

Aquí va la carátula

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

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 muestra 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.

Abstract

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 muestra 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.

[Traducir]

Índice general

INTRODUCCIÓN	1
1 Internet de las Cosas en los museos	4
Introducción	4
1.1 Internet de las Cosas en museos internacionales	4
1.2 Internet de las Cosas en Cuba	7
1.3 Arquitectura IoT	8
1.3.1 Principales capas de la arquitectura del IoT	9
1.3.2 Propuesta de la Arquitectura IoT del Sistema	11
1.3.3 Capa de percepción	12
1.3.3.1 Nodos	13
1.3.3.2 Composición nodos según ubicación	14
1.3.4 Capa de transporte	15
1.3.4.1 Protocolo MQTT	15
1.3.4.2 Protocolo HTTP	15
1.3.4.3 Protocolo TCP/IP	15
1.4 Obtención de niveles de salitre y condiciones para la aparición de xilófagos	17
1.5 Sistema de control de población	17
Conclusiones	17
2 Implementación del sistema IoT	18
Introducción	18
2.1 Microcontrolador [Puede ser que halla que cambiar a ESP 12F]	18
2.2 Sensores	20
2.2.1 Descripción sensores	21
2.2.1.1 Sensor DHT22	21
2.2.1.2 Sensor MZ-Z19C	21

2.2.1.3	Sensor M0168	23
2.2.1.4	Sensor SDS011	23
2.2.1.5	Sensor LDR	24
2.2.1.6	Sensor BH1750	25
	Conclusiones	26
	CONCLUSIONES GENERALES	27
	Recomendaciones	28
	Apéndice	29
	Referencias	30

Índice de tablas

Tabla1.1	IoT Internacional	7
Tabla1.2	Correlación de los nodos	14
Tabla2.1	Relación sensores	21

Índice de figuras

Figura1.1	Comparación arquitecturas	9
Figura1.2	Arquitectura IoT	11
Figura1.3	Esquema capa de percepción	12
Figura1.4	Ubicación piezas	13
Figura2.1	ESP-12F	19
Figura2.2	NodeMcu Vendor	19
Figura2.3	Sensor DHT22	21
Figura2.4	Dimensiones sensor DHT22	22
Figura2.5	Sensor MH-Z19C	22
Figura2.6	Sensor piezoeléctrico M0168	23
Figura2.7	Sensor SDS011	24
Figura2.8	Sensor LDR	24
Figura2.9	Sensor LDR	25
Figura2.10	Sensor BH1750	25
Figura2.11	Acondicionamiento sensor BH1750	26

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. (Evans, 2012)

El IoT se trata de un concepto que se basa en la interconexión de los objetos con su alrededor. 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. 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, IoT revolucionará la concepción que posee el ser humano acerca de su mundo y la forma de interaccionar con él. (Diezma, 2017)

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, 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.

Se asume como **problema de investigación**: la inexistencia de un sistema de monitoreo para el control del estado de conservación de las piezas en la muestra Prat Puig imposibilitando el control en tiempo real por parte de los especialistas; por lo que se define entonces como **objeto de la investigación**, los sistemas de supervisión y monitoreo de piezas de arte basados en IoT.

Campo de acción: Diseño e implementación de sistemas basados en el empleo del Internet de las Cosas en los museos. El **objetivo**...

Hipótesis: Si logramos diseñar e implementar un sistema de supervisión de las piezas de arte en un museo, de tal manera que se muestren en tiempo real, el estado de conservación de los objetos, posibles afectaciones y los momentos más adecuados para efectuar una restauración en dicho local correspondiente a la muestra Prat Puig, estaríamos extendiendo la vigencia de estos objetos y mejorando las condiciones de trabajo de los especialistas que allí laboran.

Tareas de la investigación:

1. Analizar la trascendencia del Internet de las Cosas en los museos tanto internacionales como en los museos de Cuba.
2. Analizar las arquitecturas del Internet de las Cosas y la proposición de la arquitectura del proyecto.
3. Caracterizar los diferentes sensores a emplear acorde a las variables presentes.
4. Implementación de un sistema de supervisión y monitoreo basado en IoT.

Aporte de la investigación: un sistema de supervisión y monitoreo basado en IoT para el control del estado de conservación de los objetos de la muestra.

