



REPÚBLICA DEL ECUADOR

**Escuela Politécnica Nacional**

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
ILUMINACIÓN Y DE REALIDAD AUMENTADA, PARA SEIS  
DIORAMAS DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “GUSTAVO  
ORCÉS V.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**JULIO CÉSAR PÉREZ NARANJO**  
julioperezchess@outlook.es

**JOSÉ ALEXANDER VILLARRUEL GARCÉS**  
jose.villarruel@hotmail.com

**DIRECTOR: NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc.**  
nelson.sotomayor@epn.edu.ec

**Quito, Enero 2018**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Julio César Pérez Naranjo y José Alexander Villarruel Garcés declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Julio César Pérez Naranjo

---

José Alexander Villarruel Garcés

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Julio César Pérez Naranjo y José Alexander Villarruel Garcés bajo mi supervisión.

---

Nelson Sotomayor, MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por el apoyo y el amor incondicional, a mis hermanos y cuñada quienes están siempre al pendiente de mí, brindándome sus consejos. También quiero agradecer a mis sobrinos quienes con su cariño han sido la motivación para seguir adelante en mi vida estudiantil.

A mis amigos Enrique, José, Cristian (+), Edgar, Sonia, por su tiempo y amistad que compartimos desde el primer día en la universidad y lo seguimos haciendo, de igual forma a todos mis compañeros que he conocido a lo largo de toda la carrera.

Un especial agradecimiento al ingeniero Nelson Sotomayor por el tiempo dedicado para la satisfactoria culminación del presente proyecto. Así como también al ingeniero Carlos Imbaquingo por colaborar en la etapa inicial del presente proyecto.

**Julio**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a mis padres Oswaldo y Narcisa, que han sabido guiarme desde el día de mi nacimiento, mantener una familia unida y llena de amor junto a mis hermanos, siendo mi ejemplo de vida a seguir.

A mis amigos de la infancia, que han aportado en mi crecimiento personal, a mi amigo Andrés que desde el día que empecé la carrera hemos estado dando todo de nosotros para llegar a esta meta de graduarnos de la EPN. A Gabriela que pese a las circunstancias me hizo ver el mundo de una forma diferente y ser parte de lo que soy ahora. Gracias a todos mis compañeros que me han brindado su amistad haciendo que este trayecto de mi vida estudiantil sea ameno.

A mi amigo del alma Borys Freire que con su humildad y ganas de salir adelante me ha enseñado que todo es posible en la vida.

A mis amigos, socios, compañeros y trabajadores de Corporación WOLF que día a día dan todo de sí por ver crecer a esta empresa.

Para mi amigo y compañero Julio Pérez quien ha puesto todo su esfuerzo para la culminación de este proyecto, le deseo el mejor de los éxitos en su vida profesional. Al ingeniero Nelson Sotomayor por su paciencia y dedicación en el presente proyecto, Así como también al personal del museo de Historia Natural de la Escuela Politécnica Nacional “Gustavo Orcés V.”, por permitir el desarrollo del presente proyecto.

**José**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mis padres Carmen y Enrique, por el esfuerzo y sacrificio que han realizado para sacar adelante a toda la familia, los amo mucho.

A mi hermano Roberto por sus acertados consejos que me ha brindado para seguir adelante.

A mis hermanas, Nancy y Maribel, por estar siempre dispuestas a apoyarme en los momentos que lo necesito.

**Julio**

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico a los maravillosos padres que la vida me dió, por traerme al mundo y enseñarme que todo se fundamenta en amor y hacer el bien. Por su esfuerzo incanzable de verme siempre en lo más alto. Espero nunca defraudarlos.

Para mis hermanos Santiago y Karen, siempre desearé lo mejor para ustedes, los amo igual que a nuestros padres.

A toda mi familia, la cual ha depositado su confianza en mí.

**José**



## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VII
RESUMEN .....	XVI
PRESENTACIÓN.....	XVII
CAPÍTULO 1 .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	1
1.1.1    TIPOS DE ILUMINACIÓN .....	1
1.1.1.1    Iluminación General .....	1
1.1.1.2    Iluminación Puntual.....	2
1.1.1.3    Iluminación Ambiental .....	2
1.1.1.4    Iluminación Decorativa.....	3
1.1.2    SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN MUSEOS.....	3
1.1.2.1    Requerimientos de la iluminación .....	4
1.1.2.2    Fuentes de luz.....	5
1.1.2.3    Conservación de materiales.....	6
1.1.2.4    Deterioro de materiales .....	9
1.1.3    FACTORES PARA CONFORT VISUAL .....	10
1.1.3.1    Calidad de la luz.....	10
1.1.3.2    Tipos de montaje.....	12

1.1.3.3	Ambiente de creación .....	12
1.1.3.4	Arquitectura y espacio.....	13
1.1.4	ASPECTOS ECONÓMICOS .....	13
1.1.5	MUSEOS A NIVEL MUNDIAL .....	13
1.1.5.1	Museo de Historia Natural de Nueva York .....	13
1.1.5.2	Museo de Historia Natural de Bruselas.....	15
1.1.6	ELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA LOS 6 DIORAMAS DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “GUSTAVO ORCÉS V.” .....	16
1.2	SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	17
1.2.1	ELEMENTOS NECESARIOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	18
1.2.1.1	Marcador.....	18
1.2.1.2	Cámara .....	19
1.2.1.3	Equipo procesador .....	19
1.2.1.4	Pantalla o monitor .....	19
1.2.1.5	Software.....	19
1.2.1.6	Dispositivo sonido .....	20
1.2.1.7	Otras tecnologías .....	20
1.2.2	CLASIFICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA.....	20
1.2.2.1	Realidad aumentada basada en marcadores.....	20
1.2.2.2	Realidad aumentada sin utilización de marcadores .....	22
1.2.2.3	Realidad aumentada basada en posicionamiento.....	22
1.2.3	SISTEMAS DE REALIDAD AUMENTADA EN MUSEOS.....	23
1.2.3.1	Museo Británico .....	23

1.2.3.2	Museo de Londres .....	24
1.2.3.3	Museo Moma de Nueva York.....	24
1.2.3.4	Museo Royal Ontario de Toronto .....	25
1.2.4	ELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “GUSTAVO ORCÉS V.” .....	26
1.3	ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LOS 6 DIORAMAS DEL MUSEO.....	26
1.3.1	HARDWARE SISTEMA DE ILUMINACIÓN MUSEO GUSTAVO ORCÉS .....	31
1.3.1.1	Raspberry Pi 3 B.....	31
1.3.1.2	Pantalla táctil LCD.....	32
1.3.2	SOFTWARE SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	33
1.3.2.1	Sistema operativo Raspbian .....	33
1.3.2.2	Raspbian Jessie con pixel.....	33
1.3.2.3	Python.....	33
1.3.2.4	Tkinter .....	33
1.3.3	HARDWARE PARA UTILIZARSE EN EL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	34
1.3.3.1	Logitech webcam C930e.....	34
1.3.3.2	Microcontrolador ATmega164p .....	35
1.3.3.3	Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501 .....	35
1.3.3.4	Servomotor Sg90 .....	36
1.3.3.5	Computadora de escritorio .....	37
CAPÍTULO 2	.....	38
DISEÑO DE HARDWARE DE LOS SISTEMAS	.....	38

2.1	DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	38
2.1.1	ARQUITECTURA MODO AUTOMÁTICO .....	38
2.1.1.1	Sensores de presencia partes y funcionamiento.....	39
2.1.2	ARQUITECTURA MODO MANUAL .....	43
2.1.2.1	Fuente de Alimentación Raspberry PI 3 B .....	44
2.1.2.2	Pantalla táctil 7 pulgadas .....	45
2.1.2.3	Case pantalla táctil y Raspberry PI 3 B.....	45
2.1.2.4	Módulo relé de 8 vías.....	45
2.1.3	DISEÑO DE ILUMINACIÓN .....	48
2.1.3.1	Introducción.....	48
2.1.3.2	Procedimiento .....	48
2.1.3.3	Diseño modo manual .....	52
2.1.3.4	Diseño modo automático .....	61
2.1.4	DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES .....	69
2.1.4.1	Conductores para los dioramas D1, D2 y D3.....	69
2.1.4.2	Conductores para los dioramas D4, D5 y D6.....	73
2.1.4.3	Cálculo del porcentaje de la caída de tensión en los conductores..... .....	76
2.1.4.4	Cálculo de las protecciones termomagnéticas del sistema de iluminación.....	77
2.1.5	TABLERO DE CONTROL .....	78
2.1.5.1	Conexión puertos GPIO - módulos relé .....	78
2.1.5.2	Conexión entre relés, interruptores y sensores de presencia .....	81
2.2	DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA..... .....	85

2.2.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LOS SENSORES DE MOVIMIENTO .....	85
2.2.1.1	Disposición de los módulos sensores de movimiento PIR HC-SR501 .....	85
2.2.1.2	Diseño de la estructura de los sensores PIR .....	87
2.2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO .....	88
2.2.2.1	Diseño del circuito de alimentación .....	88
2.2.2.2	Circuito de control de los sensores PIR y del servomotor .....	90
2.2.2.3	Circuito para comunicación serial .....	92
2.2.2.4	Circuito completo del sistema de realidad aumentada .....	92
2.2.3	DISEÑO DE LA MARCA DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA... ..	94
CAPÍTULO 3 .....		96
DESARROLLO DEL SOFTWARE DE LOS SISTEMAS .....		96
3.1	DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	96
3.1.1	INSTALACIÓN SISTEMA OPERATIVO RASPBIAN JESSIE .....	96
3.1.1.1	Descargar sistema operativo Raspbian Jessie .....	97
3.1.1.2	Descargar Win32 Disk Manager .....	97
3.1.1.3	Configuración inicial del sistema operativo Raspbian Jessie .....	98
3.1.2	DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	100
3.1.2.1	Programación de la ventana principal .....	100
3.1.2.2	Programación de la ventana en modo manual .....	111
3.2	DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	119
3.2.1	SOFTWARE PARA DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....	120

3.2.1.1	Unity .....	120
3.2.1.2	OpenCV para Unity .....	121
3.2.1.3	MarkerBased AR Sample .....	121
3.2.1.4	HOG Descriptor Sample .....	121
3.2.1.5	Paquete de dinosaurios 3D .....	122
3.2.2	PROGRAMA DE CONTROL DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA164P .....	122
3.2.2.1	Descripción del algoritmo de control .....	123
3.2.3	PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA... ..	129
3.2.3.1	Desarrollo de la ventana principal de la aplicación de realidad aumentada.....	131
3.2.3.2	Desarrollo de la ventana de configuración de herramientas de la aplicación .....	132
3.2.3.3	Desarrollo de la ventana de ejecución de la realidad aumentada .....	134
CAPÍTULO 4 .....		144
INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS .....		144
4.1	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	144
4.1.1	DISPOSICIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	144
4.1.1.1	Montaje de tablero de control.....	145
4.1.1.2	Montaje de la pantalla táctil de 7 pulgadas .....	146
4.1.1.3	Montaje del cableado eléctrico del sistema de iluminación.....	146
4.1.1.4	Montaje de los sensores de presencia .....	147
4.1.1.5	Montaje de las luminarias.....	149

4.2	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	153
4.2.1	DISPOSICIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	153
4.2.1.1	Montaje de la pantalla y cámara .....	153
4.2.1.2	Montaje de los sensores de movimiento y servomotor .....	154
4.2.1.3	Montaje de la marca.....	154
4.2.1.4	Montaje del tablero de control .....	155
4.2.2	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA ...	155
CAPÍTULO 5 .....		157
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		157
5.1	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	157
5.1.1	PRUEBAS MODOS DE OPERACIÓN.....	157
5.1.1.1	Prueba del sistema de iluminación en modo manual .....	157
5.1.1.2	Prueba del sistema de iluminación en modo automático .....	158
5.1.2	PRUEBAS DE LA CORRECTA ILUMINACIÓN DE LOS DIORAMAS.....	161
5.1.3	RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	162
5.2	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA...	165
5.2.1	PRUEBAS DEL SISTEMA REALIDAD AUMENTADA.....	165
5.2.1.1	Pruebas de la comunicación serial.....	165
5.2.1.2	Pruebas de los cuatro sensores PIR.....	166
5.2.1.3	Pruebas del control de nivel de volumen de audio del sistema de realidad aumentada.....	168
5.2.1.4	Pruebas del reconocimiento de la marca .....	169

5.2.1.5	Pruebas de reconocimiento de personas mediante el procesamiento de la imagen .....	169
5.2.1.6	Pruebas de las secuencias de movimiento de las animaciones 3D .... .....	171
5.2.1.7	Pruebas de funcionalidad de la aplicación .....	172
5.2.1.8	Pruebas de activación del sistema de realidad aumentada con usuarios .....	173
5.2.2	RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA .....	174
5.3	COSTO DEL PROYECTO .....	175
5.3.1	COSTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	175
5.3.1.1	Materiales del sistema de iluminación .....	175
5.3.1.2	Equipos para instalación del sistema de iluminación .....	177
5.3.1.3	Ingeniería del sistema de iluminación .....	177
5.3.1.4	Costo total del sistema de iluminación .....	177
5.3.2	COSTO DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA .....	178
5.3.2.1	Materiales del sistema de realidad aumentada .....	178
5.3.2.2	Equipos del sistema de realidad aumentada .....	180
5.3.2.3	Ingeniería del sistema de realidad aumentada .....	180
5.3.2.4	Costo total del sistema de realidad aumentada .....	180
5.3.2.5	Costo total de los sistemas implementados .....	181
CAPÍTULO 6	.....	182
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	182
6.1	CONCLUSIONES .....	182
6.2	RECOMENDACIONES .....	183
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	185



ANEXOS .....

## RESUMEN

El museo de Historia Natural “Gustavo Orcés”, tiene como propósito contribuir a la sociedad en general con conocimientos de: educación ambiental, biodiversidad, ecosistemas, además, de brindar a los visitantes un panorama general de la naturaleza ecuatoriana. Para facilitar el cumplimiento del objetivo del museo, éste debe poseer una gran variedad de fauna y flora, restos paleontológicos y animales disecados correctamente conservados, además, de una infraestructura adecuada, la cual, presente una correcta iluminación con el fin de que lo expuesto esté apegado a la realidad. Por otra parte, uno de los puntos más importantes que debe tener un museo es poseer sistemas interactivos, de tal manera que los usuarios puedan interactuar y así el objetivo del museo se logre con mayor facilidad.

Por lo expuesto, el presente proyecto tiene como finalidad otorgar tanto una correcta iluminación como mejorar la interactividad del museo, para lo cual, se realiza una reinstalación eléctrica para 6 dioramas (representaciones de hábitats de la flora y fauna), cambio de las luminarias fluorescentes a tipo LED, instalación de nuevos sensores de presencia. En modo manual mediante una pantalla táctil se puede realizar la activación o desactivación de las luminarias de cada uno de los dioramas; en modo automático las luminarias LED, mientras no exista presencia de usuarios se encontrarán encendidas tenuemente y cuando exista la presencia de visitantes se activarán completamente.

Para otorgar interactividad al museo, se implementa un sistema de realidad aumentada basada en un marcador matricial QR, este sistema permitirá la interacción con los visitantes, haciendo que su visita sea más placentera. Para el sistema de realidad aumentada, se crea una aplicación, la cual, es ejecutada en un computador, además, para la detección de las personas, se utiliza sensores de movimiento controlados desde un microcontrolador. El computador procesa la información obtenida por: la cámara web, microcontrolador, y genera la realidad aumentada que es visualizada en una pantalla.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo se divide en seis capítulos, los cuales se los describe a continuación:

El capítulo 1 referente al marco teórico, explica y describe los sistemas de iluminación y de realidad aumentada, así como los elementos que son parte de los sistemas, se describe el software a utilizar. Además, presenta el estado actual del sistema de iluminación de los seis dioramas del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.”

En el capítulo 2 se detalla el diseño del hardware de los sistemas de iluminación y de realidad aumentada, diseño de los circuitos eléctricos y electrónicos. De similar forma se presenta el diseño de los elementos y estructuras utilizados en los sistemas.

En el capítulo 3 se desarrolla el diseño del software de los sistemas de iluminación y de realidad aumentada. Se presentan los programas y la interfaz para el sistema de iluminación, mientras que para el sistema de realidad aumentada se presenta el algoritmo de control para los módulos sensores de movimiento, así como también el algoritmo de la aplicación que se encarga de reproducir las animaciones 3D y generar la realidad aumentada.

El capítulo 4 explica la instalación de los sistemas de iluminación y realidad aumentada. Describe el montaje de los elementos constitutivos de los dos sistemas en el museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.”

En el capítulo 5 se presentan las pruebas que se realizaron en los sistemas de iluminación y realidad aumentada, así como también los resultados que se obtuvieron al finalizar la implementación de los sistemas.

Finalmente, en el último capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó al culminar el desarrollo del proyecto.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta un estudio previo de la situación actual del sistema de iluminación, además, se desarrolla el resumen de la revisión bibliográfica acerca de los sistemas de iluminación y de realidad aumentada a implementarse.

### 1.1 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

#### 1.1.1 TIPOS DE ILUMINACIÓN

La palabra iluminación viene del latín *illuminatio*, y su significado es la acción y efecto de iluminar, es decir dar luz o alumbrar a algo o alguien [1]. Al conjunto de dispositivos o luces instaladas en un lugar determinado con el objetivo de producir efectos luminosos se lo conoce como iluminación [2].

El conocimiento de los tipos de iluminación es importante, ya que mediante éstos se puede planificar y desarrollar una buena iluminación, utilizando una combinación de los mismos. Existen 4 tipos de iluminación que se los describe a continuación [3]:

##### 1.1.1.1 Iluminación General

Este tipo de iluminación es la que no debe generar sombras o zonas no completamente iluminadas, permite ver y desplazarse por todo el entorno sin dificultad alguna, como se observa en la Figura 1.1.



**Figura 1.1** Iluminación tipo General [3]

El punto de luz, luminaria o foco generalmente se encuentra en las partes más altas, en el techo o usando apliques de pared, de esta manera se genera ambientes o áreas con una luz uniforme.

### 1.1.1.2 Iluminación Puntual

Tiene como objetivo iluminar zonas y áreas de trabajo o actividades concretas con una luz intensa y centrada, mediante luminarias que generen un rayo de luz, que alumbré objetos determinados como se muestra en la Figura 1.2. Este tipo de iluminación es un buen complemento de las luces generales, pero se debe tomar en cuenta que debe haber un equilibrio entre la general y la puntual, debido a que puede producir sombras o contrastes, además de un deslumbramiento o exceso de iluminación [3].



**Figura 1.2** Iluminación tipo Puntual [3]

### 1.1.1.3 Iluminación Ambiental

A este tipo de iluminación se lo utiliza para dar un toque teatral, como su nombre lo dice para crear un ambiente específico, dándole un efecto en particular. Se utilizan luminarias que puedan ser desplazadas de un lugar a otro. Las luminarias que se utilizan deben por lo general utilizar focos en los que se pueda controlar la intensidad de luz [3]. En la Figura 1.3 se muestra un entorno con iluminación ambiental.



**Figura 1.3** Iluminación tipo Ambiental [3]

#### 1.1.1.4 Iluminación Decorativa

Se utiliza este tipo de iluminación para decorar y destacar los entornos u objetos, como se muestra en la Figura 1.4. Su función principal no es la de iluminar, sino de hacer lucir algo en particular. Existen muchos tipos de luminarias decorativas, se las utilizan dependiendo de la función que se desee que desempeñen, además, de utilizarse para destacar objetos, señalar lugares, la mayor parte de las veces, se usa para realizar arte vivo y como su nombre lo dice decorar [4].



**Figura 1.4** Iluminación tipo Decorativa [4]

#### 1.1.2 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN MUSEOS

Los sistemas de iluminación en museos, galerías, lugares donde se exponen obras de arte y representaciones de entornos, que sirven para recrear una escena, ambiente o hábitat, requieren de un adecuado sistema de iluminación, para lo cual, se debe

analizar el tipo y la mejor disposición de la luz, ya que esto facilita la apreciación de las obras y representaciones expuestas [5].

### **1.1.2.1 Requerimientos de la iluminación**

En los museos, la iluminación cumple uno de los papeles más importantes al momento de transmitir a los visitantes el objeto principal de las obras de arte o representaciones. Pero se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

#### *1.1.2.1.1 Espacio físico*

Es el lugar en donde se ubica la obra de arte o representación, donde la iluminación debe armonizar con el entorno arquitectónico, haciendo que se observe de una manera estéticamente correcta [6].

#### *1.1.2.1.2 La colección*

La luz tanto visible como la imperceptible, que emiten las luminarias elegidas en el momento del diseño deben cumplir con las condiciones para la conservación de la obra de arte. Debido a que en los museos se debe asegurar que los materiales, que por lo general son de origen orgánico no se deterioren o dañen, se debe analizar la longitud de onda que emiten las luminarias, eficiencia energética, la temperatura de color, rendimiento cromático, distribución luminosa, el costo del mantenimiento [6]. Una vez realizado el análisis respectivo se elige la mejor opción en cuanto a las luminarias se refiere, pero además se puede dar soluciones aplicando filtros para eliminar los rayos ultravioletas, efectos cromáticos, radiaciones infrarrojas, etc.

#### *1.1.2.1.3 El visitante*

La luz para los visitantes debe servir como guía, dirigiendo la atención y mostrando de la mejor manera, las características del objeto en exposición, además, de crear un ambiente agradable y estimulante [6]. Por lo tanto, la luz en los museos debe lograr un equilibrio entre los tres factores descritos, es decir, se debe apreciar el espacio físico, la obra e impedir el deterioro de los materiales.

## 1.1.2.2 Fuentes de luz

### 1.1.2.2.1 Luz natural

Este tipo de luz brinda excelentes resultados para la iluminación de museos, debido a que brinda una sensación agradable en cuanto a espacialidad se refiere y tiene un espectro cromático amplio. Para lograr que la luz natural sea utilizada de una manera adecuada, ésta debe ser difundida, no se debe dirigir directamente hacia la obra u objetos expuestos [7]. En los museos se introduce la luz natural de varias formas:

#### 1.1.2.2.1.1 Luz lateral

Esta fuente de luz natural proviene de ventanas o aberturas en muros. Es la manera más económica de tener luz natural, sin embargo, las radiaciones entran directamente sobre las obras, aumentando así, el deterioro de los materiales o en ciertas ocasiones deslumbramiento por su alta incidencia [7].

#### 1.1.2.2.1.2 Luz cenital

Este tipo de fuente de luz natural, se la obtiene mediante el uso de tragaluces o lucernarios, el costo de instalación y material es representativo si se desea tener un lugar impermeabilizado, además con éste se puede disminuir y controlar la incidencia de radiaciones infrarrojas y ultravioletas [7].

#### 1.1.2.2.1.3 Luz indirecta

Mediante el principio de reflexión se logra tener este tipo de fuente de luz, sin embargo, es costosa, debido a que se debe evaluar y experimentar con simulaciones en maquetas para saber si se puede lograr el efecto requerido [7].

### 1.1.2.2.2 Luz Artificial

Las fuentes de iluminación artificial para obras de arte en museos han sido divididas en fuentes difusas y puntuales.



#### *1.1.2.2.1 Fuentes difusas*

El objetivo de estas fuentes es acaparar o bañar con luz toda la superficie a iluminar, para lo cual se utilizan comúnmente fuentes fluorescentes tubulares y compactas, además, se usan luminarias con ópticas asimétricas, las cuales permiten una amplia distribución, teniendo como resultado áreas completamente iluminadas [7].

#### *1.1.2.2.2 Fuentes puntuales*

Para dar a las obras, objetos o exposiciones protagonismo y además incorporar valores cromáticos, se utiliza fuentes puntuales empotradas, las cuales se logran mediante proyectores que usan lámparas incandescentes, halógenos de cualquier tipo o a su vez la tecnología led [7].

### **1.1.2.3 Conservación de materiales**

Para la conservación de los materiales que componen las obras de arte o representaciones, se utilizan lámparas que tengan un adecuado espectro de emisión, de ser posible incorporar filtros para contrarrestar efectos, que causan daño o deterioro. Por lo tanto, se debe tener un control de la luminancia, emisión de luz infrarroja y ultravioleta [7].

#### *1.1.2.3.1 Control de iluminación*

En los museos, galerías y centros de exposiciones, las obras de arte al ser expuestas a la luz, producen efectos fotoquímicos en algunos materiales, por lo cual, se debe considerar los límites exactos de intensidad lumínica que se proyecta sobre las mismas. Para contrarrestar ese efecto se requiere utilizar luminarias de intensidad baja, o su vez incorporando filtros que ayuden a la reducción de daños [7].

En la Tabla 1.1 se tiene valores máximos recomendados de iluminancia, los cuales dependen de la sensibilidad de los materiales que componen las obras u objetos expuestos.

**Tabla 1.1** Valores máximos de iluminancia de acuerdo a su composición [7]

Grupo	Materiales	Iluminancia
A	Acuarelas, telas, papel, grabados, tapices, etc.	50 lux
B	Óleos, témperas, hueso marfil, cuero, etc.	200 lux
C	Piedra, metal, cerámica, fotos en blanco y negro.	300 lux

#### *1.1.2.3.2 Control de emisión de luz infrarroja*

Este tipo de emisión produce calor, por lo tanto, se debe controlar que la temperatura de los objetos expuestos a la luz sea artificial o solar, estén en un rango de 18 °C a 20 °C. Para no deteriorar los materiales que componen los objetos a exponer, se debe tomar en cuenta una distancia apropiada entre la fuente de luz y el objeto, la carga térmica en el espacio iluminado y la humedad relativa debe tener un rango de entre 45% a 65% [8]. La solución para minimizar los efectos es usar luminarias que tengan baja emisión infrarroja o a su vez filtros para rayos infrarrojos.

#### *1.1.2.3.3 Control de emisión de luz ultravioleta*

La radiación ultravioleta es la que más daños causa, debido a sus efectos químicos. Se puede evidenciar claramente los efectos que se producen en los materiales, tales como: pérdida de color en los colorantes textiles y orgánicos, oscurecimiento en zonas que se utilizan barnices o aglutinantes, los papeles se tornan de un color amarillo y tienden a quebrarse, de esta manera se destruyen los objetos expuestos. Para solucionar o disminuir estos efectos se debe utilizar luminarias con filtros de luz ultravioleta [8].

#### *1.1.2.3.4 Control de tiempo de exposición*

En los museos las exposiciones no deben estar por grandes periodos expuestas a la luz, sea esta natural o artificial, debido a que pueden causar daños irreparables como degradaciones, decoloraciones o deterioro. Es por eso que en los museos se debe tener un control del tiempo de exposición tanto de luz artificial como natural, esto se lo realiza sólo encendiendo las luminarias por tiempos cortos y con baja intensidad [8].

A continuación, se muestra en Tabla 1.2 los valores máximos permitidos para reducir daños y deterioros de diferentes materiales.

**Tabla 1.2** Valores de iluminancia máximos recomendados en un año [7]

Grupo	Materiales	Iluminancia
A	Acuarelas, telas, papel, grabados, tapices, etc.	50.000 lux-h/año
B	Óleos, témperas, hueso marfil, cuero, etc.	600.000 lux-h/año
C	Piedra, metal, cerámica, fotos en blanco y negro.	> 600.000 lux-h/año

#### 1.1.2.3.5 Factor de deterioro

Este factor depende de la fuente de luz que se utiliza, la misma que puede ser luz natural o artificial. Las fuentes de luz producen radiaciones infrarrojas y ultravioletas que son las que afectan y deterioran los materiales [7].

La Tabla 1.3 muestra los factores de deterioro de las distintas luminarias que se utilizan para iluminación en museos y galerías de arte.

**Tabla 1.3** Factores de deterioro y temperatura de color fuentes luminosas comunes [7]

Fuente	Factor de deterioro	Temperatura (°K)
Sodio blanco	0,10	2500
Lámparas incandescentes	0,15	2800
Halógena (abierta)	0,20	3000
Mastercolour (MH)	0,20	3000
Inducción QL	0,20	3000
Tubos fluorescentes color 84	0,21	4000
Tubos fluorescentes color 94	0,18	3800
Tubos fluorescentes color 96	0,34	6500
Luz diurna (cristal de 4mm)	0,68	Sin registro

La fórmula para calcular el deterioro en una obra u objeto expuesto a la luz es [7]:

$$Deterioro = E * T * Fd \quad (1.1)$$

Donde:

*E = Iluminancia*

*T = Tiempo de exposición*

*Fd = Factor de deterioro*

#### **1.1.2.4 Deterioro de materiales**

El deterioro de materiales tiene dos causas:

##### *1.1.2.4.1 Efectos fotoquímicos*

Este efecto es el más importante a disminuir o eliminar debido a que produce daños irreversibles, es producido por la emisión ultravioleta de las fuentes luminosas. En los museos el valor máximo recomendado es de 75 mili watts por lumen. Los materiales orgánicos son los más sensibles a sufrir alteraciones por radiación ultravioleta, la cual representa el 1% del espectro cromático que emiten las fuentes lumínicas, causando que se pierda el color, el papel se torne amarillo y quebradizo. De acuerdo a las diferentes longitudes de onda las radiaciones ultravioletas se dividen en [7]:

UV-A (onda-larga) 315-400 nm

UV-B (onda-media) 280-315 nm

UV-C (onda-corta) 100-280 nm

##### *1.1.2.4.2 Efectos térmicos*

Las radiaciones infrarrojas producen efectos conocidos como térmicos, los cuales en combinación con la humedad del aire ocasionan dilatación en la madera, hendiduras por contracción, creación de microorganismos, deteriorando de esta manera los materiales que componen las obras.

De acuerdo a la longitud de onda se tienen tres tipos [7]:

IR-A (onda-corta) 800-1400 nm

IR-B (onda-media) 1400-3000 nm

IR-C (onda-larga) 3000-10000 nm

Para la protección de este tipo de efectos se utilizan lámparas incandescentes de tungsteno con reflectores dicroicos, los cuales reducen el calor que va hacia las obras de exposición.

### **1.1.3 FACTORES PARA CONFORT VISUAL**

#### **1.1.3.1 Calidad de la luz**

La calidad de luz cumple un papel importante debido a que si se escogen bien los parámetros que la engloban se logra una excelente iluminación. A continuación se describe cada uno de ellos [7]:

##### *1.1.3.1.1 Temperatura de color*

Este parámetro lo emiten cada una de las fuentes luminosas, se mide en Kelvin, se refiere a la apariencia o a la tonalidad de la luz. Dependiendo de la temperatura de color se puede percibir un aspecto de un lugar frío o cálido, lo cual al momento de exhibir las obras es determinante ya que sirve para dar una percepción realista [7].

##### *1.1.3.1.2 Índice de reproducción cromática*

Este índice sirve para que los objetos a iluminar puedan mostrar sus colores de una manera agradable, debido a que dependiendo de esto se mejora el aspecto cromático y la saturación de los colores [7].

##### *1.1.3.1.3 Deslumbramiento*

Para el confort visual se debe estudiar este parámetro, el cual es el más complicado, debido a que afecta directamente a la vista del usuario, cuando la luz se refleja sobre la superficie de los objetos [7]. El deslumbramiento se produce por dos aspectos:

#### 1.1.3.1.3.1 Reflexión

Cuando existe altos niveles de reflexión se produce deslumbramiento, produciendo distracción o muchas de las veces la obligación de cambiar la vista del objeto exhibido, por lo tanto, se debe ser cuidadoso al colocar las fuentes de iluminación sobre superficies lisas, reflectantes o demasiado claras, además no se debe ubicar por encima de la altura de la cabeza o en ángulos que causen deslumbramiento [7].

De acuerdo al material que componen los objetos a exhibir se tiene un valor de reflexión que se muestra en la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4** Porcentaje de reflexión de acuerdo al tipo de material, tono y color [7]

Material	Tono	Color	Reflexión (%)	
Pintura	Muy claro	Blanco nuevo	88	
		Crema	81	
		Claro	79	
			Azul	55
	Mediano		Amarillo	65
			Gris	61
		Obscuro		Azul
			Café	10
	Madera			Caoba
			Pino	48
Acabados metálicos		Blanco polarizado	70 – 85	
		Aluminio pulido	75	
		Aluminio claro	59	

#### 1.1.3.1.3.2 Contraste

Cuando se tiene altos valores de iluminación del objeto a exhibir con respecto al entorno, se crea efectos de sombra que deterioran y no permiten una visualización correcta. Los valores recomendados de atenuación de acuerdo al entorno se muestran en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5** Factor de atenuación de acuerdo al entorno [7]

Lugares	Factor de atenuación
Pinturas	2:1
Objetos Tridimensionales	5:1
Entre vestíbulos y áreas expositoras	2:1
Entre pasillos y áreas expositoras	3:1

Al no existir un adecuado nivel de contraste, se puede provocar efectos de cansancio o fatiga en el subconsciente de las personas que observan las exposiciones en los museos, produciendo que las valoren de manera incorrecta [7].

### **1.1.3.2 Tipos de montaje**

Mediante los tipos de montaje se puede determinar cuál es el más apropiado de acuerdo a las necesidades de la instalación.

#### *1.1.3.2.1 Montaje fijo*

Este tipo de montaje se realiza cuando se desea aumentar el factor de conservación de los materiales mediante el uso de filtros que ayuden a la disminución de las radiaciones ultravioletas e infrarrojas [7].

#### *1.1.3.2.2 Montaje temporal*

Se utiliza para exposiciones que se realizan en periodos de tiempo cortos y cuando se necesita tener flexibilidad al momento de reubicar las fuentes de iluminación [7].

### **1.1.3.3 Ambiente de creación**

Este tipo de factor es poco tomado en cuenta, pero es uno de los más importantes, debido a que ayudan a tener una mejor apreciación de las tonalidades, colores y del ambiente luminoso [7]. Depende del país y la época en la cual se desarrolla, donde se observa variables como la intensidad de luz, las dimensiones de ventanas y lo que el artista desea transmitir con los efectos cromáticos.

#### **1.1.3.4 Arquitectura y espacio**

La arquitectura y espacio donde se va ubicar las exposiciones del museo deben satisfacer los intereses y objetivos que tiene el museo, en cuanto a que desea transmitir al público visitante, para ello se diseña o examina alturas de techos, tamaños de ventanas y tragaluces.

Para lograr un resultado que garantice la misión de los museos los diseñadores, arquitectos y museógrafos deben tomar decisiones conjuntas, tomando en cuenta que se debe tratar de empotrar la mayor parte de luminarias con el fin de obtener una limpieza visual en los techos [7].

#### **1.1.4 ASPECTOS ECONÓMICOS**

Al momento de realizar los sistemas de iluminación para museos, se debe tomar en cuenta la eficiencia energética y el costo de mantenimiento de los equipos. Para disminuir los gastos en operación en la actualidad se incorpora sistemas automáticos, que controlan los niveles de iluminación y el tiempo que permanecen encendidas las fuentes de luz, tomando en cuenta que no deben estar prendidas por tiempos considerables [7]. Los sistemas automáticos en los museos utilizan sensores, que al detectar la presencia de usuarios encienden las luces.

#### **1.1.5 MUSEOS A NIVEL MUNDIAL**

Los museos más famosos alrededor del mundo hacen un gran análisis para determinar la iluminación que necesitan cada una de sus exposiciones, salas y representaciones. Por lo que a continuación se detalla 2 de los museos más representativos a nivel mundial.

##### **1.1.5.1 Museo de Historia Natural de Nueva York**

Este museo fue fundado en el año de 1869, muestra la historia del hombre y la tierra, está compuesto por alrededor de 35 millones de objetos, posicionándose como uno de los mejores museos del mundo, cuenta con 46 salas de exposición [9].



Una de las salas de mayor importancia es la de los dinosaurios y la de la ballena azul de 29 metros. Cuenta con fascinantes dioramas con alto nivel de realismo, haciendo que los usuarios se sientan como si estuviesen viviendo una realidad. Para lograr esto en los visitantes, ha sido necesario un trabajo en conjunto de museógrafos, biólogos, paleontólogos, diseñadores, arquitectos y luminotécnicos, cuyo objetivo ha sido lograr representaciones de los hábitats lo más reales posibles, para lo cual la iluminación es una de las partes fundamentales [9].

A continuación, se muestran imágenes de varios dioramas con los que cuenta este museo, cuidando hasta el último detalle. En la Figura 1.5 se muestra la representación de monos bonobos en la selva africana, la cual cuenta con un nivel de detalle impresionante que da la sensación que se encuentra en la misma selva.



**Figura 1.5** Monos bonobos museo de Nueva York [9]

La Figura 1.6 muestra pingüinos del ártico, se los considera una de las mejores representaciones del museo [9].



**Figura 1.6** Pingüinos en isla del ártico museo de Nueva York [9].

El nivel de realismo de los hábitats es impresionante haciendo que no sea necesario pasar frío para poder observar osos polares, como se muestra en la Figura 1.7 [9].



**Figura 1.7** Oso polar museo de Nueva York [9]

#### 1.1.5.2 Museo de Historia Natural de Bruselas

Este museo ayuda a la educación de sus visitantes sobre la historia de la evolución, se encuentra ubicado en Bruselas-Bélgica. Cuenta con una gran colección de esqueletos de dinosaurios siendo el más grande de Europa. Mediante las representaciones de sus hábitats muestran al público los cambios que han ido teniendo las especies durante el paso del tiempo [10]. Cuenta con 600 fósiles, 30 iguanodontes acompañados por esqueletos de triceratops, tyrannosaurus rex, diplodocus y 400 animales disecados. La iluminación del Tiranosaurio Rex que se muestra en la Figura 1.8 pasa por desapercibida.



**Figura 1.8** Fósil Tiranosaurio Rex museo de Bruselas [11]

En la Figura 1.9 se muestra la gran cantidad de animales disecados con los que cuenta uno de los museos más grandes del mundo.



**Figura 1.9** Animales disecados museo de Bruselas [11]

#### **1.1.6 ELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA LOS 6 DIORAMAS DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “GUSTAVO ORCÉS V.”**

De acuerdo a la bibliografía revisada y a los sistemas de iluminación implementados en museos a nivel mundial, los tipos de iluminación con los cuales se desarrollará el sistema de iluminación para 6 dioramas del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.” serán: iluminación general debido a que no se deben presentar gran cantidad de sombras en la parte posterior de los dioramas, estas luminarias serán colocadas en la parte superior de cada diorama con el objetivo de generar un ambiente con luz uniforme; iluminación ambiental con el objetivo de generar en cada diorama un ambiente específico de acuerdo a lo que el museólogo y biólogo desean que los usuarios perciban, para lo cual, se instalarán luminarias en lugares que otorguen el ambiente deseado para cada diorama; además se utilizará iluminación puntual, por lo que, se instalará luminarias que iluminen concretamente elementos y zonas específicas de los dioramas, tomando en cuenta que debe haber un equilibrio entre la luz general y la luz puntual debido a que se puede producir sombras o exceso de iluminación, lo cual perjudica la presentación de los dioramas.

En cuanto a la protección de las plantas y animales disecados de los rayos infrarrojos y ultravioletas producidos por las luminarias, se utilizarán difusores en las lámparas de esta manera se disminuye el nivel de deterioro de los elementos orgánicos que existe en cada diorama.

Para cada uno de los dioramas se usarán lámparas LED cuya temperatura de color puede ser blanco cálido y blanco frío, dependiendo el ambiente que cada diorama desea representar. El tipo de fuente de luz que se va emplear será luz artificial proveniente de lámparas con tecnología LED, debido a que no existen ventanales o fuentes de luz natural. Para el sistema iluminación a implementarse en los 6 dioramas, las luminarias tendrán un tipo de montaje fijo, ya que existe un difícil acceso para la realización de cambios en las posiciones de las luminarias.

Uno de las principales factores a tomar en cuenta es la conservación de los materiales, por lo que no deben estar expuestos por largos tiempos a la luz, tomando como referencia esto en los 6 dioramas se tendrá dos tipos de lámparas, unas que tengan la capacidad de atenuarse y las otras que no la tengan, por lo que, cuando no exista presencia de usuarios en los dioramas se apagarán las luminarias que no pueden ser atenuadas y las que sí tienen esta opción se atenuarán al 50%, de esta manera se tendrá control de emisión de luz ultravioleta y del tiempo de exposición de los elementos de cada diorama a la luz.

## 1.2 SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

La realidad virtual y realidad aumentada en ocasiones generan confusión entre sí al ser tomados como términos similares, siendo campos diferentes. La realidad virtual introduce al usuario en un mundo diferente con información visual ficticia, el mismo que se crea mediante el diseño gráfico en 3D. La Figura 1.10 muestra un sistema de realidad virtual.



**Figura 1.10** Usuario utilizando sistema de realidad virtual [12]

La realidad aumentada añade información gráfica en 3D ficticia en el mundo real, para que el usuario tenga nuevas y realistas experiencias visuales [12] [13]. Un sistema de realidad aumentada se muestra en la Figura 1.11.



**Figura 1.11** Usuario utilizando sistema de realidad aumentada [13]

La realidad aumentada en la actualidad está revolucionando el mundo de la tecnología e innovación, al aportar valor funcionalidad e impacto visual en campos como: el turismo, industria, campañas publicitarias, folletos aumentados, educación, medicina, presentación de proyectos, milicia y videojuegos [14] [15].

### **1.2.1 ELEMENTOS NECESARIOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA**

Un sistema de realidad aumentada cuenta con los siguientes elementos que permiten obtener la imagen real más los elementos 3D superpuestos en el mundo real.

#### **1.2.1.1 Marcador**

Un sistema de realidad aumentada puede utilizar o no marcadores, en el caso de utilizarlos estos son impresos en papel o sobre una superficie y su función es ser activadores de eventos al ser enfocados por la cámara y procesados por un software de realidad aumentada [16] [17]. Un ejemplo se muestra en la Figura 1.12.



**Figura 1.12** Marca empleada para un sistema de realidad aumentada [17]

### **1.2.1.2 Cámara**

Dispositivo que toma la imagen del mundo real y la envía al dispositivo procesador de información. En un sistema de realidad aumentada se puede utilizar cámaras web, cámaras de dispositivos móviles y cámaras digitales [16] [17].

### **1.2.1.3 Equipo procesador**

Es el dispositivo encargado de realizar el procesamiento de la información obtenida de la cámara, el mismo que utiliza un software especializado de realidad aumentada para añadir los gráficos 3D en la imagen real. Este equipo también es el encargado de generar los sonidos que se requieran en el sistema y debe ser potente para procesar imágenes en tiempo real [16] [17].

### **1.2.1.4 Pantalla o monitor**

El resultado del procesamiento de la información, realizado por el equipo procesador, es mostrado en una pantalla o monitor, en donde se observa la imagen real más los gráficos 3D superpuestos [16] [17].

### **1.2.1.5 Software**

Programa que toma la información de la cámara y la emplea para la obtención de la realidad aumentada [16] [17]. El software Aumentaty Author de realidad aumentada se muestra en la Figura 1.13.



**Figura 1.13** Aumentaty Author software de realidad aumentada [18]

#### **1.2.1.6 Dispositivo sonido**

Encargado de generar el sonido del sistema de realidad aumentada. Para reproducir los sonidos se utiliza parlantes o altavoces.

#### **1.2.1.7 Otras tecnologías**

Un sistema de realidad aumentada también puede hacer uso de sensores ópticos, ultrasónicos, GPS, acelerómetros, brújulas de estado sólido, RFID, entre otros dispositivos; estos elementos son utilizados para obtener información del entorno donde se desarrolla el sistema, esta información es procesada en un sistema informático para obtener la realidad aumentada [17].

### **1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA**

La realidad aumentada se puede definir en tres tipos; la basada en marcadores, sin utilizar marcadores y la basada en posicionamiento [19] [20] [21].

#### **1.2.2.1 Realidad aumentada basada en marcadores**

Para obtener este tipo de realidad aumentada, se realiza seguimiento y enfoque mediante una cámara a marcadores o imágenes (impresas) ubicadas en el mundo real, una vez que la cámara enfoca la marca un procesador, con un software especializado trabaja con la información de la imagen y agrega la realidad aumentada

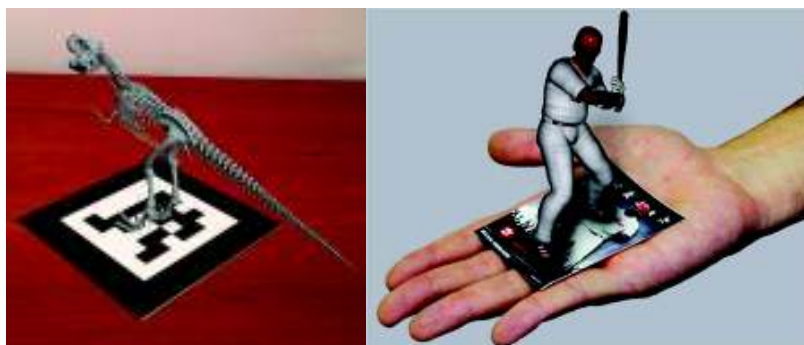
(gráficos en 3D) que es mostrada en una pantalla [19] [20] [21]. Un sistema de realidad aumentada basada en marcadores se muestra en la Figura 1.14.



**Figura 1.14** Sistema de Realidad Aumentada basada en marcadores [20]

Los marcadores permiten activar los gráficos 3D, al ser procesados y reconocidos por un software especializado.

Para trabajar con un sistema de realidad aumentada basada en marcadores, se puede utilizar un código matricial QR (quick response) como marcador, el cual representa la información en dos dimensiones, en un inicio no fueron diseñados para aplicaciones de realidad aumentada, sino que fueron creados para emular a su equivalente el código de barras (una dimensión). También se puede usar las imágenes, fotos e inclusive cromos como marcadores para un sistema de realidad aumentada [16] [22]. En la Figura 1.15 se observa un código matricial QR y una imagen utilizados como marcadores de realidad aumentada.



**Figura 1.15** Código matricial QR e imagen utilizados como marcadores de realidad aumentada [16]



### 1.2.2.2 Realidad aumentada sin utilización de marcadores

Para obtener realidad aumentada sin emplear marcadores se toma como elementos activadores a objetos e imágenes físicas del entorno como pseudo marcadores, las mismas que al ser enfocadas por la cámara y procesadas por el software generan la realidad aumentada [23]. La Figura 1.16 muestra la imagen de una persona usando un vestido 3D (ficticio), obtenido de un sistema de realidad aumentada sin marcador.



**Figura 1.16** Foto de realidad aumentada sin utilización de marcador [23]

### 1.2.2.3 Realidad aumentada basada en posicionamiento

La realidad aumentada basada en posicionamiento, necesita que el equipo o dispositivo móvil en el cual se va procesar la información del mundo real, cuente con elementos tales como: GPS, brújula y acelerómetro; estos dispositivos permiten calcular y obtener en qué punto del planeta, a qué altura y en qué dirección apunta el equipo o dispositivo móvil. Cuando se determina el posicionamiento se utiliza el internet para obtener información sobre la posición que posteriormente se sobrepondrá a la realidad en forma de imágenes o texto. Este tipo de realidad aumentada se encuentra en aplicaciones turísticas, arqueológicas y juegos para móviles [20]. Un juego para dispositivo móvil que emplea la realidad aumentada basada en posicionamiento es mostrado en la Figura 1.17.



**Figura 1.17** Juego de realidad aumentada basada en posicionamiento [24]

### 1.2.3 SISTEMAS DE REALIDAD AUMENTADA EN MUSEOS

La realidad aumentada es uno de los mayores avances en lo que se refiere a introducir nuevos contenidos en los museos, dependiendo del tipo de aplicación con la que cuente el museo. Se puede brindar más información y navegar con mayor profundidad en los temas expuestos en las diferentes salas; algunos sistemas de realidad aumentada permiten interactuar a los visitantes con los objetos expuestos, lo que da como resultado, que se muestre un mayor número de contenidos que los mostrados en una manera solamente física, logrando que los usuarios experimenten y disfruten nuevas experiencias [17]. Varios museos alrededor del mundo actualmente están haciendo uso de estas tecnologías para sus exposiciones, a continuación, se enuncian algunos de estos.

#### 1.2.3.1 Museo Británico

El museo permite que los usuarios puedan conocer más contenido de sus salas de exposiciones utilizando la aplicación de realidad aumentada GoAumented, esta aplicación ha sido desarrollada mediante el software Junaio. Para observar el contenido de las salas el usuario debe tener instalado la aplicación GoAumented en un dispositivo móvil el mismo que al enfocar con la cámara hacia un punto específico de la sala se despliega información adicional [17]. En la Figura 1.18 se observa usuarios del museo utilizando la aplicación GoAumented.



**Figura 1.18** Usuario del museo Británico utilizando la aplicación GoAumented [17]

### 1.2.3.2 Museo de Londres

La aplicación Street Museum permite a los usuarios de esta obtener fotografías antiguas de las calles dentro y fuera del museo de Londres, además, favorece al museo y fomenta el turismo en Londres [17]. Un ejemplo de utilización de la aplicación para dispositivos móviles se presenta en la Figura 1.19.



**Figura 1.19** Usuarios utilizando aplicación Street Museum [17]

### 1.2.3.3 Museo Moma de Nueva York

Es el museo de artes modernas más importante del mundo, realiza exposiciones de realidad aumentada en salas prácticamente vacías, donde el usuario con la ayuda de una aplicación de realidad aumentada instalada en su dispositivo móvil observa

elementos 3D al enfocar en una dirección [17]. En la Figura 1.20 se observa usuarios del museo disfrutando de la exposición de realidad aumentada en una de sus salas.



**Figura 1.20** Exposición de realidad aumentada en el museo Moma Nueva York [17]

#### 1.2.3.4 Museo Royal Ontario de Toronto

El museo presenta una aplicación de realidad aumentada denominada Rom Ultimate Dinosaurs. La utilización de la aplicación se muestra en la Figura 1.21.

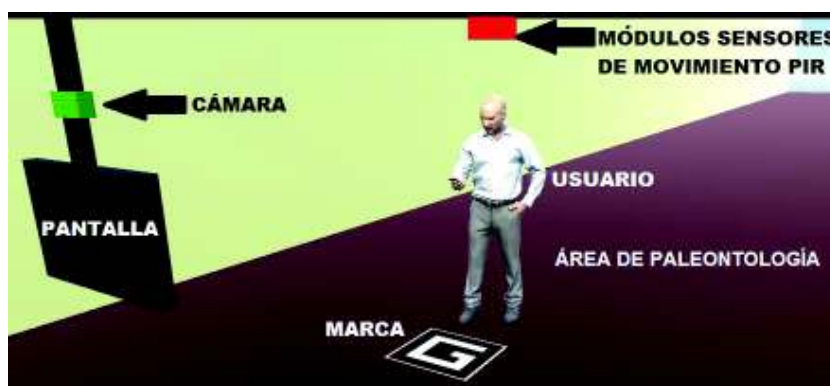


**Figura 1.21** Usuario utilizando la aplicación Rom Ultimate Dinosaurs [17]

Con la aplicación el usuario puede observar un dinosaurio en 3D a escala y tiempo real, esta aplicación hace uso de un marcador, lo que permite que el usuario pueda observar el dinosaurio como si fuera real al estar ubicado frente a él [17].

