

# Evaluación de modelos de aprendizaje automático para posicionamiento indoor utilizando Bluetooth low energy

## Trabajo de Memoria

Felipe Berrios Toloza

Universidad Técnica Federico Santa María

*felipe.berriost@alumnos.usm.cl*

11 de abril de 2018

# Tabla de Contenidos

- 1 Introducción
  - Definición del problema
  - Objetivos
- 2 Estado del Arte
  - Tecnologías para posicionamiento *indoor*
  - Técnicas matemáticas Wireless para localización indoor
- 3 Propuesta de solución
  - Consideraciones Previas
- Descripción del *framework* de posicionamiento
- Tecnologías que permiten la geolocalización
- 4 Diseño del Estudio
  - Cualidades y costos de tecnologías
  - Lugar del estudio
- 5 Implementación
  - Requerimientos
  - Ejecución
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

# Tabla de Contenidos

- |          |                              |          |                           |
|----------|------------------------------|----------|---------------------------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>          | <b>4</b> | <b>Diseño del Estudio</b> |
| ■        | Definición del problema      | <b>5</b> | <b>Implementación</b>     |
| ■        | Objetivos                    | <b>6</b> | <b>Resultados</b>         |
| <b>2</b> | <b>Estado del Arte</b>       | <b>7</b> | <b>Conclusiones</b>       |
| <b>3</b> | <b>Propuesta de solución</b> |          |                           |

# Introducción

## Geolocalización

- Desde la edad antigua, múltiples formas de localización han sido desarrolladas.
- Dentro de los avances más importantes en este ámbito, es el desarrollo de la teoría científica y técnica denominada georreferenciación.
- Gracias a GPS, el crecimiento y acceso de la georreferenciación y navegación está en progresivo aumento.
- Motivación: Georreferenciar dentro de una explotación minera, donde no hay alcance de señales GPS.

## Definición del problema

- Es necesario posicionamiento en interiores (Mall, Evacuación, Mineras, edificios subterráneos)

# Definición del problema

- Es necesario posicionamiento en interiores (Mall, Evacuación, Mineras, edificios subterráneos)
- Cuando se usa tecnología GPS dentro de edificios o bajo tierra, existen muchos obstáculos e interferencia que imposibilitan su uso.

# Definición del problema

- Es necesario posicionamiento en interiores (Mall, Evacuación, Mineras, edificios subterráneos)
- Cuando se usa tecnología GPS dentro de edificios o bajo tierra, existen muchos obstáculos e interferencia que imposibilitan su uso.
- Sistemas de posicionamiento actuales (IPS) presentan problemas ya que confían en indicadores que son afectados por ruido como el indicador de fuerza de la señal (RSSI).

# Definición del problema

- Es necesario posicionamiento en interiores (Mall, Evacuación, Mineras, edificios subterráneos)
- Cuando se usa tecnología GPS dentro de edificios o bajo tierra, existen muchos obstáculos e interferencia que imposibilitan su uso.
- Sistemas de posicionamiento actuales (IPS) presentan problemas ya que confían en indicadores que son afectados por ruido como el indicador de fuerza de la señal (RSSI).

**Problema: Mejorar exactitud de sistemas de posicionamiento en interiores mediante modelos que aprendan de las señales**



# Objetivos

- Diseñar un método de mapeo para un área mediante señales RSSI (*fingerprint*).

# Objetivos

- Diseñar un método de mapeo para un área mediante señales RSSI (*fingerprint*).
- Comparar métodos de aprendizaje automático sobre mediciones RSSI para determinar cuál posee menor error y es más exacto.

# Objetivos

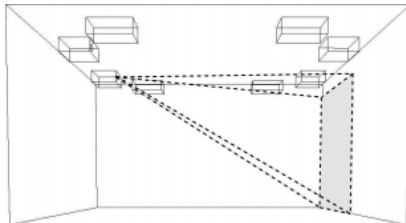
- Diseñar un método de mapeo para un área mediante señales RSSI (*fingerprint*).
- Comparar métodos de aprendizaje automático sobre mediciones RSSI para determinar cuál posee menor error y es más exacto.
- Determinar que tanto afectan los métodos de reducción de dimensionalidad tanto en precisión, error y tiempo de procesamiento para los algoritmos de máquinas de aprendizaje estudiados.

# Tabla de Contenidos

- |   |   |   |                       |
|---|---|---|-----------------------|
| 1 | Introducción  | 3 | Propuesta de solución |
| 2 | Estado del Arte <ul style="list-style-type: none"><li>■ Tecnologías para posicionamiento <i>indoor</i></li><li>■ Técnicas matemáticas Wireless para localización indoor</li></ul> | 4 | Diseño del Estudio    |
|   |   | 5 | Implementación        |
|   |   | 6 | Resultados            |
|   |   | 7 | Conclusiones          |

# Tecnologías para posicionamiento *indoor*

## Basado en Visión



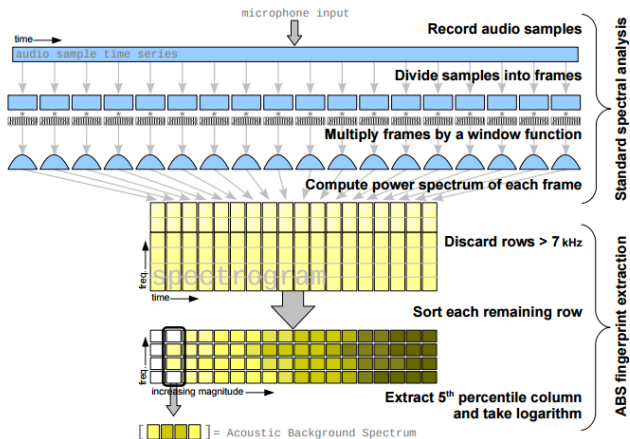
## Tecnologías para posicionamiento *indoor*

### Infrarrojo

- Transmisor infrarrojo con un identificador único.
- Receptores son colocados en lugares dentro del recinto, los cuales pueden detectar este identificador único y comunicar a un software especializado.
- No se afecta por interferencia electromagnética. Costoso y complejo.

