

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS DE ARTE
LUMINOSOS USANDO LEDS COMO TÉCNICA DE
DIBUJO Y COLOREO”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

Alexander Edward Merejildo Tomalá

Omar Eduardo Reyes Mata

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todas las personas que he tenido el agrado de conocer y de aprender de ellos, pues de alguna u otra forma han contribuido en formar al profesional en el que me estoy convirtiendo. A todos ellos que han llegado a ser una inspiración, una motivación, buenos amigos, hermanos, consejeros, una palabra de esperanza, una guía en cada momento que he tropezado. Al final del camino solo tú decides levantarte, solo tú decides continuar, pero siempre es una bendición contar con personas que te brindan su amistad y su buena voluntad de ayudarte.

Alexander Edward Merejildo Tomalá

Este logro lo dedico a mis padres, quienes fueron pilares fundamentales por su amor y apoyo incondicional, a mis amigos, familiares y profesores que de una u otra manera llegaron a aportar en la formación del profesional en el cual me estoy logrando convertir.

Omar Eduardo Reyes Mata

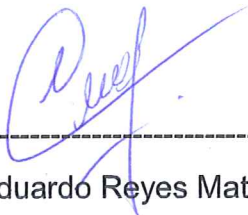
AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme vivir esta meta cumplida, a mis padres por ese apoyo incondicional, consejos formaron al ser humano en el que soy, a mis amigos, que con palabras de aliento hicieron que siga adelante y no permitieron que me rinda nunca.

Omar Eduardo Reyes Mata

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Omar Eduardo Reyes Mata* y *Alexander Edward Merejildo Tomalá* damos nuestro consentimiento para que ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Omar Eduardo Reyes Mata

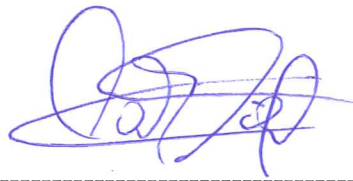


Alexander Edward Merejildo Tomalá

EVALUADORES



Ph. D. Francisco Novillo Parales
PROFESOR DE LA MATERIA



MSc. Dennys Paillacho Chiluiza
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Existen lugares dentro de las ciudades que se han convertido en centro de atracción de algunos males sociales tales como, delincuencia, drogadicción, hábitats de mendicidad, entre otros, debido principalmente a la poca o nula iluminación que poseen estos sitios trayendo como consecuencia la poca circulación de personas y la devaluación de las propiedades de estos lugares. Ya que, si bien es cierto, existen obras de artes, situados alrededor de la urbe y estos pueden ser apreciadas en la luz del día, sin embargo, al llegar la noche éstos carecen de iluminación, y los que si poseen, no tienen la iluminación adecuada, haciendo que la apreciación hacia las obras artísticas se vea minimizada, y haciendo que estos sitios sean intransitables para la sociedad en horas nocturnas. Por lo tanto, con la finalidad de poder rescatar y dar vida a edificaciones de entidades públicas y/o privadas, o sectores dentro de la urbe, se implementó una técnica innovadora de iluminación de obras artísticas basado en sistema de iluminación electrónica con leds RGB, la cual ayuda a que la obra de arte no pierda visibilidad al momento de no ser iluminada.

Por ello, se realizaron pruebas a diferentes secuencias de iluminación, las cuales nos permitieron por medio de encuesta realizada, llegar a la conclusión, que el nivel de aceptación sea favorable a estos tipos de obras artísticas luminosas, y haciéndonos saber mediante los resultados obtenidos de la encuesta, que el proyecto implementado si puede recuperar aquellos lugares que, por circunstancias externas, fueron descuidados y pudiendo hacer de ellos tomados en cuenta como sitios turísticos para la ciudad, donde se lograría activar la economía, integración a las comunidades locales sirviendo de ayuda para su desarrollo, atracción de inversiones, y demás beneficios que conlleva el turismo. Inclusive, se pudo constatar, que este tipo de proyecto puede llegar a fomentar e incentivar el arte en nuestra sociedad.

Palabras claves: obras artísticas, técnica de iluminación, LED RGB, secuencia de iluminación.

ABSTRACT

There are places within cities that have become the center of attraction for some men, social stories such as crime, drug addiction, poor neighborhoods, among others, due to the little or no lighting that affects these sites that are being affected by the low circulation of people and the devaluation of the properties of these places. Since, although it is true, there are works of art, located around the city and these can be appreciated in the daylight, when the given night arrives they lack lighting, and those who, if they have, do not have adequate lighting, making the appreciation towards artistic works not ideal, and making these sites impassable for society. Therefore, with the proposal of being able to rescue and give life to buildings of public and / or private entities, or sectors within the city, an innovative technique of lighting of artistic works based on electronics and RGB LEDs is implemented, which helps that the work of art does not lose its essence at the moment of not being enlightened.

Therefore, tests and different lighting sequences are carried out, which allow us to reach the conclusion, through a survey carried out, that the level of acceptance is favorable to these types of luminous artistic works, and letting us know through the results of the survey, the project implemented if you can recover those places that, due to external circumstances, were forgotten or not taken into account as tourist sites for the city. Even, it was found that this type of project can encourage and encourage art in our society.

Keywords: *artistic works, lighting technique, RGB LED, lighting sequence.*

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Determinación del problema	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Justificación, importancia y alcances	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2	6
2. Marco Teórico	6
2.1 El vitral como obra de arte	6
2.2 Pantones de colores	8
2.3 Sistema de control	9
2.4 Modulación por ancho de pulso (PWM)	11
2.4.1 Modulación de ancho de pulso simple con escritura analógica	12
2.4.2 Modulación de ancho de pulso con golpes de bits	12
2.4.3 Temporizadores	13
2.4.4 Usos del PWM	14
2.5 Sistema de iluminación	15
2.6 Transistores	15
CAPÍTULO 3	17
3. METODOLOGÍA	17
3.1 Diseño del controlador	18
3.2 Interfaz entre el Arduino y los leds RGB	18
3.3 Lógica de programación del controlador	20
3.4 Técnica de iluminación	21
3.5 Implementación	22
CAPÍTULO 4	23
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	23
4.1 Evaluación de pantones registrados por variaciones de color	23

4.2 Pruebas de cantidad de luz visible emitida por leds	24
4.3 Evaluación de aceptación sobre la técnica implementada	24
 CAPÍTULO 5	 26
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5.1 Conclusiones	27
5.2 Recomendaciones	27

ABREVIATURAS

ETC	Etcétera
LED	Light-Emitting Diode
RGB	Red, Green, Blue
PMS	Pantone Matching System
USB	Universal Serial Bus
IDE	Integrated Development Enviroment
PWM	Pulse-Width Modulation
WGM	Waveform Generation Mode
TCCR	Timer Counter Control Register
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow and Key
VS	Versus
CS	Clock Select

SIMBOLOGÍA

Hz	Hercios
MHz	Megahercios
V	Voltios
C	Recubierto
U	No Recubierto
M	Mate
Ω	Ohmios
A	Amperios
Cm	Centímetros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Santuario Señor de la Misericordia [23].....	7
Figura 2.2 Guayaquil conquista el cielo [24].....	8
Figura 2.3 Pantones de colores [16].....	9
Figura 2.4 Arduino Mega 2560 [8].....	10
Figura 2.5 Modulación de ancho de pulso [6].....	11
Figura 2.6 Timers/Counters [28].....	13
Figura 2.7 Tira de leds RGB [12].....	15
Figura 2.8. Transistor BJT [27].....	16
Figura 3.1 Esquema de metodología.....	17
Figura 3.2 Interfaz entre Arduino y leds RGB.....	19
Figura 3.3 Esquemas de leds RGB 5050.....	20
Figura 3.4 Propuesta de diseño.....	22
Figura 4.1 Evaluación de pantones de colores en el vitral.....	23
Figura 4.2 Gráfica de cantidad de leds por metro lineal vs Cantidad de luz emitida....	24
Figura 4.3 Gráfica porcentual de nivel de aceptación sobre la técnica implementada...25	
Figura 4.4 Gráfica porcentual para evaluar si las obras artísticas luminosas rescatarían sectores con poco o nada de iluminación	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Cálculo de la resistencia en la base del transistor.....	19
Tabla 3.2. Generación de colores.....	20

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día podemos decir que el arte y la tecnología pueden ser combinadas perfectamente y lograr una integración de medios y disciplinas para las cuales se han creado obras con diferentes conceptos, pero paralelas al pensamiento artístico, permitiendo que el creador de estas nuevas obras obtenga el beneficio de adquirir gran variedad de avances en arte y tecnología. Sin embargo, tiempo atrás cuando la idea de integrar las artes visuales con los medios tecnológicos era impensable, ya que se consideraban opuestas y sin relación alguna, por lo que el arte se alimenta de la comunicación visual y sonora, además que está basado en la emoción y la intuición, por otra parte, la ciencia se alimenta de valores sistemáticos basados en la tradición y cumplimiento de las normas, además que busca el conocimiento y la comprensión de todo. En la actualidad, podemos decir que el arte es el efecto de la visión de su creador, consecuencia del pensamiento humano y no llegar a pensar que es más el resultado del desarrollo de una técnica con sus limitaciones.

