

Documentación

Carlos Gila Blanco

Enrique Sayas Bailach

Grado en Ciencia de Datos

Internet de las Cosas

10 de enero de 2025



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria

Universitat de València

ÍNDICE

Introducción.....	2
Objetivos.....	2
¿Por qué es IoT?.....	3
Metodología de Resolución.....	4
Indicador de Calidad MedioAmbiental (ICM).....	4
Hardware.....	5
Conectividad.....	5
Visualización y Análisis de Datos.....	5
Definición y Análisis del Proyecto.....	6
Componentes Principales.....	6
Arquitectura IoT.....	7
Groq API.....	7
Adaptabilidad y Modos de Funcionamiento.....	7
Implementación del Bucle Principal.....	7
Limitaciones y Retos Técnicos.....	8
Análisis Crítico.....	9
Fortalezas del Proyecto.....	9
Limitaciones y Retos.....	9
Resultados Obtenidos.....	10
Monitorización en Tiempo Real.....	10
Indicador de Calidad Medioambiental (ICM).....	10
Sistema de Notificaciones.....	11
Conclusión.....	12
Referencias.....	13
Anexos.....	14

Introducción

En un contexto global donde la sostenibilidad y la protección del medio ambiente se han convertido en prioridades fundamentales, la capacidad de monitorear y analizar las condiciones ambientales de manera precisa y en tiempo real resulta esencial. La calidad del aire, los cambios en la temperatura, la humedad y otros parámetros son indicadores clave para comprender el impacto de la actividad humana en nuestro entorno y tomar decisiones informadas que favorezcan el desarrollo sostenible.

El avance de la tecnología, especialmente en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), ha abierto nuevas oportunidades para abordar estos desafíos. El IoT permite la interconexión de dispositivos y sensores para recopilar, procesar y analizar datos de manera automática y eficiente. Este enfoque no solo mejora la capacidad de monitorización, sino que también facilita la implementación de soluciones escalables, económicas y accesibles para una amplia variedad de usuarios.

En este contexto, el presente trabajo se centra en el desarrollo de una Estación MedioAmbiental IoT, diseñada para medir parámetros ambientales relevantes como temperatura, humedad y calidad del aire, entre otros. El sistema combina hardware y software en una arquitectura que permite la adquisición, procesamiento y transmisión de datos hacia una plataforma de visualización accesible para los usuarios.

En las siguientes secciones, se describen los objetivos del proyecto, por qué es IoT, la metodología empleada, el análisis detallado de la solución propuesta, y los resultados obtenidos, finalizando con un análisis crítico de sus fortalezas y limitaciones.

Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una estación medioambiental que, mediante la tecnología MQTT, permita informar de manera continua al usuario sobre la calidad del entorno que lo rodea. Este sistema garantiza una monitorización constante, proporcionando datos relevantes en tiempo real para facilitar la toma de decisiones.

Además, se ha implementado un sistema de notificaciones que envía alertas personalizadas al usuario a través de correo electrónico. Estas notificaciones informan si algún parámetro ambiental ha superado los límites recomendados y ofrecen sugerencias sobre las acciones necesarias para restablecer los valores dentro de rangos óptimos.

Por último, cuando el sistema se apaga, genera y envía un informe final que resume el comportamiento de los parámetros monitoreados durante el período de funcionamiento, proporcionando una visión integral del entorno analizado.

¿Por qué es IoT?

El proyecto es considerado IoT (Internet of Things) porque cumple con las características y principios fundamentales de esta tecnología. A continuación, se destacan los aspectos clave que lo califican como un proyecto IoT:

1. Conexión de dispositivos a internet.

La estación medioambiental está diseñada para recopilar datos de sensores y transmitirlos a través de una red utilizando el protocolo MQTT, un estándar ampliamente empleado en IoT por su eficiencia en entornos con recursos limitados. Los datos son enviados a un servidor remoto (node02.mqttthub.com), donde quedan a disposición de los clientes mediante un servicio de suscripción.

