

Tipo de artículo: Artículo original

Arquitectura de red de sensores para el control de aforo en las aulas y salones de centros educativos

Sensor network architecture for capacity control in classrooms and halls of academic institutions

Cristhian Andres Cabrera Briones^{1*} , <https://orcid.org/0009-0003-1798-6005>

Dannes Diomedes Manrique Barcia² , <https://orcid.org/0009-0005-1699-477X>

Marlon Renne Navia Mendoza³ , <https://orcid.org/0000-0001-9775-3778>

¹Estudiante de Ingeniería de sistemas informáticos, Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ccabrera0840@utm.edu.ec

²Estudiante de Ingeniería de sistemas informáticos, Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. dmanrique0385@utm.edu.ec

³Docente. Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación, Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. marlon.navia@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: dmanrique0385@utm.edu.ec

Resumen

Con el inicio de la crisis mundial causado por el Covid-19, el número de personas dentro de un espacio cerrado se empezó a ver limitado por resoluciones establecidas por entes gubernamentales. Aunque la pandemia está pasando, en muchos lugares, por diversos motivos, aun es necesario el control de aforo en lugares cerrados, como por ejemplo en instituciones educativas, donde estudiantes y maestros pasan varias horas en ambientes cerrados. A pesar de que existen propuestas y dispositivos, basados en redes de sensores, para controlar el número de personas en ambientes cerrados, no se ha encontrado una arquitectura que estandarice o al menos esquematice comparativamente estos sistemas. Con esto en mente, en este trabajo se presenta una arquitectura basada en una red de sensores para el control de aforo en las aulas y salones de centros educativos. Primero se realizó un diagnóstico de trabajos actuales a partir de una revisión bibliográfica, para identificar los lineamientos de la arquitectura. Se diseñó una arquitectura en capas, detallando la funcionalidad de cada una y las posibles formas de implementación. Para evaluar la propuesta se realizó una comparación de varios dispositivos encontrados en la literatura. Además, se implementó un prototipo de sistema de control de aforo, basado en la arquitectura propuesta. Este prototipo obtuvo un 95% de precisión en pruebas realizadas. La arquitectura propuesta ofrece flexibilidad para implementar sistemas de control de aforo adaptados a necesidades específicas.

Palabras clave: Internet de las cosas; aforo de aulas; red de sensores; control de ingreso.

Abstract

At the beginning of the global crisis caused by Covid-19, the amount of people inside an indoor space began to be limited due to resolutions established by government entities. Although the pandemic is ending, in many places, for various reasons, capacity control is still necessary in interior places, such as in educational institutions, where students and teachers spend several hours indoors. Despite the fact that there are proposals and devices, based on sensor networks, to control the number of people in indoor environments, an architecture that standardizes or at least outlines these systems comparatively has not been found. With this in mind, this paper presents an architecture based on a sensor networks, for capacity control in classrooms and halls of educational centers. First, a diagnosis of state-of-art based on a bibliographic review, with the purpose of identifying the guidelines for architecture. After, a layered architecture was designed, detailing the functionality of each layer and the possible ways of



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

implementation. To evaluate the proposal, a comparison of several devices found in literature was performed. Besides, a prototype of capacity control system was implemented, based on the proposed architecture. This prototype obtained 95% accuracy in tests carried out. The proposed architecture offers flexibility to implement capacity control systems adapted to specific needs

Keywords: *Internet of things; classroom capacity; sensors network; access control.*

Recibido: 21/02/2023
Aceptado: 22/05/2023
En línea: 01/06/2023

Introducción

Con el paso del tiempo, la población humana se ha ido incrementado de manera. Como consecuencia, la existencia de eventos o actividades contribuye a la afluencia y concentración de personas en espacios reducidos, muchas veces cerrados y con poca ventilación (Tello Carrascal, y otros, 2021).

Bajo el contexto realizado el presente artículo, la pandemia y sus variantes de COVID-19 ha causado en la sociedad actual problemas en diferentes aspectos, lo cual ha propiciado la búsqueda e implementación de soluciones para tratar de sortearlos, intentando reducir al máximo el impacto en el día a día. Una de las medidas adoptadas para prevenir el contagio fue reducir el número de personas en espacios cerrados.

En este sentido, existen diferentes sistemas que permiten controlar la cantidad de personas que hay en un espacio (Fonseca & Díaz, 2019), desde un control manual con una persona en la puerta encargada de contabilizar las entradas y salidas, hasta aplicaciones complejas que se encargan de contar automáticamente; ya sea basados en algoritmos de procesamiento de imágenes, inteligencia artificial, sensores, entre otros (Tello Carrascal, y otros, 2021). Los controles de aforo han atesorado gran relevancia por la utilidad que pueden prestar para garantizar el distanciamiento social en establecimientos, o simplemente para controlar el número de personas en edificaciones. Estos son una gran opción para cualquier organización que lo necesite (Rojas Campo, Jairo, 2020).

