

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ROTULACIÓN RGB BASADO EN LA TÉCNICA DE PERSISTENCIA DE LA VISIÓN

Edwin Gonzalo Clavijo Villavicencio  
Ricardo David Pérez Carrillo

**Resumen.-** Se diseña e implementa un sistema de rotulación RGB, que se basa en el “Fenómeno de la persistencia de la visión” de Joseph Plateau, que demuestra como una imagen permanece en la retina humana una décima de segundo antes de desaparecer por completo. Este sistema de rotulación se realiza con el objetivo de crear un sistema publicitario llamativo e innovador.

El desarrollo del sistema de rotulación RGB se realiza en cuatro etapas: investigación de los antecedentes teóricos, diseño del hardware de control de los sistemas de alimentación, visualización y soporte de los distintos dispositivos electrónicos, diseño del software y la implementación del sistema de rotulación RGB.

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 130 D.C. el sabio griego Ptolomeo comenzó a explorar en el campo de la óptica, investigó las propiedades de la luz, sobre todo de la refracción, reflexión y su incidencia en la visión humana. La investigación realizada por Ptolomeo ayudó a Joseph Plateau en el año de 1830 a definir el fenómeno de la persistencia de la visión.

En 1832, Plateau inventó un dispositivo estroboscópico, el primer dispositivo capaz de proporcionar la ilusión de una imagen en movimiento a partir de una secuencia de imágenes fijas.

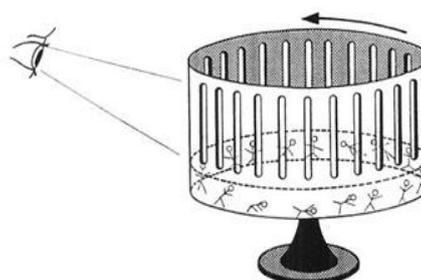


Figura. 1 Dispositivo Estroboscópico

Los avances tecnológicos permitieron considerar la aplicación del fenómeno de la persistencia de la visión en novedosos sistemas publicitarios, que permiten proyectar texto o imágenes por medio del encendido y apagado secuencial de una sola columna de led's RGB, con lo que las imágenes se superponen en la retina y el cerebro las enlaza como una sola imagen visual, móvil y continua.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Introducción de la Persistencia de la Visión

El fenómeno de la persistencia de la visión, consiste en una deficiencia del ojo humano, permite que una imagen permanezca en la retina durante un período de tiempo corto. Por ejemplo, si se coloca un objeto frente a los ojos y después de cierto tiempo de repente se retira, el ojo queda con la sensación de seguir en observación de la imagen del objeto, por lo que la visión de la imagen persiste durante un instante.

### 2.1.1. Efecto de la persistencia de la visión en el ser humano

La visión humana está conformada por una serie de órganos que al interactuar conjuntamente permiten que el cerebro pueda interpretar lo que el ojo ve.

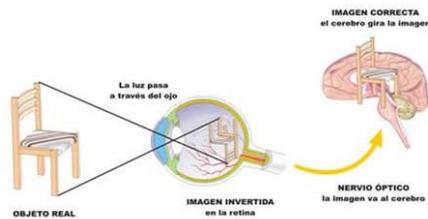


Figura. 2 Visión humana<sup>1</sup>

El funcionamiento de los ojos comienza cuando el haz de luz que golpea un objeto se refleja en el ojo, está conformado por rayos luminosos que pasan primero por la córnea y después por la pupila hasta llegar a la retina.

La excitación de la retina produce cierta cantidad de impulsos electroquímicos que nuestro cerebro interpreta como una imagen. Cuando el haz de luz que excita a la retina desaparece, las células continúan enviando impulsos electroquímicos a nuestro cerebro por un instante, lo que provoca la sensación de seguir en observación de la imagen por un intervalo de tiempo corto a pesar de que desaparezca.

### 2.1.2. Evolución

Desde la antigüedad varios científicos crearon diferentes aparatos ópticos que demuestran el fenómeno de la persistencia de la visión. Los aparatos ópticos son los instrumentos que precedieron a los elementos modernos de proyección cinematográfica que basan su funcionamiento en el fenómeno de la persistencia de la visión, algunos de estos son:

#### 1. Taumátropo

<sup>1</sup>[http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad\\_1/mo1\\_mecanismo\\_de\\_la\\_vision.htm](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_1/mo1_mecanismo_de_la_vision.htm), Figura. 2 Visión humana

Este aparato consta de un círculo de cartón con una imagen diferente en cada una de sus caras y mediante dos hilos atados a cada extremo del círculo se realiza un movimiento de rotación para observar como las imágenes se fusionan y provocan la ilusión óptica de ser una sola imagen. Ver figura. 3

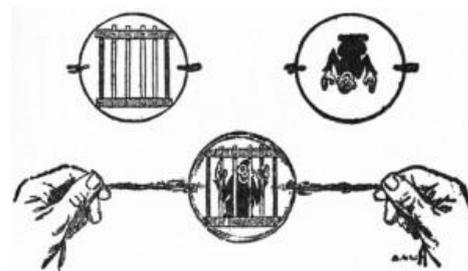


Figura. 3 Taumátropo<sup>2</sup>

#### 2. Fenaquistiscopio

Este aparato óptico consta de un círculo liso con pequeñas aberturas en su borde entre las que existen imágenes de un mismo objeto pero en posiciones diferentes.

Cuando se gira el círculo con imágenes frente a un espejo, se produce la ilusión de que las aberturas se vuelven una sola, esta permite observar la imagen en movimiento. Ver figura. 4

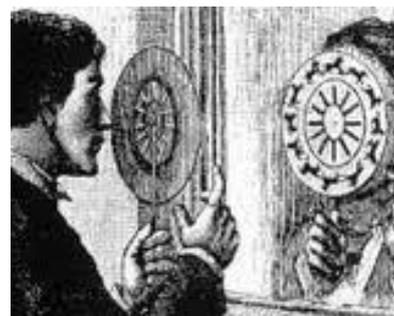


Figura. 4 Fenaquistiscopio<sup>3</sup>

#### 3. Estroboscopio

Consta de un cilindro cerrado con pequeñas ranuras en su parte superior, mientras que en su parte inferior tiene imágenes de un mismo objeto pero en diferentes posiciones.