2. Sensores y actuadores inteligentes.

El sistema incluye sensores físicos (temperatura, humedad, luminosidad, y partículas PM2.5) que recopilan información del entorno y la transforman en datos digitales. Los actuadores (buzzer, pantalla OLED y tira RGB) interactúan con el usuario, proporcionando alertas y representaciones visuales basadas en los datos analizados.

3. Comunicación entre dispositivos.

El uso de MQTT habilita la comunicación entre la estación y el servidor remoto. Este intercambio de información en tiempo real permite al sistema IoT ser dinámico, interactivo y accesible desde ubicaciones remotas.

4. Procesamiento y análisis de datos.

El proyecto no solo transmite los datos recopilados, sino que también los procesa y genera valor agregado, como el Indicador de Calidad del Entorno (ICM) y las recomendaciones personalizadas generadas por una API de inteligencia artificial. Este análisis se alinea con la filosofía de IoT, que busca convertir datos brutos en información útil y accionable.

5. Interacción Humano-Máquina.

El sistema IoT permite al usuario interactuar con la estación medioambiental mediante:

- Alertas por correo electrónico: Notificaciones sobre condiciones ambientales fuera de rango y recomendaciones de acción.
- Visualización local: Información presentada en la pantalla OLED y en la tira RGB.

- Generación de informes finales: Para un análisis retrospectivo de los datos recopilados.

6. Escalabilidad y adaptabilidad.

El diseño modular del proyecto permite que sea fácilmente ampliable para incorporar nuevos sensores, parámetros o funciones, como la integración con aplicaciones móviles o plataformas web para un acceso más versátil. Esta capacidad de evolución es fundamental en proyectos IoT.

7. Optimización de recursos y redes.

La elección de MQTT refleja el enfoque IoT hacia la eficiencia, al garantizar una comunicación fiable con un consumo mínimo de ancho de banda. Esto lo hace ideal para sistemas que operan con recursos limitados, como la placa Pynq-Z2.

Metodología de Resolución

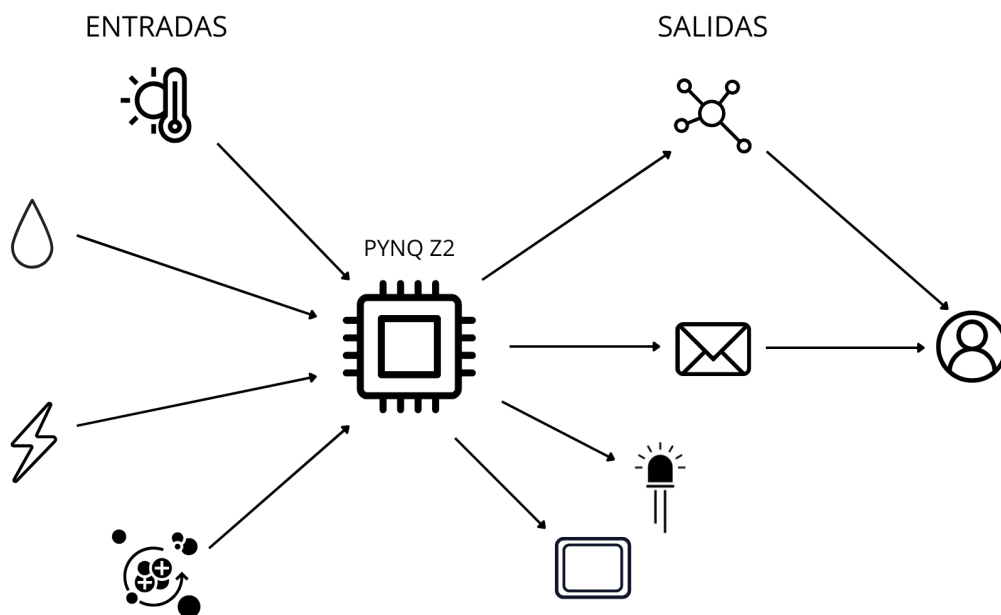


Imagen 1. Esquema del flujo de los datos

Indicador de Calidad MedioAmbiental (ICM)

