

Aquí va la carátula



**UNIVERSIDAD
DE ORIENTE**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática**

TRABAJO DE DIPLOMA

Título

(Escribir título aquí)

Autor

Miguel Á. Zayas Barbán

Tutor

M.Sc. Angel Antonio Ravelo Batista

Diciembre, 2022

Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Nombre y firma del autor

Nombre y firma del Tutor

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Carrera

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Departamento

Fecha

Dedico este trabajo a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí.

A mis padres, hermana y familia en general.

A mi prometida.

A mi tutor.

A mis amigos y a mis compañeros de estudio.

Agradecimientos

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas

Índice de figuras

Figura1.1	Comparación arquitecturas	10
Figura1.2	Modelos de arquitecturas IoT basados en capas	11
Figura1.3	Vista funcional de la arquitectura	14
Figura1.4	Vista de implementación	15
Figura1.5	Diagrama funcional de captura de datos	15
Figura1.6	Ubicación piezas	16
Figura2.1	PCB Nodo	23
Figura2.2	Esquemático del circuito	24
Figura2.3	ESP-12F	25
Figura2.4	Especificaciones ESP-12F	27
Figura2.5	ESP-12F Pinout	27
Figura2.6	ESP-12F Dimensiones	28
Figura2.7	Sensor DHT22	30
Figura2.8	Dimensiones sensor DHT22	31
Figura2.9	Sensor MH-Z19C	31
Figura2.10	Sensor piezoeléctrico M0168	32
Figura2.11	Sensor SDS011	33
Figura2.12	Sensor LDR	34
Figura2.13	Sensor LDR	34
Figura2.14	Sensor BH1750	35
Figura2.15	Acondicionamiento sensor BH1750	35
Figura2.16	Configuración de pines	37
Figura2.17	Acondicionamiento	37
Figura2.18	Correlación de valores medioambientales	38

Índice de tablas

Tabla1.1	IoT Internacional	7
Tabla1.2	Referencias figura 1.2	11
Tabla1.3	Capas de IoT	12
Tabla1.4	Correlación de los nodos	18
Tabla2.1	Relación sensores	29
Tabla2.2	Relación precios de referencia	30

Resumen

El presente Trabajo de Diploma trata el proceso de diseño e instalación de un sistema de monitoreo y visualización de las variables para el control del estado de conservación de las piezas pertenecientes a la Colección de Arte y Arqueología de Francisco Prat Puig ubicada en la Oficina del Historiador de la provincia de Santiago de Cuba. Se tratan generalidades sobre la aplicación del IoT en museos a nivel internacional y en Cuba. Se realiza una caracterización de los sensores a emplear para el control, así como el montaje de un sistema de seguridad. En concordancia con las características del lugar se efectúa el montaje de dicho sistema facilitando el control del estado de las piezas y propiciándole a los especialistas del centro los datos necesarios para la toma de decisiones ante futuros eventos de. Este sistema puede ser empleado en posteriores proyectos relacionados con la supervisión de objetos, facilitando la visualización del estado de los mismos y la alerta temprana en caso de posibles afectaciones.

Palabras Claves: IoT,

Abstract

This Diploma Work deals with the design and installation process of a monitoring and visualization system of the variables for the control of the state of conservation of the pieces belonging to the Prat Puig sample located in the Office of the Historian of the province of Santiago de Cuba. Generalities about the application of the IoT in museums at an international level and in Cuba are discussed. A characterization of the sensors to be used for control is carried out, as well as the assembly of a security system.

In accordance with the characteristics of the place, the assembly of said system is carried out, facilitating the control of the state of the pieces and providing the center's specialists with the necessary data for decision-making in the face of future events. This system can be used in subsequent projects related to the supervision of objects, facilitating the visualization of their status and early warning in the event of possible effects.

Key-Words:

Índice general

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas	I
Índice de figuras	II
Índice de tablas	III
Resumen	IV
Abstract	V
INTRODUCCIÓN	1
1 Internet de las Cosas en los museos	5
Introducción	5
1.1 Internet de las Cosas en museos internacionales	5
1.2 Internet de las Cosas en Cuba	8
1.3 Arquitectura IoT y sus principales capas	9
1.3.1 Propuesta de la Arquitectura IoT del Sistema	13
1.3.1.1 Vista funcional	14
1.3.1.2 Vista de implementación	14
1.3.2 Capa de percepción	15
1.3.3.1 Nodos	19
1.3.3 Capa de transporte	19
1.3.4.1 Protocolo MQTT	19
1.3.4.2 Protocolo HTTP	20
1.3.4.3 Protocolo TCP/IP	21
1.4 Obtención de niveles de salitre y condiciones para la aparición de xilófagos	21
Conclusiones	22
2 Implementación del sistema basado en IoT	23
Introducción	23
2.1 Descripción técnica capa de percepción	23

2.1.1	Microcontrolador	24
2.1.2	Sensores	29
2.1.3	Descripción sensores	30
2.2.1.1	Sensor DHT22	30
2.2.1.2	Sensor MZ-Z19C	31
2.2.1.3	Sensor M0168	32
2.2.1.4	Sensor SDS011	33
2.2.1.5	Sensor LDR	33
2.2.1.6	Sensor BH1750	34
2.1.4	Alimentación	36
2.2	Condiciones medioambientales...	38
	Conclusiones	38
	CONCLUSIONES GENERALES	39
	Recomendaciones	40
	Anexos	45

Introducción

El término Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), fue utilizado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 cuando estaba trabajando en el campo de la tecnología RFID en red (identificación por radiofrecuencia) y tecnologías de detección emergentes. Sin embargo, el IoT nació en algún momento entre 2008 y 2009 [1].

El IoT se trata de un concepto que se basa en la interconexión de los objetos con su entorno. Los objetos de esta nueva generación incorporan la capacidad de adquirir datos, comunicarse entre sí y activar comportamientos reactivos a las condiciones cambiantes del contexto [2]. Este concepto pretende reflejar la profunda transformación y el radical cambio de paradigmas que está experimentando nuestra forma de vivir en hogares, ciudades y entornos de trabajo.

Nos encontramos ante un salto tecnológico que afecta directamente a cómo la humanidad se enfrenta a los retos. En definitiva, el IoT revolucionará la concepción que posee el ser humano acerca de su mundo y la forma de interaccionar con él [3].

Las nuevas tecnologías que caracterizan el empleo del Internet de las Cosas permiten realizar entornos inteligentes reales capaces de proporcionar servicios avanzados a los usuarios. El objetivo es hacer que las cosas se comuniquen entre sí, establezcan comportamientos de acuerdo a patrones pre-fijados y, por consiguiente, sean más inteligentes e independientes.

Recientemente, estos entornos inteligentes también se están explotando para renovar el interés de los usuarios por el patrimonio cultural, al garantizar experiencias culturales interactivas reales. Dentro de las instituciones de patrimonio cultural, las tecnologías en red tienen un enorme potencial para mejorar los esfuerzos de conservación, el aumento del acceso a los conocimientos contextuales y para reinventar la interacción de las personas con las obras culturales.

La Universidad de Oriente cuenta con tres muestras expositivas como parte de su patrimonio cultural. Dos de ellas se encuentran en la sede Antonio Maceo; la primera, con carácter arqueológico, situada en la planta baja de la Facultad de Ciencias Sociales. Mientras que la segunda, el museo de Historia Natural Dr. Theodoro Ramsden de la Torre, se localiza en la tercera planta de la Facultad de Derecho. Estas no están abiertas directamente al público debido a su ubicación en aulas, siendo así empleados como medios de enseñanza.

La tercera de estas muestras, la Francisco Prat Puig, ubicada en la Oficina del Historiador de la Ciudad de Santiago de Cuba, contiene piezas de interés histórico y cultural. A diferencia de las muestras anteriores ésta posee características de museo y se encuentra emplazada en un lugar con acceso al público. Allí se destacan colecciones de numismática, artes plásticas, cerámica, condecoraciones, objetos personales entre otras; estas fueron donadas por el propio Prat a la Casa de Altos Estudios oriental las cuales actualmente se encuentran en un estado de deterioro por falta de las condiciones que requiere el local para su conservación.

