

Análisis comparativo de sistemas de posicionamiento indoor

Trabajo de Memoria

Carlos Chesta Rivas

Universidad Técnica Federico Santa María

carlos.chesta@alumnos.usm.cl

6 de noviembre de 2017

Tabla de Contenidos

- | | | | |
|----------|--|----------|---|
| 1 | Introducción <ul style="list-style-type: none">■ Descripción del Problema■ Objetivos | 3 | Diseño del Estudio <ul style="list-style-type: none">■ Cualidades y costos de tecnologías■ Lugar del estudio |
| 2 | Estado del Arte <ul style="list-style-type: none">■ Métodos de Posicionamiento■ Tecnologías que permiten la geolocalización | 4 | Implementación <ul style="list-style-type: none">■ Requerimientos■ Ejecución |
| | | 5 | Resultados |
| | | 6 | Conclusiones |

Tabla de Contenidos

1 Introducción

- Descripción del Problema
- Objetivos

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

6 Conclusiones

Introducción

Geolocalización

- Usado ampliamente por el sector militar, académico e industrial.
- Cada vez se vuelve más accesible: basta con tener un smartphone o similar para poder geolocalizarse.
 - 2 mil millones de *smartphones* activos en el mundo¹.

¹Worldwide Internet and Mobile Users, eMarketer, 2015.

Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores

Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores
- Tecnologías de geolocalización satelital como GPS funciona de manera limitada o nula en ambientes interiores

Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores
- Tecnologías de geolocalización satelital como GPS funciona de manera limitada o nula en ambientes interiores

¿Cómo podemos conocer nuestra posición en dichos lugares?

Objetivos

- Identificar los métodos y tecnologías que actualmente permiten conocer la posición.

Objetivos

- Identificar los métodos y tecnologías que actualmente permiten conocer la posición.
- Determinar los *trade-offs* entre exactitud y costo para tecnologías de posicionamiento *indoor*

Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

- Métodos de Posicionamiento
- Tecnologías que permiten la geolocalización


3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

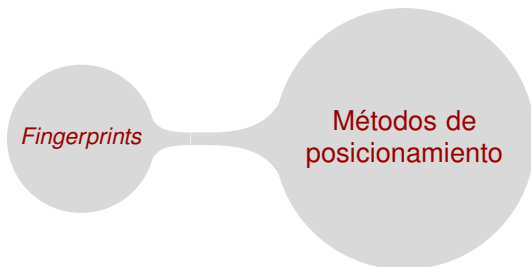
6 Conclusiones

Métodos de Posicionamiento

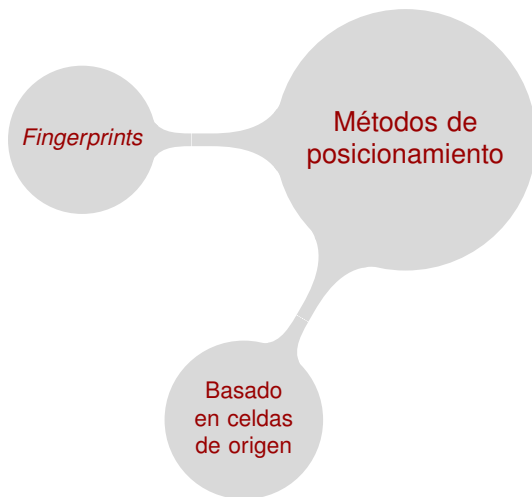


Métodos de
posicionamiento

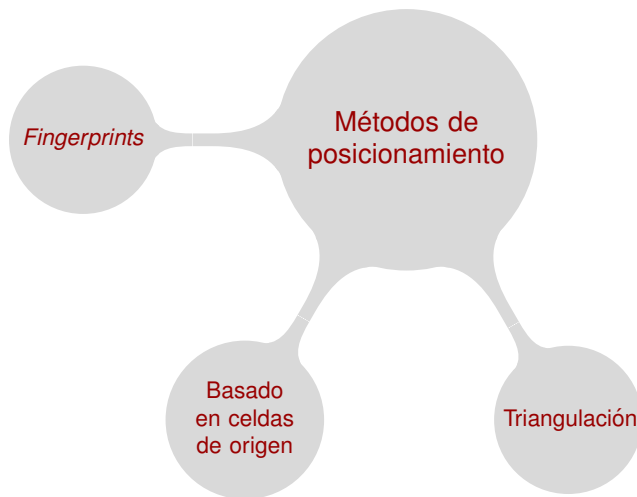
Métodos de Posicionamiento



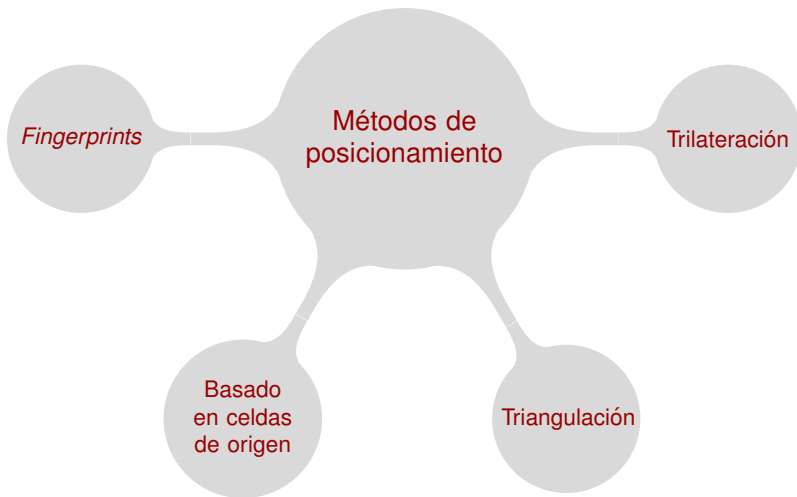
Métodos de Posicionamiento



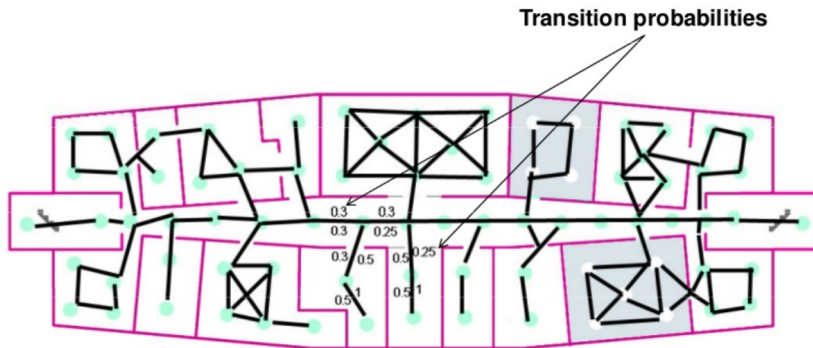
Métodos de Posicionamiento



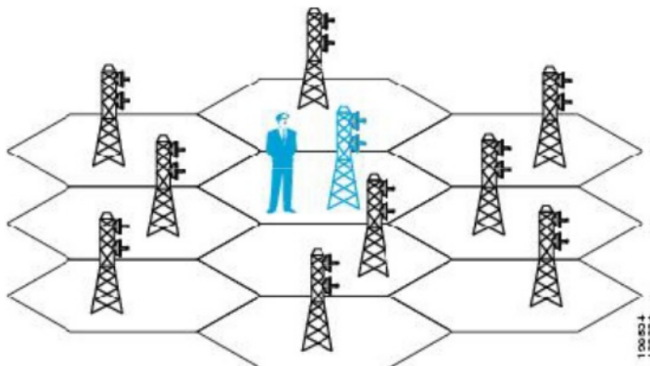
Métodos de Posicionamiento



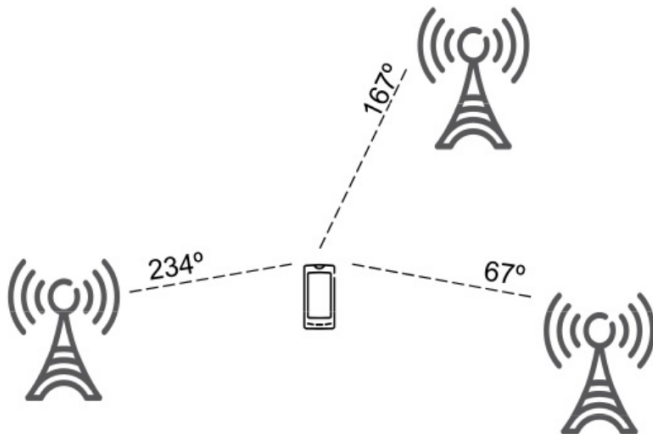
Fingerprints