Organización del documento: 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 I se hace un análisis de la trascendencia del IoT en los museos internacionales y en los museos de nuestro País. Se realiza, además, un análisis de las arquitecturas propuestas por otros autores y se propone una para el desarrollo del proyecto, haciendo una caracterización de la misma, desglosándolas por partes. También se trata lo relacionado a los sistemas de control de población.

En el Capítulo II como parte de la implementación del proyecto se hacen análisis de los esquemáticos correspondientes al montaje de los nodos...

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 o no del mismo en los museos de nuestro país. Se hace un análisis de las arquitecturas propuestas por otros autores y la proposición de una para este trabajo. También se tienen en cuenta las variables que se miden en los museos para evitar el deterioro de los objetos y los posibles sensores a emplear para su control. Además, se analiza el tipo de comunicación más viable y efectiva según el emplazamiento, y finalmente los posibles sistemas de seguridad a instalar en la muestra.

1.1. Internet de las Cosas en museos internacionales

Hoy en día 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. (Corzo Vargas y cols., 2019).

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. (Pinzón Ortega, Franco Avellaneda, y Falla, 2015).

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. (Alletto y cols., 2016).

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. (Chianese, Piccialli, y Jung, 2016).

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. (Al-Habal y Khattab, 2019).

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

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, Informática, 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). (Sornalatha y Kavitha, 2017). En agosto 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 (IoT), 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. (Liu, Wang, Qi, y Yang, 2019).

La siguiente tabla resume lo anterior expuesto.

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).

Tabla 1.1: IoT Internacional

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 1.1 existen disímiles ejemplos de aplicación del Internet de las Cosas a nivel internacional; de ahí que haremos énfasis 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, no obstante, dentro de esos pocos 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. (Quintero, 2015). 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 Unión Europea y de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (Valdés, 2020).

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 visualización de un audiovisual que también habla de las llegadas 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

Lo primero que debemos saber sobre la arquitectura de IoT, es que no existe una única definición universalmente adoptada. Diferentes propuestas han surgido durante su desarrollo entre las que podemos encontrar: 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 entre muchas otras (L. Hou, 2016).

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

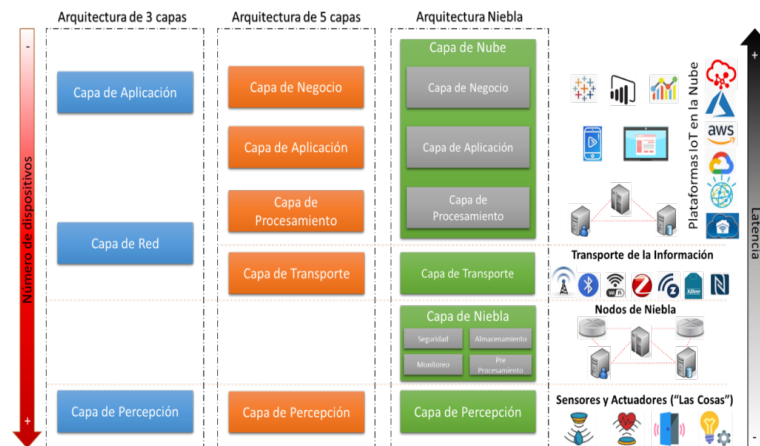


Figura 1.1: Comparación arquitecturas

Fuente: (García, 2020)

Según (Ciberseguridad, 2022), 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.

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, etcétera.

1.3.1. Principales capas de la arquitectura del IoT

Según (B. Mazon, 2022), 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.

- *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.

- *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.

- *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.

 - *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.

 - *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.

Desde el punto de vista de

1.3.2. 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 que son: La capa de percepción cuya función es la obtención de variables asociadas a la conservación de las piezas en la muestra, 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.

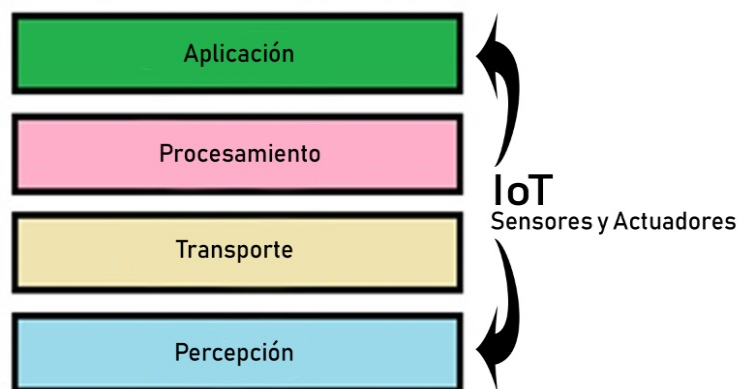


Figura 1.2: Arquitectura IoT

Fuente: Elaboración propia

El alcance de este trabajo va dirigido a la explicación detallada de la capa de percepción, enfocándonos en las características del microcontrolador y sensores a emplear, así como la capa de transporte donde se hace un análisis del o de los métodos empleados para el traspaso de la data recopilada hacia el concentrador.