La temperatura, la humedad, el CO₂, las vibraciones, el salitre, la iluminación, el polvo, entre otros, son factores que inciden directamente en el deterioro gradual de las obras que allí se encuentran. Con la aplicación del Internet de las Cosas en esta sala expositiva es posible reducir la incidencia de estos factores. La tecnología permitirá a los responsables del museo tener una visión más precisa y completa de lo que ocurre, brindando la posibilidad de evaluar en tiempo real el estado de cada área para la toma de decisiones ante alertas por eventos de deterioro.

El análisis de la situación descrita permite identificar como **problema de la investigación** la inexistencia de un sistema de monitoreo de bajo consumo para el control en tiempo real del estado de conservación de las piezas pertenecientes a la Colección de Arte y Arqueología “Francisco Prat Puig” ubicada en la Oficina del Historiador de la provincia de Santiago de Cuba, imposibilitando la labor de conservación de los especialistas del centro y como **objeto de la investigación** los sistemas de supervisión y monitoreo basados en IoT para la conservación de las piezas en la Colección de Arte y Arqueología “Francisco Prat Puig” teniendo en cuenta como **objetivo** diseñar e implementar un sistema de arquitectura descentralizada basado en IoT que permita la supervisión en tiempo real de las variables medioambientales existentes en la muestra “Prat Puig”. Como **campo de acción** los sistemas de supervisión y monitoreo basados en IoT para la conservación de las piezas en los museos.

Se plantea como **hipótesis** (Después de terminar el informe)

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se realizarán las siguientes **tareas de investigación**:

1. Analizar la trascendencia del Internet de las Cosas en los museos internacionales y en los museos de Cuba.
2. Analizar las arquitecturas de los sistemas IoT.
3. Proponer una arquitectura IoT para el sistema.
4. Caracterizar los diferentes sensores y microcontrolador a emplear acorde a las variables presentes.
5. Desarrollar el firmware de la aplicación.
6. Implementación del sistema de supervisión y monitoreo basado en IoT.

Estas tareas se desarrollan teniendo como base los siguientes **métodos y técnicas**:

1. Análisis de documentos. Para realizar la consulta de bibliografía de diferentes autores que trabajan la temática de la aplicación del IoT en los museos.
2. Método histórico-lógico. Para realizar un análisis histórico sobre la evolución y los avances del IoT.
3. Método de análisis-síntesis. Para analizar las diferentes fuentes sobre museos inteligentes con base en el Internet de las Cosas y sintetizar las vías más exentas a utilizar para cumplir los objetivos propuestos.
4. Técnicas empíricas. Montaje de pruebas de concepto para la obtención de variables medioambientales en la muestra tales como:
 - Temperatura
 - Humedad relativa
 - CO₂
 - Vibraciones
 - Intensidad luminosa
 - Polución

Empleando una técnica de muestreo no probabilístico en el que los estudios arrojan resultados concretos basados en las experiencias.

El **aporte de esta investigación** consiste en el montaje de un sistema de supervisión y monitoreo empleando tecnologías basadas en el Internet de las Cosas en museos. Esta propuesta sirve como base documental actualizada y novedosa permitiendo su implementación en cualquier instalación con características similares, en especial en los museos de la ciudad de Santiago de Cuba.

Estructura del trabajo

El presente trabajo investigativo está compuesto por una introducción general, dos capítulos con sus introducciones y conclusiones parciales, conclusiones generales, recomendaciones, apéndices y bibliografías.

En el capítulo 1 se abordan los antecedentes de la aplicación del Internet de las Cosas en los museos a nivel internacional así como la situación del IoT en los museos de nuestro País, análisis de las arquitecturas de IoT y sus principales capas, la proposición de una para el proyecto y la caracterización de sus capas, así como las condiciones medioambientales factibles para la aparición de insectos y su prevención.

En el capítulo 2 se trata lo relacionado al diseño y la implementación del Sistema de Supervisión y Monitoreo de las piezas de arte en el museo de la muestra pertenecientes a la Colección de Arte y Arqueología Francisco Prat Puig, se analiza la selección de la instrumentación en base al ahorro de energía y de recursos, creando las condiciones mínimas indispensables para el montaje del proyecto de automatización ajustado a las características de instalación seleccionadas.

Capítulo 1

Internet de las Cosas en los museos

Introducción

En este capítulo estaremos desglosando por secciones el análisis de la trascendencia de la aplicación del Internet de las Cosas en los museos en el ámbito internacional, así como la aplicación en los museos de nuestro país. Se hace un análisis de las arquitecturas propuestas por otros autores y la proposición de una para el proyecto tomando como base la arquitectura descentralizada. También se tienen en cuenta las variables que se miden en los museos para evitar el deterioro de los objetos y los sensores a emplear para la captura de los datos y se analiza el medio de comunicación más viable y efectiva de traspaso de datos desde un punto a otro de la arquitectura del sistema.

1.1. Internet de las Cosas en museos internacionales

En la actualidad existen museos líderes en el tema de interacción con el público, como es el caso de los museos Digital Art Museum TeamLab Borderless de Japón y el Atelier de Lumieres de Francia. El primero de estos es un espacio que posee 10 mil metros cuadrados de proyección 3D, acompañados de juegos de luces y efectos especiales que llevan a los visitantes en medio de paisajes surrealistas. El segundo museo realiza macro proyecciones 360° de las obras más importantes de artistas como Van Gogh, Picasso, Chagall, entre otros. [4].

En Maloka ¹, Bogotá, las exhibiciones ponen a prueba los 5 sentidos de los visitantes, haciendo que tanto niños, como adultos disfruten un tiempo en familia repleto de nuevos conocimientos, incluyendo recorridos por salas interactivas y funciones de proyección de cine. [5].

En el museo MUST en Lecce, Italia, se llevó a cabo la instalación de un dispositivo portátil que combina el reconocimiento de imágenes y las capacidades de localización para proporcionar automáticamente a los usuarios contenidos culturales relacionados con las obras de arte observadas. La información de localización se obtiene mediante una infraestructura Bluetooth Low Energy ² instalada en el museo. Además, el sistema interactúa con la Nube para almacenar contenidos multimedia producidos por el usuario y compartir eventos generados por el entorno en sus redes sociales. Estos servicios interactúan con dispositivos físicos a través de un middleware multiprotocolo. [6].

En el caso del Conjunto Monumental de San Domenico Maggiore, ubicado en Nápoles (Italia), dentro del mismo se han transformado más de 270 esculturas en obras de arte parlantes. Equipado con un tablero de sensores, cada objeto puede proponerse automáticamente a los visitantes, compartiendo su historia en diferentes modalidades e idiomas, lo que permite un proceso de disfrute novedoso durante una experiencia cultural. [7].

En la Universidad de El Cairo, Egipto, desarrollaron un sistema para la conservación de las piezas en los museos, un sistema que no solo mide los atributos del entorno, sino que también mantiene la seguridad de los artefactos al detectar cualquier prueba de contacto o movimiento. También controla la intensidad de la luz en función de la ocupación de la sección del museo. Una característica diferenciadora del sistema es el diseño de energía ultrabaja de su nodo sensor que conduce a una larga vida útil de hasta 50 días. [8].

Existen otros proyectos de utilización del IoT en museos, tal es el caso del proyecto propuesto en el III Congreso Internacional de Avances en Electricidad, Electrónica, Información, Comunicación y Bioinformática en el año 2017. El proyecto consiste en el montaje de un sistema que se basa en un dispositivo portátil que captura el movimiento del usuario, realiza el algoritmo de sustracción de fondo para realizar el procesamiento de imágenes y obtiene la información de localización de un Bluetooth Low Energy (BLE).[9]. En agosto

¹Maloka es un museo interactivo que fomenta la pasión por el aprendizaje a partir de los lazos entre ciencia, tecnología, innovación y sociedad.

²Bluetooth Low Energy es una tecnología de red de área personal inalámbrica, diseñada y comercializada por Bluetooth SIG destinada a aplicaciones en el cuidado de la salud, fitness y beacons, seguridad y las industrias de entretenimiento en el hogar

del 2019, entre la Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad de Jiujiang y la Escuela de Ciencias de la Computación, Universidad de Wuhan, ambas de China elaboraron un artículo donde propusieron un esquema antirrobo para museos basado en la tecnología Internet of Things, que identifica si las reliquias culturales están dentro del rango seguro a través de lectores/escritores RFID (identificación por radiofrecuencia del inglés Radio Frequency Identification) pasivos [10].

