

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y  
MONITOREO DE LUCES Y SONIDOS PARA EL MUSEO DE  
HISTORIA NATURAL “GUSTAVO ORCÉS V”.

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

DIEGO ALEJANDRO CARRIÓN ARROYO  
[carrionhao@hotmail.com](mailto:carrionhao@hotmail.com)

DIRECTOR: NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc  
[nelson.sotomayor@epn.edu.ec](mailto:nelson.sotomayor@epn.edu.ec)

Quito, Marzo 2017

## DECLARACIÓN

Yo, Diego Alejandro Carrión Arroyo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la siguiente declaración cedo mis 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.

---

Diego Alejandro Carrión Arroyo

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Alejandro Carrión Arroyo, bajo mi supervisión.

---

Nelson Sotomayor, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

A mi madre, a mi padre, a mis hermanos, a mis tíos y a mi familia por estar en diferentes momentos de mi carrera brindándome el apoyo necesario para superar muchas situaciones difíciles.

A mis amigos que siempre me han extendido la mano para brindarme todo su apoyo incondicionalmente.

Al personal del departamento de Ciencias Biológicas por haberme permitido realizar el proyecto ofreciéndome toda la colaboración necesaria para la ejecución del mismo.

A cada uno de mis maestros por haber compartido sus conocimientos, experiencias y consejos que me han permitido conseguir mi superación personal, en especial a mi director MSc. Nelson Sotomayor por la ayuda brindada en el desarrollo de este proyecto.

A una excelente persona y gran amigo que siempre estuvo brindándome la ayuda necesaria para conseguir este objetivo: Marco Vázcones, aunque ya no esté con nosotros le estoy eternamente agradecido.

Diego A. Carrión Arroyo

## DEDICATORIA

A mis padres, Hilda y Rogni, a mi hermana Marilyn, y a mi hija, Yesly. Ustedes son el motivo principal de mi vida. Gracias por existir.

Diego A. Carrión Arroyo

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	i
RESUMEN .....	iv
PRESENTACIÓN .....	v
CAPÍTULO 1 .....	1
MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ILUMINACIÓN .....	2
1.1.1 LÁMPARAS .....	2
1.1.1.1 Lámparas incandescentes .....	3
1.1.1.1 Lámparas de descarga .....	3
1.1.1.1 Lámparas LED .....	4
1.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN Y AUDIO DEL MUSEO GUSTAVO ORCÉS V .....	5
1.2.1 MUSEO DE HISTORIA NATURAL GUSTAVO ORCÉS V.....	5
1.2.2 LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS INSTALADOS.....	6
1.2.3 FUNCIONAMIENTO DE ELEMENTOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA .....	7
1.2.4 SOLUCION A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS .....	8
1.3 DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS Y EQUIPOS .....	9
1.3.1 SENSOR DE MOVIMIENTO .....	9
1.3.2 SISTEMAS MICROPROCESADOS .....	10
1.3.2.1 Raspberry Pi 3 .....	11
1.3.2.2 Microcontrolador ATMEGA328P .....	12
1.3.3 REPRODUCCIÓN DE SONIDO .....	13
1.3.3.1 Amplificador de sonido TITAN 8 ACTIVE MK II .....	13
1.3.3.2 Parlante de sonido Selenium C521P .....	15
1.3.3.3 Altavoces estéreo SkyTec Sky100.016.....	17
1.3.4 LUCES RGB .....	18
1.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN .....	19
CAPÍTULO 2 .....	22
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS .....	22
2.1 ARQUITECTURA DEL HARDWARE .....	22
2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO .....	23

2.2.1 ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA .....	23
2.2.1.1 Asignación de recursos para el microcontrolador Atmega328P .....	23
2.2.1.2 BSS138 Conversor lógico bidireccional 3,3V-5V .....	25
2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SALIDA .....	26
2.2.2.1 Salida de luces RGB .....	26
2.2.2.2 Activación/desactivación del sistema de Iluminación anterior .....	30
2.2.2.3 Salida de Audio .....	33
2.2.3 DISEÑO DEL CONTROL PRINCIPAL .....	34
2.2.4 COMUNICACIÓN DE DISPOSITIVOS .....	36
2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	37
2.3.1 ENSAMBLAJE EN CAJA DE PROTECCIÓN .....	37
2.3.2 INSTALACIÓN DE LUCES RGB Y CABLEADO ELÉCTRICO .....	39
2.3.3 INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE AUDIO Y CABLEADO DE SONIDO .....	40
CAPÍTULO 3 .....	41
DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL .....	41
3.1 ARQUITECTURA DEL SOFTWARE DE CONTROL .....	41
3.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA PRINCIPAL .....	42
3.2.1 HILO DE RETARDO DE TIEMPO .....	42
3.2.2 HILO DE CONEXIÓN DE SOCKETS .....	43
3.2.3 HILO DE LECTURA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS .....	45
3.2.4 HILO DE REPRODUCCIÓN DE SONIDO .....	47
3.2.4.1 Recepción de ficheros de sonido mediante sockets .....	48
3.2.5 HILO DE CONEXIÓN SERIAL .....	49
3.2.6 BLOQUE DE PROGRAMA PRINCIPAL .....	50
3.2.6.1 Recepción de sockets .....	51
3.2.6.2 Control de iluminación .....	51
3.2.6.3 Sonido automático .....	51
3.2.6.4 Sonido manual .....	51
3.2.6.5 Proyección de luces RGB .....	52
3.2.6.6 Envío de sockets .....	52
3.3 ADQUISICIÓN Y ENVÍO SERIAL DE DATOS SENSADOS .....	55
3.4 DESARROLLO DEL SERVIDO WEB DE RASPBERRY PI .....	56

3.4.1	INSTALACIONES PREVIAS PARA SERVIDOR WEB .....	57
3.4.2	DESARROLLO DE PÁGINA WEB .....	57
3.5	DESARROLLO DE LA INTERFAZ HMI PARA PC .....	58
3.5.1	PROGRAMA PRINCIPAL DE HMI .....	58
3.5.2	VENTANA PRINCIPAL DE HMI .....	60
3.5.3	VENTANA DE CONTRASEÑA .....	61
3.5.4	VENTANA DE CONFIGURACIÓN .....	63
3.6	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN MÓVIL .....	64
3.6.1	VENTANA GENERAL DE APLICACIÓN .....	65
3.6.2	VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE APLICACIÓN .....	66
	CAPÍTULO 4 .....	67
	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	68
4.1	PRUEBAS EN MODO MANUAL .....	68
4.1.1	PRUEBAS DE HMI .....	68
4.1.2	PRUEBAS DE APLICACIÓN DE SMARTPHONE .....	70
4.1.3	PRUEBAS DE SONIDO .....	71
4.1.4	PRUEBAS DE LUCES RGB .....	71
4.1.5	PRUEBAS DE ENCENDIDO/APAGADO DE ILUMINACIÓN .....	72
4.2	PRUEBAS EN MODO AUTOMÁTICO .....	73
4.2.1	PRUEBAS DEL MONITOREO DE LUCES AUTOMÁTICAS .....	75
4.2.2	PRUEBAS DEL ENCENDIDO AUTOMÁTICO DE SONIDOS Y LUCES RGB.....	76
4.3	PRUEBAS DE CONECTIVIDAD .....	77
4.4	PRUEBAS DE CAMPO .....	78
4.4.1	ENCUESTA PARA VISITANTES .....	79
4.4.2	ENCUESTA PARA GUÍAS .....	81
4.5	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN .....	83
	CAPÍTULO 5 .....	85
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	85
5.1	CONCLUSIONES .....	85
5.2	RECOMENDACIONES .....	86
	Referencias Bibliográficas .....	88

## RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo general el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control automático y manual de un sistema de luces y sonidos, instalado en el museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V”.

En el trabajo se incluye un diagnóstico del estado actual del sistema de iluminación y audio en el museo a fin de reutilizar los elementos en buenas condiciones, reemplazar los inadecuados, y mejorar el funcionamiento del sistema con una modernización del mismo.

A partir del diagnóstico anterior se realiza el diseño e implementación de un sistema electrónico que permita el monitoreo de 14 zonas del museo, la activación y desactivación del sistema de iluminación, y el control automático y manual de 5 sonidos y dos tiras de leds RGB instalados en la localidad.

El sistema de luces y sonidos incluye la implementación de una interfaz HMI que permita monitorear y controlar las luces y sonidos del museo desde una Computadora Principal. De la misma manera se realiza una aplicación Android amigable para los usuarios que otorgue la posibilidad de controlar las luces y sonidos desde el teléfono móvil.

Finalmente se realizan las pruebas de operación de los sistemas implementados mediante recorridos con guías y visitantes para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

## PRESENTACIÓN

El presente proyecto se encuentra estructurado por cinco capítulos en los cuales se desarrolla el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de luces y sonidos en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V., a continuación se presenta un resumen del contenido de cada uno de los capítulos:

En el Capítulo 1 se presenta la revisión bibliográfica acerca de sistemas eléctricos de iluminación y de los módulos y dispositivos utilizados en el proyecto. Posteriormente se expone el estado actual del sistema de iluminación y audio, así como de los dispositivos instalados anteriormente, para establecer los problemas y plantear las soluciones. A continuación se realiza un análisis de los lenguajes de programación a utilizar, para escoger el que mejor se adapte a las soluciones requeridas.

Pasando al Capítulo 2, se puede encontrar el diseño de los circuitos electrónicos de potencia y control elaborados, la instalación del tendido eléctrico para sonido e iluminación, el ensamblaje en la caja metálica de protección del sistema, y las conexiones respectivas de sensores, sistema microprocesado, placas PCB, luces RGB y equipos de sonido implementados en el museo de Historia Natural.

El desarrollo de la lógica de programación para el sistema de control de luces y sonidos automático y manual se describe en el Capítulo 3, así como el algoritmo para la interfaz HMI en la Computadora. Adicional a ello se realiza la descripción del software diseñado para el Smartphone y la conectividad entre los tres dispositivos.

Continuando con el Capítulo 4, se presentan las pruebas de operación automática y manual del sistema realizadas con los usuarios y guías del museo, que permiten verificar un adecuado funcionamiento del proyecto en general.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el transcurso del proyecto desarrollado son presentadas en el Capítulo 5.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

En la actualidad, existen una infinidad de museos alrededor del mundo que cuentan con gran calidad de información e investigación para ser compartida al público, pero por la complejidad o la falta de interactividad de sus elementos se torna difícil de asimilar. Esto ha provocado una transformación de estas instalaciones, consiguiendo de esta manera lugares de mucha interactividad en donde la diversión es parte fundamental del aprendizaje. Gracias a la implementación de tecnología se ha conseguido que los visitantes se sientan motivados e impresionados por la historia, consiguiendo así usuarios que expresen mejores críticas de la localidad, promoviendo una mayor cantidad de visitas a estos lugares. [1]

De la misma manera, el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V. actualmente cuenta con piezas fósiles, ornamentas y ambientes recreados en los cuales han intervenido varios estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional desarrollando proyectos que aprovechan el avance tecnológico de los últimos años, convirtiendo un lugar que anteriormente se tornaba rústico, antiguo y estático, en verdaderas obras de interés popular, resaltando y reviviendo diferentes entidades de la sala.

Sin embargo, en el transcurso del tiempo se ha observado el aparecimiento de problemas en un sistema de luces y sonidos automáticos anteriormente implementado, así como la falta de interactividad en ciertos componentes del museo, por lo que se ha establecido la necesidad de una modernización de este sistema automático que permita superar los problemas encontrados.

Para lograrlo se ha propuesto diseñar e implementar un sistema que refuerce el sistema de luces y sonidos implementado, alcanzando un manejo más adecuado de los dispositivos ya instalados, un realce llamativo y presentable de ornamentas con falta de interactividad, así como un sistema que se adapte de mejor manera a las necesidades de los guías encargados.

## 1.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ILUMINACIÓN

En la actualidad existen múltiples sistemas de iluminación para realizar el diseño en base a las condiciones físicas y necesidades de los usuarios. Estos sistemas se fundamentan en el continuo desarrollo de tecnología que aprovechan los diferentes efectos físicos que se van descubriendo con el paso del tiempo, consiguiendo así características y funcionalidades más adaptables a las diferentes condiciones de ambiente, espacio, conectividad, energización, etc. [2]

Cabe mencionar que se han ido desarrollando parámetros adicionales en la manipulación de los sistemas de iluminación. Entre ellos se puede mencionar sofisticados grupos de iluminación en los cuales se controla la intensidad de luz (dimmer), iluminación con colores específicos (Luces RGB, tecnología Led), activado mediante sonidos (aplausos, voces), activación automática en horarios definidos (relés de tiempo, sistemas electrónicos), entre otros.

### 1.1.1 LÁMPARAS [3]

Una lámpara o bombilla eléctrica es un dispositivo que tiene la función de convertir la energía eléctrica en luz. Para ello hace uso de diferentes efectos físicos de la naturaleza que derivan en la transformación de la energía.

Las lámparas poseen varias características que describen su capacidad de iluminación, lo cual se puede determinar mediante el análisis de los parámetros mostrados en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Parámetros de caracterización de Lámparas [3]

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
<b>Lumen (lm)</b>	Es la unidad que mide la cantidad de luz emitida.
<b>Rendimiento de color (IRC):</b>	Señala la capacidad de una fuente de luz artificial en reproducir los colores, teniendo como referencia el Sol (100%).
<b>Vida útil:</b>	Es el tiempo estimado en horas después del cual es recomendable sustituir las lámparas de una instalación para evitar la disminución de los niveles de iluminación.
<b>Rendimiento luminoso:</b>	Se trata de la cantidad de luz emitida (lm) por unidad de potencia eléctrica consumida (W).

### 1.1.1.1 Lámparas Incandescentes [3]

Las lámparas incandescentes se basan en el efecto Joule, en el cual se consigue elevar un material a altas temperaturas hasta que empieza a emitir luz visible. Poseen un filamento de tungsteno envuelto en una botella de cristal que se llena con un gas para evitar la evaporación del filamento al momento de la elevación de temperatura, como se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1.1** Lámpara incandescente [2]

En general, el rendimiento de este tipo de lámpara es bajo ya que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Se puede clasificar las lámparas incandescentes en dos grupos: halógenas y no halógenas.

### 1.1.1.2 Lámparas de descarga [3]

Las lámparas de descarga son una forma alternativa de producir luz, en donde se hace circular una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno de gas, debido al suministro de una diferencia de potencial entre los electrodos que provoca las descargas eléctricas que origina la luz. La Figura 1.2 muestra un ejemplo de lámpara de descarga fluorescente.



**Figura 1.2** Lámpara fluorescente [2]

Es necesario la presencia de cebadores que suministren un poco de tensión entre los electrodos del tubo para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica, así como dispositivos que sirven para limitar la corriente

que atraviesa la lámpara y de este modo evitar un exceso de electrones circulando por el gas, hecho que aumentaría la intensidad eléctrica hasta producir la destrucción de la lámpara. Existen varios tipos de lámparas de descarga como las lámparas de vapor de mercurio, las lámparas de vapor de sodio, las lámparas fluorescentes, entre otras.

### 1.1.1.3 Lámparas LED [3]

Las lámparas de LEDs son el progreso más novedoso en el ámbito de la iluminación. Se trata de un dispositivo semiconductor que emite luz cuando se polariza y es atravesado por la corriente eléctrica.

El uso de lámparas basadas en la tecnología LED se está incrementando de una forma notable últimamente, ya que tiene una vida útil más prolongada que cualquier otro tipo de lámpara, una menor fragilidad y un mayor aprovechamiento de la energía. Una lámpara de este tipo se muestra en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Lámpara Led [2]

Algunas características de este tipo de lámparas se presentan a continuación:

- Su rendimiento es superior a otras lámparas: 100-150 lm/W.
- Su vida útil se encuentra entre las 50.000 y 100.000 horas.
- Su IRC es de aproximadamente el 90%.
- Consiguen una alta fiabilidad.
- Tienen una respuesta muy rápida.
- Conllevan menos riesgo para el medio ambiente.
- Es la tecnología más cara.

Aunque son más costosos se prevé una rápida evolución. Cabe mencionar que existe una preferencia actual de fabricantes que se decantan por desarrollar productos con tecnología led.

## 1.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN Y AUDIO DEL MUSEO GUSTAVO ORCÉS V.

Para realizar el levantamiento de información sobre el estado inicial del sistema, se ha revisado la documentación respectiva [4] en la que se describen los planos eléctricos elaborados, los dispositivos instalados, y las placas electrónicas diseñadas para la consecución del sistema de audio e iluminación.

### 1.2.1 MUSEO DE HISTORIA NATURAL GUSTAVO ORCÉS V. [5]

El museo de Historia Natural se encuentra establecido en las localidades de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, Ecuador. Fue creado como una iniciativa de los investigadores y miembros del Instituto de Ciencias Biológicas para la enseñanza de la naturaleza ecuatoriana actual y pasada.

Este museo se encuentra dividido en dos áreas principales: la sala del pasado y la sala del presente. En la Figura 1.4 se puede observar el plano que describe la ubicación de las dos áreas en el museo Gustavo Orcés V.

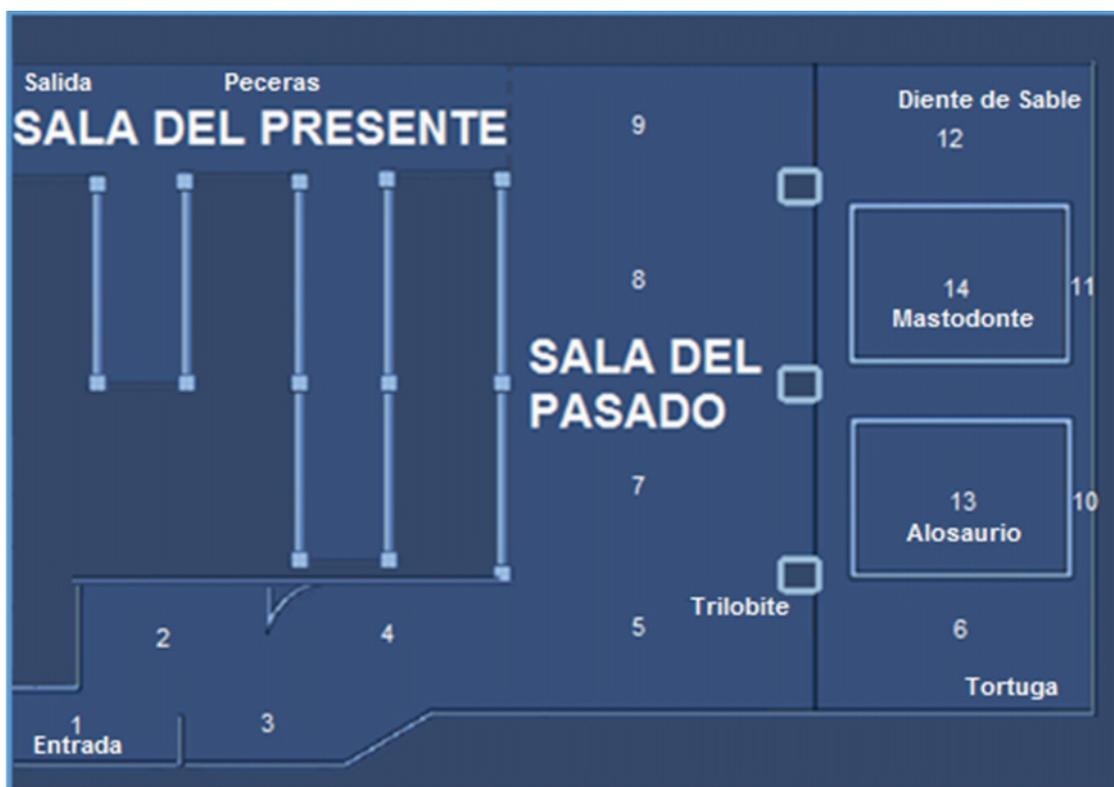


Figura 1.4 Zonas del museo Gustavo Orcés V.

En el área del pasado se recrea el origen del universo mediante la teoría del Big Bang, la historia geológica de la Tierra, el origen de la vida y la evolución de las especies a través de pinturas plasmadas en las paredes. Se tiene también una exhibición de fósiles de fauna encontrada en los yacimientos ecuatorianos del Pleistoceno, maquetas de animales prehistóricos (tigre Dientes de Sable, Alosaurio, tortuga, Mastodonte) así como representaciones del Bosque Petrificado de Puyango y del yacimiento de fósiles del Carchi.

En el área del presente podemos encontrar información sobre las áreas protegidas del Ecuador, así como representaciones de los diferentes ecosistemas que alberga este país: Bosques húmedos, Secos, Manglares, Amazonía, Páramos y Galápagos. Se hallan peceras con algunas especies vivas nativas y un terrario con las condiciones del bosque nublado del occidente ecuatoriano.

Cabe mencionar que el personal del museo, conjuntamente con profesores y estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional, han venido realizando proyectos para modernización de la Sala de Paleontología entre los cuales se destacan la implementación de un sistema de control y audio de la maqueta animada de un Alosaurio, y la implementación de sistemas de realidad aumentada e iluminación para seis dioramas del museo.

### **1.2.2 LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS INSTALADOS**

Mediante los planos eléctricos anteriormente mencionados se han ubicado en el museo 16 sensores para adquisición de datos, tres parlantes como salidas de audio, un amplificador de audio Titan 8 ACTIVE MK II, un tablero de control con pulsadores, pantalla LCD y los circuitos elaborados, una conexión serial desde el tablero de control hacia la computadora de la entrada al museo, un programa de control en Labview instalado en la computadora mencionada, así como el cableado eléctrico de sensado, iluminación y audio instalado previamente.

Después de localizar los elementos utilizados, se procede a revisar su funcionamiento.

### **1.2.3 FUNCIONAMIENTO DE ELEMENTOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA**

Se han realizado pruebas en los 16 sensores instalados, observando que todos cumplen su función de apertura o cierre de contactos, encendiendo el grupo de luminarias que les corresponden cada vez que se detecta movimiento.

Se ha comprobado el funcionamiento del control automático de luces realizado por los circuitos y microcontroladores del sistema, por lo que se determina que el sistema de iluminación se encuentra en buen estado, estableciendo la simple necesidad de cambiar las bombillas dañadas en varios puntos de la sala.

Se ha determinado que el sistema de audio ha llegado a estropearse completamente, dejando sin sonido ambiental a la toda la sala del Pasado. Esto se ha producido inicialmente por el reemplazo de la computadora principal, que anteriormente manejaba las luces y proveía de sonido a las diferentes salidas mediante una interfaz instalada en la misma. La nueva computadora al no tener la interfaz ni los conectores propicios para la conexión de la comunicación, ha dejado en desuso el cable de comunicación serial que deriva en el deterioro del mismo por la inadecuada manipulación, y con ello ha quedado inutilizable el control manual de luces y sonidos desde la computadora principal.

Se procedió a revisar el amplificador de sonido comercial y el circuito de multiplexación de audio que se encuentran almacenados en la bodega del museo, los que habían sido desconectados de la computadora principal dejando en desuso los cables de audio que partían desde la PC. Se comprueba el buen funcionamiento del amplificador, sin embargo el circuito de multiplexación presentó fallas.

Se ha procedido a probar el control local mediante los pulsadores y la pantalla LCD en el tablero principal, y se concluye que existe un completo deterioro de estos elementos debido al tiempo de utilización y la falta de mantenimiento, por lo que ya no se cuenta con el control local manual del sistema.

Se destaca la falta de interactividad en elementos importantes de exposición (Maqueta de Dientes de Sable y Fósil de Trilobite sobre plataforma, ver Figura 1.4), en los cuales se requiere una mayor participación con el público en general.

A continuación se plantea las soluciones a los problemas descritos y las funcionalidades adicionales que presentará el nuevo sistema de control y monitoreo de luces y sonidos.

#### **1.2.4 SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS**

Para solucionar los problemas descritos, se planea el uso de un sistema microprocesado que realice la lectura de las señales provista por los 16 sensores ya instalados, que tenga integrado un reproductor de sonido para independizar el sonido de la computadora principal, así como una comunicación inalámbrica para realizar el control desde la PC o desde el Smartphone sin una conexión física.

Se plantea realizar el control de cinco sonidos de forma automática y manual a través de cuatro parlantes y un amplificador de sonido comercial, los que serán ubicados en las posiciones descritas en el Anexo A-1.

Al ubicar los parlantes en estas posiciones, se consigue aumentar la interacción con el público en cuatro lugares que necesitaban mejorar su presentación mediante sonidos específicos para cada zona, y una distribución uniforme y de buena intensidad del sonido en toda la sala del pasado al reproducir un sonido general.

Para mejorar la interacción con el público de dos entidades importantes del museo (Tigre Dientes de Sable y Fósil de Trilobite), se dispone colocar adicionalmente dos grupos de leds RGB controlados manual o automáticamente, que resalten su presentación en las posiciones descritas en el Anexo A-2.

Adicionalmente se plantea diseñar una interfaz HMI que se adapte fácilmente a cualquier sistema operativo de computador, por lo cual se propone desarrollar una interfaz en Java, que complemente el control del sistema de luces y sonidos. Esta interfaz comandará la activación y desactivación total del sistema de luces anterior, así como el control de forma automática o manual de los cinco sonidos y los dos grupos de leds RGB.

Finalmente se propone realizar una aplicación para Smartphone que permita el mismo monitoreo y control del nuevo sistema de luces y sonidos del museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS Y EQUIPOS.

Para el diseño e implementación del sistema de luces y sonidos en el museo de Historia Natural es necesario realizar la descripción de las características y funciones de los dispositivos y elementos que formarán parte del sistema, que permita esquematizar el proyecto a realizar, elaborar el sistema y cumplir con los requerimientos planteados. A continuación se describen las características y funcionalidades de los dispositivos que intervienen en el sistema.

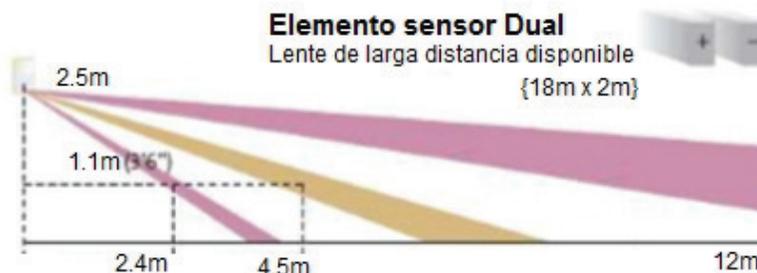
#### 1.3.1 SENSOR DE MOVIMIENTO [4]

Para el sensado de movimiento se utiliza las señales provenientes de los sensores ZODIAC PRO RK410PR, ya instalados en el museo (Figura 1.7).



**Figura 1.7** Detector de Movimiento ZODIAC PRO RK410PR [4]

El sensor ZODIAC PRO RK410PR es un detector de movimiento para interiores, basado en tecnología PIR, la cual posee una montura giratoria que permite orientarlo en la dirección que ofrezca una cobertura adecuada, con un alcance superficial de hasta 12x12 metros como se muestra en la Figura 1.8.



**Figura 1.8** Rango de detección del sensor ZODIAC PRO RK410PR [4]

La salida es de tipo relé normalmente cerrado. Al detectar un cambio promedio del calor irradiado en su rango de cobertura, el sensor abre su salida tipo relé en un tiempo suficiente para que el controlador identifique este cambio.

En la Tabla 1.2 se muestran las características técnicas y especificaciones más importantes del sensor utilizado en el museo Gustavo Orcés V.

**Tabla 1.2** Especificaciones técnicas ZODIAC PRO RK410PR [4]

ESPECIFICACIÓN	VALOR
VOLTAJE DE OPERACIÓN	9 a 16 V
CORRIENTE	14 mA a 12 Vdc
CONTACTOS DE ALARMA	100 mA a 24 Vdc, NC
CONTACTOS DE TAMPER (SEGURIDAD)	100 mA a 24 Vdc, NC
DIMENSIONES	107x58x39 mm
AJUSTE GIRATORIO	Horizontal: +- 25°
	Vertical: +5°,-20°
FILTRO ÓPTICO	Protección de Luz Blanca
	Lentes Pigmentados
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-10 a +50 °C
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO	-20 a +55 °C

### 1.3.2 SISTEMAS MICROPROCESADOS

Con la revolución electrónica de estos últimos años la tecnología se ha venido desarrollando exponencialmente a tal punto que enormes sistemas electrónicos que anteriormente ocupaban cuartos enteros se vienen simplificando para caber actualmente en la palma de una mano. Esto se debe al desarrollo de los sistemas microprocesados que cada vez son más reducidos.

Para el proyecto realizado, se toma en cuenta las necesidades establecidas en el diagnóstico del sistema actual, por lo que se elige una Placa Raspberry Pi 3 para comunicación inalámbrica, empleo de múltiples pines entrada/salida de Propósito General (GPIO), reproducción de sonidos y almacenamiento de información en la misma placa, con lo que no se tendría los problemas anteriormente suscitados. Adicionalmente, debido a que las señales provenientes de los sensores se encuentran trabajando con 5V, se utiliza un microcontrolador ATMEGA328P para

codificar las señales, convertir a 3.3V y transmitir mediante el uso del pin de comunicación serial.

A continuación se dará una introducción a los sistemas a utilizar en el proyecto.

### **1.3.2.1 Raspberry Pi 3**

La Raspberry Pi es un computador de placa simple (SBC) con arquitectura ARM, de tamaño de una tarjeta de crédito desarrollado originalmente por la Fundación Raspberry Pi (Reino Unido) para promover una manera simple y rentable de enseñar conceptos básicos de informática en las escuelas. Desde su creación, el Pi basado en Linux se ha convertido en la base de varias construcciones de proyectos DIY (Hazlo tú mismo) para aplicaciones de PC móviles. [6]

La Raspberry Pi 3 mostrada en la Figura 1.9 es un minicomputador que posee múltiples características para desarrollo de proyectos electrónicos de donde se destaca la disposición de un Plug de audio, memoria de almacenamiento, 40 pines GPIO para interacción con el medio, conexión wifi, bluetooth, comunicación serial, así como una página web propia del dispositivo, con lo cual se puede conectar inalámbricamente a la computadora principal o a un Smartphone, guardando los sonidos en la propia placa SBC.

La Raspberry Pi 3 es la tercera generación de Raspberry Pi. Sus componentes más importantes son [7]:

- ✓ Una CPU ARMv8 quad-core de 64 bits y 1.2 GHz (Broadcom BCM2837)
- ✓ LAN inalámbrica 802.11n
- ✓ Bluetooth 4.1
- ✓ Bluetooth de bajo consumo (BLE)
- ✓ 1 GB de RAM
- ✓ 4 puertos USB
- ✓ 40 pines GPIO
- ✓ Puerto Full HDMI
- ✓ Puerto Ethernet
- ✓ Conector de audio combinado de 3,5 mm y vídeo compuesto
- ✓ Interfaz de la cámara (CSI)

- ✓ Interfaz de pantalla (DSI)
- ✓ Ranura para tarjeta Micro SD (ahora push-pull en lugar de push-push)
- ✓ VideoCore IV núcleo de gráficos 3D



**Figura 1.9** Raspberry Pi 3 Modelo B [7]

### 1.3.2.2 Microcontrolador ATMEGA328P

El Atmega328p es un microcontrolador CMOS (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico) de 8 bits de bajo consumo energético basado en la arquitectura AVR RISC (Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas) mejorada. Este microcontrolador ejecuta potentes instrucciones a una elevada velocidad y rendimiento, permitiendo optimizar el consumo de energía versus su procesamiento y velocidad. [8]

En la Tabla 1.3 se presenta las especificaciones técnicas del microcontrolador Atmega328p.

**Tabla 1.3** Especificaciones técnicas Atmega328p [8]

Microcontrolador	ATmega328p
Timer Contador 8 bits	2
Timer contador 16 bits	1
Canales PWM	6
Canales ADC 10 bits	8
Interfaz serial SPI	2
USART	1
TWI (I2C)	1

Pines	28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32- pad QFN/MLF
Líneas I/O de propósito general	23
Voltaje de operación	1.8 – 5.5 V
Rango de temperatura	-40°C / 105°C
Corriente DC por Pin	20 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1KB
Grado de Velocidad	0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V

Para ampliar esta información, revisar el datasheet del Atmega328p.

### 1.3.3 REPRODUCCIÓN DE SONIDO [4]

Para la reproducción de sonido se emplea el amplificador de sonido TITAN 8 ACTIVE MK II, utilizado para aumentar la potencia de la señal hacia sus cuatro salidas para que sea plenamente audible en toda la sala. Así mismo se dispone de cuatro cajas acústicas que aprovechan la potencia que el amplificador otorga. Tres de éstas son cajas acústicas Selenium C521P, mientras la otra es una caja acústica SckYTEK.

#### 1.3.3.1 Amplificador de Sonido TITAN 8 ACTIVE MK II

El Titan 8 Active es un sistema de caja amplificada profesional de dos vías con inteligencia electrónica. Está provista de un sistema de protección ante sobrecarga, cortocircuito, térmico, silencio On/Off y límites de LF/HF. Presenta una entrada para micrófono con un nivel de ganancia ajustable, que permite el manejo de un micrófono dinámico para ser utilizado sin mezcladora. Las dos bandas de EQ del Titan 12A y 15A se encuentran caracterizadas en el modelo 8A MKII en una versión más compacta que permiten una sintonía fina del sonido. En la Figura 1.10 se muestra al amplificador Titan 8A MKII.



**Figura 1.10** Amplificador TITAN 8 ACTIVE MKII [4]

En la Tabla 1.4 se encuentra las características más relevantes del amplificador de audio Titan 8A MKII.