# Tecnologías para posicionamiento *indoor*

## Tecnologías basadas en Sonido



## Tecnologías para posicionamiento *indoor*

### RFID

- La localización mediante RFID puede categorizarse en dos tipos, los cuales son localización del lector y localización de tags.
- Costoso y no escalable.
- Poco alcance, sin embargo no necesita linea de visión directa.



# Tecnologías para posicionamiento *indoor*

## Tecnologías Inalámbricas

### Received Signal Strength Indicator

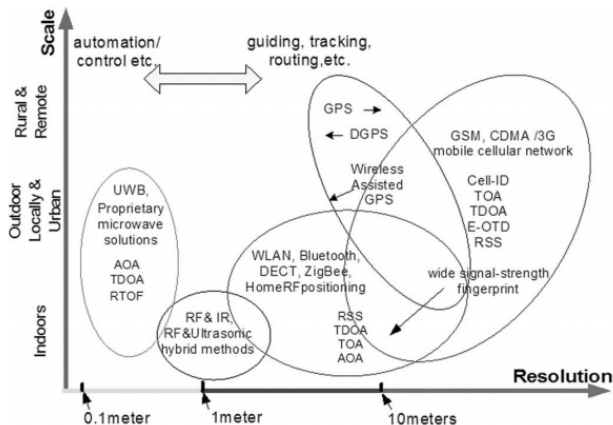
RSSI es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de la fuerza de la señal recibida por el receptor. Se mide en dBm donde 0 RSSI indica señal ideal y valores más negativos indican mayor pérdida.

### Tx Power

Es la potencia de salida o fuerza de la señal que el emisor produce durante el tiempo de transmisión. A mayor Tx Power, más estable es la señal, pero más energía se consume.

# Tecnologías para posicionamiento *indoor*

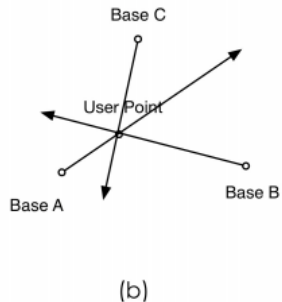
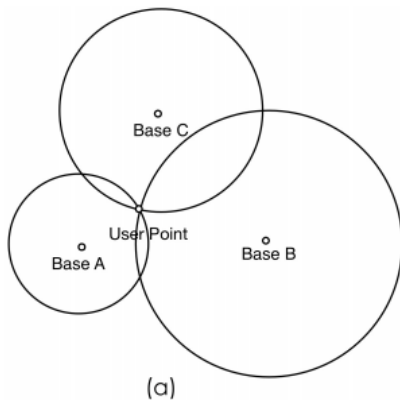
## Comparativa de tecnologías



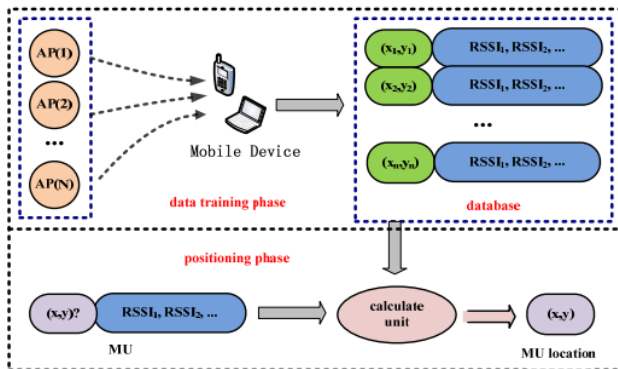
# Proximidad

- Es el método más simple, y se basa en determinar una posición simbólica y aproximada de la posición del usuario.
- Antenas o emisores de ondas de radio. Según la señal más fuerte detectada por el usuario, es donde se localiza en el sistema.
- Ampliamente usado en redes celulares, ya que permite determinar la posición de un dispositivo con una precisión de 50-200 m, sin embargo, no es buena en espacios reducidos. GSM, Infrarrojo, Cell-ID.

# Triangulación



# Fingerprint



# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Propuesta de solución

- Consideraciones Previas

- Descripción del *framework* de posicionamiento

- Tecnologías que permiten la geolocalización

4 Diseño del Estudio

5 Implementación

6 Resultados

7 Conclusiones

## Propuesta

- Establecer un marco de trabajo para la recolección, entrenamiento y clasificación de algoritmos de machine learning utilizando Bluetooth Low Energy.

# Propuesta

- Establecer un marco de trabajo para la recolección, entrenamiento y clasificación de algoritmos de machine learning utilizando Bluetooth Low Energy.
- Comparación de diferentes clasificadores.



# Propuesta

- Establecer un marco de trabajo para la recolección, entrenamiento y clasificación de algoritmos de machine learning utilizando Bluetooth Low Energy.
- Comparación de diferentes clasificadores.
- Utilizar técnicas de reducción de dimensionalidad.

# Propuesta

- Establecer un marco de trabajo para la recolección, entrenamiento y clasificación de algoritmos de machine learning utilizando Bluetooth Low Energy.
- Comparación de diferentes clasificadores.
- Utilizar técnicas de reducción de dimensionalidad.
- Utilizar modelos sin necesidad de conexión a internet.

# Beacons

- La transmisión corresponde a un ID único que está presente en cada Beacon y que no se repite, como una dirección MAC o un UUID.



# Beacons

- La transmisión corresponde a un ID único que está presente en cada Beacon y que no se repite, como una dirección MAC o un UUID.
- Auge del Internet de las cosas.



# Beacons

- La transmisión corresponde a un ID único que está presente en cada Beacon y que no se repite, como una dirección MAC o un UUID.
- Auge del Internet de las cosas.
- Habitualmente los Beacons soportan ambos protocolos existentes, es decir IBeacon y Eddystone.