La siguiente tabla resume lo anterior expuesto.

Tabla 1.1: IoT Internacional

Fuente: Elaboración propia

Aplicación IoT	Lugar	Referencia
Proyección 3D y efectos especiales	Digital Art Museum TeamLab Borderless de Japón	(Corzo Vargas y cols., 2019)
Proyecciones 360° de obras importantes de artistas.	Atelier de Lumieres de Francia.	(Corzo Vargas y cols., 2019).
Recorridos por salas interactivas y proyecciones de cine.	Maloka, Bogotá.	(Pinzón Ortega, Franco Avellaneda, y Falla, 2015).
Reconocimiento de imágenes y capacidades de localización proporcionando contenido cultural.	Museo MUST en Lecce, Italia.	(Alletto y cols., 2016).
Obras de arte parlantes equipadas con tableros de sensores. Cada obra de arte comparte su historia.	Conjunto Monumental de San Domenico Maggiore, Italia.	(Chianese, Piccialli, y Jung, 2016).
Sistema para la conservación de las piezas en los museos en base a pruebas de contacto o movimiento, intensidad de la luz.	Universidad de El Cairo, Egipto	(Al-Habal y Khattab, 2019).

Continuación Tabla 1.1		
Proyectos		
Captura el movimiento del usuario, procesamiento de imágenes.	III Congreso Internacional de Avances en Electricidad, Electrónica, Información, Comunicación y Bioinformática en el año 2017	(Sornalatha y Kavitha, 2017).
Propuesta de esquema antirrobo para museos basados en IoT.	Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad de Jiujiang y la Escuela de Ciencias de la Computación, Universidad de Wuhan, ambas de China.	(Liu, Wang, Qi, y Yang, 2019).

Como se observa en la tabla 1.1 existen disímiles ejemplos de aplicación del Internet de las Cosas a nivel internacional; de ahí que se enfatizará en la aplicación de sistemas de conservación de las piezas en los museos tomando como referencia los ejemplos anteriormente expuestos.

1.2. Internet de las Cosas en Cuba

En Cuba existen escasos ejemplos de la aplicación del Internet de las Cosas en los museos, dentro de ellos se encuentra el Palacio del Segundo Cabo.

Desde 2012 se venía proyectando una sala dedicada al libro cubano, con la cooperación de la Unión Europea y la UNESCO. [11]. Gracias a este Rescate Patrimonial y Desarrollo Cultural en La Habana, se propició la restauración del mismo para la creación del centro. Esta iniciativa de cooperación internacional fue desarrollada por la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, con apoyo de la UNESCO [12].

El centro cuenta con una sala monográfica que propone un audiovisual realizado por autores cubanos donde se relata la historia del inmueble donde está ubicada la institución. Además de una sala introductoria que refleja la visión que se tenía antes del encuentro

de las dos culturas con la llegada de Cristóbal Colón. Este relata en paralelo la historia de Cuba y de Europa interrelacionadas en un ambiente inmersivo y por fuera se puede recorrer desde la visión de las artes plásticas europeas y cubanas. Siempre están acompañados de cuatro audiovisuales que recorren líneas independientes como la historia de la esclavitud, la ciencia, los servicios públicos y la economía.

Adosada a esta sala se encuentra la de llegada y migraciones donde en un espacio se reproduce una parte de un galeón, atractivo para el público pues puede sentirse una ligera «brisa de mar», una corriente de aire situada en la parte posterior del barco. Esto se complementa con dos pantallas y proyectores que permiten la proyección de un audiovisual que también narra la llegada de los aborígenes, los conquistadores; la migración forzada de los africanos y así sucesivamente con las diferentes olas migratorias que han formado la actual característica mestiza de nuestra identidad y nación.

La Sala de Viajeros se soporta en un software que despliega una galería de imágenes ya sea de cubanos relevantes de visita por Europa o de europeos de visita en Cuba. Mediante el uso de pantallas táctiles, el visitante puede interactuar con las imágenes de las personalidades, leer una síntesis biográfica e incluso escuchar muestras de audio.

1.3. Arquitectura IoT y sus principales capas

No existe una única definición universalmente adoptada, estándar, de Arquitectura de IoT; diferentes propuestas han surgido durante su desarrollo. Se abarcan tecnologías de comunicación, dispositivos de cómputo, sensores y actuadores [13].

La arquitectura de IoT es principalmente desarrollada por capas, dígase, la arquitectura de 3 capas, la arquitectura de 5 capas, la arquitectura de Nube, la arquitectura de niebla y la arquitectura de computación de Borde, solo por mencionar algunas [14].

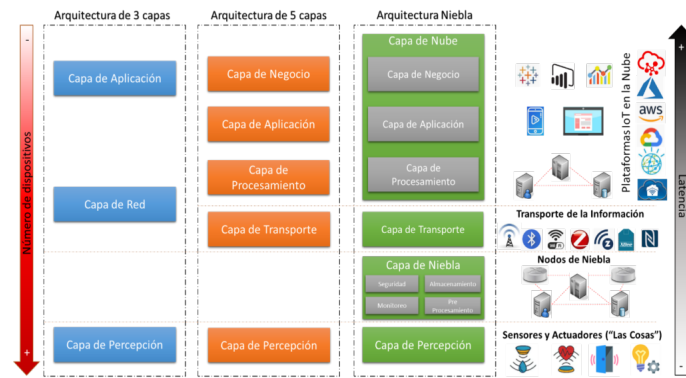


Figura 1.1: Comparación arquitecturas

Fuente: [15]

En la figura 1.1 se desarrolla una comparación entre las arquitecturas de 3 capas, 5 capas y la arquitectura niebla.

Según [16], la mayoría de estas arquitecturas de IoT se basan en fundamentos básicos:

- Dispositivos más inteligentes en una forma diferente.
- Red y puerta de enlace que permite que los dispositivos formen parte del IoT.
- Middleware que incluye espacios de almacenamiento de datos y avances en las capacidades de predicción.
- Aplicaciones de usuario final.

Existen varias arquitecturas, marcos de referencia o modelos conceptuales para IoT propuestos por organizaciones, comunidad académica y el sector empresarial. Las propuestas de arquitecturas pueden variar de autor en autor, en dependencia de la estructura del sistema IoT propuesto. Dichas arquitecturas son desarrolladas por capas en las que se agrupan los objetos, dispositivos, sensores, actuadores, entre otros. [17] [16].

En la figura 1.2 se presenta una comparativa de algunos modelos basados en capas.

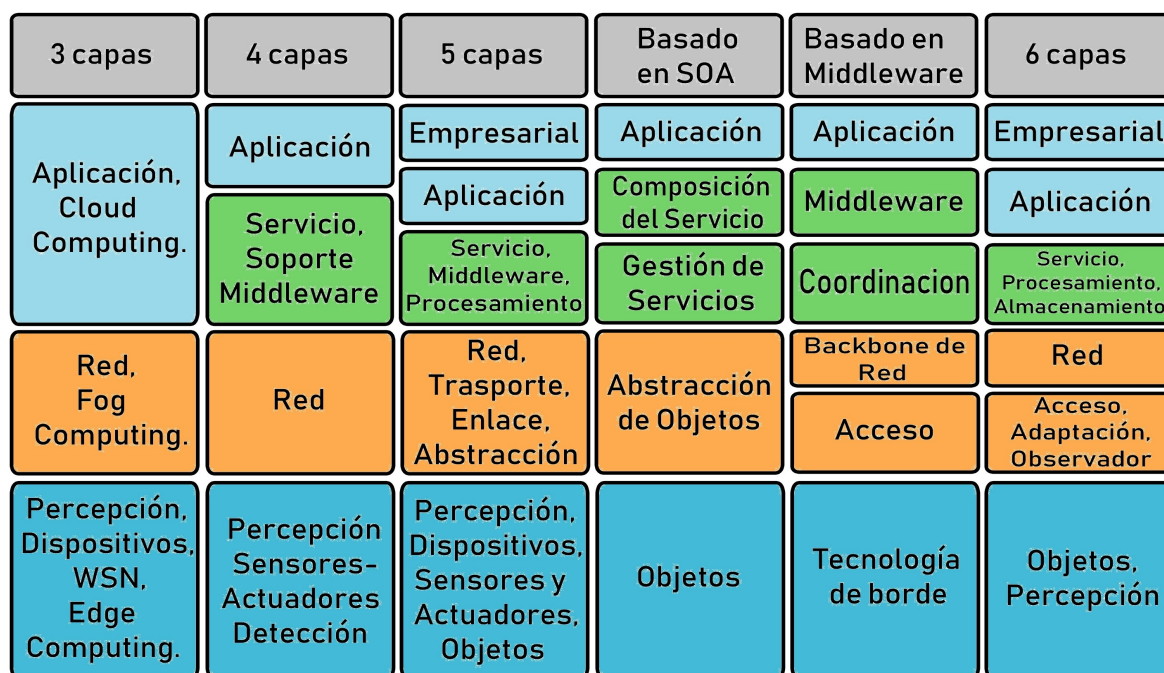


Figura 1.2: Modelos de arquitecturas IoT basados en capas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2: Referencias figura 1.2