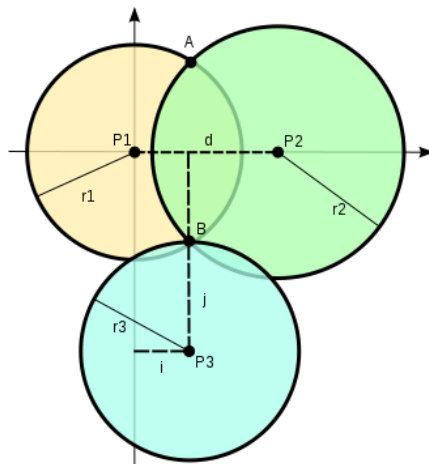
Basado en celdas de origen



Triangulación

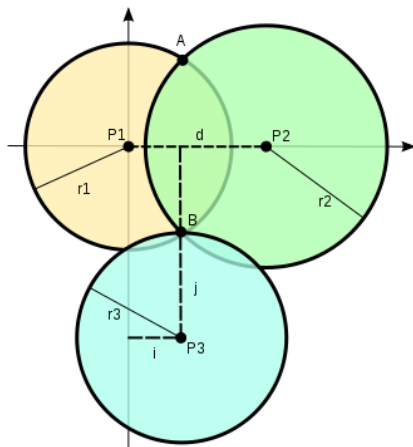


Trilateración



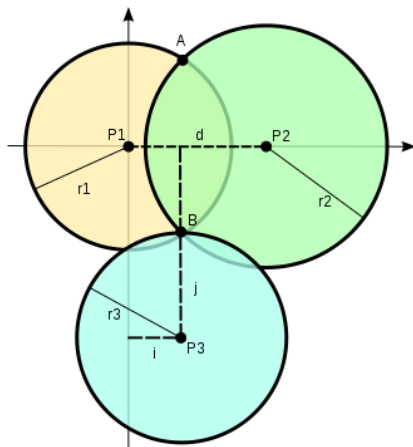
Trilateración

P_1 , P_2 , P_3 , r_1 , r_2 y r_3 conocidos



Trilateración

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



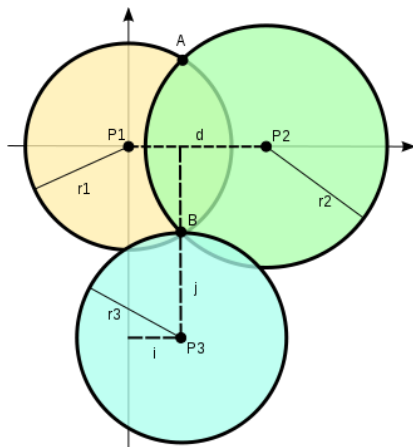
Trilateración

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

$$x^2 + y^2 + z^2 = r_1^2$$

$$(x - d)^2 + y^2 + z^2 = r_2^2$$

$$(x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 = r_3^2$$



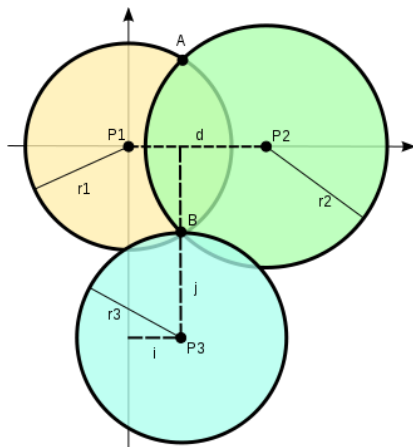
Trilateración

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*)

