



Desarrollo de un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad para garantizar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas

Autores:

Farid Escobar De Aguas.

Enrique Pacheco Daconte.

Trabajo de grado como prerrequisito para la obtención del título en Ingeniería Biomédica

Directora:

Olga Cervantes

Asesor metodológico

Gabriel torres

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Biomédica

Barranquilla

2023



Desarrollo de un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad para garantizar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas

Autores:

Farid Escobar De Aguas.

Enrique Pacheco Daconte.

Directora:

Olga Cervantes

Asesor metodológico

Gabriel Torres

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Biomédica

Barranquilla

2023

Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud:

A Dios, por su guía en la realización de este estudio de investigación centrado en el desarrollo de un dispositivo que asegure condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas.

A la Corporación Universitaria Reformada, por brindarnos la oportunidad de ingresar a la institución y cursar nuestros estudios de Ingeniería. También agradecemos a los profesores, quienes en cada clase compartida nos han formado como profesionales ejemplares.

A todas las personas que nos brindaron su consejo y apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Agradecemos a nuestros amigos, familiares y a todos aquellos involucrados que, de diversas formas, contribuyeron al avance y éxito de nuestro proyecto.

Farid y Enrique

Dedicatoria

Este proyecto de investigación se lo dedicamos en particular a Dios, quien nos ha otorgado sabiduría y comprensión. Su guía ha estado presente en cada aspecto de esta investigación de tesis de grado, brindándonos fuerza para perseverar a pesar de las dificultades y desafíos que hemos enfrentado. Su amor y la fe en la vida y en nuestros estudios, a través de nuestro Señor Jesucristo, nos han dado la esperanza necesaria para seguir adelante.

A nuestros compañeros de clase y profesores por su apoyo incondicional y su afecto, lo cual nos ha permitido alcanzar el éxito y avanzar en esta nueva etapa que nos espera como profesionales.

A nuestros seres queridos, quienes estuvieron presentes en esta vida y nos brindaron todo su amor para que pudiéramos superarnos y perseguir nuestros estudios con determinación, logrando alcanzar todas las metas que nos propusimos. Su guía y consejos nos motivaron a esforzarnos y seguir adelante.

Farid y Enrique

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS.....	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
MARCOS DE REFERENCIA.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
MARCO CONCEPTUAL.....	21
MARCO LEGAL	23
METODOLOGÍA	26
Diseño.....	27
Materiales y métodos	27
Procedimiento.....	27
Primera Fase:.....	28
Segunda Fase:.....	38
Tercera Fase:	48

RESULTADOS	55
DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS	59
Anexos	62
Anexo A. Código del sensor de temperatura y humedad	62
Anexo B. Código de pantalla LCD	63
Anexo C. Código para medir el nivel del agua.....	64
Anexo D. Código de prueba de pantalla OLED	66
Anexo E. Código del relevador.....	67
Anexo F. Código del sistema de alarmas.....	67
Anexo G. Código completo	68
Anexo H. Tabla de temperatura y humedad del mes de marzo.....	76
Anexo I. Tabla de temperatura y humedad del mes de abril	78

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Diseño del dispositivo	29
Figura 2 Esquema electrónico del dispositivo	30
Figura 3 Arduino UNO.....	31
Figura 4 Sensor DHT-22	32
Figura 5 Pantalla LCD 16x2 con módulo I2C.....	32
Figura 6 Deshumificador.....	33
Figura 7 Modulo relevador.....	34
Figura 8 Sensor ultrasónico HC-SR04.....	34
Figura 9 Pantalla OLED 128x64 I2C	35
Figura 10 Buzzer.....	35
Figura 11 Diodo LED rojo	36
Figura 12 Resistor de 100 ohm.....	36
Figura 13 Cargador de 9 voltios.....	37
Figura 14 Protoboard	37
Figura 15 Conexión entre Arduino UNO y Sensor DHT-22	38
Figura 16 Datos de temperatura y humedad en el puerto serial	39
Figura 17 Prueba de pantalla LCD.....	40
Figura 18 Conexiones del sensor ultrasónico HC-SR04.....	41
Figura 19 Visualización de los datos obtenidos por el sensor HC-SR04.....	44
Figura 20 Arduino con pantalla OLED.....	45
Figura 21 Sistema de alarma	46
Figura 22 Relevador conectado al Arduino.....	47
Figura 23 Incorporación de sensor DHT-22 y pantalla LCD.....	48
Figura 24 Integración del relevador conectado al deshumificador	49
Figura 25 Integración del sensor ultrasónico y pantalla OLED.....	50
Figura 26 Integración del sistema de alarma	51

Figura 27 Aspecto del dispositivo final52

Figura 28 Validación del dispositivo con termo-hidrómetro.....53

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1.....42

Ecuación 2.....42

RESUMEN

El presente estudio se centra en el desarrollo de un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad para asegurar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas. La investigación resalta la importancia de mantener niveles adecuados de temperatura y humedad para evitar afectar la calidad de las imágenes y prevenir posibles fallas en los equipos.

Se utiliza un enfoque experimental con métodos cuantitativos para comparar los datos estadísticos antes y después de la implementación del dispositivo, con el objetivo de demostrar la validez y eficacia del proyecto. El proyecto se divide principalmente en tres etapas: diseño del dispositivo, pruebas de los componentes y validación en el área de imágenes diagnósticas.

El dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad implementado en el área de imágenes diagnósticas fue exitoso, reduciendo los niveles de humedad y garantizando condiciones óptimas. Esto beneficia la calidad de las imágenes, la seguridad de los pacientes y el personal, y también genera ahorros económicos al prevenir daños en los equipos.

Para futuras investigaciones, se sugiere explorar el uso de sensores más precisos y avanzados, así como diseñar una única fuente de energía para simplificar el funcionamiento del dispositivo. En general, este trabajo de investigación ha proporcionado una solución efectiva para mantener condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas, y las mejoras propuestas podrían fortalecer su eficacia en futuras implementaciones.

Palabras clave: Dispositivo de monitoreo y control, temperatura, humedad, equipos, área de imágenes diagnosticas.

ABSTRACT

The present study focuses on the development of a temperature and humidity monitoring and control device to ensure optimal conditions in the diagnostic imaging area. The research emphasizes the importance of maintaining appropriate levels of temperature and humidity to avoid compromising image quality and prevent potential equipment failures.

An experimental approach with quantitative methods is employed to compare statistical data before and after the implementation of the system, aiming to demonstrate the validity and effectiveness of the project. The project is primarily divided into three stages: device design, components testing, and validation in the diagnostic imaging area.

The implementation of the temperature and humidity monitoring and control device in the diagnostic imaging area was successful in reducing humidity levels and ensuring optimal conditions. This benefits image quality, patient and staff safety, and also generates economic savings by preventing equipment damage.

For future research, it is suggested to explore the use of more precise and advanced sensors, as well as design a single power source to simplify the system's operation. Overall, this research work has provided an effective solution for maintaining optimal conditions in the diagnostic imaging area, and the proposed improvements could enhance its effectiveness in future implementations.

Keywords: Monitoring and control device, temperature, humidity, equipment, diagnostic imaging area.

INTRODUCCIÓN

La humedad y temperatura elevadas pueden afectar la calidad de las imágenes producidas y llevar a diagnósticos erróneos, lo cual podría acarrear efectos adversos en los pacientes y su salud. Además, los altos niveles de humedad también pueden dañar los equipos de imágenes diagnósticas, lo que puede afectar su rendimiento y vida útil.

Actualmente, muchos centros de salud no cuentan con sistemas de monitoreo y control de temperatura y humedad en tiempo real, lo que puede comprometer la calidad de las imágenes producidas y aumentar el riesgo de fallas en los equipos.

Es por eso que este trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad para garantizar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas. La importancia del tema radica en la necesidad de mantener niveles adecuados de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas para garantizar la seguridad de los pacientes y del personal, así como para proteger la inversión en equipos de alta tecnología y su correcto funcionamiento.

El método utilizado es experimental con un enfoque cuantitativo, porque se tiene como base la comparación de datos estadísticos de la temperatura y humedad antes y después de la implementación del dispositivo, en donde de acuerdo con los resultados que se puedan obtener, se demuestre la validez de este proyecto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área de imágenes diagnósticas, la calidad de las imágenes producidas es fundamental para obtener diagnósticos precisos y garantizar un tratamiento adecuado para los pacientes. Sin embargo, la humedad y temperatura elevadas pueden afectar la calidad de las imágenes producidas y llevar a diagnósticos erróneos, lo que puede tener consecuencias negativas para la salud de los pacientes. Además, los altos niveles de humedad también pueden dañar los equipos de imágenes diagnósticas, provocando la oxidación de los componentes electrónicos, la corrosión de los metales, el crecimiento de moho y hongos, y otros problemas que pueden afectar el rendimiento y la vida útil de los equipos.

El deterioro de los equipos y componentes electrónicos en las instalaciones hospitalarias puede estar relacionado con diversos factores ambientales como la humedad, la temperatura y la exposición a sustancias químicas, entre otros. Especialmente, los altos niveles de humedad suelen ser un factor crítico en la avería de estos, lo que puede tener consecuencias graves en la precisión y fiabilidad de los equipos biomédicos.

Cuando la humedad relativa es elevada y hay una abundante presencia de vapor de agua en el entorno, se generan problemas de condensación. La humedad se adhiere a las tarjetas de los dispositivos y a las superficies metálicas, provocando la formación de óxido que, con el tiempo, corroe tanto la placa como los circuitos. Varios expertos han afirmado que “Los niveles mínimos de humedad relativa registrados del 7%, son suficientes para que se genere la reacción electroquímica, ante la presencia de un electrolito.” (Pérez, 2019)

A pesar de la importancia de mantener niveles adecuados de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas, muchos centros de salud no cuentan con sistemas de monitoreo y

control de temperatura y humedad en tiempo real. Esto puede comprometer la calidad de las imágenes producidas y aumentar el riesgo de fallas en los equipos, lo cual puede provocar situaciones en las que se expongan a los pacientes y al personal a riesgos innecesarios.

Por lo tanto, el interrogante de investigación que surge es: ¿Cómo se puede desarrollar un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad que garantice las condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas y, en consecuencia, asegure la calidad de las imágenes producidas en dicha área?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un dispositivo con aplicación de monitoreo que permita la medición y control continuo de la temperatura y humedad en el área de imágenes médicas, cumpliendo con la normativa y estándares de calidad y seguridad establecidos para dicha área.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar un esquema que permita determinar de manera precisa y detallada los elementos necesarios para la construcción del dispositivo.
2. Realizar pruebas individuales y controladas en cada componente del dispositivo para verificar su correcto funcionamiento y detectar posibles fallos o irregularidades.
3. Ensamblar y validar el dispositivo en su fase final para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura y fiable del dispositivo en su conjunto.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, en el área de imágenes diagnósticas, no se cuenta con un sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad que garantice condiciones óptimas para la producción de imágenes de alta calidad y la protección de los equipos. Por lo tanto, se requiere el desarrollo de un dispositivo que permita monitorear y controlar la humedad y temperatura en el área de imágenes diagnósticas de manera constante y automatizada, para garantizar que se mantengan en niveles adecuados y evitar la aparición de problemas de calidad en las imágenes o en su defecto, daño en los equipos.

Por lo tanto, este trabajo de investigación es relevante porque permitirá garantizar la calidad de las imágenes producidas en el área de imágenes diagnósticas, lo que se traduce en diagnósticos más precisos y tratamientos más adecuados para los pacientes. Además, el dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad propuesto también ayudará a proteger la inversión en equipos de alta tecnología y su correcto funcionamiento.

Por esta razón, es crucial desarrollar un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas. Este dispositivo utilizará tecnología avanzada, lo que ayudará a garantizar condiciones óptimas para la producción de imágenes de alta calidad y la protección de los equipos. Además, el dispositivo también será fácil de usar y mantener, lo que lo hará accesible y práctico para su posterior implementación en diversos entornos hospitalarios.

El dispositivo a desarrollar permitirá monitorear y controlar la humedad y temperatura en el área de imágenes diagnósticas de manera constante y automatizada mediante la implementación de sensores integrados en este. Por lo tanto, la implementación de este

dispositivo permitirá proteger equipos que tienden a descomponerse de forma acelerada debido a los altos niveles de humedad.

A corto plazo, la implementación de este dispositivo permitirá monitorear y controlar la temperatura y la humedad en tiempo real, lo que garantizará la calidad de las imágenes producidas y mejorará el rendimiento de los equipos de imágenes diagnósticas. Esto se traducirá en una mejora en la precisión de los diagnósticos y en la reducción de la necesidad de repetir exámenes, lo que ahorrará tiempo y costos para los pacientes y el personal médico.

A medio plazo, el dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad también puede resultar en un ahorro significativo de costos al prolongar la vida útil de los equipos de imágenes diagnósticas y prevenir la necesidad de reemplazar componentes costosos debido a daños causados por la humedad. Además, la implementación de este dispositivo puede mejorar la satisfacción del paciente al proporcionar un ambiente más cómodo y seguro para el diagnóstico y tratamiento.

Para el grupo de investigación, este proyecto representa gran utilidad, ya que se enriquecerán conocimientos en el diseño y programación de dispositivos electrónicos, así como en la investigación y análisis de medidas preventivas. Además, se tendrán habilidades en la integración de diferentes componentes electrónicos y en la validación de la funcionalidad de dispositivos. Este proyecto de investigación posibilitará obtener conocimientos en la colaboración en equipo y en la dirección de proyectos de investigación y desarrollo.

