

# Estudio del posicionamiento de un robot móvil mediante sensores "Ultra-wide Band"

---

Daniel A. Durán García

20 de septiembre de 2020

## Posicionamiento local

---

En interiores es imposible utilizar tecnologías de posicionamiento global basadas en señal de satélites.

Existen tecnologías alternativas con mayor precisión destinadas a su uso en estos entornos interiores.

# **Técnicas de posicionamiento**

---

- *Fingerprinting*
- Algoritmos geométricos
  - Tiempo de vuelo (TOA)
  - Diferencia de tiempo de vuelo (TDOA)
  - Potencia percibida (RSSI)
  - Ángulo de llegada (AOA)

De forma general

$$\mathbf{r} = \mathbf{f}(x_1, x_2, \dots, x_n) + \mathbf{n}$$

Límite teórico (Cota inferior de Cramer Rao):

$$\sigma^2(\theta_i) \geq [\mathcal{I}(\boldsymbol{\theta})^{-1}]_{ii}$$

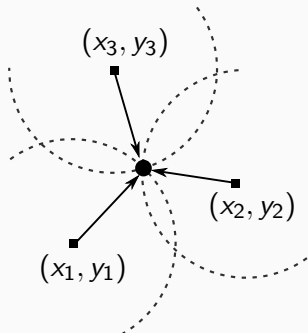
donde

$$[\mathcal{I}(\boldsymbol{\theta})]_{ij} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{n=0}^{N=1} \frac{\partial s[n, \boldsymbol{\theta}]}{\partial \theta_i} \frac{\partial s[n, \boldsymbol{\theta}]}{\partial \theta_j}$$

## Tiempo de vuelo (TOA)

Conociendo la velocidad de propagación, es posible determinar la distancia entre baliza y objetivo midiendo el tiempo de vuelo de la señal.

Requiere la sincronización de relojes de balizas y objetivo.



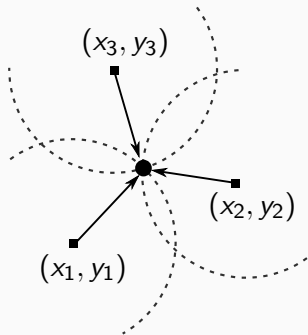
# Tiempo de vuelo (TOA)

Cota inferior:

$$\text{CRLB} = \sigma^2(\tau) \geq \frac{1}{8\pi^2 \text{SNR} \beta^2}$$

donde

$$\beta^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |S(\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 d\omega}$$

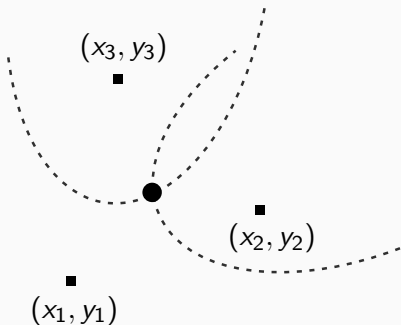




# Diferencia de tiempo de vuelo (TDOA)

Para evitar la sincronización de relojes con el objetivo, se toma una baliza como referencia y se mide la diferencia de tiempo entre la emisión de pulsos respecto las demás.

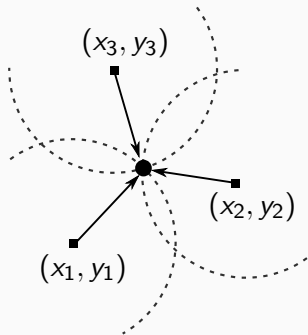
Misma cota inferior que en el tiempo de vuelo.



## Potencia percibida (RSSI)

Aprovechando el decaimiento de la señal, es posible determinar la distancia entre la baliza y el objetivo.

Muy susceptible a interferencias.



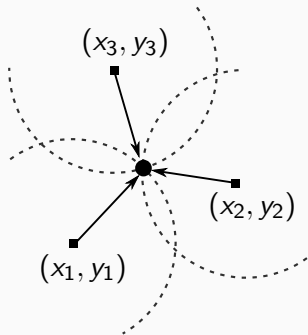
## Potencia percibida (RSSI)

Ecuación general del decaimiento de la potencia de la señal:

$$p(r) = p(r_0) - 10n \log\left(\frac{r}{r_0}\right)$$

Cota inferior:

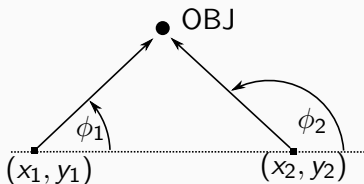
$$\sigma^2(d_i) = \frac{\ln(10)\sigma_{sh}d}{10n}$$



# Ángulo de llegada (AOA)

Para evitar cualquier tipo de sincronización de relojes es posible usar el ángulo de llegada de la señal al objetivo.