Aunque al momento de elaborar esta propuesta, la pandemia Covid-19 esté menguando en muchos países, a futuro podrían darse otras epidemias que requieran distanciamiento. Además, el control de aforo puede ser de utilidad para otros fines. Por ejemplo, para controlar el aforo en un auditorio durante un evento abierto en un centro comercial, en medios de transporte masivo, para predecir el consumo energético de edificios, o en otros casos similares. Por otro lado, se vuelve importante el prevenir las aglomeraciones en espacios cerrados o con poca ventilación no solo por el riesgo de contagio de enfermedades respiratorias, sino también para prevenir que se produzcan altos niveles de dióxido de carbono (CO₂) en estos espacios (Tello Carrascal, y otros, 2021).



Una de las áreas que está volviendo necesario este control es en el sector educativo, especialmente a nivel universitario; no solo por el contexto de infectarse de alguna enfermedad respiratoria, sino también por controlar el porcentaje de la ocupación de sus aulas, salones y auditorios, por motivos de organización y planificación.

En la actualidad se dispone de sensores electrónicos que son destinados para el control de procesos en plantas. Este tipo de dispositivos abrió un nuevo abanico de oportunidades para diseñar y crear todo tipo de aplicaciones, protocolos y sistemas capaces de facilitar el trabajo a las personas, a la vez que reducen costos. Las Redes Inalámbricas de Sensores o RIS (también llamadas WSN por sus siglas en Inglés) están compuestos por decenas, cientos o incluso miles de estos sensores electrónicos que operan con baterías, llamados nodos sensores (motes) y que son distribuidos a lo largo de un ambiente de interés particular (Redes de Sensores Inalámbricos, 2011).

Cada sensor inalámbrico en una red ad-hoc recolecta datos de su ambiente, como la cantidad de luz, temperatura, humedad, vibraciones y otros factores ambientales (Willers, 2012). Luego, envía los datos recolectados a sus vecinos, estos a su vez a sus propios vecinos y así sucesivamente, hasta que la información alcanza un destino específico, donde será procesada por computadores, brindando una imagen del ambiente circundante en tiempo real. (Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos, 2014).

Existen dispositivos o sistemas basados en WSN que permiten determinar la ocupación de espacios cerrados, o simplemente contar el número de personas que pasan por un lugar. Sin embargo, no se ha encontrado una arquitectura más o menos estandarizada, que permita esquematizar estas propuestas. Cada una plantea su propia estructura o arquitectura, y aunque en algunos casos se considere la posibilidad de cambiar la comunicación de los sensores, no se consideran posibles cambios o mejoras en otros elementos.

Con estos antecedentes, este artículo se focaliza en plantear una arquitectura de red de sensores que permita controlar el aforo en tiempo real en aulas y salones de centros educativos, para facilitar procesos de control y de seguridad, con un sistema que fuese simple, asequible y funcional. La arquitectura propuesta incluye tanto la definición de sus componentes, su funcionalidad, y sus opciones de implementación. Además de la arquitectura propuesta, principal aporte de este artículo, también se presenta la implementación de un prototipo que cumple con esta arquitectura

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: En la siguiente sección se presenta trabajos relacionados al tema de este artículo; después se describe la metodología aplicada. A continuación, se presenta y describe la arquitectura, y se evalúa la misma mediante la comparación de varias propuestas, y la comparación e implementación de un prototipo. Por último, se presentan las conclusiones y se plantean trabajos futuros.



Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se consultaron fuentes bibliográficas que permitieron conocer resultados de tanto de arquitectura de red de sensores ya aplicadas en diversos casos, como de sistemas de control de aforo en espacios interiores, y con esa base poder plantear nuestra propuesta.

Con base en la literatura revisada, se elaboró la propuesta de arquitectura, basada en capas. De cada capa se definió su funcionalidad, así como sus opciones de implementación.

Para evaluar la viabilidad arquitectura propuesta, se cotejaron diversas propuestas dentro de la arquitectura, analizando la estructura de cada una. También se construyó un prototipo de sistema de control de aforo basado en la arquitectura propuesta. Este sistema también se lo comparó con el resto de propuestas.

Para la programación de los componentes del prototipo, cuya composición se describe más adelante, se utilizó el entorno Arduino IDE. El prototipo fue evaluado en una sala de profesores, evaluando su funcionamiento durante tres (3) periodos de prueba, cada uno de una hora de duración. Los datos obtenidos se tabularon, para determinar la funcionalidad del prototipo.

