

# Prototipo para la localización en interiores con BLE Beacons

Edison Rene Bermúdez Vargas<sup>1\*</sup>

## Resumen

La tecnología GPS se utiliza ampliamente en todo el mundo debido a sus capacidades de geo-localización, pero la falta de precisión en lugares cerrados, hace necesario el uso de tecnologías basadas en radiofrecuencia para lograr ubicación. Los Beacons BLE son dispositivos IoT que dan apoyo a la medición de intensidad de la señal a través de RSSI. De acuerdo con estos valores de RSSI y por medio de regresiones logarítmicas y el filtro de Kalman se puede determinar la distancia entre el Beacon y otro dispositivo con sólo una configuración inicial. Se utiliza este método para obtener las distancias entre un Beacon y tres dispositivos ubicados estratégicamente en un ambiente cerrado, con el fin de localizar un Beacon con un modelo de triangulación. Se presenta el desarrollo de un prototipo para la localización en interiores haciendo uso de Beacons BLE.

## Abstract

GPS technology is widely used around the world due its capabilities of geo-localization, but lack of accuracy in indoor places, requiring radiofrequency-based technologies. BLE Beacons are IoT devices that gives support for signal strength measurement through RSSI. According to these RSSI values and through Logarithmic Regressions and Kalman filter we can determine the distance between the Beacon and other device requiring only an initial configuration. We use this method to obtain the distances between a Beacon and three devices strategically located in an indoor room, in order to locate the Beacon with a trilateration model, developing a working prototype for indoor localization of BLE Beacons.

## Palabras Claves

BLE Beacons, Indoor localization, RSSI.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá, Colombia

\*Contacto: edison.bermudez@fuac.edu.co

## Índice

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1 Beacons BLE</b>	<b>2</b>
1.1 BLE (Bluetooth Low Energy) . . . . .	2
1.2 IBEACON . . . . .	3
1.3 RSSI . . . . .	3
1.4 Beacons en el mercado . . . . .	3
<b>2 RSSI y distancia</b>	<b>3</b>
2.1 Localización a partir de RSSI . . . . .	3
<b>3 Requerimientos del prototipo</b>	<b>3</b>
<b>4 Definición del prototipo</b>	<b>3</b>
<b>5 Desarrollo del prototipo</b>	<b>4</b>
<b>6 Conclusiones</b>	<b>7</b>
<b>7 Trabajo futuro</b>	<b>7</b>
<b>Referencias</b>	<b>7</b>

## Introducción

Internet de las cosas (IoT) es un concepto que describe como objetos físicos o "cosas" junto con sensores e interfaces de comunicación, permiten recolectar e intercambiar información

gracias a la Internet [1]. La información que puede brindar este objeto físico o "cosa" radica en su comportamiento. Por ejemplo, si el objeto físico se encuentra en movimiento, la información relevante generada sería su localización. De hecho, la localización de objetos en espacios cerrados actualmente es un tema de investigación, motivo por el cual la cantidad de tecnologías, productos y servicios asociadas a ello están viendo un aumento significativo. Actualmente para obtener la localización de un objeto físico se combinan varias tecnologías, tales como el GPS (Global Positioning System), WIFI y las redes de telefonía dependiendo su disponibilidad. Desafortunadamente en espacios cerrados esta localización pierde precisión y los datos no son confiables porque las señales GPS no se mueven fácilmente a través de objetos sólidos. Dado el contexto anterior, se han venido realizando investigaciones que han desarrollado tecnologías de posicionamiento en espacios cerrados. Estas tecnologías se encuentran divididas en cuatro categorías [2].

1. *Tecnologías basadas en radio frecuencia:* Se caracterizan por utilizar las señales de radio frecuencia para encontrar la posición del receptor, dentro de estas se encuentran GNSS/ Pseudolite, Difusión de Video Digital - Terrestre (DVB-T), WLAN y Bluetooth

2. *Tecnologías Dead Reckoning*: Se basan en el reconocimiento espacial por medio de sensores sin necesidad de referencias externas, se dividen en sistemas de navegación inercial y navegación por cámara.
3. *Posicionamiento multisensorial*: Se define, como la integración de varias tecnologías de localización buscando aumentar al máximo la precisión.
4. *Sistemas de posicionamiento de vigilancia*: Se refiere a ambientes inteligentes que proporcionan la localización gracias a los sensores del ambiente (sensores de piso, sensores de capacitancia, sensores infrarrojos).