Requiere el uso de antenas direccionales.

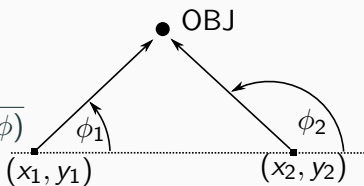


## Ángulo de llegada (AOA)

Cota inferior:

$$\sigma^2(\phi) = \frac{c^2}{2\pi^2 \text{SNR} \beta^2 N(N^2 - 1) d \cos(\phi)}$$

con  $N$  balizas.



- Ultrasonido
- Luz
- Bluetooth
- Wi-Fi
- Ultra-Wide Band

# Ultra-wide Band

---

Emisión de radiofrecuencia con un ancho de banda de al menos 500 MHz o más del 20 % de la frecuencia central.



## Ventajas

- El gran ancho de banda permite pulsos muy cortos en el tiempo, lo que permite una gran resolución temporal.
- Pocas probabilidades de interferencias.
- Bajo consumo energético.
- Gran capacidad de transmisión de datos.

# Metodología

---

Se utilizó el kit comercial  
MDEK1001, de la empresa  
DecaWave

Realiza el posicionamiento con  
TOA y TDOA.

Anuncia una precisión de hasta  
10cm.



El robot autónomo utilizado fue el Turtlebot 2.

Es posible su uso con el entorno ROS.



Se eligieron dos escenarios para la toma de datos:

- Laboratorio de Robótica 0L3 del Instituto de Computación Científica Avanzada de la Universidad de Extremadura.
- Primera planta del edificio B de la Facultad de Física.

Configurando uno de los sensores como objetivo se colocó encima del robot.

Se programaron trayectorias que recorrían los dos escenarios por el robot, recabando datos del posicionamiento local del robot y de los sensores de UWB.

# Resultados

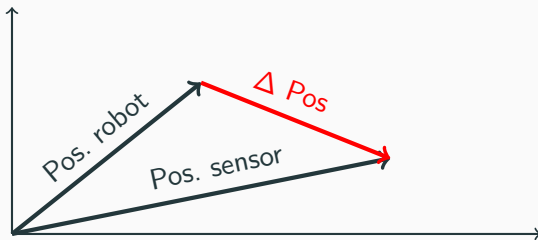
---

# Resultados

Se tomó el posicionamiento local del robot como *ground truth*

$$\text{Error eje} = \text{Valor posición robot} - \text{Valor posición sensores}$$

Se interpretó el error de posicionamiento como el módulo del vector de diferencia entre los vectores de posición de robot y sensores



# Laboratorio

---

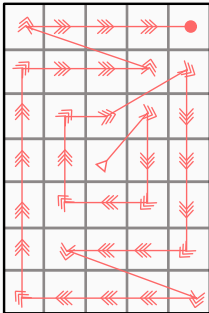




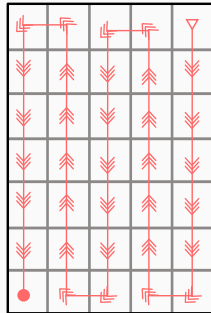
**Figura 1:** Fotografías del laboratorio de Robótica del ICCAEx.

31	32	33	34	35
26	27	28	29	30
21	22	23	24	25
16	17	18	19	20
11	12	13	14	15
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

