

DETECCIÓN DE AGLOMERACIONES BASADA EN TECNOLOGÍAS BLE

CROWD DETECTION BASED ON BLE TECHNOLOGIES

Edward David Montaña Gutiérrez

Universitaria Agustiniiana, Colombia
edward.montanog@uniagustiniana.edu.col

Carlos Andrés Gómez Ruíz

Universitaria Agustiniiana, Colombia
carlos.gomez@uniagustiniana.edu.col

Recepción: 28/octubre/2021

Aceptación: 21/diciembre/2021

Resumen

La pandemia del COVID19 ha traído una gran cantidad de retos a las industrias, entre ellos la necesidad de tener sistemas de información con capacidad de comunicar sobre la localización y concentración de personas, para la prevención de aglomeraciones, rastreo de contactos, etc. El objetivo principal de este proyecto es estudiar una posible solución tecnológica para la detección precisa de personas en un espacio cerrado por medio del uso de dispositivos BLE (Bluetooth Low Energy) y la recopilación de su identificador único UUID, MAC y RSSI; se diseñó un procedimiento para la recopilación de datos, su almacenamiento en base de datos con solución en la nube y su análisis. Los procesos de recolección y análisis de datos permitieron determinar la aglomeración, es decir, el sobre paso en el umbral de aforo de un espacio físico obteniendo así la información necesaria para alimentar cualquier sistema de alertas por aglomeraciones de personas.

Palabras Clave: Aglomeración, Beacon, BLE, RSSI.

Abstract

The COVID19 pandemic has brought a lot of challenges to industries, among them the need to have information systems with the ability to communicate about the location and concentration of people, for crowd prevention, contact tracing, etc. The main objective of this project is to study a possible technological solution for the

accurate detection of people in an enclosed space through the use of BLE (Bluetooth Low Energy) devices and the collection of their unique identifier UUID, MAC and RSSI; a procedure was designed for data collection, storage in a database with cloud solution and analysis. The data collection and analysis processes made it possible to determine crowding, i.e., the overpassing of the capacity threshold of a physical space, thus obtaining the necessary information to feed any alert system for crowding.

Keywords: *Beacon, BLE, crowding, RSSI.*

1. Introducción

La recopilación de datos en tiempo real para la detección masiva de personas ha ocupado diversas investigaciones que han abordado diferentes perspectivas de solución.

[Bluetooth®, 2021] Menciona que la pandemia de COVID-19 ha transformado nuestra forma de vivir. Las industrias, las oficinas, las escuelas, los restaurantes otros espacios laborales y hasta los mismos lugares públicos, se han visto en la necesidad de cerrar, como consecuencia afectando las economías y los establecimientos individuales. Los gobiernos y las organizaciones de todo el mundo prestan atención hacia el alivio de las restricciones del cierre, para permitir que la gente vuelva al trabajo mientras se reduce el riesgo de nuevos brotes. Aunque la esperanza es que una vacuna eficaz pueda ayudar a que la vida vuelva a la normalidad lo antes posible, el sistema de localización en tiempo real (RTLS), y otros proveedores de soluciones IoT de todo el mundo tienen la capacidad de ofrecer soluciones que pueden ayudar a facilitar esta transición. Esto incluye habilitar el lugar de trabajo, el rastreo de personal, el cumplimiento de la higiene y el control de acceso sin contacto adicionalmente al mismo tiempo, la combinación con la tecnología Bluetooth es una de varias tecnologías que pueden contribuir a ello. Se prevé que en 2025 habrá cerca de 550.000 miles de implantaciones de RTLS por Bluetooth en todo el mundo.

[Basalamah, 2016] presenta un proyecto de estudio de aglomeraciones en el que se busca utilizar los celulares como sensores de red para la identificación y

recolección de datos de la tecnología BLE, se busca diseñar una arquitectura sensorial para apoyar la detección y la recopilación de datos de las aglomeraciones de personas que utilizan las balizas BLE por medio de una aplicación móvil y se almacenaran los datos en un servidor web.

En la figura 1 se observa la arquitectura del sistema del proyecto, en el que se evidencia detalladamente el funcionamiento de Balizas BLE, aplicación Móvil y el almacenamiento de datos en el servidor web. La aplicación móvil en el celular realiza un escaneo continuo en busca de señales BLE y registrar sus direcciones MAC junto con las coordenadas GPS el cual transmitirá los valores a los servidores para su posterior procesamiento.