Jeff Koons citó: “El arte para mí es un acto humanitario y conlleva la responsabilidad de crear un efecto en la humanidad, de hacer el mundo un mejor lugar”. Habitualmente para el desarrollo de la sociedad y convivencia, las artes son consideradas como parte fundamental. El desarrollo cultural es colaborado por las distintas manifestaciones de la sociedad a través de un gesto de expresión que son el reflejo de sentimientos de una comunidad sin diferenciar edad, origen, raza, condición social, entre otros, así lo afirma en su artículo García, G. (2019). “¿Cuál es la importancia del arte en la sociedad?”. *Arte Escondido*. De los diferentes elementos que conforman el entorno del individuo, como lo cotidiano transformado en arte o artesanías, forma o materia, en donde han ayudado a incentivar a la percepción o curiosidad proporcionando un aporte a la variedad como especie de la vida, éstos se han convertido en principales elementos del entorno para poder contribuir al bienestar del ser humano. Por lo tanto, no es ajeno encontrar alrededor de nosotros expresiones que tengan que ver con informática, electrónica, artefactos Smart y tele-operadores,

Se debe tener en cuenta que una de las cosas fundamentales para la cultura de una sociedad es el arte. Cuando las personas aprecian cualquier tipo de arte tienden a entender de una manera distinta nuestro entorno, la vida y a nosotros mismos.

Cuando apreciamos los diversos tipos de arte que existen, con frecuencia buscamos el tipo de mensaje que el artista desea transmitir y le damos nuestra propia interpretación en relación de lo que sabemos de la vida.

Regularmente al querer expresarnos con nuestras propias palabras, no podemos hacerlo tanto como queremos, como cuando lo hacemos a través de los diferentes tipos de artes expresados mediante imágenes, colores, sonidos, formas, líneas.

Normalmente, al estar rodeados en nuestro entorno por los diversos tipos de arte comenzamos a desarrollar nuestra preferencia estética, respecto al arte, dando nuestro propio concepto de “belleza” ayudándonos a crecer como persona y a incentivarnos a un mejor aprendizaje.

“Nos conocemos a nosotros mismos a través del arte, ya que nuestra percepción de éste es lo que nosotros somos.”

Anónimo.

1.1 Determinación del problema.

La problemática a la cual enfocarnos la aplicación de nuestro proyecto es a darle vida a sitios o sectores, y más a aquellas las cuales que carecen de luz, a través de los diferentes tipos de obras artísticas luminosas, situados en diferentes lugares, ya sean estos dentro de la urbe o como en entidades públicas o privadas.

En donde, si bien es cierto las obras artísticas existentes pueden ser apreciadas por la luz del día, aunque a veces esto no basta, no obstante, algunas de ellas tienen un tamaño relativamente presencial, y las personas que realmente gustan del arte pueden admirarlas, las obras pequeñas e inclusive las mismas de un mayor tamaño, a veces pasan desapercibidas por la falta de “ese algo” que logre captar nuestra atención, como lo puede ser la inclusión de algún tipo de iluminación.

Y aunque algunas de estas obras al caer la noche poseen iluminación, esto en muchas ocasiones no es suficiente para poder dar el efecto que el artista quiso mostrar, las cuales no son posibles apreciarlas como realmente se debería.

Añadiendo que muchas de éstas, quedan en las sombras sin poder ser apreciadas, quedando muchas de ellas en el olvido, por la falta o poca iluminación hacia estas obras antes mencionadas.

También podemos acotar que estas obras o murales existentes que se encuentran situadas bajos los puentes, pasos de nivel o pasos peatonales, lo cual, si bien es cierto, en el día son apreciables y dan vida a estos sectores, por la noche estos lugares son habitados por personas de la calle, quienes hacen de ese lugar su hábitat, que de alguna u otra manera, opacan o pueden llegar a dañar y/o deteriorar estos tipos de obras. Sin mencionar que, por la falta de iluminación atrae la inseguridad o se convierte en los sitios favoritos de los males sociales afectando a la sociedad y perdiendo el objetivo por lo cual se realizaron dichas obras.

Además, si bien es cierto existen obras o murales las cuales cuentan con un alumbrado, estos no son lo suficiente para lograr apreciarlos como si se lo puede hacer con la luz del día, sin mencionar que, éstos consumen más energía en relación con otras formas de iluminación.

1.2 Antecedentes

Uno de los temas más importantes en las técnicas artísticas [1] es el tratamiento de la luz en el arte. No se limita solo a la representación de la luz, sino que también toma en consideración la adecuada iluminación que deben recibir las obras de arte durante una exposición.

Por años para dar iluminación durante la noche a las pinturas, murales u otras obras artísticas se han usado reflectores o bañadores de luz que en un principio permite visualizar las obras de arte, pero no logra el impacto deseado en las personas.

La lona translúcida también se ha utilizado para realzar el arte durante la noche, permitiendo que la luz pase a través de la parte posterior del material, pero las personas asocian esta técnica con publicidad.

Otra técnica artística [1] para dar luz propia a las obras de arte es utilizando pintura fluorescente y fosforescente.

Al presente, las empresas de diseño de iluminación combinan tecnología y arte ofreciéndonos productos innovadores utilizando leds RGB.

1.3 Justificación, importancia y alcances

Debemos tener en cuenta que una de las capacidades que podemos desarrollar al poder presenciar arte es la mejora de nuestra creatividad y el enriquecimiento de conocimientos [2]. Además, la apreciación de arte nos hace entrar a una realidad que nosotros mismos creamos o a la que el artista lo ha hecho.

Por lo tanto, la importancia de la aplicación de nuestro proyecto es darle vida a sectores de ciudades como murales, peatonales, bajos de puentes, además de entidades públicas o privadas, escuelas, colegios, universidades, entre otras, con las diferentes obras creadas con este innovado tipo de técnica de iluminación que se desea implementar, la cual trata de usar a la electrónica como método de dibujo y coloreo, creando una alternativa para la apreciación de arte y poderlos colocar en sitios donde exista ausencia de la misma y también poder rescatar lugares que por la falta o poca iluminación se han convertido en sitios olvidados o peligrosos para nuestra sociedad.

Por lo cual, el tipo de iluminación que se aplicaría para estas obras o murales sería mediante leds, los cuales sea aprovecharía su eficiencia ya que el 95% de energía que se le suministra es transformada en luz [3]. Además, se aprovecharía al máximo el brillo que producen los leds haciendo no perder la calidad de la obra. También, nos proveerá un mejor desgaste en relación con otros tipos de componentes usados para la iluminación [3].

Uno de los beneficios de tener un ambiente cubierto por arte es la reducción de los niveles de estrés, provocados por el tráfico y ruido a los que están expuestas las personas en el diario vivir. Al ser colocadas en diversos puntos de la urbe, estos ayudarían a reducirlos, mejorando así la calidad de vida para nuestra sociedad [2].

Y, por último, pero no menos importante, es que por medio de la apreciación de los diferentes tipos de artes podemos sensibilizar e inclinarnos a ser mejores personas en la vida [2], ya que los que tienen la posibilidad de estar en mayor

contacto con el arte y la cultura, existirá una probabilidad mínima de que la personas caigan en diferentes males sociales como lo son la delincuencia, drogas, entre otros.

Al involucrarnos en este medio como lo es el arte y la cultura, sentir la experiencia de creación o apreciación de dichas obras nos dará un mejor semblante para nuestra vida cotidiana, recargándola con buenas vibras, energías positivas y eliminando lo negativo que podemos conllevar producidos por factores externos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

- Crear una técnica innovadora de creación de arte usando la electrónica como medio para poder iluminar obras de arte en lugares con poca o sin iluminación a través de obras artísticas luminosas.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar un controlador de luminosidad que sea capaz de dar cambios tonales a las obras artísticas creadas.
- Implementar un mosaico aplicando técnica de iluminación desarrollado a través de leds RGB.
- Evaluar el impacto en sectores estratégicos de la ciudad sobre la técnica propuesta en el presente documento.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Los conceptos, bases y proposiciones teóricas de las herramientas y técnicas a utilizar para la implementación del proyecto, los cuales se detallarán en este capítulo, fueron principalmente un vitral diseñado, el cual constará de un sistema de control conformado por un Arduino, al cual se lo programará con una secuencia de iluminación que se verá reflejada mediante los leds RGB. Entre las secuencias programadas, constará una de desvanecimiento, la cual será programada mediante modulación de ancho de pulso (PWM). Posterior, la luz emitida por los leds se verá contrastada con los colores del vitral, por lo que, por medio de evaluación de colores se escogerán los idóneos, para que los colores combinados por los LED y el vitral no lleguen a saturar la imagen del vitral.