#### 1.2.4 ELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “GUSTAVO ORCÉS V.”

Con base a la revisión bibliográfica presentada sobre sistemas de realidad aumentada, se implementará para el museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.” un sistema de realidad aumentada basado en un marcador matricial QR, debido a que las animaciones 3D se ubicarán alrededor de la marca, para lo cual, se creará una aplicación que se ejecutará en un computador, el cual, procesará la información obtenida por la cámara, microcontrolador, y generará la realidad aumentada que se visualizará en una pantalla conjuntamente con la imagen real del entorno. Además, la activación del sistema se hará mediante la detección de usuarios con sensores de movimiento y procesamiento de la imagen obtenida por la cámara. En la Figura 1.22 se muestra la disposición de cada uno de los elementos del sistema de realidad aumentada basado en un marcador, el cual, se implementará en el área de paleontología del museo.

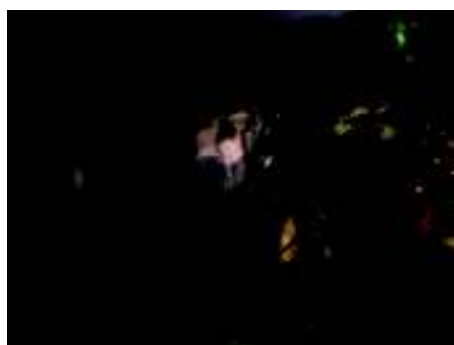


**Figura 1.22** Sistema de realidad aumentada basado en un marcador

### 1.3 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LOS 6 DIORAMAS DEL MUSEO

El sistema de iluminación actual de los seis dioramas (representaciones de hábitats de la flora y fauna ecuatoriana) ubicados en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional, cuenta con una serie de anomalías detalladas a continuación: La existencia de luminarias que han cumplido su periodo de

vida útil, y no han sido reemplazadas por parte del personal técnico, hacen que no exista iluminación en partes de los dioramas o en algunos de los casos en su totalidad, como se puede observar en la Figura 1.23, lo mostrado no permite la correcta visualización y apreciación de la flora y fauna, volviéndose molesto para los usuarios del museo. Al momento de realizar el mantenimiento no se lo puede hacer de manera correcta porque no se tiene planos eléctricos.



**Figura 1.23** Diorama sin iluminación museo Gustavo Orcés

En la Figura 1.24 se evidencia la utilización de transformadores de 110 V CA a 12 V CA para las luminarias que funcionan con ese voltaje de alimentación, algunos de los cuales están en pésimas condiciones, además existen cables desconectados.



**Figura 1.24** Diorama con transformadores defectuosos en el museo Gustavo Orcés

El objetivo del museo de Historia Natural es mostrar hábitats lo más realistas posible, por lo cual se han juntado un grupo de profesionales, en el cual se encuentran biólogos, paleontólogos y pintores con el fin de obtener una representación muy apegada a la realidad, y de esta manera hacer sentir al usuario como si se encontrase en los lugares

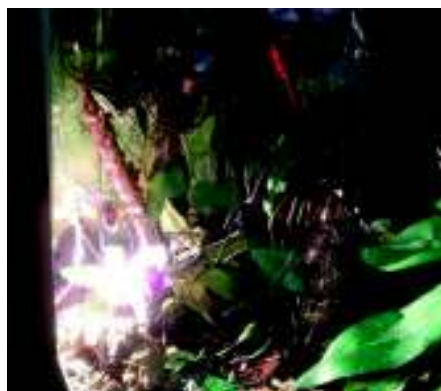
que cada uno de los dioramas representa. Pero a pesar de todo el trabajo en conjunto, no se cuenta con una correcta iluminación, ya que se utilizan luminarias colocadas en las esquinas de los dioramas de una manera en la cual no existe una armonía con el resto del hábitat, llamando la atención hacia ese lugar como se muestra en las Figuras 1.25, 1.26 y 1.27.



**Figura 1.25** Diorama con iluminación deficiente museo Gustavo Orcés



**Figura 1.26** Iluminación deficiente del tigrillo museo Gustavo Orcés



**Figura 1.27** Deslumbramiento diorama selva ecuatoriana museo Gustavo Orcés

Algunos de los dioramas cuentan con sensores de movimiento para un sistema automático de iluminación existente, el continuo uso y la falta de mantenimiento de los mismos han sacado de funcionamiento varios de ellos.

Al momento de realizar una inspección de cómo se encuentra el cableado eléctrico en cada uno de los dioramas, se nota la existencia de un sistema en malas condiciones como se puede observar en la Figura 1.28 y en la Figura 1.29.



**Figura 1.28** Foco sin la boquilla necesaria y conexión eléctrica en pésimo estado



**Figura 1.29** Foco sin la boquilla y sujetado por una tapa

La existencia de cables sueltos, equipos y tomacorrientes dentro de los dioramas como se puede observar en la Figura 1.29 disminuyen la calidad de la representación de la realidad que desea mostrar el museo a sus visitantes.



En la Tabla 1.6 se muestran los problemas en el sistema de iluminación que presentan los 6 dioramas del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.” y las soluciones que se plantean para cada uno de ellos.

**Tabla 1.6** Problemas y soluciones para el sistema de iluminación de 6 dioramas del museo

N°	Problema	Solución
1	Dioramas sin iluminación	Cambiar el cableado eléctrico y todas las luminarias existentes
2	Existencia de transformadores de 110V AC a 12V AC para energizar lámparas de 12V AC.	Retirar las lámparas de 12V AC y los transformadores
3	Deslumbramiento o exceso de iluminación en las esquinas inferiores de los dioramas	No colocar luminarias en las esquinas inferiores para dar sensación de luz natural
4	Sensores de movimiento fuera de funcionamiento que han cumplido vida útil	Instalación de sensores de presencia nuevos que no desactiven las luminarias cuando los usuarios permanecen inmóviles
5	Lámparas sin boquillas o estructuras	Ubicar las lámparas con sus respectivas boquillas o estructuras
6	Cables sueltos, sin conexión	Retiro de todo el cableado antiguo e instalación de un nuevo cableado
7	Modo de operación automática fuera de servicio	Instalación de sistema de iluminación con modos de operación manual y automático
8	Interruptores fuera de servicio y de fácil acceso para una mala utilización del sistema de iluminación por los usuarios	Retiro de los interruptores y la instalación de un tablero de control del sistema de iluminación alejado de los dioramas

9	Existencia de luminarias incandescentes	Instalación de luminarias con tecnología LED en todos los dioramas
10	Existencia de sombras generadas por la deficiente iluminación en los dioramas	La ubicación correcta de 4 diferentes tipos de lámparas con diferente flujo luminoso

En base a la Tabla 1.6 el sistema de iluminación contará con los sensores y actuadores descritos a continuación:

### 1.3.1 HARDWARE SISTEMA DE ILUMINACIÓN MUSEO GUSTAVO ORCÉS

Para la realización del sistema de iluminación de los 6 dioramas del museo de Historia Natural Gustavo Orcés, se utiliza los siguientes componentes:

#### 1.3.1.1 Raspberry Pi 3 B

Es un computador de bajo costo y placa reducida, la cual se utiliza para realizar una interfaz de usuario donde se controla el encendido y apagado de la iluminación de cada uno de los 6 dioramas. Su hardware es de uso libre y el software es open Source. En la Figura 1.30 se muestra la placa electrónica Raspberry Pi 3 modelo B.

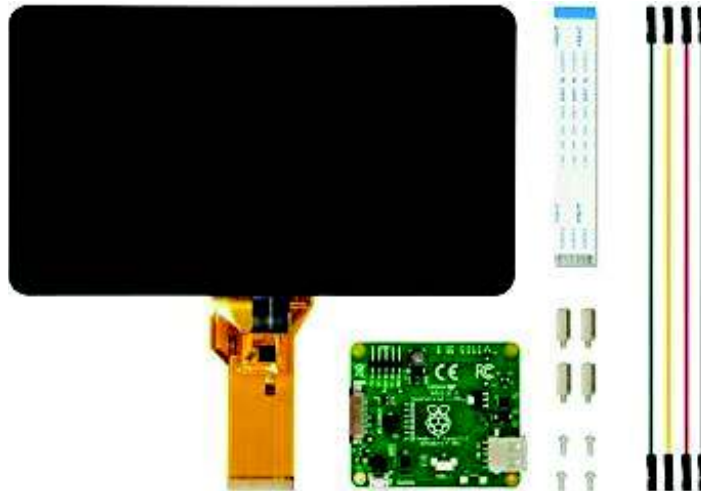
El modelo Raspberry Pi 3 B incluye un procesador Broadcom BCM2387 con cuatro núcleos ARM Cortex-A53 a 1.2 GHz [25]. La memoria RAM que posee es de 1GB DDR2, la misma que permite que los sistemas operativos funcionen de manera eficaz.



**Figura 1.30** Placa electrónica Raspberry Pi 3 modelo B [25]

### 1.3.1.2 Pantalla táctil LCD

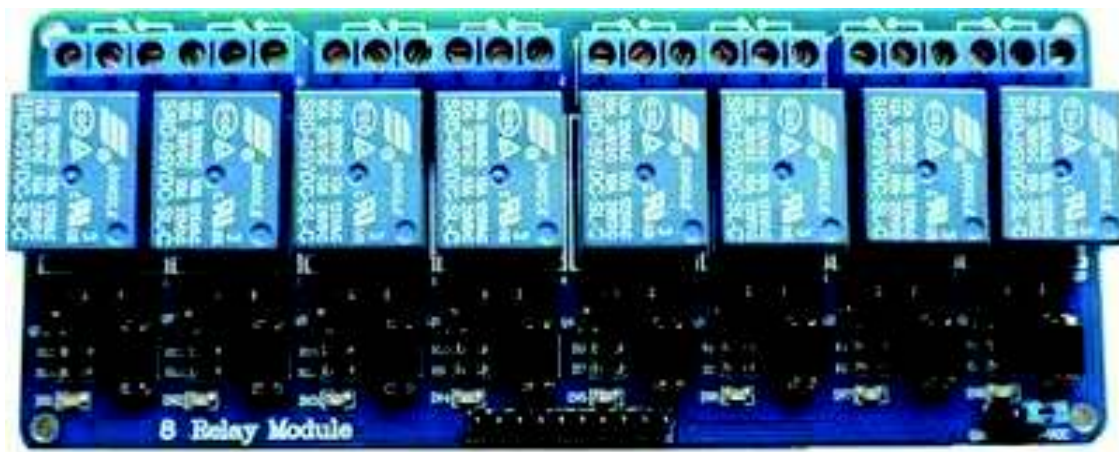
La pantalla LCD táctil tiene un tamaño de 7 pulgadas y una resolución de 800 x 480 píxeles [26], la cual sirve para visualizar la interfaz de usuario. En la Figura 1.31 se muestra la pantalla táctil, la cual cuenta con un touch capacitivo con la capacidad de sensor 10 puntos, lo que la hace multitáctil.



**Figura 1.31** Pantalla táctil original de la fundación Raspberry [26]

#### 1.3.1.2.1 Módulo relé de 8 vías

El módulo relé de 8 vías mostrado en la Figura 1.32 se utiliza para la activación y desactivación de las luminarias de cada uno de los 6 dioramas.



**Figura 1.32** Módulo relé de 8 vías [27]

## **1.3.2 SOFTWARE SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

### **1.3.2.1 Sistema operativo Raspbian**

Es el sistema operativo oficial de la placa electrónica Raspberry Pi, se basa en una versión de Linux específicamente en Debian adaptada y optimizada, el cual es el más estable, completo y con el que se tiene mejor rendimiento [28].

### **1.3.2.2 Raspbian Jessie con pixel**

Es la última versión del sistema operativo Raspbian basado en Debian de Linux, que cuenta con Pixel que en sus siglas en inglés es Pi Improved Xwindows Environment Lightweight. Se ha incorporado Pixel con el objetivo de mejorar el entorno gráfico haciéndolo más sencillo y amigable para el usuario, además cuenta con un navegador web Chromium para Raspberry Pi [29]

### **1.3.2.3 Python**

Python es un lenguaje de programación multiplataforma de código abierto, potente, con estructuras de datos de alto nivel y fácil de aprender, soporta la orientación a objetos con un enfoque simple pero efectivo [30]. Se puede escribir partes del código en C o C++.

Es un lenguaje de programación amigable, debido a que se usan palabras en vez de símbolos, es ideal para scripting y creación de aplicaciones sobre la mayor parte de plataformas. Existen espacios o tabuladores antes de cada línea, lo cual delimita los bucles, funciones, clases, etc. Una de las diferencias de Python frente a otros lenguajes es que no necesita declarar bloques o variables mediante caracteres, sólo se utilizan espacios [31].

### **1.3.2.4 Tkinter**

Es un módulo multiplataforma que viene conjuntamente con Python al momento de instalarlo, sirve para la realización de interfaces gráficas (GUI's) orientada a objetos

con una gran variedad de clases y métodos [32]. Posee una gran cantidad de widgets con la posibilidad de usar estilos y temas que hacen que sea un toolkit que permite personalizar la interfaz estéticamente hablando.

### 1.3.3 HARDWARE PARA UTILIZARSE EN EL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

A continuación, se realiza una breve descripción de los elementos a utilizarse en el sistema de realidad aumentada que se va a implementar.

#### 1.3.3.1 Logitech webcam C930e

Es una webcam que no requiere software, se muestra en la Figura 1.33.



**Figura 1.33** Webcam C930e [33]

Permite controlar la visión panorámica, es compatible con Windows 7, 8 y Mac. Esta webcam requiere una CPU mínima Core 2 duo a 2,4 GHz y una RAM mínima de 2GB [33]. En la Tabla 1.7 se muestra las especificaciones más relevantes de la webcam.

**Tabla 1.7** Especificaciones webcam C930e [33]

Tipo de conexión	USB
Protocolo USB	USB 2.0
Micrófono	Sí
Objetivo y tipo de sensor	Cristal
Tipo de foco	Auto
Resolución óptica	Real: 3 MP Mejora por software: no
Campo visual diagonal	90°
Frecuencia de cuadro (máx.)	1080 p a 30 fps

### 1.3.3.2 Microcontrolador ATmega164p

Es un microcontrolador CMOS de baja potencia de 8 bits, basada la arquitectura RISC mejorada por AVR, ejecuta instrucciones en un solo ciclo de reloj, alcanza rendimientos cercanos a 1MIPS por MHz [34]. En la Tabla 1.8 se muestra las características relevantes del microcontrolador ATmega164p.

**Tabla 1.8** Características ATmega164/V [34]

Característica	ATmega164/V
Flash (Bytes)	16K
SRAM (Bytes)	1K
EEPROM (Bytes)	512
Líneas E/S de uso general	32
USART	2
ADC	10-bit 15ksps
8-bit Timer/Contadores	2
16-bit Timer/Contadores	1

### 1.3.3.3 Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501

Es un módulo sensor infrarrojo utilizado para detectar personas o animales en movimiento. Para realizar la detección el sensor procesa la radiación infrarroja que emite las personas o animales [35].

En la Tabla 1.9 se enuncian las principales características de este sensor. En la Figura 1.34 se muestra el sensor.

**Tabla 1.9** Características sensor de movimiento PIR HC-SR501 [35]

Voltaje de alimentación	5 a 12v
Rango de distancia	3 a 7m ajustable
Ángulo de detección	Cono de 110 grados
Modos de operación	Mono disparo y disparo repetido
Tiempo de bloqueo	3s posterior a la desactivación de la alarma



**Figura 1.34** Sensor de movimiento PIR HC-SR501 [35]

#### 1.3.3.4 Servomotor Sg90

Es un servomotor miniatura y económico, capaz de rotar 180 grados de acuerdo a los pulsos que recibe en la línea de control [36]. En la Tabla 1.10 se presenta las principales características del servomotor Sg90. En la Figura 1.35 se muestra el servomotor.

**Tabla 1.10** Características del servomotor Sg90 [36]

Voltaje de alimentación	5v
Ángulo de rotación	180 grados
Ancho de pulso de control	500 a 2400us
Torque	1.8Kgf-cm



**Figura 1.35** Servomotor Sg90 [36]

### **1.3.3.5 Computadora de escritorio**

Para integrar todos los elementos anteriormente descritos, se utilizará una computadora, la misma que contará con los periféricos de entrada y salida mínimos (pantalla, teclado, mouse, altavoces), además, el procesador a utilizar es un Intel core i3 a 2.4 GHz con una RAM de 4GB.



## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DE HARDWARE DE LOS SISTEMAS**

El presente capítulo detalla el desarrollo del hardware tanto para el sistema de iluminación, como para el sistema de realidad aumentada, además se diseña la marca a ser reconocida por el sistema de realidad aumentada. Se seleccionan los equipos y componentes para la realización de los sistemas a implementar.

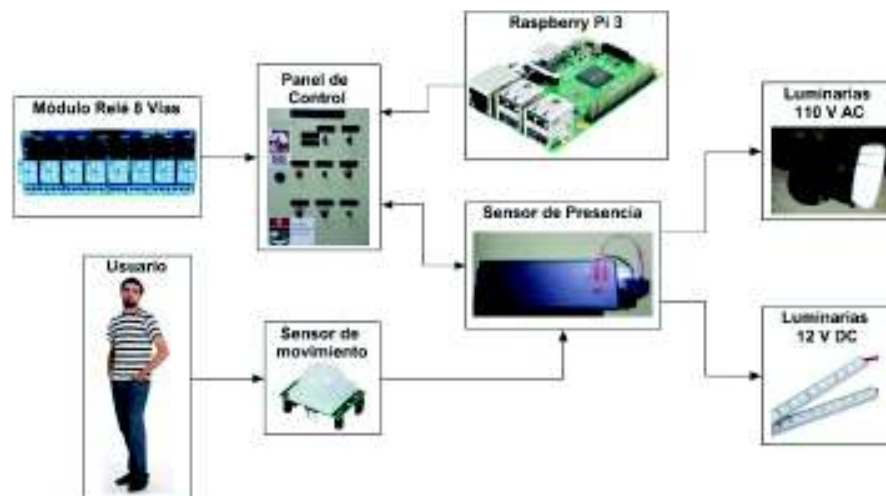
#### **2.1 DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

El sistema de iluminación consta de un modo manual y un automático, cada uno de ellos tiene una arquitectura definida. Se utilizan los elementos y equipos que se describieron en el Capítulo 1, los cuales son: una tarjeta electrónica de bajo consumo Raspberry Pi 3 B; una pantalla táctil de 7 pulgadas; 6 sensores de presencia desarrollados por la empresa Intelligent-a; 3 módulos relés de 8 vías; interruptores manuales; conductores eléctricos para el cableado de todo el sistema y un tablero de control, desde donde se realiza el encendido y apagado de las luminarias manualmente, además se puede seleccionar el modo de operación. El sistema de iluminación cuenta con lámparas con tecnología LED que funcionan con un voltaje de alimentación de 12 VDC y 110 VAC.

##### **2.1.1 ARQUITECTURA MODO AUTOMÁTICO**

La arquitectura del modo automático se observa en la Figura 2.1. Para el funcionamiento de este modo se utiliza un sensor de presencia desarrollado por la empresa Intelligent-a que opera de la siguiente manera: al ser inicializado mediante la activación de todo el sistema en el tablero de control y seleccionado el modo automático, al no detectar presencia de usuarios mediante el sensor PIR HC-SR501, se activan luminarias LED (tiras), las cuales, funcionan a 12 VDC con una iluminación tenue. Mientras que al detectar presencia de usuarios se encienden completamente y además activan luminarias LED que funcionan a 110 VAC. Es decir, sin presencia de personas sólo se encienden las tiras LED tenuemente y con presencia de usuarios se

encienden completamente y además luminarias LED de 110 VAC, en circuitos independientes.



**Figura 2.1** Arquitectura modo automático del sistema de iluminación

### 2.1.1.1 Sensores de presencia partes y funcionamiento

El sensor de presencia que se utiliza se muestra en la Figura 2.2, el cual, fue desarrollado por la empresa Intelligent-a e instalado en cada uno de los 6 dioramas.

Este sensor cuenta con dos salidas PWM para lámparas LED de 12 VDC, dos relés para la activación de lámparas LED de 110 VAC, dos borneras para el manejo de dos servomotores y dos para la lectura de dos sensores PIR HC-SR501.



**Figura 2.2** Sensor de presencia desarrollado por Intelligent-a

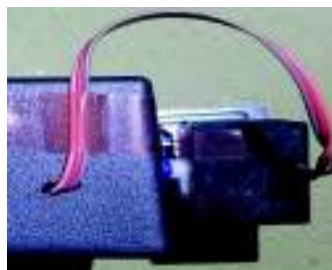
#### 2.1.1.1.1 Funcionamiento

El funcionamiento de estos sensores es el siguiente: mientras el sensor de movimiento PIR HC-SR501 no detecte la presencia de visitantes se mantiene ubicado el lente del

sensor hacia el piso mediante un servomotor SG90 como se observa en la Figura 2.3, y generará una PWM al 50% de ciclo de trabajo, de esta manera se encienden tenuemente las luminarias LED (tiras) de 12 VDC. Si existe la presencia de visitantes el sensor de movimiento envía una señal de activación de 3.3 V DC (1L) a una entrada digital de un arduino Pro Mini, con lo cual, el arduino genera una PWM con el 100% de ciclo de trabajo para encender completamente las luminarias LED de 12 VDC. Además activa un relé que enciende las luminarias LED de 110 VAC, las mismas se encuentran activas mientras el sensor PIR HC-SR501 detecte la presencia de usuarios, para lo cual, una vez detectados los visitantes el servomotor SG90 acoplado al sensor de movimiento se mueve 90° en dirección hacia el diorama como se muestra en la Figura 2.4, después de 15 segundos el servomotor realiza una comprobación de la existencia de usuarios moviéndose 90° en dirección hacia el piso del pasillo como se muestra en la Figura 2.3 y se realiza una triple lectura del estado del sensor de movimiento cada 500 ms, para asegurar la presencia de algún usuario. Si el sensor detecta la presencia de visitantes, tanto las luminarias LED de 12 VDC como las de 110 VAC continúan encendidas, hasta que no se detecte la presencia de usuarios.



**Figura 2.3** Posición de detección del sensor de movimiento PIR HC-SR501

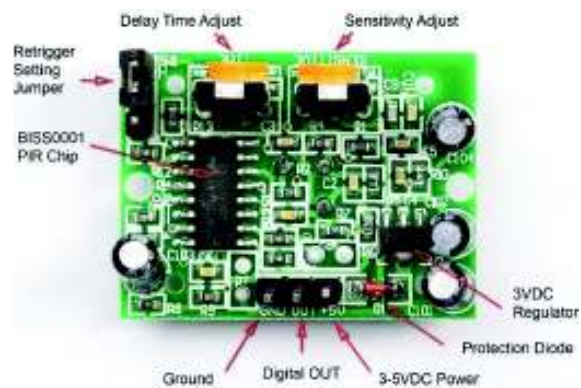


**Figura 2.4** Posición de espera del sensor de movimiento PIR HC-SR501

Estos sensores cuentan con los siguientes componentes:

#### 2.1.1.1.2 Sensor de movimiento PIR HC-SR501

Este sensor está basado en tecnología infrarroja con alta sensibilidad y confiabilidad, bajo consumo de energía. Tiene dos zonas de detección que son activadas en condiciones normales por la radiación infrarroja del ambiente. Para reconocer el movimiento o presencia de una persona o animal, debe existir una diferencia de calor entre las dos zonas de detección, emitido por el cuerpo humano en forma de radiación infrarroja. El sensor posee 3 pines como se observa en la Figura 2.5, VCC, GND, y el pin de la mitad es la salida digital (digital out), por medio del cual se envía una señal digital de 3.3 VDC (1L) en caso de detección de usuarios [37].



**Figura 2.5** Sensor de movimiento PIR HC-SR501 [37]

En la Figura 2.6 se observa que el sensor tiene 2 potenciómetros de precisión numerados con el 2, 3 y un jumper con 1, los cuales, sirven para modificar la precisión en la detección, el tiempo de reactivación y el comportamiento en cuanto al modo, de repetición o continuo.



**Figura 2.6** Elementos configurables del Sensor PIR HC-SR501 [37]

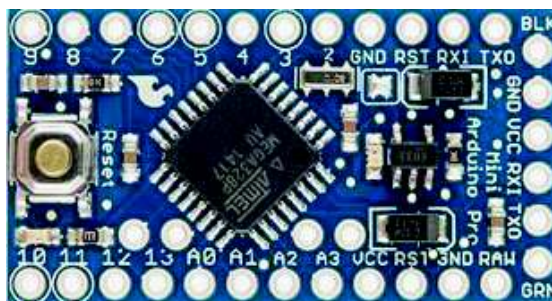
### 2.1.1.1.3 Servomotor SG90 Tower Pro

Este servomotor tiene un bajo consumo de energía, posee tres cables que tienen los siguientes colores: rojo para la alimentación positiva, café para GND y el naranja para la señal PWM.

Se utiliza debido a que los usuarios del museo se ubican frente a los dioramas sin realizar movimiento y como los sensores PIR HC-SR501 no detectan movimiento apagan las luminarias, por lo cual, este servomotor sirve para girar el sensor de movimiento de esta manera realizar una comprobación de la existencia de usuarios cada 15 segundos. Al no detectar presencia de usuarios el servomotor pone al sensor PIR HC-SR501 con el lente apuntando hacia el piso, esperando que se detecte la nueva presencia de personas.

### 2.1.1.1.4 Arduino Pro Mini

Uno de los componentes fundamentales del sensor de presencia desarrollado por la empresa Intelligent-a, es un arduino Pro Mini, el cual, se observa en la Figura 2.7.



**Figura 2.7** Tarjeta electrónica de desarrollo Arduino Pro Mini [38]

Esta tarjeta electrónica controla toda la operación del sensor de presencia. Genera una PWM que atenúa el nivel de iluminación de las luminarias LED de 12 VDC; controla el movimiento y posición del servomotor en un ángulo de 90°; activa un relé de 12 VDC, el cual, es activado cuando el sensor PIR HC-SR501 envía una señal de activación en alto (1L) al arduino, haciendo que se enciendan las luminarias LED (tiras) de 12 VDC con una PWM al 100% de ciclo de trabajo y también las de 110 VAC, mientras que si

el sensor de movimiento envía una señal en bajo (0L) sólo se encienden las luminarias LED de 12 VDC con una PWM al 50% del ciclo de trabajo.

#### 2.1.1.1.5 Fuente de alimentación 12 VDC

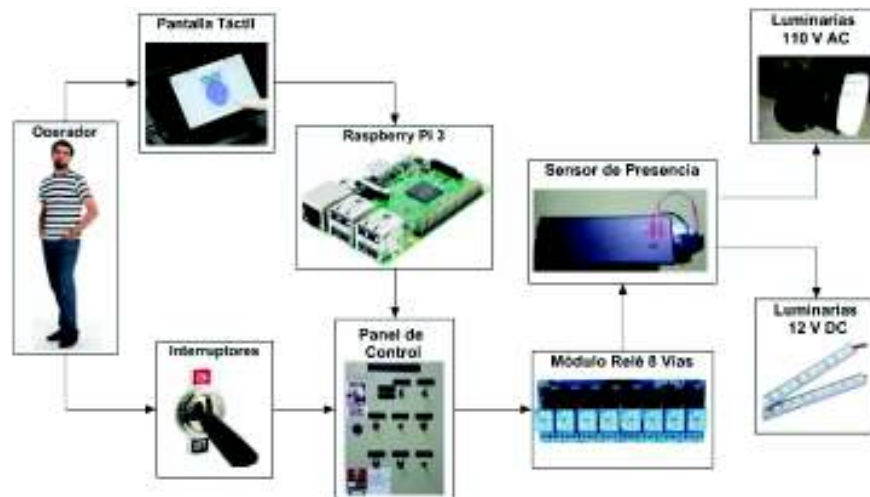
Se utiliza una fuente de alimentación de 12 VDC a 5A para cada uno de los 6 dioramas, debido al consumo de energía que tienen las luminarias LED de 12 VDC y el sensor de presencia. En la Figura 2.8 se puede observar la fuente de alimentación comercial ImaxRC [39].



**Figura 2.8** Fuente de alimentación ImaxRC de 12 V DC a 5 A [39]

### 2.1.2 ARQUITECTURA MODO MANUAL

Para seleccionar este modo de operación, se usa un interruptor ubicado en el tablero de control. Aquí los visitantes del museo no pueden activar ni desactivar ninguna luminaria, los únicos que pueden realizar esta acción son los operadores, los cuales, pueden realizarlo de dos formas, la primera es autenticándose en la interfaz gráfica que se muestra en la pantalla táctil, para lo cual, cada guía del museo u operario del sistema tiene un usuario y una contraseña para ingresar. La segunda forma de acceder al encendido o apagado de las luminarias es con los 6 interruptores físicos, uno para cada diorama, ubicados en un tablero de control. En la Figura 2.9 se puede observar la arquitectura del modo manual.



**Figura 2.9** Arquitectura modo manual sistema de iluminación

Este modo de operación utiliza los siguientes componentes:

### 2.1.2.1 Fuente de Alimentación Raspberry PI 3 B

Debido al consumo de energía que demandan tanto la pantalla táctil de 7 pulgadas como la Raspberry PI 3 B y sus puertos GPIO (puertos de entrada y salida), se utiliza una fuente comercial de la marca Vilros que suministra la suficiente corriente, ésta tiene una salida de 5 VDC y 2.5A, se la puede observar en la Figura 2.10. La corriente se distribuye de la siguiente manera: 800 mA para la tarjeta electrónica Raspberry Pi 3 B [40]; 850 mA para la pantalla táctil de 7 pulgadas [41]; 16 mA para cada uno de los 8 puertos GPIO (entradas/salidas) haciendo un total de 128 mA, se debe tomar en cuenta que la suma total de todas las corrientes de los puertos GPIO de la Raspberry Pi 3 B es 150 mA como máximo [42].



**Figura 2.10** Fuente de alimentación 5 VDC a 2.5A marca Vilros

### 2.1.2.2 Pantalla táctil 7 pulgadas

La pantalla táctil de 7 pulgadas que se utiliza para mostrar la interfaz gráfica del usuario en modo manual se describió en el Capítulo 1, esta pantalla se comunica con la Raspberry Pi 3 B, enviando las señales de activación o desactivación a las luminarias de cada uno de los dioramas, por medio de botones virtuales de la interfaz gráfica.

### 2.1.2.3 Case pantalla táctil y Raspberry PI 3 B

La pantalla táctil donde se muestra la interfaz del sistema de iluminación necesita una estructura para poder ser colocada, para lo cual se utiliza la carcasa Smarti Pi Touch, en la que se tiene un compartimento para ubicar la tarjeta electrónica Raspberry Pi 3 B, una cámara y por supuesto la pantalla con la capacidad de regular el ángulo de visión [43]. En la Figura 2.11 se observa las partes que la conforman.



**Figura 2.11** Partes carcasa Smarti Pi Touch [43]

### 2.1.2.4 Módulo relé de 8 vías

Para controlar la activación o desactivación del sistema de iluminación de los 6 dioramas, se utilizan 3 módulos relé de 8 vías de 5 VDC, su distribución por diorama se observa en la Figura 2.12. Los módulos relé tienen aislamiento por optoacoplamiento y se activan por señales en bajo (0L). Se utiliza 4 relés para cada



diorama a iluminar, los cuales, están numerados del 1 al 24 y se distribuyen como se muestra en la Tabla 2.1.



**Figura 2.12** Distribución de relés por diorama a iluminar

**Tabla 2.1** Distribución de relés por cada uno de los 6 dioramas

Nombre del Diorama	Nº. de Relé	Nombre de Relé	Función de Relé
MATAJE (D1)	1	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	2	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	3	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	4	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual
	5	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	6	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático

DON JUAN (D2)	7	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	8	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual
SAN LORENZO (D3)	9	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	10	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	11	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	12	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual
PASTAZA MERA (D4)	13	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	14	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	15	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	16	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual
ÁNGEL (D5)	17	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	18	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	19	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	20	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual
	21	Manual/Automático o 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático
	22	Manual/Automático o 12 V	Controla las luminarias de 110 V en modo automático

CHIMBORAZO (D6)	23	Conmutador Luces 110 V	Controla las luminarias de 110 V en modo manual
	24	Conmutador Luces 12 V	Controla las luminarias de 12 V en modo manual

### 2.1.3 DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Para el diseño de iluminación se procede a realizar el cálculo mediante el método de los lúmenes, el cual, se describe a continuación:

#### 2.1.3.1 Introducción

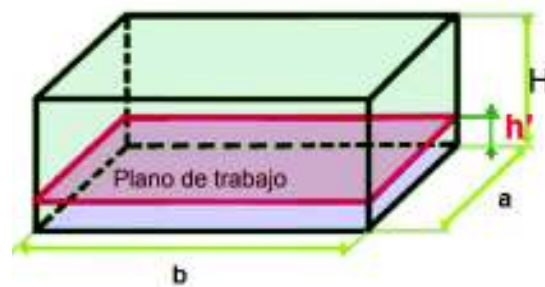
La finalidad del método de los lúmenes se basa en calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un espacio iluminado con alumbrado general.

#### 2.1.3.2 Procedimiento

Fijar los datos de entrada [44]:

- **Dimensiones del local:** ancho (a), largo (b), altura total (H) y altura de trabajo (h). En la Figura 2.13 se indica cada una de las dimensiones necesarias.
- **Determinar la altura del plano de trabajo(h')**: es decir la altura que existe entre el piso y el plano de trabajo como se observa en la Figura 2.13. Esto depende de la actividad que se va a realizar en esta zona.
- **Determinar el nivel de iluminancia media ( $E_m$ )**: de acuerdo con el tipo, actividad del local a iluminar, su forma y acabados, se define la cantidad y calidad del alumbrado con el fin de otorgar condiciones de calidad y confort visual, creando ambientes agradables para los usuarios.
- **Elección del tipo de lámpara:** dependiendo la cantidad de lúmenes necesarios para iluminar una zona, se selecciona el tipo de lámpara de acuerdo con la cantidad de lúmenes que suministra, además, se consideran aspectos como son: la temperatura de color, la eficiencia, etc.

- **Elección del tipo de luminaria:** depende del número de lámparas que sean necesarias por cada luminaria, además, es necesario determinar la altura de suspensión de la luminaria para su elección.



**Figura 2.13** Dimensiones del local a iluminar [44]

- **Determinar el coeficiente de utilización (c.u):** mediante esto se conoce la relación entre el número de lúmenes emitidos por una lámpara y los que llegan efectivamente al plano de trabajo, el valor de este coeficiente depende del valor del coeficiente de reflexión, la altura, ancho, largo y altura del plano de trabajo. Para determinar el c.u, primero se debe calcular el índice k del local, en relación a las dimensiones del local a iluminar y al porcentaje de reflexión del techo, suelo y paredes. En la ecuación (2.1) se muestra como se calcula el índice del local que sirve para sistemas de iluminación directa, directa-indirecta y general difusa. Por otro lado, para calcular el índice del local para sistemas de iluminación indirecta y semidirecta se tiene la ecuación (2.2).

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (2.1)$$

$$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + h') \cdot (a + b)} \quad (2.2)$$

Además, se debe calcular el coeficiente de reflexión, el cual, depende del tipo de material o superficie sobre el cual incide la luz. A continuación, en la Tabla 2.2 se muestra los valores del coeficiente de reflexión para diferentes tipos de materiales.



<0.7	0.28	0.22	0.16	0.25	0.22	0.16	0.26	0.22	0.16
0.7-0.9	0.31	0.27	0.20	0.30	0.27	0.20	0.30	0.27	0.20
0.9-1.12	0.39	0.33	0.26	0.36	0.33	0.26	0.36	0.33	0.26
1.12-1.38	0.45	0.40	0.35	0.44	0.40	0.35	0.44	0.40	0.35
1.38-1.75	0.52	0.46	0.41	0.49	0.46	0.41	0.49	0.46	0.41
1.75-2.25	0.54	0.50	0.45	0.53	0.50	0.45	0.53	0.50	0.45
2.25-2.75	0.61	0.58	0.52	0.60	0.58	0.52	0.58	0.56	0.52
2.75-3.5	0.63	0.60	0.56	0.63	0.60	0.56	0.62	0.60	0.56
3.5-4.5	0.68	0.63	0.60	0.66	0.63	0.60	0.65	0.63	0.60
4.5 – 8	0.71	0.67	0.64	0.69	0.67	0.64	0.68	0.67	0.64
>8	0.72	0.70	0.67	0.71	0.70	0.67	0.71	0.70	0.67

- **Estimar el coeficiente de conservación o mantenimiento (c.c):** para determinar este coeficiente se observa la suciedad ambiental y con qué frecuencia se realiza la limpieza de las lámparas de local o del espacio iluminado. En la Tabla 2.4 se muestra los ambientes.

**Tabla 2.4** Coeficientes de mantenimiento de acuerdo al tipo de ambiente [44]

Ambiente	Coef. de mantenimiento
Limpio	0.8
Sucio	0.6

- **Cálculo del flujo luminoso:** una vez obtenidos los valores anteriores se puede calcular el flujo luminoso mediante la ecuación (2.3).

$$\Phi_T = \frac{E_m \times S}{C_u \times C_m} \quad (2.3)$$

Donde:

$\Phi_T$  = Flujo luminoso total necesario en la zona o local

$E_m$  = Nivel de iluminación medio (en LUX)

$S$  = Superficie a iluminar (en  $m^2$ )

$C_u$  = Coeficiente de utilización

$C_m$  = Coeficiente de mantenimiento

- **Determinar el número de luminarias:** mediante la ecuación (2.4) se puede calcular la cantidad de luminarias necesarias sabiendo el valor del flujo luminoso del local a iluminar y de cada lámpara.

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \times \Phi_L} \quad (2.4)$$

Donde:

$NL$  = Número de luminarias

$\Phi_T$  = Flujo luminoso total necesario en la zona o local

$n$  = Número de lámparas que tiene una luminaria

$\Phi_L$  = Flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

### 2.1.3.3 Diseño modo manual

Mediante el procedimiento descrito en el apartado anterior, se procede a realizar el diseño de iluminación por el método de lúmenes para cada uno de los 6 dioramas.

#### 2.1.3.3.1 Diorama 1 Mataje

Primero, se procede a determinar las dimensiones del espacio a iluminar, como son: altura total, ancho, largo, altura del plano de trabajo y la altura de trabajo. Para ello se hace uso de los planos arquitectónicos y se obtiene las siguientes medidas:

$$a = 2.2 \text{ m}; b = 2 \text{ m}; H = 2.5 \text{ m}; h' = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.5 \text{ m} - 0.55 \text{ m} = 1.95 \text{ m}$$

Se procede a definir el nivel de iluminación media de acuerdo al espacio que se va iluminar. En este caso se utiliza la Tabla 1.1 descrita en el capítulo 1, donde se muestra los valores máximos en luxes de iluminancia para museos, de acuerdo a la composición de los objetos a iluminar. En el caso de los dioramas a iluminar se tienen los siguientes materiales: huesos, cuero, óleos, plástico, etc, por lo cual, se selecciona 300 luxes.

Ahora se procede a seleccionar el tipo de lámpara a utilizar. Para cada diorama se utiliza 3 tipos. Las principales características se muestran a continuación:

En la Figura 2.14 se muestra la lámpara de la marca Osram modelo LED SS PAR30LN 27W/830 100-240 V AC E27 HID, que tiene las características que se muestran en la Tabla 2.5.



**Figura 2.14** Lámpara LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM [45]

**Tabla 2.5** Parámetros técnicos lámpara LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM [46]

Parámetro	Descripción
Potencia	27 W
Voltaje de operación / Frecuencia	100 – 240 V / 60 Hz
Corriente de operación	@100 V – 290 mA / @240V – 120 mA
Temperatura de color	3000 K = Luz cálida
Eficiencia luminosa	111 lm/W
Horas de vida útil	25000 h
Flujo luminoso	3000 lm

Se utiliza una lámpara de 5W de la marca Sylvania que se muestra en la Figura 2.15.



**Figura 2.15** Lámpara LED 5W Sylvania [47]

En la Tabla 2.6 se indican las características más representativas de esta lámpara.



**Tabla 2.6** Parámetros técnicos lámpara LED 5 W Sylvania [47]

Parámetro	Descripción
Potencia	5 W
Voltaje de operación / Frecuencia	100 – 240 V / 60 Hz
Corriente de operación	@127 V – 68 mA / @230 V – 44 mA
Temperatura de color	3000 K = Luz cálida
Eficiencia luminosa	74 lm/W
Horas de vida útil	15000 h
Flujo luminoso	370 lm

Otra de las lámparas utilizadas es de la marca American Lite cuyo modelo es LEDPAR30LD10, se la observa en la Figura 2.16 y sus parámetros técnicos se muestran en la Tabla 2.7.

**Figura 2.16** Lámpara LEDPAR30LD10 10W American Lite [48]**Tabla 2.7** Parámetros técnicos lámpara LEDPAR30LD10 10W American Lite [48]

Parámetro	Descripción
Potencia	10 W
Voltaje de operación / Frecuencia	100 – 240 V / 60 Hz
Temperatura de color	3000 K = Luz cálida
Flujo luminoso	780 lm

Ahora se procede a calcular el coeficiente de utilización, para ello es necesario determinar el valor del coeficiente de reflexión del techo y paredes, para lo cual, se utiliza los valores de Tabla 2.2 y de acuerdo a la composición de los dioramas se puede percibir que en su mayoría tiene materiales como madera (tablas triplex) y el color que prevalece es el color verde claro. Entonces los valores para madera clara es de 0.5 y para color verde 0.65. Previo al cálculo del coeficiente de utilización, se calcula el

índice del local, para esto, es necesario determinar el tipo de iluminación que utilizará en el diorama 1 Mataje y es directa, por lo tanto, se utiliza la ecuación (2.1).

$$K = \frac{2.2 \times 2}{1.95 \times (2.2 + 2)} = 0.53$$

El coeficiente de utilización de acuerdo a la Tabla 2.3 es 0.28 pero como se trata de lámparas LED éstas tienen un coeficiente de 0.96 por lo que se interpola con el valor obtenido y se tiene que el valor es de 0.44. Con la Tabla 2.4 se determina que el coeficiente de mantenimiento es de 0.8, debido a que se tiene un lugar bastante limpio. Ahora se procede a calcular el flujo luminoso mediante la ecuación (2.3).

$$\phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 4.4 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 3750 \text{ lúmenes}$$

Finalmente, se calcula el número de luminarias que se necesita para iluminar el diorama 1 (Mataje), mediante la ecuación (2.4). De acuerdo a la cantidad total de lúmenes que se necesita para iluminar el diorama, se divide para los lúmenes que suministra cada tipo de lámpara que se tiene y se ha descrito anteriormente, las cuales son de 5, 11 y 27 Watts, se utilizan dependiendo de las necesidades de este diorama.

$$NL_{11W} = \frac{2340}{1 \times 780 \text{ lum}} = 3$$

$$NL_{5W} = \frac{1410}{1 \times 370 \text{ lum}} = 3.81$$

Se utiliza 4 lámparas de 5 Watts y 3 de 11 Watts respectivamente para este diorama.

#### 2.1.3.3.2 Diorama 2 Don Juan

Dimensiones:

$$a = 2.2 \text{ m}; b = 4.3 \text{ m}; H = 2.5 \text{ m}; h' = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.5 \text{ m} - 0.55 \text{ m} = 1.95 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 300 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- LED 5 W Sylvania
- LEDPAR30LD10 10 W American Lite
- LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM

Coefficiente de reflexión:

*Techo* = 0.7; *Paredes* = 0.5

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2.2 \text{ m} \times 4.3 \text{ m}}{1.95 \text{ m} \times (2.2 \text{ m} + 4.3 \text{ m})} = 0.75$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.49$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 9.46 \text{ m}^2}{0.49 \times 0.8} = 7239.8 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL_{27W} = \frac{5000 \text{ lum}}{1 \times 3000 \text{ lum}} = 1.67$$

$$NL_{11W} = \frac{1560 \text{ lum}}{1 \times 780 \text{ lum}} = 2$$

$$NL_{5W} = \frac{679.8 \text{ lum}}{1 \times 370 \text{ lum}} = 1.84$$

Se utiliza 2 lámparas de 5 Watts, 2 de 11 y 27 Watts para este diorama.

### 2.1.3.3.3 Diorama 3 San Lorenzo

Dimensiones:

$$a = 2.5 \text{ m}; b = 3.53 \text{ m}; H = 2.42 \text{ m}; h' = 0.56 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.42 \text{ m} - 0.56 \text{ m} = 1.86 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 300 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- LEDPAR30LD10 10 W American Lite
- LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM

Coefficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2.5 \text{ m} \times 3.53 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2.5 \text{ m} + 3.3 \text{ m})} = 0.82$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.49$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 8.825 \text{ m}^2}{0.49 \times 0.8} = 6753.82 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL_{27W} = \frac{5193,82 \text{ lum}}{1 \times 3000 \text{ lum}} = 1.73$$

$$NL_{11W} = \frac{1560 \text{ lum}}{1 \times 780 \text{ lum}} = 2$$

Se utiliza 2 lámparas de 11 Watts y 2 de 27 Watts respectivamente para este diorama.

#### 2.1.3.3.4 Diorama 4 Pastaza - Mera

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 6.13 \text{ m}; H = 2.93 \text{ m}; h' = 0.73 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.93 \text{ m} - 0.73 \text{ m} = 2.2 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 300 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- LED 5 W Sylvania
- LEDPAR30LD10 10 W American Lite
- LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM

Coefficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 6.13 \text{ m}}{2.2 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 6.13 \text{ m})} = 0.68$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coeficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 12.26 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 10448.86 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL_{27W} = \frac{5888.86 \text{ lum}}{1 \times 3000 \text{ lum}} = 1.96$$

$$NL_{11W} = \frac{2340 \text{ lum}}{1 \times 780 \text{ lum}} = 3$$

$$NL_{5W} = \frac{2220 \text{ lum}}{1 \times 370 \text{ lum}} = 5$$

Se utiliza 5 lámparas de 5 Watts, 3 de 11 y 2 de 27 Watts para este diorama.

#### 2.1.3.3.5 Diorama 5 Chimborazo

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 2.6 \text{ m}; H = 2.48 \text{ m}; h' = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.48 \text{ m} - 0.62 \text{ m} = 1.86 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 300 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- LED 5 W Sylvania
- LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM

Coeficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 2.6 \text{ m})} = 0.60$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 5.2 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 4431.82 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL_{27W} = \frac{3000 \text{ lum}}{1 \times 3000 \text{ lum}} = 1$$

$$NL_{5W} = \frac{1431.82 \text{ lum}}{1 \times 370 \text{ lum}} = 3.87$$

Se utiliza 4 lámparas de 5 Watts y 1 de 27 Watts respectivamente para este diorama.

#### 2.1.3.3.6 Diorama 6 Ángel

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 3.08 \text{ m}; H = 2.48 \text{ m}; h' = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.48 \text{ m} - 0.62 \text{ m} = 1.86 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 300 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- LED 5 W Sylvania

- LED SS PAR30LN 27W/830 OSRAM

Coefficiente de reflexión:

*Techo* = 0.7; *Paredes* = 0.5

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 3.08 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 3.08 \text{ m})} = 0.65$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{300 \text{ lux} \times 6.16 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 5250 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL_{27W} = \frac{3000 \text{ lum}}{1 \times 3000 \text{ lum}} = 1$$

$$NL_{5W} = \frac{2250 \text{ lum}}{1 \times 370 \text{ lum}} = 6,08$$

Se utiliza 6 lámparas de 5 Watts y 1 de 27 Watts para este diorama.

#### 2.1.3.4 Diseño modo automático

Para el diseño del sistema de iluminación en modo automático, se utiliza las luminarias LED (tiras) modelo SMD 5630 de un metro de longitud que se muestra en la Figura 2.17.





**Figura 2.17** Luminaria LED SMD 5630 [49]

En la Tabla 2.8 se muestran los parámetros técnicos principales de esta luminaria LED.

**Tabla 2.8** Parámetros técnicos de la luminaria LED SMD 5630 [49]

Parámetro	Descripción
Potencia	15 W
Voltaje de operación	12 V DC
Corriente de operación	1.7 A
Temperatura de color	3000 K = Luz cálida
Horas de vida útil	50000 h
Flujo luminoso	2100 lm

En este modo se realiza un diseño de iluminación tomando en cuenta que se desea tener atenuación en el nivel de iluminación a un 50%, mientras no exista presencia de usuarios, por tanto el flujo luminoso medio es de 150 luxes.

#### 2.1.3.4.1 Diorama 1 Mataje

Dimensiones:

$$a = 2.2 \text{ m}; b = 2 \text{ m}; H = 2.5 \text{ m}; h' = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.5 \text{ m} - 0.55 \text{ m} = 1.95 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coeficiente de reflexión:

$Techo = 0.7$ ;  $Paredes = 0.5$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2.2 \times 2}{1.95 \times (2.2 + 2)} = 0.53$$

Coeficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coeficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 4.4 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 1875 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{1875 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 0.89$$

Se utiliza 1 lámpara para este diorama.

#### 2.1.3.4.2 Diorama 2 Don Juan

Dimensiones:

$$a = 2.2 \text{ m}; b = 4.3 \text{ m}; H = 2.5 \text{ m}; h' = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.5 \text{ m} - 0.55 \text{ m} = 1.95 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coefficiente de reflexión:

*Techo = 0.7; Paredes = 0.5*

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2.2 \text{ m} \times 4.3 \text{ m}}{1.95 \text{ m} \times (2.2 \text{ m} + 4.3 \text{ m})} = 0.75$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.49$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 9.46 \text{ m}^2}{0.49 \times 0.8} = 3618.89 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{2413.33 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 1.72$$

Se utiliza 2 lámparas para este diorama.

#### 2.1.3.4.3 Diorama 3 San Lorenzo

Dimensiones:

$$a = 2.5 \text{ m}; b = 3.53 \text{ m}; H = 2.42 \text{ m}; h' = 0.56 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.42 \text{ m} - 0.56 \text{ m} = 1.86 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coefficiente de reflexión:

$$Techo = 0.7; Paredes = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2.5 \text{ m} \times 3.53 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2.5 \text{ m} + 3.3 \text{ m})} = 0.82$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.49$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 8.825 \text{ m}^2}{0.49 \times 0.8} = 3376.91 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{3376.91 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 1.61$$

Se utiliza 2 lámparas para este diorama.

#### 2.1.3.4.4 Diorama 4 Pastaza - Mera

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 6.13 \text{ m}; H = 2.93 \text{ m}; h' = 0.73 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.93 \text{ m} - 0.73 \text{ m} = 2.2 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coefficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 6.13 \text{ m}}{2.2 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 6.13 \text{ m})} = 0.68$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 12.26 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 5224.43$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{5224.43 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 2.49$$

Se utiliza 3 lámparas para este diorama.