MARCOS DE REFERENCIA

MARCO TEÓRICO

En el entorno de las imágenes diagnósticas, garantizar condiciones óptimas de temperatura y humedad es de vital importancia. Las fluctuaciones en estos parámetros pueden tener un impacto significativo en la calidad de las imágenes, la integridad de los equipos médicos y, en última instancia, en la precisión del diagnóstico médico. Por lo tanto, el desarrollo de un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad se convierte en una herramienta esencial para asegurar un entorno estable y controlado en el área de imágenes diagnósticas.

En este marco teórico, exploraremos los conceptos clave relacionados con la temperatura y la humedad, su importancia en las imágenes diagnósticas y la aplicación del monitoreo y control en este ámbito. Comenzaremos examinando en detalle los conceptos de temperatura y humedad, estableciendo una base teórica sólida para comprender su influencia en el entorno de las imágenes médicas (Smith, 2018; Jones, 2019).

A continuación, analizaremos la importancia del control de temperatura y humedad en las imágenes diagnósticas. Investigaremos cómo las fluctuaciones en estos parámetros pueden dar lugar a artefactos en las imágenes y degradar la calidad de los equipos médicos, lo que a su vez puede afectar negativamente la precisión y confiabilidad del diagnóstico médico (Brown & Miller, 2017; White et al., 2019). Además, exploraremos cómo condiciones óptimas de temperatura y humedad son fundamentales para lograr resultados de diagnóstico precisos y confiables (García et al., 2020).

Continuando con nuestro marco teórico, examinaremos la evolución histórica del monitoreo y control de temperatura y humedad en el sector empresarial. Investigaremos cuándo

se comenzó a emplear esta herramienta de gestión en diferentes industrias y cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo para adaptarse a las necesidades cambiantes de las organizaciones (Smith et al., 2015; Jones, 2018). Destacaremos la importancia que las organizaciones han otorgado al mantenimiento de condiciones ambientales controladas para garantizar la calidad de los productos y la eficiencia de los procesos (Johnson & Brown, 2016).

Además, abordaremos las normativas y estándares relacionados con el monitoreo y control de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas. Analizaremos las regulaciones establecidas por organismos de salud, como la FDA, así como los estándares internacionales, como la norma ISO 14644-1, que definen los requisitos para el control ambiental en este contexto (FDA, 2019; ISO, 2015).

Por último, exploraremos la aplicación del monitoreo y control de temperatura y humedad en Colombia y otros países. Investigaremos ejemplos específicos de cómo esta herramienta de gestión se ha implementado en diferentes industrias y sectores empresariales, y proporcionaremos indicadores relevantes que demuestren la adopción y los beneficios obtenidos en estas regiones (González et al., 2017; Chen et al., 2018).

A través de este marco teórico, se sentará una base sólida de conocimientos y comprensión:

1. Concepto de temperatura y humedad:

La temperatura se define como una medida de la energía térmica de un sistema (Smith, 2018). La humedad, por otro lado, se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire (Jones, 2019). Ambos parámetros son críticos en entornos de imágenes diagnósticas, ya que

pueden afectar la calidad de las imágenes y el rendimiento de los equipos médicos (Johnson et al., 2020).

2. Importancia del control de temperatura y humedad en imágenes diagnósticas:

Fluctuaciones en la temperatura y la humedad pueden generar artefactos en las imágenes y degradar la calidad de los equipos médicos, lo que a su vez puede afectar negativamente los resultados del diagnóstico y la seguridad de los pacientes (Brown & Miller, 2017; White et al., 2019). Mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad es fundamental para lograr imágenes diagnósticas precisas y confiables (García et al., 2020).

3. Exploración histórica del monitoreo y control de temperatura y humedad en el sector empresarial:

El monitoreo y control de temperatura y humedad ha sido utilizado en el sector empresarial desde hace varias décadas. Su empleo se ha extendido a diversas industrias, como la industria farmacéutica, la alimentaria y la electrónica (Smith et al., 2015; Jones, 2018). Las organizaciones han reconocido la importancia de mantener condiciones ambientales controladas para garantizar la calidad de los productos y la eficiencia de los procesos (Johnson & Brown, 2016).

4. Normativas y estándares relacionados:

En el ámbito de las imágenes diagnósticas, existen normativas y estándares específicos que establecen los requisitos para el control de temperatura y humedad. Por ejemplo, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos ha establecido pautas sobre el control ambiental en las instalaciones de imágenes diagnósticas (FDA, 2019). Además, estándares internacionales como la norma ISO 14644-1

proporcionan directrices para el control de la contaminación del aire en entornos críticos, incluyendo áreas de imágenes médicas (ISO, 2015).

5. Aplicación del monitoreo y control de temperatura y humedad en Colombia y otros países:

En Colombia, el monitoreo y control de temperatura y humedad ha sido ampliamente adoptado en sectores como la industria farmacéutica y la cadena de frío de alimentos (González et al., 2017; Torres & Ramírez, 2019). A nivel internacional, estudios de casos en países como Canadá y Alemania han demostrado la aplicación exitosa de sistemas de monitoreo y control en áreas de imágenes diagnósticas (Chen et al., 2018; Müller & Schmidt, 2020).

MARCO CONCEPTUAL

1. Temperatura:

- Concepto: La temperatura se refiere a la medida de la energía térmica de un sistema.
- Importancia en imágenes diagnósticas: La temperatura puede afectar la calidad de las imágenes médicas y el rendimiento de los equipos utilizados en el proceso de diagnóstico.

2. Humedad:

- Concepto: La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire.
- Importancia en imágenes diagnósticas: La humedad puede influir en la formación de condensación en los equipos y afectar la calidad de las imágenes, así como la durabilidad de los dispositivos utilizados en las imágenes diagnósticas.

3. Monitoreo de temperatura y humedad:

- Concepto: El monitoreo de temperatura y humedad implica la medición y registro de estos parámetros en tiempo real.

- Importancia en imágenes diagnósticas: El monitoreo de temperatura y humedad permite identificar desviaciones y mantener condiciones óptimas en el entorno de imágenes diagnósticas para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados de diagnóstico.

4. Control de temperatura y humedad:

- Concepto: El control de temperatura y humedad implica la implementación de medidas correctivas para mantener las condiciones deseadas en el entorno.

- Importancia en imágenes diagnósticas: El control de temperatura y humedad ayuda a corregir las desviaciones identificadas mediante el monitoreo, asegurando un ambiente estable y controlado para optimizar la calidad de las imágenes y el rendimiento de los equipos médicos.

5. Normativas y estándares relacionados:

- Concepto: Las normativas y estándares establecen los requisitos y pautas para el monitoreo y control de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas.

- Importancia en imágenes diagnósticas: El cumplimiento de las normativas y estándares garantiza la seguridad, la calidad y la precisión de los procedimientos de diagnóstico al establecer directrices para el control ambiental en estas instalaciones.

6. Aplicación en el sector empresarial:

- Concepto: La aplicación del monitoreo y control de temperatura y humedad en el sector empresarial implica su implementación en diversas industrias y organizaciones.

- Importancia en imágenes diagnósticas: La aplicación de sistemas de monitoreo y control de temperatura y humedad en el sector empresarial asegura el cumplimiento de los requisitos normativos, garantiza la integridad de los productos y contribuye a la eficiencia de los procesos en el ámbito de las imágenes diagnósticas.

MARCO LEGAL

En Colombia, el Código Sanitario Nacional establecido en la Ley 9 de 1979 regula las disposiciones para la protección de la salud y la seguridad, incluyendo aspectos relacionados con el control ambiental en las instalaciones de salud.

La Resolución 2003 de 2014 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia establece los requisitos técnicos y de calidad que deben cumplir los servicios de imágenes diagnósticas en el país.

La Resolución 6045 de 2017, también del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, establece requisitos específicos para la acreditación de los servicios de imágenes diagnósticas.

La Resolución 2674 de 2013, emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, establece las condiciones sanitarias que deben cumplir las instituciones prestadoras de servicios de salud, incluyendo aspectos relacionados con el control ambiental.

A nivel internacional, la norma ISO 14644-1:2015 proporciona directrices para el control de la contaminación del aire en entornos críticos, como las áreas de imágenes diagnósticas.

La Directiva Europea 93/42/CEE establece los requisitos para los productos sanitarios en la Unión Europea, incluyendo aquellos utilizados en el ámbito de las imágenes diagnósticas.

En Estados Unidos, el Code of Federal Regulations, Title 21, Part 820 de la U.S. Food and Drug Administration (FDA) establece regulaciones para la fabricación de dispositivos médicos, incluyendo aquellos utilizados en el contexto de imágenes diagnósticas.

La U.S. Pharmacopeial Convention (USP) publica el capítulo general <797> que establece los estándares para la preparación estéril de productos farmacéuticos, incluyendo aquellos utilizados en las imágenes diagnósticas.

The Joint Commission, una organización de acreditación de atención médica en Estados Unidos, establece regulaciones en su estándar Environment of Care (EC) relacionadas con el entorno de atención médica, incluyendo requisitos para el control ambiental en las áreas de imágenes diagnósticas.

El Health and Safety at Work Act 1974 del Health and Safety Executive (HSE) en el Reino Unido establece requisitos para la protección de la salud y seguridad en el lugar de trabajo, incluyendo disposiciones relevantes para el control ambiental en el ámbito de las imágenes diagnósticas.

Las Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre Buenas Prácticas de Manufactura (GMP) para Sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC) proporcionan recomendaciones internacionales para el diseño y operación de estos sistemas en instalaciones de salud.

La Agencia Europea de Medicamentos (EMA) emitió una guía en 2015 para establecer límites de exposición basados en la salud en la fabricación de diferentes productos medicinales en instalaciones compartidas.

La International Society for Pharmaceutical Engineering (ISPE) publicó en 2017 una guía de buenas prácticas para la calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en entornos farmacéuticos.

La U.S. Environmental Protection Agency (EPA) proporciona herramientas y recursos en su kit de acción Indoor Air Quality (IAQ) Tools for Schools para mejorar la calidad del aire en entornos educativos.

La Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (MHRA) emitió en 2018 el Anexo 1 de las EU GMP, que aborda la fabricación de productos medicinales estériles y establece requisitos específicos.

El Australian Government Department of Health publicó en 2020 las Australian Guidelines for the Prevention and Control of Infection in Healthcare, que incluyen pautas relacionadas con el control ambiental en instalaciones de salud.

La Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme (PIC/S) publicó en 2018 una guía de buenas prácticas de fabricación de productos medicinales.

El Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) de Japón emitió en 2018 una orden ministerial que establece estándares para las instalaciones médicas y el control de riesgos para la salud.

La International Electrotechnical Commission (IEC) publicó en 2020 la norma IEC 60601-1, que establece requisitos generales de seguridad básica y desempeño esencial para equipos eléctricos médicos.

METODOLOGÍA

Los objetivos de este trabajo de investigación experimental son múltiples y variados. En primer lugar, se pretende desarrollar un dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad para garantizar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas. Además, se busca determinar si el dispositivo desarrollado es capaz de mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas. Sin embargo, existen varios retos que pueden interponerse en el camino hacia la consecución de estos objetivos. Uno de ellos es la falta de recursos, lo que puede restringir la capacidad de los investigadores para realizar pruebas y experimentos en condiciones óptimas. Otro reto es la complejidad técnica de los sistemas de monitoreo y control de temperatura y humedad, lo que puede requerir una amplia experiencia y conocimiento técnico para su diseño y desarrollo. Al igual que, la disponibilidad de datos de referencia y de referenciales puede resultar un problema.

Para la realización de este proyecto se hizo necesario efectuar una segmentación de este por etapas. La primera etapa consiste en la búsqueda de la información bibliográfica y análisis de la literatura necesaria para identificar los sistemas de monitoreo y control de temperatura y humedad existentes, así como los requerimientos específicos para el desarrollo de este proyecto de investigación. Para la segunda etapa se realizará el diseño del dispositivo, en el cual se abordaron los materiales adecuados para ser implementados en dicho dispositivo, y así, posteriormente poder llegar a la realización del esquema eléctrico de este proyecto. En la tercera etapa se pondrán a prueba los distintos componentes del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad. Finalmente, en la cuarta etapa se validará el dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas, evaluando su capacidad para mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Diseño

Este proyecto tiene como base la comparación de datos estadísticos donde se medirá la temperatura y humedad, antes y después de la implementación del dispositivo de monitoreo y control en el área de imágenes diagnosticas, esos datos deben ser recopilados, analizados y tabulados, para su incorporación en el presente documento. Estos datos se utilizarán para analizar la efectividad del dispositivo y su impacto en las condiciones óptimas del área de imágenes diagnósticas. Por lo tanto, el diseño de investigación es un diseño de investigación cuantitativo tipo experimental.

Materiales y métodos

Para la búsqueda de la información bibliográfica y análisis de la literatura se utilizaron dos tipos de fuentes de información, primaria y secundaria; ya que, para la recolección, tratamiento y su posterior estudio se tomaron los materiales bibliográficos de soporte, tales como libros y artículos de revistas especializadas en salud, los cuales facilitaran la comprensión del contenido, lo cual sería el método de investigación primario. El método de investigación secundario son aquellas fuentes que contienen información reorganizada o modificada, es decir, interpretan a otras investigaciones.