<sup>2</sup> <http://tallerelmate.wordpress.com/2010/12/01/modelo-de-un-taller-origenes-del-cine-i/thaum/>, Figura. 3 Taumátropo

<sup>3</sup> <http://www.fotolog.com/cineyfoto/55798200/>, Figura.4 Fenaquistiscopio

Cuando se gira el cilindro por medio de las ranuras se observa las imágenes en movimiento. Ver figura. 5

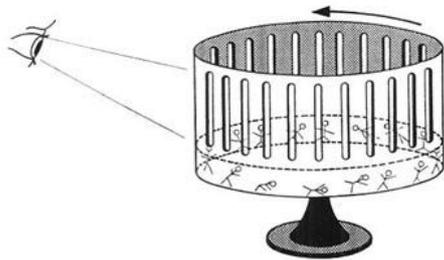


Figura. 5 Estroboscopio<sup>4</sup>

#### 4. Zoótrofo

Consiste en un cilindro con cortes que permiten al observador mantener una visión de las imágenes al interior del cilindro. Ver figura. 6

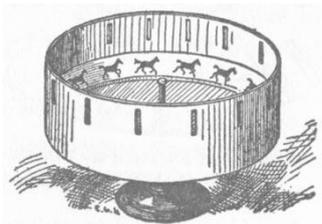


Figura. 6 Zoótrofo<sup>5</sup>

#### 5. Praxinoscopio

Este aparato es una modificación del zoótrofo que incluye una serie de espejos en el interior del cilindro, estos reflejan las imágenes giratorias con movimientos pausados y menos bruscos que los del zoótrofo. Ver figura. 7.

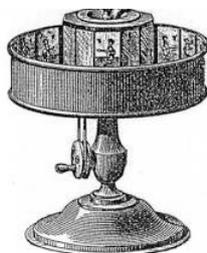


Figura. 7 Praxinoscopio<sup>6</sup>

4 <http://www.librosmaravillosos.com/comofunciona/capitulo08.html>, Figura. 5 Estroboscopio  
5 <http://www.alternatilla.com/2009/exposiciones/13-zootropos/>, Figura.6.Zoótrofo

#### 6. Mutoscopio

Consta de una caja que alberga en su interior un gran número de fotografías en blanco-negro. En el funcionamiento deja caer una imagen tras otra para formar la ilusión de movimiento. Ver figura. 8.

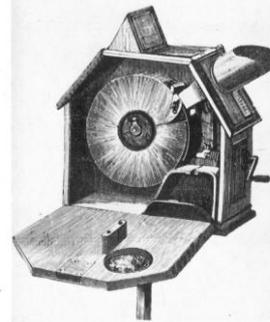


Figura. 8 Mutoscopio<sup>7</sup>

Los aparatos ópticos descritos son la inspiración para crear nuevos dispositivos llamativos y novedosos que ayudan en el trabajo cinematográfico y en las industrias publicitarias.

#### 2.1.3. Aplicación

La principal aplicación del fenómeno de la persistencia de la visión se evidencia en el campo cinematográfico, puesto que el proyector de cine basa su funcionamiento en dicho fenómeno. El proyector de cine es un aparato con engranajes y poleas, que hacen avanzar una cinta compuesta por fotogramas frente a una lámpara. Cada fotograma se detiene frente a la lámpara durante 1/24 de segundo e inmediatamente el obturador impide el paso de luz de la lámpara mientras el siguiente fotograma se coloca en su sitio. En ese lapso vemos las imágenes grabadas en la retina que da la sensación de ver las imágenes de corrido. Ver figura. 9.

6 <http://13gatosnegros.blogspot.com/2008/03/praxinoscopio.html>, Figura.7Praxinoscopio

7 <http://laedaddelpixel.blogspot.com/2013/02/la-capsula-del-tiempo-aquellos.html>, Figura. 2.7 Mutoscopio



Figura. 9 Cinematografía

## 2.2. LED DISPLAYS

El primer LED creado en la década de los 60's, resultó de la combinación de los materiales químicos semiconductores: galio, arsénico y fósforo. Se logró conseguir un LED ROJO con una emisión de luz relativamente baja.

En las siguientes décadas 70's, 80's y 90's la tecnología LED tuvo grandes avances y permitió emplearla en: la iluminación industrial, iluminación arquitectónica, las aplicaciones automotrices, luminarias para el alumbrado público, los artículos de control de tráfico, entre otros.

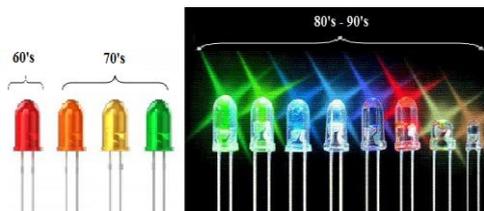


Figura. 10 Evolución LED décadas

## 2.3. DISPLAY ROTATIVO

En la actualidad y con el avance de la tecnología, existen varias aplicaciones para la presentación de información, un ejemplo es el display rotativo que es un dispositivo electrónico giratorio que contiene una columna de LED's RGB. El funcionamiento del display rotativo consiste en la rotación de una columna de LED's, que al encender y apagar simultáneamente, previa programación, se puede visualizar letras, números o imágenes.

El desarrollo del display rotativo en el mercado actual no muestra avances. Se utiliza mínimamente para mostrar la hora, fecha o mensajes grabados.

## 2.4. MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es un computador digital integrado en un chip que cuenta con una unidad de procesamiento central, memoria para el almacenamiento del programa y para el almacenamiento de datos y puertos de entrada salida.

El microcontrolador se desarrolló para emplearse en aplicaciones pequeñas que no involucran el uso de gran cantidad de memoria, el bajo costo económico, el mínimo consumo de energía y su alta flexibilidad son las principales ventajas que tiene el microcontrolador.

Hoy en día existen varios fabricantes de microcontroladores, que ofertan un sin número de modelos diferentes. La elección del microcontrolador a utilizar debe ser de acuerdo a la capacidad de las memorias, velocidad de funcionamiento, el número de líneas de entrada y salida y tipo de programación a emplear, entre otros.