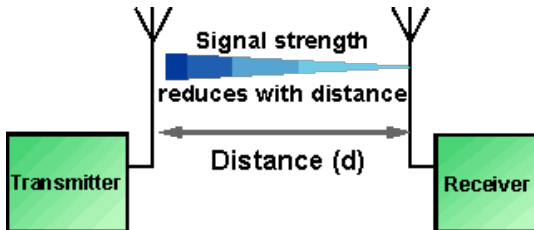
GSM

- 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.

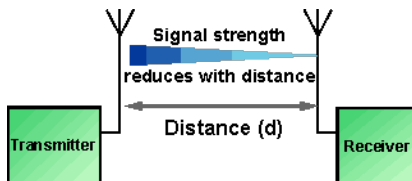


Posicionamiento *indoor* - WiFi

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

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

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



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

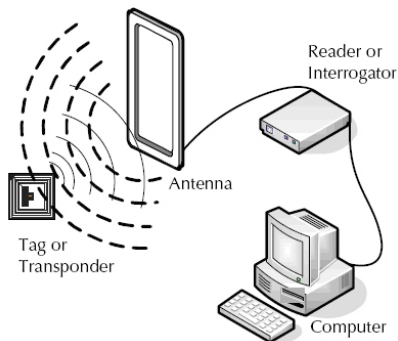
Escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo.

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

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

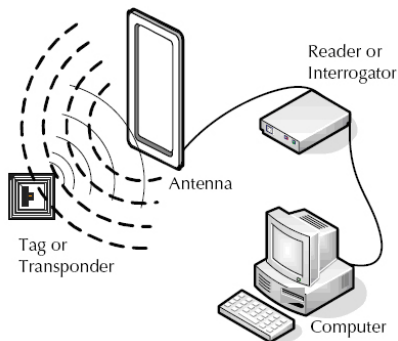


Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio
■ Cualidades y costos de

tecnologías
■ Lugar del estudio

4 Implementación

5 Resultados

6 Conclusiones

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	-

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

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\$607²

²Valor kWh: CLP\$112,36. Fuente: Enel

Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth


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

Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

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

■ *Plug & Play*

Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

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

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

Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

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

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

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

■ Precio: Desde USD\$568.50³

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

³<https://www.atlasfridstore.com/>

Cualidades y costos de tecnologías - RFID

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

■ Precio: Desde USD\$568.50³

- 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]

³<https://www.atlasfridstore.com/>

Cualidades y costos de tecnologías - RFID

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

■ Precio: Desde USD\$568.50³

- 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

³<https://www.atlasfridstore.com/>

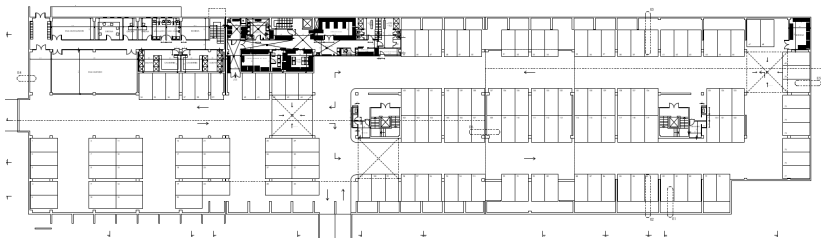
Cualidades y costos de tecnologías - Resumen

Tecnología	Rango por dispositivo	Costo unitario	Costo mensual unitario
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 ⁵	CLP\$250
RFID	Desde 5 metros	Desde CLP\$382.242 ⁵	CLP\$1.011

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

Fuente: Banco Central de Chile.