2.1 El vitral como obra de arte

Por lo general, al mencionar la palabra arte, se suele relacionar con los siguientes términos como escultura, pintura, arquitectura, obras literarias, obras musicales, entre otras, ya que todas éstas pertenecen al gran mundo de las bellas artes [4]. Por lo que, dentro del arte, nos referimos a obra de arte a la creación realizada efecto de la imaginación y creatividad de sus autores, ya sean estos artistas o no, y que pueda llegar a manifestar un concepto o expresar alguna demostración de emoción o sentimiento. También, podemos describir a la obra de arte u obra artística como a la producción en el campo del arte, que se le asigna una función estética o social [5].

Definir a una obra de arte, no es una tarea fácil, ya que es algo relativo, porque existen personas que lo pueden considerar como tal y otras que no. Es más, no existe un criterio científico para definir qué obra es arte o no. Inclusive nos referimos como “obra de arte” para aludir metafóricamente a algo muy bien hecho [4].

La palabra vitral se deriva del término francés *vitrail*. Un vitral no es más que una vidriera que expone por diferentes colores, por ello, también son conocidas como vidrieras policromadas. Cabe recalcar que una vidriera se le alude a una

estructura conformada por vidrios, la cual nos permite cerrar cualquier estructura abierta, sean estas puertas, ventanas, etcétera [6].

Para la elaboración de los vitrales, se utilizan piezas de vidrios de distintas tonalidades de color, que, en muchas ocasiones, estos vidrios suelen ser coloreados con esmaltes para después poder ser amalgamados entre sí por medio de varas.

El vidrio de color es utilizado para hacer ventanas decorativas y otros objetos a través de los cuales pasa la luz. En el sentido estricto de la palabra, todo el vidrio coloreado está "manchado" o coloreado por la adición de varios óxidos metálicos mientras está en estado fundido [7]. Sin embargo, el término vidrieras se ha referido principalmente al vidrio empleado para hacer ventanas ornamentales o pictóricas. Las armonías de color singulares de la vidriera, en sí, se deben a cualquier técnica especial de coloración del vidrio, a la explotación de ciertas propiedades de la luz transmitida y al comportamiento adaptativo a la luz de la visión humana [6]. Cabe recalcar que, ni la pintura sobre vidrieras ni su ensamblaje con tiras acanaladas de plomo son una característica indispensable del arte [6]. Unos ejemplos de vitrales situados en la ciudad de Guayaquil podemos apreciar en las figuras 2.1 y 2.2.



Figura 2.1. Santuario Señor de la Misericordia [8].



Figura 2.2. Guayaquil conquista el cielo [9].

2.2 Pantones de colores

Pantone es un sistema de estandarización de color que ayuda en la identificación y coincidencia de colores. Este sistema se lo utiliza para identificar colores y, a través de este sistema de numeración, fabricantes de equipos pueden combinar los colores sin tener que contactarse entre sí. Los números de color Pantone consisten en un número de tres o cuatro dígitos seguido de la letra C, U o M, que significa "recubierto", "no recubierto" y "mate", respectivamente [10]. La paleta de colores en el PMS consta de aproximadamente 1,114 colores. Este sistema de coincidencia de colores es muy útil para evitar inconsistencias de color entre los distintos tipos de medios impresos y digitales [10].

El sistema de estandarización de color es el más popular y ampliamente utilizado para mantener la precisión de los colores en todo tipo de materiales impresos. Está diseñado para trabajar con cualquier tipo de equipo utilizado en la producción de color. Gracias al Pantone, se puede generar varios colores además de los colores CMYK normales utilizados para la impresión.

También es capaz de producir efectos de colores especiales como metálicos y fluorescentes. Los colores se representan usando un código de tres o cuatro dígitos seguido de una letra que indica el tipo de color (U, C o M). El código de la letra representa el papel en el que se imprime el color. Los colores se pueden expresar, por ejemplo, como Pantone 199C, Pantone 199U o Pantone 199M [10]. En la figura 2.3 se puede observar una muestra de la guía de colores existentes en el PMS (Pantone Matching System).



Figura 2.3. Pantone de Colores [11]

2.3 Sistema de control

El microcontrolador que se utilizó para el sistema de control fue el Arduino Mega 2560. De la familia de Arduino, en particular el Arduino Mega es considerado el microcontrolador más idóneo para poder trabajar, ya que entre sus características principales posee 54 pines digitales que pueden funcionar como entrada o salida; 16 entradas análogas, oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa [12], como se puede apreciar en la figura 2.4.

Utilizando el puerto serie y mediante un cable usb se puede realizar la comunicación entre la computadora y el Arduino Mega, ya que éste consta de un convertidor usb-serie.

Mediante la interfaz Arduino IDE se lo puede programar muy fácilmente ya que posee un lenguaje propio de Arduino.

Además, el Arduino Mega, mediante la programación, promueve la iniciativa de poder aprender, crear o incluso llegar a solucionar problemas, sin tener que ser un profesional, algo como la filosofía 'learning by doing' [12], ya que consta de los componentes necesarios para poder conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador.

El Arduino Mega es una placa basada en un microcontrolador. Los microcontroladores son circuitos integrados programables capaces de ejecutar instrucciones, las cuales se las pueden grabar mediante lenguaje de

programación a su memoria y proporcionan interacciones con los circuitos de la placa mediante la creación de programas.

Así mismo, el Arduino Mega permite la conexión de los distintos periféricos por medio de una interfaz de entrada en la placa. Los datos que lleguen de los periféricos conectados serán procesados por el Arduino, dicha información se transportará a través de ellos al ser conectados.

Los datos enviados al microcontrolador, como por ejemplo introducir datos, obtener imágenes, entre otras, van a depender exclusivamente de los diferentes tipos de periféricos a utilizar, ya sean estos cámaras, teclados o distintos tipos de sensores.

Los datos que salen hacia los periféricos conectados serán procesados por el Arduino por medio de una interfaz de salida, dicha información se transportará a través de ellos. Estos periféricos pueden ser altavoces, pantallas, controladores o incluso otras placas.

ESPECIFICACIONES [12]:

- Microcontrolador: ATmega2560.
- Voltaje de operación: 5V.
- Voltaje de entrada: 7 – 12V.
- Compatible con Android.

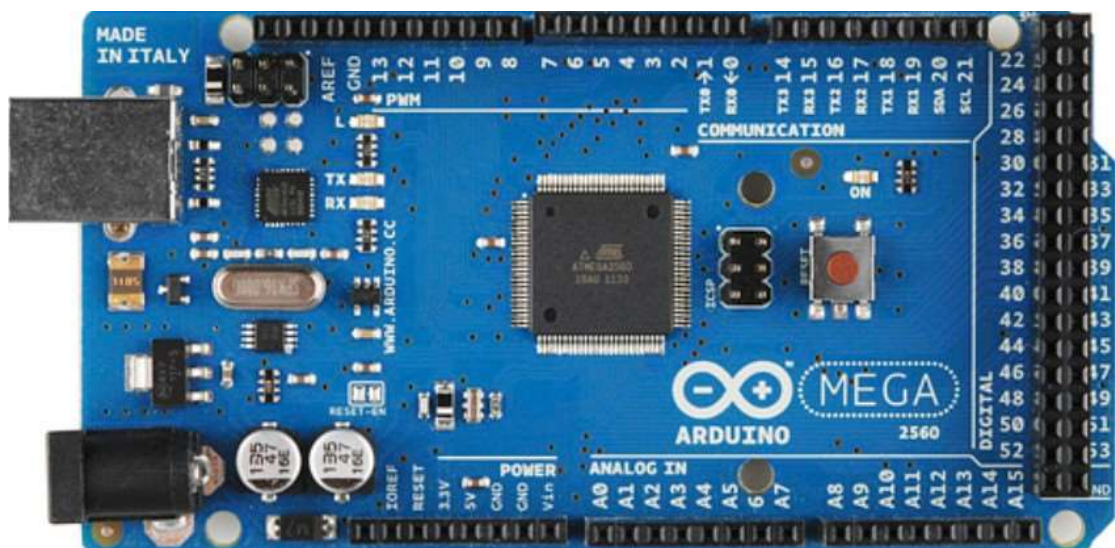


Figura 2.4. Arduino Mega 2560 [13]

2.4 Modulación por ancho de pulso (PWM).

La modulación de ancho de pulso, o PWM, la podemos utilizar para obtener resultados analógicos con medios digitales [14]. El control digital se utiliza para crear una onda cuadrada, una señal conmutada entre encendido y apagado. Este patrón de encendido y apagado puede simular voltajes entre encendido total (5 voltios) y apagado (0 voltios) al cambiar la parte del tiempo que la señal pasa en comparación con el tiempo que la señal pasa [14]. Para obtener valores analógicos variables, se debe cambiar o modular ese ancho de pulso. Si se repite este patrón de encendido-apagado lo suficientemente rápido con un led, por ejemplo, el resultado es como si la señal es un voltaje constante entre 0 y 5v que controla el brillo del led [14].