**Tabla 1.4** Especificaciones técnicas TITAN 8 ACTIVE MKII [4]

MODELO	TITAN 8 ACTIVE MKII
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
Tipo de sistema	Sistema bi-amplificado de 2 direcciones Activo 8"
Respuesta de frecuencia +/- 3db	70-20KHz
Máximo SPL(Calculado)	119 Db
<b>Línea de Salida</b>	
Conector de línea de salida	Bucle conmutable / Conector macho XLR Balanceado mix
Sensibilidad	0dBu(-2.2dBv o 0.775Vrms)
Impedancia balanceada	Balanceada: 1k ohm – Desbalanceada: 500 ohm
<b>Entrada A – Tipo</b>	Micrófono balanceado conmutable o entrada de línea de nivel
Sensibilidad de entrada	Mic: -47dBu (-49.2dBv o 3.4 mVrms) Línea: 0dBu(-2.2 dBv o 0.775Vrms)
Nivel máximo de entrada	+22dBu
Conector de entrada	XLR / 1/4" Combo Jack
Impedancia de entrada	Balanceada: 20k ohm – Desbalanceada: 10k ohm
<b>Optimizador de respuesta de graves</b>	
Filtro subsónico	30 Hz, Filtro de segundo Orden
<b>Amplificadores</b>	
Baja frecuencia (Clase D)	Clasificado 150W RMS, 300W Pico
Alta frecuencia (Clase D)	Clasificado 30W RMS, 60W Pico

Cruce por cero electrónico	24 dB por octava Linkwitz-Riley
Frecuencia de cruce por cero	2.4KHz
Controles	Alto (+- 10 dB) 10KHz
Ecualización	Bajo (+- 10dB) 100Hz
<b>Transductor de baja frecuencia</b>	
Tamaño (mm/pulg.)	205 mm / 8"
Tamaño de Bobina (mm/pulg.)	38.86mm / 1.53"
Impedancia	4 Ohm
<b>Transductor de alta frecuencia</b>	
Tipo	Driver de compresión
Tamaño de bobina (mm/pulg.)	25mm / 1"
Tamaño de salida (mm/pulg.)	30mm / 1.2"
Material de Diafragma	Tela
Impedancia	8 Ohm
Cobertura de alta frecuencia (HxV)	90° x 60°
<b>Protección de amplificador</b>	
Protección de encendido	Switch de poder on/off silenciado
Protección térmica	Cierre de Amplificador, auto reset
Cierre de bajo voltaje en la línea	< 80VAC

### 1.3.3.2 Parlante de Sonido Selenium C521P [4]

Para la sonorización del Museo se ha escogido la caja acústica Selenium ya instalada, la que a través de un woofer de 5 ¼", un cono de polipropileno, una bobina de gran excursión y una membrana tweeter de ¾" en PEI proporcionan una gran opción para la reproducción de sonido con un óptimo rendimiento acústico. Con la forma de la caja acústica (sin paredes paralelas) mostrada en la Figura 1.11 se obtiene una respuesta de frecuencia plana y suave con una mínima generación de ruido y distorsión.



**Figura 1.11** Caja pasiva Selenium C521P [4]

En la Tabla 1.5 se resumen las características más importantes de la caja acústica Selenium C521P.

**Tabla 1.5** Especificaciones técnicas Selenium C521P [4]

<b>MODELO</b>	<b>C521P</b>
IMPEDANCIA NOMINAL	8 Ohm
POTENCIA	80 Watts
SENSIBILIDAD (1W/1m)	89 dB SPL
RESPUESTA DE FRECUENCIA	95-20000 Hz
DIMENSIONES	146mm x 215mm x 182 mm
<b>WOOFER</b>	
DIÁMETRO NOMINAL	127 mm
MATERIAL DEL CONO	Polipropileno
MATERIAL DEL BORDE	Nitrilo
<b>TWEETER</b>	
DIÁMETRO	19 mm
MATERIAL DEL DIAFRAGMA	PEI
MATERIAL DEL CONJUNTO MAGNÉTICO	Ferrita
<b>GABINETE</b>	
TIPO	Reflector de Graves
MATERIAL	Poliestireno Alto Impacto
CONEXION	Bornes de resorte
PESO NETO	1.765 Kg

### 1.3.3.3 Altavoces estéreo SkyTec Sky 100.016 [9]

Los altavoces estéreo SkyTec Sky 100.016 son una pareja compacta de alta potencia adecuado para generar un sonido envolvente y de alta fidelidad. Consiste de un sistema constituido por un woofer 4 y un tweeter 3/4" de poli-carbonato. Se considera ideal para uso independiente o conjuntamente con un altavoz central. Se suministra por pareja y con soportes de montaje. En la Figura 1.12 se puede observar el parlante en mención.



**Figura 1.12** Altavoces estéreo SkyTec Sky 100.016 [9]

En la Tabla 1.6 se puede observar las especificaciones del parlante escogido para la reproducción de sonido.

**Tabla 1.6** Altavoces estéreo SkyTec Sky 100.016 [9]

MODELO	Sky 100.016
DIMENSIONES	210 x 160 x 150mm
PESO	2.3kg
POTENCIA MAXIMA	75W
COLOR CAJA	Blanco
SPL @ 1W/1M	89dB
RESPUESTA EN FRECUENCIA	70Hz - 20kHz
IMPEDANCIA	8 Ohm
BORNES CONECTORES	Rojo/Negro
TWEETER	2cm (3/4") policarbonato
WOOFER	10cm (4 pulgadas) de propileno

### 1.3.4 LUCES RGB [10]

Para el aumento de interactividad de las dos entidades del museo, se utiliza una tira de led RGB de 5m con 300 Leds tipo SMD 5050 que ofrece una iluminación a varios colores formados mediante el control de voltaje en cada línea. Equipada con un recubrimiento epóxico, posee una protección IP65 que le proporciona total protección contra el agua. Hoy en día es utilizada para cualquier lugar que requiera iluminación por su gran flexibilidad, por su versatilidad al momento de cortar y pegar y por la facilidad en su instalación.

En la Figura 1.13 se muestra la tira de luces led RGB.



**Figura 1.13** Tira de leds RGB 5050 [10]

En la Tabla 1.7 se describe las especificaciones técnicas más importantes de la tira de leds RGB.

**Tabla 1.7** Especificaciones técnicas Led RGB 5050 [10]

Voltaje de Operación	9-14v
Tipo de LED	5050
Cantidad de LED's	300 (60 x metro)
Grados de proyección	120°
Materiales	Cobre pintado de blanco con
Consumo	RGB-300 @ 72W
Lúmenes	RGB-300 @2160 lm*
Compatibilidad	Universales, se pegan en
Temperatura de operación	-20°/+100°
Horas de vida	50,000 horas (puede variar)
Garantía	1 año
Peso	350 gr

## 1.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Los lenguajes de programación pueden dividirse en dos categorías: Lenguajes interpretados y lenguajes compilados. Los lenguajes interpretados requieren de un programa adicional para traducir los comandos de los programas desarrollados, mientras que los lenguajes compilados se desarrollan a través de un programa anexo llamado compilador el cual crea un nuevo archivo independiente denominado ejecutable que no necesita ningún otro programa para ejecutarse. [11]

Entre los lenguajes de programación más utilizados en la actualidad según el índice TIOBE se encuentran: JAVA, C, C++, Python, C #, Visual Basic, Javascript, PHP, Perl, Assembly Lenguaje. [12]

En la Tabla 1.8 se realiza una comparación de las características de varios lenguajes de programación, planteando ventajas y desventajas que permitan la selección de un lenguaje de programación adecuado para el proyecto planteado.

**Tabla 1.8** Comparación entre Lenguajes de programación. [13] [14] [15] [16] [17] [18]

LENGUAJE	CARACTERÍST.	VENTAJAS	DESVENTAJAS	OPINIÓN
PYTHON	Lenguaje multiplataforma orientado a objetos, Código interpretado. Permite desarrollar arquitecturas cliente-servidor, programas multi-hilo, y aplicaciones distribuidas.	Fácil de aprender. Permite escribir programas compactos y legibles. Extensa biblioteca a libre disposición web. Permite trabajar con programas en paralelo. No requiere de compilación.	Relativamente lento en su ejecución.	Es una opción para realizar programas bastante compactos, legibles y con cierto orden inminente. Para programas que necesitan de rapidez en su desarrollo, mas no en su ejecución.
JAVA - NETBEANS	Lenguaje multiplataforma orientado a objetos. Lenguaje distribuido, orientado al trabajo en red. Permite el desarrollo de	Lenguaje muy completo, simple y bastante documentado. Sus aplicaciones se pueden ejecutar en cualquier plataforma.	Se debe esperar actualizaciones. Relativamente lento en su ejecución.	Para realizar aplicaciones de todo tipo, que permita distribuir el trabajo entre varios sistemas así como ejecutarlos fácilmente en

	<p>aplicaciones multi-hilo.</p> <p>Robusto en la detección de errores. Seguro y Portable.</p>	<p>Al ser orientado a objetos permite su modularización.</p> <p>Permite elaborar aplicaciones con varios hilos en paralelo.</p>		<p>varias plataformas.</p>
C++	<p>Lenguaje híbrido, en estilo procedimental, orientado a objetos o basado en eventos.</p> <p>Enorme versatilidad en la solución de problemas y gran portabilidad.</p>	<p>Lenguaje de gran difusión, con una gran cantidad de información para desarrollar.</p> <p>Uno de los lenguajes más rápidos.</p> <p>Lenguaje Ideal para sistemas robustos</p> <p>Cuenta con gran cantidad de herramientas.</p>	<p>No es atractivo visualmente</p> <p>No soporta creación de aplicaciones web</p>	<p>Para programas que necesitan de cierta rapidez en su ejecución, así como versatilidad para solucionar problemas.</p>
BASIC - BASCOM	<p>Lenguaje de propósito general de economía sintáctica, control de flujo, estructuras sencillas y un buen conjunto de operadores.</p> <p>Polivalente y muy potente.</p>	<p>Es de fácil aprendizaje, interactivo, con mensajes de error claros.</p> <p>Extensa información a libre disposición en la web.</p> <p>Permite la programación en los sistemas Windows fácilmente.</p>	<p>Problema por versiones.</p> <p>Escaso soporte en la programación orientada a objetos.</p> <p>Incapacidad de trabajar con tareas multihilo.</p>	<p>Este lenguaje es útil para trabajar en plataformas windows, de fácil manejo por su interactividad, aprovechando su capacidad de emitir mensajes de error claros</p>
PHP	<p>Lenguaje de programación interpretado multiplataforma gratuito, utilizado principalmente para la generación de páginas web dinámicas.</p> <p>Permite el manejo de base de datos.</p> <p>Es un lenguaje eficiente, de gran estabilidad para el manejo de recursos y variables.</p>	<p>Es un lenguaje fácil de aprender y muy popular. Desarrollo de gran simplicidad.</p> <p>Bastante documentado. Es rápido al ser ejecutado.</p> <p>No requiere de compilación.</p> <p>Muchos servicios de alojamiento web tienen PHP.</p>	<p>Necesita un servidor para funcionar</p> <p>Deficiente para aplicaciones grandes.</p> <p>Todo el trabajo se realiza en el servidor y mucha información o solicitudes pueden provocar ineficiencia.</p>	<p>Lenguaje de rápida ejecución creado para el diseño de páginas web.</p>

BLOCKY- APP INVENTOR	Lenguaje de programación basado en bloques y orientado a eventos. Desarrollo de aplicaciones móviles de forma Online.	Muy fácil de aprender y utilizar, con una gran cantidad de información en la web. No se necesita ningún tipo de Software instalado para su desarrollo.	Pocas Herramientas, Opciones de diseño limitadas.	Programación rápida de aprender y fácil de utilizar creado para el desarrollo de aplicaciones móviles.
----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

Después de realizar la comparación de los diferentes lenguajes, se llega a la conclusión de que el lenguaje Python es el más beneficioso para el proyecto de control automático de luces y sonidos, por ser un lenguaje interpretado propio del sistema microprocesado elegido, lo que permite un rápida construcción del programa en cuestión, con una extensa cantidad de información para desarrollo de la programación y con un orden inminente en su elaboración, teniendo relativamente menor velocidad de ejecución, pero con la capacidad de realizar multitareas con el uso de hilos de programación.

Para la elaboración de la interfaz HMI para la computadora, se elige la programación en Java, por su capacidad de adaptación a cualquier sistema operativo, por las facilidades en el diseño, elaboración y programación de los diferentes íconos, imágenes y sonidos, por la gran cantidad de información que se puede obtener fácilmente en la web, y su capacidad de conectarse a través de sockets con la placa SBC elegida.

Para la elaboración de la aplicación para el Smartphone, se elige el app inventor por la facilidad en el diseño, elaboración y programación de las Figuras y sonidos requeridos, el fácil aprovechamiento de los recursos otorgados por el Smartphone, además de la extensa información en la web para el desarrollo de su programación.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS

Después de realizar la descripción de los dispositivos a utilizar en el proyecto, se expone el diseño elaborado y la implementación del sistema para el control de las luces y sonidos en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.

#### 2.1 ARQUITECTURA DEL HARDWARE

La arquitectura del sistema está constituida por un controlador central, sensores de presencia encargados de percibir el entorno, y actuadores controlados automática o manualmente que permiten el encendido y apagado de las luces y sonidos en los momentos requeridos. En la Figura 2.1 se presenta el esquema diseñado para la elaboración del sistema de luces y sonidos en el museo Gustavo Orcés V.

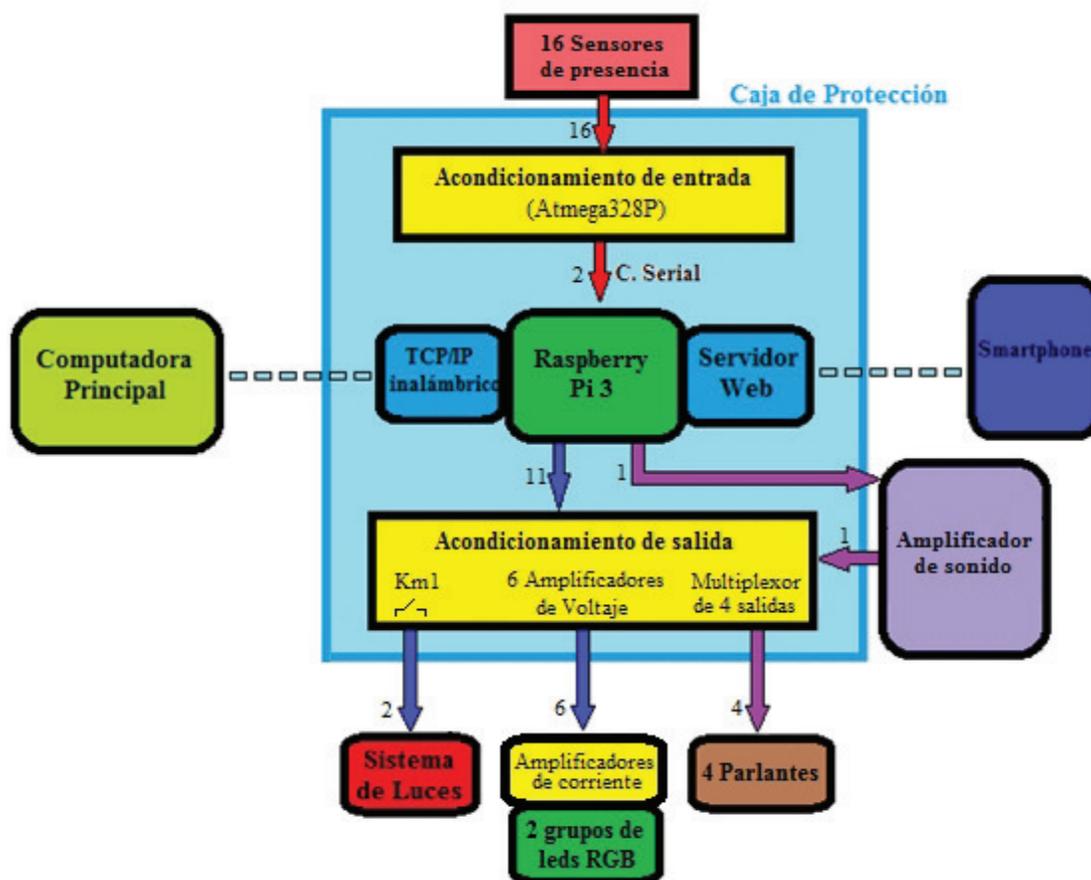


Figura 2.1 Diagrama en bloques del hardware diseñado

Las señales de los 16 sensores de presencia son utilizadas para monitorear la ubicación de los visitantes en las diferentes zonas del museo. Con esta información será posible la manipulación de las salidas de audio o iluminación en los momentos deseados.

El sistema de luces instalado anteriormente puede ser activado y desactivado manualmente mediante la interfaz en la computadora principal o el Smartphone.

Adicionalmente se instala las dos tiras de leds en las ornamentas seleccionadas (Dientes de Sable y Fósil de Trilobite), leds que serán controlados manualmente o automáticamente.

Se coloca cuatro salidas de audio en zonas favorables para conseguir una concentración ideal del sonido, por los cuales se generarán 5 sonidos de la siguiente manera: 4 sonidos individuales y uno general. Estos serán reproducidos automática o manualmente.

## **2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO**

Las siguientes secciones describen los circuitos diseñados para la implementación del sistema de luces y sonidos.

### **2.2.1 ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA**

Debido a que las señales de los sensores trabajan a 5V, para el acondicionamiento de los sensores de entrada se diseñó un circuito que tiene como base un Atmega328p, el cual lee las señales de apertura o cierre de los sensores de movimiento ZODIAC PRO RK410PR, y envía mediante comunicación serial asíncrona los datos al controlador principal manejado por la Raspberry Pi 3. En la conexión serial se utiliza un circuito conversor lógico de voltaje que reduce de 5V a 3.3V.

#### **2.2.1.1 Asignación de recursos para el microcontrolador de sensado Atmega328p**

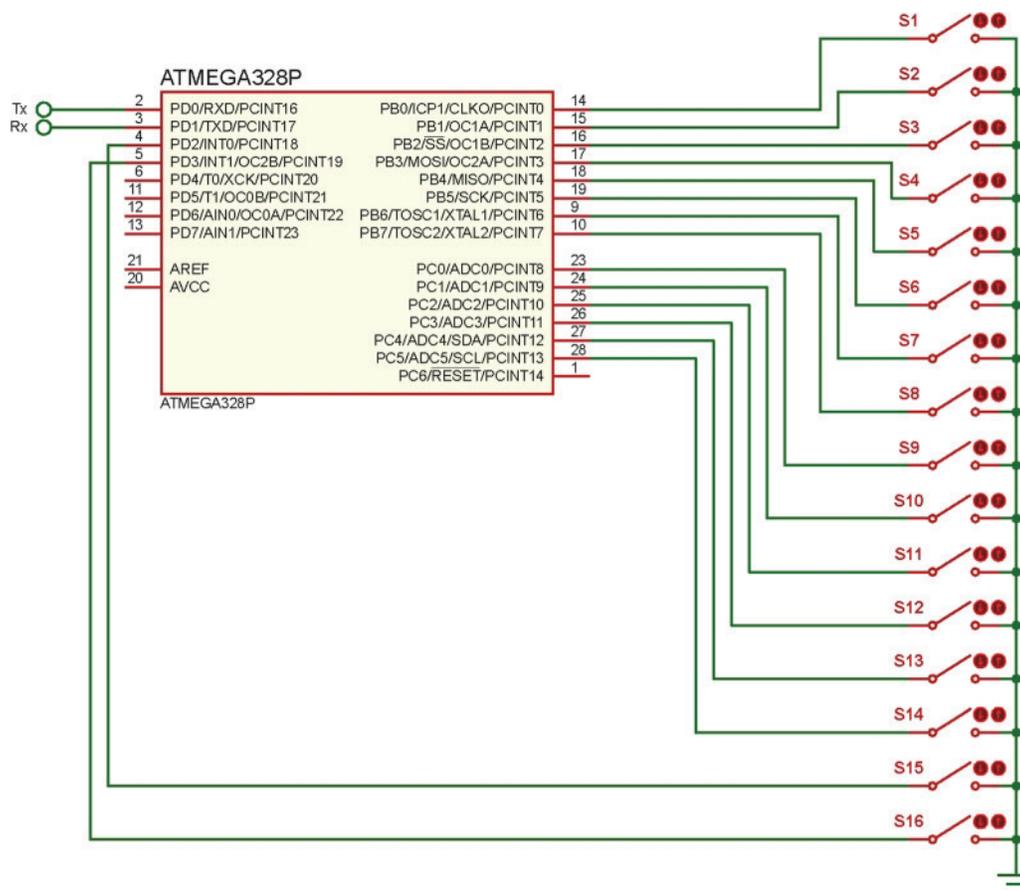
En la Tabla 2.1 se indican los pines utilizados para la lectura de señales y envío de datos por medio de transmisión serial.

**Tabla 2.1** Asignación de recursos del microcontrolador ATMEGA328p

<b>N de PIN</b>	<b>PIN</b>	<b>ASIGNACIÓN</b>
14	PB0	SENSOR 1
15	PB1	SENSOR 2
16	PB2	SENSOR 3
17	PB3	SENSOR 4
18	PB4	SENSOR 5
19	PB5	SENSOR 6
9	PB6	SENSOR 7.1
10	PB7	SENSOR 7.2
23	PC0	SENSOR 8
24	PC1	SENSOR 9
25	PC2	SENSOR 10
26	PC3	SENSOR 11
27	PC4	SENSOR 12
28	PC5	SENSOR 13
4	PD2	SENSOR 14.1
5	PD3	SENSOR 14.2
2	PD0	TRANSMISION SERIAL DE DATOS (TX)
3	PD1	RECEPCIÓN SERIAL DE DATOS (RX)

En el Anexo A3 se puede observar la ubicación de los 16 sensores, así como las 14 zonas a ser monitoreadas para el control de luces y sonidos. Se debe tomar en cuenta que dos zonas poseen dos sensores a la vez (Sala principal y Mastodonte), lo que permite la cobertura más adecuada de áreas de suma importancia.

En la Figura 2.2 se presenta el esquema de conexiones realizado para la toma de datos en el museo de Historia Natural.

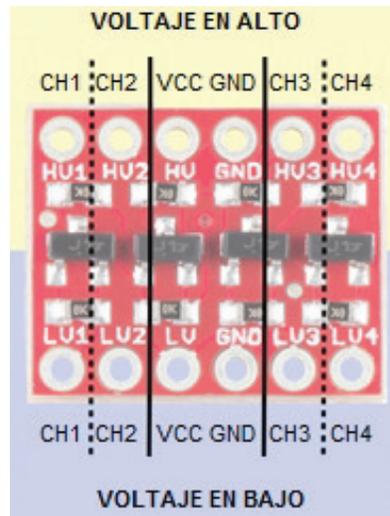


**Figura 2.2** Esquema de conexiones para el microcontrolador Atmega328P.

Los sensores de movimiento se comportan como un interruptor normalmente cerrado conectado a tierra que se abre cada vez que detecta el movimiento de una persona conectando un voltaje de 5V. Al momento que esto ocurre, el microcontrolador Atmega328P detecta el cambio para codificar y enviar el dato a través del pin de transmisión serial, que luego pasa por un circuito conversor de voltaje a 3.3V, y finalmente hacer llegar el dato a la Placa SBC a un nivel de voltaje adecuado para su funcionamiento.

**2.2.1.2 BSS138 Conversor lógico bidireccional 3,3V-5V**

Este circuito es utilizado para reducir la señal proveniente del Atmega328p, a un valor máximo de 3,3V con una corriente de 16 mA, que es el máximo suministrado por los pines de la placa SBC [19]. En la Figura 2.3 se observa el circuito con sus respectivas entradas y salidas.



**Figura 2.3** Circuito conversor lógico bidireccional. [20]

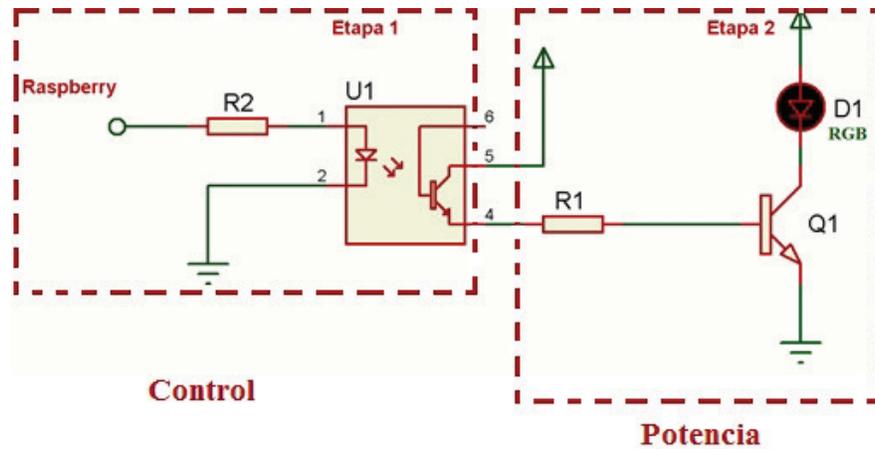
En el lado de voltaje en alto se conecta 5V como fuente, mientras que en el canal 1 y 2 se realiza la conexión del Rx (Pin 2) y Tx (Pin 3) proveniente del Atmega328p. En el lado de voltaje en bajo, se conecta como fuente los pines 17 y 39 de la placa SBC encargados de otorgar un voltaje de 3.3V, mientras que en el canal 1 y 2 se conecta los pines de transmisión (Pin8) y recepción (Pin10) serial de la Raspberry Pi 3.

## 2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SALIDA

Se ha diseñado un circuito de desacople entre la Raspberry Pi 3 y los equipos de potencia mediante la utilización de optoacopladores, lo que asegura el cuidado del circuito de control ante problemas eléctricos en las salidas.

### 2.2.2.1 Salida de luces RGB

Para la salida de luces RGB se ha diseñado un circuito electrónico formado de dos amplificadores; el primero es un optoacoplador que, además de desacoplar la señal cuadrada de la Raspberry (3.3V), la transforma a una señal mayor (12V), para enviarla a una distancia de 40m aproximadamente a baja corriente, reduciendo las pérdidas en el cable. El segundo amplificador es de potencia, y aumenta la corriente a un valor adecuado para encender las luces RGB con este mismo nivel de voltaje (12V). La Figura 2.4 muestra el circuito diseñado.



**Figura 2.4** Circuito amplificador para los leds RGB

En el capítulo anterior se describe los requerimientos eléctricos de la tira de leds RGB (Tabla 1.7), en donde se observa que esta carga consume una potencia total de 72 W, sabiendo que se trabaja a 12V se puede definir la corriente máxima consumida utilizando la ecuación (2.1):

$$P = V * I \quad (2.1)$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{72W}{12V} = 6 A$$

Al trabajar con leds RGB se trabaja con tres ramales (Led Rojo, Led Verde, Led Azul) por lo que se puede definir una corriente de 2 A por línea. Se utiliza este dato para el diseño de las 6 salidas con transistores TBJ. Como transistor Q1 se ha escogido al TIP122. Para el dimensionamiento de la resistencia R1, se debe considerar la corriente de base necesaria para trabajar en el régimen de corte y saturación, de modo que la señal trabaje en valores de 0 V a 12 V, convirtiéndola en una señal cuadrada de voltaje y corriente adecuada para encender los leds RGB.

Considerando una ganancia típica del TIP122 de 1000 [21], se hace uso de la ecuación (2.2):

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \quad (2.2)$$

$$I_{B1} = \frac{2 A}{1000}$$

$$I_{B1} = 2 mA = I_{R1}$$

Con este resultado se puede determinar que cuando en la base circula una corriente de 2 mA, puede llegar a circular una corriente de colector de hasta 2 A trabajando en corte y saturación.

Considerando una caída de tensión en el cable mínima por la baja corriente, un voltaje colector-emisor de saturación de 0.5 V en el optoacoplador [22], y un voltaje base-emisor de 2.5 V en el TIP122 [21], con la ecuación (2.3) se halla el voltaje  $V_{R1}$ :

$$V_{R1} = V_{CC} - V_{OPTO_{sat}} - V_{BE_{sat}} \quad (2.3)$$

$$V_{R1} = 12V - 0.5 - 2.5 = 9V$$

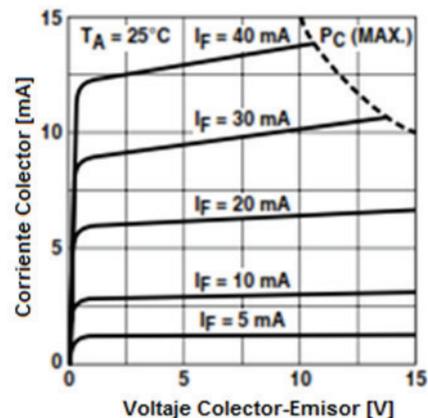
Se determina el valor de R1 por la ley de Ohm indicada en la ecuación (2.4):

$$R1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} \quad (2.4)$$

$$R1 = \frac{9V}{2mA} = 4.5k\Omega$$

Después del cálculo realizado, y tomando en cuenta que el cable también ofrece resistencia, se escoge una resistencia de la mitad del valor calculado que permita asegurar la saturación del transistor: 2.2 k $\Omega$ .

Para la primera etapa de amplificación se tiene como transistor y aislante el Optoacoplador 4N25. Se considera las especificaciones de fábrica obtenidas del datasheet mostradas en la Figura 2.5.



**Figura 2.5** Voltaje de saturación vs. Corriente de colector para el 4N25 [22]

Para garantizar el disparo del 4N25, en la corriente forward ( $I_F$ ) se utiliza la corriente que puede suministrar la Raspberry Pi. Tomando en cuenta que el valor máximo de corriente suministrado por las salidas en conjunto de la placa SBC es de 78 mA [19], y suponiendo las peores condiciones al trabajar con 12 salidas activadas correspondientes a las salidas de nuestro diseño, se obtiene 6.5 mA por pin GPIO. En la Figura 2.5 se puede observar que esta corriente  $I_F$  es suficiente para trabajar con el optoacoplador en corte y saturación con una corriente de colector máxima de 2 mA, siendo suficiente para un buen desempeño.

Con un voltaje de saturación del diodo forward de 1.2 V [22], y el valor de voltaje de 3.3 V suministrado por el controlador, mediante la ecuación (2.5) se tiene:

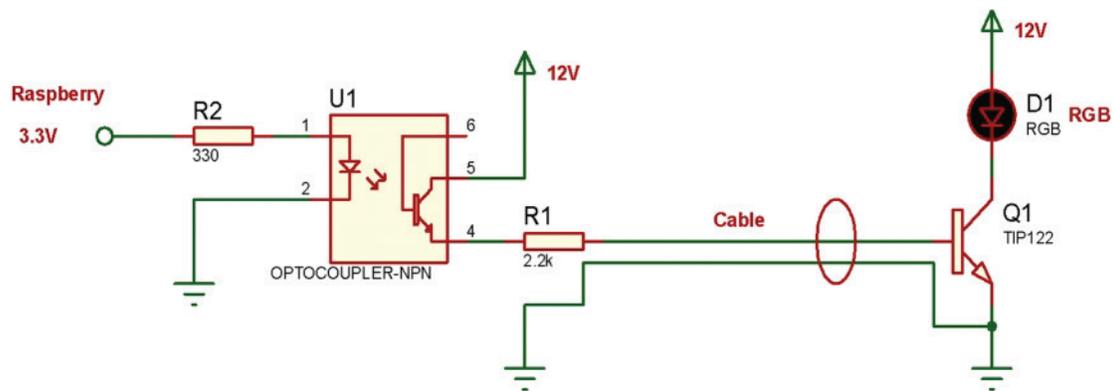
$$V_{R2} = V_{CC} - V_{F\_sat} \quad (2.5)$$

$$V_{R2} = 3.3 \text{ V} - 1.2 = 2.1 \text{ V}$$

Se determina el valor de R2 por la ley de Ohm indicada en la ecuación (2.4):

$$R2 = \frac{V_{R2}}{I_{R2}} = \frac{2.1 \text{ V}}{6.5 \text{ mA}} = 323 \ \Omega$$

Después del cálculo realizado, la resistencia estándar escogida es la más cercana, con un valor de  $330 \ \Omega$ . En la Figura 2.6 se muestra el circuito con los valores de resistencia y TBJ diseñados.



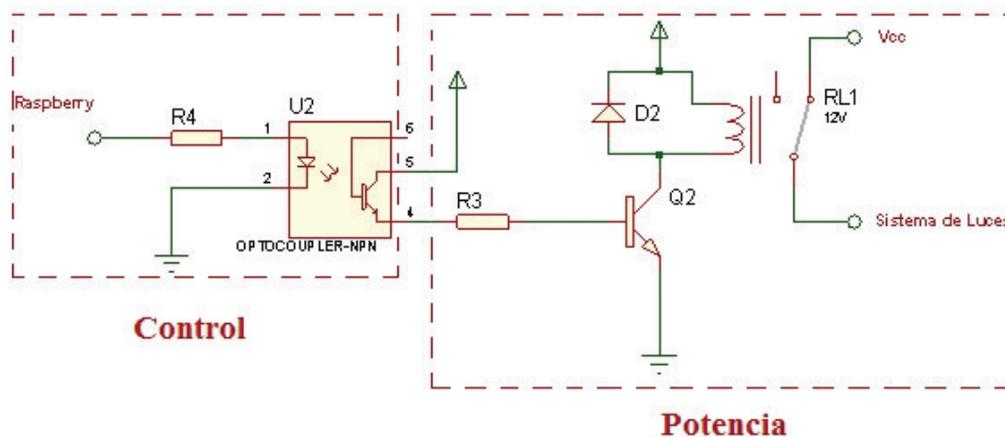
**Figura 2.6** Circuito implementado para operación de Leds RGB.

Cabe mencionar que si la corriente que se consigue en la carga es menor a la esperada, se obtiene una reducción de la intensidad suministrada por las luces led, por lo que se tiene que realizar pruebas de funcionamiento para asegurar un correcto desempeño. Hay que tomar en cuenta que el periodo de la señal cuadrada debe ser mayor que el tiempo de encendido y apagado de los dispositivos. En nuestro caso el periodo es de 10 ms suficientes para un correcto funcionamiento.

### 2.2.2.2 Activación/desactivación del sistema de iluminación anterior

Para la activación/desactivación del sistema de iluminación también se utiliza un optoacoplador que desacople la señal de la Raspberry Pi con respecto a los circuitos de potencia, luego del cual tiene conectado un amplificador que eleva la señal de voltaje y corriente a la necesaria para finalmente activar un relé de 12V, que en los pines de salida tiene interconectada la línea principal de energía del sistema de iluminación anterior, con lo cual se puede encender o apagar el sistema en el momento que se requiera.

Se eligió la salida normalmente cerrada, lo que mantendrá conectado al circuito anterior aún cuando el nuevo sistema no esté energizado. El circuito diseñado es presentado en la Figura 2.7.



**Figura 2.7** Circuito de disparo del relé para la salida ON/OFF.

En la Tabla 2.2 se observa los datos de corriente, voltaje y potencia máxima de las bobinas para activar el relé.

**Tabla 2.2** Características eléctricas bobina de relé de 12 V [23]

Sensibilidad de bobina	Voltaje Nominal (VDC)	Corriente Nominal (mA)	Resistencia de bobina ( $\Omega$ ) $\pm 10\%$	Consumo de energía (W)	Voltaje de arrastre (VDC)	Caída de Voltaje (VDC)	Voltaje Máximo Permitido (VDC)
SRD (Alta Sensibilidad)	3	120	25	Abt. 0.36W	75% Max.	10% Min.	120%
	5	71.4	70				
	6	60	100				
	9	40	225				
	12	30	400				
	24	15	1600				
	48	7.5	6400				
SRD (Estándar)	3	150	20	Abt 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	5	89.3	55				
	6	75	80				
	9	50	180				
	12	37.5	320				
	24	18.7	1280				
	48	10	4500	Abt. 0.51W			

Como se puede observar, la corriente que utiliza la bobina para su energización a 12V es de 37.5 mA, que sería la corriente de carga del sistema.

