

Sistema IoT para el Control de Aforos en Ciudad Universitaria

Daniel Burbano

Departamento de ingeniería de sistemas
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
esteban.burbano@udea.edu.co

Santiago Escobar Casas

Departamento de ingeniería de sistemas
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
santiago.escobar8@udea.edu.co

Abstract—Debido a la pandemia causada por el Covid-19 se han tenido que tomar medidas de bioseguridad para disminuir el riesgo de contagio, estando entre ellas la no realización de actividades de manera presencial. Sin embargo, conforme avanza el tiempo y se reducen las tasas de contagios, se empiezan a realizar más actividades presenciales, para lo cual es de gran importancia mantener medidas como el distanciamiento social y el control de aforo. Es por esto por lo que se propone un sistema de monitoreo de aforo en los espacios de la Universidad de Antioquia tal que permita cumplir con los requerimientos establecidos en los protocolos de bioseguridad y la aceptación de la comunidad universitaria, utilizando tecnologías basadas en el Internet de las Cosas al crear un sistema que utiliza la identificación por radio frecuencia para registrar entradas y salidas, que a su vez es soportado con servicios en la nube de AWS.

Index Terms—Ambiente universitario, Control de aforo, Covid-19, Internet de las cosas, IoT

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2019, en el lado oriente del globo, surgió un virus, el cual, por su taxonomía y fecha en la cual se registró, fue denominado Covid-19; este virus se extendió rápidamente a varios países afectando la salud, la economía y la sociedad. Una de las principales características de este virus, el cual aún se encuentra en estudio, es que se propaga a través del contacto cercano de persona a persona, ya que al ser afectado un individuo, el virus invade sus vías respiratorias y debido a la constante interacción con el medio cercano se presenta un intercambio de partículas entre los sujetos [1]; es por esta razón, que mundialmente se empezaron a tomar medidas para prevenir la propagación y posterior índice de fatalidad provocado por el virus. Las principales medidas adoptadas masivamente fueron: aislamiento total, la migración de las actividades cotidianas y en su mayoría presenciales, a la virtualidad, y posteriormente el distanciamiento social en espacios públicos o de alta concentración de individuos. [2]

Teniendo en cuenta la necesidad de algunos grupos de personas de interactuar presencialmente, el distanciamiento social se convirtió en una medida de bioseguridad importante para disminuir de manera colaborativa la propagación del virus. Para implementar esta medida es necesario tener un debido monitoreo y control sobre el número de personas que se encuentran en un determinado lugar, aumentando su

importancia cuando el lugar es cerrado o con poca ventilación; llevando esto a que el control de aforo se convirtiera en pieza clave al momento de acceder a un espacio con alto flujo de individuos y permitiendo así delimitar el número máximo de personas que pueden estar en un lugar específico, esto con el objetivo de controlar el acceso de más personas a estos espacios cuando la capacidad total del mismo se ha completado y así, ayudar a evitar la probabilidad de contagio por la cercanía de individuos. [3]

Una de las más grandes comunidades con necesidad de actividades presenciales, es la que comprende el ambiente educativo, en este caso en específico el de la Universidad de Antioquia (UdeA). La UdeA decidió suspender las actividades presenciales, rigiéndose a partir de la implementación de las medidas de bioseguridad dadas por el gobierno Colombiano - estando entre estas el distanciamiento social-, debido a que muchos de los espacios físicos no cuentan con todas las especificaciones necesarias para mantener estas medidas y así, disminuir el riesgo de contagio. [4]

Por estas razones, se propone como objetivo de este proyecto integrador desarrollar un sistema de monitoreo de aforo en los espacios de la UdeA que permita cumplir con los requerimientos establecidos en los protocolos de bioseguridad, y la aceptación de la comunidad universitaria, utilizando tecnologías basadas en el Internet de las Cosas al crear un sistema que utiliza la tecnología RFID (Radio-frequency identification) para identificar entradas y salidas, que a su vez es soportado con servicios en la nube de AWS. Aunque el uso de estas elecciones no está tan extendido para esta clase de sistemas en este contexto, demostraron ser una opción que puede cumplir con los requisitos propuestos.