(a) Puntos a evaluar



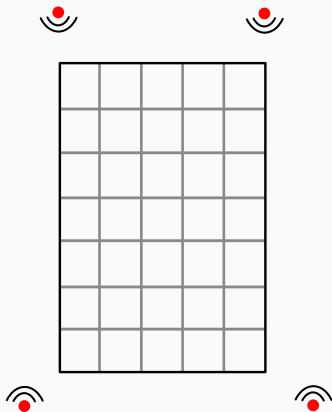
(b) Trayectoria en espiral

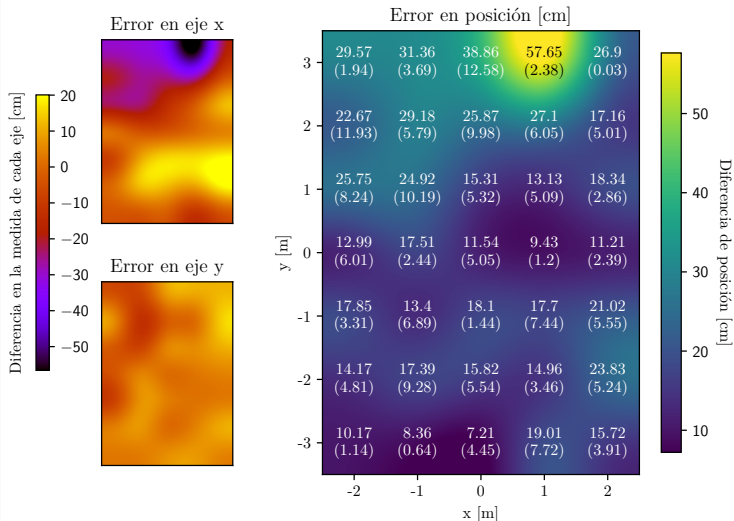


(c) Trayectoria en vertical

**Figura 2:** Disposición del laboratorio.

## Configuración con 4 balizas

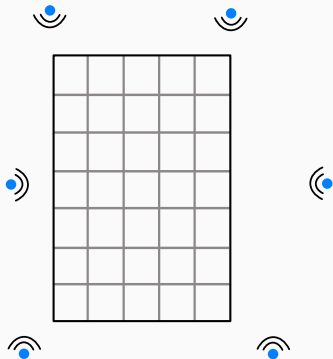


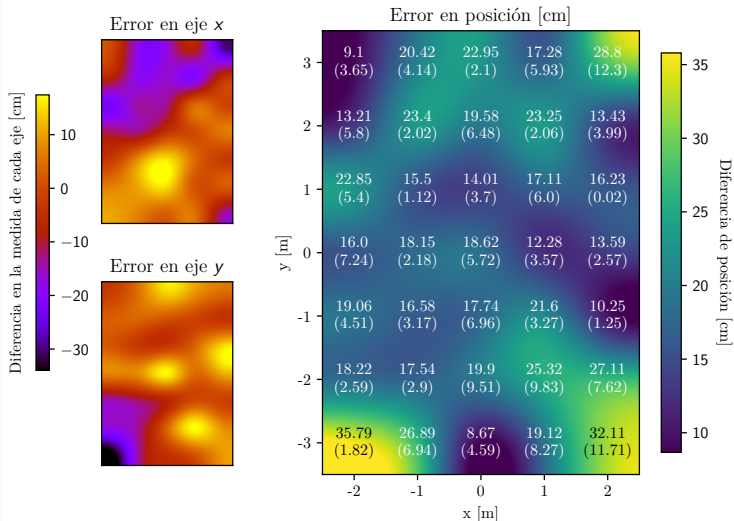


	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	-6.7	3.1	14.6	5.77	20.0
Mediana	-3.3	4.1	13.1	4.9	17.7
Desv. estándar	17.8	5.9	12.2	3.4	9.6
Máximo	20.1	14.4	56.6	14.4	57.6
Mínimo	-56.6	-12.4	0.5	0.7	7.2

**Tabla 1:** Resumen de los errores en el laboratorio con 4 balizas.

## Configuración con 6 balizas

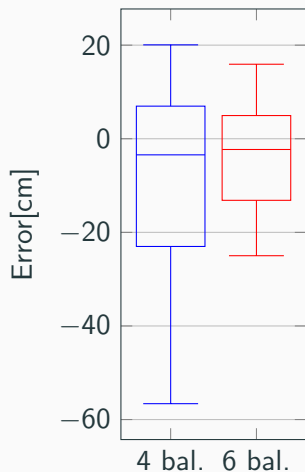




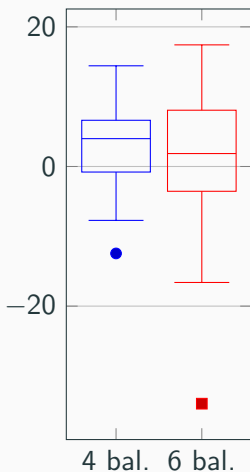
	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	-3.7	0.7	9.6	7.7	19.2
Mediana	-2.2	2.08	8.8	6.0	18.2
Desv. estándar	11.0	10.3	6.5	6.8	6.1
Máximo	15.9	17.4	24.9	33.9	35.8
Mínimo	-24.9	-33.9	0.1	0.1	8.6