Trabajos Relacionados

En la literatura se pueden encontrar más publicaciones encaminadas a determinar la cantidad de personas que ocupan un espacio. Muchas de las propuestas de detección de personas se utilizan en conjunto con otros mecanismos para fines de control o gestión determinados. Por ejemplo, en el trabajo: *A first approach to universal daylight and occupancy control system for any lamps: Simulated case in an academic classroom*, se utiliza a la detección de aforo, en conjunto con sensores de iluminación, para realizar un uso más eficiente de la iluminación artificial.

De la búsqueda realizada por los autores, sobre sistemas de control de aforo orientados a aulas y salones en instituciones educativas se encontró la propuesta *Edge-Based Transfer Learning for Classroom Occupancy Detection in a Smart Campus Context* que se enfoca a su aplicación en un contexto de campus universitario. Este sistema utiliza cámaras y procesamiento de imágenes para la determinación de la ocupación en varios salones, de forma independiente o en conjunto. Sin embargo, el costo de las cámaras utilizadas puede hacer menos atractiva la propuesta.

Otra propuesta es la de (Arenas Pamplona, y otros, 2022), que plantean un prototipo sencillo, asequible y efectivo, que permite el conteo de personas por medio de sensores láser, brindar información al visitante de la cantidad de cupos disponibles para entrar al establecimiento y del aforo del mismo por medio de una pantalla LED de 17 pulgadas. Además, esta información también podrá ser consultada en tiempo real desde una página web con el fin de que el usuario pueda tomar decisiones referentes a la visita del establecimiento.



El trabajo presentado por (Zapata Hidalgo, 2022) tiene como finalidad el desarrollo de un prototipo basado en algoritmos de visión por computadora capaz de realizar la detección automática de mascarilla y la cuenta de personas, que ingresan en lugares tales como bares, restaurantes, gimnasios, cines, micro mercados, entre otros.

La propuesta: *A novel occupancy detection solution using low-power IR-FPA based*, presenta una nueva ocupación *plug-and-play* método de detección de ocupación que permitirá la minimización temporal del consumo de energía del edificio para cumplir con el comportamiento de uso del edificio sin preocupaciones de privacidad. La plataforma de detección de ocupación inalámbrica propuesta se basa en matrices de plano focal (FPA) de infrarrojos de onda larga (LWIR), o cámaras termográficas, que detectan energía térmica en lugar de luz visible.

Otro trabajo relacionado es el: *Capacity Control in Indoor Spaces Using Machine Learning Techniques Together with BLE Technology*, que propone una nueva solución utilizando técnicas de aprendizaje automático con tecnología BLE (*Bluetooth Low Energy*). Este estudio presenta un experimento real en un entorno universitario y estudian tres modelos de predicción diferentes utilizando técnicas de aprendizaje automático, específicamente, regresión logística, árboles de decisión y redes neuronales artificiales.

En la propuesta: *A Non-Intrusive Approach for Indoor Occupancy Detection in Smart Environments*, se propone una solución para mejorar la experiencia del usuario en Entornos Inteligentes basada en información obtenida de espacios interiores, siguiendo un enfoque no intrusivo. Utilizan técnicas de *Machine Learning* para determinar los ocupantes y estimar el número de personas en un espacio interior específico. La solución propuesta se probó en un escenario real utilizando un sistema prototipo, integrado por nodos y sensores, específicamente diseñado y desarrollado para recopilar los datos ambientales de interés.

En el artículo: *Monitoring Indoor People Presence in Buildings Using Low-Cost Infrared Sensor Array in Doorways* se presenta un dispositivo para monitorizar el número de personas en entornos de interiores, mediante el uso de un arreglo de sensores infrarrojos. Para comunicar la información que detectan los distintos dispositivos, y determinar el número de personas, se emplea la tecnología de comunicación Z-wave.

Otro trabajo relacionado es el de (Cerezo Mendoza, 2022), el proyecto proporciona un sistema automatizado y con un alto grado de precisión que alerta tanto a usuario como a encargados sobre la disponibilidad de aforo o el exceso de este, mediante sensores y aplicación móvil.

Si bien cada una de las propuestas encontradas tiene sus ventajas e inconvenientes, como el uso de componentes de un costo relativamente considerable, nuestro objetivo no es tanto proponer un nuevo sistema que permita resolver estos inconvenientes, sino una arquitectura que permita esquematizar modularmente estas propuestas; permitiendo considerar el uso de componentes de bajo coste, tecnologías de comunicación de menor consumo o de mayor alcance, entre otros.