Por consiguiente, el resto del documento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En la sección II (Trabajos relacionados) se exponen los resultados de la revisión bibliográfica de control de aforo. En la sección III (Metodología y estrategia de solución) se presenta la metodología para el desarrollo del proyecto, se discuten las características específicas del problema en el contexto de la UdeA y se da un primer acercamiento a la solución propuesta. La sección IV (Arquitectura del sistema) es un recorrido por los diferentes componentes propuestos para el sistema. En la sección V (Implementación) se presenta el desarrollo llevado

a cabo para obtener un producto mínimo viable. En la sección VI (Validación) se expone el cumplimiento de los requisitos con el producto mínimo viable. Finalmente, en la sección VII (Conclusiones y trabajo futuro) se da un breve recorrido de lo realizado a lo largo del proyecto y se exponen algunas posibles mejoras que se podrían implementar.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Para llevar a cabo este proyecto, inicialmente fue realizada una búsqueda de literatura en cuanto a sistemas para control de aforo, en la cual se encontraron sistemas con diferentes enfoques, los cuales pueden ser clasificados utilizando el esquema mencionado en [5], en donde son separados dependiendo de la necesidad de usar o no un dispositivo terminal -en este contexto un dispositivo terminal hace referencia a un instrumento que llevan consigo las personas-; en el caso de los métodos que requieren un dispositivo terminal (teléfonos inteligentes, wearables o tarjetas), se hace uso de tecnologías y sistemas como Wi-Fi, Bluetooth, GPS o RFID para identificar la ocupación de un espacio. Por otro lado, en el caso de los sistemas que no requieren el uso de dispositivos terminales, la funcionalidad se centra en medir o monitorear el ambiente haciendo uso de cámaras o de sensores ambientales.

A. Sistemas sin uso de dispositivo terminal

Entre los sistemas que no necesitan dispositivo terminal se encontró que: en [6] utilizan detección pasiva de campo eléctrico para determinar si un recinto cerrado tiene personas adentro o no; en [7] proponen un conjunto de nodos en los que están reunidos varios sensores (temperatura, humedad, luminosidad, movimiento, sonido y gases) para entrenar un modelo de machine learning que detecte la ocupación o no de un espacio. En los dos ejemplos anteriores el problema se reduce a conocer si los espacios se encuentran ocupados o no, más no en proporcionar un conteo específico del número de personas que se encuentran en el espacio.

En esta misma línea, en [8] presentan un conjunto de nodos en los que se unifican varios sensores (luz, de humedad, magnetómetro, acelerómetro y giroscopio) que, junto con la recolección manual de algunos datos, alimentan un algoritmo de machine learning para resolver un problema multiclase. Otro enfoque indirecto es posible evidenciarlo en [9], en el cual se estima la ocupación por medio de un sistema que mide las vibraciones estructurales usando un geófono.

Por otra parte, en [10] plantean medir la ocupación de un salón de clases con tres alternativas, contador de haz infrarrojo (beam sensor), una cámara para contabilizar a las personas y un sensor térmico de techo. Debido a las restricciones de su dominio finalmente utilizaron el beam; este proyecto se convirtió en uno de los referentes importantes, debido a que también se centra en el ámbito de un salón de clases universitario, con ventajas como: relativamente bajo costo, facilidad de instalación, buena exactitud y alta protección de la privacidad.

Así mismo, en [11] plantean monitorear el aforo utilizando cámaras junto con otros sensores, sin embargo, la dificultad

que se reconoce al momento de aplicar un enfoque como este, sería el problema de privacidad que puede generar el uso de cámaras en espacios como estos.

