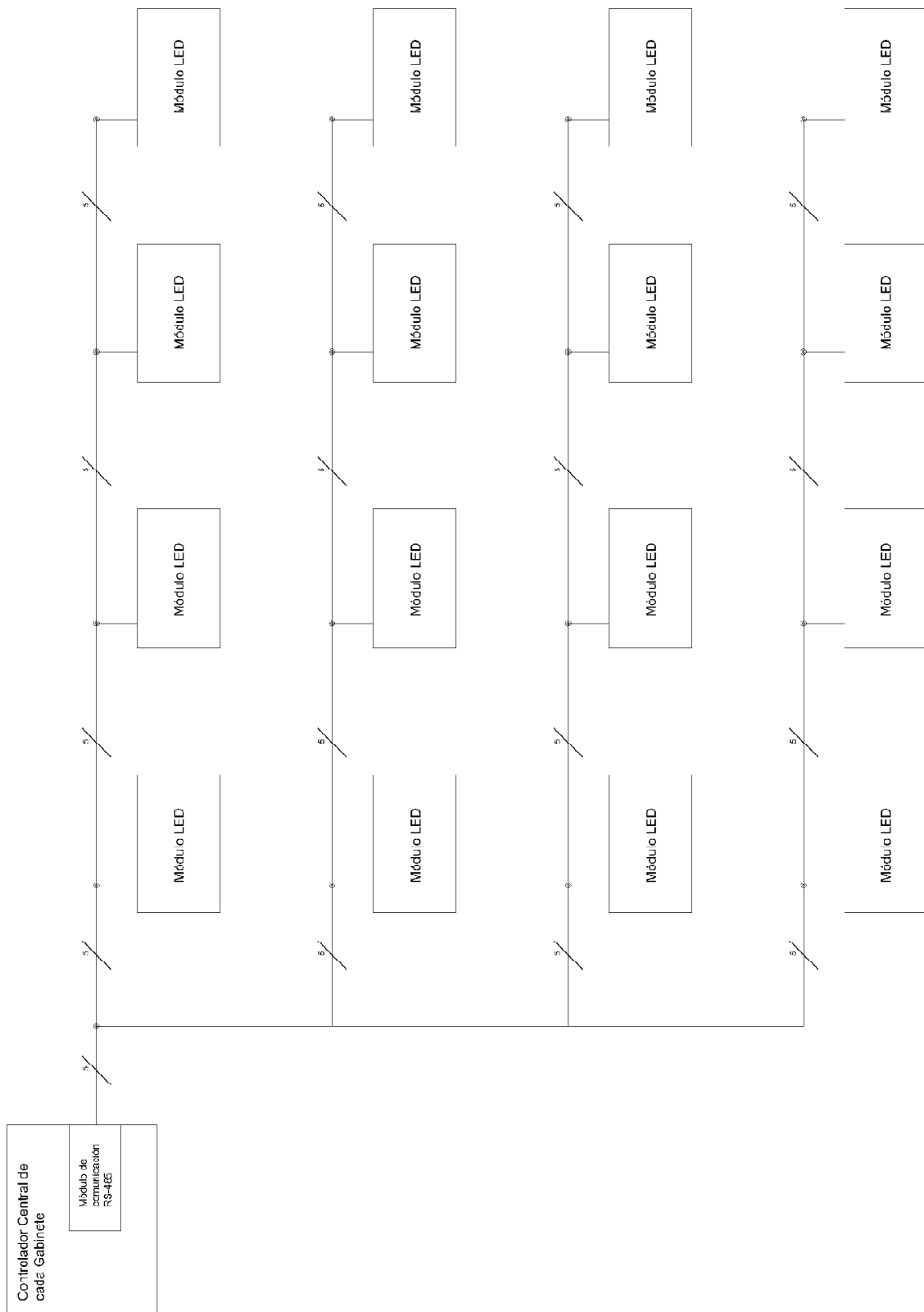


Figura 3.41. Diagrama de comunicación de módulos

## 6. Controlador Central

El controlador del gabinete incluye una fuente de información el software, un sistema de alimentación y la conversión de datos y los buses de datos conectados a todos los controladores de los módulos en una sola red y la señal numérica de transferencia en corriente de los LEDS. El controlador de la pantalla LED (Computador o servidor), ofrece una opción de ligar varios gabinetes en una red, para formar pantallas.

La información de las diferentes fuentes, ya sea señal de televisión estándar, cámara de video VCR, reproductor DVD, etc. Todas estas señales son transmitidas a los diferentes controladores de los gabinetes que conforman la pantalla gigante tipo LED, como se muestra en la Figura 3.43.

A continuación se presenta los controladores que se utilizan en el mercado para los gabinetes y sus diferentes características:

- **Controlador Crystal Pro.** Son robustos, ligeros, reproducen todo tipo de contenido, tiene conmutación programada, ajuste de imagen, calibración de color, asignación de salidas programadas por tiempos, efectos de transición y transmiten imagen y audio en un solo cable. Los módulos del gabinete no necesitan ser instalados en orden, el controlador las reconoce de manera automática. Actualización de firmware automática.
- **Controlador Control Sys.** Tiene sistema de gestión y control. Una de sus características más importante es que puedes dividir el gabinete en zonas para reproducir simultáneamente imagen y video en caso de ser necesario. Los contenidos son ordenados y estructurados en un formato de manera intuitiva, garantiza una reproducción continua y tiene múltiples programaciones.
- **Controlador XDR.** Obtiene un control absoluto sobre el gabinete, ya que consta de calibración inteligente de color, informe de estado continuo, reproduce múltiples formatos de video e imagen y programación personalizada.

## 7. Comunicación PC y Pantalla Gigante

Las formas de comunicación de las pantallas Gigantes tipo LED con la PC o servidor al que deben estar conectados son muy variadas, la conexión depende de tamaño de archivos a transmitir, calidad de la señal, distancia, entre otros factores. A continuación se presentan las principales conexiones que se pueden utilizar:

### a) Comunicación directa RS232 y RS485

El tipo de comunicación con RS232 se recomienda para pantallas que se encuentra a distancias de 30m a 1000m del computador o servidor. La ventaja de este tipo de comunicación es que es el más económico. Su conexión es la más simple como se muestra en la Figura. 3.42.

Este tipo de cableado también sirve para poner varios gabinetes en red, requerimientos de hardware convertidores RS485 para la PC y para cada gabinete, además solo necesitan un conector DB9 en la PC y en la pantalla.

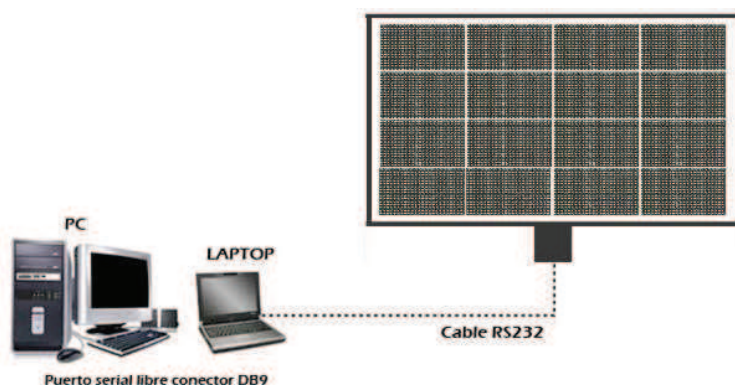


Figura. 3.42. Comunicación RS-232

### b) Comunicación vía fibra óptica

Este tipo de comunicación se recomienda para pantallas de exteriores que transmiten videos o mensajes donde el tipo de archivo a transmitir es muy grande, la distancia de comunicación es de hasta 3km. El costo de este tipo de cableado es muy elevado, pero tiene las ventajas de tener una comunicación rápida y segura.

Requerimientos de hardware convertidor de RS232 a fibra óptica y puertos seriales DB9 en la PC y la pantalla, como se muestra en la Figura 3.43.

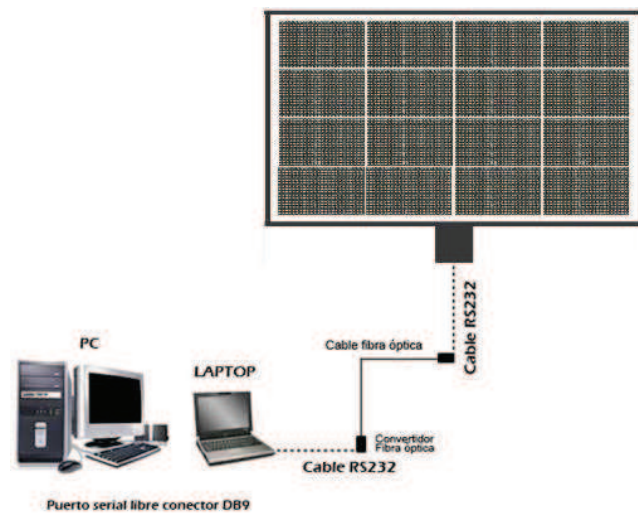


Figura. 3.43. Comunicación Fibra Óptica

### c) Comunicación MODEM Telefónico

Este tipo de comunicación es apta para pantallas de exteriores e interiores, una de las principales ventajas es que no hay problema de la distancia que tengan entre la Computadora o servidor y la pantalla como se muestra en la Figura 3.44. Pero se necesita de una red pública de telefonía que conecta el Modem.

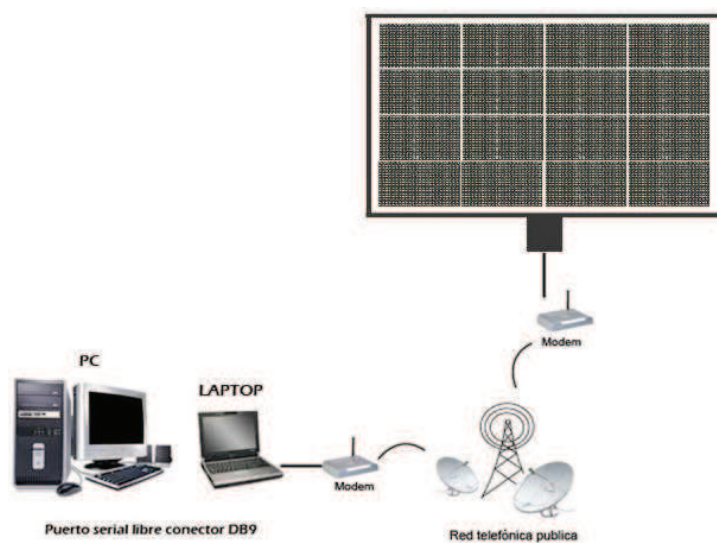


Figura. 3.44. Comunicación Modem Telefónico

#### d) Comunicación Radiofrecuencia (RF)

Este tipo de comunicación es recomendada para pantallas de interiores y exteriores pero de baja resolución, por que los archivos a transmitirse no deben ser muy pesados. La distancia no tiene un rango fijo porque debe tener una línea de vista sin obstáculos entre la PC o servidor y la pantalla. Beneficios es que este tipo de comunicación es económica. Requerimientos de hardware Modem RF como se muestra en la Figura. 3.45.