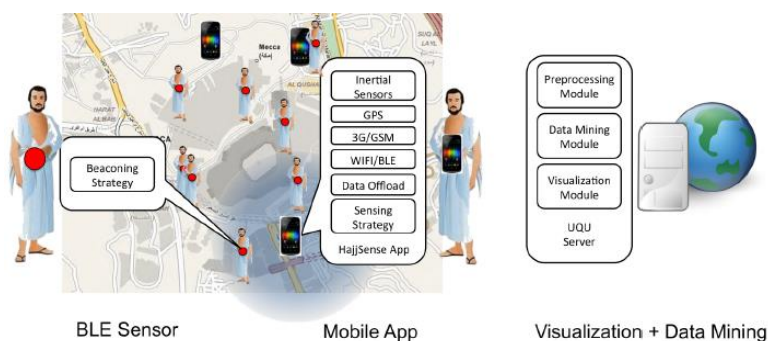


Figura 1 Arquitectura del sistema BLE [Basalamah, 2016].

Como resultado del proyecto se determinó que las balizas BLE fueron detectadas de manera correcta en un 90% de las que fueron distribuidas en las diferentes áreas, y adicionalmente determino que se pueden utilizar menos dispositivos móviles en la red para dichos escaneos posteriores.

[Yamin, 2018] motivado por las personas que han fallecido por aglomeraciones o estampidas, realizó un sistema de gestión y control en las multitudes, el cual está orientado a disminuir el riesgo de desastres y estampidas, y velar por la seguridad y bienestar en grandes multitudes y aglomeraciones, para esto se realizó un algoritmo para la detección temprana de las estampidas, un análisis de diferentes tipos de conectividad inalámbrica, tecnologías móviles y su integración a las demás herramientas, como también la comparación de WSN(Red de sensores) y RFID (Identificación por radiofrecuencia), adicionalmente la conexión de datos en la nube,

por último la creación de 4 aplicaciones móviles, que involucran informaciones sobre los problemas del paciente, donantes de sangre, quejas y alertas, y movilización y monitoreo de WSN y tarjetas RFID.

En la figura 2 se presenta la arquitectura e interfaces de las tecnologías que se implementaran en el sistema propuesto, el cual cuenta con el procesamiento de imágenes para detectar y prevenir las estampidas, detectando a una persona que deje de moverse dentro de una multitud, y calculando la probabilidad de una estampida debido a un cambio repentino en el número de cabezas en un segmento de una multitud y proporcionar una alerta para ese propósito, finalmente se procesaran los datos recopilados con las comunicaciones inalámbricas y computación móvil y los cuales se almacenaran para realizar la toma de decisiones pertinente [Yamin, 2018].

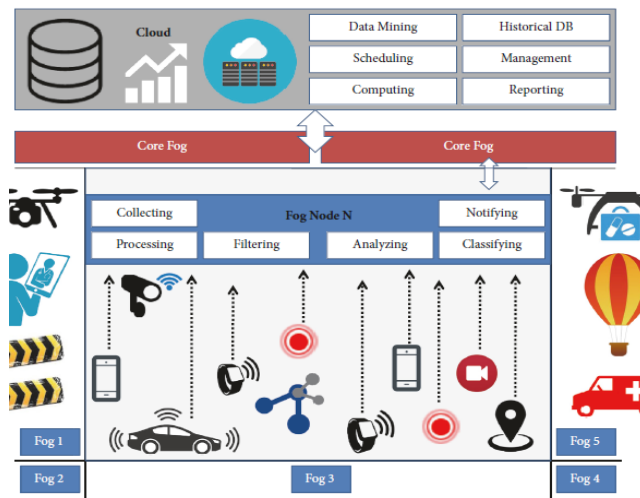


Figura 2 Integración de las tecnologías [Yamin, 2018].

