

## ARQUITECTURA TECNOLÓGICA PARA EL MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN UN MUSEO

### TECHNOLOGICAL ARCHITECTURE FOR MONITORING ENVIRONMENTAL VARIABLES IN A MUSEUM

Ing. Leonardo Fernández Díaz \*, Ing. Jhoann González Sánchez \*  
MSc. Álvaro Patiño Forero \*, PhD. Pedro Martín Gómez \*

\* **Universidad de La Salle**, Facultad de Ingeniería de automatización.  
Cra. 2 No 10-70 bloque C piso 7, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.  
Tel: +(57) 317 3637490  
E-mail: {lfernandez74, jgonzalez38, alapatino, pmartin}@unisalle.edu.co.

**Resumen:** Este artículo presenta el diseño e implementación de un sistema que permite el monitoreo de la temperatura y humedad relativa dentro de un museo. La arquitectura del sistema consta de 3 niveles: Uno inferior compuesto por sensores DHTx, uno intermedio de adquisición conformado por Tarjetas Arduino y uno superior de gestión del cual se encargan las tarjetas Raspberry pi 3 B+. El software fue desarrollado principalmente sobre Node-Red y sus funciones permiten: gestionar la base de datos, entregar informes, enviar alertas, etc., obteniendo como resultado un sistema factible de bajo costo.

**Palabras clave:** Monitoreo de ambientes, Sistema de información, Instrumentación, Conservación de colecciones, Internet de las cosas.

**Abstract:** This article presents the design and implementation of a system that allows the monitoring of temperature and relative humidity inside a museum. The architecture of the system consists of 3 levels: a lower level composed of DHTx sensors, an intermediate level of acquisition composed of Arduino cards and an upper level of management by Raspberry pi 3 B+ cards. The software was developed mainly on Node-Network and its functions allow: manage the database, deliver reports, send alerts, etc, resulting in a feasible low cost system.

**Keywords:** Environment monitoring, Information systems, Instrumentation, Conservation of collections, Internet of things.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los museos son instituciones encargadas de conservar, recuperar y divulgar material o patrimonio importante para el estudio de la vida en la tierra (Lopez, 2010). Así que, para cumplir con dicha responsabilidad, estos están en la necesidad de implementar en su infraestructura un sistema de vigilancia y monitoreo para cada una de sus colecciones, con el fin de evitar daños causados por el personal no autorizado y por las condiciones

ambientales a las que son expuestas. Estas últimas son unas de las principales causas por las que se ve afectada la vida de las colecciones, principalmente la contaminación del aire, luminosidad, temperatura y humedad relativa (Zamora, 2013).

Por esta razón, este proyecto tiene como interés brindar una solución de bajo consumo y costo a esta necesidad. El caso de estudio tomado para esta implementación fue el Museo de La Salle en Bogotá, donde se consiguió implementar un

sistema que permite conocer y analizar el comportamiento de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) dentro de los almacenes, haciendo uso de programas de desarrollo libres y tecnologías de bajo consumo junto con el paradigma del internet de las cosas. De esta forma, los curadores sabrán a tiempo cuando realizar labores de mantenimiento preventivo a las colecciones, para que las condiciones ambientales no las deterioren rápidamente o a futuro, poder implementar un sistema de control que realice las labores preventivas automáticamente.

En este documento, se explica cómo se implementó este sistema, desde la distribución del Hardware usado, hasta los entornos de desarrollo: Node-red, Arduino IDE y Thonny Python IDE, los cuales permitieron construir un sistema de monitoreo que cumple con los requerimientos establecidos.

## 2. TRABAJO RELACIONADO

Publicaciones como: (Braco, 2002), (Salas, 2005) demuestran que desde el año 2000, los museos empezaron a mostrar interés por trabajar con las tecnologías emergentes para el desarrollo de sistemas de información que permitieran realizar visitas virtuales a sus colecciones para estudiarlas y analizar las condiciones en que son conservadas.