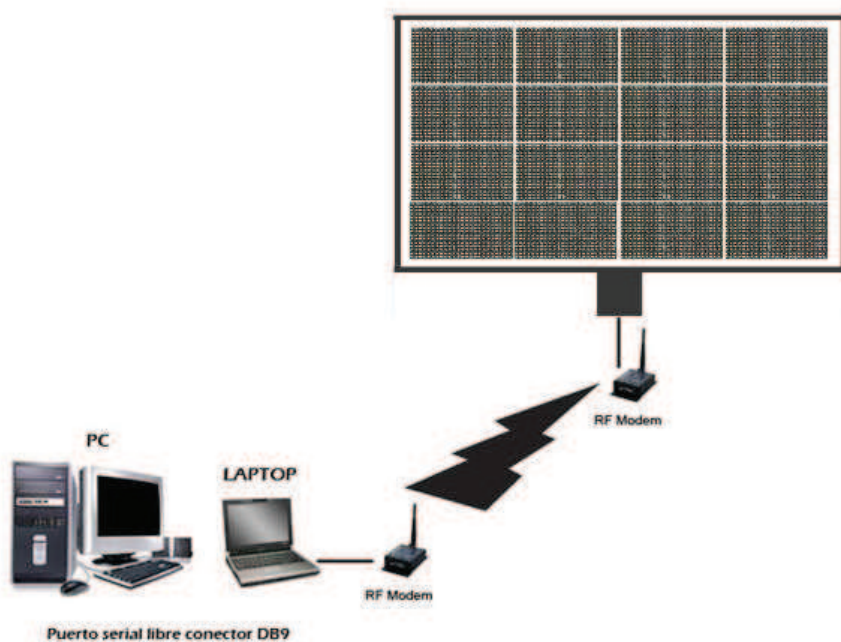


Figura. 3.45. Comunicación RF

#### 3.3.2 Software del Controlador Central de la Pantalla Gigante

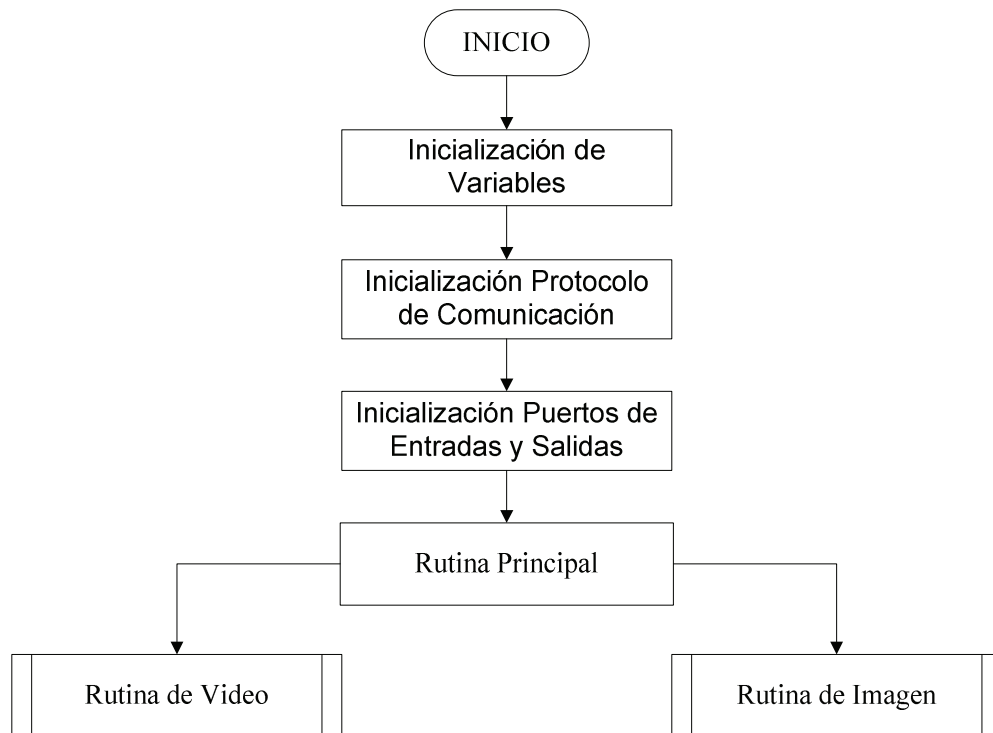
El software del gabinete para una pantalla gigante tipo LED consta de dos partes, el primero es el firmware del controlador y el segundo una interface en la PC para configurar a la pantalla.

La interface en la PC será el encargado de recibir de la tarjeta de video las diferentes señales que se debe transmitir, y va a colocar partes de la imagen simultánea y sincronizadamente, en el sector correspondiente de la pantalla mediante los buses de



datos a una alta velocidad que en la pantalla se visualizara como un video, imagen o mensaje.

Un diagrama de flujo, como se muestra en las Figuras 3.46, 3.47 y 3.48 explican de manera general las acciones que el controlador del gabinete debe realizar para mostrar una imagen o video.



**Figura. 3.46. Diagrama de Flujo Rutina Principal**

Para realizar los diagramas de flujo de las rutinas de video e imagen en el controlador, para este estudio se tomo en cuenta que 16 módulos forman un gabinete dando una resolución de 64x96 pixeles.

### **1. Rutina de Imagen**

Esta rutina tiene como entrada los pixeles de una imagen y como salida la presentación de la imagen multiplexada en la pantalla.

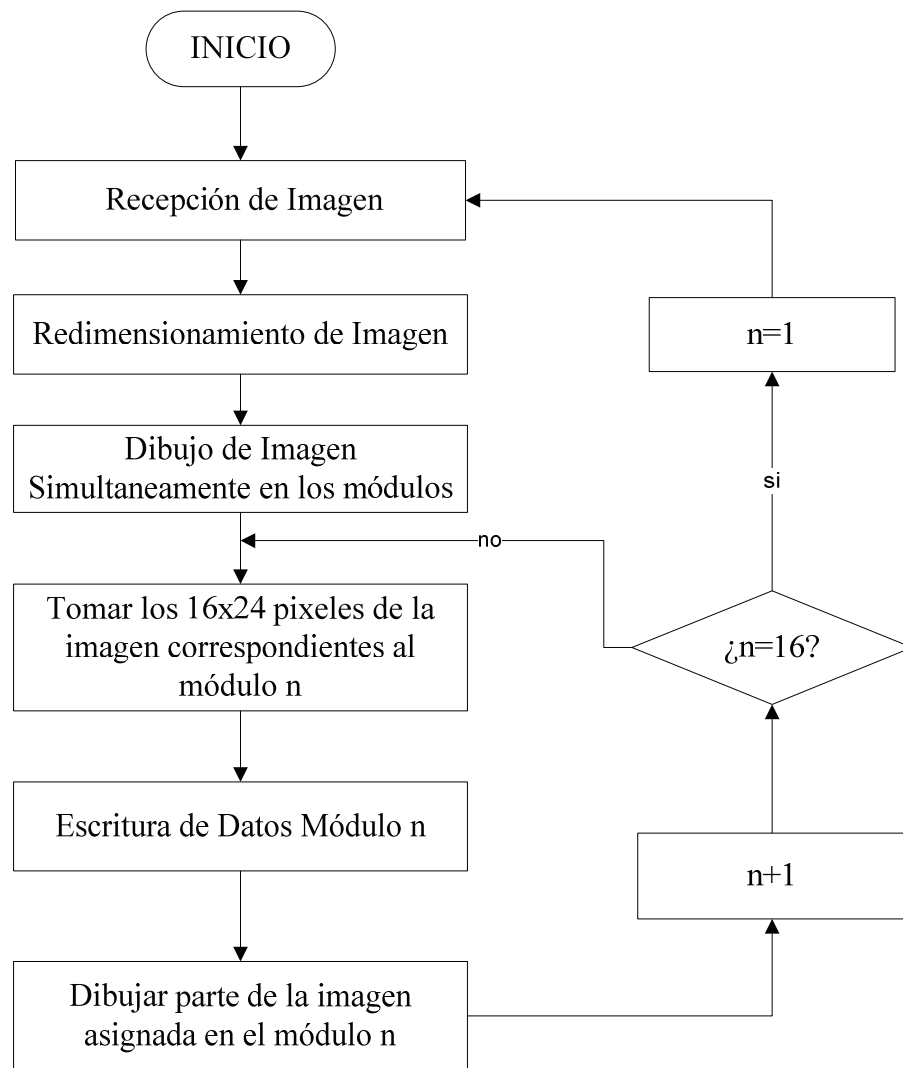


Figura. 3. 47. Rutina de Imagen

## 2. Rutina de Video

La rutina de Video tiene como entrada las imágenes secuenciales y como salida la presentación del video en la pantalla.