Procedimiento

El procedimiento se divide en tres fases: En la primera, formulamos la idea principal, seguido por el diseño del dispositivo, con el objetivo de determinar exactamente los componentes necesarios para la realización del proyecto. En la segunda fase, nos tomó mucho más tiempo, al encontrarnos de cara a la necesidad de probar cada uno de estos componentes y sus respectivos códigos de programación por separado. Eventualmente cada uno funcionó

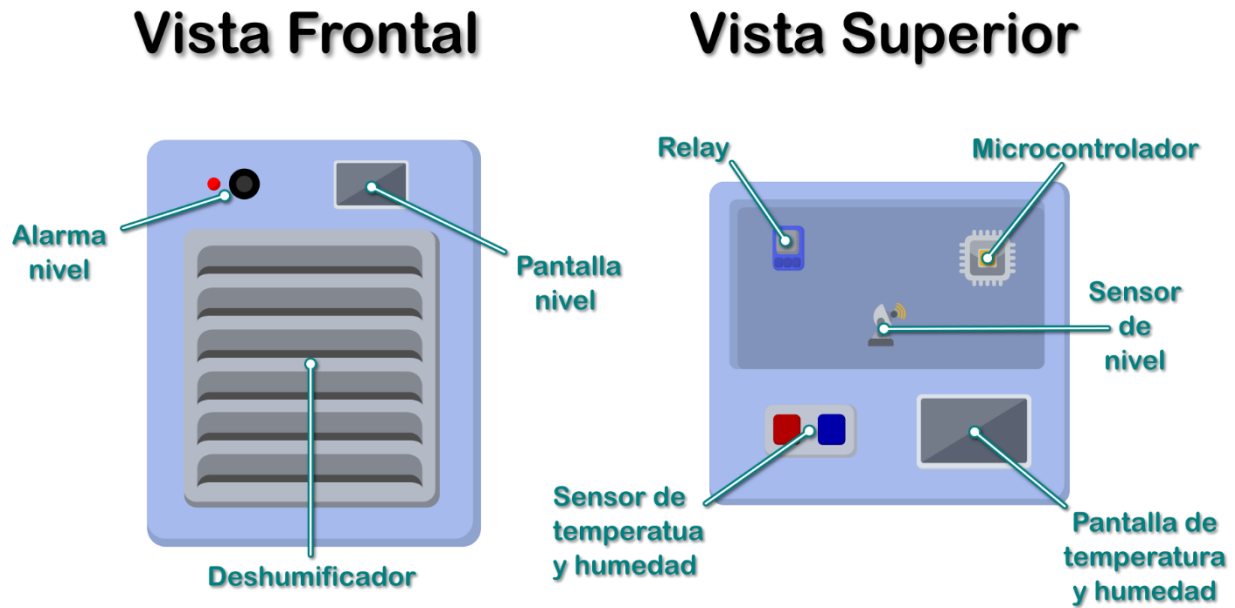
correctamente, lo que nos llevó a la tercera fase. Validación del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas, evaluando su capacidad para mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Primera Fase:

Para poder determinar los elementos necesarios que se implementarán en el dispositivo, se debe entender el funcionamiento de este. El dispositivo debe ser capaz de monitorear constantemente la temperatura y humedad. Sin embargo, también es crucial que el dispositivo sea capaz de tomar medidas correctivas en caso de que los niveles de humedad superen los límites establecidos. Para lograr esto, el dispositivo estará equipado con un sistema de deshumidificación el cual se activará cuando se detecta un exceso de humedad.

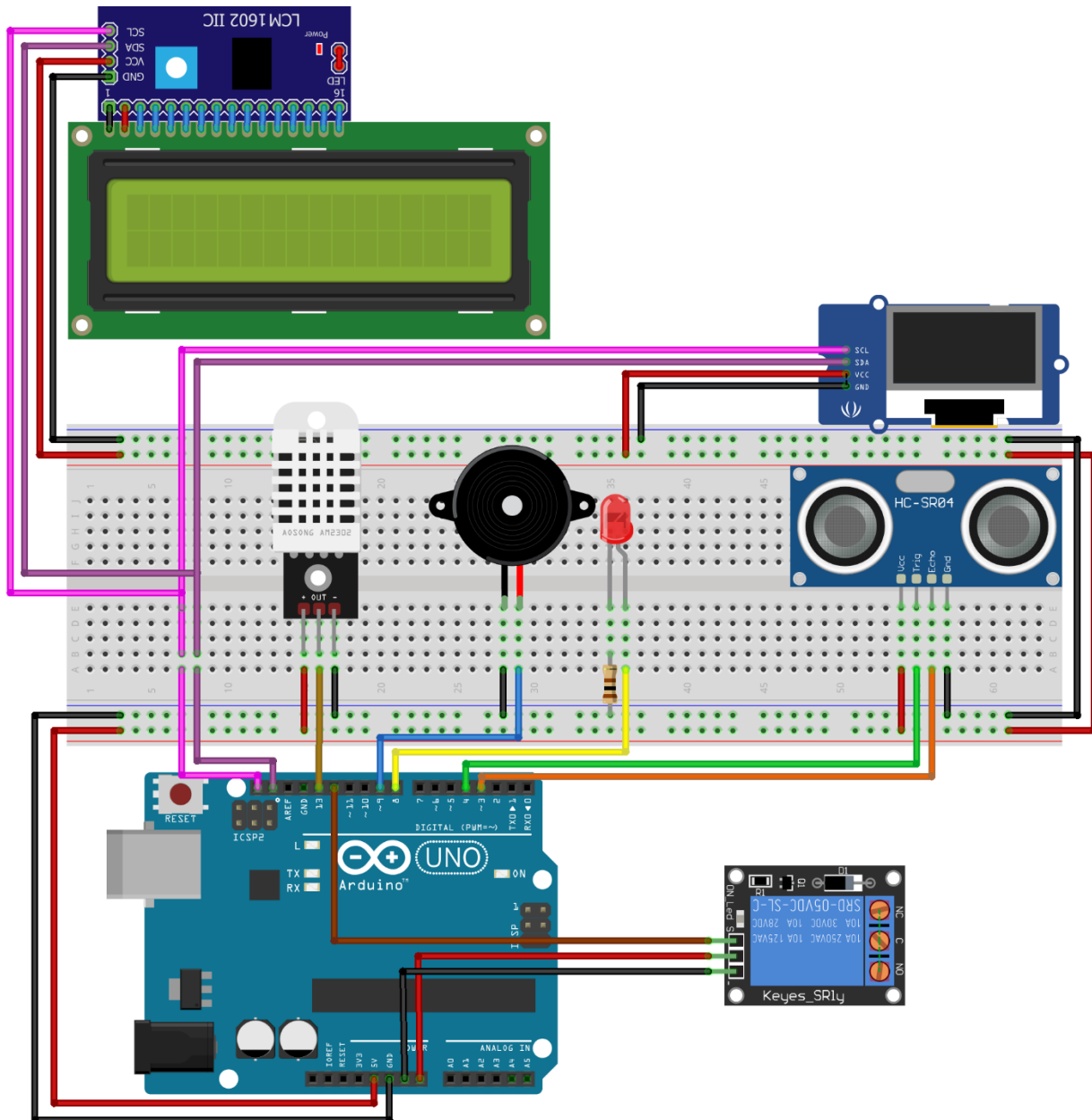
Por lo tanto, se puede determinar que dicho dispositivo debe contar con un microcontrolador, este es el cerebro del dispositivo y en este se procesarán todos los datos, un sensor de humedad y temperatura, una pantalla para mostrar estos datos, un deshumificador, un relay, un sensor de nivel, una pantalla para mostrar el nivel de agua del tanque del deshumificador y un sistema de alarmas para cuando este se llene (Véase la **Figura 1**).

Figura 1
Diseño del dispositivo



Una vez que se han identificado y definido las distintas partes y componentes necesarios para cumplir una tarea específica, el siguiente paso es desarrollar un esquema electrónico. Este esquema consiste en un diagrama que representa de manera visual y clara la interconexión y disposición de los componentes en el circuito electrónico. En este esquema se incluyen los símbolos y las conexiones correspondientes a cada componente, lo que permite comprender la estructura y el funcionamiento del dispositivo de manera más precisa (Véase la **Figura 2**).

Figura 2
Esquema electrónico del dispositivo



Con esto se puede concluir que para la elaboración del dispositivo para monitoreo y control de temperatura y humedad se necesitan los siguientes componentes:

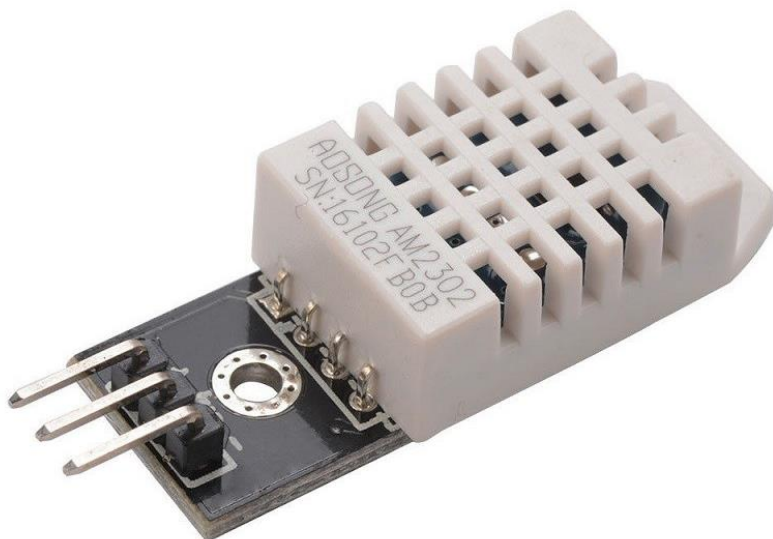
Un Arduino UNO (Véase la **Figura 3**). Este tiene como función organizar, procesar y ejecutar las tareas del dispositivo, esto gracias a su microcontrolador.

Figura 3
Arduino UNO



Un sensor de temperatura y humedad DHT-22 (Véase la **Figura 4**). Como su nombre lo indica, este detecta la temperatura y humedad del ambiente para posteriormente enviar una señal al microcontrolador para ser procesada y traducida a una magnitud con la que las personas ya están familiarizadas. Se escogió este sensor debido a su fiabilidad, ya que su rango de medición de temperatura va desde -40°C hasta 80°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Y su rango de humedad va desde 0 a 100% *RH* con una precisión de 2%.

Figura 4
Sensor DHT-22



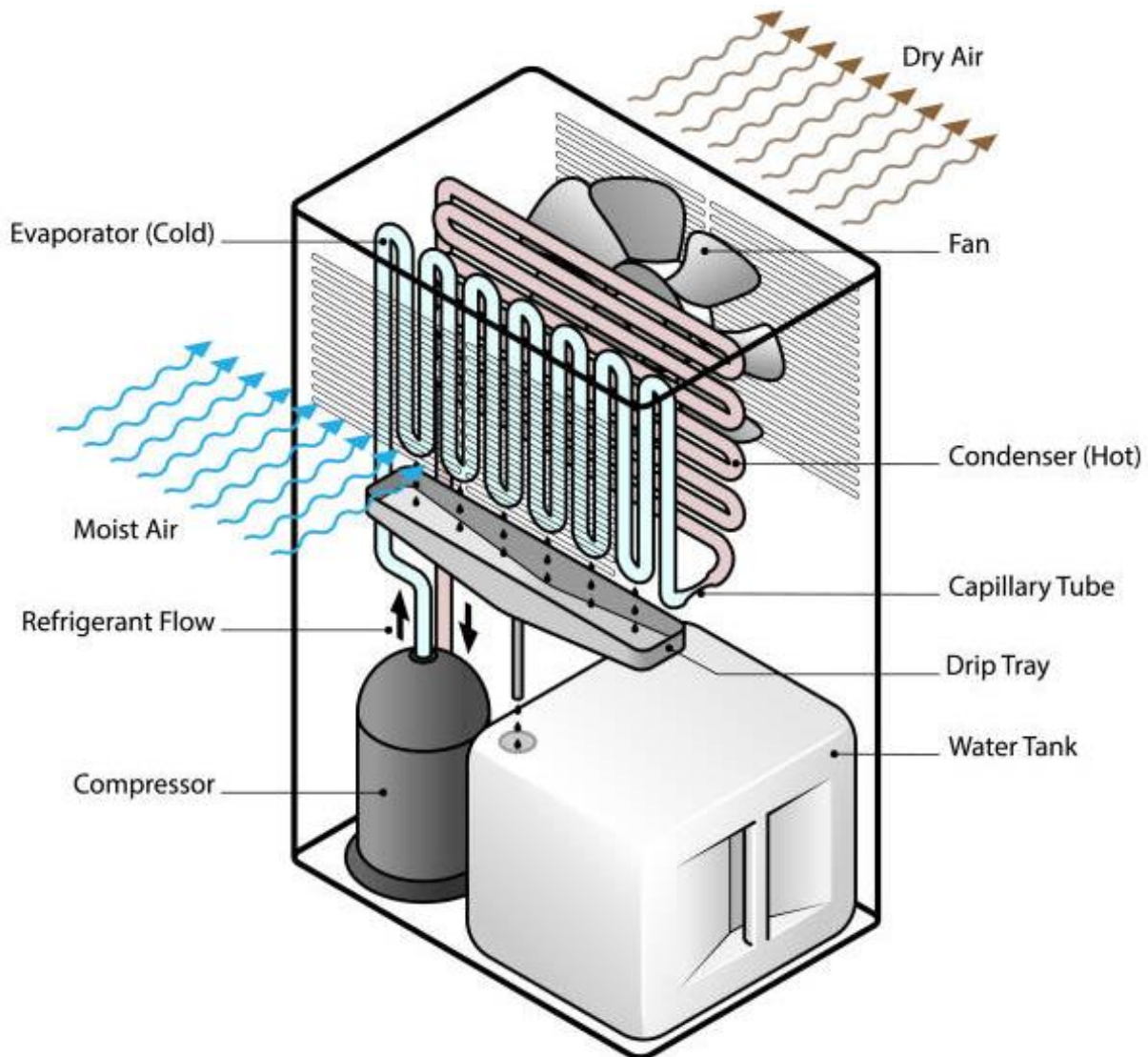
Una pantalla LCD con módulo I2C (Véase la **Figura 5**). Esta se utilizará para proyectar la información de la temperatura y la humedad. El módulo I2C se utiliza para facilitar la programación de la pantalla con el Arduino.