En la figura 2.5, las líneas verdes representan un período de tiempo regular. Esta duración o período es el inverso de la frecuencia PWM. En otras palabras, con la frecuencia PWM de Arduino a aproximadamente 500Hz, las líneas verdes medirían 2 milisegundos cada una. Una de las funciones de Arduino es `analogWrite()`, la cual nos permite dar un valor a unas de las salidas PWM que se comportarán como salidas analógicas. Una llamada a `analogWrite()` está en una escala de 0 a 255, de modo que `analogWrite(255)` solicita un ciclo de trabajo del 100% (siempre encendido), y `analogWrite(127)` es un ciclo de trabajo del 50% (la mitad del tiempo) para ejemplo.

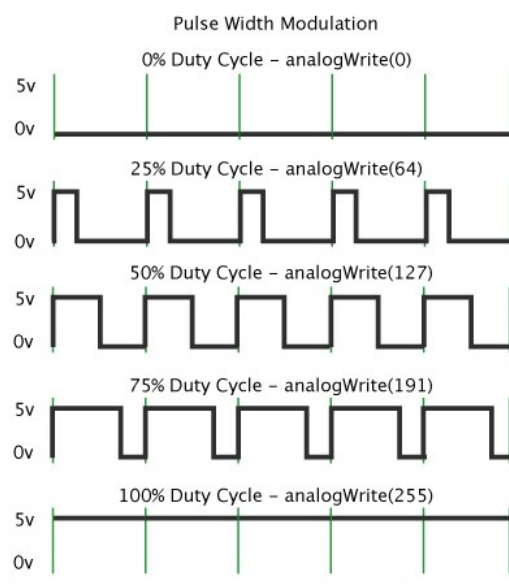


Figura 2.5. Modulación de ancho de pulso [14]

Al llevar la modulación al escenario puntual requerido para el proyecto, lo que está haciendo aquí es esencialmente mapear el tiempo a través del espacio. A nuestros ojos, el movimiento difumina cada parpadeo de led en una línea. A medida que el led se apaga y se apaga, esas pequeñas líneas crecerán y se reducirán en longitud.

2.4.1 Modulación de ancho de pulso simple con escritura analógica.

El lenguaje de programación de Arduino hace que PWM sea fácil de usar; simplemente llame a `analogWrite (pin, dutyCycle)`, donde `dutyCycle` es un valor de 0 a 255, y `pin` es uno de los pines PWM (3, 5, 6, 9, 10 u 11) [15]. La función `analogWrite` proporciona una interfaz simple para el hardware PWM, pero no proporciona ningún control sobre la frecuencia. (Tenga en cuenta que, a pesar del nombre de la función, la salida es una señal digital, a menudo denominada onda cuadrada).

Probablemente, la mayoría de los lectores pueden detenerse aquí, y simplemente usar `analogWrite`, pero existen otras opciones que brindan más flexibilidad.

2.4.2 Modulación de ancho de pulso con golpes de bits.

Puede implementar PWM manualmente en cualquier pin (pequeña clavija terminal de un circuito eléctrico) al encender y apagar repetidamente durante los tiempos deseados.

Esta técnica tiene la ventaja de que puede usar cualquier pin de salida digital [15]. Además, tiene control total sobre el ciclo de trabajo y la frecuencia. Una desventaja importante es que cualquier interrupción afectará el tiempo, lo que puede causar una considerable inquietud a menos que desactive las interrupciones [16]. Una segunda desventaja es que no puede dejar la salida en funcionamiento mientras el procesador hace otra cosa [16]. Finalmente, es difícil determinar las constantes apropiadas para un ciclo de trabajo y frecuencia particular a menos que cuente cuidadosamente los ciclos o ajuste los valores mientras mira un osciloscopio.

2.4.3 Temporizadores.

Los temporizadores son complicados por varios modos diferentes. Los modos principales de PWM son "Fast PWM" y "Phase-correct PWM" [17]. El temporizador puede ejecutarse de 0 a 255 o de 0 a un valor fijo. (El temporizador 1 de 16 bits tiene modos adicionales para admitir valores de temporizador de hasta 16 bits) [17]. Cada salida también se puede invertir.

Los temporizadores también pueden generar interrupciones por desbordamiento y / o coincidencia con cualquiera de los registros de comparación de salida, pero eso está más allá del alcance de este documento. Se utilizan varios registros para controlar cada temporizador. Los registros de control de temporizador / contador TCCRnA y TCCRnB contienen los bits de control principales para el temporizador [10]. Tenga en cuenta que TCCRnA y TCCRnB no corresponden a las salidas A y B. Estos registros contienen varios grupos de bits [17]:

- Bits de modo de generación de forma de onda (WGM): controlan el modo general del temporizador (estos bits se dividen entre TCCRnA y TCCRnB).
- Bits de selección de reloj (CS): controlan el pre escalador de reloj.
- Comparar bits de modo de salida de coincidencia A (COMnA): estos habilitan / deshabilitan / invierten la salida A.
- Comparar bits de modo de salida de coincidencia B (COMnB): estos habilitan / deshabilitan / invierten la salida B.

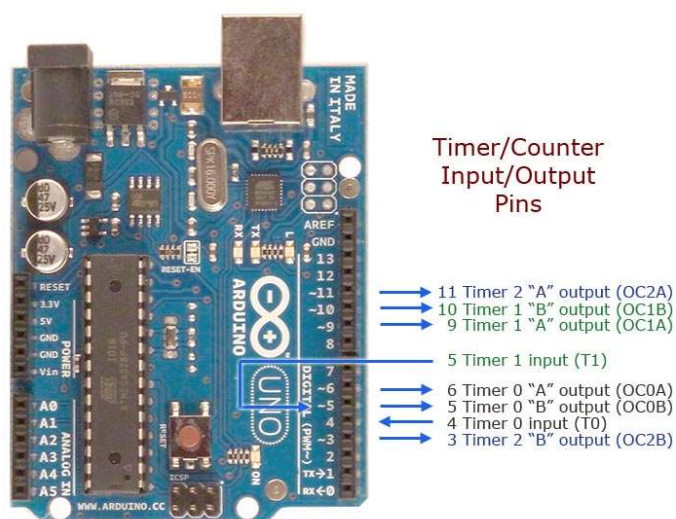


Figura 2.6. Timers/Counters [18].

2.4.4 Usos del PWM.

PWM tiene varios usos:

- Atenuar un LED.
- Proporcionar una salida analógica; si la salida digital se filtra, proporcionará un voltaje analógico entre 0% y 100%.
- Generando señales de audio.
- Proporcionando control de velocidad variable para motores.
- Generar una señal modulada, por ejemplo, para controlar un LED infrarrojo para un control remoto.

2.5 Sistema de iluminación

El sistema de iluminación a implementar en el vitral constará del sistema de control diseñado y leds RGB (Red, Green, Blue), cuyas siglas en español significa led rojo, azul y verde [19]. Los productos leds RGB combinan estos tres colores para producir más de 16 millones de tonos de luz [20]. Pero no todos los colores son posibles. Algunos se encuentran "fuera" del triángulo formado por los leds RGB [20]. Además, los colores pigmento, como el marrón o el rosa, son difíciles o imposibles de lograr [20]. Además, estos leds vienen en empaquetados o tiras, los cuales son convenientes para un mejor manejo y así poder optimizar la distribución de éstos al momento de colocarlos en los sitios requeridos. Las tiras RGB vienen en muchas formas y tamaños diferentes. La mayoría de las tiras usan un paquete de led con 3 colores dentro de ellas. Esto significa que cada pequeño módulo led tiene un pequeño led para cada color. Como lo que intenta iluminar siempre está "lejos" de la tira, estos tres colores se mezclan para formar un solo color. A continuación, es importante determinar cuántos leds por metro desea tener. Las tiras de mayor densidad a menudo se ven mejor debido a una vista más uniforme en lugar de ver todos los leds individualmente.

La tira de led RGB analógica solo puede cambiar el color de toda la tira, si desea controlar el color de cada led individual. La principal ventaja de las tiras led analógicas es que son mucho más baratas que las tiras led digitales y funcionan perfectamente para iluminar una habitación o una pared [20].