1.3.3. Capa de percepción

En esta etapa es en la que interactúan los sensores directamente con el medio ambiente, recopilan los datos para ser enviados a su posterior procesamiento.

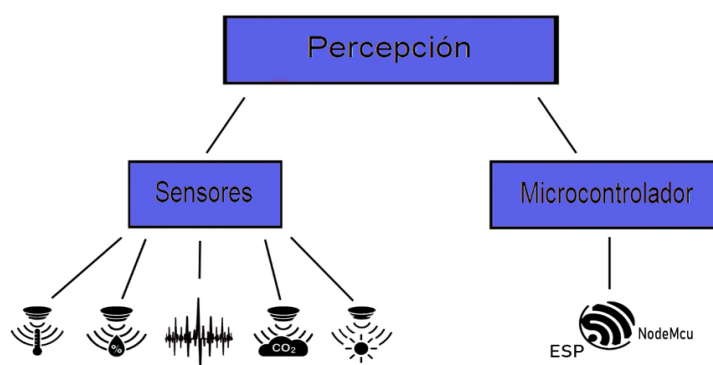


Figura 1.3: Esquema capa de percepción

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 1.3, 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 Prat 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, éstas 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 deteriorándolo y dañando también el 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 mostran-

do 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:

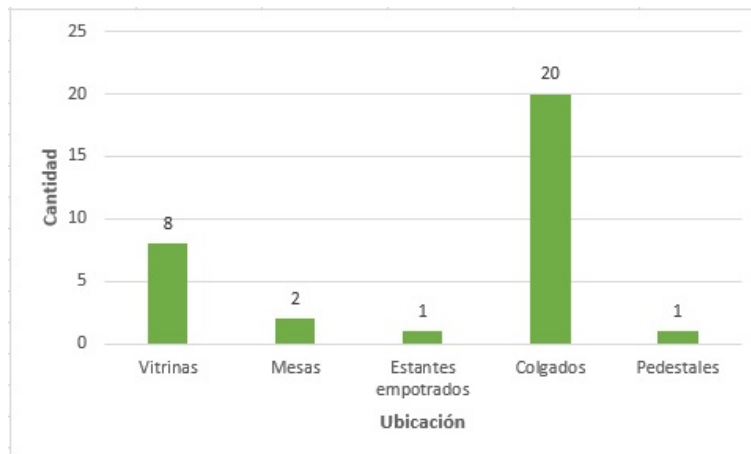


Figura 1.4: Ubicación piezas

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 1.4, 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 general para el caso de las piezas que se encuentran fuera.

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.

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.

La siguiente tabla relaciona la variable a medir según la ubicación del nodo.

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			

Tabla 1.2: Correlación de los nodos

Fuente: Elaboración propia

1.3.3.2 Composición nodos según ubicación

Ya que existe más de una ubicación para los nodos (ver tabla 1.2), dígame en vitrinas o ubicados en la habitación, vale mencionar que influye en la composición de dicho nodo.

Esta composición viene dada ...

1.3.4. 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 (B. Mazon, 2022), 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). (Quincozes S., 2019)

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, como, 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 (como 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). (FERNÁNDEZ BARCELL, 2014)

Así, esta arquitectura pretende servir de referencia para la implementación de servicios basados en IoT en el área de conservación de las piezas en los museos o instituciones con vista al desarrollo de entornos inteligentes.

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 obtenida 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 (Ivan Araquistain, 2017) (Rodríguez, Vivas, Vega, y Baño, 2014) el porcentaje de humedad óptimo para que crezcan los xilófagos está entre el 25 y el 55 por ciento mientras que (Margarita Kisternaya, 2015) 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...

1.5. Sistema de control de población

Sensores PIR

Conclusiones

Capítulo 2

Implementación del sistema IoT

Introducción

...