## 2.5. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

### 2.5.1. Java



Figura. 11 Logo de Java<sup>8</sup>

Los lenguajes de programación son idiomas artificiales que se forman por un conjunto de palabras reservadas, símbolos, operadores, reglas sintácticas y reglas semánticas que definen su

<sup>8</sup> www.wmskill.com, Figura.11 Logo de Java

estructura. El proceso de programación consiste en la escritura del programa, compilación y verificación del código.

Para escoger un lenguaje de programación se debe entender completamente el problema que queremos resolver y conocer las restricciones de operación, una vez que escogemos el lenguaje de programación más adecuado, procedemos a resolver el problema desde un punto de vista algorítmico.

### 2.5.2. Historia de Java

JAVA, surgió en la empresa Sun Microsystems. En su inicio JAVA fue un lenguaje de programación que se destinó para pequeños dispositivos electrónicos, con el surgimiento de este lenguaje sencillo, capaz de generar un código de tamaño minúsculo y en combinación con C++, se creó en 1991, un nuevo lenguaje llamado Oak, para solucionar el problema de los cambios continuos en los chips electrónicos, es decir se desarrolló un código neutro que no dependía del tipo de dispositivo electrónico y se ejecutó sobre una máquina virtual. La máquina virtual interpretó el código neutro y lo convirtió en un código particular para el chip electrónico que se utilizó.

El lenguaje Oak tuvo poca aceptación entre las empresas creadoras de los dispositivos electrónicos. Para el año de 1995, el lenguaje sufre un cambio de su nombre y tiene varias mejoras en su diseño para surgir como lenguaje de programación para computadoras, JAVA.

### 2.5.3. La plataforma de Java

Los programas Java, se compilan en un lenguaje intermedio, que se denomina Bytecode. Este código se interpreta por la máquina virtual de Java del entorno de ejecución (JRE) y se consigue la portabilidad en distintas plataformas.

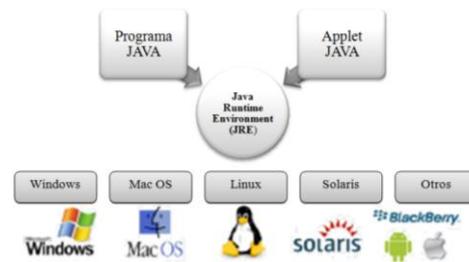


Figura. 12 Java Runtime Environment

### 2.5.4. Entorno de desarrollo de Java

Existen distintos programas que permiten desarrollar el código Java, Oracle es una empresa que distribuye el JDK (Java Development Kit), que es un conjunto de programas y librerías que permiten desarrollar, compilar y ejecutar aplicaciones en Java.

Otra opción para desarrollar código Java son los IDE's (Integrated Development Environment) que son los entornos de desarrollo integrado que permiten escribir el código, compilarlo y ejecutarlo sin tener que cambiar de aplicación, además tienen un conjunto de plantillas para diseñar y efectuar toda las tareas necesarias que se desea incorporar en un programa, brindado así ciertas ventajas al programador que las utilice. Los tipos de IDE's que existen en el mercado son:

**Netbeans:** Es un entorno gratuito que contiene un editor avanzado de código, depurador, diversos lenguajes, extensiones de todo tipo.

**Eclipse:** Es uno de los más utilizados por su compatibilidad con todo tipo de aplicaciones Java y sus interesantes opciones de ayuda al escribir código.

**JBuilder:** Es un entorno completo que se creó por la empresa Borland para la invención de todo tipo de aplicaciones Java, que incluyen aplicaciones para móviles.

**JCreator:** Es un editor comercial potente y de precios bajos que funciona en varias

máquina, no es un IDE completo y eso lo hace ligero.

### 2.5.5. Características de JAVA

- Es un lenguaje sencillo por su facilidad de comprensión.

- Se orienta a objetos, porque los objetos agrupan en sus estructuras sus datos como los métodos que actúan sobre los mismos, es decir, ocultan los estados de los datos miembros del objeto y solo es posible modificarlos con los métodos que se definen en el mismo objeto, además permite utilizar los datos o métodos de una clase dentro de otra como si le perteneciera a esta nueva clase.

- Es un lenguaje de programación que permite verificar el código al mismo tiempo que se escribe y antes de ejecutarse.

- Java es un lenguaje muy seguro pues controla y limita el acceso a recursos del sistema y evita daños sobre el mismo.

- El lenguaje de programación Java permite ejecutar las aplicaciones en cualquier plataforma, sin que cambie la esencia del programa que se diseñó. Quiere decir que será el mismo programa en cualquier plataforma.

- Java permite muchas funciones simultáneas en una aplicación y obtiene mejor rendimiento interactivo y comportamiento en tiempo real.

### 2.5.6. Diferencias de Java con respecto a otros lenguajes

- Es fácil de aprender y se estructura correctamente.

- Java es un lenguaje de programación gratuito.

- Es un lenguaje que se orienta a objetos.

- Aprovecha características de la mayoría de lenguajes modernos y evita sus inconvenientes.

- Java crea programas ejecutables. Se ejecutan independientemente del microprocesador o sistema operativo que utilice la máquina.

- Permite realizar multitareas.

- Tiene una gran funcionalidad gracias a sus librerías.

- Es seguro porque puede controlar el acceso a los recursos del sistema.

- El manejo de la memoria no es un problema, la gestiona el propio lenguaje y no el programador.

### 2.5.7. NetBeans

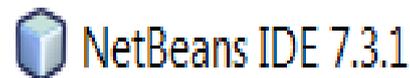


Figura. 13 Logo de NetBeans<sup>9</sup>

Netbeans es un poderoso entorno de desarrollo que permite editar programas en Java, compilarlos, ejecutarlos, depurarlos y construir aplicaciones complejas con interacción web, UML, base de datos, aplicaciones para telefonía móvil e inclusive inteligencia artificial.