Las tiras leds RGB, por sí mismo pueden producir un color rojo, verde o azul intenso, todos los demás colores se mezclan como se explicó anteriormente. Esto tiene algunas desventajas, especialmente cuando se trata de crear luz blanca. Aunque, en teoría, la luz blanca es la combinación de todos los espectros diferentes, en realidad, la luz blanca producida a partir de tres fuentes de luz de colores simplemente no se ve tan bien. Incluso con los 3 leds de color separado tan junto, aún obtienes sombras extrañas y un color impuro. A menudo, la luz blanca producida a partir de tiras de led es un poco de color púrpura [21].

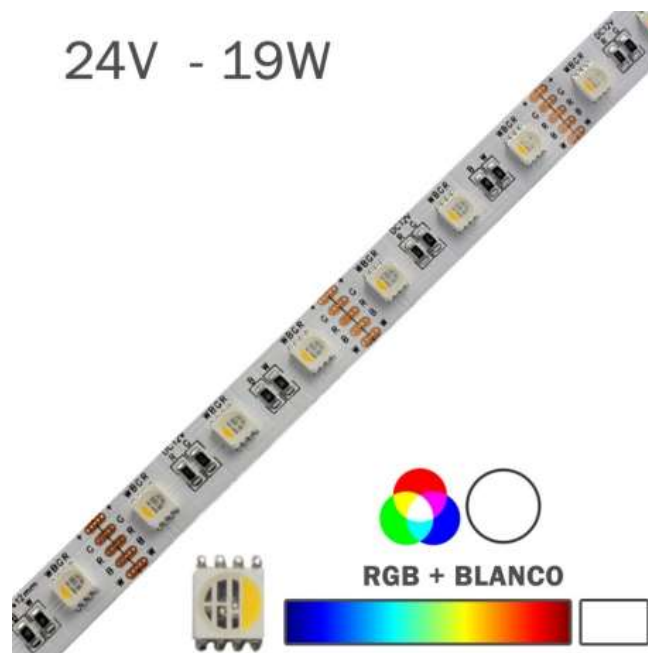


Figura 2.7. Tira de leds RGB [21]

2.6 Transistores

Un transistor es un dispositivo semiconductor que exhibe todas las propiedades de un interruptor, permitiendo o bloqueando el flujo de electrones [22]. Tiene tres terminales, uno para entrada, uno para salida y uno para controlar la conmutación [24]. Es el componente fundamental de los dispositivos electrónicos modernos y se encuentra comúnmente en placas de circuito como partes discretas o integradas en circuitos integrados [22].

Su logro es responsable de dispositivos tan modernos como televisores de pantalla ancha, teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos electrónicos de computación [23].

La función más básica de un transistor es como un interruptor electrónico, que permite que los electrones fluyan desde el lado del colector hacia el lado del emisor [23]. La base o el medio del transistor actúa como el electrodo de control del interruptor real a través del cual la estimulación electrónica cambia rápidamente el material de un aislante a un estado conductor, permitiendo así el flujo de electricidad.

Un cambio muy pequeño en la corriente o el voltaje en la capa base media da como resultado una gran cantidad de electricidad que fluye a través de todo el componente. En este aspecto, se puede usar como amplificador.

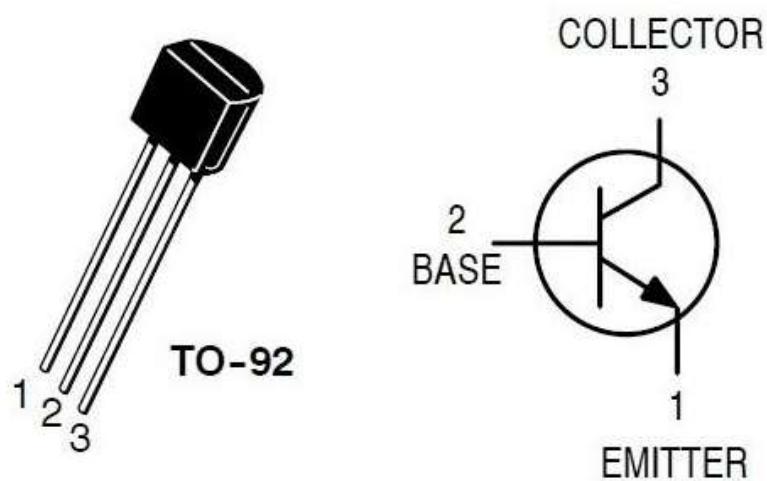


Figura 2.8. Transistor BJT [24].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Para el diseño e implementación del proyecto, se analizaron las opciones de técnicas artísticas en las cuales podríamos poner en funcionamiento en las diversas obras de arte, llegando a la decisión de usar al vitral como el medio de la obra artística y las secuencias de iluminación por leds RGB como tratamiento de la luz en el arte. Por ello, se diseñó un controlador, el cual, mediante programación, tendrá al mando las secuencias de iluminación, que se verán reflejadas por medio de la luz emitida por los leds RGB. La emisión de luz de los leds no sería posible, si no se colocara una interfaz entre el Arduino y los leds. Dicha interfaz estará conformada por transistores, los cuales permitirán el encendido y apagado de los leds RGB. Una vez encendido los leds con sus respectivas secuencias programadas, se llega a la valoración de la distancia correcta entre el vitral y los leds. También, por medio de lógica de programación del controlador, se generarán los colores a usar en los leds RGB. Dichos colores, serán evaluados por medio de pantones, y se seleccionarán cuáles serían los idóneos, para que la imagen no sea saturada por los colores emitidos por las luces de los leds.

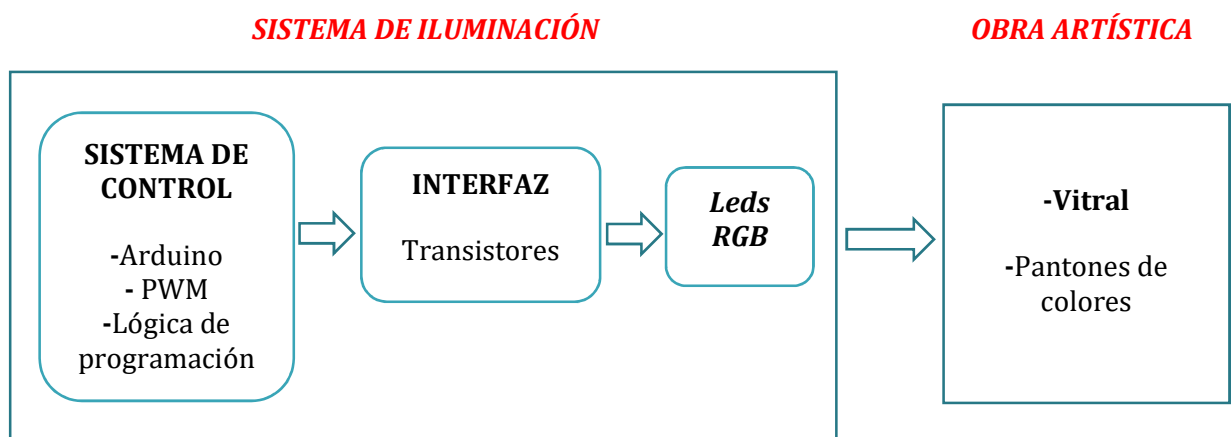


Figura 3.1. Esquema de la metodología

3.1 Diseño del controlador

Para el diseño del controlador, se hizo uso de un Arduino Mega 2560 para el control de los leds RGB, entre las consideraciones de diseño del controlador se tomó en cuenta el número de objetos presente en la obra de arte, el contraste de los colores entre los objetos, entender cuál de los objetos es el principal, el número de puertos PWM y digitales presentes en el Arduino.

Las tiras de leds comerciales necesitan polarizarse con 12 V continuos por lo que es necesaria una interfaz entre el controlador y los leds, debido a que el controlador trabaja con voltajes de 5 V. Para solucionar este inconveniente, se utiliza los transistores que funcionaran como conmutadores.

El uso de PWM es para controlar la intensidad de color de los leds RGB donde la intensidad de color se refiera a cuan brillante se verá el led RGB. La técnica de PWM simula la variación de un valor analógico de voltaje que en combinación con los transistores controlaran la intensidad de corriente que pasará a través de los leds.

Para programar la lógica de control de los leds, se usó preferentemente el IDE de Visual Studio debido a que brinda características de productividad que no están presentes en el IDE de Arduino como autocompletado, control de versiones con GIT, entre otras. Para poder compilar proyectos de Arduino haciendo uso del IDE de Visual Studio es necesario instalar el plugin de Visual Micro.