B. Sistemas con uso de dispositivo terminal

En la línea de las mediciones usando dispositivos terminales hay prácticas tales como la propuesta en [12], donde se realiza el conteo de aforo utilizando las señales Wi-Fi que emiten los teléfonos móviles de las personas; o la que se expone en [13] en la cual utilizan wearables que cuentan con RFC y bluetooth, donde la persona al ingresar a un recinto acerca el dispositivo a una terminal que se encuentre en la entrada, llevando esto a que el wearable pase de un estado de bajo consumo, a un estado activo, y que desde ese momento periódicamente haga un censo de aquellos dispositivos que se encuentran a su alcance, finalmente, cuando alguien sale del recinto, y debido a que el wearable no recibe señales durante de un periodo de tiempo determinado, vuelve a un estado de bajo consumo de energía.

Los sistemas anteriormente expuestos son sólo algunos de los casos que se puede encontrar para dar solución al control de ocupación; en nuestro caso el reto reside en escoger un enfoque que sea factible debido a las restricciones mencionadas anteriormente, como son: el costo, la privacidad, la actualización en tiempo real y la aceptación por parte del público. Es teniendo en cuenta los tipos de contextos -tanto sociales como universitarios, en los cuales se van a llevar a cabo nuestro proyecto- que se desarrolla la estrategia de abordaje, debido a que no todos los contextos cuentan con características similares y cada uno tiene sus particularidades.

III. METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN

A. Metodología

Para llevar a cabo este proyecto se desarrolló una metodología basada en actividades a partir de los objetivos específicos propuestos. Para mayor control y granularidad, cada objetivo específico fue dividido en tareas concretas y verificables. Dichas tareas fueron agrupadas en 4 fases: Investigación, Diseño, Desarrollo y Validación, de la siguiente manera:

Fase de investigación

Dentro de esta fase se buscaba definir los requerimientos de un sistema de monitoreo de aforo de acuerdo con las condiciones sociales, económicas y culturales de la UdeA, así como, identificar posibles tecnologías para la implementación del sistema de tal manera que cumpliera los requerimientos mencionados anteriormente.

Fase de Diseño

Para esta fase se propuso, a partir de los resultados de la fase previa, diseñar una arquitectura para el sistema tal que asegurara el funcionamiento y cumplimiento de los requisitos.

Fase de Desarrollo

Aquí se llevó a cabo lo propuesto en el diseño por lo que se implementó un prototipo que incorporó las principales

funcionalidades necesarias para lograr un producto mínimo viable.

Fase de Validación

En esta fase se dieron las pruebas finales de funcionalidad con el sistema completo, su objetivo era validar el funcionamiento del prototipo en un ambiente controlado.

Para facilitar las actividades a lo largo de todo el proyecto se planteó usar técnicas pertenecientes a metodologías ágiles para la gestión de proyectos (principalmente SCRUM) apropiándolas según fuera adecuado. Siguiendo dichas técnicas, se realizaron reuniones semanales entre el asesor y los estudiantes (aparte de las reuniones de trabajo entre los estudiantes) para dar muestra de avances y encaminar los esfuerzos de las semanas posteriores. Adicionalmente, para mejorar la comunicación, la transparencia y la gestión del proyecto se utilizó la herramienta de tableros en línea Trello para manejar la información, definir tareas, realizar su estimación, priorizarlas, evaluar su completitud y que los miembros del equipo, así como el tutor tuvieran una única "fuente de la verdad".

Cabe anotar que para la fase de investigación se realizó la búsqueda principalmente en bases de datos especializadas y siendo de gran apoyo el gestor de referencia bibliográficas Zotero.

Para las fases de Diseño, Desarrollo y Validación fue especialmente útil el marco de trabajo SCRUM, ya que en estas fases se adoptó otra de sus características, el trabajo por sprint. En este caso, se llevaron a cabo dos sprints, en los que empezaba realizando las tareas más prioritarias, se revisaba su completitud y al finalizar realizaba un análisis retrospectivo de lo llevado a cabo, esto, de manera iterativa

B. Estrategia de solución

A partir de la revisión bibliográfica realizada y de un proceso de identificación del contexto universitario de la UdeA, se propusieron como requerimientos para la realización y puesta en marcha del sistema los siguientes criterios:

- 1) Que se tratara de una implementación de relativamente bajo costo.
- 2) Que este sistema no afectara la privacidad de las personas con las cuales se iba a implementar, en este caso en específico, la comunidad universitaria de la UdeA.
- 3) Que se tratara de un sistema fiable, estable, con alta disponibilidad y de rápida actualización.

