



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Facultad de Ingeniería
y Ciencias
Ingeniería Electrónica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
PARA APOYAR EL CUIDADO DE MENORES
ENTRE CERO Y SEIS MESES, A TRAVÉS DEL
MONITOREO DE LA TEMPERATURA CORPORAL
Y EL CONTROL DE FACTORES DE SU ENTORNO**

ANA MARIA MEDINA CONTO

TRABAJO DE GRADO

Director:

Maribell Sacanamboy Franco

SANTIAGO DE CALI

Enero 2022

Santiago de Cali 03 de febrero de 2022

Señores
Pontificia Universidad Javeriana - Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Santiago de Cali

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito presentarle el Trabajo de Grado titulado “Diseño e implementación de un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a través del monitoreo de la temperatura corporal y el control de factores de su entorno”.

Espero que este trabajo reúna todos los requisitos académicos, cumpla el propósito para el cual fue creado y sirva de apoyo para futuros proyectos relacionados con la materia.

Atentamente,

AnaMMedinaC

Ana Maria Medina Conto

Santiago de Cali, 03 de febrero de 2022

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Dr. Hernán Camilo Rocha

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali

Cordial Saludo.

Certifico que el presente Trabajo de Grado titulado “Diseño e implementación de un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a través del monitoreo de la temperatura corporal y el control de factores de su entorno”, realizado por Ana Maria Medina Conto, estudiante de Ingeniería Electrónica, se encuentra terminado y puede ser presentado para su sustentación.

Atentamente,



Maribell Sacanamboy Franco
Director Trabajo de Grado



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Electrónica

Fecha: 03 de febrero de 2022

Autores: Ana Maria Medina Conto

Nombre del Proyecto de Grado: Diseño e implementación de un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a través del monitoreo de la temperatura corporal y el control de factores de su entorno

Directora: Maribell Sacanamboy Franco

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Firma de Director(a) del Proyecto de Grado
Maribell Sacanamboy Franco

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniera Electrónica.

Camilo Rocha

Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano de la Facultad de Ingeniería

[Handwritten signature]

Dr. Luis Eduardo Tobón Llano
Director Carrera Ingeniería Electrónica.

Maribell Sacanamboy Franco

ING. Maribell Sacanamboy Franco
Director(a) Trabajo

J. A. Aguilar Zambrano

Dr. Jaime Alberto Aguilar Zambrano
Jurado 1

Manuel Vicente Valencia

ING. Manuel Vicente Valencia Díaz
Jurado 2

A Juan Martín Cabrera Medina, mi pequeño hijo, quien es mi más grande motivación y me impulsa cada día en la carrera de querer siempre ofrecerle lo mejor. No ha sido fácil, pero sin él, no habría logrado tantas cosas grandes en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por acompañarme e iluminarme en cada paso que doy, por ser mi guía y fortalecerme espiritualmente.

También quiero agradecer a mi directora de trabajo de grado, Maribell Sacanamboy, y a mi director de carrera Luis E. Tobón por todo su apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de grado, y en general, durante todo mi proceso de formación como ingeniera.

Adicionalmente, me gustaría agradecer a otros docentes, colaboradores y compañeros que aportaron su granito de arena en este proyecto: Juan Pablo García, Carlos Lozano, Manuel Valencia, Juan David Contreras, Bleider Arizala, Nicolle Gomez, Santiago Florez, Karen Marin, Michael Hernandez y Michael Rodriguez. Así como, a todas las personas que muy amablemente me brindaron su colaboración para la toma de pruebas.

Finalmente, quisiera agradecer a mi familia en general por brindarme siempre una voz de aliento y su amor incondicionalmente.

RESUMEN

En el presente trabajo, se plantea un prototipo para un dispositivo de monitoreo regular que mediante una aplicación móvil desarrollada en *Blynk* proporcione información sobre el estado de la temperatura corporal de un bebé entre cero y seis meses, alertando anomalías que pueden indicar enfermedades o complicaciones en la salud del pequeño; y que además permita controlar algunos factores ambientales de la habitación del bebé, en este caso, temperatura ambiental, sonidos estimulantes e intensidad luminica, con el fin de brindar una solución para obtener una detección continua y oportuna ante cualquier tipo de alteración, facilitando la labor de los cuidadores y mejorando la calidad del cuidado, además de asegurar un ambiente adecuado y saludable para el pequeño.

El proceso que se sigue para el diseño y la implementación de este dispositivo se basa en la metodología CDIO. En la primera etapa, se realiza la búsqueda de antecedentes y trabajos relacionados con el monitoreo de la temperatura corporal y el control de variables como la temperatura ambiental, sonido y luz.

Posteriormente, se plantean todos los subsistemas que serán necesarios para la implementación del prototipo, en este caso: recepción, actuadores, procesamiento de datos, interfaz y alimentación, junto con algunas alternativas para la selección de dispositivos electrónicos. Después, se realiza el proceso de prototipado rápido con el fin de tangibilizar la idea, y finalmente, se desarrolla un plan de ocho pruebas para validar la funcionalidad del prototipo e identificación de mejoras, sobre todo en la medición de la temperatura corporal, y posibles trabajos futuros relacionados con las funcionalidades del prototipo y el diseño de la aplicación móvil.

Palabras claves: monitoreo, temperatura corporal, control, ambiente óptimo, diseño.

ABSTRACT

In the present work, a prototype is proposed for a regular monitoring device that, through a mobile application developed in *Blynk*, provides information on the state of the body temperature of a baby between zero and six months, alerting anomalies that can indicate diseases or complications in the health of the small; and that also allows to control some environmental factors of the baby's room, in this case, environmental temperature, stimulating sounds and light intensity, in order to provide a solution to obtain continuous and timely detection of any type convention, facilitating the work of caregivers and improving the quality of care, in addition to ensure a suitable and healthy environment for the little one.

The process followed for the design and implementation of this device is based on the CDIO methodology. In the first stage, the search for background and work related to the monitoring of body temperature and the control of variables such as ambient temperature, sound and light is carried out.

Subsequently, all the subsystems that will be necessary for the implementation of the prototype are proposed, in this case: reception, actuators, data processing, interface and power supply, along with some alternatives for the selection of electronic devices. Afterwards, the rapid prototyping process is carried out in order to make the idea tangible, and finally, a plan of eight tests is developed to validate the functionality of the prototype and identify improvements, especially in the measurement of body temperature, and possible future work related to the functionalities of the prototype and the design of the mobile application.

Keywords: monitoring, body temperature, control, optimal environment, design.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de figuras	11
Índice de tablas	13
1. Introducción	14
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivo General	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
1.2. Requerimientos del proyecto	16
2. Marco teórico	18
2.1. Definición de términos	18
2.1.1. Monitoreo	18
2.1.2. Sistemas de monitoreo para bebés	18
2.1.3. Medición de la temperatura con termómetros infrarrojos	20
2.1.4. Emisividad	21
2.1.5. Temperatura corporal	21
2.1.6. Hipotermia	22
2.1.7. Fiebre	23
2.1.8. Variables de medición y control en la habitación	24
2.1.9. Protocolos de comunicación	28
2.2. Trabajos relacionados	30
3. Diseño e implementación	32
3.1. Sistema general	32
3.1.1. Entradas	33
3.1.2. Salidas	34

3.2. Subsistemas	34
3.2.1. Recepción	35
3.2.2. Actuadores	46
3.2.3. Procesamiento de datos	53
3.2.4. Interfaz	57
3.2.5. Alimentación	61
3.3. Diagrama sistema general con componentes	63
3.4. Diseño estructural	63
4. Pruebas y análisis de resultados	68
4.1. Plan de Pruebas	68
4.2. Análisis de resultados	68
4.3. Análisis de costos	71
5. Conclusiones	73
6. Trabajos futuros	75
6.1. Obtención de la temperatura corporal	75
6.2. Control de la temperatura ambiental	75
6.3. Funcionalidades del prototipo	76
6.4. Aplicación móvil	76
Bibliografía	77
7. Anexos	82
7.1. Anexo A: Códigos	82
7.2. Anexo B: Instructivo de uso	87
7.3. Anexo C: Plan de pruebas	93
7.4. Anexo D: Participación en el plan de pruebas	99

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Funcionamiento sensor termoelectrico. D. Xu, B. Xiong and Y. Wang, "Micro-machined Thermopile IR Detector Module With High Performance, in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 3, pp. 149-151, Feb.1, 2011. . . .	20
2.2. Pacientes febriles de alto riesgo. (Tomado de Berhman, Vaughan, Ne/son. Tratado de pediatria. 15 ed., 1997)	24
2.3. Temperatura de la luz	25
2.4. Comunicación I2C, maestro-esclavo. Fuente:www.luisllamas.es/arduino-i2c/ .	28
2.5. Trama de la comunicación I2C.Carletti, E. J. (2007). Comunicación-Bus I2C. Robots Argentina.	29
3.1. Diagrama del sistema general	33
3.2. Diagrama de subsistemas	35
3.3. Sensor de temperatura MLX90614	36
3.4. Diagrama interior del sensor de temperatura MLX90614	37
3.5. Cámara infrarroja	39
3.6. Configuración de emisividad de la cámara infrarroja	39
3.7. Toma de muestras con la cámara infrarroja y el sensor	40
3.8. Toma de muestras con la cámara infrarroja y el sensor	40
3.9. Curva de ajuste con ecuación de primer grado.	42
3.10. Curva de ajuste con ecuación de primer grado con intercepto en $y = 0$	42
3.11. Diagrama de flujo para la medición de la temperatura corporal	44
3.12. Diagrama de flujo para la medición de la temperatura ambiental	45
3.13. Módulo MP3 DY-SV8F	46
3.14. Diagrama del algoritmo la función STOP	48
3.15. Diagrama del algoritmo la función sonido	49
3.16. Diagrama del algoritmo para la lista de reproducción	50
3.17. Diagrama del algoritmo para el <i>widget</i> de reproducción MP3	51
3.18. Dimmer AC	52

3.19. Diagrama de flujo para la variación de la intensidad lumínica	53
3.20. Microcontrolador ESP32	55
3.21. Boceto de conexiones de los módulos y el microcontrolador	57
3.22. Elementos de la plantilla del dispositivo	58
3.23. Ejemplo de configuración de un pin virtual	59
3.24. Obtención de datos de un pin virtual	59
3.25. Visualización de temperatura corporal y temperatura ambiental en la aplicación.	60
3.26. Visualización de la lista de reproducción y el reproductor MP3 en la aplicación.	60
3.27. Visualización del <i>slider</i> para variar la intensidad lumínica en la aplicación. .	61
3.28. Visualización del <i>slider</i> para variar la temperatura ambiental en la aplicación.	61
3.29. Diagrama sistema general con sus respectivos componentes	63
3.30. Diseño estructural parte interior	64
3.31. Diseño elegido: <i>ELECTRONICSBOX</i>	65
3.32. Diseño estructural exterior	65
3.33. Diseño estructural exterior total	66
3.34. Diseño estructural exterior total con componentes integrados	67
7.1. Presentación del diseño estructural exterior con sus respectivos componentes	88
7.2. Pantalla del prototipo de aplicación móvil.	90
7.3. Ventana emergente para la selección de canciones.	91
7.4. Botones de la pantalla del prototipo de aplicación móvil.	92

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Criterios de selección para el sensor de temperatura.	36
3.2. Evaluación de criterios de selección para el sensor de temperatura.	36
3.3. Evaluación de criterios de selección para el sensor de temperatura.	41
3.4. Configuración de DIP switch para el módulo DY-SVF8	47
3.5. Configuración modo de reproducción para el módulo DY-SVF8	47
3.6. Criterios de selección microcontrolador.	54
3.7. Criterios de selección microcontrolador.	54
3.8. Conexión de pines entre dispositivos y microcontrolador	56
3.9. Consumo de los dispositivos del sistema	62
4.1. Mediciones de las muestras de agua registradas por la cámara infrarroja y el sensor MLX90614.	69
4.2. Mediciones de temperatura tomadas a diferentes personas, registradas por la cámara infrarroja y el sensor MLX90614.	70
4.3. Costo mano de obra del proyecto	71
4.4. Precio de los componentes implementados	72

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La seguridad de los hijos es la mayor preocupación para los padres, especialmente en etapas tempranas del crecimiento y desarrollo del niño, tales como la etapa de recién nacidos (0 a 28 días) y lactantes (1 a 24 meses), ya que algunas condiciones fisiológicas de estas etapas los hace vulnerables y condiciona riesgos para su salud y desarrollo adecuado, por lo que requieren constante atención por parte de los cuidadores. Sin embargo, las diferentes ocupaciones de los padres como el trabajo, los quehaceres del hogar y todas las actividades de la vida adulta hacen que el monitorear a sus pequeños no sea una tarea sencilla.

Se sabe que la comunicación entre bebés y cuidadores es difícil, pues para manifestar diferentes molestias, dolores y enfermedades que pueden sufrir en su etapa de crecimiento la única forma en que pueden expresarse es a través del llanto o cambios de su comportamiento habitual, generando una constante incertidumbre en los cuidadores debido a que los pequeños pueden presentar en cualquier momento una sintomatología de cuidado que puede indicar alguna complicación o enfermedad, teniendo en cuenta que en los primeros meses de vida los menores se encuentran en una edad crítica en la que necesitan supervisión completa y constante por parte de los cuidadores. [1]

En consecuencia, con el paso del tiempo el equipo y las técnicas de cuidado infantil aumentaron con la tecnología. Actualmente existen muchos tipos de equipos de monitoreo de variables fisiológicas para bebés: aquellos que están unidos a alguna extremidad del cuerpo del bebé, otros que se colocan debajo del colchón, o se unen a alguna parte de la cuna, etc. En cuanto al mercado de monitores para bebés, se puede encontrar una variada oferta de monitores que ofrecen diferentes funciones, como la detección de temperatura, sonido e imagen.

De esta manera, el objetivo principal de este trabajo de grado es el desarrollo de un prototipo funcional en un ambiente de laboratorio para apoyar el cuidado de pequeños entre

ceros y seis meses, capaz de monitorear constantemente una variable fisiológica sumamente importante en los bebés: La temperatura corporal, pues los cambios en la temperatura corporal se consideran un signo de alarma para detección temprana de problemas en la salud del niño. Adicionalmente, se plantea que a través del sistema, los padres o cuidadores del menor, puedan controlar algunas variables de la habitación del mismo, como: la temperatura ambiente, la intensidad luminosa y los sonidos estimulantes, con el fin de brindar un ambiente propicio y confortante para el pequeño.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a partir del monitoreo regular de la temperatura corporal para la detección de alteraciones; y el control de factores ambientales con el fin de garantizar un ambiente óptimo y confortable para el menor.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las funciones de algunos sistemas de monitoreo y control que sirven como herramienta para el cuidado de bebés.
- Definir y establecer los requerimientos de hardware del nuevo sistema de monitoreo y control para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses.
- Definir el método de alerta a los cuidadores de los menores cuando se presente alguna condición de alarma.
- Diseñar e implementar un prototipo de hardware que satisfaga los requerimientos del sistema planteado.

1.2. Requerimientos del proyecto

Los requerimientos del proyecto se realizan con base en las necesidades identificadas en el planteamiento del problema

- El sistema debe medir la temperatura del ambiente, enviar dicho dato a los cuidadores del menor, abriendo la posibilidad de que ellos puedan establecer un valor de temperatura ambiental deseado, teniendo en cuenta los valores óptimos en los que dicha variable debe estar según la edad del menor:
 - Durante los primeros meses de vida (cero a seis meses), la temperatura debe oscilar alrededor de 22° durante el día, y alrededor de 18° durante la noche [21].
- El sistema debe medir la temperatura corporal del menor y alertar a los cuidadores teniendo en cuenta las señales de alerta:
 - Hipotermia: menor a 36.5°. [16]
 - Fiebre: entre 38° y 41°. [19],[18]
- El sistema debe permitir que los cuidadores adecuen el nivel de luminosidad de la habitación del menor.

- El sistema debe permitir a los cuidadores reproducir sonidos estimulantes para el pequeño.
- Se diseñará un prototipo de aplicación móvil la cual permitirá que el sistema envíe alerta a los cuidadores del menor, y así mismo, que los cuidadores manipulen remotamente las variables temperatura ambiental (mediante un indicador lumínico), luz y sonido.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de términos

2.1.1. Monitoreo

Según la Real Academia Española (RAE), su origen se encuentra en la palabra monitor, un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores, y que permite visualizar algo en una pantalla. Por tanto, el monitor, ayuda a controlar o supervisar una situación. El monitoreo, a rasgos generales, consiste en la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales anomalías.[2]

2.1.2. Sistemas de monitoreo para bebés

El sistema de monitoreo de bebés es un tipo de sistema de alarma que puede detectar los movimientos y actividades de los pequeños y transmitir un mensaje o alerta sobre la condición de los bebés a su cuidador.

En la actualidad, se han diseñado varios dispositivos de monitoreo remoto para el cuidado de los bebés; donde los factores principales que indican una alarma y la manera en que son monitoreados, exponiendo sus aspectos positivos y negativos, son:

- **Frecuencia respiratoria:** La frecuencia respiratoria es uno de los factores cruciales a controlar. Una vez que se conoce la frecuencia respiratoria normal del bebé, el aumento o la disminución indica una alarma. Los investigadores han utilizado varios sensores para medir este parámetro. Equipos puestos en el pecho [3], [4], en el pie [5],[6], en la ropa que usa el bebé [7],[8], han sido diseñados para ello. La mayoría, miden la frecuencia respiratoria y transmiten una señal a un receptor conectado al móvil del cuidador, así, si se presenta alguna anomalía se emite una alarma. Si bien, las ventajas que tienen estos dispositivos es que son inalámbricos y monitorean un factor de suma importancia, el punto negativo es el hecho de que el sujeto tiene contacto directo y cercano con los

sensores ya que están conectados a sus extremidades o vestimentas, así que además de ser invasivos, el bebé puede tender a separar el dispositivo, jugar con él o incluso mordisquearlo, lo que podría dañar el sensor.

- **Postura y movimiento:** También se han creado métodos para reconocer las actividades diarias del sujeto, por ejemplo, el método [9] capaz de detectar las siguientes actividades diarias: Retorcerse, rodar, quedarse quieto, pararse, sentarse, caminar, gatear, trepar, bajar y detenerse, utilizando un acelerómetro. Para reconocer las actividades diarias, la media, la desviación estándar y la pendiente de las características en el dominio del tiempo se utilizan ventanas deslizantes. Además, se adopta el análisis FFT (Fast Fourier Transform) para extraer las características del dominio de la frecuencia de los datos agregados, y luego, se calculan la energía y la correlación de los datos de aceleración. Este método tiene la ventaja de identificar remotamente una alerta y emitirla, pero su desventaja es que un sensor está sujeto a la cintura del pequeño. Asimismo, por la complejidad de los métodos como el anterior, uno de los enfoques más populares para monitorear este factor, es el uso de cámaras, sin embargo, se tiene que la configuración de una cámara es un poco difícil ya que requiere un ajuste cada vez que cambia la ubicación del bebé.
- **Temperatura corporal:** La temperatura es un indicador de la salud del bebé, además, la temperatura de la cuna juega un papel importante para proporcionar comodidad al pequeño; productos como [4] permiten medir la temperatura corporal. También existen en el mercado camas inteligentes, utilizadas para adultos, capaces de monitorear el movimiento y la temperatura en la superficie y variarla según el usuario lo requiera para mayor comodidad [10].
- **Llanto:** La manera en la que los bebés pueden expresarse es llorando [11], así, muchas investigaciones han sido llevadas a cabo para monitorear la situación que enfrenta el bebé, y el llanto de éstos, ha sido estudiado en profundidad para lograr controlar la causa, por ejemplo, en [12] se propone un algoritmo para extraer la característica del sonido y clasificar el llanto como una señal. El algoritmo propuesto se basa en dos etapas principales: la primera etapa implica la extracción de características, en la que se extraen de la señal los parámetros relacionados con el tono, los coeficientes MFC (cepstrum de frecuencia mel) y los parámetros de energía a corto plazo. En la segunda etapa, la señal se clasifica utilizando el algoritmo k-NN y luego se verifica como una señal de grito, con base en la información de tono y armónicos. Para evaluar el rendimiento del algoritmo en escenarios del mundo real, se verifica la robustez del algoritmo en presencia de varios tipos de ruido, especialmente ruidos como bocinas y motores de automóviles, y también, se utiliza una base de datos de señales de llantos de bebés.
- **Actividad en la cuna y caídas:** Prototipos diseñados para monitorear como [13] han sido construidos para mostrar la ubicación del bebé en la cuna y emitir una alarma si el sujeto alcanza un límite, sin embargo, no contempla la posibilidad de que el pequeño intente trepar o doblarse sobre la baranda de la cuna, una vez que se haya alcanzado ese límite.

2.1.3. Medición de la temperatura con termómetros infrarrojos

La temperatura de un objeto se puede estimar conociendo su potencia emisiva, basado en la ley Stefan-Boltzmann, que habla sobre la radiación de cuerpos calientes y su relación directa con la temperatura.

Los termómetros infrarrojos, son sensores de temperatura sin contacto que utilizan dicha ley para relacionar la cantidad incidente de radiación en el sensor, con la temperatura del objeto que emite dicha radiación. Así, es posible relacionar el voltaje leído por un sensor, con la temperatura aproximada de un objeto que emite radiación. [33]

En un detector térmico la radiación incidente es absorbida para cambiar la temperatura del material del detector, y el cambio en alguna propiedad física se utiliza para generar una señal eléctrica, la cual no depende de la naturaleza de la radiación incidente. Lo anterior quiere decir que, los efectos térmicos son generalmente independientes de la longitud de onda, así, la señal depende de la potencia radiante, pero no de su contenido espectral. Dentro de este grupo se encuentra los detectores de termopila, como lo es el sensor MLX90614.[34]

La termopila, esta formada por un conjunto de termopares interconectados entre ellos, para aumentar la sensibilidad del dispositivo. Cada termopar esta formado por materiales termoeléctricos diferentes. Una de las uniones A (fría) se mantiene en una temperatura de referencia que por lo general corresponde a 0°C , y en la otra unión B (caliente) hay un cuerpo negro que absorbe la radiación IR que le llega, incrementando la temperatura acorde a dicha radiación. Este componente se denomina termopar de radiación.

De tal forma que, al incidir un flujo de radiación IR ϕ_{rad} sobre la unión, se va a crear una diferencia de potencial que es proporcional a la temperatura a la que se encuentra el cuerpo de medida. En la Figura 2.1 se muestra la conexión entre la absorción y los dos materiales diferentes.

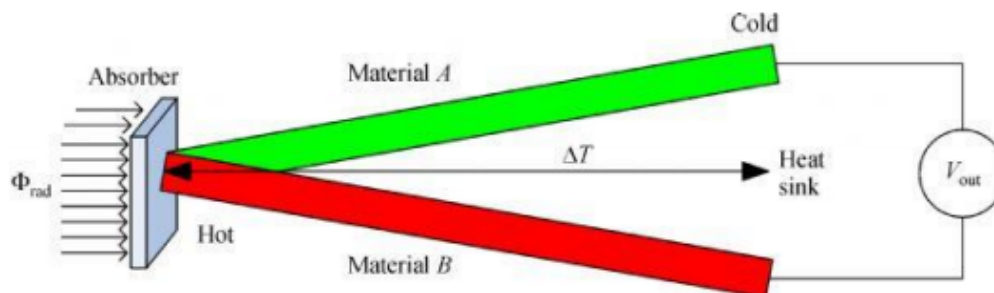


Figura 2.1: Funcionamiento sensor termoelectrico. D. Xu, B. Xiong and Y. Wang, "Micro-machined Thermopile IR Detector Module With High Performance, in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 3, pp. 149-151, Feb.1, 2011.