De acuerdo a las tecnologías de posicionamiento se destaca la tecnología Bluetooth, dada la relación costo, precisión y disponibilidad.

En el año 2010 el Bluetooth Special Interest Group (SIG) introdujo una nueva especificación[3] que potencia las características del Bluetooth clásico llamado Bluetooth Low Energy o BLE; esta nueva tecnología construida para IoT y que como su nombre lo indica, posibilita la creación de dispositivos que usen Bluetooth reduciendo costos dado su bajo consumo de energía. Uno de estos dispositivos son los beacons BLE, los cuales detectan la **proximidad de objetos usando RSSI**<sup>1</sup>.

Según el escenario descrito anteriormente los beacons BLE y su capacidad de descripción de proximidad pueden dar solución a los problemas de localización en espacios cerrados.

Este artículo describe el desarrollo de un prototipo funcional para localización de beacons BLE en espacios cerrados y se encuentra organizado de la siguiente manera. En la Sección I se da una visión general acerca de los beacons BLE y su tecnología. En la sección II se define RSSI y su relación con la distancia. En la sección III se especifican los requerimientos del prototipo. En la sección IV se define el prototipo. En la sección VI se describe el desarrollo y su implementación. Finalmente en la sección V se presentan las conclusiones y en la sección VI se define el trabajo futuro.

## 1. Beacons BLE

En esta sección se describe el funcionamiento y tecnología relacionada con los beacons BLE, además se analiza los beacons presentes en el mercado.

### 1.1 BLE (Bluetooth Low Energy)

Es un estándar de comunicación entre aparatos inalámbricos desarrollado por Bluetooth Special Interest Group (SIG). Definido para sensores, actuadores y otros dispositivos que tengan bajo consumo de energía. Las características más importantes son:

- No tienen problema cuando existe gran cantidad de nodos.
- Robustez similar con el Bluetooth clásico.

<sup>1</sup>RSSI es la medida de intensidad de una señal

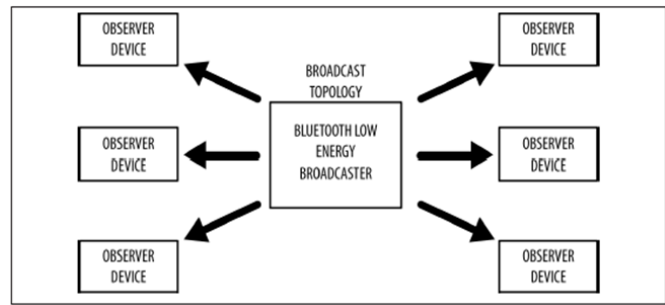


Figura 1. Topología de transmisión.

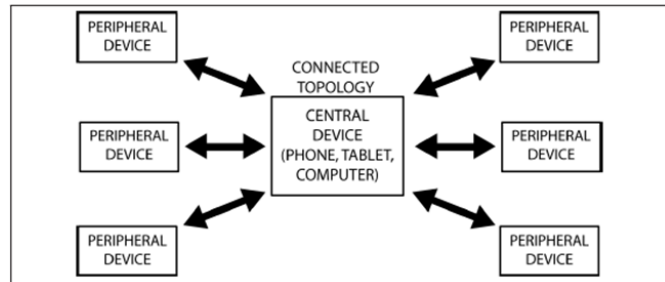


Figura 2. Topología de conexión.

- Soporte con smartphones y tablets.

El funcionamiento de un dispositivo BLE se especifica por medio de la pila de protocolos y la forma de comunicación con su topología de red.

1. **Topología de red** Un dispositivo BLE puede comunicarse con el mundo exterior de dos maneras: *a topología de transmisión (figura 1)[4]*: Es una transmisión unidireccional y tiene los siguientes roles:

- Rol de Transmisor: Envía paquetes periódicamente a quien lo pueda recibir
- Rol de Observador: Escanea las frecuencias presentes para recibir datos.

*La topología de conexión (figura 2)[4]*: Es una transmisión bidireccional.