3.2 Interfaz entre el Arduino y los leds RGB.

Como se ha mencionado anteriormente, las tiras de leds RGB comerciales necesitan un voltaje de alimentación de doce voltios (12V), por lo que el control de manera directa con el Arduino no es posible. Para solucionar el problema antes mencionado, se utilizó una interfaz con transistores bipolares NPN como se muestra en la figura 3.1 a modo de conmutadores, es decir, que entran en su zona de saturación y en su zona de corte permitiendo encender y apagar la tira de leds RGB. Para lograr que el transistor entre en su zona de corte solo se necesita que el voltaje en la base del transistor sea de cero voltios (0V) y para que entre en zona de saturación se necesita calcular un valor de resistencia en la base

conociendo que el voltaje en la base del transistor es de 5 voltios (5V) y una corriente por el colector del transistor de $20 \times (N)$ miliamperios, donde N es el número del paquete de tiras de leds RGB (tres leds RGB en cada paquete) necesarios para iluminar la superficie del objeto presente en el vitral.

En base a los valores obtenidos de la ecuación 3.1, se obtuvieron los resultados de resistencia de base para su respectivo número de paquete (N), como se muestra en la siguiente tabla 3.1.

$$R_B = \frac{(4.3) \cdot \beta}{N \cdot I_C} [\Omega] \quad (3.1)$$

Tabla 3.1. Cálculo de la resistencia en la base del transistor.

N	I_C [A]	I_B [A]	R_B [Ω]
1	0.02	0.0002	21500.00
2	0.04	0.0004	10750.00
3	0.06	0.0006	7166.67
4	0.08	0.0008	5375.00
5	0.1	0.001	4300.00
6	0.12	0.0012	3583.33
7	0.14	0.0014	3071.43

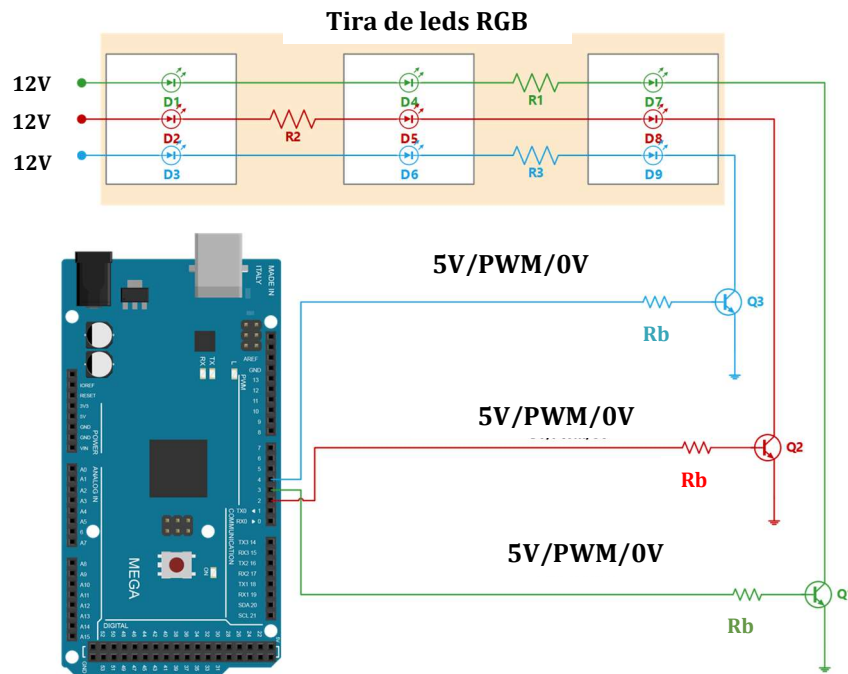


Figura 3.2. Interfaz entre Arduino y leds RGB.

3.3 Lógica de programación del controlador

Para poder dar diferentes tonos de color al vitral es necesario el control individual de los tres leds que componen un led RGB como se muestra en la figura 3.3, es decir que, para obtener el color rojo deberá polarizarse el led rojo y si por ejemplo se deseara el color magenta, deberán polarizarse los leds rojo y azul. Tomando en cuenta esto, se implementó una función para encender un solo led para luego reutilizar esta función en otro conjunto de funciones que generan 8 colores principales como se muestra en la siguiente tabla 3.2.

Tabla 3.2. Generación de colores

	R	G	B
Rojo	✓		
Verde		✓	
Azul			✓
Blanco	✓	✓	✓
Magenta	✓		✓
Cian		✓	✓
Café	✓	✓	
Amarillo	✓	✓ (20%)	

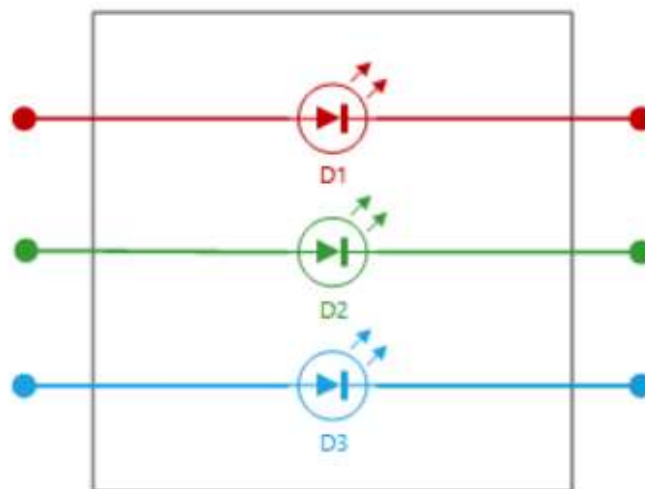


Figura 3.3. Esquema de leds RGB 5050

También, para facilitar la selección de los colores se creó una función que cumple esta labor. Una vez obtenidas las funciones que generan y seleccionan los colores, se creó una clase en C llamado 'Desvanecimiento' que se encargará del control de la luminosidad de los leds. Fue necesaria una clase y no una función debido a que una clase en C permite crear nuevos objetos y estos tendrán sus propias copias de las variables de la clase, evitando de esta forma el conflicto de variables que existe al utilizar una función varias veces en el código. La clase 'Desvanecimiento' posee un método que se encarga de procesar los colores permitidos del objeto de la imagen en el vitral que se desea iluminar y también este método controla el valor analógico de los puertos del Arduino haciéndolo variar de manera creciente y luego decreciente. Este efecto de desvanecimiento solo puede ser usado en los puertos que soporten salida analógica (PWM) en el Arduino.

Para dar otros tipos de efectos de iluminación al vitral se crearon las siguientes funciones descritas a continuación:

- Una función que permita encender y apagar secuencial e individualmente los objetos presentes en el vitral.
- Una función que permita encender secuencialmente los objetos presentes en el vitral.
- Una función que permita mostrar los ocho colores principales en cada objeto presente en el vitral de manera secuencial e individual.
- Una función que permita mostrar los ocho colores principales y mantener encendido el color más adecuado para el objeto que se está iluminando en el vitral.

3.4 Técnica de iluminación

La técnica de iluminación que se implementó para el proyecto fue el de la retroiluminación [25]. La función que realiza esta técnica nos permite, a través de una fuente de luz difusa integrada conformada por las tiras de leds, iluminar desde la parte posterior del vitral. Con ello se garantiza que la obra artística permanezca legible y se la pueda apreciar con claridad, inclusive en sectores con poca iluminación o donde carezcan de luz.

Los elementos elegidos como fuente de luz para la retroiluminación fueron las tiras de leds RGB, ya que nos otorga una alta eficiencia en iluminación, calidad de luz, ahorros en costos de energía y de mantenimiento, además que son amigables con el medio ambiente.

De los dos tipos de técnicas de retroiluminación [25] [26], la que se implementó fue la de full led. Esta técnica nos permite una iluminación uniforme para poder cubrir por completo o en áreas específicas, proporcionando un mejor contraste para los tonos de colores del vitral.

Esta retroiluminación será controlada por el Arduino Mega, en la que constará con una programación, la cual será la encargada de dar las diferentes tonalidades y efectos de luces al vitral.

La función que producirá el efecto de desvanecimiento de iluminación será el PWM (modulación de ancho de pulso). Esta función nos permitirá variar la intensidad de luz de las tiras de leds RGB, por medio de un intervalo de tiempo. En el vitral se mostrará la atenuación de la retroiluminación provocando los colores más brillantes acrecentando el contraste de las diferentes tonalidades.

3.5 Implementación

Para el prototipo del proyecto, se utilizó un vitral con su respectivo diseño. Donde por la parte posterior del vitral, se usó un boceto de la imagen, el cual sirvió como guía o mapeo para poder colocar los leds a la misma altura de la imagen real del vitral. Se procedió con la programación, donde se realizaría las secuencias de iluminación. Quedando como resultado, los efectos visuales y artísticos, dándole dinamismo a la imagen y una perspectiva diferente de poder apreciar arte.