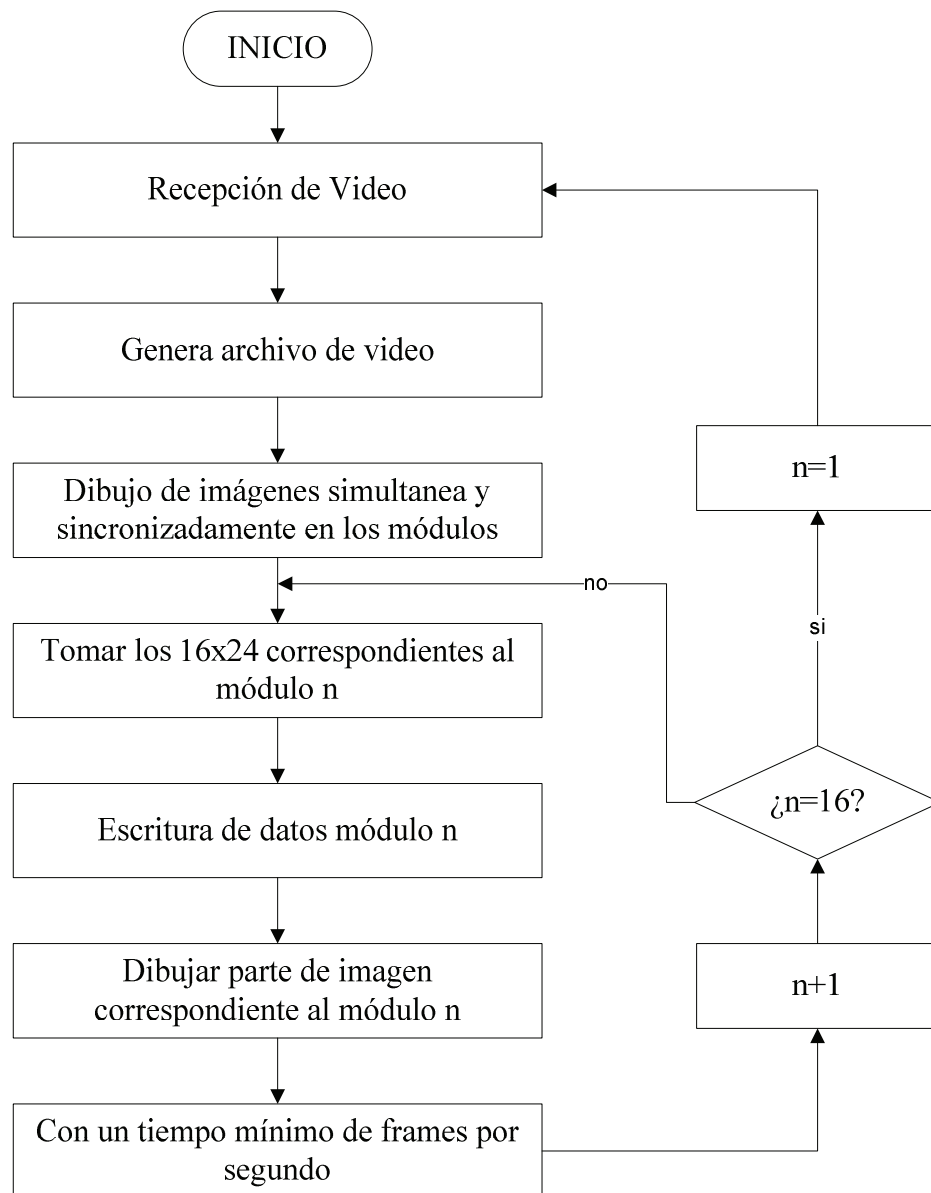


Figura. 3.48. Rutina de Video

Finalmente la Figura. 3.49 muestra en conjunto todos los componentes que conforman una pantalla gigante para exteriores tipo LED.

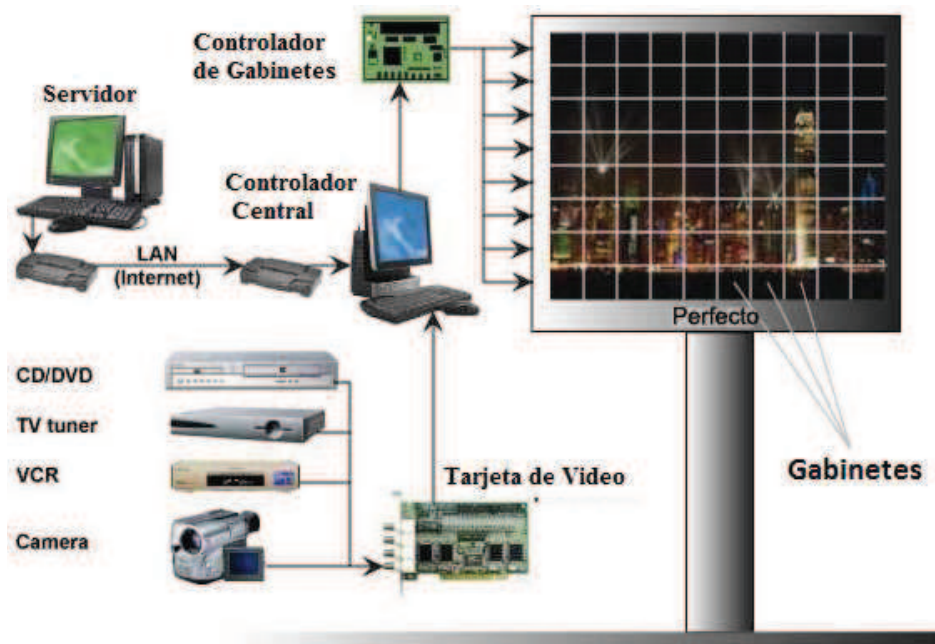


Figura. 3. 49. Diagrama de Controlador de la Pantalla

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

#### **4.1 Pruebas**

En el presente capítulo se quiere comprobar el correcto funcionamiento del proyecto, mediante pruebas que nos permitan detectar errores del sistema, para intervenir y realizar el mejoramiento en el diseño o implementación.

Una vez culminada la implementación es importante determinar la confiabilidad del sistema, para ello se realizará una prueba de funcionamiento de la pantalla y otra de dibujo de la interface que se presenta.

##### **4.1.1 Pruebas de funcionamiento de la pantalla**

Para establecer el correcto funcionamiento del módulo prototipo de pantalla LED se procedió a realizar las siguientes pruebas que mostraran la confiabilidad de la pantalla y el controlador para realizar las diferentes mezclas de colores.

Para realizar esta prueba se visualizará la pantalla completa pintada de color rojo, verde o azul, en sus diferentes escalas de grises y combinaciones posibles, como se muestran en las Figuras. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.