Para el desarrollo de la estación medioambiental, se ha implementado un indicador de calidad medioambiental (ICM) basado en los parámetros ambientales medidos por la estación: temperatura, humedad e intensidad lumínica. Estos valores se analizan en función de umbrales predefinidos (consultar [Anexos A, B y C](#)) que varían según el tipo de estancia en la que se encuentra el usuario, ya sea interior o exterior.

$$ICM = \min(\delta_1(Temperatura), \delta_2(Humedad), \delta_3(Intensidad\ Luminica))$$

Adicionalmente, se ha incorporado un modo nocturno, en el cual el ICM solo considera la temperatura y la humedad, dado que la luminosidad pierde relevancia en estas condiciones. Este enfoque mejora la adaptabilidad del sistema y permite ofrecer una evaluación más precisa del entorno según las circunstancias.

Hardware

El sistema está basado en la placa Xilinx Pynq-Z2, complementada con el Arduino Shield v2 para la integración de sensores y actuadores. Los componentes empleados son:

- Sensores
 - Sensor de temperatura.
 - Sensor de humedad.
 - Sensor de luminosidad.
 - Sensor de partículas de PM2.5.
- Actuadores
 - Buzzer
 - Pantalla Oled
 - Tira de luces RGB

La pantalla OLED y la tira RGB se utilizan para visualizar los datos recolectados por los sensores y los modos de funcionamiento activos en cada momento, proporcionando una representación intuitiva y accesible para el usuario.

Conectividad

Para garantizar una comunicación eficiente y fiable en el contexto de IoT, se ha implementado el protocolo MQTT para la transmisión de datos, utilizando como servidor el servicio web `node02.mqttthub.com`. Esta tecnología se seleccionó debido a su bajo consumo de ancho de banda, lo que resulta ideal para la placa Pynq-Z2, que cuenta con recursos limitados.

Además, se ha creado una dirección de correo electrónico asociada al dispositivo (`estacionmedioambientalz2@gmail.com`) para enviar recomendaciones personalizadas. Estas sugerencias se generan utilizando la API de Groq, que proporciona acceso al modelo de lenguaje LLM Llama 3.1 para elaborar recomendaciones adaptadas a las condiciones ambientales detectadas.

Visualización y Análisis de Datos

El informe final generado por la estación incluye gráficos y estadísticas que permiten analizar:

- El valor actual del ICM.

- La evolución de la temperatura.
- La temperatura, la humedad relativa y la intensidad lumínica medida y los valores ideales correspondientes.

Estos elementos ofrecen una herramienta completa para evaluar las condiciones ambientales y detectar posibles desajustes o áreas de mejora en tiempo real o en análisis retrospectivo.

Definición y Análisis del Proyecto

El presente proyecto se centra en el diseño e implementación de una estación medioambiental IoT que permite la monitorización de parámetros ambientales clave en tiempo real. El sistema integra sensores para medir temperatura, humedad, intensidad lumínica y partículas PM2.5, procesando los datos recolectados mediante una arquitectura basada en la placa Xilinx Pynq-Z2. Los datos son transmitidos mediante el protocolo MQTT hacia un servidor web para ofrecer un modelo de suscripción.

La estación tiene como objetivo principal ofrecer una herramienta versátil y eficiente que pueda adaptarse a diversos entornos, como interiores, exteriores y condiciones específicas como el modo nocturno. Este sistema no sólo proporciona datos en tiempo real, sino que también ofrece recomendaciones personalizadas utilizando inteligencia artificial, mejorando su utilidad práctica.

Componentes Principales

- **Hardware:**

La elección de la placa Xilinx Pynq-Z2 junto con el Arduino Shield v2 permite integrar sensores y actuadores en un sistema compacto y eficiente. Los sensores seleccionados abarcan:

- Sensor de temperatura y humedad, fundamentales para evaluar la comodidad térmica y la salud del entorno.
- Sensor de luminosidad, útil para medir la exposición a la luz, un factor clave en espacios interiores y exteriores.
- Sensor de partículas PM2.5, crucial para monitorear la calidad del aire en términos de contaminación atmosférica.