El estudio hecho por (Zamora, 2013), deja en claro, que los valores de temperatura y humedad relativa fuera de los rangos permitidos por la reglamentación pueden deteriorar gravemente las colecciones de un museo. Es por ello, que supervisar estas dos variables es una necesidad fundamental. Además, (Zamora, 2013) logra demostrar que: Si estas dos variables ambientales son homogéneas en todos los puntos de una habitación, se puede instalar un solo sensor para su respectiva medición.

Proyectos de aplicación como: (Luca Lombardo, 2017) y (Milica Lekić, 2018) demuestran la viabilidad del uso de tecnologías de bajo consumo y costo, para dar solución a las necesidades de monitoreo ambiental de un museo, usando componentes como los sensores DHT11 (para medir temperatura y humedad relativa) y las tarjetas Arduino (Para procesar la información).

Otros proyectos como: (Ghada Alsuhy, 2018) y (Thaker, 2016) unen el uso de tecnologías de bajo costo con entornos de desarrollo libre para desarrollar una aplicación de monitoreo ambiental

orientada al internet de las cosas. En (Tse, 2016) y (Zeliang liu, 2019) implementan sistemas con funciones adicionales como: el monitoreo antirrobo, sensores de luz y luz UV, mientras que (Deepsuhra Guha Roy, 2018) realizó un estudio que plantea una solución para la pérdida y retraso de mensajes en aplicaciones que requieren múltiples puertas de enlace debido a los diversos nodos sensores utilizados.

Este trabajo se destaca por el desarrollo de un sistema que usa tecnologías modernas de bajo costo y consumo eléctrico, permitiendo el monitoreo remoto de variables ambientales, y demostrando la fiabilidad de este tipo de soluciones a la hora de contribuir con las labores de conservación de un Museo. Obteniendo como resultado un sistema capaz de mostrar, analizar y advertir a los curadores sobre las condiciones en las que se encuentran expuestas sus colecciones. Además, su arquitectura es escalable, ya que se pueden agregar a futuro: nuevos sensores utilizando los demás puertos de la raspberry, nuevos equipos de procesamiento como las tarjetas Arduino usando protocolos de comunicación tales como: I2C, SPI, TCP/IP y UDP, junto con actuadores para implementar técnicas de control de manera sencilla empleando cualquier tipo de lenguaje como: C++, Java o JavaScript y manteniendo un bajo consumo de energía.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar este proyecto se realizaron las siguientes tareas: Primero, con ayuda del personal del Museo se establecieron las variables ambientales que deseaban supervisar y los requisitos (hardware y software) que debía cumplir el sistema, ya que estos serían los clientes o usuarios finales. También, se hicieron visitas programadas al museo para establecer las habitaciones objetivo y estudiar el comportamiento de las variables ambientales dentro de estas para establecer la cantidad y ubicación de los sensores junto con los dispositivos de procesamiento.

Con base en la información mencionada anteriormente, se diseñó la arquitectura, se definieron los protocolos de comunicación, se diseñaron las interfaces de usuario y la base de datos del sistema. Esta etapa de diseño permitió dar paso al desarrollo de los algoritmos para el sistema de monitoreo usando como entorno principal: Node-red. Finalmente, se implementaron varias versiones del sistema a lo largo del proyecto con el

fin de realizar correcciones, obteniendo así una versión final que cumple con todos los requisitos exigidos y que está en uso por el personal del museo de La Salle desde hace siete meses.

### 3.1 Determinación de los requisitos del sistema

#### 3.1.1 *Requisitos del hardware:*

Se deseaba monitorizar las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de los 8 almacenes o habitaciones ubicadas en el cuarto piso del museo La Salle en Bogotá. Para ello, se exigió el uso de sensores de bajo consumo, cuyas características de instrumentación fuesen encontradas en el mercado actual, junto con tecnologías de bajo costo para la adquisición, procesamiento y gestión de toda la información enviada por los sensores. Además, los componentes usados debían ser de fácil uso e instalación, para garantizar el mantenimiento del sistema.

#### 3.1.2. *Requisitos del software:*

En primera instancia, se exigió el uso de entornos de desarrollo libre para reducir el costo de la implementación. La interfaz de usuario debía ser sencilla y fácil de usar, permitiendo su acceso a través de cualquier dispositivo que se encontrara conectado a una red Wi-Fi.