Figura 5
Pantalla LCD 16x2 con módulo I2C



Un deshumificador (Véase la **Figura 6**). Este se utilizará para mantener los niveles de humedad dentro de los valores preestablecidos.

Figura 6
Deshumificador



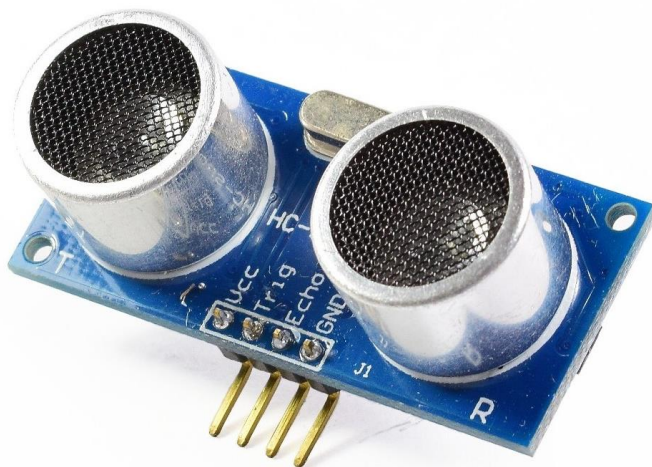
Modulo relevador (Véase la **Figura 7**). Este se utilizará para controlar el deshumificador desde el Arduino, ya que este último no genera el voltaje suficiente para alimentar al deshumificador.

Figura 7
Modulo relevador

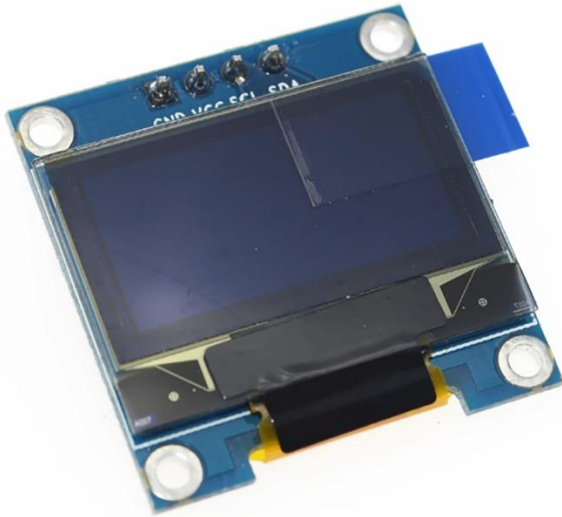


Un sensor ultrasónico HC-SR04 (Véase la **Figura 8**). Este medirá el nivel del agua en el tanque del deshumificador.

Figura 8
Sensor ultrasónico HC-SR04



Una pantalla OLED (Véase la **Figura 9**). Esta se utilizará para proyectar el nivel del agua del tanque del deshumificador.

Figura 9*Pantalla OLED 128x64 I2C*

Un Buzzer (Véase la **Figura 10**). Este se utilizará como alarma sonora para cuando el tanque de agua del deshumificador esté lleno.

Figura 10*Buzzer*

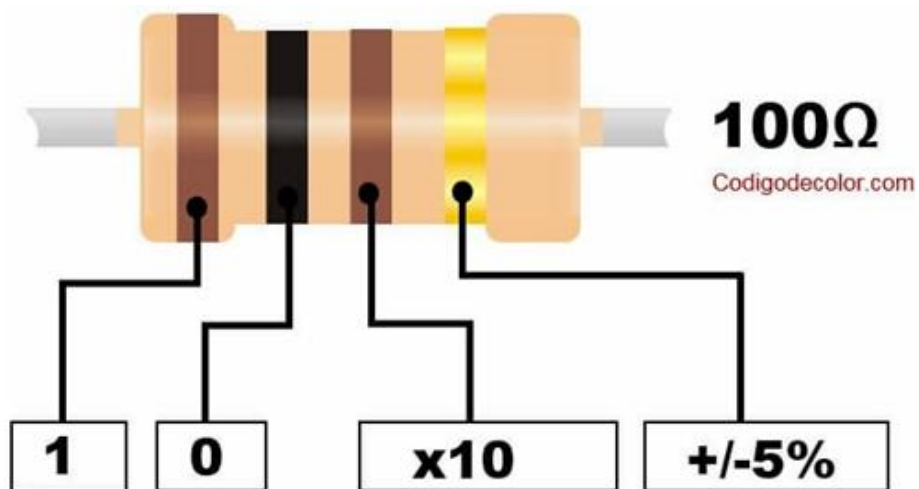
Un diodo LED rojo (Véase la **Figura 11**). Este se utilizará como alarma visual para cuando el tanque de agua del deshumificador esté lleno.

Figura 11
Diodo LED rojo



Una resistencia de 100 ohm (Véase la **Figura 12**). Este se utilizará para disminuir la corriente que llega al diodo LED, y así evitar que este se queme.

Figura 12
Resistor de 100 ohm



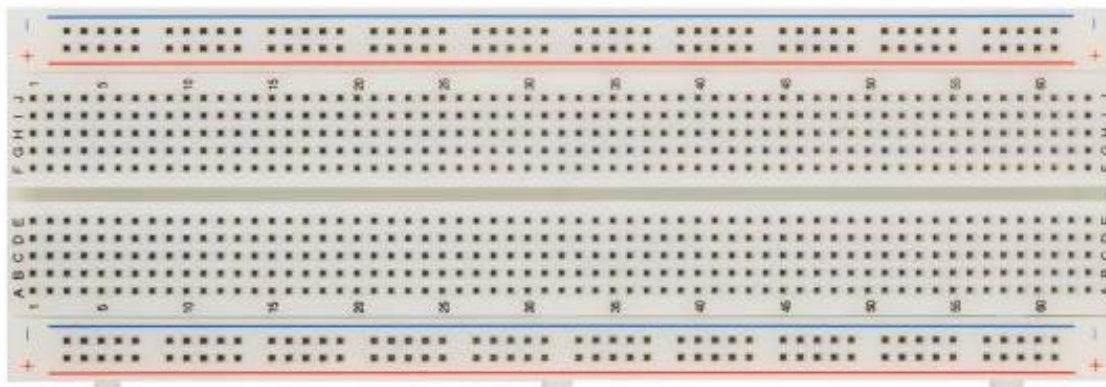
Un cargador de 9 voltios (Véase la **Figura 13**). Este se utilizará para alimentar al Arduino.

Figura 13
Cargador de 9 voltios



Una protoboard (Véase la **Figura 14**). Esta se utilizará para hacer las conexiones cómodamente durante las pruebas.

Figura 14
Protoboard



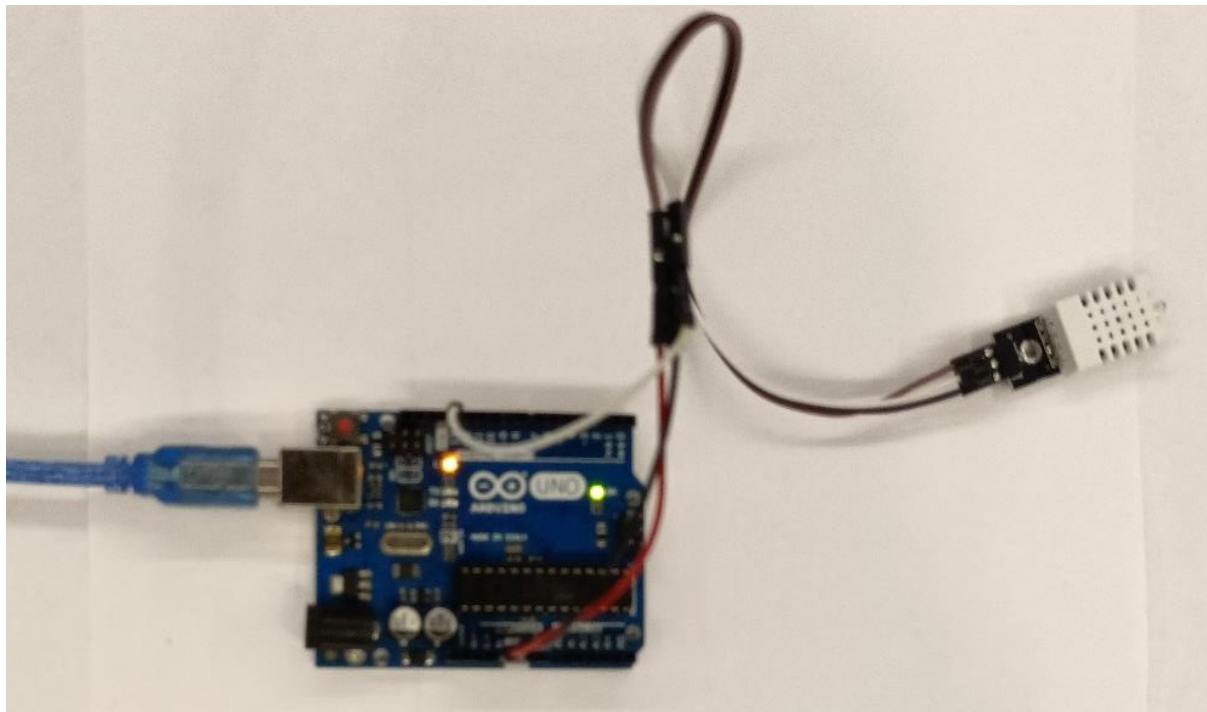
Segunda Fase:

Una vez se haya determinado el circuito y sus componentes, se debe programar y configurar cada uno de estos por separado para realizar su respectiva tarea predeterminada, y así posteriormente verificar su correcto funcionamiento.

En primer lugar, se realiza la conexión del sensor de temperatura y humedad con el Arduino (Véase la **Figura 15**). En este caso el sensor es digital, por lo tanto, este se conecta a un pin digital del Arduino y se utiliza una biblioteca específica para su comunicación. Estas bibliotecas simplifican la lectura de los datos proporcionados por el sensor y su integración en el programa del Arduino.

Figura 15

Conexión entre Arduino UNO y Sensor DHT-22



Una vez que se ha realizado la conexión del sensor de temperatura y humedad al Arduino, es posible aprovechar el entorno de desarrollo de este mismo para programar el microcontrolador y definir las instrucciones requeridas. Abarcando así diversas tareas, como la adquisición y procesamiento de los datos obtenidos del sensor, establecer la frecuencia de muestreo y especificar las unidades de medida, entre otras.

En este momento, las mediciones realizadas por el sensor de temperatura y humedad podrán ser visualizadas a través del puerto serial del Arduino (Véase la **Figura 16**). Esta funcionalidad permite que los datos sean enviados a una interfaz de comunicación, donde pueden ser visualizados en tiempo real.

Figura 16

Datos de temperatura y humedad en el puerto serial

```
Humidity: 76.60% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.59°C
Humidity: 76.60% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.59°C
Humidity: 76.50% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.56°C
Humidity: 76.50% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.56°C
Humidity: 76.40% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.53°C
Humidity: 76.50% Temperature: 30.20°C Heat index: 37.27°C
Humidity: 76.40% Temperature: 30.30°C Heat index: 37.53°C
```

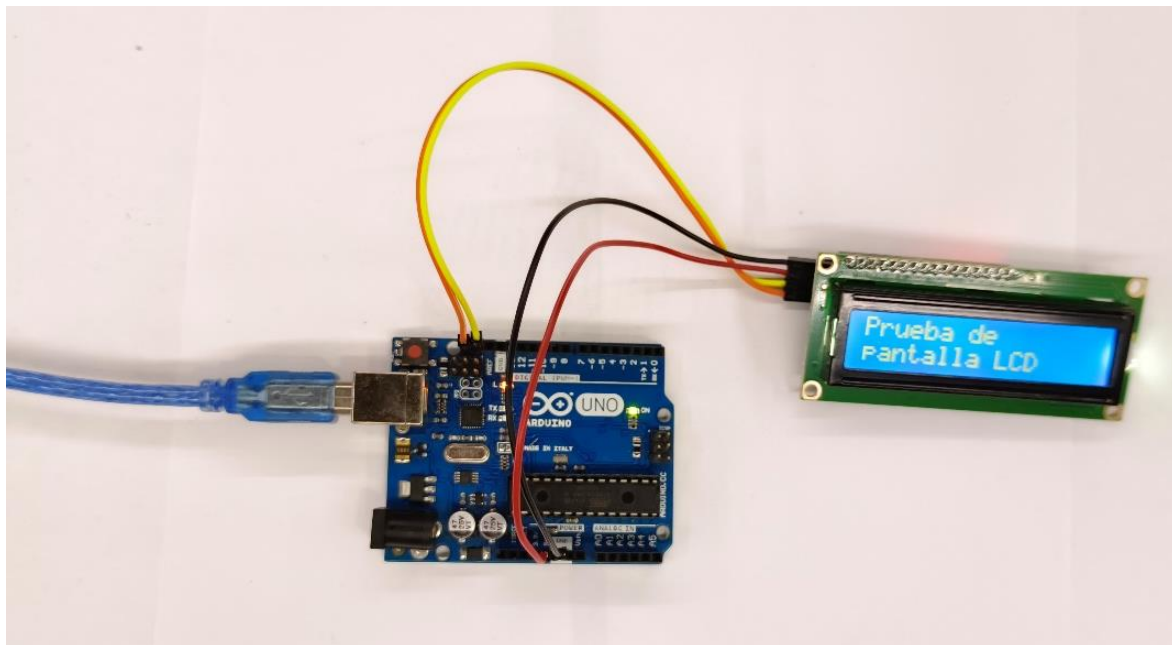
Autoscroll Mostrar marca temporal

Durante las pruebas, se pueden identificar posibles desviaciones o errores en las mediciones del sensor. En tal caso, se pueden realizar ajustes en la configuración o en la programación para corregir cualquier discrepancia y asegurar mediciones más precisas.

