

Desarrollo de un Dispositivo Wearable para la Medición del Confort Térmico en Edificaciones

Julio César Landa López

2024-10-10

Tabla de contenidos

Resumen	5
Abstract	6
Agradecimientos	7
1 Introducción	8
2 Marco teórico	12
3 Desarrollo y construcción	13
3.1 Metodología	13
3.2 Construcción del dispositivo	20
3.3 Encuestas e interfaz	20
3.4 Calibración	21
3.5 Datos	21
4 Conclusiones	22
4.1 Discusión	22
4.1.1 Interpretación de los resultados	22
4.1.2 Contribuciones y limitaciones	22
4.2 Conclusiones	22
Referencias	23

Listado de Figuras

3.1 Diagrama de conexiones	19
--------------------------------------	----

Listado de Tablas

3.1	Placas de desarrollo	14
3.2	Características ESP32C3	15
3.3	Pantallas	16
3.4	Baterías	16
3.5	Sensores de temperatura	17

Resumen

Abstract

Agradecimientos

Poner atención en el título, no convence “Medición de confort térmico”, no se puede medir el confort térmico

1 Introducción

El reporte de Cambio Climático 2023 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) advierte sobre un probable aumento en la temperatura superior a 1.5°C entre los años 2021 y 2040, alcanzando hasta los 5.7°C para 2100 (Synthesis Report 2023). Para limitar este calentamiento, es imprescindible una reducción drástica de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Estas emisiones deben alcanzar su máximo antes del año 2025 y luego disminuir en un 43% para el año 2030, llegando a cero neto para el año 2050, conforme los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (2015).

Las emisiones de GEI generadas por el uso de energía representan el 73.2% a nivel global, y el uso de energía en edificaciones constituye el 17.5%, desglosado en un 6.6% en edificaciones no residenciales y un 10.9% en edificaciones residenciales (Ritchie 2020). En México, el sector residencial, comercial y público representa el 17.16% del consumo final de energía, de los cuales el 34.29% corresponden a consumo eléctrico (Secretaría de Energía 2023). En materia de eficiencia energética, el principal desafío que enfrentan los edificios no residenciales en México es su uso intensivo de electricidad (Lorentzen y McNeil 2020).

La eficiencia energética desempeña un papel crucial en la lucha contra el cambio climático al optimizar el uso de recursos. Avanzar hacia la eficiencia energética implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual favorece la descarbonización del sistema energético. Las fuentes de energías renovables pueden ser un aliado valioso en el camino a la eficiencia energética.

Además, es importante destacar que una parte esencial en la búsqueda de la eficiencia energética en edificaciones es la aplicación de estrategias de diseño bioclimático. Estas consisten en el diseño de la edificación de acuerdo al clima del lugar donde estará construida (Olgyay et al. 1963). Esto propicia tener espacios que satisfagan las necesidades y expectativas de los ocupantes, proporcionando condiciones de confort térmico para una mejor calidad de vida y productividad.

La digitalización energética tiene como objetivo contribuir a la eficiencia energética y la fiabilidad del sistema energético en su conjunto mediante el análisis de datos y la integración de tecnologías digitales en la producción, almacenamiento, distribución y consumo de energía. Esto implica el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) o el internet de las cosas (IoT) (Olabi, Abdelkarem, y Jouhara 2023). Esto favorece indirectamente a la sustentabilidad al respaldar la eficiencia energética y fortalecer la fiabilidad del sistema energético.

Si bien la digitalización energética es prometedora en este sentido para la eficiencia energética y la descarbonización, también presenta desafíos debido a que se espera un aumento en la demanda de energía a nivel global (Mitigation of Climate Change 2022). Para poder llevar a cabo un proceso de digitalización energética adecuado que permita lograr los objetivos de descarbonización, se debe buscar una democracia energética con tres perspectivas clave: soberanía popular, un gobierno participativo y propiedad civil (Judson, Fitch-Roy, y Soutar 2022).