El museo definió que las variables a monitorear serían: la temperatura (°C) y humedad relativa (%), ya que las colecciones no se encuentran expuestas a fuentes de luz o aire contaminado, sino, solo a la temperatura ambiente. Por ello, el muestreo de estas dos variables se definió cada 5 minutos debido a que su velocidad de cambio es lenta y se deben calcular sus respectivos valores promedio cada hora para ser registrados en una base de datos local. Adicionalmente, se estableció que el sistema debe ser capaz de cumplir con las siguientes funciones:

- Realizar consultas en la base de datos.
- Entregar un análisis estadístico básico con el cálculo del: valor promedio, desviación típica, valor máximo y mínimo, una tabla y un gráfico del comportamiento de las variables ambientales según los datos extraídos en la consulta realizada a la base de datos.
- Permitir el envío de informes en formato de texto al correo personal del usuario, los cuales contendrán toda la información obtenida con la consulta realizada en la base de datos.

- Enviar mensajes de alerta al correo del administrador del sistema en caso de que se detecten medidas de temperatura o humedad relativa fuera del rango permitido, un sensor desconectado, mal conectado o dañado, con el fin de realizar las respectivas acciones preventivas.
- El usuario administrador, tendrá la capacidad de: detener el envío de cualquier mensaje de alerta a su correo, establecer los rangos de temperatura y humedad relativa permitidos para cada habitación y eliminar información de la base de datos en caso de necesitar liberar espacio en el servidor.

### 3.3 Estudio de las condiciones ambientales dentro de las habitaciones

Durante el desarrollo del proyecto, fue necesario realizar diferentes visitas al museo de La Salle para estudiar la estructura y condiciones ambientales dentro de las habitaciones con el fin de dimensionar el proyecto y los materiales necesarios para su desarrollo. De estas visitas se logró obtener la siguiente información:

#### 3.3.1 *Estructura y ubicación de las habitaciones*

En total, las habitaciones objetivo son 8 y se ubican dentro del cuarto piso del museo de La Salle en Bogotá, además, todas ellas permanecen la mayoría del tiempo cerradas.

En su mayoría, las habitaciones se encuentran una al lado de la otra y cuentan con ventanas que están completamente selladas y cubiertas con una persiana Black Out para evitar el ingreso de la luz hacia las colecciones. La iluminación interior se produce por bombillas led que solo son encendidas cuando hay personas dentro y no existe circulación de aire contaminado dentro de ellas, ya que generalmente permanecen completamente cerradas. Por ello, se concluye que las únicas variables que necesitan supervisión son la temperatura y humedad relativa ambiental.

#### 3.3.2 *Comportamiento de las condiciones ambientales*

Durante las visitas realizadas, se analizó el comportamiento de la temperatura y humedad relativa dentro de cada una de las habitaciones, para establecer si en todos sus puntos eran estables o no. Para ello, con ayuda de un pirómetro Fluke 64 MAX, se tomaron medidas en 15 puntos dentro de las habitaciones a diferentes alturas y en

diferentes horas del día, permitiendo concluir, que las medidas de ambas variables dentro de las habitaciones son homogéneas en cada uno de sus puntos debido a que no existen fuentes adicionales externas o internas de calor, solo la temperatura ambiente. Esto significa, que únicamente fue necesario ubicar un sensor que midiera ambas variables por habitación.

A continuación, en la Fig. 1, se presenta un esquema con los puntos usados para medir las condiciones ambientales dentro de las habitaciones, donde: Los puntos verdes se encuentran en el techo, los azules a la mitad de altura de la habitación y los rojos en el suelo.

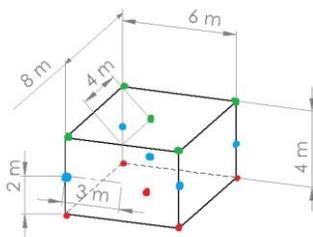


Fig. 1. Puntos a diferentes alturas usados para las mediciones.