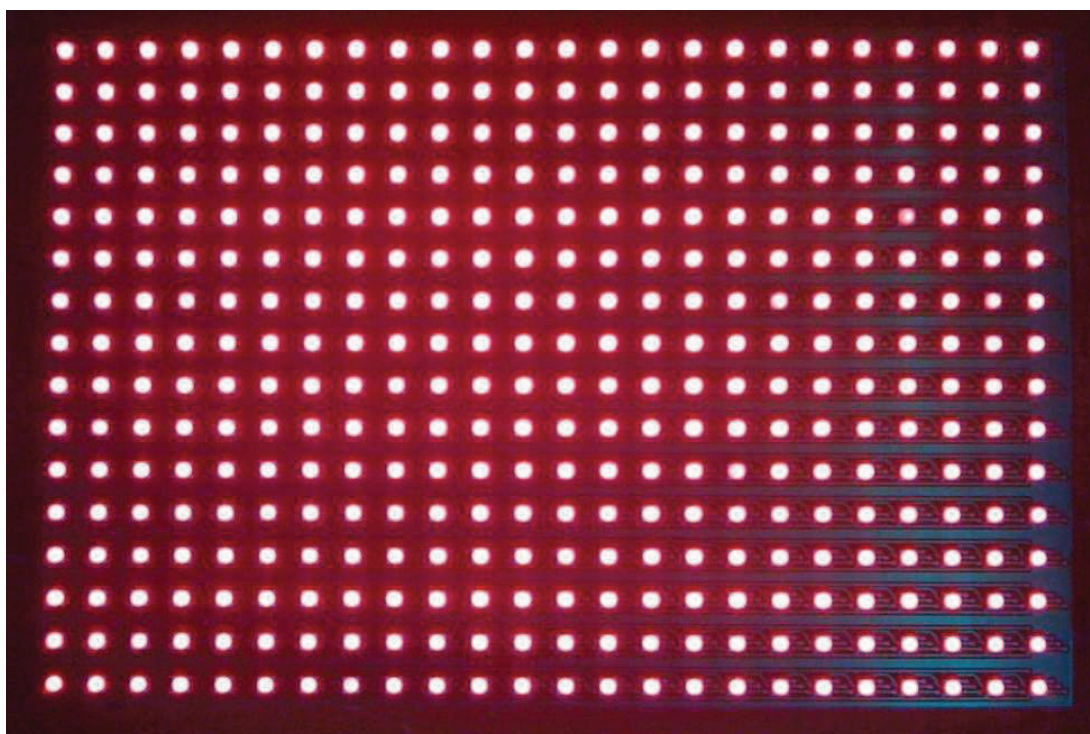


Figura. 4.1. Prueba de color rojo

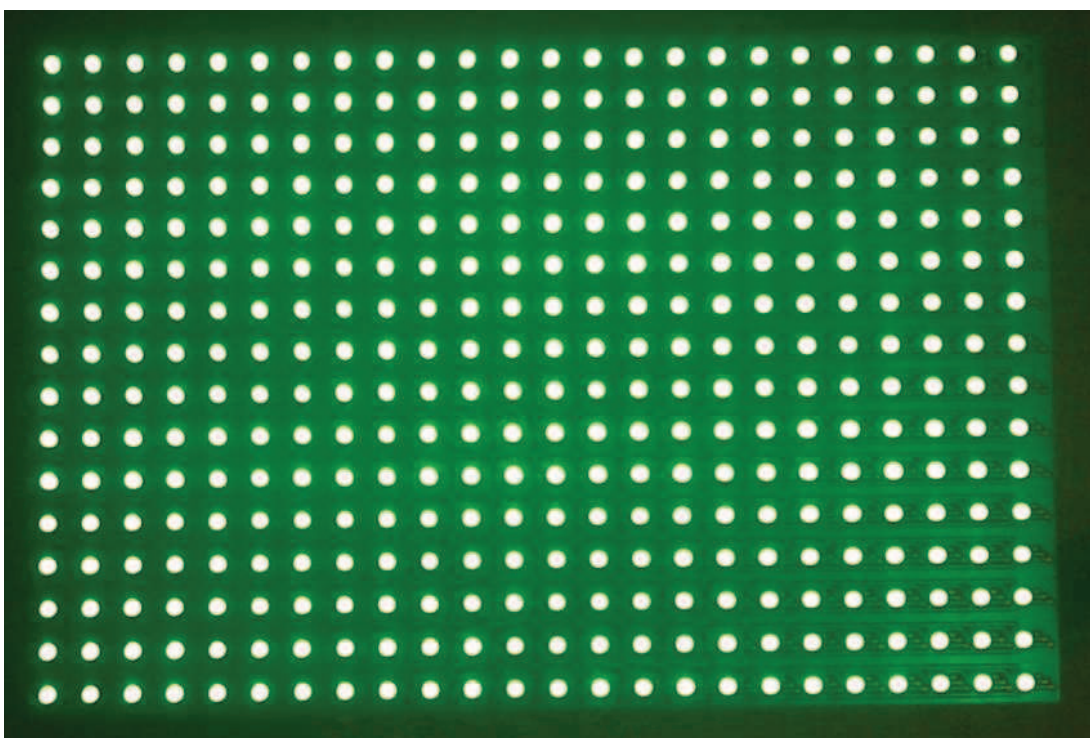


Figura. 4.2. Prueba de color Verde

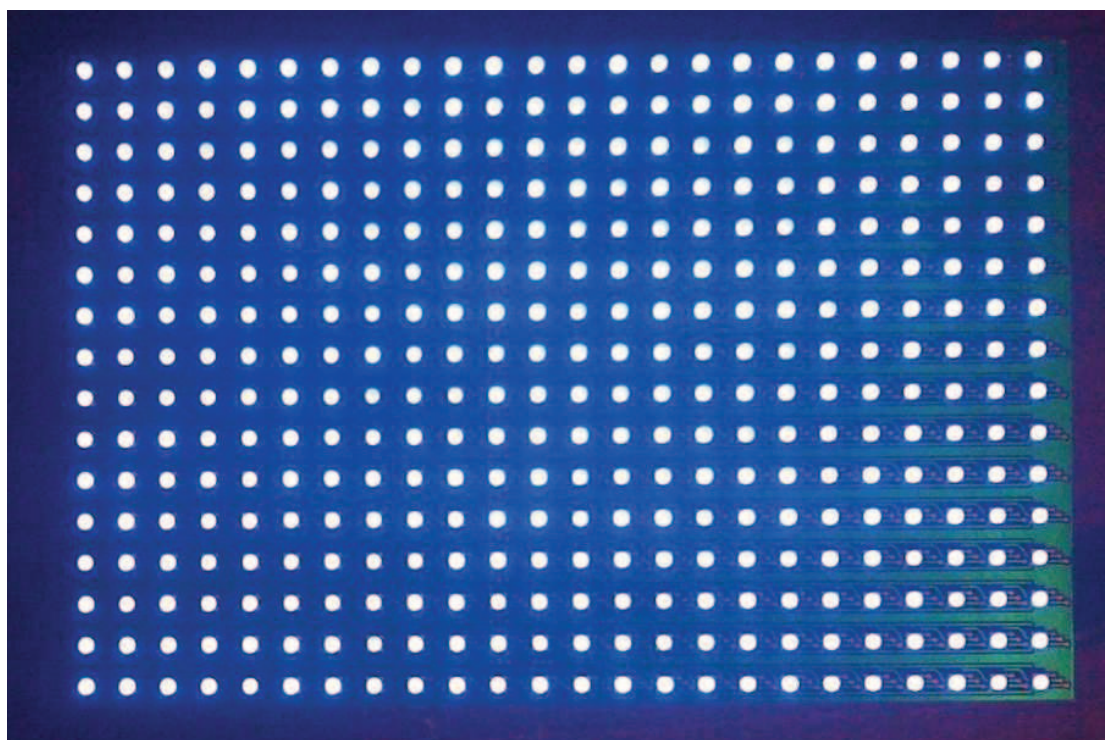


Figura. 4.3. Prueba de color Azul

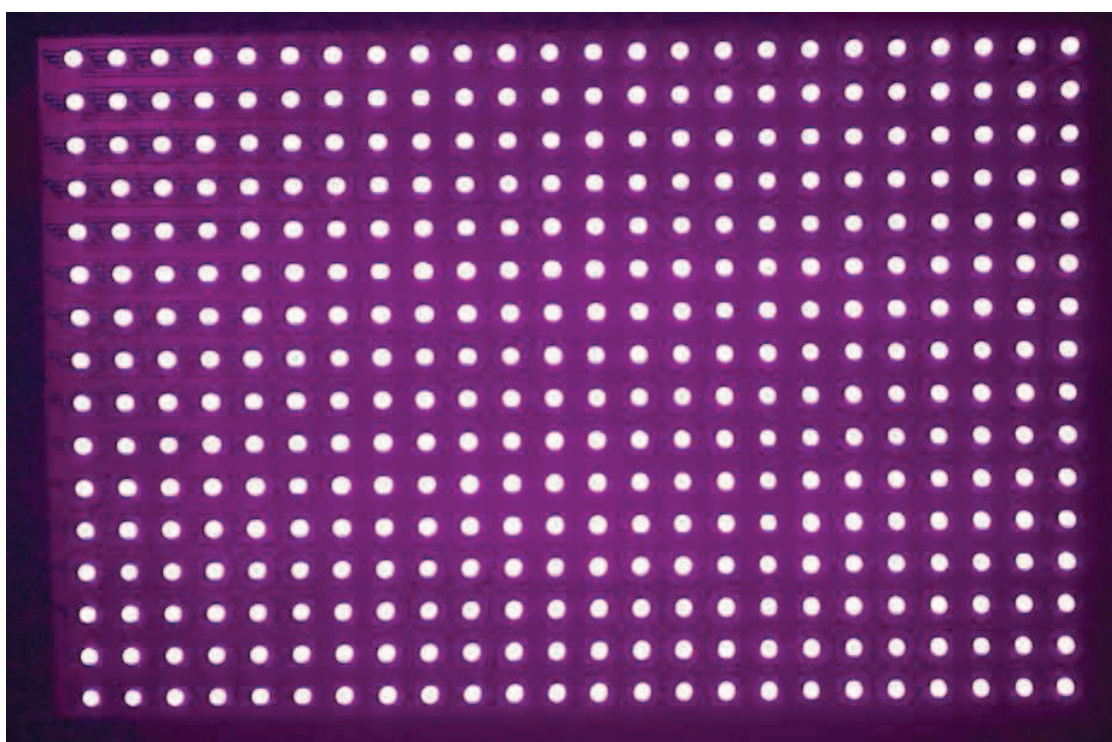


Figura. 4.4. Prueba de color morado

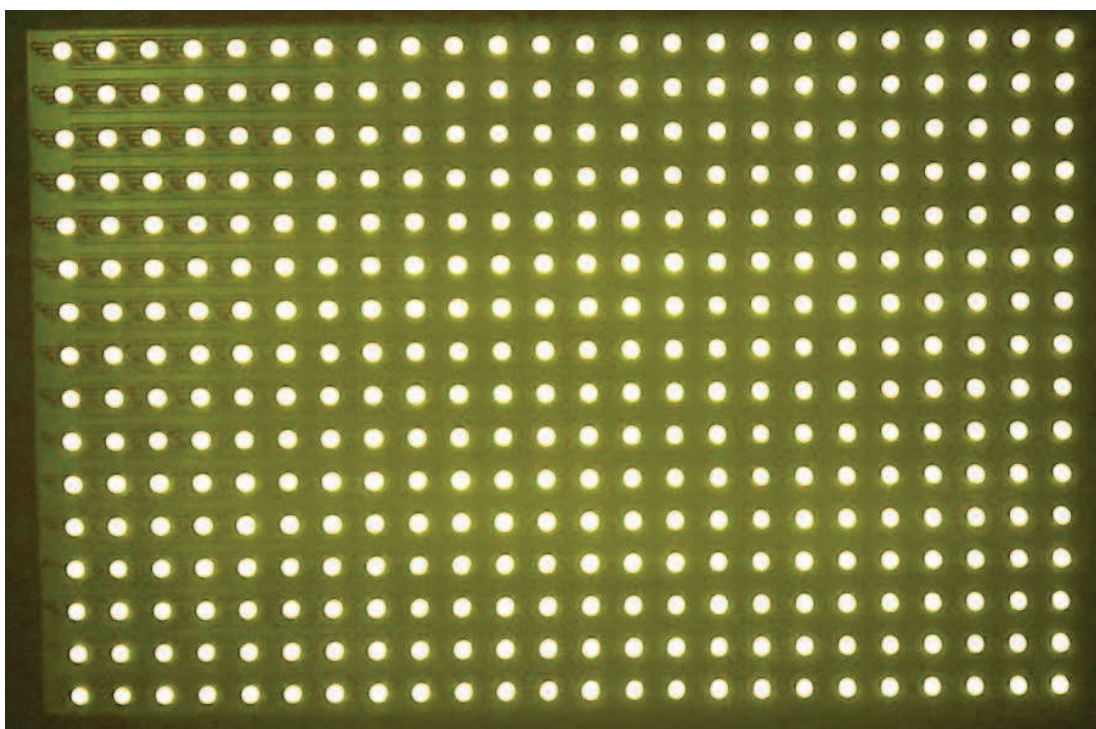


Figura. 4.5. Prueba de color amarillo

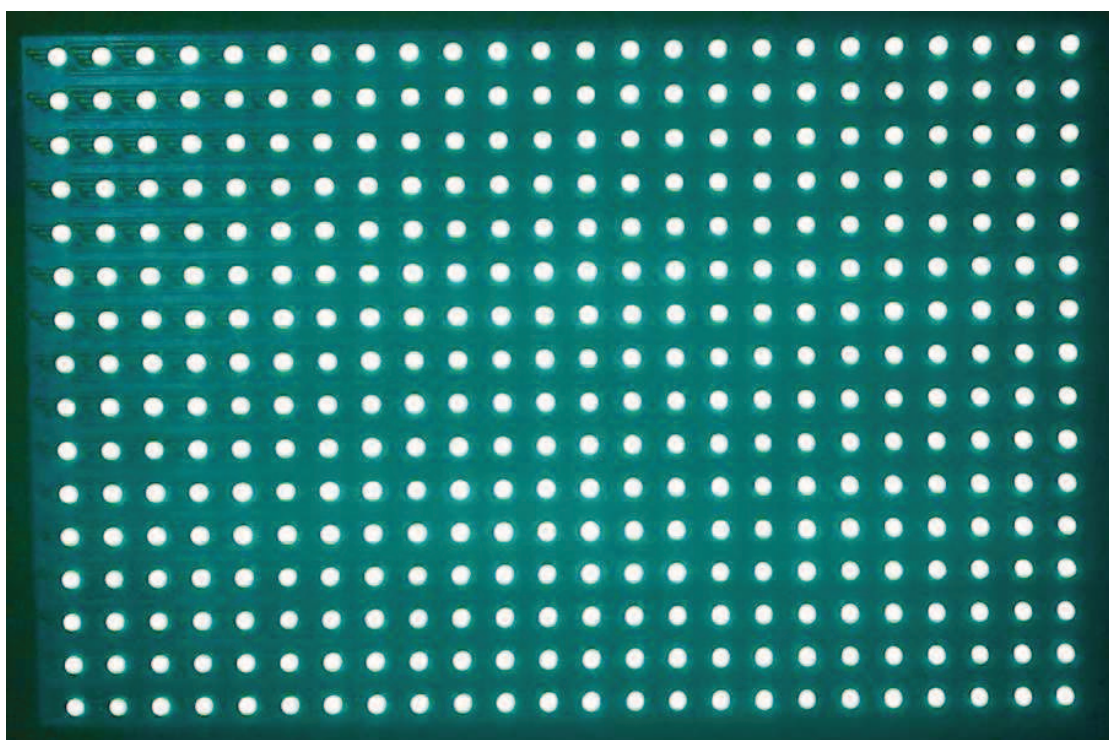
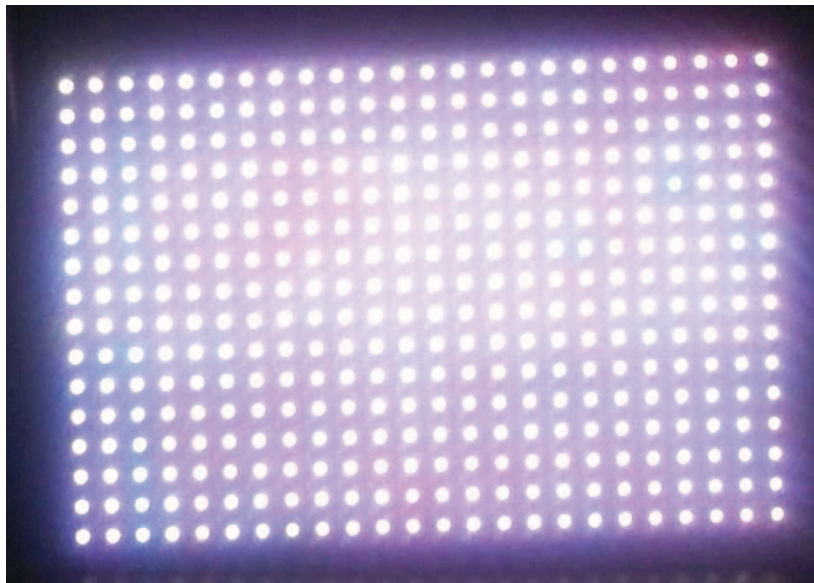