Fuente: Elaboración propia

No. de Capas	Referencias
3 capas	[18] [19] [20] [21] [22] [23]
4 capas	[18] [24] [19] [22] [21]
5 capas	[25] [18] [19] [22] [21]
Basado en SOA	[26] [27] [25] [20]
Basado en Middleware	[25]
6 capas	[22]

Desde el punto de vista de [16] existen capas fundamentales dentro de la estructura de IoT. En la tabla 1.3 se detallan estas capas:

Tabla 1.3: Capas de IoT

Fuente: [16]

Capas	Descripción
Capa de percepción	Administra dispositivos inteligentes en todo el sistema.
Capa de conectividad/ transporte	Permite transferir datos desde la nube a los dispositivos y viceversa, diferentes aspectos de las puertas de enlace y las redes.
Capa de procesamiento	Controla y administra los niveles de IoT para optimizar los datos en todo el sistema.
Capa de aplicación	Ayuda en los procedimientos de análisis, control de dispositivos e informes a los usuarios finales.
Capa empresarial	Deriva información y análisis de toma de decisiones a partir de datos.
Capa de seguridad	Cubre todos los aspectos de protección de toda la arquitectura de IoT.
Capa de borde	Funciona en un bode o cerca de la recopilación de información del dispositivo.

No obstante, según [17], dentro de las capas más importantes del IoT podemos encontrar:

- *La capa de percepción* (Objetos/ Dispositivos/ SensorActuador/ WSN/ Edge Computing/ Sensado), digitaliza y transfiere datos a la capa de red, a través de canales seguros. Se localizan los objetos físicos, dispositivos sensores y actuadores utilizados para recopilar información del contexto. [25].
- *La capa de acceso* (Adaptación/ Observador), comprueba la información que recibe de la capa de percepción, si está protegida o no contra intrusos y virus. Si hay algún ataque, no pasa los datos a la siguiente capa. También verifica la identidad y autenticación de los objetos. [25] [18].

- *La capa de Red* (Abstracción de Objetos/ Transporte/ Fog computing), transporta y transmite los datos, recopilados de la capa de percepción, hacia la cloud. Se localizan componentes de red (switch, router, Gateway, etc.), medios de comunicación y protocolos. También es responsable de aspectos de seguridad y el control de ataques. [25] [18].
- *La Capa Aplicación / Cloud Computing (CC)* en modelos de más de tres capas, puede dividirse en:
 - *Capa de procesamiento y almacenamiento, Soporte, o Middleware.* Permite a los programadores de aplicaciones IoT trabajar con objetos heterogéneos sin tener en cuenta una plataforma de hardware específica. Se encarga de integrar, almacenar, procesar y analizar datos, tomar decisiones y ofrecer servicios de protocolos de conexión de red. [25].
 - *La capa de aplicación,* define los servicios y funciones que proporciona la aplicación IoT implementada (hogar inteligente, ciudad inteligente, salud inteligente, etc.) a los clientes. Los servicios pueden variar para cada aplicación y dependen de la información que se recopila de los sensores. También se consideran aspectos de seguridad. [25] [18].
 - *La capa empresarial,* tiene la responsabilidad de administrar y controlar el comportamiento de las aplicaciones, modelos de negocios y ganancias de IoT. También tiene la capacidad de determinar cómo se puede crear, almacenar y cambiar la información. Administra la privacidad del usuario y evita vulnerabilidades. [25] [18].

1.3.1. Propuesta de la Arquitectura IoT del Sistema

En base de los esquemas de arquitecturas propuestas, definimos el uso de la arquitectura del proyecto la cual se cimienta en la estructura de cuatro capas, considerando las diferentes capas.

1.3.1.1 Vista funcional

En la figura 1.3 se observan los diferentes módulos funcionales que componen las capas de la propuesta arquitectónica. La capa de percepción se encarga de la obtención de variables asociadas a la conservación de las piezas en la muestra (sensores-microcontroladores), la capa de transporte con el propósito de transportar la data recopilada por los sensores para su posterior procesamiento y análisis, la capa de procesamiento que genera predicciones y recomendaciones expuesta a cambios constantes de los valores que se reciben desde el comienzo del ciclo en la etapa de percepción y, la capa de aplicación, la cual permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz y mediante el empleo de la RA (Realidad Aumentada), los datos y predicciones en dependencia de la información recopilada.

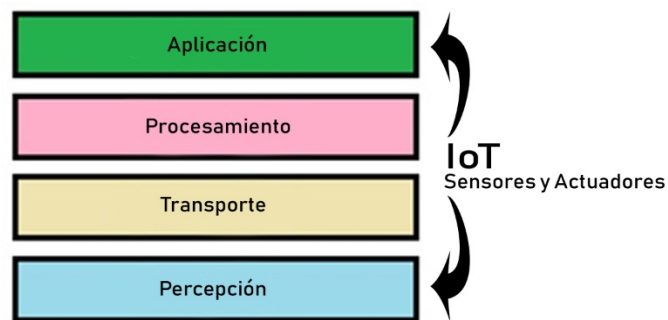


Figura 1.3: Vista funcional de la arquitectura

Fuente: Elaboración propia

1.3.1.2 Vista de implementación

En la vista de implementación se muestran los componentes de hardware y software del sistema propuesto, en los cuales se presenta la interfaz de usuario esperada a través del empleo de Realidad Aumentada y el circuito perteneciente a la capa de percepción así como la muestra del empleo de comunicaciones wifi y de RED en la capa de transporte y el concentrador RaspberryPi perteneciente a la capa de procesamiento donde se trabaja además, sobre la plataforma perteneciente al patrimonio universitario. En la figura 1.4, se observan las tecnologías empleadas en cada una de las capas propuestas en la arquitectura descrita.

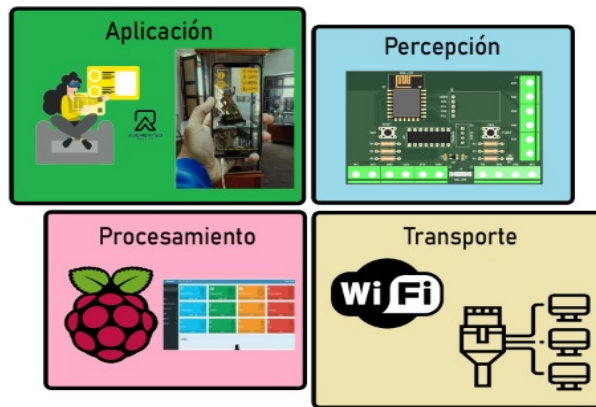


Figura 1.4: Vista de implementación

Fuente: Elaboración propia

El alcance de este trabajo va dirigido a la explicación detallada de la capa de percepción, enfocándose en las características del microcontrolador y sensores a emplear, así como la capa de transporte donde se hace un análisis de los métodos y protocolos de comunicación empleados en el sistema.

1.3.2. Capa de percepción

En esta capa es donde se ubican los microcontroladores encargados de comunicarse con los sensores interactuando directamente con el medio recolectando los datos.

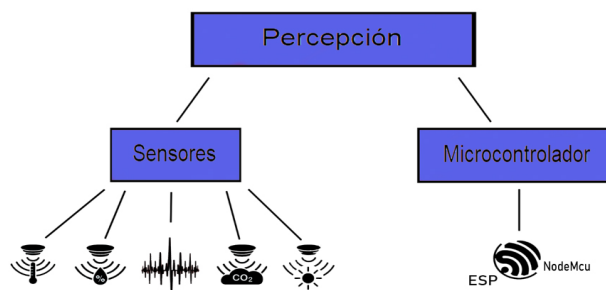


Figura 1.5: Diagrama funcional de captura de datos

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 1.5, en esta capa se encuentran implícitos una sucesión de sensores y un microcontrolador, juntos componen la estructura general de los nodos que serán incorporados a las salas pertenecientes a la exposición.