### 3.4 Diseño de la arquitectura del sistema

Para cumplir con los requisitos exigidos, se optó por diseñar un sistema de 3 capas, las cuales se explican a continuación:

#### 3.4.1 Capa física para la toma y envío de mediciones

Esta capa tiene como función medir las condiciones de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%) dentro de cada habitación y enviar esta información en una señal digital hacia los dispositivos de adquisición usando como medio físico pares trenzados de cable UTP categoría 5 aptos para la instrumentación y apantallamiento de ruido. Para esta tarea, se utilizaron los sensores: DHT11 y DHT22 los cuales miden al mismo tiempo ambas variables y utilizan comunicación paralela para enviar la información.

#### 3.4.2 Capa de adquisición de datos

Esta capa es la encargada de recibir las órdenes del servidor y maestro para activar los sensores de las habitaciones, tomar sus lecturas y enviarlas de regreso hacia la capa superior de gestión y

procesamiento de datos. En este caso se optó por usar tarjetas Arduino nano para recibir y enviar de forma ordenada la información obtenida por los sensores a través de comunicación serial, la cual permite alcanzar distancias de transmisión de hasta 1200 metros.

#### 3.4.3 Capa de gestión y procesamiento de datos

Finalmente, desde esta capa se envían todas las señales de control hacia los dispositivos de adquisición y los sensores, con el fin de recibir como retorno la información de las medidas tomadas en cada habitación para realizar su respectivo procesamiento y mostrar los datos en la interfaz del sistema de monitoreo a los usuarios. Para cumplir con dichas funciones, se optó por implementar: Raspberry Pi 3 B+, por las siguientes razones: Su sistema operativo oficial (Raspberry pi OS) es de código abierto, se puede conectar a internet por lo que es posible crear una interfaz de usuario sobre la red Wi-Fi del museo, desarrollar aplicaciones IoT y usar distintos tipos de comunicación como el protocolo TCP / IP.

### 3.5 Protocolos de comunicación

Como se ha mencionado anteriormente, los sensores DHT11 y DHT22 envían su información al dispositivo más cercano en una señal digital a través de la comunicación en paralelo, por lo que solo permiten una distancia máxima de transmisión de 20 metros (UK, 2010). Sin embargo, las tarjetas Arduino nano permiten el uso de la comunicación en serie con las Raspberrys, por lo que su distancia máxima de transmisión es de 1200 metros (Arduino, 2021), mientras que las placas Raspberry pi 3 B+ se comunican entre sí, usando el protocolo TCP / IP cuya ventaja es el envío y recepción de información haciendo uso de la red Wi-Fi del museo, pudiendo así trabajar con el internet de las cosas (Raspberry, 2020).

La distribución de los dispositivos en el proyecto es la siguiente: Se utiliza una Raspberry Pi 3 B + como servidor del sistema, mientras que otra se usa como cliente. Ambas están separadas de tal manera que cubren la mayor cantidad posible de sensores (DHT22), es decir, sensores ubicados a 20 metros como máximo. Sin embargo, los sensores que se encuentran más alejados (DHT11) están conectados directamente a una tarjeta Arduino nano, la cual envía la información a la Raspberry más cercana a través de comunicación serial.



En caso de presentarse algún estado indeseado, el programa enviará un mensaje de alerta al correo del administrador instantáneamente. También, esta pestaña tiene 3 secciones adicionales, que solo pueden ser usadas por el usuario administrador, las cuales son: Ingreso, Campo para desactivar el envío de alertas al correo y Cambiar el correo destino para las alertas.

#### 4.1.4 Pestaña para configurar los límites

En esta pestaña, todos los usuarios tienen la capacidad de consultar los límites de temperatura y humedad relativa puestos a cada habitación del sistema, sin embargo, solo el administrador puede modificar dichos límites en caso de ser necesario.

#### 4.1.5 Pestaña para limpiar la base de datos

Esta pestaña solo puede ser usada por el administrador y le permite eliminar información registrada en la base de datos local asociada con las condiciones ambientales de cada habitación. Adicionalmente, antes de eliminar la información, también permite enviar todos los datos en forma de texto a su correo personal como respaldo.