Resultados y discusión

La arquitectura está compuesta por 3 capas: Sensorización, Comunicación, y Procesamiento. El esquema de las capas y su relación se muestra en la Figura 1.

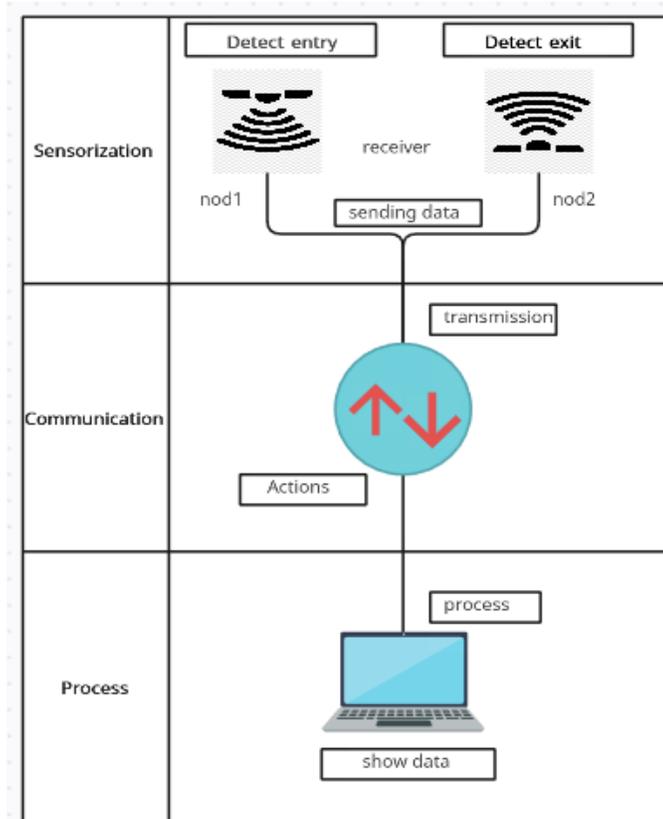


Figura 1. Arquitectura red de sensores propuesta.

A continuación se detalla cada una de ellas.

- **Capa de Sensorización (*Sensing Layer*):** En esta capa se realiza propiamente la detección del ingreso o salida de una persona, en cada punto de acceso a un espacio cerrado. Se basa en el uso de nodos con sensores para captar los movimientos de entrada y salida. Aquí se pueden aplicar sensores como los que se han comentado en la sección anterior.
- **Capa de Comunicación (*Communication Layer*):** Se encarga del envío de los datos recopilados por parte del nivel de sensorización en cada acceso, hacia el elemento de procesamiento. Aquí se pueden utilizar tecnologías de comunicación como Bluetooth, ZigBee, WiFi, LoRa, entre otros. Además, para informar de cada evento de

ingreso o salida, se puede utilizar cualquier protocolo de formato de información que esté disponible, ya sea JSON, XML, datagramas, u otra estructura similar.

- **Capa de Procesamiento (*Processing Layer*):** Será la parte encargada de la recepción, análisis, y visualización de los datos recopilados de los nodos de sensorización ubicados en los puntos de acceso. Estos datos deben ser procesados en tiempo real, y poder ser visualizados ya sea en una pantalla, una aplicación móvil o vía web, para de esta forma saber con precisión cual es el aforo actual.

La arquitectura por capas tiene la ventaja de que pueden hacerse cambios en cada nivel, sin que necesariamente se afecte a los otros. Además, se considera que la implementación en cada nivel puede realizarse utilizando distintas tecnologías o protocolos.

Prototipo de la arquitectura propuesta.

Los componentes utilizados para el prototipo se describen en la Tabla 1. Se optó por una implementación de bajo costo que además utiliza comunicación por Wifi, en una red inalámbrica exclusiva para el sistema, aunque se pueden considerar otras tecnologías de menor consumo, si el componente de Sensorización fuera a trabajar con baterías. Para la determinación de las entradas o salidas se empleó dos sensores de distancia por ultrasonido. Más adelante se explica la forma de funcionamiento. La Figura 2 muestra imágenes de los componentes empleados para el prototipo.