[Georgievska, 2019] buscó estimar la distribución de la densidad en eventos multitudinarios mediante la localización anónima y no participativa de los teléfonos móviles en interiores cerrados, este busca utilizar un método probabilístico de la estadística y el análisis de Big Data, adicionalmente de cumplir con lo siguiente: la ambigüedad del posicionamiento en interiores basado en Wi-Fi, la aleatoriedad de la dirección MAC cuando un dispositivo no está conectado y la volatilidad en tiempos de llegada de paquetes.

Para el desarrollo de los puntos anteriores, el autor menciona que la solución al problema ambigüedad, aplicara los conceptos de la mecánica estadística, en vez de estimar la posición probable de un visitante en tiempo real, se crea una distribución de probabilidad evolutiva, la cual se encarga de colocar las posibles posiciones del usuario visitante.

El segundo reto se resuelve estimando la densidad de la multitud mediante la agregación de las distribuciones individuales, la dirección MAC revela si ha sido aleatorizada, para tener en cuenta el hecho de que una parte de los dispositivos no son rastreables.

Por último, usó un modelo de memoria basado en el tiempo de espera para tratar las tasas de señales volátiles [Georgievska, 2019].

Por su parte [Determe, 2020] realizaron un sistema de monitorización de multitudes basado en Wi-Fi que detecta solicitudes de sondeo (PR) en el aire. Las PR son paquetes de control Wi-Fi emitidos por equipos de usuario. Como los celulares móviles los cuales solicitan a los puntos de acceso cercanos que den a conocer su existencia. La velocidad de transmisión de PR es un indicador del número de celulares móviles con Wi-Fi activado en el área cubierta que, hasta un factor de extrapolación, se aproxima al número de asistentes. Así, el factor de extrapolación convierte la tasa medida de RP en un número de asistentes. Los aportes que se manejaron fueron los siguientes: un novedoso proceso de detección basado en Wi-Fi que aplica estrictas normas de privacidad, en las que incluye un análisis de complejidad de tiempo y espacio/memoria y una revisión de las características de privacidad, y una validación experimental del proceso de detección utilizando mediciones del mundo real de una biblioteca dotada de un sistema de recuento basado en cámaras. El montaje del sistema comprende de las siguientes características, un conjunto de sensores, un subsistema de procesamiento en un servidor central que recoge todos los PRB y los procesa en tiempo real, que adicionalmente anonimiza y vuelca los PRB. Todas las comunicaciones entre los sensores y el servidor central utilizan capas de autenticación; están aseguradas mediante HTTPS de este modo se encriptan los paquetes y se evitan los ataques de intermediarios.

2. Métodos

Este trabajo se realiza sobre el escenario de un ambiente industrial donde se desea detectar en tiempo real la localización masiva de trabajadores en un espacio cerrado. Como base se aborda un escenario donde los mencionados trabajadores hacen uso de implementos provistos por la industria, dentro de los cuales se incluye un pequeño dispositivo dotado con tecnología BLE.

Estos dispositivos BLE son pequeños sensores o balizas inalámbricas los cuales emiten una señal de radio de corto alcance con tecnología Bluetooth 4.0 (BLE – Bluetooth de baja energía), este se puede comunicar con los equipos móviles a una distancia de hasta 40 m. Inicialmente esta tecnología fue introducida en marketing, los cuales eran colocados en diferentes lugares físicos u objetos los cuales se conectaban o emitían un mensaje en los teléfonos inteligentes que pasaban cerca de los beacons ya instalados.

Esta tecnología tiene varias ventajas sobre el GPS, ya que en espacios cerrados puede encontrar la ubicación de una persona y de este modo proporcionar información que le interese al usuario, alguna característica muy importante es que los usuarios tengan instalada la aplicación la cual estén sincronizados con los beacons de los intereses necesarios, una vez hecho esto la comunicación entre estos dos medios será vía Bluetooth y se puede navegar en la App sin consumir los datos móviles.

Apple introdujo sus propios sensores en 2013, los iBeacons, capaces de comunicarse con los dispositivos que tienen sistema iOS7 [Sánchez, 2016].

Se usaron dispositivos Beacons Asset Tag, cuyas características se encuentran en la figura 3.



| Conectividad | |
|--|--|
| Bluetooth | Compatible con Bluetooth 4.2, compatible con Bluetooth 5 |
| Distancia | hasta 50 metros |
| Niveles de potencia de transmisión disponibles | 1 (-20dBm), 2 (-16dBm), 3 (-12dBm), 4 (-8dBm), 5 (-4dBm), 6 (0dBm), 7 (4dBm) |
| Sensibilidad | -96dBm |

Figura 3 Beacons Asset Tag. [kontakt.io, 2020].