Figura. 4.6. Prueba de color cyan



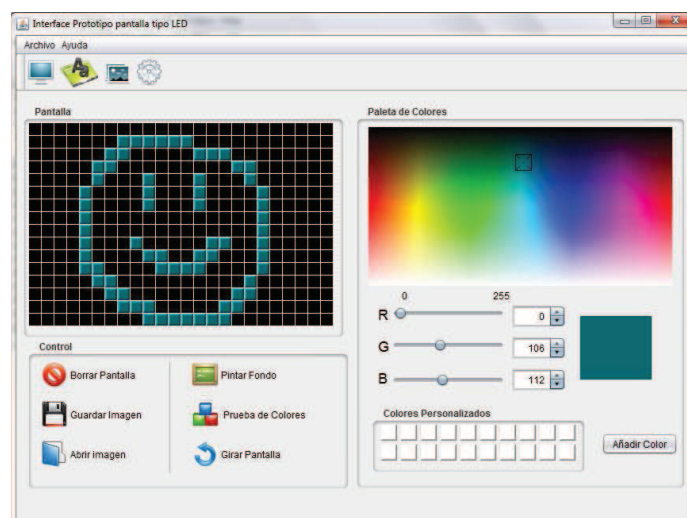


**Figura. 4.7. Prueba de color Blanco**

En esta prueba se verifica el estado de los LEDS y la respuesta del sistema ante el pedido de la interface.

#### 4.1.2 Pruebas de dibujo en la Interface

En la interface se realiza la simulación de dibujo en la pantalla virtual, para esto se realizó pruebas con la paleta de colores que nos muestra todas las combinaciones posibles de los colores primarios RGB para poder pintar y dibujar en la pantalla como se muestra en las Figuras 4.8 y 4.9.



**Figura. 4.8. Prueba de Dibujo en la interface**

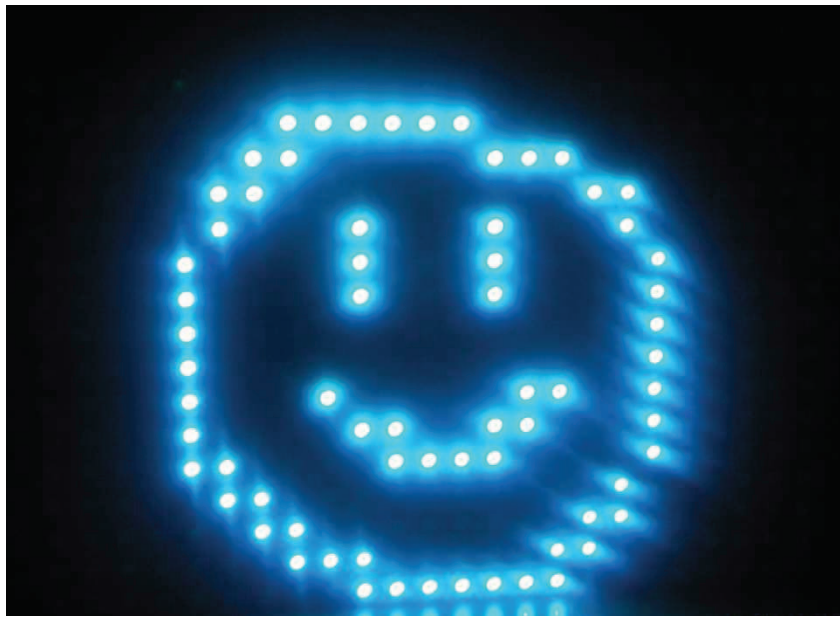


Figura. 4.9. Prueba de Dibujo en la Pantalla

Se tiene la opción de poder abrir imágenes que tengan la resolución deseada, como se muestran en las Figuras. 4.10 y 4.11. También se importa imágenes de mayor resolución y se las redimensiona para coger solo los pixeles que pueden ser mostrados en la pantalla virtual de la interface, como se muestran en las Figuras. 4.12 y 4.13.