En la última versión Netbeans 7.3.1 se desarrolla la interfaz para el sistema de rotulación RGB. Un programador puede utilizar una versión anterior de Netbeans 7.3.1 porque todas las versiones antiguas de este son compatibles con las nuevas. Cada versión se actualiza de acuerdo a los avances de la tecnología, es por eso que en esta versión se crea y depura aplicaciones web y móviles con HTML5 y JavaScript, además incluye mejoras en IDE para C/C++, JavaFX, Groovy.

### 2.5.8. CSC PIC-C versión 4.023

Es un compilador que traduce el código C del archivo fuente (.C) a lenguaje de

<sup>9</sup> <http://www.mundonets.com/herramientas/netbeans-ide/>, Figura.13.Logo de NetBeans

máquina para los microcontroladores PIC, genera así un archivo en formato hexadecimal (.HEX) necesario para programar un microcontrolador de 6, 8, 18 ó 40 patitas por medio de un programador de PIC.

Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos pre-procesados, controladores o drivers para diversos dispositivos como LCD, convertidores AD, relojes en tiempo real, entre otros.

### 2.5.8.1. Funciones permitidas

Son bloques de sentencias, que deben definirse antes de utilizarse. Una función se invoca desde una sentencia de otra función y puede devolver un valor a la sentencia que la invoca.

### 2.5.8.2. Interrupciones

“Las interrupciones permiten a cualquier suceso interior o exterior interrumpir la ejecución del programa principal en cualquier momento. En el momento de producirse la interrupción, el PIC ejecuta un salto a la rutina de atención a la interrupción, previamente definida por el programador. Cuando se termina de ejecutar dicha rutina, el PIC retorna a la ejecución del programa principal en la misma posición de la memoria de programa donde se produjo la interrupción.”<sup>10</sup>

## III. DISEÑO DE HARDWARE

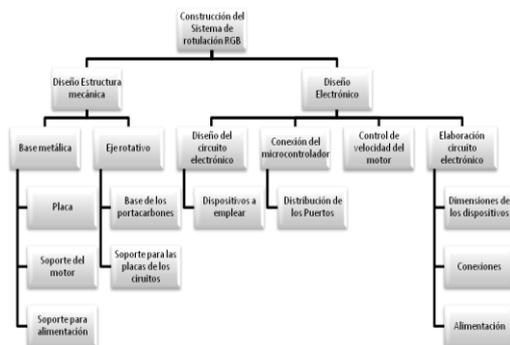


Figura. 14 Diagrama de bloques

10 García, Eduardo. Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC. Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V, México. Pág. 83.

## 3.1. Diseño de estructura mecánica

La estructura mecánica tiene la capacidad de soportar la hélice con las placas de circuitos, brinda alimentación y estabilidad al sistema de rotulación RGB.

### 3.1.1. Base metálica

Los problemas que solventa la base metálica son:

- Dar estabilidad al sistema de rotulación RGB cuando empieza su movimiento giratorio.
- Brindar soporte al motor y alimentación al sistema de rotulación RGB.

#### 3.1.1.1. Placa

Para soportar el movimiento giratorio del sistema de rotulación RGB se crea una placa de 20cm x 20cm en metal galvanizado para evitar su corrosión. En la placa se refuerza los bordes, para ello se colocan cuatro tiras de aluminio como bases. Ver figura 15.



Figura. 15 Placa metálica con bases

#### 3.1.1.2. Soporte del motor

En el mercado ecuatoriano hay una gran variedad de motores de corriente continua y alterna. Entre los dos tipos se escoge el motor de corriente alterna que trabaja a altas revoluciones y posee más torque que los motores de corriente continua, sin embargo, la mayor limitante es el tamaño que este posee. Por tanto, para la selección del motor se toma en cuenta, su tamaño, voltaje de operación, las revoluciones, el torque y la carga que consume. Entonces, se utiliza un motor de corriente alterna que se emplea en máquinas de coser o bordadoras cuyo tamaño es adecuado para situarse en el sistema de rotulación RGB. Ver tabla 1.

<b>Marca</b>	<b>FMD (sewing machine motor)</b>
<b>Modelo</b>	FM 10100
<b>Tensión y frecuencia de trabajo</b>	110 [VAC] – 50/60 [HZ]
<b>Corriente</b>	1.0 [A]
<b>Potencia</b>	100 [W]
<b>Velocidad</b>	6000/7000 [RPM]

Tabla. 1 Características motor AC

### 3.1.1.3. Soporte para alimentación

Se implementa un disco en una baquelita que contiene dos anillos de 46x54x1.25mm y 52x60x1.25mm de cobre, donde se conecta el positivo y negativo de la fuente de alimentación para transferir la alimentación de energía desde la placa hacia el eje rotativo RGB. Ver figura 16.

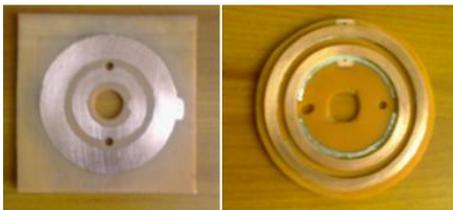


Figura. 16 Anillos de cobre

### 3.1.2. Eje rotativo

La integración del eje rotativo con el motor y la base metálica es un pilar fundamental en la implementación del sistema de rotulación RGB, puesto que es el punto de acople de todos los dispositivos electrónicos que permiten la visualización de los mensajes. El material que se emplea para la construcción del eje rotativo es una tira de aluminio de 56cm de largo, que se dobla en cuatro partes: dos partes con 20.5cm y las dos restantes con 6.5cm. Ver figura 17.



Figura. 17 Eje rotativo

### 3.1.2.1. Base de los portaescobillas

Para la construcción de la base de los portaescobillas se utiliza plástico industrial con el que se elabora un disco de 80mm de diámetro y 10mm de alto, que posteriormente se sujeta con tornillos en la hélice. Ver figura 18.



Figura. 18 Base portaescobillas

## 3.2. Diseño Electrónico

Para el diseño electrónico se toman en cuenta las necesidades que presenta el sistema de rotulación RGB: el manejo de 16 LED RGB, cambio de mensajes inalámbricamente, entre otros.