### 2.1.3.4.5 Diorama 5 Chimborazo

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 2.6 \text{ m}; H = 2.48 \text{ m}; h' = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.48 \text{ m} - 0.62 \text{ m} = 1.86$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coefficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 2.6 \text{ m})} = 0.60$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\Phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 5.2 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 2215.91 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{2215.91 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 1.05$$

Se utiliza 1 lámpara para este diorama.

#### 2.1.3.4.6 Diorama 6 Ángel

Dimensiones:

$$a = 2 \text{ m}; b = 3.08 \text{ m}; H = 2.48 \text{ m}; h' = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{Altura de trabajo } h = H - h' = 2.48 \text{ m} - 0.62 \text{ m} = 1.86 \text{ m}$$

Flujo luminoso medio:

$$E_m = 150 \text{ luxes}$$

Lámparas a utilizar:

- Lámpara tira LED SMD 5630

Coefficiente de reflexión:

$$\text{Techo} = 0.7; \text{Paredes} = 0.5$$

Tipo de iluminación: Directa

Índice de local:

$$K = \frac{2 \text{ m} \times 3.08 \text{ m}}{1.86 \text{ m} \times (2 \text{ m} + 3.08 \text{ m})} = 0.65$$

Coefficiente de utilización:

$$C_u = 0.44$$

Coefficiente de mantenimiento:

$$C_m = 0.8$$

Flujo luminoso:

$$\phi_T = \frac{150 \text{ lux} \times 6.16 \text{ m}^2}{0.44 \times 0.8} = 2625 \text{ lúmenes}$$

Número de luminarias:

$$NL = \frac{2625 \text{ lum}}{1 \times 2100 \text{ lum}} = 1.25$$

Se utiliza 1 lámpara para este diorama.

#### 2.1.4 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Para el dimensionamiento del calibre de los conductores se toma como referencia los cálculos de la cantidad de luminarias a ser instaladas en cada diorama, realizados en el apartado anterior, por lo cual, se tiene dos conductores de fase para cada diorama, uno que alimenta las luminarias LED de 110 VAC en modo de operación manual y el otro en modo automático.

Se tiene un conductor para fase que alimenta los tomacorrientes de los dioramas D1, D2 y D3, los cuales, energizan los sensores de presencia que encienden las luminarias LED de 110 VAC y 12 VDC, de la misma manera se utiliza otro conductor para fase en los dioramas D4, D5, y D6.

Los dioramas D1, D2 y D3 tienen un sólo conductor para neutro que energizan las luminarias de cada uno de los 3 dioramas, de la misma manera los dioramas D4, D5 y D6 tienen otro conductor para neutro.

##### 2.1.4.1 Conductores para los dioramas D1, D2 y D3

###### 2.1.4.1.1 Dimensionamiento de los 2 conductores de fase para las luminarias de 110 VAC

Para el dimensionamiento del conductor de fase de cada diorama se toma como referencia la demanda máxima, ésta se la obtiene multiplicando la potencia de cada una de las lámparas de 5W, 11W y 27W por el número de lámparas de cada tipo colocadas en cada diorama. En circuitos de iluminación los primeros 3000 Watts o



menos de consumo deben tener un factor de demanda igual a 1, para el dimensionamiento del conductor [50]. El número de lámparas de acuerdo a su potencia y la demanda máxima unitaria de los dioramas D1, D2 y D3 se presenta en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9** Demanda máxima unitaria de los dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Nº. De salidas de iluminación por tipo de lámpara LED			Voltaje (V)	Carga instalada por tipo de lámpara (W)			Carga instalada representativa (W)	Factor de demanda	Demanda máxima unitaria (W)
	5W	11W	27W		5W	11W	27W			
D1	4	3	0	110 AC	20	33	0	53	1	53
D2	2	2	2		10	22	54	86	1	86
D3	0	2	2		0	22	54	76	1	76
								Carga instalada total (W)		215

Una vez obtenida la demanda máxima unitaria se procede a calcular la corriente que consume cada diorama para un sistema monofásico mediante la ecuación (2.5) [51].

$$I = \frac{P}{V_{fn} \times f_p} \quad (2.5)$$

Donde:

$I$  = Corriente (A)

$P$  = Potencia (W)

$V_{fn}$  = Voltaje fase neutro (V)

$f_p$  = Factor de potencia

Mediante la ecuación (2.5) se calcula la corriente que consumen los dioramas D1, D2 y D3. A continuación, se calcula la corriente que consume el diorama D1 denominado Mataje utilizando los datos de la Tabla 2.9.

$$I = \frac{53 \text{ W}}{110\text{V} \times 1} = 0.48\text{A}$$

Una vez determinada la corriente que consume el diorama D1, se procede a determinar el calibre del conductor de fase mediante la Tabla 2.10. Se selecciona el calibre 16 AWG de tipo TW de color azul para el modo de operación manual. Como se necesita otro conductor de fase para el modo automático del diorama D1 se selecciona uno del mismo calibre y color.

**Tabla 2.10** Cables de cobre tipo TW - 600V - 60°C [52]

CALIBRE AWG ó MCM	SECCIÓN mm <sup>2</sup>	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO DE CABLE
20	0.52	0.76	6	7	TF
18	0.82	0.76	6	7	TF
16	1.31	0.76	10	8	TF
14	2.08	0.76	20	15	TW
12	3.31	0.76	25	20	TW
10	5.26	0.76	40	30	TW

De la misma manera se procede a determinar el calibre de conductor de fase de los dioramas D2 y D3 utilizando la ecuación (2.5) y la Tabla 2.10. En la Tabla 2.11 se muestra los resultados obtenidos del cálculo de la corrientes y la determinación del calibre de los 6 conductores de fase de los dioramas D1, D2 y D3.

**Tabla 2.11** Corriente y calibre de conductores de Dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	Nº. De conductores	Color
D1	0.48	AWG 16	2	Azul
D2	0.78	AWG 16	2	Azul
D3	0.69	AWG 16	2	Azul

### 2.1.4.1.2 Dimensionamiento del conductor de fase para los sensores de presencia

Para el dimensionamiento del conductor de fase que energizan los sensores de presencia, se toma en cuenta que cada uno consume 5W para su funcionamiento y que alimentan luminarias LED (tiras) de 12 VDC de 15W. En la Tabla 2.12 se muestra la demanda máxima unitaria que consumen las luminarias LED de 12 VDC de los dioramas D1, D2 y D3.

**Tabla 2.12** Demanda máxima unitaria de las luminarias en los dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Nº. De salidas de iluminación	Voltaje (V)	Carga Nominal (W)	Carga instalada representativa (W)	Factor de demanda	Demanda máxima unitaria (W)
D1	1	12 DC	15	15	1	15
D2	2		15	30	1	30
D3	2		15	30	1	30

En la Tabla 2.13 se muestra la demanda máxima unitaria total de los dioramas D1, D2 y D3.

**Tabla 2.13** Demanda máxima unitaria total de los dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Demanda máxima unitaria luminarias (W)	Demanda máxima sensores de presencia (W)	Demanda máxima unitaria total (W)
D1	15	5	20
D2	30	5	35
D3	30	5	35
		Demanda máxima total	90

Mediante la ecuación (2.5) se procede a calcular la corriente y seleccionar el calibre del conductor para la fase que alimenta los sensores de presencia de los dioramas D1,

D2 y D3 cuyo demanda máxima total es 90W tomada de la Tabla 2.13. En la Tabla 2.14 se muestra la corriente y el calibre de conductor seleccionado mediante la Tabla 2.10.

**Tabla 2.14** Corriente y calibre de conductor de fase de los sensores de presencia de dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	Nº. De conductores	Color
D1, D2 y D3	7.5	AWG 16	1	Azul

#### 2.1.4.1.3 Dimensionamiento del conductor neutro

Para el dimensionamiento del conductor neutro se necesita calcular la corriente total que consumen los dioramas D1, D2 y D3. Se lo realiza sumando las corrientes presentadas en las Tabla 2.11 y la Tabla 2.14 obteniendo como resultado 9.45A. En la Tabla 2.15 se muestra el calibre del conductor neutro, para lo cual, se usa la Tabla 2.10

**Tabla 2.15** Corriente y calibre de conductor neutro de los dioramas D1, D2 y D3

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	Nº. De conductores	Color
D1, D2 y D3	9.45	AWG 12	1	Negro

#### 2.1.4.2 Conductores para los dioramas D4, D5 y D6

Se realiza el dimensionamiento para los conductores que alimentan el sistema de iluminación de los dioramas D4, D5 y D6.

##### 2.1.4.2.1 Dimensionamiento de los 2 conductores de fase para las luminarias de 110 VAC

Para el dimensionamiento de los conductores de los dioramas D4, D5 y D6 se procede de la misma manera que en el apartado 2.1.4.1.

**Tabla 2.16** Demanda máxima unitaria de los dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	N°. De salidas de iluminación por tipo de lámpara LED			Voltaje (V)	Carga instalada por tipo de lámpara (W)			Carga instalada representativa (W)	Factor de demanda	Demanda máxima unitaria (W)
	5W	11W	27W		5W	11W	27W			
D4	5	3	2	110 AC	25	33	54	112	1	112
D5	4	0	1		20	0	27	47	1	47
D6	6	0	1		30	0	27	57	1	57
								Carga instalada total (W)		216

Mediante la ecuación (2.5) y utilizando los datos de la Tabla 2.16, se calcula la corriente que consumen los dioramas D4, D5 y D6.

Con la Tabla 2.10 se procede a determinar el calibre de los conductores de fase de los dioramas D4, D5 y D6.

En la Tabla 2.17 se muestra los resultados obtenidos del cálculo de la corrientes y la determinación del calibre de los 6 conductores de fase de los dioramas D4, D5 y D6.

**Tabla 2.17** Corriente y calibre de conductores de Dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	N°. De conductores	Color
D4	1.02	AWG 16	2	Azul
D5	0.43	AWG 16	2	Azul
D6	0.52	AWG 16	2	Azul

#### 2.1.4.2.2 Dimensionamiento del conductor de fase para los sensores de presencia

De la misma manera que los cálculos realizados en el apartado 2.1.4.1.2, se procede a determinar el conductor de fase que energiza los sensores de presencia de los dioramas. En la Tabla 2.18 se muestra la demanda máxima unitaria que consumen las luminarias LED de 12 VDC de los dioramas D4, D5 y D6.

**Tabla 2.18** Demanda máxima unitaria de las luminarias en los dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	Nº. De salidas de iluminación	Voltaje (V)	Carga Nominal (W)	Carga instalada representativa (W)	Factor de demanda	Demanda máxima unitaria (W)
D4	3	12 DC	15	45	1	45
D5	1		15	15	1	15
D6	1		15	15	1	15

En la Tabla 2.19 se muestra la demanda máxima unitaria total de los dioramas D4, D5 y D6

**Tabla 2.19** Demanda máxima unitaria total de los dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	Demanda máxima unitaria luminarias (W)	Demanda máxima sensores de presencia (W)	Demanda máxima unitaria total (W)
D4	45	5	50
D5	15	5	20
D6	15	5	20
		Demanda máxima total	90

Mediante la ecuación (2.5) se procede a calcular la corriente y seleccionar el calibre del conductor para la fase que alimenta los sensores de presencia de los dioramas D4, D5 y D6, cuya demanda máxima total es 90W tomada de la Tabla 2.19. En la Tabla 2.20 se muestra la corriente y el calibre de conductor seleccionado mediante la Tabla 2.10.

**Tabla 2.20** Corriente y calibre de conductor de fase de los sensores de presencia de dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	Nº. De conductores	Color
D4, D5 y D6	7.5	AWG 16	1	Azul

### 2.1.4.2.3 Dimensionamiento del conductor neutro

Para el dimensionamiento del conductor neutro se necesita calcular la corriente total que consumen los dioramas D4, D5 y D6. Se lo realiza sumando las corrientes presentadas en las Tabla 2.17 y la Tabla 2.20 obteniendo como resultado 9.47A. En la Tabla 2.21 se muestra el calibre del conductor neutro, para lo cual, se usa la Tabla 2.10.

**Tabla 2.21** Corriente y calibre de conductor neutro de los dioramas D4, D5 y D6

Dioramas	Corriente (A)	Calibre	Nº. De conductores	Color
D4, D5 y D6	9.47	AWG 12	1	Negro

### 2.1.4.3 Cálculo del porcentaje de la caída de tensión en los conductores

Tomando en cuenta que el porcentaje de la caída de tensión máxima en los circuitos no debe ser superior a 5%. Se realiza el cálculo del porcentaje de caída de tensión para un sistema monofásico mediante la ecuación (2.6) [51]:

$$\%_e = \frac{4 \times I \times L}{S \times V_{fn}} \quad (2.6)$$

Donde:

$\%_e$  = Porcentaje de la caída de tensión en un conductor

$I$  = Corriente que lleva el conductor (A)

$L$  = Longitud del conductor (m)

$V_{fn}$  = Voltaje fase neutro (V)

$S$  = Sección del conductor ( $mm^2$ )

Mediante la ecuación (2.6) y considerando una longitud media de 20 metros, se calcula las caídas de tensión de los conductores del sistema de iluminación que se presentan en la Tabla 2.22.

**Tabla 2.22** Porcentajes de caída de tensión de los conductores en el sistema de iluminación

Diorama	% de caída de tensión		
	Conductor de Fase luminarias 110 VAC	Conductor de Fase de los sensores de presencia	Conductor Neutro
D1	0.27	4.16	2.2
D2	0.43		
D3	0.38		
D4	0.57	4.16	2.2
D5	0.23		
D6	0.29		

Como se observa en la Tabla 2.22, ningún valor de porcentaje de caída de tensión es superior a 5%, por lo tanto, los calibres de los conductores son los adecuados.

#### 2.1.4.4 Cálculo de las protecciones termomagnéticas del sistema de iluminación

Para proteger al circuito de iluminación de sobrecorrientes y sobrecargas, se utiliza un interruptor termomagnético unipolar para los dioramas D1, D2, D3 y otro para los D4, D5, D6. Mediante los valores de corriente calculados que consume cada diorama, se determina la corriente total máxima que debe soportar el interruptor termomagnético antes de abrir el circuito para proteger el mismo.

Con base en: los valores de corriente máxima que se tiene en los circuitos de iluminación, un factor de protección y un posible aumento en un futuro en el número de luminarias en los dioramas, se sobredimensionan cada uno de los dos interruptores termomagnéticos con un 25% adicional al valor de la carga instalada que consumen las luminarias por cada 3 dioramas [53].

En la Tabla 2.15 se muestra la corriente total que consumen los dioramas D1, D2, D3, la cual es de 9.45A y aumentando su valor en un 25% se tiene 11.81A, por lo tanto, se selecciona un interruptor termomagnético unipolar que soporte una corriente máxima de 15A para una tensión nominal de 120 VAC.



En la Tabla 2.21 se presenta la corriente máxima total que consumen los dioramas D4, D5, D6, cuyo valor es 9.47A, la cual, incrementando su valor en un 25% se tiene 11.83A, en este caso, se selecciona un interruptor termomagnético unipolar que soporte una corriente máxima de 15A para una tensión nominal de 120 VAC. Además los dos interruptores termomagnéticos trabajan a una frecuencia de 60Hz.

Cada uno de los dos interruptores termomagnéticos, se conectan a un alimentador eléctrico de 120 VAC, tomando en cuenta que debe estar previo a los circuitos de iluminación de los dioramas.

### **2.1.5 TABLERO DE CONTROL**

El tablero de control es una de las partes más importante del sistema de iluminación; aquí se selecciona los modos de operación ya sea automático o manual; se activan las luminarias de cada uno de los dioramas de forma independiente, por medio de 6 interruptores; se colocan las protecciones de los circuitos de iluminación; además se encuentran los módulos relé de 8 vías que activan o desactivan las luminarias. El tablero de control es metálico y tiene las siguientes medidas 45cm x 35cm x 15cm que corresponden al alto, ancho y profundidad respectivamente.

Desde el tablero de control entran y salen los cables: de señales de activación, de alimentación tanto de las luminarias de 12 VDC como los de 110 VAC, además se conectan las señales que van y vienen desde la tarjeta electrónica Raspberry Pi 3 B y la alimentación de la misma.

#### **2.1.5.1 Conexión puertos GPIO - módulos relé**

Como se explica en el apartado 2.1.2, los operadores del museo pueden realizar el encendido o apagado de las luminarias de cada diorama mediante una pantalla táctil de 7 pulgadas conectada a una Raspberry Pi 3 B, la misma que envía señales de activación o desactivación por medio de los puertos de entrada y salida, denominados GPIO que se los puede observar en la Figura 2.18.

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power	Red	DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I <sup>2</sup> C)	Blue	DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I <sup>2</sup> C)	Black	Ground	05
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)	Green	(TXD0) GPIO14	08
09	Ground	Black	(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)	Green	(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)	Black	Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)	Green	(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power	Red	(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOS1)	Purple	Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)	Purple	(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)	Purple	(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground	Black	(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I <sup>2</sup> C ID EEPROM)	Yellow	(I <sup>2</sup> C ID EEPROM) ID_5C	28
29	GPIO05	Green	Ground	30
31	GPIO06	Green	GPIO12	32
33	GPIO13	Black	Ground	34
35	GPIO19	Green	GPIO16	36
37	GPIO26	Green	GPIO20	38
39	Ground	Black	GPIO21	40

**Figura 2.18** Puertos de GPIO de la Raspberry Pi 3 B

La iluminación de cada diorama se controla por medio de 4 relés. De los cuales 2 relés son para el modo manual, etiquetados como conmutador de 110V y 12V, éstos son controlados por un solo puerto GPIO, y los 2 relés restantes son etiquetados como Manual/Automático 110V y 12V, los cuales son activados o desactivados por medio de un interruptor ubicado en la parte frontal del tablero de control denominado modo de operación que se puede observar en la Figura 2.19, la señal de activación o desactivación del interruptor es leída por el puerto GPIO 10, la cual, avisa al sistema si se encuentra en modo automático o manual. Si el sistema de iluminación está operando en modo automático o manual, por medio del puerto GPIO 27 se envía una señal de activación (1L) o desactivación (0L) a un relé de cada uno de los 6 sensores de presencia, indicando al sistema en que modo de operación se encuentra funcionando.

Cada uno de los conductores que envían las señales de activación o desactivación tienen su respectiva marquilla, las de modo manual se denota con las letras RD seguido por el número de diorama que controla, para identificar los conductores que

se emplean en los modos de operación automático y manual se denotan con la letra M, y los conductores que comunican a los sensores de presencia, si se encuentran en modo de operación manual o automático tienen la marquilla AR.



**Figura 2.19** Interruptor de modo de operación Manual/Automático

En la Tabla 2.23 se muestran las conexiones que existen entre los módulos relé, y los puertos GPIO de la Raspberry Pi 3 B.

**Tabla 2.23** Conexión entre puertos GPIO con relés de modo manual

Nº Diorama	Nombre Diorama	Nº de Relé	Nombre de Relé	Marquilla	Puerto GPIO
1	MATAJE (D1)	3	Conmutador Luces 110 V	RD1	GPIO 21
		4	Conmutador Luces 12 V		
2	DON JUAN (D2)	7	Conmutador Luces 110 V	RD2	GPIO 20
		8	Conmutador Luces 12 V		
3	SAN LORENZO (D3)	11	Conmutador Luces 110 V	RD3	GPIO 26
		12	Conmutador Luces 12 V		

4	PASTAZA MERA (D4)	15	Conmutador Luces 110 V	RD4	GPIO 16
		16	Conmutador Luces 12 V		
5	CHIMBORAZO (D5)	19	Conmutador Luces 110 V	RD5	GPIO 19
		20	Conmutador Luces 12 V		
6	ÁNGEL (D6)	23	Conmutador Luces 110 V	RD6	GPIO 13
		24	Conmutador Luces 12 V		
Todos	Todos los dioramas	Todos los relés sensores de presencia	Manual/Automático Sensores de presencia	AR	GPIO 27
-	Todos los dioramas	-	Lectura de modo de operación	M	GPIO 10

### 2.1.5.2 Conexión entre relés, interruptores y sensores de presencia

En las Tablas 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29 se muestran los terminales de los relés de cada diorama con su determinada marquilla, de donde parte y hacia donde va la conexión de llegada, de esta manera se puede encontrar las conexiones de una forma sencilla. Las marquillas han sido definidas con la letra D seguido de un primer número que identifica el diorama al cual se hace referencia y el segundo número para diferenciar una conexión de otra en el mismo diorama. La letra C se utiliza para cuando se tiene conexiones comunes entre un relé con otro, todas las conexiones que van a tierra están determinadas con GND. Por último la letra F se utiliza para identificar que esa señal es la que va a los sensores de movimiento.

**Tabla 2.24** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 1

DIORAMA 1		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 1 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 1	D11
Común relé 1 Manual/Auto 110V	Común relé 5 Manual/Auto 110V	C1
Contacto NA relé 1 Manual/Auto 110V	Común relé 3 Conmutador 110V	C11
Común relé 2 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 2 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 1	D12
Contacto NC relé 3 Conmutador 110V	Interruptor diorama 1	D13
Contacto NA relé 3 Conmutador 110V	Interruptor diorama 1	D14
Contacto NC relé 4 Conmutador 12V	Interruptor diorama 1	D15
Común relé 4 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 1	F1
Contacto NA relé 4 Conmutador 12V	Interruptor diorama 1	D16
Interruptor diorama 1	Contacto NA relé sensor de presencia 1	D17

**Tabla 2.25** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 2

DIORAMA 2		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 5 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 2	D21
Común relé 5 Manual/Auto 110V	Común relé 9 Manual/Auto 110V	C1
Contacto NA relé 5 Manual/Auto 110V	Común relé 7 Conmutador 110V	C21
Común relé 6 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 6 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 2	D22
Contacto NC relé 7 Conmutador 110V	Interruptor diorama 2	D23
Contacto NA relé 7 Conmutador 110V	Interruptor diorama 2	D24
Contacto NC relé 8 Conmutador 12V	Interruptor diorama 2	D25
Común relé 8 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 2	F2
Contacto NA relé 8 Conmutador 12V	Interruptor diorama 2	D26
Interruptor diorama 2	Contacto NA relé sensor de presencia 2	D27

**Tabla 2.26** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 3

DIORAMA 3		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 9 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 3	D31
Común relé 9 Manual/Auto 110V	Común relé 13 Manual/Auto 110V	C1
Contacto NA relé 9 Manual/Auto 110V	Común relé 11 Conmutador 110V	C31
Común relé 10 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 10 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 3	D32
Contacto NC relé 11 Conmutador 110V	Interruptor diorama 3	D33
Contacto NA relé 11 Conmutador 110V	Interruptor diorama 3	D34
Contacto NC relé 12 Conmutador 12V	Interruptor diorama 3	D35
Común relé 12 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 3	F3
Contacto NA relé 12 Conmutador 12V	Interruptor diorama 3	D36
Interruptor diorama 3	Contacto NA relé sensor de presencia 3	D37

**Tabla 2.27** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 4

DIORAMA 4		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 13 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 4	D41
Común relé 13 Manual/Auto 110V	Común relé 17 Manual/Auto 110V	C2
Contacto NA relé 13 Manual/Auto 110V	Común relé 15 Conmutador 110V	C41
Común relé 14 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 14 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 4	D42
Contacto NC relé 15 Conmutador 110V	Interruptor diorama 4	D43
Contacto NA relé 15 Conmutador 110V	Interruptor diorama 4	D44
Contacto NC relé 16 Conmutador 12V	Interruptor diorama 4	D45
Común relé 16 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 4	F4
Contacto NA relé 16 Conmutador 12V	Interruptor diorama 4	D46
Interruptor diorama 4	Contacto NA relé sensor de presencia 4	D47

**Tabla 2.28** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 5

DIORAMA 5		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 17 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 5	D51
Común relé 17 Manual/Auto 110V	Común relé 21 Manual/Auto 110V	C2
Contacto NA relé 17 Manual/Auto 110V	Común relé 19 Conmutador 110V	C51
Común relé 18 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 18 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 5	D52
Contacto NC relé 19 Conmutador 110V	Interruptor diorama 5	D53
Contacto NA relé 19 Conmutador 110V	Interruptor diorama 5	D54
Contacto NC relé 20 Conmutador 12V	Interruptor diorama 5	D55
Común relé 20 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 5	F5
Contacto NA relé 20 Conmutador 12V	Interruptor diorama 5	D56
Interruptor diorama 5	Contacto NA relé sensor de presencia 5	D57

**Tabla 2.29** Conexiones entre relés, interruptores y sensores de presencia diorama 6

DIORAMA 6		
De	Hacia	Marquilla
Contacto NC relé 21 Manual/Auto 110V	Común relé sensor de presencia 6	D61
Común relé 21 Manual/Auto 110V	Común relé 24 Manual/Auto 110V	C2
Contacto NA relé 21 Manual/Auto 110V	Común relé 23 Conmutador 110V	C61
Común relé 22 Manual/Auto 12V	Tierra 5V	GND
Contacto NA relé 22 Manual/Auto 12V	Interruptor diorama 6	D62
Contacto NC relé 23 Conmutador 110V	Interruptor diorama 6	D63
Contacto NA relé 23 Conmutador 110V	Interruptor diorama 6	D64
Contacto NC relé 24 Conmutador 12V	Interruptor diorama 6	D65
Común relé 24 Conmutador 12V	Contacto NC relé sensor de presencia 6	F6
Contacto NA relé 24 Conmutador 12V	Interruptor diorama 6	D66
Interruptor diorama 6	Contacto NA relé sensor de presencia 6	D67

## **2.2 DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA**

Para el sistema de realidad aumentada, se diseña la estructura para el montaje de los sensores de movimiento y del servomotor, que son los encargados de activar el sistema. Se desarrolla el diseño electrónico de los circuitos de control, alimentación y comunicación, además se diseña la marca necesaria para el desarrollo del sistema.

### **2.2.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LOS SENSORES DE MOVIMIENTO**

El sistema de realidad aumentada utiliza cuatro módulos sensores de movimiento PIR HC-SR501, los cuales envían las señales de activación y desactivación del sistema de realidad aumentada. Uno de los sensores de movimiento opera en el modo de un solo disparo, generando un solo pulso de activación cuando detecta un movimiento del usuario dentro del campo de actuación del sensor.

Otro sensor de movimiento en modo de operación de un solo disparo, se acopla a un servomotor SG90 para accionar el módulo sensor de movimiento mediante velocidad relativa, es decir, si una persona se mantiene en una posición estática, girando el sensor de movimiento, se podrá detectar a dicha persona.

Los dos sensores de movimiento restantes estarán funcionando en el modo de disparo repetido, en este modo de funcionamiento el sensor genera un pulso de activación constante, mientras se detecte movimiento del usuario. Se utilizan los cuatro sensores con la finalidad de brindar redundancia y aumentar la confiabilidad en la activación y desactivación del sistema de realidad aumentada.

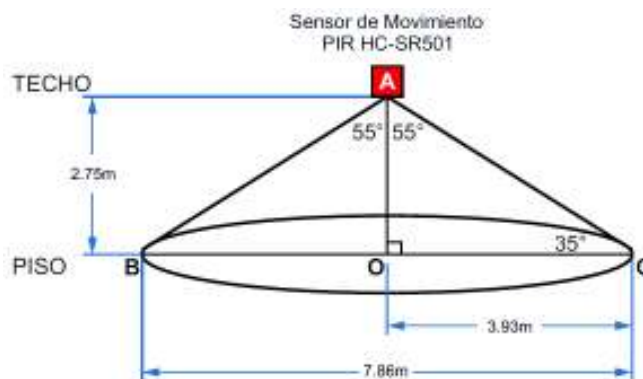
#### **2.2.1.1 Disposición de los módulos sensores de movimiento PIR HC-SR501**

Los módulos sensores de movimiento que se montarán en el área destinada para el sistema, deben tener una ubicación estratégica, debido a esto se determinará el área de acción de un solo sensor y con base a éste, se diseña la forma de la estructura para montar todos los sensores de movimiento.



### 2.2.1.1.1 Determinación del área de acción de un sensor PIR

En la hoja de especificaciones del módulo sensor de movimiento PIR HC-SR501, se describe que la distancia máxima de medición que es de 7m y el ángulo efectivo de trabajo es de 110°, además, se conoce que la altura del piso al techo en el área donde estará ubicado el sistema de realidad aumentada es de 2.75m, por lo tanto, se puede graficar el cono circular recto del campo de acción del módulo sensor de movimiento y utilizando éste se determina el área de acción de un sensor. En la Figura 2.20 se presenta el campo de acción del sensor que es un cono circular recto con centro O y radio OC. La ecuación (2.7) se emplea para determinar el valor del radio que es 3.93m, consecuentemente el diámetro BC es 7.86m. Utilizando la ecuación (2.8) se determina que el área de acción del módulo sensor de movimiento es 48.52 metros cuadrados.



**Figura 2.20** Cono de acción del sensor de movimiento PIR HC-SR501

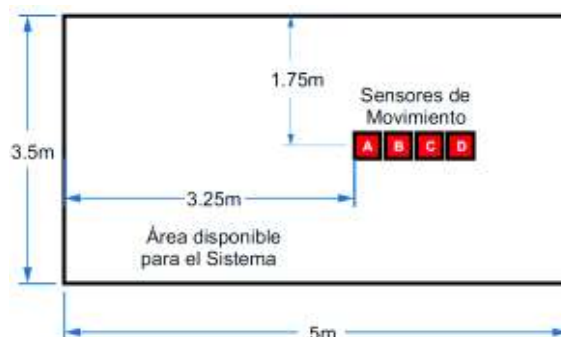
$$OC = \frac{2.75m}{\tan(35^\circ)} = 3.93m \quad (2.7)$$

$$\text{Área}_{\text{acción}} = \pi * (\text{Radio})^2 = \pi * (3.93m)^2 = 48.52m^2 \quad (2.8)$$

### 2.2.1.1.2 Determinación de la ubicación de los sensores PIR

Para ubicar los cuatro sensores, se toma como referencia el área disponible del museo para el funcionamiento del sistema, de tal manera que el campo de acción de los sensores no sobrepase el área de 17.5 metros cuadrados disponible para el sistema de realidad aumentada, por lo tanto, si se compara con el área de 48.52 metros cuadrados calculada en el apartado anterior, se tiene un campo de acción del sensor

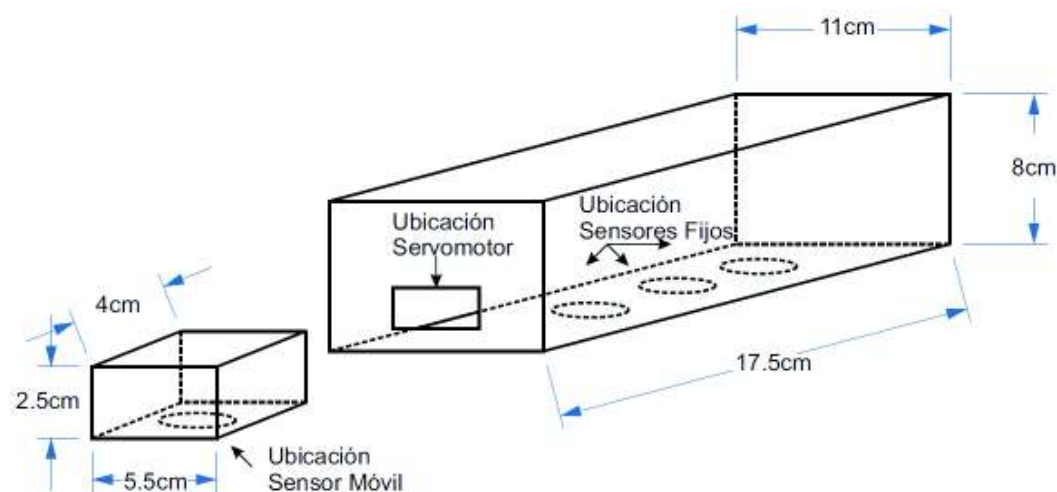
mayor al área disponible. Para tener una área menor de campo de acción de los sensores de movimiento, se ubicarán lo más cercano unos de otros y se tapanán parcialmente los lentes de cada sensor. En la Figura 2.21 se muestra la disposición de los sensores de movimiento para el área disponible.



**Figura 2.21** Disposición de los sensores de movimiento para el área disponible

### 2.2.1.2 Diseño de la estructura de los sensores PIR

Para montar sobre el techo los cuatro módulos sensores de movimiento PIR HC-SR501, se requiere de una estructura que permita tener una disposición de los sensores de acuerdo al apartado 2.2.1.1.2. La estructura debe permitir montar de forma fija a nivel del techo tres sensores de movimiento, además debe permitir que el sensor restante gire 90 grados en dirección antihorario mediante un servomotor. En la Figura 2.22 se muestra el diseño de la estructura para montaje de los sensores.



**Figura 2.22** Diseño de la estructura para montaje de los sensores PIR

## 2.2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico del sistema de realidad aumentada, abarca los circuitos de: alimentación, control de los módulos sensores de movimiento y del servomotor, además, del circuito para comunicación entre el microcontrolador y el computador. En la Figura 2.23 se presenta la arquitectura del sistema y el flujo de la información entre: módulos sensores, servomotor, microcontrolador, computador, periféricos de entrada y salida de información.



**Figura 2.23** Arquitectura del sistema de realidad aumentada

### 2.2.2.1 Diseño del circuito de alimentación

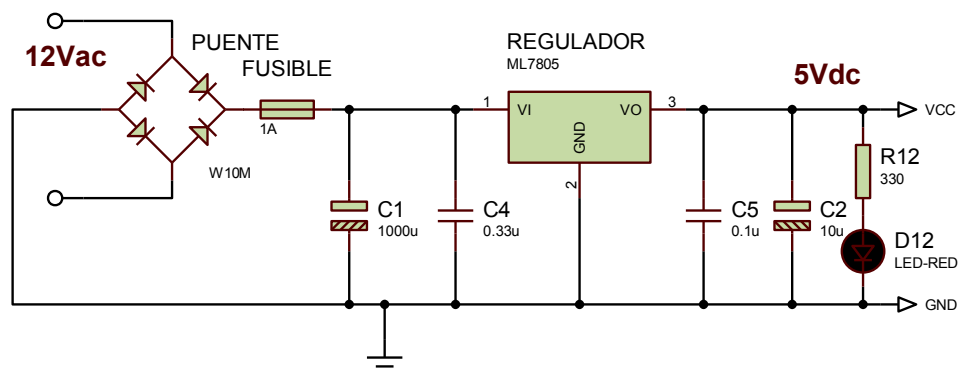
Para el diseño del circuito de alimentación, es necesario saber el voltaje y la corriente que consumen cada uno de los dispositivos electrónicos. Para energizar el microcontrolador ATmega164p se necesita de un voltaje de 5 VDC y una corriente 0,4mA, para los sensores de movimiento PIR HC-SR501 5 VDC y 65mA, para el servomotor SG90 5 VDC y una corriente máxima de 180mA, para el circuito integrado MAX232 que sirve para la comunicación entre el microcontrolador y el computador 5 VDC y 10mA, además se conoce que la corriente típica consumida por un LED es 10mA. Los datos mencionados en esta sección, se encuentran en las hojas de especificaciones de los dispositivos. Todo el sistema de realidad aumentada utiliza: cuatro módulos sensores de movimiento PIR HC-501, un microcontrolador ATmega164p, un servomotor SG90, un circuito integrado MAX232 y nueve LEDs, por lo que la corriente mínima consumida por estos elementos alcanza los 540.4mA. Para el diseño de la fuente, se utiliza un transformador de voltaje monofásico de 120 VAC

a 12 VAC a 1A de corriente, para reducir el voltaje alterno tomado de la red eléctrica. La etapa de rectificación se la realiza mediante un puente de diodos monofásico W10M, el mismo que rectifica la onda completa del voltaje alterno. Para calcular el valor del voltaje rectificado por el puente de diodos, se utiliza la ecuación (2.9), el mismo que presenta un voltaje de rizado, por lo que se requiere de un capacitor para reducirlo, una opción recomendable es utilizar un capacitor electrolítico de 1000uF, además, a la salida de la etapa de rectificación se coloca un fusible de 1A para proteger al circuito de sobrecargas y cortocircuitos [54].

$$V_{dc} = \frac{2 * (V_{max} - 1.4V)}{\pi} \quad (2.9)$$

$$V_{dc} = 0.636 * (12 * \sqrt{2}V - 1.4V) = 9.91V$$

Para la etapa de regulación de voltaje se utiliza el regulador ML7805, el cual, admite un voltaje de entrada entre 7 VDC a 25 VDC y proporciona una corriente máxima de 1A con un índice de error en la tensión de salida de +/- 0.25 V, según la hoja de especificaciones. Los 9.91V obtenidos en la etapa de rectificación ingresan al regulador, obteniendo a la salida un voltaje entre 4.75 VDC y 5.25 VDC, con una corriente máxima de consumo de 1A. Para atenuar el rizado de voltaje, se coloca un condensador electrolítico de 10uF en la salida del regulador. En la hoja de especificaciones del regulador, se recomienda utilizar a la entrada un condensador cerámico de 0.33uF y en la salida uno de 0.1uF. El diagrama esquemático del circuito de alimentación se muestra en la Figura 2.24.



**Figura 2.24** Circuito de alimentación

### 2.2.2.2 Circuito de control de los sensores PIR y del servomotor

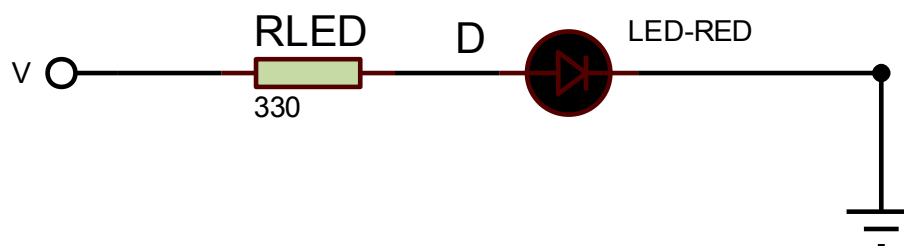
Para controlar los cuatro sensores de movimiento PIR HC-SR501, el servomotor SG90 y la comunicación serial con la computadora, se utiliza el microcontrolador ATmega164p. Para controlar el nivel de volumen del audio del sistema de realidad aumentada, se utiliza un potenciómetro, el cual, al variar su resistencia, varía el voltaje que ingresa al convertidor análogo-digital del microcontrolador. Los estados de: los sensores de movimiento, de la comunicación serial y el nivel de volumen del audio, se visualizan mediante ocho LEDs que son activados o desactivados desde el microcontrolador.

Cuando cualquiera de los cuatro sensores PIR, detectan el movimiento de un usuario, se activará el LED correspondiente de cada sensor. Para indicar que la comunicación serial está en curso, se hace parpadear un LED. Para indicar que la marca del sistema de realidad aumentada ha sido detectada se utiliza un LED. Además, para presentar de forma visible el nivel de volumen de audio, se utiliza tres LEDs, uno para nivel bajo, uno para nivel medio y el último para nivel alto.

Los valores de las resistencias conectadas en serie a los LEDs son calculadas mediante la ecuación (2.10).

$$R_{LED} = \frac{5V - 1.8V}{10mA} = 320\Omega \quad (2.10)$$

Se escoge un valor comercial de 330Ω. En la Figura 2.25 se muestra la conexión del LED con la resistencia calculada.



**Figura 2.25** Conexión serie resistencia con LED

### 2.2.2.2.1 Asignación de pines del microcontrolador ATmega164p

En la Tabla 2.30 se presenta la asignación de pines del microcontrolador ATmega164p y una breve descripción de la función que cumplen cada uno, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

**Tabla 2.30** Asignación de pines del microcontrolador ATmega164p

NÚMERO DEL PIN	NOMBRE DEL PIN	ENTRADA/SALIDA	DESCRIPCIÓN
39	PA1	ENTRADA	Pulso de activación del sensor de movimiento 1.
38	PA2	ENTRADA	Pulso de activación del sensor de movimiento 2.
37	PA3	ENTRADA	Pulso de activación del sensor de movimiento 3.
36	PA4	ENTRADA	Pulso de activación del sensor de movimiento 4.
33	PA7	ENTRADA	Conversión de voltaje analógico/digital (ADC7) para control de nivel de volumen de audio.
6	PB5	SALIDA	Pulsos para control del servomotor.
22	PC0	SALIDA	Activación LED 1 a la detección de movimiento del usuario mediante el sensor de movimiento 1.
23	PC1	SALIDA	Activación LED 2 a la detección de presencia del usuario mediante el sensor de movimiento 2.
24	PC2	SALIDA	Activación LED 3 a la detección de movimiento del usuario mediante el sensor de movimiento 3.
25	PC3	SALIDA	Activación LED 4 a la detección de movimiento del usuario mediante el sensor de movimiento 4.
26	PC4	SALIDA	Activación LED 5 a la detección de la marca.
27	PC5	SALIDA	Activación LED 6 a la selección de nivel de volumen de audio en alto.
28	PC6	SALIDA	Activación LED 7 a la selección de nivel de volumen de audio en medio.
29	PC7	SALIDA	Activación LED 8 a la selección de nivel de volumen de audio en bajo.

18	PD4	SALIDA	Activación LED 9 en la recepción y transmisión de datos por comunicación serial.
14	PD0	ENTRADA	Rx. Pin de recepción de datos del computador.
15	PD1	SALIDA	Tx. Pin de transmisión de datos al computador.

### 2.2.2.3 Circuito para comunicación serial

La comunicación entre el microcontrolador y el computador es serial, se realiza mediante el USART del microcontrolador ATmega164p que trabaja con niveles TTL, mientras que el computador trabaja con una interfaz de comunicación RS232, la cual, utiliza niveles de voltaje de  $\pm 12V$ , y está definida para comunicación entre dos equipos dentro de distancias de hasta 15 metros. Para realizar la comunicación entre la computadora y el microcontrolador, se requiere de un dispositivo que permita convertir los niveles de voltaje de  $\pm 12V$  a TTL y viceversa, para lo cual, se emplea el circuito integrado MAX232 que cuenta con dos entradas y salidas a nivel TTL, dos entradas y salidas a nivel RS232.

### 2.2.2.4 Circuito completo del sistema de realidad aumentada

El circuito está conformado por los incisos 2.2.2.1, 2.2.2.2 y 2.2.2.3 descritos anteriormente. Se divide el circuito completo en dos tarjetas electrónicas. La primera tarjeta contiene el circuito de la fuente de alimentación; el circuito del microcontrolador ATmega164p, que realiza el control de los cuatro sensores de movimiento y del servomotor y los diez LEDs para visualizar los estados de los dispositivos. En la Figura 2.26 se muestra el circuito de alimentación y de control del sistema de realidad aumentada.

En la segunda tarjeta electrónica, se encuentra el circuito de comunicación serial asincrónica entre el microcontrolador y la computadora, el cual, es el encargado de realizar la conversión de niveles de voltaje TTL a RS232 y viceversa. En la Figura 2.27 se presenta el circuito de comunicación serial.

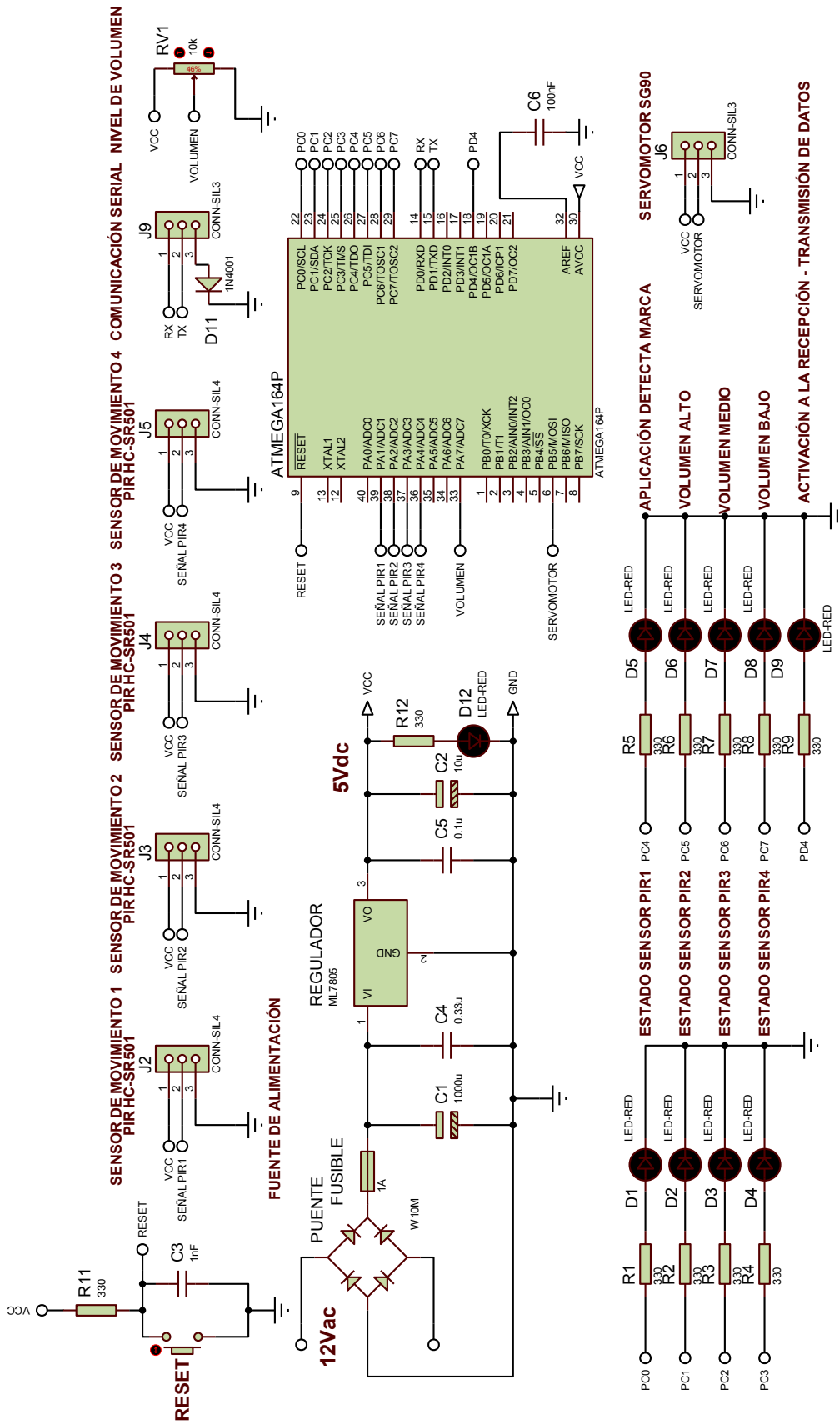
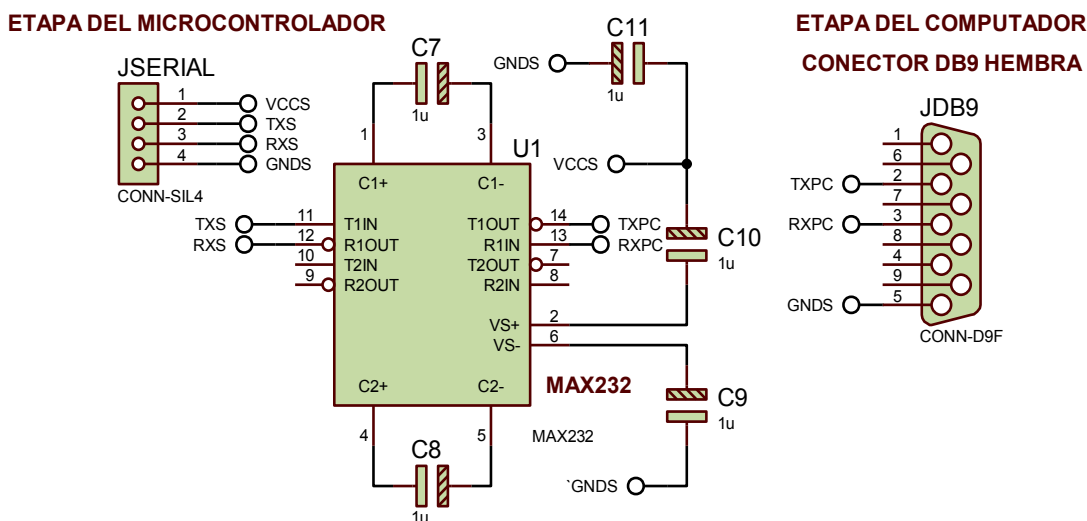


Figura 2.26 Circuito de alimentación y de control del sistema de realidad aumentada





**Figura 2.27** Circuito de comunicación serial entre el microcontrolador y computador

### 2.2.3 DISEÑO DE LA MARCA DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

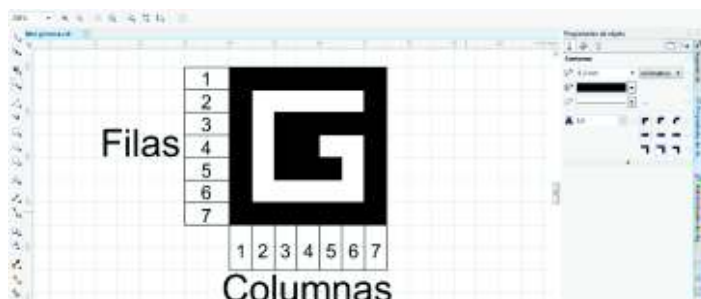
La marca cumple una función importante en el funcionamiento del sistema, debido a que el sistema de realidad aumentada se desarrolla alrededor de la misma. Cuando la imagen de la marca es obtenida por la webcam, procesada y reconocida por la computadora, el sistema de realidad aumentada puede ser activado por los usuarios mediante los sensores de movimiento PIR HC-SR501, al detectar movimiento.

La marca sirve de referencia, para la ubicación de los modelos y animaciones 3D a nivel del piso, junto al usuario, cuando se activa el sistema de realidad aumentada.

Para el diseño del marcador, se utiliza el software computacional CorelDRAW que se usa para el diseño gráfico de: imágenes, páginas, publicidad; el mismo que trabaja con vectores gráficos en un sistema de coordenadas [55]

La marca tendrá un diseño matricial QR, de siete filas por siete columnas. En el código matricial QR se representará la letra G, debido a que es la inicial del nombre del museo Gustavo Orcés, además, cumple con la condición de que el diseño de la marca para un sistema de realidad aumentada, no debe ser simétrica, ya que las animaciones 3D se orientan de acuerdo al diseño de marca para reproducirse, y si la marca es simétrica

causaría problemas al momento de la reproducción de las animaciones o simplemente no se reproducen. En la Figura 2.28 se muestra el diseño del código matricial QR realizado en el software computacional CorelDRAW.



**Figura 2.28** Diseño del código matricial QR

La marca tendrá una forma cuadrada de longitud de lado de 0.46 metros y estará ubicada a una distancia de separación horizontal respecto de la cámara de 2.5 metros, determinada en la práctica. Para la implementación del código matricial, se usará cinta antideslizante para pisos de color negro y blanco, esto debido a que el sistema de realidad aumentada estará ubicado en un área bastante concurrida por los usuarios. En la Figura 2.29 se muestra el sistema implementado donde se observa la disposición de la marca, pantalla y los sensores PIR.