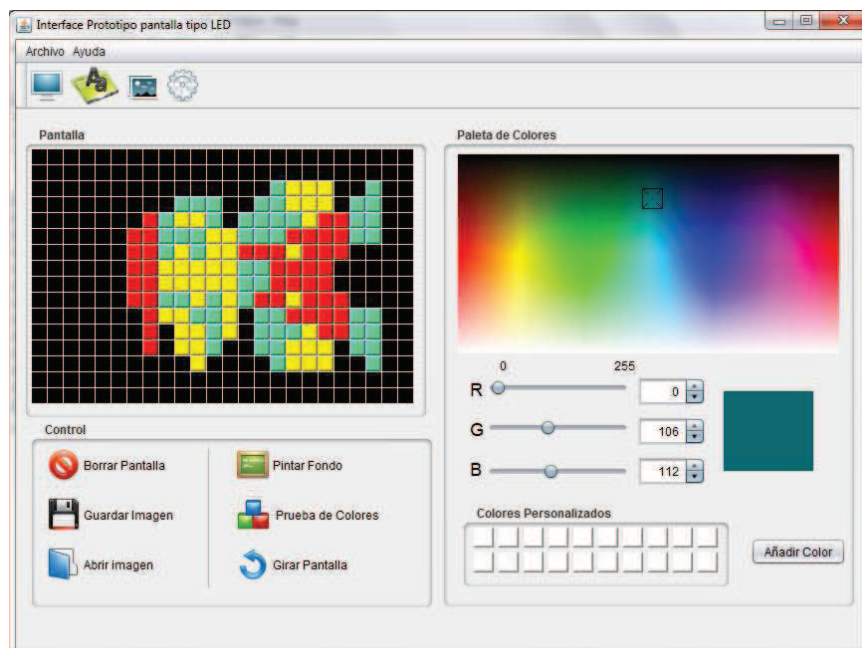


Figura. 4.10. Prueba de Dibujo en la Interface

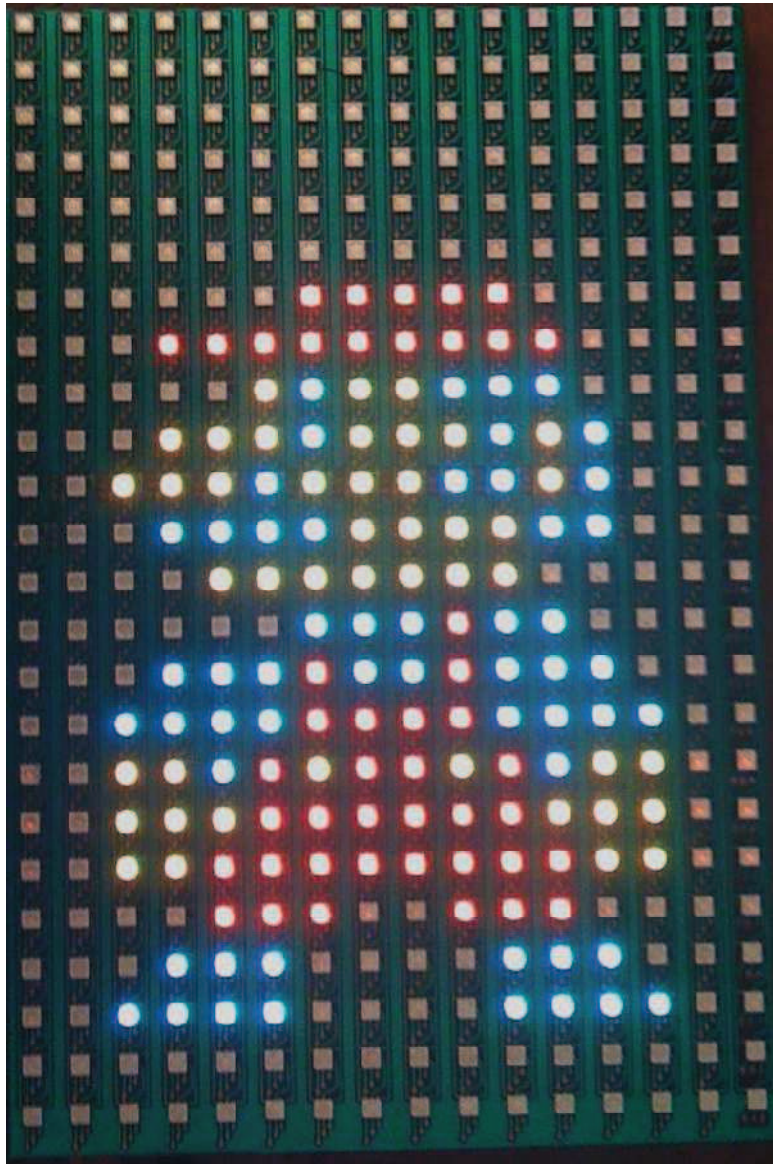


Figura. 4.11. Prueba de Dibujo en la Pantalla

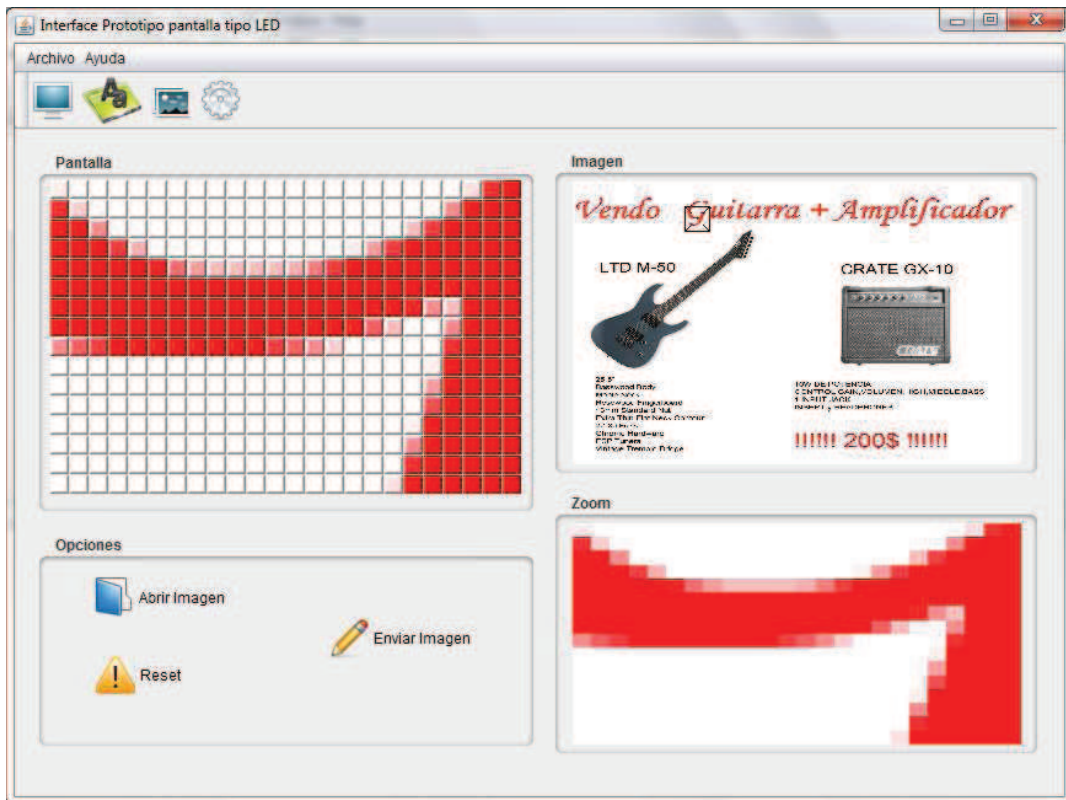


Figura. 4.12. Prueba de Importar imagen Interface

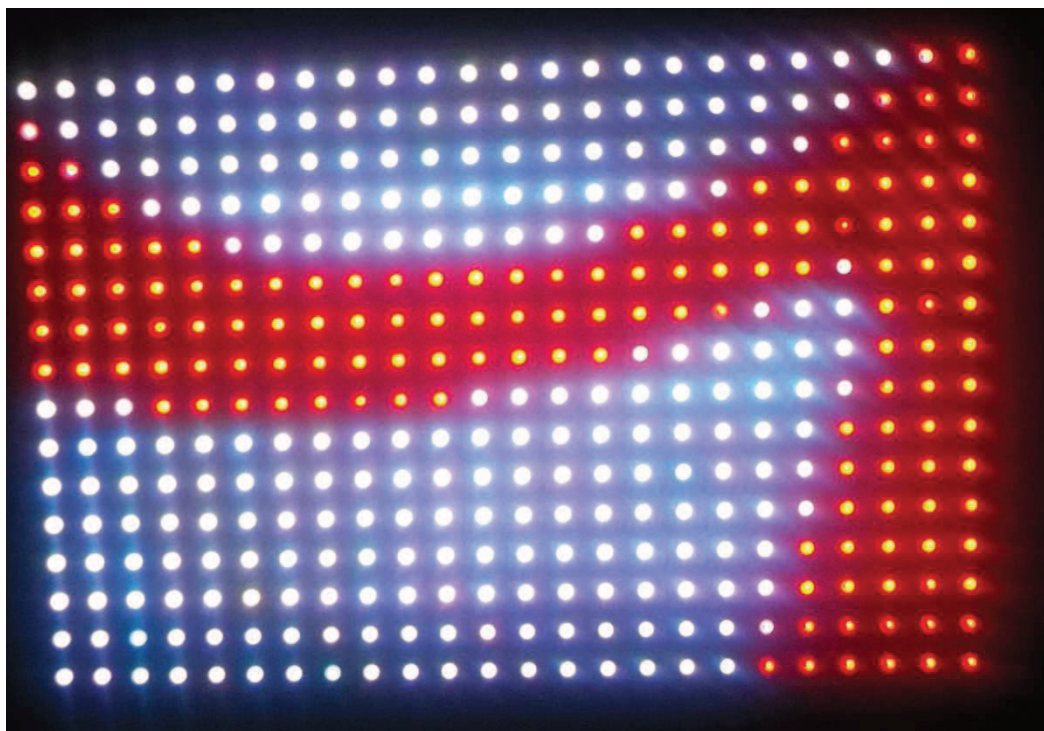


Figura. 4.13. Prueba de Importar imagen Pantalla

Esta prueba verifica las condiciones de funcionamiento del módulo y respuesta del sistema ante el pedido de las diferentes opciones que tiene la interface.

## 4.2 RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al módulo prototipo de pantalla LED para exteriores.

Para las pruebas de funcionamiento del módulo prototipo de pantalla LED se realizó 60 pruebas de colores en sus diferentes escalas de grises y combinaciones posibles para verificar la confiabilidad del sistema y se obtiene el siguiente resultado:

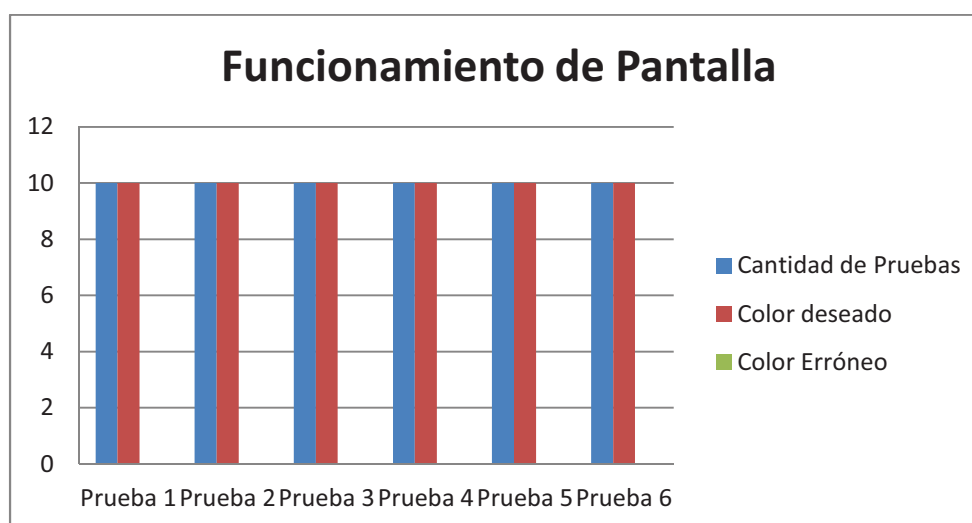
Estas pruebas se dividieron en 6 de la siguiente manera:

1. 10 pruebas de rojo y sus diferentes escalas de grises.
2. 10 pruebas de verde y sus diferentes escalas de grises.
3. 10 pruebas de azul y sus diferentes escalas de grises.
4. 10 pruebas mezcla de rojo y azul con todas sus combinaciones posibles.
5. 10 pruebas mezcla de rojo y verde con todas sus combinaciones posibles.
6. 10 pruebas mezcla de verde y azul con todas sus combinaciones posibles.

La Tabla 4.1 nos revela la alta confiabilidad que tiene el sistema en funcionamiento continuo. Se analiza los resultados de forma visual y con la Figura 4.14 que muestra un diagrama de barras.

**Tabla. 4.1. Resultado de Funcionamiento de pantalla**

Pruebas	Cantidad de pruebas	No. que se obtuvo Color deseado	No. que se obtuvo Color Erróneo
1	10	10	0
2	10	10	0
3	10	10	0
4	10	10	0
5	10	10	0
6	10	10	0



**Figura. 4.14. Grafica de resultados de Funcionamiento de Pantalla**

Para las pruebas de dibujo en la interface se realizaron 10 pruebas de dibujo para observar la respuesta del controlador y confiabilidad del sistema se obtiene los siguientes resultados:

1. 5 pruebas de dibujar en la interface.
2. 5 pruebas de importar imágenes.

Los resultados de la Tabla. 4.2 muestran la confiabilidad del sistema en la segunda prueba. En la Figura. 4.15 se muestra el análisis de los resultados que demuestran que no existen errores y que el porcentaje de confiabilidad del proyecto es del 100%.

**Tabla. 4.2. Resultado de Dibujo en la Interface**

Pruebas	Cantidad de pruebas	No. que se obtuvo Imagen deseada	No. que se obtuvo Imagen Erróneo
1	5	5	0
2	5	5	0

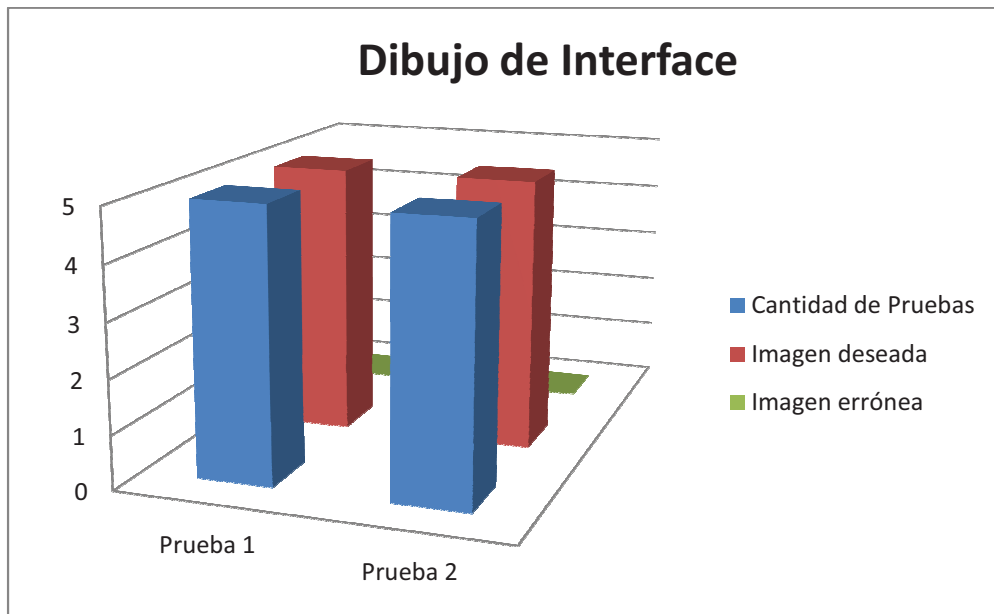


Figura. 4.15. Gráfica de resultados de dibujo de interface

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 5.1 Introducción

El análisis financiero constituye un proceso matemático y analítico, mediante el cual se pueden determinar los beneficios o pérdidas incurridas al realizar el proyecto de desarrollo del gabinete formado por módulos prototipo para pantalla LED; el objetivo es obtener resultados positivos que soporten la realización e implementación del prototipo para demostrar la factibilidad del mismo.

De esta forma se pueden determinar y aprovechar las ventajas de esta innovadora idea, definir rentabilidad financiera que ha de generar el proyecto, en base a cálculos de gastos y costos.

Para el presente análisis financiero es importante agrupar todos los detalles del producto a realizar, como son las características del producto que se va a comercializar en este caso Pantallas Electrónicas Gigantes para Exteriores tipo LED, segmento de mercado y las potenciales demandas del producto.

Para asegurarnos que el análisis financiero tenga éxito se debe seguir los siguientes pasos:

- Recopilación de información.
- Análisis de la información.
- Diagnóstico de Factibilidad.



## 5.2 Desarrollo del estudio de factibilidad: Módulo prototipo para pantalla LED

Para la implementación del módulo prototipo, es necesario realizar un estudio económico, el cual permita ver la factibilidad de construir pantallas gigantes tipo LED en el país, o si es más económico seguir importando las mismas.