Para establecer la conexión entre el Arduino y la pantalla LCD, se deben conectar los pines correspondientes. El módulo I2C simplifica la conexión entre estos, utilizando solo los pines de comunicación “SCL” y “SDA”. Una vez establecida la conexión física, es necesario realizar la programación del Arduino correspondiente a la pantalla LCD. Esto implica nuevamente utilizar librerías o bibliotecas específicas para esta, que proporcionan funciones y comandos predefinidos para controlarla.

Para corroborar el correcto funcionamiento de la pantalla LCD, se puede proyectar un texto de prueba. Por ejemplo, se puede programar para que se muestre el texto “Prueba de pantalla LCD” (Véase la **Figura 17**).

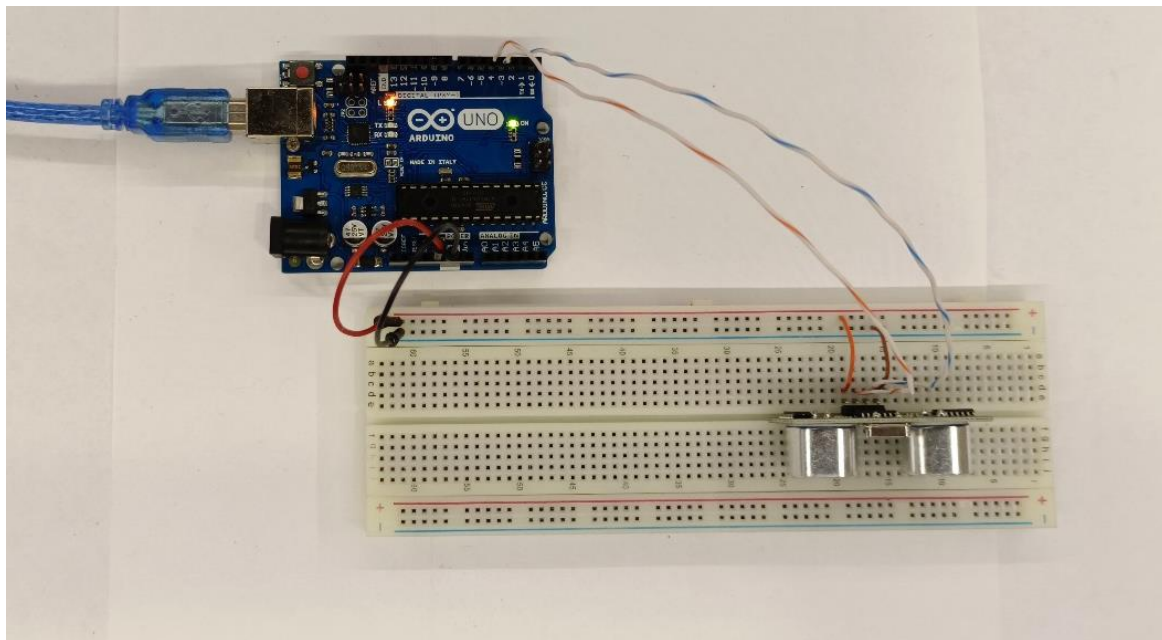
Figura 17
Prueba de pantalla LCD



Esta prueba de funcionamiento es importante para verificar que la pantalla LCD responda adecuadamente a los comandos y que la comunicación entre el Arduino y esta sea exitosa antes de proceder a mostrar información relevante.

Para establecer la conexión entre el Arduino y el sensor ultrasónico HC-SR04, se deben conectar, al igual que con el sensor DHT-22, a los pines digitales (Véase la **Figura 18**).

Figura 18
Conexiones del sensor ultrasónico HC-SR04



Una vez que las conexiones pertinentes se hayan establecido, se procede a configurar el sensor mediante la programación del Arduino. Este funciona emitiendo un pulso ultrasónico y midiendo el tiempo que tarda en recibir el eco del pulso reflejado por un objeto cercano. Este tiempo de vuelo se utilizará para calcular la distancia entre el sensor y dicho objeto.

Dado que el sensor ultrasónico solo proporciona el tiempo de vuelo, es necesario utilizar la velocidad del sonido para determinar la distancia. La velocidad del sonido al nivel del mar es

aproximadamente 344 metros por segundo, pero debido a que se está trabajando con distancias cortas en periodos de tiempos cortos, este valor debe ser convertido a una escala más pequeña. En esta ocasión se utilizarán las unidades de medida centímetros y microsegundos, debido a que el sensor ultrasónico HC-SR04 mide el tiempo en microsegundos.

Para convertir la velocidad del sonido de 344 metros por segundo a centímetros por microsegundo, se debe tener en cuenta que 1 metro equivale a 100 centímetros y 1 segundo equivale a 1000000 microsegundos. Por lo tanto, se puede utilizar la relación de conversiones como se muestra en la Ecuación 1:

$$344 \text{ m/s} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ s}}{1000000 \text{ } \mu\text{s}} \quad (1)$$

Entonces el nuevo valor de la velocidad del sonido sería 0,0344 centímetros por microsegundo.

Con todos los valores expresados en la misma unidad de medida se puede utilizar la Ecuación 2 para calcular la distancia:

$$\text{Distancia} = \frac{\text{Tiempo de vuelo} * \text{Velocidad del sonido}}{2} \quad (2)$$

Donde la distancia es la distancia entre el sensor y el objeto, el tiempo de vuelo es el tiempo que tarda la onda sonora desde que es emitida hasta que es recibida por el sensor y velocidad del sonido es la velocidad del sonido en el medio en el que se está propagando. Debido a que el tiempo medido representa el tiempo de ida y vuelta de la onda sonora, este se divide entre dos. Ya que, para obtener la distancia real entre el sensor y el objeto, solo se necesita considerar el recorrido de ida, porque el tiempo de vuelta es simplemente el reflejo del mismo recorrido.

Al utilizar esta fórmula y los datos obtenidos del sensor ultrasónico, es posible calcular la distancia a la que se encuentra el objeto frente al sensor. Es importante tener en cuenta que esta ecuación asume condiciones ideales y no tiene en cuenta posibles interferencias o errores de medición.

El valor de la distancia obtenido mediante el sensor ultrasónico puede ser utilizado para medir el nivel del agua del tanque del deshumificador. Para ajustar este valor a un rango más comprensible, se empleará la función “map()” de Arduino. Esta función permite escalar una variable de un rango inicial a un rango final deseado. En este caso, la distancia mínima de 20 cm se mapeará a un valor mínimo de 0, mientras que la distancia máxima de 2 cm se mapeará a un valor máximo de 100. De esta manera, se obtendrá un valor escalado que representa el nivel del agua en porcentaje, donde 0% indicará que el recipiente está vacío y 100% indicará que está completamente lleno, de esta manera facilitar la interpretación del nivel del agua.

Para asegurarnos de que el sensor esté funcionando correctamente y tome las medidas adecuadas, se utilizará nuevamente el puerto serial de Arduino para visualizarlas (Véase la **Figura 19**).

Figura 19*Visualización de los datos obtenidos por el sensor HC-SR04*

```
Distancia: 17.76
Porcentaje: 17%

Distancia: 15.14
Porcentaje: 28%

Distancia: 14.45
Porcentaje: 34%

Distancia: 12.76
Porcentaje: 45%

Distancia: 10.71
Porcentaje: 56%
```

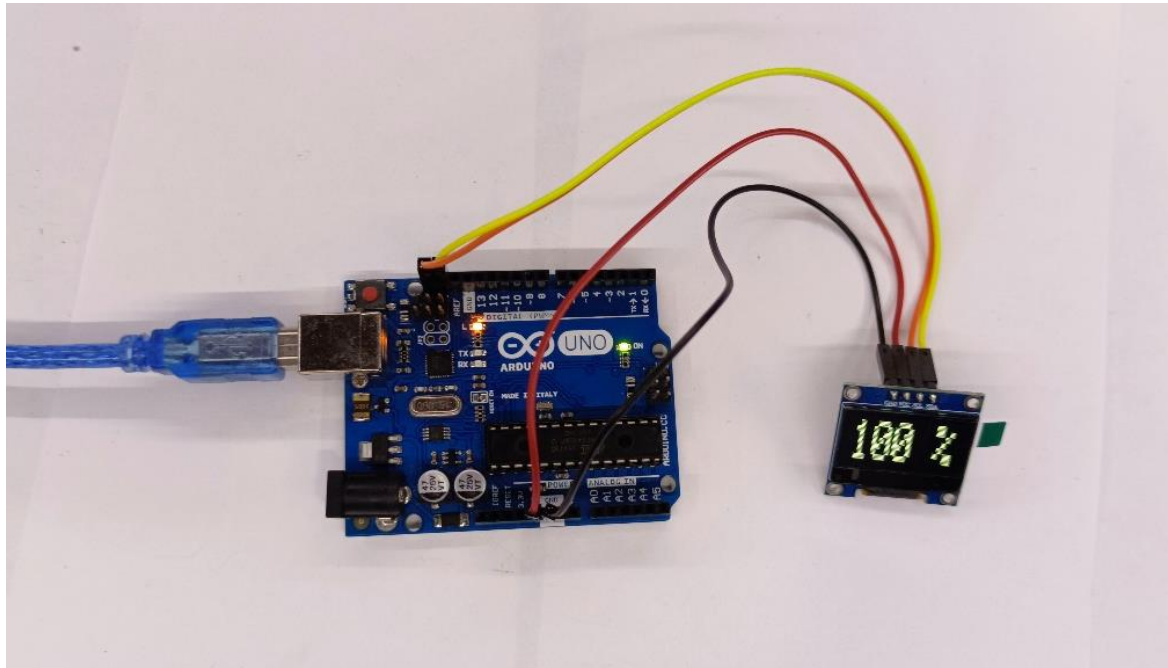
Autoscroll Mostrar marca temporal

Al imprimir las lecturas del sensor en el puerto serial, podremos observar los datos obtenidos y realizar una comprobación inmediata de su precisión y consistencia. Esta verificación en el puerto serial nos brindará la confianza necesaria para asegurarnos de que el sensor esté capturando correctamente los valores de medición.

Para las conexiones entre la pantalla OLED y el Arduino se realiza un procedimiento similar al de la pantalla LCD, ya que utilizan los mismos pines de comunicación “SCL” y “SDA”. Al utilizar los mismos pines de comunicación, se facilita la conexión y programación de la pantalla OLED, ya que podemos utilizar los mismos métodos y bibliotecas similares a las que se utilizaron para la pantalla LCD. Esto proporciona una mayor flexibilidad y compatibilidad en el uso de diferentes tipos de pantallas con el Arduino.

Con el fin de comprobar el adecuado desempeño de la pantalla OLED, se programó para que proyectara el mensaje “100 %”. Esto permite comprobar si la pantalla OLED está recibiendo y mostrando correctamente los datos enviados desde el Arduino (Véase la **Figura 20**).

Figura 20
Arduino con pantalla OLED

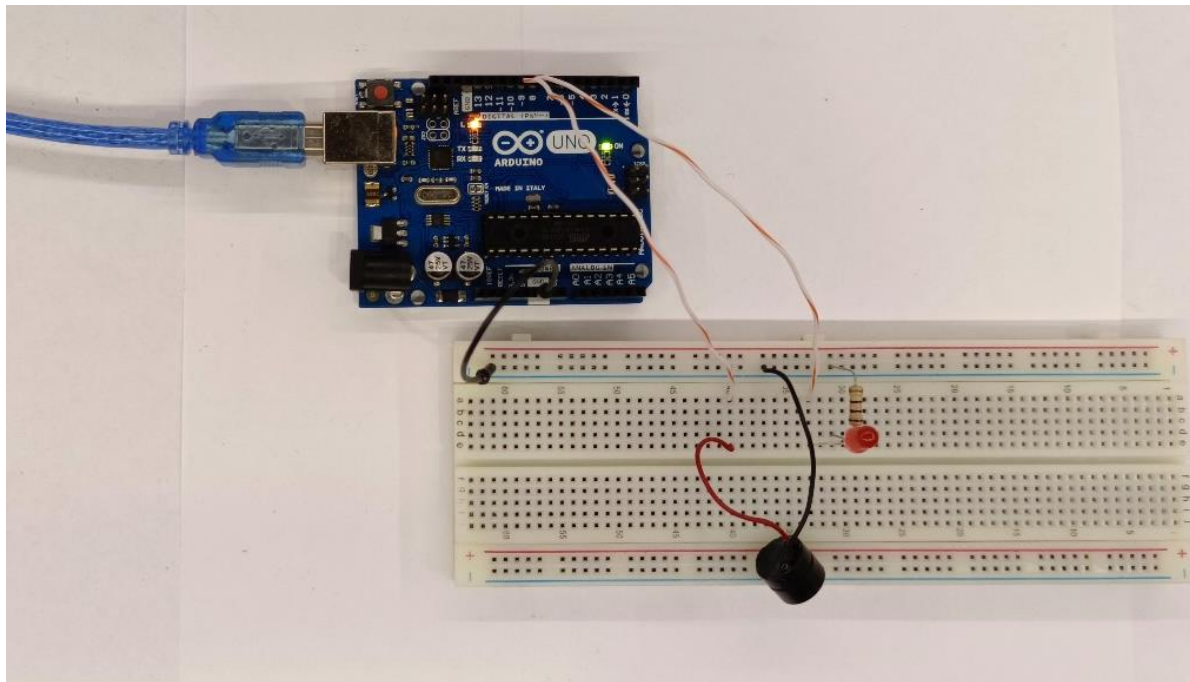


Al mostrar el mensaje “100%”, se puede confirmar que la pantalla OLED está configurada adecuadamente y que la comunicación entre el Arduino y la pantalla está funcionando correctamente.