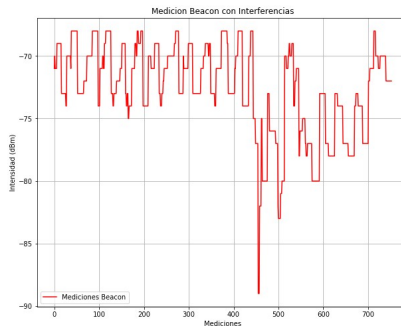


# Beacons - Valores esperados

Parámetro	Kontakt.io	Estimote
Duración de la batería	Hasta 4 años	Hasta 2 años
Rango	70m	70m
Procesador	32-bit ARM® Cortex™ M0 CPU core	ARM® Cortex®-M4 32-bit processor FPU
Sensibilidad	-93dBm	-96 dBm
Velocidades	250kBs, 1Mbs, y 2Mbs	1 Mbps (2 Mbps soportado)
Memoria	256KB flash 16KB RAM	512 kB Flash memory 64 kB RAM memory
Transmission power	-30dBm a 4dBm	-20dBm a +4 dBm
Batería	2 x 1.000mAh CR2477	1 x CR2477 – 3.0V
Bluetooth	Bluetooth® 4.2 LE standard	Bluetooth® 4.2 LE standard
Espesor	15mm	17mm
Peso	35 gr	30 gr
Paquete IBeacon y Eddystone	1 a la vez	1 a la vez
Paquetes adicionales	telemetría	telemetría
Sensores adicionales	Temperatura	movimiento, temperatura
Batería reemplazable	Si	Si
Numero de Beacons	3	3
Precio	60 USD	59 USD

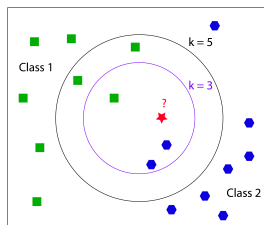
## Estabilidad de la señal Bluetooth

- Se realiza prueba para comprobar como afecta las interferencias a la señal Bluetooth.



# Algoritmos de *Machine Learning*

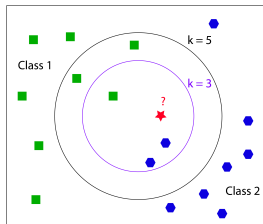
## k-NN



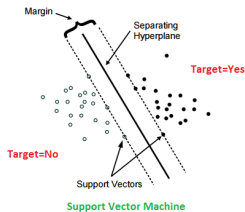


# Algoritmos de *Machine Learning*

k-NN

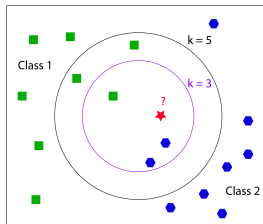


SVM

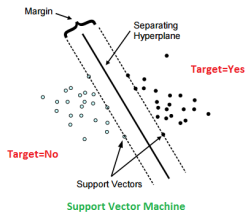


# Algoritmos de *Machine Learning*

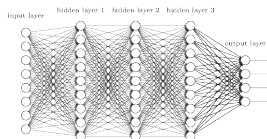
k-NN



SVM



Neural Networks



## Descripción del *framework* de posicionamiento

- Establecer un marco de trabajo.

## Descripción del *framework* de posicionamiento

- Establecer un marco de trabajo.
- Se utiliza la técnica de Fingerprint discutida en el estado del arte, mediante la utilización de un mapa de señales, también denominado *radiomap*.

## Descripción del *framework* de posicionamiento

- Establecer un marco de trabajo.
- Se utiliza la técnica de Fingerprint discutida en el estado del arte, mediante la utilización de un mapa de señales, también denominado *radiomap*.
- Utilizar dispositivos Bluetooth Low Energy, lo cuales realizan la función de access point(AP) y que serán los responsables de emitir la señal RSSI. Luego, el procedimiento se divide en las dos clásicas etapas de Fingerprint, es decir, fase *offline* y fase *online*.

## Fase Offline

- Crear un tipo de aplicación que sea capaz de recolectar los vectores RSSI.

## Fase Offline

- Crear un tipo de aplicación que sea capaz de recolectar los vectores RSSI.
- El periodo y frecuencia de los datos se debe determinar experimentalmente. Para ello, cada medición a coleccionar representa un punto en el espacio 2 – *dimensional*.

## Fase Offline

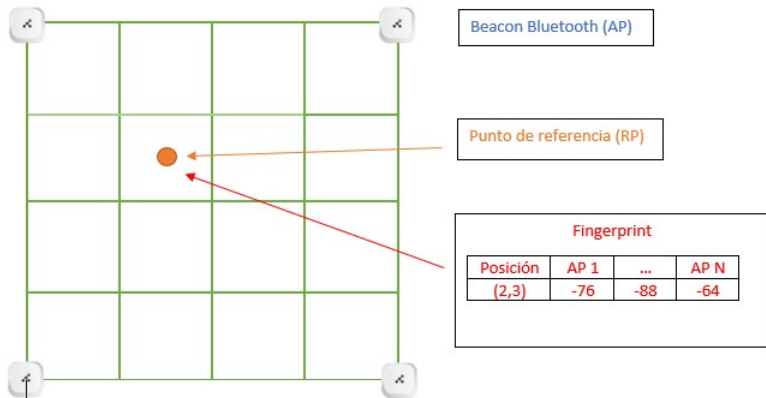
- Crear un tipo de aplicación que sea capaz de recolectar los vectores RSSI.
- El periodo y frecuencia de los datos se debe determinar experimentalmente. Para ello, cada medición a coleccionar representa un punto en el espacio *2 – dimensional*.
- Para generar la grilla, es necesario tener la posición exacta, que corresponde a la etiqueta de cada punto.



## Fase Offline

- Crear un tipo de aplicación que sea capaz de recolectar los vectores RSSI.
- El periodo y frecuencia de los datos se debe determinar experimentalmente. Para ello, cada medición a coleccionar representa un punto en el espacio *2 – dimensional*.
- Para generar la grilla, es necesario tener la posición exacta, que corresponde a la etiqueta de cada punto.
- Con los datos registrados, se debe crear la base de datos que almacenara estos Fingerprints, ya que desde ahí es posible analizar los datos y mantener su persistencia. Posteriormente, con estos datos se crea el radiomap.