Lugar del estudio



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

Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

- Requerimientos
- Ejecución

5 Resultados

6 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

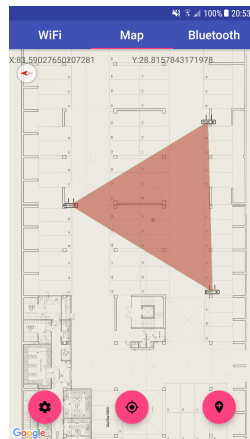
- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real
- 5 Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada

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

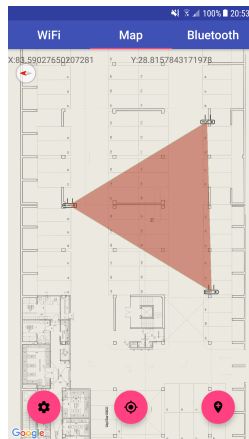
Ejecución

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



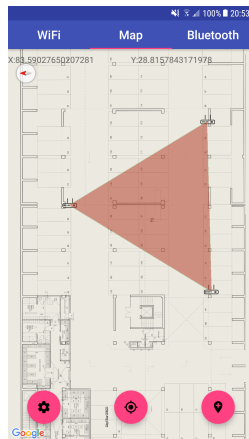
Ejecución

- 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*

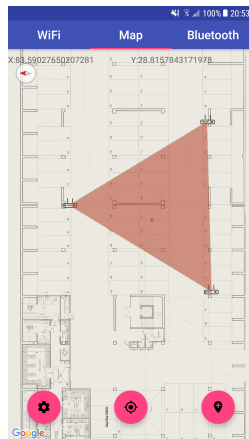


Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

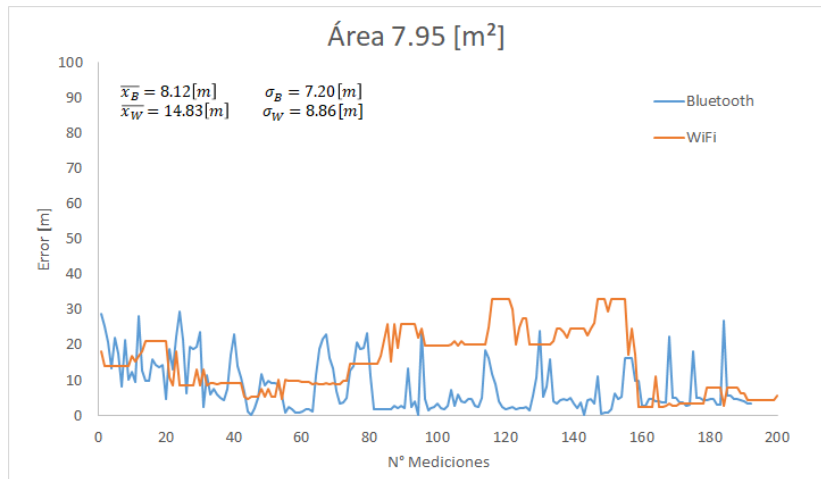
6 Conclusiones

Posiciones calculadas



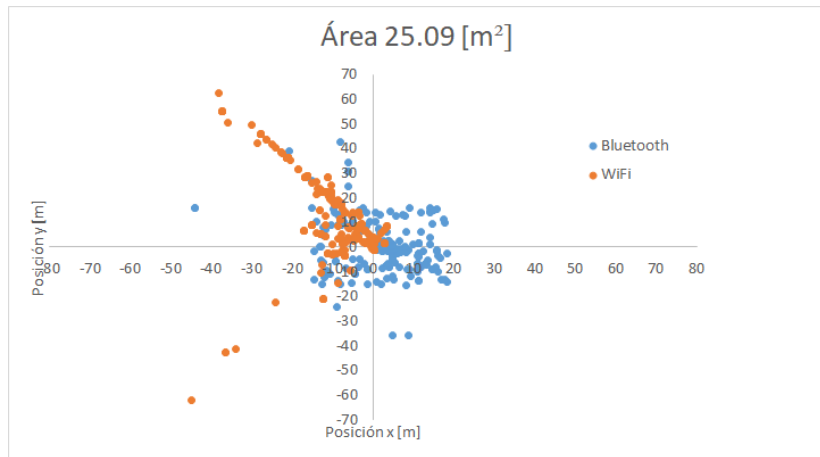
Área 7,95[m²]