El efecto Seebeck genera una diferencia de potencial entre ambas uniones (la fría y la caliente), y viene dado por la ecuación 2.1 .

$$V_{out} = (\alpha_a - \alpha_b) * \Delta T \quad (2.1)$$

Donde α_a y α_b son los coeficientes de Seebeck para los materiales termoeléctricos A y B respectivamente, expresados comúnmente en $\mu\text{V}/\text{K}$.

Como la termopila es un conjunto de termopares conectados en serie, el voltaje generado por el detector IR de la termopila, es directamente proporcional al número de termopares, N.

$$V_{out} = N * (\alpha_a - \alpha_b) * \Delta T = (\alpha_a - \alpha_b) * \Delta T_{total} \quad (2.2)$$

Donde ΔT_{total} es la suma de las diferencias de temperatura entre los diferentes termopares, por lo que V_{out} es el voltaje total entregado por los termopares.[42]

2.1.4. Emisividad

La emisividad es la medición de la capacidad de un objeto de emitir energía infrarroja. El valor de la emisividad se calcula por la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno.

La energía emitida indica la temperatura del objeto, La emisividad puede tener un valor entre 0 (espejo brillante) y 1.0 (cuerpo negro), pero la mayoría de las superficies orgánicas tienen valores de emisividad cercanos a 0.95.[35]

2.1.5. Temperatura corporal

La temperatura corporal es una medida de la capacidad del organismo de generar y eliminar calor. El cuerpo es muy eficiente para mantener su temperatura dentro de límites seguros, incluso cuando la temperatura exterior cambia mucho. La temperatura corporal se puede medir en muchos lugares del cuerpo. Los más comunes son la boca, el oído, la axila y el recto. La temperatura también puede medirse en la frente.[14] [15].

- **¿Cómo se regula la temperatura corporal?** El organismo se encuentra en un estado de equilibrio denominado homeostasis. Para mantenerla y llevar a cabo con normalidad las funciones fisiológicas el organismo de un ser humano debe mantenerse a una temperatura de entre 36.5°C y 37.4°C . Por este motivo, el cuerpo cuenta con mecanismos para regular la temperatura corporal basados en la pérdida o la ganancia de calor. El centro termorregulador se encuentra en el hipotálamo, una región en el centro del cerebro.

El organismo está expuesto a condiciones ambientales como por ejemplo la climatología, cuando se está expuesto a temperaturas extremas se disparan las medidas de regulación

de temperatura. Por ejemplo, si hace demasiado calor la irradiación del calor a través de la piel o la sudoración son mecanismos que ayudan a mantener la temperatura corporal o en caso de frío, el tiritar ayuda a generar calor.

En recién nacidos los sistemas de control de temperatura son algo diferentes e implican un mayor consumo de energía, lo que pone en riesgo al recién nacido de hipoglucemia o hipotermia. De hecho, durante los primeros días de vida, estos mecanismos no se han desarrollado de manera apropiada y es necesario tener aún más cuidado con la temperatura del niño. [14]

2.1.6. Hipotermia

La exposición a temperaturas extremas, tanto elevadas como bajas, supone un riesgo para el bienestar de las personas. Los bebés corren especial riesgo de padecer trastornos asociados al frío y al calor ambiental, debido a múltiples razones, entre ellas, la poca capacidad de termorregulación [16]. Se considera hipotermia la temperatura corporal central inferior a 36.5°C.

La humedad relativa, el flujo de aire, el contacto directo con superficies frías, la proximidad a objetos fríos y la temperatura del ambiente influyen en el equilibrio térmico. Los recién nacidos son proclives a la pérdida rápida de calor e hipotermia consiguiente debido al elevado cociente entre superficie y volumen corporales [17]. Existen varios métodos para perder calor:

- Pérdida de calor por radiación: la piel desnuda es expuesta a un ambiente que contiene objetos de temperatura más baja.
- Pérdida de calor por conducción: se coloca a los recién nacidos en contacto con una superficie o un objeto frío.
- Pérdida de calor por convección: un flujo de aire ambiente más fresco aleja el calor del recién nacido.[17],[15]

Consecuencias negativas en la salud del pequeño:

- El estrés por frío no reconocido puede desviar calorías a la producción de calor, lo que altera el crecimiento.
- En recién nacidos con insuficiencia respiratoria, el estrés por frío puede provocar daño neurológico e hipoxia tisular (disminución de la disponibilidad de oxígeno).
- La hipotermia persistente puede provocar hipoglucemia y acidosis metabólica y aumentar el riesgo de sepsis y la mortalidad.[17]

2.1.7. Fiebre

Cuando el sistema inmune detecta un agente patógeno, actúa junto al hipotálamo y determinadas moléculas y receptores para generar fiebre. El objetivo es impedir que los microorganismos proliferen y, a la vez, incentivar la creación de inmunoglobulinas (anticuerpos) que puedan combatir y erradicar al agente infeccioso. Por lo tanto, la fiebre no es una enfermedad, sino un mecanismo de defensa del organismo para activar el sistema inmune y dificultar la supervivencia de virus y bacterias [18].

La temperatura corporal varía según el momento del día o del ambiente. Estas oscilaciones son mínimas tanto en adultos como en bebés menores de 6 meses, pero durante el crecimiento de los niños, pueden fluctuar entre 1°C y 2°C.

- **Clasificación de la fiebre:** Para clasificar los tipos de fiebre pueden usarse dos parámetros:

1. **Intensidad:**

- Febrícula: Entre 37.5°C y 38°C.
- Fiebre: Entre 38.°C y 41°C.
- Hiperpirexia: 41°C o más. [19],[18]

Se debe tener en cuenta, que se considera que hay una temperatura por encima de lo normal, según el sitio de medición: rectal por encima de 38°C, oral por encima de 37.8°C y axilar por encima de 37.2°C [19].

2. **Duración:**

- Menos de una semana: fiebre aguda, relacionada con un origen viral, procesos infecciosos o gastroenteritis aguda.
- Entre una y tres semanas: fiebre subaguda, vinculada a infecciones bacterianas como por ejemplo la fiebre tifoidea.
- Más de tres semanas: fiebre crónica, que puede deberse a complicaciones anteriores no resueltas, a infecciones crónicas o incluso a neoplasias y las conectivopatías. [18]

- **Causas de la fiebre:** Las causas más comunes de fiebre en neonatos y lactantes son:

- Infecciones virales.
- Infecciones bacterianas.
- Infección de oído.
- Infecciones de orina.
- Reacciones a vacunas.
- Dentición. [19], [18]

También hay otras causas de fiebre, aunque son menos frecuentes. Por ejemplo:

- Deshidratación hipertónica en el lactante.
 - Reacción a ciertos medicamentos.
 - Golpe de calor.
 - Enfermedades inflamatorias. [18]
- **Pacientes febriles de alto riesgo:** En la siguiente imagen (ver 2.2) se pueden apreciar los grupos de población de alto riesgo para infecciones serias cuyo síntoma de presentación es la fiebre y los gérmenes frecuentemente involucrados. Estos grupos de alto riesgo ya por edad o enfermedades asociadas, requieren valoración amplia, y en determinadas situaciones, administración pronta de antibióticos. [19]

Situación	Comentario
Pacientes previamente normales Recién nacidos «28 días)	Estreptococos del grupo B, Escherichia coli, Listeria monocytogenes. herpes simple
Lactantes menores de 3 meses	10%•15% enfermedades bacterianas graves, 5% bacteriemias; enfermedades vitales estacionales en invierno. virus sincitial respiratorio y en verano. enterovirus.
Lactantes de 3 a 24 meses	El riesgo de bacteriemia oculta aumenta si la fiebre es superior a 40°C. el recuento leucocitario es menor 5.000 a mayor de 15.000 y existen antecedentes de exposición positivos.
Hiperpirexia ($t > 41^{\circ}\text{C}$)	Meningitis, bacteriemia, neumonía. Golpe de calor, encefalopatía. Choque hemorrágico
Fiebre con petequias	Bacteriemia, meningitis, meningococo, Haemophilus, influenzae de tipo b, neumococo

Figura 2.2: Pacientes febriles de alto riesgo. (Tomado de Berhman, Vaughan, Nelson. Tratado de pediatría. 15 ed., 1997)

2.1.8. Variables de medición y control en la habitación

En este apartado también se incluyen las variables de la habitación del bebé (Temperatura, luz, sonidos estimulantes) que se quieren controlar y los niveles adecuados para cada una de estas, con el final de brindar un ambiente óptimo para el pequeño.

1. **Temperatura:** La termorregulación es una función fisiológica que consiste en la habilidad de mantener un equilibrio entre la producción y la pérdida de calor; sin embargo, en los bebés, este sistema de regulación es inmaduro y muy sensible a los cambios de temperatura [20]. Esta incapacidad para regular la temperatura persistirá durante los primeros meses de vida de los bebés, así que el cuidador es quien debe estar atento y evitar tanto la pérdida de calor, como el calentamiento excesivo del niño. Según lo explica la Asociación Española de Pediatría [21], la temperatura adecuada para la habitación del pequeño puede variar dependiendo de la edad del menor y otros factores,

así:

- Durante los primeros meses de vida (0 a 6 meses), la temperatura debe oscilar alrededor de 22°C durante el día y alrededor de 18°C por la noche.
 - De los 6 meses en adelante, la temperatura ambiental de la habitación no debe ser ni muy baja, ni muy alta; así que la temperatura de confort recomendada debe oscilar entre 21°C y 25°C durante el día, y entre 18°C y 20°C durante la noche, teniendo en cuenta que la ventilación y la temperatura adecuada son necesarias para el buen descanso.
2. **Luz:** Los niños son especialmente sensibles a la luz, y esto afecta en su descanso y comportamiento. La luz segrega melatonina en el cuerpo, además, dependiendo del tipo de luz, el cuerpo reacciona de diferentes maneras, por ejemplo: La luz amarilla invita al descanso y relajación; y la luz blanca y azul activan el cuerpo. Adicionalmente, la luz influye en el estado de ánimo de los niños, dado que los fotorreceptores de los ojos se activan con la luz. De esta manera, el cuerpo interpreta según la temperatura de la luz (cálida o fría), si debe relajarse o activarse. Así, la iluminación adecuada para espacios donde se encuentran los niños es:
- **Dormitorio:** Para relajar el cuerpo y la mente de los niños antes de ir a la cama, es aconsejable una luz cálida de 3000K. Esta temperatura de color en la luz es interpretada como el ojo por la noche, o momento de descanso, así que se consigue que el cuerpo empiece a segregar melatonina. (Ver figura 2.3)
 - **Zona de juegos:** Esto depende del objetivo que se persiga. Si se quiere que el niño esté activo cuando juegue, la luz adecuada es una luz blanca (4000 - 4500K), en cambio, si se trata de un juego relajado, la luz debe ser cálida (2500K -3000K) (Ver 2.3).[22]

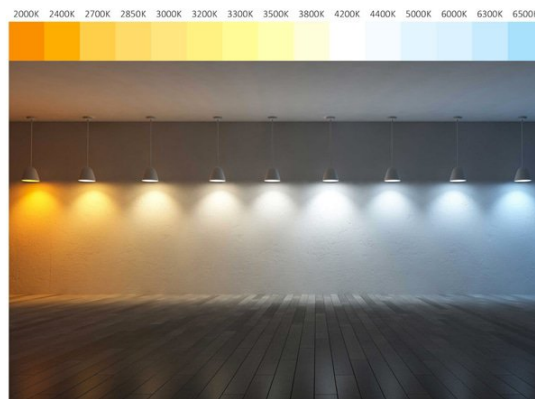


Figura 2.3: Temperatura de la luz

3. **Sonido:** El oído, es un sentido que se encuentra continuamente recibiendo información. Según La Fundación Salud Infantil, estimular la audición de los pequeños, favorece el desarrollo emocional y afectivo, agudiza la percepción auditiva, mejora la coordinación motriz y favorece el desarrollo del lenguaje [23], por ello, el desarrollo y la estimulación auditiva son esenciales desde el nacimiento.

Investigaciones sobre las respuestas a estímulos musicales observadas en fetos y en recién nacidos, muestran como desde los primeros momentos del desarrollo, se empiezan a confirmar respuestas motrices. El oído empieza a funcionar aproximadamente desde el quinto mes de vida prenatal y es estimulado por cualquier sonido con consecuencias benéficas sobre el desarrollo de la inteligencia musical. Después del nacimiento, la inteligencia del niño continúa configurándose mediante la exposición y la interacción con los sonidos de su entorno, por ello, es primordial que en esta etapa se provoque y se estimule cualquier iniciativa como gorgojeo, canturreos, vocalizaciones, etc. [36]

“Los bebés recién nacidos sienten mayor atracción por los sonidos agudos que por los graves y tienen preferencia por la voz femenina más que por la masculina” [37]

Durante el primer mes, los adultos aprenden a calmar el llanto del bebé con los sonidos. Éste manifiesta con sus gestos sensibilidad hacia los estímulos sonoros y musicales y aprende a utilizar el sonido para manipular el entorno con el deseo de satisfacer sus necesidades, pues podemos decir que su voz y el llanto están entre los reflejos que le permiten sobrevivir. Ya reaccionan ante los cambios, discrimina algunos sonidos y esquemas sonoros, musicales, del habla o ambientales. Cualquier música suave será tranquilizante para el bebé [38]

Los niños/as no tienen preferencia por una música concreta, sino que la primera atracción suele estar en la calidad de los sonidos, por ejemplo, la madre al cantar o sonidos familiares del entorno. Entre los cinco y seis meses ya pueden reconocer canciones, aunque no puedan reproducirlas, ni comprendan el significado de su letra.

Wellhausen y Crowther en [39], clasifican las etapas del desarrollo musical en los niños/as en seis etapas diferentes, pero en este trabajo, se tendrán en cuenta únicamente dos etapas:

- a) Etapa de escucha: Ya existen movimientos detectables como las patadas. Se siente bien escuchando música; prefiere sonidos melódicos como por ejemplo música relajante para dormirse; en las rutinas diarias les gusta escuchar canciones, y encuentran los ritmos constantes relajantes, por ejemplo, el ritmo cariaco, ti-tac del reloj, etc.
- b) Etapa de imitación: Los bebés inician movimientos corporales, imitan ritmos y responden a movimientos rítmicos. A medida que crecen tienen canciones o melodías favoritas, discriminan entre diferentes canciones y disfrutan haciendo sonidos.

La estimulación auditiva, por tanto, debería comenzar desde el entorno familiar del bebé a través de sus padres, abuelos, cuidadores, etc. Así, es fundamental que, desde el nacimiento, el bebé tenga estímulos sonoros a través de la audición de fragmentos de música y canciones adaptadas a su evolución: canciones de cuna, canciones infantiles, retahílas, juegos rítmicos, etc.

Además, el resultado de varias investigaciones, [24] en el campo de la antropología, sociología, psicología del desarrollo, medicina y educación, evidencian la importancia que ocupan los primeros años de vida en la construcción del comportamiento social y la personalidad, por ello, se aconsejan actividades estimulantes, en este caso, la música y diferentes tipos de sonidos, los cuales contribuyen al desarrollo del cerebro, el cual se da en un 80 % en los tres primeros años de vida y ayudan a que los menores adquieran la capacidad de hablar y comunicarse mejor.

- **El estudio Campbell y el Efecto Mozart**

Don Campbell, autor del Efecto Mozart, cuya expresión se refiere a los diferentes efectos que puede producir la música de W.A Mozart, muestra que la música es la herramienta más adecuada para mejorar aspectos como el lenguaje, la motricidad y la expresión de los sentimientos. Los ritmos, las melodías y las altas frecuencias de la música de Mozart estimulan las regiones creativas y motivadoras del cerebro, pues sus sonidos son puros y limpios. Correa, en [40] ofrece un ejemplo a través de un estudio que se realizó en la Universidad de California y en el que se demostró que los niños/as que se exponen a la música de Mozart antes de una prueba de inteligencia demuestran un mejoramiento en la puntuación al ser comparados con un grupo control. Los investigadores llegaron a la conclusión de que la música de Mozart activa determinadas vías neurológicas y mejora la capacidad intelectual.

Campbell, aporta que la música de Mozart es una forma maravillosa de transmitir mensajes positivos al bebé. Sus melodías nos dicen que la vida ofrece muchísimas alegrías, serenidad y estímulos. También cantar canciones infantiles felices, mecerlos al ritmo de la música, hacerles bailar y ofrecerles sesiones de música clásica hará que estén alegres y desarrollen estímulos mentales. A medida que van creciendo y empiezan a caminar, van interiorizando el sentido del ritmo y piden melodías y canciones conocidas. Inventarnos canciones sobre sus vivencias favorece la conciencia de su entorno, se estimula el sentido de identidad personal y se anima a articular palabras. La música como la de Mozart, refuerza conexiones entre neuronas que se usan en actividades espacio-temporales, teniendo éxito por ejemplo en habilidades matemáticas. La esencia del efecto Mozart es la capacidad de moverse, sentir y pensar en un ambiente alegre, físico y creativo.[41]

2.1.9. Protocolos de comunicación

1. Protocolo I2C [42]

El bus I2C(inter integrated circuits), es un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos. Diseñado por Philips, como un sistema bidireccional del tipo maestro/esclavo, para la conexión de periféricos a distancias relativamente cortas y velocidades de unos cientos de Kbps.

Esta comunicación es en serie y sincrónica, y sólo se requiere de dos líneas de señal que son manejadas por el dispositivo maestro(figura 2.4), una línea de reloj que sincroniza el sistema (SCL: Serial Clock) y otra para la transferencia de datos (SDA: Serial Data).

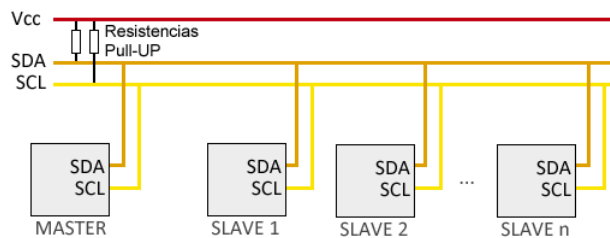


Figura 2.4: Comunicación I2C, maestro-esclavo. Fuente:www.luisllamas.es/arduino-i2c/

En dispositivo maestro se comunica con cada esclavo mediante la dirección única de entre 7 a 10 bits que tiene cada uno, no puede haber una dirección repetida. Las resistencias de Pull-UP son utilizadas para mejorar la velocidad o distancia de transmisión.

La figura 2.5 muestra una trama, para la transmisión de datos en 8 bits (también existe en 10 bits). En la trama se puede apreciar que el protocolo requiere una condición de inicio, que se produce mediante un flanco descendente de la señal SDA, seguido por los bits de datos que se transmiten comenzando por el bit más significativo (MSb). El cambio de bit se debe realizar durante el estado bajo de la línea de clock o durante el flanco ascendente del mismo.

Después se presenta un bit de comando (R/W), que establece la acción de lectura (nivel alto) o escritura (nivel bajo) entre el maestro y esclavo, seguido por el bit de reconocimiento (ACK) que en bajo confirma la solicitud realizada por el maestro, y finalmente la condición de stop que se produce cuando SCL esta en alto y se presenta un flanco de subida de la señal SDA.

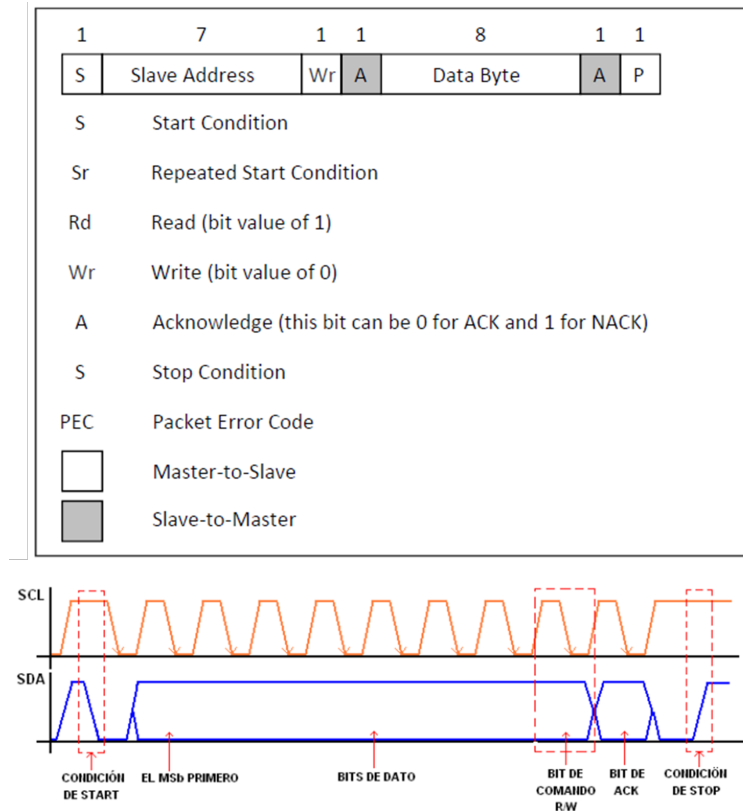


Figura 2.5: Trama de la comunicación I2C. Carletti, E. J. (2007). Comunicación-Bus I2C. Robots Argentina.

Para escribir datos en un dispositivo, primero se envía una trama con la dirección (en 7 bits) del dispositivo esclavo con quien se realiza la comunicación, el octavo bit indica si queremos enviar o recibir datos. Para enviar datos este bit debe estar en bajo, seguido del bit de reconocimiento (ACK) que debe estar en bajo para ser verdadero, mientras este bit sea verdadero, se pueden escribir datos en paquetes de 8 bits, hasta que se de la señal de stop.

Para leer datos de un esclavo, primero se empieza con una acción de escritura, enviando una trama con la dirección del dispositivo a leer mediante 7 bits, el bit restante estará en bajo mostrando escritura, y el bit de accionamiento en bajo para ser verdadero. Seguido a esto, se envía la dirección interna del registro a leer en el dispositivo mediante 7 bits, el octavo estará en alto mostrando lectura, y el bit de accionamiento nuevamente en bajo para ser verdadero y así poder seguir leyendo datos en paquetes de 8 bits hasta que se llegue la señal de stop.

2. WiFi y Protocolo 802.11b - Estándar de la red inalámbrica [43]

WiFi es una tecnología de red inalámbrica que permite que dispositivos como compu-

tadoras (computadoras portátiles y de escritorio), dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles) y otros equipos, interactúen con internet. Permite que estos dispositivos, y muchos más, intercambien información entre sí, creando una red.

La conectividad a Internet se produce a través de un enrutador inalámbrico. Cuando accede a WiFi, se está conectando a un enrutador inalámbrico que permite que sus dispositivos compatibles con WiFi interactúen con Internet.

En el aspecto técnico, el estándar IEEE 802.11 define los protocolos que permiten las comunicaciones con los dispositivos inalámbricos habilitados para WiFi actuales, incluidos los enrutadores inalámbricos y los puntos de acceso inalámbricos. Los puntos de acceso inalámbricos admiten diferentes estándares IEEE. Cada norma es una enmienda que fue ratificada con el tiempo. Los estándares operan en diferentes frecuencias, ofrecen diferentes anchos de banda y admiten diferentes números de canales.

2.2. Trabajos relacionados

En [25], se ilustra un dispositivo capaz de monitorear la temperatura corporal del bebé mediante un sensor portátil, el cual es pequeño y liviano y el bebé lo usa cómodamente. Este ayuda directamente a los padres al alertarlos a través de una red inalámbrica cada vez que la temperatura corporal aumenta un grado más de lo normal. Este sistema puede interactuar con teléfonos móviles para permitir el monitoreo remoto.