### 4.2 Diseño de la base de datos

Como se observa en la Fig. 2 y según la arquitectura del sistema, se utilizó una Raspberry Pi 3 B+ como servidor del sistema de monitoreo, es decir, que la base de datos esta alojada localmente en ella. Para administrarla se hizo uso de: Apache 2.0 como servidor, MariaDB como gestor local y PhpMyAdmin como gestor de la base de datos a través de cualquier navegador web.

La base de datos es relacional y usa SQL. Cuenta con 8 tablas donde se almacenan cada hora los valores promedio de temperatura y humedad relativa de cada habitación, junto con la fecha y hora en que son registrados. También, se agregó una tabla para registrar los límites establecidos para las condiciones ambientales y otra para registrar el correo usado para los mensajes de alerta. Toda la información es almacenada en texto plano, es decir, que el consumo de memoria interna es mínimo.

### 4.3 Desarrollo del sistema de monitoreo

Para desarrollar el sistema de monitoreo, fue necesario usar los siguientes entornos de desarrollo: Arduino IDE para trabajar con las tarjetas Arduino, Python IDE para leer los sensores

que están conectados directamente a las Raspberrys y Node – red para desarrollar el sistema.

Node-Red es un programa de acceso local, por lo que solo se puede acceder a su espacio de trabajo a través de un dispositivo conectado a la red Wi-Fi del museo y utilizando un navegador web, lo cual también aplica para las aplicaciones desarrolladas en él (Node-RED, 2020). Sin embargo, con ayuda de programas de acceso remoto como Anydesk, se logra acceder al sistema de monitoreo a través de cualquier red Wi-Fi empleando la Raspberry cliente. De esta forma, es posible utilizar el programa estando fuera del museo y desde cualquier dispositivo que tenga Anydesk.

Por lo tanto, se desarrollaron cada uno de los algoritmos que se encargarían de cumplir con las funciones requeridas del sistema, permitiendo la toma de lecturas de todos los sensores cada 5 minutos, la gestión de la base de datos, la creación de la interfaz de usuario y el envío de informes o mensajes de alerta al correo del usuario.

## 5. RESULTADOS

El sistema desarrollado permitió estudiar el comportamiento de la temperatura y humedad relativa dentro de cada habitación en distintas horas del día y, por lo tanto, en la Tabla 1 se presentan los valores promedio de ambas variables a lo largo del día con su respectiva desviación y dependiendo del clima:

*Tabla 1: Comportamiento de las variables ambientales en promedio, durante el día*

COMPORTAMIENTO PROMEDIO DURANTE EL DÍA			
Habitación	Clima	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Herpetología	Soleado	16,64 ± 0,04	64,05 ± 1,27
	Lluvioso	15,84 ± 0,170	63,53 ± 0,67
Antropología	Soleado	16,8 ± 0,065	62,63 ± 1,40
	Lluvioso	15,85 ± 0,094	62,45 ± 0,84
Rocas y minerales	Soleado	16,68 ± 0,013	63,46 ± 0,94
	Lluvioso	15,99 ± 0,052	62,8 ± 0,40
Paleontología	Soleado	18,12 ± 0,024	65,6 ± 0,67
	Lluvioso	17,44 ± 0,098	65,6 ± 0,67
Ornitología	Soleado	17,48 ± 0,028	64,51 ± 1,30
	Lluvioso	16,24 ± 0,120	65,92 ± 1,46
Invertebrados no hexápodos	Soleado	18,1 ± 0,032	60,17 ± 1,01
	Lluvioso	16,9 ± 0,150	60,75 ± 1,08

Continuación de la Tabla 1:			
Invertebrados hexápodos	Soleado	18,08 ± 0,073	61,53 ± 0,98
	Lluvioso	17,09 ± 0,087	61,4 ± 0,71
Colecciones en líquidos	Soleado	19,01 ± 0,048	66,41 ± 1,68
	Lluvioso	17,34 ± 0,110	67,8 ± 0,65