- Rol de Maestro (Central): Escanea las frecuencias presentes para que cuando sea apropiado inicien una conexión. Una vez establecida la conexión este maneja el timing e inicia el intercambio de datos.
- Rol de Esclavo (Periférico): Envía paquetes de conexión y acepta conexiones entrantes, el esclavo sigue el timing del maestro e intercambia datos con este.

2. **Pila de protocolos** La pila de protocolos se divide en tres partes: controlador, host y aplicaciones. Cada una de ellas se divide en diferentes capas que proveen la

funcionalidad de operación. Dentro de estas capas se encuentra la capa de conexión que es la capa que envía paquetes de información.

## 1.2 iBEACON

Es un estándar desarrollado por Apple que añade información a los paquetes BLE. El modelo iBeacon ofrece una variedad de nuevas posibilidades para conectar dispositivos. Dentro de las características más relevantes es la de añadirle a la capa de conexión cuatro parámetros extra que son:

- **UUID de proximidad:** Un valor único que identifica uno o más beacons a partir de cierta organización.
- **Mayor:** Valor opcional que puede agrupar beacons relacionados que tengan el mismo UUID.
- **Menor:** Valor que diferencia beacons con el mismo UUID.
- **RSSI:** Programado dentro del beacon facilita o determina la distancia desde el beacon a partir de la fuerza de señal.

## 1.3 RSSI

RSSI es una escala que significa un nivel de potencia de señal de un dispositivo inalámbrico. Según el estándar 802.11 la exactitud absoluta de lectura de RSSI no es especificada.

Ejemplo de funcionamiento de un beacon BLE.

- Los beacons BLE envían señales de acuerdo al estándar BLE.
- La señal es detectada por un dispositivo inteligente.
- Acorde con la señal el dispositivo genera una notificación.

Las notificaciones del dispositivo varían de acuerdo la información enviada en la señal. La información de proximidad está definida por RSSI.

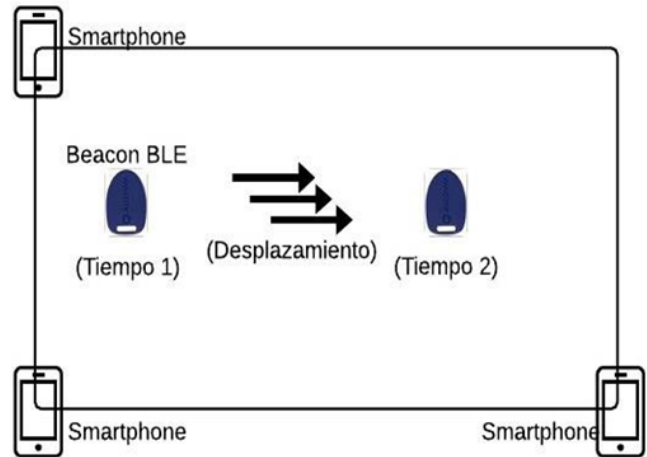
## 1.4 Beacons en el mercado

*Estimote Beacon:* Desarrollados por la empresa Estimote, cuenta con un SDK que permite obtener distancias según su propio modelo de pérdida de señal. La fórmula para el cálculo no es pública y no se puede adaptar a diferentes ambientes de espacios cerrados. Tienen un costo elevado.

*Gimbal Proximity Beacon:* Son beacons BLE fabricados por la empresa Gimbal que soportan el estándar BLE y el estándar iBeacon. Tienen su propio SDK gestionado en la plataforma Gimbal Manager. No poseen un método propio de cálculo de distancias. Son económicos.

## 2. RSSI y distancia

Dada la especificación RSSI según la 802.11 no existe una ecuación general para el cálculo de las distancias. Pero si existen modelos determinísticos que ayudan a transformar RSSI en distancia.



**Figura 3.** Propuesta de la solución beacon en movimiento.

## 2.1 Localización a partir de RSSI

**Atenuación por espacio libre:** Este modelo apoyado en el RSSI sigue una pérdida normal de señal distribuida sobre su distancia (Ecuación 1).

$$RSSI = RSSI_0 - 10 * n * 10 * \log_{10}\left(\frac{d}{log_{10}}\right) - X_g \quad (1)$$

En donde  $n$  se define como una constante de pérdidas de propagación relacionada con el ambiente. La atenuación de la señal en el espacio libre puede ser afectada por reflexión, refracción, difracción, scattering, multitrayecto, orientación relativa entre emisor/receptor.