En este estudio [26] se desarrolla un prototipo que rastrea continuamente la temperatura corporal de un bebé utilizando una cámara térmica, proporcionando diferentes capacidades de notificación para los usuarios. Adicionalmente, cuenta con funciones de vídeo, audio y alarma. La interfaz de usuario también proporciona datos de temperatura y humedad de la habitación, junto con medidas estadísticas de la temperatura del bebé.

En [27] se muestra un chaleco sensorial desarrollado para bebés, el cual incluye sensores totalmente integrados para los parámetros respiración, frecuencia cardiaca, temperatura y humedad, y detección de sudoración excesiva, para el monitoreo continuo de bebés en condiciones domésticas y clínicas. Este permite la detección temprana de eventos potencialmente delicados que requieran rescate, así como el reconocimiento del desarrollo o progresión de enfermedades en una etapa temprana.

En este proyecto [28], se desarrolla un dispositivo electrónico que registra la temperatura corporal en tiempo real. Al mismo tiempo, envía el nivel de audio capturado de bebés entre cero y doce meses de edad. El dispositivo está diseñado para colocarse en la cuna del bebé. Cuando el dispositivo detecta un aumento fuera del rango normal de temperatura corporal, o un alto nivel de ruido transfiere los datos vía WiFi y Bluetooth a una plataforma web y

envía una alarma a los padres a través de una aplicación móvil, indicando una alteración en el estado del bebé.

Además de los sistemas de monitoreo expuestos anteriormente, también se han desarrollado trabajos anteriores relacionado con el control de variables del entorno.

Chenhui Xiang y Junkai Yang en [29] presentan “Pautas de diseño para el sistema inteligente de monitoreo y control ambiental en interiores”, donde proponen un robot en movimiento que monitorea diferentes factores en distintas áreas de la habitación, sin embargo, este no tiene ningún control sobre estos factores.

Por otra parte, en [30], Catalin Bujdei y Sorin Aurel Moraru, plantean un sistema que controla el entorno de oficina para los trabajadores, pero este requiere más adaptaciones para su implementación en un entorno infantil debido a que el nivel de comodidad es diferente, sin embargo, ambos pueden describirse utilizando las características paramétricas descritas en [30].

Finalmente, Soukaina Brangui , Mohammed El Kihal y Yassine Salih-Alj en [31] proponen un sistema de cancelación de ruido mejorado para un monitoreo y control integral de los ambientes del bebé. Los autores, realizan una adaptación del modelo planteado en [30] donde se plantea este sistema para proporcionar un sistema de cancelación de ruido para superar la contaminación acústica y hacer que las habitaciones de los bebés sean más cómodas.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Sistema general

Como se mencionó anteriormente, se espera que el prototipo sea capaz de medir la temperatura corporal del menor y alertar a los cuidadores teniendo en cuenta los valores que indican una señal de alarma de hipotermia, febrícula o fiebre. Adicionalmente, se espera que mediante el prototipo de aplicación, los padres puedan establecer de manera simulada, el nivel de temperatura ambiente que desean, y así mismo, puedan visualizar el valor de esta variable. Por último, se espera que a través del dispositivo, los cuidadores del menor puedan reproducir sonidos estimulantes para el pequeño, y también, regular el nivel de intensidad lumínica de una fuente de luz en su habitación.

El prototipo que se plantea para apoyar el cuidado de menores entre 0 y 6 meses se encarga de monitorear las variables de entrada de temperatura corporal del menor, y temperatura ambiental de la habitación del mismo. Estas variables son captadas mediante un subsistema de recepción, en donde se encuentra el sensor temperatura. Los datos entregados por el sensor son enviados a un subsistema de procesamiento de datos, el cual contiene al microcontrolador, que transforma los valores monitoreados a valores representativos para el usuario, y, proporciona alertas cuando están fuera de los rangos definidos anteriormente. Adicionalmente, en este subsistema el microcontrolador recibe las señales provenientes de la interfaz para manejar un reproductor MP3 y también, para adecuar el nivel de luminosidad de acuerdo a lo que el usuario le indique.

Adicionalmente, se tiene el subsistema de actuadores, en donde se encuentran un módulo MP3, el cual se utiliza para la función de reproducción de sonido; y un dimmer AC, que permite cumplir con la funcionalidad de adecuar la intensidad lumínica. Estos reciben la señal que les envía el microcontrolador posterior a la indicación que genere el usuario mediante la interfaz.

Finalmente, mediante el subsistema de interfaz, el cual es un prototipo de aplicación móvil, le permite al usuario:

- Ver el dato de temperatura corporal del menor y recibir una alerta cuando esta se encuentre fuera del rango normal.
- Ver el dato de temperatura ambiental y llevarlo al nivel adecuado (esto se hará representativamente mediante un indicador lumínico)
- Manejar el reproductor de MP3 que consta de 8 canciones. Este tendrá las opciones PLAY, STOP, NEXT, PREV.
- Controlar el nivel de intensidad lumínica de la habitación del menor.

Por otra parte, la fuente de alimentación se realizará mediante la alimentación AC que debe recibir el dimmer AC. A la salida de esta alimentación, se adaptará un convertor AC/DC para obtener el voltaje requerido por el microcontrolador.

En la figura 3.1, se puede observar el diagrama general del sistema, donde se detalla la conexión entre los distintos subsistemas y las variables de entrada y salida.

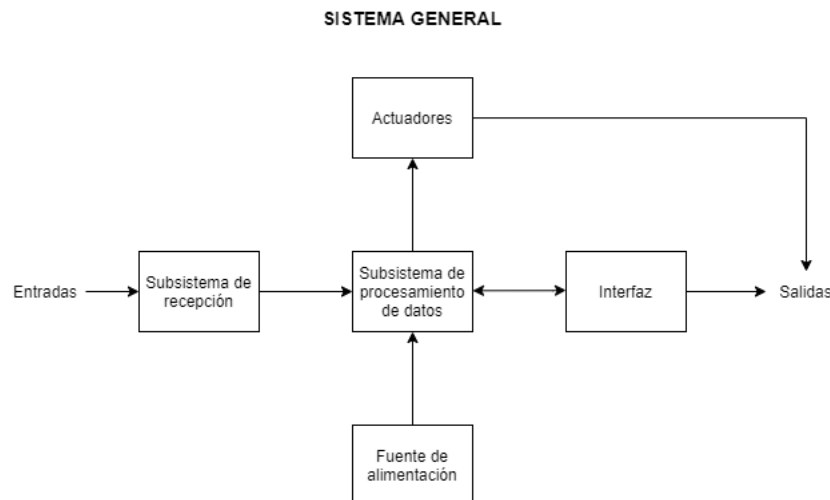


Figura 3.1: Diagrama del sistema general

3.1.1. Entradas

Las entradas del sistema son las variables de temperatura corporal de menor, y temperatura ambiente de la habitación del mismo. Ambas temperaturas serán captadas por el mismo sensor, teniendo en cuenta que el sensor no es invasivo para el pequeño.

3.1.2. Salidas

Las salidas del sistema son: el dato de temperatura corporal del menor, el sonido emitido por el reproductor MP3, el nivel de intensidad lumínica definido por el usuario, y la temperatura ambiental establecida por el usuario, mediante un indicador led.

Por otra parte, el usuario podrá visualizar la información de las variables medidas en las unidades de °C para la temperatura tanto corporal, como ambiental, además de recibir las alarmas correspondientes cuando un valor esté fuera de los rangos establecidos.

3.2. Subsistemas

Según los requerimientos del proyecto, es necesario seleccionar los dispositivos electrónicos que se adapten mejor al prototipo planteado con el fin de cumplir con las necesidades de uso para el usuario. En esta sección, se explica por qué se necesita cada dispositivo electrónico, teniendo en cuenta la metodología de diseño y de implementación planteadas para cumplir con los objetivos propuestos para el proyecto.

De esta manera, los criterios de selección que permiten definir los dispositivos que se usan en el desarrollo del proyecto son los parámetros costo, compatibilidad, tamaño y especificaciones técnicas de los elementos electrónicos. Estos tendrán un puntaje de 0 a 10, donde 0 significa que no cumple con los requerimientos, y 10 significa que si los cumple. Esta evaluación se encuentra más adelante.

Adicionalmente, cada criterio de selección tendrá un peso porcentual de acuerdo a su relevancia. Este peso porcentual será multiplicado por el puntaje asignado a cada criterio, y los resultados se observaran en la columna **TOTAL** para así, seleccionar los componentes que mejor se adaptan al sistema planteado.

A continuación, se detalla cada subsistema. En la figura 3.2, se representa cada subsistema con sus respectivos elementos que conforman al sistema.

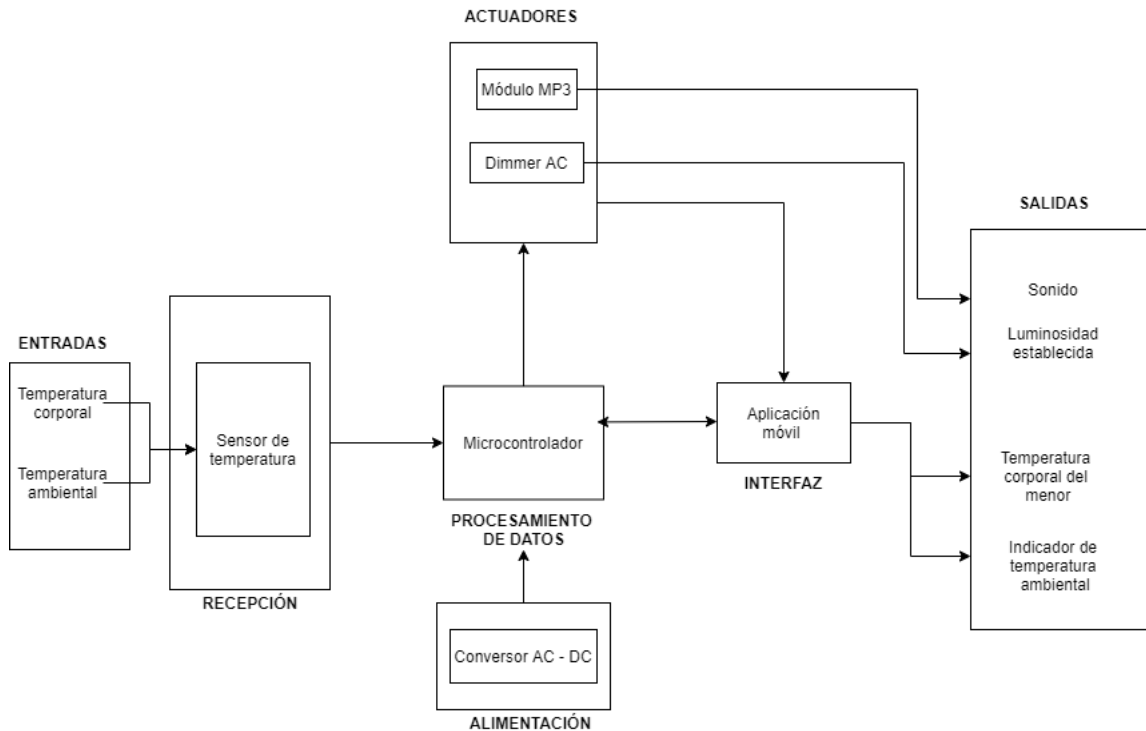


Figura 3.2: Diagrama de subsistemas

3.2.1. Recepción

Este subsistema se encarga de recibir las señales de entrada captadas por el sensor de temperatura.

Sensor de temperatura

Como se mencionó anteriormente, el sensor de temperatura debe ser capaz de medir la temperatura ambiental y la temperatura corporal, por tanto, se tienen dos alternativas que satisfacen esta condición.

Además, es necesario utilizar un sensor que permita captar la temperatura corporal del menor de una forma no invasiva, por ello, se plantean como alternativas sensores infrarrojos dado que estos captan la temperatura del objeto sin necesidad de contacto. Adicionalmente, cabe mencionar que se busca la mayor cercanía a la temperatura real del menor, por ende, la precisión del sensor juega un papel sumamente importante en la selección de este, así mismo, el costo también es uno de los factores que más influye en la selección, ya que se plantea un prototipo de bajo costo.

De esta manera, para seleccionar el sensor adecuado, se tuvieron en cuenta los criterios de selección que se observan en las tablas 3.1 y 3.2.

Alternativas y criterios de selección

Tabla 3.1: Criterios de selección para el sensor de temperatura.

Dispositivos		
Criterios	MLX90614	D6T8L06
Costo	38.000\$	46.827\$
Rango de medición de temperatura corporal	-70°C a 380°C	5°C a 50 °C
Rango de medición de temperatura ambiental	-40 a 85 °C	0°C a 50 °C
Precisión	±0.5°C	±1.5°C
Protocolo de comunicación	I2C	I2C
Disponibilidad	Si	Si

Tabla 3.2: Evaluación de criterios de selección para el sensor de temperatura.

Dispositivos			
Criterio	Peso global (%)	MLX90614	D6T8L06
Costo	20 %	9	8
Rango de medición temperatura corporal	15 %	10	10
Rango de medición temperatura ambiente	15 %	10	10
Precisión	20 %	8	6
Protocolo de comunicación	15 %	10	10
Disponibilidad	15 %	9	8
TOTAL	100 %	9.25	8.5

Justificación selección MLX90614

El sensor MLX90614 es un termómetro infrarrojo para mediciones de temperatura de un objeto sin contacto, midiendo la radiación infrarroja que este emite (ver 3.3). Este es utilizado para diversas aplicaciones, entre ellas, la medición de temperatura corporal. Adicionalmente, este sensor también capta la temperatura ambiental.

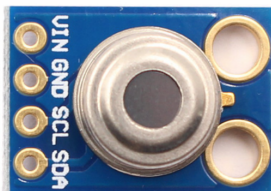


Figura 3.3: Sensor de temperatura MLX90614

Se elige este puesto que cuenta con una mayor precisión, en este caso, con un grado centígrado menor de diferencia comparando con el otro dispositivo, para la aplicación que se plantea en el proyecto, y además, es más económico que la otra alternativa. En cuanto a la disponibilidad, el tiempo de envío desde la compra del MLX90614 era menor y por ello se le asigna un mejor puntaje.

Adicionalmente, el protocolo de comunicación de ambos sensores es el mismo, por ende tienen la misma puntuación; y en lo que respecta al rango de medición, pese a que el MLX90614 cubre un mayor rango de medición, ambos tienen la capacidad de medir el rango necesario para el proyecto planteado.

A continuación, se explican en detalle el funcionamiento y algunas características del sensor MLX90614.

Este sensor está compuesto por una termopila infrarroja, la cual es simplemente un transductor electrónico que convierte la energía térmica en una señal eléctrica de la siguiente manera: la superficie de la termopila capta la radiación de un objeto que se calienta respecto a otro punto, y convierte esa diferencia de temperatura en voltaje eléctrico. Luego, este voltaje es procesado por un circuito integrado que posee el sensor.

El circuito integrado que posee el sensor, cuenta con la capacidad para amplificar, digitalizar la señal y calcular la temperatura de un objeto a distancia. El conjunto incluye un amplificador de bajo ruido, un convertor ADC de 17 bits y un procesador digital de señal (DPS)

En la figura 3.4 se puede observar el diagrama de bloques del interior del sensor, donde la termopila es la referencia “81101” y el circuito integrado, la referencia “90302”.

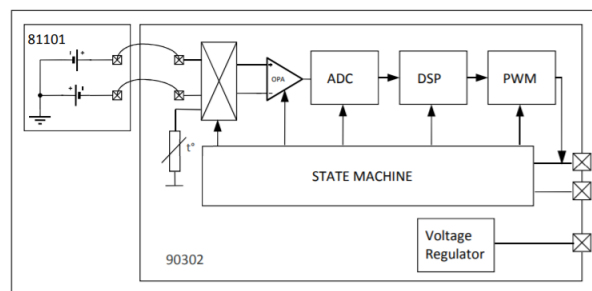


Figura 3.4: Diagrama interior del sensor de temperatura MLX90614

La comunicación del sensor con el microcontrolador se realiza a través de SMBus, que es un subconjunto de bus I2C. Esta comunicación se establece mediante el pin SDA (Serial DATA) que se usa para enviar o recibir datos, y el pin SCL (Serial CLOCK) se usa para la sincronización de reloj entre el sensor y el microcontrolador. La alimentación se realiza mediante el pin VIN a 3.3V, o 5V gracias al regulador de voltaje que tiene incorporado, y el pin

GND se conecta a tierra o 0V.

Por otra parte, el MLX90614 viene con una calibración de fábrica en el siguiente rango de temperaturas: -40 a 85 °C para la temperatura ambiente y -70 a 382 °C para la temperatura de objetos. La precisión depende principalmente del rango de temperatura. Entre 0 °C y 50 °C de temperatura ambiente y 0 °C y 60 °C de temperatura objetivo, el margen de precisión es de $\pm 0,5$ °C y aumenta progresivamente hasta llegar a los ± 4 °C en condiciones extremas, es decir, temperaturas muy altas, o muy bajas.

La precisión también se ve afectada por el campo de visión (FOV) del sensor, que para la versión MLX90614BAA es de 90° según su datasheet. En este ángulo de visión el sensor capta el mayor porcentaje de la radiación térmica emitida por un objeto.

Al tener un FOV de 90°, quiere decir que por cada centímetro que se aleje un objeto del sensor, el área de visión aumenta 2cm.

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura

- **Tamaño sensor:** 16 mm (Largo) x 13 mm (Ancho) x 5 mm (Alto).
- **Resolución de medición:** 0.02°C.
- **Voltaje de operación:** 3V a 5V.
- **Corriente de operación:** Encendido: Max 2 mA, Bajo consumo: Max 0.5 μ A.
- **Rango de temperatura objeto:** -70°C hasta +380°C .
- **Rango de temperatura ambiente:** -40°C hasta +125°C .
- **Precisión:** ± 0.5 °C.
- **Protocolo de comunicación:** SMBUS (I2C).

Calibración sensor de temperatura

Al realizar las mediciones de temperatura, se debe tener en cuenta la emisividad, en este caso, la de la piel humana, cuyo valor es de 0.98 aproximadamente. El sensor de temperatura utilizado viene calibrado con una emisividad de 1, por ello, es necesario realizar la calibración de este.

Para realizar la calibración, se hace uso de la cámara infrarroja T420 (ver figura 3.5), la cual se encuentra en el laboratorio de ingeniería electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, y los valores tomados por esta se pueden asumir como valores reales al compararlos con los medidos por el sensor. Además, el parámetro de emisividad en esta cámara es configurable, por lo que se establece en 0.98 (ver figura 3.6).



Figura 3.5: Cámara infrarroja



Figura 3.6: Configuración de emisividad de la cámara infrarroja

Las mediciones se realizaron en el laboratorio de química de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, donde se tomaron trece muestras de agua destilada y se registraron mediciones a diferentes temperaturas con la cámara infrarroja y el sensor de temperatura, al mismo tiempo y apuntando al mismo punto. Estas variaciones se tomaron entre los 30°C y los 42°C.



Figura 3.7: Toma de muestras con la cámara infrarroja y el sensor

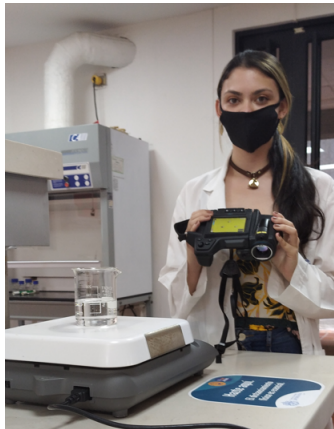


Figura 3.8: Toma de muestras con la cámara infrarroja y el sensor

Con los datos obtenidos de la temperatura entre la cámara térmica y el sensor infrarrojo, se realizó la calibración utilizando el siguiente método.

Obtención del error y ajuste polinomial

- **Teoría del error:** El error absoluto se puede definir como la diferencia entre los valores considerador como reales y los valores aproximados, o la diferencia entre los valores medios y extremos. El error relativo se define como la relación entre el error absoluto y el error aproximado.

El error absoluto de una diferencia de términos correlacionados es igual a la diferencia de los errores absolutos de los términos. El error relativo, es la razón entre el error absoluto y el valor aproximado. Cada medida y cada valor numérico dado sólo es válido dentro de ciertos límites o tolerancias, por tanto, los resultados calculados no pueden ser más precisos que la exactitud de los datos utilizados. [32]

Para la obtención del error relativo entre las temperaturas medidas por la cámara y las medidas por el sensor, respectivamente, aplica la ecuación (3.1) para cada una de las trece muestras:

$$\frac{(T_r - T_s)}{T_s} = \frac{T_r}{T_s} - 1 \quad (3.1)$$

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 3.3

Tabla 3.3: Evaluación de criterios de selección para el sensor de temperatura.

N° de muestra	Temperatura de referencia (Tr) en °C	Temperatura del sensor (Ts) en °C	Error relativo
1	44	43.6	0.009174
2	43	41.8	0.028708
3	41.5	39.8	0.0453
4	39.8	38.6	0.031088
5	38.2	36.8	0.038043
6	37.4	35.8	0.044693
7	36.4	34.9	0.04298
8	35.2	33.1	0.063444
9	34.4	32.3	0.065015
10	33.2	30.4	0.092105
11	32.1	30.2	0.062914
12	31.2	29.4	0.061224
13	29.9	28.1	0.064057

- **Ajuste de curva:** Ahora, se busca obtener una función aproximada que ajuste “adecuadamente” el comportamiento de los valores obtenidos. Una forma de lograrlo, es obteniendo una curva que minimice la diferencia entre dichos datos, este procedimiento, se conoce como regresión con mínimos cuadrados.

El objetivo de este método, como se mencionó anteriormente, es encontrar una función que mejor se ajuste a los datos, es decir, una función cuya representación gráfica sea una curva que se acerque de la mejor manera a los datos dados.

De esta manera, al aplicar el método se obtiene una curva suave de primer grado, descrita de la siguiente manera (3.2):

$$y = 0,9117x + 4,7461 \quad (3.2)$$

Esta obtención se realiza con ayuda del programa Excel, y se puede apreciar en la gráfica de la figura 3.9

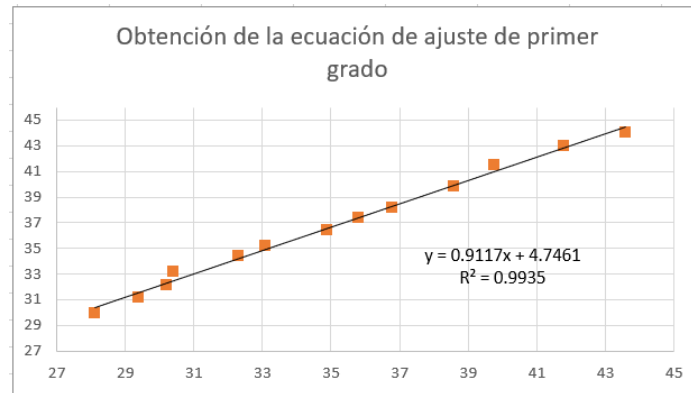


Figura 3.9: Curva de ajuste con ecuación de primer grado.

Sin embargo, se realizó otra gráfica, pero haciendo que el valor del intercepto con el eje y fuera cero, para determinar si existe un mejor ajuste entre el modelo y los datos. El resultado obtenido fue la ecuación (3.3)

$$y = 1,0449x \quad (3.3)$$

Esta obtención también se realiza con ayuda del programa Excel, y se puede apreciar en la gráfica de la figura 3.10

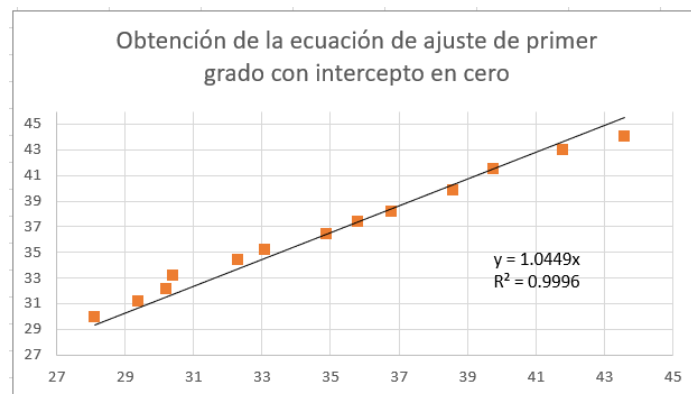


Figura 3.10: Curva de ajuste con ecuación de primer grado con intercepto en $y = 0$.