Errores entre posición real y calculada



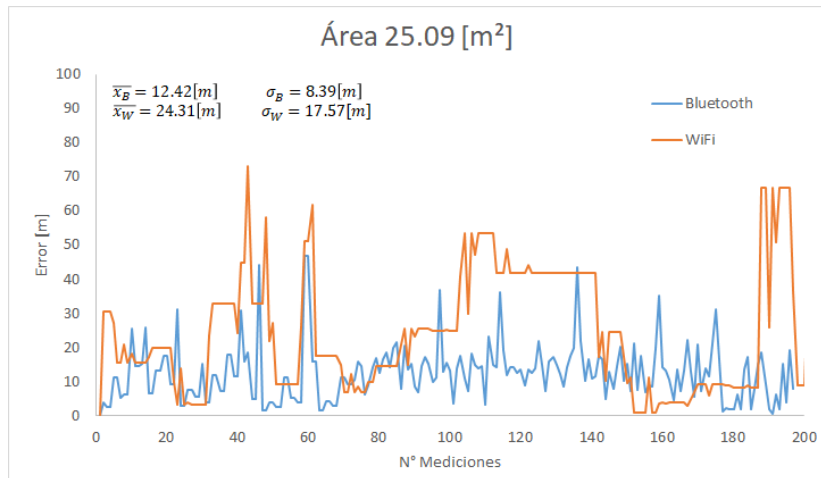
Área 25,09[m²]

Posiciones calculadas



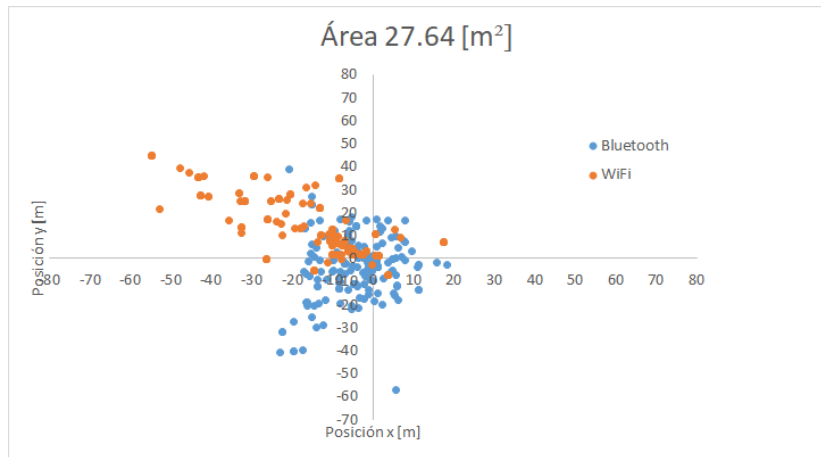
Área 25,09[m²]