En la búsqueda de un futuro sustentable, la transición hacia fuentes de energía renovables, tecnologías eficientes, edificaciones sustentables y una democracia energética son de vital importancia; aunado a la creciente necesidad de abordar la crisis climática, el consumo energético de edificaciones requiere de acciones inmediatas.

El confort térmico se define como una condición mental que expresa la satisfacción con el ambiente, y es un juicio cognitivo influenciado por procesos físicos, fisiológicos y otros factores (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017). Desempeña un papel esencial en el consumo de energía en edificaciones, pues está intrínsecamente ligado a la forma en que diseñamos las edificaciones. Una gran parte del consumo de energía en estas se ocupa en mantener condiciones óptimas de iluminación, temperatura y humedad del aire, buscando obtener espacios con condiciones adecuadas para que los ocupantes se encuentren confort térmico, lumínico y acústico.

Para el confort térmico se toman en cuenta siete variables físicas, las cuales están relacionadas a la transferencia de calor entre el ocupante y su entorno, así como a los modelos de predicción de confort térmico. Estas variables incluyen la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, temperatura radiante, presión atmosférica, aislamiento térmico de la ropa y nivel metabólico del ocupante (Enescu 2017). Asimismo, existen variables fisiológicas altamente relacionadas con el confort térmico que pueden servir como indicadores, tales como la temperatura de la piel, la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Bogatu et al. 2023).

Durante la fase de diseño de una edificación, el empleo de modelos predictivos de confort térmico se convierte en una herramienta esencial para desarrollar estrategias efectivas de diseño bioclimático. Además, es crucial realizar encuestas de evaluación durante la ocupación para determinar el nivel de confort térmico y evaluar la efectividad de las estrategias implementadas durante la fase de diseño. Estas encuestas se basan principalmente en cuestionarios destinados a recabar la opinión de los ocupantes sobre su experiencia ambiental, mientras que las mediciones experimentales de las variables físicas que inciden en el entorno sirven como un respaldo fundamental (Aguirre 2021).

En este contexto, la transición hacia edificaciones sustentables no se trata solo de reducir el consumo energético, sino de hacerlo de manera eficiente sin comprometer el confort térmico, acústico y lumínico.

Existen diversos modelos que se utilizan para la predicción del confort térmico en edificaciones. Estos modelos se clasifican comúnmente en dos categorías: para edificaciones con sistemas de aire acondicionado y para edificaciones sin este tipo de sistemas. Entre los modelos para edificaciones con sistemas de aire acondicionado, el modelo más utilizado es el conocido como

método Fanger, este método se basa en las variables físicas relacionadas al confort térmico mencionadas previamente. Estas variables se utilizan en ecuaciones para calcular el índice de sensación térmica (PMV por sus siglas en inglés) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD por sus siglas en inglés) (Fanger 1970). Mientras que para los sistemas sin aire acondicionado existen algunos modelos como el PMV adaptativo o el PMV extendido (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017), entre otros, los cuales, se explicaran más a detalle en el siguiente capítulo.

Un problema es la precisión de los modelos existentes como el caso del método Fanger (PMV-PPD), un estudio realizado por Cheung et al. (2019) donde se determina la precisión del modelo con la base de datos de confort térmico global del ASHRAE, reporta que el PMV tiene una precisión del 34% respecto a la sensación térmica observada, mientras que el PPD puede llegar a sobrestimar la insatisfacción de los ocupantes. Esto da pie a continuar con la investigación y desarrollo de más modelos, como el caso de la implementación de algoritmos de aprendizaje automático.

En años recientes se han utilizado nuevas herramientas como el caso de los dispositivos wearables para el desarrollo de modelos de confort, la implementación de dichos dispositivos con sensores integrados, tienen la capacidad de medir variables ambientales y fisiológicas que permiten generar bases de datos que incluyan datos fisiológicos de los ocupantes y la obtención de modelos de confort más precisos.