La muestra Francisco Prat Puig está distribuida de tal modo que las piezas están ubicadas en tres salas expositivas. Enumerándolas: sala 1, sala 2 y sala 3.

La sala 1 (Exposición permanente) está caracterizada por la presencia de varios objetos distribuidos en vitrinas, sobre mesas, colgados, en estantes empotrados en la pared, o en pedestales. Se observan varios objetos de cerámica, marfil, metal, piedra, madera, etcétera.

[Imagen de la sala 1]

En la sala 2 solamente se encuentran pinturas pertenecientes a la colección, estas poseen también condiciones de deterioro notables por el efecto de la humedad y del nivel de luz dentro del local. La humedad provoca la aparición de hongos en el lienzo lo que provoca su deterioro y la pérdida de color.

[Imagen de la sala 2]

[Imagen de uno de los cuadros donde se vea el hongo] (Nombre || Fuente).

Dentro de la sala 3 se localizan también varios objetos ubicados en pedestales mostrando colecciones de medallas y objetos personales del mismo Prat Puig y, además, vitrinas donde se hallan, principalmente, objetos de cerámica como platos, jarrones y cántaros.

[Imagen sala 3]

En el gráfico que se muestra a continuación se relaciona el valor cuantitativo de las principales formas en las que se exponen las piezas dentro de estas salas:

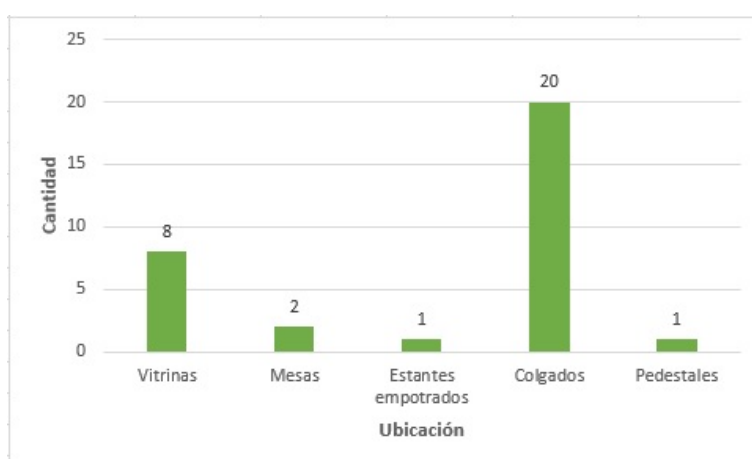


Figura 1.6: Ubicación piezas

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 1.6, varios objetos están dispuestos dentro de vitrinas donde existe un microclima³, por lo que la condición ambiental en estas es diferente a la del local en general, de ahí la necesidad de incorporar nodos de tal manera que se tomen los datos dentro de estas vitrinas por separado y además un nodo para el local en general.

³microclima: según el diccionario Oxford, es el conjunto de las condiciones climáticas particulares de un lugar determinado, resultado de una modificación más o menos acusada y puntual del clima de la zona en que se encuentra influido por diferentes factores ecológicos y medioambientales.

Tabla 1.4: Correlación de los nodos

Fuente: Elaboración propia

Nodo	Ubicación	Meterial objetos	Variable a medir
1	General Sala 1	porcelana, barro, marfil	temperatura, humedad, polución, luminosidad, CO2, vibraciones, salitre, xilófagos
2	Vitrinas Sala 1	bronce, barro, arcilla, piedra	temperatura, humedad, luminosidad, vibraciones.
3		colección numismática	
4		cerámica, madera, barro, bronce	
5		madera, bronce, plata, cerámica, porcelana, cuero	
6		barro, cerámica, plata	
7		bronce, marfil, madera	
8		porcelana, barro policromado	
9	General Sala 2	tela, madera	temperatura, humedad, polución, luminosidad, CO2, salitre, xilófagos.
10	General Sala 3	metal, plástico, tela, cuero, madera	temperatura, humedad, polución, luminosidad, CO2, vibraciones, salitre, xilófagos.
11	Vitrinas Sala 3	cerámica (barro), piedra	temperatura, humedad, luminosidad, vibraciones.
12			
13			
14			

1.3.3.1 Nodos

Los nodos que, de manera general, recopilarán los datos de cada sala, estarán compuestos por los sensores que permitan medir los valores de temperatura, humedad, polución, CO₂, vibraciones y luminosidad mientras que, en el caso de los nodos dentro de las vitrinas, se tiene en cuenta las condiciones del microclima y el material de los objetos.

...

En la tabla 1.4 se relaciona la variable a medir según la ubicación del nodo.

1.3.3. Capa de transporte

Esta es la capa responsable del traslado de la data a través de los demás componentes del sistema estableciendo la comunicación necesaria desde la toma de valores ambientales hasta su análisis y muestreo. Según [17], la capa de transporte es la que se encarga de transportar y transmitir los datos, recopilados de la capa de percepción, hacia la cloud. Se localizan componentes de red (switch, router, Gateway, etc.), medios de comunicación y protocolos. También es responsable de aspectos de seguridad y el control de ataques.

Los datos se promueven a través de protocolos MQTT, HTTP y TCP/IP.

1.3.4.1 Protocolo MQTT

MQTT son las siglas MQ Telemetry Transport, aunque en primer lugar fue conocido como Message Queing Telemetry Transport. Es un protocolo de comunicación M2M (machine-to-machine) de tipo message queue. Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se “reutiliza” en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión. MQTT fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera. Aunque inicialmente era un formato propietario, en 2010 fue liberado y pasó a ser un estándar en 2014 según la OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards). [28]

1.3.4.2 Protocolo HTTP

HTTP de sus siglas en inglés: “Hypertext Transfer Protocol”, es el nombre de un protocolo el cual nos permite realizar una petición de datos y recursos, como pueden ser documentos HTML. Es la base de cualquier intercambio de datos en la Web, y un protocolo de estructura cliente-servidor, esto quiere decir que una petición de datos es iniciada por el elemento que recibirá los datos (el cliente), normalmente un navegador Web. Así, una página Web completa resulta de la unión de distintos sub-documentos recibidos, por ejemplo: un documento que especifique el estilo de maquetación de la página Web (CSS), el texto, las imágenes, videos, scripts, etcétera.

1.3.4.3 Protocolo TCP/IP

La definición de TCP/IP es la identificación del grupo de protocolos de red que hacen posible la transferencia de datos en redes, entre equipos informáticos e internet. Las siglas TCP/IP hacen referencia a este grupo de protocolos:

- TCP: Es el Protocolo de Control de Trasmisión que permite establecer una conexión y el intercambio de datos entre dos anfitriones. Este protocolo proporciona un transporte fiable de datos.
- IP o protocolo de internet, utiliza direcciones series de cuatro octetos con formato de punto decimal (por ejemplo 75.4.160.25). Este protocolo lleva los datos a otras máquinas de la red.

El modelo TCP/IP permite un intercambio de datos fiable dentro de una red, definiendo los pasos a seguir desde que se envían los datos (en paquetes) hasta que son recibidos. Para lograrlo utiliza un sistema de capas con jerarquías (se construye una capa a continuación de la anterior) que se comunican únicamente con su capa superior (a la que envía resultados) y su capa inferior (a la que solicita servicios) [29].

1.4. Obtención de niveles de salitre y condiciones para la aparición de xilófagos

El nivel de salitre, como se muestra en la tabla, es obtenido mediante el análisis del nivel de humedad presente en los locales de la muestra.

...

En el caso del control de la aparición de los xilófagos, como daño de origen biótico, se realiza el análisis de las condiciones óptimas para la aparición de los mismos. Normalmente estos aparecen cuando la madera se encuentra con un porcentaje de humedad excesivo (por encima del 20 por ciento). Según [30] y [31] el porcentaje de humedad óptimo para que crezcan los xilófagos está entre el 25 y el 55 por ciento mientras que [32] plantea que, el rango de humedad idónea puede estar entre el 35 y el 50 por ciento. Tomando estos porcentajes de humedad idóneos para la aparición de los xilófagos, se establece como valor máximo de humedad un 20 por ciento.