**Figura 2.29** Disposición de la pantalla, marca y sensores PIR

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DEL SOFTWARE DE LOS SISTEMAS

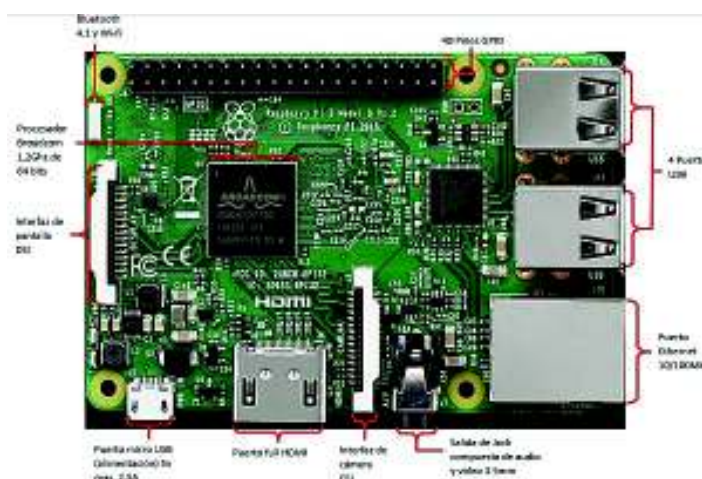
En este capítulo se presenta la programación de la tarjeta electrónica de desarrollo y de la interfaz gráfica para el encendido y apagado de las luminarias del sistema de iluminación. Para el sistema de realidad aumentada se desarrolla la aplicación que genera la realidad aumentada, además, se programa el microcontrolador para el control de los sensores de movimiento que activan el sistema.

#### 3.1 DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En el desarrollo de la parte de software del sistema de iluminación para los seis dioramas, se utiliza el sistema operativo Raspbian Jessie Pixel para Raspberry Pi 3 B, el cual, tiene preinstalado el compilador del lenguaje de programación Python, en este se desarrolla el programa que maneja la interfaz gráfica del usuario mediante la librería Tkinter. Para el encendido y apagado de las luminarias en el modo manual, se programa en lenguaje Python botones virtuales, los cuales, controlan los puertos de entrada y salida denominados GPIO de la Raspberry PI 3 B

##### 3.1.1 INSTALACIÓN SISTEMA OPERATIVO RASPBIAN JESSIE

En la Figura 3.1 se muestra la tarjeta electrónica Raspberry Pi 3 B.



**Figura 3.1** Partes de la Raspberry PI 3B

Primero para desarrollar la interfaz gráfica del sistema de iluminación se debe instalar el sistema operativo Raspbian. Además se requieren los siguientes dispositivos electrónicos:

- Tarjeta de memoria micro SD mínimo 4 GB clase 10 con adaptador SD.
- Fuente de alimentación con conector micro-USB 5 V y 2.5 A.
- Cable HDMI a HDMI o cable HDMI a VGA (depende del tipo de pantalla en la que se visualice).
- Teclado USB 2.0
- Mouse USB 2.0

### 3.1.1.1 Descargar sistema operativo Raspbian Jessie

Una vez que se cuenta con todos los dispositivos electrónicos antes mencionados, se procede a descargar el sistema operativo de la página oficial de la fundación Raspberry [56]. En la Figura 3.2 se muestra la interfaz gráfica de la página web de donde se descarga el sistema operativo. Para este proyecto se selecciona Raspbian Jessie with Pixel, el cual, será instalado en la memoria micro SD.



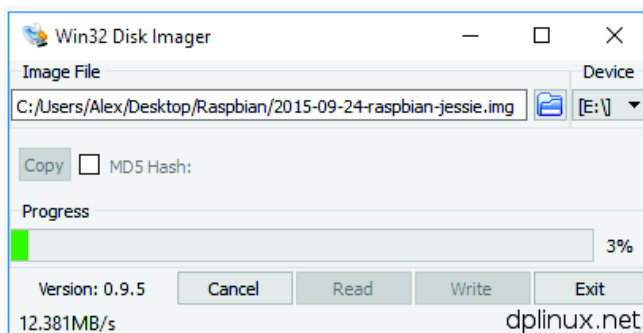
**Figura 3.2** Interfaz de descarga del sistema operativo Raspbian Jessie [56]

Una vez descargado el sistema operativo en el computador, se extrae su contenido mediante el programa Winrar a una carpeta.

### 3.1.1.2 Descargar Win32 Disk Manager

Para instalar el sistema operativo en la tarjeta micro SD se requiere del programa Win32 Disk Manager para Windows, el cual, permite copiar la imagen del sistema operativo Raspbian a la tarjeta micro SD [57]. Una vez descargado el programa se instala en el computador.

Posteriormente, se inserta la memoria micro SD conjuntamente con su adaptador SD en el lector de tarjetas del computador, se busca la imagen del sistema operativo, previamente extraído, se da clic en “Write” y se espera que se grabe en la tarjeta de memoria. En la Figura 3.3 se muestra la interfaz del programa Win32 Disk Imager.



**Figura 3.3** Interfaz programa Win32 Disk Imager

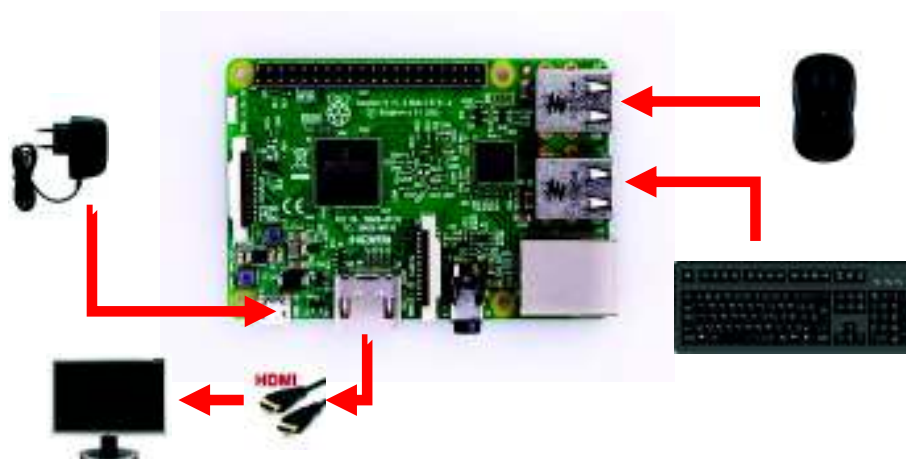
Una vez instalado el sistema operativo, se introduce la tarjeta micro SD en la Raspberry PI 3 B, en el compartimento que dispone la misma como se observa en la Figura 3.4.



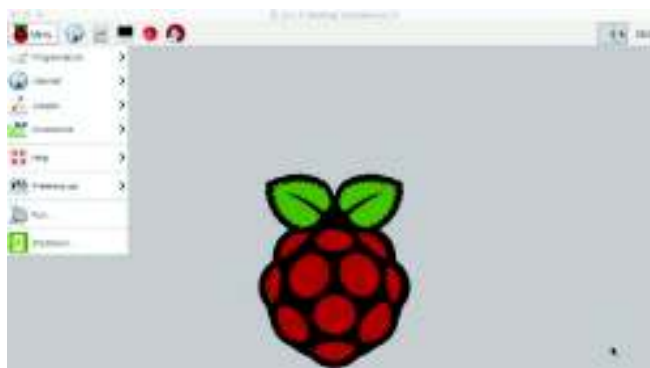
**Figura 3.4** Compartimento tarjeta micro SD en la Raspberry PI 3 B

### 3.1.1.3 Configuración inicial del sistema operativo Raspbian Jessie

Una vez introducida la tarjeta micro SD, se conecta el monitor mediante la salida HDMI que posee la tarjeta electrónica, el teclado, el mouse y la fuente de alimentación mediante los puertos USB y micro usb, como se observa en la Figura 3.5. De esta manera la Raspberry PI 3 B se enciende y se procede a configurar: la hora e idioma, para lo cual, se selecciona la pestaña menú que está ubicada en la pantalla principal, como se observa en la Figura 3.6.

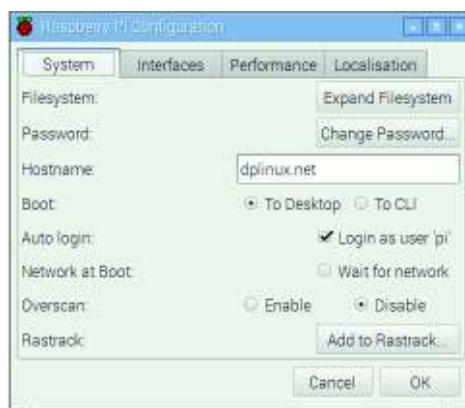


**Figura 3.5** Dispositivos a conectar en la Raspberry PI 3 B



**Figura 3.6** Pantalla de inicio del sistema operativo Raspbian Jessie

En la pestaña menú se da clic en “Preferences” y después se selecciona en Raspberry Pi Configuration, y se abrirá una ventana como se muestra la Figura 3.7.



**Figura 3.7** Pantalla de configuración en modo gráfico

En la pestaña “Localisation” del configurador gráfico, se procede a establecer el idioma del teclado. De esta manera se concluye la instalación del sistema operativo y su configuración inicial.

### 3.1.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La interfaz gráfica de usuario para el modo manual se la realiza mediante el desarrollo y programación de varias ventanas, botones, casillas de ingreso de datos, los cuales, llaman a funciones que realizan determinadas actividades. A continuación, se detalla como funcionan cada una de las ventanas desarrolladas y sus diagramas de flujo.

#### 3.1.2.1 Programación de la ventana principal

En la pantalla principal que se observa en la Figura 3.8, se tiene dos casillas, una para el ingreso del usuario y otra para la contraseña, en las cuales, el operador debe autenticarse para manipular las distintas opciones. Para el ingreso de datos el sistema cuenta con un teclado numérico virtual del 0 al 9, La pantalla principal posee un botón denominado ingresar, el cual, después de introducir los datos de autenticación de usuario y contraseña en las casillas en blanco existentes, es pulsado para comprobar si los datos son correctos.



Figura 3.8 Pantalla principal sistema de iluminación

El sistema cuenta con 3 usuarios disponibles, si los datos ingresados están incorrectos se muestra una ventana emergente, la cual, pide que se reingresen los datos, como se observa en la Figura 3.9.



**Figura 3.9** Ventana emergente datos ingresados incorrectos

Si se desea reingresar los datos, primero se debe cerrar el mensaje de error e ingresar nuevamente el usuario y contraseña.

#### 3.1.2.1.1 Configuración e inicialización de la ventana principal

Para desarrollar la interfaz gráfica se procede a importar la librería Tkinter en el lenguaje de programación Python como se observa en la Figura 3.10.

```

proyecto-museo2.py - /home/pi/Desktop/proyecto-museo/proyecto-museo2.py (2.7.9)
File Edit Format Run Options Windows Help
import Tkinter
from Tkinter import * #libreria para programacion grafica

```

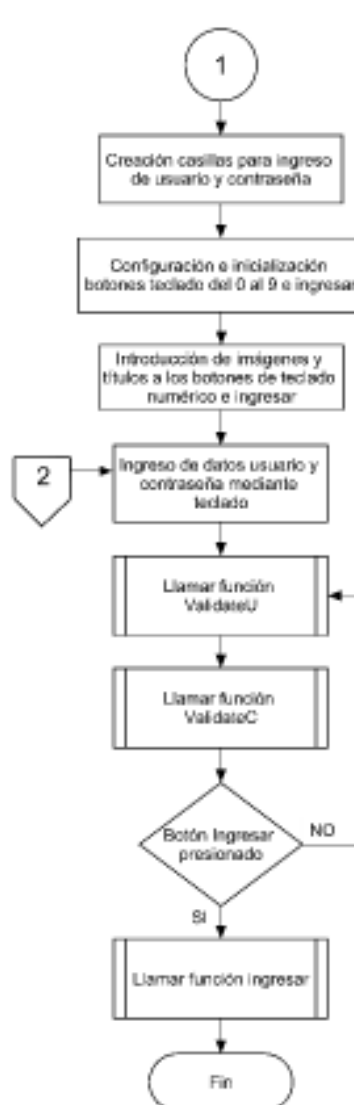
**Figura 3.10** Importación de librería Tkinter para desarrollo de interfaces gráficas

Una vez importada la librería Tkinter, se procede a crear una ventana principal en blanco, en la cual, se configura las dimensiones del alto y ancho de la pantalla, por lo que es necesario tener los datos del número de píxeles de la pantalla. En el caso de este proyecto se utiliza la pantalla táctil original de la Fundación Raspberry de 7 pulgadas descrita en el apartado 1.1.7.2, cuya resolución es 800x480 píxeles.



### 3.1.2.1.2 Diagramas de flujo pantalla principal

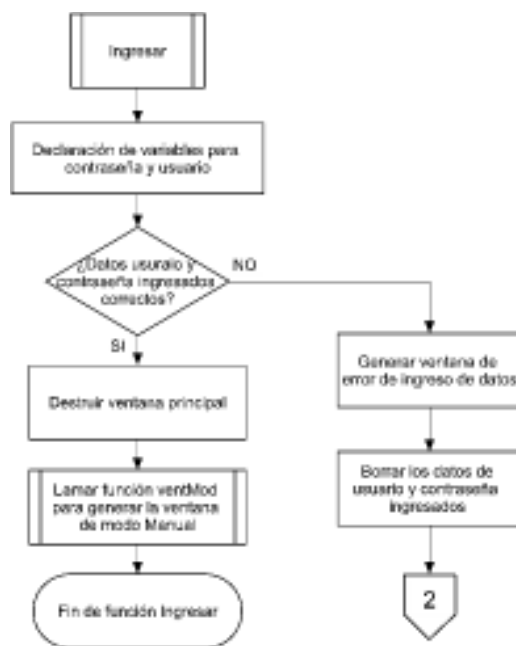
Primero se procede a realizar la configuración e inicialización de las distintas librerías para el desarrollo de la ventana principal, como se muestra en la Figura 3.11.



**Figura 3.11** Diagrama de flujo configuración ventana principal

Se importan las librerías: Tkinter para desarrollo de interfaces gráficas; Rpi.GPIO para el manejo de puertos de entrada y salida de la Raspberry PI 3 B; time para la utilización de tiempos; tkMessageBox para mensajes con ventanas emergentes. A continuación, se declara las variables globales y auxiliares; se fija la resolución de la ventana; se inserta 2 casillas para ingreso de los datos del usuario y contraseña respectivamente.

Se desarrolla un teclado numérico del 0 al 9, con el cual, los usuarios ingresan sus datos, éstos se comprueban mediante un botón denominado “ingresar” que llama a una función para comprobar los datos ingresados, en caso de ser incorrectos se presenta una ventana emergente que muestre un mensaje de error, por ende, el usuario debe reingresar los datos. En caso de ser correcta la información ingresada se abre una pantalla, desde la cual se puede encender o apagar las luminarias de cada uno de los 6 dioramas mediante botones virtuales. En la Figura 3.12 se presenta la función del botón ingresar, el cual, al ser presionado realiza una comprobación del usuario y contraseña ingresados, si los datos son los correctos, se destruye la ventana principal y se llama a la función ventMod. Por otro lado, si los datos son incorrectos se genera una ventana de error, para lo cual, el usuario debe cerrar esa ventana y reingresar los datos, después se debe presionar nuevamente el botón ingresar, para comprobar otra vez.



**Figura 3.12** Diagrama de flujo función botón ingresar

La ventana principal para el ingreso de datos tiene un teclado numérico del 0 al 9, en la Figura 3.13 y Figura 3.14 se muestran los diagramas de flujo del funcionamiento de cada uno de los botones para el ingreso de datos, cada uno de los mismos, llama a una función perteneciente a cada número.

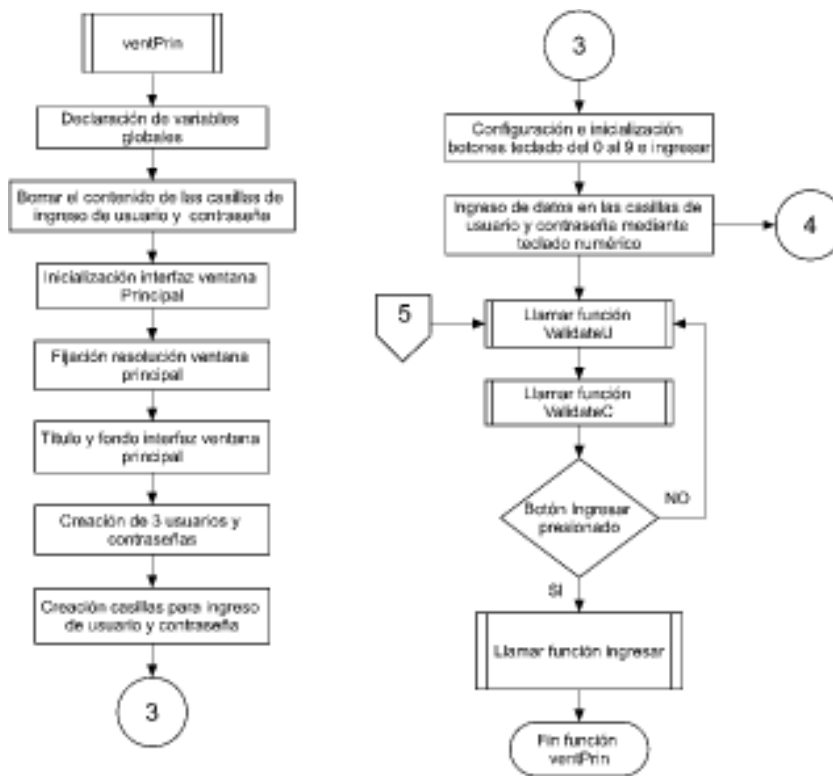


Figura 3.13 Diagrama de flujo ventana principal con teclado numérico parte 1

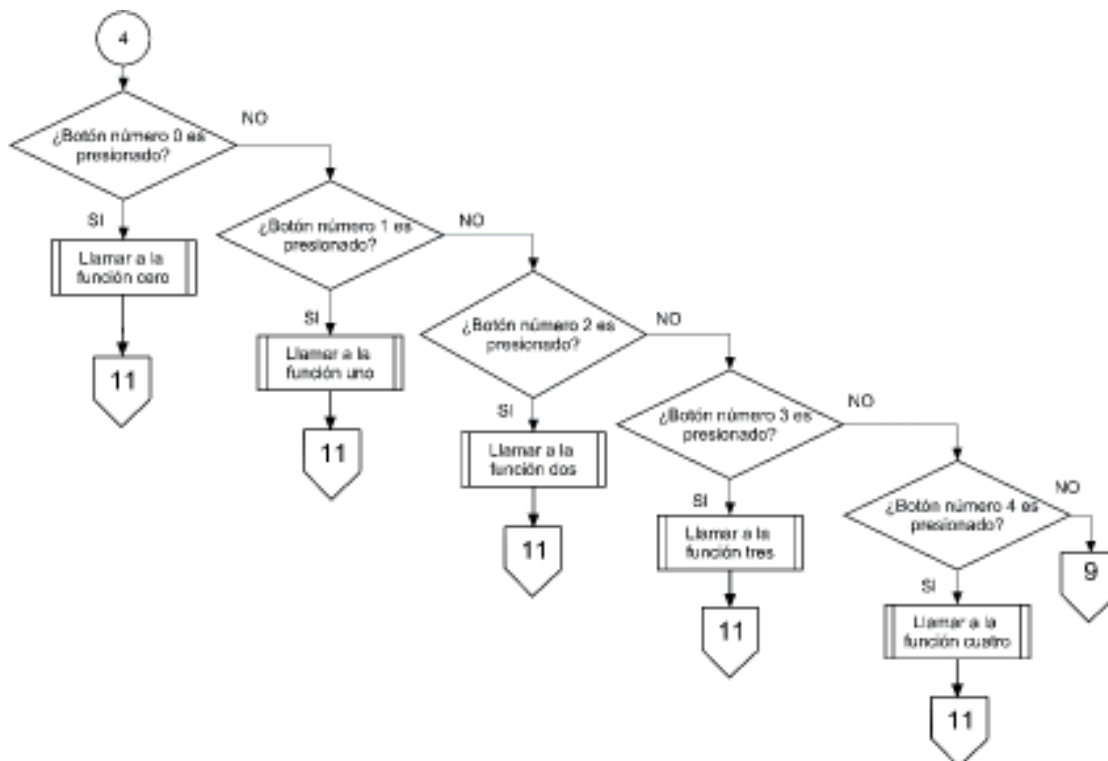
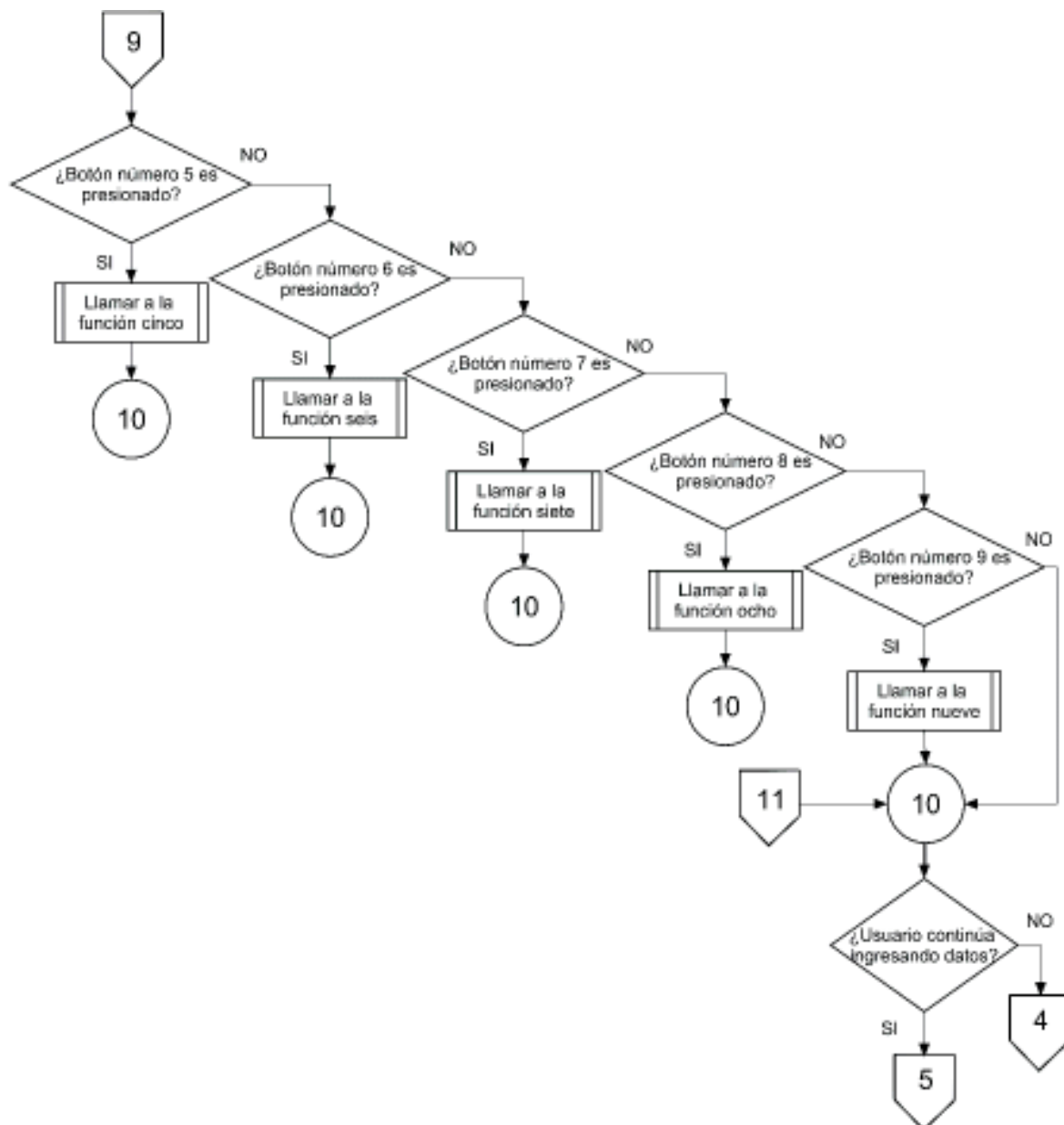


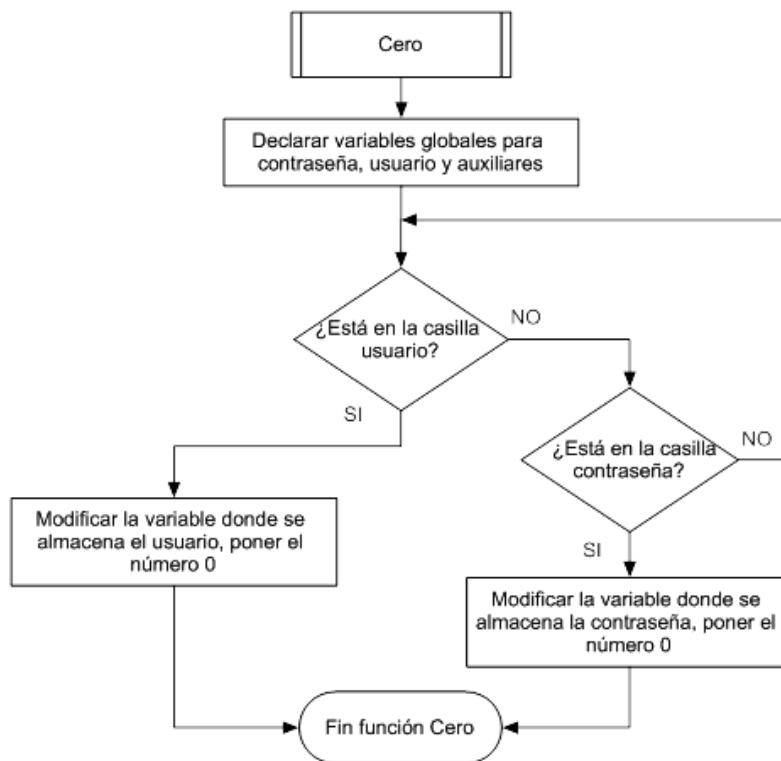
Figura 3.14 Diagrama de flujo ventana principal con teclado numérico parte 2



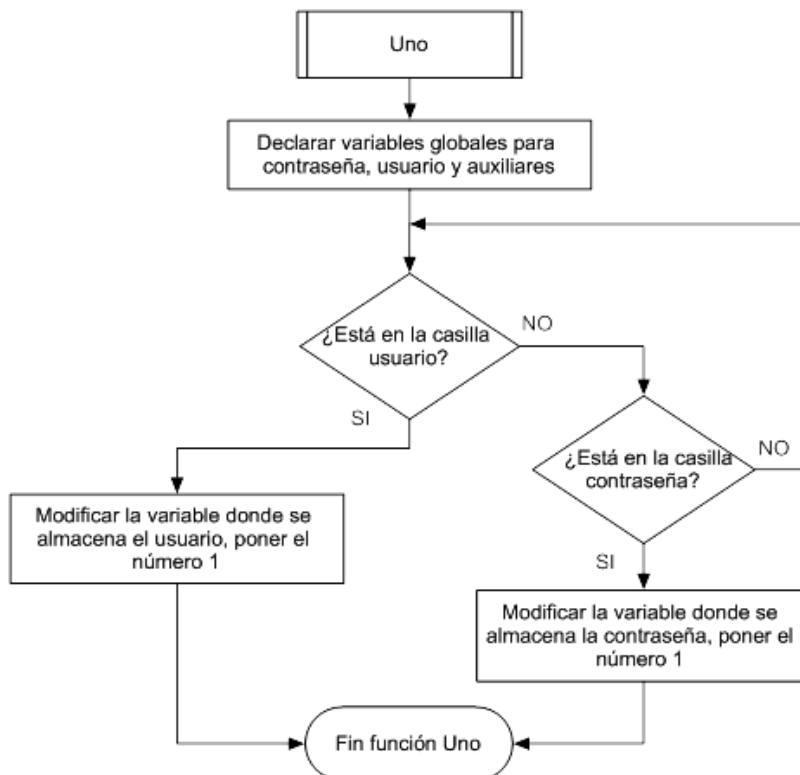
**Figura 3.15** Diagrama de flujo ventana principal con teclado numérico parte 3

Como se observa en la Figura 3.14 y 3.15 cada uno de los botones del teclado numérico al ser presionados llaman a una función individual por número.

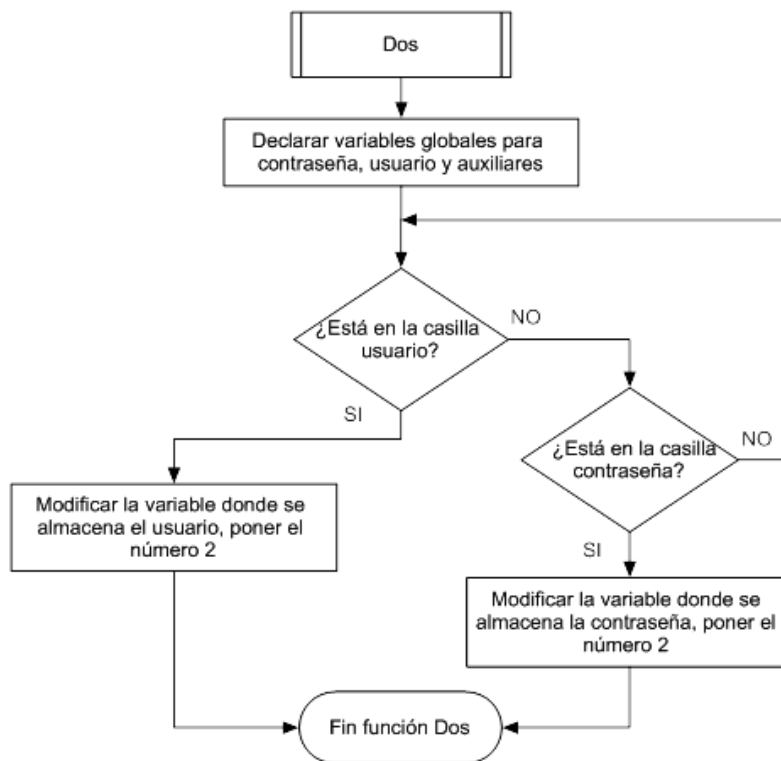
En las Figuras 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 y 3.25 se muestra los diagramas de flujo de las funciones de cada uno de los botones del teclado numérico de la interfaz gráfica del sistema de iluminación.



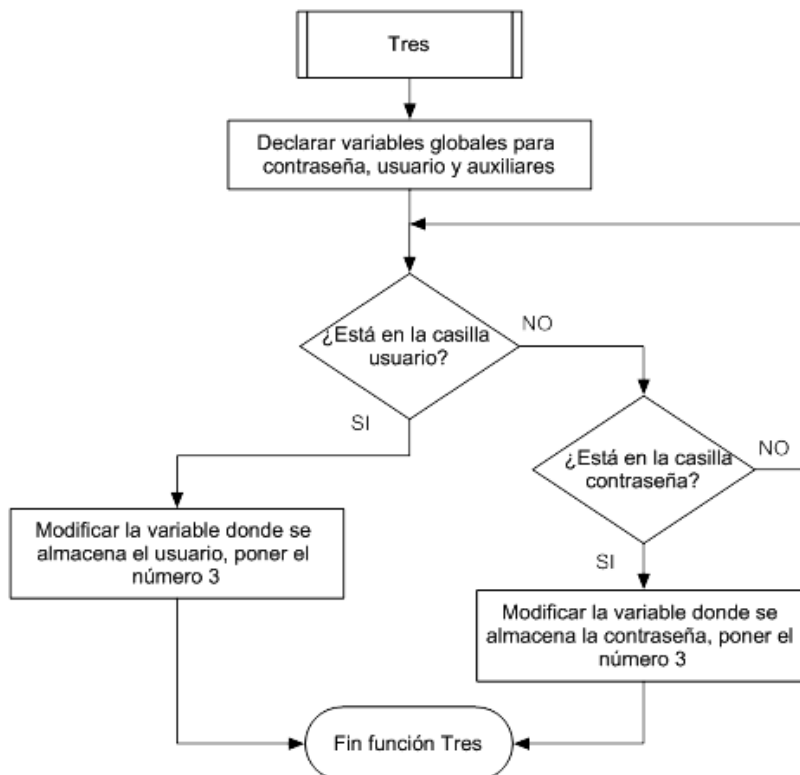
**Figura 3.16** Función botón cero del teclado numérico de la pantalla principal



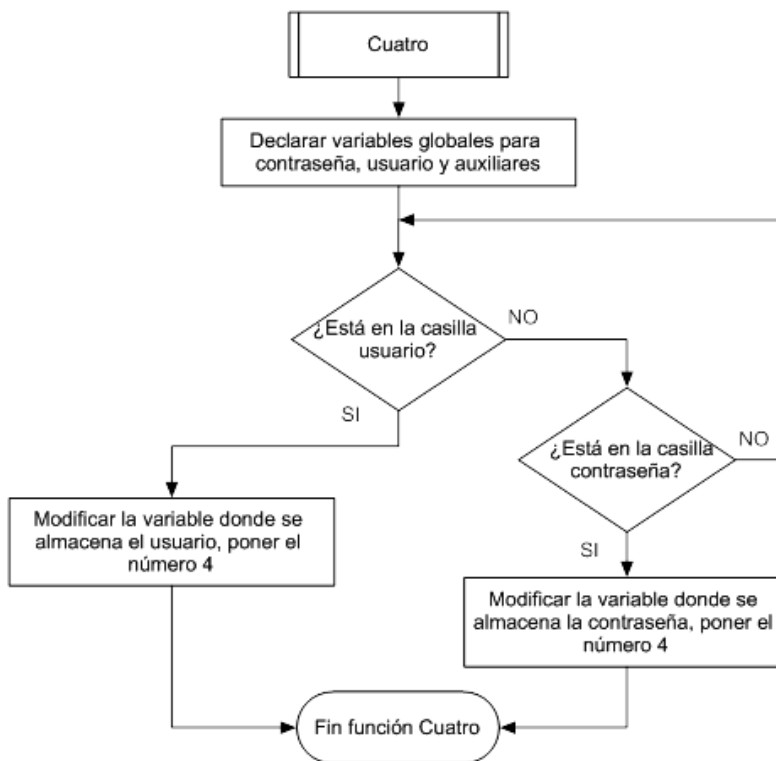
**Figura 3.17** Función botón uno del teclado numérico de la pantalla principal



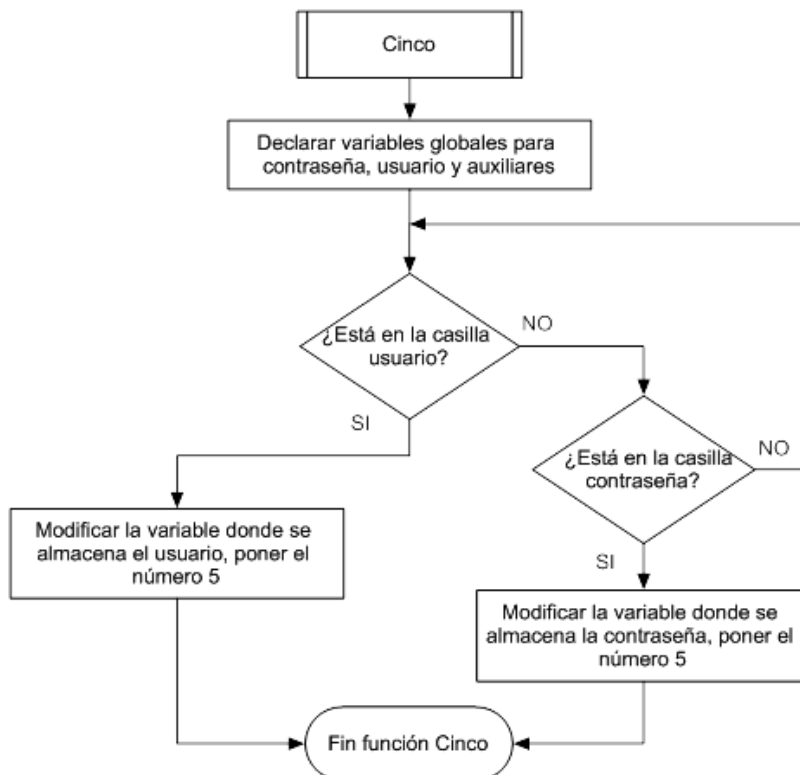
**Figura 3.18** Función botón dos del teclado numérico de la pantalla principal



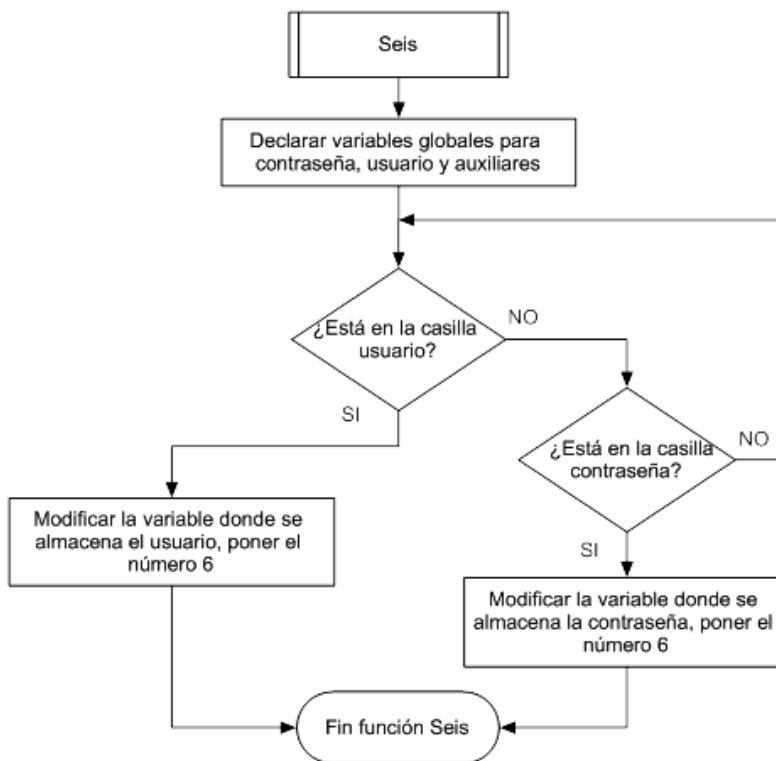
**Figura 3.19** Función botón tres del teclado numérico de la pantalla principal



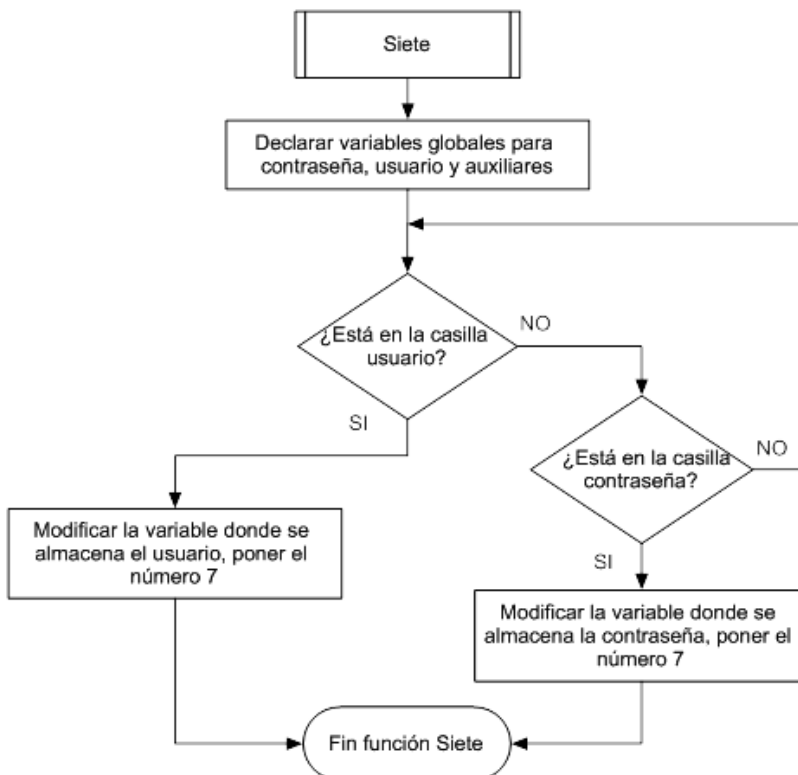
**Figura 3.20** Función botón cuatro del teclado numérico de la pantalla principal



**Figura 3.21** Función botón cinco del teclado numérico de la pantalla principal

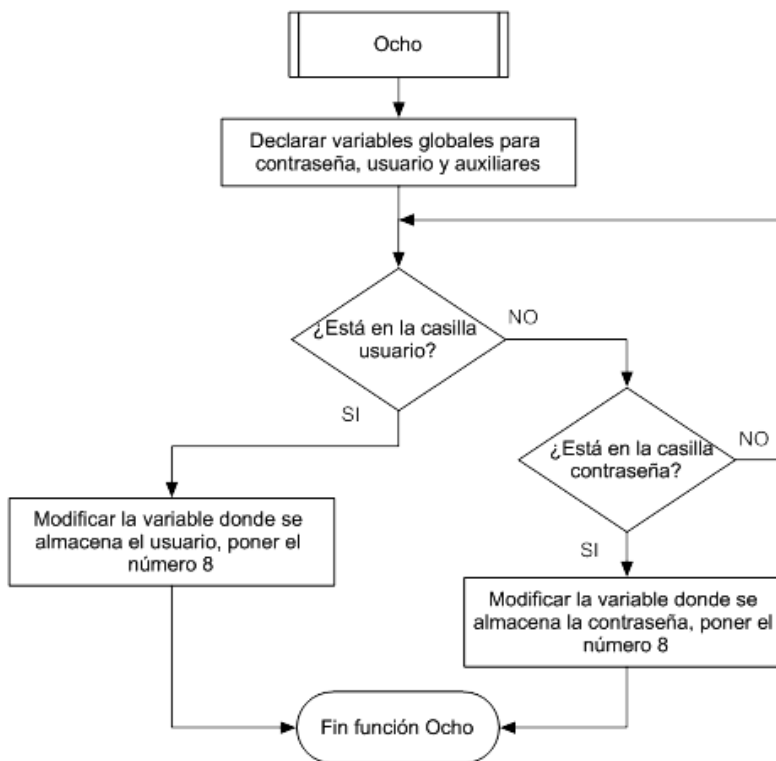


**Figura 3.22** Función botón seis del teclado numérico de la pantalla principal

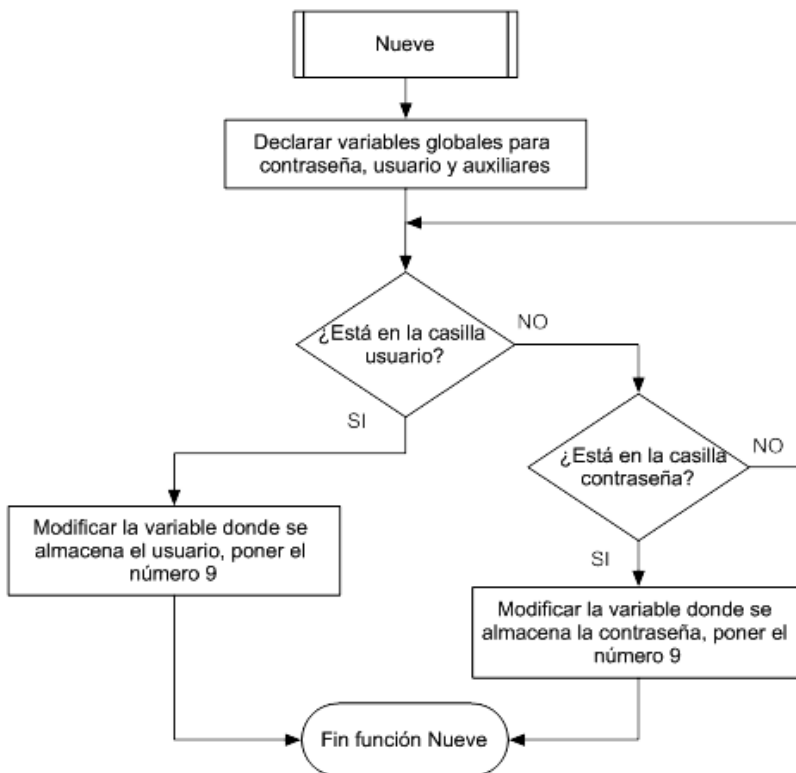


**Figura 3.23** Función botón siete del teclado numérico de la pantalla principal



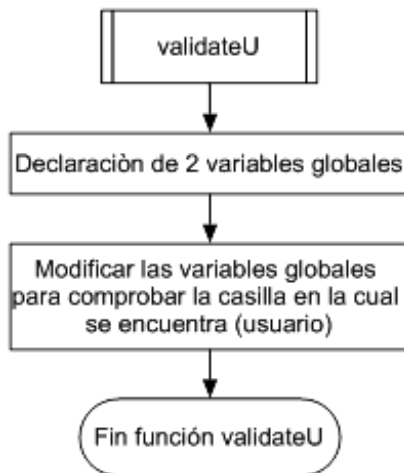


**Figura 3.24** Función botón ocho del teclado numérico de la pantalla principal

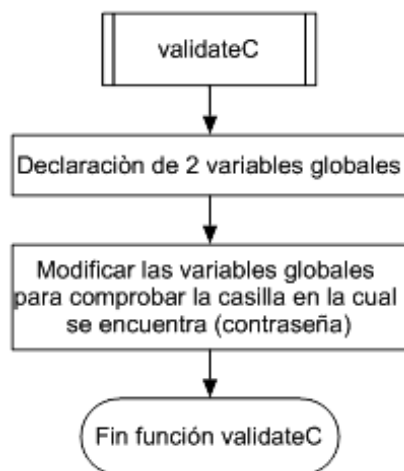


**Figura 3.25** Función botón nueve del teclado numérico de la pantalla principal

Las funciones validateU y validateC permiten la detección del cuadro de texto o casilla para que el operador pueda ingresar sus datos, ya sea del usuario o contraseña. En la Figura 3.26 se muestra la función validateU, en la cual, se comprueba si el operador ingresa los datos en la casilla de usuario; en cambio en la Figura 3.27 se observa la función validateC que realiza la comprobación de la contraseña.



**Figura 3.26** Función para detección de la casilla de ingreso de usuario



**Figura 3.27** Función para detección de la casilla de ingreso de contraseña

### 3.1.2.2 Programación de la ventana en modo manual

Una vez que uno de los tres usuarios se ha autenticado, se destruye la ventana principal y se muestra la pantalla de modo manual como se observa en la Figura 3.28. Esta ventana se divide en 3 zonas:

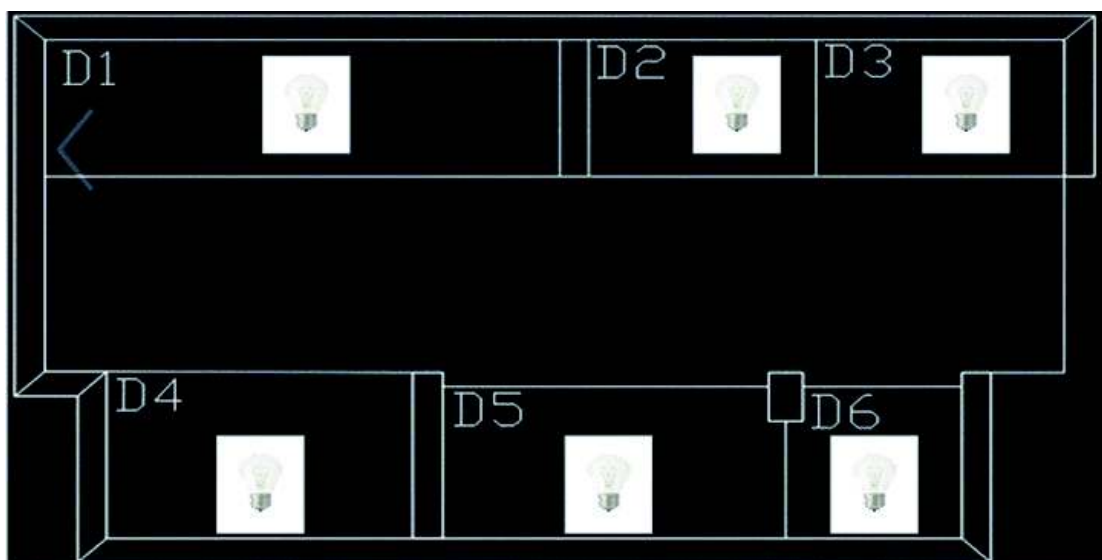
1. Zona de títulos.
2. Zona del esquemático de la distribución de dioramas.
3. Zona de control de iluminación de los dioramas.



**Figura 3.28** Ventana modo manual sistema de iluminación

#### 3.1.2.2.1 Zona de distribución de los dioramas

En la Figura 3.29 se muestra la distribución arquitectónica de los 6 dioramas, donde dentro de cada uno se tiene una imagen de una luminaria, la cual puede estar encendida o apagada dependiendo de su estado.



**Figura 3.29** Distribución arquitectónica de los 6 dioramas

### 3.1.2.2.2 Zona de control de iluminación

De las 3 zonas descritas anteriormente. ésta es la más importante, debido a que se encuentran los botones virtuales para el encendido y apagado de las luminarias de cada uno de los dioramas, los botones de encender y apagar todas las luminarias de todos los dioramas a la vez y la opción de regresar a la ventana principal. En la Tabla 3.1 se presentan los botones y las funciones que realizan.

**Tabla 3.1** Botones y funciones de la pantalla de modo de manual

Botones	Funcionamiento
D1	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 1
D2	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 2
D3	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 3
D4	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 4
D5	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 5
D6	Enciende/ Apaga iluminación General del Diorama 6
<b>Encender Todo</b>	Enciende la iluminación de todos los Dioramas
<b>Apagar Todo</b>	Apaga la iluminación de todos los Dioramas
<b>Ventana Modo</b>	Retorna a la ventana principal

### 3.1.2.2.3 Diagramas de flujo de la ventana modo manual

En la Figura 3.30 y la Figura 3.31 se muestran los diagramas de flujo de la ventana de modo manual, en la cual, primero se definen las variables globales; se inicializa la pantalla; se inicializa las imágenes para mostrar los estados de encendido y apagado de las luminarias de cada uno de los dioramas; se programan los botones que manejan el encendido y apagado de las luminarias de cada diorama.