El estudio de factibilidad es un análisis que recopila la información más destacada sobre el desarrollo del producto que se va a implementar. Los elementos bases para una investigación y análisis de factibilidad son los siguientes:

- **Análisis de Disponibilidad de Insumos:** Tiene como finalidad ver si existen los dispositivos que se requiere para la implementación del módulo. Para eso se realiza el estudio de mercado que tiene como conclusión, la mayoría de los dispositivos electrónicos necesarios se encuentran en el país, se importan los TLC5951 de Texas Instruments, y los transistores NPN.
- **Análisis Técnico:** Este tiene como objetivo suministrar información de la distribución y características físicas que tiene el módulo prototipo. Para ello se establece que tiene alta tecnología, debido a que la mayoría de dispositivos son SMD, tiene LEDs RGB de última generación, comunicación RS-232 y un microcontrolador de 16bits, estas son algunas de las características más importantes. La distribución física de los dispositivos se realizó en dos placas de fibra de vidrio de doble cara, la placa de la pantalla donde se encuentran montados los LEDs RGB y la placa del controlador del sistema donde se encuentran montados todos los dispositivos de control y demás elementos.
- **Análisis Financiero:** La finalidad de esta fase es sistematizar y ordenar la información económica (costos, inversión e ingresos), mediante el cual se observará la factibilidad de implementar las pantallas y que margen de ganancia se puede obtener.

### 5.3 Análisis de los proyectos

Se presentará un resumen general de las principales características del módulo prototipo que se implementará y con el cual se forman gabinetes, los mismos que se unen para crear pantallas gigantes para exteriores tipo LED, con todos los datos recopilados se puede entregar una idea clara de lo que se pretende llevar a cabo en lo referente al proyecto a desarrollar, así como su implementación, desarrollo y factibilidad.

La evaluación de proyectos se basa en aspectos importantes como son: financiamiento, conocer su pertenencia y eficacia potencial que tiene el proyecto. Para ello se seleccionan ideas factibles que tengan el mayor impacto con el menor costo posible.

El monitoreo permanente del proyecto mientras se realiza la implementación sirve para ver el cumplimiento de los objetivos, los cambios que se deben realizar y si estos repercuten con beneficios o pérdidas en el desempeño del proyecto.

Los criterios para ejecutar y analizar un proyecto son los siguientes:

- Plantear objetivos que sean reales y se pueda llevar a cabo.
- Planificar actividades de acuerdo con las necesidades del proyecto.
- Eficacia en la ejecución de los objetivos.
- Eficiencia en la implementación del proyecto.
- Índice de aceptación del producto en la población.
- Costo/ Beneficio que se debe evaluar en el proyecto.

El análisis de proyectos implica un proceso para evaluar y determinar la viabilidad del proyecto mediante la planificación y los respectivos estudios que se deben realizar como son:

- Análisis de Mercado.
- Características de los Consumidores.

Estos puntos antes mencionados producen información para saber a que parte del mercado se debe enfocar el producto que se va a ofrecer. Con todos los datos que se recopilan se debe tomar una decisión de si el proyecto sigue adelante o si se debe realizar mejoras para que sea más eficaz.

### **5.3.1 Análisis de mercado**

La importancia del estudio del mercado permite visualizar la futura demanda de los bienes y servicios a producir, el área de influencia del mercado, información sobre la competencia, los precios de los bienes, los canales de distribución y otros aspectos.

Basado en la información del estudio de mercado se debe configurar, con un alto grado de aproximación, el tamaño del proyecto, definir el precio de los bienes a producir, la política de comercialización, así como todas aquellas actividades que ayuden al éxito del proyecto.

Los sistemas de las pantallas electrónicas de LED son productos multimedia de alta tecnología que mezclan señales de procesamiento ópticas y electrónicas. Las pantallas electrónicas LED para exterior son las más brillantes disponibles en el mercado de las pantallas electrónicas.

En el país la creciente demanda de publicidad debido a la constante competencia de ofertas tanto de productos como de servicios, ha permitido que la implementación de las pantallas publicitarias se haya ido fortaleciendo ya que transmiten información altamente prioritaria, permitiéndonos comunicar mensajes cuando el factor tiempo es crítico.

A continuación se presenta la Tabla. 5.1 de los costos que existen de las diferentes pantallas gigantes para exteriores tipo LED en el mercado de Ecuador.

**Tabla. 5. 1. Costos de Pantallas Gigantes tipo LED**

Empresa	Pixel Pitch	Dimensión	Precio (USD)
DMX Tecnologías	7.625mm	3.11 m <sup>2</sup> (2.320m x 1.340m)	USD 25574 + IVA
Creativacs	10mm	1 m <sup>2</sup>	USD 4800 + IVA
ELNOR	10mm	1 m <sup>2</sup> (no incluye controlador central)	USD 4300 + IVA
LED VISION	10mm	1 m <sup>2</sup>	USD 5300 + IVA

Con los datos de los costos que se obtuvieron de las diferentes empresas que implementan o importan pantallas gigantes para exteriores tipo LED se puede realizar la comparación para obtener la factibilidad de construir o no el producto.

### 5.3.2 Características de los consumidores

Para realizar un completo estudio de mercado es importante enfocarse en las características que deben tener los consumidores del producto las mismas que se presentan a continuación:

- Naturaleza, ¿Quiénes son?
- Cantidad, ¿Cuántos son?
- Realidad, ¿De qué clase?

Los consumidores que forman parte de este segmento de mercado, son principalmente empresas y consorcios que se especializan en la comercialización de pantallas electrónicas LED, implementando nuevas opciones para sus clientes que principalmente son empresas publicitarias que desean dar a conocer productos y servicios de forma innovadora y al alcance de todos los potenciales consumidores.

Las necesidades del consumidor es el punto de partida inicial para tener el conocimiento y poder promulgar con eficacia y eficiencia el producto que se va a lanzar al mercado. El producto debe satisfacer las expectativas de los consumidores para ello se debe crear ideas innovadoras, prácticas y que ofrezcan un buen costo-beneficio.

## 5.4 Pronóstico de Venta

Para determinar la factibilidad de la elaboración y venta de las pantallas gigantes para exteriores tipo LED que se encuentran formados por módulos prototipo, se debe establecer una estimación de costos y gastos incurridos para posteriormente fijar un precio de venta accesible al mercado de nuestro país.

La planificación, coordinación y control del pronóstico de ventas establece la demanda de mercado, cual es el grupo de consumidores dependiendo el área demográfica y el estudio de marketing respectivo para el lanzamiento del producto.

La viabilidad del producto es el principal aspecto a tomar en cuenta y para ello se realiza el análisis de los siguientes puntos:

- Factores de mercado: Tomar referencia de los índices, estadísticas y proyecciones que se han realizado en el mercado acerca del producto.
- Datos históricos: Referencias de ventas pasadas para analizar las tendencias del producto y pronosticar la inversión.
- Competencia: Analizar las ventas y costos de la competencia para tomar como referencia y realizar nuevas estrategias.
- Capacidad del Negocio: Obtener las limitaciones y capacidad de abastecimiento que tiene el producto.

El pronóstico de ventas elabora un presupuesto general para obtener la estimación del producto en las ventas futuras durante un tiempo determinado. Además que permite realizar una proyección de cuantos productos se va a producir, tomando en cuenta los insumos necesarios, mano de obra, y con toda esta información realizar el presupuesto de producción del producto.

### 5.4.1 Costo de producción del módulo

El costo de producción permite obtener una planificación de los gastos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Con esto se tendrá una idea clara de cuánto costará el producto terminado el cual podrá ser el costo real en el mercado y ver que tan competitivo puede resultar el implementar el producto o no.

Este análisis es muy adecuado para reconocer excesos en los costos y realizar mejoras en la estructura de costos de producción en cuanto a materia prima y precios de venta que incrementan el beneficio y la rentabilidad del producto.

En la Tabla. 5.2 se indican los costos de los diferentes insumos directos, necesarios para producir el módulo prototipo para pantalla tipo LED.

**Tabla. 5.2. Costo de insumos directos**

MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
PIC24FJ64GA006	1	10,00	10,00
LED RGB 5050	384	0,08	30,72
TLC5951	3	2,87	8,61
Resistencias SMD	67	0,13	8,50
Transistores SMD	60	0,27	16,00
Capacitores SMD	15	0,13	1,95
Fusible5A	1	0,11	0,11
Portafusible	1	0,40	0,40
Reguladores LM317T	3	0,60	1,80
MAX 232 SMD	1	4,91	4,91
Cristales	2	0,50	1,00
Diodos 1N4007	3	0,07	0,21
Pulsadores	2	0,10	0,20
Regulador 7805	1	0,40	0,40
Conector DB9H	1	0,22	0,22
74LS04	1	0,32	0,32
Conector JACK	1	0,31	0,31
		<b>TOTAL</b>	<b>USD 85,66</b>

El costo de producción del módulo prototipo para pantallas tipo LED se divide en varias categorías como se especifica en la Tabla. 5.3 obteniendo el valor neto del producto.

**Tabla. 5.3. Costos de Producción**

Característica	Costo (USD)
Costos de Insumo directos	85,66
Mano de Obra Directa	84,00
Costos Indirectos de fabricación fijos	100,00
Costos Indirectos variables	76,00
Costo Total de Producción	USD 345,66

#### 5.4.2 Rendimiento del proyecto

Para formar gabinetes que forman pantallas gigantes tipo LED, de un metro cuadrado, con la característica de tamaño de punto de 7.7mm, es necesario acoplar 16 módulos prototipo, los cuales tienen medidas de 305 x 204 mm.

A continuación se detalla los cálculos de la base y la altura de la pantalla para formar un gabinete de un metro cuadrado.

- Medidas de la base:  
Base del modulo: 0.305m  
 $0.305\text{m} * 4 = 1,22$  metros
- Medidas de la altura:  
Altura del modulo: 0.204m  
 $0.204 * 4 = 0,82$  metros

El gabinete tiene 1,22m x 0,82m dando un total de área de 1,0004 metros cuadrados.

### 5.4.3 Costo de producción de la pantalla

Para realizar el análisis del costo de producción de un gabinete se deben tomar en cuenta varios aspectos importantes. El costo de los módulos tendrá una depreciación debido a que el precio reduce cuando se realiza la producción en serie, además el costo del controlador se elimina por módulo debido a que se tiene un controlador central.

En la Tabla.5.4 se indica los nuevos costos de producción que tendrá cada módulo prototipo. El costo de producción en serie de las placas disminuye en un 20% el precio.

**Tabla. 5.4. Costos de Producción Módulo**

MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
LED RGB 5050	384	0,08	30,72
Placa de pantalla	1	60,00	60,00
		TOTAL	90,72

En la Tabla. 5.5 se indican los costos de los diferentes insumos directos, necesarios para producir una pantalla gigante tipo LED.