Valores de temperatura idóneos para la aparición de xilófagos...

Conclusiones

Capítulo 2

Implementación del sistema basado en IoT

Introducción

...

2.1. Descripción técnica capa de percepción

Como se analizaba en el epígrafe 1.3.2 la capa de percepción va caracterizada por la presencia del microcontrolador y los sensores que, en conjunto forman los nodos, siendo estos los encargados de la captura de los datos del medio.

Los nodos están diseñados sobre una placa de circuito impreso PCB (figura 2.1) en la que se hizo el montaje de los componentes. El diseño está pensado para con el menor consumo posible recopilar la mayor cantidad de información.

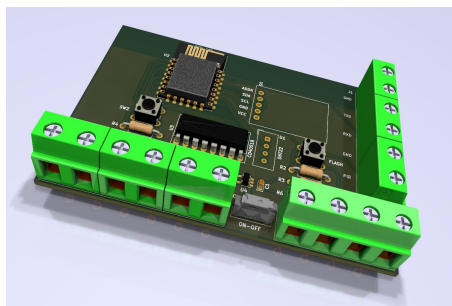


Figura 2.1: PCB Nodo

Fuente: Elaboración propia

El ESP8266 es un SOC inalámbrico de alto rendimiento que ofrece la máxima utilidad al menor costo y posibilidades ilimitadas para integrar la funcionalidad WiFi en otros sistemas.

El ESP8266 es una solución de red Wi-Fi completa y autónoma que puede funcionar de forma independiente o como un esclavo que se ejecuta en otras MCU anfitrionas. El ESP8266 es capaz de arrancar directamente desde una memoria flash externa cuando está alimentado por una aplicación y es el único procesador de aplicaciones en el dispositivo. El caché incorporado ayuda a mejorar el rendimiento del sistema y reduce los requisitos de memoria.

En otro caso, el ESP8266 se encarga del acceso inalámbrico a Internet. Cuando se trata de la tarea del adaptador WiFi, se puede agregar a cualquier diseño basado en un microcontrolador. La conexión es simple y fácil, solo por interfaz SPI/SDIO o puerto I2C/UART. Las potentes capacidades de almacenamiento y procesamiento en chip del ESP8266 le permiten integrar sensores y otros dispositivos específicos de la aplicación a través del puerto GPIO, lo que minimiza los recursos del sistema durante un desarrollo y una operación iniciales mínimos [33].

El microcontrolador ESP-12F de Ai-Thinker (Figura 2.3), basado en ESP8266.



Figura 2.3: ESP-12F

Características

- The smallest 802.11b/g/n Wi-Fi SOC module
- Low power 32-bit CPU, can also serve as the application processor
- Up to 160MHz clock speed

- Built-in 10 bit high precision ADC
- Supports UART/GPIO/IIC/PWM/ADC
- SMD-22 package for easy welding
- Integrated Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA
- Support multiple sleep patterns. Deep sleep current as low as 20uA
- UART baud rate up to 4Mbps
- Embedded LWIP protocol stack
- Supports STA/AP/STA + AP operation mode
- Support Smart Config/AirKiss technology
- Supports remote firmware upgrade (FOTA)
- General AT commands can be used quickly

Module Model	ESP-12F
Package	SMD22
Size	24*16*3(±0.2)mm
Certification	FCC、CE、IC、REACH、RoHS
SPI Flash	Default 32Mbit
Interface	UART/GPIO/ADC/PWM
IO Port	9
UART Baud rate	Support 300 ~ 4608000 bps , Default 115200 bps
Frequency Range	2412 ~ 2484MHz
Antenna	PCB Antenna
Transmit Power	802.11b: 16±2 dBm (@11Mbps) 802.11g: 14±2 dBm (@54Mbps) 802.11n: 13±2 dBm (@HT20, MCS7)
Receiving Sensitivity	CCK, 1 Mbps : -90dBm CCK, 11 Mbps: -85dBm 6 Mbps (1/2 BPSK): -88dBm 54 Mbps (3/4 64-QAM): -70dBm HT20, MCS7 (65 Mbps, 72.2 Mbps): -67dBm
Power (Typical Values)	Continuous Transmission=>Average: ~71mA, Peak: 500mA Modem Sleep: ~20mA Light Sleep: ~2mA Deep Sleep: ~0.02mA
Security	WEP/WPA-PSK/WPA2-PSK
Power Supply	Voltage 3.0V ~ 3.6V, Typical 3.3V, Current >500mA
Operating Temperature	-20 °C ~ 85 °C
Storage Environment	-40 °C ~ 85 °C , < 90%RH

Figura 2.4: Especificaciones ESP-12F

Fuente: Datasheet fabricante

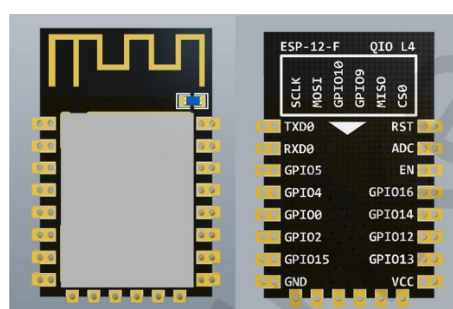


Figura 2.5: ESP-12F Pinout

Fuente: Datasheet fabricante

2.1.2. Sensores

La secuencia de sensores pertenecientes al sistema es selecta, puesto que se tomaron los sensores teniendo en cuenta varios factores:

- Variable a medir
- Rango de operación
- Precisión
- Voltaje de alimentación
- Corriente de alimentación
- Precio

En la siguiente tabla se relacionan los mismos.

Tabla 2.1: Relación sensores

Fuente: Elaboración propia

No.	Variable	Nombre	Características			
			Rango	Precisión	Voltaje alimentación	Corriente
1	Temperatura y Humedad	DHT22	De - 40 a 80°C y De 0 a 100RH	5 %	De 3v a 6v	2.5mA
2	CO2	MH-Z19C	De 400ppm a 5000ppm	5 %	5v	<40mA
3	Vibración	M0168	Salida analógica (0-1024)	2 %	De 3.3v a 5v	<10mA
4	Polución	SDS011	De 0.0 a 999.9ugm3	10 %	5v	100mA
5	Luz	LDR			5v	10mA
		BH1750	De 1 a 65535 lx	20 %	De 2.4v a 3.6v	0.12mA

Se tomaron precios de referencia de los sensores de las páginas oficiales de compras on-line Amazon y Aliexpress para tener una idea del coste de montaje de los nodos.

Tabla 2.2: Relación precios de referencia

Fuente: Elaboración propia

Sensor	Precio Amazon (U)	Precio Aliexpress (U)
DHT22	13.69 – 16.99 \$	2 – 4 \$
MH-Z19C	-	16.99 \$
M0168	-	0.31 – 1.34 \$
SDS011	14.62 \$	17.64 \$
LDR	14.50 \$	0.82 \$
BH1750	-	8.46 \$

2.1.3. Descripción sensores

2.2.1.1 Sensor DHT22



Figura 2.7: Sensor DHT22

Fuente: Datasheet fabricante

El DHT22 (AM2302) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y de bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica).

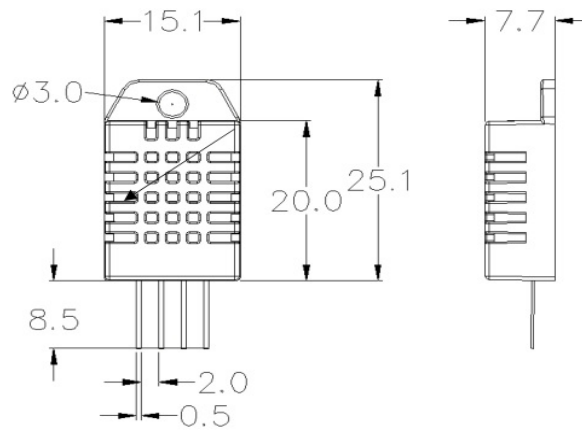


Figura 2.8: Dimensiones sensor DHT22

Fuente: Datasheet fabricante

2.2.1.2 Sensor MZ-Z19C

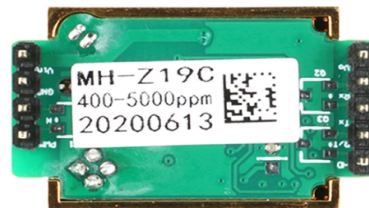


Figura 2.9: Sensor MH-Z19C

El sensor de gas de dióxido de carbono MH-Z19C es un pequeño sensor inteligente de uso general que utiliza el principio del infrarrojo no disperso (NDIR) para detectar la presencia de CO2 en el aire.