Errores entre posición real y calculada



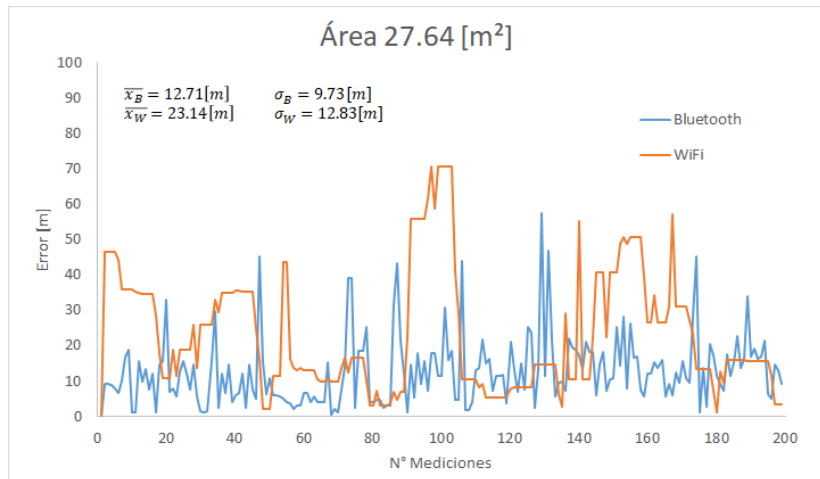
Área 27,64[m²]

Posiciones calculadas



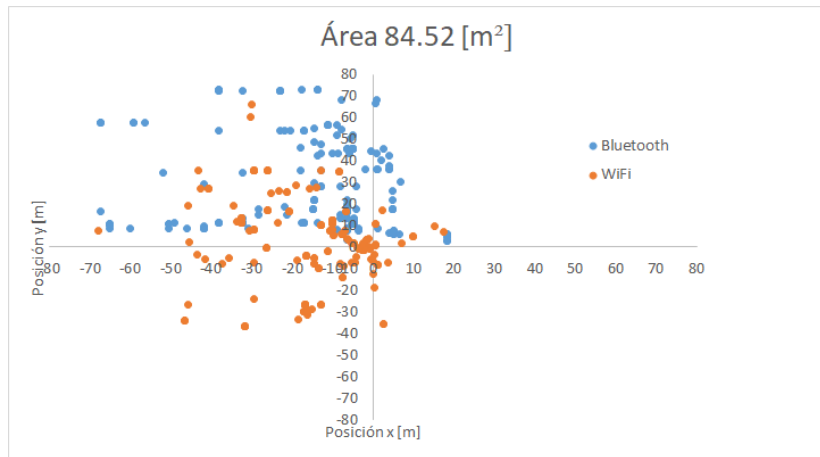
Área 27,64[m²]

Errores entre posición real y calculada



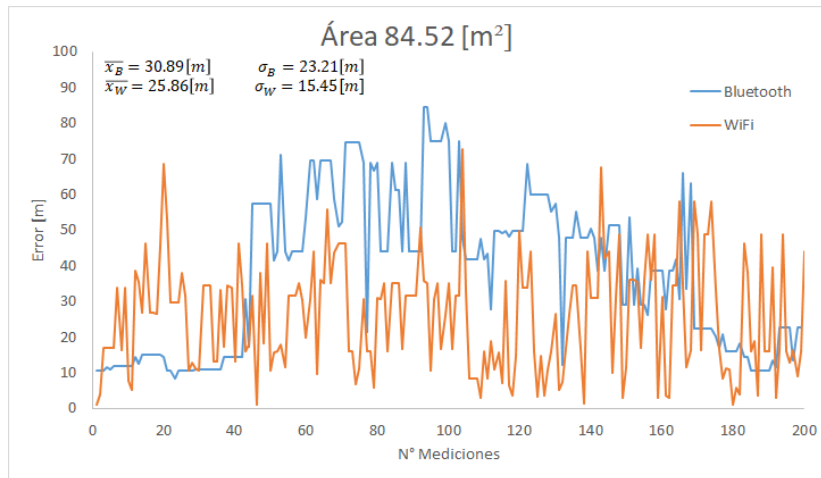
Área 84,52[m²]