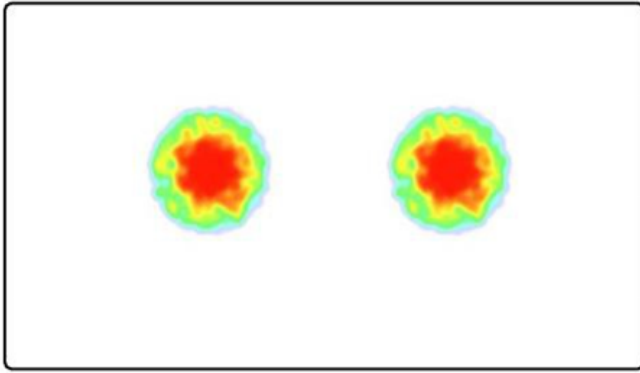
## 3. Requerimientos del prototipo

De acuerdo a las tecnologías de localización y teniendo en cuenta que se busca realizar un prototipo funcional para localización de beacons BLE se especifican los siguientes requerimientos para su desarrollo.

- **Marco de referencia:** Es aquel que delimita el lugar sobre el cual se realizará el análisis del objeto.
- **Objeto de referencia:** Es el centro de la información, tiene la capacidad de indicar su posición respecto a un marco de referencia.
- **Contexto visual:** Es la representación de las coordenadas generadas por el objeto de referencia.
- **Interoperabilidad:** El sistema debe permitir conectar diferentes dispositivos.

## 4. Definición del prototipo

Conforme a la sección anterior se especifican los requerimientos de la siguiente manera:



**Figura 4.** Mapa de calor resultado de la localización del beacon BLE en movimiento.

- Marco de referencia: Espacios cerrados.
- Objeto de referencia: Beacon BLE para este caso Gimbal Proximity Beacon que son detectados por smartphones (Figura 3).
- Contexto visual: Debido a su fácil comprensión se utiliza un mapa de calor como resultado del desplazamiento de los beacons BLE en su marco de referencia. Por ejemplo la Figura 4 es el resultado de los desplazamientos de la Figura 5. En síntesis, el prototipo es el resultado de la construcción de un mapa de calor a partir de la información recibida por smartphones, que a su vez funcionan como observadores de dispositivos beacons BLE (Gimbal Proximity Beacons)
- Interoperatividad: El modelo de comunicación entre aplicaciones será un API web.

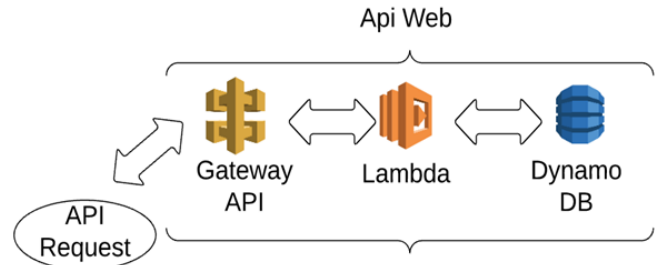
## 5. Desarrollo del prototipo

En esta sección se determinan las etapas del desarrollo del prototipo funcional.

1. **Calcular distancias a partir de RSSI** Es conocido que los valores RSSI son caóticos<sup>2</sup>[5] por este motivo para corregir este inconveniente se implementará un Filtro de Kalman que permita aproximar o estimar estos valores.
  - *Filtro de Kalman:* Es un algoritmo que implementa un estimador que es predictor y corrector utilizando modelos de espacio de estado [6].

Por otro lado se tienen en cuenta dos factores. (1) la atenuación de la señal en el espacio libre se ve afectada por múltiples factores (reflexión, refracción, difracción,

<sup>2</sup>Se define como caótico el comportamiento de los RSSI debido a que a determinada distancia puede tener valores aleatorios.