Adicionalmente, es posible obtener el valor del coeficiente de determinación o R^2 . Este es un indicador estadístico en un modelo de regresión que determina la proporción de varianza en la variable dependiente que puede explicarse por la variable independiente. En otras palabras, el valor de R^2 determina que tan bien se ajustan los datos al modelo. La interpretación más común del coeficiente de determinación es qué tan bien se ajusta el modelo de regresión a los datos observados, por lo que un coeficiente más alto, indica un mejor ajuste para el modelo. Cabe resaltar que los valores de este, varían entre 0 y 1.

Como es posible observar en las figuras 3.9 y 3.10 el valor del coeficiente de determinación obtenido fue 0.9935 y 0.9996 respectivamente, por lo que se elige el modelo de la ecuación (3.3) para la calibración.

■ Implementación del método

Finalmente, con la ecuación (3.3) obtenida anteriormente, se define en el código que la variable y será el valor de temperatura calibrado que se entregará al usuario, y la variable x será la temperatura leída por el sensor.

Diagrama de flujo para la medición de la temperatura corporal

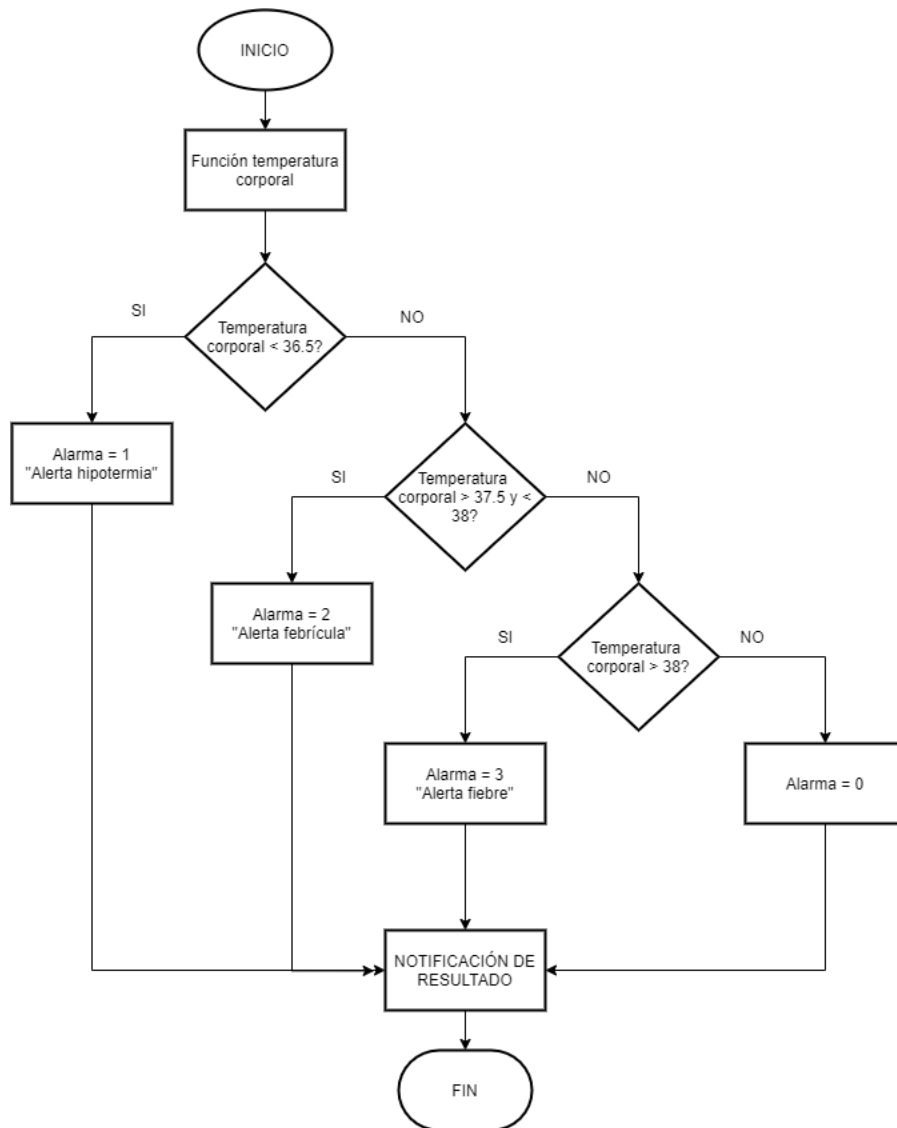


Figura 3.11: Diagrama de flujo para la medición de la temperatura corporal

En la figura 3.11 se muestra el funcionamiento básico del algoritmo para captar la temperatura corporal del menor. Aquí, se tiene entonces que el sensor capta la temperatura corporal y la envía al microcontrolador, este la compara primero con un valor de 36.5°C, así, si la temperatura corporal es menor, enviará la alarma 1 con una alerta por hipotermia, de lo contrario, sigue evaluando si esta se encuentra entre 37.5°C y 38°C. Si la temperatura está en este rango, se enviará la alarma 2 con una alerta por febrícula; si no, vuelve a evaluar la temperatura para saber si esta es mayor a 38°C, y si es así, envía la alarma tres con una alerta por fiebre.

Finalmente, cualquiera de las tres alarmas, serán recibidas en la interfaz de aplicación móvil de los cuidadores.

Diagrama de flujo para la medición de la temperatura ambiental

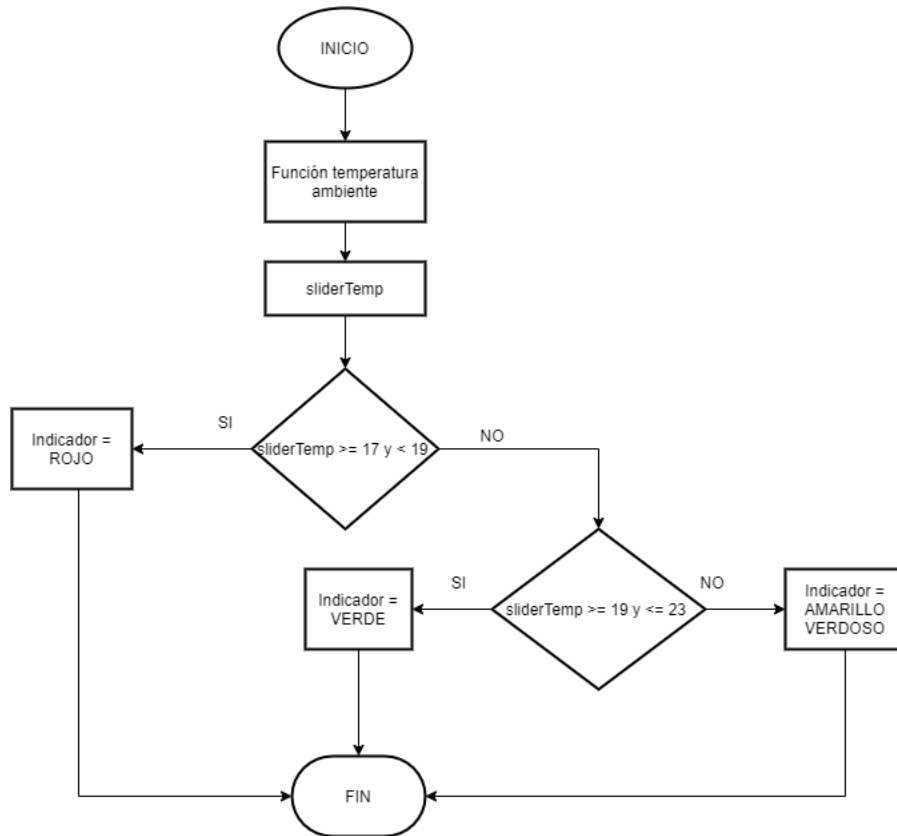


Figura 3.12: Diagrama de flujo para la medición de la temperatura ambiental

Cómo se mencionó anteriormente, se buscó la manera de representar fácilmente el control que ejercerían los cuidadores del menor sobre la temperatura ambiental, por ello, dicho control se simula mediante un indicador lumínico que varía su color dependiendo del rango de temperatura establecido por el usuario.

Tal como se menciona en el capítulo 3, la temperatura adecuada para la habitación del menor durante los primeros seis meses de vida debería oscilar al rededor de 22°C durante el día, y al rededor de 18°C durante la noche. De esta manera, se establecen dos rangos de temperatura: entre 17°C y 19°C; y, entre 20°C y 23°C. Así, se tiene entonces que cuando el cuidador ajuste la temperatura entre el primer rango de temperatura, el indicador lumínico tomará un color rojo; cuando el cuidador establezca una temperatura que se encuentre en el segundo rango, el indicador tomará un color verde, y, si no se establece ninguna temperatura

entre este rango, el indicador tomará un color amarillo verdoso.

Lo anterior, se refleja en el diagrama de flujo de la figura 3.12.

3.2.2. Actuadores

Módulo de reproducción MP3

Para la función de reproducir canciones estimulantes en el entorno donde está el pequeño, se requiere un módulo de reproducción MP3. Para la elección de dicho dispositivo, se tuvo en cuenta la opinión de uno de los docentes de planta de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, pues él cuenta con la experiencia en el manejo e integración de estos dispositivos.

El dispositivo que se seleccionó fue el módulo DY-SV8F (Ver figura 3.13) el cual es una tarjeta reproductora de audio y voz, el cual es compatible con formatos de decodificación MP3 y WAV, cuenta con almacenamiento flash integrado de 8 M, se puede conectar a un ordenador a través de un cable USB para actualizar los archivos de audio. Adicionalmente, cuenta con un amplificador de audio, salida de altavoz, y configuraciones por medio de DIP switch.

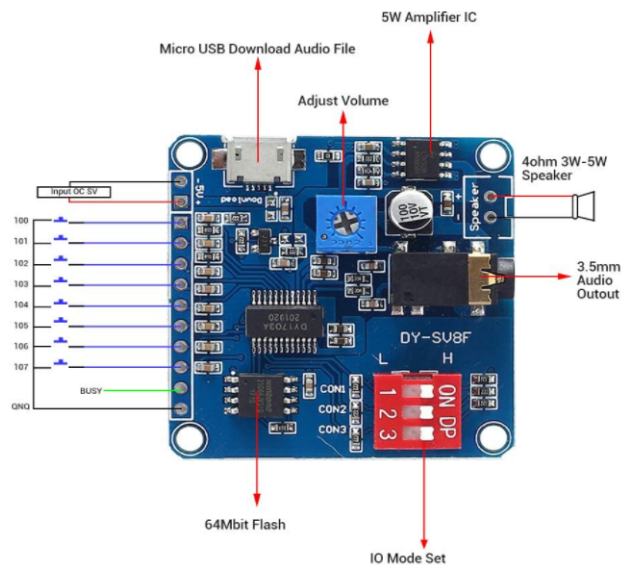


Figura 3.13: Módulo MP3 DY-SV8F

La conexión al microcontrolador se realiza por medio de los pines IO, donde cada pin representa un archivo de audio, es decir, se podrán reproducir ocho canciones. Adicionalmente, se conectan los pines de VCC y GND.

La configuración del módulo, se estableció a partir del DIP switch, el cual cuenta con tres pines: CON1, CON2 y CON3, es decir, tiene siete posibles configuraciones. La configuración seleccionada se muestra en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Configuración de DIP switch para el módulo DY-SVF8

Work Mode Configuration											
Control Mode	Configuration Pin			I/O Function							
	CON1	CON2	CON3	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0
I/O Independent Mode 1	1	1	0	Song8	Song7	Song6	Song5	Song4	Song3	Song2	Song1

La configuración de pines seleccionada, controla las ocho canciones de manera independiente, y una vez seleccionada una canción, la reproduce repetidamente. En la tabla 3.5 se puede apreciar de manera más clara la configuración.

Tabla 3.5: Configuración modo de reproducción para el módulo DY-SVF8

I/O Independent Mode 1 (Level independent controlling)								
IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	Song
1	1	1	1	1	1	1	0	00001.mp3
1	1	1	1	1	1	0	1	00002.mp3
1	1	1	1	1	0	1	1	00003.mp3
1	1	1	1	0	1	1	1	00004.mp3
1	1	1	0	1	1	1	1	00005.mp3
1	1	0	1	1	1	1	1	00006.mp3
1	0	1	1	1	1	1	1	00007.mp3
0	1	1	1	1	1	1	1	00008.mp3

Ahora bien, las canciones que se seleccionaron, teniendo en cuenta las bases teóricas encontradas y mencionadas en el capítulo 3, fueron las siguientes:

- Canción 1: Arrurú. [44]
- Canción 2: Efecto MOZART para dormir y relajarse. [45]
- Canción 3: Caminando Va. [46]
- Canción 4: Canción del bebé. [47]
- Canción 5: Mozart-Sonata dos pianos k488. [48]
- Canción 6: Mozart-Sonata de piano No 16 en C Mayor K545 1st. [49]
- Canción 7: Sonidos de animales para tu bebé. [50]
- Canción 8: Sonidos de la naturaleza para tu bebé. [51]

Sin embargo, el usuario, puede cambiar las canciones a través de un cable USB, teniendo en cuenta el formato MP3.

Especificaciones técnicas del módulo de sonido

- **Voltaje de alimentación:** 5 VDC.
- **Rango de temperatura de trabajo:**- 20°C a 85°C.
- **Rango de humedad de trabajo:** 0 % a 95 %.
- **Tamaño del dispositivo:** 35 mm (largo) x 40 mm (Ancho).

Diagramas de flujo para la reproducción de sonidos estimulantes

Para cumplir con la funcionalidad de reproducción de sonido, fueron necesarios todos los algoritmos que se observan en las figuras 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17.

El primero (3.14), es la función “STOP”, está simplemente pone las ocho variables: *cancion1*, *cancion2*, *cancion3*, *cancion4*, *cancion5*, *cancion6*, *cancion7* y *cancion8*, en un estado de “HIGH”, lo que quiere decir que ninguna se estará reproduciendo. Cabe mencionar, que el módulo funciona con lógica invertida, en donde el estado “LOW” es el que permite reproducir los sonidos.

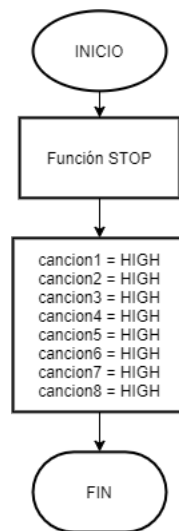


Figura 3.14: Diagrama del algoritmo la función STOP

El segundo (3.15), es la función sonido, en la cual se hace el llamado de la función STOP para evitar bucles cuando se quiera reproducir alguna canción y se este escuchando otra. Esta función utiliza un *switch* el cual le permite a la variable canción tomar valores entre 1 y 8, para representar cada una de las 8 canciones. Finalmente, el microprocesador, evalúa mediante condicionales el valor que toma el *switch* para así establecer el nivel “LOW” en dicha canción y lograr su reproducción.

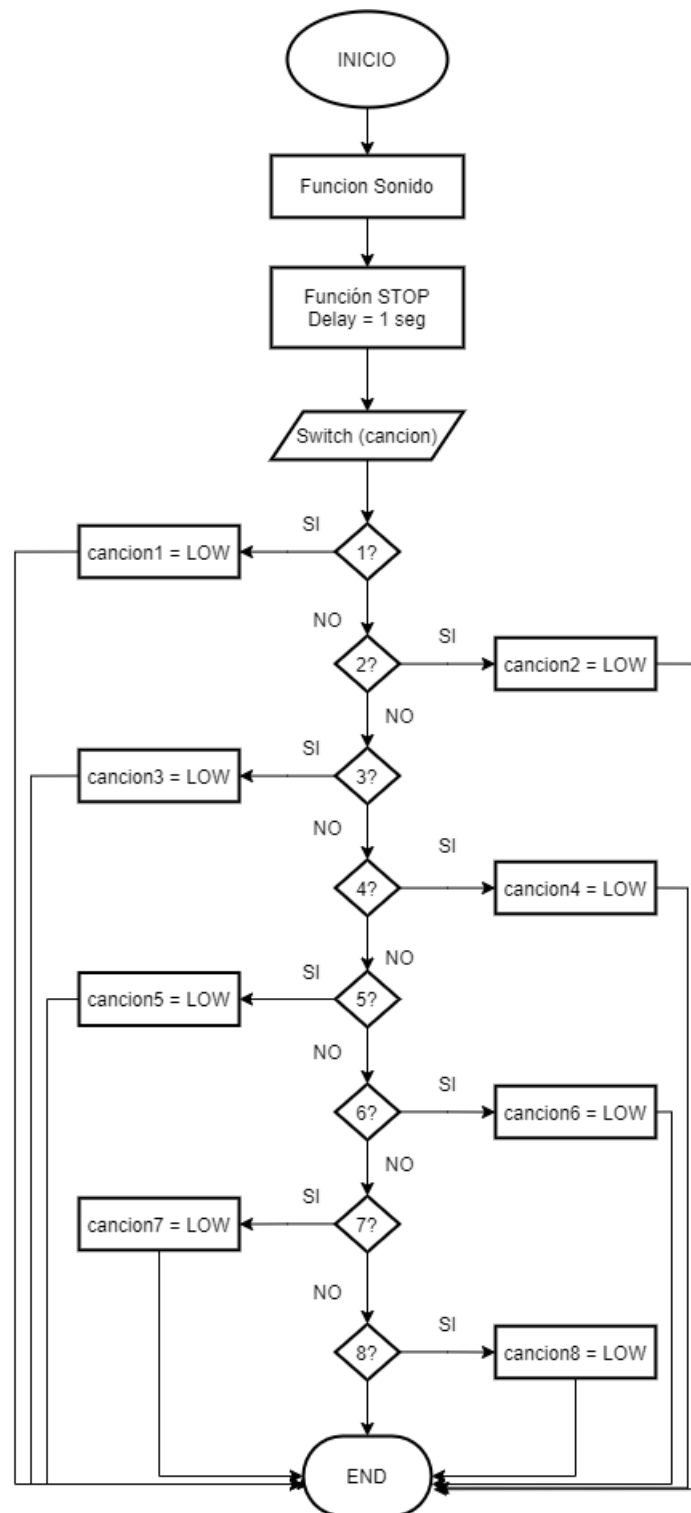


Figura 3.15: Diagrama del algoritmo la función sonido

El tercero (3.16), es el selector de canciones. Esta selección se realiza a través de una va-

riable llamada *rep*, la cual puede tomar valores entre 1 y 8, y está enlazada a un pin virtual de la interfaz de la aplicación para que así el usuario pueda seleccionar la canción que desee reproducir.

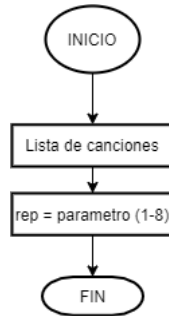


Figura 3.16: Diagrama del algoritmo para la lista de reproducción

El cuarto algoritmo (3.17), está asociado también a la interfaz de la aplicación, y es el que hace posible el correcto funcionamiento del *widget* de reproducción MP3. Aquí, el microcontrolador evalúa mediante condicionales el estado que toma la variable acción, así, si la acción es igual a “play”, se hace un llamado a la función sonido y esta toma como parámetro el valor de la variable *rep*, para así reproducir la canción que el usuario eligió. Si la acción es igual a “stop”, se hace un llamado a la función STOP. Si la acción es igual a “next” primero, se evalúa si el parámetro *rep* toma como valor la canción final, es decir, la canción 8, si es así, la canción que se reproducirá será la primera, es decir, la canción 1, si no es así, simplemente se le sumará el valor de 1 al parámetro *rep* para que sea posible avanzar a la siguiente canción. Finalmente, si la acción es igual a “prev”, primero se evalúa si la variable *rep* tiene como parámetro la primera canción, es decir, la canción 1, si este es el caso, la canción que se reproducirá, será la canción 8, de lo contrario, simplemente, se le restará 1 al parámetro *rep* para lograr reproducir la canción anterior.

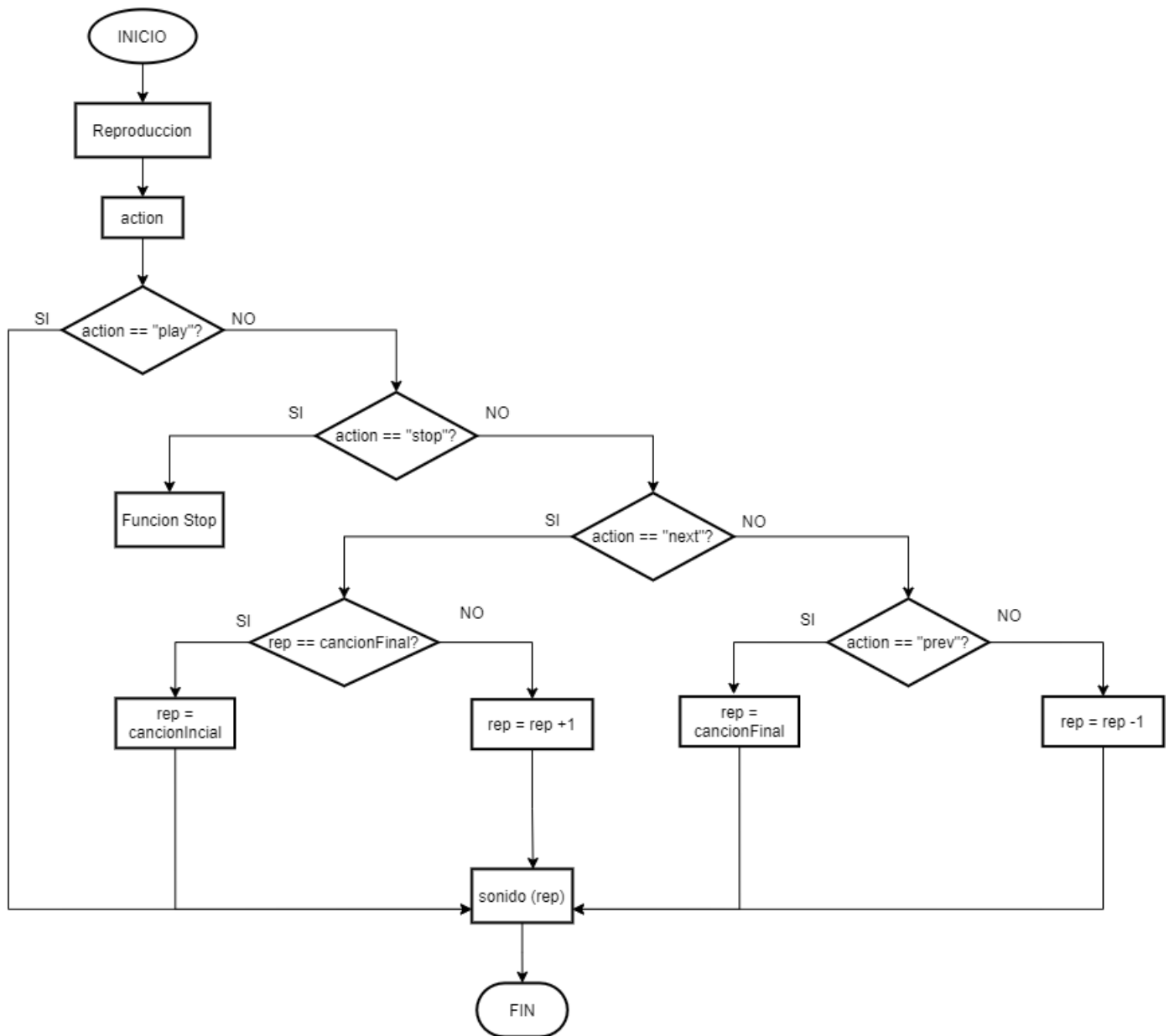


Figura 3.17: Diagrama del algoritmo para el *widget* de reproducción MP3

Dimmer AC

Para el control de intensidad lumínica de la habitación del menor, también se tuvo en cuenta la asesoría del docente, igual que en el actuador anterior. Para este caso, se seleccionó un módulo regulador de luz, fabricado por Krida Electronics. Este ofrece un control de nivel de atenuación a través de una señal PWM (Pulse Width Modulation) y está diseñado para controlar la intensidad de las lámparas incandescentes, bombillas LED de intensidad regulable y tiras de LED. (Ver figura 3.18)

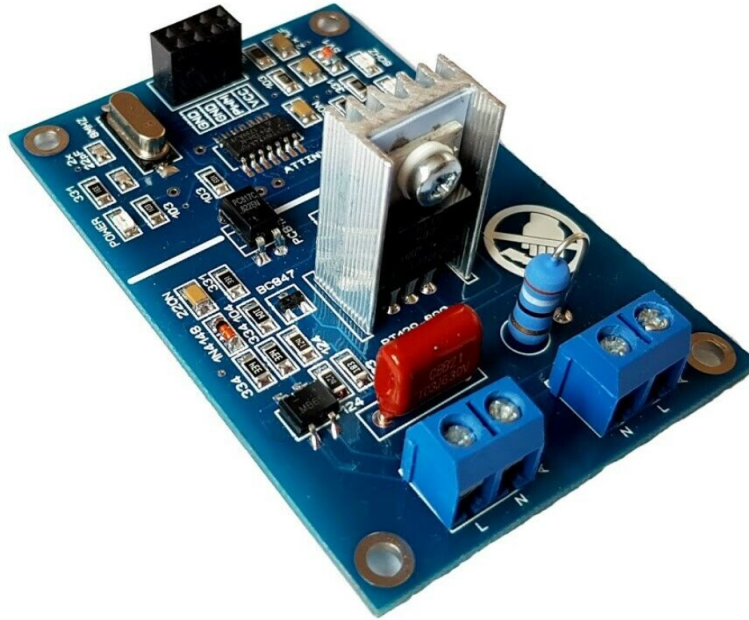


Figura 3.18: Dimmer AC

El módulo cuenta únicamente con tres pines para realizar la conexión al microcontrolador: VCC, GND y PWM. La configuración de PWM para el ESP 32 se realiza de la siguiente manera. Primero, se elige un canal PWM, existen 16 canales diferentes en el microcontrolador. Luego, se debe configurar la frecuencia de la señal PWM, en este caso, para una bombilla LED, está bien definir una frecuencia de 5 hertz.