Otros datos

- Señal de salida: UART(TTL)
- Tiempo de precalentamiento: 60 segundos
- Temperatura de operación: De -10 a 50°C
- Humedad de operación: De 0 - 95 por ciento RH
- Dimensiones: aprox. 39 x 20 x 9 mm

- Tipo de conector: JST ZH de 7 pines

2.2.1.3 Sensor M0168

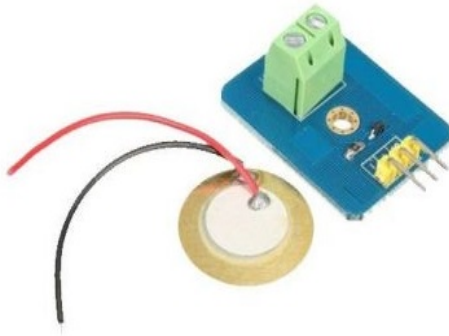


Figura 2.10: Sensor piezoeléctrico M0168

En este sensor piezoeléctrico cuando el choque de la cerámica con la lámina metálica genera una señal eléctrica, esta señal analógica es la recibida por los pines analógicos de microcontroladores.

Especificaciones Técnicas

- Voltaje de trabajo: 3.3V o 5V
- Corriente de trabajo: 1mA
- Rango de temperatura de funcionamiento: -10 +70
- Interfaz Tipo: salida analógica
- Tamaño del artículo: 30mm x 23mm

2.2.1.4 Sensor SDS011



Figura 2.11: Sensor SDS011

Se basa en el principio de dispersión láser: se puede inducir la dispersión de la luz cuando las partículas atraviesan el área de detección. La luz dispersa se transforma en señales eléctricas, después estas señales serán amplificadas y procesadas. El número y el diámetro de las partículas se pueden obtener mediante análisis porque la forma de onda tiene ciertas relaciones con el diámetro de las partículas.

Otros datos

- Corriente del sueño: 2mA
- Frecuencia de muestreo serie: 1 segundo
- Resolución diámetro de partículas: $\leq 0.3\mu\text{m}$
- Rango de temperatura: -20 a 50°C
- Tamaño físico: 71mm x 70mm x 23mm

2.2.1.5 Sensor LDR



Figura 2.12: Sensor LDR

Una fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de la intensidad de la luz incidente. Puede también ser llamado fotorresistor, fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz, cuyas siglas, LDR, se originan de su nombre en inglés light-dependent resistor.

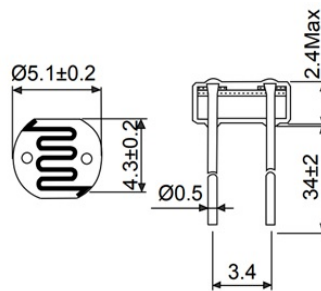


Figura 2.13: Sensor LDR

Fuente: Datasheet fabricante

2.2.1.6 Sensor BH1750

El Módulo BH1750 es un sensor de iluminación digital para medición de flujo luminoso (iluminancia) de la empresa Rohm Semiconductor. Componente que posee dentro de su arquitectura interna, un conversor análogo digital (ADC) de 16 bits con una salida digital de formato I2C, que facilita la integración con microcontroladores o sistemas embebidos diversos. Este módulo entrega la intensidad luminosa directamente en unidades de Lux que es equivalente a Lumen/m².

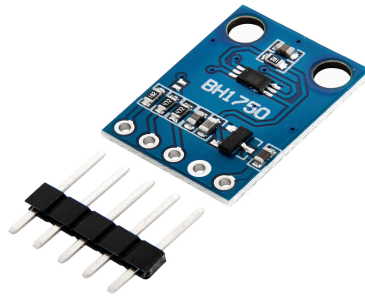


Figura 2.14: Sensor BH1750

Otros datos

- Interfaz Digital: I2C
- Frecuencia máxima de transmisión: 400kHz
- Temperatura de operación: Desde -40°C hasta 85°C

Para su correcto funcionamiento, este sensor debe ir acompañado de una serie de componentes electrónicos para su acondicionamiento. En la figura 2.15 se puede observar el acondicionamiento brindado por el fabricante.

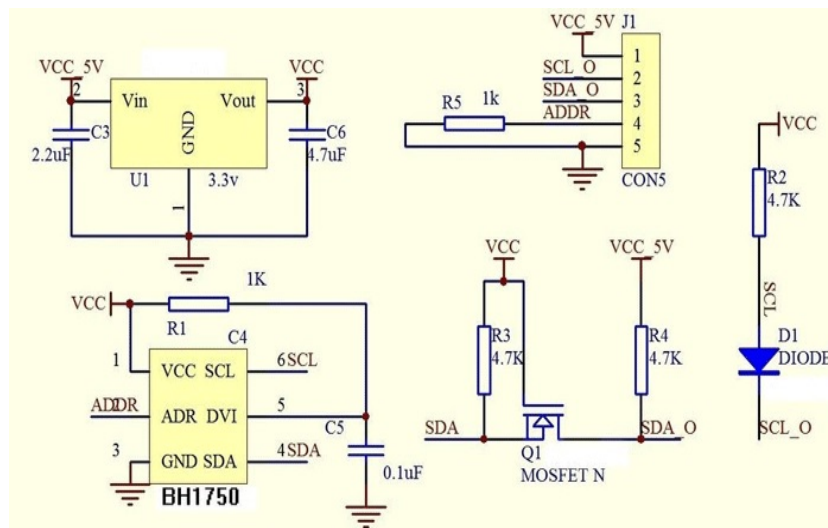


Figura 2.15: Acondicionamiento sensor BH1750

Fuente: Datasheet fabricante

2.1.4. Alimentación

Regulador LDO RT9013.

Información obtenida del Datasheet que ofrece el fabricante...

El RT9013 es un regulador LDO de 500 mA de alto rendimiento que ofrece PSRR extremadamente alto y caída ultrabaja. Ideal para aplicaciones inalámbricas y de RF portátiles con requisitos exigentes de rendimiento y espacio.

La corriente de reposo RT9013 es tan baja como 25uA, lo que prolonga aún más la vida útil de la batería. El RT9013 también funciona con condensadores cerámicos de baja ESR, lo que reduce la cantidad de espacio de placa necesario para las aplicaciones de energía, lo que es fundamental en los dispositivos inalámbricos de mano.

El RT9013 consume 0.7uA típicos en modo de apagado y tiene un tiempo de encendido rápido de menos de 40us. Las otras características incluyen voltaje de caída ultrabajo, alta precisión de salida, protección de limitación de corriente y alta relación de rechazo de ondulación. Disponible en el paquete SC-82, SOT-23-5, SC-70-5 y WDFN-6L 2x2.