En esta tesis se presenta el desarrollo de un prototipo de wearable con software y hardware libres que recopile y envíe datos sobre encuestas de confort térmico e información extra de variables fisiológicas a una plataforma de IoT, con el fin de crear una base de datos que permita el desarrollo de modelos de confort térmico. A continuación se presenta las contribuciones de este proyecto.

Medición precisa y en tiempo real de variables fisiológicas: El uso de un dispositivo wearable permite la captura directa de variables fisiológicas relacionadas al confort térmico, como la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca.

Monitoreo continuo y no intrusivo: Al ser un dispositivo portable y de uso constante, este permite el monitoreo continuo y no intrusivo de las variables fisiológicas mencionadas previamente, facilitando la recopilación de datos a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental para el análisis de patrones y tendencias en el confort térmico.

Encuestas de confort térmico simplificadas: La función de encuestas periódicas de confort térmico es una de las partes más importantes en el desarrollo del dispositivo para la creación de una base de datos. Estas encuestas permiten al usuario evaluar su nivel de confort térmico de manera rápida y sencilla.

Contextualización de los datos de confort térmico: Al integrarse el dispositivo a la red de Internet de las Cosas del Instituto de Energías Renovables junto con los demás dispositivos de medición de variables físicas previamente instalados en el instituto, permite contextualizar los datos de confort térmico del usuario en relación con las condiciones ambientales del entorno.

Potencial desarrollo de modelos de confort térmico: El desarrollo de este proyecto a un futuro puede tomar dos vertientes. Una en donde se puedan generar modelos de confort personalizados para cada individuo, favoreciendo a la digitalización energética y la automatización de espacios. Y la otra vertiente para generar modelos predictivos de confort térmico contextualizados para la comunidad del instituto.

2 Marco teórico

– Aquí van todos los antecedentes de confort térmico, ya están en el archivo estado.qmd –

3 Desarrollo y construcción

En esta sección se detalla el proceso de desarrollo y construcción del dispositivo presentado en esta tesis. Se presenta una metodología en donde se aborda una descripción general del dispositivo, la selección y justificación de los componentes a utilizar. Se aborda la etapa de diseño y construcción del dispositivo, el diseño e implementación de las encuestas a través de la interfaz gráfica. Se describe también el proceso de calibración de los sensores utilizados para garantizar precisión y mediciones fiables. Finalmente, se detalla la conexión del dispositivo a una plataforma IoT para el almacenamiento de los datos.

3.1 Metodología

1. Descripción general del dispositivo:

El dispositivo presentado en esta tesis es un prototipo de reloj inteligente diseñado específicamente para la investigación en el ámbito del confort térmico. Este dispositivo permite la recopilación de datos fisiológicos, tales como la frecuencia cardíaca y la temperatura de la piel, variables cuya relación con el confort térmico se discutió en el capítulo anterior. Además, este dispositivo realiza encuestas periódicas simplificadas de confort térmico mediante una interfaz de usuario intuitiva, que permite responder la encuesta de forma rápida y sencilla. La recopilación de estos datos se realiza en la plataforma de IoT llamada ThingsBoard, lo que permite la creación de una base de datos de confort térmico en un bioclima cálido semihúmedo (Infonavit 2024) en Temixco, Morelos. Esta base de datos facilitará estudios para el entendimiento del confort térmico y el desarrollo de modelos de confort para este tipo de bioclima, así como de modelos de confort personalizados.

2. Selección de componentes

Para garantizar el funcionamiento preciso y adecuado del dispositivo, es fundamental seleccionar correctamente todos los componentes. A continuación se describen los principales componentes utilizados, junto con sus características y la justificación de su elección en el proyecto. Esta justificación se basa en criterios como compatibilidad, consumo energético, precisión y capacidad de procesamiento en el caso del microcontrolador.