**Figura 5.** AWS API Rest.

scattering, multitrayecto, orientación relativa entre emisor/receptor) y (2) de acuerdo a la ecuación de atenuación por espacio libre se identifica que el comportamiento de la distancia y RSSI es de carácter logarítmico entonces:

- *Regresión logarítmica:* Se concluye que mediante la recolección de datos iniciales se puede generar una ecuación de distancia de RSSI gracias a una regresión logarítmica.

En resumen, el cálculo de la distancia se realizará mediante el filtro de Kalman y una regresión logarítmica.

2. **Arquitectura** Se entiende que el cálculo de las distancias necesita de dos fases por ende el prototipo necesitará también de dos aplicaciones que permitan visualizar los valores en tiempo real. Por este motivo y buscando la modularidad del prototipo se define que la manera de comunicar estos dispositivos será por medio de un API Web; este API Web fue desarrollado con la arquitectura proporcionada por AWS (Amazon Web Services) definida en los siguientes componentes [7]:

- *Gateway API:* Es un servicio que permite administrar RESTful APIs.
- *Lambda:* Es un servicio que permite ejecutar código, usando la infraestructura AWS.
- *DynamoDB:* Base de datos NoSQL.
- *AWS API Rest:* Es un endpoint desarrollado con Amazon Web Services (AWS). Básicamente, es un API Rest encapsulado entre servicios AWS como lo son Gateway API, Lambda y DynamoDB (Figura 5).

El beacon BLE se encontrara en movimiento y existirán dispositivos móviles (smartphones) fijos en el ambiente que harán la función de access point. Estos dispositivos móviles a su vez mediante un API almacenaran la información generada tanto de los Beacons BLE como de los smartphones. Por otro lado un computador también estará consultando la información en tiempo real permitiendo obtener una información actualizada de la localización del beacon BLE.

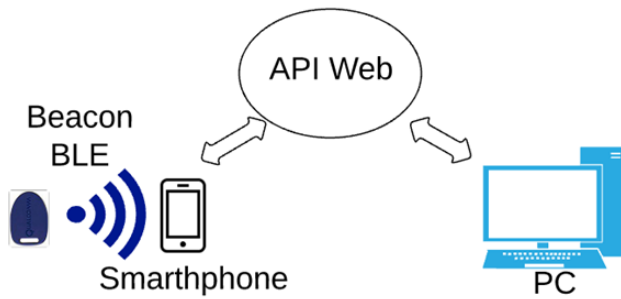


Figura 6. Comunicación al API.

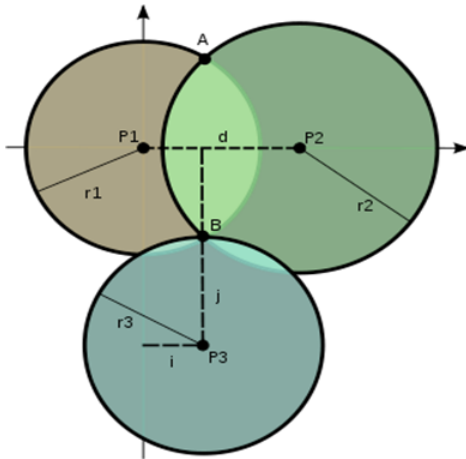


Figura 7. Trilateración.

3. **Mapa de calor** Ya definidos los mecanismos de cálculo de distancias se procede a realizar la ubicación de los beacons en el mapa de calor. Para esto se utilizara la técnica de Trilateración.

- **Trilateración:** Es una técnica de posicionamiento utilizada en localización de espacios cerrados[4] [8], que mide distancias de un punto a mínimo 3 referencias cuyo alcance se representan con círculos y la intersección los tres círculos indican la ubicación del punto como se muestra en la figura 7.

Esto significa que las referencias para realizar la Trilateración serán los smartphones y el punto a localizar será el beacon BLE.

4. **Fases del prototipo** El prototipo se realizó en dos fases:

- **Configuración:** Sera la fase en la cual se generan las ecuaciones de distancia a partir de RSSI.
- **Representación:** En esta fase se representara la localización de un beacon BLE en un mapa de calor. Todos los datos obtenidos en tiempo real serán procesados de acuerdo a la etapa de configuración y se mostrara en pantalla.