Desarrollo de aplicación

Para la recolección de datos de los dispositivos BLE se realizó una aplicación móvil (APP) encargada de escanear los dispositivos, posteriormente detectar la MAC, el UUID y el RSSI que se encuentran en el directorio, para ser enviados en formato JSON por medio de POST a un servicio WEB, donde se almacenaran dichos datos mencionados anteriormente. La figura 4 muestra la sencilla interfaz de escaneo BLE desarrollada.

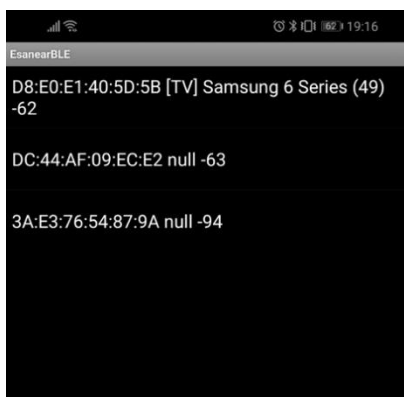


Figura 4 Lista de dispositivos BLE detectados.

Solución de almacenamiento y procesamiento en Nube

La solución sobre la detección de aglomeraciones, consta de un componente de almacenamiento y procesamiento, debido a la gran cantidad de datos recolectados por el APP y que precisan buenas capacidades de procesamiento para su análisis, para lograr guardar los datos se usa una solución en la cual mediante una conexión a internet se envíen los datos a una arquitectura ubicada en un proveedor de nube, en la figura 5 se observa el diagrama de red, en el cual se quiere dar a entender como fluyen los datos desde la App Móvil, hasta alojarse en una base de datos en un servidor virtual, y posteriormente se devuelva el dato que indica si se presenta aglomeraciones o no.

Por lo tanto, se decidió implementar un servidor en la Nube, para que los datos arrojados al realizar el escaneo de BLE, sean enviados a un servicio WEB previamente configurado por medio de apache y PHP, y posteriormente estos sean enviados a una base de datos MySQL, y así realizar el procesamiento y limpieza de

datos, por medio de una consulta o un algoritmo y lograr definir si estos formaban una aglomeración y enviar una alerta.

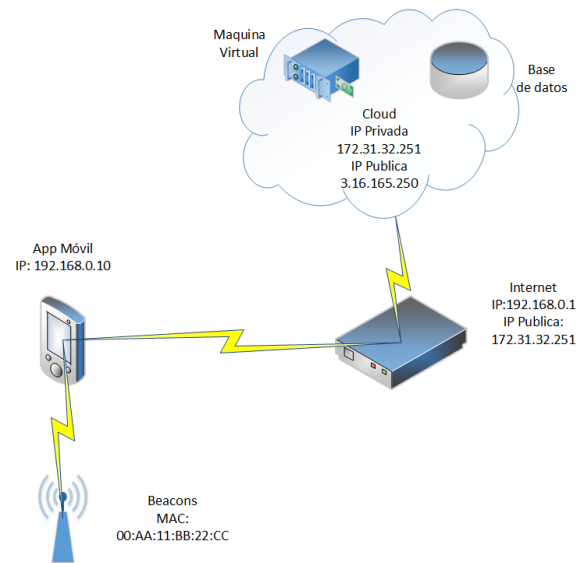


Figura 5 Diagrama de red.

Descripción del ambiente de pruebas

El espacio en el cual se llevaron a cabo las pruebas para medir la posible aglomeración (por lo menos a 2 metros (6 pies) de distancia de otras personas.), fue en espacio cerrado que cuenta con las siguientes características:

Dimensiones:

- Frente: 7 m
- Fondo: 15 m
- Alto: 2.5 m
- Área: 105 m²

Distribución:

- 3 habitaciones
- 1 cocina
- 1 baño
- 1 sala

En la figura 6 se observa la distribución del espacio en el que se realizarán las respectivas pruebas.



Figura 6 Distribución lugar de prueba.