Los componentes principales son los siguientes:

- Placa de desarrollo

- Pantalla
- Batería
- Sensores

Placa de desarrollo

La selección de la tarjeta o placa de desarrollo es una decisión crucial en el desarrollo del proyecto. Se requiere una placa de tamaño reducido que cumpla con características esenciales como conexión Wi-Fi, velocidad de procesamiento, memoria y comunicación I2C. Además, debe tener un bajo consumo energético para garantizar el uso portátil prolongado del dispositivo.

Se buscan placas compactas con conectividad inalámbrica. Opciones con microcontroladores como los de Arduino, ESP y Raspberry ofrecen estas características. En la tabla Tabla 3.1 se presenta una comparación básica de algunas de estas placas.

Es importante destacar que, durante la búsqueda, se encuentran algunas placas que ya integran una pantalla LCD, lo cual podría representar una ventaja. Sin embargo, el microcontrolador RP2040 no cuenta con conectividad Wi-Fi o Bluetooth, y la tarjeta LILYGO incorpora una pantalla que no es táctil, lo que resulta una desventaja para la realización de las encuestas de confort.

Tabla 3.1: Placas de desarrollo

Placa de desarrollo	Wifi	Bluetooth	Comunicación	Cable	Pines
Arduino Nano 33 IoT	si	4.2	SPI, I2C, I2S, UART	Micro USB	30 GPIOs, 8 ADC
Arduino nano 33 BLE sense	no	5	UART, SPI, I2C	Micro USB	22 GPIOs, 8 ADC
Arduino nano esp32	si	LE	UART, I2C, SPI, I2S, CAN(TWAI)	USB C	22 GPIOs, 8 ADC
Arduino nano RP2040 connect	si	si	STI, I2C, I2S, PIO, UART	USB C	30 GPIOs, 8 ADC
Raspberry pi pico W	si	5.2	UART, I2C, SPI	Micro USB	26 GPIOs, 3 ADC
ESP32 pico kit	si	si	I2C, I2S, SPI	Micro USB	34 GPIOs
Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense	nfc	5	1xUART, 1xIIC, 1xSPI, 1xNFC, 1xSWD	USB C	11 GPIOs, 6 ADC
Seeed Studio XIAO ESP32C3	si	5	1x UART, 1x IIC, 1x SPI	USB C	11 GPIOs, 4 ADC
Seeed Studio XIAO ESP32S3	si	5	1x UART, 1x IIC, 1x SPI	USB C	11 GPIOs, 9 ADC

Placa de desarrollo	Wifi	Bluetooth	Comunicación	Cable	Pines
MCU RP2040 con LCD redondo de 1,28 pulgadas	no	no	rp2040	USB C	26 GPIOs, 3 ADC
LILYGO TTGO	si	si	esp32	USB C	13 GPIOs, 11 ADC

Tras analizar en detalle las especificaciones de cada opción, se elige la placa Seeed Studio XIAO ESP32C3. Esta placa cumple con los requisitos del proyecto gracias a sus modos de bajo consumo, conectividad Wi-Fi, tamaño compacto y memoria suficiente. En la tabla Tabla 3.2 se presentan sus características.

También se considera la placa XIAO ESP32S3, que se adapta igualmente al proyecto sin inconvenientes. La principal diferencia es su mayor capacidad de memoria en comparación con la XIAO ESP32C3, aunque su costo es más elevado.