Para la identificación de posibles tecnologías que contaran con estos criterios, se tuvieron diversas referencias las cuales se encuentran mencionadas en la sección TRABAJOS RELACIONADOS; a partir de estas referencias, se realizó un sondeo en el que participaron algunos miembros de la comunidad universitaria, esto con el objetivo de conocer la aceptación o no que tendrían las diferentes alternativas. En el sondeo mencionado, se les solicitó a los miembros de la comunidad universitaria que indicaran con un puntaje numérico de 1 a 5 que tan de acuerdo o en desacuerdo estaban con respecto al uso de algunas tecnologías para el control de aforo, siendo 1



Fig. 1. Distribución de participantes en el sondeo

muy en desacuerdo, 2 un poco en desacuerdo, 3 indiferente, 4 de acuerdo y 5 muy de acuerdo.

Dicho sondeo fue respondido por alrededor de 70 miembros de la comunidad universitaria pertenecientes a diferentes unidades o dependencias de la universidad, distribuidas tal y como se observa en la Figura 1.

Las opciones propuestas en el sondeo fueron: Cámara, Haz infrarrojo, Señales por medio del uso de teléfonos celulares, Sensor de gases, Geófono, Sensores térmicos y Registro con uso de la TIP (Tarjeta Integrada Personal) al momento de ingresar. A continuación, se presenta un resumen de los resultados de aceptación:

Dispositivo/Tecnología	Respuesta promedio
Registro con TIP	4.38
Sensores térmicos	4.22
Haz infrarrojo	4.16
Sensor de gases	3.87
Geófono	3.86
Señales de teléfonos	3.62
Cámara	3.54

Con base a estos resultados, se obtuvo que las tres opciones más aceptadas fueron:

- Registro con TIP
- Sensores térmicos
- Haz infrarrojo

Iniciando con la opción de la TIP, esta es una herramienta ampliamente usada por la comunidad universitaria, por lo que su implementación para este tipo de proyecto no sería demasiado traumática, adicionalmente, los lectores para estas tarjetas se ajustan al requisito en cuanto a no presentar costos excesivos.

Para el caso de los sensores térmicos, tenemos que estos favorecen la privacidad y tienen como ventaja el no uso de un dispositivo terminal, pero se presenta la dificultad de que su costo es alto, principal razón por la cual esta tecnología no fue tomada en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Para el caso específico del haz infrarrojo, este cumple con las características de costo y de privacidad, lo cual no genera