2.1. Microcontrolador [Puede ser que halla que cambiar a ESP 12F]

Un microcontrolador (abreviado: MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

El microcontrolador ESP-12F (Figura 2.1), basado en ESP8266, posee dentro de sus características la posibilidad del empleo de la wifi como medio de comunicación.

[...]



Figura 2.1: ESP-12F

Dentro de la familia de los ESP se encuentra el NodeMCU. Este microcontrolador (Imagen 2.2) será el encargado de recibir los datos de los sensores y organizarlos en función de su continua transmisión hacia el concentrador.

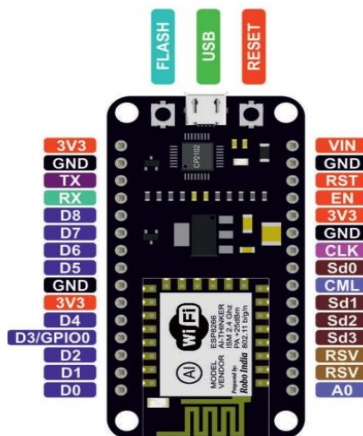


Figura 2.2: NodeMcu Vendor

NodeMCU es una pequeña placa Wifi compatible con Arduino, lista para usar en cualquier proyecto IoT. Está montada alrededor del microcontrolador ESP8266 y expone todos sus pines en los laterales. Además, ofrece más ventajas como la incorporación de un regulador de tensión integrado, así como un puerto USB de programación. Se puede programar con LUA o mediante el IDE de Arduino.

Dispone de una extensa comunidad y documentación que permitirá conectar el proyecto mediante conexión Wifi.

Características

- Procesador: ESP8266 a 80MHz (3.3V) (ESP-12E).
- 4MB de memoria FLASH (32 MBit).
- WiFi 802.11 b/g/n.
- Regulador 3.3V integrado (500mA).
- Conversor USB-Serial CH340G.
- Función Auto-reset.
- 9 pines GPIO con I2C y SPI.
- 1 entrada analógica (1.0V max).
- 4 agujeros de montaje (3mm).
- Entrada alimentación externa VIN (20V max).

2.2. 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.

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

Tabla 2.1: Relación sensores

Fuente: Elaboración propia

2.2.1. Descripción sensores

2.2.1.1 Sensor DHT22



Figura 2.3: 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).

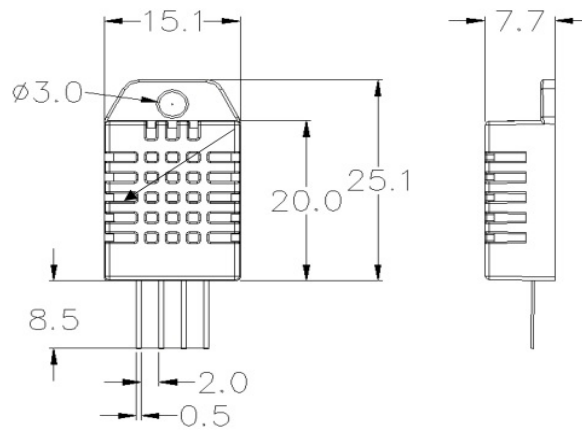


Figura 2.4: Dimensiones sensor DHT22

2.2.1.2 Sensor MZ-Z19C

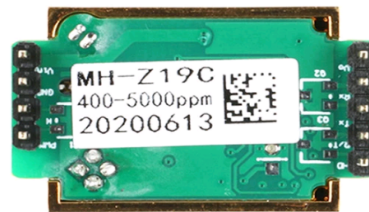


Figura 2.5: Sensor MH-Z19C

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

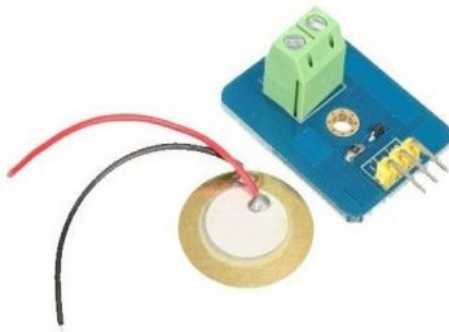


Figura 2.6: Sensor piezoeléctrico M0168

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

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.



Figura 2.7: Sensor SDS011

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 2.8: 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.