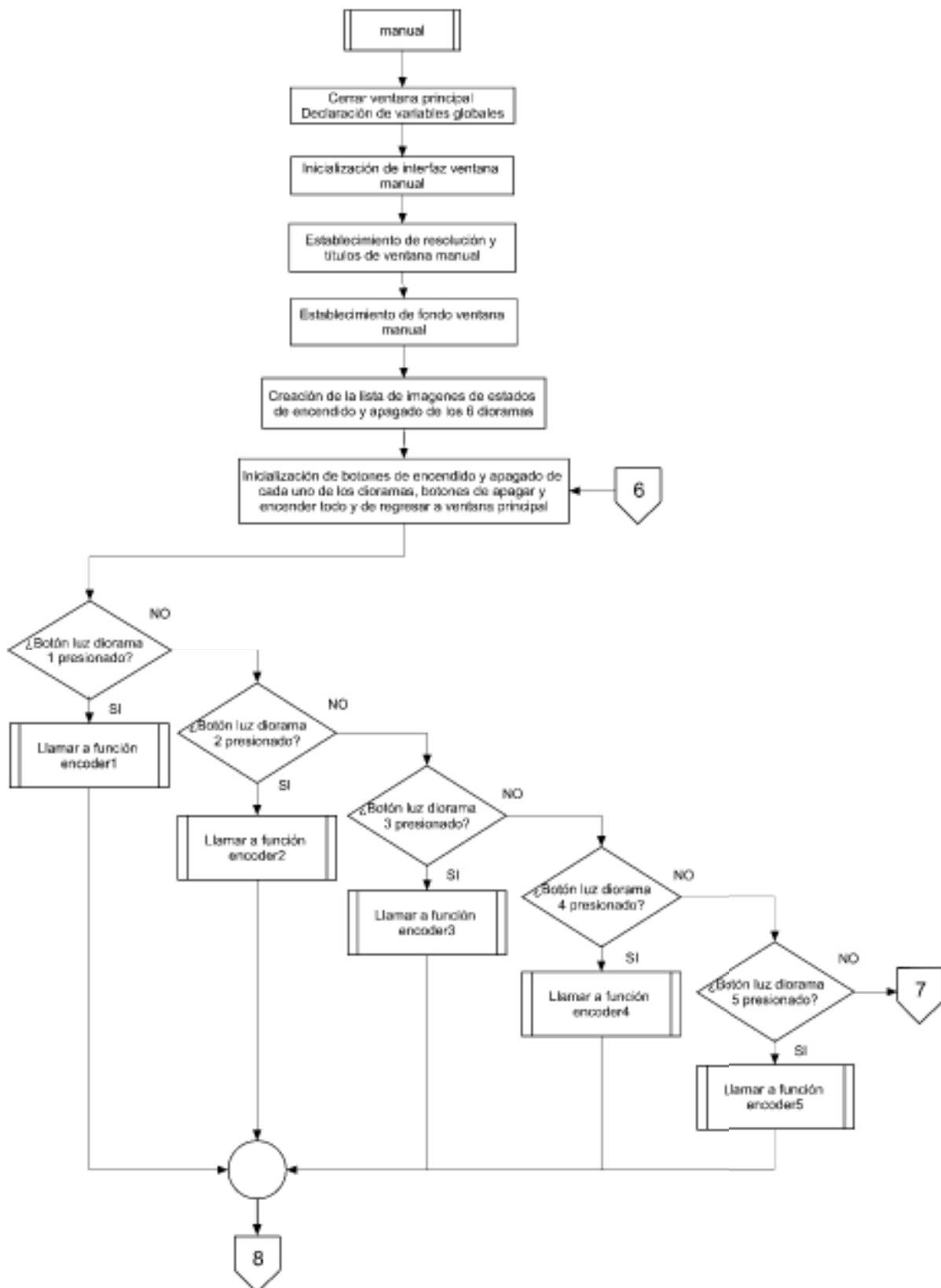
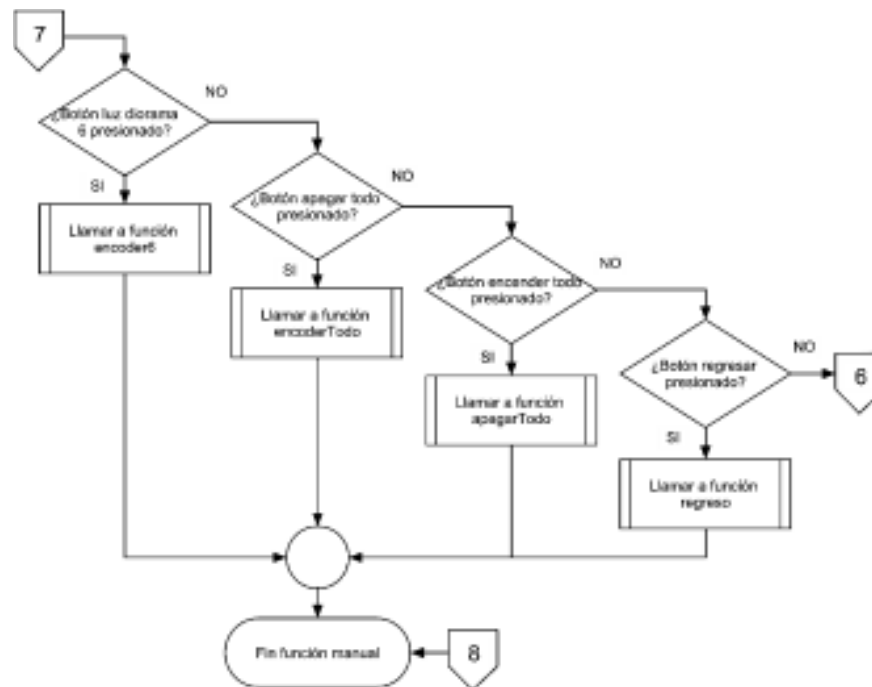
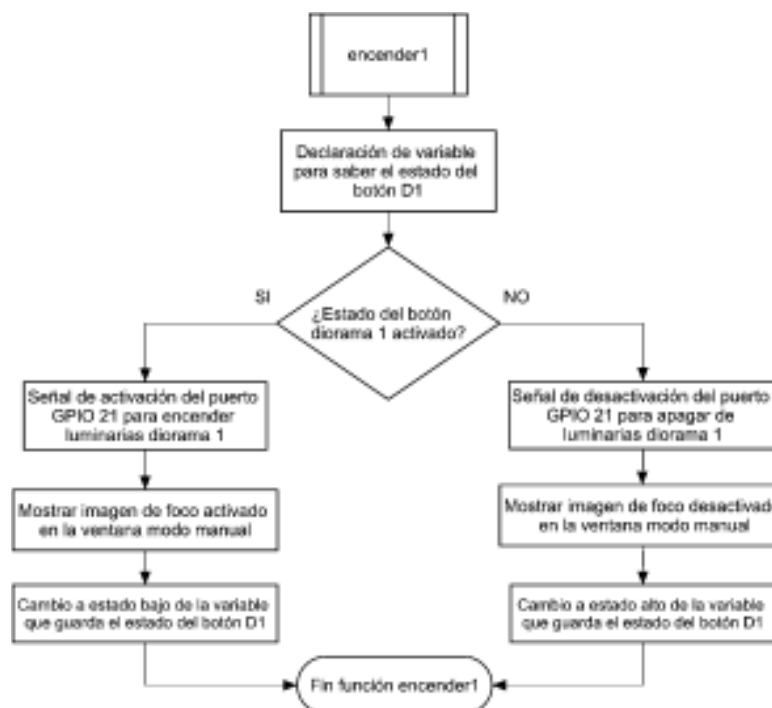


Figura 3.30 Diagrama de flujo modo manual sistema de iluminación

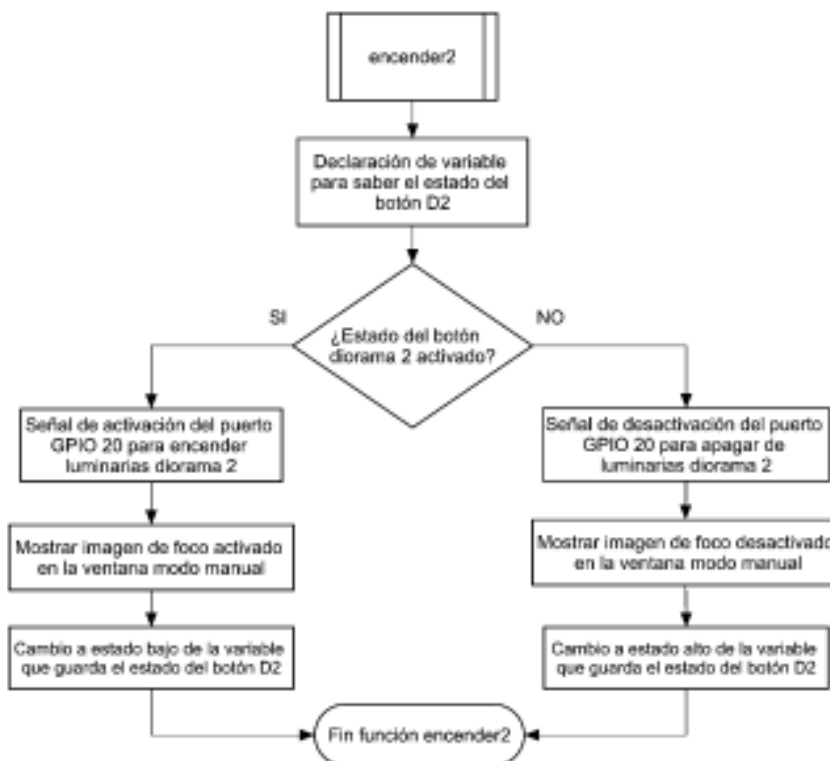


**Figura 3.31** Diagrama de flujo modo manual sistema de iluminación

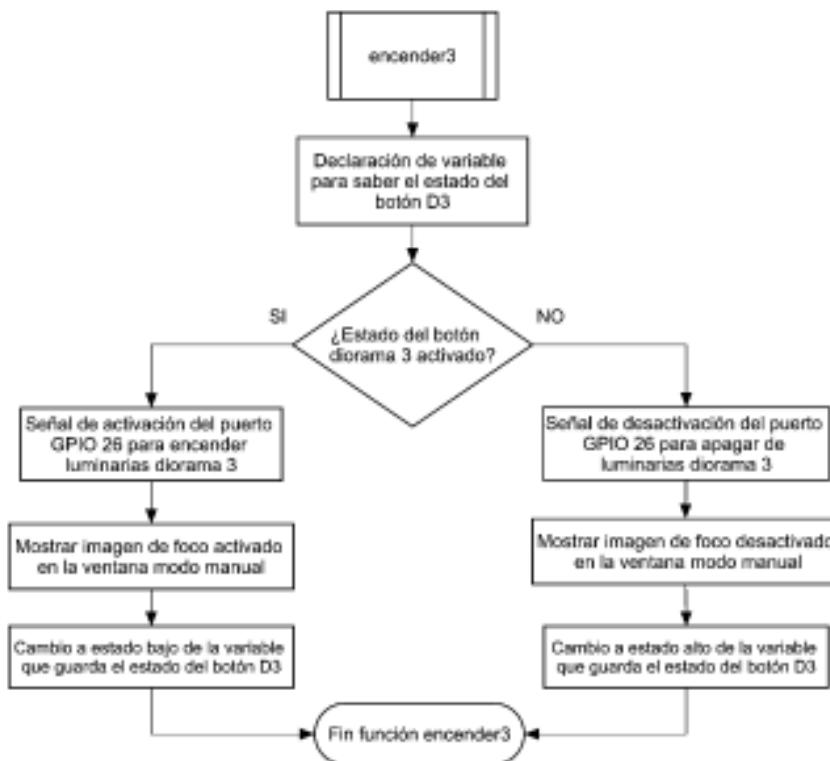
En las Figuras 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36 y 3.37 se muestran los diagramas de flujo de las funciones de encendido que llaman los botones de cada uno de los 6 dioramas.



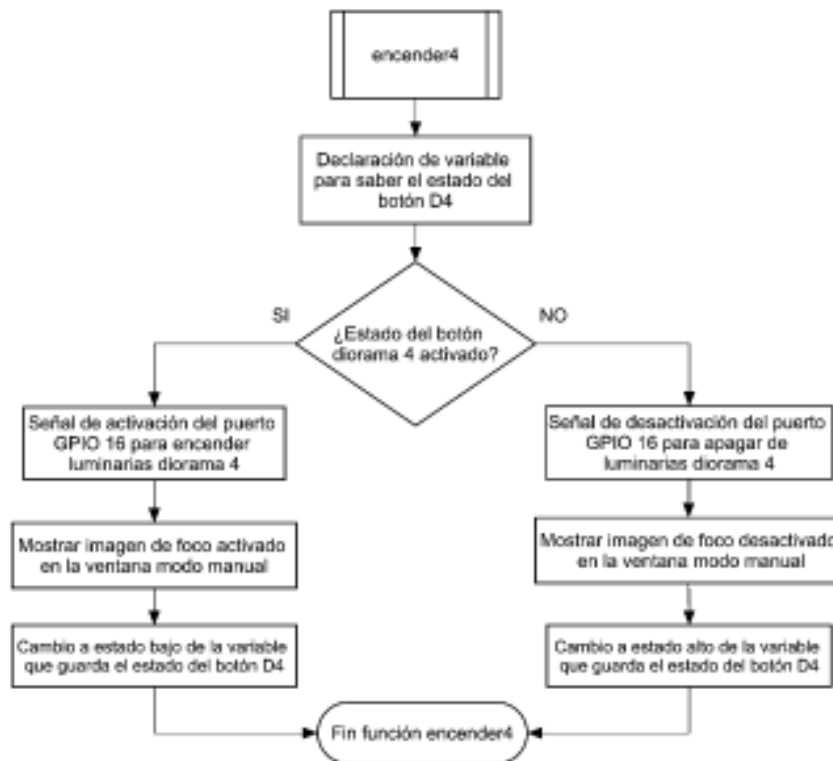
**Figura 3.32** Función para encender diorama 1 en modo manual



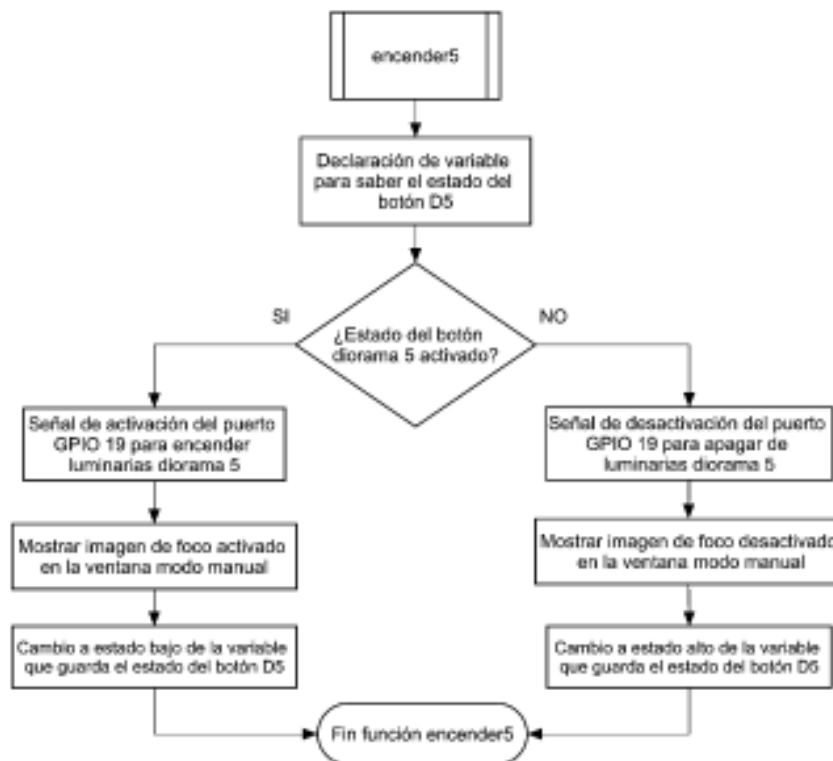
**Figura 3.33** Función para encender diorama 2 en modo manual



**Figura 3.34** Función para encender diorama 3 en modo manual

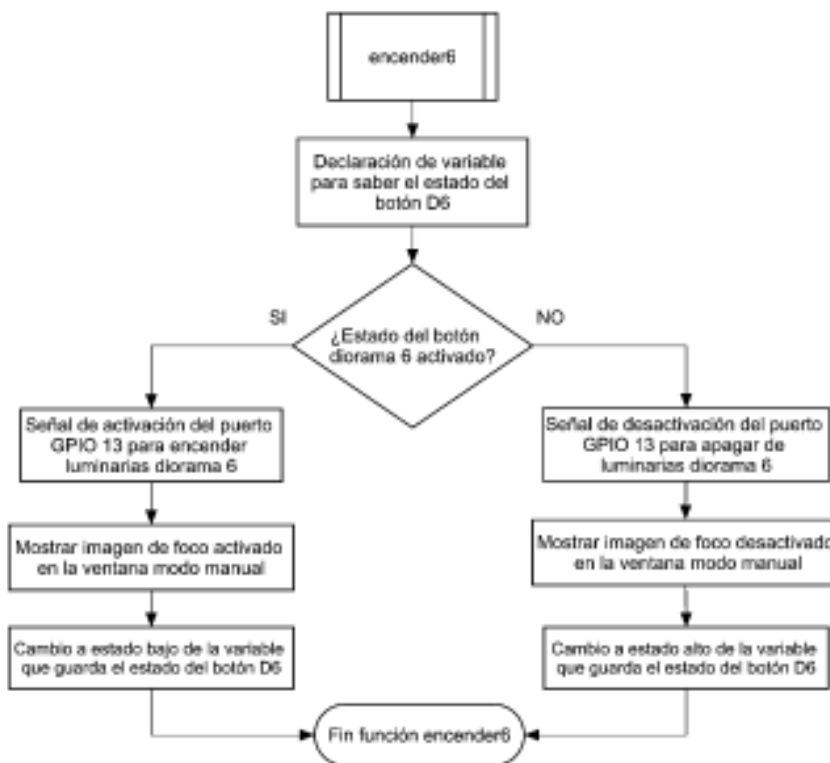


**Figura 3.35** Función para encender diorama 4 en modo manual



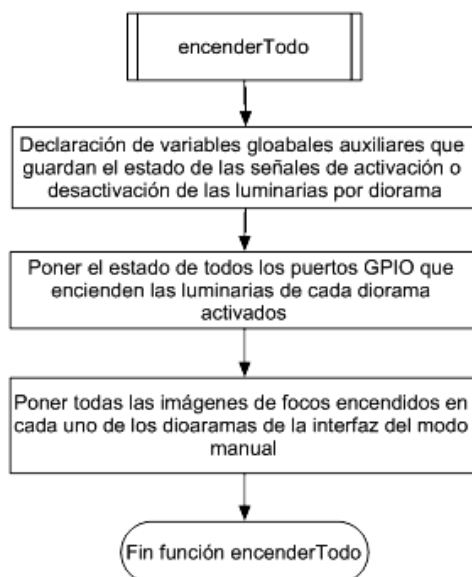
**Figura 3.36** Función para encender diorama 5 en modo manual



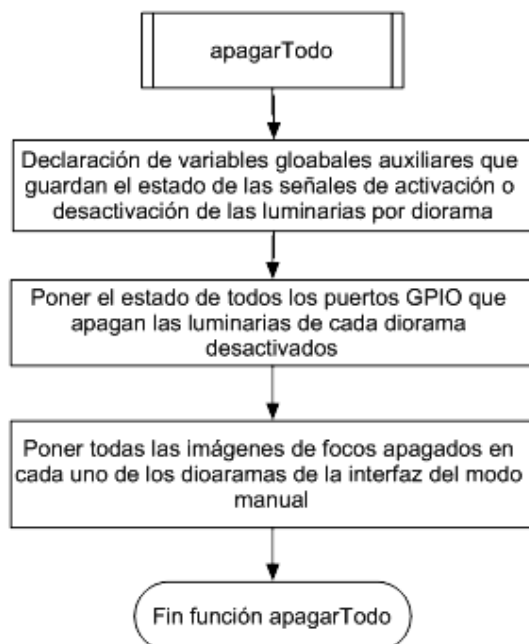


**Figura 3.37** Diagrama de flujo función para encender diorama 6 en modo manual

En las Figuras 3.38 y 3.39 se presentan los diagramas de flujo de las funciones para encender y apagar todas las luminarias de cada uno de los dioramas, para lo cual, se cambia el estado de todos puertos GPIO que controlan las luminarias.

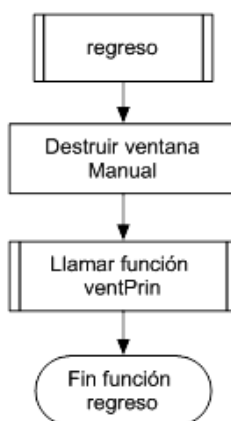


**Figura 3.38** Diagrama de flujo función encender todas las luminarias



**Figura 3.39** Diagrama de flujo función apagar todas las luminarias

En el momento que se desee regresar a la pantalla de autenticación existe un botón para regresar. La Figura 3.40 representa el diagrama de flujo de la función regreso.



**Figura 3.40** Diagrama de flujo función regreso a ventana principal

## 3.2 DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

El software de control del sistema de realidad aumentada, es implementado en un microcontrolador Atmega164p y realiza las siguientes funciones: envía al computador

la información de las señales de activación obtenidas de los sensores de movimiento; controla la rotación del servomotor encargado de girar un sensor de movimiento, para detectar presencia mediante velocidad relativa, es decir, si una persona se mantiene en una posición estática, girando el sensor de movimiento con el servomotor, se podrá detectar a dicha persona; se controla el nivel de volumen del audio, utilizando un potenciómetro, el cual, al variar su resistencia, varía el voltaje que ingresa al convertidor análogo-digital del microcontrolador y el valor de la conversión se envía al computador. Para verificar el estado de la operación del sistema de realidad aumentada, se dispone de nueve LEDs, que son encendidos o apagados desde el microcontrolador, de acuerdo al funcionamiento del sistema.

La comunicación entre el microcontrolador y la computadora es de tipo serial asincrónica, por lo que no requiere de una señal de reloj. En el microcontrolador se programa el USART0, mientras que en la computadora se configura un puerto serial para realizar la comunicación.

El software computacional Unity se utiliza para desarrollar la aplicación del sistema de realidad aumentada, la cual, se ejecuta en el computador y se encarga de generar la realidad aumentada, los sonidos, además permite configurar las opciones como: nivel del volumen del audio, resolución de pantalla, señalización de las personas en la pantalla y configurar la utilización o no de la información obtenida de los sensores de movimiento, para la activación de las animaciones 3D del sistema.

### **3.2.1 SOFTWARE PARA DESARROLLO DE LA APLICACIÓN**

Para la creación de la aplicación de la realidad aumentada, se utiliza las siguientes herramientas computacionales.

#### **3.2.1.1 Unity**

Para desarrollar la aplicación de realidad aumentada, se utiliza el software computacional Unity, el mismo que es un motor de videojuegos multiplataforma. Unity permite crear videojuegos en 2D y 3D, puede ser ejecutado en Windows, Mac y Linux.

Además, permite crear videojuegos para consolas y desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles con sistemas Android e IOS. Este software tiene dos versiones Unity Professional (se paga por la licencia del software) y Unity Personal (gratuito), para la realización de la aplicación se utiliza Unity Personal [58].

### **3.2.1.2 OpenCV para Unity**

Es un plugin para el uso de activos de OpenCV 3.1.0 desde el interior de Unity, es decir, es un clon de OpenCV de Java. Realiza procesamiento de imágenes en tiempo real mediante el uso de WebCamTexture (proyección de imagen de la cámara en un plano de Unity). Permite desarrollar aplicaciones de reconocimiento de imágenes, detección de movimiento, reconocimientos de caras entre otras [59]. Presenta varios códigos (librerías), que son utilizados como ayuda para desarrollar aplicaciones.

### **3.2.1.3 MarkerBased AR Sample**

Es un activo (librería) de realidad aumentada, que reconoce marcadores representados en códigos matriciales QR, y posteriormente detectado el marcador muestra un modelo 3D en una WebCamTexture (proyección de imagen de la cámara en un plano de Unity) en tiempo real. Como requisito para el uso de esta librería se debe disponer de OpenCV para Unity [60].

### **3.2.1.4 HOG Descriptor Sample**

Es un activo (librería) utilizado para detección de objetos y personas, se basa en la técnica de HOG (histograma de gradientes orientados) y un soporte SVM (máquina vectorial lineal). HOG es un tipo de descriptor de función, la intención de un descriptor de función, es generalizar el objeto de tal manera que el mismo objeto (en este caso una persona) produzca lo más cerca posible el mismo descriptor característico, cuando se observa bajo diferentes condiciones. SVM es un tipo de algoritmo de aprendizaje automático para clasificación, y es utilizado para reconocer descriptores HOG de personas o cosas [61] [62].

Un HOG describe características generales sobre los objetos o personas. Un HOG de una persona está representado de una forma estructural con: una cabeza, dos brazos, un torso y dos piernas. Para el reconocimiento de una persona utilizando esta técnica, no se toma en cuenta el color de piel y rostro, además, la persona está representada en un único vector de características, el cual, será clasificado por la SVM como persona o no persona [61] [62] [63].

Para utilizar la librería HOG Descriptor Sample con SVM para la detección de personas, se requiere del plugin de OpenCV 3.1.0 para Unity.

### **3.2.1.5 Paquete de dinosaurios 3D**

Son modelos 3D que representan dinosaurios, cada modelo puede ser programado para que adquiera movimiento y realice animaciones [64]. En la Figura 3.41 se observa un modelo 3D de un dinosaurio que se utiliza para el desarrollo de la aplicación.



**Figura 3.41** Modelo 3D de un dinosaurio [64]

### **3.2.2 PROGRAMA DE CONTROL DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA164P**

Para el desarrollo del programa del microcontrolador, se utiliza el lenguaje C, el cual contiene estructuras que permiten el desarrollo del código de programa de una forma: modular, ordenada y simplificada.

### 3.2.2.1 Descripción del algoritmo de control

Para el control del nivel de volumen de la aplicación, del giro del servomotor, de la comunicación serial con la computadora y para procesar las señales obtenidas de los sensores de movimiento PIR HC-SR501 se ejecutan varias tareas secuenciales.

A continuación, se presenta la explicación de las subrutinas realizadas para el desarrollo del software, que son ejecutadas en el microcontrolador ATmega164p:

#### 3.2.2.1.1 Configuración e inicialización del microcontrolador ATmega164p

Una vez energizado el microcontrolador, se procede a ejecutar las líneas de código de la inicialización y configuración. En primer lugar, se define los pines de los puertos como entrada o salida digitales dependiendo de su utilización. Cuatro pines son declarados como entradas digitales, los cuales son los encargados de recibir las señales de activación de los cuatro sensores de movimiento. En el pin PA7 del puerto A, se deshabilita la entrada digital para utilizar el pin como convertidor análogo a digital, que sirve para el control de nivel de volumen del audio de la aplicación, además, se declara nueve pines como salidas para controlar el encendido o apagado de los LEDs, los cuales, indican el estado del funcionamiento del sistema de realidad aumentada. Para el control del servomotor se declara un pin como salida, por el cual se genera pulsos para el control de giro del servomotor SG90.

A continuación, se configura la conversión análoga a digital realizando las siguientes configuraciones: referencia AVCC de 5V, justificación izquierda para los registros del resultado de la conversión y selección del canal de conversión ADC7. También se habilita el convertidor, se programa la conversión para que se ejecute en modo manual y se habilita la interrupción de finalización de la conversión.

Para la comunicación entre el microcontrolador y el computador se utiliza el USART0, se habilita la interrupción de recepción de comunicación que se activa cuando un dato ha llegado al buffer de recepción. La comunicación serial del microcontrolador trabaja

en modo asíncrono, con 8 bits de datos, no paridad, 1 bit de parada y a una velocidad de 9600 baudios.

Finalmente, se inicializa las variables globales, se habilita de forma global las interrupciones del microcontrolador y se establece el servomotor en la posición de cero grados (inicial).

En la Figura 3.42 se muestra el diagrama de flujo de la configuración e inicialización del microcontrolador ATmega164p.



**Figura 3.42** Diagrama de flujo de la Configuración e inicialización

#### 3.2.2.1.2 Programa principal del microcontrolador ATmega164p

Para el control de las señales de activación generadas por los sensores de movimiento, selección del nivel de volumen del audio de la aplicación, control de giro

del servomotor y el control de la comunicación serial entre el microcontrolador y la computadora, se ejecuta el programa principal.

En este lazo, se recepta las señales de los cuatro sensores de movimiento, estas señales posteriormente serán enviadas al computador. Para la selección del nivel de volumen, se realiza la conversión análoga a digital, para lo cual, se toma el nivel de voltaje proveniente de la variación del potenciómetro que ingresa al canal ACD7. Después que la conversión finalice, se toma los ocho bits más significativos del resultado de la conversión, y de acuerdo a este valor, se establece el nivel del volumen del audio de la aplicación de realidad aumentada.

El control del servomotor se realiza de la siguiente manera: cuando el sensor de movimiento que se encuentra acoplado al servomotor detecte la presencia de una persona, el microcontrolador genera pulsos por un pin para controlar el giro del servomotor, es decir, el servomotor hace girar 90 grados en sentido antihorario al sensor de movimiento, posteriormente espera en esta posición 10 segundos para finalmente regresar a la posición inicial, esta secuencia se repetirá siempre que el sensor de movimiento acoplado al servomotor detecte la presencia de un usuario.

Para mostrar el estado de las señales de los cuatro sensores de movimiento, se dispone de cuatro LEDs, los cuales se encienden cuando las señales provenientes de los sensores de movimiento están en un nivel alto (1L), caso contrario se apagan. Para indicar el nivel de volumen del audio del sistema de realidad aumentada, se dispone de tres LEDs, que se encienden uno a la vez, dependiendo si el nivel es bajo, medio o alto. Se dispone de un LED, el cual, indica si la aplicación de realidad aumentada ha detectado la marca.

Finalmente, se tiene un LED que parpadea cuando se produce la comunicación serial entre el microcontrolador y la computadora. El envío de la información al computador, se realiza cuando se produce la interrupción de recepción de la comunicación serial, misma que se genera cuando la computadora envía el mensaje de petición de la información.



En la Figura 3.43 y Figura 3.44 se presentan los diagramas de flujo del programa principal del microcontrolador ATmega164p.

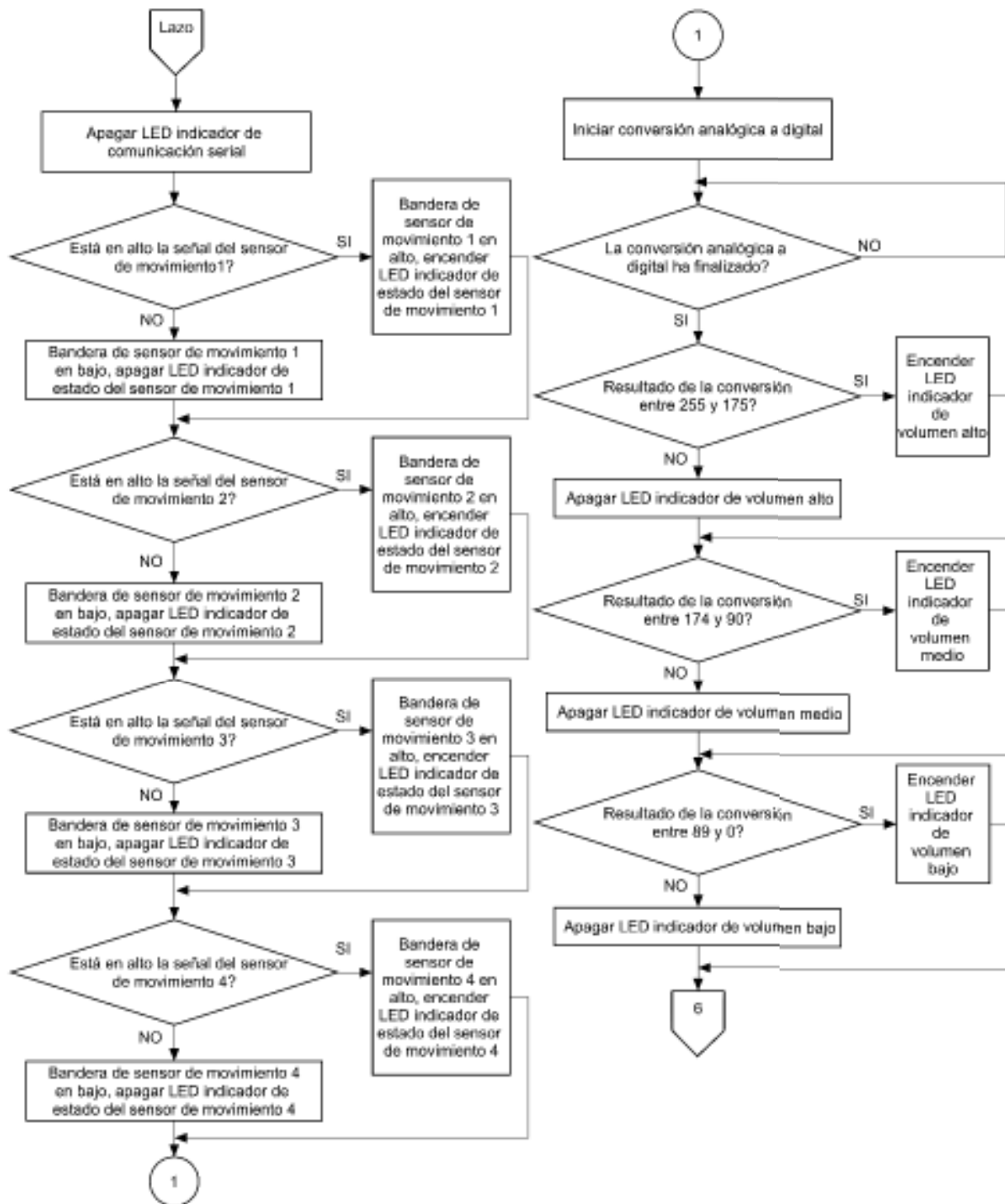
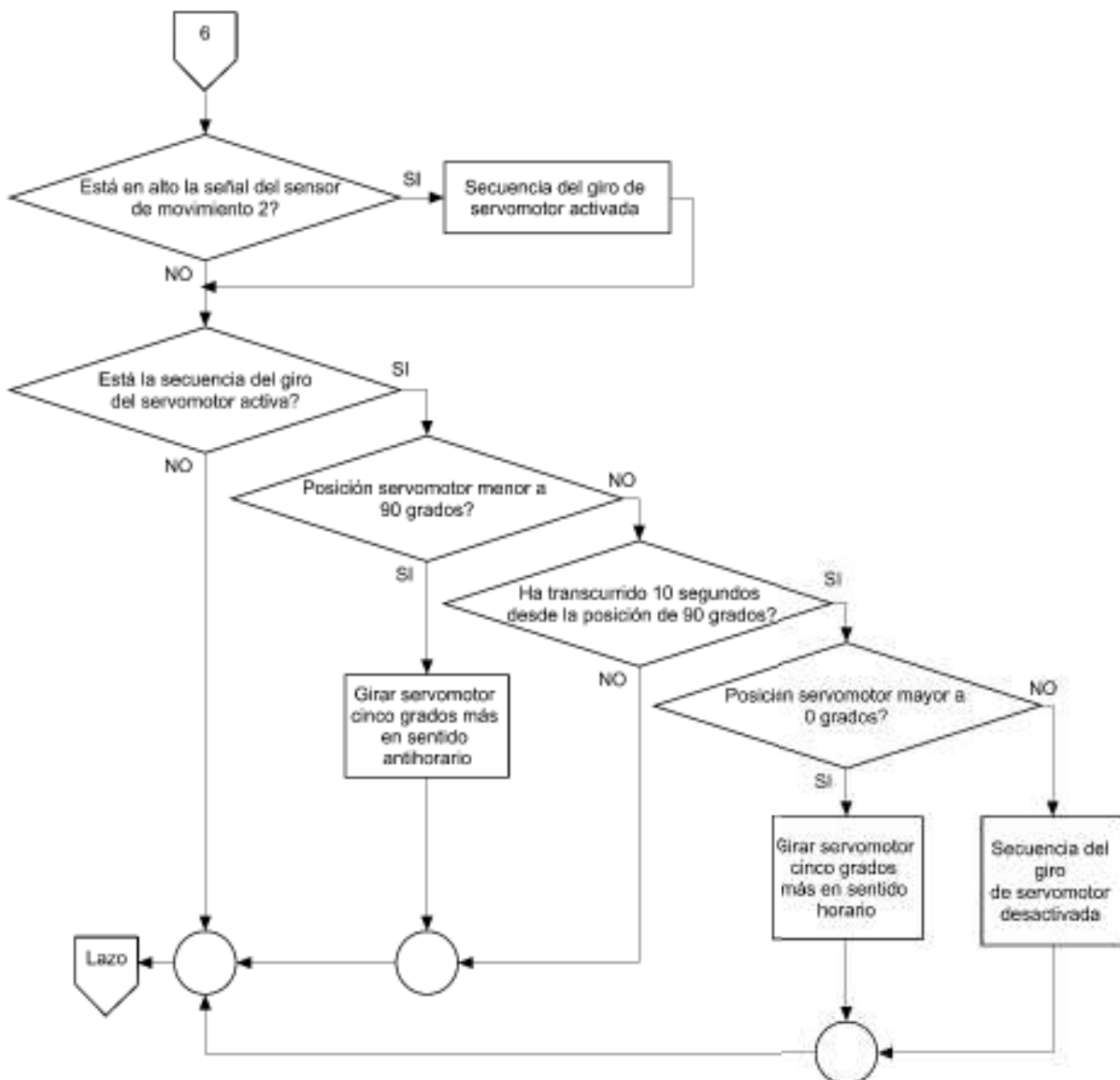


Figura 3.43 Diagrama de flujo del programa principal



**Figura 3.44** Diagrama de flujo del programa principal

### 3.2.2.1.3 Interrupción de finalización de la conversión analógica a digital

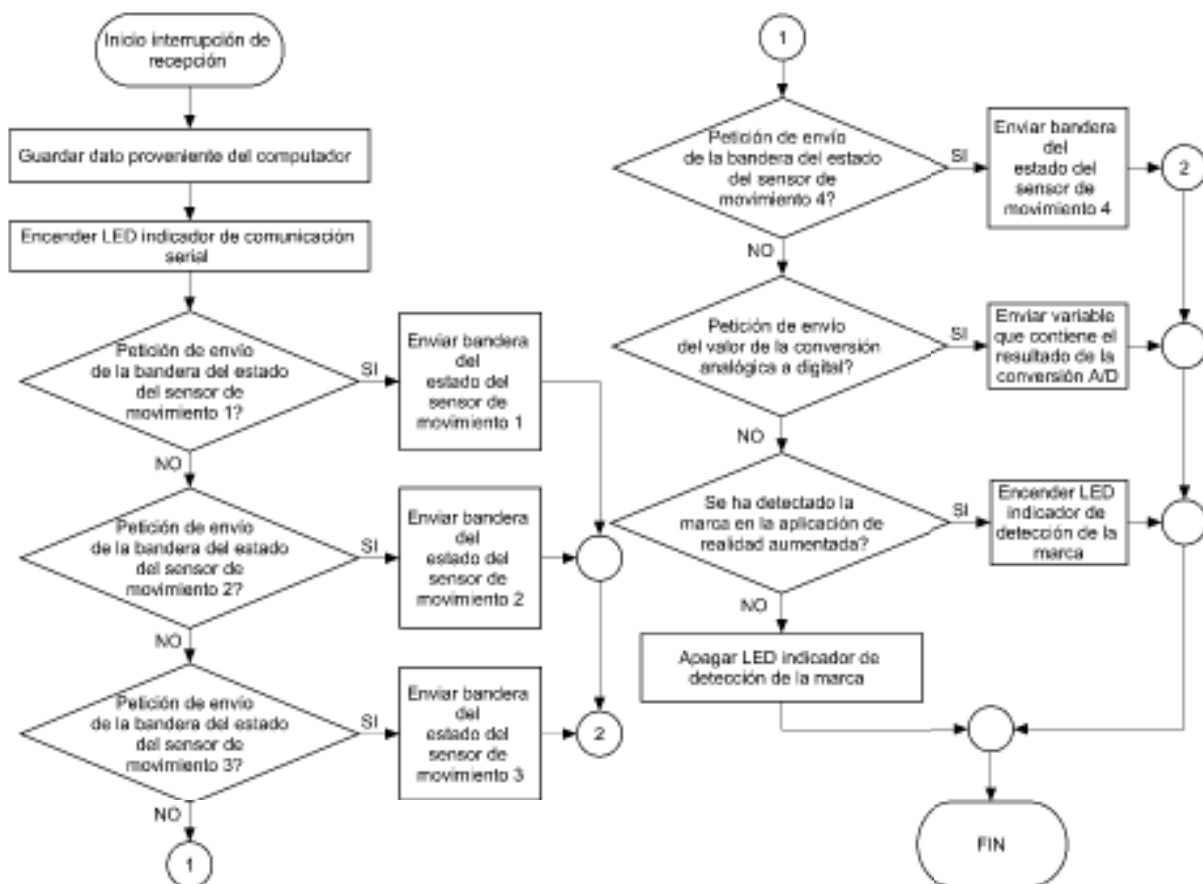
Cuando la conversión analógica a digital finaliza, se genera la interrupción de finalización de la conversión, en la cual, se toma ocho de los diez bits más significativos del resultado de la conversión, y se guarda en una variable para posteriormente ser enviada al computador mediante comunicación serial. En la Figura 3.45 se observa el diagrama de flujo de la rutina de interrupción de finalización de conversión analógica a digital.



**Figura 3.45** Diagrama de flujo de la rutina de interrupción de finalización de conversión A/D

#### 3.2.2.1.4 Interrupción de recepción de comunicación

En la Figura 3.46 se observa el diagrama de flujo de la rutina de la interrupción de recepción de comunicación.



**Figura 3.46** Diagrama de flujo de la rutina de interrupción de recepción de comunicación

En esta rutina, se envía al computador la información del estado de los sensores de movimiento y el valor de la conversión analógica a digital. Además se recibe desde el computador la información sobre la detección o no de la marca del sistema de realidad aumentada. Cuando se inicia la rutina de la interrupción de recepción, se guarda en una variable el dato recibido desde el computador. Según el código del dato recibido, se envía la información requerida al computador. Para indicar que la comunicación serial asíncrona está en curso, se enciende un LED.

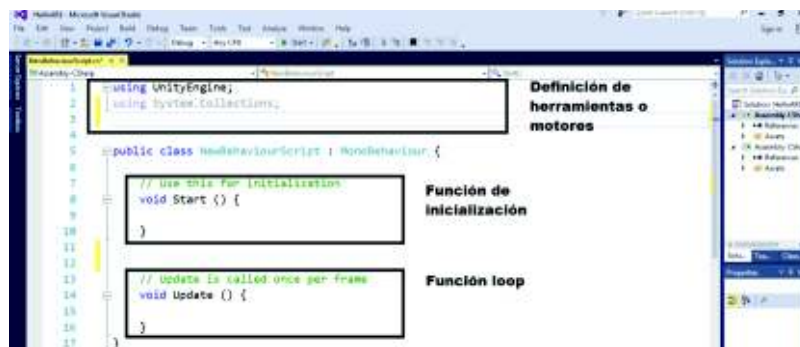
### 3.2.3 PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA

La aplicación de realidad aumentada es la encargada de procesar la imagen adquirida por la cámara y los datos recibidos desde el microcontrolador, para con base en esto generar la realidad aumentada que es mostrada en la pantalla, además, de generar los sonidos de las animaciones 3D. Para la creación de la aplicación, se utiliza el software computacional Unity, el plugin de OpenCV para Unity, las librerías MarkerBased AR Sample y HOG Descriptor Sample y el paquete de dinosaurios 3D, descritos en el apartado 3.2.1. La programación de la aplicación en Unity, se realiza mediante scripts desarrollados en lenguaje C Sharp. Unity requiere que se configuren opciones en la pantalla principal de programación, para complementarse con los scripts en la creación de aplicaciones. En la Figura 3.47 se presenta las partes de la pantalla principal del software Unity.



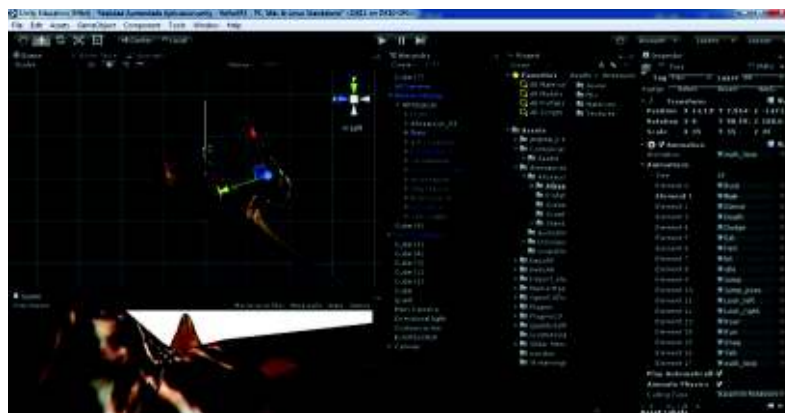
Figura 3.47 Partes de la pantalla principal de Unity

En los scripts desarrollados en lenguaje C Sharp, se define el comportamiento de la aplicación de realidad aumentada, y se programa: el movimiento de las animaciones 3D, la reproducción de los sonidos, la comunicación serial, el despliegue de las ventanas de la aplicación, el funcionamiento de la cámara, el reconocimiento de la marca, la configuración de la librería de realidad aumentada. En la Figura 3.48 se observa las partes de un script en lenguaje C Sharp.



**Figura 3.48** Partes de un script en lenguaje C Sharp

Algunas de las tareas y configuraciones que se realiza en la pantalla principal de Unity son: creación de la interfaz gráfica para el usuario (ventanas de navegación), posicionamiento de las animaciones 3D en la pantalla, configuración de la reproducción de las animaciones 3D, asignación de scripts a los componentes o elementos de la ventana, establecimiento del nivel de iluminación de las animaciones 3D, entre otras tareas. En la Figura 3.49 se presenta el posicionamiento de un modelo 3D (alosaurio) en la pantalla principal de Unity.



**Figura 3.49** Posicionamiento de un alosaurio 3D en la pantalla principal de Unity.

### 3.2.3.1 Desarrollo de la ventana principal de la aplicación de realidad aumentada

Al iniciarse la aplicación se despliega la pantalla principal y se presentan tres opciones para navegar que son: ejecución de la realidad aumentada, configuración de las herramientas y la opción salir de la aplicación. El usuario puede seleccionar una de las tres opciones mediante un clic sobre la opción. En la Figura 3.50 y en la Figura 3.51 se presenta la interfaz de la pantalla principal y el diagrama de flujo respectivamente.



Figura 3.50 Pantalla principal de la aplicación de realidad aumentada

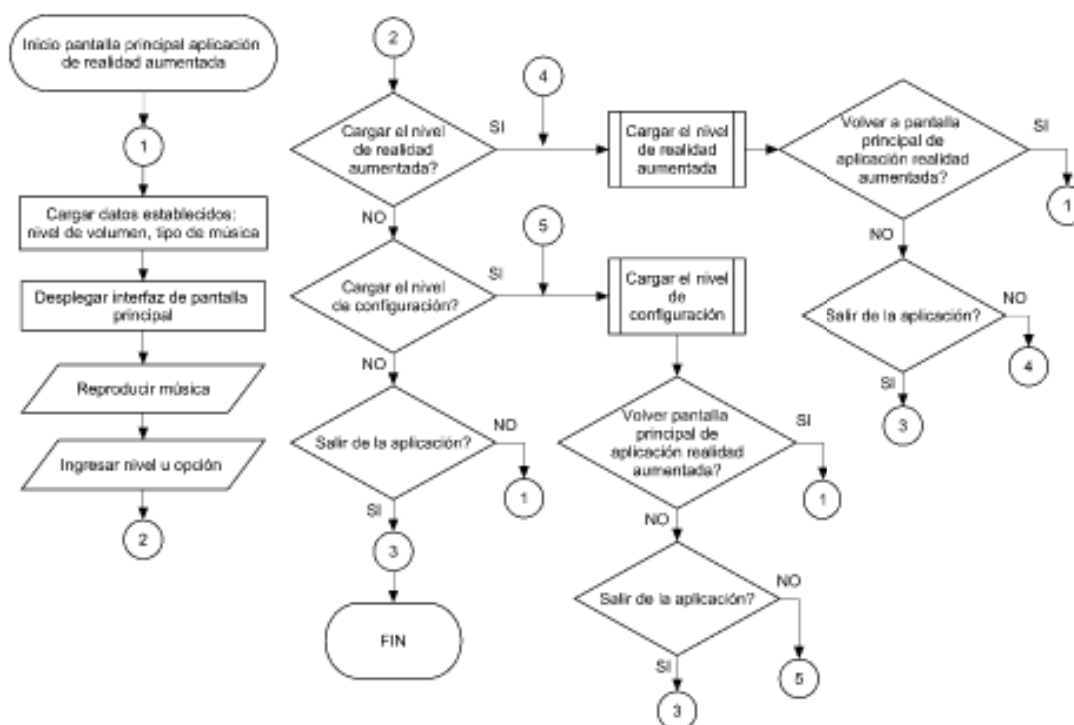


Figura 3.51 Diagrama de flujo de la pantalla principal de la aplicación de realidad aumentada

### 3.2.3.2 Desarrollo de la ventana de configuración de herramientas de la aplicación

La aplicación de realidad aumentada tiene las siguientes opciones a configurar: el nivel del volumen de los sonidos, la selección de música reproducida en la pantalla principal, la resolución de la pantalla, la utilización de la señal de los módulos sensores de movimiento para activación de la realidad aumentada y la señalización de las personas detectadas por la aplicación mediante la ubicación de un rectángulo alrededor de la imagen de la persona.

En la Figura 3.52 se muestra la interfaz de la ventana de configuración de herramientas de la aplicación de realidad aumentada. En la opción “música” se puede elegir cinco tipos de canciones de fondo. La opción “volumen” permite seleccionar el nivel de volumen desde cero hasta cien por ciento. En la opción “resolución”, se establece la resolución de la pantalla, para lo cual, se cuenta con tres tamaños que son: nivel bajo (480x270 píxeles), nivel medio (640x360 píxeles) y nivel alto (800x448 píxeles). La opción “utilizar señales de PIR” permite la utilización de las señales de los sensores de movimiento para la activación de la realidad aumentada, en caso de estar deshabilitada esta opción el sistema de realidad aumentada puede ser activado sin tomar en cuenta las señales de los sensores de movimiento. Finalmente, La opción “señalización de personas” permite enmarcar en un recuadro a las personas cuando la aplicación las reconozca, siempre y cuando esta opción se habilite.

Para ajustar cualquiera de las opciones, se da un clic sobre las barras y/o recuadros que se desea cambiar de la ventana de configuración. Cuando se realice una nueva configuración de las opciones, se debe dar un clic en el botón “guardar” para establecer los cambios, además, si se desea reiniciar la configuración a los valores preestablecidos (iniciales), se debe presionar el botón “reiniciar valores”. Para regresar a la pantalla principal o para salir completamente de la aplicación, se tiene dos botones ubicados en la parte superior derecha de la ventana principal.