También, se debe configurar la resolución del ciclo de trabajo (duty cycle) de la señal: tiene resoluciones de 1 a 16 bits, así que se usará una resolución de 8 bits, lo que significa que se puede controlar el brillo de la bombilla usando un valor de 0 a 255. Posterior a ello, se debe especificar en cuál GPIO aparecerá la señal. Esto se realiza mediante una función que recibe dos argumentos, el primero es el GPIO que generará la señal, y el segundo es el canal que la generará.

Finalmente, para controlar el brillo de la bombilla usando PWM, se utiliza otra función que recibe como argumentos el canal que generará la señal y el ciclo de trabajo.

Especificaciones del Dimmer AC

- **Voltaje de alimentación:** 80 a 240 VAC.
- **Corriente:** 3 A.
- **Tamaño del dispositivo:** 75 mm (Largo) x 50 mm (Ancho).

Diagrama de flujo para la variación de la intensidad lumínica

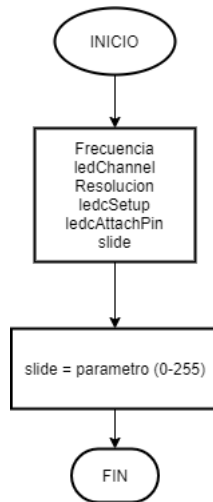


Figura 3.19: Diagrama de flujo para la variación de la intensidad lumínica

En la figura 3.19, es posible observar que para cumplir con esta funcionalidad, el algoritmo no es tan complejo. Simplemente, se utilizan las variables mostradas en el diagrama las cuales son útiles para realizar el procedimiento explicado anteriormente, y el encargado de permitir que el usuario establezca el nivel de intensidad lumínica deseado es el *slider*, el cual puede tomar valores entre 0 y 255 y está conectado a un pin virtual de la interfaz de la aplicación para cumplir dicho propósito.

3.2.3. Procesamiento de datos

Esta etapa se lleva a cabo a través de un microcontrolador, el cual es un circuito integrado programable que incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida. Este dispositivo es capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria.

El microcontrolador se comunica mediante distintos protocolos como SPI, I2C o PWM, aplicando las diferentes librerías y algoritmos creados. Además, se encargará de procesar los datos que envía cada sensor, siendo este el que da la orden de cuando recibirlos y guardarlos en la memoria, de una forma que puedan ser entendidos por el usuario.

Para seleccionar el microcontrolador que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto, se tiene en cuenta los siguientes criterios, que se evalúan en la tabla 3.7.

Tabla 3.6: Criterios de selección microcontrolador.

Dispositivos				
Criterios	Arduino nano	ESP32	ESP8266	STM32
Costo	27.410\$	28.000\$	20.000\$	22.000\$
Número de puertos	30	38	28	45
Memoria Flash	32 KB	4 MB		520 KB
Comunicación inalámbrica	No	Si	Si	No
Documentación	Excelente	Excelente	Excelente	Regular

Tabla 3.7: Criterios de selección microcontrolador.

Dispositivos					
Criterio	Peso global (%)	Arduino nano	ESP32	ESP8266	STM32
Costo	25 %	8	8	10	9
Número de puertos	25 %	7	9	7	10
Memoria Flash	10 %	6	10	7	7
Comunicación inalámbrica	20 %	6	10	10	6
Documentación	20 %	10	10	10	7
TOTAL	100 %	7.55	9.25	8.95	8.05

Justificación de selección ESP32

Este dispositivo cuenta con un buen número de puertos I/O, en este caso 24, teniendo en cuenta que se requieren 13 y que si más adelante se quieren añadir funcionalidades habrán puertos disponibles para ello, los cuales son necesarios para conectar los dispositivos que se necesitan. Además, tiene una gran capacidad de memoria, lo cual es fundamental para que el dispositivo pueda cumplir con todas las funciones que se requieren.

Hay que tener en cuenta, que aunque los demás dispositivos son más económicos, presenta distintas mejoras frente a los otros dispositivos. Primero, es una versión mejorada del ESP8266, el cual también es una buena alternativa para el diseño pero no cuenta con suficientes puertos. Adicionalmente, a pesar de que el STM32 cumple con un número de puertos amplio, este dispositivo no cuenta con una documentación extensa y es necesario usar un emulador para su programación, lo que resulta menos práctico. Así, programar el ESP32 es

un poco más sencillo dado que este usa la GUI de Arduino, y de esta plataforma se tiene mayor experiencia y conocimiento.

En otro sentido, este dispositivo cumple con el criterio de comunicación inalámbrica, ya que el ESP32 cuenta con comunicación WiFi y bluetooth. Por lo que, a diferencia del Arduino Nano y el STM32, no es necesario un módulo RF extra.

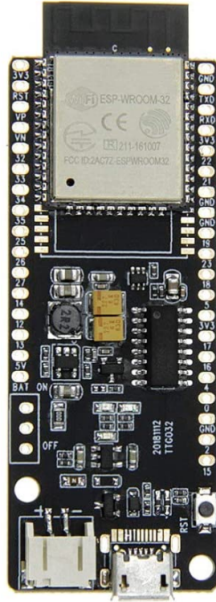


Figura 3.20: Microcontrolador ESP32

Especificaciones microcontrolador ESP32

- **Tamaño:** 18 mm x 31.4 mm x 3.3 mm
- **Memoria Flash:** 4 Mbytes
- **Memoria PSRAM:** 8 Mbytes
- **Interfaces:** SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two. wire Automotive Interface (TWAI), compatible with ISO 11898-1 (CAN Specification 2.0).
- **Voltaje de alimentación:** 3.3V.
- **Numero de Puertos I/O:** 38 pines.
- **Temperatura de operación:** -40 a +85°C
- **Lenguaje de programación:** Arduino

- **Comunicación Wifi:** 802.11 b/g/n (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
- **Comunicación Bluetooth:** v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE) Specification

Implementación del ESP32

La definición de pines, para comunicar el microcontrolador con los sensores y los módulos, se encuentra en la tabla 3.8. El sensor de temperatura se comunica mediante el protocolo I2C, usando librerías `wire.h` y `Adafruit_MLX90614.h`. Estas se encargan de identificar el sensor, y leer el registro de temperatura corporal y temperatura ambiente que se encuentran en la memoria interna del MLX90614.

Adicionalmente, el módulo de sonido necesita ocho pines GPIO para asignar cada una de las canciones a un único pin. En cuanto al dimmer AC, éste únicamente requiere un PIN para el puerto de PWM. A su vez, ni el módulo de sonido, ni el dimmer necesitan que se importe alguna librería.

Todos los módulos requieren conectarse a los puertos de VCC y GND.

Tabla 3.8: Conexión de pines entre dispositivos y microcontrolador

Dispositivo	Nombre del PIN	Pin ESP 32
Sensor MLX90614	SDA	21
	SCL	22
Módulo DY-SV8F	IO0	13
	IO1	12
	IO2	14
	IO3	26
	IO4	25
	IO5	33
	IO6	32
	IO7	4
LED RGB	RED	15
	GREEN	0
Dimmer AC	PWM	5

Boceto de conexiones

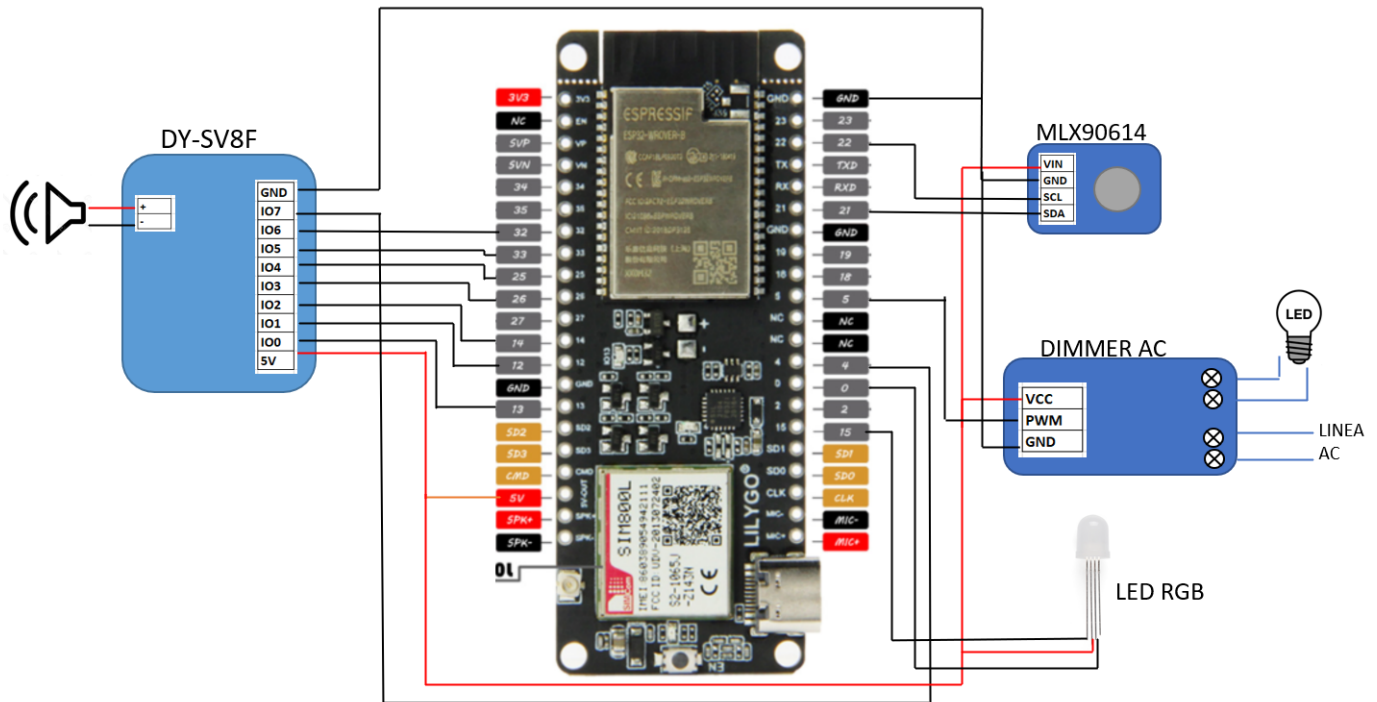


Figura 3.21: Boceto de conexiones de los módulos y el microcontrolador

3.2.4. Interfaz

[52]

Esta etapa permite al usuario obtener los datos medidos de la temperatura corporal y ambiental, y así mismo manipular los actuadores.

Como se mencionó anteriormente, en este caso la interfaz será un prototipo de aplicación desarrollado en la plataforma Blyn, para un dispositivo Android. Para ello, se realizó el siguiente procedimiento.

Inicio

Lo primero que se hizo fue crear una cuenta de Blynk utilizando Blynk.App para Android y elegir el modo “Desarrollador”.

Ahora, la aplicación crea automáticamente una plantilla de inicio rápido y genera un boceto con todos los parámetros necesarios, esta plantilla, no es más que un conjunto de configuraciones que se muestran en la figura (3.22)

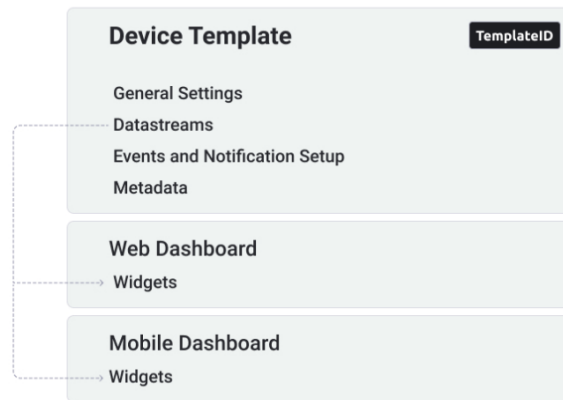


Figura 3.22: Elementos de la plantilla del dispositivo

El elemento más importante de la plantilla es “TemplateID” dado que este es un identificador único de cada plantilla que debe especificarse en el código del dispositivo. Adicionalmente, durante este proceso, la aplicación configura automáticamente cuatro canales de datos, pero a medida que se construya la aplicación, estos los debe construir el desarrollador. Una vez definidos, los flujos de datos se utilizan mucho en aplicaciones móviles y paneles web al visualizar los datos en los *widgets*.

Los *widgets*, son diseños de interfaz de usuario y son parte de la plantilla de dispositivo. Cuando se actualice el diseño en la plantilla, la interfaz de usuario se actualizará para cada dispositivo.

Ahora, el código que se utiliza para conectarse y comunicarse con Blynk, dependerá del hardware y del método de conexión que se utilice, en este caso, la placa ESP32 y WiFi, respectivamente. Al comienzo, se define el parámetro “AuthToken”, el cual es un identificador único generado por Blynk.Cloud. Todos los dispositivos deben tenerlo. Este se copia y se pega en el código. Después de ello, se incluyen las librerías WiFi.h, WiFiClient.h y Blynk-SimpleEPS32.h. Después, se definen las credenciales de la red WiFi a la que se conectará el dispositivo, estas son: `ssid` y `pass`, para el nombre de la red y la contraseña, respectivamente. Finalmente, se declara la función `Blynk.run()`, que es la que mantiene la conexión con Blynk.Cloud, sincroniza los datos, entre otras.

Dispositivos de control GPIO

Blynk puede controlar los pines de entrada y salida digitales y analógicos en el hardware directamente.

La plataforma cuenta con pines virtuales para intercambiar cualquier dato entre esta y el hardware, con esto, se puede enviar una señal desde la aplicación, procesarla en el microcontrolador y luego enviarla de vuelta al teléfono móvil. A través de estos pines virtuales, es posible activar funciones, leer dispositivos I2C, convertir valores, etc. Adicionalmente, los pines virtuales pueden utilizarse para interactuar con bibliotecas externas e implementar funciones personalizadas.

El hardware puede enviar datos a los widgets a través de los pines virtuales de la siguiente manera:

```
1 Blynk . virtualWrite ( pin , "abc" );
2 Blynk . virtualWrite ( pin , 123 ); Blynk . virtualWrite ( pin , 12,34 );
3 Blynk . virtualWrite ( pin , "hola" , 123 , 12.34 );
```

Figura 3.23: Ejemplo de configuración de un pin virtual

Es importante aclarar que los pines virtuales son realmente solo una forma de enviar mensajes desde la aplicación al código que se está ejecutando. No existe una correlación entre los pines virtuales y ninguno de los pines GPIO físicos del hardware. Si se requiere que un pin virtual cambie el estado de uno de los pines físicos, esto debe escribirse en el código.

Adicionalmente, existe una función especial, que es la función **BLYNKWRITE**, esta se activa automáticamente cada vez que el servidor le dice al dispositivo que el valor de su pin virtual ha cambiado. este cambio normalmente ocurre cuando se presiona un botón de un widget en la aplicación.

Por otra parte, para obtener los valores de un pin virtual, el servidor envía al hardware el valor actual del pin virtual como un parámetro, y esto se puede obtener desde la función **BLYNKWRITE(vPin)** así:

```
1 int virtual_pin_value = param . asInt ();
```

Figura 3.24: Obtención de datos de un pin virtual

En la figura 3.24, lo que se hace, es que se le dice al código que obtenga el valor del pin virtual y lo almacene en la variable “virtualpinvalue”. Luego, ese valor se utiliza para realizar diferentes acciones en un widget.

Notificaciones

Blynk ofrece una forma muy flexible de enviar notificaciones. Los usuarios pueden especificar quien recibe las notificaciones, qué eventos las activarán y que canales se debe utilizar.

Configuraciones y *widgets* implementados

Los *widgets* son piezas prediseñadas de interfaz gráfica de usuario. Cada *widget* realiza una función de entrada/salida específica cuando se comunica con el hardware o el usuario final.

Actualmente, Blynk ofrece tres canales para enviar notificaciones: correo electrónico, notificaciones push, y SMS.

La opción que se seleccionó en este caso fue las notificaciones push, estas, son un mensaje que aparece en el dispositivo móvil y los usuarios no deben estar en la aplicación para recibirla.

A continuación, se detallará que *widgets* se utilizaron para realizar el prototipo de la aplicación:

- **Temperatura corporal y ambiental** Para la visualización de los datos de temperatura ambiental y corporal se utilizó el *widget* “Value Display”, el cual tiene como funcionalidad mostrar los datos entrantes de los sensores o pines virtuales asociados a este. Cada mensaje que el hardware envía al servidor, se almacena automáticamente. En el prototipo la temperatura corporal está asociada al pin virtual **V4** y la temperatura ambiental al pin virtual **V5**, y se muestran de la siguiente manera:



Figura 3.25: Visualización de temperatura corporal y temperatura ambiental en la aplicación.

- **Reproducción de sonido** Para la reproducción de sonido se tuvieron en cuenta dos *widgets*. El primero es “Menu”, el cual se utilizó para que el usuario elija la canción que desea reproducir. este le permite enviar comandos al hardware según la elección que el usuario realiza enviando el índice del elemento que seleccionó. El pin virtual asociado a este *widget* es **V1**.

El segundo *widget* es “Music Player”. Este es un elemento de interfaz de usuario simple con tres botones, que simula la interfaz del reproductor de música. Cada botón envía su propio comando para el hardware: play, stop, prev, next. El pin virtual asociado a este *widget* es el **V3**.

Lo anterior, esta representado en la aplicación de la siguiente manera:

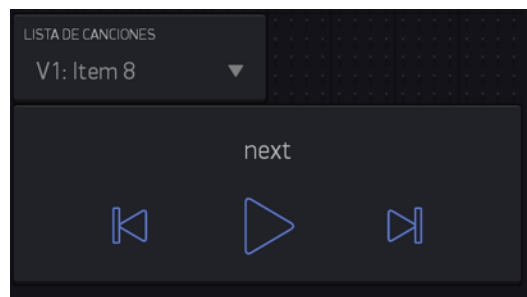


Figura 3.26: Visualización de la lista de reproducción y el reproductor MP3 en la aplicación.

- **Intensidad lumínica** Para regular el nivel de intensidad lumínica se utiliza el *widget* “Slider”, el cual funciona similar a un potenciómetro y permite enviar valores entre un mínimo y un máximo. El pin virtual asociado a este es **V2** y se visualiza así:

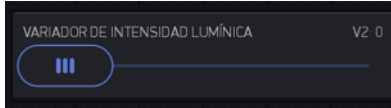


Figura 3.27: Visualización del *slider* para variar la intensidad lumínica en la aplicación.

- **Variación de la temperatura ambiental** Para establecer la temperatura deseada, también se utiliza el *widget* “Slider” mencionado en el ítem anterior. el pin virtual asociado a este es **V6** y se visualiza así:

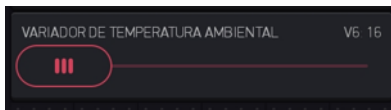


Figura 3.28: Visualización del *slider* para variar la temperatura ambiental en la aplicación.

3.2.5. Alimentación

Teniendo en cuenta que es necesario tomar regularmente los datos de temperatura corporal del menor y la temperatura de su habitación, se requiere que el sistema esté en constante funcionamiento, además, debe cumplir con los requerimiento propuestos, por lo que se plantea el uso de una fuente constante de energía. Considerando el contexto de uso del sistema, y que el dimmer requiere una alimentación AC, se platea que a través de esta se alimente todo el dispositivo, y luego, haciendo uso del principio de fuentes conmutadas, se haga una conversión AC/DC para alimentar el microcontrolador, y que este, alimente a los demás subsistemas.

Consumo del sistema

Para obtener el consumo total del sistema, se procede a sumar la cantidad de potencia que consume cada dispositivo electrónico que lo compone. Para encontrar el consumo de cada dispositivo (P) se multiplica el voltaje(V) de operación que para todos es 5V, por la corriente (mA) que consumen.

$$P(mW) = I(mA) * V \quad (3.4)$$

Tabla 3.9: Consumo de los dispositivos del sistema

Dispositivo	I (mA)	P (mW)
Dimmer AC	25.42	127.1
Sensor MLX	1.42	7.1
Módulo DY-SV8F	21.4	107
ESP32	100	500
Convertor AC/DC	150	750
TOTAL		1491.2

Se tiene entonces que la potencia consumida por el dispositivo será de aproximadamente 1.4 W. Ahora, si se requiere calcular la energía, es necesario saber cuántas horas al día estará activo el dispositivo, para así multiplicar la potencia por este valor y calcular el consumo energético del sistema.

Conversión AC-DC

Las fuentes de poder de corriente directa se clasifican en 3 tipos: fuentes de modo de conmutación, resonantes y bidireccionales.