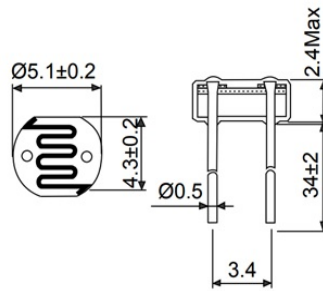


Figura 2.9: Sensor LDR

Fuente: Datasheet fabricante

2.2.1.6 Sensor BH1750

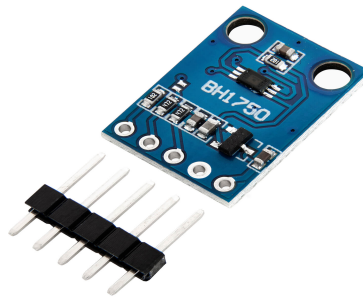


Figura 2.10: Sensor BH1750

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.

Otros datos

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

Figura 2.11: Acondicionamiento sensor BH1750

Fuente: Datasheet fabricante

26

Conclusiones

Recomendaciones

Apéndice

Referencias

- Al-Habal, A., y Khattab, A. (2019). Ultra-low power layered iot platform for museum content conservation. En *2019 31st international conference on microelectronics (icm)* (p. 86-89). doi: 10.1109/ICM48031.2019.9021866
- Alletto, S., Cucchiara, R., Del Fiore, G., Mainetti, L., Mighali, V., Patrono, L., y Serra, G. (2016). An indoor location-aware system for an iot-based smart museum. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(2), 244-253. doi: 10.1109/JIOT.2015.2506258
- B. Mazon, A. P. O. (2022). Internet of things: State-of-the-art, computing paradigms and reference architectures. *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 20(No.1). doi: 10.1109/TLA.2022.9662173
- Chianese, A., Piccialli, F., y Jung, J. E. (2016). The internet of cultural things: Towards a smart cultural heritage. En *2016 12th international conference on signal-image technology internet-based systems (sitis)* (p. 493-496). doi: 10.1109/SITIS.2016.83
- Ciberseguridad. (2022). Capas de iot que debes conocer. *Noticias de ciberseguridad, ciberataques, vulnerabilidades informáticas*.
- Corzo Vargas, O. G., y cols. (2019). *Domótica del museo interactivo de sala limpia* (B.S. thesis). Uniandes.
- Diezma, P. (2017). Internet of things: la revolución definitiva del arte, el ocio y la cultura en el siglo xxi. *Anuario AC/E*, 4, 79–95.
- Evans, D. (2012). How the next evolution of the internet is changing everything. , *Cisco Internet of Things White Paper*.
- FERNÁNDEZ BARCELL, M. (2014). Protocolo tcp/ip.
- García, L. (2020). Cuáles son las arquitecturas y componentes de una red iot.
- Ivan Araquistain, O. M., Jose Miguel Abascal. (2017). Wireless sensor network technology for monitoring moisture content of wood. *Tecnalia Research and Innovation*(nº 5 20730).

- L. Hou, X. X. . o., S. Zhao. (2016). Internet of things cloud: Architecture and implementation. *IEEE Communications Magazine*(54). doi: 10.1109/MCOM.2016.1600398CM
- Liu, Z., Wang, M., Qi, S., y Yang, C. (2019). Study on the anti-theft technology of museum cultural relics based on internet of things. *IEEE Access*, 7, 111387-111395. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2933236
- Margarita Kisternaya, V. K. (2015). Wood science approach for the preservation of historic timber structures. *Russian Academy of Sciences*.
- Pinzón Ortega, A. S., Franco Avellaneda, M., y Falla, S. (2015). 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*, 7(12).
- Quincozes S., . K. J., Emilio T. (2019). Mqtt protocol: fundamentals, tools and future directions. *IEEE Latin America Transactions*, 17(09).
- Quintero, G. T. (2015). La oficina del historiador de la habana al rescate del patrimonio bibliográfico. *Apuntes. Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, 28(2).
- Rodríguez, S., Vivas, J., Vega, A., y Baño, V. (2014). Código: 1.7 metodología para la inspección, evaluación y diagnóstico mediante técnicas no destructivas del estado estructuralde puentes de madera en españa.
- Sornalatha, K., y Kavitha, V. R. (2017). Iot based smart museum using bluetooth low energy. En *2017 third international conference on advances in electrical, electronics, information, communication and bio-informatics (aeeicb)* (p. 520-523). doi: 10.1109/AEEICB.2017.7972368
- Valdés, Y. H. (2020). 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*(78), 44–54.