Para implementar el sistema de alarma que nos alerte cuando el tanque de agua esté lleno, se utilizará un diodo LED y un Buzzer. El diodo LED se ha conectado en serie con una resistencia de 100 ohmios para limitar la corriente y evitar daños al LED. El Buzzer se ha incorporado para generar una señal sonora (Véase la **Figura 21**). Al combinar estos componentes

en el sistema de alarma, podemos tener una indicación tanto visual como auditiva para alertarnos cuando el tanque de agua esté completamente lleno.

Figura 21
Sistema de alarma



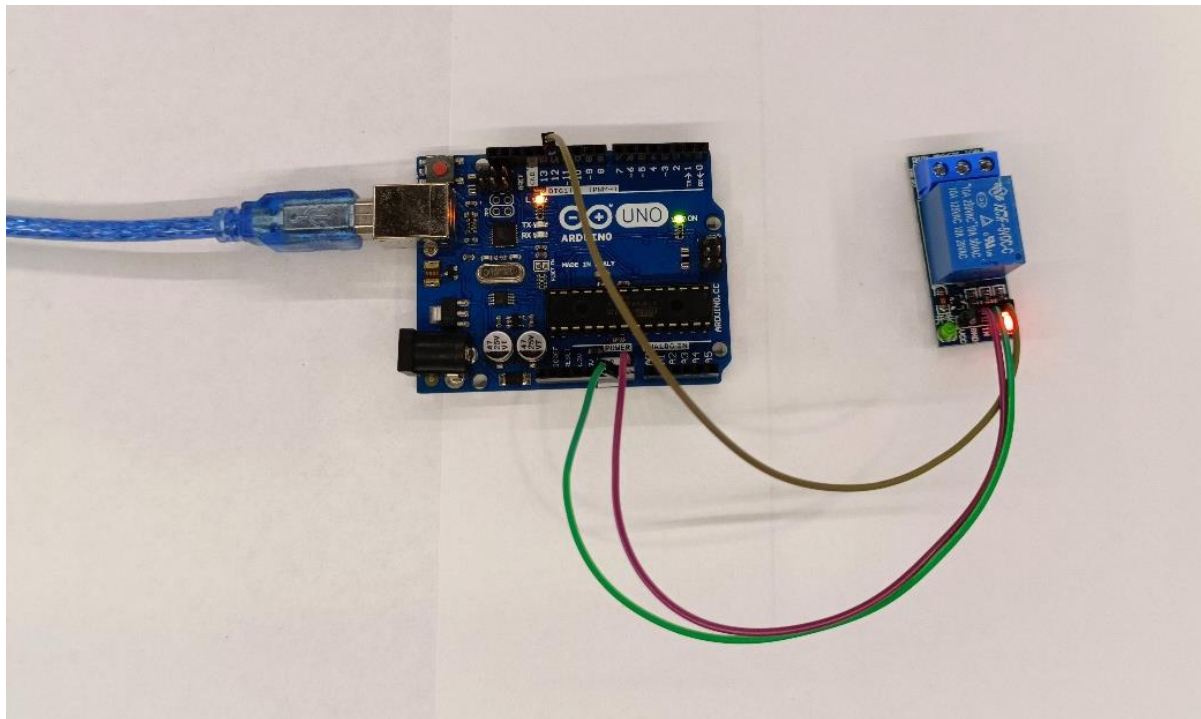
Para probar la funcionalidad de la alarma, se ha programado un ciclo de encendido y apagado del diodo LED y del Buzzer. Este ciclo se repite cada segundo, alternando entre encender y apagar los componentes. De esta manera, podemos verificar que tanto el diodo LED como el Buzzer están funcionando correctamente y emitiendo las señales visuales y sonoras esperadas.

Para controlar el deshumidificador desde el Arduino, se utilizará un relevador el cual estará conectado a un pin digital (Véase la **Figura 22**). El relevador actúa como un interruptor que permite encender o apagar el deshumidificador según sea necesario. Con el fin de probar el

funcionamiento del relevador y asegurarse de que está configurado correctamente, se programó un ciclo de encendido y apagado cada segundo.

Figura 22

Relevador conectado al Arduino



Esta prueba permite verificar que el Arduino es capaz de controlar el relevador de manera adecuada y que el deshumidificador puede ser encendido y apagado según las instrucciones proporcionadas por el Arduino.

Una vez que se ha comprobado el correcto funcionamiento de cada componente con sus respectivos códigos por separado, todos estos se integraran en un solo circuito y un solo código. Este proceso se detalla paso a paso en la tercera fase.

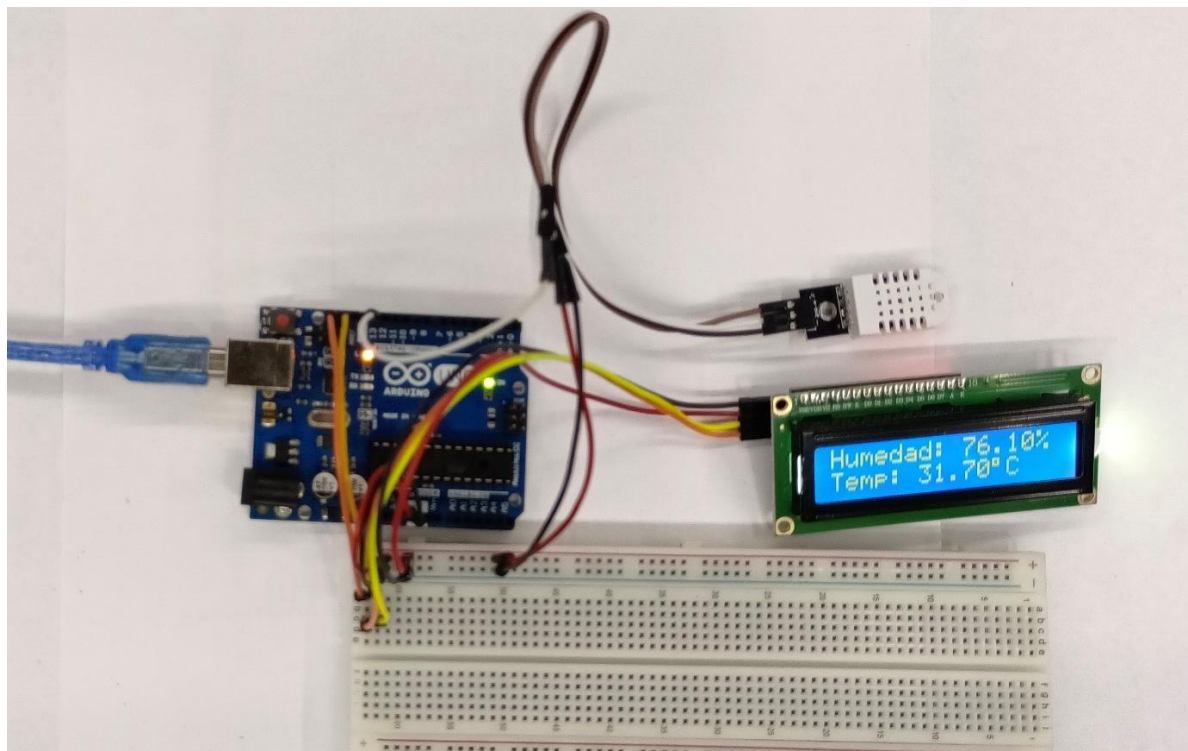
Tercera Fase:

En esta fase del proyecto, Antes de proceder a validar el funcionamiento del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad, es necesario llevar a cabo el ensamblaje de los componentes del dispositivo en el circuito electrónico diseñado en la primera fase. Esto implica seguir cuidadosamente el diseño y esquema del circuito, asegurando una correcta conexión de cada componente con sus respectivos pines y tomando las precauciones necesarias para evitar cortocircuitos o daños en los componentes.

Se dará inicio a la etapa de ensamblaje con la conexión del sensor de temperatura y humedad junto con la pantalla LCD al Arduino. Una vez establecida la conexión, se modificará el código del Arduino para mostrar los datos de temperatura y humedad de manera legible en la pantalla LCD (Véase la **Figura 23**).

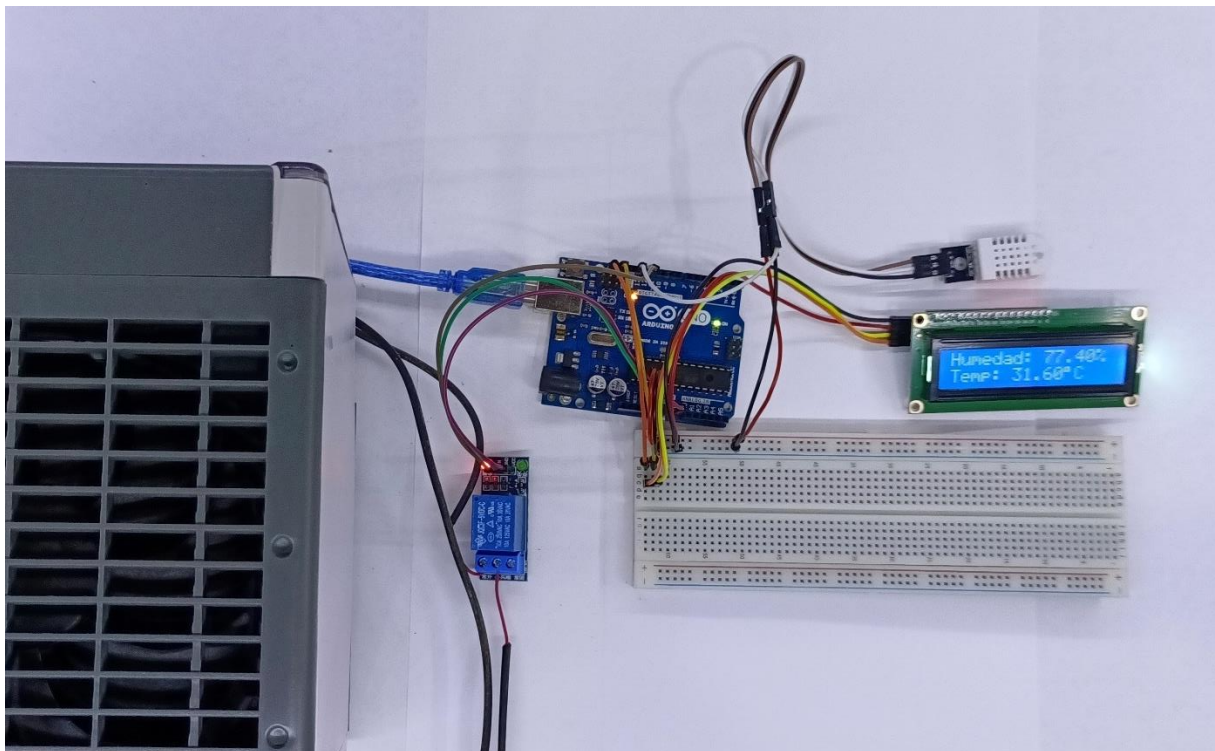
Figura 23

Incorporación de sensor DHT-22 y pantalla LCD



Una vez incorporado el sensor DHT-22 con la pantalla LCD, se procederá a integrar el relevador al circuito. El relevador estará conectado al deshumificador, y su función será activar el deshumificador cuando los niveles de humedad superen el límite establecido (Véase la **Figura 24**).