Las fuentes conmutadas tienen una gran relevancia debido a su alta demanda en distintos dispositivos tecnológicos, esto permite que exista una evolución hacia fuentes conmutadas muy eficientes. El termino conmutado se debe al uso de diodos para el proceso de rectificación, esto junto con una técnica PWM le permiten al inversor operar a muy altas frecuencias, permitiendo la eliminación de componentes ondulatorios en la salida mediante filtros. [54]

Especificaciones técnicas del adaptador HN-5258

- **Tamaño:** 6.5 cm (Largo) x 6 cm (Ancho)
- **Voltaje de entrada:** 100 VAC - 240 VAC (50 Hz/60 HZ).
- **Voltaje de salida:** 5 VDC.
- **Corriente de salida máxima:** 3000 mA.
- **Potencia máxima:** 15 W.
- **Temperatura de operación:** -20°C hasta 60°C.
- **Conector de salida:** Micro- USB.
- Interruptor ON/OFF.

3.3. Diagrama sistema general con componentes

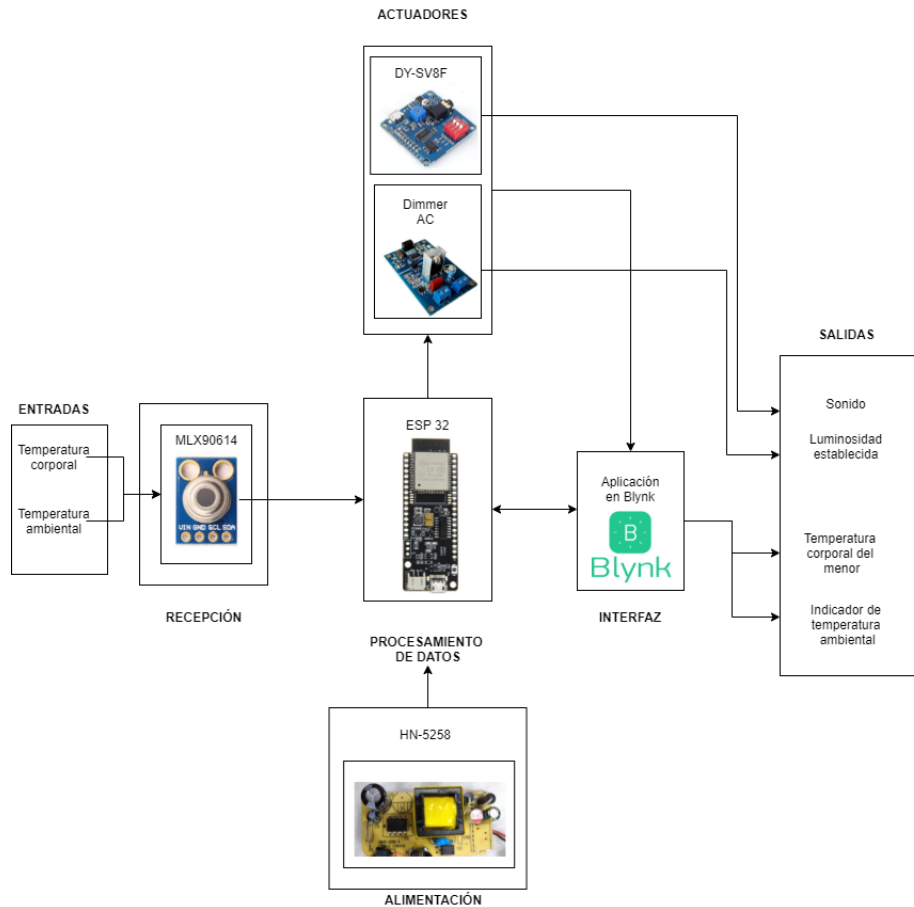


Figura 3.29: Diagrama sistema general con sus respectivos componentes

3.4. Diseño estructural

Dado que el prototipo se encontrará cerca al menor, y lo usarán los padres de familia, es necesario diseñar una estructura que resguarde los dispositivos electrónicos y asegure la protección del bebé.

Adicionalmente, debido a que en la metodología para el desarrollo del proyecto se planteó que el prototipado iba a seguir el proceso de Design Thinking, se realiza un prototipo rápido de fabricar y de bajo costo, utilizando la cortadora láser, teniendo en cuenta que en la metodología de Design Thinking, al prototipar ideas, no se evalúa la viabilidad tecnológica, si no el interés de los usuarios, y este proceso consiste en crear artefactos físicos que permitan tangibilizar de forma ágil la idea.

Diseño estructural interior

Para la organización de los módulos, se decidió utilizar una placa perforada, la cual es simplemente un soporte físico en donde se instalan los componentes electrónicos y eléctricos y se interconectan entre ellos. Se eligió esta opción, dado que el sistema esta compuesto en su mayoría por módulos (el módulo MP3, el dimmer AC, el microcontrolador), e instalarlos en la placa era una tarea sencilla que cumplía con una óptima organización de los dispositivos.

En la figura 3.30, es posible observar el diseño interior y la organización de los distintos componentes en la placa.

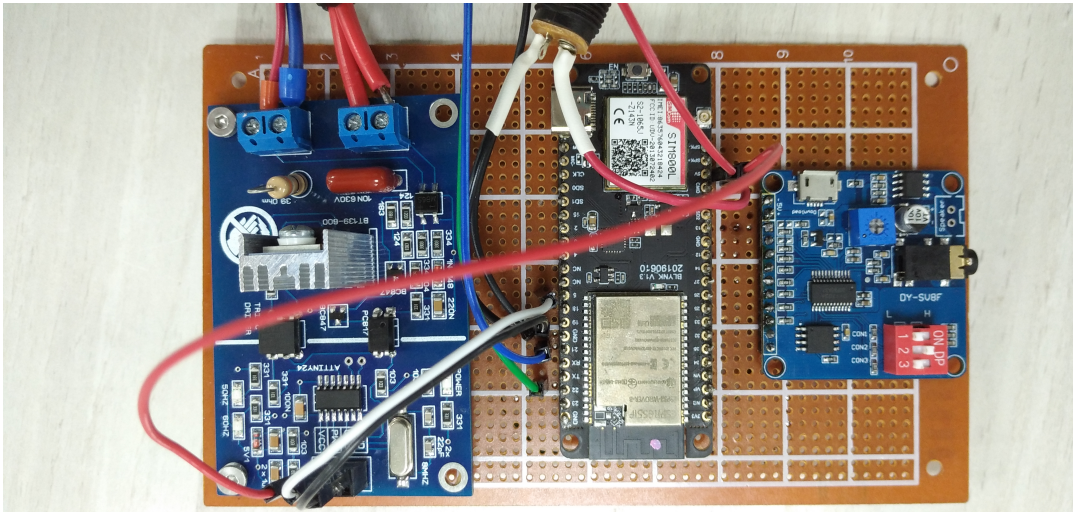


Figura 3.30: Diseño estructural parte interior

Las dimensiones de la placa son: 9 cm (ancho) x 15 cm (largo).

Se utiliza un nodo común para la alimentación de 5 V proveniente del microcontrolador, así mismo, para GND. Adicionalmente, se utilizan conectores jumpers para los pines del sensor de temperatura (VCC, GND, SDA, SCL), y también, para el led indicador del rango de temperatura ambiental.

Diseño estructural exterior

Para el diseño exterior, se hace uso de la herramienta *Boxes.py*, un software libre que ayuda a generar cajas online. En esta herramienta, se encuentra una biblioteca de conjuntos parametrizados listos para ser utilizados, desde cajas cerradas, estanterías, bandejas, entre otros, y el usuario solo debe encargarse de ajustar los parámetros correspondientes, como: el grosor del material utilizado, la profundidad, la altura y demás. Posterior a ello, la herramienta misma se encarga de arrojar automáticamente las medidas exactas para ensamblar las cajas con un alto grado de precisión.

Finalmente, la herramienta permite descargar el archivo *DXF* para que la cortadora láser se encargue de cortar las piezas.

El diseño que eligió fue el observado en la figura 3.31.



Figura 3.31: Diseño elegido: *ELECTRONICSBOX*

Adicionalmente, después de la configuración de los parámetros, donde se establecieron las medidas: 9.2 cm (largo), 10 cm (ancho), 7.6 cm (alto) y 4 mm de grosor; se tuvo en cuenta las ranuras de los dispositivos externos: sensor de temperatura, parlante, conector de energía, salida del dimmer para la fuente lumínica e indicador de temperatura ambiente. Así, el diseño final, se aprecia en la figura 3.32

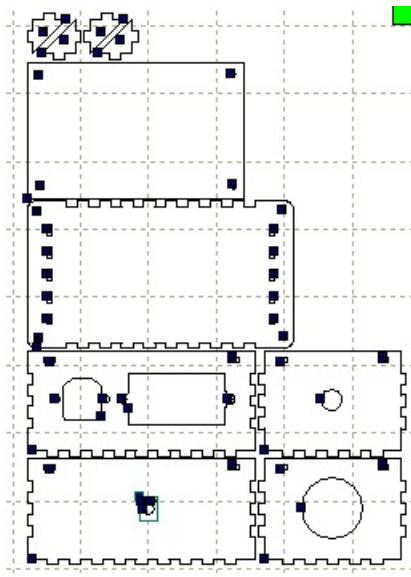


Figura 3.32: Diseño estructural exterior

Finalmente, el resultado obtenido, puede observarse en la figura 3.33

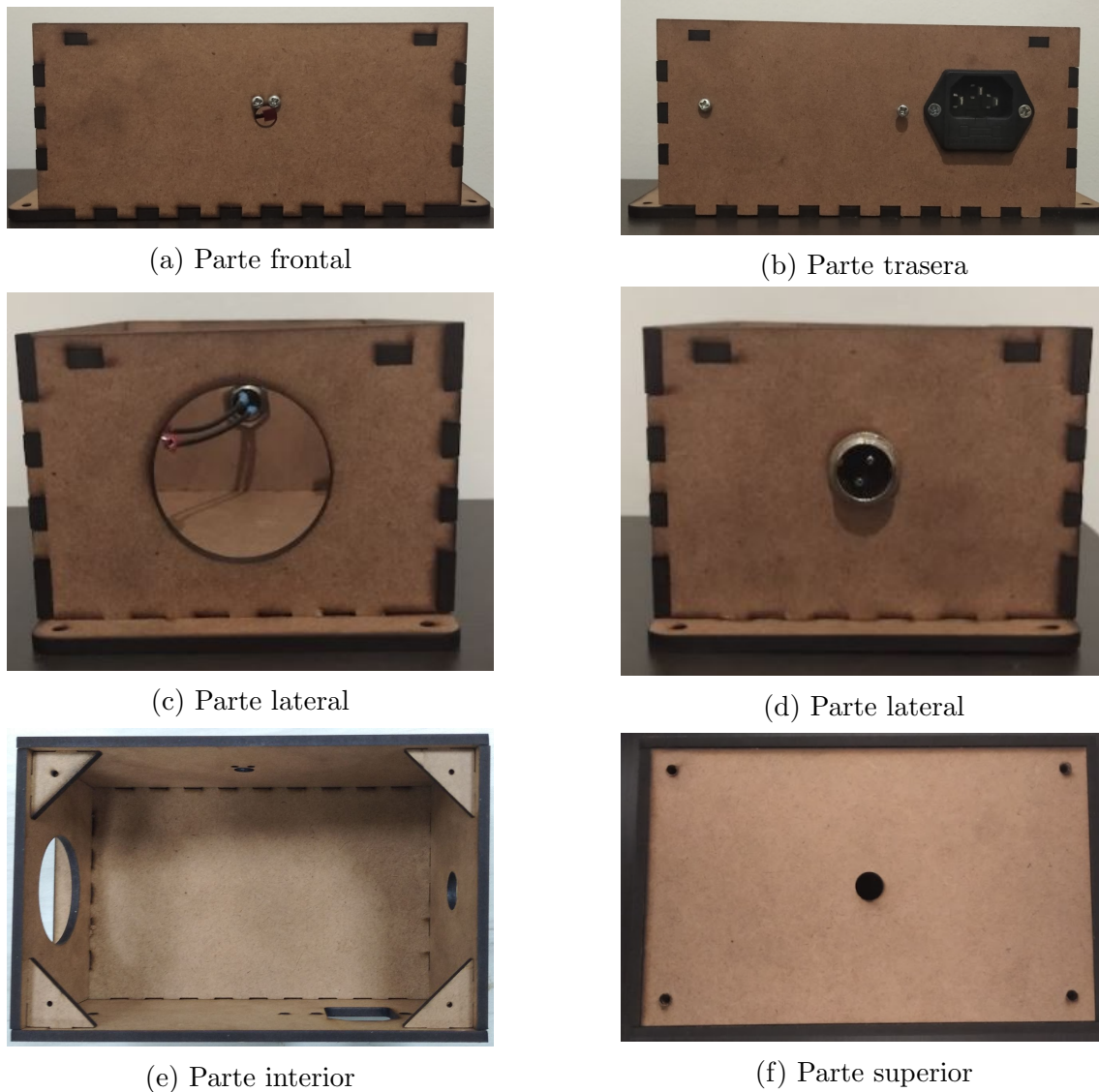


Figura 3.33: Diseño estructural exterior total

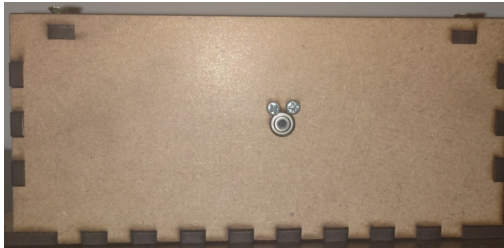
Ahora, es posible apreciar en la figura 3.33a el orificio pequeño, que es donde irá ensamblado el sensor MLX90614, pues esta es la parte frontal del dispositivo. Así mismo, en la figura 3.33b, es posible observar el adaptador donde va conectado el cable de poder para la alimentación del dispositivo.

Luego, en las figuras 3.33c y 3.33d se pueden observar los orificios donde se ubicarán el parlante proveniente del módulo MP3 para la salida de audio, y el conector proveniente del dimmer AC para la salida lumínica, respectivamente.

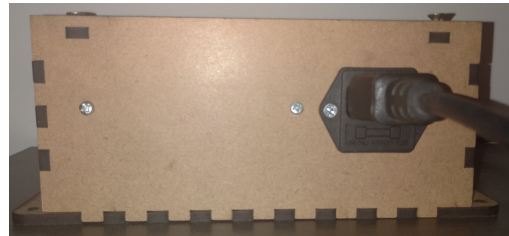
Por último, en la figura 3.34e se observa el interior de la caja, donde irá el diseño estructural interior; y, en la figura 3.33f, se muestra la tapa del dispositivo, la cual estará atornillada

en sus cuatro extremos, y tiene un orificio pequeño donde irá ubicado el indicador lumínico de temperatura ambiental.

Ahora, en la siguiente figura, es posible observar el resultado final, luego de ensamblar todos los componentes.



(a) Parte frontal



(b) Parte trasera



(c) Parte lateral



(d) Parte lateral



(e) Parte interior

Figura 3.34: Diseño estructural exterior total con componentes integrados

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Plan de Pruebas

El plan de pruebas se encuentra como anexo a este documento en la sección 7.3. El desarrollo de este se realizó con el fin de verificar que el sistema cumple adecuadamente con las pruebas de operación. Cada prueba contiene su descripción, el resultado esperado y los comentarios en donde se plantean análisis de los resultados obtenidos.

Estas pruebas de operación se desarrollan para validar que los elementos electrónicos funcionan correctamente y que el sistema opera sin problema. Estas buscan constatar que los dispositivos operan al voltaje requerido y que cumplen las especificaciones de sus hojas de datos, así mismo, que exista una óptima interoperabilidad entre todos los elementos del sistema.

4.2. Análisis de resultados

El diseño estructural permitió que el sistema permaneciera bien acoplado y que los dispositivos encajaran cada uno en su lugar. El resultado final del prototipo se puede apreciar en la figura 3.34. Así mismo, se verificó que el aislamiento del subsistema de alimentación no afectara a los otros subsistemas y que efectivamente la alimentación entregada a cada aparato electrónico fuera la establecida en sus especificaciones técnicas.

Adicionalmente, para cada subsistema y para cada función del prototipo se realizaron las respectivas pruebas.

1. Temperatura corporal:

Para el caso de la temperatura del objeto, se realizaron dos tipos de prueba: la primera, similar al proceso que se siguió para calibrar el sensor de temperatura, en donde se tomaron diferentes muestras de agua destilada a distintos valores de temperatura, y la segunda, midiendo la temperatura de diferentes personas en la frente. Todas las mediciones de ambas pruebas se tomaron con la cámara infrarroja y con el sensor MLX90614.

En ambos casos se tomaron vídeos de los valores obtenidos con la cámara y con el sensor grabando tanto la pantalla de la cámara, como la pantalla del dispositivo móvil donde se ejecutó la aplicación. Estos vídeos se pueden encontrar en la siguiente ruta de google drive ([53])

Así, es posible observar que en las mediciones hechas a las muestras de agua, los valores registrados por la cámara son similares a los valores registrados por el sensor. Los rangos registrados en las diferentes mediciones se pueden apreciar a continuación en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Mediciones de las muestras de agua registradas por la cámara infrarroja y el sensor MLX90614.

No. Prueba	Nombre	Rango de valores tomados por la cámara (°C)	Rango de valores tomados por el sensor (°C)
1	1126	41.2 - 42.4	41.1 - 42.5
2	1127	39.9 - 40.5	39.2 - 40.7
3	1128	38.6 - 39.0	38.2 - 38.4
4	1129	37.6 - 38.0	37.8 - 38.3
5	1130	36.6 - 37.3	36.9 - 37.2
6	1131	35.9 - 36.4	35.9 - 36.1
8	1133	33.4 - 33.9	33.6 - 34.6
9	1134	36.2 - 36.7	36.9 - 37.3

De la misma manera, también se pueden observar los resultados de las mediciones tomadas a las diferentes personas que participaron en el plan de pruebas (Ver anexo 7.4). Aquí se tiene que, la temperatura registrada por la cámara, en la mayoría de los casos, es inferior a la temperatura normal corporal establecida por la OMS. Esto se debe a que la temperatura de la piel (cutánea) es por lo general más baja que la temperatura interna del cuerpo humano. Sin embargo, los valores obtenidos por el sensor en la mayoría de las pruebas, arrojan temperaturas dentro del rango de 36°C y 37.8°C. Estos rangos se pueden apreciar en la 4.2:

Tabla 4.2: Mediciones de temperatura tomadas a diferentes personas, registradas por la cámara infrarroja y el sensor MLX90614.

No. Prueba	Nombre	Rango de valores tomados por la cámara (°C)	Rango de valores tomados por el sensor (°C)
1	PruebaAlejandroS	35.4 - 35.9	36.7 - 37.5
2	PruebaBleider	34.9 - 35.2	37.4 - 37.8
3	PruebaCamilaCastillo	35.4 - 35.9	36.4 - 37.2
4	PruebaDanielaMorales	34.9 - 35.7	36.4 - 37.2
5	PruebaJaimeMessa	35.7 - 36.3	36.9 - 37.4
6	PruebaJoevinCheng	35.3 - 35.8	36.4 - 37.2
7	PruebaJuanCamilo	33.9 - 34.7	34.8 - 35.4
8	PruebaManuelaL	35.9 - 36.0	36.9 - 37.5
9	PruebaMichaelRodriguez	34.1 - 34.6	36.0 - 37.0
10	PruebaNicolasFlorez	34.4 - 35.2	36.4 - 37.5
11	PruebaNicolle	35.2 - 35.7	36.4 - 37.1
12	PruebaSantiafoFlorez	35.6 - 36.1	36.3 - 37.2
13	PruebaStiven	36.2 - 36.6	36.6 - 37.4

Adicionalmente, para ambos casos, es posible observar que las diferentes notificaciones por fiebre o hipotermia se activan cuando el sensor detecta los rangos establecidos para ambas condiciones.

2. Temperatura ambiente:

Para el caso de la temperatura ambiente, se tiene que el sensor toma la temperatura ambiental y el usuario puede visibilizar este valor en la aplicación. De esta manera, si el usuario desea ajustar el valor de la temperatura en los rangos establecidos como óptimos dependiendo del horario (día o noche), este puede variar el *slider* correspondiente para esta variable y puede apreciar mediante el indicador LED que la temperatura se encuentra en el rango que estableció. Así, si la temperatura que establece se encuentre entre 17°C y 19°C, el LED alumbrará de color rojo; si establece que la temperatura se encuentre entre 20°C y 23°C, el color del LED será verde; finalmente, si la temperatura establecida no está en ninguno de esos rangos, el LED tendrá un color amarillo verdoso.

3. Módulo de sonido:

Para este subsistema, se verificó el correcto funcionamiento del *widget* de MP3 y de la lista de las diferentes canciones. Para ello, se reprodujeron ocho melodías cortas establecidas como tonos de prueba, diferentes de las canciones seleccionadas, para efectos de facilidad para la prueba, y se probaron las cuatro funciones disponibles: PLAY, STOP, NEXT, PREV.

4. Variación de la intensidad lumínica:

En este caso, la prueba se realizó con un bombillo LED, y se realizó la variación del *slider* correspondiente entre los valores de 0 a 255, donde 0 corresponde al bombillo completamente apagado, y 255 al bombillo encendido con toda su intensidad. Se verificó que dependiendo del valor en el que se encuentra el *slider*, la intensidad de la luz del bombillo cambia.

4.3. Análisis de costos

El diseño y la implementación del sistema, se llevó a cabo por una estudiante de ingeniería electrónica. El salario promedio que gana un ingeniero electrónico en Colombia, es de aproximadamente 2.000.000\$ por mes, laborando 8 horas diarias, por lo que la hora de trabajo es de 8.928.57\$. Para calcular el costo de la mano de obra se realizó la siguiente tabla 4.3, en donde se evidencian las labores realizadas y el tiempo estimado en horas para cada labor.

Tabla 4.3: Costo mano de obra del proyecto

Recurso humano	Labor	Tiempo en horas (h)	Salario
Ing. electrónico	Investigación de marco teórico y antecedentes	80	\$ 714,365.60
Ing. electrónico	Evaluación de alternativas y selección de componentes	30	\$ 267,887.10
Ing. electrónico	Diseño electrónico	40	\$ 357,182.80
Ing. electrónico	Diseño estructural	30	\$ 267,887.10
Ing. electrónico	Calibración del sensor	40	\$ 357,182.80
Ing. electrónico	Ensamblaje del diseño	30	\$ 267,887.10
Ing. electrónico	Desarrollo del plan de pruebas	20	\$ 178,591.40
Ing. electrónico	Implementación del plan de pruebas	30	\$ 267,887.10
	TOTAL	300	\$ 2,678,871.00

El precio de los componentes electrónicos que se usaron para el sistema, se pueden observar en la tabla 4.4. Asimismo, en esta tabla se podrán encontrar otros elementos utilizados para el desarrollo del prototipo.

Tabla 4.4: Precio de los componentes implementados

Componentes	Precio
ESP32	\$ 28,000.00
Sensor MLX90614	\$ 38,000.00
Módulo MP3	\$ 38,012.22
Dimmer AC	\$ 104,778.16
Regulador AC/DC	\$ 15,400.00
Plaqueta perforada	\$ 5,600.00
Diseño estructural exterior	\$ 50,000.00
Demás (cables, adaptador, ect)	\$ 20,000.00
TOTAL	\$ 299,790.38

Como puede observarse en las tablas anteriores, el precio de mano de obra equivale a 2.678.871 \$, mientras que el de los dispositivos electrónicos y demás elementos es de 299.790,38 \$, por lo que el costo total para el desarrollo de este proyecto es de 2.978.661,38 \$. En caso de fabricar bastantes unidades, se esperaría un descuento de aproximadamente el 30 % o 40 % para los componentes usados, esto debido a que es posible comprar directamente al proveedor y esto reduce el costo de los dispositivos por ser en gran cantidad y además reduce el valor de envío. De esta manera, el valor de los componentes se reduciría al rededor de 194.863,75 \$.