Como se observa en la Tabla 1, las primeras 3 habitaciones presentan valores de temperatura y humedad relativa similares tanto en climas soleados como lluviosos, esto se debe a que se encuentran una al lado de la otra únicamente separadas por una pared. En cambio, las siguientes 4 habitaciones presentan una temperatura un poco mayor debido a que estructuralmente sus paredes exteriores se encuentran directamente expuestas al sol, pero la habitación de las colecciones en líquidos es un caso especial, debido a sus líquidos están en constante evaporación aumentando así su humedad y temperatura interna. Sin embargo, se observa que todos los valores poseen una desviación típica pequeña y en la mayoría de los casos es menor a la unidad, por lo tanto, se concluye que las condiciones ambientales dentro de cada habitación se mantienen estables a lo largo del día y solo presentan cambios cuando el clima cambia.

Adicionalmente, el sistema permite enviar informes al correo del usuario con la información obtenida al realizar una consulta en la base de datos desde la interfaz. Estos correos tardan en llegar entre 10 y 15 segundos a cualquier correo y su peso es mínimo, ya que únicamente se envía texto plano. A continuación, en la Fig. 6 se presenta el aspecto que tienen estos informes o correos:

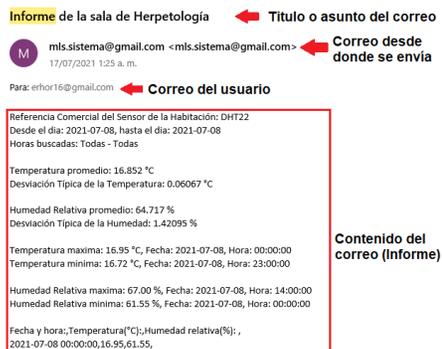


Fig. 6. Formato del informe enviado al correo del usuario.

También, se envían mensajes de alerta en caso de que se presente algún problema con el sensor o los valores de las variables ambientales dentro de las habitaciones, pero solo al correo del administrador

para que tome las medidas preventivas adecuadas para las colecciones.

El sistema almacena 24 datos nuevos en la base de datos local por cada habitación (8 en total) todos los días. Es decir, que en total se registran 192 datos diariamente lo que se traduce en un peso total de 128 KB. Este peso se pudo conocer gracias a PhpMyAdmin y permite concluir que el consumo de la memoria interna de la Raspberry servidor es completamente mínimo.

Otro de los análisis realizados, fue el estudio del consumo de energía del sistema. Sabiendo que se usaron en total 9 sensores entre ellos DHT22 y DHT11 cuyo consumo es igual entre sí, 2 tarjetas Arduino nano, 2 Raspberrys pi 3 B+ y con la información disponible en los manuales técnicos oficiales de cada dispositivo, se concluyó que el consumo por hora del sistema es de solo: **4,7 W/h**, es decir, 10 veces menos que un computador portátil de gama baja actual.

## 6. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos durante la implementación del proyecto y su comportamiento durante 7 meses, se puede concluir que el sistema es completamente factible, garantizando el monitoreo de variables ambientales haciendo uso de tecnologías de bajo consumo y costo. El acceso se puede realizar desde cualquier dispositivo con conexión a internet, ya que solo es necesario contar con un navegador web o Anydesk, lo que significa que la interfaz es completamente remota y sencilla de usar. Sin embargo, el navegador web de la raspberry Pi 3 B+ presentó un comportamiento deficiente en tiempo de ejecución en comparación con un computador o celular de gama baja conectado directamente a la red Wi-Fi del museo.

Con el fin de optimizar la velocidad de ejecución del programa en el navegador de la Raspberry, se ejecutaron diferentes pruebas en las que se determinó que Vivaldi (navegador web basado en Opera) es el más eficaz, en comparación con Chromium (versión de Chrome para Linux) y Firefox. Esto se debe a que Vivaldi hace una mejor administración de los recursos que posee la Raspberry.

Durante la etapa de pruebas, también se comprobó que generalmente las condiciones ambientales dentro de las habitaciones permanecen dentro de los rangos permitidos. Sin embargo, en la

habitación de las colecciones en líquidos, en días lluviosos la humedad supera fácilmente el 75%. Por lo que a futuro quizás sea necesario usar un deshumidificador para estas ocasiones. Además, se evidenció que los sensores DHT11 son más estables que los DHT22, ya que a la hora de obtener una lectura no presentan fallos en su comunicación.