En la Figura 3.53 se observa el diagrama de flujo de la ventana de configuración de opciones de la aplicación.



Figura 3.52 Ventana de configuración de opciones de la aplicación de realidad aumentada

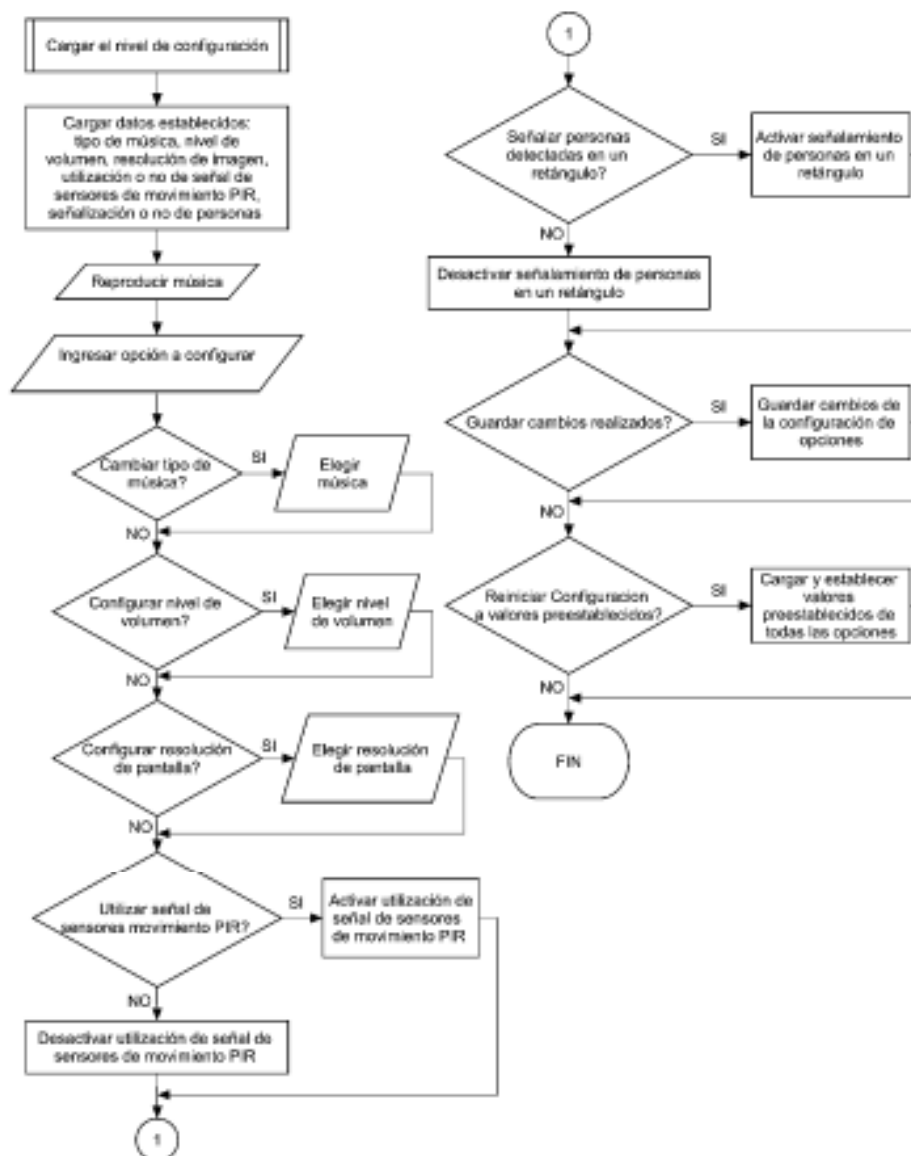


Figura 3.53 Diagrama de flujo de la ventana de configuración de opciones de la aplicación



### 3.2.3.3 Desarrollo de la ventana de ejecución de la realidad aumentada

En la ventana de ejecución de la realidad aumentada se realiza las siguientes tareas: obtención de la imagen del entorno mediante la cámara, procesamiento de la imagen, comunicación serial y configuración de los avatars o animaciones 3D, con el fin de obtener la realidad aumentada, misma que se reproduce en la pantalla.

Se tiene dos posibles casos para la activación de la realidad aumentada. En cada caso, se debe cumplir una serie de condiciones simultáneamente, las cuales se resumen en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Condiciones requeridas para la activación de la realidad aumentada según el caso

Condiciones Casos	Marca reconocida	Persona reconocida	Señal de activación de Sensores de movimiento PIR en alto (1L)
Activada la opción "utilizar señales de PIR"	✓	✓	✓
Desactivada la opción "utilizar señales de PIR"	✓	✓	X

Una vez inicializada la ventana de ejecución de la realidad aumentada, se cargan los datos de la configuración inicial, posterior a esto, se ejecutarán las rutinas de: obtención de la imagen del entorno a través de la cámara, procesamiento de la imagen y obtención de datos del microcontrolador mediante comunicación serial. A continuación, se verifican las condiciones de activación de la realidad aumentada para cada uno de los dos casos enunciados en la Tabla 3.2, si satisfacen las condiciones, se presenta la imagen del entorno con las animaciones 3D en la pantalla, caso contrario, se muestra únicamente la imagen real del entorno obtenida por la cámara. Las animaciones 3D después de ser activado el sistema de realidad aumentada, ejecutan una secuencia de movimientos en la pantalla.

En la Figura 3.54 se presenta el diagrama de flujo de la ventana de ejecución de la realidad aumentada.

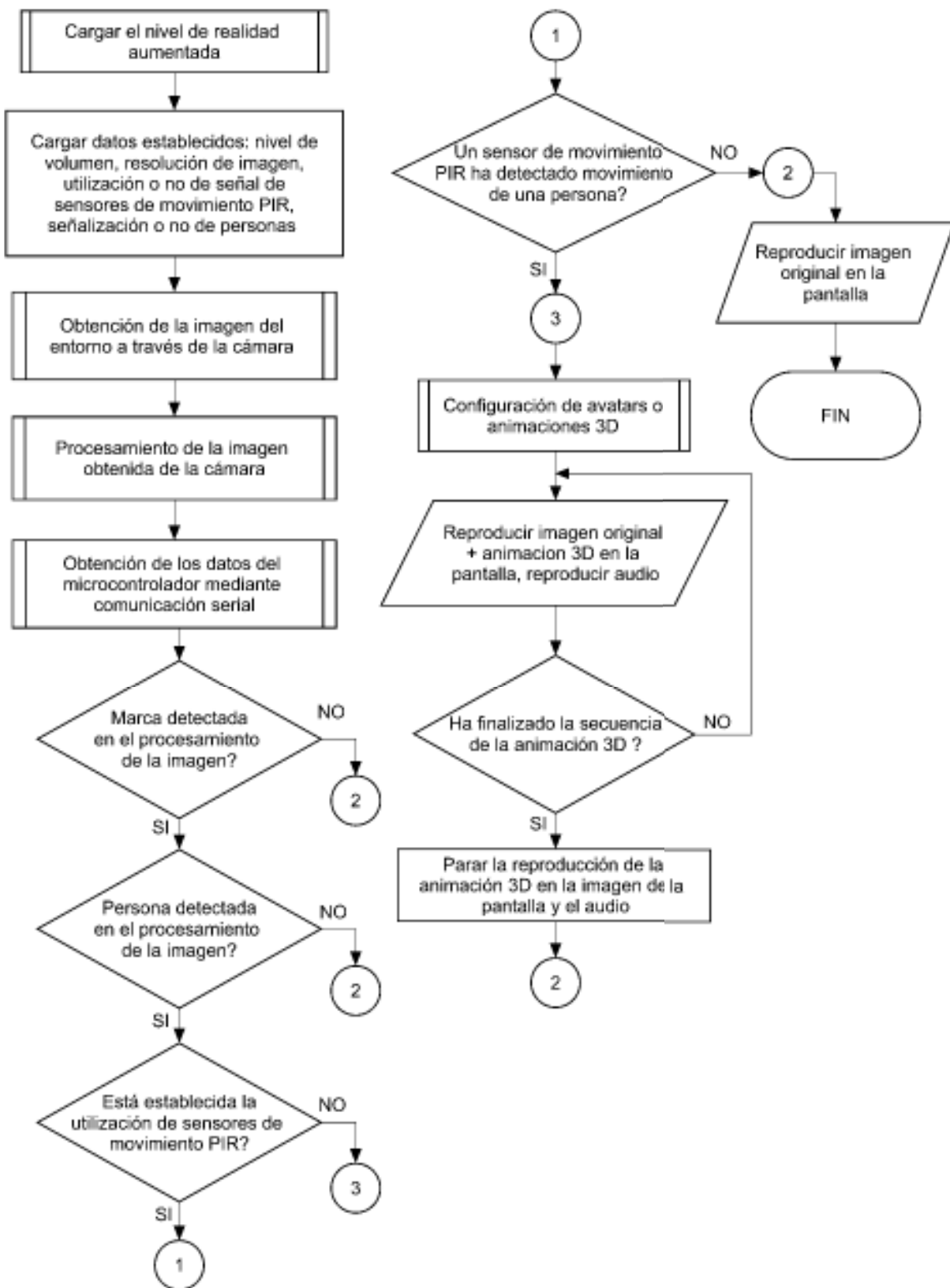
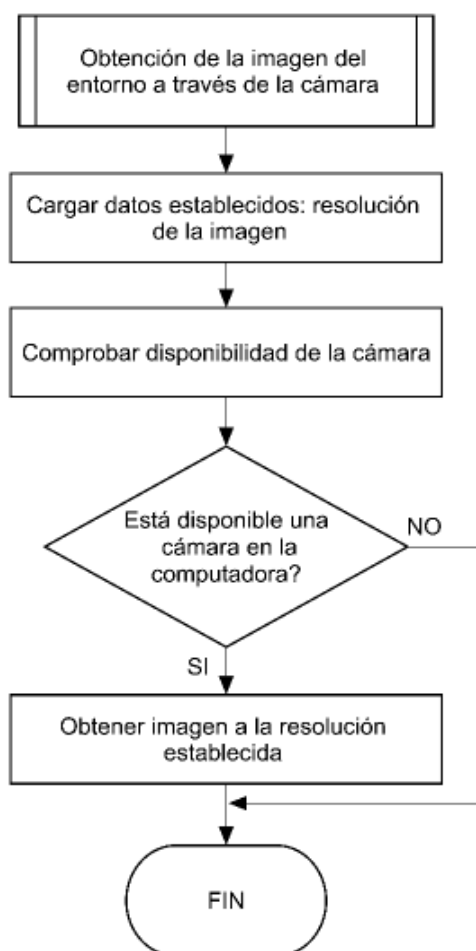


Figura 3.54 Diagrama de flujo de la ventana de ejecución de la realidad aumentada

### 3.2.3.3.1 Rutina de obtención de la imagen del entorno a través de la cámara

La imagen del entorno obtenida por la cámara es procesada por la computadora. Esta imagen se utiliza para el reconocimiento de la marca y de las personas, así como también para ser proyectada en la pantalla del sistema junto con las animaciones 3D. En la Figura 3.55 se presenta el diagrama de flujo de la rutina de obtención de la imagen del entorno a través de la cámara.



**Figura 3.55** Diagrama de flujo de la rutina de obtención de la imagen del entorno

### 3.2.3.3.2 Rutina de procesamiento de la imagen obtenida por la cámara

El procesamiento de la imagen, se realiza mediante el plugin de OpenCV para Unity, el cual, ofrece librerías para procesamiento de imágenes. Para el reconocimiento de la marca, se utiliza la librería MarkerBased AR Sample, la cual, reconoce códigos

matriciales QR en una imagen, y permite agregar objetos o animaciones 3D sobre dicha imagen.

Para realizar el reconocimiento de las personas en la imagen, se utiliza la librería HOG Descriptor Sample, la cual, permite reconocer a las personas con una forma estructural representada por: una cabeza, dos brazos, un torso y dos piernas; por lo que el reconocimiento de una persona utilizando esta librería, no toma en cuenta el color de piel y rostro. Además, esta librería permite conocer la ubicación de las personas detectadas en la imagen, con la información obtenida se programa la ubicación inicial de las animaciones 3D.

La librería MarkerBased AR Sample se utiliza para reconocer la marca en la imagen del entorno real y la forma del código matricial QR es ingresada en la pantalla principal de Unity. La marca tiene la forma de una letra G, en relación a la primera letra del nombre del museo “Gustavo Orcés V.”. En la Figura 3.56 se observa la configuración de la marca en la pantalla principal de Unity.



**Figura 3.56** Configuración de la marca en la pantalla principal de Unity

La información obtenida del procesamiento de la imagen, se utiliza para la activación de las animaciones 3D, por lo que esta información es requerida para verificar que se cumplan las condiciones de activación del sistema de realidad aumentada presentadas en la Tabla 3.2. En la Figura 3.57 se muestra el diagrama de flujo de la rutina de procesamiento de la imagen obtenida por la cámara. En la Figura 3.58 se presenta el funcionamiento de la rutina de procesamiento de la imagen.

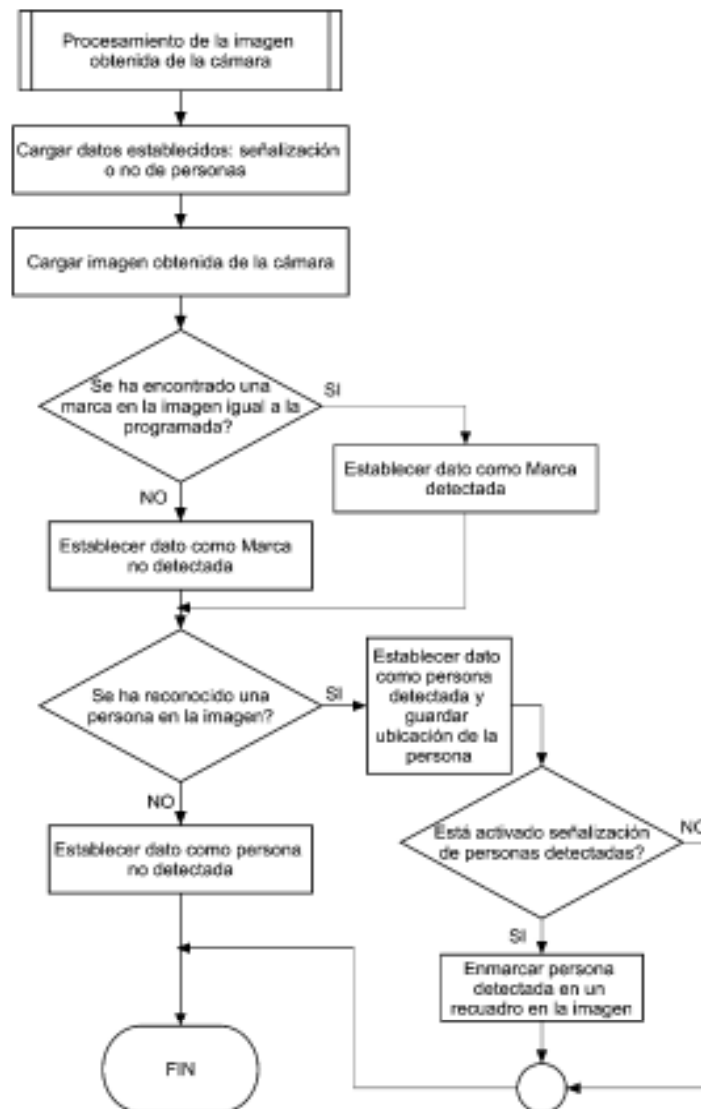


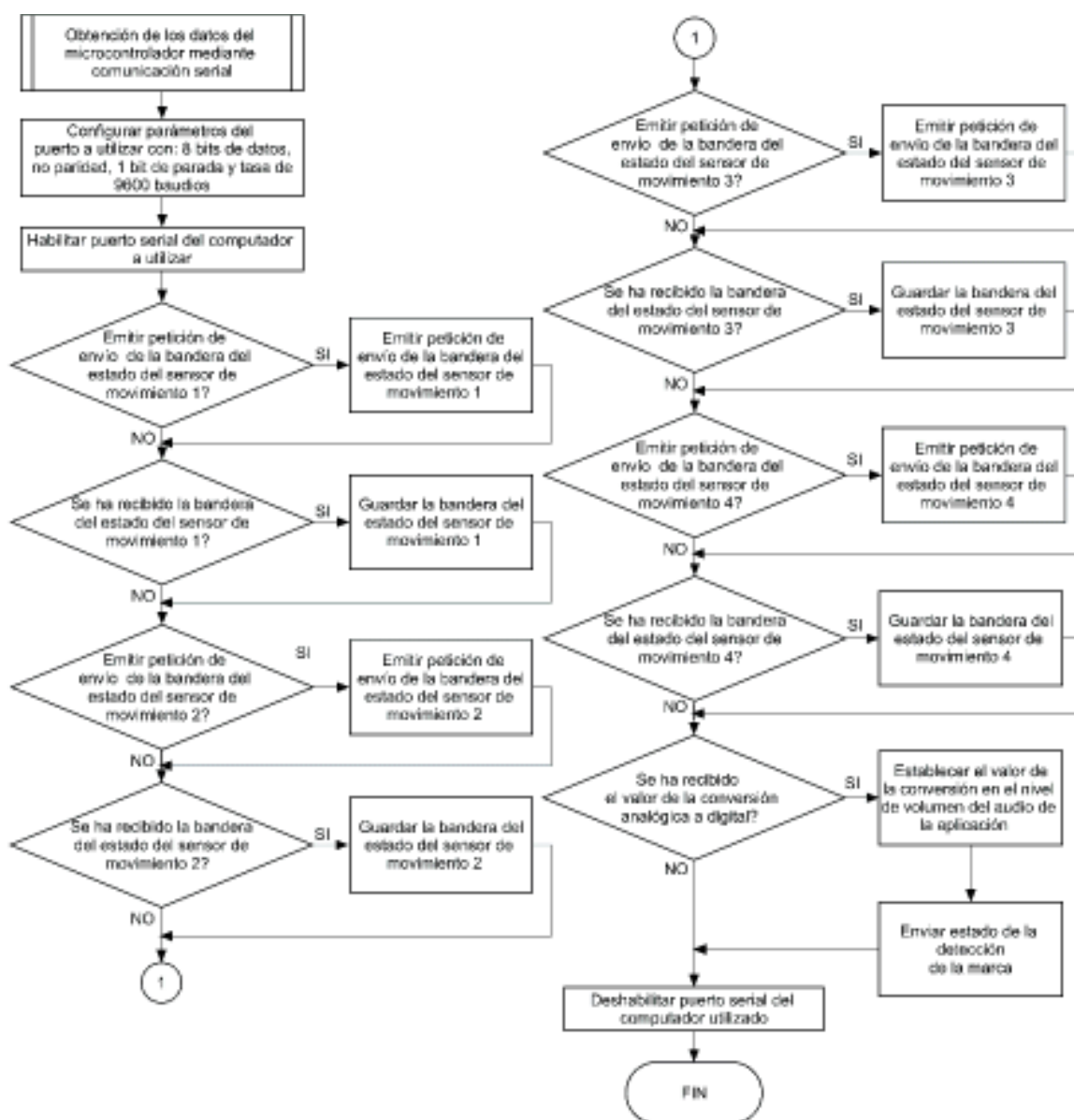
Figura 3.57 Diagrama de flujo de la rutina de procesamiento de la imagen



Figura 3.58 Funcionamiento de la rutina de procesamiento de la imagen

### 3.2.3.3.3 Rutina de obtención de los datos del microcontrolador por comunicación serial

Los datos de las señales de activación de los sensores de movimiento PIR y el resultado de la conversión analógica a digital, llegan al computador provenientes del microcontrolador Atmega164p para ser utilizados en la activación de la realidad aumentada y en el establecimiento del nivel de volumen de la aplicación respectivamente. En la Figura 3.59 se observa el diagrama de flujo de la rutina de obtención de los datos del microcontrolador mediante comunicación serial.



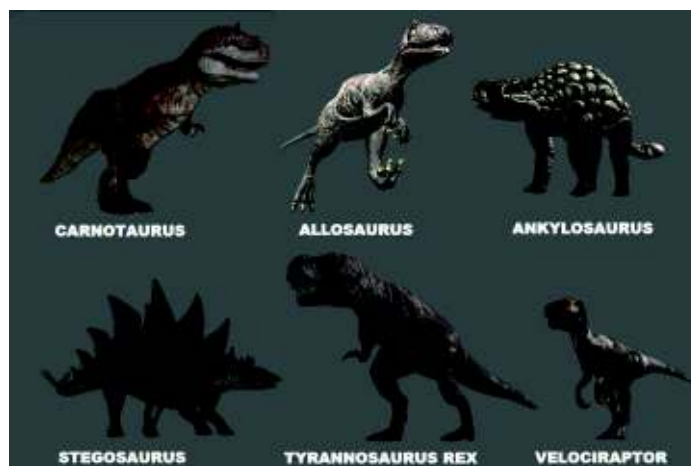
**Figura 3.59** Diagrama de flujo de la rutina de obtención de los datos del microcontrolador

El computador envía al microcontrolador el dato del estado de la detección de la marca, cuando la marca sea detectada, un LED se enciende en el tablero de control, caso contrario se apaga. La comunicación serial entre la computadora y el microcontrolador tiene los siguientes parámetros: 8 bits de datos, no paridad, 1 bit de parada y una velocidad de 9600 baudios. Antes de iniciar la comunicación se debe habilitar el puerto serial del computador a utilizarse, es decir, se debe comprobar su disponibilidad y cuando finalice la comunicación serial se debe deshabilitar el puerto serial. El computador es el encargado de iniciar la comunicación, es decir, es el dispositivo maestro, mientras que el microcontrolador es el esclavo, además, para la verificación de la ejecución de la comunicación serial, se enciende intermitentemente un LED.

El computador mediante la aplicación de realidad aumentada envía al microcontrolador, los mensajes de petición de la información para obtener los estados de cada uno de los sensores de movimiento, además, envía la información sobre la detección o no de la marca.

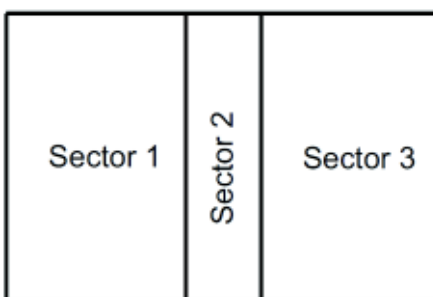
#### *3.2.3.3.4 Configuración de avatars o animaciones 3D*

Para las animaciones 3D del sistema de realidad aumentada, se utiliza un paquete de seis avatars o modelos de dinosaurios 3D, los cuales, pueden adquirir movimiento y animaciones mediante la programación de cada uno de estos. En la Figura 3.60 se muestra los modelos 3D que se emplean para la realidad aumentada.



**Figura 3.60** Modelos 3D utilizados para la realidad aumentada

Cuando el sistema de realidad aumentada se activa, los modelos 3D, ejecutan una secuencia aleatoria de movimientos, esto se realiza debido a que se requiere de un sistema dinámico e interactivo. Además, en esta rutina se configura la posición inicial del avatar en la imagen que se reproducirá en la pantalla, para lo cual, se toma como referencia la posición del usuario en la imagen. En la rutina del procesamiento de la imagen obtenida por la cámara descrita en el apartado 3.2.3.3.2, se reconoce a las personas presentes en la imagen, además, se obtiene la posición de la primera persona reconocida. Utilizando el dato de la posición de la primera persona reconocida, se programa la posición inicial del modelo 3D, con esto se busca que el avatar no se sobreponga a la persona en la imagen cuando comienza la secuencia de la animación. En la Figura 3.61 se observa la imagen de una ventana dividida en sectores, la cual, es tomada como referencia para la programación de la ubicación inicial de los avatars. En la Tabla 3.3 se presenta la ubicación inicial de los modelos 3D de acuerdo a la posición de la primera persona detectada en la imagen.



**Figura 3.61** División de la imagen de la pantalla en sectores

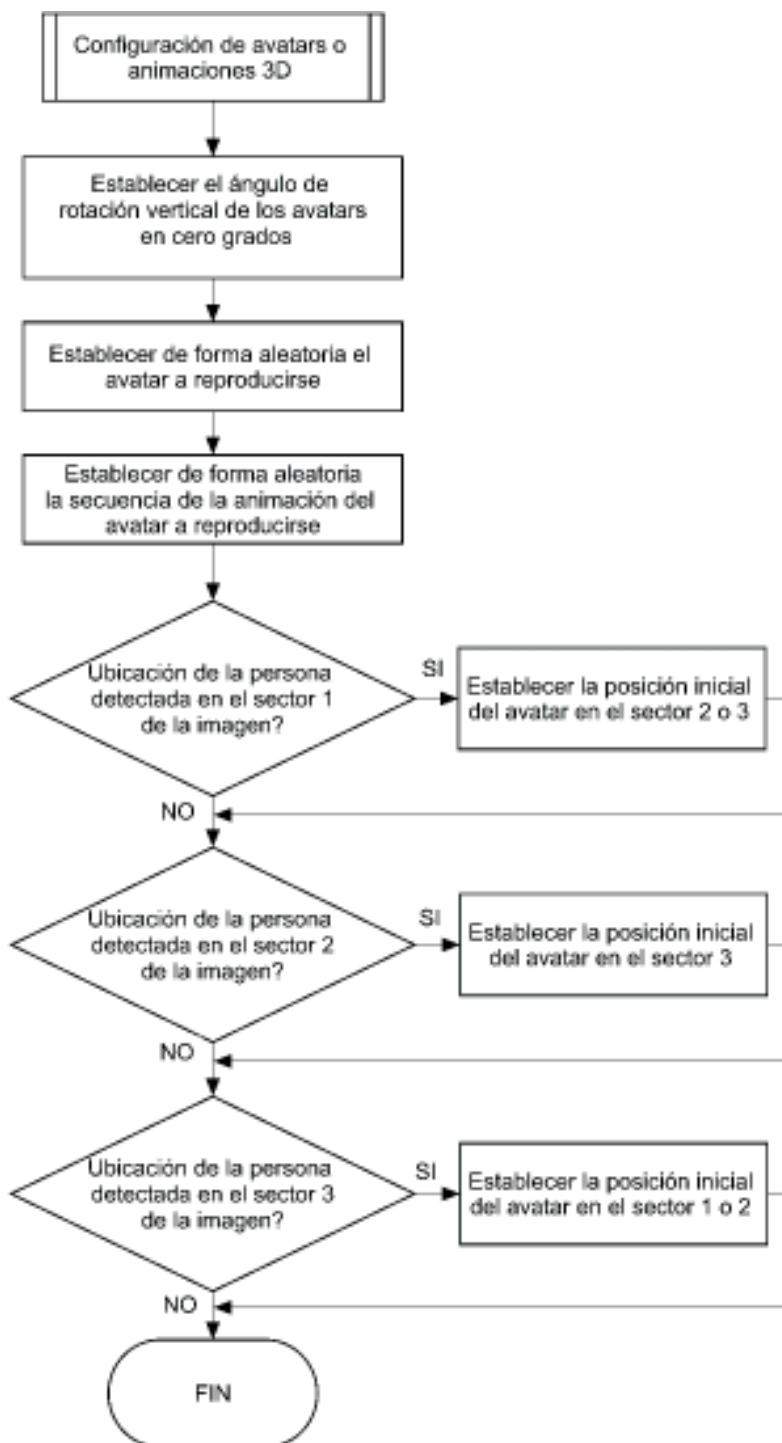
Tabla 3.3 Ubicación inicial de los avatars

Ubicación de la persona detectada	Posición inicial de los modelos 3D
Sector 1	Sector 2 o 3
Sector 2	Sector 3
Sector 3	Sector 1 o 2

Para programar la ubicación inicial de los modelos 3D, la posición de la marca juega un papel importante, debido a que es la encargada de orientar a los modelos 3D con



el ángulo de rotación vertical en cero grados, es decir, orientar a los avatars con la cabeza de frente en la imagen en la posición inicial programada. En la Figura 3.62 se muestra el diagrama de flujo de la rutina de configuración de las animaciones 3D.



**Figura 3.62** Diagrama de flujo de la rutina de configuración de las animaciones 3D

En la Figura 3.63 se observa el funcionamiento de la rutina de configuración de las animaciones 3D, en la cual, de acuerdo a la Figura 3.61 y la Tabla 3.3, el usuario está en el sector 2, por lo que la animación 3D aparece en el sector 3.



**Figura 3.63** Funcionamiento de la rutina de configuración de las animaciones 3D

## **CAPÍTULO 4**

### **INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS**

El presente capítulo describe como se realiza el proceso de instalación de los equipos, dispositivos electrónicos y elementos para los sistemas de iluminación y de realidad aumentada, en el museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V”.

#### **4.1 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

Para instalar el sistema de iluminación en los seis dioramas, se procede a retirar el cableado eléctrico existente, se cambia todas las lámparas a tecnología LED y se monta las diferentes estructuras y soportes para las lámparas, se retiran los interruptores y los sensores de movimiento antiguos, colocando nuevos sensores de presencia, además se instala un tablero de control. Para la instalación de la luminarias se toma en cuenta su ubicación, de tal manera que no se genere sombras en la parte posterior de cada diorama.

##### **4.1.1 DISPOSICIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

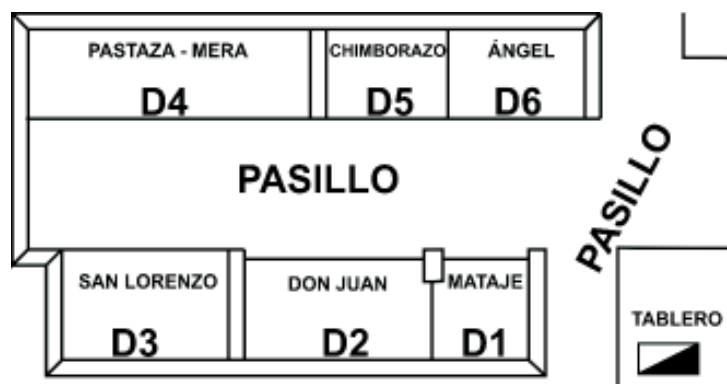
Cada elemento del sistema de iluminación tiene una ubicación determinada, cumpliendo requerimientos del personal del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés”.

Todo el cableado eléctrico está dirigido hacia el tablero de control que antes no existía, el cual, se encuentra en un espacio de acceso restringido, donde sólo los operarios pueden ingresar. Toda la instalación se la realiza cuidando la estética del lugar con el fin de que no se observen las luminarias, el cableado e interruptores haciendo que las representaciones luzcan lo más natural posible.

Se ha tomado en cuenta que mientras el usuario no se encuentre en el área del campo de acción de los sensores de presencia, las luminarias de los dioramas no deben encenderse.

#### 4.1.1.1 Montaje de tablero de control

Para el montaje del tablero se ha dispuesto una zona específica ubicada al inicio del pasillo, donde se encuentran los dioramas. En la Figura 4.1 se muestra la ubicación del tablero de control con referencia a los dioramas a iluminar.



**Figura 4.1** Ubicación del tablero de control

Dentro del tablero de control se instalan todos los componentes necesarios para el sistema de iluminación como son: los módulos relés de 8 vías, interruptores termomagnéticos, interruptores, canaletas, marquillas, cables, tomacorrientes, etc. Los cuales se pueden observar en la Figura 4.2.



**Figura 4.2** Componentes dentro del tablero de control del sistema de iluminación

En la Figura 4.3 se muestra la parte delantera del tablero de control del sistema de iluminación, con los interruptores para seleccionar el modo de operación y para el encendido o apagado del sistema.



**Figura 4.3** Parte delantera del tablero de control del sistema de iluminación

#### 4.1.1.2 Montaje de la pantalla táctil de 7 pulgadas

Para el montaje de la pantalla táctil de 7 pulgadas, se arma la estructura, en la cual, se coloca tanto la pantalla como la Raspberry Pi 3 B, después se coloca en la pared junto al tablero de control como se observa en la Figura 4.4. Para alimentar tanto la pantalla como la Raspberry Pi 3 B se utiliza la fuente comercial descrita en el apartado 2.1.2.1, la cual, se conecta a un toma corriente dentro del tablero de control.



**Figura 4.4** Montaje pantalla táctil 7 pulgadas

#### 4.1.1.3 Montaje del cableado eléctrico del sistema de iluminación

Para proceder al montaje del cableado eléctrico, se abre la parte superior de cada uno de los dioramas como se muestra en la Figura 4.5, una vez abierto, se retira el cableado existente y se coloca el nuevo cableado eléctrico.



**Figura 4.5** Instalación del cableado eléctrico en los dioramas

Para la instalación del cableado eléctrico se toma como referencia el cálculo realizado en el apartado 2.1.4, en el cual, se determina los siguientes conductores: para la fase un conductor flexible AWG 16 color azul por diorama, por lo tanto, se tiene 6 conductores; para el neutro se utiliza dos conductores flexibles AWG 12 color negro, uno para los dioramas D1, D2, D3 y otro para los dioramas D4, D5 y D6.

#### **4.1.1.4 Montaje de los sensores de presencia**

Los sensores de presencia se ubican en la parte superior de cada diorama como se muestra en la Figura 4.6.

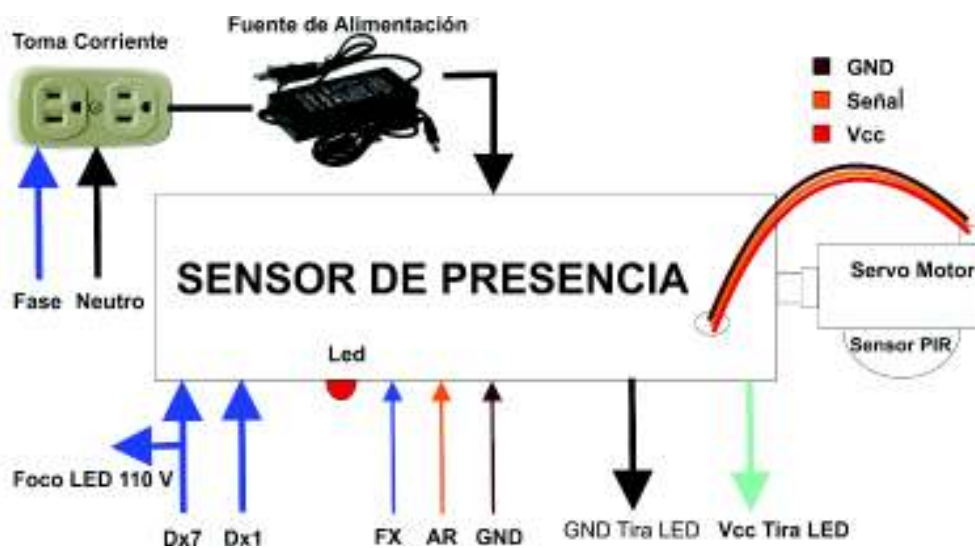


**Figura 4.6** Ubicación del sensor de presencia en el diorama

Para conectar los seis sensores de presencia con el tablero de control se utiliza un cable FTP y un conductor de color negro calibre AWG 12 para neutro por cada tres dioramas. La conexión que se realiza entre el sensor y el tablero de control se muestra en la Figura 4.7, en la cual, los conductores están identificados por colores y con sus respectivas marquillas, las líneas más delgadas representan los hilos de cable FTP (Fx, AR y GND) enunciados en el apartado 2.1.5.2. Se utiliza una fuente de alimentación de 12 VDC a 5A para cada uno de los 6 dioramas.

Mediante un conductor identificado con la marquilla AR, la Raspberry PI 3 envía una señal para comunicar a todos los sensores de presencia si el sistema se encuentra en modo manual o automático.

En la Figura 4.7 el conductor con la marquilla Fx es la conexión diferente que se tiene en cada uno de los sensores de presencia, el conductor Fx sirve para encender independientemente las luminarias de cada diorama, además otra diferencia en las conexiones, son los conductores denotados con las marquillas Dx1 y Dx7, los cuales alimentan con 110 VAC a las luminarias de cada diorama, por lo tanto, los conductores identificados con la letra “x” hacen referencia al número del diorama donde está conectado dicho conductor. En la Tabla 4.1 se muestra las diferencias en las conexiones de cada sensor de cada uno de los seis dioramas.



**Figura 4.7** Conexión de los sensores de presencia de los dioramas

**Tabla 4.1** Conexiones de los sensores de presencia en cada uno de los seis dioramas

Dioramas	Conexiones		
	Diferentes en cada sensor	Comunes en todos los sensores	Comunes en cada sensor
Mataje D1	F1 - D11 - D17	AR - GND	-GND Tira LED - Vcc Tira LED - servomotor - Fuente de alimentación - Foco LED 110 V
Don Juan D2	F2 - D21 - D27		
San Lorenzo D3	F3 - D31 - D37		
Pastaza Mera D4	F4 - D41 - D47		
Chimborazo D5	F5 - D51 - D57		
Ángel D6	F6 - D61 - D67		

#### 4.1.1.5 Montaje de las luminarias

Para realizar el montaje de las luminarias en cada uno de los dioramas, se procede a retirar todas las luminarias existentes. Se tiene varios tipos de soportes dependiendo de la potencia de las lámparas con tecnología LED a utilizar, en la Figura 4.8 se observa uno de los tipos de soportes de las lámparas.

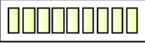








**Figura 4.8** Soporte para lámpara ubicado en el techo del diorama

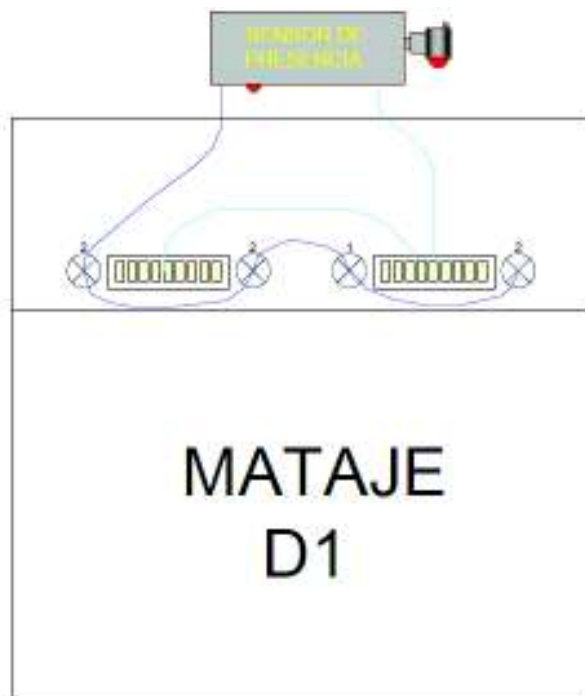
En cada uno de los dioramas se ubican luminarias de diferente potencia y tipo, con el fin de obtener una correcta iluminación. Se utiliza como primera instancia el cálculo de iluminación realizado en el apartado 2.1.3. Al momento de realizar las pruebas en uno de los dioramas se observa la falta de iluminación y que cada diorama necesita una



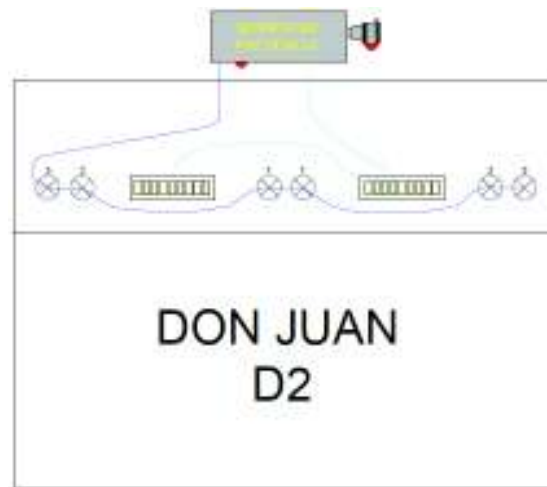
iluminación en específico, de acuerdo a lo que el artista, museólogo y biólogo desea mostrar en cada una de las representaciones. A continuación, en las Figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 se muestra la simbología y la distribución final de las luminarias en cada uno de los dioramas.

LEYENDA	
	TIRA LED
	LUMINARIA 5W
	LUMINARIA 9W
	LUMINARIA 27W
	ALIMENTACIÓN 110V (RED)
	ALIMENTACIÓN LUMINARIAS 110V
	ALIMENTACIÓN LUMINARIA LED 12V

**Figura 4.9** Simbología de la distribución de luminarias en los dioramas



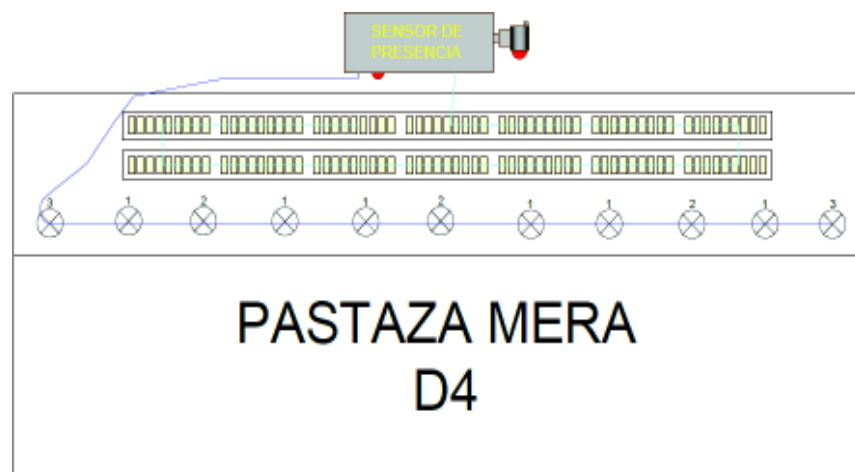
**Figura 4.10** Distribución de luminarias en el diorama 1



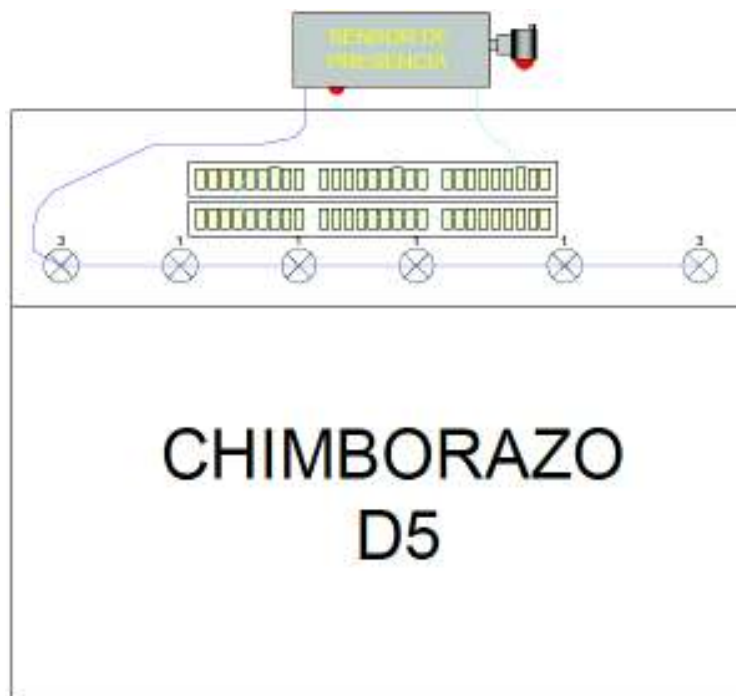
**Figura 4.11** Distribución de luminarias en el diorama 2



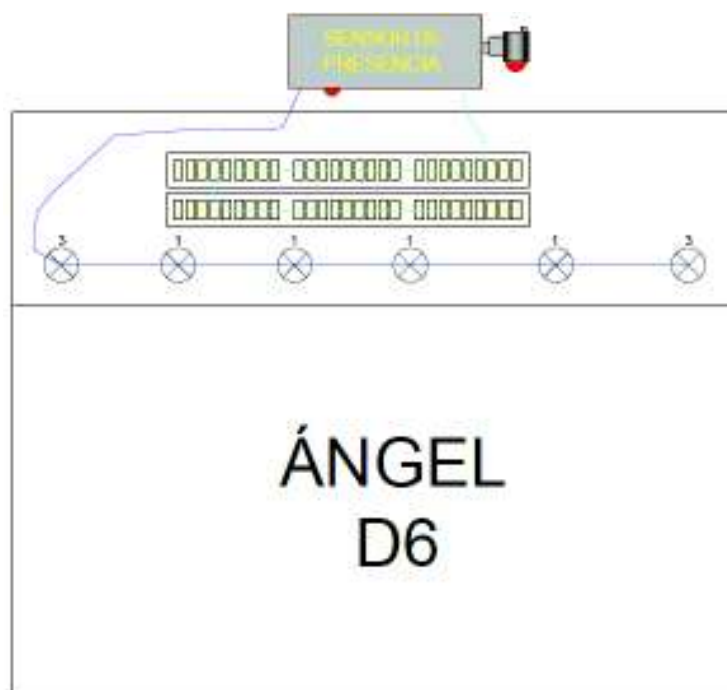
**Figura 4.12** Distribución de luminarias en el diorama 3



**Figura 4.13** Distribución de luminarias en el diorama 4



**Figura 4.14** Distribución de luminarias en el diorama 5



**Figura 4.15** Distribución de luminarias en el diorama 6

En el Anexo C se muestra los planos de la distribución de las luminarias de cada uno de los seis dioramas con su respectiva simbología.

## 4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

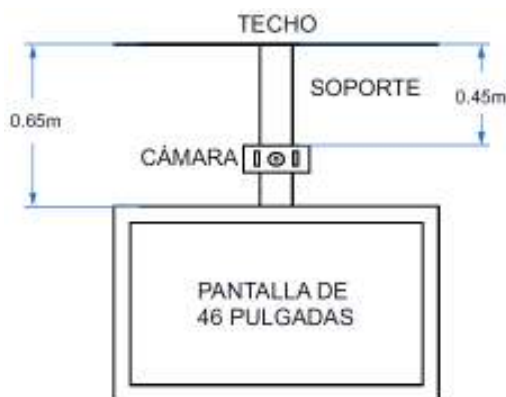
Para la instalación del sistema de realidad aumentada, se toma en consideración el espacio físico donde se desarrollará el sistema, los dispositivos y elementos electrónicos que se utilizan.

### 4.2.1 DISPOSICIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

El sistema de realidad aumentada está ubicado en el área de paleontología del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés”, por lo cual, cada uno de los elementos que se montan en esta área no deben afectar la armonía del lugar. Tomando en cuenta la anterior acotación, se determinó que tanto el computador que ejecuta la aplicación y el tablero de control no deben estar a la vista de los usuarios. Para ubicar la pantalla, la cámara, la marca, el servomotor y los sensores de movimiento, se dispone de una superficie en el sector de paleontología de alrededor de 25 metros cuadrados. Además, la altura desde el suelo al techo en esta zona es de 2.75 metros.

#### 4.2.1.1 Montaje de la pantalla y cámara

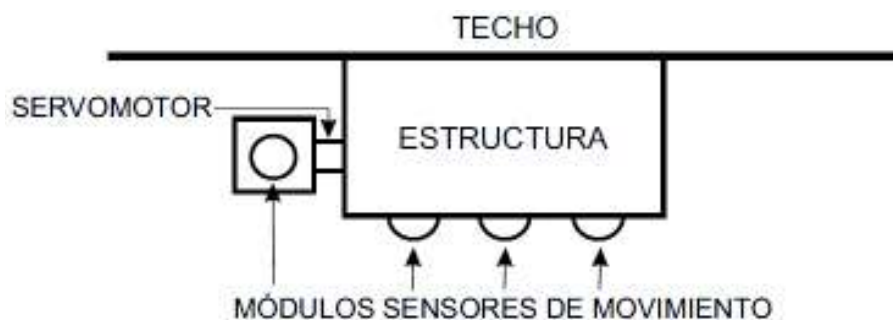
La pantalla y la cámara se ubican debajo del techo a 0.65 metros y 0.45 metros respectivamente. Para el montaje de estos elementos, se utiliza un soporte metálico que permite suspender a la pantalla y la cámara en la posición deseada, como se muestra Figura 4.16.



**Figura 4.16** Diagrama del montaje de la pantalla y cámara

#### 4.2.1.2 Montaje de los sensores de movimiento y servomotor

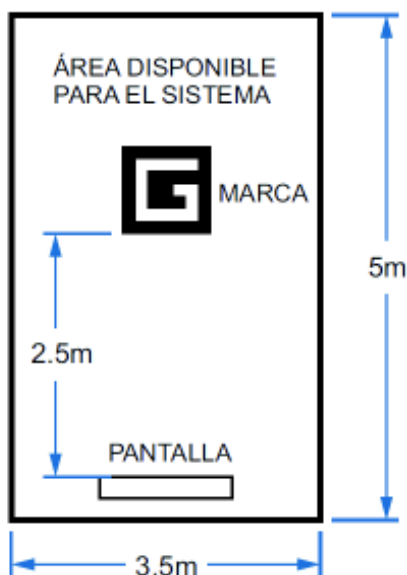
Los sensores de movimiento y el servomotor están ubicados a nivel del techo a una distancia de separación de 3 metros de la pantalla por encima de la marca. Para montar los dispositivos se utiliza la estructura descrita en el apartado 2.2.1.2. En la Figura 4.17 se muestra un diagrama del montaje de los sensores de movimiento y del servomotor.



**Figura 4.17** Diagrama del montaje de los sensores de movimiento y servomotor

#### 4.2.1.3 Montaje de la marca

La marca está ubicada a nivel del suelo, a una distancia de 2.5 metros de la pantalla como se muestra en la Figura 4.18. La marca se monta sobre una alfombra.