## Fase Offline



## Reducción de dimensionalidad

- Esto no ha sido mayormente explorado en la literatura

## Reducción de dimensionalidad

- Esto no ha sido mayormente explorado en la literatura
- Existe correlación espacial lineal de las señales adyacentes. PCA ayuda a eliminar esta correlación.

## Reducción de dimensionalidad

- Esto no ha sido mayormente explorado en la literatura
- Existe correlación espacial lineal de las señales adyacentes. PCA ayuda a eliminar esta correlación.
- Los métodos de extracción de características pueden ayudar a agilizar la fase de entrenamiento, ya que este proceso es lento. Además, al ser menos componentes, en la fase online, las técnicas tardaran mucho menos tiempo en determinar la posición en tiempo real.

## Reducción de dimensionalidad

- Esto no ha sido mayormente explorado en la literatura
- Existe correlación espacial lineal de las señales adyacentes. PCA ayuda a eliminar esta correlación.
- Los métodos de extracción de características pueden ayudar a agilizar la fase de entrenamiento, ya que este proceso es lento. Además, al ser menos componentes, en la fase online, las técnicas tardaran mucho menos tiempo en determinar la posición en tiempo real.
- Descubrir atributos en un espacio no correlacionado. Transformación lineal del vector RSSI.

## Entrenamiento de algoritmos

- Entrenar técnicas de máquinas de aprendizaje muy conocidos y que han presentado buenos resultados a lo largo de muchos problemas.

## Entrenamiento de algoritmos

- Entrenar técnicas de máquinas de aprendizaje muy conocidos y que han presentado buenos resultados a lo largo de muchos problemas.
- Posteriormente, se seleccionan los mejores algoritmos, es decir, que presenten el mejor desempeño y luego son implementados.



## Entrenamiento de algoritmos

- Entrenar técnicas de máquinas de aprendizaje muy conocidos y que han presentado buenos resultados a lo largo de muchos problemas.
- Posteriormente, se seleccionan los mejores algoritmos, es decir, que presenten el mejor desempeño y luego son implementados.
- ¿Implementación en cliente o servidor?

## Fase Online

- Para la fase online se reconocen dos etapas principales.

## Fase Online

- Para la fase online se reconocen dos etapas principales.
  - 1 Colectar un vector de señales RSSI en la posición actual del usuario, es decir, el vector de intensidad de la señal.

## Fase Online

- Para la fase online se reconocen dos etapas principales.
  - 1 Colectar un vector de señales RSSI en la posición actual del usuario, es decir, el vector de intensidad de la señal.
  - 2 Proveer este vector de entrada a los algoritmos de aprendizaje supervisado

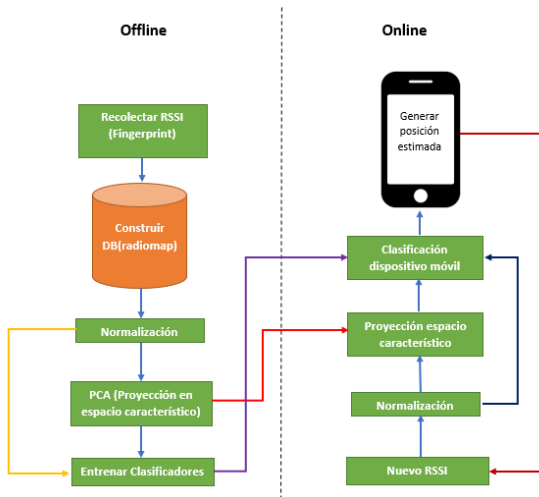
## Fase Online

- Para la fase online se reconocen dos etapas principales.
  - 1 Colectar un vector de señales RSSI en la posición actual del usuario, es decir, el vector de intensidad de la señal.
  - 2 Proveer este vector de entrada a los algoritmos de aprendizaje supervisado
- Una vez que los algoritmos de clasificación proveen el resultado de la posición física, entonces la misma aplicación de la fase offline, es utilizada para mostrar en un mapa de tiempo real la localización actual de usuario.

## Fase Online

- Para la fase online se reconocen dos etapas principales.
  - 1 Colectar un vector de señales RSSI en la posición actual del usuario, es decir, el vector de intensidad de la señal.
  - 2 Proveer este vector de entrada a los algoritmos de aprendizaje supervisado
- Una vez que los algoritmos de clasificación proveen el resultado de la posición física, entonces la misma aplicación de la fase offline, es utilizada para mostrar en un mapa de tiempo real la localización actual de usuario.
- Para realizar esta tarea se deben tener en cuenta las normalizaciones realizadas y aplicar correctamente la transformación PCA.

# Proceso de desarrollo

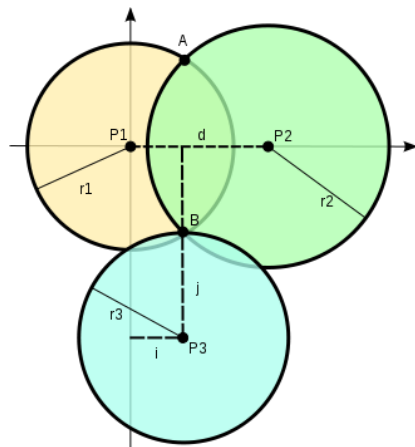


$P_1, P_2, P_3, r_1, r_2$  y  $r_3$  conocidos  
¿Cuál es la posición de  $B$ ?