Para el espacio usado, mostrado en la figura 7, se realizó el siguiente cálculo de aforo máximo de personas para el distanciamiento social:

- El espacio ocupado por una persona, el cual garantice una distancia de dos metros a cada lado, sería aquel generado por un área de $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$
- El cálculo se da dividiendo la superficie útil entre cuatro, es decir, en la habitación 1 se cuenta con un área de 35 m^2 , a esta se le resta las superficies ocupadas con mobiliarios, quedando un área de 30 m^2 , este valor se divide por 4, y este arrojará el total de la superficie útil y el aforo máximo en dicho lugar.

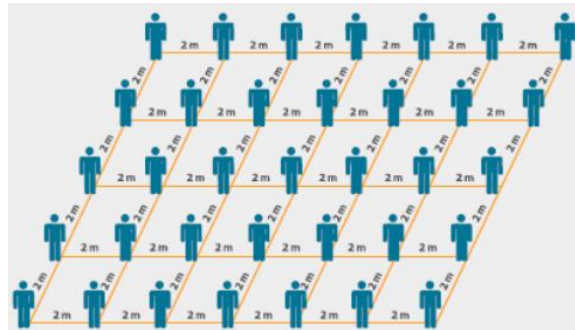


Figura 7 Distanciamiento social.

En cada muestreo de datos, Se dispone en el espacio de pruebas cierta cantidad determinada de dispositivos BLE. Se toman mediciones con el APP por 10 a 20 segundos, y estas posteriormente se almacenarán en la Base de datos.

3. Resultados

En la tabla 1 se resumen la cantidad de dispositivos BLE usados en las diferentes pruebas.

Tabla 1 Muestreo de datos.

| Pruebas | Cantidad de dispositivos BLE |
|---------|------------------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 5 |
| 3 | 10 |
| 4 | 15 |
| 5 | 20 |
| 6 | 22 |

Nota. Autoría propia. Determinar la cantidad de pruebas y dispositivos BLE que se utilizaran. En la tabla 2 se logran observar los datos recopilados en las pruebas realizadas.

Tabla 2 Datos recopilados.

| Pruebas | Cantidad de Datos Almacenados |
|---------|-------------------------------|
| 1 | 55 |
| 2 | 229 |
| 3 | 1015 |
| 4 | 2203 |
| 5 | 4906 |
| 6 | 7124 |

Análisis de datos

Se realizó el análisis, filtrado y tratamiento de los datos exportados de la base de datos, que guarda todas las direcciones MAC, UUID, potencia RSSI Y FECHAS de los datos recopilados en las pruebas realizadas con 25 dispositivos BLE.

Para determinar la forma en que es posible calcular los dispositivos BLE que se encuentran dentro y fuera del área de medición se realizaron experimentos como el

descrito en la tabla 3, en donde se ubicaron dispositivos dentro del área de estudio y otros más fuera de esta área. En estas pruebas los dispositivos BLE marcados como IN se dejaron en la habitación donde se encuentra el celular para realizar el escaneo, y los dispositivos BLE marcados como OUT, se fuera de dicho espacio para determinar el comportamiento de los dispositivos.

Tabla 3 Escenario de pruebas.

| Pruebas | Escenario | Datos recopilados |
|---------------|-----------------------|-------------------|
| 14 BLE | 7 BLE IN y 7 BLE Out | 75 datos |
| 15 BLE | 5 BLE In y 10 BLE Out | 190 datos |

La tabla 4 muestra un ejemplo de las muestras obtenidas en los escenarios estudiados, según lo descrito en la tabla 3.

Tabla 4 Muestra de datos en: escenario 7 dispositivos BLE In, 7 dispositivos BLE out.

| Identificación Única | Cantidad de muestras | Potencia RSSI |
|--|----------------------|---------------|
| f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e272062171 | 6 | -85 |
| f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e6388031069 | 8 | -73 |
| f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e4054547371 | 3 | -75 |
| f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e2049033842 | 6 | -76 |
| f7826da6-4fa2-4e98-8024-bc5b71e0893e3379457702 | 9 | -76 |
| 0x747830395675 | 9 | -84 |
| 0x58713746724e | 9 | -75 |
| 0x56335769566c | 10 | -75 |
| 0x783564523965 | 11 | -76 |
| 0x783564523965 | 1 | -71 |

De la tabla 4 se recopilan las potencias RSSI, y se realiza en análisis de Box Plot, como se evidencia en la figura 8 que grafica los resultados del escenario 7 dispositivos BLE In, 7 dispositivos BLE out. Con esto se permite identificar mediciones anómalas, y entender el comportamiento típico de las muestras.