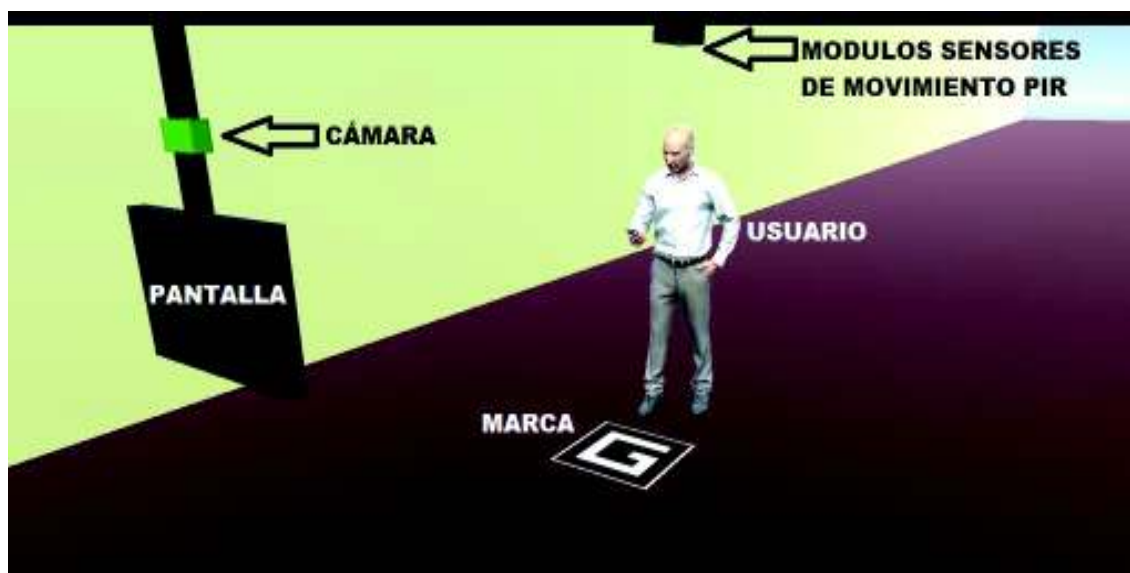
**Figura 4.18** Diagrama del montaje de la marca

#### 4.2.1.4 Montaje del tablero de control

Los circuitos de control del sistema de realidad aumentada están ubicados dentro del tablero de control, el cual, se monta sobre una pared atrás de la zona de paleontología. Los cuatro sensores de movimiento y el servomotor descritos anteriormente están interconectados con el circuito de control mediante dos cables de tipo UTP que se enrutan mediante canaletas. Junto al tablero de control se ubica la computadora, la cual, es la encargada de ejecutar la aplicación de realidad aumentada.

#### 4.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

Una vez instalados y montados todos los elementos del sistema de realidad aumentada funcionan de la siguiente manera: la cámara se encuentra siempre enfocando el área donde se ubica la marca, con el fin de detectarla en todo momento mediante el procesamiento de la imagen. Si la aplicación detecta un usuario, y alguno de los cuatro sensores PIR detecta movimiento, el sistema se activa, comenzando la reproducción de las animaciones 3D en la pantalla y los audios. En la Figura 4.19 se presenta la disposición de los elementos del sistema de realidad aumentada. Como requisito para el funcionamiento del sistema, se tiene que la marca debe estar siempre descubierta y enfocada por la cámara sin tener usuarios sobre ésta.



**Figura 4.19** Disposición de los elementos del sistema de realidad aumentada

El detalle de las conexiones de los equipos, dispositivos electrónicos y las configuraciones del software del sistema de realidad aumentada, se presentan en el Anexo A.

## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas para cada uno de los modos de operación de los sistemas de iluminación y realidad aumentada.

#### **5.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

Cada una de las pruebas del sistema de iluminación se han realizado tomando en cuenta las necesidades de los usuarios del mismo.

##### **5.1.1 PRUEBAS MODOS DE OPERACIÓN**

Estas pruebas se realizaron para los dos modos de operación del sistema de iluminación, es decir, para modo manual y modo automático, las mismas que se las detalla a continuación:

###### **5.1.1.1 Prueba del sistema de iluminación en modo manual**

Para esta prueba se encendió y apagó las luminarias desde los interruptores físicos ubicados en el tablero de control y mediante la interfaz gráfica presionando botones virtuales. Además, se realizó una prueba del funcionamiento de los botones virtuales de encender y apagar todas las luminarias de los dioramas a la vez.

###### *5.1.1.1.1 Pruebas del sistema iluminación con usuarios*

La finalidad de esta prueba es garantizar el correcto funcionamiento del sistema de iluminación cuando el museo tiene grandes cantidades de visitantes o se necesita dar una función de títeres en el pasillo que se ubican los seis dioramas. En la Figura 5.1 se observa una cantidad considerable de usuarios presentes en los dioramas, mientras que en la Figura 5.2 se observa visitantes en una función de títeres en el pasillo donde se ubican los dioramas. Para esta prueba se activó el sistema en modo manual desde el tablero de control, iluminando todos los seis dioramas.





**Figura 5.1** Dioramas con la presencia de visitantes



**Figura 5.2** Función de títeres en el área de los dioramas

### **5.1.1.2 Prueba del sistema de iluminación en modo automático**

En el modo de operación automático se realizaron dos pruebas que son: funcionamiento de los sensores de presencia y luminarias.

#### *5.1.1.2.1 Pruebas de los sensores de presencia*

Se realizó las pruebas de los sensores de presencia con un usuario para observar si los sensores tienen un correcto funcionamiento detectando al visitante, también se observó si el tiempo de respuesta es el adecuado y si se activan los sensores al tener usuarios en un diorama cercano al que se prueba. La prueba de funcionamiento en la detección de usuarios en cada diorama, se realizó haciendo que una persona pase por debajo del sensor de presencia y se observó si ésta ha sido detectada mediante el LED indicador del sensor. En la Figura 5.3 se observa que al pasar un visitante se

iluminan los dioramas, por lo tanto, el funcionamiento de los sensores es correcto. Esto se realiza en cada uno de los seis dioramas.



**Figura 5.3** Prueba de sensibilidad del sensor de movimiento PIR HC-SR501

Una vez realizada la prueba anterior se observa que se encienden las luminarias de dos dioramas ubicados uno al frente del otro, por lo que se procede a tapar parcialmente con cinta adhesiva de color negro los lentes de los sensores de movimiento PIR HC-SR501, con el fin de impedir la activación de un sensor de un diorama cercano, disminuyendo el área de detección. Se puede observar en la Figura 5.4 como se solucionó el problema.



**Figura 5.4** Sensor de movimiento con disminución en el área de sentido

Una vez corregido el problema de activación de los sensores de los dioramas cercanos al diorama que se desea iluminar, se utilizó un flexómetro para medir y determinar las

áreas de los campos de activación de los sensores. Las áreas se muestran en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1** Áreas de detección de sensores de presencia por diorama

# Diorama	Nombre del Diorama	Área de detección m <sup>2</sup>
D1	MATAJE	0.52
D2	DON JUAN	1.17
D3	SAN LORENZO	1.2
D4	PASTAZA – MERA	1.2
D5	CHIMBORAZO	1.125
D6	ÁNGEL	0.84

Para la prueba de los sensores de presencia cuando los usuarios permanecen de forma estática bajo éstos, se ubicó a un usuario sin movimiento debajo del sensor y se observó que el sensor no detecta al visitante, por lo tanto, las luminarias del diorama se apagan como se observa en la Figura 5.5.



**Figura 5.5** Error en la detección de sensado de un usuario en estado estático

Para solucionar este problema, se procedió a realizar un cambio de la programación en la lectura del estado del sensor de presencia. La solución fue realizar una triple lectura del estado del sensor PIR HC-SR501 cada 500 ms, con lo cual, se tiene un sensado redundante que asegura un sensado correcto de la presencia o no de usuarios.

#### 5.1.1.2.2 Prueba de funcionamiento de las luminarias

En el modo de operación automático, al no tener presencia de usuarios en los dioramas, las luminarias de 12 VDC deben permanecer encendidas con iluminación tenue. Para comprobar el correcto funcionamiento del modo de operación automático, se realizó una prueba que consistió en lo siguiente: inicializar el sistema de iluminación y observar que al no tener presencia de usuarios, los dioramas se deben iluminar de forma tenue. Para esta prueba se obtuvo un resultado positivo como se muestra en la Figura 5.6, en la cual, se observa la diferencia entre la iluminación tenue (parte izquierda) e iluminación completa (parte derecha) en los dioramas.



**Figura 5.6** Diferencia entre iluminación tenue y completa en los dioramas

#### 5.1.2 PRUEBAS DE LA CORRECTA ILUMINACIÓN DE LOS DIORAMAS

De acuerdo a los cálculos de iluminación realizados por el método de lúmenes descritos en el apartado 4.1.3, se procedió a instalar las luminarias en cada uno de los dioramas. En la instalación de la iluminación, debido a la forma arquitectónica de los dioramas, se colocaron las luminarias a una distancia corta de los animales disecados, representaciones de árboles y ramas. Al momento de realizar la prueba de iluminación, se produjeron sombras en la parte posterior de cada diorama, afectando la visibilidad de los usuarios y disminuyendo el realismo de las representaciones de los hábitats, por lo cual, se reubicaron algunas lamparas y se colocaron más de estas debido a que cada diorama es único y realista. En Figura 5.7 se muestra la eliminación de las

sombras en la iluminación de los dioramas, producidas por los objetos ubicados delante de las luminarias, por medio del cambio de ubicación de las mismas.



**Figura 5.7** Eliminación de sombras mediante el cambio de la ubicación de las luminarias

### 5.1.3 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

A continuación, se procede a indicar cada uno de los dioramas después de la colocación de más luminarias y el redireccionamiento de las mismas, para eliminar las sombras que se producían. En la Figura 5.8 se muestra el diorama 1 denominado Mataje, donde no se observa la presencia de sombras y se representa un clima cálido mediante la iluminación, como se observa el diorama tiene un alto grado de realismo.



**Figura 5.8** Iluminación Diorama 1 denominado Mataje

En la Figura 5.9 se muestra la iluminación del diorama denominado Don Juan, el cual, genera una pequeña sombra en el tronco del árbol, este efecto se lo hizo debido a que en la realidad las ramas de los árboles generan sombras hacia el tronco o suelo.



**Figura 5.9** Iluminación Diorama 2 denominado Don Juan

La iluminación del diorama 3 denominado San Lorenzo se muestra en la Figura 5.10, donde se observa una correcta iluminación sin mostrar sombras en la parte posterior. Además, se ubicó luminarias LED debajo del diorama, con el fin de obtener un efecto más realista del agua del río.



**Figura 5.10** Iluminación diorama 3 denominado San Lorenzo

En la Figura 5.11 se muestra el diorama 4 denominado Pastaza-Mera. Para lograr una correcta iluminación de este diorama, se realizaron múltiples cambios en la posición de las luminarias, con el fin de no generar sombras debido a la existencia de gran cantidad de animales disecados, representaciones de árboles y ramas ubicados cerca a las luminarias. Por otra parte este diorama debía tener gran cantidad de iluminación debido a la zona geográfica y la hora del día que se desea representar, además de tener especies pequeñas de flora y fauna que antes no se alcanzaban a observar.



**Figura 5.11** Iluminación diorama 4 denominando Pastaza-Mera

El diorama 5 denominado Chimborazo se muestra en la Figura 5.12, en el cual, se desea mostrar un sol radiante del mediodía sobre la vegetación..



**Figura 5.12** Iluminación diorama 5 denominado Chimborazo

En la Figura 5.13 se muestra el diorama 6 denominado Ángel, en el cual, la iluminación desea representar la radiación del sol pasado el mediodía.



**Figura 5.13** Iluminación diorama 6 denominado Ángel

## **5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA**

Se realizaron las pruebas en el sistema de realidad aumentada, con la finalidad de probar que su funcionamiento está acorde a los objetivos del proyecto.

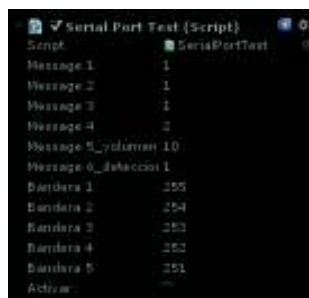
### **5.2.1 PRUEBAS DEL SISTEMA REALIDAD AUMENTADA**

En el sistema de realidad aumentada, se probó el funcionamiento de: la comunicación serial entre la computadora y el microcontrolador, los sensores de movimiento, la aplicación de realidad aumentada con usuarios.

#### **5.2.1.1 Pruebas de la comunicación serial**

Antes de la verificación de la comunicación, se probó la conectividad de todos los elementos del sistema, utilizando un multímetro en la opción de continuidad. Para verificar el funcionamiento de la comunicación serial entre el microcontrolador y el computador, se observó los datos obtenidos de la comunicación en la pantalla principal de Unity. En la Figura 5.14 se muestran los datos obtenidos de la comunicación serial en Unity 3D.





**Figura 5.14** Datos de la comunicación serial obtenidos en Unity 3D

Al observar los datos, se obtuvo una comunicación satisfactoria, sin retardos ni distorsiones en la información.

### 5.2.1.2 Pruebas de los cuatro sensores PIR

#### 5.2.1.2.1 Pruebas del módulo sensor de movimiento configurado en modo de un solo disparo

Este sensor de movimiento, se configuró en el modo de un solo disparo, por lo cual, al detectar el movimiento de una persona genera un solo pulso de activación cuya duración se configuró en aproximadamente 15 segundos. Cuando finaliza el pulso de activación, el sensor PIR tiene un tiempo de bloqueo de aproximadamente de 3 a 7 segundos según las especificaciones del fabricante, por lo cual, el sensor no detecta movimiento en este intervalo de tiempo. Para la prueba del sensor se configuró en el modo de un solo disparo y se midió el área del campo de acción utilizando un flexómetro, además se tomó el tiempo de activación y de bloqueo del sensor, obteniendo los resultados que se muestra en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Área de acción, tiempo de activación y bloqueo del sensor PIR en modo de un solo disparo

	Tiempo promedio de duración del pulso de activación [s]	Tiempo promedio de bloqueo [s]	Área promedio de acción [m <sup>2</sup> ]
Sensor de movimiento 1	15.5	6.6	6.38

A partir de los datos presentados, se comprobó el correcto funcionamiento del sensor de movimiento en este modo de operación.

### 5.2.1.2.2 Pruebas de los dos sensores PIR configurados en modo de disparo repetido

Cuando el sensor PIR HC-SR501 se configura en modo de disparo repetido se genera un pulso en alto mientras detecte movimiento de una persona, para posteriormente pasar al estado de bloqueo de aproximadamente 3 a 7 segundos. Para la prueba del sensor se configuró en el modo de disparo repetido y se midió el área del campo de acción utilizando un flexómetro, además se tomó el tiempo de activación y de bloqueo, obteniendo los resultados que se muestra en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Área de acción, tiempo de activación y bloqueo de los sensores PIR en modo de disparo repetido

	Tiempo de duración del pulso de activación [s]	Tiempo promedio de bloqueo [s]	Área promedio de acción [m <sup>2</sup> ]
Sensor de movimiento 2	Duración variable, activo mientras se detecta movimiento	6.3	6.79
Sensor de movimiento 3	Duración variable, activo mientras se detecta movimiento	6	7.05

A partir de los datos presentados, se comprobó el correcto funcionamiento de los sensores de movimiento en este modo de operación.

### 5.2.1.2.3 Pruebas del sensor PIR acoplado al servomotor configurado en modo de un solo disparo

El objetivo de acoplar el sensor de movimiento al servomotor es detectar presencia cuando el usuario se encuentre estático, para esto el servomotor gira 90 grados el sensor de movimiento configurado en modo de un solo disparo, y por velocidad relativa se detecta la presencia del usuario sin movimiento. Para la prueba del sensor se midió el área del campo de acción utilizando un flexómetro, además se tomó el tiempo de activación y de bloqueo, obteniendo los resultados que se muestra en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4** Área de acción, tiempo de activación y bloqueo del sensor PIR acoplado al servomotor en modo de un solo disparo

	Tiempo de duración del pulso de activación [s]	Tiempo promedio de bloqueo [s]	Área promedio de acción [m <sup>2</sup> ]
Sensor de movimiento 4	2.5	8.1	7.91

Para probar la detección de las personas utilizando el sensor de movimiento acoplado al servomotor, se hizo tres pruebas, en cada prueba se repitió diez veces la secuencia de giro del servomotor, para lo cual, el usuario estuvo estático bajo el sensor, siendo detectado por el mismo y comenzando nuevamente la secuencia del servomotor, es decir, giraba 90 grados, esperaba en esa posición diez segundos y regresaba a la posición inicial en cada secuencia.

En la Tabla 5.5 se presenta los resultados de las pruebas de detección del usuario estático, utilizando el sensor de movimiento acoplado al servomotor.

**Tabla 5.5** Resultados de las pruebas de detección del usuario sin movimiento

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Número de detecciones	10	10	10
Tiempo consumido [s]	126.3	122.8	125.5

Una vez realizadas estas pruebas se observa que el sensor acoplado al servomotor detectó la presencia de usuarios estáticos.

### 5.2.1.3 Pruebas del control de nivel de volumen de audio del sistema de realidad aumentada

Para las pruebas del control del nivel del volumen del audio, se observaron las variaciones de los datos del nivel del volumen provenientes de las conversiones analógicas a digitales del microcontrolador en Unity, verificando si las animaciones 3D de la aplicación de realidad aumentada reproducían los sonidos con el nivel de volumen programado. En la Tabla 5.6 se presentan los datos obtenidos de las pruebas del control del nivel del volumen del audio.

**Tabla 5.6** Datos obtenidos de las pruebas del control del nivel del volumen del audio

	Prueba 1 Nivel Bajo	Prueba 2 Nivel Medio	Prueba 3 Nivel Alto
Nivel del volumen del audio establecido en el microcontrolador [%]	10	50	100
Nivel del volumen del audio establecido en Unity [%]	10	50	100

Al realizar esta prueba se obtuvo los resultados esperados, además, de percibir físicamente la variación del nivel de volumen del audio de las animaciones 3D.

#### 5.2.1.4 Pruebas del reconocimiento de la marca

Para las pruebas del reconocimiento de la marca del sistema de realidad aumentada, la cámara estuvo ubicada en la posición preestablecida en el apartado 4.2.1.2 enfocando a la marca. Se varió las distancias de separación entre la pantalla y la marca estableciendo las distancias mínimas y máximas de detección mediante la cámara. En la Tabla 5.7 se muestran las distancias a las que se detectó la marca mediante la cámara.

**Tabla 5.7** Distancias de detección de la marca mediante la cámara

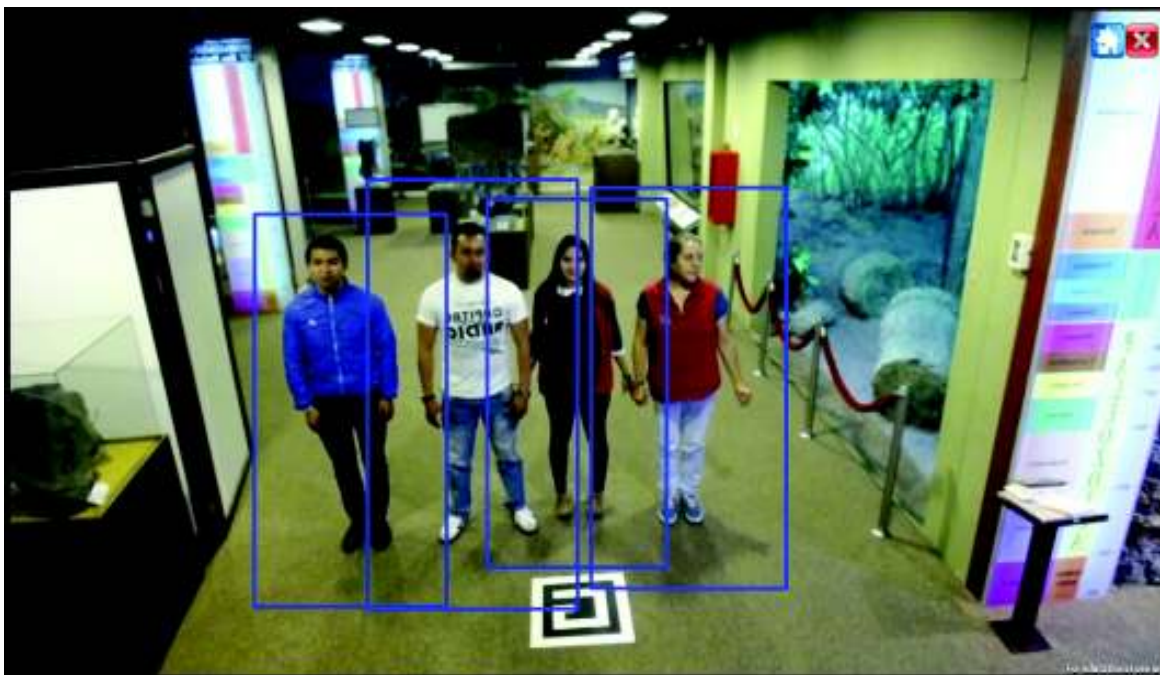
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Distancia [m]	2.45	2.50	2.55	2.60

La marca se puede detectar a una distancia de separación de la pantalla de entre 2.45 y 2.60 metros, siempre y cuando se presente un nivel de iluminación adecuado.

#### 5.2.1.5 Pruebas de reconocimiento de personas mediante el procesamiento de la imagen

Para el reconocimiento de las personas, se activó en la aplicación de realidad aumentada la opción de señalamiento de personas, por lo cual, cada vez que el sistema reconozca a una persona en la imagen adquirida por la cámara la enmarca en un recuadro de color azul. La prueba se realizó con diferente cantidad de personas y se verificó si el número de personas presentes en la imagen y el número de personas

reconocidas o enmarcadas por la aplicación era igual. En la Figura 5.15 se presenta una foto de la prueba realizada con 4 usuarios. Los datos de las pruebas del reconocimiento de personas en la imagen se observan en la Tabla 5.8.



**Figura 5.15** Prueba de reconocimiento de personas con 4 usuarios

**Tabla 5.8** Datos de las pruebas del reconocimiento de personas

	Prueba 1			Prueba 2			Prueba 3			Prueba 4		
Número de personas presentes en la imagen	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
Número de personas reconocidas en la imagen	1	2	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4

Al realizar esta prueba se comprobó que el reconocimiento de las personas en la imagen obtenida por la cámara, es tolerable, aunque en algunas pruebas se obtuvo falsos positivos, es decir, la aplicación detectó objetos que se encontraban alrededor del campo de activación del sistema, señalándolos como si fueran personas, esto ocurre debido a que la librería de reconocimiento de personas HOG reconoce a las

personas de una forma estructural, por lo que cualquier cosa que tenga forma humanoide podría ser reconocida como un falsa persona (falso positivo).

### 5.2.1.6 Pruebas de las secuencias de movimiento de las animaciones 3D

#### 5.2.1.6.1 Pruebas de las posiciones iniciales de las animaciones 3D

Para realizar las pruebas de las secuencias de las animaciones 3D, se ubicó un usuario frente a la cámara en una posición, en la cual, no cubra la marca, y se encendió el sistema. Se verificó la posición inicial de la animación 3D de acuerdo a la posición del usuario detectado en el procesamiento de la imagen, tomando como referencia los sectores de la pantalla descritos en el apartado 3.2.2.3.4. En la Figura 5.16 se observa la posición inicial de la animación 3D de acuerdo a la posición del usuario.



**Figura 5.16** Prueba de posición inicial de la animación 3D de acuerdo con la posición del usuario

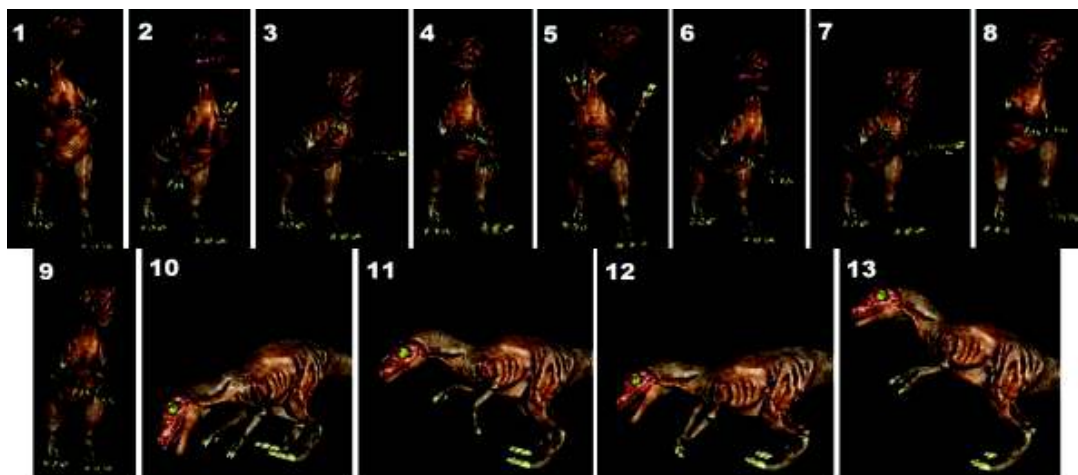
En la Tabla 5.9 se presenta los datos obtenidos de las pruebas de la ubicación inicial de las animaciones 3D.

**Tabla 5.9** Datos obtenidos de las pruebas de las posiciones iniciales de las animaciones 3D

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Ubicación de la persona detectada	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Posición inicial del avatar	Sector 3	Sector 3	Sector 1

### 5.2.1.6.2 Pruebas del funcionamiento de las animaciones 3D

Para realizar esta prueba se reprodujeron las secuencias de las seis animaciones 3D, verificando su correcta ejecución. Además, se tomó el tiempo que se demoró en completar la secuencia cada animación. En la Figura 5.17 se muestra la secuencia de la animación 3D que representa un Allosaurio.



**Figura 5.17** Secuencia de la animación 3D que representa un Allosaurio

En la Tabla 5.10 se presentan los tiempos de duración de las secuencias de los modelos 3D.

**Tabla 5.10** Tiempos de duración de las secuencias de las 6 animaciones 3D

Animación 3D	Tiempo [s]
Carnotaurus	61.9
Alosauros	63.9
Ankylosaurus	54.3
Stegosaurus	57.8
Tyrannosaurus Rex	69.1
Velociraptor	69.6

### 5.2.1.7 Pruebas de funcionalidad de la aplicación

Con esta prueba se comprobó el funcionamiento de las tres ventanas de la aplicación, para lo cual, se inició la aplicación, y se procedió a navegar y probar todas las

opciones, además se comprobó la ejecución de la realidad aumentada. En la Figura 5.18 se observa la secuencia desarrollada para realizar las pruebas de navegación por las ventanas de la aplicación de realidad aumentada, teniendo un correcto funcionamiento.



**Figura 5.18** Pruebas de la navegación por las ventanas de la aplicación

#### **5.2.1.8 Pruebas de activación del sistema de realidad aumentada con usuarios**

En esta prueba se verificó la activación del sistema de realidad aumentada, para lo cual, se ubicaron personas dentro del área de acción de los sensores de movimiento, mientras eran enfocados por la cámara, y se observó si el sistema reproducía las animaciones 3D y sus sonidos. Además, se comprobó la activación del sistema sin la utilización de las señales de activación de los sensores de movimiento, es decir, la activación del sistema se realizó únicamente con el reconocimiento de las personas mediante el procesamiento de la imagen. En la Figura 5.19 y Figura 5.20 se presenta la activación de la realidad aumentada. Al realizar estas pruebas se obtuvo un resultado satisfactorio, debido a que el nivel de realismo de las animaciones 3D y de los sonidos fueron conforme a lo programado y diseñado.





**Figura 5.19** Activación del sistema de realidad aumentada con una persona



**Figura 5.20** Activación del sistema de realidad aumentada con varias personas

## 5.2.2 RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El resultado de las pruebas del sistema de realidad aumentada se presentan a continuación:

La comunicación serial entre la computadora y el microcontrolador, se encuentra en un estado óptimo para la ejecución global del sistema, ya que los datos procesados en la comunicación son correctos en todo momento, y no se presenta retardos en el envío y transmisión de un dispositivo a otro.

El funcionamiento de los sensores de movimiento fue correcto, ya que los tres sensores que se encuentran estáticos se activan cuando detectan un movimiento del

usuario, mientras que el sensor acoplado al servomotor detectó la presencia de un usuario que permanece estático. Además, el área de la activación de los cuatro sensores de movimiento, se encuentra dentro de la superficie destinada para el sistema.

El reconocimiento de la marca y de las personas en la imagen obtenida por la cámara, está dentro del margen de tolerancia, debido a que las personas fueron reconocidas por la aplicación enmarcándolas en un recuadro azul, mientras que la marca fue reconocida a una distancia de entre 2.45 y 2.60 metros. Los resultados que se obtuvieron de las pruebas globales del sistema con usuarios, son los esperados, debido a que se observó que la marca y las personas son reconocidas en el procesamiento de la imagen, las secuencias de las animaciones 3D y los audios se reproducen con normalidad, la navegación por las ventanas de la aplicación se desarrollaron satisfactoriamente y de la misma manera el control del nivel de volumen.

## 5.3 COSTO DEL PROYECTO

### 5.3.1 COSTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación presenta costos en materiales, equipos e ingeniería para el diseño del hardware, software y su implementación.

#### 5.3.1.1 Materiales del sistema de iluminación

En la Tabla 5.11 se presenta el listado de los materiales utilizados y sus respectivos costos.

**Tabla 5.11** Costos y materiales utilizados en el sistema de iluminación

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Rollo cable flexible AWG 16 Azul	2	30	60
Rollo cable flexible AWG 12 Negro	1	30	30
Tablero metálico 50x35x18 cm	1	45	45

Canaleta ranurada 2.2 m 15x12mm	10	6,8	68
Canaleta blanca 2.2 m 20x15	7	5,8	40,6
Aerosol aerosol negro	3	3	9
Adhesivo color negro 5 m	5	1,5	7,5
Interruptor 2 posiciones 2 vías 15 A	7	3,1	21,7
Módulo relé 8 vías 5V DC	3	16	48
Paquete 40 cables M-H	4	4	16
Marquilla amarilla etiquetado	10	5	50
Breaker termo magnético 16 A	2	6,5	13
Toma corriente doble 10 A	7	2,25	15,75
Metro cable FTP 8 Hilos	50	0,55	27,5
Tornillo negro madera 1"	100	0,09	9
Metro cable flexible AWG 18 azul	25	0,35	8,75
Interruptor 2 posiciones 5 A	1	2,1	2,1
Títulos en acrílico tablero de control	11	0,75	8,25
Case original pantalla-RPI	1	35	35
Regleta 12 borneras 6 A	2	2,5	5
Metro tira led 12 V DC	40	6	240
Foco Led 5 W blanco	20	3,5	70
Focos Led 27 W blanco	7	10,5	73,5
Focos Led 9 W blanco	11	7	77
Soporte-boquilla foco 5W	20	7	140
Soporte-boquilla focos 27 W	18	10	180
Tuerca - tornillo 1.5"	100	0,15	15
Tornillo 1"	50	0,09	4,5
Taco #15	50	0,12	6
Estructura tira – Led flexible	1	10,5	10,5
Termo fundente 2 mm	1	2	2
Termo fundente 1.5 mm	1	1,5	1,5
Metro estaño	1	0,5	0,5
Micro SD 16 GB clase 10	1	13	13
		SUBTOTAL	1353,65

### 5.3.1.2 Equipos para instalación del sistema de iluminación

El sistema de iluminación utiliza los equipos presentados en la Tabla 5.12 conjuntamente con sus costos.

**Tabla 5.12** Costos de equipos utilizados en el sistema de iluminación

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Raspberry Pi 3 B original	1	75	75
Pantalla táctil RPI 7 " original 800x480	1	120	120
Sensores de presencia	6	60	360
Fuente de alimentación 5V DC 2 A	2	7,5	15
Fuente de alimentación 12 V DC 10 A	6	17	102
		SUBTOTAL	672

### 5.3.1.3 Ingeniería del sistema de iluminación

En el desarrollo del sistema de iluminación, se invirtió un total de 240 horas y tomando como referencia que el costo de la hora de ingeniería es de 7 dólares americanos, da como resultado que el costo de la ingeniería desarrollada en el sistema es de 1680 dólares americanos.

### 5.3.1.4 Costo total del sistema de iluminación

En la Tabla 5.13 se presenta un resumen de costos de la implementación del sistema de iluminación.

**Tabla 5.13** Costos de la implementación del sistema de iluminación

Costos de materiales	1353,65
Costos de equipos	672
Costos de ingeniería	1680
COSTO TOTAL (USD)	3705,65

### 5.3.2 COSTO DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

El sistema de realidad aumentada presenta costos en materiales, equipos e ingeniería para el diseño del hardware, software y su implementación.

#### 5.3.2.1 Materiales del sistema de realidad aumentada

En la Tabla 5.14 se presenta listado de los materiales utilizados y sus respectivos costos.

**Tabla 5.14** Costos y materiales utilizados en el sistema de realidad aumentada

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Sensores de movimiento HC-SR501	4	5	20
Servomotor Sg90	1	5,5	5,5
Atmega164P	1	6,47	6,47
Zócalo Atmega164P	1	0,5	0,5
Potenciómetro 10K	1	0,26	0,26
Puente Rectificador 1 A	1	0,27	0,27
Transformador 120V/12V	1	6,5	6,5
Capacitor electrolítico 1000uF	1	0,07	0,07
Capacitor electrolítico 10uF	1	0,07	0,07
Capacitor electrolítico 1uF	6	0,07	0,42
Capacitor cerámico 0.1uF	2	0,05	0,1
Capacitor cerámico 0.33uF	1	0,05	0,05
Regulador de voltaje LM7805	1	0,4	0,4
Disipador de calor	1	1	1
Resistencia 330 ohmios	10	0,05	0,5
Max232	1	5,3	5,3
Zócalo Max 232	1	0,4	0,4
Diodo rectificador 1N4001	1	0,1	0,1

Borneras de 2 terminales	1	0,25	0,25
Borneras de 3 terminales	21	0,31	6,51
Switch 2 posiciones	1	1,5	1,5
Plug Db9 hembra	1	0,54	0,54
Porta led	10	0,09	0,9
Pulsador 2 posiciones	1	0,17	0,17
Porta fusible 1 A	2	1	2
Fusibles 1 A	2	0,13	0,26
Perilla para potenciómetro	1	1,5	1,5
Estaño	1	3,5	3,5
Baquelita 30cmx20cm	1	4,5	4,5
Cautín	1	3,5	3,5
Cloruro férrico	1	1,5	1,5
Gabinete metálico 30cmx20cmx15cm	1	22,77	22,77
Canaleta ranurada 25x40	1	5,8	5,8
Canaleta 10x15	5	5,75	28,75
Juego de tornillos y tacos	3	1,78	5,34
Cable de audio RCA 10m	1	7,2	7,2
Adaptador de RCA a 3.3MM	1	0,75	0,75
Extensión VGA de VGA 10m	1	12,5	12,5
Adaptador de DVI a VGA	1	3	3
Cable conversor de RS232 a USB	1	11,2	11,2
Cable UTP 1m	40	0,65	26
Cinta antideslizante 10m	1	20	20
Pintura Spray	2	2,5	5
Estructura para montaje de sensores	1	10	10
Estructura para montaje de la pantalla	1	30	30
Juego de brocas	1	3,65	3,65
		SUBTOTAL	266,5

### 5.3.2.2 Equipos del sistema de realidad aumentada

El sistema de realidad aumentada utiliza los equipos presentados en la Tabla 5.15 conjuntamente con sus costos.

**Tabla 5.15** Costos de los equipos utilizados en el sistema de realidad aumentada

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Webcam Logitech C930e	1	125	125
Computador i3 a 2.4 GHz con una RAM de 4GB.	1	299	299
Pantalla NEC de 46 pulgadas	1	1.877	1877
		SUBTOTAL	2301

### 5.3.2.3 Ingeniería del sistema de realidad aumentada

En el desarrollo del sistema de realidad aumentada, se invirtió un total de 300 horas y tomando como referencia que el costo de la hora de ingeniería es de 7 dólares americanos, da como resultado que el costo de la ingeniería desarrollada en el sistema es de 2100 dólares americanos.

### 5.3.2.4 Costo total del sistema de realidad aumentada

En la Tabla 5.16 se presenta un resumen de costos de la implementación del sistema de realidad aumentada.

**Tabla 5.16** Costos de la implementación del sistema de realidad aumentada

Costos de materiales	266,5
Costos de equipos	2301
Costos de ingeniería	2100
COSTO TOTAL (USD)	4667,5

### 5.3.2.5 Costo total de los sistemas implementados

En la Tabla 5.17 se muestran los costos del desarrollo e implementación de los sistemas de iluminación para los seis dioramas y el de realidad aumentada para el Museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.”.

**Tabla 5.17** Costos total de la implementación de los sistemas

Sistema de iluminación	3705,65
Sistema de realidad aumentada	4667,5
<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>8373,15</b>



## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la implementación de los sistemas de iluminación y realidad aumentada.

#### **6.1 CONCLUSIONES**

Mediante la revisión bibliográfica de los tipos de iluminación y de los sistemas de iluminación instalados en museos alrededor del mundo y tomando en cuenta aspectos como: espacio físico, fuentes de luz, composición de los objetos a iluminar, tiempos de exposición máximos a la luz, se implementó el sistema de iluminación para 6 dioramas, teniendo como resultado representaciones realistas, correctamente iluminadas y visualmente amigables para los visitantes.

La instalación del sistema de iluminación no se basó únicamente en el diseño realizado por el método de lúmenes, debido a que: cada diorama es único, da un mensaje específico, su nivel de realismo debe ser alto y la representación debe mostrar lo que el museólogo, biólogo y pintor desean transmitir al usuario, por lo cual, se instaló las luminarias en una posición donde no se produzcan sombras, deslumbramiento y presenten un correcto nivel de iluminación.

Para el diseño e implementación del sistema de iluminación se instaló un nuevo cableado eléctrico, lámparas y sensores de presencia que cumplen con los requerimientos del museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.”, teniendo como resultado que los usuarios pueden permanecer de manera estática frente a cada diorama, siendo detectados por los sensores de presencia que activan las luminarias de una forma correcta.

Los modos de operación tanto manual como automático cumplen con cada uno de los requerimientos del museo. El modo manual se usa cuando existe la presencia de gran cantidad de usuarios o funciones de títeres en la zona de ubicación de los dioramas,

encendiendo de manera continua la iluminación; por otro lado, el modo automático sirve cuando la cantidad de usuarios es baja, además, para cuidar a los objetos pertenecientes al diorama del tiempo de exposición a la luz ya que pueden dañar los materiales que los componen.

La revisión bibliográfica realizada sobre sistemas de realidad aumentada permitió determinar el tipo de sistema que se diseñó e implementó, tomando en cuenta las necesidades y requerimientos del museo de Historia natural “Gustavo Orcés V.”, por lo que se implementó un sistema de realidad aumentada basada en un marcador QR que es realista e interactivo, capaz de reproducir animaciones 3D de dinosaurios conjuntamente con los usuarios en la pantalla.

Para la detección de las personas para la activación del sistema de realidad aumentada, se utilizó cuatro sensores de movimiento, de los cuales, tres detectan a los usuarios cuando están en movimiento, mientras que el sensor de movimiento acoplado al servomotor permite detectar al usuario cuando está en estado estático, lo cual hace que se tenga un sensor de presencia a partir de un sensor de movimiento.

El procesamiento de la imagen que se realiza en el sistema de realidad aumentada permite detectar la marca y a las personas, y mediante sus posiciones reproducir las animaciones 3D. La librería HOG Descriptor Sample realiza el reconocimiento de personas en base a la estructura del cuerpo humano, por lo cual, cualquier objeto que tenga una forma humanoide puede ser detectado como una posible persona.

El sistema de realidad aumentada implementado cumple con las necesidades de interactividad y funcionalidad que el museo “Gustavo Orcés V.” requería, para ser ubicado en el área de paleontología.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Para la realización del mantenimiento o cambios del sistema de iluminación, se debe contar con el plano eléctrico, donde se encuentran cada una de las conexiones con marquillas o códigos de fácil identificación, haciendo esta actividad más sencilla.

En caso de falla del sistema de iluminación en modo de operación manual a causa de la interfaz gráfica, existe un respaldo con el programa autoejecutable en una tarjeta micro SD, para ser ingresada en la ranura existente de la tarjeta electrónica Raspberry Pi 3 B, por lo cual se recomienda revisar el manual de usuario.

En caso de realizar cambios de luminarias por terminación de la vida útil, tomar en cuenta que al abrir la estructura que cubre la instalación eléctrica en la parte superior de cada diorama, no se desconecte algún conductor o conexión.

La iluminación del área del sistema de realidad aumentada debe ser la adecuada, para tener un correcto funcionamiento, por lo cual, si se realizan cambios futuros en esta área se debe tomar en cuenta el nivel de iluminación.

La marca del sistema de realidad aumentada ubicada sobre el suelo en el área de paleontología del museo “Gustavo Orcés V.”, está bajo un alto tránsito de usuarios, por lo cual, debe ser periódicamente limpiada y pintada, debido a que el código QR de la marca debe estar siempre identificable para su detección.

Se debe realizar de forma regular un mantenimiento preventivo de los sistemas, por parte de personal calificado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gran Diccionario de la Lengua Española, "The free dictionary," Definición Iluminación, Marzo 2016. [Online]. Available: <https://es.thefreedictionary.com/iluminaci%C3%B3n>. [Accessed 14 Octubre 2016].
- [2] Diccionario de la lengua Española, «WordReference,» Iluminación, 1 Febrero 2005. [En línea]. Available: <http://www.wordreference.com/definicion/iluminaci%C3%B3n>. [Último acceso: 21 Octubre 2016].
- [3] Estudio de decoración y diseño interior, "Estilo y Ambientación," Tipos de Iluminación, 25 Abril 2003. [Online]. Available: <http://www.estiloambientacion.com.ar/iluminaciontipos.html>. [Accessed 18 Junio 2016].
- [4] Revista ARQHYS , "ARQHYS Arquitectura," Qué es la iluminación decorativa, 10 Enero 2013. [Online]. Available: <http://www.arqhys.com/blog/que-es-la-iluminacion-decorativa.html>. [Accessed 21 Junio 2016].
- [5] Reggiani Illumination, "Reggiani," Iluminación para exposiciones de arte, Mayo 2015. [Online]. Available: <http://www.reggiani.net/es/cont/iluminacion-para-exposiciones-de-arte/>. [Accessed 21 Junio 2016].
- [6] Philips, "Requerimientos de iluminación," *Norma Europea sobre iluminación para interiores UNE 12464.1*, pp. 43, 44, Mayo 2002.
- [7] A. Álvarez Rodríguez, "Revista de iluminación Iluminet," Iluminación para interiores, Museos y galerías de arte, 10 Julio 2008. [Online]. Available: <http://www.iluminet.com/iluminacion-en-museos-y-galerias-de-arte/>. [Accessed 22 Junio 2016].
- [8] A. L. Fernández, *Museología y Museografía*, Tercera ed., Barcelona: Del Serval, 2006, pp. 170-176.
- [9] American Museum of the Natural History, «Museo Americano,» Dinosaurs Among Us, Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.amnh.org/exhibitions/dinosaurs-among-us>. [Último acceso: 24 Junio 2016].
- [10] Royal Belgian Institute of Natural Sciences, "Museum," Museo de Ciencias Naturales Bruselas, Febrero 2013. [Online]. Available: <https://www.bruselas.es/que-ver/museo-de-ciencias-naturales/>. [Accessed 27 Junio 2016].
- [11] Museo de Ciencias Naturales de Bruselas, «Guía Nómada de Bruselas,» Colección de Insectos, Fósiles, Dinosaurios y Animales Disecados , 2015. [En línea]. Available: <https://www.bruselas.es/que-ver/museo-de-ciencias-naturales/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2016].

- [12] British Broadcasting Corporation, "BBC Mundo," Qué es la realidad aumentada, 17 Octubre 2016. [Online]. Available: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-37678017>. [Accessed 12 Noviembre 2016].
- [13] Guillermo Rodríguez, «VIX,» Diferencias entre realidad aumentada y realidad virtual, Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.vix.com/es/btg/tech/13396/diferencias-entre-realidad-aumentada-y-realidad-virtual>. [Último acceso: 10 Diciembre 2016].
- [14] Universidad de Salamanca, «ARSOFT,» Realidad Aumentada, 2015. [En línea]. Available: <http://www.arsoft-company.com/realidad-aumentada/>. [Último acceso: 16 Diciembre 2016].
- [15] Aumentaty, «Aumentaty Solutions,» Realidad aumentada, 2015. [En línea]. Available: <http://www.aumentaty.com/community/es/>. [Último acceso: 16 Diciembre 2016].
- [16] C. M. Machado, «Realidad Aumentada (RA),» de *Aplicación de Realidad Aumentada Para un Sistema de Entrenamiento*, Cataluña, Universidad Politécnica Cataluña, 2011, pp. 2-10.
- [17] C. M. Hernández, «Realidad Aumentada y su Aplicación en Museos,» de *Realidad aumentada para el Museo de América*, Madrid, Complutense de Madrid Universidad, 2015, pp. 9-24.
- [18] AUTHOR AUMENTATY, «Aumentaty Viewer,» Que se puede hacer con Aumentaty Author, 2015. [En línea]. Available: <http://author.aumentaty.com/>. [Último acceso: 19 Diciembre 2016].
- [19] Universidad de Antioquia, «Aprende en Línea,» Realidad Aumentada, Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/sitio/mod/forum/view.php?id=416>. [Último acceso: 18 Diciembre 2016].
- [20] Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, «Costadigital,» Tipos de R.A., Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/proinrealidadaugmentada/home/tipos-de-r-a>. [Último acceso: 19 Diciembre 2016].
- [21] M. A. Millán, «Campo de Aplicación de la realidad aumentada,» de *Realidad Aumentada*, Bogotá, Corporación CUN, pp. 3-6.
- [22] M. Hara, «QR code.com,» History of QR Code, 2012. [En línea]. Available: <http://www.qrcode.com/en/history/>. [Último acceso: 19 Diciembre 2016].
- [23] C. M. López, «Estado del Arte,» de *Probador Virtual Realidad Aumentada Sin Marcadores*, San Vicente del Raspeig (Alicante), Universidad de Alicante, 2015, pp. 11-21.

- [24] Niantic Inc, Nintendo, «Pokémon Go,» Saca fotos pokémon, 2016. [En línea]. Available: <http://www.pokemongo.com/es-es/>. [Último acceso: 20 Diciembre 2016].
- [25] C. A. Cueva Anchaxi, "Prototipo de un sistema de protección perimetral y navegación segura para entornos domésticos," Quito, Escuela Politécnica Nacional, 2016, pp. 6-7.
- [26] G. Hollingworth, "Fundación Raspberry," THE EAGERLY AWAITED RASPBERRY PI DISPLAY, 8 Septiembre 2015. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/the-eagerly-awaited-raspberry-pi-display/>. [Accessed 3 Julio 2016].
- [27] Ningbo Songle Relay Co.,ltd, «Sain Smart,» Relé 8 vías, 2016. [En línea]. Available: <https://www.sainsmart.com/products/8-channel-5v-relay-module>. [Último acceso: 3 Julio 2016].
- [28] Raspberry Pi Organization, «RASPBERRY PI BLOG,» Raspbian, 1 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>. [Último acceso: 5 Julio 2016].
- [29] Raspberry Pi Organization, "RASPBERRY PI BLOG," Raspbian Jessie with Pixel, 29 Septiembre 2015. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspbian-jessie-is-here/>. [Accessed 7 Julio 2016].
- [30] G. v. Rossum, "Tutorial Lenguaje Python," in *Python*, 1 ed., L. d. s. d. Información, Ed., Argentina, Python Software Foundation, 2009, pp. 7-8.
- [31] Python Software Foundation, "Python," Getting Started, 2015. [Online]. Available: <https://www.python.org/about/>. [Accessed 10 Julio 2016].
- [32] A. Alvarez, "Herramientas de Tkinter," *Guía Tkinter Documentation*, no. 1.1, pp. 19-40, 2016.
- [33] LOGITECH, «LOGITECH.COM,» Especificaciones técnicas de logitech webcam c930e, 2016. [En línea]. Available: [http://support.logitech.com/es\\_es/article/43549?product=a0qi0000069v0MAAQ](http://support.logitech.com/es_es/article/43549?product=a0qi0000069v0MAAQ). [Último acceso: 20 Diciembre 2016].
- [34] Atmel Corporation, «Atmega164P,» de *Datasheet*, San Jose-USA, 2016, pp. 1-15.
- [35] Point Floating S.A, «Sensor Pir hc-sr501,» *Hoja de datos*, pp. 1-5, 2017.
- [36] ECin, «hoja de datos servomotor SG90,» *Microservomotores*, pp. 1-2, 2015.
- [37] Autodesk, Inc., «Instructables,» Especificaciones Sensor de movimiento HC-SR501, April 2013. [En línea]. Available: <https://www.instructables.com/id/Ejemplo-b%C3%A1sico-con-HC-SR501/>. [Último acceso: 12 Julio 2016].
- [38] Arduino Company, «Arduino,» Getting Started of Arduino Pro Mini, 2016. [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-pro-mini>. [Último acceso: 28 Julio 2016].

- [39] ImaxRC Company, «Rctecnic,» Especificaciones Fuente de alimentacion 12Vdc/5A, 2015. [En línea]. Available: <http://www.rctecnic.com/baterias-cargadores/1516-fuente-de-alimentacin-imax-12v-5a-100240v>. [Último acceso: 31 Julio 2017].
- [40] Fundación Raspberry, Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/>. [Último acceso: Julio 2016].
- [41] Raspberry Foundation, «Adafruit,» Technical Details of 7" touchscreen display, Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/2718>. [Último acceso: 25 Julio 2017].
- [42] Broadcom Corporation Ltd, «Datasheet microprocessor BCM2835,» de *BCM2835 ARM Peripherals*, Cambrigde, Broadcom , 2012, p. 10.
- [43] Smarti Case Inc, «Smarti Pi,» Technical Details of Case touch screen 7 inches, Abril 2014. [En línea]. Available: <https://smarticase.com/collections/all/products/smartipi-touch?variant=11864926209>. [Último acceso: 23 Agosto 2016].
- [44] N. Castilla , V. Giménez, A. Martínez y R. M. Pastor, «Cálculo por el Método de los Lúmenes,» de *Luminotécnia* , Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2003, pp. 3-8.
- [45] Osram Comporation, «Pinterest,» Description LED Par30In27w/830, Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.pinterest.com/pin/395472411001752720/>. [Último acceso: 15 Agosto 2016].
- [46] Osram Company, «Especificaciones LED Superstar Par30,» de *Cátalogo General 2016*, Múnich, 2015, p. 21.
- [47] Sylvania Inc, «Lámpara directa es,» Ficha Técnica Foco LED Sylvania 5W mr16, Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.lamparadirecta.es/sylvania-refled-gu5-3-mr16-5w-827-36d-sl-luz-muy-calida-reemplazo-35w>. [Último acceso: 15 Agosto 2016].
- [48] American Lite, «Características Foco LED PAR30I10,» de *Catálogo LED CE Lamps*, Houston, 2017, pp. 7-8.
- [49] CMILighting, «HiSupplier,» Product Detail of 5630 led BAR Rigid 1Meter, Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://cmilighting.en.hisupplier.com/product-1478852-5630-LED-BAR-RIGID-72LED-1-METER-HARD-PIXELS-STRIP-WITH-ALUMINUM-PROFILE-SHELL.html>. [Último acceso: 20 Agosto 2016].
- [50] J. H. Mejía, «Slide Share,» 13 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/luiguiluquecallo/diseo-instalaciones-electricas-residenciales>. [Último acceso: Enero 2017].
- [51] Universidad Nacional Autónoma de México, «Métodos y Ecuaciones de Diseño en la Instalación Eléctrica,» de *Diseño de la Instalación Eléctrica* , México DC, 2010, pp. 8-10.