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 - d^2}{2d}$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x$$

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2}$$





# Tecnologías que permiten la geolocalización

## Posicionamiento *outdoor*

- Sistemas satelitales (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou)
- Localización por antenas móviles (GSM)

## Posicionamiento *indoor* (IPS)

- Wi-Fi
- Bluetooth
- RFID

## Posicionamiento *outdoor*

### GPS

- Red de 24 satélites
- Precisión del orden de centímetros a unos pocos metros
- Requiere línea de visión directa (*Line of Sight*)

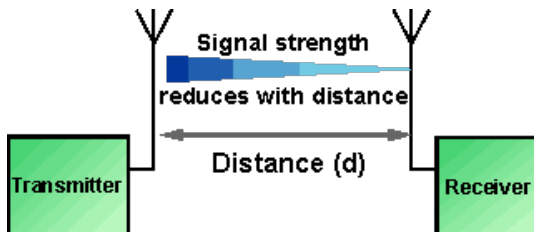
### GSM

- Localización principalmente por Celdas de Origen y triangulación
- Precisión del orden de 50m a 4km
- Menor gasto energético

## Posicionamiento *indoor* - WiFi

### Free-space path loss (FSPL)

FSPL es la pérdida de la intensidad de señal que ocurre cuando una onda electromagnética viaja desde un transmisor a un receptor a través de una línea de visión directa en un espacio libre.

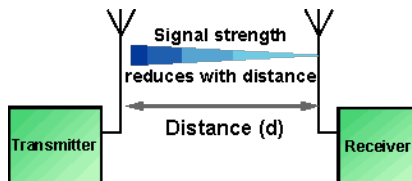


## Posicionamiento *indoor* - WiFi

$$FSPL = \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

$$FSPL(dB) = 20\log(d) + 20\log(f) + K$$

$$d = 10^{\frac{1}{20}(K - 20\log(f) + FSPL)}$$



## Posicionamiento *indoor* - Bluetooth

- Bluetooth 4.0 (*Bluetooth Low Energy*)
- Beacons



## Posicionamiento *indoor* - Bluetooth

### Tx Power

Potencia constante transmitida por cada Beacon. A medida que la señal se aleja del beacon va decayendo su valor.

### RSSI

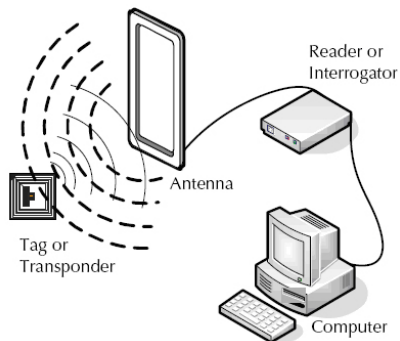
Escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo.

$$d = 0,899 \left( \frac{RSSI}{TxPower} \right)^{7,771} + 0,111$$

## Posicionamiento *indoor* - RFID

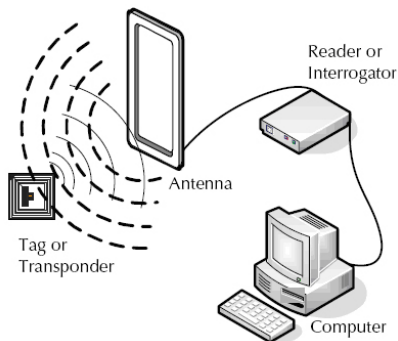
### ■ Posee tres componentes

- 1 Lector de etiquetas
- 2 Ordenador central
- 3 Transpondedor



## Posicionamiento *indoor* - RFID

- Posee tres componentes
  - 1 Lector de etiquetas
  - 2 Ordenador central
  - 3 Transpondedor
- Posicionamiento basado en celdas de origen





# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Propuesta de solución

4 Diseño del Estudio

■ Cualidades y costos de tecnologías

■ Lugar del estudio

5 Implementación

6 Resultados

7 Conclusiones

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

<b>Protocolo 802.11</b>	<b>Frecuencia [GHz]</b>	<b>Banda ancha [MHz]</b>	<b>Rango indoor aproximado [m]</b>	<b>Rango outdoor aproximado [m]</b>
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

<b>Protocolo 802.11</b>	<b>Frecuencia [GHz]</b>	<b>Banda ancha [MHz]</b>	<b>Rango indoor aproximado [m]</b>	<b>Rango outdoor aproximado [m]</b>
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

■ Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

Protocolo 802.11	Frecuencia [GHz]	Banda ancha [MHz]	Rango indoor aproximado [m]	Rango outdoor aproximado [m]
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

- Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790
- Consumo promedio mensual: 5,4[kWh]

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

Protocolo 802.11	Frecuencia [GHz]	Banda ancha [MHz]	Rango indoor aproximado [m]	Rango outdoor aproximado [m]
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

- Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790
- Consumo promedio mensual: 5,4[kWh]
  - Costo energético mensual: CLP\$607<sup>1</sup>


---

<sup>1</sup>Valor kWh: CLP\$112,36. Fuente: Enel

# Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

# Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

■ *Plug & Play*

## Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

- *Plug & Play*
- Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]



## Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

- *Plug & Play*
- Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]
  - Costo: CLP\$5.000 - CLP\$6.000

## Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

### ■ *Plug & Play*

### ■ Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]

- Costo: CLP\$5.000 - CLP\$6.000
- Costo energético mensual: CLP\$250

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

<b>Tipo</b>	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>2</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

<sup>2</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>2</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

### ■ Consumo promedio mensual: 9[kWh]

<sup>2</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>2</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

### ■ Consumo promedio mensual: 9[kWh]

- energético mensual: CLP\$1.011

<sup>2</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - Resumen

<b>Tecnología</b>	<b>Rango por dispositivo</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo mensual unitario</b>
Wi-Fi	50 metros (802.11g) a 70 metros (802.11n)	Desde CLP\$17.990	CLP\$607
Bluetooth	70-200 metros	Desde CLP\$13.223 <sup>5</sup>	CLP\$250
RFID	Desde 5 metros	Desde CLP\$382.242 <sup>5</sup>	CLP\$1.011

---

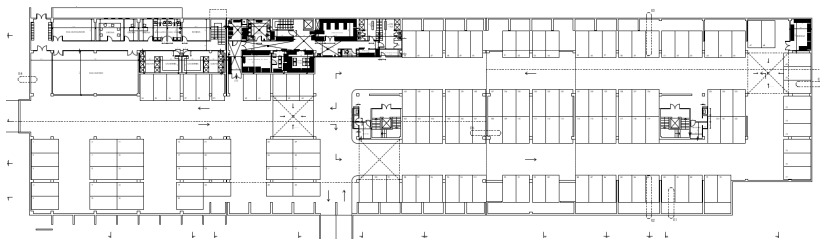
<sup>5</sup>Dólar observado el 02/07/2017: CLP\$672,37.