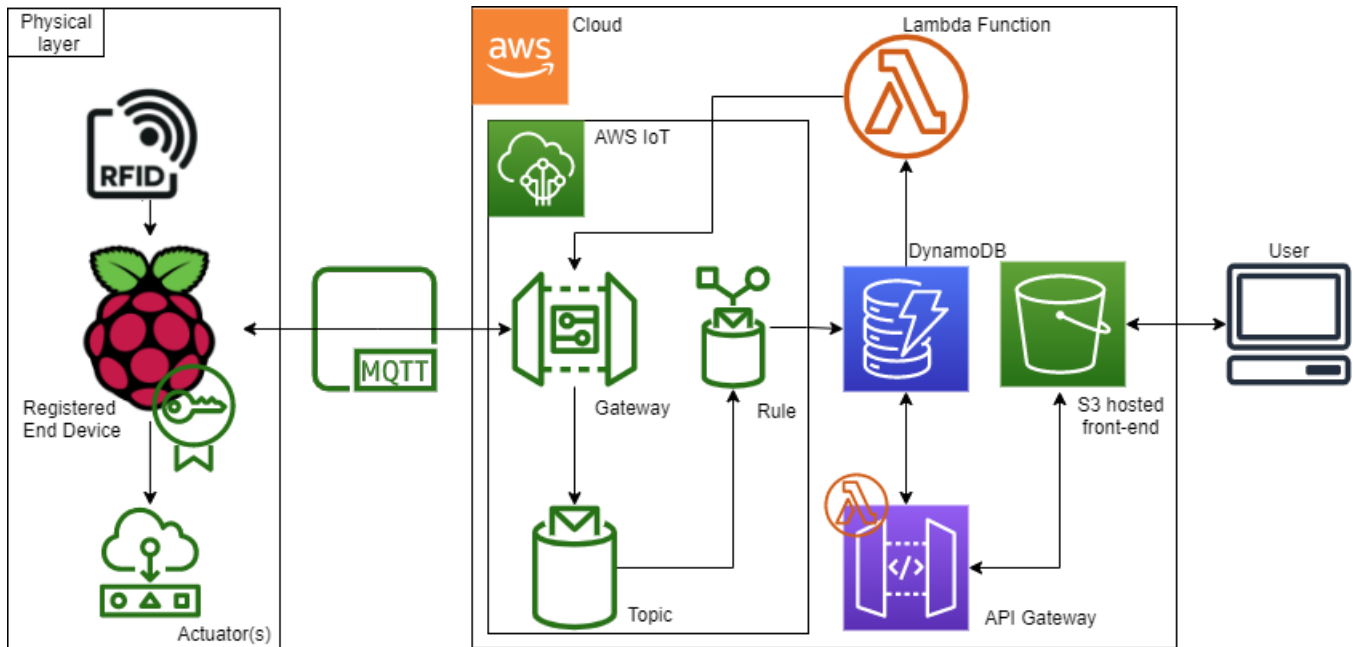


Fig. 2. Arquitectura propuesta

problema en su aceptación, es por ellos que en un principio fue tenido en cuenta para diseñar un sistema compuesto en el que se registrara el ingreso y salida de personas de un espacio usando esta tecnología en conjunto con el registro de TIP; sin embargo, debido a diversas limitaciones del proyecto, de las cuales se hablará en la sección de trabajo futuro, no se tuvo en cuenta para el desarrollo del sistema como un producto mínimo viable.

Finalmente, para el desarrollo del proyecto se plantea el diseño del sistema de tal manera que registre el ingreso y salida de personas utilizando un lector de RFID activado con la TIP; adicionalmente a esto, se propuso buscar soluciones en la nube para soportar el resto del sistema de información, debido a las características que pueden ofrecer en cuanto a fiabilidad, actualización y disponibilidad.

IV. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las actividades de los objetivos específicos 1 y 2 -revisión bibliográfica, identificación de particularidades del contexto, definición de requisitos, realización de sondeo- se lograron escoger características adecuadas y acordes para la realización y cumplimiento de los requisitos funcionales y del contexto, dando paso a la arquitectura del sistema que se puede observar en la Figura 2.

Es posible dividir la arquitectura en las siguientes 3 secciones:

A. Dispositivos físicos

En esta capa física se encuentran los actuadores, el dispositivo que realiza el conteo de personas y la Raspberry Pi (RPi) que se encarga de controlarlos y de comunicarse con los servicios del backend

B. Backend

Aquí están dispuesto servicios y tecnologías que soportan gran parte de la información del sistema, utilizando elementos de la nube (específicamente AWS) tales como AWS IoT, Amazon DynamoDB, AWS Lambda y Amazon API Gateway. Cumple con la función de recibir, almacenar, procesar y actuar con la información que llega desde los dispositivos físicos, así como de disponer servicios para interactuar con la información del sistema

C. Frontend

Desde aquí se consumen los servicios que provee el backend y se hacen disponibles al usuario final mediante un frontend alojado en Amazon S3

V. IMPLEMENTACIÓN

A. Dispositivos físicos

Para la implementación del proyecto, se tomó un lector RFID con el cual se leen las tarjetas. Al momento de ingresar a determinado espacio y poner la tarjeta en el lector, este registra un número (el UID de la tarjeta), el cual, al momento de salir y poner nuevamente la tarjeta en el lector, se borra del registro almacenado para indicar la salida. Este lector de tarjetas encuentra conectado a una RPi mediante una interfaz serial y es programado utilizando algunas librerías existentes en Python.