Para el elemento Q2 se ha escogido al transistor TIP41C. Al revisar la gráfica de Ganancia vs Corriente de Colector en el datasheet del transistor [24], se observa que a una corriente de 37.5 mA, la ganancia es de 50, de lo que se obtiene la Corriente de base utilizando la ecuación (2.2):

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = \frac{37.5 \text{ mA}}{50}$$

$$I_{B2} = 750 \mu\text{A} = I_{R3}$$

Utilizando la ecuación (2.3) y (2.4) se determina el valor de R3:

$$R3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{V_{CC} - V_{OPTO\_sat} - V_{BE_{sat}}}{I_{R3}} = \frac{12V - 0.5V - 2.5V}{750 \mu\text{A}} = 12 \text{ k}\Omega$$

Después del cálculo realizado, y dándole un rango de mayor corriente a la base, la resistencia estándar escogida es de 10 k $\Omega$  para asegurar el trabajo en corte y saturación.

Con esta resistencia se calcula el valor de corriente de base que será la carga con respecto al transistor optoacoplador:

$$I_{B2} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{12V - 0.5V - 2.5V}{10K\Omega} = 900\mu A$$

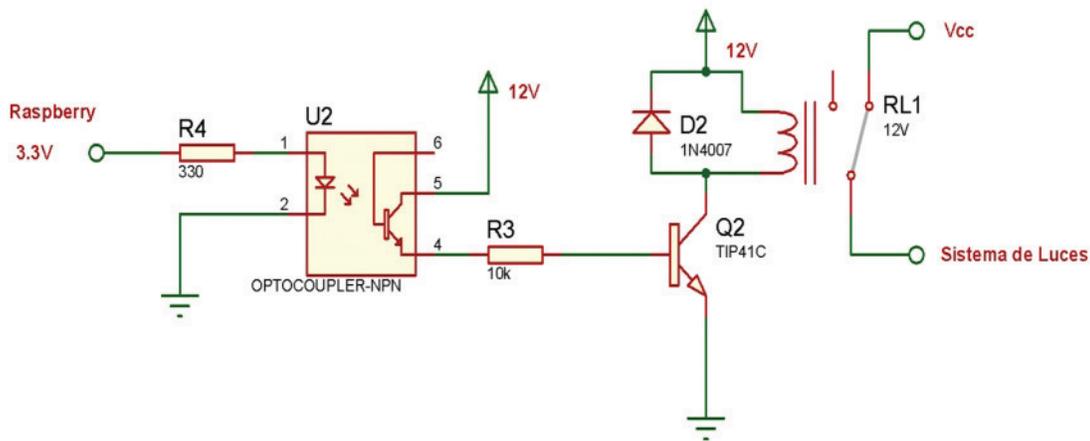
Se escoge el Optoacoplador 4N25 para la primera etapa. Considerando las especificaciones de fábrica descritas anteriormente, se utiliza la corriente  $I_F$  de 6.5mA, lo cual es suficiente para trabajar en la zona de corte y saturación. Mediante la ecuación (2.5) se encuentran los siguientes valores:

$$V_{R4} = V_{CC} - V_{F\_sat} = 3.3V - 1.2 = 2.1V$$

Se determina el valor de R2 por la ley de Ohm de la ecuación (2.4):

$$R4 = \frac{V_{R4}}{I_{R4}} = \frac{2.1V}{6.5mA} = 323\Omega$$

Después del cálculo realizado, la resistencia estándar escogida es de 330  $\Omega$ . En la Figura 2.8 se observa el circuito diseñado con los elementos escogidos.



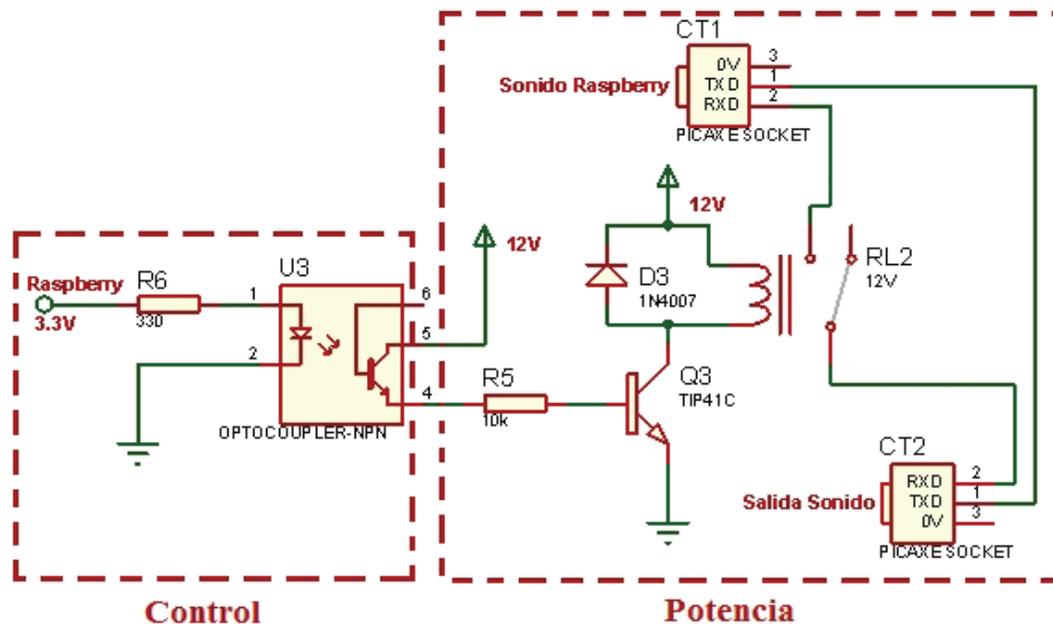
**Figura 2.8** Circuito implementado para la salida ON/OFF.

### 2.2.2.3 Salidas de Audio

En el caso de las 4 salidas de audio, se realizó la multiplexación del sonido amplificado a través de 4 circuitos similares. Se utilizan optoacopladores para separar el circuito de control de los 4 circuitos de potencia, y mediante amplificadores de potencia se activan los relés que habilitan las salidas de audio respectivamente.

Se ha diseñado el disparo para la activación de los relés de la misma forma que se diseñó para la activación/desactivación del sistema de iluminación, con la variación de que en estas salidas se encuentran los Plugs de audio acoplados al terminal normalmente abierto de los relés, que se conectarán o desconectarán dependiendo de las situaciones requeridas.

En la Figura 2.9 se observa el circuito diseñado con los elementos escogidos de acuerdo a los cálculos realizados.



**Figura 2.9** Circuito implementado para las salidas de audio.

El sonido principal es generado por la Raspberry Pi y amplificado mediante el amplificador de sonido comercial TITAN 8 Active. Finalmente las señales de control para los relés permiten realizar la conexión del sonido con cada uno de los cuatro plugs de audio ensamblados en el circuito electrónico, los cuales estarán conectados a parlantes instalados en el museo de la forma descrita en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Asignación de recursos del SBC Raspberry Pi 3

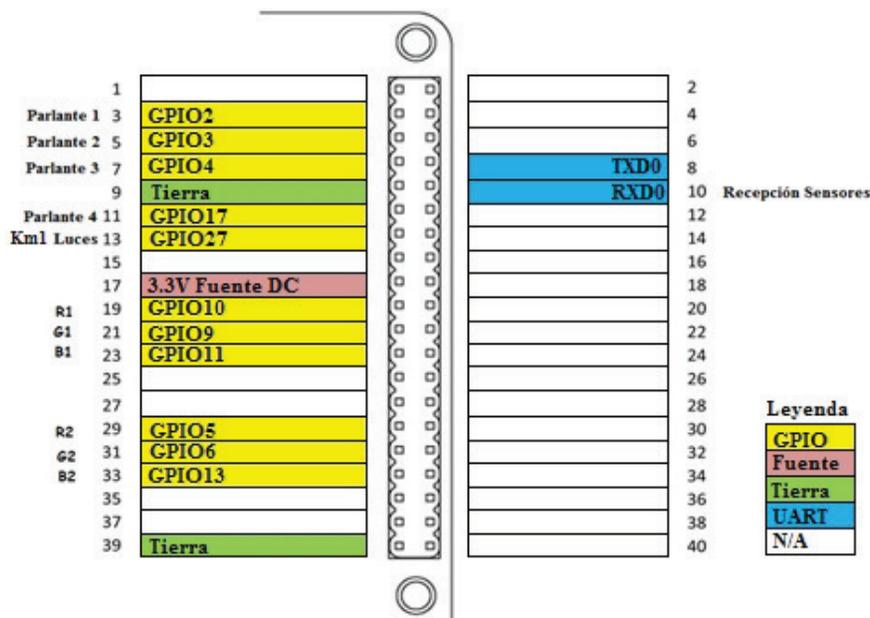
PARLANTE	SONIDO	ZONA
1	BIG BANG	ZONA 1 (INICIO DEL RECORRIDO)
2	FÓSIL DEL TRILOBITE	ZONA 5 (PRIMERA COLUMNA)
3	ANTEPASADOS HUMANOS	ZONA 9 (ANTEPASADOS HUMANOS)
4	TIGRE DIENTES DE SABLE	ZONA 12 (TIGRE DIENTES DE SABLE)

En los planos del anexo A-1 y A-3 se describe la ubicación de parlantes y zonas.

### 2.2.3 DISEÑO DEL CONTROL PRINCIPAL

El circuito de control del sistema está ubicado sobre el tablero principal, lugar hacia el cual se han llevado los cables de control de luz RGB, cables de audio y las líneas eléctricas colocadas anteriormente correspondientes a las señales de los sensores.

En la Figura 2.10 se puede observar la forma en que se asigna los recursos de entrada y salida para el sistema microprocesado de control.

**Figura 2.10** Pines GPIO de Raspberry Pi 3 con asignación de recursos. [25]

La Raspberry Pi 3 es el sistema microprocesado principal que comanda el sistema de luces y sonidos el cual, mediante la ayuda del Atmega328p, recibe los datos de los sensores en el pin de recepción serial y realiza el control automático o manual de luces y sonidos del proyecto.

La placa SBC controla el activado de las dos tiras de leds RGB mediante señales PWM en 6 salidas amplificadas por su respectivo circuito. Estas señales determinan el color de los Leds RGB, los cuales pueden ser modificados desde la computadora principal o el Smartphone. Estas tiras pueden ser activadas en modo automático (Sensores de presencia), o en modo manual (Computadora o Smartphone).

Se maneja además el único Plug de sonido disponible en la placa SBC, potenciando el sonido mediante un amplificador de sonido comercial, y multiplexándolo a través de cuatro salidas GPIO, generando cinco sonidos en total: cuatro sonidos independientes y un sonido general. Los sonidos son manipulados en modo automático o en modo manual.

Adicionalmente se controla el encendido o apagado de las luces anteriormente instaladas mediante una salida GPIO que controla la conexión de la fuente de energía del sistema anterior.

En la Tabla 2.4 se tiene una descripción general de las entradas y salidas GPIO utilizadas en el proyecto:

**Tabla 2.4** Asignación de recursos del SBC Raspberry Pi 3

<b>N.-</b>	<b>PIN</b>	<b>TAREA</b>
3	GPIO 2	SEÑAL PARA ACTIVACIÓN DE RELÉ PARLANTE 1
5	GPIO 3	SEÑAL PARA ACTIVACIÓN DE RELÉ PARLANTE 2
7	GPIO 4	SEÑAL PARA ACTIVACIÓN DE RELÉ PARLANTE 3
10	GPIO 15	RECEPCIÓN SERIAL DE DATOS
11	GPIO 17	SEÑAL PARA ACTIVACIÓN DE RELÉ PARLANTE 4
13	GPIO 27	SEÑAL PARA ACTIVACIÓN DE RELÉ ON/OFF DEL SISTEMA ANTERIOR DE LUCES
19	GPIO 10	SEÑAL PWM PARA GRUPO 1 DE LUCES RGB (ROJO)
21	GPIO 9	SEÑAL PWM PARA GRUPO 1 DE LUCES RGB (VERDE)
23	GPIO 11	SEÑAL PWM PARA GRUPO 1 DE LUCES RGB (AZUL)
29	GPIO 5	SEÑAL PWM PARA GRUPO 2 DE LUCES RGB (ROJO)
31	GPIO 6	SEÑAL PWM PARA GRUPO 2 DE LUCES RGB (VERDE)
33	GPIO 13	SEÑAL PWM PARA GRUPO 2 DE LUCES RGB (AZUL)

Como se puede observar, son doce pines los que permiten realizar el control de luces y sonidos de este proyecto. Estos pines GPIO otorgan un máximo de 78 mA de corriente, por lo que se ha limitado la salida de corriente de cada uno de los pines con las resistencias escogidas anteriormente.

#### 2.2.4 COMUNICACIÓN DE DISPOSITIVOS

Para la comunicación entre la placa SBC y el Atmega328p se ha utilizado comunicación serial, con un circuito que reduce el voltaje de 5V a 3.3V el cual ya ha sido descrito anteriormente (apartado 2.2.1).

Se utiliza la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios sin paridad y con un bit de parada. Tomando en cuenta estas propiedades, se elige el cable de comunicación con el que se realiza la conexión el cual debe ser resistente, capaz de transmitir la información a la velocidad escogida, y con protección contra ruido e interferencias externas.

Se escoge el cable blindado de 1 par, 18 AWG Apantallado presentado en la Figura 2.11, utilizado para señales de rápida respuesta, lo que ofrecerá un desempeño seguro y efectivo en la transmisión de datos.



**Figura 2.11** Cable 18 AWG para transmisión serial [26]

Para la comunicación con el Computador Principal y el Smartphone se utiliza la comunicación mediante TCP/IP inalámbrico, recurriendo a la propiedad de la Raspberry Pi 3 de conexión WIFI incorporada, lo que permite una conexión inalámbrica de la Raspberry Pi con los dispositivos con el fin de realizar el control directo de las salidas de luces y sonidos.

## 2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

La implementación del sistema se ha realizado con la elaboración de placas PCB (Anexo B) a partir de los esquemáticos realizados en la fase de diseño, el ensamblaje de los circuitos electrónicos en la caja metálica y la instalación del cableado eléctrico y de los dispositivos de salida.

### 2.3.1 ENSAMBLAJE EN CAJA DE PROTECCIÓN

Se ha seleccionado una caja de 30 cm x 30 cm x 10 cm que ofrece la protección adecuada para aislar y preservar los circuitos electrónicos con respecto al exterior, y realizar la implementación adecuada de las conexiones eléctricas requeridas (fuentes de energía, señales de entrada, salidas eléctricas, salidas de audio).

En la Figura 2.17 se representa la disposición interna de circuitos en la caja de protección, así como la nomenclatura empleada en la misma, la cual es especificada en la Tabla 2.7. En el Anexo B se puede observar el plano de montaje del sistema instalado en la caja de protección.



**Figura 2.17** Disposición Interna de la caja de protección

**Tabla 2.5** Nomenclatura de conexiones interno de la Caja de Protección

<b>NOMENCLATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
RX	RECEPCIÓN SERIAL
TX	TRANSMISIÓN SERIAL
V12	VOLTAJE DE 12 V
V5	VOLTAJE DE 5 V
V3	VOLTAJE DE 3 V
GND	TIERRA
KM1 (NC)	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO
F1	FUENTE DE 12 V, ACONDICIONAMIENTO DE SALIDA
F2	FUENTE DE 5V, ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA
F3	FUENTE DE 3.3V, ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA
SF	ENTRADA DE SONIDO FUENTE
SX	SALIDA X DE SONIDO
RGB1	SALIDA RGB FÓSIL DE TRILOBITE
RGB2	SALIDA RGB DIENTES DE SABLE

La caja de protección se encuentra ubicada en el cuarto del tablero de control anterior, atornillada en la pared encima del tablero como se observa en la Figura 2.18.

**Figura 2.18** Disposición externa de la caja de protección

### 2.3.2 INSTALACIÓN DE LUCES RGB Y CABLEADO ELÉCTRICO

Se ha realizado la instalación de las dos tiras de leds RGB en el Fósil del Trilobite y en el Dientes de Sable como se presenta en la Figura 2.19, con la fijación de las luces de colores en lugares que hacen resaltar las ornamentas elegidas.



**Figura 2.19** Luces RGB en fósil de Trilobite (Izq.) y Dientes de Sable (Der.)

De la misma manera se ha realizado el cableado para las 6 señales de luz RGB mediante cable UTP CAT6 de 4 pares 26 AWG. Las dos líneas sobrantes se utilizan para la unión de tierras de las fuentes. En el Anexo A2 se presenta los planos eléctricos de las luces RGB.

Finalmente en la Figura 2.20 se muestra el circuito 3 de amplificación de corriente para las luces RGB dentro de una caja de protección de 8 cm x 6 cm x 6 cm en el cual se tiene la entrada de señales y fuente de voltaje de 12V, y la salida de las señales con corriente amplificada.



**Figura 2.20** Circuito 3 en la caja de protección

### 2.3.3 INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE AUDIO Y CABLEADO DE SONIDO.

Las cajas de sonido han sido colocadas en determinados puntos que permiten una reproducción del audio más adecuada con sonidos específicos para cada punto, así como un desenvolvimiento del sonido en general en toda la sala del pasado, logrando un ambiente más atractivo y cordial para los visitantes. En la Figura 2.21 se observa los 4 dispositivos de audio colocados en el museo Gustavo Orcés V.



**Figura 2.21** Instalación de dispositivos de audio, parlante 1 (sup. izq.), parlante 2 (sup. der.), parlante 3 (inf. izq.), parlante 4 (inf. der.).

Para el cableado de sonido se ha utilizado los cables de audio ya instalados en el museo, redirigiendo las líneas sonoras hacia la caja de protección del sistema de luces y sonidos, como se describe en los planos eléctricos del Anexo A1.

## CAPÍTULO 3

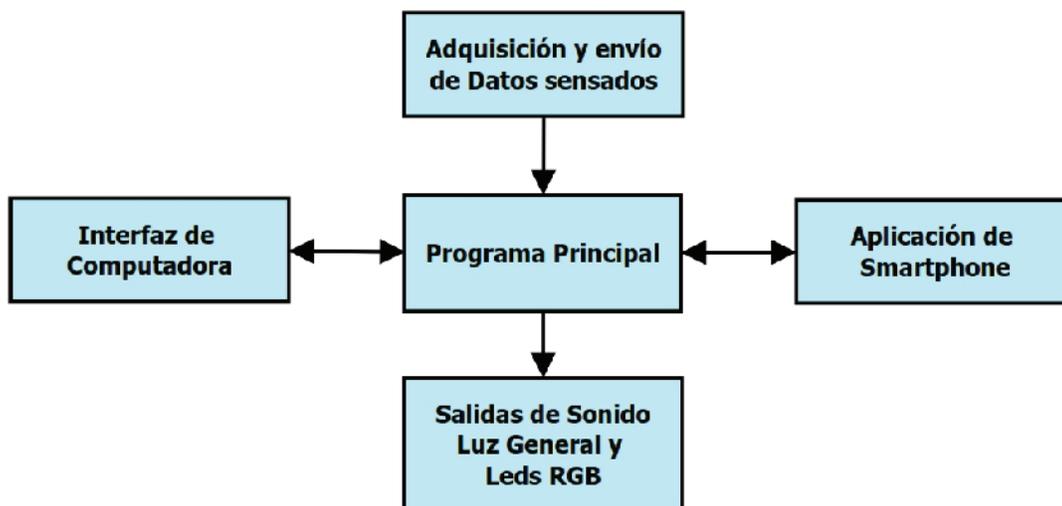
### DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

En el presente capítulo se describe el desarrollo del algoritmo de control principal, la programación de la interfaz HMI para Computadora, el desarrollo de la aplicación móvil en Android, y la conexión entre los tres dispositivos. Para ello se ha empleado los siguientes programas:

- Editor de Python IDLE 3.6
- Bascom 2.0.7.5
- Netbeans IDE 8.0.2
- App Inventor 2

#### 3.1 ARQUITECTURA DEL PROGRAMA DE CONTROL

La arquitectura de programa representa las tareas realizadas por el sistema, su interconexión y el intercambio de la información. En la Figura 3.1 se muestra la arquitectura del programa implementado en cada uno de los 3 dispositivos (Raspberry Pi, Computador y Smartphone).



**Figura 3.1** Arquitectura del programa implementado

## **3.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA PRINCIPAL**

El programa principal se encuentra desarrollado en la Placa SBC Raspberry Pi 3, mediante la programación de código interpretado, multiplataforma y orientado a objetos provisto por el lenguaje Python. Para su desarrollo se utiliza el editor de Python IDLE 3.6.

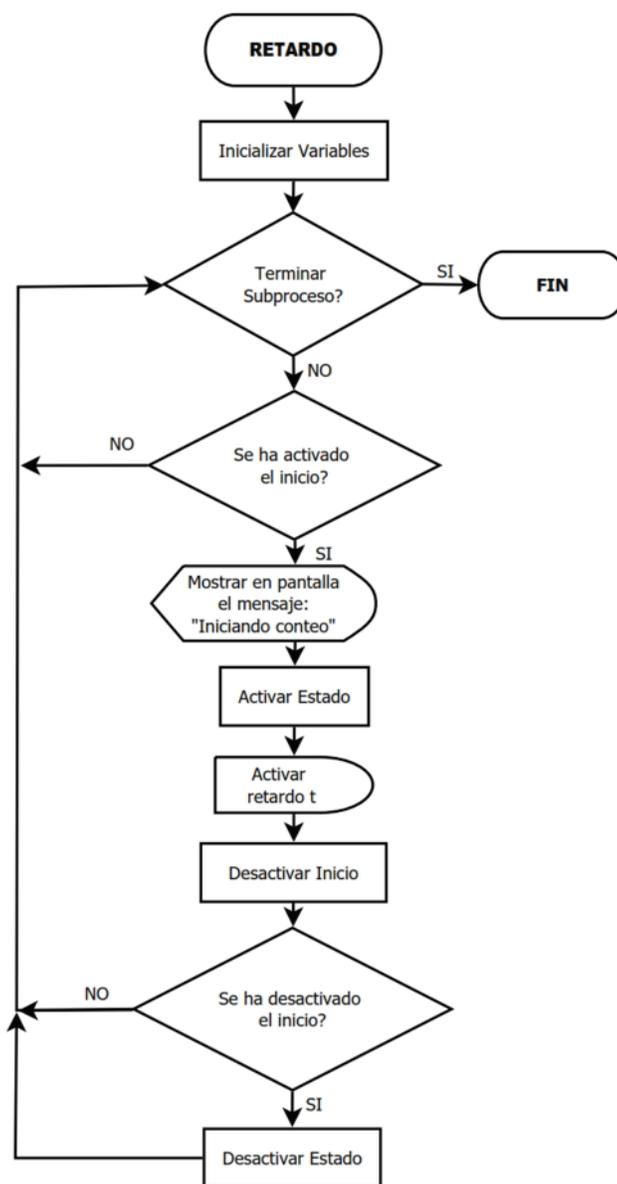
En el desarrollo del algoritmo de la Raspberry Pi se ha elaborado un bloque de programa principal y programas secundarios multihilo. Estos programas secundarios son subprocesos que se encuentran operando en paralelo con el código principal de la Raspberry Pi.

Para la utilización de programas multihilo se pueden definir funciones o clases. En este caso se ha empleado las clases utilizando el método class. Dentro del método se crea la función de Inicio para definir los objetos, variables, etc. que serán globales solo dentro de la clase donde se declaran, y finalmente se crea la función “Run” que contiene el código que se desea ejecutar constantemente. Para que empiece su ejecución, en el programa principal se debe llamar a la clase. [27]

En los programas multihilo elaborados se ha implementado código para sockets de flujo, comunicación serial, lectura y almacenamiento de datos, reproducción de sonido, retardos de tiempo, entre otros.

### **3.2.1 HILO DE RETARDO DE ESTADO**

Es un programa realizado para manejar los estados de las variables 1 y 2 con los tiempos que se necesitan en diferentes momentos (ver tabla 3.1). En el llamado de la clase se ingresa como argumento el tiempo de retardo y se inicializa. Desde ese momento espera que sea activado el inicio para cambiar la variable “estado” a 1 durante el tiempo de retardo. Cuando se acaba el tiempo, “estado” vuelve a 0. Se puede ver el algoritmo del subproceso en la Figura 3.2.



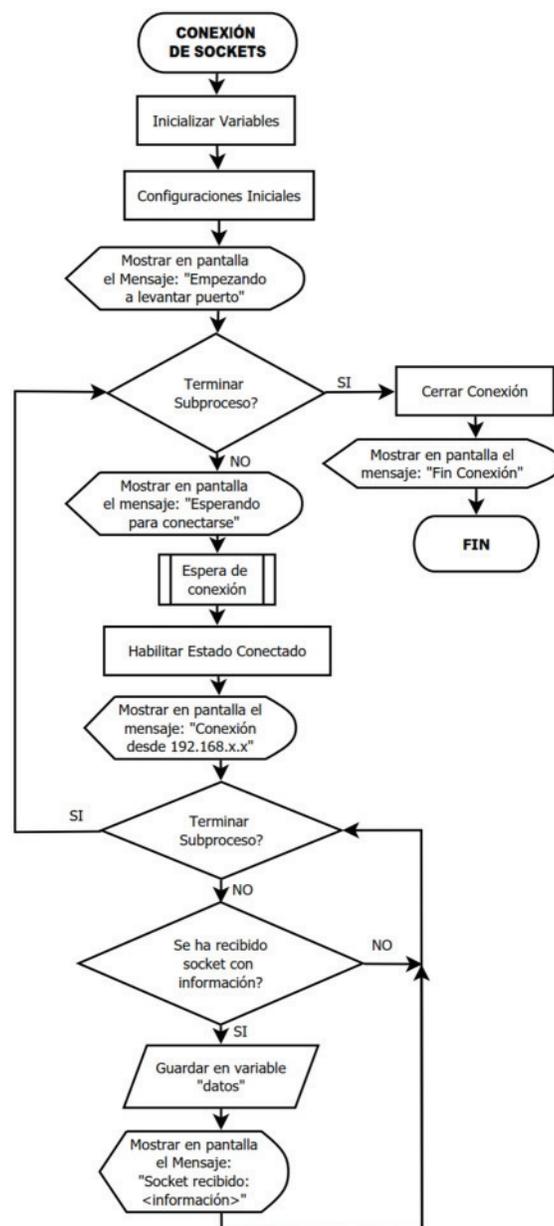
**Figura 3.2** Diagrama de flujo del hilo de retardo de tiempo.

### 3.2.2 HILO DE CONEXIÓN DE SOCKETS

Un socket es un concepto abstracto en donde dos aplicaciones interactúan entre sí a través de un protocolo para intercambiar información [28].

El modelo más básico consta de dos programas, un servidor y un cliente. Ambos programas (cliente y servidor) pueden ser programados en lenguajes de programación diferentes, o inclusive programar un servidor en un lenguaje y utilizar un cliente ya existente que pueda conectarse a un puerto especificado. [29]

En la programación de la clase “Hiloconexion” se ha realizado la conexión de sockets, en donde la Raspberry Pi actúa como un servidor que espera la conexión de un cliente (Computadora). En el llamado de la clase se ingresa como argumento el puerto donde se conectarán ambos dispositivos. Cuando inicia el subprograma, el servidor comienza a “escuchar” por el puerto establecido. Al recibir la solicitud de conexión de un cliente con la IP y el puerto correctos, se acepta la conexión y se puede decir que están “conectados”. Desde ese momento se va guardando la información recibida en la variable “datos” para luego ser utilizada como mejor se crea conveniente. En la Figura 3.3 se describe el subproceso en mención.



**Figura 3.3** Diagrama de flujo del hilo de conexión de sockets

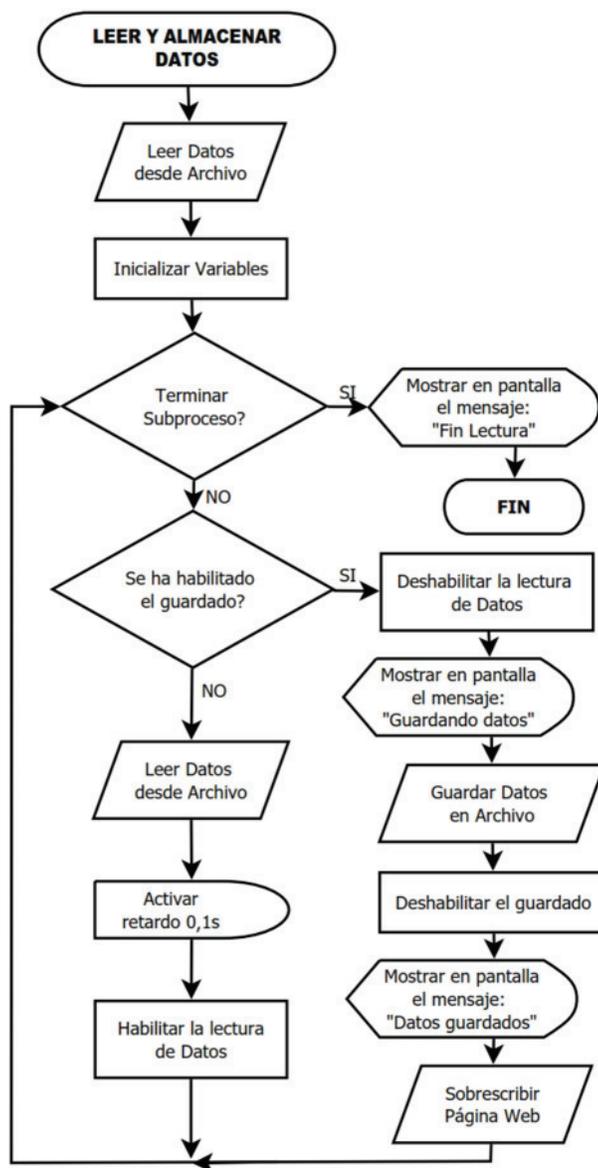
### 3.2.3 HILO DE LECTURA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

En el presente proyecto se trabaja con 9 variables principales. Se describen las variables en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Descripción de variables principales

<b>VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Estado	Modo de operación del sonido. Alterna entre “Automático”, “Manual1” (Computadora) y “Manual2” (Smartphone).
Configuración	Habilita o deshabilita la reproducción de los 5 sonidos. Ej.: 10010 -> Sonido 1 y 4 habilitados, los demás deshabilitados.
VARIABLES1	Variable utilizada para el monitoreo de 14 luces mediante el dato serial recibido (.serialdat), generado por los sensores. Ej: si el dato es 12289 -> en binario es: 11000000000001 por lo que las luces de la zona 1, 13 y 14 estarán activadas. (0-16383)
VARIABLES2	Variable utilizada para el control y monitoreo de 5 sonidos mediante la operación de interfaces o el dato serial recibido (.serialdat), generado por los sensores. Ej: si el dato es 4 -> en binario es: 00100 por lo que el Sonido 3 estará activado. (0-31)
Pwl	Estado de las luminarias del museo. Cambia entre “On” (Encendidas) y “Off” (Apagadas).
RGB1	Variable que define el color de las luces RGB instaladas en el Fósil Trilobite. Ej: si el dato es 100000050->100-000-050 indica que el color rojo se enciende al 100%, el verde se apaga, y el azul se enciende al 50%, dando un color rosado.
RGB2	Variable que define el color de las luces RGB instaladas en el Dientes de Sable. Ej: si el dato es 100030000->100-030-000 indica que el color rojo se enciende al 100%, el verde se enciende al 30%, y el azul se apaga, dando un color tomate.
EstRGB1	Estado de las luces RGB del Fósil Trilobite. Cambia entre “On” (Encendidas) y “Off” (Apagadas).
EstRGB2	Estado de las luces RGB del Dientes de Sable. Cambia entre “On” (Encendidas) y “Off” (Apagadas).

Las variables son constantemente leídas, manipuladas y almacenadas en un archivo de texto llamado "Archivo.txt". Para realizar esta labor se ha programado una clase que se encarga de leer y guardar constantemente los datos en el archivo. Adicionalmente, en esta clase se sobrescribe la Página Web ("Index.php") cada vez que se modifican las variables, para conseguir transmitir los datos actualizados a la aplicación móvil. La Figura 3.4 describe el algoritmo implementado.



**Figura 3.4** Diagrama de flujo del hilo de lectura y almacenamiento de datos

### 3.2.4 HILO DE REPRODUCCIÓN DE SONIDO

Este subproceso se encarga de reproducir los sonidos activando las salidas correspondientes, adicionalmente actualiza los audios al momento de realizar un cambio de ficheros de sonido. En la Figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo que describe la lógica de programación.