### 3.2.1. Diseño del circuito electrónico

#### 3.2.1.1. Microcontrolador PIC18F452

Para la selección del microcontrolador PIC18F452, se toma en cuenta la capacidad de las memorias, velocidad de funcionamiento, el número de líneas de entrada/salida y tipo de comunicación, entre otros. Ver Tabla. 2

<b>Características principales del PIC18F452</b>	
<b>Memorias</b>	32Kb de memoria Flash de programa. 1536 bytes de memoria de datos (RAM). 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
<b>Interrupciones</b>	18 interrupciones internas y externas
<b>Consumo de Energía</b>	Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts. Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA.
<b>Puertos A, B, C,</b>	Total 33 líneas de

<b>D y E</b>	entrada/salida.
<b>Puertos Serie</b>	Puerto serie universal USART.
<b>Frecuencia de operación</b>	Frecuencia de operación de 0 a 40 MHz.

Tabla. 2 Características principales del PIC18F452

### 3.2.1.2. Circuitos Integrados

#### DM74154

Para la administración de 16 LED RGB se necesitan 48 pines de salidas para el manejo de los colores rojo, verde y azul, por lo que es indispensable emplear demultiplexores pues el microcontrolador PIC18F452 no cuenta con suficientes líneas de entradas y salidas.

Los demultiplexores que se usan son DM74154, que por medio de cuatro señales de entrada y una señal adicional para el control, se obtienen 16 salidas.

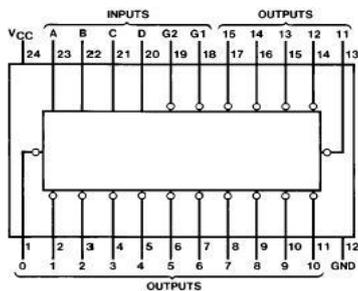


Figura. 19 Circuito Integrado DM74154

### 3.2.1.3. Comunicación Inalámbrica Bluetooth

Es indispensable emplear un dispositivo inalámbrico para la movilidad del sistema de rotulación RGB, para ello se utiliza la tecnología Bluetooth que es un protocolo de comunicaciones que se desarrolla específicamente para dispositivos de bajo consumo de energía y que requieren corto alcance de emisión. Posee la capacidad de emitir una señal a una distancia corta de hasta 100 metros y funciona en la banda de radio de los 2,4 GHz.

### 3.2.1.3.1. Módulos HC-05

Se emplean dispositivos HC-05 que manejan comunicación Bluetooth SPP para el desarrollo de la comunicación inalámbrica del sistema de rotulación RGB. Estos módulos tienen funcionamiento como dispositivo maestro o esclavo.

### 3.2.1.4. Transistores 2n3906

Las salidas de los integrados DM74154 se activan en nivel bajo por lo que se emplean transistores PNP para la activación de los LED RGB.

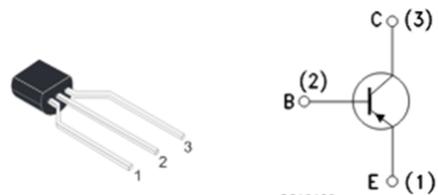


Figura. 20 Transistor 2N3906<sup>11</sup>

La configuración que se emplea en los transistores es la de interruptor, por lo que se trabaja en la zona de corte y saturación. Ver figura 21.

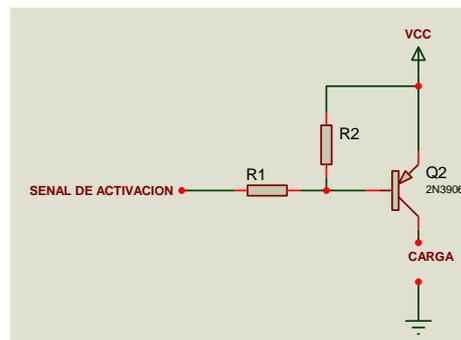


Figura. 21 Conexión modo interruptor del transistor 2N3906

### 3.2.1.5. LED RGB SMD

Se pueden obtener siete distintos colores al trabajar con LED RGB. Ver figura 22 y tabla 3.

<sup>11</sup> [http://www.ece.rice.edu/~jdw/data\\_sheets/2N3906.pdf](http://www.ece.rice.edu/~jdw/data_sheets/2N3906.pdf). Figura 20



Figura. 22 Combinación de colores<sup>12</sup>

Combinación Colores	Resultado
 + 	
 + 	
 + 	
 + 	
 + 	
 + 	
 +  + 	

Tabla. 3 Combinación de colores

### 3.3. Conexión del microcontrolador

Con el diseño del circuito eléctrico se designa los pines de los diferentes puertos del microcontrolador PIC16f877A, que dan las señales de entrada y control para los circuitos integrados DM74154 y las señales de comunicación para el módulo inalámbrico HC-05.

**Puerto A (pines 2-4):** Proporciona la señal de control para habilitar o deshabilitar el encendido de los LED's rojos, verdes y azules.

Se designa un rango de valores de 0 al 7 para el manejo de los colores, por medio de las señales de control que se envían por el puerto A. Ver tabla 4.

Valores en el Puerto A	Colores	Tono
0	Blanco	
1	Cyan	
2	Púrpura	
3	Azul	
4	Amarillo	
5	Verde	
6	Rojo	
7	Led apagados	-

Tabla. 4 Valores Puerto A

**Puerto B (pines 33-40):** Proporcionan las señales de entrada para controlar el encendido secuencial de los LED's azules y verdes.

**Puerto C (pines 26):** Recibe los datos transmitidos al módulo inalámbrico HC-05 que se envían desde un dispositivo bluetooth exterior.

**Puerto D (pines 19-22):** Proporcionan las señales de entrada para controlar el encendido secuencial de los LED's rojos.

### 3.4. Elaboración circuito electrónico

Se traslada el diseño del circuito al ARES donde se crean las pistas y bornes para colocar los diferentes elementos físicamente. Se toma por tanto en cuenta las dimensiones de los dispositivos, alimentación y conexiones auxiliares para la grabación del PIC16f877A y configuración del modulo inalámbrico HC-05.

Finalmente con todas las conexiones y dimensiones de los diferentes elementos, los resultados son tres placas:

1. Placa principal: Contiene al PIC16F877A, tres integrados DM74154, módulo inalámbrico HC05, conexión auxiliar para grabación del PIC16F877A y borneras para señales de salida.