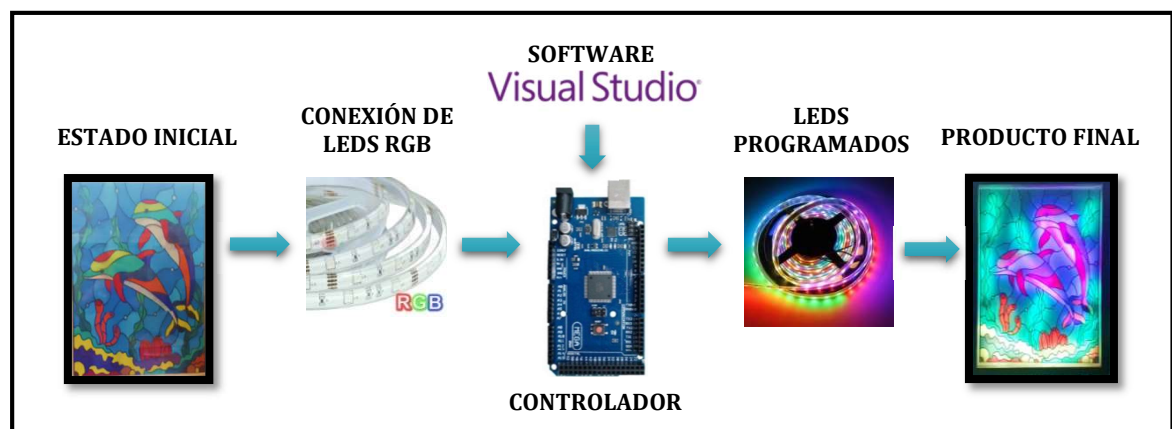


Figura 3.4. Propuesta de diseño

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Evaluación de pantones registrados por variaciones de color

Para poder hacer las combinaciones de colores entre los de la imagen del vitral y la de la luz emitida por los leds, se evaluaron factores importantes como la armonía, temperatura y percepción del color, así como también el contraste o que efecto provocaría las combinaciones de ciertos colores con otros [27] [28] [29]. Ya que, por lo general, no son los mismos tonos de colores que aparecen en una impresión, de papel, de vitral o la producida por los leds, por lo que contienen numerosos matices, llegando a percibir o apreciar distintas tonalidades de colores. Por ello, se realizaron pruebas de tonalidades, con el fin de llegar a combinar los colores idóneos entre los colores del vitral y los colores producidos por la luz de los leds. Tomando en cuenta que, los colores escogidos para las combinaciones debían ser los adecuados para mostrar una obra colorida y dinámica, pero sin llegar a saturar la imagen, exponiendo a tratar de no alcanzar a provocar perjudicar o estropear el efecto del diseño real del vitral.

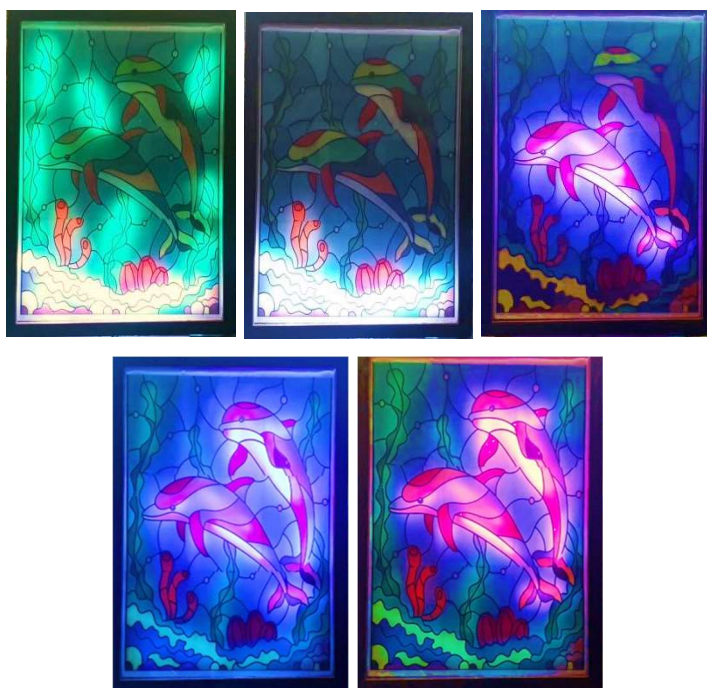


Figura 4.1. Evaluación de pantones de colores en el vitral.

4.2 Pruebas de cantidad de luz visible emitida por leds.

Se realizaron pruebas de la cantidad de luz visible emitida y cuánto puede llegar a iluminar los leds a cierta distancia. Para el proyecto, se usó como unidad, la cantidad de 3 leds, esto nos ayudó al momento de colocar o completar la imagen diseñada en el vitral, la cantidad necesaria de leds que debía ser utilizado y así poder aprovechar y poder optimizar los costos en material.

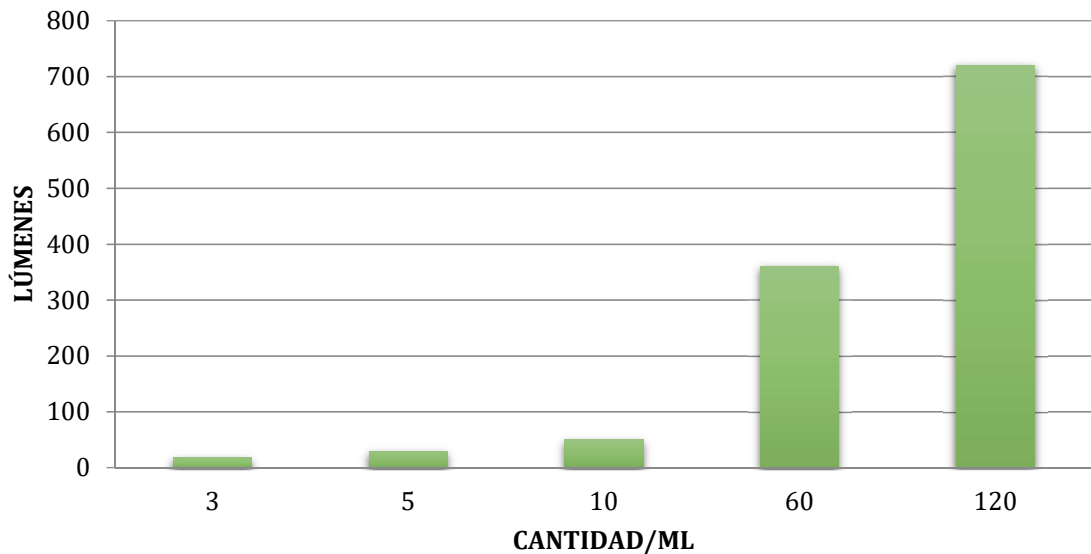


Figura 4.2. Gráfica de cantidad de leds por metro lineal vs Cantidad de luz emitida

Por otro lado, también se tomó en consideración la distancia entre el vitral y los leds colocados en la parte posterior del mismo, cuyo valor fue de 5 cm. Esta distancia es primordial para que la luz emitida sea la correcta al momento de iluminar la imagen. Es decir, si los leds se encuentran muy cerca al vitral, la iluminación focal va a ser más intensa y puntual, haciendo que no cubra el área deseada en la imagen del vitral. Por consiguiente, si los leds son colocados a una distancia muy alejada del vitral, la iluminación focal se ampliará, ocupando más área en el vitral, pero reduciendo la intensidad de luz emitida.

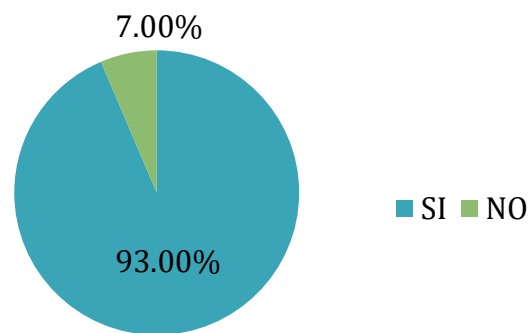
4.3 Evaluación de aceptación sobre la técnica implementada.

Para medir el nivel de aceptación en las personas sobre las obras artísticas luminosas creadas mediante la técnica implementada, se realizó una encuesta a 200 personas, de las cuales, se consideró a personas con distintas profesiones.

De la encuesta efectuada a los profesionales, también se quería tener conocimiento, si ellos estuvieran de acuerdo en implementar, por medio de su profesión, proyectos relacionados con el arte. Además, se cuestionó si a través de estos tipos de proyectos, habría la capacidad de poder fomentar el arte en nuestra sociedad.