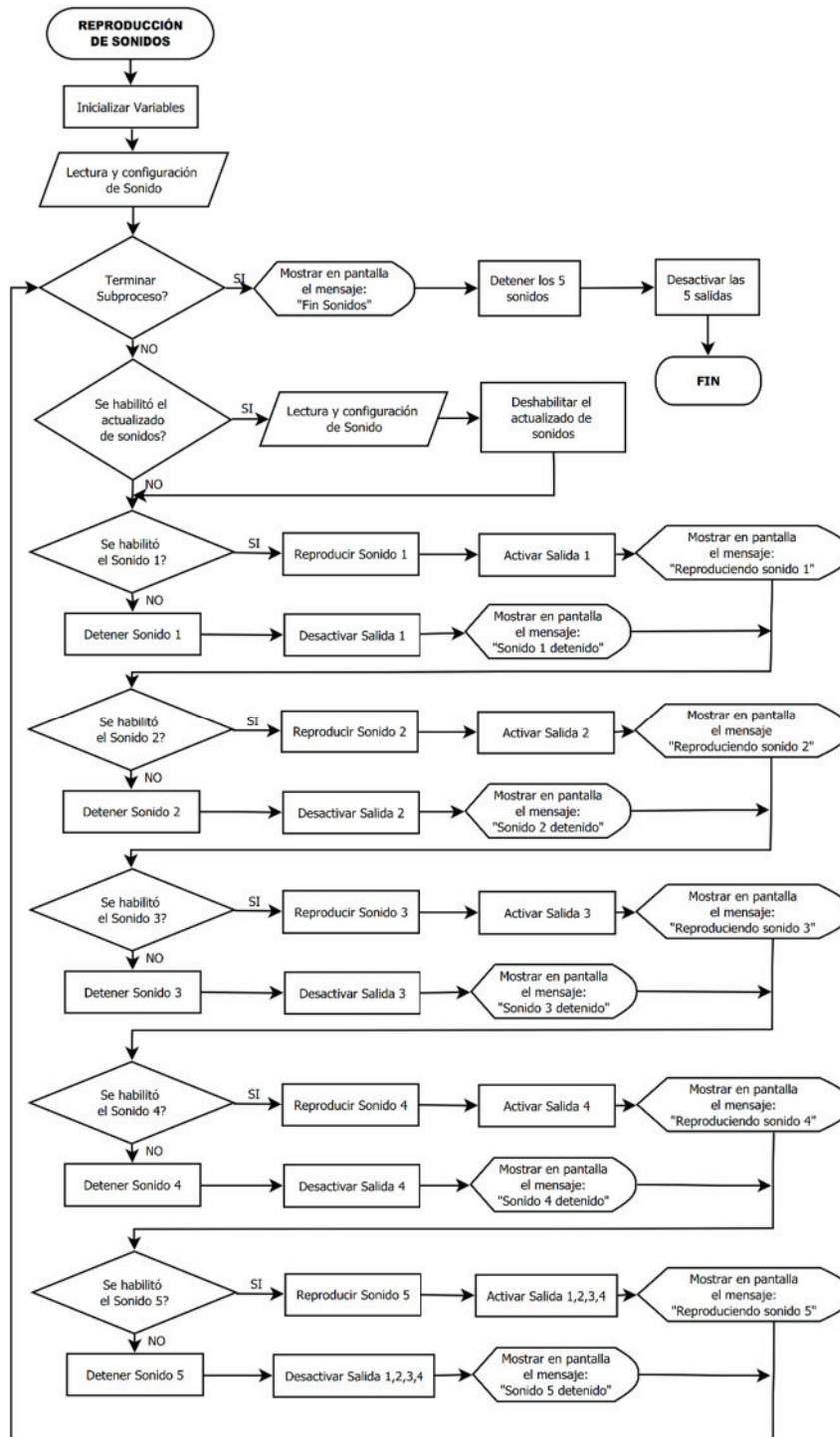
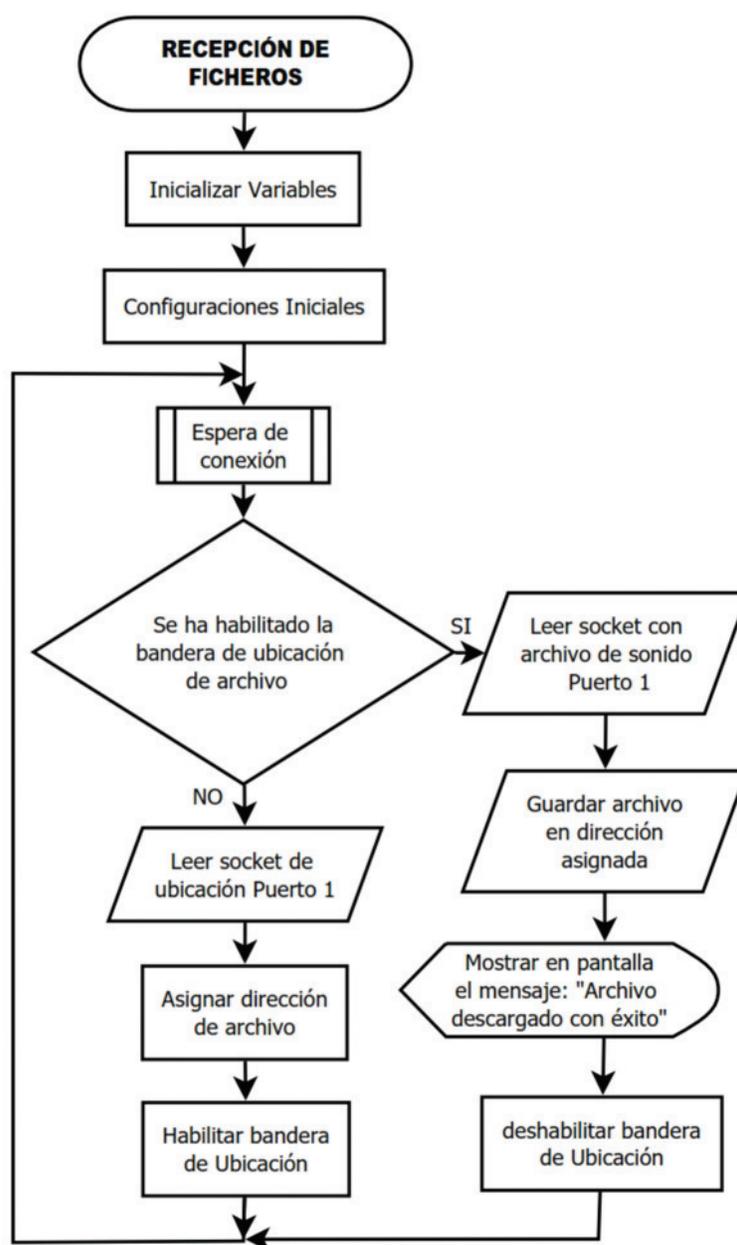


Figura 3.5 Diagrama de flujo del hilo de reproducción de sonido.

### 3.2.4.1 Recepción de ficheros de sonido mediante sockets.

Para el cambio de sonidos se ha realizado un programa mediante sockets que recibe y guarda en la Raspberry Pi los ficheros de audio enviados desde la HMI para reemplazar los audios anteriores, con lo cual se puede escoger los 5 sonidos que se quieran reproducir en cualquier momento. La implementación del programa se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 3.6.



**Figura 3.6** Diagrama de flujo del hilo de recepción de ficheros

### 3.2.5 HILO DE CONEXIÓN SERIAL

La comunicación serial se utiliza para recibir la información de los sensores de presencia instalados en el museo. El microcontrolador Atmega328p recibe las señales de los 16 sensores en forma de 0L cuando no se detecta presencia o 1L al detectar personas en el lugar (0V o 5V respectivamente), las convierte de binario a decimal consiguiendo un dato de 5 cifras (0-65535). Este dato se envía mediante 5 bytes a través del puerto serial (0,0,0,0,0 – 6,5,5,3,5). El subproceso descrito en este apartado se encarga de recibir los datos, decodificarlos y si se comprueba la llegada continua de 5 bytes, se guardan en una variable denominada “.serialdat” para utilizarla como mejor se crea conveniente (ver ejemplo en el apartado 3.3). En la Figura 3.7 se observa el algoritmo empleado para la comunicación serial.

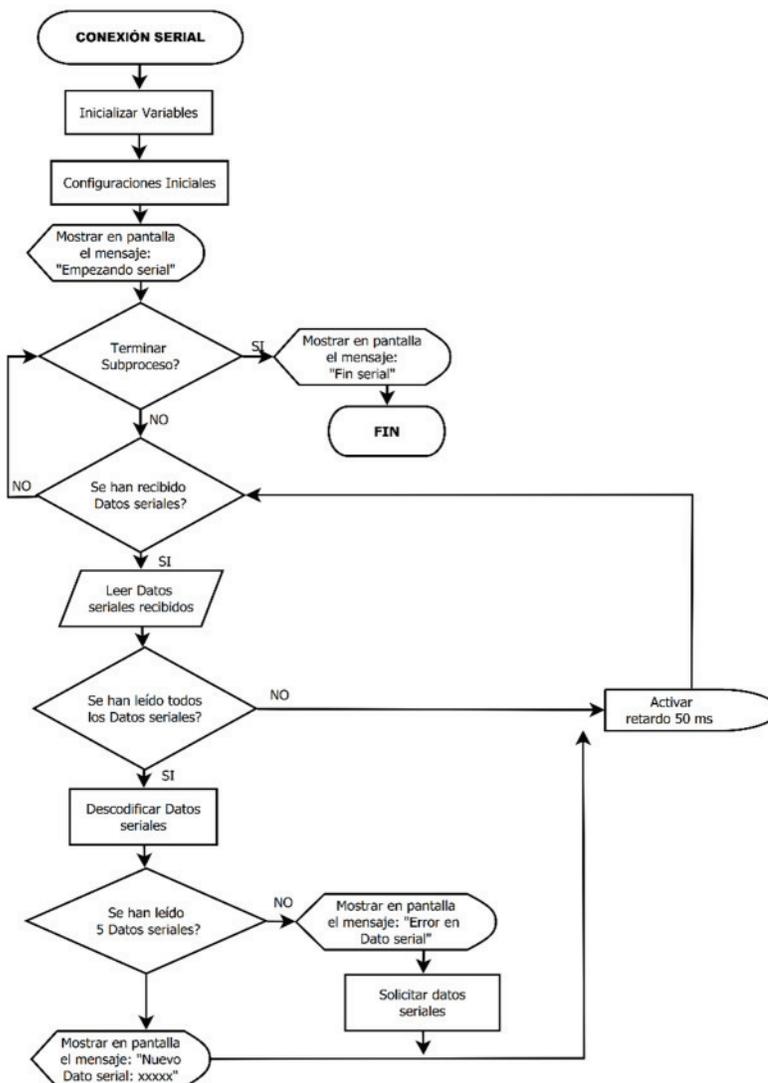


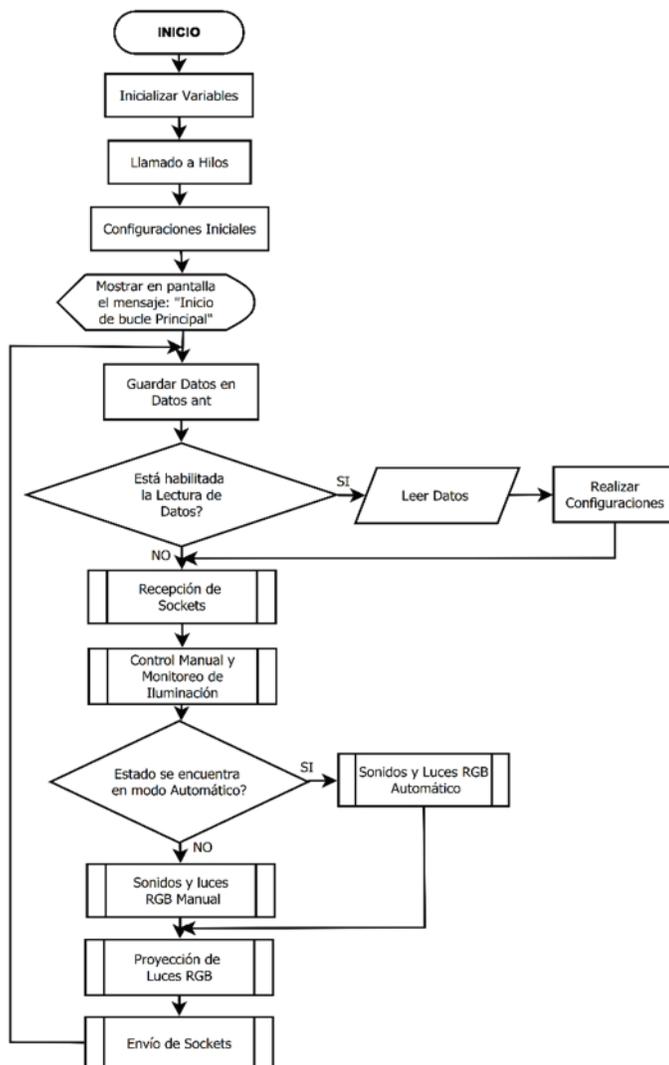
Figura 3.7 Diagrama de flujo del hilo de conexión serial

### 3.2.6 BLOQUE DE PROGRAMA PRINCIPAL

Después de haber descrito los subprocesos que trabajarán en paralelo, se describe el programa principal en donde se inicializa las variables, se hace el llamado a los hilos, y se realiza las configuraciones iniciales necesarias para la operación adecuada de este programa.

El programa se divide en 6 partes: lectura de datos guardados, lectura de sockets recibidos, control y monitoreo de iluminación, control y monitoreo de sonidos y luces RGB, proyección de luces RGB y envío de sockets al computador. En la Figura 3.8 se ilustra la representación del programa principal en diagrama de flujo.

Se recuerda que las 14 luces del museo están controladas por el sistema automático de iluminación anterior, por lo que las luces solo se monitorean.



**Figura 3.8** Diagrama de flujo del bloque principal

Inicialmente se efectúa la lectura de datos desde el archivo de texto, que se ejecuta siempre y cuando no se haya deshabilitado la opción lectura de datos (lo cual se deshabilita cuando se está guardando información, apartado 3.2.3). Luego se realizan los procesos descritos a continuación:

#### **3.2.6.1 Recepción de sockets**

Este bloque interviene siempre y cuando hayan llegado sockets desde la computadora. Si han llegado sockets, se maneja la información de acuerdo a su contenido como se puede observar en la Figura 3.9.

#### **3.2.6.2 Control manual y monitoreo de iluminación**

En este bloque se realiza el monitoreo de iluminación de las 14 zonas descritas anteriormente mediante los datos seriales recibidos desde el Atmega328p. Mediante el estado de los retardos generados se da valor al dato “Variable1”, que representa la iluminación activa. Si se requiere apagar/encender las luces, se desconecta/conecta el sistema anterior mediante la activación/desactivación de la salida para apagado. Se muestra el algoritmo desarrollado en la Figura 3.10.

#### **3.2.6.3 Sonido y luces RGB automático**

En el modo automático, se lee la información recibida serialmente y se efectúa la reproducción de sonido y el activado de luces RGB dependiendo de las zonas activadas por los sensores. En la Figura 3.11 se ilustra el diagrama de flujo del proceso de reproducción de sonido en modo automático.

#### **3.2.6.4 Sonido manual**

En el caso del sonido manual, se toma la información guardada en Variables2 producto de la lectura de los datos guardados en el archivo de texto o de los sockets recibidos, y se efectúa la reproducción de sonido dependiendo de las zonas activadas por los sensores. En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo del proceso de reproducción de sonido en modo manual.

### 3.3.6.5 Proyección de luces RGB

La proyección de luces se realiza después de la operación automática o manual, que configura 6 salidas PWM. Éstas se encuentran agrupadas en dos conjuntos de tres salidas, en donde se manipulan los colores rojo, verde y azul. Con los datos adquiridos al leer las variables principales, se utilizan los datos RGB1, RGB2, EstRGB1 y EstRGB2 para modificar el ancho de pulso de cada salida, lo que origina el color deseado en la tira de leds específica, inclusive apagando las luces cuando se requiera. Se observa la representación del algoritmo en la Figura 3.13

### 3.2.6.6 Envío de sockets

En este bloque se realiza el envío de sockets hacia el computador para mantenerlo actualizado de los cambios realizados por la aplicación del Smartphone, o por la intervención de los sensores de presencia. En la Figura 3.14 se ilustra el algoritmo del proceso desarrollado.

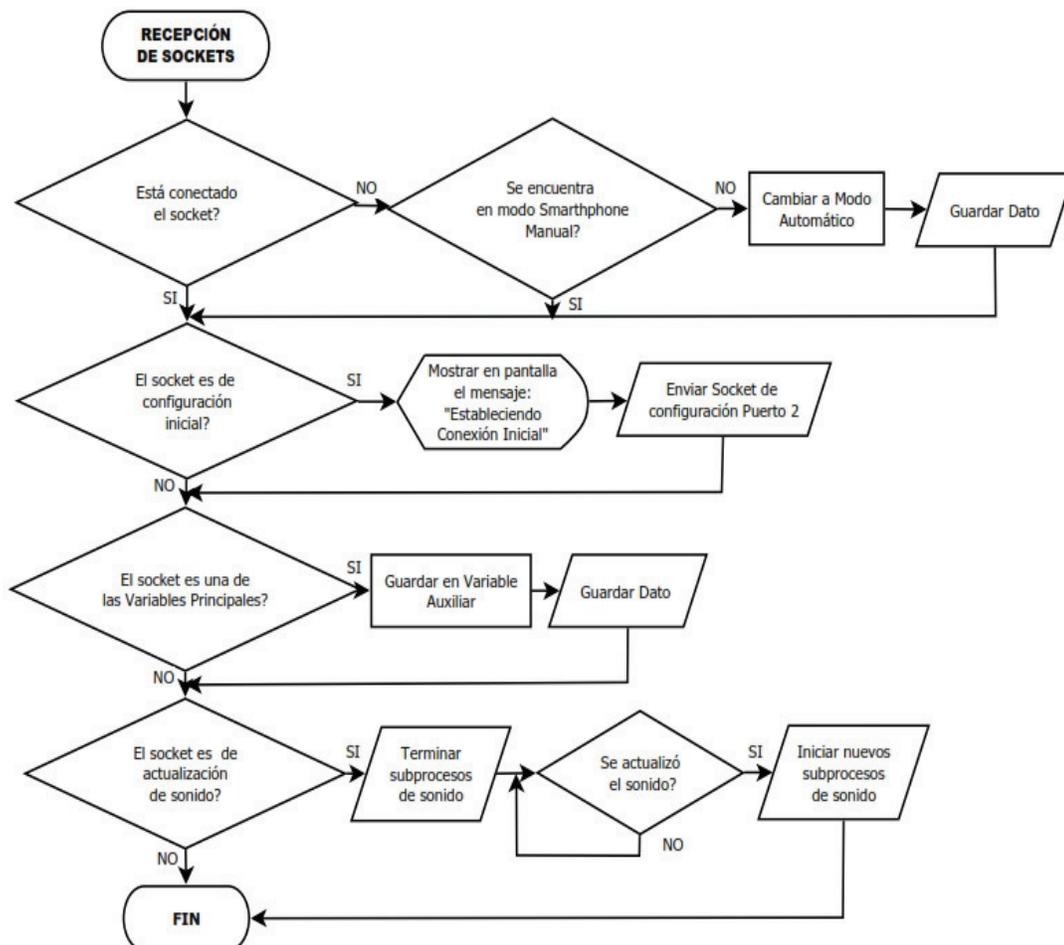


Figura 3.9 Diagrama de flujo de recepción de sockets

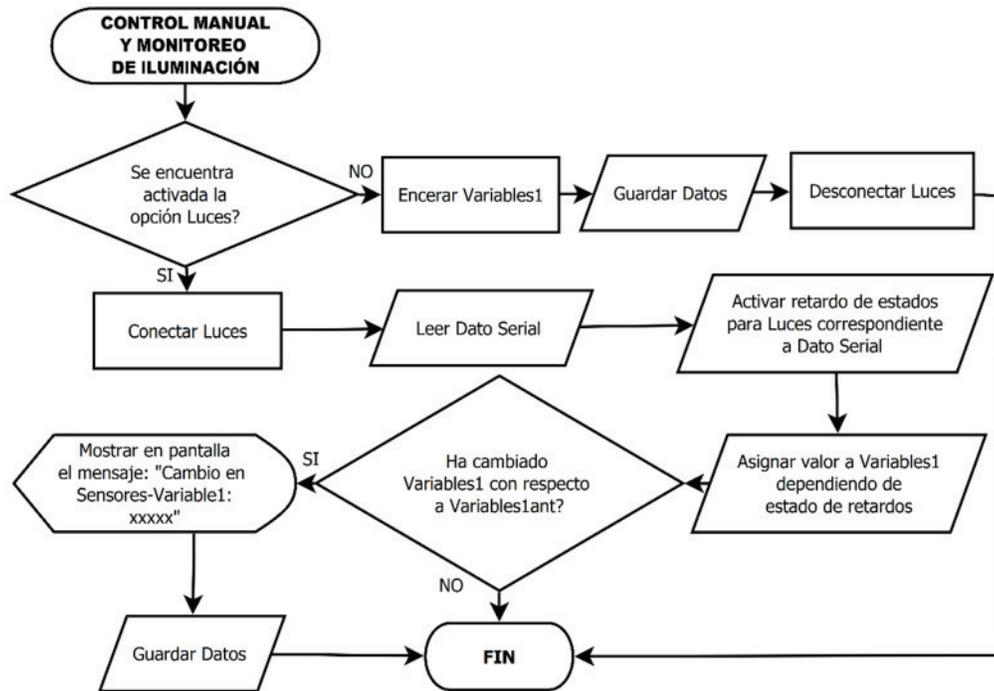


Figura 3.10 Diagrama de flujo del control manual y monitoreo de iluminación

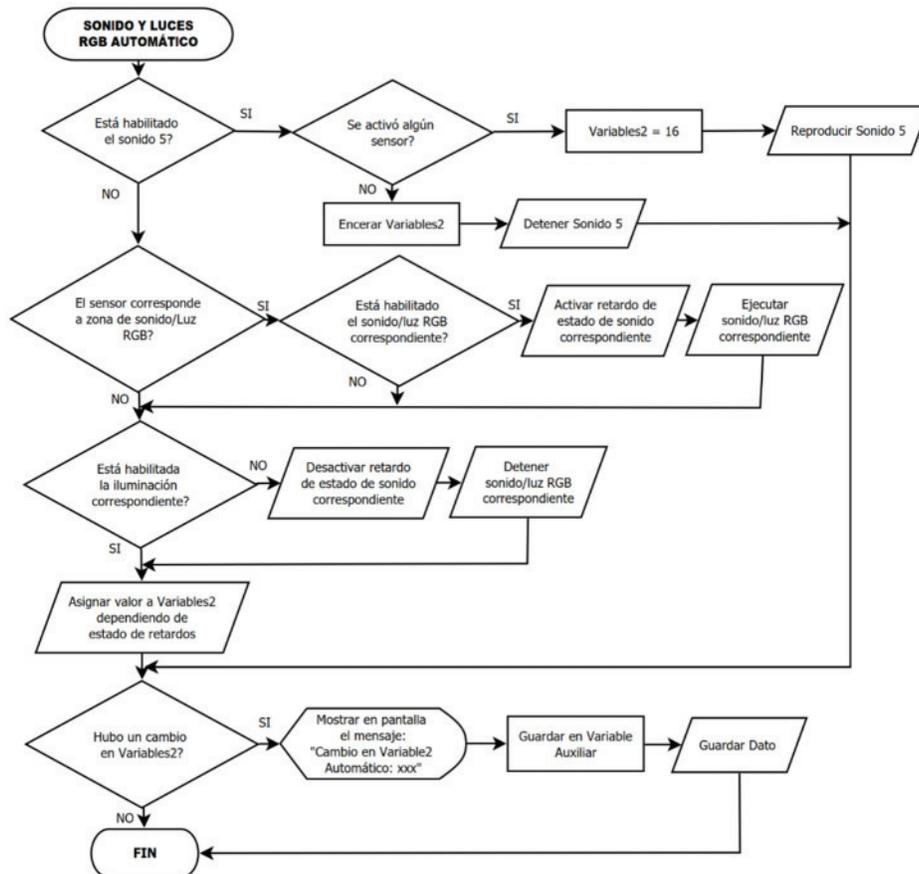


Figura 3.11 Diagrama de flujo de sonidos y luces RGB automático

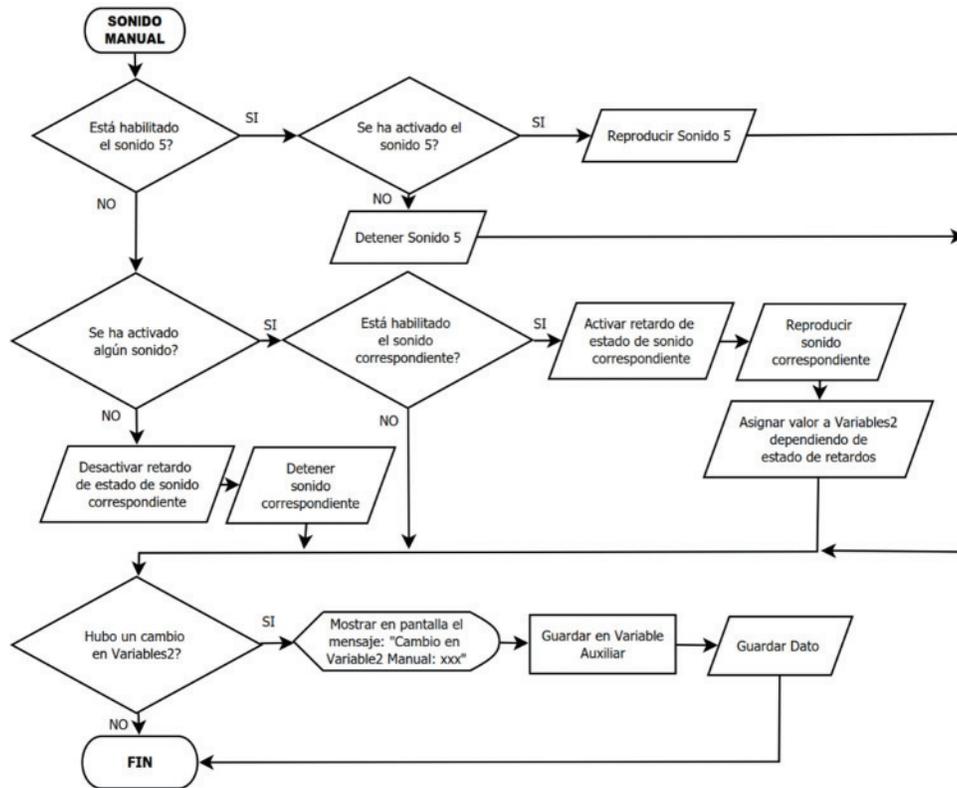


Figura 3.12 Diagrama de flujo de sonido manual

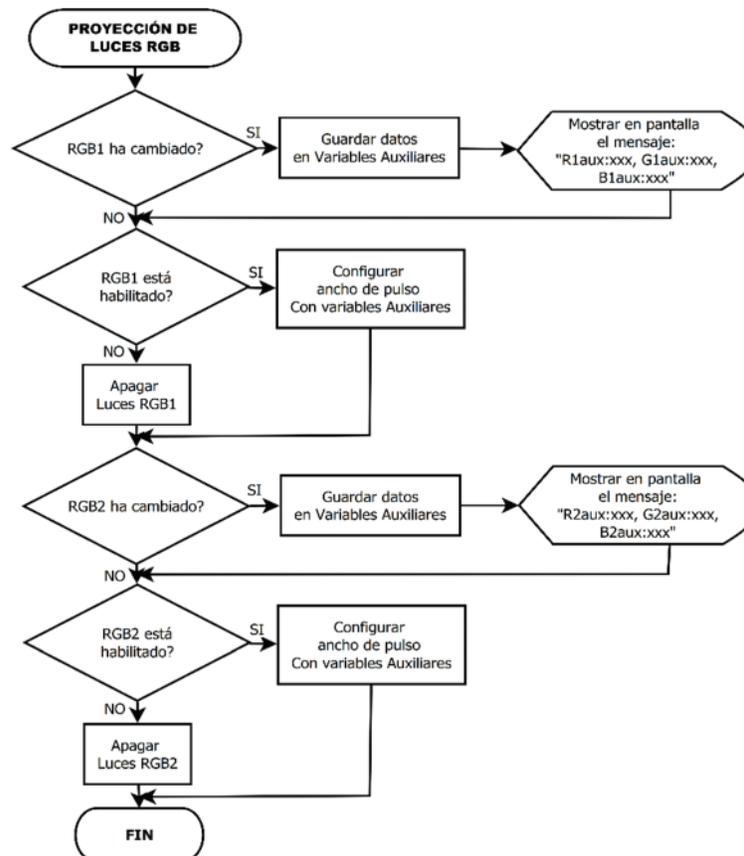
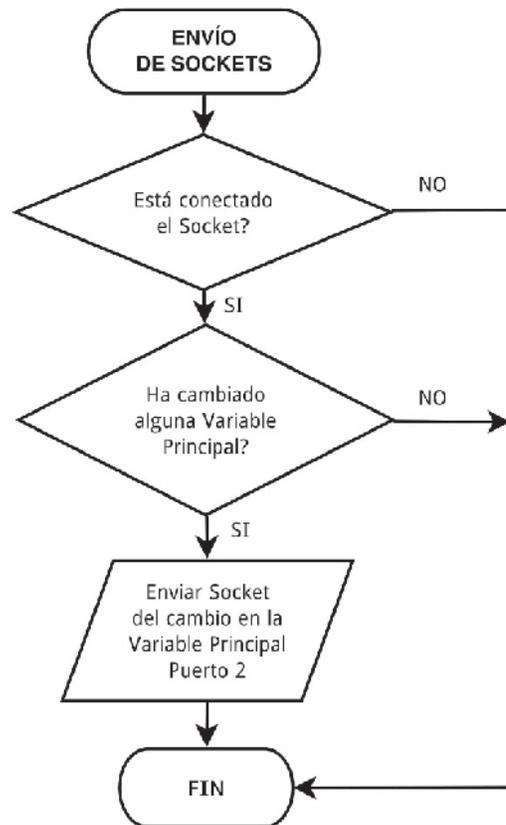


Figura 3.13 Diagrama de flujo de la proyección de luces RGB

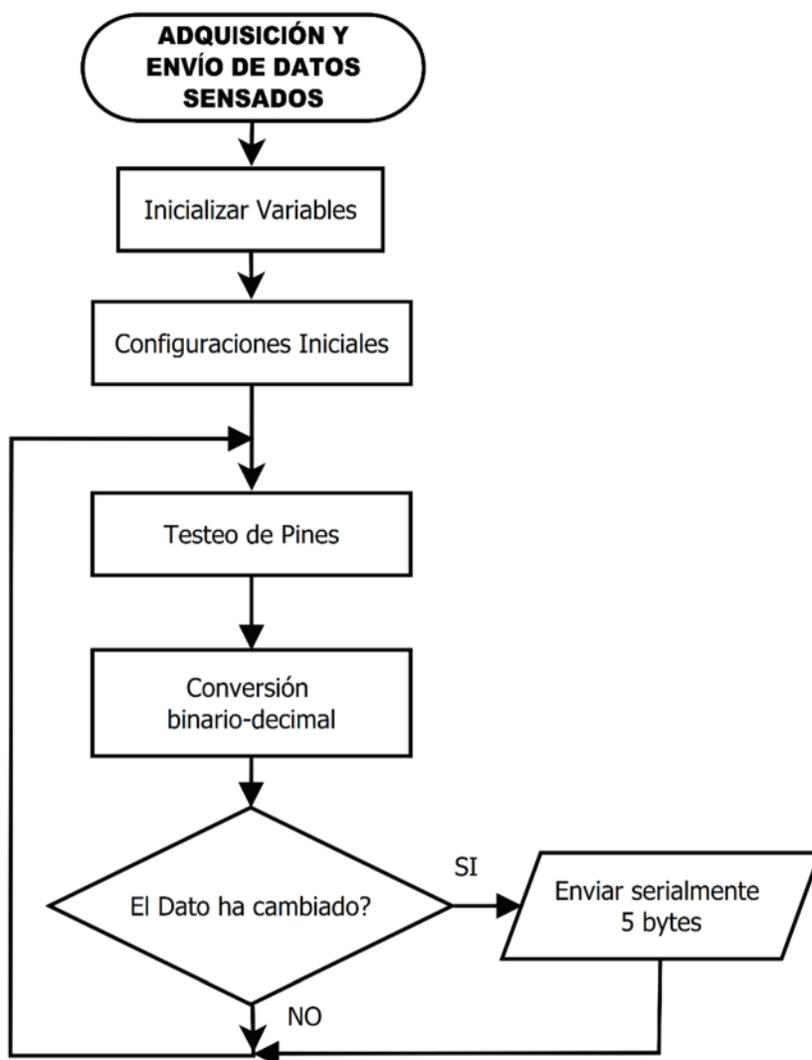


**Figura 3.14** Diagrama de flujo del envío de sockets

### 3.3 ADQUISICIÓN Y ENVÍO SERIAL DE DATOS SENSADOS

La función de adquirir, procesar y enviar serialmente los datos sensados es realizada por el microcontrolador Atmega328p. Éste se encarga de leer las señales de 16 sensores conectados a los pines del microcontrolador que llegan en forma de 0L cuando no se detecta presencia o 1L al detectar personas en el lugar (0V o 5V respectivamente), para luego transformar las señales de binario a un dato decimal (0 - 65535). Cada vez que el dato cambia, la información es enviada continuamente de cifra en cifra en 5 bytes (0,0,0,0,0 – 6,5,5,3,5) en forma serial. En la Figura 3.15 se puede observar el algoritmo que ejecuta el microcontrolador.

El dato es enviado hacia el pin de recepción serial de la placa SBC Raspberry Pi 3, para ser leída por el subproceso de recepción serial programado en la placa SBC para lograr este cometido. En el presente proyecto se utiliza la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios sin paridad y con un bit de parada.



**Figura 3.15** Diagrama de flujo de adquisición y envío de datos sensados

### 3.4 DESARROLLO DEL SERVIDOR WEB DE RASPBERRY PI

Un servidor web es un programa informático que se encarga de almacenar en bancos de memoria los archivos de un sitio y emitirlos por Internet el momento en que los usuarios lo soliciten, mediante el acceso a una página web. [30]

Utilizando las características de la Raspberry Pi es posible aprovechar su capacidad de convertirse en Servidor web que, mediante el acceso a una dirección IP, permite intercambiar información con dispositivos como Smartphones o Computadoras. En el presente proyecto se hace uso de esta funcionalidad para manipular los datos desde la aplicación móvil.

Gracias a las funcionalidades de la programación en PHP, aparece la posibilidad de diseñar una página web propia de la Raspberry Pi, que vaya actualizando y publicando los datos almacenados, y que utilice la función de recibir y guardar datos desde dispositivos exteriores con la función de Posteo de datos.

Para ello, es necesario la instalación de varios programas que permitan la utilización de estas capacidades:

### **3.4.1 INSTALACIONES PREVIAS PARA SERVIDOR WEB [31]**

Primeramente se debe instalar el paquete Apache2 ingresando en la línea de comando del terminal lo siguiente:

- `sudo apt-get install apache2 -y`

A continuación, para permitir que el servidor Apache procese archivos PHP, se debe instalar php5 y el módulo Apache php5 escribiendo el siguiente comando:

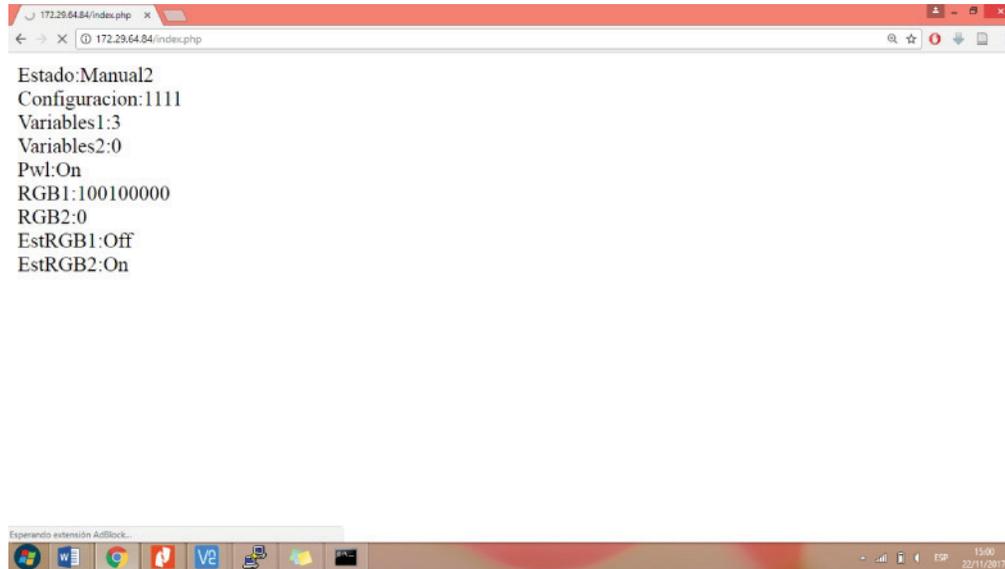
- `sudo apt-get install php5 libapache2-mod-php5 -y`

### **3.4.2 DESARROLLO DE PÁGINA WEB.**

Para el desarrollo de la página web se ha utilizado el lenguaje PHP, guardando el código en un archivo colocado en el siguiente directorio: `pi/var/www/html/index.php`.