**Tabla 2:** Resumen de los errores en el laboratorio con 6 balizas.

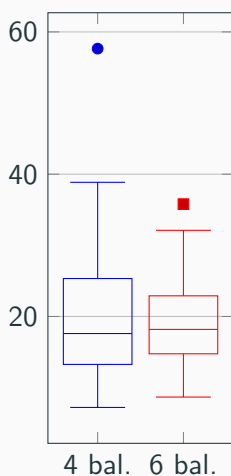




(a) Eje x



(b) Eje y



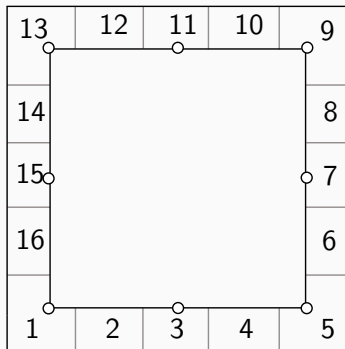
(c) Posición

# Edificio de Física

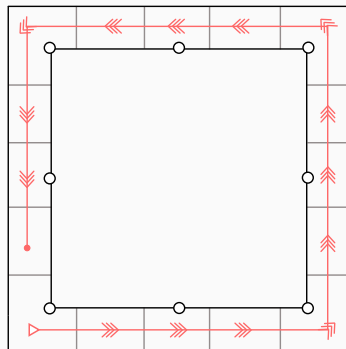
---



**Figura 4:** Fotografías del edificio B de la Facultad de Física.



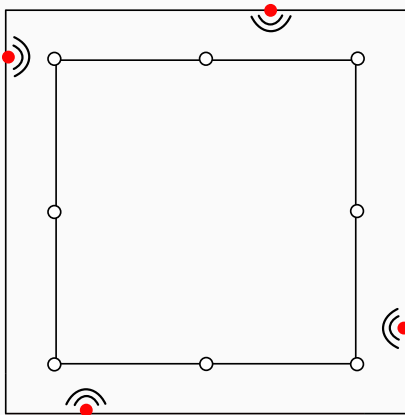
(a) Puntos a evaluar

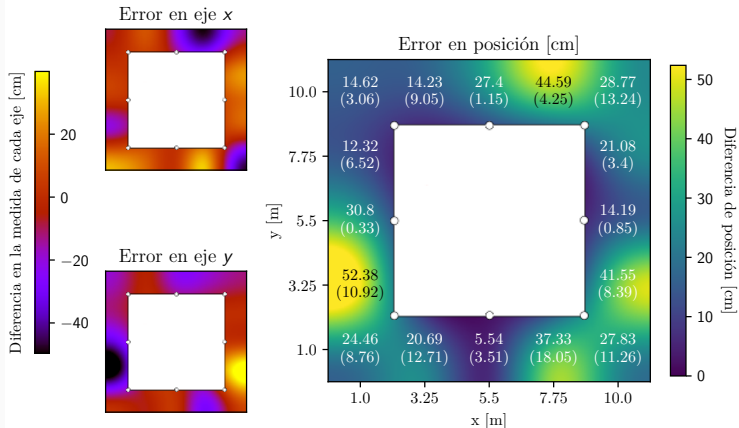


(b) Trayectoria

**Figura 5:** Disposición de la planta del edificio de Física.

## Configuración de 4 balizas

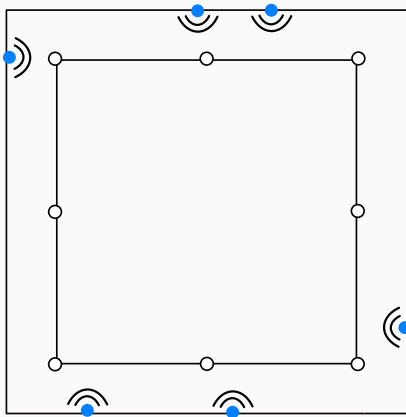




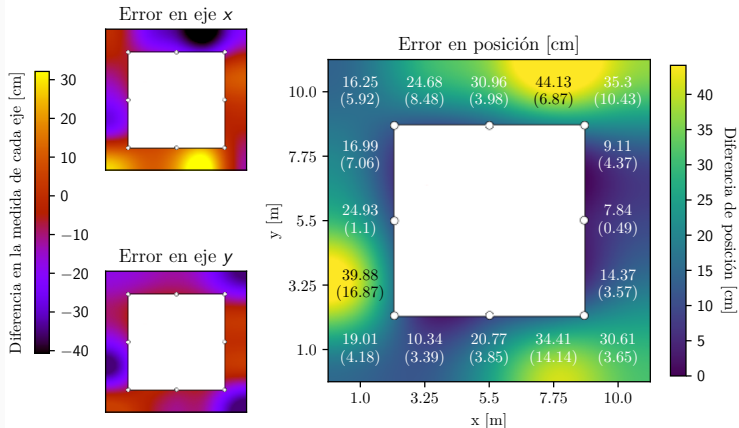
	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	0.5	-8.6	15.3	15.4	26.1
Mediana	3.4	2.08	13.7	11.2	25.9
Desv. estándar	18.4	10.2	18.7	13.8	12.5
Máximo	27.8	39.9	40.8	49.6	52.3