Adicionalmente, el sistema permite ser fácilmente escalable debido a las características actuales de las Raspberrys y Tarjetas Arduino, permitiendo la inclusión de nuevos sensores, por medio de la programación en Node-red y en caso de ser necesario, se pueden implementar técnicas de control usando los diferentes lenguajes como C++, Java o JavaScript. Por lo tanto, se espera que este proyecto sirva de referencia para los museos que desean implementar un sistema de monitoreo de bajo costo y consumo energético. El proyecto posee un nivel de madurez **TRL7** (Departamento Administrativo de ciencia, 2018) y no tiene un nivel de madurez más alto debido a que su operación aún no es comercial y no está certificada por autoridades competentes.

El proyecto tuvo un costo de \$ 1'228.511 COP, lo que es bastante bajo en comparación con otras soluciones que usan Dataloggers o sensores más costosos. Además, se puede incluir la red GSM para aplicaciones en zonas de difícil acceso o sin red Wi-Fi.

## REFERENCIAS

- Arduino. (2005) *Arduino nano*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano> (Consultado: 5 de Agosto de 2021).
- Braco, A. L. (2002). *El proyecto RAMA Y su desarrollo en el museo arqueologico nacional*. Información de bienes culturales.
- Deepsuhra Guha Roy, B. M. (2018). *Application aware end to end delay and message loss estimation in Internet of Things (IoT) MQTT SNprotocols*. Elsevier, 17.
- Departamento Administrativo de ciencia, T. e. (2018) *Convocatoria cierre de brechas tecnologicas. Anexo 1. TRL*. Obtenido de [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo\\_1\\_technology\\_readiness\\_levels\\_-\\_trl.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo_1_technology_readiness_levels_-_trl.pdf) (Consultado: 5 de Julio de 2020).
- Ghada Alsuhly, A. K. (2018). *An IoT Monitoring and Control Platform for Museum Content Conservation*. *International conference on computer and applications (ICCA)* (pág. 6). Cairo: IEEE.
- Lopez, A. (2010). *Política de museos*. Ministerio de Cultura: Republica de Colombiana. Bogotá D.C.
- Luca Lombardo, S. C. (2017). *Sensor Network for Museum Environmental Monitoring*. *IEEE Instrumentation and Measurement Society*, 6.
- Milica Lekić, G. G. (2018). *IoT sensor integration to Node-RED platform*. 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (pág. 5). Banja Luka: IEEE.
- Node-RED. (2013) *Node-RED.org*. Obtenido de Low-code programming for event-driven applications: <https://nodered.org/> (Consultado: 01 de Julio de 2020).
- Raspberry. (2010) *¿Que es Raspberry Pi?*. Obtenido de <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/> (Consultado: 20 de Julio de 2020)
- Salas, A. R. (2005). *BARAKA: El sistema de infotmacion de los conjuntos arqueologicos y monumentales de andalucia*. Andalucía: VII Jornada de museología.
- Thaker, T. (2016). *ESP8266 based Implementation of Wireless Sensor Network with Linux Based Web-Server*. Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN) (pág. 5). IEEE.
- Tse, J. (2016). *Development of a new environmental monitoring system for museums and galleries using RFID-enabled technology*. Routledge, 4.
- UK, D.-R. *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Obtenido de: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf> (Consultado: 7 de Julio de 2010).
- Zamora, M. S. (2013). *Control de condiciones ambientales en salas del museo casa histórica de la independencia en san miguel de tucumán, argentina. 3er congreso iberoamericano y XI jornada: Tecnicas de restauracion y conservacion del patrimonio* (pág. 12). TUCUMÁN, ARGENTINA: Universidad Nacional de Tucumán.
- Zeliang liu, m. w. (2019). *Study on the Anti-Theft Technology of Museum Cultural Relics Based on Internet of Things*. IEEE, 9.