Tabla 3.2: Características ESP32C3

Parametro	Seeed Studio XIAO ESP32C3
Procesador	ESP32-C3 32 bit RISC-V 160 MHz
Conectividad	2.4GHz Wi-Fi BLE: Bluetooth 5.0, Bluetooth mesh
On-chip Memory	400 KB SRAM & 4MB Flash
Interfaz	1x UART, 1x IIC, 1x SPI, 11x GPIO(PWM), 4x ADC, 1x Reset button, 1x Boot button
Dimensiones	21 x 17.8mm
Características eléctricas	Voltaje de entrada (Type-C): 5V Voltaje de operación 3.3 V Circuit operating Voltage (ready to operate):- Type-C: 5V@19mA - BAT: 3.8V@22mA corriente de carga de batería: 350mA/100mA
Modo de bajo consumo	Modo deep-sleep: > 44 μ A
WiFi activado Consumo de energía	Modo activo: < 75 mA
Bluetooth activado Consumo de energía	Modo modem-sleep: < 27 mA
Temperatura de trabajo	-40°C ~ 85°C

Pantalla

Para la elección de la pantalla, se realiza una búsqueda priorizando que sea de tamaño reducido y compatible con la placa de desarrollo seleccionada. En la tabla Tabla 3.3 se presentan las características básicas de las pantallas encontradas.

Tabla 3.3: Pantallas

Pantalla	touchscreen	tecnología	dimensión
Seeed Studio Round Display for XIAO	si	TFT LCD	1.28''
Waveshare Módulo de visualización	no	OLED RGB	1.5''
GC9A01 Pantalla	no	TFT LCD	1.28''

La pantalla seleccionada es la Seeed Studio Round Display for XIAO. Seeed Studio ha desarrollado un ecosistema orientado a dispositivos portátiles y wearables, lo que hace que esta pantalla sea perfectamente compatible con la placa de desarrollo. Además, su display redondo y táctil se ajustan de manera adecuada a las necesidades del proyecto.

Batería

El uso de baterías de polímero de litio (LiPo) es común en dispositivos portátiles debido a su pequeño tamaño, bajo peso y facilidad de carga. La capacidad mínima de carga requerida para la placa de desarrollo, junto con la pantalla, es de 500 mAh (cita datasheet de la pantalla). Aunque una batería de menor capacidad podría ser ventajosa en términos de tamaño, tendría como consecuencia una duración de uso significativamente limitada. En la tabla Tabla 3.4 se detallan las características de siete baterías que, por su tamaño compacto, podrían integrarse en el dispositivo.

Tabla 3.4: Baterías

tipo	voltaje	capacidad	potencia	dimensiones
LiPo	3.7	60 mAh	0.22 Wh	22x11.5x4 mm
LiPo	3.7	130 mAh	0.48 Wh	30x15x3.5 mm
LiPo	3.7	250 mAh	0.93 Wh	20x30x5 mm
LiPo	3.7	400 mAh	1.48 Wh	35x20x6 mm
LiPo	3.7	650 mAh	2.41 Wh	40x20x8 mm
LiPo	3.7	1000 mAh	3.7 Wh	50x34x5 mm

Para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo, se selecciona una batería con una capacidad de 650 mAh. Esta capacidad no solo satisface los requisitos mínimos de energía establecidos en las hojas de datos del microcontrolador y la pantalla, sino que también ofrece un margen adicional en la duración de la batería. Además, su tamaño es apropiado para no afectar el diseño compacto del dispositivo.

Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura se clasifican en dos tipos principales: sensores de contacto y sensores sin contacto. Los sensores de contacto, a su vez, se subdividen en tres categorías según su método de medición:

Termopares: Utilizan el efecto Seebeck para generar una voltaje por la unión de dos metales diferentes.

Termistores: Son resistores sensibles a la temperatura, cuya resistencia eléctrica varía en función de los cambios de temperatura. Están fabricados con materiales cerámicos o poliméricos. Existen dos tipos principales: los NTC (coeficiente de temperatura negativo) y los PTC (coeficiente de temperatura positivo).

Detectores de temperatura de resistencia (RTD): Utilizan metales puros, como el platino, para medir la temperatura a través de la variación lineal y predecible de su resistencia eléctrica.

Por otro lado, los sensores sin contacto incluyen los sensores infrarrojos, diseñados para detectar la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia.