Fuente: Banco Central de Chile.

└ Diseño del Estudio

└ Lugar del estudio

## Lugar del estudio



Estacionamiento subterráneo del Campus San Joaquín -  
Universidad Técnica Federico Santa María



# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Propuesta de solución

4 Diseño del Estudio

5 Implementación

- Requerimientos
- Ejecución

6 Resultados

7 Conclusiones

# Requerimientos

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real
- 5 Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada

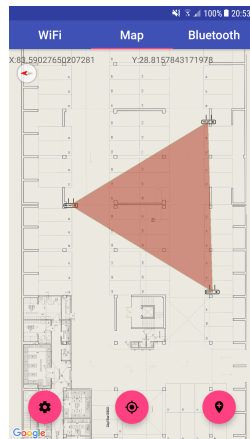
# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real
- 5 Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada
- 6 Registrar las distancias en un archivo persistente



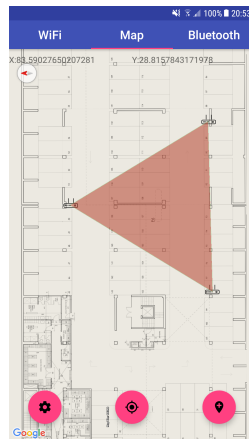
# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$



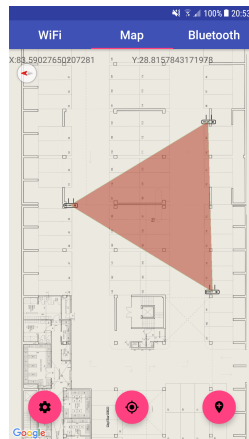
# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área



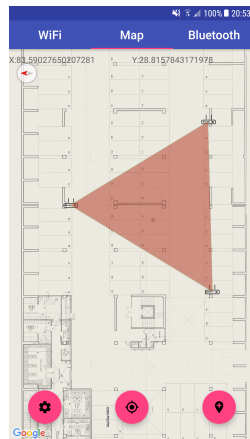
# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área
- Usuario inmóvil



# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área
- Usuario inmóvil
- Método de mitigación: *ventana deslizante*

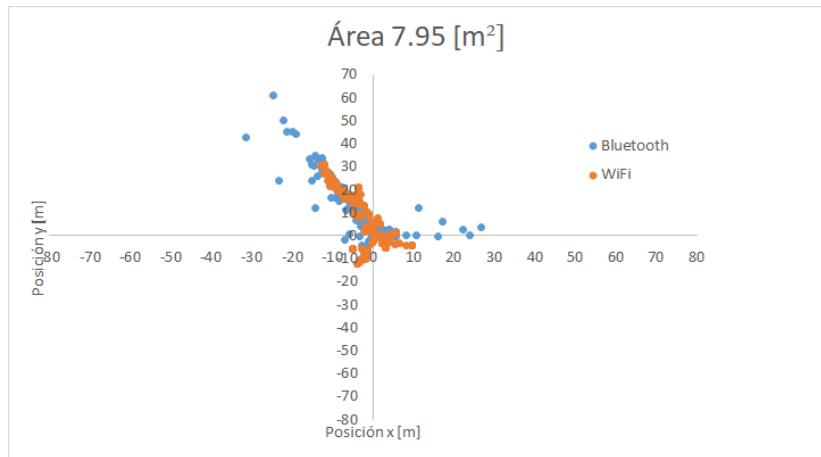


# Tabla de Contenidos

- |   |                       |   |                    |
|---|-----------------------|---|--------------------|
| 1 | Introducción          | 4 | Diseño del Estudio |
| 2 | Estado del Arte       | 5 | Implementación     |
| 3 | Propuesta de solución | 6 | <b>Resultados</b>  |
|   |                       | 7 | Conclusiones       |

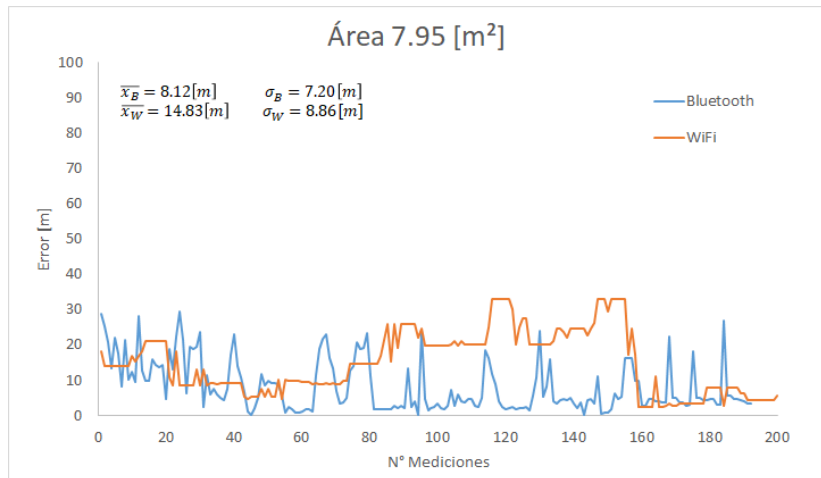
# Área 7,95[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