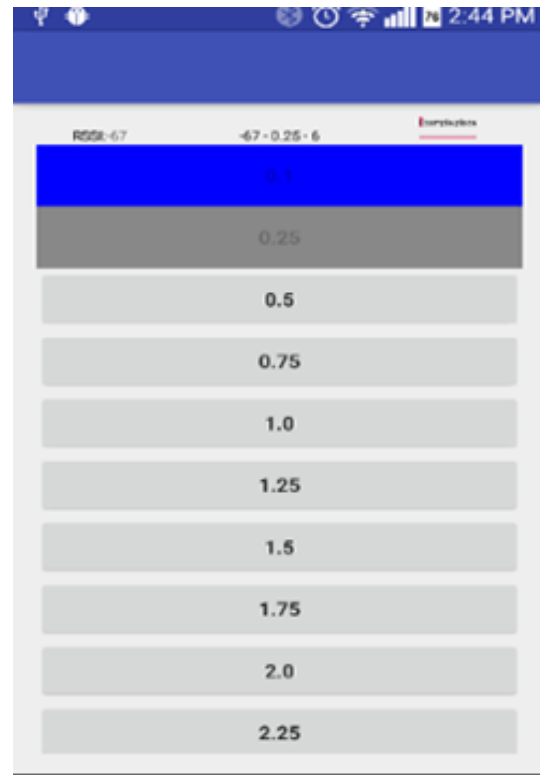


Figura 8. Aplicación móvil - Configuración.

## 5. Aplicaciones

- **Fase de configuración** En esta fase se realiza el proceso de generación de ecuaciones para determinar el entorno y se compone de dos aplicaciones. En primer lugar una aplicación móvil para el envío de datos y en segundo lugar una aplicación web para realizar cálculos y visualizar los resultados.

*Aplicación móvil de Configuración (Android):* Esta aplicación se encargará de enviar cada 0.25 metros 10 valores de RSSI recibidos (Figura 8). Envía los datos mediante peticiones HTTP al API Web.

*Aplicación web de Configuración (Web-Based):* Se desarrolló en HTML y JavaScript. Mediante el API Web recibe los parámetros y realiza los cálculos para generar las ecuaciones de distancia a partir de RSSI usando mecanismos de regresión logarítmica (Figura 9). Estas ecuaciones generan tablas de representación que son almacenadas en base de datos gracias al API Web. Fig. 9. Ahora, el proceso para configurar un beacon BLE en el ambiente, es el siguiente:

- Aplicar el filtro de Kalman a los RSSI recibidos.





Figura 9. Aplicación web-Configuración.

- Realizar una regresión lineal que describa la ecuación para el beacon BLE, entorno y smartphone.
- **Fase de representación** Es la fase final del prototipo la cual recolecta la información de proximidad de los Gimbal Proximity Beacon para luego ser representados en un mapa de calor. El proceso para la representación es el siguiente.
  - Obtener los datos de RSSI.
  - Almacenar los datos en intervalos.
  - Aplicar el filtro de Kalman.
  - A los resultados obtenidos transformarlos a distancia gracias a las tablas de representación generadas en la etapa de configuración.
  - Indicar las coordenadas de los smartphones y usar Trilateración.
  - Construir el mapa de calor con los datos calculados.

*Aplicación móvil de Representación (Android):* Se encarga de enviar datos importantes como son: El nombre del beacon BLE, los RSSI recibidos, indicar nombre el ambiente en el que se encuentra (Figura 10) e identificar el dispositivo móvil. Esta aplicación envía los datos mediante peticiones HTTP al API Web.

*Aplicación web de Representación (Web Based):* Se desarrolló en HTML y JavaScript. Se encarga de recibir los datos y realizar el mapa de calor.