En el sector de la salud, los termistores son ampliamente utilizados debido a su alta precisión en los rangos de temperatura corporal y su rápida respuesta a los cambios de temperatura. Sin embargo, a raíz de la pandemia de COVID-19 en 2020, el uso de sensores infrarrojos se populariza considerablemente. Esto ha impulsado avances en su tecnología, lo que los hace cada vez más comunes para medir la temperatura corporal.

La tabla Tabla 3.5 muestra una comparación entre distintos sensores de temperatura que podrían ser utilizados en el proyecto, incluyendo termistores, sensores infrarrojos y un sensor de temperatura y humedad.

Tabla 3.5: Sensores de temperatura

Características	Tipo de sensor	Rango de temperatura	Precisión	Comunicación	Voltaje de operación	Costo aproximado
GY-906 (MLX90614)	Sensor de temperatura infrarrojo	-70°C a 382.2°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0°C a 50°C)	I2C	3.3V - 5V	250 MNX
ZTP-115M	Sensor de temperatura infrarrojo	-20°C a 100°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ (32°C a 42°C)	Salida analógica	2.7V - 5.5V	480 MNX

Características	Tipo de sensor	Rango de temperatura	Precisión	Comunicación	Voltaje de operación	Costo aproximado
NTC MF52AT	Termistor NTC	-55°C a 125°C	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (dependiendo de la resistencia)	Ninguna (sensor resistivo)	Depende del circuito (normalmente 5V)	2 MNX
BetaTherm 10K3A1	Termistor NTC	-50°C a 150°C	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (25°C a 45°C)	Ninguna (sensor resistivo)	Depende del circuito (normalmente 5V)	240 MNX
AHT20	Sensor de temperatura y humedad digital	-40°C a 85°C	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (temperatura) / $\pm 2\%$ HR (humedad)	I2C	2.0V - 5.5V	100 MNX

Tras un análisis detallado, se selecciona el sensor GY-906 debido a su tamaño compacto, diseño adecuado y comunicación digital por I2C. Aunque el termistor NTC MF52AT ofrece una alternativa viable, se descarta por ser un sensor analógico. Dado que el dispositivo está diseñado para operar en un espacio reducido, cualquier interferencia en las conexiones internas podría afectar la precisión de los sensores analógicos. Por esta razón, se opta por el GY-906, que garantiza una transmisión de datos más confiable y estable en entornos compactos.

Sensor de frecuencia cardíaca

3. Diseño del dispositivo

Una vez seleccionados los componentes principales del dispositivo, el diseño se centra en crear una carcasa compacta y adecuada en donde los componentes puedan colocarse sin interferir entre ellos y así mismo el desarrollo de los circuitos internos de conexión

Carcasa:

La carcasa del dispositivo esta diseñada para ser impresa en 3D y consta de 3 partes principales y un seguro. La primera parte es la base y esta es la que está en contacto con la muñeca del usuario, cuenta con ranuras para el acomodo y fijación de los sensores y que estos queden en contacto directo con la piel para llevar a cabo las mediciones de forma adecuada

La parte central de la carcasa es la pieza que va arriba de la base y es donde se aloja el microcontrolador, el motor vibrador y el interruptor de encendido. La pieza está diseñada con compartimentos para fijar cada uno de estos componentes. Por la parte exterior de la carcasa, esta pieza cuenta con ranuras para colocar las correas que fijan el dispositivo a la muñeca del usuario.

La parte superior de la carcasa está diseñada con el fin de mantener la pantalla táctil en su posición y cerrar el dispositivo. Todas las piezas se ensamblan una con otra por presión, evitando el uso de tornillos.

Adicional, hay una cuarta pieza que es un seguro para fijar el interruptor de encendido. Esta se coloca por encima del interruptor una vez esté colocado en su posición en la pieza central. El seguro ensambla por presión a la pieza y deja fijo el interruptor.