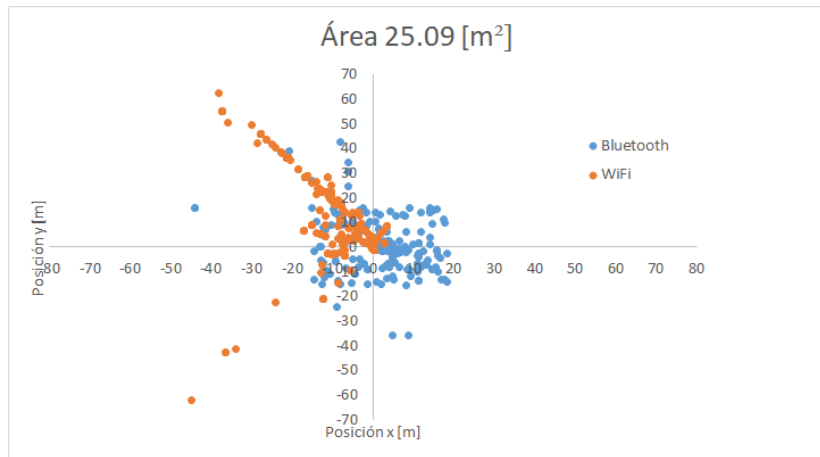
# Área 7,95[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



# Área 25,09[m<sup>2</sup>]

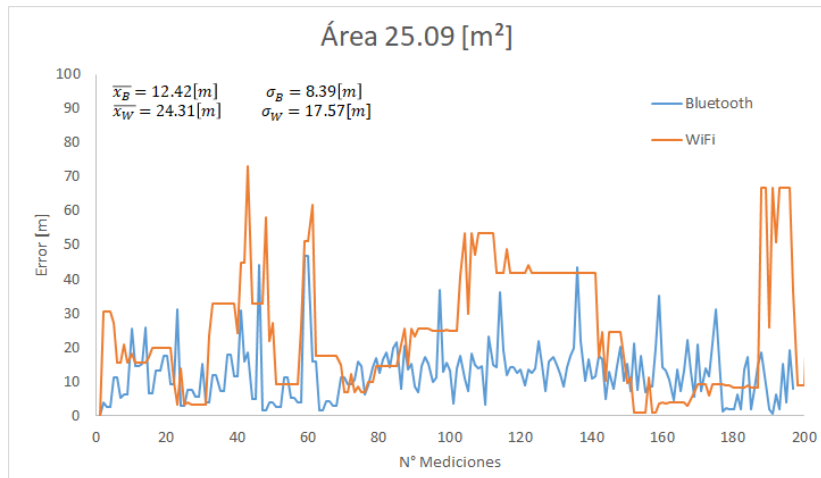
## Posiciones calculadas





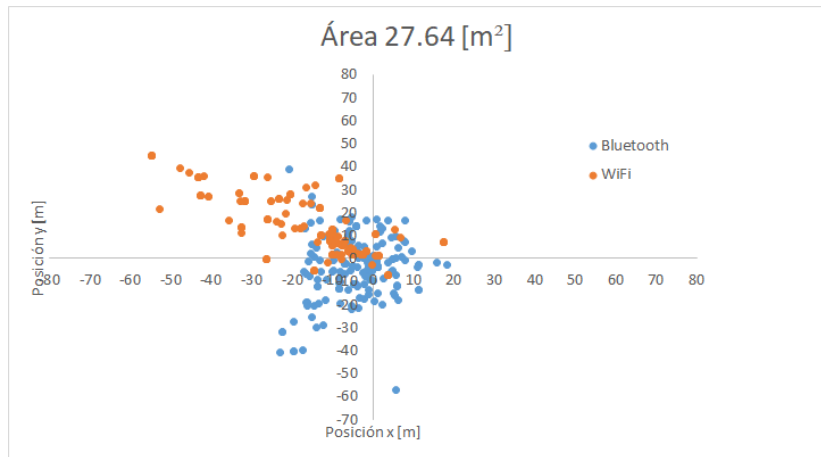
# Área 25,09[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



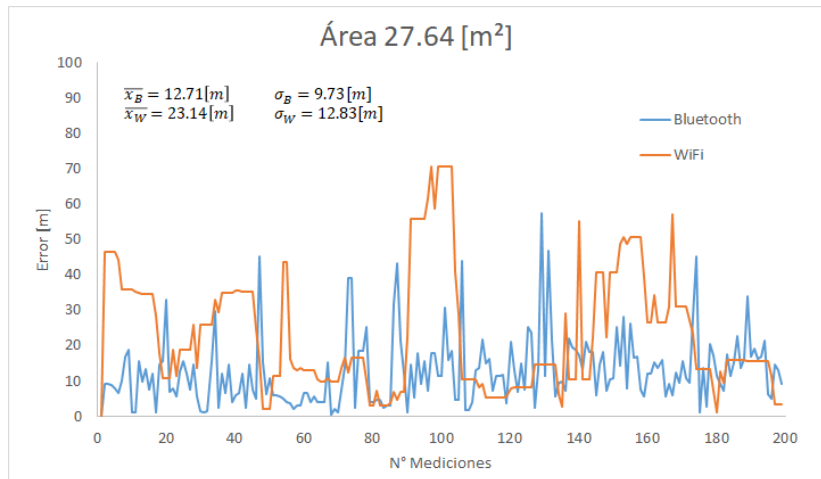
# Área 27,64[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



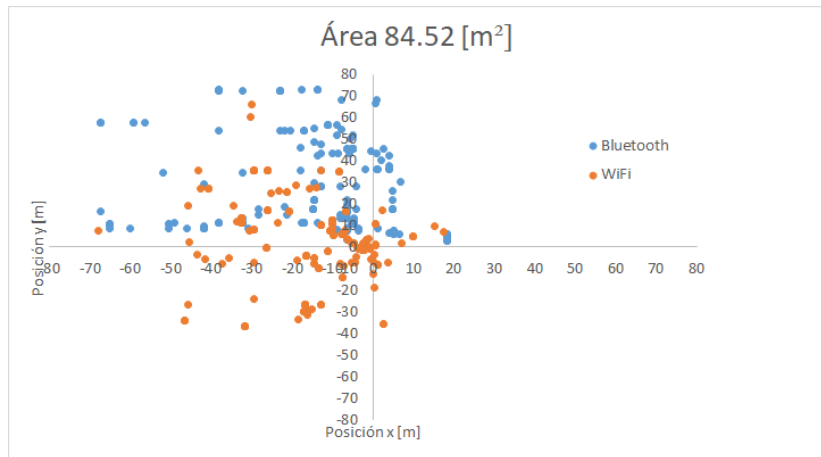
# Área 27,64[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