Tabla 1. Componentes y Función.

| Nivel | Componente utilizado | Función |
|----------------------|--|--|
| Sensorización | Sensor HC-SR04: Sensor de distancias por ultrasonidos con un rango de 2 a 450 cm. Microcontrolador ESP8266: montado en una placa NodeMCU (Hardware platforms for IoT nodes in agriculture applications: a power-consumption oriented analysis, 2022) | Detectar la entrada o salida de una persona mediante la comparación de distancias. |
| Comunicación | Conexión por Wifi: Integrado en el chip. Mensajes UDP con formado de datos tipo JSON. | Permite el envío de los eventos de ingreso o salida |
| Procesamiento | Microcontrolador ESP32: Montado en un módulo Heltec LoRa32, con un Display OLED de 128×64 px., y transceptor Wifi. | Realiza el cómputo del aforo actual, con base en los datos recibidos en tiempo real. |



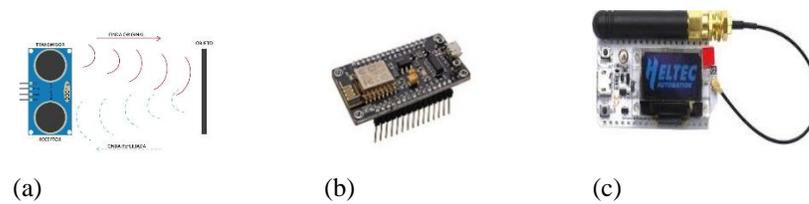


Figura 2. Componentes del prototipo (a) Sensor HC-SR04, (b) Módulo NodeMCU, (c) Módulo LoRa32.

En la Figura 3 se muestra el esquema de la ubicación de los componentes del prototipo del sistema de control de aforo. En cada puerta o acceso se coloca un nodo sensor, que está compuesto por un módulo NodeMCU y dos sensores de distancia HC-SR04. Este nodo sensor detecta si alguien ingresa o sale por esa puerta, y manda un mensaje notificando dicho evento.

La transmisión de los eventos de entrada o salida (capa de comunicación) se realiza por Wifi, mediante el envío de datagramas UDP, en los que se indica si se registró un ingreso o una salida. El procesamiento lo realiza el dispositivo descrito en la Tabla 1, que muestra la información del aforo en una pantalla OLED, con base en los mensajes recibidos por los nodos sensores ubicados en cada uno de los accesos del espacio donde se controla el aforo. Esta última parte podría implementarse en otro dispositivo, como por ejemplo un computador o directamente en la nube.

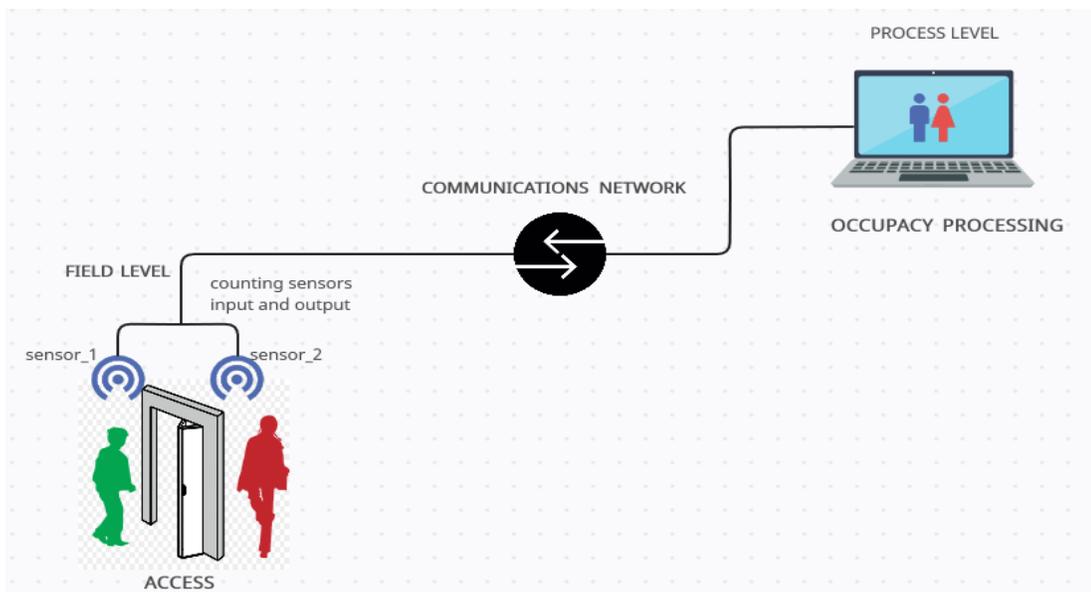


Figura 3. Esquema de ubicación de los componentes del sistema.



El funcionamiento del nodo sensor, para determinar si alguien entra o sale, se ilustra en la Figura 4. Los sensores trabajan con el flujo de detección que tenga ya sea de entrada o salida. Para esto el dispositivo tiene dos sensores: uno en cada lado del espacio de ingreso, es decir uno interior y uno exterior. Cada sensor está midiendo constantemente la distancia. Un sensor envía una señal de 1 (o activo) cuando la distancia que mide es menor a cierta medida (dependiendo de la altura de la puerta).