En la figXXX Se observan las tres piezas principales de la carcasa.

Diseño de los circuitos

El diseño de los circuitos se divide en tres circuitos, motor vibratorio para alarmas circuito Figura 3.1 a) , circuito de sensores y microcontrolador Figura 3.1 b), y el circuito de la batería Figura 3.1 c). Cada uno de estos circuitos está diseñado para mantener las conexiones lo más simples y cortas posibles. Dado que la placa XIAO ESP32C3 y la pantalla XIAO Round Display se ensamblan directamente, se omite ese circuito.

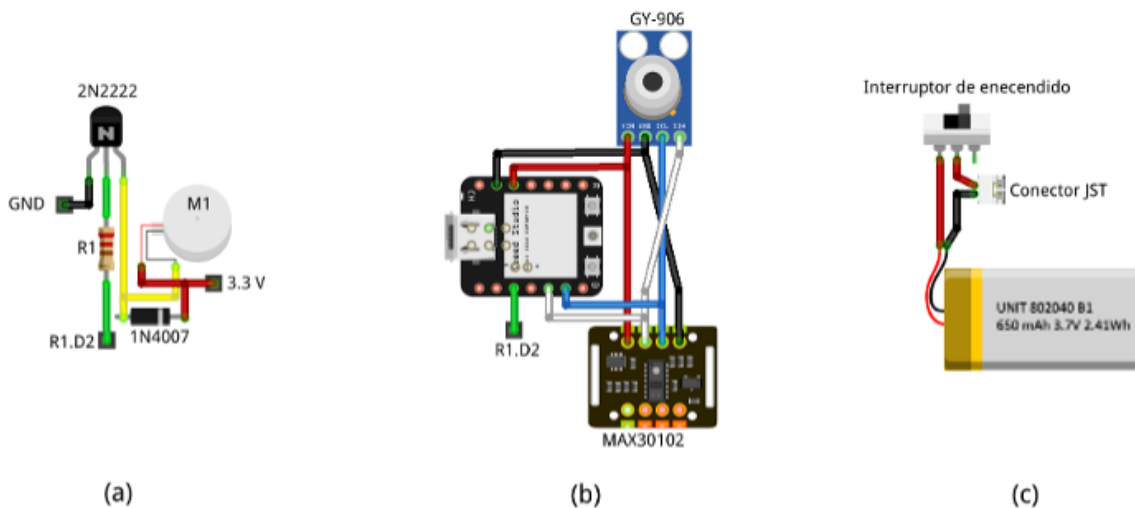


Figura 3.1: Diagrama de conexiones

El código de colores utilizado en este proyecto, para facilitar las conexiones, es:

- **Rojo:** Conexión Vcc (3,3 V).
- **Negro:** GND.
- **Azul:** cable de comunicación SCL.
- **Blanco:** cable de comunicación SDA.

- **Verde:** señal de activación del motor.
- **Amarillo:** conexión entre el pin emisor del transistor y el motor vibratorio.

El Circuito de motor vibrador es un circuito sencillo de control de motor. Este circuito tiene la finalidad de proteger el microcontrolador al evitar que el motor se alimente directamente del pin digital del microcontrolador, si no que lo haga directamente de la alimentación general del dispositivo, dejando al pin del microcontrolador únicamente la tarea de dar la señal de activación.

El circuito de los sensores y el microcontrolador tiene la función de comunicar de forma paralela ambos sensores por protocolo I2C al microcontrolador.

El circuito de la batería sirve para añadir el interruptor de encendido y agregar un conector JST que va directo a la pantalla XIAO Round Display.

En resumen, el diseño del dispositivo está enfocado en optimizar las conexiones, el espacio y facilitar su montaje, esto a la vez que se asegura su funcionalidad y ergonomía.

3.2 Construcción del dispositivo

La construcción del dispositivo en tres etapas: La impresión de la carcasa, la conexión de los componentes electrónicos y la integración y montaje de todos los elementos.