Como se observa en la Figura 3.16, en esta página web se muestra el estado de las 9 variables principales lo cual es actualizado mediante el código de lectura y almacenamiento de datos programado en la Raspberry Pi (apartado 3.2.3). Adicionalmente se programa el posteo de datos para cambiar el archivo "Archivo.txt" que almacena las 9 variables principales del sistema.

Para acceder a la página web, se escribe la dirección IP asignada a la Raspberry Pi 3.



**Figura 3.16** Página web Raspberry Pi 3.

### 3.5 DESARROLLO DE LA INTERFAZ HMI PARA PC

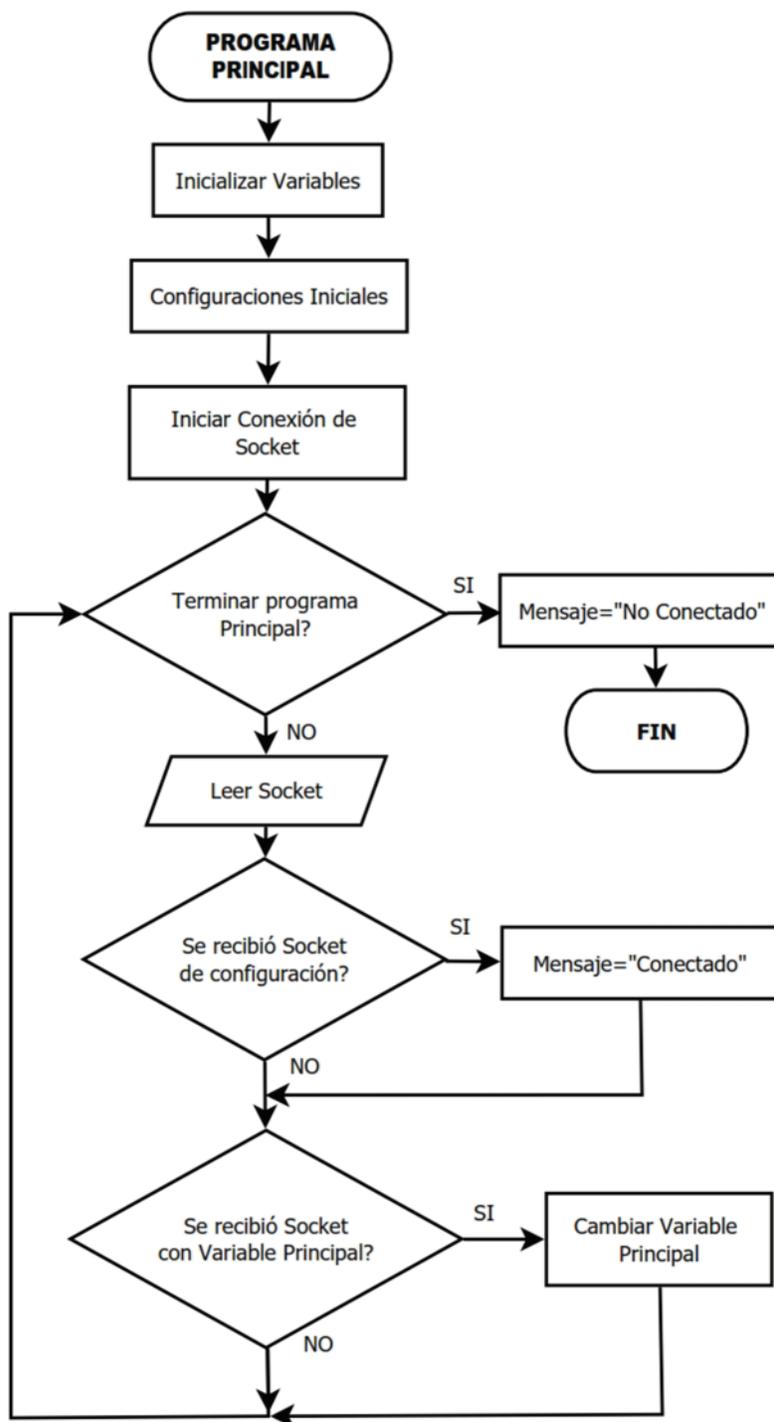
Para el desarrollo de la interfaz HMI de computadora, se ha utilizado el software NetBeans IDE 8.0.2 con programación en lenguaje Java. Este lenguaje, al igual que Python, permite la programación en hilos, con lo que se puede implementar algoritmos que trabajen en paralelo con programas principales. Para la comunicación con la Raspberry Pi se hace uso de los sockets, configurando a esta interfaz como cliente.

La interfaz HMI se encuentra estructurada de un programa principal y tres ventanas de visualización: La ventana principal (Aplicación), la ventana de configuración (Aplicación2) y la ventana de contraseña (Contraseña).

#### 3.5.1 PROGRAMA PRINCIPAL DE HMI

En el programa principal se hace el llamado a la Ventana principal de visualización. Posteriormente se realiza la conexión inicial con el servidor. Se configura la dirección IP del servidor y el puerto asignado. Si el servidor está activo, es establecida la conexión (apartado 3.2.2, Hilo conexión de sockets).

El algoritmo se mantiene a la espera de sockets enviados desde el servidor para cambiar el valor de las variables principales del proyecto. En la Figura 3.17 se tiene la representación del algoritmo programado.



**Figura 3.17** Diagrama de flujo del código principal de la HMI.

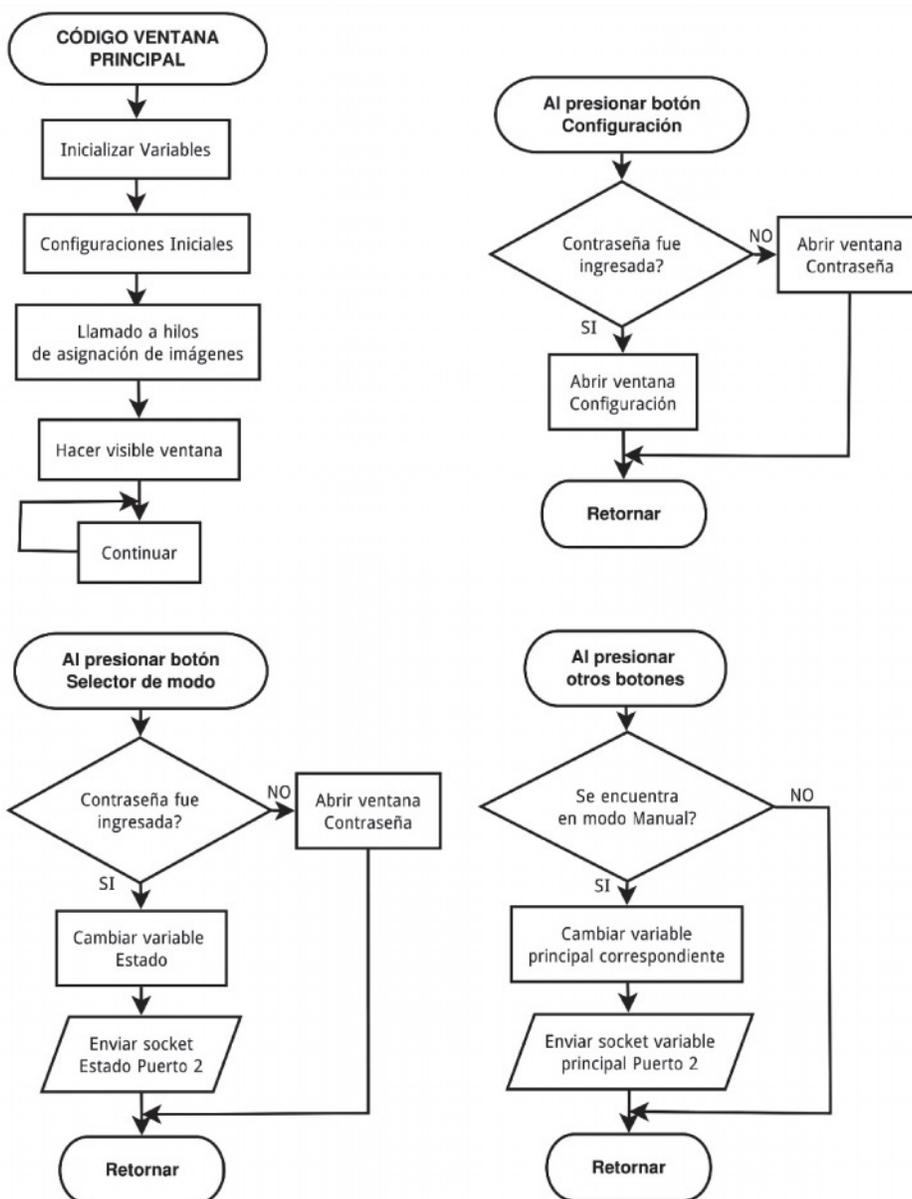
### 3.5.2 VENTANA PRINCIPAL DE HMI

Para la programación de esta ventana, se utilizan dos hilos conjuntamente con el programa principal. En los hilos se evalúan las variables principales y dependiendo de ello, se asignan las imágenes correspondientes a los íconos que se observan en la Figura 3.18. Para mayor información ver el manual de usuario (Anexo C.2).

En el programa principal de esta ventana, inicialmente se hace el llamado a los hilos antes mencionados y se configuran los eventos de los botones. Al presionar los botones, se envía sockets hacia la Raspberry Pi para cambiar las variables principales del sistema. Se tiene un casillero de configuración que hace el llamado a la ventana de Configuración. Al hacer uso del botón de Estado o el de Configuración, inicialmente se accede a la ventana de Contraseña y si se ingresa la contraseña correcta, se permite el uso de los botones. El anexo C describe el significado de los diferentes íconos, mientras que el algoritmo se encuentra representado en la Figura 3.19



**Figura 3.18** Interfaz HMI principal



**Figura 3.19** Diagrama de flujo de la ventana principal HMI

### 3.5.3 VENTANA DE CONTRASEÑA

Mediante esta ventana se asegura que la manipulación de los diferentes botones sea realizado por un guía encargado que sepa la contraseña configurada. Para conocer su funcionamiento ver el manual de usuario (Anexo C.2.1). En la Figura 3.20 se observa la ventana de contraseña elaborada, y el diagrama de flujo del código programado se puede observar en la Figura 3.21.



Figura 3.20 Ventana de Contraseña

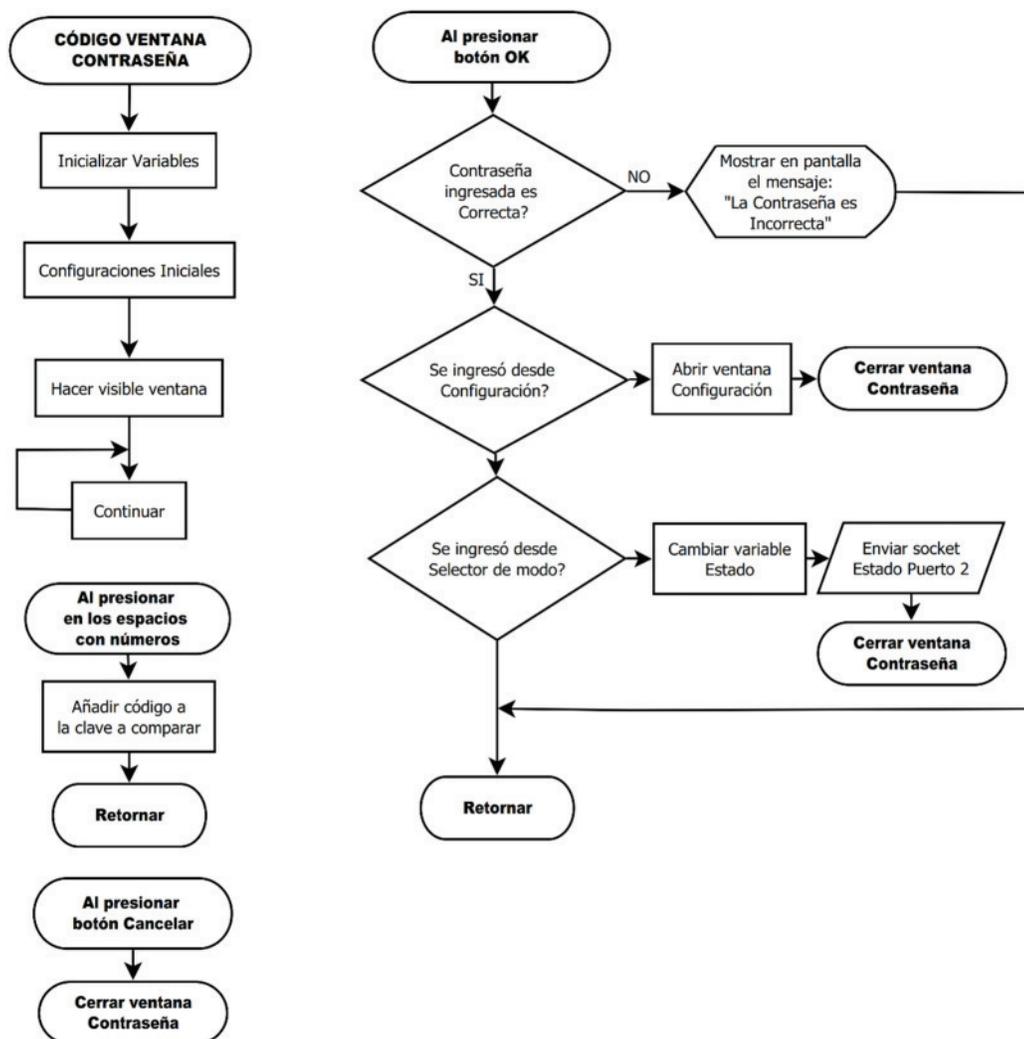
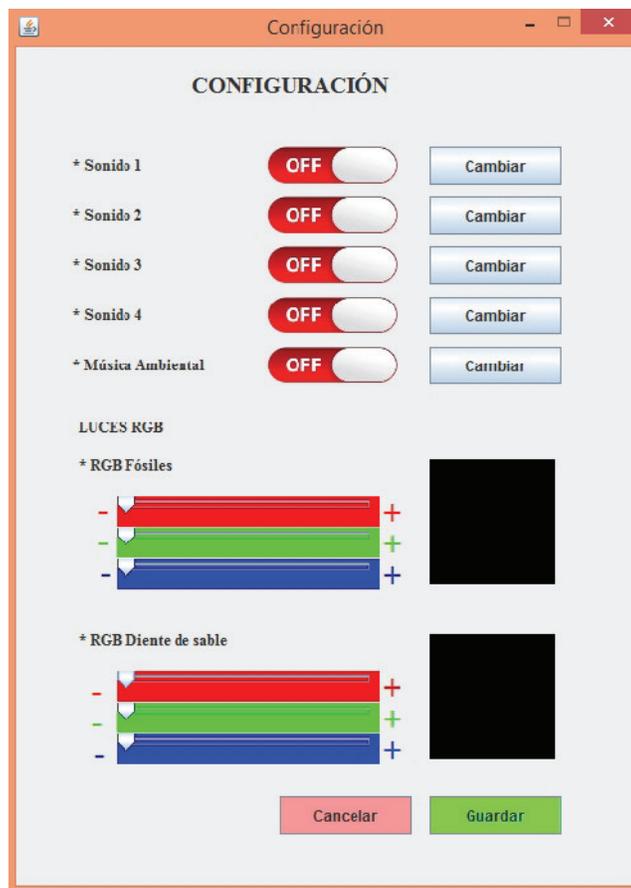


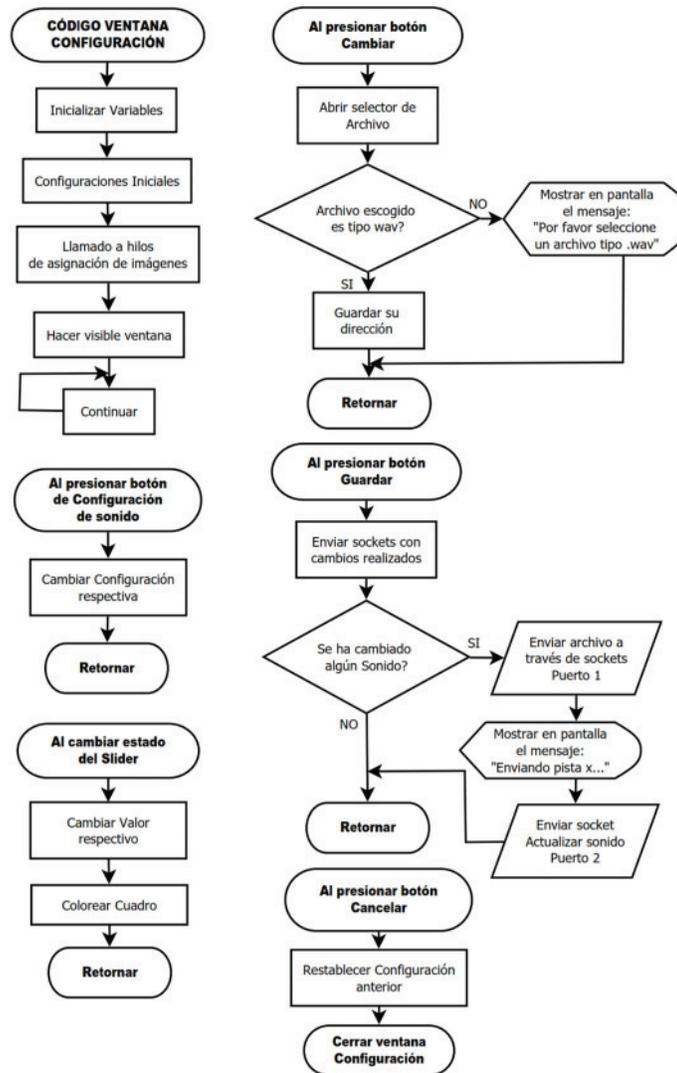
Figura 3.21 Diagrama de flujo de la ventana de contraseña.

### 3.5.4 VENTANA DE CONFIGURACIÓN

En esta ventana se cambia los sonidos a reproducir, se habilita o deshabilita los mismos, y se configura el color de las luces RGB. Al guardar la configuración, se realiza el envío de los sockets respectivos hacia la Raspberry Pi. Para el cambio de fichero de sonido, se abre un puerto especial asignado para el envío del archivo de sonido, y se actualiza los sonidos en la placa SBC (apartado 3.2.4.1). En la Figura 3.22 se observa la ventana de configuración, mientras que el algoritmo del código implementado se describe en la Figura 3.23



**Figura 3.22** Ventana de configuración HMI



**Figura 3.23** Diagrama de flujo de la ventana de configuración

### 3.6 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN MÓVIL

Para el desarrollo de la aplicación móvil, se ha utilizado el App inventor 2 con lenguaje Blockly, que genera un archivo .apk para sistemas Android. Este lenguaje de programación consiste en la elaboración de algoritmos en bloques que trabajan en paralelo, los cuales se programan de forma online. Para lograr la comunicación del Smartphone con la Raspberry Pi, se implementa el uso del servidor Web otorgado por la placa SBC, en donde la lectura de una página web y el posteo de información en la misma permiten el intercambio de información.

La aplicación está conformada de dos ventanas de visualización: La ventana principal (Luces y sonidos museo) y la ventana de configuración (Ajustes).

### 3.6.1 VENTANA GENERAL DE APLICACIÓN

En la ventana general se han colocado botones que manipulan el estado del sistema, la activación/desactivación de la iluminación, los 5 sonidos y los leds RGB, como se puede observar en la Figura 3.24. Adicionalmente en la ventana general se tiene el botón Ajustes que hace el llamado a la ventana de configuración.

Al iniciar la ventana general, se verifica que la página Web se encuentre habilitada de modo que permita activar la lectura constante de la información. De no ser así, se espera una conexión manual mediante un botón de conexión colocado en la parte superior de la ventana. Cuando se consigue leer la página web, se adquiere la información de las 9 variables principales del sistema. (Estado, Configuración, Pwl, Variables1, Variables2, RGB1, RGB2, EstRGB1, EstRGB2). En paralelo se tiene un programa que constantemente asigna las imágenes correspondientes a los botones utilizados dependiendo de la información adquirida de las variables principales. Al presionar cualquiera de los botones, se postea las 9 variables con el respectivo cambio que produjo la acción. Al postear los datos en la página web de la Raspberry Pi, la información es guardada en el archivo de texto que almacena las variables principales del sistema en la placa SBC (apartado 3.4.2). En el diagrama de Flujo de la Figura 3.25 se observa el algoritmo de programación desarrollado.

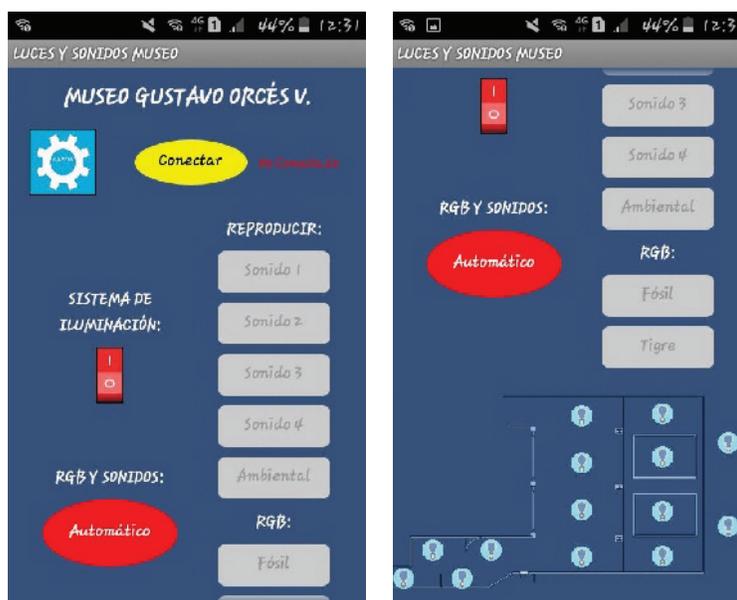
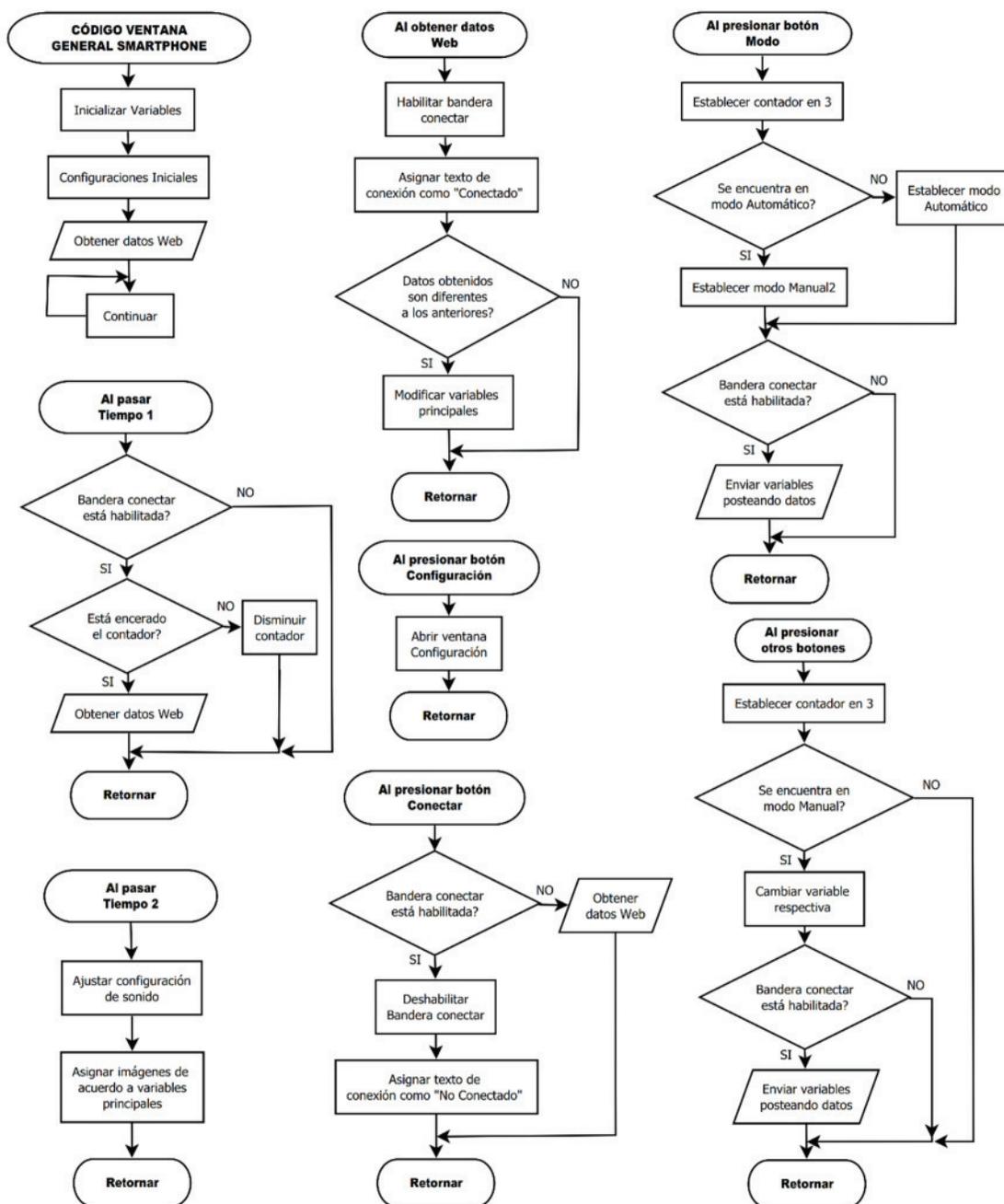


Figura 3.24 Ventana general de aplicación



**Figura 3.25** Diagrama de flujo de la ventana general de aplicación.

### 3.6.2 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE APLICACIÓN

Al iniciar esta ventana se realiza la lectura de la página web, y se ajusta los botones de configuración del sonido y los sliders para los colores de los leds RGB. Se tiene los botones guardar y cancelar con los cuales se postea o se cancela el posteo en la página web. Se puede observar la ventana de configuración en la Figura 3.26 y la representación en el diagrama de flujo de la Figura 3.27.

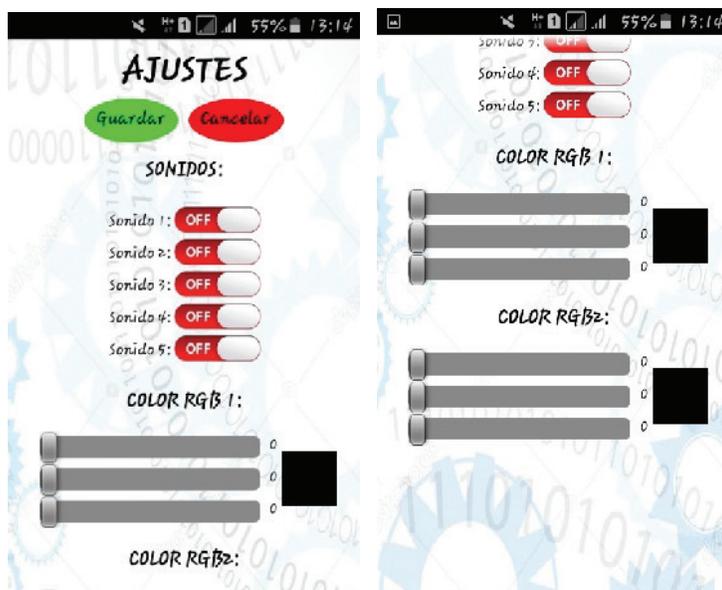


Figura 3.26 Ventana de configuración de aplicación

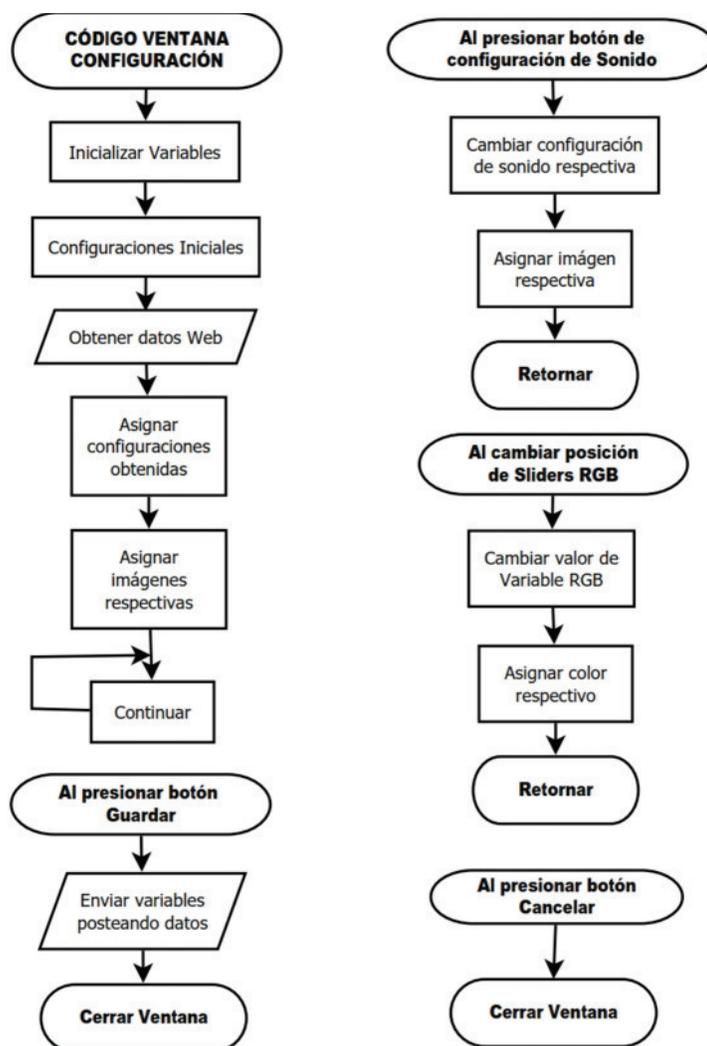


Figura 3.27 Diagrama de flujo de ventana de configuración de aplicación

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento del sistema automático de luces y sonidos instalado en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V., se han realizado diferentes pruebas en los modos de operación tanto manual como automático. En este capítulo se muestra el procedimiento para la comprobación de la operación del sistema implementado.

#### 4.1 PRUEBAS EN MODO MANUAL

Las diferentes pruebas en modo manual realizadas se describen a continuación:

##### 4.1.1 PRUEBAS DE HMI

Estas pruebas son realizadas mediante la conexión de la computadora con la Raspberry Pi y la manipulación de las opciones que brinda la HMI.

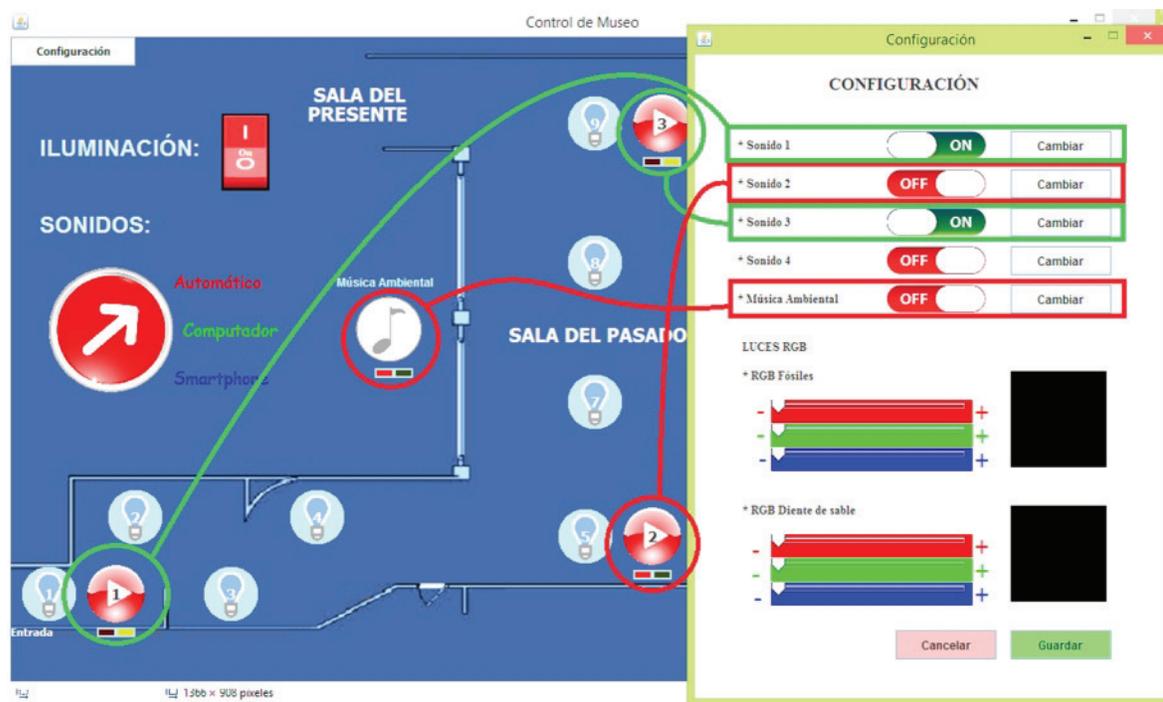
Se revisa el funcionamiento de la contraseña ingresando inicialmente una clave errónea, lo que produce un mensaje de error de contraseña, como se observa en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Error de contraseña

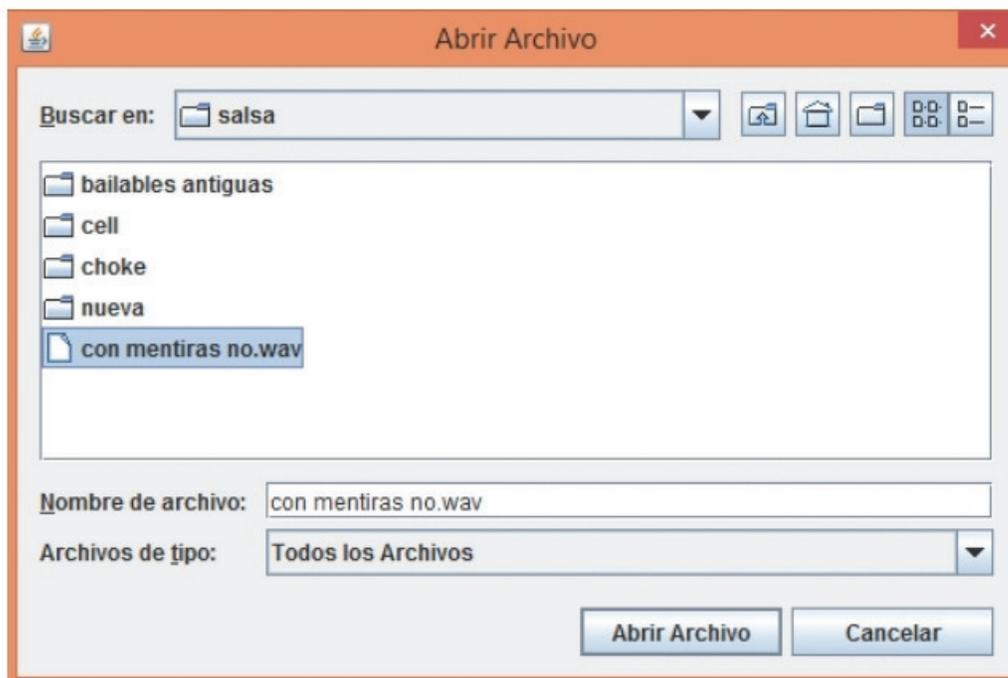
Al presionar aceptar se vuelve a dar la oportunidad para ingresar una nueva contraseña. Al ingresar la contraseña correcta se habilitan los botones de la interfaz así como el acceso a la configuración.