Para registrar un ingreso, primero se activa el sensor externo y luego de un breve tiempo se activará el sensor interno, a la vez que el sensor externo deja de enviar la señal activa. De la misma forma, para detectar una salida, primero se activa el sensor interno, luego el externo a la vez que se desactiva el interno. Cada vez que se detecta una salida o ingreso, se envía un mensaje a la capa de Procesamiento, que llevará la cuenta de ingresos y salidas, y mostrará el aforo u ocupación.

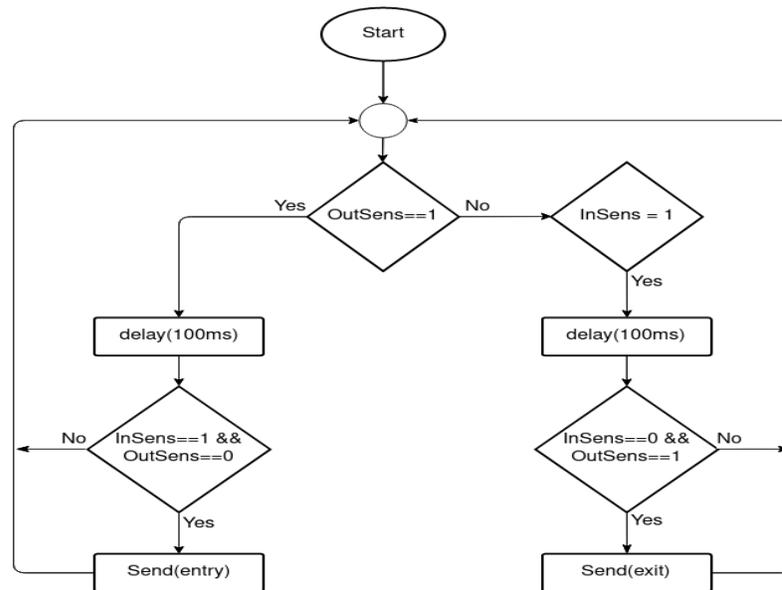


Figura 4. Diagrama de flujo de funcionamiento del nodo sensor.

Con base en los componentes descritos en la Tabla 1, se construyó el nodo sensor que se utilizó en las pruebas. En la Figura 5 se muestra el esquema de conexión de estos componentes (sensores y microcontrolador). La programación de este nodo se realizó de acuerdo a lo mostrado en la Figura 4.



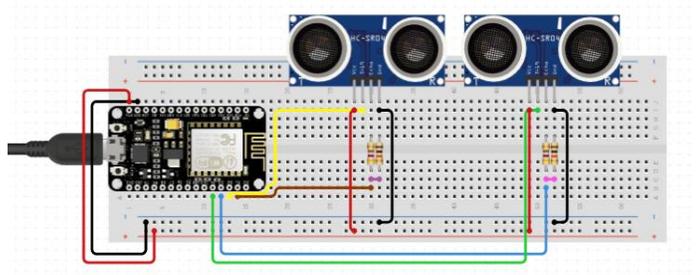


Figura 5. Diseño del prototipo de nodo para el nivel de Sensorización.

Para evaluar la funcionalidad del prototipo, se lo instaló en el acceso de una sala de profesores de una Universidad. Se realizaron 3 pruebas durante una hora cada uno, tal como se indicó previamente. Se instaló el prototipo del nodo sensor en el acceso a la sala, mientras que el dispositivo de procesamiento recibía los mensajes de ingreso salida. La Figura 6 muestra la ubicación del prototipo en funcionamiento.

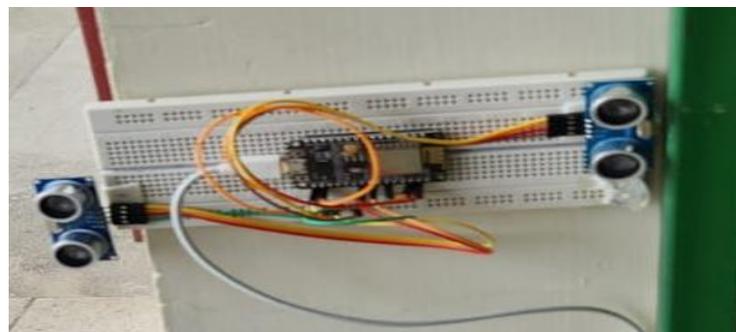


Figura 6. Fotografía del nodo sensor en el acceso de pruebas.