Los valores atípicos encontrados mediante el análisis de boxplot son retirados de la muestra, ya que representan medidas que, por factores externos en la propagación de señales, han sido erróneas, y afectan el cómputo de las medidas típicas. Por lo anterior la detección de valores atípicos con boxplot configura la fase de limpieza de datos.

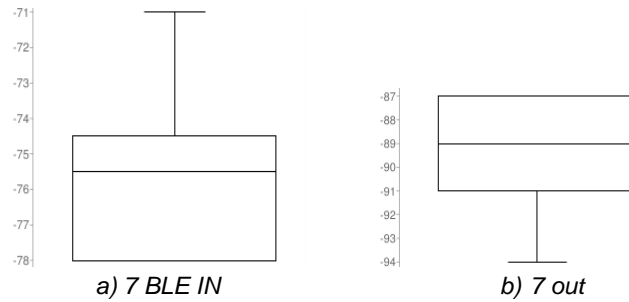


Figura 8 BoxPlot ejercicio.

La figura 9 muestra el análisis de boxplot para el escenario 5 BLE In y 10 BLE Out. Con los datos restantes se realiza un promedio aritmético, que permiten caracterizar la potencia representativa con la que es percibida la señal de cada dispositivo BLE, en el celular que usa el APP diseñada.

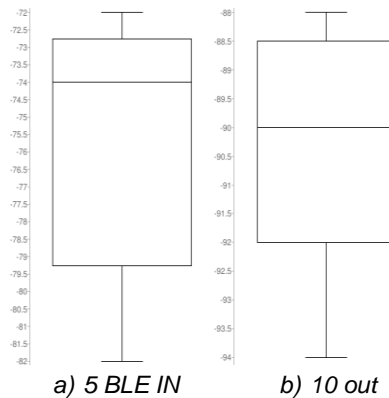


Figura 9 BoxPlot ejercicio.

4. Discusión

Al obtener una medida típica de la potencia de recepción de cada dispositivo BLE, en el equipo celular se analizan todas las potencias resultantes de todos los dispositivos BLE. En las pruebas realizadas, se logró identificar de una manera más precisa los dispositivos que se encontraban dentro de la habitación que se realizó el escaneo (7 IN), dando como resultado la detección de 10 dispositivos con protocolos iBeacon y Eddystone los cuales no sobrepasaron el promedio RSSI de -76 dBm. Los dispositivos que se encontraban fuera de la habitación (7 Out), se lograron identificar 15 dispositivos con los protocolos ya en mención, estos arrojándonos una potencia promedio de -86 dBm.

Por lo tanto, se concluye que los datos recopilados han sido más eficaces y claros, ya que estos no recopilan datos basura y se pueden filtrar por sus potencias RSSI y determinar cuántos dispositivos se encuentran en cierto entorno y determinar si hay alguna violación en el aforo permitido.

En el ejercicio anterior se realizó el análisis con los dispositivos en mención, (5IN) y (10 Out), para determinar si era posible su detección, se evidencia un correcto filtrado y análisis de los mismos, detectando todos los dispositivos en ambos protocolos y adicionalmente determinar cuáles se encontraban cerca de la aplicación y cuáles no, esto con un promedio de la potencia RSSI, en el cual los 5IN se obtuvo un valor de -76, y los dispositivos (10 Out) se obtuvo un valor de -90.

Por lo tanto, se concluye que los datos recopilados han sido más efectivos, ya que estos no recopilan datos de otros dispositivos BLE que se encuentren cerca a la App Móvil, y estos se pueden filtrar por sus potencias RSSI y así determinar cuántos dispositivos se encuentran en un ambiente cerrado y determinar si hay alguna violación en el aforo permitido.