Carcasa: los archivos STL para la impresión de la carcasa los puedes encontrar en el Anexo XXX

Componentes electrónicos: Las conexiones de los componentes electrónicos se llevan a cabo siguiendo los diagramas de la imagen XXX. Es importante seguir correctamente los diagramas para facilitar posteriormente su acomodo dentro de la carcasa.

Integración y montaje: Una vez realizadas las conexiones, se lleva a cabo el montaje de los circuitos dentro de la carcasa y está se ensambla y se colocan las correas.

En el artículo XXX puede encontrar información más detallada acerca del diseño y los pasos a seguir para la construcción del dispositivo.

3.3 Encuestas e interfaz

1. Desarrollo del firmware: describe el desarrollo de la interfaz
2. Implementación de la encuesta: Explica detalladamente la encuesta y porque se eligieron esos preguntas

3.4 Calibración

1. Calibración de los sensores

3.5 Datos

1. Integración con la plataforma iot
2. manejo de los datos

4 Conclusiones

4.1 Discusión

4.1.1 Interpretación de los resultados

4.1.2 Contribuciones y limitaciones

4.2 Conclusiones

Referencias

- Aguirre, Verónica Ivette Calixto. 2021. «Thermal comfort studies». Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2021/septiembre/0814603/Index.html>.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2017. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE Standard 55-2017. American Society of Heating, Refrigerating; Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bogatu, Dragos Ioan, Jun Shinoda, José Joaquín Aguilera, Bjarne W. Olesen, Futa Watanaabe, Yosuke Kaneko, y Ongun B. Kazanci. 2023. «Human physiology for personal thermal comfort-based HVAC control – A review». *Building and Environment* 240 (julio): 110418. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110418>.
- Cheung, Toby, Stefano Schiavon, Thomas Parkinson, Peixian Li, y Gail Brager. 2019. «Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II». *Building and Environment* 153: 205-17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055>.
- Enescu, Diana. 2017. «A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 (noviembre): 1353-79. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.175>.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press. <https://archive.org/details/thermalcomfortan0000fang>.
- Infonavit. 2024. «Listado de Regiones Bioclimáticas». https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a/12.%2BAnexo%252B1.%252BListado%252Bde%252Bregiones%252Bbioclim%25C3%25A1ticas.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-005dcf74-d918-41aa-acfa-927e7b33d98a-mmCFC0.
- Judson, Emily, Oscar Fitch-Roy, y Iain Soutar. 2022. «Energy democracy: A digital future?» *Energy Research and Social Science* 91 (septiembre). <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102732>.
- Lorentzen, Diego M. P. Chatellier, y Michael A. McNeil. 2020. «Electricity demand of non-residential buildings in Mexico». *Sustainable Cities and Society* 59 (agosto). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102165>.
- Mitigation of Climate Change, Climate Change 2022 -. 2022. «Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf>.
- Olabi, A. G., Mohammad Ali Abdelkarem, y Hussam Jouhara. 2023. «Energy digitalization:

- Main categories, applications, merits, and barriers». *Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126899>.
- Olgyay, V., D. Lyndon, J. Reynolds, y K. Yeang. 1963. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism - New and expanded Edition*. Princeton University Press. <https://books.google.com.mx/books?id=RRQ-CgAAQBAJ>.
- Organización de las Naciones Unidas. 2015. «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». <https://digitallibrary.un.org/record/3923923>.
- Ritchie, Hannah. 2020. «Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?» *Our World in Data*.
- Secretaría de Energía. 2023. «Balance Nacional de Energía Preliminar 2022». https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/841526/BNE_2022.pdf.
- Synthesis Report, Climate Change 2023: 2023. «IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.» Editado por Paola Arias, Mercedes Bustamante, Ismail Elgizouli, Gregory Flato, Mark Howden, Carlos Méndez-Vallejo, Joy Jacqueline Pereira, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.