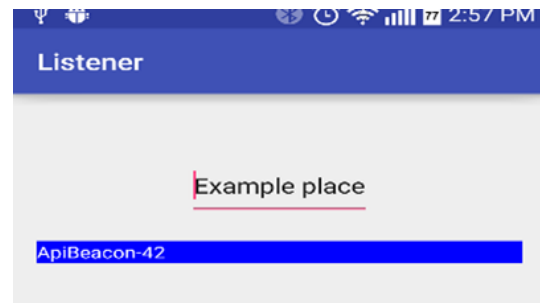
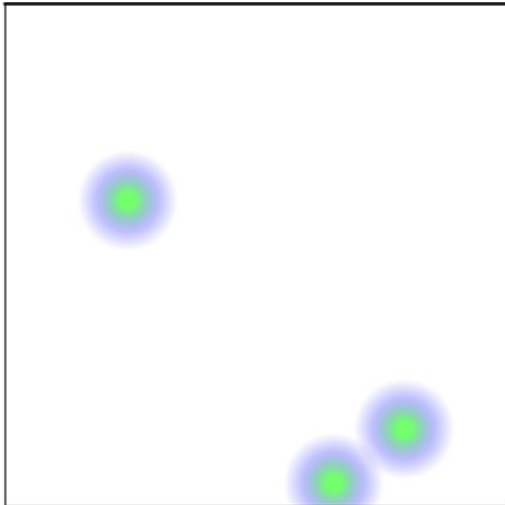


Figura 10. Aplicación móvil - Representación.

Min time	Max time	359291053440675	358978063017037	358300050461666
05/07/2016 at 7:50:38	05/07/2016 at 7:51:38	873	333	185
05/07/2016 at 7:51:38	05/07/2016 at 7:52:38	686	350	435
05/07/2016 at 7:52:38	05/07/2016 at 7:53:38	689	331	393
05/07/2016 at 7:53:38	05/07/2016 at 7:54:38	758	308	392
05/07/2016 at 7:54:38	05/07/2016 at 7:55:38	663	300	450
05/07/2016 at 7:55:38	05/07/2016 at 7:56:38	641	777	305

Figura 11. Aplicación web, datos entre intervalos – Configuración.



**Figura 12.** Aplicación web, mapa de calor - Configuración.

Debido a que el comportamiento de los RSSI son caóticos, se necesitan una gran cantidad de valores para procesar datos válidos, por este motivo en la aplicación se permite parametrizar los intervalos (Figura 11), en los cuales se van a aplicar el Filtro de Kalman para generar los datos de localización. Como resultado se obtiene un mapa de calor que se muestra en la Figura 12.

## 6. Conclusiones

La naturaleza de los beacons BLE permiten entender como la comunicación entre dispositivos a través de la internet permite generar espacios inteligentes en tiempo real. Sin embargo en las pruebas preliminares se identificó que para obtener datos validos se necesitan una gran cantidad de registros para su configuración, por este motivo se concluyen que él prototipo funcional debe ser de fácil uso que permita registrar las gran cantidad de parámetros iniciales que se necesitan para su funcionamiento y además debe ser adaptativo, dado que el comportamiento de los RSSI obtenidos cambia por ambiente.

## 7. Trabajo futuro

Realizar pruebas de localización en varios ambientes que permitan identificar la precisión en los ambientes generados.

## Referencias

- [1] Adrian McEwen and Hakim Cassimally. *Designing the internet of things*. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Anahid Basiri, Elena Simona Lohan, Pedro Figueiredo e Silva, Pekka Peltola, Chris Hill, and Terry Moore. Overview of positioning technologies from fitness-to-purpose point of view. In *International Conference on Localization and GNSS 2014 (ICL-GNSS 2014)*, pages 1–7. IEEE, 2014.

- [3] SIG Bluetooth. Specification of the bluetooth system-covered core package version: 4.0, 2010.
- [4] Kevin Townsend, Carles Cufí, Robert Davidson, et al. *Getting started with Bluetooth low energy: tools and techniques for low-power networking*. ” O’Reilly Media, Inc.”, 2014.
- [5] Yu-Cheol Lee and Seung-Hwan Park. Rssi-based fingerprint map building for indoor localization. In *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2013 10th International Conference on*, pages 292–293. IEEE, 2013.
- [6] Víctor Alfonso Ortiz Bravo, Manuel Antonio Nieto Arias, and Jose Ancizar Castañeda Cardenas. Análisis y aplicación del filtro de kalman a una señal con ruido aleatorio. *Scientia Et Technica*, 18(1):267–274, 2013.
- [7] Aws documentation.
- [8] Tengqingqing Ge. Indoor positioning system based on bluetooth low energy for blind or visually impaired users: Running on a smartphone. 2015.