**Tabla. 5. 5. Costo de insumos directos**

MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Módulo Prototipo	16	90,72	1451,52
Controlador Central	1	800	800
Estructura de la Pantalla	1	1200	1200
		TOTAL	3451,52

En la Tabla. 5.6 se indica el costo de producción del módulo prototipo para pantallas tipo LED.



**Tabla. 5. 6. Costos de Producción**

Característica	Costo (USD)
Costos de Insumo directos	3451,52
Mano de Obra Directa	300,00
Costos Indirectos de fabricación fijos	100,00
Costos Indirectos variables	100,00
Costo Total de Producción	USD 3951,52

### 5.5 Estudio de Factibilidad

Después de realizar el estudio respectivo y tomando en cuenta los costos directos e indirectos tanto en materia prima como en mano de obra para la elaboración de un módulo para pantalla LED, se determinó un costo total de USD 3951,52; este valor incluye el costo de la implementación de la pantalla como tal, dando como resultado la cantidad mencionada anteriormente por metro cuadrado con un pixel pitch de 7.7mm para exteriores.

#### Estudio comparativo

El estudio comparativo permite determinar el estado en el que se encuentra el proyecto, basándose en estudios de otros productos que tengan características semejantes, para que de esta manera se pueda desarrollar nuevas estrategias que aseguren que el producto sea el líder del mercado.

En base a proformas consultadas en el mercado y la demanda de alquiler y venta de pantallas LED para exteriores se determinaron los siguientes valores:

En el caso del proyecto a realizar, la pantalla de pixel pitch 10mm para exteriores, tiene un costo de \$4800,00 este valor se tomó de una empresa que implementa las pantallas en el País.

En conclusión, el módulo y la pantalla realizada en el proyecto resulta viable para la economía y oferta en nuestro país ya que es una diferencia de \$ 848,48 por metro cuadrado. Lo que implica un significativo ahorro de recursos en este producto.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo de implementar un módulo prototipo de pantalla tipo LED, controlado mediante una interface en Java y capaz de presentar información como imágenes y texto con una alta gama de colores.
- El estudio de diferentes tipos de pantallas LED, permitió establecer la multiplexación por filas como el método más óptimo de generación de imágenes, esta es una técnica con la cual se permite realizar un barrido de filas a una velocidad que es imperceptible para el ojo humano, permitiendo un ahorro de energía en la pantalla.
- Mediante la caracterización de los drivers PWM TLC5951 de Texas Instruments, se logró ejercer un control total sobre sus 24 canales PWM, permitiendo que los LEDs RGB sean controlados de forma unitaria.
- Se determinó que el uso del lenguaje de programación orientado a objetos JAVA, logró facilitar la realización de la interface, la misma que incluye todos los parámetros necesarios para el control del módulo prototipo, además se obtuvo como resultado una interface intuitiva y de fácil manejo para el usuario.

- Se estableció que el hardware del módulo prototipo, cumple con los requerimientos para poder ser colocados en serie en un gabinete, de esta manera pueden formar parte de una pantalla gigante tipo LED.
- Los requerimientos de software fueron totalmente cubiertos por el microcontrolador seleccionado PIC24FJ64GA006, gracias a sus altas prestaciones de procesamiento e instrucciones mejoradas, con respecto a familias anteriores.
- El período de multiplexación de la pantalla debe ser menor a 200 microsegundos, de esta manera se evita parpadeos en la pantalla, pero se debe tomar en cuenta que mientras menor sea este tiempo, la intensidad de los colores también disminuirá.
- En base al modulo implementado en este proyecto, se realizó la esquematización de un gabinete conformado por módulos, permitiendo tener una base para un trabajo de diseño, el cual detalle a fondo los elementos necesarios para la implementación de un gabinete.
- Se estableció que la implementación de los módulos en el país se facilitó, debido a la gran disponibilidad de los dispositivos que se emplearon en el módulo prototipo de pantallas tipo LED, que en su mayoría son sencillos de obtener, ya que se los encuentra en el mercado nacional y algunos elementos se los puede importar.
- El contar con el soporte de una empresa local que produzca placas de circuito impreso de alta calidad, permitió el uso de elementos de montaje superficial, facilitando la implementación de un circuito impreso de tamaño reducido y terminado profesional.
- Los resultados obtenidos del análisis económico, determinan la factibilidad de implementar pantallas gigantes tipo LED en el país, debido a que el costo de un metro cuadrado de pantalla formado por módulos, es competitivo en el mercado nacional.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Para lograr una correcta visualización de las imágenes y texto de la pantalla, se recomienda observar a una distancia mayor de 10 metros, para que exista una mezcla de colores óptima.
- Debido a que las pantallas gigantes tipo LED se encuentran montadas a grandes distancias con respecto al observador, se puede considerar una mayor distancia entre píxeles, para que la mezcla de colores entre los LEDs no sea errónea.
- Para poder visualizar animaciones y videos en el módulo prototipo de pantalla LED, se recomienda la implementación de un protocolo de comunicación, que tenga mayor velocidad de transmisión de datos, como por ejemplo el USB.
- Para tener un mayor espacio de almacenamiento para imágenes, animación o texto, se recomienda añadir una memoria EEPROM al diseño del hardware del módulo prototipo de pantalla LED.
- Cuando se fabrique la placa de la pantalla, se recomienda utilizar una máscara de anti soldadura negra, en vez de la verde usada en este proyecto, debido a que el fondo negro ayuda al contraste de la pantalla, mientras se realizan pruebas de funcionamiento.
- El módulo prototipo de pantalla tipo LED, constituye una base para futuros proyectos que se podrían implementar, debido a que el campo de aplicación es amplio y se pueden establecer diferentes técnicas en cuanto al control y comunicación del módulo, de tal manera que se obtenga un módulo con prestaciones mejoradas.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### CAPÍTULO I

- [1] ANDREW EMERSON, “Luz sólida la famosa historia del diodo LED”, Elektor revista internacional de electrónica y ordenadores, N° 372, 2011, págs. 68-69.
- [2] Digitalight, “Avances Tecnológicos”, disponible en <http://www.digitalight.com.ec/informacion2.htm>, consultado en Septiembre de 2011.

### CAPÍTULO II

- [1] Jambitz, “Samsung presenta nuevas pantallas LED de 32”, disponible en <http://www.jambitz.com/samsung-presenta-nuevas-pantallas-led-de-32>, consultado en Febrero de 2012.
- [2] Wikipedia, “Píxel”, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADxel>, consultado en Febrero de 2012.
- [3] Softonic, “Duelo por un Píxel”, disponible en <http://softonic.com/pixel>
- [4] Sandra Martínez, “Componentes de un monitor”, disponible en <http://sandramartinez100jmv.blogspot.com/2010/04/actividad-componentes-de-un-monitor.html>, consultado en Febrero de 2012.
- [5] Visual LED, “Deberías Saber”, disponible en [http://www.visualled.com/pantallas\\_led\\_deberias\\_saber\\_visualled.php](http://www.visualled.com/pantallas_led_deberias_saber_visualled.php), consultado en Febrero de 2012.
- [6] Visual LED, “Deberías Saber”, disponible en [http://www.visualled.com/pantallas\\_led\\_deberias\\_saber\\_visualled.php](http://www.visualled.com/pantallas_led_deberias_saber_visualled.php), consultado en Febrero de 2012.
- [7] Xataka, “LCD o plasma, otros aspectos a tener en cuenta”, disponible en <http://www.xataka.com/hogar-digital/lcd-o-plasma-otros-aspectos-a-tener-en-cuenta>, consultado en Febrero de 2012.

- [8] AIU “Atlantic International University”, “Sistemas de Comunicación”, disponible en <http://www.aiu.edu/publications/student/spanish/Comunicacion%20de%20Sistemas.html>, consultado en Febrero de 2012.
- [9] Fralbe’s Blog, “Señal de prueba de color NTSC”, disponible en <http://fralbe.wordpress.com/tag/ntsc/>, consultado en Febrero de 2012.
- [10] MadBoxPC, “Brillo/ Contraste”, disponible en <http://www.madboxpc.com/contenido.php?id=3114&pag=2>, consultado en Febrero de 2012.
- [11] CCTV, “Señal de video Analógica”, disponible en <http://seguridadbestprice.com/LENGUAJE-CCTV-4.html>, consultado en Febrero de 2012.
- [12] Mantenimiento Blogspot, “Monitores CRT”, disponible en <http://ycac1234.blogspot.com/p/monitores-crt.html>, consultado en Febrero de 2012.
- [13] Desarrollo, “Resolución de Pantalla”, disponible en <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1286.php>, consultado en Febrero de 2012.
- [14] Taringa, “Recopilación resoluciones de pantalla 2011”, disponible en [http://www.taringa.net/posts/noticias/9204872/Prim\\_-recopilacion-resoluciones-de-pantalla-2011.html](http://www.taringa.net/posts/noticias/9204872/Prim_-recopilacion-resoluciones-de-pantalla-2011.html), consultado en Febrero de 2012.
- [15] Wikipedia, “Color” disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>, consultado en Febrero de 2012.
- [16] La Fuerza, “Formatos de pantalla de Televisores”, disponible en <http://www.lafuerza.net/foro/general/2672-formatos-de-pantalla-de-televisores.html>, consultado en Febrero de 2012.
- [17] Disclaimer, “LEDs RGB”, disponible en <http://www.ledfacil.com.ar/LEDs%20RGB%20demo.pdf>, consultado en Febrero de 2012.
- [18] Sydemex, “LED RGB Características”, disponible en [http://www.sydemex.com/descargas/\\_132876586.pdf](http://www.sydemex.com/descargas/_132876586.pdf), consultado en Febrero de 2012.
- [19] Dreamland, “Technical Datasheet SMD 5050 RGB”, disponible en <http://www.yuanlei-led.com>, consultado en Febrero de 2012.
- [20] Microchip, “MCU PIC24 16 bits”, disponible en [http://www.microchip.com/en\\_US/family/16bit/architecture/PIC24F.html](http://www.microchip.com/en_US/family/16bit/architecture/PIC24F.html), publicado en 2011, consultado en Agosto de 2011

[21] Texas Instrument, “Datasheet Driver PWM TLC5951”, disponible en <http://www.ti.com/product/tlc5951>, consultado en Febrero de 2012.

### **CAPÍTULO III**

[1] BoylestadNashelsky, “Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”, Libro de Prentice Hall, 8va edición.

[2] JoseMaria Angulo Usategui, “Microcontroladores DSPIC. Diseño practico de aplicaciones”, McGraw-Hill, 2006.

[3] Pearson, “Pensando en JAVA”,PRENTICE HALL, 2007, 4ta edición.

### **CAPÍTULO V**

[1] Oriol Amat, “Análisis Económico Financiero”, Gestión, 2008.

[2] Martha Saboya, Carmen Anido Hermida, “Bases Matemáticas Para El Análisis Económico” Rústica, 2006.