En la Tabla 2 se muestran los datos tabulados de las pruebas realizadas. El sistema registró cuantos ingresos y salidas se realizaron, a la vez que se verificaba las cantidades reales de ingresos y salidas. El porcentaje de errores en la detección se calculó en base al número de entradas y salidas que se detectaron y el número real de entrada y salida. Se puede ver que en todos los casos el porcentaje de error es menor a 6,25%, estos errores se dan debido a que se utilizaron sensores de bajo costo, que suelen tener un alto margen de error, por lo que se deben recalibrar para ir reduciendo el porcentaje de error.

Tabla 2. Resultados de pruebas del prototipo.

| No. de Prueba | Entradas detectadas | Salidas detectadas | Entradas reales | Salidas reales | Porcentaje medio de error |
|---------------|---------------------|--------------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| 1 | 36 | 32 | 34 | 30 | 5,6% |



| | | | | | |
|---|----|----|----|----|-------|
| 2 | 34 | 30 | 32 | 28 | 5,9% |
| 3 | 32 | 30 | 30 | 28 | 6,25% |

Aplicación de la arquitectura

La arquitectura propuesta es extrapolable a otros sistemas similares. En la Tabla 3 se realiza un análisis de los trabajos previamente referenciados, comparando su estructura con la arquitectura propuesta.

En nuestra propuesta se presenta prototipo simple pero efectivo, que puede implementarse con hardware muy sencillo y de poca capacidad de procesamiento. Además, la arquitectura permite mejorar cualquier sistema, ya sea colocando nodos sensores más precisos, tecnologías de comunicación de mayor alcance o menor consumo energético, o componentes de procesamiento más completos.

Tabla 3. Comparación de propuestas de control de aforo respecto a la arquitectura.

| Referencia | Sensorización | Comunicación | Procesamiento | Función prevista |
|--------------------------------|---|----------------------------|---|--|
| (de Rubeis, y otros, 2017) | Sensor PIR. | Wifi a 2.4GHz | Microcontrolador (modelo no especificado) | Control de aforo en aulas para optimización de iluminación. |
| (Aravind K. Mikkilineni, 2019) | Matrices de plano focal (FPA) de infrarrojos de onda larga (LWIR) | Radio sub-GHz | Modbus | Detección de ocupación para optimización del consumo de energía de edificio |
| (Beato Gutiérrez, 2021) | Beacons | BLE (Bluetooth Low Energy) | Aplicación de métricas ROC (<i>Receiver Operating Characteristic</i>) | Controlar el aforo en las aulas, de forma automática |
| (Perra, y otros, 2021) | Matriz de sensores infrarrojos | Protocolo Zwave | Cloud | Control de aforo en edificios de un campus. |
| (Zapata Hidalgo, 2022) | Cámaras de video | WIFI | Tarjeta NVIDIA modelo Jetson Nano | Detección de mascarillas y control de aforo de personas en espacios cerrados |
| Prototipo presentado | Sensores ultrasónicos de distancia | WIFI | ESP32 | Control de aforo en espacios cerrados mediante conteo en accesos |

La información mostrada en la Tabla 3 permite ver que efectivamente este tipo de sistemas puede ser implementado de varias maneras, aplicando distintas tecnologías. Aunque en la mayoría de los casos se utilizan sensores que pueden ser de bajo costo, también se ha considerado el uso de componentes con costo un poco mayor, como cámaras. Si bien la tecnología de comunicación más utilizada es WiFi, se pueden considerar otras opciones que tengan menor consumo energético, o que trabajen en frecuencias menos saturadas.



Conclusiones

Este artículo presentó una arquitectura para un sistema de control de aforo enfocado a su utilización en instituciones de educación, dando la opción de implementar un sistema de buen rendimiento y de bajo coste y consumo energético. La arquitectura utilizada permitió esquematizar la estructura de un sistema de control de aforo, a la vez que le brinda la posibilidad de adaptar o utilizar distintas tecnologías. La arquitectura también permitió desarrollar sistemas de forma modular, como se comprobó con el prototipo desarrollado. Además, aunque su uso está orientado a cualquier salón de una institución de educación, puede ser utilizado en otro tipo de edificaciones, con el mismo fin.

Como ampliación de este trabajo se podría en futuro aplicar esta arquitectura a otros sistemas de control basados en WSN. Una opción sería el uso de cámaras para detección de y reconocimiento de objetos, pero además podría utilizarse otro formato, que permita el envío de datos a una aplicación en la nube.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Informáticas (FCI)-UTM por la facilidad para el estudio y por todos los conocimientos adquiridos.

Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
2. Curación de datos: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
3. Análisis formal: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
4. Adquisición de fondos: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
5. Investigación: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
6. Metodología: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
7. Administración del proyecto: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
8. Recursos: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
9. Software: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
10. Supervisión: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
11. Validación: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
12. Visualización: Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza



13. Redacción – Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza
14. Redacción – Cristhian Cabrera Briones, Dannes Manrique Barcia, Marlon Navia Mendoza

Financiamiento

La investigación fue financiada por los autores.

Referencias

- Aravind K. Mikkilineni, Jin Dong, Teja Kuruganti , David Fugate. 2019. A novel occupancy detection solution using low-power IR-FPA based. s.l. : Energy & Buildings, 2019. págs. 63-74. Vol. 192.
- Arenas Pamplona, Fabian Estif y Rodríguez Avellaneda, Alejandro. 2022. Prototipo para el control de aforo de personas en establecimientos públicos con una (1) puerta de entrada y salida. Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2022. Trabajo de Grado de Tecnólogo en Sistematización de Datos.
- Beato Gutiérrez, M. E., Sánchez, M. M., Berjón Gallinas, R., & Fermoso García, A. M. 2021. Capacity Control in Indoor Spaces Using Machine Learning Techniques Together with BLE Technology. Salamanca : Journal of Sensor and Actuator Networks, 2021. Vol. 10.
- Bruno Abade, David Perez Abreu, Marilia Curado. 2018. A Non-Intrusive Approach for Indoor Occupancy Detection in Smart Environments. Coimbra, : s.n., 2018. Vol. 18.
- Building Occupancy Estimation and Detection: A review. Chen, Zhenghua, Jiang, Chaoyang y Xie, Lihua. 2018. 2018, Energy & Buildings, Vol. 169, págs. 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.084>.
- Cerezo Mendoza, Bryan Genaro, Narváez Vera, Carlos Andrés. 2022. Diseño de un prototipo de sistema para controlar el. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones, Universidad de Guayaquil. Guayaquil : Repositorio Universidad de Guayaquil, 2022. Titulación.
- de Rubeis, Tullio, y otros. 2017. A first approach to universal daylight and occupancy control system for any lamps: Simulated case in an academic classroom. 2017. págs. 24-37.
- Fonseca, B. B., & Díaz, P. M. P. (2019). Sistema para la reservación y seguimiento de áreas compartidas para el intercambio científico cultural en las instituciones cubanas. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 12(4), 20-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8590144>



- Navia, Marlon, y otros. 2022. Hardware platforms for IoT nodes in agriculture applications: a power-consumption oriented analysis. E47, 2022, Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação.
- Pérez, Juan, Urdaneta, Elizabeth y Custodio, Ángel. 2014. Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos 70, 2014, Universidad, Ciencia y Tecnología, Vol. 18, págs. 12-22.
- Monti, Lorenzo, y otros. 2017. s.l. : Energy and Buildings, 1 de october de 2017, Sensors, Vol. 152, págs. 24-39.
- Perra, C., y otros. 2021. Monitoring Indoor People Presence in Buildings Using Low-Cost Infrared Sensor Array in Doorways. 2021. pág. 4062. Vol. 21, <https://doi.org/10.3390/s21124062>.
- Redes de Sensores Inalámbricos. Chio Cho, Nayibe , y otros. 2011. Bogotá : s.n., 2011. Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica.
- Rojas Campo, Jairo. 2020. Control de aforo, qué es, cómo implementarlo y cuáles son los beneficios de hacerlo. [En línea] TecnoSeguro, 30 de Septiembre de 2020. [Citado el: 3 de Octubre de 2022.] <https://www.tecnoseguro.com/analisis/pro/control-de-aforo-que-es-como-implementarlo-beneficios>.
- Tello Carrascal, Victor, y otros. 2021. Sistema de Control de Aforo en Espacios Cerrados. Facultad de Informática, Universidad Complutense Madrid. 2021. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática.
- Peng, Y., Rysanek, A., Nagy, Z., & Schlüter, A. 2018. Using machine learning techniques for occupancy-prediction-based cooling control in office buildings Texas : Elsevier., 2018, Applied Energy., Vol. 211, págs. 1343-1358.
- Willers, Alejandro Darío . 2012. Redes Ad Hoc y Opportunistic Networking: una oportunidad a la Gestión de Desastres. Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata. 2012. Trabajo Final de Grado de Especialista en Ingeniería de Software.
- Zapata Hidalgo, Andrés Miguel. 2022. Desarrollo de un prototipo para detección de mascarillas y control de aforo de personas en espacios cerrados. Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas. 2022. Trabajo de Titulación de Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control.