Posiciones calculadas



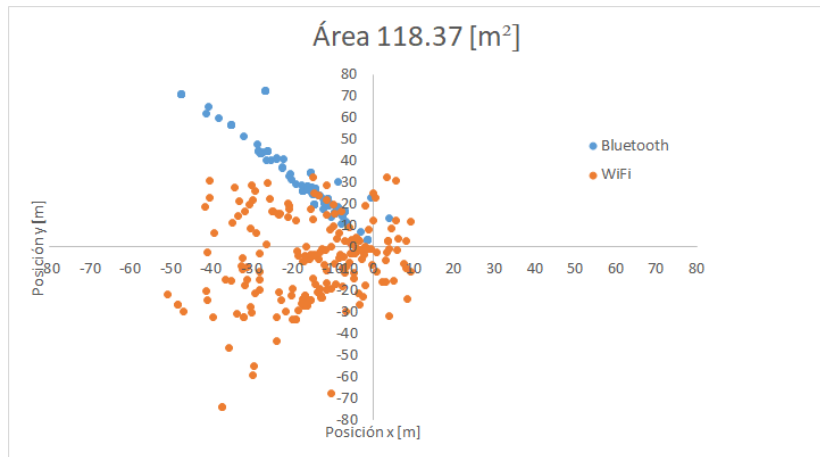
Área 84,52[m²]

Errores entre posición real y calculada



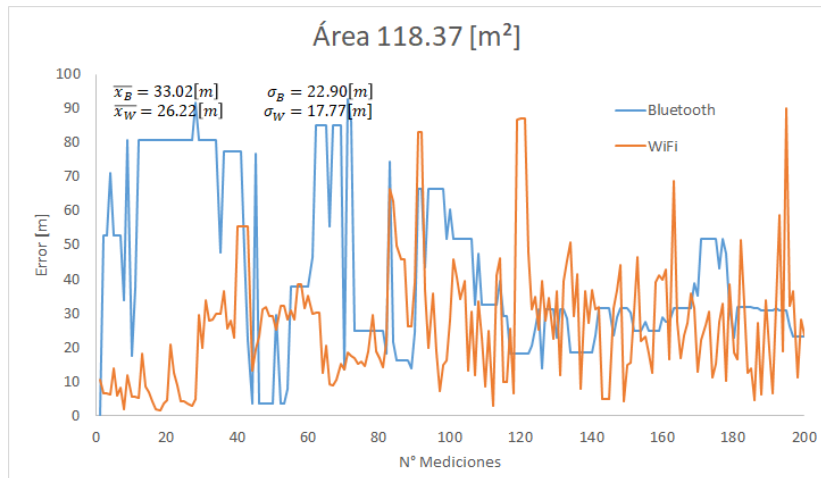
Área 118,37[m²]

Posiciones calculadas



Área 118,37[m²]

Errores entre posición real y calculada



Resumen resultados

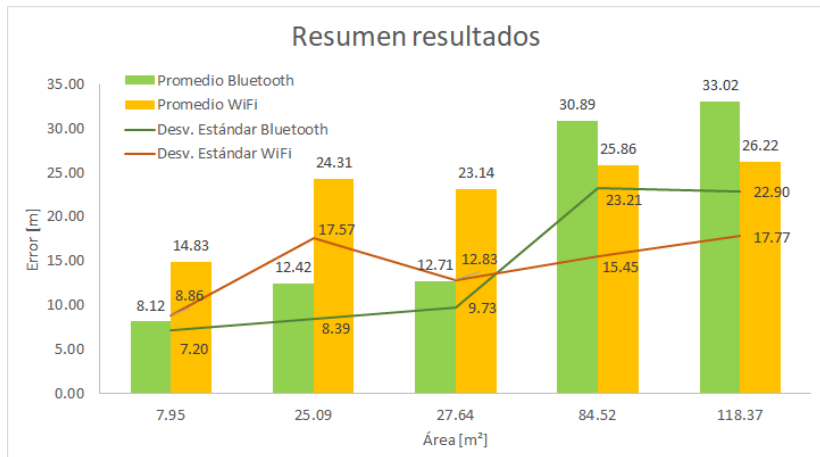


Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

6 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