Los actuadores incluyen un buzzer, una pantalla OLED y una tira de luces RGB para proporcionar notificaciones visuales.

- **Software:**

La lógica del sistema se implementa mediante lenguaje Python para la programación de la placa, junto con el uso de librerías que permiten procesar y transmitir los datos. Se integra una API basada en inteligencia artificial para generar recomendaciones (Groq), mejorando la experiencia del usuario.

Arquitectura IoT

La arquitectura del sistema consta de tres capas principales:

- **Adquisición de datos:** Los sensores recolectan datos en tiempo real, que son procesados localmente en la placa Pynq-Z2.
- **Transmisión de datos:** Se utiliza el protocolo MQTT para enviar los datos al servidor web `node02.mqttthub.com`, aprovechando su bajo consumo de ancho de banda y eficiencia en redes IoT.
- **Visualización y análisis:** Los datos son procesados de forma local mediante los umbrales predefinidos anteriormente y el uso del indicador de calidad medioambiental, y presentados en gráficos y reportes accesibles para los usuarios.

Groq API

Para el uso del modelo LLM Llama 3.1 se ha implementado una función la cual recibe el modo (si se está en Interior o Exterior), el parámetro que obtiene la menor puntuación (p.e. la temperatura) y el valor de dicho parámetro.

Posteriormente, se define cómo debe actuar el sistema frente al problema que se va a plantear, se le asigna el rol de experto en climatizar habitaciones y el formato en el que debe devolver la respuesta.

A continuación se formula la pregunta del usuario, donde se plantea el tipo de habitación en la que se encuentra, el parámetro a estudiar, su valor y pregunta qué acciones puede acometer para que vuelva a valores normales.

Finalmente, para minimizar el comportamiento aleatorio del modelo, se define la temperatura a 0 y se limita el número de tokens generados para no consumir todos los créditos.

Adaptabilidad y Modos de Funcionamiento

El sistema está diseñado para adaptarse a diferentes entornos:

- **Interior/Exterior:** Los umbrales de los indicadores se ajustan según el tipo de espacio.
- **Modo nocturno:** Permite un análisis más específico al desactivar el sensor de luminosidad, priorizando temperatura y humedad.

Implementación del Bucle Principal

Para la ejecución del programa se ha implementado un bucle básico de control que interactúa con los sensores y actuadores. A continuación se muestra un resumen de las acciones que lleva a cabo:

Configuración Inicial:

- El buzzer emite un sonido indicando el inicio del programa.
- Se establecen los valores por defecto (modo = "Interior", noche = "Off") y se encienden los leds asociados.
- Se crean las variables auxiliares.
- Se inicia la conexión con el servidor MQTT.

Bucle Principal:

- El bucle while se ejecuta hasta que los SW1 y SW2 de la plataforma PYNQ están activados.
- Dentro del bucle, se verifica el estado de los botones para la posible modificación del tipo de instancia o la activación/desactivación del modo nocturno.
- Si el botón 0 se presiona, se activa el modo interior.
- Si el botón 1 se presiona, se activa el modo exterior.
- Si el botón 2 se presiona, se activa o desactiva el modo nocturno.
- Si el botón 3 se presiona, se testea el envío de notificaciones.
- Cuando algún botón ha sido presionado o ha transcurrido 1 minuto, se actualiza la pantalla OLED y la tira RGB con la información recopilada y procesada, y se envía el mensaje MQTT. Si el ICM es menor a 5 o se ha pulsado el botón 3 se envía una notificación mediante correo electrónico.

Finalización:

- Al salir del bucle principal (activar SW1 y SW2), se limpia la pantalla OLED y la tira RGB, se apagan los leds relativos a los modos y se cierra la conexión MQTT.
- Finalmente, se generan los gráficos que irán incrustados en el informe final enviado mediante correo electrónico.