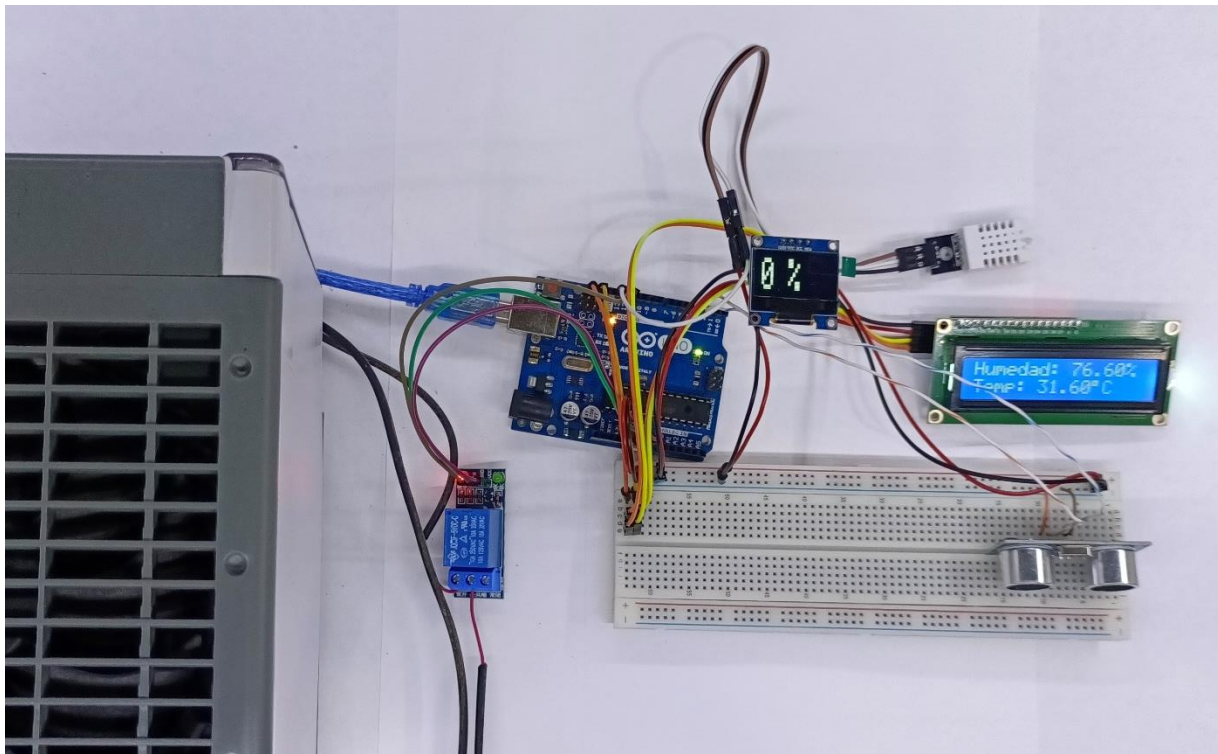
Figura 24
Integración del relevador conectado al deshumificador



Una vez incorporados el sensor DHT-22, la pantalla LCD y el relevador conectado al deshumificador, se procederá a implementar el sensor ultrasónico junto con la pantalla OLED. El objetivo principal del sensor ultrasónico será medir el nivel del agua dentro del tanque de almacenamiento. Sin embargo, para realizar una prueba inicial, se colocará el sensor ultrasónico por fuera. Posteriormente, se realizará la instalación del sensor ultrasónico dentro del tanque para

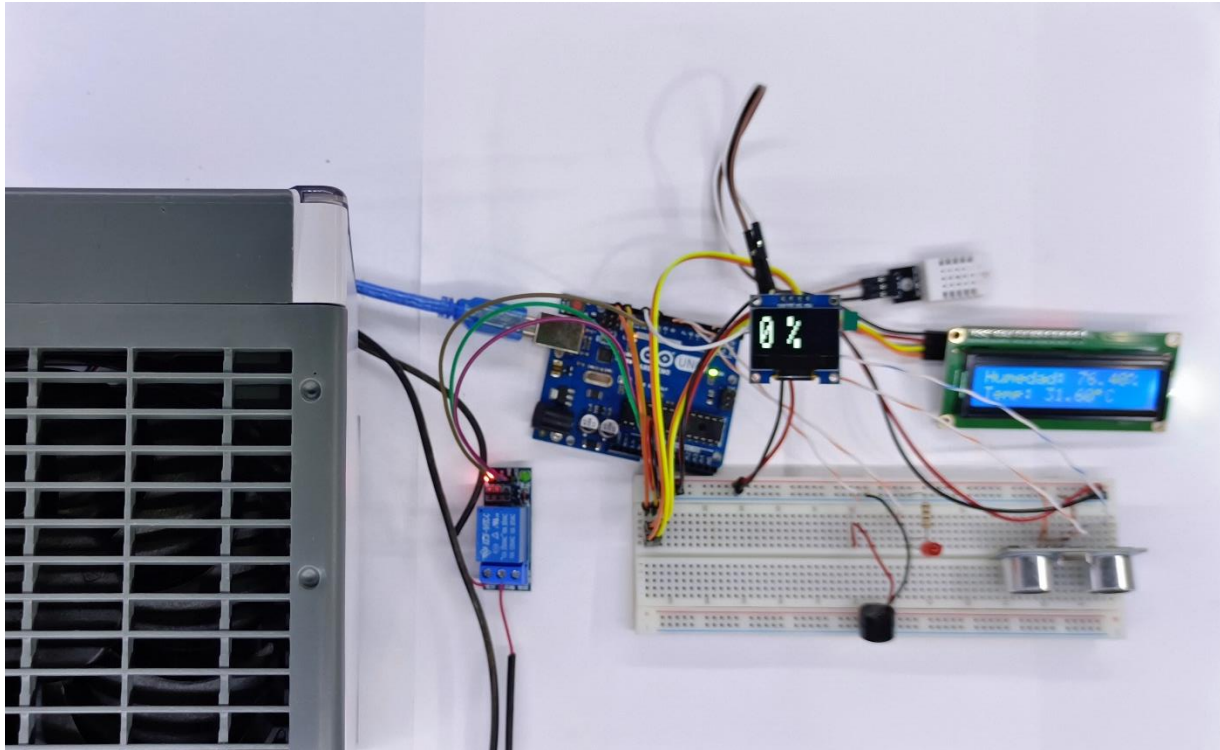
obtener mediciones precisas del nivel de agua y garantizar un control adecuado de esta (Véase la **Figura 25**).

Figura 25
Integración del sensor ultrasónico y pantalla OLED



Una vez que se hayan incorporado los componentes mencionados anteriormente, se procederá a incorporar el sistema de alarma (Véase la **Figura 26**). Este sistema se configurará de tal manera que la alarma visual, representada por el diodo LED, se encienda cuando el nivel del agua supere el 75%. Además, tanto la alarma visual como la alarma sonora, representada por el Buzzer, se activarán cuando el nivel del agua supere el 85%. De esta manera, se garantiza una señalización clara y efectiva en caso de que el nivel de agua alcance umbrales críticos.

Figura 26
Integración del sistema de alarma



Posteriormente se procederá a organizar el circuito electrónico dentro de una caja plástica. Esta medida se tomará con el fin de lograr una presentación más ordenada y proteger los componentes internos. Además, la caja plástica fue unida al deshumidificador para asegurar una configuración compacta y facilitar su manejo (Véase la **Figura 27**). Esta estructura integrada proporciona una solución eficiente y práctica para el funcionamiento del dispositivo, al mismo tiempo que se optimiza su apariencia y facilita su instalación en el entorno deseado.

Figura 27
Aspecto del dispositivo final



Para evaluar la eficacia del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad se empleará un termo-hidrómetro comercial (Véase la **Figura 28**). Este instrumento permitirá realizar mediciones precisas de temperatura y humedad. De esta manera, se verificará que el dispositivo proporcione mediciones que estén dentro del rango de error establecido.

Figura 28*Validación del dispositivo con termo-hidrómetro*

Después de validar el correcto funcionamiento del dispositivo, se llevaron a cabo mediciones antes y después de su implementación. Antes de la implementación, se registró un promedio de humedad del entorno de alrededor del 70%. Una vez que el dispositivo fue implementado y comenzó a monitorear y controlar la temperatura y humedad, se realizaron

nuevas mediciones para evaluar su efectividad. Después de un período de tiempo, se observó un promedio de humedad alrededor del 65%. Este descenso en el promedio de humedad es un indicador positivo de la eficacia del dispositivo, ya que demuestra que el dispositivo fue capaz de regular y mantener niveles de humedad más bajos en comparación con la situación previa a su implementación.

RESULTADOS

El dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad fue implementado de manera exitosa en el área de imágenes diagnósticas. Tras la implementación del dispositivo, se observó una reducción significativa en los niveles de humedad. Esta disminución fue de alrededor de 5% en la humedad relativa, esto demuestra la eficacia del dispositivo para regular y mantener condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas.

La capacidad de monitoreo y control continuo del dispositivo permitirá mantener la humedad en un rango adecuado y prevenir la aparición de problemas relacionados con la humedad, como la oxidación de componentes electrónicos y la corrosión de metales. Además, se evitará la condensación de humedad en las tarjetas y superficies metálicas, lo que contribuyó a proteger los equipos y garantizar su correcto funcionamiento.

Estos resultados son altamente beneficiosos tanto para la calidad de las imágenes producidas en el área de imágenes diagnósticas como para la seguridad de los pacientes y el personal. La reducción en los niveles de humedad asegura que los diagnósticos sean más precisos y confiables, lo que conduce a un tratamiento adecuado y una mejora en la atención médica.

Además, la implementación del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad también contribuirá al ahorro de costos. Al mantener condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas, se previene el daño y la necesidad de reemplazar equipos costosos debido a la humedad. Esto resultará en un ahorro económico significativo a largo plazo.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos y siguiéndose todos los parámetros determinantes para poder llevar a cabo este proyecto, fue importante consultar diferentes autores y tomar elementos de ingeniería para llevarlo a cabo.

Como puede verse este dispositivo facilitaría de alguna manera el control y monitoreo de la humedad y la temperatura en el área de imágenes diagnósticas, y por lo tanto lograr proteger los equipos de esta área que son sensibles a altos niveles de humedad. También se puede destacar la reducción significativa de aproximadamente 5% en los niveles de humedad relativa. Esta disminución demuestra la efectividad del dispositivo para regular y mantener condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas.

Los resultados obtenidos tienen un impacto significativo en la calidad de las imágenes producidas en el área de imágenes diagnósticas. La reducción en los niveles de humedad asegura que los diagnósticos sean más precisos y confiables, lo que a su vez conduce a un tratamiento más adecuado y una mejora en la atención médica ofrecida a los pacientes.

Además de los beneficios para la calidad de las imágenes y la atención médica, la implementación del dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad también conlleva ventajas económicas. Al mantener condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas, se previene el daño y la necesidad de reemplazar equipos costosos debido a la humedad. Esto se traduce en un ahorro económico a largo plazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha logrado implementar con éxito un dispositivo que cumple con su objetivo principal. La reducción significativa en los niveles de humedad y la capacidad de monitoreo continuo han demostrado la eficacia del dispositivo para regular y mantener condiciones adecuadas en el área de imágenes diagnósticas.

Como sugerencias para futuras investigaciones y mejoras, se recomienda explorar el uso de sensores o componentes electrónicos más precisos y avanzados. Esto permitiría obtener mediciones aún más exactas y detalladas de la temperatura y humedad en el área de imágenes diagnósticas, lo que contribuiría a un control aún más efectivo.

También se aconseja agregar un módulo Wi-Fi al dispositivo. Esto permitiría monitorear las variables de temperatura y humedad desde cualquier teléfono móvil o computador con conexión a Internet. Al incorporar esta funcionalidad, los usuarios podrán acceder y gestionar el dispositivo de forma remota, brindando flexibilidad y facilidad de uso. Además, se permitiría la posible integración con otros sistemas o plataformas de análisis de datos. Este avance podría mejorar aún más la funcionalidad del dispositivo y ampliar sus aplicaciones en diversos entornos de atención médica.

Por otro lado, se sugiere el diseño de una sola fuente de energía para el dispositivo en lugar de fuentes independientes para el deshumificador y el Arduino UNO. Esto simplificaría la configuración y el funcionamiento del dispositivo, así como su mantenimiento.

En conjunto, el dispositivo de monitoreo y control de temperatura y humedad desarrollado en este trabajo de investigación ha demostrado ser una solución efectiva para

garantizar condiciones óptimas en el área de imágenes diagnósticas. Las mejoras propuestas podrían fortalecer aún más la eficacia y la eficiencia del dispositivo en futuras implementaciones.

REFERENCIAS

ASHRAE. (2017). ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Bejan, A., & Lorente, S. (2011). Design with Constructal Theory.

Berry, E. (2011). HVAC Design Sourcebook.

Cengel, Y. A., & Turner, R. H. (2014). Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences.

Choi, K. (2019). HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics.

Grondzik, W. T., Kwok, A. G., & Stein, B. A. (2016). Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.

Huang, G., Tang, R., Wang, S., & Chen, Q. (2014). HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics (2nd ed.).

ISO. (2017). ISO 7730:2017. Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.

Kats, G., & Alevantis, L. (2003). The Costs and Financial Benefits of Green Buildings.

Niu, J. (2013). HVAC Water Chillers and Cooling Towers: Fundamentals, Application, and Operation.

Pérez, F. S., & Prado, A. O. Efecto de las emisiones de la Termoeléctrica Lerma-Campeche, en componentes de equipo electrónico.

Ley 9 de 1979, Código Sanitario Nacional de Colombia.

Resolución 2003 de 2014, Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

Resolución 6045 de 2017, Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

Resolución 2674 de 2013, Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

ISO 14644-1:2015, Cleanrooms and associated controlled environments - Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration.

Directiva Europea 93/42/CEE, relativa a los productos sanitarios.

U.S. Food and Drug Administration (FDA), Code of Federal Regulations, Title 21, Part 820.

U.S. Pharmacopeial Convention (USP), General Chapter <797>, Pharmaceutical Compounding - Sterile Preparations.

The Joint Commission, Environment of Care (EC) Standard.

Health and Safety Executive (HSE), Health and Safety at Work Act 1974 (UK).

World Health Organization (WHO). (2014). WHO Guidelines on Good Manufacturing Practices (GMP) for Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems.

European Medicines Agency (EMA). (2015). Guideline on Setting Health Based Exposure Limits for Use in Risk Identification in the Manufacture of Different Medicinal Products in Shared Facilities.

International Society for Pharmaceutical Engineering (ISPE). (2017). ISPE Good Practice Guide: Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC).

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2011). Indoor Air Quality (IAQ) Tools for Schools Action Kit.

Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (MHRA). (2018). EU GMP Annex 1: Manufacture of Sterile Medicinal Products.

Australian Government Department of Health. (2020). Australian Guidelines for the Prevention and Control of Infection in Healthcare.

Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme (PIC/S). (2018). PIC/S Guide to Good Manufacturing Practice for Medicinal Products.

Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) (Japan). (2018). Ministerial Ordinance on Standards for Facilities and Control of Health Hazards in Medical Facilities.

U.S. Department of Health and Human Services. (2003). FDA Guidance for Industry: Sterile Drug Products Produced by Aseptic Processing—Current Good Manufacturing Practice.

Anexos**Anexo A. Código del sensor de temperatura y humedad**

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 13

#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

long tiempoUltimaLectura = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}

void loop() {
  if(millis() - tiempoUltimaLectura > 2000) {
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();

    if (isnan(h) || isnan(t)) {
      Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    }
  }
}
```

```
}  
  
else {  
  
    float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);  
  
    Serial.print(F("Humidity: "));  
  
    Serial.print(h);  
  
    Serial.print(F("% Temperature: "));  
  
    Serial.print(t);  
  
    Serial.print(F("°C "));  
  
    Serial.print(F(" Heat index: "));  
  
    Serial.print(hic);  
  
    Serial.println(F("°C "));  
  
    }  
  
    tiempoUltimaLectura = millis();  
  
    }  
  
}
```

Anexo B. Código de pantalla LCD

```
#include <Wire.h>  
  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);  
  
  
void setup() {
```

```
lcd.init();  
  
lcd.backlight();  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Prueba de");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("pantalla LCD");  
}  
  
void loop() {  
  
}
```

Anexo C. Código para medir el nivel del agua

```
int Trig = 4;  
  
int Echo = 3;  
  
float tiempo;  
float distancia;  
  
void setup() {  
  
  pinMode(Trig, OUTPUT);  
  
  pinMode(Echo, INPUT);  
  
}
```

```
Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(Trig, HIGH);  
  delay(2);  
  digitalWrite(Trig, LOW);  
  
  tiempo = pulseIn(Echo, HIGH);  
  distancia = (tiempo*0.0344)/2;  
  
  Serial.print("Distancia: ");  
  Serial.println(distancia);  
  
  int Porc = map(distancia, 2, 20, 100, 0);  
  Porc = constrain(Porc, 0, 100);  
  
  Serial.print("Porcentaje: ");  
  Serial.print(Porc);  
  Serial.println("%");  
  Serial.println("");  
}
```

```
delay(1000);  
  
}
```

Anexo D. Código de prueba de pantalla OLED

```
#include <Wire.h>  
  
#include <Adafruit_GFX.h>  
  
#include <Adafruit_SSD1306.h>  
  
Adafruit_SSD1306 TempScreen = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);  
  
void setup() {  
  TempScreen.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);  
  
  TempScreen.clearDisplay();  
  
  TempScreen.setTextColor(SSD1306_WHITE);  
  
  TempScreen.setCursor(3, 2);  
  
  TempScreen.setTextSize(4);  
  
  TempScreen.print("100"); TempScreen.print(" %");  
  
  TempScreen.display();  
}  
  
void loop() {  
  
}
```

Anexo E. Código del relevador

```
int Deshum = 12;

long tiempoRelay = 0;

void setup() {
  pinMode(Deshum, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (millis() - tiempoRelay > 1000) {
    digitalWrite(Deshum, HIGH);
  }
  if (millis() - tiempoRelay > 2000) {
    digitalWrite(Deshum, LOW);
    tiempoRelay = millis();
  }
}
```

Anexo F. Código del sistema de alarmas

```
int Led = 8;
int Buz = 9;
```

```
long tiempoAlarma = 0;

void setup() {
  pinMode(Led, OUTPUT);
  pinMode(Buz, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (millis() - tiempoAlarma > 1000) {
    digitalWrite(Led, HIGH);
    tone(Buz, 500);
  }
  if (millis() - tiempoAlarma > 2000) {
    digitalWrite(Led, LOW);
    noTone(Buz);
    tiempoAlarma = millis();
  }
}
```

Anexo G. Código completo

```
/* CORPORACION UNIVERSITARIA REFORMADA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA BIOMEDICA
```

DISPOSITIVO DE MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD*/

```
#include <Wire.h>
```

```
#include "DHT.h"
```

```
#define DHTPIN 13
```

```
#define DHTTYPE DHT22
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
long tiempoUltimaLectura = 0;
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

```
Adafruit_SSD1306 TempScreen = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);
```

```
int Trig = 4;
```

```
int Echo = 3;
```

```
float tiempo;

float distancia;

long tiempoPorc = 0;

int Led = 8;
int Buz = 9;

long tiempoAlarma = 0;

int Deshum = 12;

void setup() {
  pinMode(Trig, OUTPUT);
  pinMode(Echo, INPUT);
  pinMode(Led, OUTPUT);
  pinMode(Buz, OUTPUT);
  pinMode(Deshum, OUTPUT);

  dht.begin();

  lcd.init();
  lcd.backlight();
```

```
TempScreen.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Iniciando");
delay(400);
lcd.print(".");
delay(400);
lcd.print(".");
delay(400);
lcd.print(".");
delay(800);
}

void loop() {
  if (millis() - tiempoPorc > 1000) {
    digitalWrite(Trig, HIGH);
    delay(2);
    digitalWrite(Trig, LOW);

    tiempo = pulseIn(Echo, HIGH);
    distancia = (tiempo*0.344)/2;
```

```
float Map = map(distancia, 30, 125, 100, 0);

int Porc = constrain(Map, 0, 100);

TempScreen.clearDisplay();

TempScreen.setTextSize(1);

TempScreen.setTextColor(SSD1306_WHITE);

TempScreen.setCursor(3, 2);

TempScreen.setTextSize(4);

TempScreen.print(Porc);

TempScreen.print(" %");

TempScreen.display();

if (Porc >= 95) {

  if (millis() - tiempoAlarma > 1000) {

    digitalWrite(Led, HIGH);

    tone(Buz, 500);

  }

  if (millis() - tiempoAlarma > 2000) {

    digitalWrite(Led, LOW);

    noTone(Buz);

    tiempoAlarma = millis();

  }

}
```

```
else if (Porc >= 85) {  
    if (millis() - tiempoAlarma > 1000) {  
        digitalWrite(Led, HIGH);  
        tone(Buz, 500);  
    }  
    if (millis() - tiempoAlarma > 2000) {  
        digitalWrite(Led, LOW);  
        noTone(Buz);  
        tiempoAlarma = millis();  
    }  
}  
  
else if (Porc >= 75) {  
    if (millis() - tiempoAlarma > 1000) {  
        digitalWrite(Led, HIGH);  
        noTone(Buz);  
    }  
    if (millis() - tiempoAlarma > 2000) {  
        digitalWrite(Led, LOW);  
        noTone(Buz);  
        tiempoAlarma = millis();  
    }  
}  
  
else {
```

```
digitalWrite(Led, LOW);

noTone(Buz);

}

tiempoPorc = millis();

if (millis() - tiempoUltimaLectura > 2000) {

    float h = dht.readHumidity();

    float t = dht.readTemperature();

    if (isnan(h) || isnan(t)) {

        lcd.clear();

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print("Failed to read");

        lcd.setCursor(0, 1);

        lcd.print("from DHT sensor!");

    }

    else {

        lcd.clear();

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print("Humedad: ");

        lcd.print(h);

        lcd.print("%");

        lcd.setCursor(0, 1);
```

```
    lcd.print("Temp: ");  
  
    lcd.print(t);  
  
    lcd.print((char)223);  
  
    lcd.print("C ");  
  
    }  
  
    tiempoUltimaLectura = millis();  
  
    if (h > 80 && Porc < 95) {  
        digitalWrite(Deshum, LOW);  
    }  
    else {  
        digitalWrite(Deshum, HIGH);  
    }  
    }  
    }  
    }
```

Anexo H. Tabla de temperatura y humedad del mes de marzo

Día	Horario	Temperatura	Humedad
1	Mañana	20.00°C	70.00%
	Tarde	19.00°C	66.00%
2	Mañana	20.00°C	70.00%
	Tarde	18.00°C	71.00%
3	Mañana	19.00°C	71.00%
	Tarde	20.00°C	70.00%
4	Mañana	18.00°C	73.00%
	Tarde	19.00°C	69.00%
5	Mañana	18.00°C	72.00%
	Tarde	18.00°C	71.00%
6	Mañana	19.00°C	65.00%
	Tarde	18.00°C	69.00%
7	Mañana	18.00°C	67.00%
	Tarde	18.00°C	67.00%
8	Mañana	20.00°C	70.00%
	Tarde	23.00°C	75.00%
9	Mañana	18.00°C	70.00%
	Tarde	18.00°C	70.00%
10	Mañana	20.00°C	71.00%
	Tarde	19.00°C	68.00%
11	Mañana	18.00°C	71.00%
	Tarde	18.00°C	66.00%
12	Mañana	19.00°C	72.00%
	Tarde	18.00°C	71.00%
13	Mañana	19.00°C	72.00%
	Tarde	17.00°C	68.00%
14	Mañana	18.00°C	71.00%
	Tarde	17.00°C	66.00%
15	Mañana	16.00°C	71.00%
	Tarde	17.00°C	71.00%
16	Mañana	18.00°C	68.00%
	Tarde	17.00°C	69.00%
17	Mañana	18.00°C	62.00%
	Tarde	18.00°C	63.00%
18	Mañana	18.00°C	64.00%
	Tarde	19.00°C	64.00%
19	Mañana	21.00°C	74.00%
	Tarde	18.00°C	68.00%
20	Mañana	20.00°C	71.00%
	Tarde	17.00°C	74.00%

21	Mañana	18.00°C	69.00%
	Tarde	19.00°C	72.00%
22	Mañana	17.00°C	65.00%
	Tarde	18.00°C	72.00%
23	Mañana	16.00°C	71.00%
	Tarde	17.00°C	72.00%
24	Mañana	17.00°C	74.00%
	Tarde	16.00°C	69.00%
25	Mañana	17.00°C	73.00%
	Tarde	21.00°C	75.00%
26	Mañana	20.00°C	72.00%
	Tarde	20.00°C	73.00%
27	Mañana	19.00°C	70.00%
	Tarde	20.00°C	74.00%
28	Mañana	18.00°C	71.00%
	Tarde	20.00°C	72.00%
29	Mañana	19.00°C	72.00%
	Tarde	19.00°C	71.00%
30	Mañana	19.00°C	73.00%
	Tarde	20.00°C	75.00%
31	Mañana	18.00°C	74.00%
	Tarde	20.00°C	72.00%
Promedio	Mañana	18.48°C	70.29%
	Tarde	18.58°C	70.10%

Anexo I. Tabla de temperatura y humedad del mes de abril

Día	Horario	Temperatura	Humedad
1	Mañana	19.00°C	61.00%
	Tarde	21.00°C	64.00%
2	Mañana	16.00°C	69.00%
	Tarde	20.00°C	63.00%
3	Mañana	19.00°C	63.00%
	Tarde	20.00°C	61.00%
4	Mañana	19.00°C	61.00%
	Tarde	19.00°C	63.00%
5	Mañana	21.00°C	68.00%
	Tarde	17.00°C	69.00%
6	Mañana	21.00°C	68.00%
	Tarde	19.00°C	69.00%
7	Mañana	21.00°C	68.00%
	Tarde	19.00°C	69.00%
8	Mañana	17.00°C	64.00%
	Tarde	20.00°C	66.00%
9	Mañana	21.00°C	61.00%
	Tarde	20.00°C	65.00%
10	Mañana	19.00°C	61.00%
	Tarde	20.00°C	66.00%
11	Mañana	17.00°C	62.00%
	Tarde	17.00°C	63.00%
12	Mañana	20.00°C	64.00%
	Tarde	19.00°C	67.00%
13	Mañana	21.00°C	61.00%
	Tarde	18.00°C	65.00%
14	Mañana	18.00°C	67.00%
	Tarde	20.00°C	65.00%
15	Mañana	19.00°C	65.00%
	Tarde	18.00°C	68.00%
16	Mañana	18.00°C	61.00%
	Tarde	17.00°C	68.00%
17	Mañana	20.00°C	64.00%
	Tarde	19.00°C	68.00%
18	Mañana	19.00°C	66.00%
	Tarde	19.00°C	69.00%
19	Mañana	21.00°C	65.00%
	Tarde	19.00°C	68.00%
20	Mañana	16.00°C	62.00%
	Tarde	16.00°C	65.00%

21	Mañana	16.00°C	67.00%
	Tarde	19.00°C	63.00%
22	Mañana	21.00°C	62.00%
	Tarde	16.00°C	61.00%
23	Mañana	18.00°C	69.00%
	Tarde	21.00°C	67.00%
24	Mañana	18.00°C	64.00%
	Tarde	18.00°C	62.00%
25	Mañana	17.00°C	63.00%
	Tarde	20.00°C	62.00%
26	Mañana	20.00°C	62.00%
	Tarde	17.00°C	66.00%
27	Mañana	16.00°C	64.00%
	Tarde	21.00°C	69.00%
28	Mañana	19.00°C	68.00%
	Tarde	17.00°C	67.00%
29	Mañana	16.00°C	68.00%
	Tarde	21.00°C	65.00%
30	Mañana	17.00°C	61.00%
	Tarde	20.00°C	68.00%
Promedio	Mañana	18.67°C	64.30%
	Tarde	18.90°C	65.70%

¡Gracias por su amable atención!