Para lograr la conexión con AWS IoT Core, fue necesario registrar el dispositivo desde la consola de AWS e incluir los certificados de seguridad en su memoria, posteriormente se debió importar el AWS SDK con el fin de programar la conexión con el servicio de nube y enviar los mensajes. Estos mismos mensajes se mandan por un Topic específico que

sigue el formato "occupancy/\${block}/\${room}" (para los del conteo de ocupación) y "alert/\${block}/\${room}" (para los de recepción de alertas) en donde block y room cambian según la ubicación del dispositivo.

Por los Topic de occupancy/ solo se envía un mensaje con formato JSON en el que se indica el número de personas en el recinto "{actual_occupancy: \${actual_occupancy}}", por lo que no se transmite información específica de quienes están dentro.

Por otra parte, los Topic de alert/ sirven para que dependiendo de la ocupación del aula se reciban mensajes con los niveles específicos actuales y dado el caso, se activen los actuadores, los cuales, para este prototipo se simulan con 3 luces LED, una verde para el nivel de ocupación cero, una amarilla para el nivel de ocupación uno y una roja para el nivel de ocupación dos.

B. Backend

En cuanto el mensaje MQTT enviado por el dispositivo a través del Topic occupancy/### es recibido en la capa de nube, el motor de reglas de IoT Core lo procesa para proceder a la modificación del ítem respectivo (correspondiente a bloque y salón) en la base de datos no relacional DynamoDB.

En la base de datos se encuentra activado el servicio DynamoDB Streams, con el cual se capturan los cambios, activando una función lambda cada vez que esto sucede. Es esta función la que, a partir de dichas modificaciones y teniendo en cuenta la información previamente definida para los espacios, calcula la ratio de ocupación y de acuerdo con parámetros dados determina cuál nivel de alerta (en este caso 50% para nivel 1 y 80% para nivel 2) enviar de regreso al dispositivo físico usando el Topic alert/###.

Para lograr consultar los datos externamente, se hacía necesaria la implementación de servicios que permitieran a un usuario final interactuar con la información contenida en DynamoDB. Tal y como se enuncia en la arquitectura, dicho requerimiento fue solventado usando Amazon API Gateway quien a su vez se vale de una función lambda para realizar las consultas a la base de datos.

Se definieron 4 endpoints para interactuar con la información en BD, 3 de consulta usando el método GET, /items, /items/\${block} y /items/\${block}/\${room}, para obtener respectivamente la información de todos los salones, los de un bloque específico y la de un único salón. El endpoint restante (nuevamente /items) utiliza el método PUT para crear y modificar espacios y su información (aforo total y capacidad de ocupación actual)

C. Frontend

Para que los servicios provistos desde API Gateway sean funcionales se debe disponer una página web que renderice o muestre la información. En el caso de este prototipo, esto se logra con un bucket de S3 en el que se alojan archivos estáticos (creados usando HTML, CSS, JavaScript y Bootstrap) correspondientes a la vista de la aplicación, quienes consumen la API y finalmente permiten que el usuario consulte la información del sistema.