Limitaciones y Retos Técnicos

- Precisión de los sensores: Los sensores seleccionados cumplen estándares de calidad, pero pueden verse afectados por condiciones extremas o interferencias. Por otra parte, los datos obtenidos por el sensor de partículas PM2.5 son insuficientes para la realización de un análisis concluyente.
- Conectividad: Aunque MQTT es eficiente, la estabilidad de la red puede impactar la transmisión de datos en áreas con baja cobertura.
- Eficiencia energética: El sistema está diseñado para minimizar el consumo, pero podría optimizarse aún más en futuras versiones.

En conclusión, la estación medioambiental IoT combina innovación, funcionalidad y adaptabilidad para abordar necesidades ambientales actuales, ofreciendo una solución práctica y eficiente que puede evolucionar y expandirse con futuras mejoras tecnológicas.

Análisis Crítico

El desarrollo de la estación medioambiental IoT ha permitido alcanzar los objetivos planteados, logrando un sistema funcional y eficiente para la monitorización en tiempo real de parámetros ambientales clave. Sin embargo, a lo largo del proceso de diseño, implementación y pruebas, se han identificado fortalezas y limitaciones que se analizan a continuación:

Fortalezas del Proyecto

1. Integración de tecnología IoT

La elección de la placa Pynq-Z2, junto con el protocolo MQTT, ha permitido implementar una arquitectura robusta y eficiente que combina la recolección de datos locales con la transmisión hacia un servidor remoto. Esto asegura la disponibilidad de información en tiempo real y la adaptabilidad del sistema a diferentes entornos.

2. Sistema de notificaciones y análisis personalizado

La implementación de un sistema de correo electrónico para alertar al usuario sobre condiciones ambientales fuera de los límites recomendados es una funcionalidad innovadora que mejora la utilidad práctica del sistema. Además, el uso de la API de Groq y el modelo LLM Llama 3.1 para generar recomendaciones personalizadas agrega un valor significativo al proyecto.

3. Escalabilidad y modularidad

El diseño modular del sistema permite ampliar o modificar sus funcionalidades con relativa facilidad, como la incorporación de nuevos sensores o actuadores para aplicaciones específicas.

4. Visualización intuitiva

La combinación de la pantalla OLED y la tira RGB proporciona una interfaz accesible para el usuario, facilitando la interpretación rápida de las condiciones ambientales en tiempo real.

Limitaciones y Retos

1. Precisión y limitaciones de los sensores

Aunque los sensores empleados cumplen con los estándares básicos, su precisión puede verse afectada por factores externos como interferencias electromagnéticas o condiciones extremas. Asimismo, el sensor de partículas PM2.5 no ofrece los resultados esperados ya que devuelve un conteo en vez de facilitar un porcentaje. Una futura actualización podría incluir sensores de mayor calidad para mejorar la fiabilidad de los datos.

2. Dependencia de la conectividad

El uso de MQTT, aunque eficiente, depende de la estabilidad de la conexión a Internet. En entornos con baja cobertura o interrupciones frecuentes, la transmisión de datos podría verse afectada, comprometiendo la funcionalidad en tiempo real.

3. Consumo energético

Si bien el sistema está diseñado para minimizar el consumo, el uso de la placa Pynq-Z2 y ciertos sensores podría optimizarse aún más para aplicaciones en entornos con recursos energéticos limitados, como ubicaciones remotas.

4. Interfaz de usuario

Aunque los indicadores visuales y las notificaciones por correo son efectivos, la creación de una interfaz web o aplicación móvil podría mejorar significativamente la experiencia del usuario, permitiendo un acceso más dinámico y centralizado a los en tiempo real.

Resultados Obtenidos

El desarrollo de la estación medioambiental IoT ha generado resultados positivos en términos de funcionalidad, precisión y cumplimiento de los objetivos establecidos. A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos.

Monitorización en Tiempo Real

Se ha logrado diseñar e implementar un sistema funcional que recopila datos en tiempo real de los parámetros ambientales seleccionados:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Intensidad lumínica.
- Concentración de partículas PM2.5.