<sup>12</sup> <http://proyectoplasticaprimariallossimpsons.blogspot.com/2013/04/vision-de-los-colores-beatriz-perez.html> Figura 22

2. Placa transistores: Contiene 48 transistores que se configuran en modo interruptor y borneras para señales de entrada y salida.

3. Placa LED's RGB: Contiene 16 LED's RGB SMD.

### 3.5. Control de velocidad del motor

Permite variar la velocidad de giro del motor y consigue cambiar la posición del mensaje que se presenta en el sistema de rotulación RGB.

Para el diseño del control de velocidad se escoge un control a través de un dimmer que utiliza un método de regulación por triac y diac. El triac se utiliza para el control de fase de la corriente alterna que conmuta en los estados de conducción durante los semiciclos positivos y negativos de la señal de entrada, mientras que el diac se emplea para disparar al triac.

### 3.6. Posicionamiento de mensajes

Para el posicionamiento de los mensajes alrededor del sistema de rotulación RGB, se toma en cuenta las siguientes variables: la longitud de la hélice, la velocidad de giro del motor y el tiempo en que se presentan los mensajes.

### 3.7. Fuentes de alimentación

Se considera una conexión en paralelo de todos los dispositivos que conforman el sistema de rotulación RGB, para la alimentación del circuito electrónico. Las tensiones y cargas que se emplean para alimentar de energía al sistema de rotulación RGB se describen a continuación:

Elemento	Tensión	Corriente	Carga total
Motor	110 [VAC]	1 A	1 [A]
Microcontrolador PIC18F452	5 [VDC]	25 [mA]	25 [mA]
Integrados DM74154	5 [VDC]	En nivel alto -0.8	42 [mA]

		[mA]	
		En nivel bajo	16 [mA]
Módulos inalámbricos HC05	3.3 [VDC]	50 [mA]	50 [mA]
Led RGB	Rojo 2.1 [VDC]	20 [mA]	960 [mA]
	Verde 3.3 [VDC]	20 [mA]	
	Azul 3.3[VDC]		

Tabla. 5 Características para la fuente de alimentación

Según los datos descritos, es necesario emplear una fuente de alimentación de 5 [VDC], que soporte un consumo de corriente alrededor de 1.5 [A] para los dispositivos electrónicos, y para el motor se emplea alimentación de 110 [VAC] 60Hz.

### 3.8. ELABORACIÓN DEL SISTEMA EN SOLIDWORKS VERSIÓN 2011

Solidworks versión 2011, es un programa que se desarrolló para la creación de diseños mecánicos en tercera dimensión, que emplea un ambiente de desarrollo gráfico, amigable con el usuario, intuitivo y fácil de manejar.

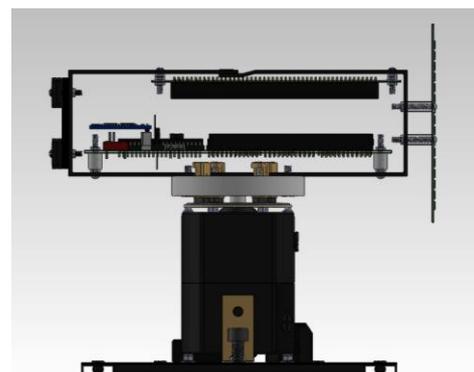


Figura. 23 Sistema de rotulación RGB vista lateral

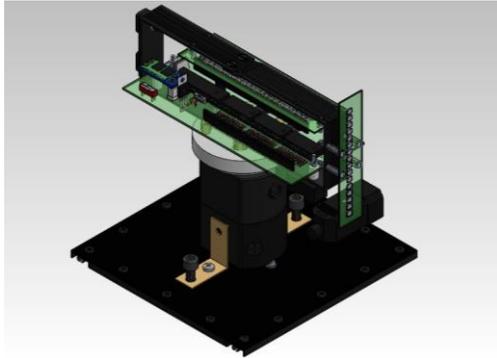


Figura. 24 Sistema de rotulación RGB vista superior

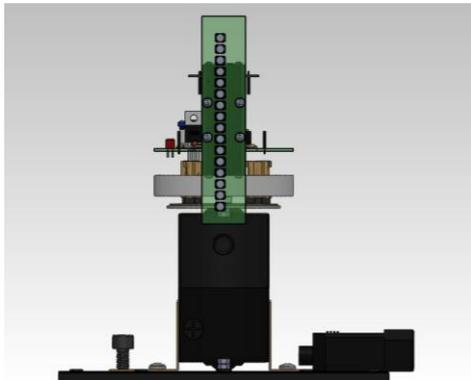


Figura. 25 Sistema de rotulación RGB vista frontal

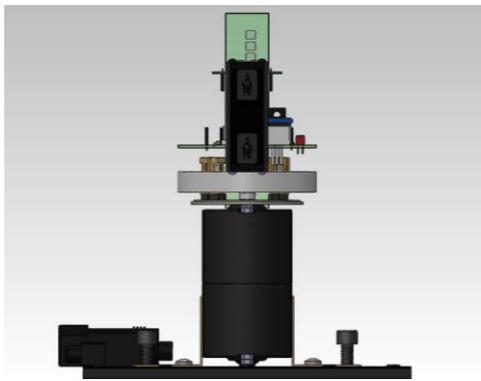


Figura. 26 Sistema de rotulación RGB vista posterior

## IV. DISEÑO DEL SOFTWARE

### 4.1. Desarrollo de la Interfaz y programación

#### 4.1.1. Requerimientos previos

Para realizar la programación de la interfaz gráfica del dispositivo de rotulación RGB, es necesario instalar el IDE NetBeans 7.3.1 y la librería RXTX, que permite la comunicación serial entre la PC y el dispositivo de rotulación RGB.

#### 4.1.2. Funcionalidad

La interfaz que se desarrolla para el sistema de rotulación RGB, permite diseñar los mensajes que se presentan en el dispositivo, almacenar el código de los mensajes en un bloc de notas y abrir códigos que se guardan con anterioridad.