En la tabla 5 se realizan los cálculos correspondientes de Aforo basado en 2 de los espacios ilustrados en la figura 6, los cuales trata de definir el aforo permitido de un lugar cerrado, se define el área del lugar, se le resta los obstáculos que se encuentren allí, y este valor se divide por 4, este será el aforo permitido de dicho lugar.

Tabla 5 Cálculo de Aforo.

| Lugar | Escenario 1 | Escenario 2 | Área | Aforo |
|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------|
| Habitación1 | 7 IN | 5 IN | 20 m ² | 4 |
| Habitación2 | 7 Out | 10 OUT | 30 m ² | 6 |

Estos análisis muestran que, haciendo un análisis básico sobre los niveles de potencia en los identificadores de cada Beacon, es posible detectar cuáles de estos están dentro del área cerrada donde se encuentra el dispositivo móvil con el APP diseñada, y cuáles dispositivos Beacon están fuera de esta área.

Este cálculo permite poder tener el conteo de las personas por entorno cerrado, y que esto se compare con el cálculo de aforo máximo fijado en ese mismo espacio.

Así, cuando la cantidad de dispositivos que según el análisis están dentro del entorno cerrado es mayor que la cantidad máxima de personas por aforo, se detecta la aglomeración de personas.

5. Conclusiones

Este cálculo permite poder tener el conteo de las personas por entorno cerrado, y que esto se compare con el cálculo de aforo máximo fijado en ese mismo espacio. El análisis del estado del arte logra evidenciar que las tecnologías planteadas y de las cuales se realizaron las respectivas investigaciones, son viables para hacer algún tipo de seguimiento o rastreo a personas u objetos, el cual estas soluciones tecnológicas BLE ya se han vendido desarrollando en la industria mundial y entornos académicos.

Una de las principales contribuciones de este trabajo ha sido entender como el nivel de potencia, RSSI, es una variable en el entorno de uso de dispositivos BLE que usualmente tiene poca aceptación dada su alta variabilidad en función de fenómenos del ambiente. Sin embargo, el análisis estadístico permite hacer detección de valores anómalos, filtrarlos y caracterizar valores típicos con base a datos históricos, para tomar decisión sobre presencia o ausencia de dispositivos cercanos. Estos métodos expuestos han permitido identificar los dispositivos cercanos o lejanos al área de interés, aún con la variabilidad de los datos de RSSI. Es posible realizar la detección de múltiples dispositivos Beacon o BLE, independientemente del protocolo que estos manejen, ya sea iBeacon o Eddystone, la App Móvil que se desarrolló, en este caso solo funciona como interface para la captura y visualización de los dispositivos encontrados y posteriormente sean enviados a un servidor en la nube dada la gran cantidad de información recopilada, para esto fue necesario implementar una estructura cliente-servidor, y así lograr aprovechar la gran capacidad de infraestructura y servidores completos

Se concluye que dependiendo de las medidas de bioseguridad que se tengan en un entorno, se puede definir el aforo permitido en un lugar cerrado, por lo tanto, el sistema implementado si permite en tiempo real identificar la posible violación de aforos permitidos y alertar a los encargados de controlar el tema de bioseguridad

en los ambientes con posibles aglomeraciones para que ellos tomen una decisión en tiempo real.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Basalamah, A., (2016). Sensing the Crowds Using Bluetooth Low Energy Tags. Saudi Arabia: IEEE Access s 4:1-1. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2594210.
- [2] Bluetooth®, (2021). Bluetooth. Obtenido de How Bluetooth®Technology is Enabling Safe Return Strategiesin a COVID-19 Era: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2021/01/MRN-How_Bluetooth_Technology_is_Enabling_Safe_Return_Strategies.pdf.
- [3] Georgievska, Rutten, Amoraal, Ranguelova, Bakhshi,de Vries, Lees, Klous, (2019). Detecting high indoor crowd density with Wi Fi localization: a statistical mechanics approach.
- [4] Sánchez Juárez, A., (2016). UOC. Obtenido de La tecnología beacons: una revolución en alza para la experiencia de usuario y las estrategias de marketing: <https://www.uoc.edu/portal/es/news/actualitat/2016/099-beacons.html>.
- [5] Yamin, B. A., (2018). Managing Crowds with Wireless and Mobile Technologies. Saudi Arabia. Wireless Communications and Mobile Computing.