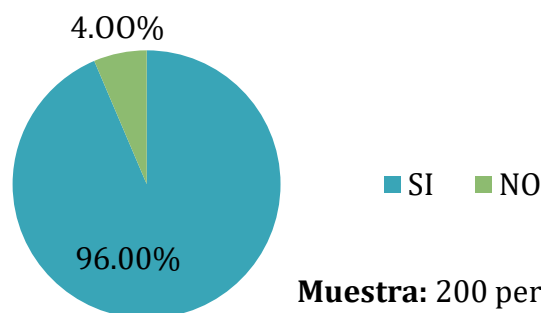
Además, se tomó en cuenta la evaluación de las personas si la técnica implementada para las obras artísticas luminosas estaría en la capacidad de rescatar sectores con falta de iluminación.

Haciendo un balance general de los resultados obtenidos en la encuesta, se tuvo como resultado un nivel de aceptación favorable a este proyecto. Dichos resultados estadísticos son reflejados en las siguientes gráficas de las figuras 4.3 y 4.4.



Muestra: 200 personas

Figura 4.3. Gráfica porcentual de nivel de aceptación sobre la técnica implementada



Muestra: 200 personas

Figura 4.4. Gráfica porcentual para evaluar si las obras artísticas luminosas rescatarían a sectores con poco o nada de iluminación.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se pudo evidenciar que la técnica de dibujo y coloreo implementada para el proyecto, logró que las obras artísticas pudieran ser apreciadas en la noche de la misma manera como se lo pueda apreciar con la luz del día. Además, gracias a los resultados obtenidos por medio de las pruebas de iluminación y encuesta realizada, podemos decir, que el proyecto, tuvo buena acogida por parte de las 200 personas a la cual se les realizó la encuesta, llegando a tener conocimiento, que la sociedad si gusta del arte e interesa de poder apreciarlo en sus distintas representaciones.

Cabe recalcar que, si bien es cierto, los resultados obtenidos cumplen las expectativas de poder iluminar lugares con carencia de luz, al ser colocado los leds en la parte posterior del vitral, éstos disminuyen la cantidad de luz emitida, sin embargo, esta decaída, no afecta en el objetivo general por el cual fue pensado el proyecto, como lo es poder iluminar lugares oscuros.

Por otro lado, el valor monetario para éste proyecto, va a depender en su mayoría, del tamaño y de la dificultad del diseño del vitral, aunque si bien es cierto también consta de una parte electrónica, el valor de éste es relativamente más bajo que el precio del vitral. Por ello, las autoridades pertinentes deberían invertir más en estos proyectos relacionados con el arte, dándole vida a las ciudades, ya que según estudios, la apreciación de arte tienen un sin número de beneficios en lo personal, como por ejemplo, pone en acción el mecanismo del bienestar, llenando al ser humano de buenas vibras, elimina el estrés, entre otros, sólo con el simple hecho de poder apreciar el arte.

A través de los tiempos, han existido diversas realidades culturales en nuestra sociedad, las cuales han sido ilustradas por medio de las artes, dándonos una capacidad de acoplamiento de como entendemos las cosas que habitualmente sucede a nuestro alrededor con las emociones que sentimos en el momento.

5.1 Conclusiones

- La intensidad de iluminación que provoque la obra artística dependerá del tipo, material o calidad de vidrio que esté construido el vitral.
- Por medio de encuesta realizada, se pudo evaluar el nivel de aceptación de estas obras artísticas luminosas, obteniendo como resultado una buena acogida, en gran porcentaje, por parte del público en general.
- Gracias a la aceptación a esta técnica implementada de dibujo y coloreo mediante la electrónica y leds RGB, se pudo incentivar a personas, inclusive de distintas profesiones, para tener en cuenta en un futuro, a realizar e implementar proyectos relacionados a éste, esperando así llegar a poder fomentar el arte en nuestra sociedad.

5.2 Recomendaciones

- Verificar que no exista alguna obstrucción en los espacios designados para la evacuación del calor producido por los leds RGB.
- Al realizar las conexiones de las tiras de leds a la fuente, éstos deben respetar la polaridad, es decir, el positivo de la tira de leds con el positivo de la fuente.
- Asegurarse que la potencia generada por la fuente sea la requerida o necesaria por la tira de leds RGB.
- Revisar con frecuencia, el interior del vitral y del sistema electrónico, verificando así, que no existan elementos que puedan entorpecer el funcionamiento del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Judith Collins, "Técnica", Técnica de los artistas modernos, p. 12.
- [2] Stuckey, H. L., & Nobel, J. (2010). "The connection between art, healing, and public health: A review of current literatura", American Journal of Public Health.
- [3] Alfonso Gago Calderón, Jorge Fraile, "Eficiencia y parámetros de funcionamiento", Iluminación con tecnología leds, p. 36.
- [4] Gell, Alfred, "Art and Agency: an Anthropological Theory", Arte y agencia: Una teoría antropológica, p. 7., 1998.
- [5] Cf. Stephen Davies, "Definitions of Art", Ithaca, N.Y, 1991, pp. 67-77.
- [6] Julián Pérez Porto, Ana Gardey, "Definición de vitral", 2015.
- [7] Robert W. Sowers, "Stained Glass: Conclusion", Stained Glass: A Journal Devoted to the Craft of Painted and Stained Glass, volumen 86, p. 145.
- [8] "Santuario Señor de la Misericordia", José Luis Narea. [Online]. Available: <https://vitrales.com.ec/>. [Accessed: 25- Ag- 2019].
- [9] "Guayaquil conquista el cielo", Edgar Cevallos Rosales, Guayaquil es mi destino. [Online]. Available: <https://www.guayaquilesmidestino.com/en/murals-and-stained-glass/north-of-the-city/guayaquil-conquista-el-cielo-stained-glass-window>. [Accessed: 25-Ag- 2019].
- [10] Leatrice Eiseman, Keith Recker, "Introduction", Pantone: The Twentieth Century in Color, p. 5.
- [11] "Color Bridge Guide", Pantone. [Online]. Available: <https://www.pantone.com/products/graphics/color-bridge-uncoated>. [Accessed: 21-Ag- 2019].
- [12] "Arduino Mega: Características y capacidades", Panamahytek, 2019. [Online]. Available: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades/>. [Accessed: 13- Jul- 2019].

- [13] “Estructura – Arduino”, Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/structure>. [Accessed: 07- Jul- 2019].
- [14] Timothy Hirzel, “PWM – Arduino”, Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/tutorial/PWM>. [Accessed: 25- Jun- 2019].
- [15] “Modulación por ancho de pulso”, Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/PWM>. [Accessed: 25- Jun- 2019].
- [16] “Funciones – Arduino”, Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/functions>. [Accessed: 12- Jul- 2019].
- [17] “Temporizadores – Arduino”, Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/timers>. [Accessed: 12- Jul- 2019].
- [18] “Timers”, Arduino et timer. [Online]. Available: <https://resonance.org/wiki/logiciels/arduino-timer/accueil>. [Accessed: 28-Ag- 2019].
- [19] Julián Pérez Porto y María Merino, “Definición de RGB”. 2016.
- [20] “Leds, costes y aplicaciones”, Philips, México. [Online]. Available: <http://www.lighting.philips.com.mx/soporte/soporte/white-light-and-colour/what-does-rgb-led-mean>. [Accessed: 15- Jul- 2019].
- [21] “Anatomía de una tira de leds RGB comercial”, Inventable.eu. [Online]. Available: <https://www.inventable.eu/2011/04/27/anatomia-de-una-leds-string-rgb/>. [Accessed: 26- Jul- 2019].
- [22] “Definition of transistor”, Techopedia. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/2377/transistor>. [Accessed: 19- Jul- 2019].
- [23] S W Amos, Mike James, “Definition of small-signal amplifier”, Principles of Transistor Circuits, p. 112.
- [24] “Transistores BJT”, Electrónicos Caldas. [Online]. Available: <https://www.electronicoscaldas.com/es/transistores-bjt/53-transistor-2n3904.html>. [Accessed: 28- Ag- 2019].

[25] "Retroiluminación: Definición" Información de ópticas. [Online]. Available: <https://www.informacionopticas.com/retroiluminacion-definicion/>. [Accessed: 30-Ag-2019].

[26] "Led, iluminación al servicio de la imagen", Falabella. [Online]. Available: <https://www.falabella.com.pe/static/staticContent/content/infoguías/IG-ledFPE.html>. [Accessed: 30-Ag- 2019].

[27] Lydia Amaruch Fernández, "Armonías del color", UF1458 - Retoque digital de imágenes, p.16.

[28] Lydia Amaruch Fernández, "Temperatura del color", UF1458 - Retoque digital de imágenes, p.16.

[29] Lydia Amaruch Fernández, "Percepción del color", UF1458 - Retoque digital de imágenes, p. 21.