Por otra parte, el recurso humano, solo se encargaría de la calibración de los nuevos sensores, el ensamblaje de los diseños y la implementación del plan de pruebas. En este caso, el tiempo de calibración por ambos sensores se reduciría a 5 horas, el diseño estructural se reduciría a 15 horas La implementación también se reduciría a 15 horas. Lo anterior sería por la experiencia y conocimientos obtenidos del primer prototipo. De esta manera, y asumiendo que se fabrican cien unidades, el precio del sistema por ingeniero sería de 580.422 \$.

Actualmente, en el mercado existen diferentes monitores que ofrecen funcionalidades similares, como el reproductor de canciones y el monitoreo de la temperatura ambiental. No obstante, el precio de estos monitores oscila entre 558.000 \$ y 1.171.000 \$, y no incluye todas funcionalidades que brinda este sistema. De esta manera, la implementación realizada en este trabajo de grado, ofrece una alternativa viable desde el punto de vista económico y novedosa para el monitoreo de bebés y su ambiente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Se logró diseñar e implementar un prototipo funcional capaz de medir la temperatura corporal externa, así como, de medir la temperatura ambiental y simular el ajuste de su valor mediante un indicador lumínico, reproducir melodías estimulantes y variar la intensidad lumínica de una fuente de luz. Este sistema puede ser utilizado como herramienta de apoyo para el cuidado de menores entre cero y seis meses.

Teniendo en cuenta el contexto de uso, así como las condiciones a las cuales estará expuesto el sistema, se logró identificar los requerimientos del proyecto, mediante búsqueda de literatura y antecedentes relacionados con el tema, para así, diseñar un sistema que satisficiera dichos requerimientos. Esto permitió seleccionar los dispositivos más apropiados para las condiciones de uso.

Adicionalmente, se logró realizar un diseño estructural exterior de bajo costo y siguiendo el principio de prototipado rápido.

Asimismo, se realizó la calibración del sensor de temperatura, mediante el método de ajustes de curva, que permitió obtener mediciones más precisas de la variable de temperatura corporal. Además, se tuvo en cuenta el valor de emisividad del cuerpo humano, y la forma de medición del sensor.

También, se realizó un prototipo de una aplicación móvil, con el fin de recibir la información proveniente del sistema. En dicha aplicación el usuario puede observar los datos de temperatura corporal y ambiental, establecer un valor deseado de temperatura ambiental, establecer un nivel deseado de intensidad lumínica, reproducir ocho canciones/melodías estimulantes, y, podrá recibir notificaciones cuando se detecten valores de temperatura que indiquen una señal de alarma.

Finalmente, se evaluó el desempeño del sistema en un ambiente de laboratorio. Este se

explica y se evidencia con vídeos de prueba en el capítulo 4 del presente documento.

CAPÍTULO 6

TRABAJOS FUTUROS

6.1. Obtención de la temperatura corporal

Con el fin de que el sistema brinde un dato más confiable a los cuidadores y menos susceptible a variaciones se recomienda que se realice un promedio de los datos tomados con el sensor en cierto rango de tiempo establecido, así, el cuidador observará un valor fijo cada cierto tiempo. Adicionalmente, se sugiere mejorar la calibración del sensor de temperatura con un aparato certificado que pueda aproximarse de manera más real a la temperatura corporal central, y no realice una medición superficial únicamente.

Otra alternativa para lo anterior, es que la aplicación solicite al cuidador ingresar la temperatura corporal del menor una única vez, es decir, cuando se esté realizando la configuración inicial de esta, y que en base a ese valor, el sistema pueda calibrar las mediciones del sensor.

6.2. Control de la temperatura ambiental

Se tiene que el prototipo desarrollado para este proyecto es capaz de simular el cambio de la temperatura en la habitación del menor utilizando un indicador lumínico el cual varía su color dependiendo de rangos de temperatura establecidos. Sin embargo, es posible implementar de manera funcional este proceso haciendo uso de un termostato, el cual es básicamente un automatismo, que funciona como un interruptor en función de la temperatura.

Existen diferentes tipos de termostatos. Es posible encontrar en el mercado termostatos utilizados únicamente para el calor, o únicamente para el frío, pero también existen dispositivos que se pueden utilizar para ambas funcionalidades, por lo que se recomienda el uso de uno de este tipo.

6.3. Funcionalidades del prototipo

Durante el desarrollo de proyecto, solo se desarrolló una funcionalidad para el monitoreo de una variable fisiológica: la temperatura corporal, sin embargo, cuando se realizó la validación con algunos usuarios, fue posible notar que existen muchas variables más que son de interés para estos. Así, es posible recomendar que se añadan funcionalidades para monitorear más variables físicas, como las mencionadas en el capítulo 3.

Adicionalmente, se podrían añadir al prototipo la funcionalidades de monitorear al menor a través de vídeo y audio, para poder observarlo y escucharlo en tiempo real.

Por otra parte, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que este prototipo también puede adaptarse para otros usuarios, por ejemplo, puede ser usado para el cuidado y supervisión de pacientes de la tercera edad.

6.4. Aplicación móvil

En el desarrollo de este proyecto, se realizó un prototipo de aplicativo móvil, con credenciales de WiFi estáticas. Se recomienda mejorar el prototipo para que la aplicación sea dinámica y así el usuario pueda configurar libremente sus credenciales de conexión.

Adicionalmente, se plantea la mejora de la interfaz gráfica para brindar a los cuidadores una mejor experiencia de usuario haciendo más llamativa la aplicación, algunas ideas de mejora son:

- Que la aplicación tenga unos colores más llamativos y cálidos teniendo en cuenta que está diseñada para el monitoreo de bebés.
- Que la aplicación pueda personalizarse con el nombre del pequeño, su fecha de nacimiento, descripciones semana a semana de su proceso de crecimiento, entre otras.
- Que puedan hacerse diferentes listas de reproducción dentro de la aplicación. por ejemplo: canciones de cuna, melodías de estimulación, música clásica, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. A. Zakaria, F. N. B. Mohd Saleh, and M. A. A. Razak. IoT (Internet of Things) Based Infant Body Temperature Monitoring. 2018.
- [2] RAE. Definición de monitoreo — definicion.de. Available at: <https://definicion.de/monitoreo/>, 2020. [Online; Accessed 11 April 2020].
- [3] Philips Innovation Campus. Children's respiration monitor. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=S5LCG6vCtR8>., 2016.
- [4] Piccini Sergio Parini Alessia Rullo Bagnoli Franco M. G. Andreoni P. Oriana, Ciani Luca. Pervasive technology in Neonatal Intensive Care Unit: a prototype for newborns unobtrusive monitoring. 30th Annual International IEEE EMBS Conference Vancouver British Columbia, 2008. August 20–24, 2008.
- [5] Baby's breathing heart rate monitor. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=knsPRkXOVCg>., 2016.
- [6] L. Equipment. App alerts parents if baby stops breathing. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=z8WC81pOKWs>., 2012.
- [7] Mimo smart baby monitor. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=n2TUMA3IaIU>., 2014.
- [8] W. Engineering. Conductive hydrogel vest for infant breathing rate monitoring. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=VNjTddgw2F4>., 2016.
- [9] J. W. Park Y. Nam. Child activity recognition based on cooperative fusion model of a tri-axial accelerometer and a barometric pressure sensor. IEEE J. Biomed. Heal. Informatics, 2013.
- [10] G. Jervan M. Leier. Miniaturized wireless monitor for long term monitoring of newborns. Pro-ceedings of the Biennial Baltic Electronics Conference BEC, 2014

- [11] N. Direct. Smart bed designed to help users get better sleep. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=LMq1W4ksU8>, 2017
- [12] Y. Lavner R. Cohen. Infant Cry Analysis and Detection. 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 2012.
- [13] S. D. Wipulasundara. A novel concept for remotely monitoring babies. Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn), 2017. pp. 299-303.
- [14] healthwise. Temperatura corporal. 2019.
- [15] J. Murcia and J. Buitrago. SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITOREO Y ALERTA DE TEMPERATURA CORPORAL. 2014. [Online; Accessed 07 August 2020].
- [16] P. Storch de Garcia. Hipotermia. golpe de calor. Available at: <https://seup.org/pdfpublic/pub/protocolos/23Hipotermia.pdf>, 2019.
- [17] MD PhD Robert L. Stavis. Hipotermia en recién nacidos. 2019.
- [18] M. Moreno. Fiebre en recién nacidos: causas y cómo tratarla. 2020. [Online; Accessed 07 August 2020]
- [19] J. Correa Velez. Fiebre en niños. Precop SCP, 2001. [Online; Accessed 07 August 2020]
- [20] Maternal World Health Organization and Newborn Health/Safe Motherhood. Thermal Protection of the Newborn: a practical guide. 1997.
- [21] Asociación Española de Pediatría. GUÍA PRÁCTICA PARA PADRES Desde el nacimiento hasta los 3 años. 2020. 1st ed.
- [22] E. Esteban. Qué luz es la mejor para el cuarto de los niños. Available at: <https://www.guiainfantil.com/decoracion/habitaciones/cual-es-la-mejor-iluminacion-para-la-habitacion-de-los-ninos/>, 2018. [Online; Accessed 12 April 2020].
- [23] Fundación Salud Infantil de la Comunidad Valenciana. Estimulación auditiva - fundación salud infantil de la comunidad valenciana. Available at: <https://www.fundacionsaludinfantil.org/primer-infancia/estimulacion-auditiva/>, 2020. [Online; Accessed 12 April 2020].
- [24] M. López Casanova and I. Nadal García. La estimulación auditiva a través de la música en el desarrollo del lenguaje en educación infantil. Revista Electrónica de Investigación y Docencia, 2018. 2018, pp. 108-109.
- [25] N. A. Zakaria, F. N. B. Mohd Saleh and M. A. A. Razak, "IoT (Internet of Things) Based Infant Body Temperature Monitoring," 2018 2nd International Conference on Bio-Signal Analysis, Processing and Systems (ICBAPS), 2018, pp. 148-153, doi: 10.1109/ICBAPS.2018.8527408.

- [26] M. E. Akbiyik, C. S. Coban, E. Aygun, H. Z. Imamoglu, D. Gurgunoglu and D. Ider, "ThermoCam: Smart Baby Monitoring Assistant," 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), 2020, pp. 636-643, doi: 10.1109/COMPSAC48688.2020.0-185.
- [27] C. Linti, H. Horter, P. Osterreicher and H. Planck, "Sensory baby vest for the monitoring of infants," International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06), 2006, pp. 3 pp.-137, doi: 10.1109/BSN.2006.49.
- [28] L. V. Martinez Morales, K. X. Currea Piratova and M. A. Rico Martinez, "Real-time temperature and audio baby monitoring using IoT technologies," 2019 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/CONIITI48476.2019.8960812.
- [29] J. Yang C. Xiang. Design guidelines for indoor intelligent environmental monitoring and control system. Proc. IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science ICSESS, 2012. pp. 737-740.
- [30] S. A. Moraru C. Bujdei. Ensuring comfort in office buildings. Designing a KNX monitoring and control system. Proc. 7th International Conference on Intelligent Environment, 2011. pp. 222-229.
- [31] Y. Salih-Alj S. Brangui, M. El Kihal. An enhanced noise cancelling system for a comprehensive monitoring and control of baby environments. 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), 2015. pp. 404-409.
- [32] T. T. Furman, Ed., "Chapter 2 Theory of Errors," ScienceDirect, Jan. 01, 1981. (accessed Sep. 27, 2021).
- [33] A. Rogalski. 2011. Infrared Detectors. New York: CRC Press
- [34] Carmona, M. L. Calibración de sensores infrarrojos utilizando la plataforma Raspberry Pi.
- [35] Fluke Process Instruments. (s. f.). Home — Fluke Process Instruments.
- [36] Cabrelles Sagredo, M., n.d. El desarrollo evolutivo infantil y el juego en la educación musical. [online] Docenotas.com. Available at: http://www.docenotas.com/pdf/desarrollo_evolutivo_infantil.pdf [Accessed 5 September 2021].
- [37] Federico, G. F. 2005. Embarazo musical: Estimulación, comunicación y vínculo prenatal a través de la música. Buenos Aires. Editorial Kier.
- [38] Akoschky, J, et. al. 2008. La música en la escuela infantil (0-6). Barcelona. Editorial GRAÓ.

- [39] Welhousen, K y Crowther, I. 2004. Creating Effective Learning Environments. Canada. Delmar Learning.
- [40] Correa Rodríguez, E. 2010. Los Beneficios de la Música. Innovación y experiencias educativas, nº26.
- [41] Cala Guerrero, M., 2014. Trabajo Fin de Grado: "MÚSICA PARA BEBÉS". [online] Rodin.uca.es. Available at: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/16623/16623.pdf?sequence=6> [Accessed 5 September 2021].
- [42] Ortiz, C. and Arteaga, E., 2021. SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y COLOR PARA PLANTAS DE ARROZ (ORYZA SATIVA L). Cali: Pontifica Universidad Javeriana Cali.
- [43] Services, P., 2022. What Is Wi-Fi? - Definition and Types. [online] Cisco. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html> [Accessed 5 September 2021].
- [44] Marta Gómez - Topic. (2020, 10 de noviembre). Arrurrú [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CrD7Xob16g4>.
- [45] Leoncito Alado. (2014, 15 de marzo). MOZART PARA BEBES EFECTO MOZART Dormir y Relajar (Leoncito Alado) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=YLHIId2GZl0>.
- [46] Marta Gomez. (2016a, 27 de julio). Marta Gómez - CAMINANDO VA - Canciones de sol [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=h7B6TsvEc9M>.
- [47] Marta Gomez. (2016b, 27 de julio). Marta Gómez - CANCIÓN DEL BEBÉ - Canciones de sol [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pyqFTZwoIkM>.
- [48] Música clásica para bebês. (2016, 26 de enero). Mozart - sonata dos pianos k448 [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=TOdSmIsWWs>.
- [49] Rousseau. (2019, 24 de junio). Mozart - Piano Sonata No. 16 in C Major, K.545 (1st Mvt) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qjk-YRuQZDE>.
- [50] Kokoro Play. (2016, 20 de septiembre). SONIDOS DE ANIMALES PARA NIÑOS DE 1 A 2 AÑOS — NUEVO [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6XW1SM6kCpM>.
- [51] Intelikids - Música para los más pequeños. (2016, 12 de abril). Para tu Bebé: Sonidos de la Naturaleza - Animaciones Con Encanto [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=shx8mugoUb4>.
- [52] Introduction - Blynk Documentation. (s. f.). Introduction - Blynk Documentation. <https://docs.blynk.io/en/>.

- [53] Medina, A. M. (s. f.). PRUEBASTESISANAMEDINA. Google Drive.
<https://drive.google.com/drive/folders/1UqctTSfiMzeMx3cCjKYBc.3nYMc3jCLl?usp=sharing>
- [54] Rashid, M., 2015. Electronica de potencia. 3rd ed. Distrito Federal: Pearson Educacion.

CAPÍTULO 7

ANEXOS

7.1. Anexo A: Códigos

Código Arduino sistema general:

```
1  ///TRABAJO DE GRADO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA
   APOYAR
2  ///EL CUIDADO DE MENORES ENTRE CERO Y SEIS MESES, A TRAVÉS DEL MONITOREO
3  ///DE LA TEMPERATURA CORPORAL Y EL CONTROL DE FACTORES DE SU ENTORNO/////
4  ///HECHO POR: ANA MARIA MEDINA CONTO/////
5
6
7  //Define Blynk
8  #define BLYNK_PRINT Serial
9
10 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
11
12 #include <Wire.h>
13 #include <Adafruit_MLX90614.h>
14 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
15 char auth [] = "zPC2wWfKJuSLqEF73-yMdhzZi0s5caC";
16
17 // Credenciales de WiFi.
18 char ssid [] = "SOFIA";
19 char pass [] = "0402100106";
20
21 //Variables temperatura corporal
22 float ambient_temp = 0.0;
23 float object_temp = 0.0;
24 float tempCal= 0.0;
25 int alarma=0;
26
27 //Variables temperatura ambiente
```

```

28 #define greenPin 0
29 #define redPin 15
30 int sliderTemp= 0;
31 BlynkTimer timer;
32 BLYNK_WRITE(V6) {
33     sliderTemp = param.asInt(); //PIN VIRTUAL PARA EL SLIDE DE TEMP
        AMBIENTE
34 }
35
36 //Variables M dulo de sonido
37 int cancion=0;
38 int cancion1 = 13;
39 int cancion2 = 12;
40 int cancion3 = 14;
41 int cancion4 = 26;
42 int cancion5 = 25;
43 int cancion6 = 33;
44 int cancion7 = 32;
45 int cancion8 = 4;
46
47
48 //Variables Dimmer AC
49 // the number of the LED pin
50 const int ledPin = 5; // 4 corresponds to GPIO4
51
52 // setting PWM properties
53 const int freq = 5000;
54 const int ledChannel = 0;
55 const int resolution = 8;
56 int slide = 0;
57 BLYNK_WRITE(V2) {
58     slide=param.asInt(); //PIN VIRTUAL PARA EL SLIDE DE INTENSIDAD LUMINICA
59 }
60 }
61
62 ////////////////////////////////////////////////////////////////////Variables//////////////////////////////////////////////////////////////////
63
64 int rep=0;
65 int cancionInicial = 1;
66 int cancionFinal = 8;
67
68
69
70 ////////////////////////////////////////////////////////////////////FUNCI N TEMPERATURA//////////////////////////////////////////////////////////////////
71 //TEMPERATURA AMBIENTE
72 void temp(){
73     ambient_temp = mlx.readAmbientTempC();
74     Blynk.virtualWrite(V4,ambient_temp); //PIN VIRTUAL PARA LA TEMPERATURA
        AMBIENTE
75
76     if(sliderTemp < 19 && sliderTemp >= 17 )
77     {

```

```

78     digitalWrite(redPin ,HIGH);
79     Serial.print(" Holal");
80     digitalWrite(greenPin ,LOW);
81     Serial.print(" chaol");
82     }
83     else if (sliderTemp <= 23 && sliderTemp >= 19 )
84     {
85         digitalWrite(greenPin ,HIGH);
86         Serial.print(" Hola");
87         digitalWrite(redPin ,LOW);
88         Serial.print(" chao");
89     }
90     else {
91         digitalWrite(greenPin ,LOW);
92         digitalWrite(redPin ,LOW);
93     }
94
95     //TEMPERATURA CORPORAL
96     object_temp = mlx.readObjectTempC();
97     tempCal= (1.0449*(object_temp));
98     Blynk.virtualWrite(V5,tempCal); //PIN VIRTUAL PARA LA TEMPERATURA
        CORPORAL
99
100    if( tempCal <36.5)
101    {
102        alarma = 1;
103        Blynk.notify(" Hipotermia");
104        //Alerta hipotermia
105    }
106    else if (object_temp >37.5)
107    {
108        alarma = 2;
109        Blynk.notify(" Febr cula");
110        //Alerta febr cula
111    }
112    else if (tempCal >38) {
113        alarma =3;
114        Blynk.notify(" Fiebre");
115        //Alerta fiebre
116    }
117    else {
118        alarma = 0;
119    }
120 }
121 //////////////////////////////////////////////////REPRODUCTOR MP3////////////////////////////////////
122 //FUNCION STOP
123 void Stop(){
124     digitalWrite(cancion1 , HIGH);
125     digitalWrite(cancion2 , HIGH);
126     digitalWrite(cancion3 , HIGH);
127     digitalWrite(cancion4 , HIGH);
128     digitalWrite(cancion5 , HIGH);

```

```
129     digitalWrite(cancion6, HIGH);
130     digitalWrite(cancion7, HIGH);
131     digitalWrite(cancion8, HIGH);
132 }
133 //FUNCION SONIDO
134
135 int Sonido(int cancion){
136     Stop();
137     delay(1000);
138     switch (cancion)
139     {
140         case 1: // Item 1
141             digitalWrite(cancion1, LOW);
142             break;
143         case 2: // Item 2
144             digitalWrite(cancion2,LOW);
145             break;
146         case 3: // Item 3
147             digitalWrite(cancion3,LOW);
148             break;
149         case 4: // Item 4
150             digitalWrite(cancion4,LOW);
151             break;
152         case 5: // Item 5
153             digitalWrite(cancion5,LOW);
154             break;
155         case 6:// Item 6
156             digitalWrite(cancion6,LOW);
157             break;
158         case 7: // Item 7
159             digitalWrite(cancion7, LOW);
160             break;
161         case 8: // Item 8
162             digitalWrite(cancion8, LOW);
163             break;
164     }
165 }
166 }
167 ////////////////PIN VIRTUAL PARA LA LISTA DE CANCIONES////////////////////////////////////
168 BLYNK_WRITE(V1) {
169     rep=param.asInt();
170 }
171 ////////////////PIN VIRTUAL PARA EL WIDGET DE REPRODUCCIN MP3
172 ////////////////
173 BLYNK_WRITE(V3)
174 {
175     String action = param.asStr();
176     if (action == "play") {
177         Sonido(rep);
178     }
179     if (action == "stop") {
```

```
180     Stop(); //Funci n para parar las canciones
181 }
182 if (action == "next") {
183     if ((rep) == cancionFinal){
184         rep = cancionInicial;
185     }
186     else
187         rep= rep + 1;
188     Blynk.virtualWrite(1, rep);
189     Sonido(rep);
190
191 }
192 if (action == "prev") {
193     if ((rep) == cancionInicial){
194         rep = cancionFinal;
195     }
196     else
197         rep= rep - 1;
198     Blynk.virtualWrite(1, rep);
199     Sonido(rep);
200 }
201
202 Blynk.setProperty(V3, "label", action);
203 Serial.print(action);
204
205 }
206
207 ////////////////////////////////////////
208 void setup() {
209
210     Serial.begin(9600);
211     Serial.println("Adafruit MLX90614 test");
212     Blynk.begin(auth, ssid, pass);
213     mlx.begin();
214     timer.setInterval(300L,temp);
215
216     pinMode (cancion1,OUTPUT);
217     pinMode (cancion2,OUTPUT);
218     pinMode (cancion3,OUTPUT);
219     pinMode (cancion4,OUTPUT);
220     pinMode (cancion5,OUTPUT);
221     pinMode (cancion6,OUTPUT);
222     pinMode (cancion7,OUTPUT);
223     pinMode (cancion8,OUTPUT);
224     pinMode (redPin, OUTPUT);
225     pinMode (greenPin, OUTPUT);
226
227     digitalWrite(cancion1, HIGH);
228     digitalWrite(cancion2, HIGH);
229     digitalWrite(cancion3, HIGH);
230     digitalWrite(cancion4, HIGH);
231     digitalWrite(cancion5, HIGH);
```

```
232 digitalWrite(cancion6, HIGH);
233 digitalWrite(cancion7, HIGH);
234 digitalWrite(cancion8, HIGH);
235 //
236 // CONFIGURACION DE LAS FUNCIONALIDADES DE PWM
237 ledcSetup(ledChannel, freq, resolution);
238
239 // ADJUNTAR EL CANAL AL GPIO PARA SER CONTROLADO
240 ledcAttachPin(ledPin, ledChannel);
241
242 }
243
244 void loop() {
245   Blynk.run();
246   timer.run();
247   ledcWrite(ledChannel, slide);
248 }
```

Listing 7.1: Código Arduino

7.2. Anexo B: Instructivo de uso

Leer y entender este instructivo antes iniciar una operación con el sistema

Precauciones importantes

Cuando se trata de dispositivos electrónicos, siempre es importante seguir las instrucciones básicas de seguridad, en las que se incluyen las siguientes:

1. Lea y siga todas las instrucciones antes de usarlo.
2. No sumerja este dispositivo en ningún tipo de líquido.
3. No coloque cerca del dispositivo ninguna fuente de calor.
4. No utilice el dispositivo para otro uso que no sea el uso previsto.
5. Use exclusivamente los dispositivos/accesorios indicados por el fabricante.
6. El servicio técnico debe ser realizado únicamente por personal cualificado.
7. No coloque sobre el aparato objetos que puedan suponer un peligro, por ejemplo (objetos que contengan líquidos inflamables o velas encendidas).
8. No realizar movimientos bruscos mientras se transporta el dispositivo.