Se verifica el funcionamiento de los botones de la ventana General y los botones y sliders de la ventana de Configuración, los cuales inciden sobre las variables principales del sistema ejecutando las acciones requeridas en el museo y generando una visualización adecuada de las variables en la Interfaz de computadora como se muestra en la Figura 4.2.



**Figura 4.2** Manipulación de botones y sliders

En la Configuración se realiza un cambio de fichero de sonido presionando el botón Cambiar, con lo cual se ejecuta la apertura del directorio para seleccionar el fichero de sonido que se quiere configurar y enviarlo hacia la placa SBC Raspberry Pi 3. Cabe mencionar que el sonido debe estar en formato “wav”. De no ser así se despliega un mensaje de error en el que se pide que se seleccione un archivo tipo “wav”. En la Figura 4.3 se puede observar un ejemplo del cambio de fichero de sonido



**Figura 4.3** Cambio de fichero de sonido

#### 4.1.2 PRUEBAS DE APLICACIÓN DE SMARTPHONE

Para las pruebas de la aplicación, el móvil es conectado al servidor web de la Raspberry Pi 3 y a continuación se manipulan los diferentes elementos. Se verifica el funcionamiento de los botones de la Interfaz para el Smartphone en sus dos ventanas: la ventana general y la ventana de ajustes. En la Figura 4.4 se observa

la manipulación de los elementos instaurados en estas ventanas, con lo cual se consigue un adecuado manejo de las acciones en el museo y se obtiene una correcta visualización de las variables principales del sistema en el Smartphone.



**Figura 4.3** Manipulación desde aplicación Android

#### 4.1.3 PRUEBAS DE SONIDO

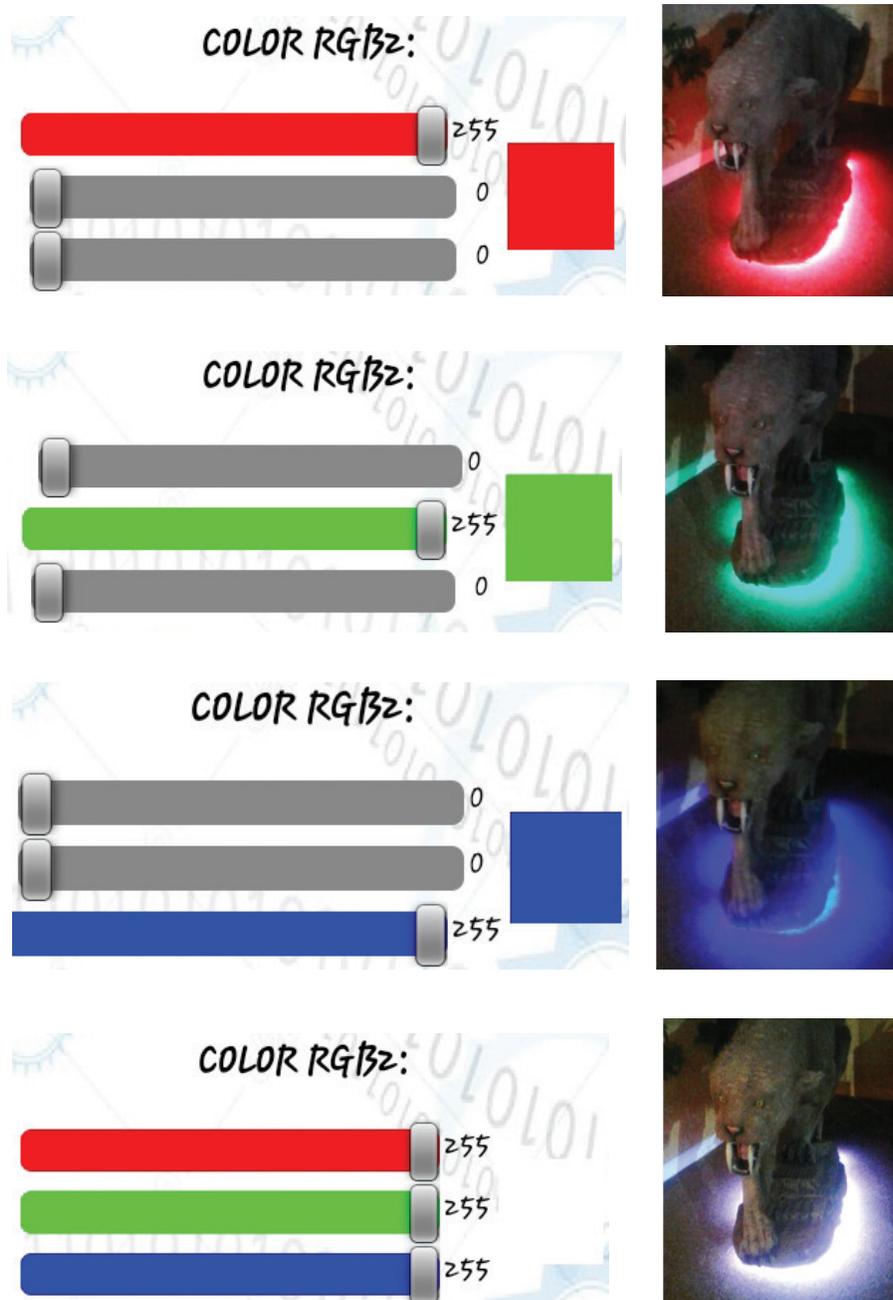
Mediante el uso de la aplicación Android se ha realizado las pruebas de sonido en cada una de las cuatro zonas equipadas con los parlantes.

Se comprueba la correcta multiplexación del sonido a un volumen adecuado de cada equipo sonoro, que permitirá un ambiente apropiado para el desarrollo de actividades con el público en general. Adicionalmente se ha comprobado la reproducción del sonido general habilitando los cuatro parlantes a la vez, logrando que el audio sea reproducido en todos los equipos a una intensidad de volumen adecuada para las actividades realizadas en el museo.

#### 4.1.4 PRUEBAS DE LUCES RGB

Con la ayuda de la interfaz de Smartphone se ha realizado el cambio de colores de las luces RGB obteniendo resultados acorde a lo esperado como se puede observar en la Figura 4.4.

Se manipula individualmente los tres colores así como su combinación consiguiendo correctamente los colores solicitados en la aplicación, con lo que se comprueba su buen funcionamiento.



**Figura 4.4** Manipulación de luces RGB

#### 4.1.5 PRUEBAS DE ENCENDIDO/APAGADO DE ILUMINACIÓN

Se realizan las pruebas de encendido y apagado de la iluminación mediante el uso de la HMI de computadora y la aplicación de Smartphone.

Después de realizar varias pruebas, se encontró la necesidad de mejorar el tiempo de respuesta del encendido y apagado de las luminarias editando el programa principal así como la programación de las interfaces.

Finalmente se consigue el encendido y apagado de la iluminación automática en un tiempo menor a 0.5 segundos, el cual se establece como un tiempo adecuado para la manipulación de las luminarias. En la Figura 4.5 se observa la manipulación del botón de encendido y apagado junto con su resultado en la iluminación del museo.



**Figura 4.4** Manipulación de encendido/apagado de iluminación.

## 4.2 PRUEBAS EN MODO AUTOMÁTICO

En este apartado el modo automático es puesto a prueba comprobando el funcionamiento independiente y en conjunto del sistema sin la intervención de las interfaces en las posibilidades descritas en la Tabla 4.1.

Para ello se inducen las combinaciones de varias posibilidades supervisando y comprobando el buen funcionamiento del sistema en el modo de operación automática.

**Tabla 4.1** Posibilidades del modo automático

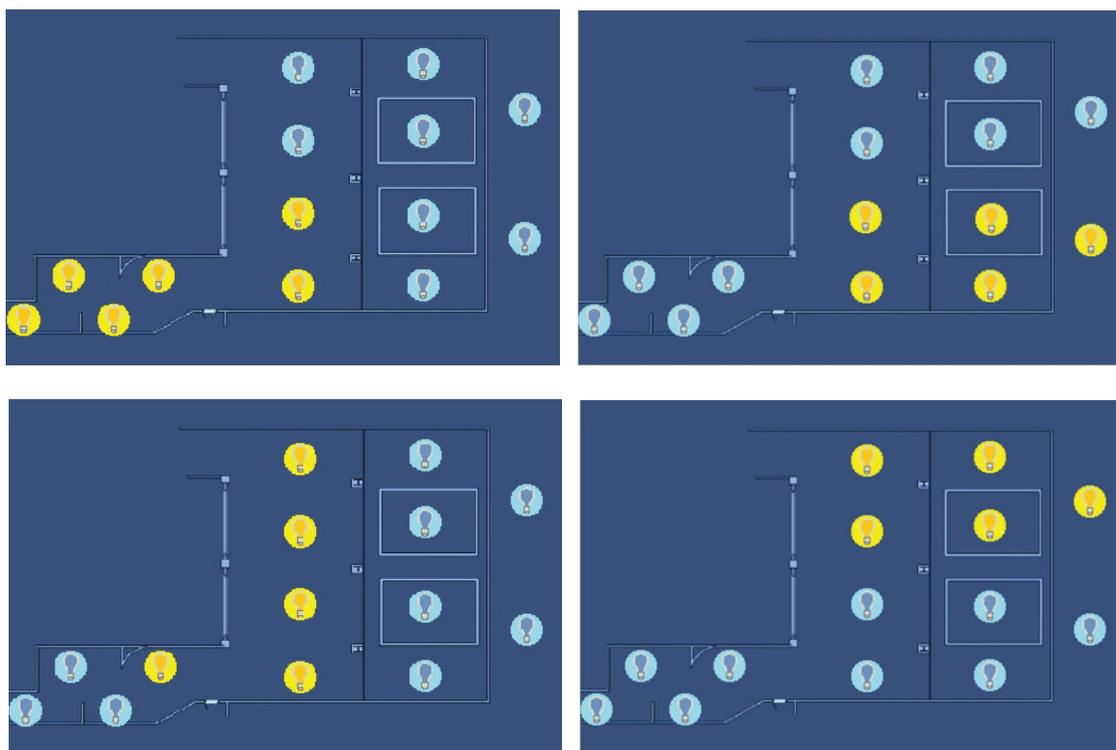
<b>SISTEMA</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>SALIDA</b>
SISTEMA DE LUCES AUTOMÁTICAS	Monitoreo	Luces 1 (Zona 1)
		Luces 2 (Zona 2)
		Luces 3 (Zona 3)
		Luces 4 (Zona 4)
		Luces 5 (Zona 5)
		Luces 6 (Zona 6)
		Luces 7 (Zona 7)
		Luces 8 (Zona 8)
		Luces 9 (Zona 9)
		Luces 10 (Zona 10)
		Luces 11 (Zona 11)
		Luces 12 (Zona 12)
		Luces 13 (Zona 13)
		Luces 14 (Zona 14)
REPRODUCCIÓN DE SONIDOS	Control Automático y Monitoreo	Sonido 1 (Zona 1)
		Sonido 2 (Zona 5)
		Sonido 3 (Zona 9)
		Sonido 4 (Zona 12)
		Sonido 5 (Ambiental en todos los parlantes zona 1, zona 5, zona 9, zona 12)
LUCES LED RGB	Control Automático y Monitoreo	RGB1 (Fósiles en zona 5)
		RGB2 (Dientes de Sable en zona 12)

Para ubicar las zonas descritas en la Tabla 4.1 es necesario revisar el Anexo A3 de planos del museo Gustavo Orcés V.

### 4.2.1 PRUEBAS DEL MONITOREO DE LUCES AUTOMÁTICAS

Estas pruebas son realizadas mediante el uso de la aplicación para Smartphone, con lo cual se monitorea el estado de las luminarias automáticas encendidas en las 14 zonas del museo.

En la Figura 4.5 se observa el resultado del monitoreo de luces automáticas, lo cual procede a cambiar los íconos de luz en la interfaz elaborada dependiendo de la zona en la que el usuario se encuentre caminando.



**Figura 4.5** Monitoreo de luces automáticas

De esta manera se comprueba el monitoreo en las 14 zonas del museo registrando los tiempos de activación de la iluminación en cada una. Se compara los tiempos que permanecen encendidas las luces con los tiempos que se mantienen activados y desactivados los íconos de luz en las interfaces. Al realizar esta comparación se ha encontrado la necesidad de ajustar los tiempos en la programación principal. Finalmente se corrobora su semejanza en tiempos con lo cual se comprueba el funcionamiento del sistema. En la Tabla 4.1 se registra los tiempos de activación de las luminarias en la realidad y los tiempos en las interfaces elaboradas.

**Tabla 4.2** Tiempos de activación de luminarias

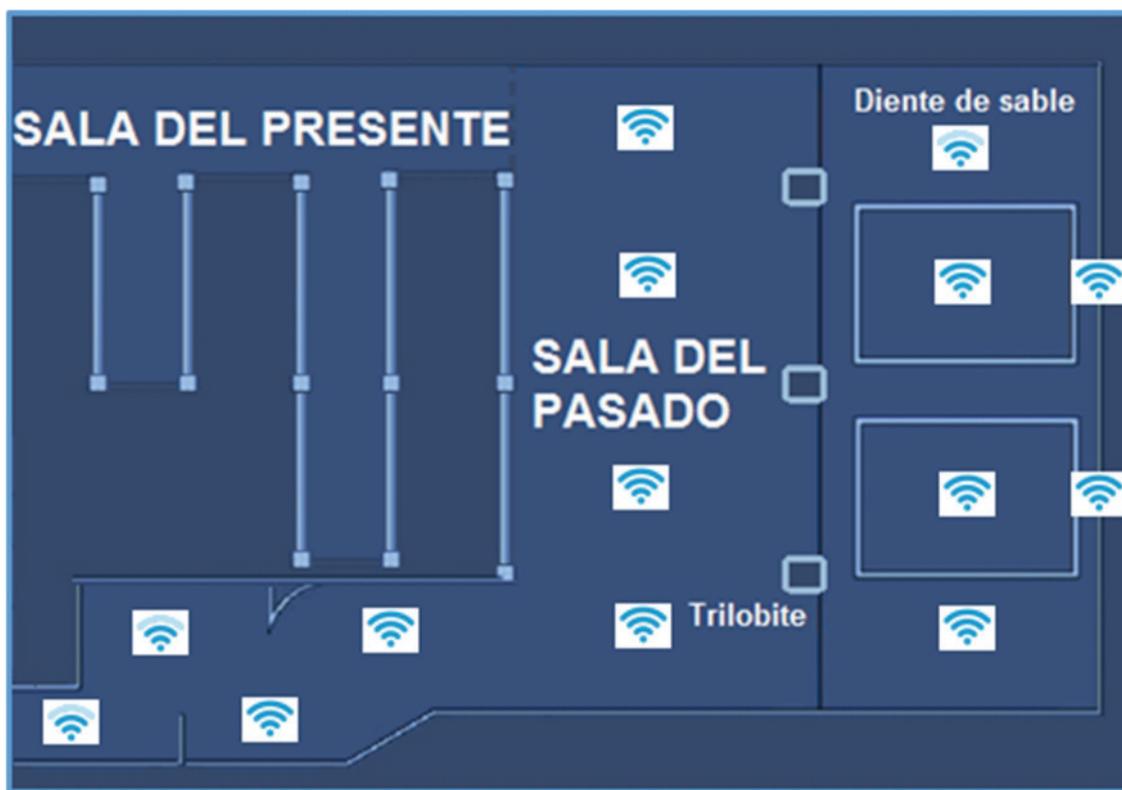
<b>Zona</b>	<b>Tiempo en la Realidad [s]</b>	<b>Tiempo en Interfaces [s]</b>
1	65	66
2	65	66
3	63	64
4	63	63
5	260	262
6	260	263
7	65	65
8	65	66
9	65	66
10	260	263
11	260	263
12	260	262
13	180	182
14	180	182

#### **4.2.2 PRUEBAS DEL ENCENDIDO AUTOMÁTICO DE SONIDOS Y LUCES RGB**

Se realizaron las pruebas de sonidos y luces RGB automáticos recorriendo las zonas equipadas con los dispositivos respectivos. En el desarrollo de la prueba se observó que las luces RGB y los sonidos automáticos funcionaban de acuerdo a los objetivos planteados; sin embargo, al pasar por varias zonas a la vez se detectó el problema de que los sonidos se cruzaban entre sí. Por ello, se modificó el código principal para conseguir una limitación a la reproducción de sonidos, en donde se asegura de reproducir un sonido a la vez y no reproducir otro diferente mientras no se haya terminado el primero. Finalmente se consiguió una operación adecuada del sistema, obteniendo así un nuevo sistema de luces y sonidos automático listo para ser utilizado.

### 4.3 PRUEBAS DE CONECTIVIDAD

Como se describe en capítulos anteriores, se ha realizado un sistema de conexión inalámbrico mediante comunicación TCP/IP que permite el intercambio de información entre la placa SBC, el Smartphone y la Computadora. Se realizan las pruebas de conectividad enlazando los tres dispositivos en conjunto, y examinando la conexión del Smartphone en cada una de las 14 zonas del museo. En la Figura 4.10 se representa la intensidad de la señal inalámbrica en las 14 zonas del museo, por lo que se puede comprobar que en cada uno de estos puntos la comunicación inalámbrica no resulta afectada.



**Figura 4.6** Intensidad de señal inalámbrica en el museo

Adicionalmente se ha realizado una prueba de velocidad de conexión inalámbrica o ping de la placa SBC con el Smartphone en cada una de las zonas del museo. En la Tabla 4.3 se muestra el resultado al realizar esta prueba.

**Tabla 4.3** Tiempos de respuesta ping.

<b>Zona</b>	<b>Respuesta ping [ms]</b>
1	11.2
2	15.2
3	9.33
4	11.5
5	9.91
6	8.24
7	15.4
8	9.76
9	8.72
10	7.69
11	19.9
12	14.5
13	10.4
14	10.7

Para ubicar las zonas de la Tabla 4.3 es necesario revisar el Anexo A3 de planos del museo Gustavo Orcés en donde se describe detalladamente la ubicación de las zonas en el museo Gustavo Orcés V.

#### **4.4 PRUEBAS DE CAMPO**

Las pruebas de campo son realizadas con el fin de conocer la opinión de los usuarios acerca del sistema de luces y sonidos automáticos así como las interfaces HMI para el control y monitoreo del mismo.

Estas pruebas han sido realizadas a visitantes y guías encargados en el transcurso de un mes mediante el planteamiento de las siguientes encuestas.

#### 4.4.1 ENCUESTA PARA VISITANTES

Se ha realizado la encuesta a 53 personas que visitaron el museo una vez finalizado su recorrido en la localidad.

Las preguntas realizadas se presentan a continuación:

- 1) ¿Considera que el sonido que acompaña el recorrido genera un ambiente propicio para la visita?

Si ( ) No ( )

- 2) ¿Qué tan interesante le parecieron los sonidos en el museo?

(1 poco – 5 bastante):

1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( )

- 3) ¿Qué opinión tiene acerca de la calidad y volumen de los sonidos implementados en el museo?

-----

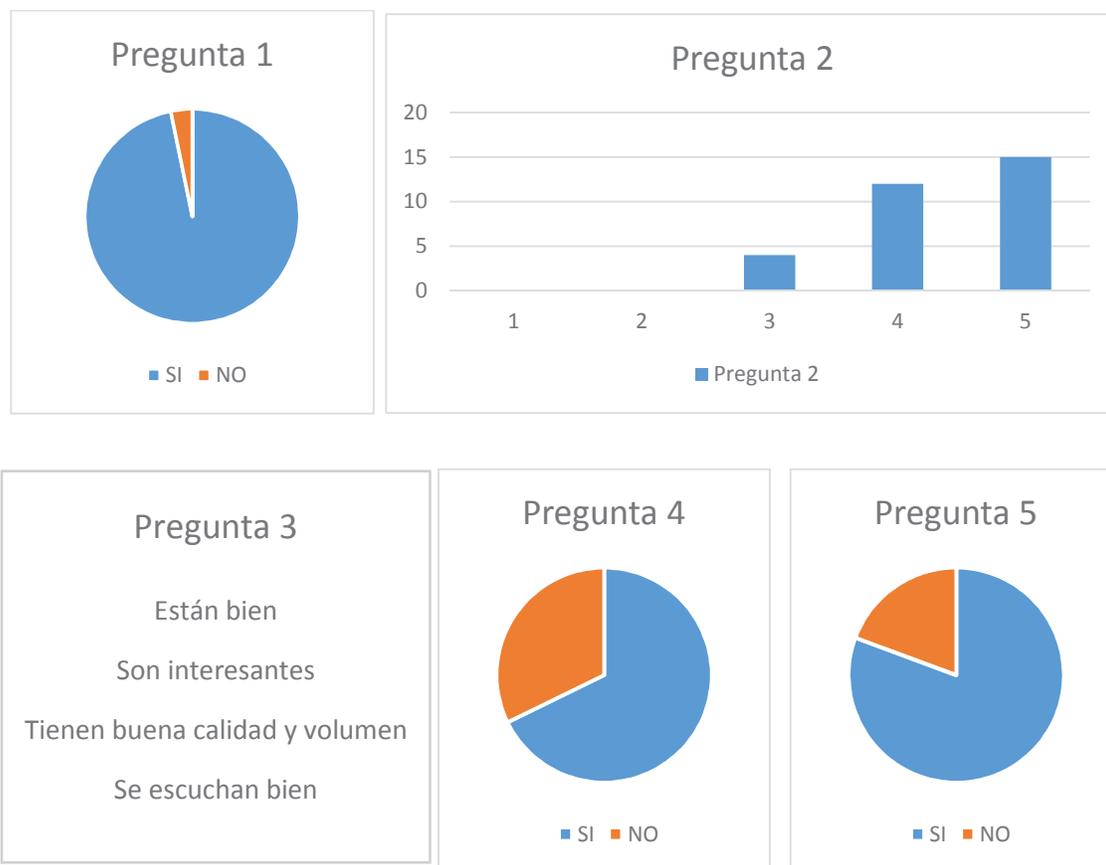
- 4) ¿Las luces de colores en el Fósil de Trilobite llamaron su atención?

Si ( ) No ( )

- 5) ¿Las luces de colores en el Tigre Dientes de Sable atrajeron su atención?

Si ( ) No ( )

Los resultados obtenidos al realizar la encuesta a los visitantes se reflejan en la gráfica de la Figura 4.7, opiniones con las cuales se consigue entender el impacto que produce el sistema de luces y sonidos en las personas que visitan el museo.



**Figura 4.7** Resultados de la encuesta a visitantes.

Se puede comentar lo siguiente:

- El 96.8% de las personas encuestadas considera que el sonido que acompaña el recorrido del museo genera un ambiente propicio para la visita y solo un 3.2% no le agradó el sonido ambiental.
- Un 48.4% de los encuestados considera que los sonidos son bastante atractivos, a un 38.7% le pareció que son atractivos, mientras que un 12.9% piensa que son medio interesantes.
- Todas las personas encuestadas tienen una buena opinión acerca del volumen de los audios.
- Al 67.7% de las personas le llamó la atención el encendido de luces RGB mientras que un 32.3% no se percató de la luz en el Trilobite.
- El encendido de luces RGB en el Tigre Dientes de Sable llamó la atención al 80.6% de las personas, mientras que un 19.4% no se interesó por el encendido de luces.

#### 4.4.2 ENCUESTA PARA GUÍAS

Se ha realizado la encuesta a todos los guías (4 personas) que son los encargados de exponer al público las diferentes ornamentas del museo de historia natural después de haber recibido una explicación y demostración de la operación del sistema. A continuación se muestra las preguntas realizadas:

- 1) ¿El sistema de control de luces y sonidos resuelve los problemas y necesidades encontrados en el museo?

Si ( ) No ( )

- 2) ¿El interfaz de computadora para el control de luces y sonidos le resulta comprensible y de fácil manejo?

Si ( ) No ( )

- 3) ¿Le resulta conveniente y fácil de operar la aplicación de Smartphone para el control de luces y sonidos en el museo?

Si ( ) No ( )

- 4) ¿Qué tan útil considera que son los sonidos implementados en el museo?

(1 poco – 5 bastante):

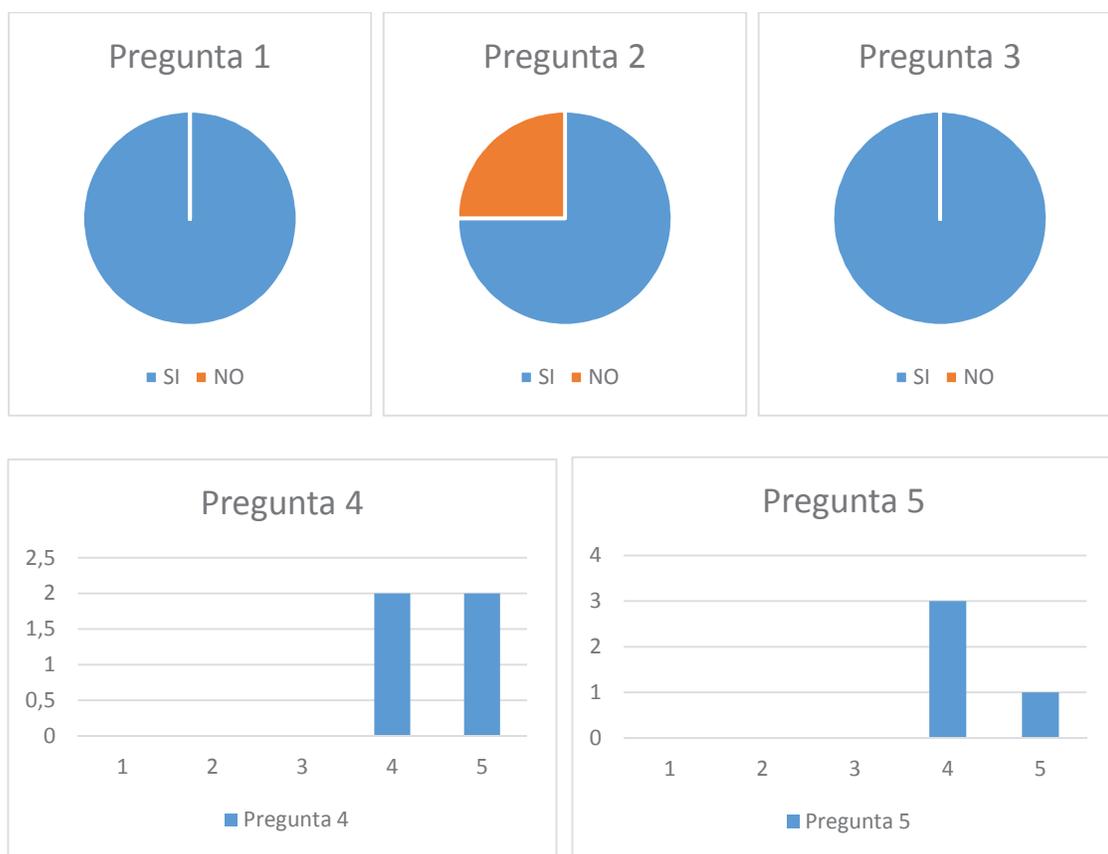
1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( )

- 5) ¿Qué tan llamativo le parece las luces RGB de colores en el museo?

(1 poco – 5 bastante):

1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( )

Los resultados obtenidos al realizar la encuesta a los guías se muestran en la gráfica de la Figura 4.8, de lo cual se ha realizado comentarios de las respuestas obtenidas para entender la importancia que los encargados le darían al sistema de luces y sonidos implementado.



**Figura 4.8** Resultados de la encuesta a guías.

A continuación se realiza el comentario de los resultados obtenidos:

- Todos los guías opinan que el sistema implementado resuelve las necesidades establecidas.
- El 75% de los encargados considera que el interfaz de computadora es comprensible y de fácil manejo y el 25% piensa que necesita capacitarse mejor.
- Al 100% de los encuestados les resulta conveniente y fácil de utilizar la aplicación de Smartphone.
- Al 50% de los encuestados les parece útil el sistema de control de luces y sonidos, mientras que el 50% de ellos considera que es bastante útil.
- El 75% de los guías opina que las luces RGB son llamativas, y el 25% de los encargados les parece bastante llamativas.

## 4.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Para conocimiento de la inversión en el proyecto realizado es necesario realizar un listado detallado de los costos de materiales utilizados junto con costos de ingeniería mediante el cálculo de horas invertidas en el proyecto. En la Tabla 4.2 se detallan los materiales utilizados en la implementación junto con su precio de adquisición.

**Tabla 4.3** Costos de materiales

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Raspberry Pi 3 modelo B	1	\$ 75,04	\$ 75,04
Relé 12V	5	\$ 0,70	\$ 3,50
Diodo 4N007	5	\$ 0,10	\$ 0,50
Optoacoplador 4N25	11	\$ 0,30	\$ 3,30
Resistencia 1/4 W	22	\$ 0,02	\$ 0,44
Transistor TIP122	6	\$ 0,50	\$ 3,00
Transistor TIP41C	5	\$ 0,40	\$ 2,00
Atmega328P	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Borneras	22	\$ 0,30	\$ 6,60
Convertor lógico bidireccional	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Mol de 10 pines	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Espadines 30 pines	1	\$ 0,30	\$ 0,30
Zócalos 6 pines	11	\$ 0,20	\$ 2,20
Zócalos 28 pines	1	\$ 0,40	\$ 0,40
Conector de audio hembra	5	\$ 0,40	\$ 2,00
Conector de audio macho	5	\$ 0,40	\$ 2,00
Cable de audio con conectores	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Elaboración de placas PCB	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Cable de audio (m)	50	\$ 0,70	\$ 35,00

Cable UTP (m)	50	\$ 0,30	\$ 15,00
Cable eléctrico (m)	30	\$ 0,30	\$ 9,00
Canaletas	7	\$ 3,00	\$ 21,00
Tira de Leds RGB (5m)	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Parlantes	4	\$ 0,00	\$ 0,00
Amplificador de audio	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Caja de protección del sistema	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Caja de protección circuito RGB	2	\$ 1,50	\$ 3,00
Fuente de 12 V	2	\$ 5,00	\$ 10,00
		<b>TOTAL</b>	\$ 274,28

Para el cálculo de los costos de ingeniería se toma en cuenta las habilidades y conocimiento adquirido en diseño e implementación del sistema de control, así como el desarrollo de su software, por lo que se considera adecuado un estimado de 7 \$/hora. Debido a que el tiempo invertido en el proyecto fue de 4 meses (5 horas diarias, 20 días al mes), se obtiene un total de 400 horas invertidas. En la Tabla 4.3 se observa el costo total de ingeniería.

**Tabla 4.4** Costos de ingeniería

ELEMENTO	HORAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Costo de ingeniería	400	\$ 7,00	\$ 2800,00

Finalmente en la Tabla 4.4 se describe el costo total invertido en el proyecto de control y monitoreo de luces y sonidos del museo Gustavo Orces V.

**Tabla 4.5** Costo total del proyecto

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Costo de materiales	1	\$ 274,28
Costo total de ingeniería	1	\$ 2800,00
	<b>TOTAL</b>	\$ 3074,28

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las conclusiones a las que se ha llegado después de realizar el presente proyecto, como también las recomendaciones para una correcta manipulación del sistema elaborado.

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se puede concluir que los objetivos planteados han sido cumplidos satisfactoriamente, tanto en diseño como en implementación del sistema elaborado, consiguiendo así un sistema de control y monitoreo de luces y sonidos que se ajustan a las necesidades encontradas en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.
- Para la implementación de un sistema de luces y sonidos de calidad es necesario un dispositivo que se encargue de coordinar las señales recibidas por los sensores con las respuestas generadas, con una comunicación rápida y efectiva que permita la operación adecuada del sistema, por lo cual resultó conveniente el uso de la Placa SBC Raspberry Pi 3, ya que permite utilizar sus características de conectividad con dispositivos de uso general, como Computadoras o Smartphones, concediendo una interacción activa con el medio exterior mediante cambios eléctricos en los pines de entrada/salida de propósito general.
- La multiplexación de audio es posible realizarla mediante un circuito electrónico diseñado en base a relés que habilitan o deshabilitan las vías eléctricas de la señal auditiva con dirección a los respectivos parlantes.
- Para el diseño de las luces RGB es necesario contar con un circuito amplificador cerca de la tira de leds para disminuir las pérdidas en el cable de cobre que lleva la señal y mejorar la intensidad de las luces RGB, lo que otorga un mayor tiempo de vida útil para los cables y una mayor iluminación en los leds.

- La utilización del lenguaje de programación Python facilita el diseño del algoritmo de automatización por ser un lenguaje interpretado con un orden inminente en su elaboración, lo que permite una rápida construcción del programa en cuestión, teniendo relativamente menor velocidad de ejecución, pero con la capacidad de realizar multitareas con el uso de hilos de programación, contando además con una extensa cantidad de información en la nube para fácil desarrollo de la programación.
- El uso del lenguaje JAVA simplifica notablemente el desarrollo de la interfaz HMI por las facilidades que otorga en el diseño, elaboración y programación de los diferentes íconos, imágenes y sonidos, por la gran cantidad de información a la que se puede acceder en la web, y por su capacidad de adaptación a cualquier sistema operativo, lo que permite elaborar aplicaciones con buen diseño estético, fáciles de operar y que sea posible ejecutarlas en cualquier computadora.
- El app inventor proporciona una herramienta que otorga una gran cantidad de opciones en el diseño, elaboración y programación de imágenes, íconos y sonidos requeridos, además de la extensa información en la web para desarrollo de su programación, por lo que crear aplicaciones amigables para los usuarios de forma simple, rápida y funcional no es tarea complicada.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Para conseguir un buen desempeño del sistema de control, se recomienda realizar periódicamente el mantenimiento preventivo en los elementos que constituyen el sistema, en la cual se realice la limpieza de los mismos, la comprobación de conexiones, el reemplazo de luminarias que han completado su tiempo de vida útil, y se aconseja tener una reserva de elementos electrónicos tales como optoacopladores o transistores para cambiar rápidamente cuando sea requerido.
- En caso de una avería en el sistema de control de audio y sonido implementado, se recomienda el apagado del sistema desde el botón de energía y que personal calificado se encargue de resolver los problemas suscitados.