El sistema procesa y transmite estos datos de manera eficiente mediante el protocolo MQTT, garantizando una comunicación ligera y fiable entre la estación y el servidor remoto.

Indicador de Calidad Medioambiental (ICM)

Se ha desarrollado un indicador capaz de evaluar la calidad del entorno en función de umbrales predefinidos para cada parámetro. El ICM muestra resultados confiables al adaptarse dinámicamente según el tipo de estancia (interior o exterior) y al activar el modo nocturno, donde solo se consideran la temperatura y la humedad.

Sistema de Notificaciones

El sistema implementa correctamente la funcionalidad de envío de alertas por correo electrónico cuando alguno de los parámetros monitorizados supera los límites recomendados. Además:

- Se proporcionaron recomendaciones personalizadas, generadas mediante la API de Groq y el modelo LLM Llama 3.1, para guiar al usuario sobre las acciones correctivas.

Intensidad Lumínica Baja

La intensidad lumínica de su habitación es de 3.07%, lo que es considerablemente baja. Esto puede afectar la comodidad y el bienestar de los invitados.

Para mejorar la intensidad lumínica, le recomiendo:

- Encender luces adicionales en la habitación
- Ajustar la iluminación para que sea más cálida y acogedora
- Considerar la instalación de luces LED o lámparas de bajo consumo para ahorrar energía
- Activar el modo nocturno para reducir la emisión de notificaciones y alertas innecesarias

Un nivel normal de intensidad lumínica para una habitación es entre 50% y 100%. Sin embargo, si prefiere un ambiente más relajante, puede ajustar la iluminación según sus preferencias personales. Recuerde que la intensidad lumínica adecuada puede variar dependiendo del propósito de la habitación y las actividades que se realizan en ella.

Imagen 2. Advertencia sobre valores menores a los recomendados

- Se genera un informe final con datos resumidos de los parámetros medidos y su evolución durante el tiempo de uso, enviado automáticamente al apagar el sistema.

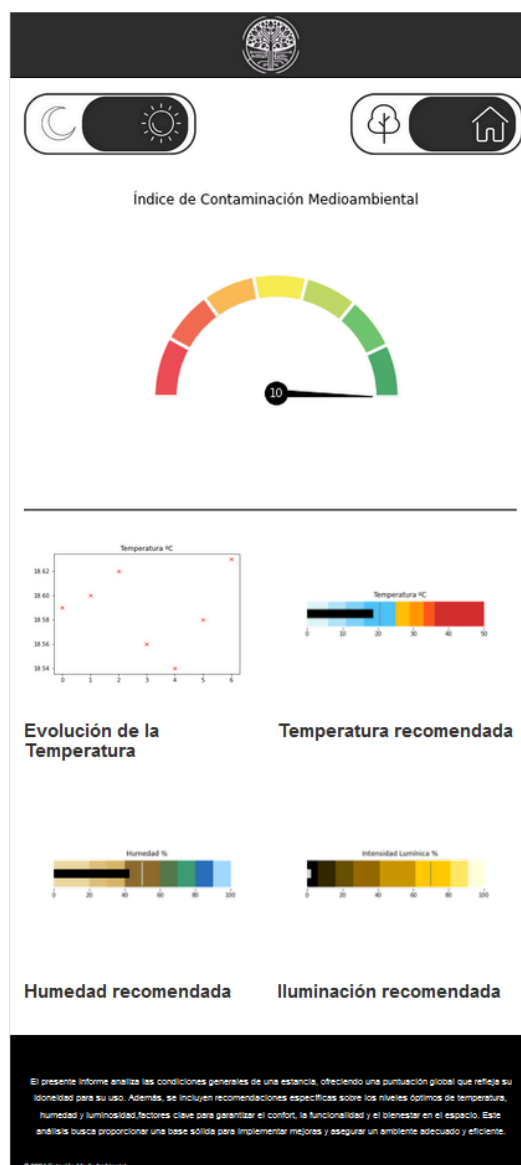


Imagen 3. Informe final

Conclusión

La estación medioambiental IoT ha cumplido los objetivos planteados, proporcionando un sistema fiable y funcional para la monitorización ambiental. Los resultados obtenidos destacan la capacidad del sistema para ofrecer datos en tiempo real, alertas personalizadas y análisis detallado del entorno, estableciendo una base sólida para futuras ampliaciones y mejoras en términos de precisión, conectividad y usabilidad.