- [52] Conelsa SA, «ELECTROCABLES,» Conductores de cobre tipo TW, 2013. [En línea]. Available: <http://electrocable.com/productos/cobre/TW.html>. [Último acceso: 24 Enero 2017].
- [53] Grupo Electrógenos, «Curso de Instalaciones Eléctricas,» Capacidad de la Pastilla Para Proteger el Circuito de Alumbrado, Junio 2008. [En línea]. Available: [http://cursosdeelectricidad.blogspot.com/2008/06/tema-31-eleccin-del-centro-de-carga-y\\_20.html](http://cursosdeelectricidad.blogspot.com/2008/06/tema-31-eleccin-del-centro-de-carga-y_20.html). [Último acceso: 15 11 2016].
- [54] R. Boylestad y L. Nashelsky, «Rectificadores de Senoidales- Rectificaciones de Onda Completa,» de *Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*, México DC, Person, 2009, pp. 79-80.
- [55] Corel Inc, «CorelDRAW,» Guide to CorelDRAW X7, Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.coreldraw.com/en/product/coreldraw-official-guide-book/>. [Último acceso: 29 Diciembre 2016].
- [56] Raspberry Foundation, "Raspberry," Raspbian Software, 27 Septiembre 2016. [Online]. Available: web: [www.raspberrypi.org/downloads/raspbian](http://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian). [Accessed 25 Agosto 2016].
- [57] T. Davis, «Uptodown,» Win32 Disk Imager Software, 4 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://win32-disk-imager.uptodown.com/windows>. [Último acceso: 28 Agosto 2016].
- [58] Unity Inc, «Unity 3D,» Aprender con Unity, 2016. [En línea]. Available: <https://unity3d.com/es/learn>. [Último acceso: 24 Diciembre 2016].
- [59] Unity Inc, «Assetstore,» OpenCV for Unity, 21 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/21088>. [Último acceso: 24 Diciembre 2016].
- [60] Unity Inc, «Assetstore,» MarkerBased AR Example, 14 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/29678>. [Último acceso: 24 Diciembre 2016].
- [61] C. McCormick, «Chris McCormick,» HOG Person Detector Tutorial, 9 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://mccormickml.com/2013/05/09/hog-person-detector-tutorial/>. [Último acceso: 26 Diciembre 2016].
- [62] A. Rosebrock, «Pyimagesearch,» Histogram of Oriented Gradients and Object Detection, 10 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.pyimagesearch.com/2014/11/10/histogram-oriented-gradients-object-detection/>. [Último acceso: 27 Diciembre 2016].
- [63] A. Rosebrock, «Pyimagesearch,» Pedestrian Detection OpenCV, 9 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.pyimagesearch.com/2015/11/09/pedestrian-detection-opencv/>. [Último acceso: 28 Diciembre 2016].



[64] Unity Inc, «Assetstore,» Allosaurus 3D models, 28 Julio 2015. [En línea]. Available: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/42299>. [Último acceso: 30 Diciembre 2016].

## **ANEXOS**

# ANEXO A

## MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

En el presente manual se detalla los requerimientos mínimos del computador donde se ejecuta la realidad aumentada, los programas preinstalados para la comunicación serial entre el computador y el microcontrolador, la conexión de los equipos y la instalación de la aplicación y utilización de la misma.

### **A.1 Requisitos del sistema**

Para que la aplicación que genera la realidad aumentada funcione en óptimas condiciones, se necesita que el CPU cumpla con los siguientes requisitos:

- Tarjera madre igual o superior a Intel Core i3
- Memoria RAM de al menos 6 GB
- Espacio en el disco duro disponible de al menos 350 MB
- Conectores USB de 2.0, al menos 4
- Conector VGA, HDMI o DVI
- Sistema operativo Windows 7, 8 o 10
- Salida de audio

Se requiere de los siguientes programas preinstalados en el computador:

- Driver de la tarjeta de audio del computador
- Driver de la tarjeta de video del computador
- Driver PL2303USB-to-Serial Bridge Chip Family, para comunicación serial entre PC y microcontrolador
- AutoHotkey\_1.1.24.05, para automatización del inicio de la aplicación de realidad aumentada
- Software de configuración de cámara Logitech C930e

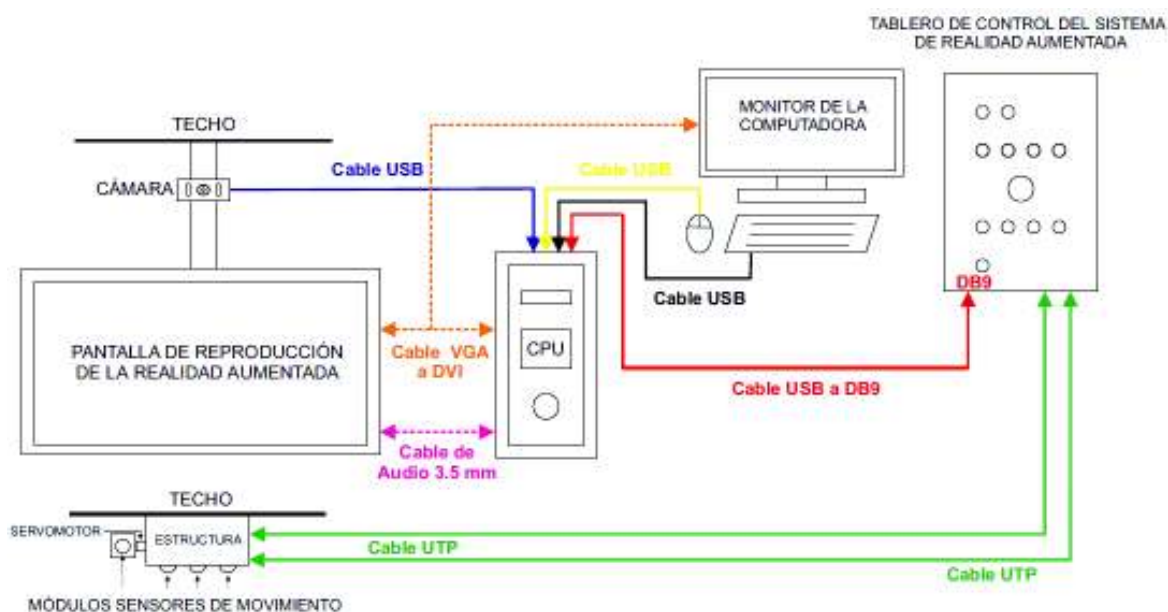
La pantalla debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Resolución de al menos 1024x768 pixeles

- Conector VGA, HDMI o DVI
- Entrada de audio

### A.2 Conexión de los equipos

El sistema de realidad aumentada, presenta conexiones entre la computadora, pantalla, webcam y los circuitos electrónicos que controlan la comunicación serial y los sensores de movimiento. En la Figura A.1 se muestra el diagrama de conexiones del sistema.



**Figura A.1** Diagrama de conexiones del sistema de realidad aumentada

En la Tabla A.1 se muestra la conexión entre los módulos sensores de movimiento, servomotor y el tablero de control del sistema.

**Tabla A.1** Conexión entre módulos sensores de movimiento, servomotor y tablero de control

De estructura de sensores		Hacia tablero de control		Distinción	
Sensor PIR 1	VCC	J2	VCC	UTP 1	Azul
	VOUT		PIR 1		Blanco-Azul
	GND		GND		Blanco-Naranja

Sensor PIR 2 (Servomotor)	VCC	J3	VCC	UTP 1	Verde
	VOUT		PIR 2		Blanco-Verde
	GND		GND		Naranja
Sensor PIR 3	VCC	J4	VCC	UTP 2	Azul
	VOUT		PIR3		Blanco-Azul
	GND		GND		Blanco-Naranja
Sensor PIR 4	VCC	J5	VCC	UTP 2	Verde
	VOUT		PIR4		Blanco-Verde
	GND		GND		Naranja
Servomotor	VCC	J6	VCC	UTP 2	Blanco-Café
	VIN		SERVOMOTOR	UTP 1	Blanco-Café
	GND		GND	UTP 2	Café

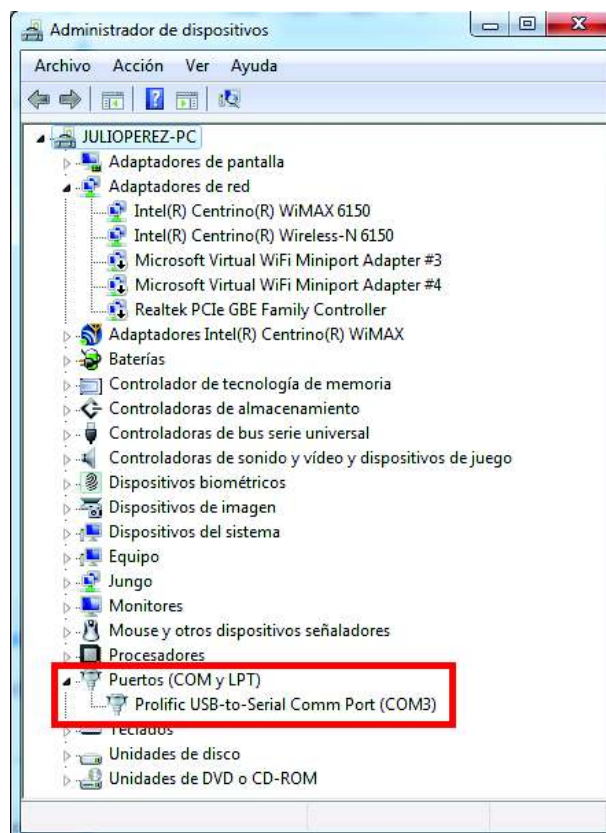
Una vez realizadas todas las conexiones del sistema que se observan en la Figura 1.A y en la Tabla A.1, se debe energizar el computador, la pantalla y el tablero de control.

### A.3 Instalación de la aplicación y drivers

La aplicación de realidad aumentada es un ejecutable, por lo cual, no requiere instalación, únicamente se debe copiar en la memoria del computador el ejecutable y la carpeta que contiene los documentos de la aplicación. En el CD de documentos del proyecto, buscar la carpeta “Programas\_tesis\_RA”, esta carpeta contine los drivers y programas necesarios para el funcionamiento del sistema. Una vez encontrada la carpeta se procede de la siguiente manera:

- Instalar el software “PL2303\_DriverInstaller\_v1180\_20170406”, este programa es el driver para la comunicación serial entre el computador y el tablero de control.
- Verificar que el driver “PL2303\_DriverInstaller\_v1180\_20170406”, se encuentra correctamente instalado, para lo cual, se ingresa al administrador de dispositivos y se verifica que el driver del cable convertidor de USB a Serial se muestre como en la Figura A.2. Para realizar la comunicación serial es importante que el puerto serial del computador utilizado sea el COM3, debido a

que la aplicación está únicamente configurada para realizar la comunicación con dicho puerto serial.



**Figura A.2** Verificación de instalación del driver del convertidor de USB a Serial

- La configuración de los parámetros de la webcam Logitech C930e como autoenfoco, seguimiento del rostro, sonido, nitidez, zoom y otros, se realizan mediante el software de configuración de la cámara. Para instalar el software, abrir el CD de documentos del proyecto, buscar en la carpeta "Programas\_tesis\_RA" el ejecutable "LogiCamSettings1.1.87.0.exe", abrir el ejecutable y proceder a instalar. Para que la imagen que se muestra en la pantalla del sistema de realidad aumentada sea nítida, se requiere configurar la cámara de la siguiente manera: primero abrir el software de configuración de la cámara, a continuación, deshabilitar las opciones autoenfoco "Auto-focus", seguimiento de rostro "Follow my face" y sonido correcto "RightSound", además, de establecer la barra de enfoque en el mínimo valor. Finalmente, guardar los

cambios y cerrar. En la Figura A.3 se presenta una imagen de la pantalla de configuración de la cámara.



**Figura A.3** Configuración de la cámara

- Finalmente, Copiar la carpeta “aplicacionRA\_Data” y el ejecutable “aplicacionRA.exe” y pegar en el escritorio del computador. Hasta este paso el sistema se encontrará ya funcional, sin embargo, si se desea automatizar el encendido y la ejecución de la aplicación de realidad aumentada cuando se encienda la computadora, se debe proceder de la siguiente manera:

Abrir la carpeta “AutoHotkey\_1.1.24.05” y dar clic en “Installer”, y proceder a instalar el software que es el encargado de la automatización de la iniciación de la aplicación, cuando se encienda la computadora.

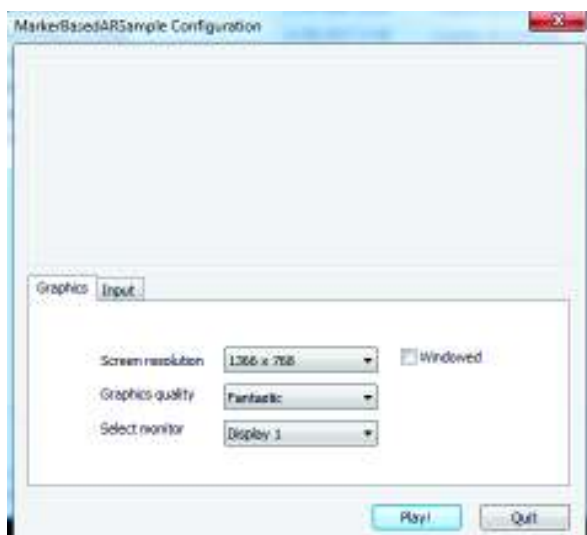
En el CD de documentos del proyecto, buscar en la carpeta “Programas\_tesis\_RA” el archivo “Nuevo AutoHotkey Script.ahk” y dar clic derecho y seleccionar copiar. A continuación, se debe ir al panel de control a la opción “opciones del explorador de archivos” y habilitar “Mostrar Archivos, carpetas y unidades ocultos”. Ir a el disco C → abrir la carpeta “ProgramData” → abrir la carpeta “Microsoft” → abrir la carpeta “Windows” → abrir la carpeta

“Menú Inicio” → abrir la carpeta “Programas” → abrir la carpeta “Inicio” y pegar el archivo “Nuevo AutoHotkey Script.ahk”. Con esto ya estará configurado el inicio automático de la aplicación de realidad aumentada cuando se encienda la computadora.

#### A.4 Utilización de la aplicación de realidad aumentada

La utilización de la aplicación dependerá de si se realizó el proceso de automatización del inicio de la aplicación al momento de encender la computadora, descrito en el apartado anterior. Si se realizó el proceso de automatización, la aplicación iniciará automáticamente después de que el computador sea encendido y ejecutará la realidad aumentada, para cerrar la aplicación y apagar la computadora se deberá pulsar únicamente la tecla “ESC”.

Para utilizar la aplicación manualmente (si no se realizó el proceso de automatización), se debe encender el computador, abrir el ejecutable “aplicacionRA.exe”, posterior a esto aparecerá una pantalla como se muestra en la Figura A.4, dar clic en “Play” y esperar que se despliegue la pantalla principal de la aplicación.



**Figura A.4** Pantalla de iniciación de la aplicación de realidad aumentada

Para ejecutar la realidad aumentada, configurar los parámetros de la aplicación de realidad aumentada o salir, se debe dar clic sobre el icono que se requiera explorar.



En la Figura A.5 y Figura A.6 se presenta la pantalla principal de la aplicación de la realidad aumentada y la pantalla de configuración de parámetros de la aplicación respectivamente, mientras que en la Figura A.7 se muestra la pantalla de ejecución de la realidad aumentada.



Figura A.5 Pantalla principal de la aplicación de realidad aumentada



Figura A.6 Pantalla de configuración de parámetros de la realidad aumentada



**Figura A.7** Pantalla de ejecución de la realidad aumentada

## ANEXO B

### HOJAS DE DATOS

Sensor de movimiento PIR HC-SR501

## Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501



#### Indice:

1. Principios de funcionamiento.
2. Descripción del HC-SR501.
3. Ajustes y configuración del sensor.
4. Pruebas preliminares del módulo HC-SR501.

## 1. Principios de funcionamiento:

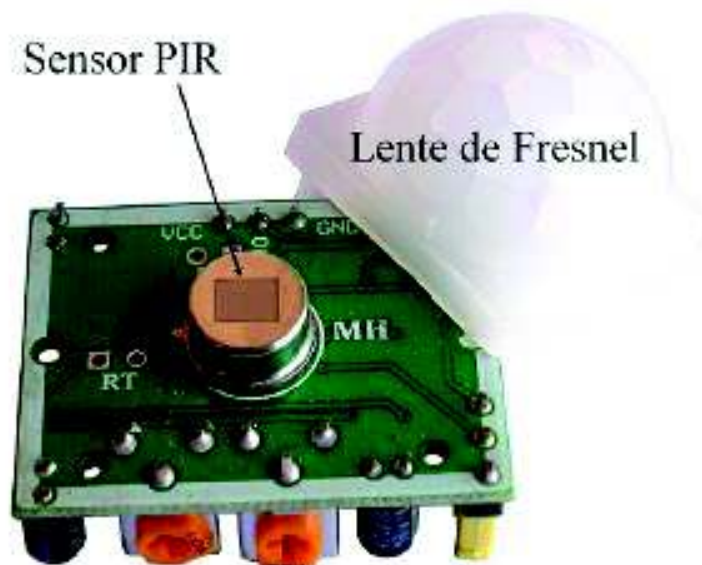
### *La radiación infrarroja:*

Todos los seres vivos e incluso los objetos, emiten radiación electromagnética infrarroja, debido a la temperatura a la que se encuentran. A mayor temperatura, la radiación aumenta. Esta característica ha dado lugar al diseño de sensores de infrarrojo pasivos, en una longitud de onda alrededor de los 9.4 micrones, los cuales permiten la detección de movimiento, típicamente de seres humanos ó animales.

Estos sensores son conocidos como PIR, y toman su nombre de 'Pyroelectric Infrared' ó 'Passive Infrared'.

### *El lente de Fresnel:*

El lente de Fresnel es un encapsulado semiesférico hecho de polietileno de alta densidad cuyo objetivo es permitir el paso de la radiación infrarroja en el rango de los 8 y 14 micrones. El lente detecta radiación en un ángulo con apertura de  $110^\circ$  y, adicionalmente, concentra la energía en la superficie de detección del sensor PIR, permitiendo una mayor sensibilidad del dispositivo.

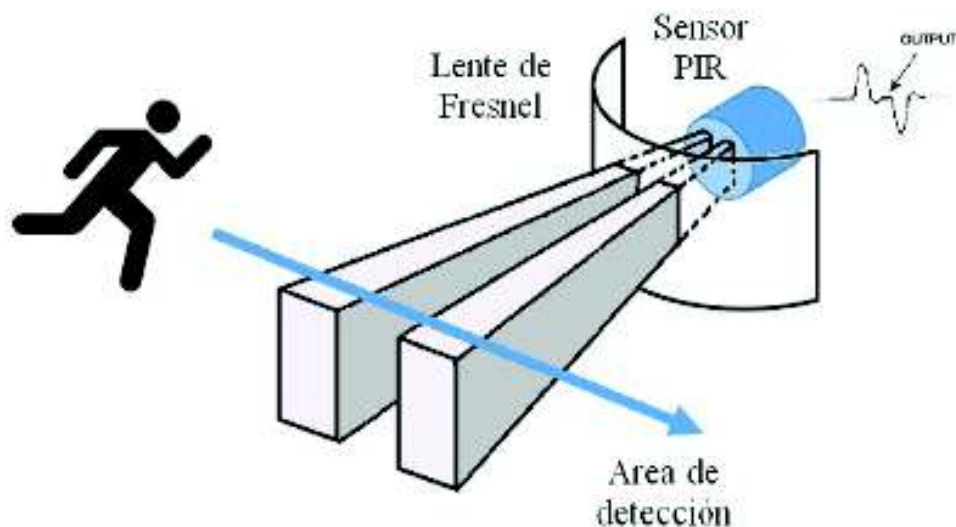


### *El sensor PIR infrarrojo:*

En los sensores de movimiento, el sensor PIR consta en realidad de 2 elementos detectores separados, siendo la señal diferencial entre ambos la que permite activar la alarma de movimiento. En el caso del HC-SR501, la señal generada por el sensor ingresa al circuito integrado BISS0001, el cual contiene amplificadores operacionales e interfaces electrónicas adicionales.

Las funciones y ajustes complementarios del sensor de movimiento son:

- Ajuste de parámetros: mediante 2 potenciómetros, el usuario puede modificar tanto la sensibilidad como la distancia de detección del PIR.
- Detección automática de luz (esta función no está disponible al adquirir el sensor de fábrica): por medio de una foto resistencia CdS (Sulfuro de Cadmio), se deshabilita la operación del sensor en caso que exista suficiente luz visible en el área. Esta función es utilizada en caso de sensores que enciendan lámparas en lugares poco iluminados durante la noche, y especialmente en corredores ó escaleras.



### *Rango de detección de los sensores PIR:*

Como se indicó anteriormente, el rango de detección de movimiento de los PIR es ajustable y generalmente funcionan con alcances de hasta 7 metros, y con aperturas de  $90^\circ$  a  $110^\circ$ , como se muestra en la figura. El montaje del PIR puede realizarse tanto en piso, muro ó techo, según convenga a la aplicación.



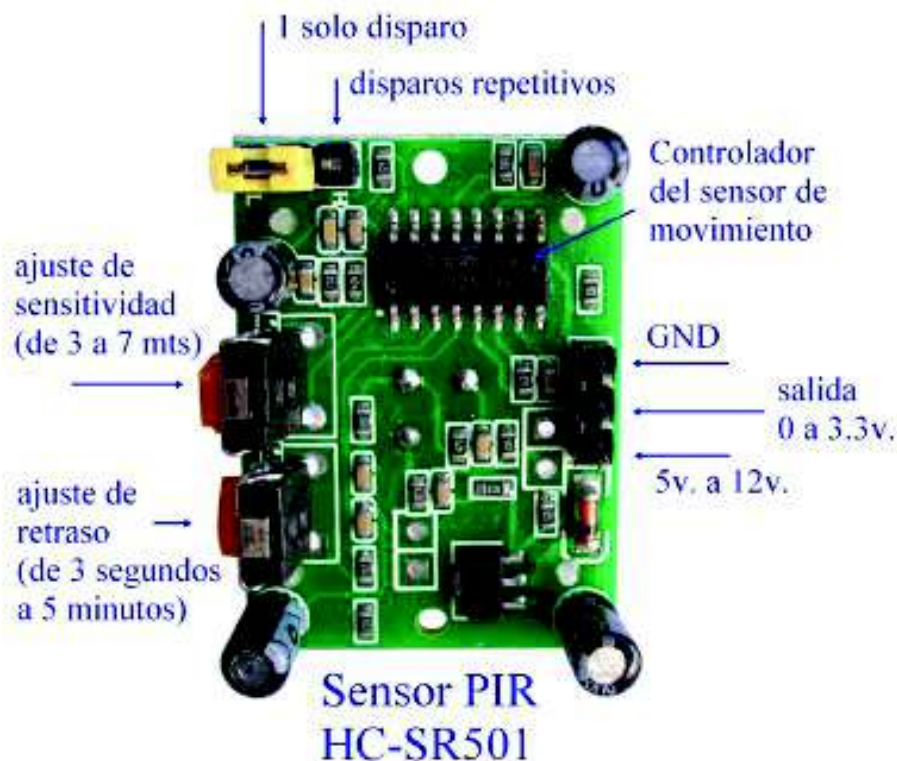
## 2. Descripción del HC-SR501

El módulo PIR modelo HC-SR501 es de bajo costo, pequeño, e incorpora la tecnología más reciente en sensores de movimiento. El sensor utiliza 2 potenciómetros y un jumper que permiten modificar sus parámetros y adaptarlo a las necesidades de la aplicación: sensibilidad de detección, tiempo de activación, y respuesta ante detecciones repetitivas.

Sus especificaciones técnicas son:

- Usa el PIR LHI778 y el controlador BISS0001
- Voltaje de alimentación: de 5 a 12 VDC
- Consumo promedio:  $<1$  miliampere
- Rango de distancia de 3 a 7 metros ajustable.

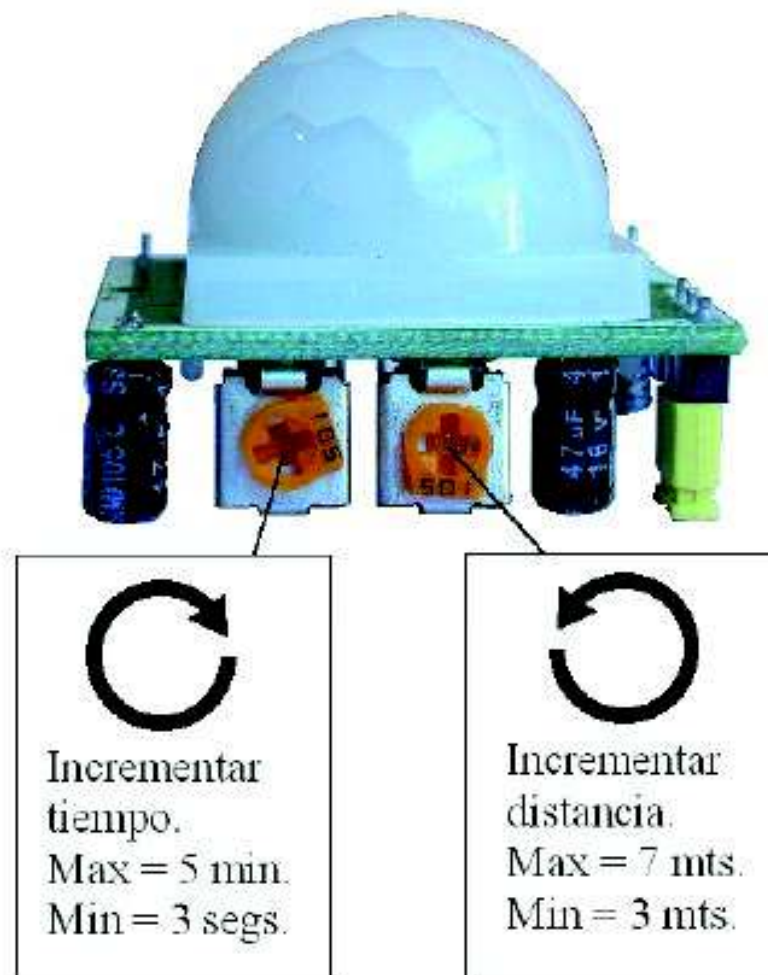
- Angulo de detección: cono de 110°
- Ajustes: 2 potenciómetros para ajuste de rango de detección y tiempo de alarma activa.
- Jumper para configurar la salida de alarma en modo mono-disparo ó disparo repetitivo ('retriggerable')
- Salida de alarma de movimiento con ajuste de tiempo entre 3 segundos a 5 minutos.
- Salida de alarma activa Vo con nivel alto de 3.3 volts y 5 ma source, lista para conexión de un led, ó un transistor y relevador.
- Tiempo de inicialización: después de alimentar el módulo HC-SR05, debe transcurrir 1 minuto antes de que inicie su operación normal. Durante ese tiempo, es posible que el módulo active 2 ó 3 veces su salida.
- Tiempo de salida inactiva: cada vez que la salida pase de activa a inactiva, permanecerá en ese estado los siguientes 3 segundos. Cualquier evento que ocurra durante ese lapso es ignorado.
- Temperatura de operación: -15° a +70° C.
- Dimensiones: 3.2 x 2.4 x 1.8 cms



### 3. Ajustes y configuración del sensor:

#### Potenciómetros:

De acuerdo a la figura, el usuario puede ajustar tanto el tiempo de disparo de la señal de alarma de movimiento, como la distancia de detección. Los potenciómetros correspondientes deben girarse en la dirección mostrada para realizar los ajustes.

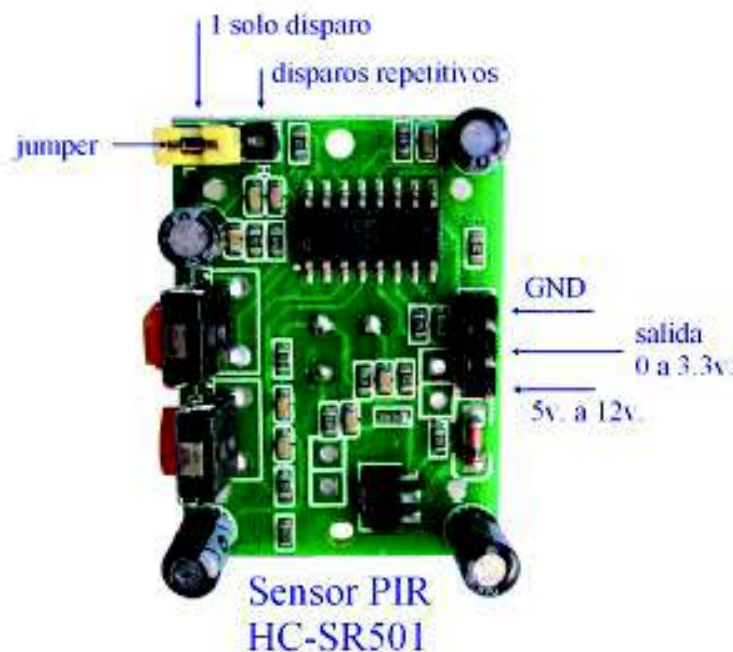




### Posición del jumper:

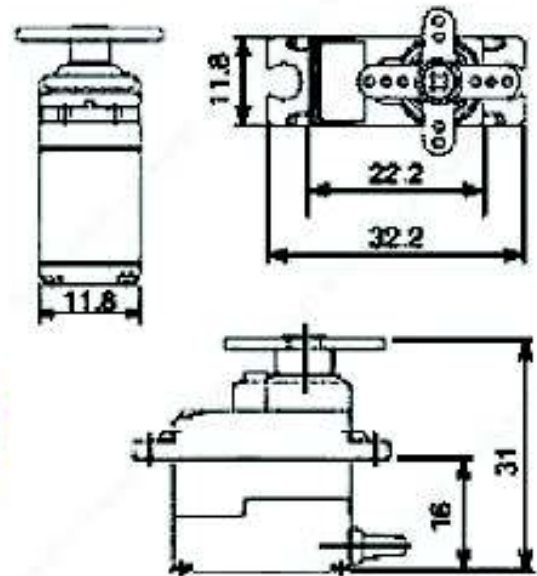
De acuerdo a la imagen, el usuario puede trabajar en 2 modos de operación:

- 1 solo disparo: en este modo, cuando ocurre una detección de movimiento (el cual llamaremos 'evento'), la salida del sensor se activa durante el tiempo que se haya ajustado a través del potenciómetro correspondiente. Para efectos de ejemplo, supongamos que el tiempo de activación es de 60 segundos. Si durante esos 60 segundos ocurre un segundo evento, éste no será considerado.
- Disparos repetitivos: en este modo, cada evento detectado genera un nuevo tiempo de activación. Volviendo al ejemplo de tiempo de 60 segundos. Cuando ocurre el primer evento, la salida se activa. Si transcurridos 30 segundos ocurre un segundo evento, entonces se sumarán 60 segundos al tiempo transcurrido, dando un total de 90 segundos continuos con la salida activa. Y así, cada evento adicional, sumará un tiempo de 60 segundos de activación al tiempo ya transcurrido.
- En cualquier caso, si la salida regresa a su estado inactivo, habrá un lapso de 3 segundos durante los cuales los nuevos eventos no serán considerados. Pasados esos 3 segundos, el dispositivo regresa a su funcionamiento normal.



## Servomotor SG90

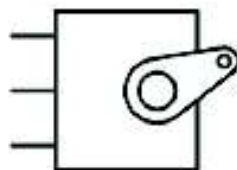
# SG90 9 g Micro Servo



Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

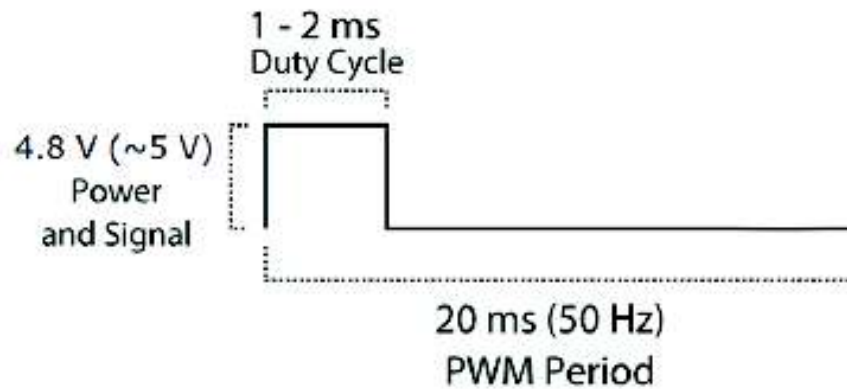
### Specifications

- Weight: 9 g
- Dimension: 22.2 x 11.8 x 31 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm
- Operating speed: 0.1 s/60 degree
- Operating voltage: 4.8 V (~5V)
- Dead band width: 10  $\mu$ s
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

PWM=Orange (⏏) 

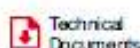
Vcc = Red (+)

Ground = Brown (-)



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.

## Max 232

Product  
FolderSample &  
BuyTechnical  
DocumentsTools &  
SoftwareSupport &  
Community

MAX232, MAX232I

SLLSD47M – FEBRUARY 1989 – REVISED NOVEMBER 2014

## MAX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers

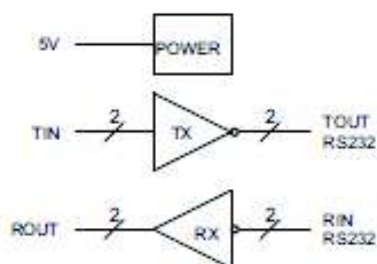
### 1 Features

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- $\mu$ F Charge-Pump Capacitors
- Operates up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- $\pm 30$ -V Input Levels
- Low Supply Current: 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
  - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- $\mu$ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202 Device

### 2 Applications

- TIA/EIA-232-F
- Battery-Powered Systems
- Terminals
- Modems
- Computers

### 4 Simplified Schematic



### 3 Description

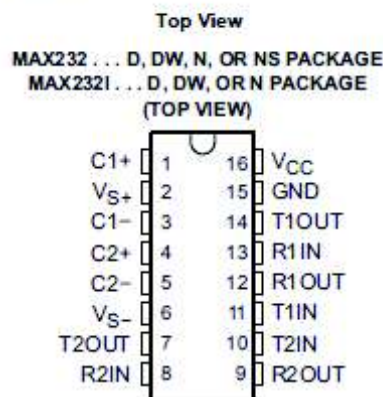
The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept  $\pm 30$ -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

ORDER NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE
MAX232x	SOIC (16)	9.90 mm x 3.91 mm
	SOIC (16)	10.30 mm x 7.50 mm
	PDIP (16)	19.30 mm x 6.35 mm
	SOP (16)	10.3 mm x 5.30 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

## 6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
C1+	1	—	Positive lead of C1 capacitor
V <sub>S</sub> +	2	O	Positive charge pump output for storage capacitor only
C1-	3	—	Negative lead of C1 capacitor
C2+	4	—	Positive lead of C2 capacitor
C2-	5	—	Negative lead of C2 capacitor
V <sub>S</sub> -	6	O	Negative charge pump output for storage capacitor only
T2OUT, T1OUT	7, 14	O	RS232 line data output (to remote RS232 system)
R2IN, R1IN	8, 13	I	RS232 line data input (from remote RS232 system)
R2OUT, R1OUT	9, 12	O	Logic data output (to UART)
T2IN, T1IN	10, 11	I	Logic data input (from UART)
GND	15	—	Ground
V <sub>CC</sub>	16	—	Supply Voltage, Connect to external 5V power supply



## MAX232, MAX232I

9LLS047M—FEBRUARY 1999—REVISED NOVEMBER 2014

www.ti.com

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

			MIN	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Input supply voltage range <sup>(2)</sup>		-0.3	6	V
$V_{S+}$	Positive output supply voltage range		$V_{CC} - 0.3$	15	V
$V_{S-}$	Negative output supply voltage range		-0.3	-15	V
$V_I$	Input voltage range	T1IN, T2IN	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
		R1IN, R2IN		$\pm 30$	
$V_O$	Output voltage range	T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$	$V_{S+} + 0.3$	V
		R1OUT, R2OUT	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
	Short-circuit duration	T1OUT, T2OUT	Unlimited		
$T_J$	Operating virtual junction temperature			150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltages are with respect to network GND.

### 7.2 Handling Ratings

			MIN	MAX	UNIT
$T_{stg}$	Storage temperature range		-65	150	°C
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>	0	2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>	0	1000	

(1) JEDEC document JEP156 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

			MIN	NOM	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage		4.5	5	5.5	V
$V_{IH}$	High-level input voltage (T1IN, T2IN)		2			V
$V_{IL}$	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)				0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage				$\pm 30$	V
$T_A$	Operating free-air temperature	MAX232	0		70	°C
		MAX232I	-40		85	

## 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	MAX232xD	MAX232xDW	MAX232xN	MAX232xNS	UNIT
	SOIC	SOIC wide	PDIP	SOP	
	16 PINS	16 PINS	16 PINS	16 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	73	57	67	64	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report (SPRA963).

## 7.5 Electrical Characteristics — Device

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Figure 6)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	MIN	TYP <sup>(2)</sup>	MAX	UNIT
$I_{CC}$ Supply current	$V_{CC} = 5.5V$ , all outputs open, $T_A = 25^\circ C$		8	10	mA

(1) Test conditions are C1–C4 = 1  $\mu F$  at  $V_{CC} = 5 V \pm 0.5 V$

(2) All typical values are at  $V_{CC} = 5 V$ , and  $T_A = 25^\circ C$ .



MAX232, MAX232I

www.ti.com

SLL3047M - FEBRUARY 1989 - REVISED NOVEMBER 2014

## 7.6 Electrical Characteristics — Driver

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>		MIN	TYP <sup>(2)</sup>	MAX	UNIT
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R <sub>L</sub> = 3 kΩ to GND	5	7		V
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage <sup>(3)</sup>	T1OUT, T2OUT	R <sub>L</sub> = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
r <sub>O</sub>	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V <sub>S+</sub> = V <sub>S-</sub> = 0, V <sub>O</sub> = ±2 V	300			Ω
I <sub>OB</sub> <sup>(4)</sup>	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V <sub>CC</sub> = 5.5 V, V <sub>O</sub> = 0 V		±10		mA
I <sub>IS</sub>	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V <sub>I</sub> = 0			200	μA

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V<sub>CC</sub> = 5 V ± 0.5 V.

(2) All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5 V, T<sub>A</sub> = 25°C.

(3) The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

(4) Not more than one output should be shorted at a time.

## 7.7 Electrical Characteristics — Receiver

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>		MIN	TYP <sup>(2)</sup>	MAX	UNIT
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT	I <sub>OH</sub> = -1 mA	3.5			V
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage <sup>(3)</sup>	R1OUT, R2OUT	I <sub>OL</sub> = 3.2 mA			0.4	V
V <sub>IT+</sub>	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V <sub>CC</sub> = 5 V, T <sub>A</sub> = 25°C		1.7	2.4	V
V <sub>IT-</sub>	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V <sub>CC</sub> = 5 V, T <sub>A</sub> = 25°C	0.8	1.2		V
V <sub>HYB</sub>	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V <sub>CC</sub> = 5 V	0.2	0.5	1	V
r <sub>I</sub>	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V <sub>CC</sub> = 5 V, T <sub>A</sub> = 25°C	3	5	7	kΩ

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V<sub>CC</sub> = 5 V ± 0.5 V.

(2) All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5 V, T<sub>A</sub> = 25°C.

(3) The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

## 7.8 Switching Characteristics

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>		MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	RL = 3 kΩ to 7 kΩ, see Figure 4				30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	see Figure 5			3		V/μs
	Data rate	One TOUT switching			120		kbit/s
t <sub>PLH(s)</sub>	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	TTL load, see Figure 3			500		ns
t <sub>PHL(s)</sub>	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	TTL load, see Figure 3			500		ns

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V<sub>CC</sub> = 5 V ± 0.5 V.



## ATmega164P



8-bit AVR Microcontrollers

ATmega164P/V

DATASHEET COMPLETE

### Introduction

The Atmel<sup>®</sup> p1coPower<sup>®</sup> ATmega164P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR<sup>®</sup> enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega164P achieves throughputs close to 1MIPS per MHz. This empowers system designer to optimize the device for power consumption versus processing speed.

### Feature

High Performance, Low Power Atmel<sup>®</sup> AVR<sup>®</sup> 8-Bit Microcontroller Family

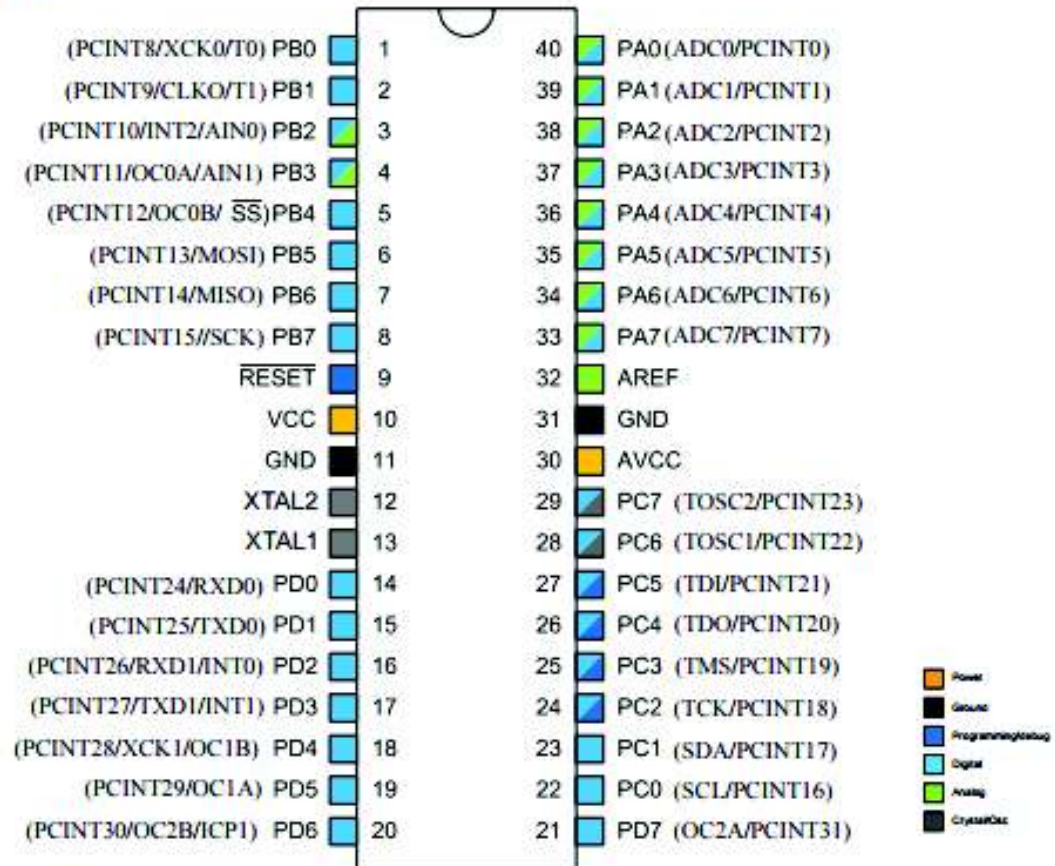
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions
  - Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 16KBytes of In-System Self-Programmable Flash Program Memory
  - 512Bytes EEPROM
  - 1KBytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data Retention: 20 Years at 85°C/100 Years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Atmel QTouch<sup>®</sup> Library Support
  - Capacitive Touch Buttons, Sliders and Wheels
  - QTouch and QMatrix acquisition

- 
- Up to 64 Sense Channels
  - JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
    - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
    - Extensive On-chip Debug Support
    - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
  - Peripheral Features
    - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
    - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
    - Real Time Counter with Separate Oscillator
    - Six PWM Channels
    - 8-channel 10-bit ADC
      - Differential Mode with Selectable Gain at 1×, 10× or 200×
    - One Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
    - Two Programmable Serial USART
    - One Master/Slave SPI Serial Interface
    - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
    - On-chip Analog Comparator
    - Interrupt and Wake-up on Pin Change
  - Special Microcontroller Features
    - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
    - Internal Calibrated RC Oscillator
    - External and Internal Interrupt Sources
    - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
  - I/O and Packages
    - 32 Programmable I/O Lines
    - 40-pin PDIP
    - 44-lead TQFP
    - 44-pad VQFN/QFN
  - Operating Voltage:
    - 1.8 - 5.5V for ATmega164PV
    - 2.7 - 5.5V for ATmega164P
  - Speed Grades
    - ATmega164PV:
      - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V
      - 0 - 10MHz @ 2.7V - 5.5V
    - ATmega164P:
      - 0 - 10MHz @ 2.7V - 5.5V
      - 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
  - Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
    - Active Mode: 0.4mA
    - Power-down Mode: 0.1µA
    - Power-save Mode: 0.6µA (Including 32kHz RTC)

## 5. Pin Configurations

### 5.1. Pinout

#### 5.1.1. PDIP



## 29. Electrical Characteristics

### 29.1. Absolute Maximum Ratings

Table 29-1. Absolute Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0mA
DC Current $V_{CC}$ and GND Pins	200.0mA

**Note:** Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### 29.2. DC Characteristics

Table 29-2. Common DC characteristics  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $105^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 1.8V$  to  $5.5V$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{IL}$	Input Low Voltage, except XTAL1 and $\overline{\text{RESET}}$ pin	$V_{CC} = 1.8V - 2.4V$	-0.5		$0.2V_{CC}^{(1)}$	V
		$V_{CC} = 2.4V - 5.5V$	-0.5		$0.3V_{CC}^{(1)}$	
$V_{IL1}$	Input Low Voltage, XTAL1 pin	$V_{CC} = 1.8V - 5.5V$	-0.5		$0.1V_{CC}^{(1)}$	V
$V_{IL2}$	Input Low Voltage, $\overline{\text{RESET}}$ pin	$V_{CC} = 1.8V - 5.5V$	-0.5		$0.1V_{CC}^{(1)}$	V
$V_{IH}$	Input High Voltage, except XTAL1 and $\overline{\text{RESET}}$ pins	$V_{CC} = 1.8V - 2.4V$	$0.7V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
		$V_{CC} = 2.4V - 5.5V$	$0.6V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	
$V_{IH1}$	Input High Voltage, XTAL1 pin	$V_{CC} = 1.8V - 2.4V$	$0.8V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
		$V_{CC} = 2.4V - 5.5V$	$0.7V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	
$V_{IH2}$	Input High Voltage, $\overline{\text{RESET}}$ pin	$V_{CC} = 1.8V - 5.5V$	$0.9V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage <sup>(4)</sup> except RESET pin	I <sub>OL</sub> = 20mA, V <sub>CC</sub> = 5V	T <sub>A</sub> = 85°C			0.9	V
			T <sub>A</sub> = 105°C			1.0	
		I <sub>OL</sub> = 10mA, V <sub>CC</sub> = 3V	T <sub>A</sub> = 85°C			0.6	
			T <sub>A</sub> = 105°C			0.7	
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage <sup>(3)</sup> except Reset pin	I <sub>OH</sub> = -20mA, V <sub>CC</sub> = 5V	T <sub>A</sub> = 85°C	4.2			
			T <sub>A</sub> = 105°C	4.0			
		I <sub>OH</sub> = -10mA, V <sub>CC</sub> = 3V	T <sub>A</sub> = 85°C	2.3			V
			T <sub>A</sub> = 105°C	2.1			
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current I/O Pin	V <sub>CC</sub> = 5.5V, pin low (absolute value)			1	μA	
I <sub>IH</sub>	Input Leakage Current I/O Pin	V <sub>CC</sub> = 5.5V, pin high (absolute value)			1	μA	
R <sub>RST</sub>	Reset Pull-up Resistor		30		60	kΩ	
R <sub>PU</sub>	I/O Pin Pull-up Resistor		20		50	kΩ	
V <sub>ACIO</sub>	Analog Comparator Input Offset Voltage	V <sub>CC</sub> = 5V, V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> /2		<10	40	mV	
I <sub>ACLK</sub>	Analog Comparator Input Leakage Current	V <sub>CC</sub> = 5V, V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> /2	-50		50	nA	
t <sub>ACID</sub>	Analog Comparator Propagation Delay	V <sub>CC</sub> = 2.7V		750		ns	
		V <sub>CC</sub> = 4.0V		500			

**Note:**

1. "Max." means the highest value where the pin is guaranteed to be read as low.
2. "Min." means the lowest value where the pin is guaranteed to be read as high.
3. Although each I/O port can sink more than the test conditions (20mA at V<sub>CC</sub> = 5V, 10mA at V<sub>CC</sub> = 3V) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
  - 3.1. The sum of all I<sub>OL</sub> for ports PB0-PB7, XTAL2, PD0-PD7 should not exceed 100mA.
  - 3.2. The sum of all I<sub>OH</sub> for ports PA0-PA3, PC0-PC7 should not exceed 100mA.  
If I<sub>OL</sub> exceeds the test condition, V<sub>OL</sub> may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test condition.
4. Although each I/O port can source more than the test conditions (20mA at V<sub>CC</sub> = 5V, 10mA at V<sub>CC</sub> = 3V) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
  - 4.1. The sum of all I<sub>OL</sub> for ports PB0-PB7, XTAL2, PD0-PD7 should not exceed 100mA.

## LM7805


[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)

## MC78XX/LM78XX/MC78XXA

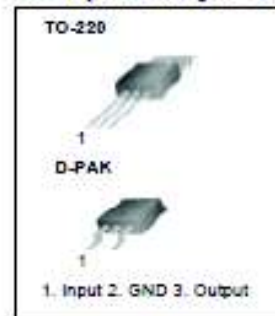
### 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

#### Features

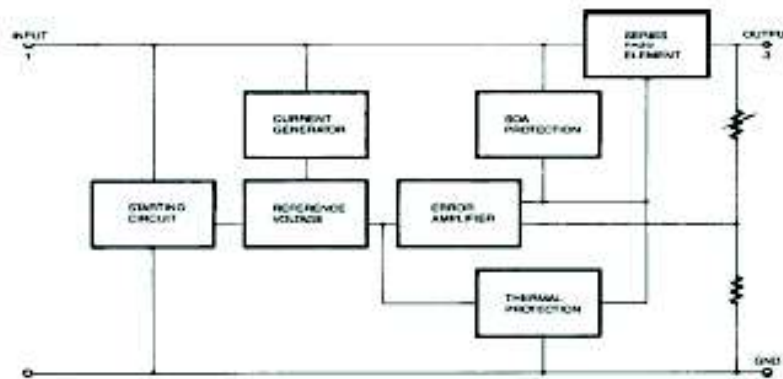
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

#### Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



#### Internal Block Diagram



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ ) (for $V_O = 24V$ )	$V_I$	35	V
	$V_{I1}$	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

## Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_I = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$ , $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note 1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note 1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	$mV / ^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10Hz$ to $100KHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V / V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{Drop}$	$I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1KHz$	-	15	-	$m\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{SC}$	$V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{PK}$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

**ANEXO C**  
**PLANOS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**