- Para un mayor desarrollo del programa de control principal, es recomendable entender el programa principal de la placa SBC, realizar programas básicos que funcionen correctamente en el dispositivo para posteriormente añadir y hacer modificaciones al programa principal. Se aconseja siempre tener un respaldo de los programas funcionales.
- Se recomienda tener una base de audios disponible para realizar el correspondiente cambio de ficheros de sonido dependiendo del grupo de edad de los visitantes que lleguen al museo.
- En el cambio de fichero de audio se sugiere que el audio no tenga una duración mayor a cinco minutos, ya que de lo contrario haría demorar demasiado el proceso de envío del archivo, lo que ocasionaría problemas.
- Para evitar problemas en el sistema, se recomienda que la manipulación de las aplicaciones sea operada por los guías encargados museo después de haber leído la guía de usuario y de haber recibido la capacitación correspondiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Marticorena, «Tecnología en los museos,» Blogthinkbig.com, 25 junio 2015. [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/tecnologia-en-los-museos>. [Último acceso: 19 septiembre 2017].
- [2] I. Moreno, «LED: Evolución en Iluminación,» *Research Gate*, pp. 1,4, 2012.
- [3] Educa, Endesa, «Sistemas de Iluminación,» Enel S.A., 2014. [En línea]. Available: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxii.-sistemas-de-iluminacion](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxii.-sistemas-de-iluminacion). [Último acceso: 23 mayo 2017].
- [4] R. Cahueñas, de *Control de Iluminación y Audio del museo de la Escuela Politécnica Nacional*, Quito, EPN, 2012, pp. 20-30.
- [5] F. Morales, «Fundación Museos de la Ciudad,» Sistema de Musros y Centros Culturales - Quito, 24 septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.museosquito.gob.ec/index.php/item/313-museo-de-historia-natural-gustavo-orces>. [Último acceso: 2018 enero 2018].
- [6] C. Atwell, «The biggest-little revolution: 10 single-board computers for under \$100,» EDN Network, 21 agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.edn.com/design/diy/4419990/The-biggest-little-revolution--10-single-board-computers-for-under--100>. [Último acceso: 31 mayo 2017].
- [7] «Raspberry Pi 3 Model B,» Raspberry Pi Foundation, febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Último acceso: 31 mayo 2017].
- [8] Atmel, «Feature - Configuration Summary,» de *Atmega328/P Datasheet Complete*, San José, CA., Atmel Corporation, 2016, pp. 1,2,10.
- [9] «Skytec Conjunto de altavoces estéreo, 2-vías, 75W máx, Blanco - 100.016,» [masquesonido.com](http://www.masquesonido.com), 2007. [En línea]. Available: <https://www.masquesonido.com/skytec-conjunto-de-altavoces-estereo-2-vias-75w-max-blanco-100-016.html>. [Último acceso: 14 agosto 2017].

- [10] «Tiras RGB de LED's SMD 5050,» Masluz.mx, 2017. [En línea]. Available: <https://resourcesml.s3-us-west-1.amazonaws.com/documents/67387-rollo-con-proteccion-d-5m-300-5050-rgb.pdf>. [Último acceso: 6 septiembre 2017].
- [11] Y. Ortiz, «Lenguajes de programación,» Ecured, 2 marzo 2010. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n](https://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n). [Último acceso: 3 septiembre 2017].
- [12] U. Argentina, «Los 10 lenguajes de programación más populares en la actualidad,» Universia, junio 2017. [En línea]. Available: <http://noticias.universia.com.ar/consejos-profesionales/noticia/2016/02/22/1136443/conoce-cuales-lenguajes-programacion-populares.html>. [Último acceso: 3 septiembre 2017].
- [13] G. v. Rossum, «Introducción - Abriendo tu apetito,» de *El tutorial de Python*, Wilmington, Delaware, Estados Unidos, Python Software Foundation, 2009, pp. 8,9.
- [14] A. Otero, «Características de Java,» de *Tutorial Básico de Java*, Madrid, España, Javahispano, 2007, pp. 6-8.
- [15] S. Luján-Mora, «Ventajas de C++,» de *C++ paso a paso*, Alicante, Universidad de Alicante, 2006, pp. 1,2.
- [16] F. U. Pérez, «Lenguaje de Programación Basic,» La revistainformática.com, 2006. [En línea]. Available: <http://www.larevistainformatica.com/BASIC.htm>. [Último acceso: 12 agosto 2017].
- [17] Latinoamérica, Red Gráfica, «Lenguaje de programación PHP,» Red Gráfica Latinoamérica, [En línea]. Available: <http://redgrafica.com/El-lenguaje-de-programacion-PHP>. [Último acceso: 2 junio 2017].
- [18] R. Concha, «¿Qué es AppInventor?,» de *Guía de Iniciación a App Inventor*, Madrid, España, Creative Commons, 2015, p. 4.
- [19] F. Moya, de *Taller de Raspberry pi*, Comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, Universidad de Castilla-La Mancha, 2017, p. 31.
- [20] J. Jimb0, «Bi-Directional Logic Level Converter Hookup Guide,» Sparkfun Electronics, 25 octubre 2013. [En línea]. Available:

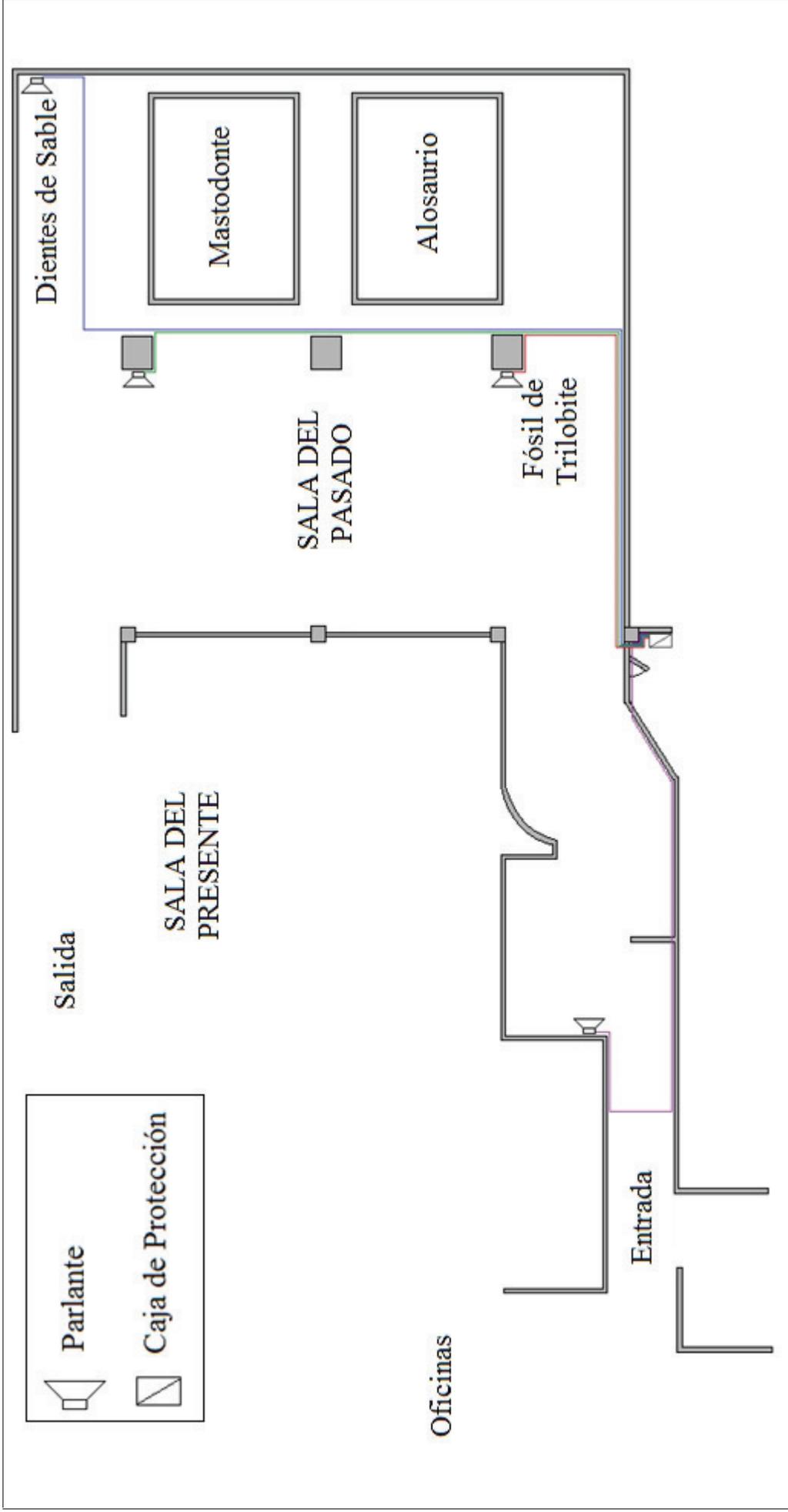
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/bi-directional-logic-level-converter-hookup-guide/introduction>. [Último acceso: 11 septiembre 2017].

- [21] «Maximum Ratings - Electrical Characteristics - Typical characteristics,» de *TIP120 / TIP121 / TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor*, Aurora, Colorado, Fairchild Semiconductor Corporation, 2014, pp. 1-3.
  
- [22] Agilent Technologies, «Absolute Maximum Ratings - Electrical Specifications,» de *Phototransistor Optocoupler General Purpose Type Datasheet*, Santa Clara, California, Estados Unidos, Agilent Technologies, 2004, p. 5.
  
- [23] Songle Relay, de *Relay ISO 9002*, Yuyao, Zhejiang, China, Songle, p. 2.
  
- [24] Fairchild, «Absolute Maximun Ratings - Electrical Characteristics,» de *TIP41A / TIP41B / TIP41C NPN Epitaxial Silicon Transistor*, Aurora, Colorado, Fairchild Semiconductor Corporation, 2014, pp. 1-3.
  
- [25] J. Checa, «Curso Raspberry 2016,» Universidad de Córdoba, 2016. [En línea]. Available: [http://www.uco.es/users/jcheca/raspberry/rp3\\_pinout.jpg](http://www.uco.es/users/jcheca/raspberry/rp3_pinout.jpg). [Último acceso: 9 diciembre 2017].
  
- [26] Omnicable, «SHIELDED TRAY CABLE,» Omnicable, 2017. [En línea]. Available: <http://www.omnicable.com/spec-sheets/vntc-pvc-nylon-insulation-pvc-jacket-18-awg-shielded-tray-cable-type-tc-shielded.html>. [Último acceso: 22 septiembre 2017].
  
- [27] O. Campos, «Multiprocesamiento en Python: Threads a fondo, introducción,» Genbeta Dev, 22 septiembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.genbetadev.com/python/multiprocesamiento-en-python-threads-a-fondo-introduccion>. [Último acceso: 9 diciembre 2017].
  
- [28] A. Vela, «Crear una conexión “cliente – servidor” usando sockets en Python,» *developeando.net*, 15 julio 2011. [En línea]. Available: <http://developeando.net/sockets-python/>. [Último acceso: 8 junio 2017].
  
- [29] J. Villalobos, «Sockets en Java (cliente y servidor),» *Codigoprogramación.com*, 7 abril 2011. [En línea]. Available: <http://codigoprogramacion.com/cursos/java/103-sockets-en-java-con-cliente-y-servidor.html#.Wd0pSVvWzIV>. [Último acceso: 8 junio 2017].

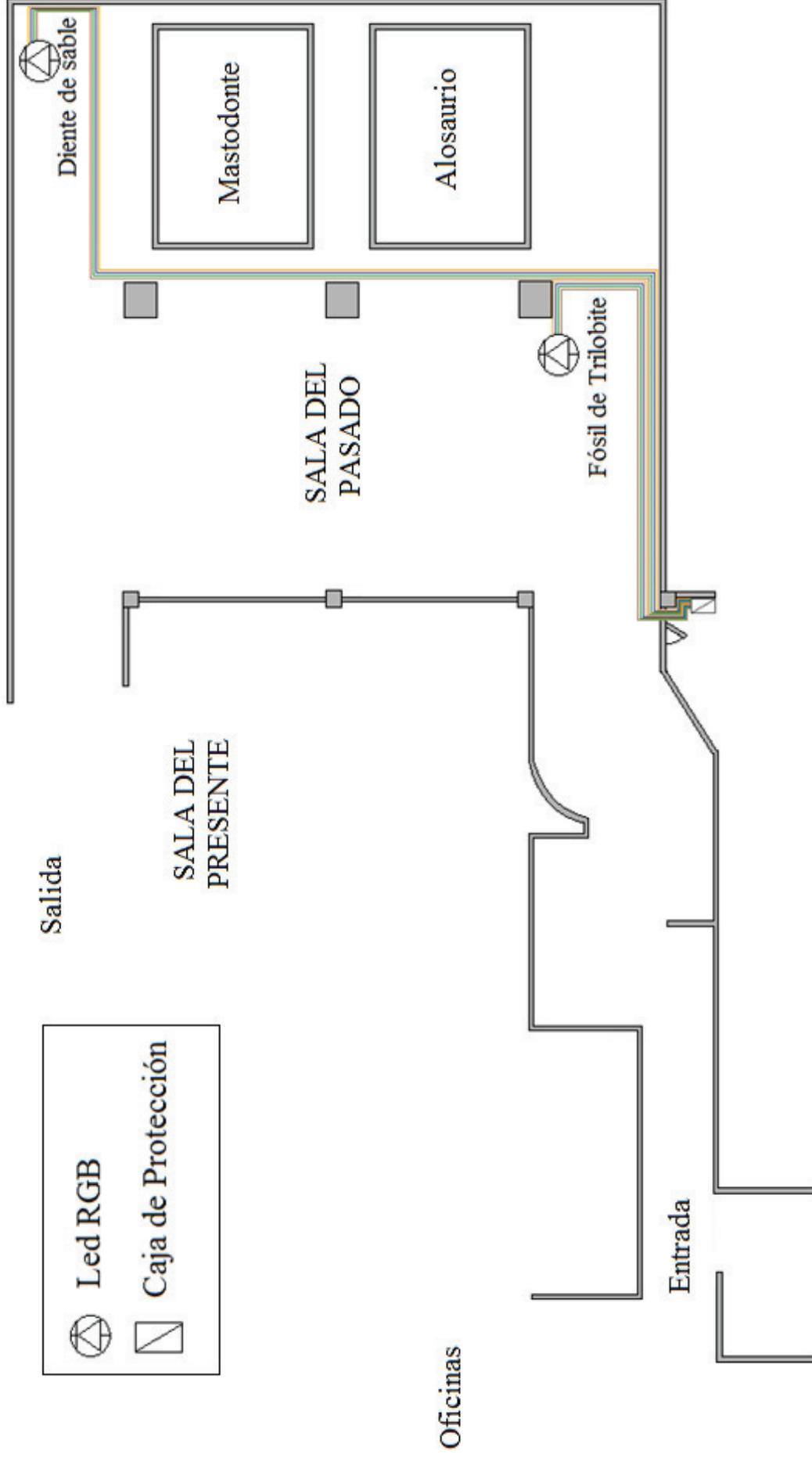
- [30] D. Reig, «¿Qué son los servidores web y por qué son necesarios?,» Duplika Internet Solutions, 20 septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://duplika.com/blog/que-son-los-servidores-web-y-por-que-son-necesarios/>. [Último acceso: 10 octubre 2017].
- [31] «Setting up an apache web server on a raspberry pi,» Raspberry pi Foundation, 10 marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/web-server/apache.md>. [Último acceso: 10 febrero 2017].

# ANEXOS

## ANEXO A PLANOS

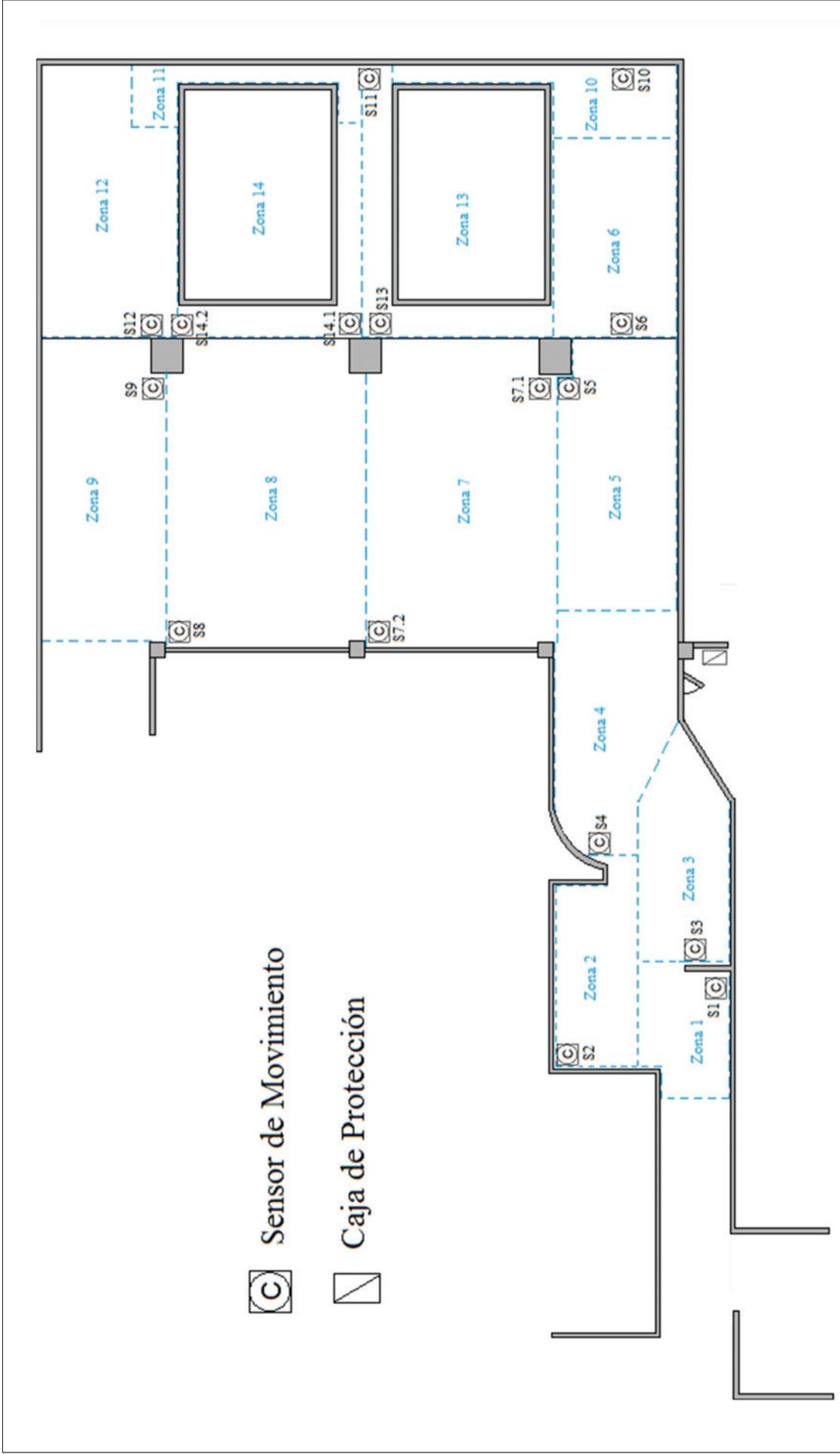


<b>Diseñado por:</b> Diego Alejandro Carrión Arroyo	<b>Revisado por:</b> Msc. Nelson Sotomayor	<b>UBICACIÓN DE PARLANTES Y CABLEADO DE SEÑALES DE AUDIO. SALA PALEONTOLOGICA DEL MUSEO GUSTAVO ORCÉS V.</b>	
<b>FECHA:</b> Noviembre-2017	<b>ANEXO No:</b> A-1		



**UBICACIÓN DE LUCES RGB Y CABLEADO DE SEÑALES PWM.  
SALA PALEONTOLÓGICA DEL MUSEO GUSTAVO ORCÉS V.**

<p><b>Diseñado por:</b> Diego Alejandro Carrión Arroyo</p>	<p><b>Revisado por:</b> Msc. Nelson Satomayor</p>
<p><b>FECHA:</b>      Noviembre-2017</p>	<p><b>ANEXO No:</b>      A-2</p>



**Diseñado por:**  
Diego Alejandro Carrión Arroyo

**Revisado por:**  
Msc. Nelson Sotomayor

**FECHA:** Noviembre-2017

**ANEXO No:** A-3

**UBICACIÓN DE SENSORES Y ZONAS DE LA SALA  
PALEONTOLÓGICA DEL MUSEO GUSTAVO ORCÉS V.**

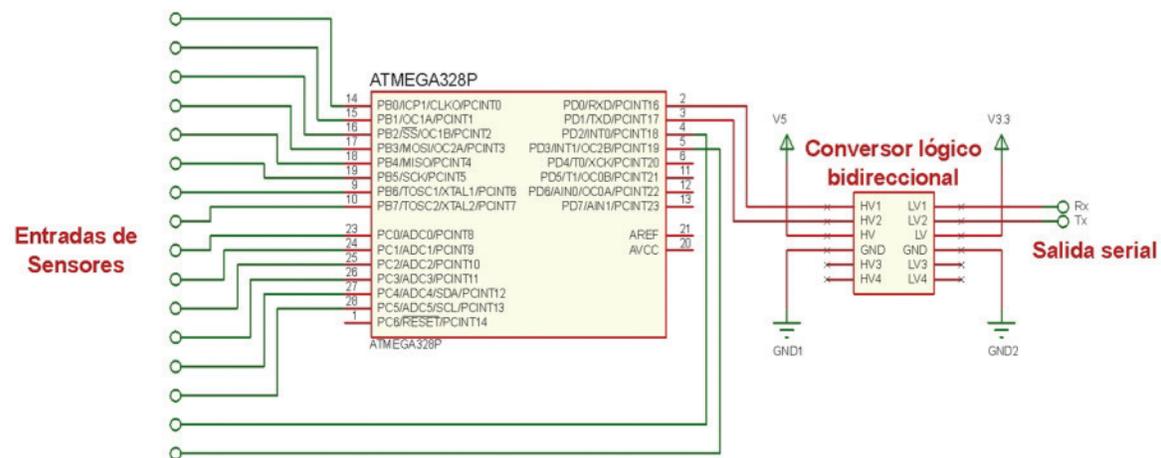
## ANEXO B

### PLACAS PCB

Se realizó un total de tres placas PCB que se describen a continuación.

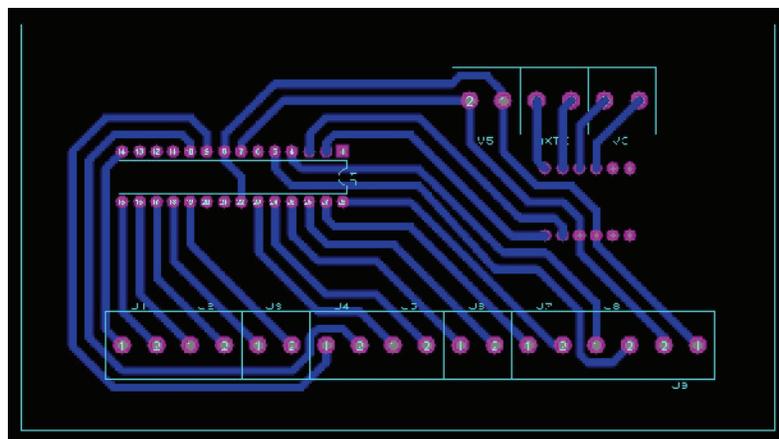
#### B.1 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA

En el circuito 1 de entrada se ha realizado el diseño electrónico para la lectura de los sensores y el circuito convertor de nivel de voltaje para otorgar una salida de comunicación serial a 3.3V. En la Figura B.1 se presenta el esquemático del circuito 1 de acondicionamiento de entrada.

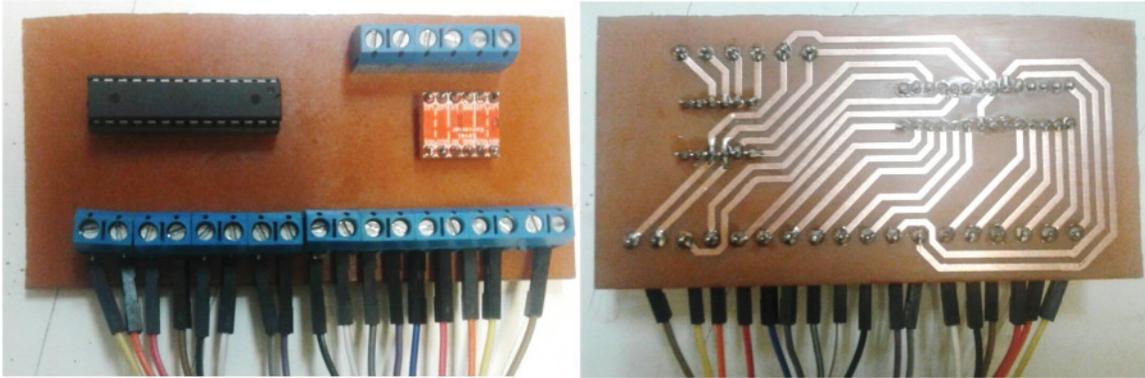


**Figura B.1** Esquemático del circuito 1 de acondicionamiento de entrada

En la Figura B.2 se muestra el ruteado de pistas impreso, mientras que en la Figura B.3 se observa el circuito plasmado en la placa PCB junto con sus respectivos elementos.



**Figura B.2** Ruteado de placa del circuito 1



**Figura B.3** Placa PCB del circuito 1 elaborada.

En la Tabla B.1 se describen los elementos utilizados en el circuito de entrada.

**Tabla B.1** Elementos utilizados en el circuito 1

Elemento	Cantidad	Detalle
Atmega328P	1	Microcontrolador 28 pines
Zócalos	1	Zócalos 28 pines
Convertor lógico bidireccional	1	Convertor bidireccional 12 pines
Borneras	12	Bornera 2 pines

## B.2 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SALIDA

En el circuito de salida se ha desarrollado el aislamiento de los pines del sistema microprocesado principal con respecto de sus once salidas mediante optoacopladores. Se encuentran cinco Plugs de sonido, uno de entrada de sonido, y las cuatro salidas multiplexadas con su respectivo relé. Así mismo, se ha colocado el relé para activación/desactivación del sistema anterior. Finalmente se detalla las seis salidas PWM que controlan los colores de los dos grupos de leds RGB.

En la Figura B.4 se observa el esquemático del circuito 2 de acondicionamiento de salida. El ruteado de pistas impreso se presenta en la Figura B.5 mientras que en la Figura B.6 se muestra la placa PCB con los elementos soldados.

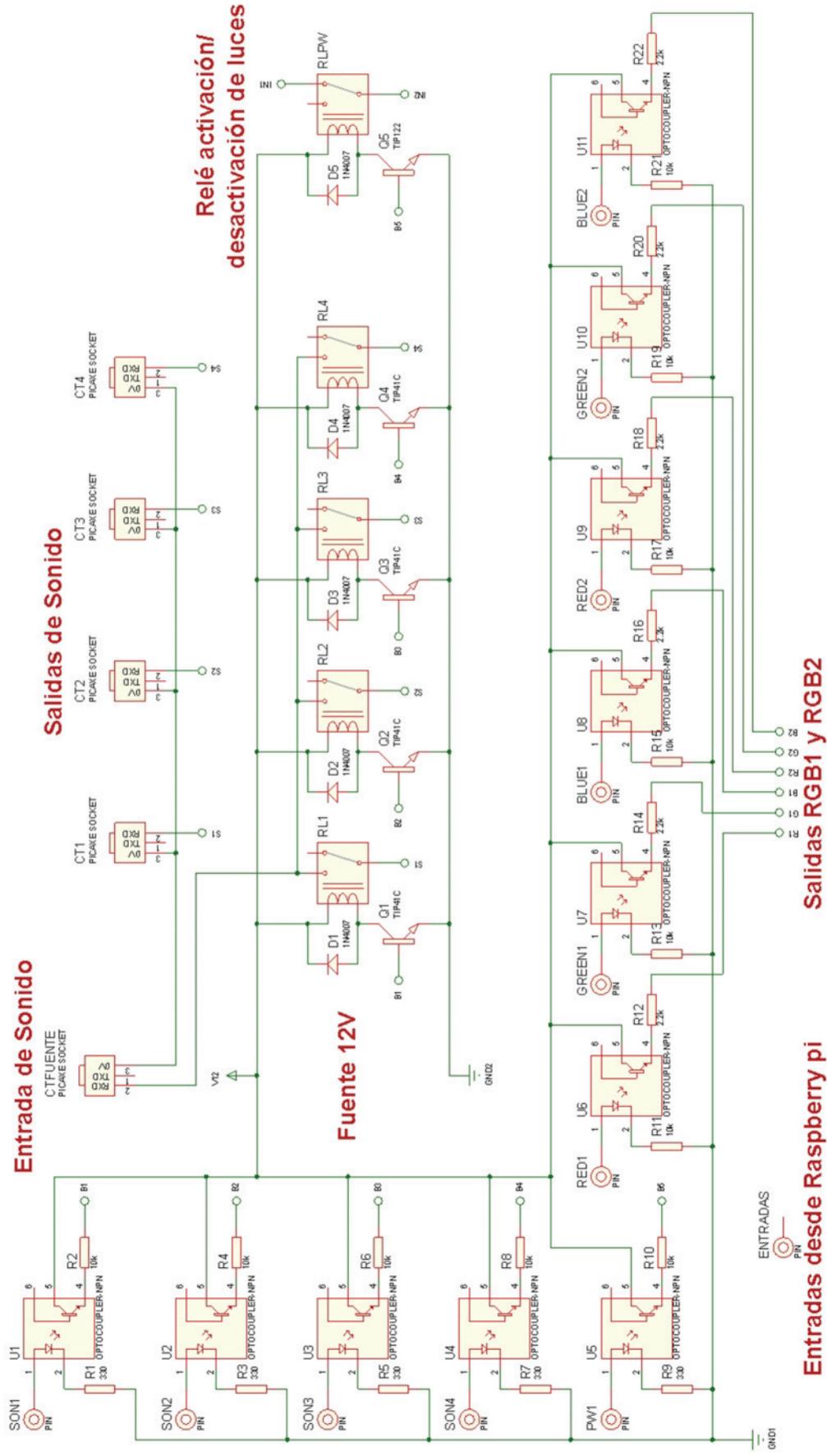
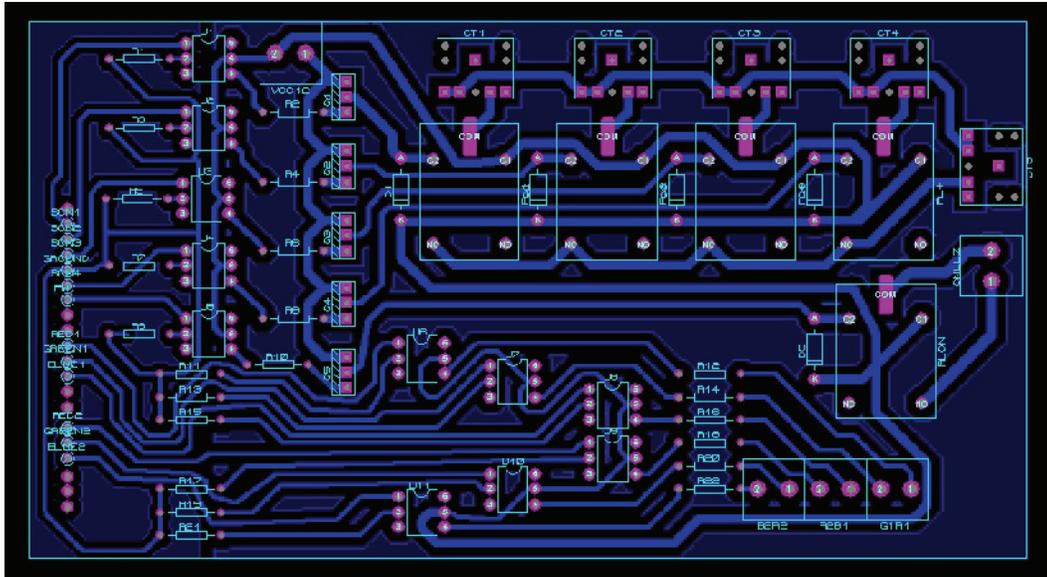
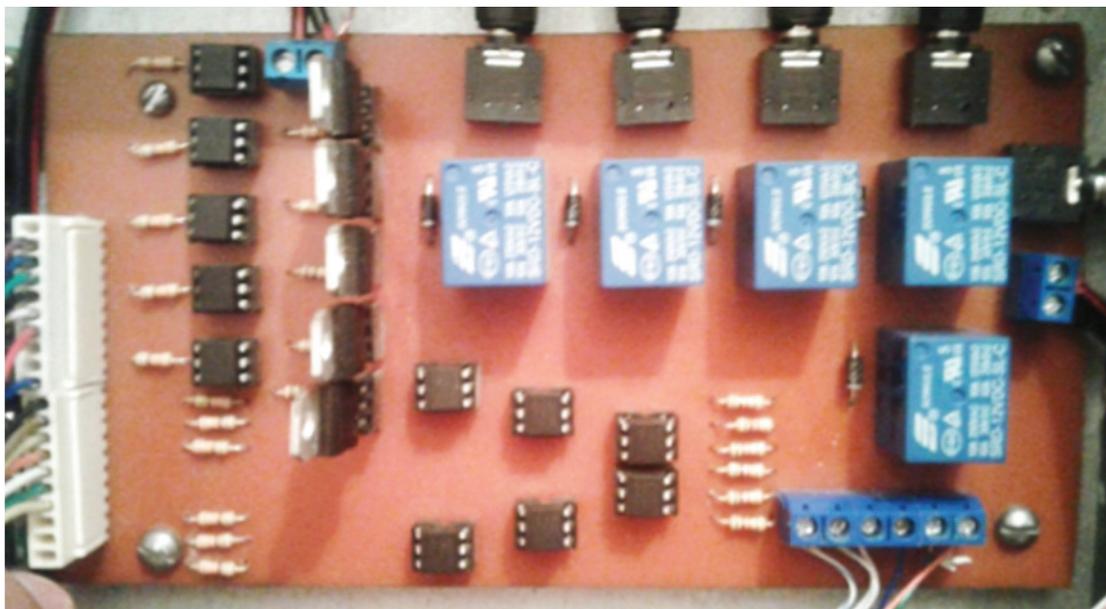


Figura B.4 Esquemático del circuito 2 de acondicionamiento de salida



**Figura B.5** Ruteado de placa del circuito 2



**Figura B.6** Placa PCB del Circuito 2 elaborada

El listado de elementos utilizados para el circuito 2 de salida se encuentra detallado en la Tabla B.2.