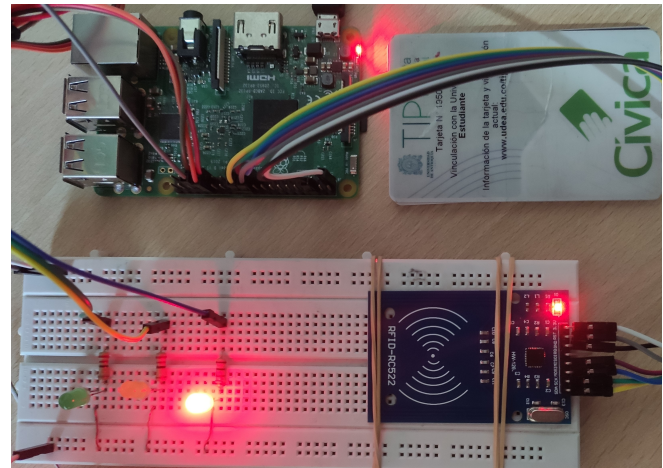


Fig. 3. Prototipo de la parte física del sistema

Por otra parte, cabe destacar que para los servicios de la nube y por propósitos de economía y teniendo en cuenta la utilización del prototipo, fue posible utilizar únicamente la capa gratuita de AWS e implementar correctamente dichos servicios (IoT Core, DynamoDB, Lambda, API Gateway y S3) siguiendo lo definido en la arquitectura.

Finalmente, en <https://github.com/sescobar99/PI-IoT-Aforo> es posible encontrar el código fuente del dispositivo físico, las funciones lambda, y el frontend

VI. VALIDACIÓN

Para la validación de este proyecto se fueron realizando pruebas funcionales a lo largo y al final de su desarrollo, a continuación se listan resultados prácticos significativos y comprobables:

- En la Figura 3 se puede observar la parte física del prototipo.
- En la Figura 4 se puede observar un resumen de la información de ocupación en el sistema.
- En la Figura 5 se puede observar el formulario de creación de espacios.
- Es posible acceder al frontend mediante <http://pi-iot-aforo-front.s3-website.us-east-2.amazonaws.com>

Nota : Para el primer y segundo ítem se realizó el ejemplo con el salón 3 del bloque 10 después de haber registrado 4 ingresos.

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Después de dar por terminado el desarrollo de este proyecto en el que se realizaron actividades tales como revisión de literatura, sondeo de opinión, definición de requisitos, diseño de solución, desarrollo en hardware, desarrollo en software e integración con la nube y finalmente validación de resultados, con el fin de obtener un sistema IoT para el control de aforo, podemos afirmar que el sistema propuesto es una solución viable que aunque llevada a cabo con herramientas

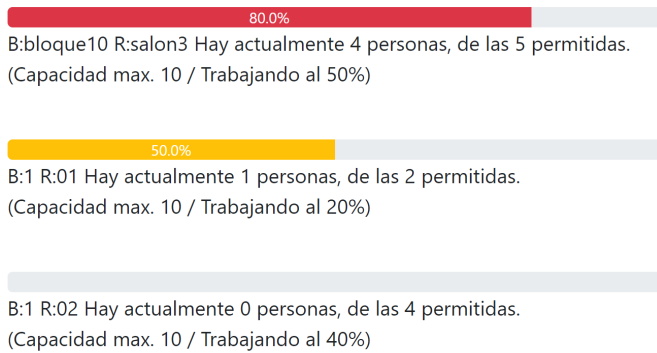


Fig. 4. Dashboard (frontend)

Ingresar Aula
Dashboard / Ingresar Aula

Bloque

Aula

Ocupación total

Cantidad

Guardar

Fig. 5. Ingresar aula (frontend)

no muy tradicionales en su contexto (principalmente dado por los servicios en la nube) ofrece unos resultados que, si se consideran pertinentes los beneficios que ofrece, sería posible su implementación en entornos reales o productivos en un futuro.

Sin embargo, el sistema actual es susceptible a varias mejoras tales como:

- La inclusión de un sensor de haz infrarrojo
- Mejoras en API y migración de implementación REST a WebSockets

A. Trabajo Futuro

En un primer momento se tenían intenciones de utilizar un sensor de haz infrarrojo (adicionalmente al de RFID) para poder detectar la entrada y salida de las personas del aula, sin embargo, al contemplar más detalladamente esta opción, se evidenció que el alcance de este proyecto no sería el suficiente como para poder cumplir con dicho propósito, puesto que el diseñar un algoritmo que pueda distinguir las entradas y salidas por medio de un arreglo de sensores de haz infrarrojo no es un problema banal.