Advertencias

1. No quite nunca la tapa de este dispositivo.
2. No usar el dispositivo si este se encuentra físicamente deteriorado.
3. No usar en un área donde existan dispositivos que alteren el campo electromagnético y afecten las mediciones.
4. No limpiar el dispositivo con sustancias corrosivas.
5. No someter el dispositivo a temperaturas mayores a 80 °C.

Desecho

- No arroje el dispositivo junto con la basura doméstica cuando termine su vida útil, entréguelo en un punto de recolección oficial para su reciclado. Esto ayuda a evitar consecuencias negativas para el medio ambiente.

PRESENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

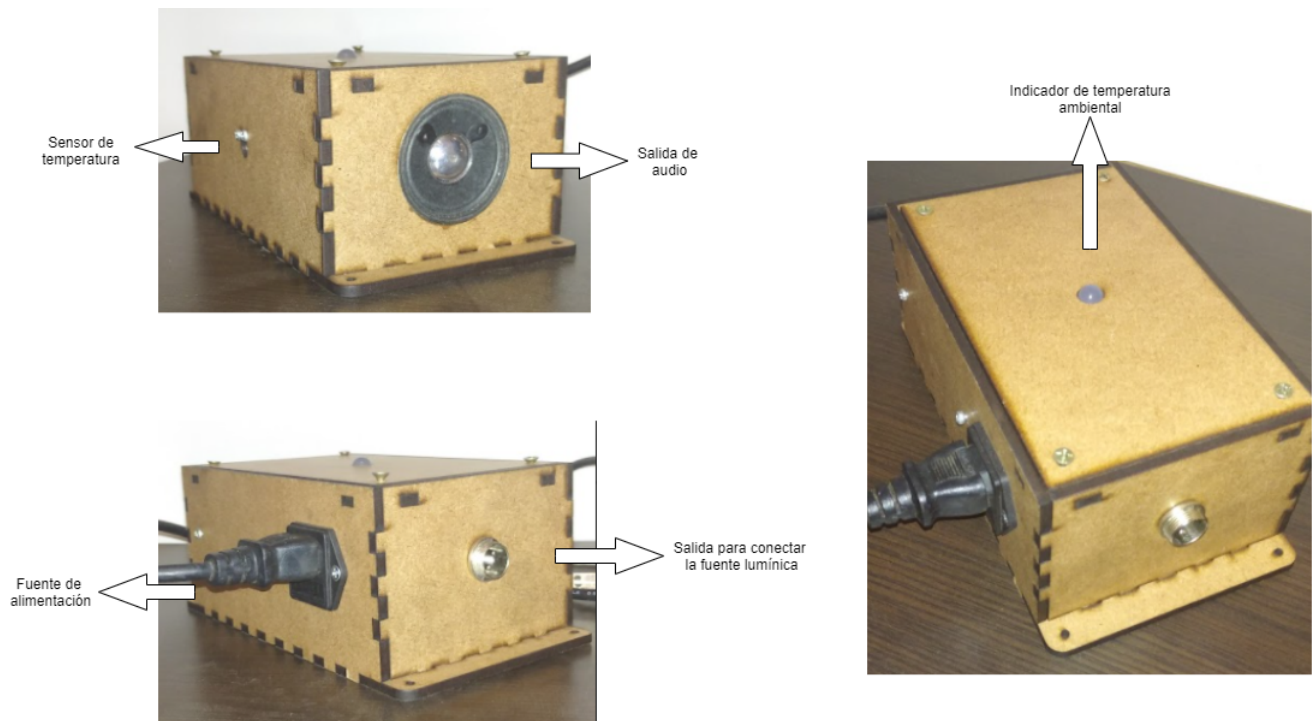


Figura 7.1: Presentación del diseño estructural exterior con sus respectivos componentes

Elementos externos

1. Sensor de temperatura corporal y ambiental
2. Parlante
3. Cable de poder
4. Conector de salida para la fuente de luz (bombillo o lámpara)
5. Led RGB indicador para la temperatura ambiental
6. Tornillos
7. Paneles solares

Elementos internos

1. Microcontrolador
2. Módulo MP3
3. Dimmer AC
4. Conversor AC/DC

Pasos de instalación

1. La instalación del dispositivo debe hacerse por personal cualificado.

Uso del dispositivo

1. Conecte el dispositivo a un toma corriente.
2. Espere 5 segundos y verifique que el color del led es de color amarillo verdoso. Esto quiere decir que el sistema está encendido.
3. Para obtener el dato de la temperatura corporal, coloque el dispositivo con su parte delantera apuntando a la frente del bebé a una distancia aproximada de 5 cm y espere 5 segundos para obtener un dato más confiable.

Uso de la aplicación estática

1. Para dar inicio a la ejecución de la aplicación, asegúrese de presionar el botón “PLAY” en forma de triángulo que se muestra en la parte superior de la pantalla (ver 7.2)

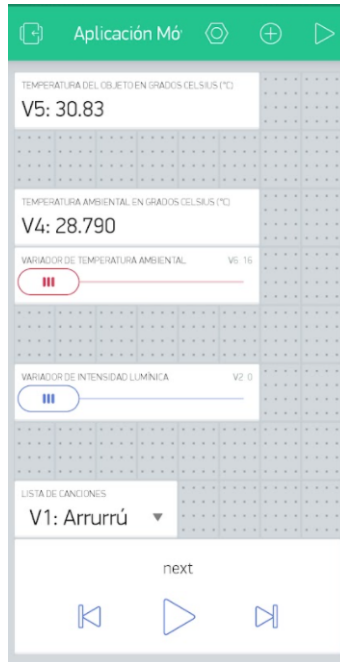


Figura 7.2: Pantalla del prototipo de aplicación móvil.

2. Se dará cuenta que la aplicación está activa, cuando el botón en forma de triángulo, pase a ser un cuadrado.
3. El valor recibido de la temperatura corporal, será mostrado en **1.** (ver 7.4)
4. El valor recibido de la temperatura ambiental, será mostrado en **2.** (ver 7.4)
5. Para establecer el valor de temperatura ambiente deseado, deslice el botón **3.** (ver 7.4)
6. Para establecer el nivel de intensidad lumínica deseado, deslice el botón **4.** (ver 7.4)
7. Para elegir la melodía que desea escuchar, presione el botón **5** (ver 7.4). Se abrirá una ventana emergente (ver 7.3). Para navegar en esta ventana, basta con deslizar hacia abajo o hacia arriba, y la canción seleccionada tendrá texto color verde.

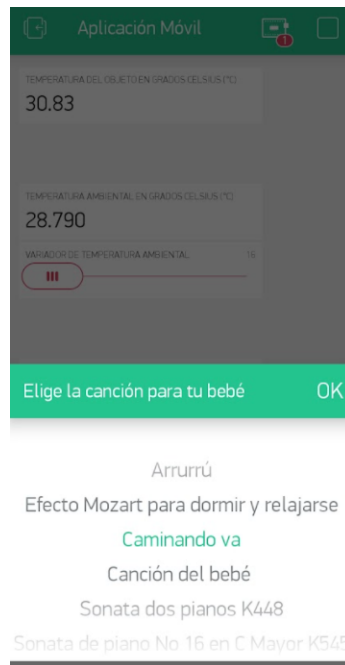


Figura 7.3: Ventana emergente para la selección de canciones.

8. Para reproducir la canción elegida, presione el botón “PLAY” que se muestra en **6.** (ver 7.4)
9. Para detener una canción, presione el botón “STOP” que se muestra en **6.** (ver 7.4)
10. Para reproducir la canción siguiente, presione el botón “NEXT” que se muestra en **6.** (ver 7.4)
11. Para reproducir la canción anterior, presione el botón “PREV” que se muestra en **6.** (ver 7.4)
12. Mientras la aplicación se esté ejecutando. Si se detecta una condición de alarma respecto a la temperatura ambiental, recibirá una notificación en su móvil. (ver 7.4)



Figura 7.4: Botones de la pantalla del prototipo de aplicación móvil.

LIMPIEZA

Al limpiar el dispositivo asegúrese de que se encuentre apagado. No se debe usar ningún tipo de líquido corrosivo para la limpieza.

AVISO

Este dispositivo es un prototipo creado en ambiente de laboratorio, diseñado por una estudiante de ingeniería electrónica de la universidad Javeriana de Cali. No se autoriza por ningún motivo la venta o copia total o parcial del producto, este dispositivo está diseñado para fines académicos o de investigación.

7.3. Anexo C: Plan de pruebas

Número de prueba	Descripción de la prueba	Resultado esperado	Resultado actual
1	<p>Calibración del sensor: Repetir el procedimiento que se realizó para calibrar el sensor. Tomar mediciones a diferentes muestras de agua destilada, bajo las mismas condiciones, a diferentes valores de temperatura, tanto con la cámara infrarroja, como con el sensor de temperatura.</p>	<p>La medición del sensor con la calibración tiene un mayor acercamiento a la medición que se realiza con la cámara infrarroja.</p>	<p>En los vídeos es posible observar que existe una menor diferencia entre las mediciones tomadas con ambos dispositivos. Sin embargo, la medición del sensor es muy sensible.</p>
2	<p>Medición de temperatura corporal externa a personas de prueba: Realizar medición de temperatura a trece personas diferentes con la cámara infrarroja y con el dispositivo. Ambas mediciones se realizarán en la frente de los sujetos y el sensor de temperatura estará aproximadamente a una distancia de cinco centímetros.</p>	<p>La medición del dispositivo es similar a la medición de la cámara infrarroja, y en la aplicación es posible visibilizar las alarmas de "Hipotermia" y "Fiebre" cuando se detectan los rangos establecidos como alerta.</p>	<p>En los vídeos es posible observar que la medición tomada con la cámara en todos los casos es baja cuando se trata de temperatura corporal. Sin embargo, esto se debe a que, al tratarse de una medición sin contacto, el aparato no puede entrar en equilibrio térmico, como es el caso de los termómetros de mercurio. La cámara toma la temperatura cutánea (de la piel), cuyo valor normal para los seres humanos es alrededor de 33,5°C, y no la temperatura corporal central, cuyo valor normal está entre 36,6 y 37,5 °C. Por otra parte, los valores tomados por el sensor del dispositivo son un poco más cercanos a la temperatura corporal central y el dispositivo es capaz de enviar las señales de alarma cuando detecta que la temperatura se encuentra del rango establecido como normal.</p>

3	<p>Prueba del indicador lumínico para los diferentes niveles de temperatura ambiente establecidos: Verificar que el led tenga un color rojo si la temperatura ambiental establecida por el usuario se encuentra entre 17°C y 19°C. Verificar que el led tenga un color verde si la temperatura ambiental establecida por el usuario se encuentra entre 20°C y 22°C. Verificar que el led tenga un color amarillo verdoso cuando la temperatura ambiental este fuera de cualquiera de los dos rangos mencionados anteriormente.</p>	<p>El indicador toma un color rojo cuando la temperatura ambiental establecida por el usuario se encuentra entre 17°C y 19°C. El indicador toma un color verde cuando la temperatura ambiental establecida por el usuario se encuentra entre 20°C y 22°C. El indicador toma un color amarillo verdoso cuando la temperatura ambiental este fuera de cualquiera de los dos rangos mencionados anteriormente.</p>	<p>El indicador lumínico varía su color adecuadamente de acuerdo con los rangos de temperatura ambiental establecidos por el usuario.</p>
4	<p>Prueba de las opciones de reproducción de sonido: Verificar que el usuario pueda elegir en la lista desplegable la canción que desea reproducir. Verificar que la opción "PLAY" permita reproducir la canción seleccionada por el usuario. Verificar que la opción "STOP" detenga la melodía que se está reproduciendo. Verificar que la opción "NEXT" permita pasar a la siguiente canción en la lista de reproducción, y así mismo, que cuando se dé el caso de que se esté reproduciendo la canción 8, la opción "NEXT" permita reproducir la canción 1. Verificar que la opción "PREV" permita pasar a la canción anterior de la lista de reproducción,</p>	<p>El usuario puede elegir en la lista desplegable la canción que desea reproducir. La opción "PLAY" permite reproducir la canción seleccionada por el usuario. La opción "STOP" detiene la melodía que se está reproduciendo. La opción "NEXT" permite pasar a la siguiente canción en la lista de reproducción, y así mismo, cuando se da el caso de que se está reproduciendo la canción 8, la opción "NEXT" permite reproducir la canción 1. La opción "PREV" permite pasar a la canción anterior de la lista de reproducción, así mismo, cuando se da</p>	<p>El reproductor de sonido funciona adecuadamente de acuerdo con lo establecido. El usuario puede elegir la canción que desea reproducir, y las opciones "PLAY", "STOP", "NEXT", "PREV" cumplen su propósito.</p>

	<p>así mismo, que cuando se dé el caso en el que se está reproduciendo la canción 1, la opción "PREV" permita reproducir la canción 8.</p>	<p>el caso en el que se está reproduciendo la canción 1, la opción "PREV" permite reproducir la canción 8.</p>	
5	<p>Prueba de la variación de la intensidad lumínica: Verificar que la intensidad de la luz del bombillo establecido para realizar la prueba varía conforme el usuario lo establezca, donde el 0 representa el bombillo apagado y 255 representa el bombillo alumbrando en su máxima intensidad.</p>	<p>La intensidad de la luz del bombillo varía conforme el usuario lo establece, donde el 0 representa el bombillo apagado y 255 representa el bombillo alumbrando en su máxima intensidad.</p>	<p>La función de variación de intensidad lumínica varía adecuadamente conforme a lo establecido.</p>

6	<p>Subsistema de alimentación: Verificar que el subsistema de alimentación funciona acorde a lo diseñado de acuerdo con los requerimientos del sistema. Verificar que el convertidor AC/DC funcione adecuadamente.</p> <p>Verificar que la salida de voltaje del subsistema de alimentación permita alimentar el microcontrolador.</p> <p>Verificar que la salida de voltaje proveniente del microcontrolador permita alimentar al sensor de temperatura, al módulo MP3 y al dimmer AC.</p>	<p>El subsistema de alimentación suministra la corriente requerida para el funcionamiento total del sistema. La corriente requerida es de 298.24 mA</p> <p>El convertidor AC/DC permite regular el voltaje proveniente de la línea de alimentación AC de 240VAC a los 5VDC requeridos por el microcontrolador.</p> <p>El pin de salida de 5 V proveniente del microcontrolador permite alimentar adecuadamente al sensor de temperatura, al módulo MP3 y al dimmer AC.</p>	<p>El sistema cuenta con una alimentación de 240 VAC y 3 A provenientes de la línea de alimentación del dimmer AC. De esta manera, es posible suplir la alimentación requerida para el funcionamiento adecuado.</p> <p>El convertidor AC/DC permite regular de manera correcta el voltaje necesario para el sistema. La salida de 5 V del microcontrolador permite alimentar adecuadamente a los demás subsistemas.</p>
7	<p>Coherencia entre la aplicación y el hardware: Verificar que en la aplicación se muestre el dato de temperatura corporal obtenido por el sensor, y que notifique al usuario las alertas "Hipotermia" y "Fiebre" al detectar una temperatura fuera del rango considerado como normal. Verificar que en la aplicación se muestre el dato de temperatura ambiental proveniente del sensor. Verificar que el <i>slider</i> de temperatura ambiental establecido entre 16°C y 25°C permita simular la variación de la temperatura ambiental</p>	<p>En la aplicación se muestra el dato de temperatura corporal obtenido por el sensor, y notifica al usuario las alertas "Hipotermia" y "Fiebre" al detectar una temperatura fuera del rango considerado como normal. La aplicación muestra el dato de temperatura ambiental proveniente del sensor. El slider de temperatura ambiental establecido entre 16°C y 25°C permite simular la variación de la temperatura ambiental establecida por el usuario, y así mismo, el indicador lumínico</p>	<p>En la pantalla de la aplicación, el ítem llamado "TEMPERATURA DEL OBJETO EN GRADOS CELSIUS °C" permite visualizar la temperatura corporal captada por el sensor. Adicionalmente, en los videos tomados para la prueba no.1 y no.2 es posible observar cómo el sistema notifica al usuario por medio de la aplicación las dos diferentes alarmas establecidas: "Hipotermia" o "Fiebre" cuando el sensor capto las temperaturas de alerta respectivamente. En la pantalla de la aplicación el ítem llamado "TEMPERATURA AMBIENTAL EN GRADOS °C" permite visualizar la temperatura ambiental captada por el sensor. En la pantalla de la aplicación, el</p>

	<p>establecida por el usuario, y así mismo, el indicador lumínico adecue su color conforme a ella. Verificar que el <i>slider</i> de intensidad lumínica permita al usuario establecer la intensidad deseada entre los valores de 0 a 255, y así mismo, esto se vea reflejado en la intensidad en la que ilumina el bombillo utilizado para la prueba. Verificar que la lista desplegable de canciones permita al usuario seleccionar la canción que desea reproducir y, así mismo, que el <i>widget</i> de reproducción con las opciones de "PLAY", "STOP", NEXT" y "PREV" permite la reproducción adecuada de las ocho canciones.</p>	<p>adecua su color conforme a ella. El <i>slider</i> de intensidad lumínica permite al usuario establecer la intensidad deseada entre los valores de 0 a 255, y así mismo, esto se vea reflejado en la intensidad en la que ilumina el bombillo utilizado para la prueba. La lista desplegable de canciones permite al usuario seleccionar la canción que desea reproducir y, así mismo, el <i>widget</i> de reproducción con las opciones de "PLAY", "STOP", NEXT" y "PREV" permite la reproducción adecuada de las ocho canciones.</p>	<p><i>slider</i> llamado "VARIADOR DE TEMPERATURA AMBIENTAL", permite al usuario simular la variación de la temperatura ambiental en un rango entre 16°C y 25°C, y así, el indicador lumínico cambia de color. Esto se complementa con la prueba no. 3. En la pantalla de la aplicación, el <i>slider</i> llamado "VARIADOR DE INTENSIDAD LUMINICA", permite al usuario establecer el nivel de intensidad del bombillo. Esto se complementa con la prueba no.5. En la pantalla de la aplicación, el menú llamado "LISTA DE CANCIONES", permite al usuario desplegar una lista de ocho canciones y seleccionar cualquiera de ella. Adicionalmente, el <i>widget</i> de reproducción ubicado en la parte inferior de la pantalla le permite al usuario elegir entre las cuatro opciones "PLAY", "STOP", "NEXT" y "PREV". Esto se complementa con la prueba no.4.</p>
8	<p>Validación del prototipo de la aplicación: Verificar que uno o dos usuarios (externos al campo de la electrónica) comprendan cómo funciona el prototipo de la aplicación móvil.</p>	<p>Los usuarios que observaron el prototipo de la aplicación fueron capaces de entender cómo funciona y la experiencia usuario/aplicación fue sencilla y manejable.</p>	<p>Las docentes Ingrid Madera y Paola Cruz, ambas madres de familia, analizaron el prototipo de la aplicación y tuvieron una buena experiencia de usuario. Sin embargo, hicieron comentarios sobre la interfaz gráfica, funcionalidades y aspectos que se tendrán en cuenta en los trabajos futuros.</p>

7.4. Anexo D: Participación en el plan de pruebas

A continuación, se adjunta uno de los trece consentimientos informados, a manera de ejemplo. Los demás consentimientos, se encuentran en la carpeta *CONSENTIMIENTOS* en el enlace [53].



Consentimiento informado: (Investigación)

Título: Diseño e implementación de un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a través del monitoreo de la temperatura corporal y el control de factores de su entorno.

Santiago de Cali, Valle

Fecha: 15 de Diciembre

Yo, María Nicolle Gómez una vez informado sobre los propósitos, objetivos, procedimientos de intervención y evaluación que se llevarán a cabo en esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a Ana María Medina Conto, estudiante de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para la realización de los siguientes procedimientos:

1. Toma de la temperatura corporal en el brazo con el sensor de temperatura.
2. Toma de la temperatura corporal con la cámara infrarroja.

Adicionalmente se me informó que:

- Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria, estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento, retirarse no tiene ninguna consecuencia para usted.
- No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitirán probar el dispositivo en cuanto a la medición de temperatura.
- Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente. Esta información será archivada en papel y medio electrónico. El archivo del estudio se guardará en la Pontificia Universidad Javeriana Cali bajo la responsabilidad de los investigadores.
- Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada al anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros u otras instituciones educativas. Esto también se aplica a mi cónyuge, a otros miembros de mi familia y a mis médicos.
- El proceso de medición tiene una duración estimada de 10 minutos, que constará de una sesión por persona.
- El número de personas que participarán en el estudio serán 13.
- Usted tiene derecho a aclarar todas las dudas que tenga presente, podrá solicitar información detallada sobre la investigación o algún tema que se encuentre relacionado con el estudio. Esta información podrá ser aclarada con los investigadores, ellos/as deberán proporcionar toda la información que necesite para entender el estudio. Si considera necesario comunicarse con el director del grupo de investigación podrá contactar a la

Ingeniería Electrónica – Facultad de Ingeniería y Ciencias

Calle 18 No. 118-250 Av. Cañasgordas • Cali, Colombia • www.javerianacali.edu.co • PBX. (572) 321

8200



docente Maribell Sacanamboy Franco al siguiente correo:
msacanambo@javerianacali.edu.co.

- Si presenta algún tipo de incomodidad o efecto no deseado, informar a los investigadores y se dará por terminada la sesión.
- Si considera que no cuenta con dudas ni preguntas con respecto a su participación, puede, y si así lo desea, firmar el consentimiento.

Descripción de la investigación

La investigación que se llevará a cabo lleva como nombre "*Diseño e implementación de un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a través del monitoreo de la temperatura corporal y el control de factores de su entorno*", a cargo de la estudiante de la carrera de ingeniería electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana, dirigida por la profesora Maribell Sacanamboy. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un prototipo para apoyar el cuidado de menores entre cero y seis meses, a partir del monitoreo regular de la temperatura corporal para la detección de alteraciones; y el control de factores ambientales con el fin de garantizar un ambiente óptimo y confortable para el menor.

El procedimiento consta de la medición de la temperatura corporal con el sensor seleccionado para desarrollar este trabajo de grado, el sensor infrarrojo MLX90614, sin necesidad de contacto, y se apreciará el valor medido en el prototipo de la aplicación móvil que se desarrolló. Posteriormente, se utilizará la cámara infrarroja para medir la misma temperatura en la misma zona.

No se espera que el procedimiento sea riesgoso o incomodo para la persona, pues la temperatura se tomará sin hacer contacto directo con la piel.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad de manera libre y espontánea.

Firma

Documento de identidad CC No. 1192910625 de Cali

Testigo: Esta persona debe ser seleccionada por el participante y no debe tener ninguna relación con el equipo de investigación.

Ingeniería Electrónica – Facultad de Ingeniería y Ciencias

Calle 18 No. 118-250 Av. Cañasgordas • Cali, Colombia • www.javerianacali.edu.co • PBX. (572) 321
8200



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Nombre testigo 1: *Nicolas Florez*
Relación con el participante: *Amigo*

Firma

Nombre testigo 2: *Santiago Florez*
Relación con el participante:

Firma

Ingeniería Electrónica – Facultad de Ingeniería y Ciencias

Calle 18 No. 118-250 Av. Cañasgordas • Cali, Colombia • www.javerianacali.edu.co • PBX. (572) 321

8200