Características

- Amplios rangos de voltaje de operación: 2.2V a 5.5V
- Caída baja: 250mV a 500mA
- Ruido ultrabajo para aplicaciones de RF
- Respuesta ultrarrápida en transitorios de línea/carga
- Protección de limitación de corriente
- Protección de apagado térmico
- Tasa de rechazo de fuente de alimentación alta
- A la salida solo se requiere 1 uF de condensador para la estabilidad

- Entrada de apagado controlado por lógica TTL

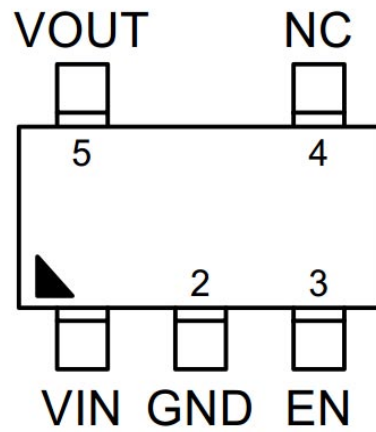


Figura 2.16: Configuración de pines
Fuente: Datasheet fabricante

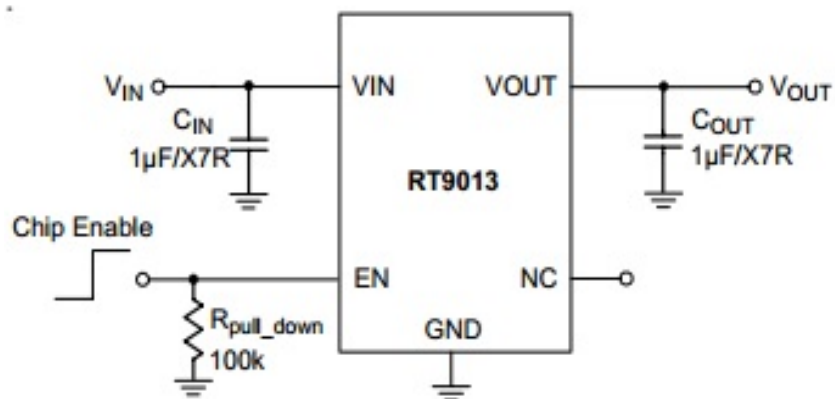


Figura 2.17: Acondicionamiento
Fuente: Datasheet fabricante

2.2. Condiciones medioambientales...

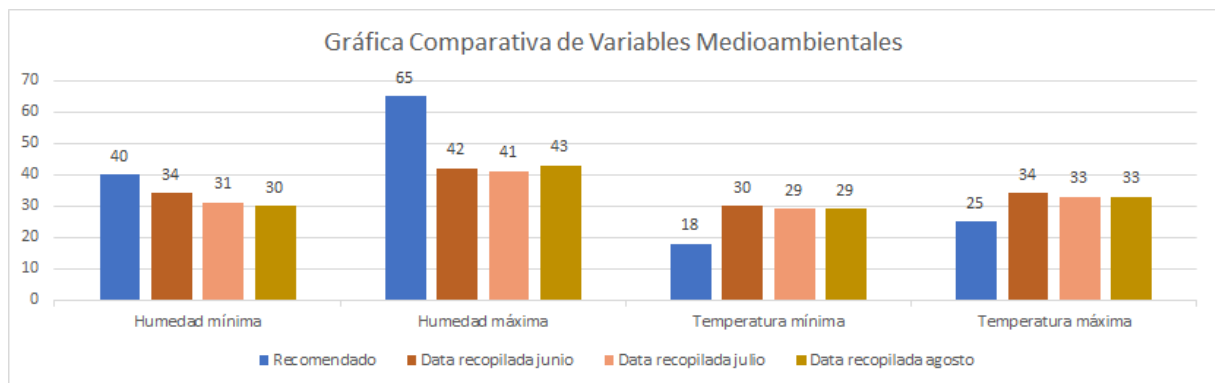


Figura 2.18: Correlación de valores medioambientales

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

- [1] D. Evans, "How the next evolution of the internet is changing everything." vol. Cisco Internet of Things White Paper, 2012.
- [2] C. M. . C. G. Quiroga E., Jaramillo S., "Propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión soportada en iot," *Revista RISTI*, no. 24, pp. 39–56, 2017.
- [3] P. Diezma, "Internet of things: la revolución definitiva del arte, el ocio y la cultura en el siglo xxi," *Anuario AC/E*, vol. 4, pp. 79–95, 2017.
- [4] O. G. Corzo Vargas *et al.*, "Domótica del museo interactivo de sala limpia," B.S. thesis, Uniandes, 2019.
- [5] A. S. Pinzón Ortega, M. Franco Avellaneda, and S. Falla, "Condiciones que posibilitan el acceso a un museo de ciencias: análisis del caso maloka (conditions that make possible the access to a science museum: Case study of maloka science center)," *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, vol. 7, no. 12, 2015.
- [6] S. Alletto, R. Cucchiara, G. Del Fiore, L. Mainetti, V. Mighali, L. Patrono, and G. Serra, "An indoor location-aware system for an iot-based smart museum," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 244–253, 2016.
- [7] A. Chianese, F. Piccialli, and J. E. Jung, "The internet of cultural things: Towards a smart cultural heritage," in *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems (SITIS)*, 2016, pp. 493–496.
- [8] A. Al-Habal and A. Khattab, "Ultra-low power layered iot platform for museum content conservation," in *2019 31st International Conference on Microelectronics (ICM)*, 2019, pp. 86–89.

- [9] K. Sornalatha and V. R. Kavitha, "Iot based smart museum using bluetooth low energy," in *2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*, 2017, pp. 520–523.
- [10] Z. Liu, M. Wang, S. Qi, and C. Yang, "Study on the anti-theft technology of museum cultural relics based on internet of things," *IEEE Access*, vol. 7, 2019.
- [11] G. T. Quintero, "La oficina del historiador de la habana al rescate del patrimonio bibliográfico," *Apuntes. Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, vol. 28, no. 2, 2015.
- [12] Y. H. Valdés, "La potencialidad de un proyecto museológico vanguardista en cuba: el centro de interpretación del palacio del segundo cabo," *RdM. Revista de Museología: Publicación científica al servicio de la comunidad museológica*, no. 78, pp. 44–54, 2020.
- [13] R. J. . o. Cera J., Martínez L., "Apoyo al estado del arte del internet de las cosas en salud," *Revista I+D en TIC*, vol. 6, no. 1, pp. 14–25, 2015.
- [14] X. X. . o. L. Hou, S. Zhao, "Internet of things cloud: Architecture and implementation," *IEEE Communications Magazine*, no. 54, 2016.
- [15] L. García, "Cuáles son las arquitecturas y componentes de una red iot," 2020.
- [16] Ciberseguridad, "Capas de iot que debes conocer," *Noticias de ciberseguridad, ciberataques, vulnerabilidades informáticas*, 2022.
- [17] A. P. O. B. Mazon, "Internet ofthings: State-of-the-art, computing paradigms and reference architectures," *IEEE Latin America Transactions*, vol. Vol. 20, no. No.1, 2022.
- [18] K. B. . K. B.-S. Burhan M., Rehman R., "Iot elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey," *Sensors*, vol. 18, no. 9, p. 2796, 2018.
- [19] B. S. H. . O. Omoniwa B., Javed M. A., "Fog/edge computing-based iot (feciot): Architecture, applications, and research issues," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 4118–4149, 2019.

- [20] K. W. . D. K. A., "A-z survey of internet of things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 163, 2020.
- [21] H. R. . O. Yadegaridehkordi E., Attarbashi Z. S., "A survey on trend and classification of internet of things reviews," *IEEE Access*, vol. 8, 2020.
- [22] M. H. . M. M. T., "Iot architectural styles: A systematic mapping study," in *Software Architecture*, vol. 11048, no. Cuesta C. E., Garlan D., and Pérez J., Cham Eds.: Springer International Publishing, pp. 68–85, 2018.
- [23] P. A. . O. Berru J., Mazon Olivo B., "Scada system based on iot for intelligent control of banana crop irrigation," *Appl. Technol. ICAT 2019 Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1193, pp. 243–256, 2020.
- [24] S. V. . O. Hassija V., Chamola V., "A survey on iot security: Application areas, security threats, and solution architectures," *IEEE Access*, vol. 7, 2019.
- [25] A. M. . A. M. Guizani M., Mohammadi M., "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Commun. Surv. Tutor*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [26] I. A. . M. G. Atzori L., "The internet of things: A survey," *Comput. Netw.*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [27] P. V. . P. A. Botta A., De Donato W., "Integration of cloud computing and internet of things: A survey," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 56, pp. 684–700, 2016.
- [28] . K. J. Quincozes S., Emilio T., "Mqtt protocol: fundamentals, tools and future directions," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 09, 2019.
- [29] M. Fernández Barcell, "Protocolo tcp/ip," 2014.
- [30] O. M. Ivan Araquistain, Jose Miguel Abascal, "Wireless sensor network technology for monitoring moisture content of wood," *Tecnalia Research and Innovation*, no. nº 5 20730, 2017.

- [31] S. Rodríguez, J. Vivas, A. Vega, and V. Baño, “Código: 1.7 metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructural de puentes de madera en España,” 2014.
- [32] V. K. Margarita Kisternaya, “Wood science approach for the preservation of historic timber structures,” *Russian Academy of Sciences*, 2015.
- [33] Ai-Thinker, *ESP-12F Datasheet, Versión 1*, 2018.

Anexos