Su complejidad reside en varios factores, tales como que se deben tener en cuenta las tasas de muestreo a las que se realiza la consulta de las señales que proporcionan estos dispositivos, señales que, a su vez deben sufrir una conversión analógica-digital para poder ser utilizadas. Adicionalmente existe la posibilidad de que se presenten diversas interferencias que llegarían a cambiar en situaciones específicas según el contexto en el cual se hiciera la implementación o el despliegue.

Situaciones para las que el sistema debería estar protegido si se espera un buen funcionamiento.

Es por los motivos mencionados que no se desarrolló el sistema incluyendo dicha tecnología, sin embargo, consideramos que podría ser una inclusión interesante para mejorar el proyecto a futuro.

Por otro lado, con el propósito de crear un producto viable y que cumpliera con los criterios establecidos, la API creada fue bastante básica ya que solo se definieron algunas operaciones de consulta y una operación de creación. A partir de esto, se considera que en un desarrollo futuro se deberían mejorar estas implementaciones definiéndolas de una mejor manera para permitir mayor flexibilidad u opciones en el sistema, y así mismo, definir seguridad para las operaciones sensibles. Otro punto importante es no implementarla como una API REST sino con Web Sockets para de esta manera permitir una actualización en tiempo real, lo cual es más acertado dadas las necesidades del proyecto.

REFERENCES

- [1] V. Chamola, V. Hassija, V. Gupta, and M. Guizani, "A comprehensive review of the COVID-19 pandemic and the role of IoT, drones, AI, blockchain, and 5G in managing its impact," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 90 225–90 265, 2020.
- [2] *COVID-19 What is Social Distancing and Self Quarantine?*, Johns Hopkins Medicine.
- [3] *Solución para el control de aforos*, Omega Compañía de Seguridad.
- [4] "La UdeA suspende clases presenciales," <http://bit.ly/2UeC66e>, accessed: 2021-3-21.
- [5] B. Abade, D. Perez Abreu, and M. Curado, "A Non-Intrusive approach for indoor occupancy detection in smart environments," *Sensors*, vol. 18, no. 11, Nov. 2018.
- [6] X. Tang and S. Mandal, "Indoor occupancy awareness and localization using passive electric field sensing," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 68, no. 11, pp. 4535–4549, Nov. 2019.
- [7] A. Parise, M. A. Manso-Callejo, H. Cao, M. Mendonca, H. Kohli, and M. Wachowicz, "Indoor occupancy prediction using an IoT platform," in *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, Oct. 2019, pp. 26–31.
- [8] R. Adeogun, I. Rodriguez, M. Razzaghpour, G. Berardinelli, P. H. Christensen, and P. E. Mogensen, "Indoor occupancy detection and estimation using machine learning and measurements from an IoT LoRa-based monitoring system," in *2019 Global IoT Summit (GloTS)*, Jun. 2019, pp. 1–5.
- [9] S. Pan, M. Mirshekari, J. Fagert, C. Ruiz, H. Y. Noh, and P. Zhang, "Area occupancy counting through sparse structural vibration sensing," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 18, no. 1, pp. 28–37, Jan. 2019.
- [10] T. Sutjarittham, H. H. Gharakheili, S. S. Kanhere, and V. Sivaraman, "Realizing a smart university campus: Vision, architecture, and implementation," in *2018 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, Dec. 2018, pp. 1–6.
- [11] F. Paci, D. Brunelli, and L. Benini, "0, 1, 2, many—a classroom occupancy monitoring system for smart public buildings," in *Proceedings of the 2014 Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing*, 2014, pp. 1–6.
- [12] B. S. Ciftler, S. Dikmese, I. Guvenc, K. Akkaya, and A. Kadri, "Occupancy counting with burst and intermittent signals in smart buildings," pp. 724–735, 2018.
- [13] T. M. Fernández-Caramés, I. Froiz-Míguez, and P. Fraga-Lamas, "An IoT and blockchain based system for monitoring and tracking Real-Time occupancy for COVID-19 public safety," *Engineering Proceedings*, vol. 2, no. 1, p. 67, Nov. 2020.