#### 4.1.3. Programación

Las condiciones que se presentan para el desarrollo del programa de la interfaz del sistema de rotulación RGB son:

- Agilidad y sencillez para el usuario al diseñar un texto o imagen a través de la interfaz grafica.
- Capacidad de almacenamiento de los mensajes o imágenes que se crean en la interfaz.
- Agilidad en el envío de los datos por el puerto serial de la PC.
- Manejo de parámetros de configuración del puerto de comunicación.

### 4.2. Programación Microcontrolador

#### 4.2.1. Requerimientos previos

Para realizar la programación del microcontrolador es necesario contar con un compilador y un grabador. En el sistema de rotulación RGB se emplea el compilador CCS PIC-C versión 4.023 y el grabador PICkit versión 2.61.

#### 4.2.2. Funcionalidad

El programa que se desarrolla en CCS PIC-C, es capaz de almacenar los datos que se reciben de la PC por medio de los módulos inalámbricos HC05, los envía hacia los puertos en un tiempo mínimo y sin perder ningún dato al manipularlos.

### 4.2.3. Programación

Las condiciones que se presentan para el desarrollo del programa del microcontrolador son:

- Recibir los datos de la UART sin que afecte la ejecución del programa principal.
- Capacidad de almacenamiento de los datos que se reciben en arreglos.
- Agilidad en el envío de los datos por los puertos A, B y D.
- Manejo de tiempos de retardo para la publicación de los datos a través de los puertos.
- Publicación de datos constante sin pérdida de ninguno de ellos.

## V. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.1. Ubicación de los elementos

Para la implementación del sistema de rotulación RGB y su funcionamiento se acoplan las placas de los circuitos en la hélice de la siguiente forma.

#### 5.1.1. Montaje de placa principal y placa transistores

La placa del circuito principal y la placa de los transistores se empotran con tornillos en la parte interior superior e interior inferior de la hélice, además se incluyen soportes plásticos de 10mm de alto por 5mm de radio, para evitar que las pistas de la circuitería de las placas hagan contacto con la hélice. Ver figura 27 y figura 28.

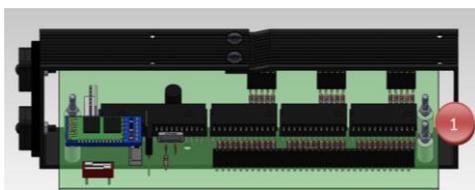


Figura. 27 Placa principal en la hélice

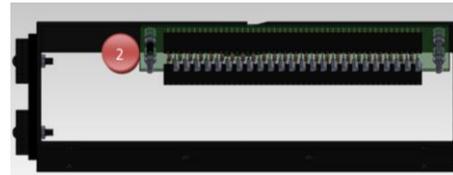


Figura. 28 Placa de los transistores en la hélice

#### 5.1.2. Montaje de la placa de led's RGB

La placa que contiene los 16 led's RGB se empotra con tornillos en la parte exterior frontal de la hélice y se incluyen soportes plásticos de 15mm de largo por 1.5mm de radio para que los cables que provienen de la placa de los transistores tengan el suficiente espacio para su conexión. Ver figura 29.

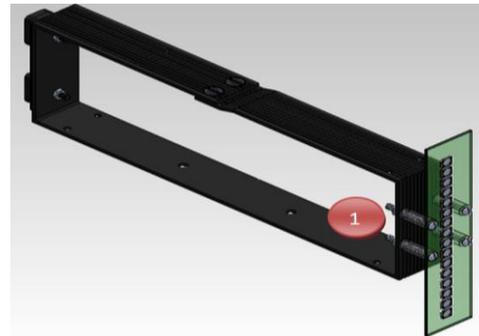


Figura. 29 Placa de los LED's en la hélice

#### 5.1.3. Montaje del dispositivo inalámbrico

Es importante que el dispositivo inalámbrico que se conecta a la placa principal sea removible puesto que se necesita configurarlo para su uso.

### 5.2. Conexión eléctrica y comunicaciones

#### 5.2.1. Conexión eléctrica

Para la conexión eléctrica se emplea una conexión en paralelo de todos los dispositivos que conforman las diferentes placas del sistema de rotulación RGB. Todos los dispositivos se alimentan con 5 [VDC], excepto el módulo inalámbrico HC05 que se

alimenta con 3.3 [VDC], la carga total del circuito consume alrededor de 1.5 [A].

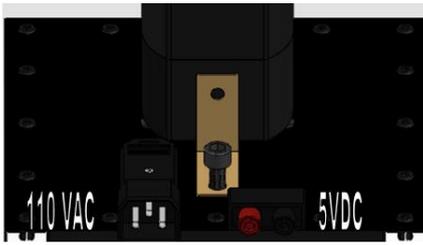


Figura. 30 Conexión eléctrica

### 5.2.2. Comunicaciones

La comunicación entre el sistema de rotulación RGB y la PC se realiza por medio de los módulos inalámbricos HC05.

### 5.3. Pruebas de funcionamiento con el dispositivo

#### 5.3.1. Verificación del giro del sistema de rotulación RGB

En el movimiento giratorio del dispositivo de rotulación RGB, se detecta un efecto de balanceo, vibración y recalentamiento del motor AC, que provoca inestabilidad en el sistema. El recalentamiento del motor AC se debe al exceso de fricción entre las escobillas y los anillos de cobre por la rigidez de los resortes de las escobillas.

#### 5.3.2. Verificación de la alimentación hacia la hélice

Se evidencia que la transferencia de alimentación desde la base del sistema de rotulación RGB hacia la hélice durante el movimiento giratorio no es constante por la desconexión de las escobillas con los portaescobillas.

### 5.4. Corrección de errores y verificación final de la estructura

De la verificación del giro del sistema de rotulación RGB y de la verificación de la alimentación hacia la hélice, se detectan tres errores descritos anteriormente por

lo que se proporcionan las siguientes soluciones.

#### 5.4.1. Corrección del efecto de balanceo y vibración

Para corregir el efecto de balanceo y vibración del sistema de rotulación RGB, se colocan pesos de hierro de 5 gramos y 30 gramos, en el extremo opuesto a la placa de los LED's RGB, en la hélice. Se determina un peso aproximado de 50 gramos para lograr el equilibrio del giro de la hélice.