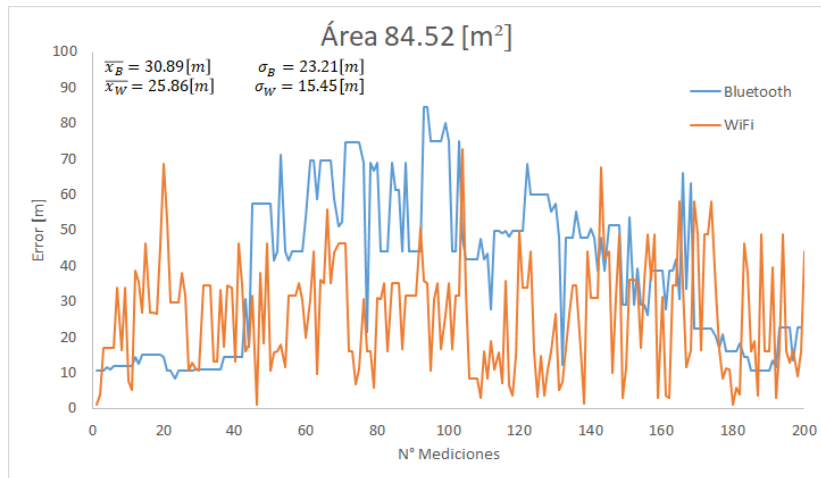
# Área 84,52[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



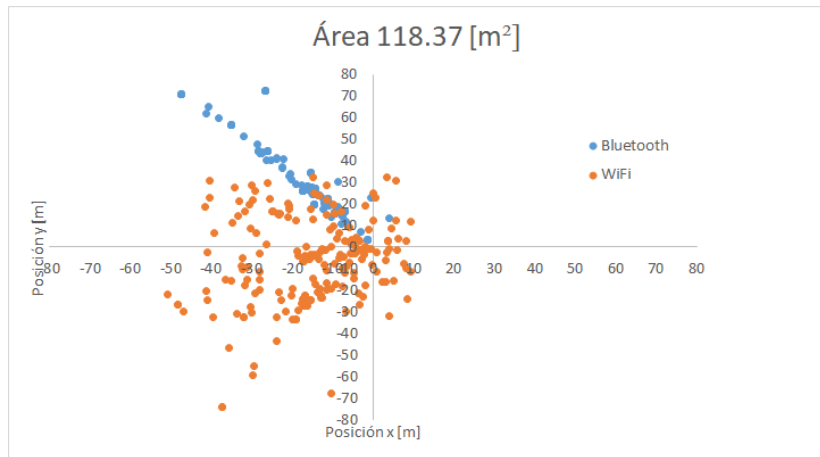
# Área 84,52[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



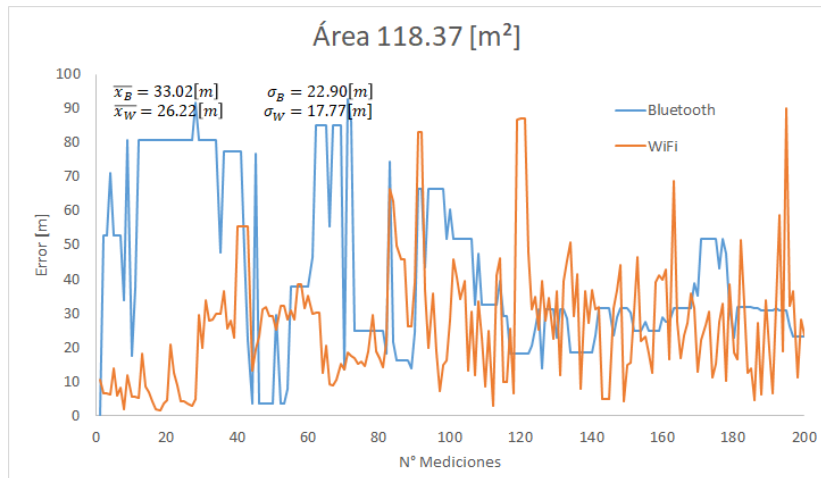
# Área 118,37[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas

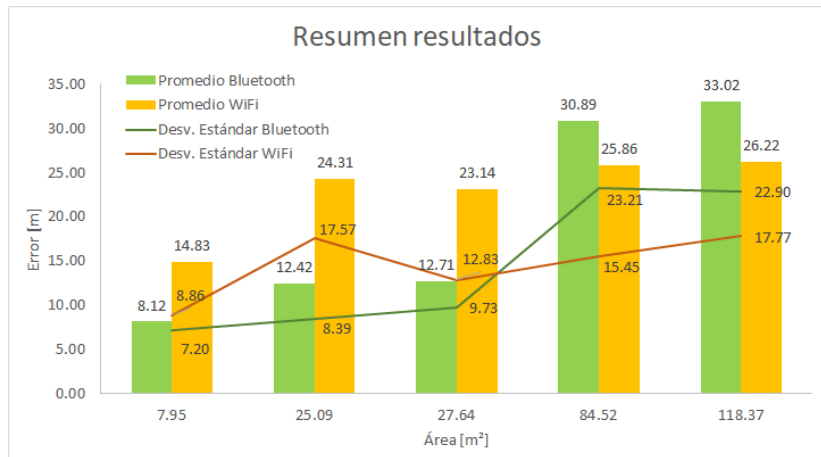


# Área 118,37[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



# Resumen resultados





# Tabla de Contenidos

- |   |                       |   |                    |
|---|-----------------------|---|--------------------|
| 1 | Introducción          | 4 | Diseño del Estudio |
| 2 | Estado del Arte       | 5 | Implementación     |
| 3 | Propuesta de solución | 6 | Resultados         |
|   |                       | 7 | Conclusiones       |

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi

## Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos
- Importancia en algoritmos de localización

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos
- Importancia en algoritmos de localización
- El posicionamiento indoor aún es un campo abierto de estudio

# Gracias por su atención