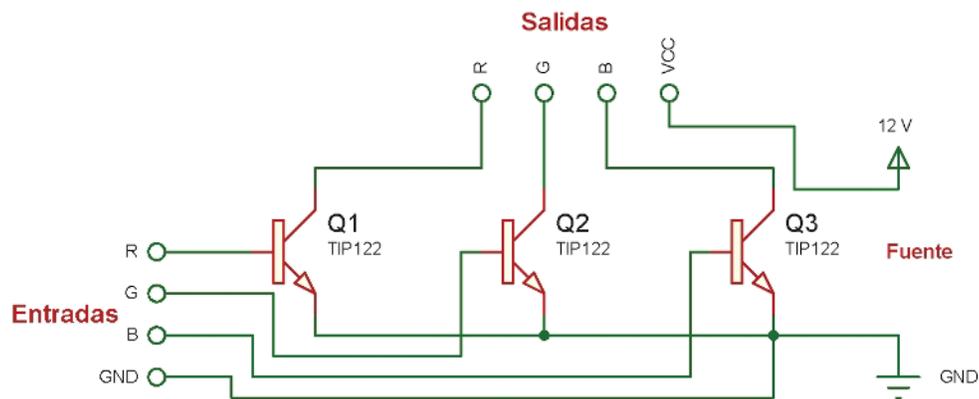
**Tabla B.2** Elementos utilizados en el circuito 2

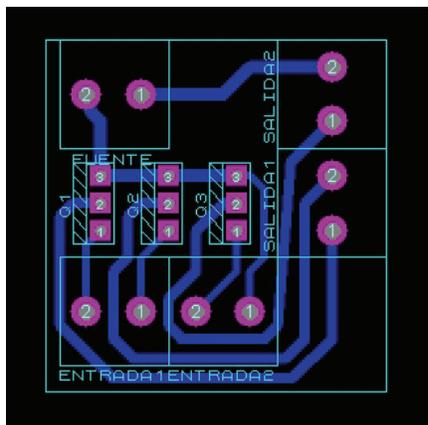
Elemento	Cantidad	Detalle
Relé 12V	5	Microcontrolador 28 pines
1N4007	5	Diodo 1/4 de Vatio
4N25	11	Optoacoplador optotransistor
Resistencia	6	2.2 K $\Omega$ , 1/4 de Vatio
Resistencia	5	10 K $\Omega$ , 1/4 de Vatio
Resistencia	11	330 $\Omega$ , 1/4 de Vatio
TIP41C	5	Transistor de señal
Borneras	5	Bornera 2 pines
Moles	2	Moles de 10 pines
Espadines	1	Espadines hembra
Zócalos	11	Zócalos 6 pines
Jack	5	Conector de audio hembra 3.5 mm

### B.3 CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN PARA LUCES RGB

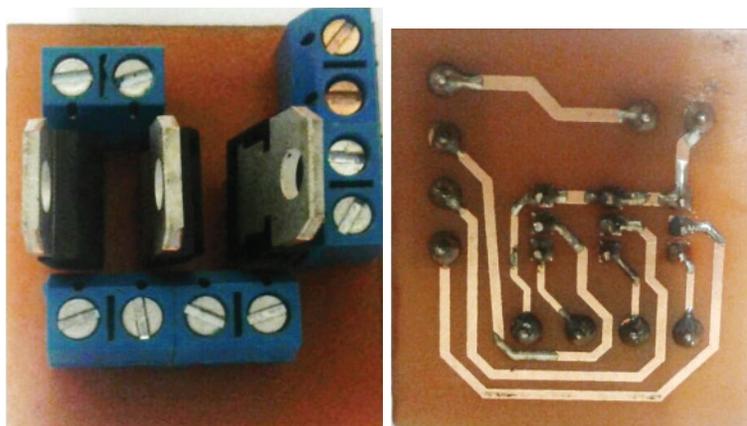
Debido a que las tiras de Leds RGB se encuentran apartados del sistema de control, se ha diseñado el circuito amplificador de corriente cerca de las luces RGB para un mejor desempeño.

En la Figura B.7 se presenta el esquemático del circuito 3 de amplificación para luces RGB. El ruteado de pistas se puede observar en la Figura B.8, mientras que la placa elaborada se muestra en la Figura B.9.

**Figura B.7** Esquemático del circuito 3 de amplificación RGB.



**Figura B.8** Ruteado de placa del circuito 3 de amplificación RGB.



**Figura B.9** Placa PCB del circuito 3 elaborada

La Tabla B.3 describe los elementos utilizados para la elaboración de la placa PCB del circuito 3.

**Tabla B.3** Elementos utilizados en el circuito 3

Elemento	Cantidad	Detalle
TIP122	3	Amplificador Darlington
Borneras	5	Bornera 2 pines

### B.3 PLANO DE MONTAJE

Para la caja de protección se utiliza una caja metálica de 30 cm x 30 cm x 10 cm fijado en la pared mediante tornillos. En la Figura B.7 se observa el plano de montaje final elaborado e instalado en el museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.

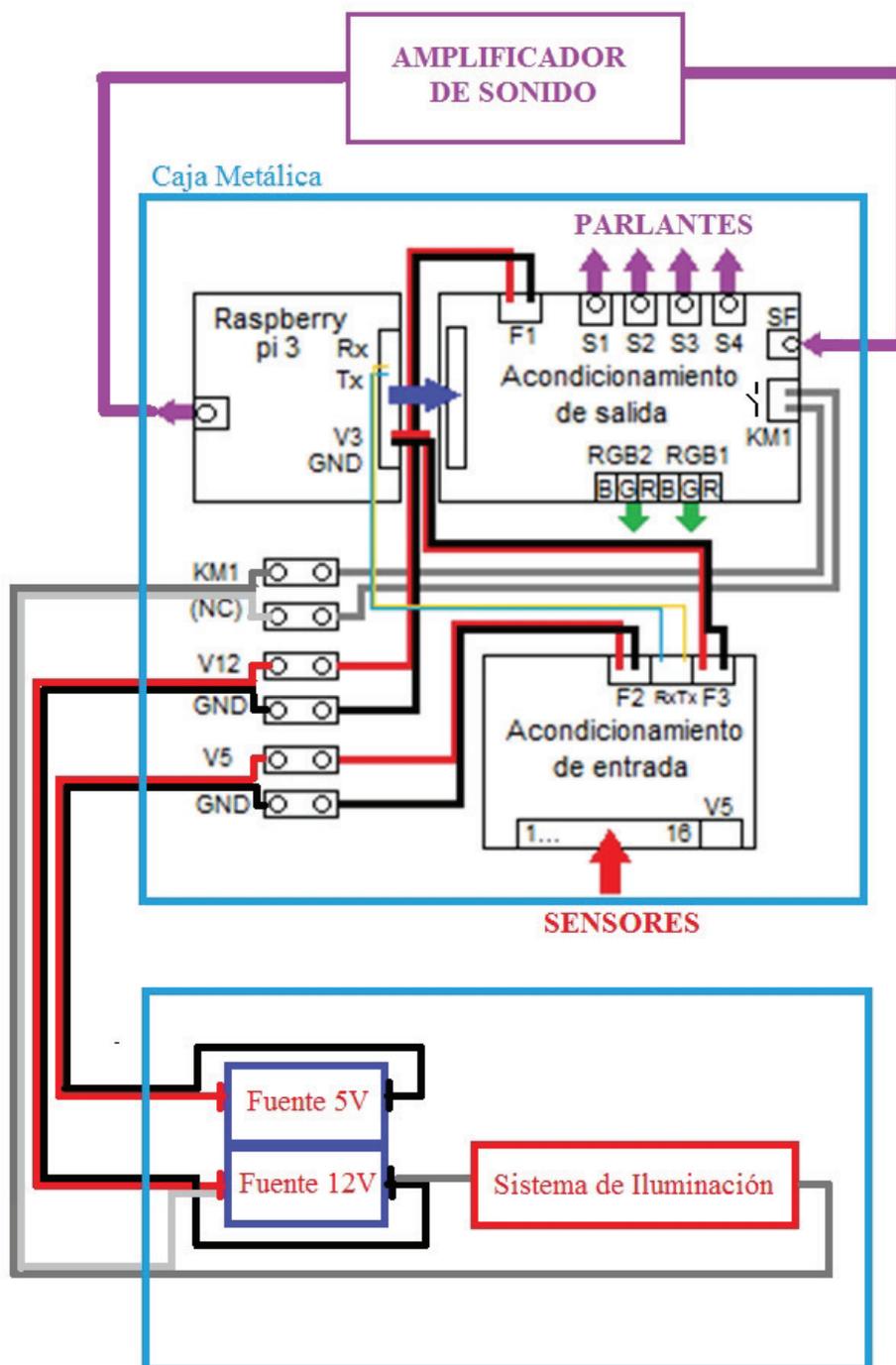


Figura B.10 Plano de montaje.

## ANEXO C

### MANUAL DE USUARIO

En este manual se detalla los pasos a seguir para la instalación, así como la forma de operación de las interfaces elaboradas para el sistema de control y monitoreo de luces y sonidos del museo de Historia Natural Gustavo Orcés V.

#### C.1 INSTALACIÓN DE INTERFAZ HMI EN LA COMPUTADORA

Para conseguir el funcionamiento de la interfaz HMI en la computadora, es necesario instalar el archivo que permite correr los programas JAVA denominado Java Runtime Environment (JRE). Este archivo es posible descargarlo desde la página oficial de Oracle:

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jre8-downloads-2133155.html>

Para la descarga es necesario aceptar el acuerdo de licencia como se observa en la Figura C.1. Posteriormente se descarga el archivo de acuerdo al sistema operativo en donde se desea instalar.

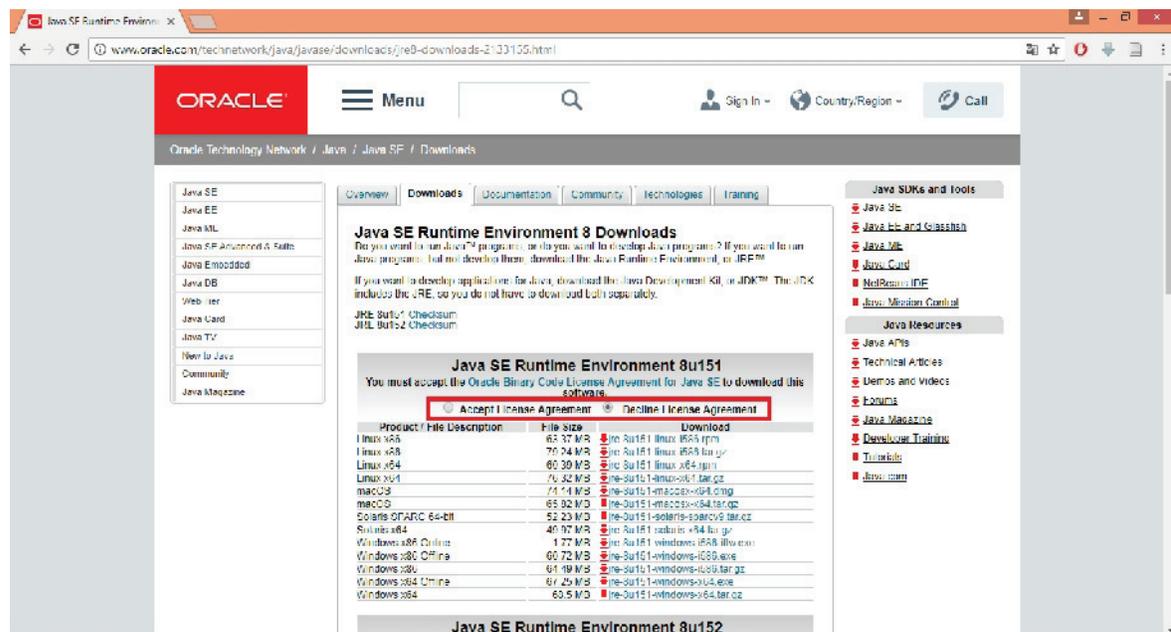


Figura C.1 Descarga de archivo JRE

Después de descargarlo, se ejecuta el archivo de instalación. En la ventana de instalación se presiona el botón Instalar y se espera a que finalice la instalación, como se muestra en la Figura C.2.



Figura C.2 Instalación de archivo JRE.

Una vez instalado el JRE, se procede a adquirir el archivo ejecutable de JAVA desarrollado en el transcurso del proyecto, el cual lo puede encontrar en la carpeta de instalación del CD en la siguiente dirección:

- *E:\Instaladores\Computadora.*

El archivo es tipo jar denominado "HMI\_Museo". Éste se copia y se pega en el lugar de preferencia en el equipo a instalar. El archivo se observa en la Figura C.3.



**Figura C.3** Archivo jar ejecutable de aplicación HMI.

Se ejecuta el archivo y se accede a la aplicación HMI de control de luces y sonidos del Museo Gustavo Orcés V.

## C.2 USO DE HMI DE COMPUTADORA

El momento en que se accede a la aplicación, aparece la ventana principal. Esta ventana muestra interactivamente el estado de las luminarias que se encienden automáticamente, los sonidos, las luces RGB, y el Modo de operación del sistema de control como se observa en la Figura C.4.



### Figura C.4 Ventana principal de aplicación

En el recuadro de la esquina inferior derecha se muestra el estado de la conexión. Debe aparecer un mensaje de “Conectado” para confirmar la conexión con el sistema de control. Caso contrario, realizar el reinicio de la aplicación cerrando la ventana y ejecutándola nuevamente. Si no se conecta, se recomienda revisar la energización y reiniciar el sistema desde el botón de encendido y apagado de la caja de protección.

#### C.2.1 INGRESO DE CONTRASEÑA

Para hacer uso de la aplicación se debe ingresar una contraseña. El momento en que se presiona cualquier botón, aparece una ventana de contraseña como se puede observar en la Figura C.5, la cual tiene 3 botones para seleccionar. La secuencia de la contraseña solo es conocida por los guías del museo.



Figura C.5 Ventana de Contraseña.

#### C.2.2 MODOS DE OPERACIÓN

El Sistema tiene tres modos de operación: modo automático (Sensores), modo manual1 (Computadora), y modo manual2 (Smartphone). La Figura C.7 muestra el botón de modo en sus tres estados.



### **Figura C.6** Botón de modos de operación

Si se desea cambiar de modo de operación, se debe presionar este botón para que cambie de estado. El botón de modo en la HMI de computadora solo alterna entre el modo automático y el modo manual<sup>1</sup>.

#### **C.2.2.1 Modo automático**

En el modo automático, la operación se realiza mediante las señales recibidas de los sensores de movimiento, por ello en las interfaces se observará el activado de los botones automáticamente.

En este modo, los sonidos son activados automáticamente cada vez que caminan por las zonas en las que se implementó el sonido, siempre y cuando se hayan habilitado en la ventana de configuración.

Si en lugar de los sonidos se encuentra configurada la música ambiental, ésta se reproduce cada vez que los sensores detectan movimiento en cualquiera de las 14 zonas.

De la misma manera, las luces RGB son activadas automáticamente cada vez que se acercan a las zonas en las que se implementó. Los leds RGB se encienden con el color configurado desde la ventana de configuración.

#### **C.2.2.2 Modo manual<sup>1</sup>**

En el modo manual<sup>1</sup>, el control es realizado mediante la aplicación de computadora presionando los diferentes botones.

Al presionar un botón de sonido, se reproduce el respectivo sonido en el parlante correspondiente al botón siempre y cuando se encuentre habilitado en la ventana de configuración. El sonido se reproduce y se detiene cuando se termina la pista, o se lo puede detener presionando nuevamente el botón. En la Figura C.8 se muestra el botón de sonido cuando se encuentra detenido y cuando se encuentra en reproducción.



**Figura C.7** Botón de sonidos.

De la misma forma se tiene el botón de música ambiental, el cual se puede activar siempre y cuando se encuentre habilitado en el botón configuración. Este sonido se reproduce en los cuatro parlantes y tiene un ciclo infinito por lo que se repite cada vez que se termina. En la Figura C.9 se observa el botón de música ambiental detenido y en reproducción.



**Figura C.8** Botón de música ambiental

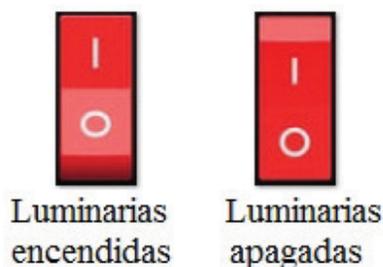
A su vez los leds RGB se pueden activar o desactivar presionando el botón de Luces RGB, proyectando el color configurado en la ventana de configuración. En la Figura C.10 se observa el botón de luces RGB activado y desactivado.



**Figura C.9** Botón de Luces RGB

### C.2.3 ENCENDIDO/APAGADO DE LUMINARIAS

Para comandar el encendido o apagado de las luminarias se tiene que presionar el botón ON/OFF de iluminación. Este botón puede ser manipulado en cualquier modo de operación. En la Figura C.11 se muestra el manejo del botón y su resultado.



**Figura C.10** Botón On/Off de iluminación.

### C.2.4 MONITOREO DE LUCES

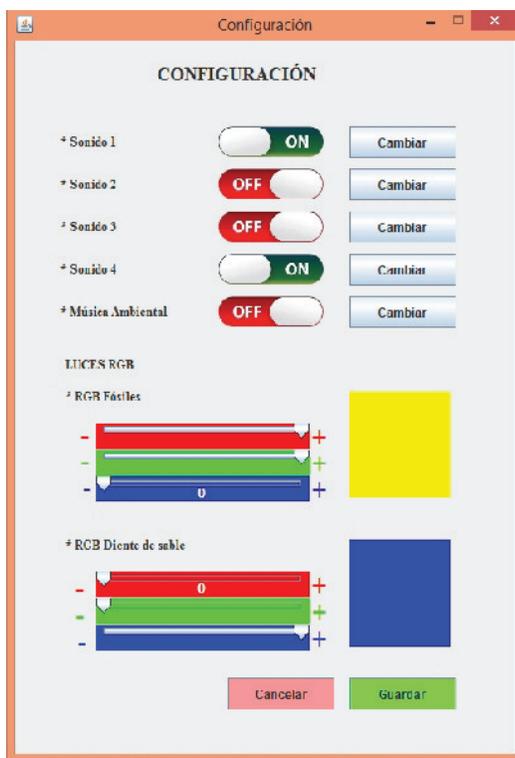
Para el monitoreo de luces de las 14 zonas del museo, en la aplicación se puede observar cómo los íconos de las luminarias van cambiando de acuerdo a la zona en la que se encuentren los visitantes. En la Figura C.12 se muestra el ícono de luz activado y desactivado.



**Figura C.11** Ícono de luminaria activado y desactivado

### C.2.5 CONFIGURACIÓN HMI

Cuando se presiona el botón de configuración, se abre la ventana que se muestra en la Figura C.13. En esta ventana se puede configurar la habilitación de los sonidos y de la música ambiental. Cuando los botones de los sonidos se encuentran en ON, los sonidos respectivos se habilitan y pueden sonar. Cuando se encuentran en OFF, se deshabilitan y los sonidos correspondientes no se reproducen.



**Figura C.12** Ventana de configuración HMI

Adicionalmente se puede configurar el color de las luces RGB en ambas zonas, realizando la combinación RGB entre los tres colores de los sliders para conseguir el color deseado.

Cuando se hayan realizado los ajustes requeridos, se presiona el botón guardar y se realizan los cambios.

### C.2.5.1 Cambio de sonido

Finalmente los sonidos pueden ser cambiados presionando el botón cambiar. El momento en que se presiona cambiar, se abre un directorio como se muestra en la Figura C.14.

Se elige la pista a cambiar, se presiona Abrir archivo y posteriormente se presiona Guardar. Mediante los mensajes de confirmación que se muestran en la Figura C.15 se asegura que el envío de ficheros de sonido ha sido realizado correctamente. Tomar en cuenta que la pista debe ser tipo .wav, de lo contrario se recibe un mensaje de error pidiendo que se seleccione el archivo correcto, como se observa en la Figura C.16.

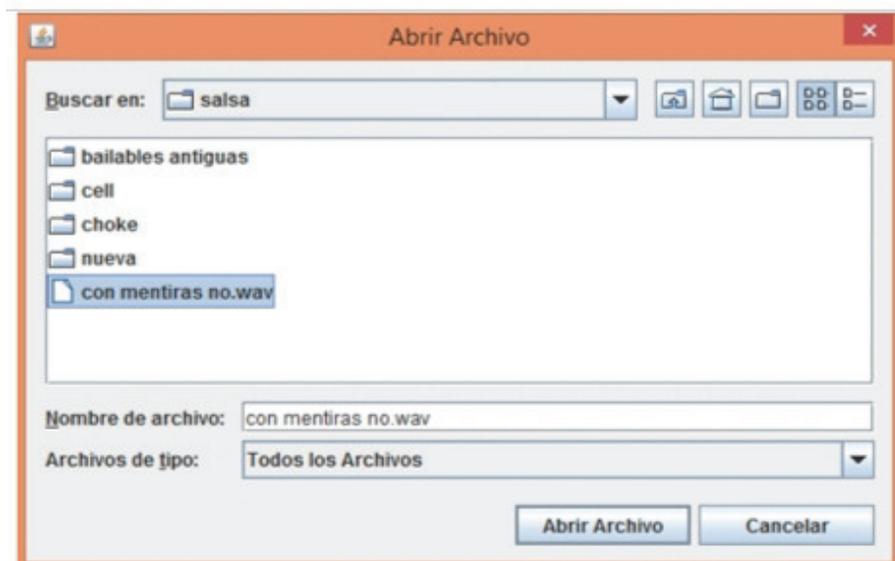


Figura C.13 Directorio para selección del audio a cambiar

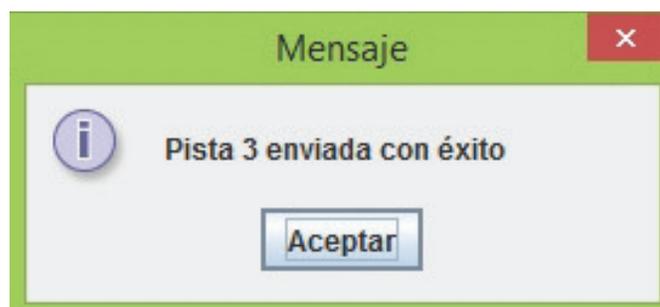
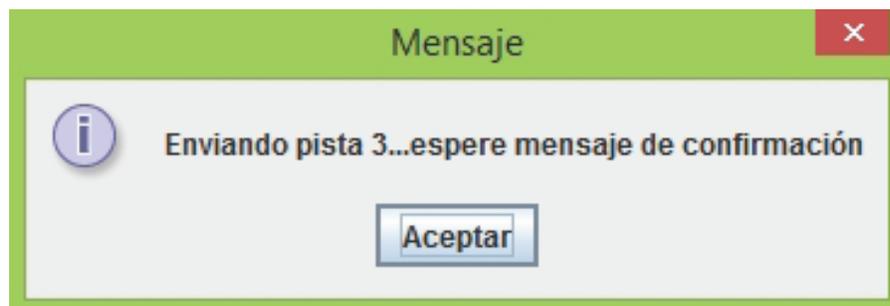


Figura C.14 Mensajes de confirmación

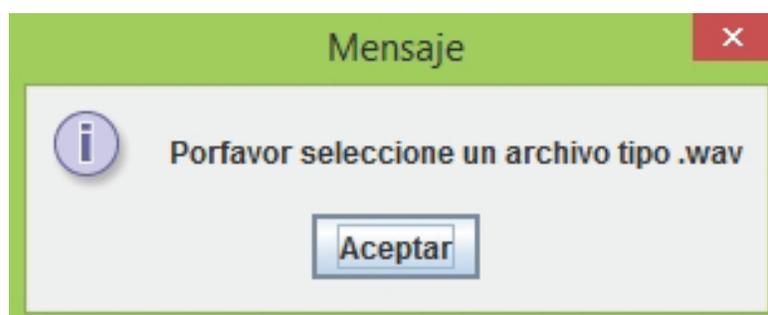


Figura C.15 Mensaje de error

### C.3 INSTALACIÓN DE APLICACIÓN EN SMARTPHONE

Para la instalación de la aplicación en el Smartphone, es necesario conectar el dispositivo móvil al computador, y guardar en el dispositivo el archivo denominado “Aplicacion\_Museo.apk” almacenado en la carpeta de instalación del CD en la siguiente dirección:

- *E:\Instaladores\Smartphone.*

Posteriormente se ejecuta el archivo de instalación desde el Smartphone. Para ello, se habilita “Orígenes desconocidos” y se procede a instalar la aplicación, como se observa en la Figura C.16. Se espera que finalice la instalación y posteriormente estaría listo para controlar las luces y sonidos del museo desde el Smartphone.

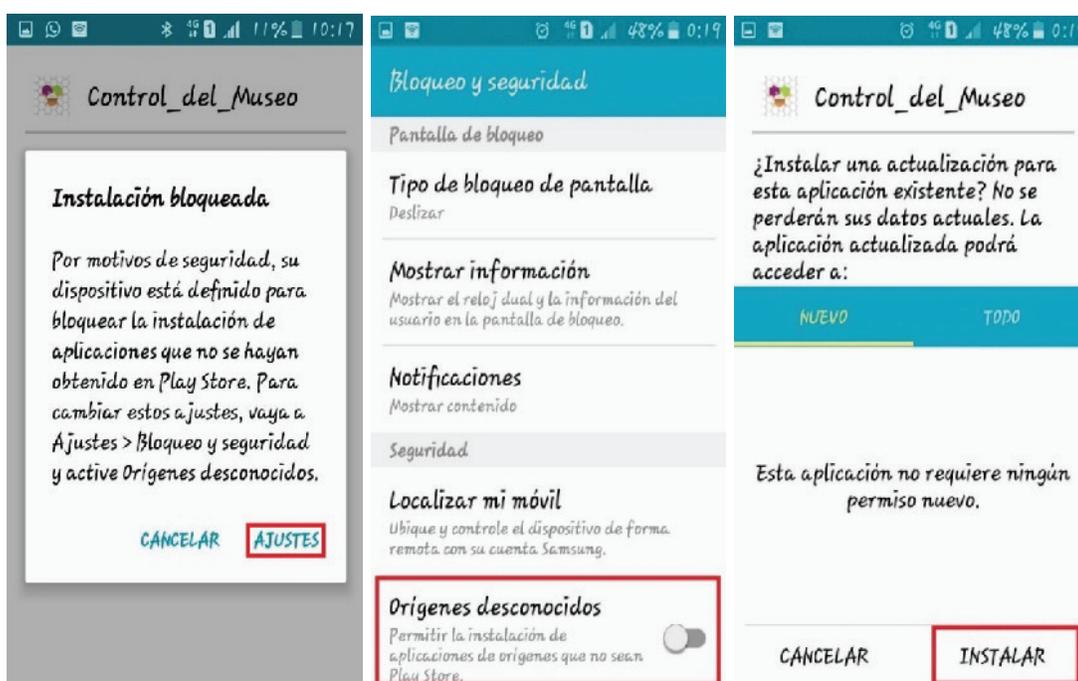


Figura C.16 Instalación de aplicación en Smartphone

## C.4 USO DE APLICACIÓN EN SMARTPHONE

El momento en que se abre la aplicación, aparece por cinco segundos una página de presentación de la interfaz de control de luces. Posteriormente aparece la ventana de contraseña.

### C.4.1 INGRESO DE CONTRASEÑA

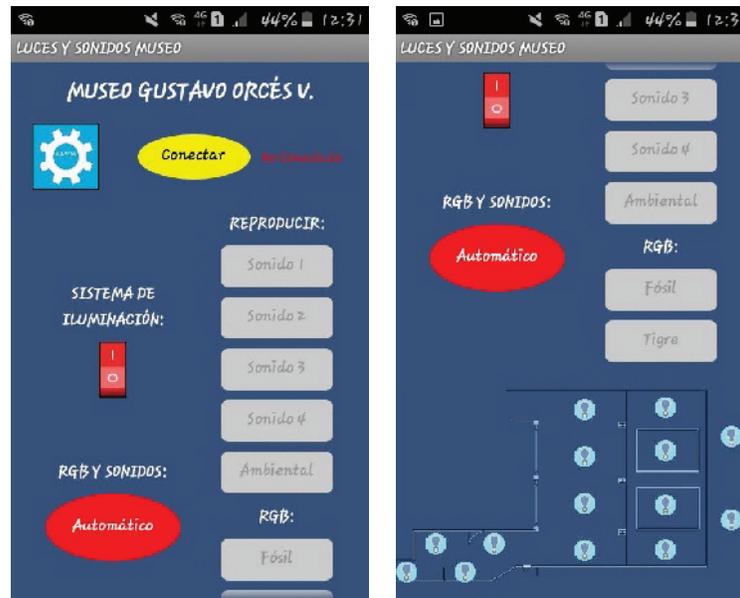
Para hacer uso de la aplicación se debe tener conocimiento de la contraseña. La secuencia de la contraseña solo es conocida por los guías del museo. Si la contraseña ingresada es correcta, permite el paso a la ventana general. En la Figura C.17 se puede observar la ventana de contraseña.



**Figura C.17** Ventana de contraseña

### C.4.2 VENTANA GENERAL

La ventana general muestra interactivamente el estado de las luminarias que se encienden automáticamente, los sonidos, las luces RGB, y el Modo de operación del sistema de control como se observa en la Figura C.18.



**Figura C.18** Ventana general de aplicación

En el recuadro de la esquina superior derecha se muestra el estado de la conexión. Debe aparecer un mensaje de “Conectado” para confirmar la conexión con el sistema de control. Caso contrario, se debe presionar el botón conectar para realizar la conexión. Si no se conecta, se recomienda revisar la energización y reiniciar el sistema desde el botón de encendido y apagado de la caja de protección.

### C.4.3 MODOS DE OPERACIÓN

El Sistema tiene tres modos de operación: modo automático (Sensores), modo manual1 (Computadora), y modo manual2 (Smartphone). La Figura C.19 muestra el botón de modo en sus tres estados.



**Figura C.19** Botón de modos de operación

Si se desea cambiar de modo de operación, se debe presionar este botón para conseguir un cambio de estado. El botón de modo en la aplicación de Smartphone solo alterna entre el modo automático y el modo manual2.

### C.4.3.1 Modo automático

En el modo automático, la operación se realiza mediante las señales recibidas de los sensores de movimiento, por ello en las interfaces se observará el activado de los botones automáticamente, y las luces y sonidos se activarán como se menciona en el apartado C.2.2.1.

### C.4.3.2 Modo manual2

En el modo manual2, el control es realizado mediante la aplicación de Smartphone presionando los diferentes botones de la aplicación.

Al presionar un botón de sonido, se reproduce el respectivo sonido en el parlante correspondiente al botón siempre y cuando se encuentre habilitado en la ventana de ajustes. El sonido se reproduce y se detiene cuando se termina la pista, o se lo puede detener presionando nuevamente el botón.

De la misma forma se tiene el botón de música ambiental, el cual se puede activar siempre y cuando se encuentre habilitado en la ventana de ajustes. Este sonido se reproduce en todos los cuatro parlantes y tiene un ciclo infinito por lo que se repite cada vez que se termina.

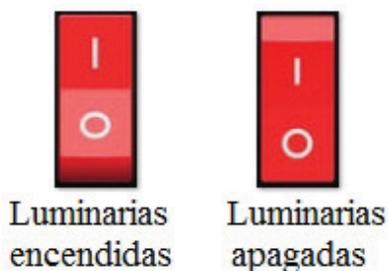
A su vez los leds RGB se pueden activar o desactivar presionando el botón de Luces RGB, proyectando el color configurado en la ventana de ajustes. En la Figura C.20 se observa este tipo de botones en estado activado y desactivado.



**Figura C.20** Botón activado y desactivado

#### C.4.4 ENCENDIDO/APAGADO DE LUMINARIAS

Para comandar el encendido o apagado de las luminarias se tiene que presionar el botón ON/OFF de iluminación. Este botón puede ser manipulado en cualquier modo de operación. En la Figura C.21 se puede observar el manejo del botón junto con su resultado.



**Figura C.21** Botón On/Off de iluminación.

#### C.4.5 MONITOREO DE LUCES

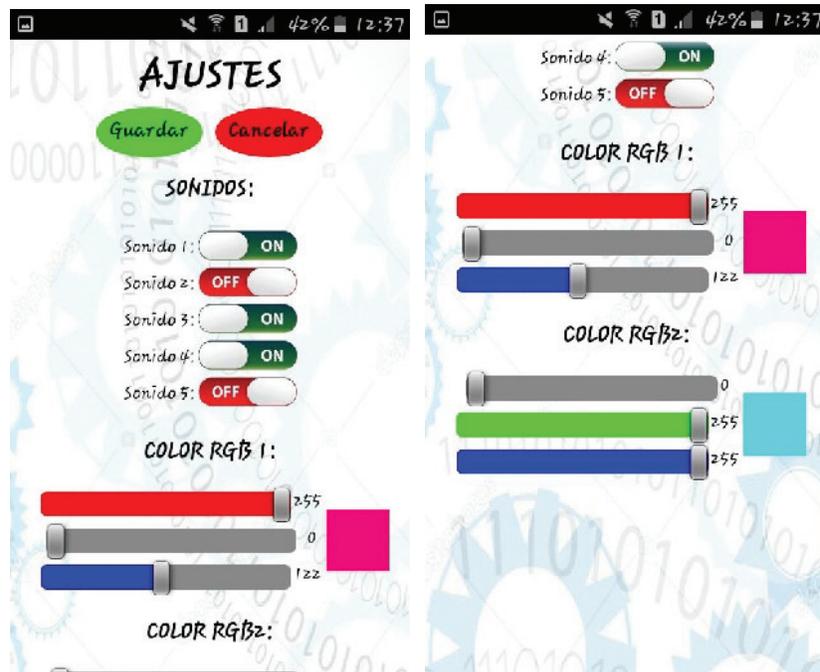
Para el monitoreo de luces de las 14 zonas del museo, en la parte inferior de la ventana general de la aplicación de Smartphone se puede observar cómo los íconos de las luminarias van cambiando de acuerdo a la zona en la que se encuentren los visitantes. En la Figura C.22 se muestra el ícono de luz activado y desactivado.



**Figura C.22** Ícono de luminaria activado y desactivado

#### C.4.6 AJUSTES EN APLICACIÓN ANDROID

Cuando se presiona el botón de ajustes, se abre la ventana que se muestra en la Figura C.23. En esta ventana se puede configurar la habilitación de los sonidos y de la música ambiental. Cuando los botones se encuentran en ON, los sonidos respectivos se habilitan y pueden sonar. Cuando se encuentran en OFF, se deshabilitan y los sonidos correspondientes no se reproducen.



**Figura C.23** Ventana de ajustes aplicación Android.

Adicionalmente se puede configurar el color de las luces RGB en ambas zonas, realizando la combinación necesaria entre los tres colores de los sliders para conseguir el color deseado.

Cuando se haya realizado los ajustes requeridos, se presiona el botón guardar y se realizan los cambios.

***Nota:** Para un adecuado funcionamiento del sistema revisar que se encuentre encendido el sistema de iluminación anterior, el amplificador TITAN 8 y el propio sistema de luces y sonidos de este proyecto.*