#### 5.4.2. Corrección de la falla en la alimentación hacia la hélice

Para solucionar la falla de alimentación de energía hacia la hélice, se suelda el extremo de las escobillas al tope del portaescobillas para garantizar que las escobillas no se desconecten durante el movimiento giratorio del sistema de rotulación RGB. Ver figura 31.



Figura. 31 Escobillas y portaescobillas soldados

#### 5.4.3. Corrección del recalentamiento del motor AC

Para solucionar el problema del recalentamiento del motor AC, se cambian los resortes originales de las escobillas por unos más suaves que no ejercen un exceso de fricción en los anillos de cobre y se coloca un ventilador para contribuir a la circulación de aire en el motor AC. Ver figura 32.



Figura. 32 Resortes de las escobillas

### 5.5. Puesta en marcha del sistema de rotulación RGB

Una vez que se corrigen todos los errores de funcionamiento, se pone en marcha el sistema de rotulación RGB y se comprueba que las soluciones descritas resuelvan satisfactoriamente los inconvenientes.

Para finalizar se protege al sistema de rotulación RGB con una cubierta plástica transparente, para que ningún objeto del exterior golpee la hélice durante su movimiento giratorio y dañe el aparato o produzca graves lesiones en el usuario.

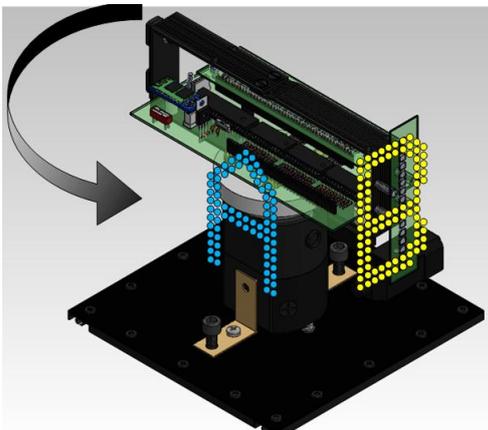


Figura. 33 Sistema de rotulación RGB

## VI. CONCLUSIONES

- Realizar el diseño e implementación de un sistema de rotulación RGB, que se basa en la técnica de la persistencia de la visión, ofrece una solución óptima del alcance visual, que se aplica en el mercado de la publicidad, a partir de recursos mecánicos y electrónicos actualmente disponibles en el mercado ecuatoriano.

- Analizar previamente las condiciones óptimas y necesarias para la ubicación de los dispositivos electrónicos y de los elementos mecánicos en la creación del sistema de rotulación RGB, es necesario para que no se produzcan cambios en sus diseños al momento de su acople.

- Emplear en el diseño mecánico del sistema de rotulación RGB portaescobillas y anillos de cobre, es una solución factible para transferir energía desde un punto fijo a un elemento que está en movimiento porque no representa un obstáculo en el movimiento giratorio del sistema.

- Emplear comunicación inalámbrica en el sistema de rotulación RGB, facilita la transmisión de datos desde la PC hacia el microcontrolador, porque se elimina la dependencia de cables y conectores, además de que se justifica la selección de los módulos HC05, que emplean comunicación Bluetooth-SSP y se diseñan para trabajar en dispositivos de bajo consumo de energía como son los microcontroladores.

- Elegir un microcontrolador PIC18F452 para el control del sistema de rotulación RGB, facilita el almacenamiento de datos por su capacidad de memoria RAM en comparación a otras gamas de microcontroladores PIC, además, favorece el bajo consumo de energía y configuraciones de Reset que posee.

- Descartar sentencias condicionales en la programación del microcontrolador del sistema de rotulación RGB, agiliza la lectura del programa y da la opción de controlar los tiempos de retardo que permiten visualizar el mensaje sin ninguna deformación.

- Emplear el lenguaje de programación JAVA para el desarrollo de la interfaz gráfica en el sistema de rotulación RGB, permite crear un archivo ejecutable que puede abrirse en

cualquier PC, sin la necesidad de instalar entornos de desarrollo de JAVA.

- Usar la interfaz gráfica en el sistema de rotulación RGB, proporciona al usuario un entorno visual sencillo de manejar, que permite diseñar texto o imágenes que se presentan a través de los LED's RGB en el sistema de rotulación.
- Ofrecer la opción de guardar el código del mensaje o imagen que se crea en la interfaz gráfica del sistema de rotulación RGB en un archivo con extensión .txt, da la posibilidad al usuario de reutilizar o editar mensajes que se crean sin la necesidad de volver a diseñarlos.
- Controlar los tiempos de retardo y velocidad de giro del motor del sistema de rotulación RGB, permite una correcta visualización del mensaje y evita distorsiones en el texto o imagen que se proyecta a través de los LED's RGB.

## VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

- [1] En M. H. Rashid, *Electrónica de Potencia circuitos, dispositivos y aplicaciones* (págs. 106-110, 191-198). Prentice hall hispanoamerica, S.A.
- [2] En T. L.Floyd, *Dispositivos Electronicos* (págs. 182-185 y 202).
- [3] En G. Eduardo, *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC* (pág. 83). Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V, Mexico.
- [4]R. Cadenhead, *Programacion JAVA 7* (págs. 84-95, 152-167). Anaya Multimedia.

[5]*Microcontroladores PIC*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11301/fichero/Memoria%252FCap%C3%ADtulo+3.pdf>

[6]*Netbeans*. Obtenido de [https://netbeans.org/about/historiy\\_pt\\_BR.html](https://netbeans.org/about/historiy_pt_BR.html)

[7]*Posicionamiento del mensaje*. Obtenido de <http://www.iesmajuelo.com/index.php?f=departamentos&id=354&deptno=Inform%Etica>

[8]*POV con LED's*. Obtenido de <http://www.taringa.net/posts/hazlo-tu-mismo/10701574/POV-Persistence-Of-Vision-Con-Leds.html>

[9]*Transistores 2N3906*. Obtenido de [http://www.ece.rice.edu/~jdw/data\\_sheets/2N3906.pdf](http://www.ece.rice.edu/~jdw/data_sheets/2N3906.pdf)