Referencias

Dolenjashvili, Lasha. (6 de septiembre de 2021). *Sending E-mails with Python (Inline Tables & Images)*. Medium.

<https://lasha-dolenjashvili.medium.com/sending-e-mails-with-python-inline-tables-images-4e6569297677>

Moffitt, Chris. (28 de agosto de 2017). *Building a Bullet Graph in Python*. Practical Business Python. <https://pbpython.com/bullet-graph.html>

Solanki, Sunny. (27 de marzo de 2023). *Gauge Chart using Matplotlib | Python*. CoderzColumn.

https://coderzcolumn.com/tutorials/data-science/gauge-chart-using-matplotlib#google_vignette

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove I2C OLED module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_oled/notebooks/grove_oled.ipynb

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove Temperature sensor module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_temperature/notebooks/grove_temperature.ipynb

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove Buzzer module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_buzzer/notebooks/grove_buzzer.ipynb

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove RGB LED Stick module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_led_stick/notebooks/grove_led_stick.ipynb

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove Light sensor module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_light/notebooks/grove_light.ipynb

Purushotam, Naveen. (25 de agosto de 2021). *Grove Light sensor module*. Github.

https://github.com/Xilinx/PYNQ_Peripherals/blob/main/pynq_peripherals/modules/grove_light/notebooks/grove_light.ipynb

Seeed studio. (25 de agosto de 2021). *Grove - Temperature & Humidity Sensor(DHT20)*.

Seeed Studio. <https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Temperature-Humidity-Sensor-DH20/>

GroqCluod. *Documentation*. <https://console.groq.com/docs/overview>

Anexos

Anexo A. Tabla de umbrales de temperatura

	TEMPERATURA (°C)	
PUNTUACIÓN	INTERIOR	EXTERIOR
0	< 0 ó ≥ 32	< 6 ó ≥ 36
2	≥ 11 y < 14	
3		≥ 6 y < 11
4	(≥ 14 y < 17) ó (≥ 29 y < 32)	≥ 33 y < 36
6	(≥ 14 y < 17) ó (≥ 29 y < 32)	(≥ 11 y < 16) ó (≥ 29 y < 33)
8	(≥ 19 y < 22) ó (≥ 25 y < 27)	≥ 25 y < 29
10	≥ 22 y < 25	≥ 16 y < 25

Anexo B. Tabla de umbrales de humedad relativa

	HUMEDAD RELATIVA (%)	
PUNTUACIÓN	INTERIOR	EXTERIOR
0	< 21 ó (≥ 91 y ≤ 100)	< 21 ó (≥ 91 y ≤ 100)
3	(≥ 21 y < 31) ó (≥ 81 y < 91)	≥ 81 y < 91
4		≥ 21 y < 31
7		≥ 31 y < 41
6	(≥ 31 y < 41) ó (≥ 71 y < 81)	≥ 71 y < 81
8	(≥ 41 y < 51) ó (≥ 61 y < 71)	≥ 61 y < 71
10	≥ 51 y ≤ 61	≥ 41 y < 61

Anexo C. Tabla de umbrales de intensidad lumínica

PUNTUACIÓN	INTENSIDAD LUMÍNICA (%)
0	< 6
3	≥ 6 y < 16
5	≥ 16 y < 26

6	≥ 91
7	$\geq 26 \text{ y } < 41$
8	$\geq 81 \text{ y } < 91$
9	$\geq 41 \text{ y } < 61$
10	$\geq 61 \text{ y } \leq 81$