Mínimo	-40.8	-49.6	2.3	0.5	5.5

**Tabla 3:** Resumen de los errores en el edificio de Física con 4 balizas.

## Configuración de 6 balizas



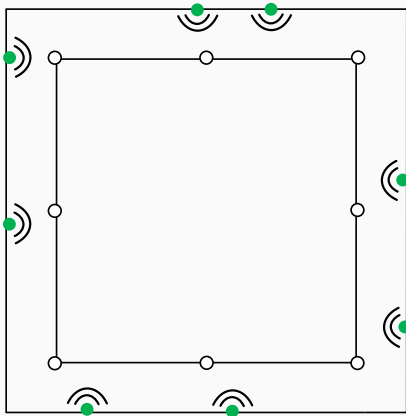


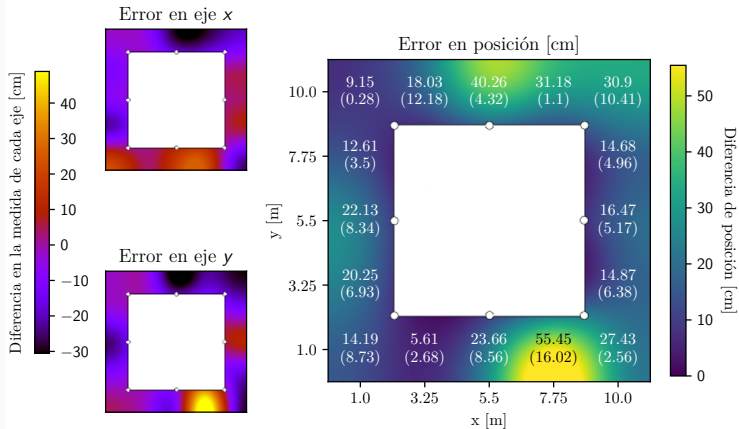


	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	-4.7	-11.9	16.0	12.1	23.7
Mediana	-3.8	-10.4	17.7	10.3	22.7
Desv. estándar	18.7	10.5	10.8	10.1	10.9
Máximo	32.1	1.1	40.8	30.8	44.1
Mínimo	-40.7	-30.9	3.3	0.4	7.8

**Tabla 4:** Resumen de los errores en el edificio de Física con 6 balizas.

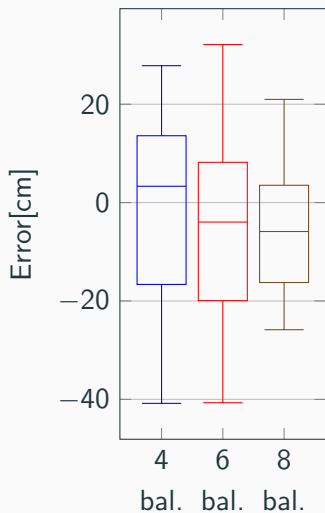
## Configuración de 8 balizas



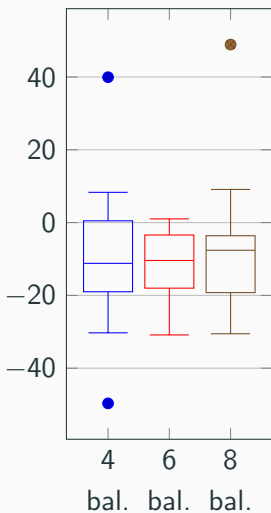


	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	-3.5	-6.2	11.9	13.7	22.3
Mediana	-4.7	-7.1	11.4	9.6	19.1
Desv. estándar	13.6	12.3	7.5	12.3	12.2
Máximo	21.0	48.9	25.8	48.9	55.5
Mínimo	-40.7	-30.5	3.3	1.5	5.6

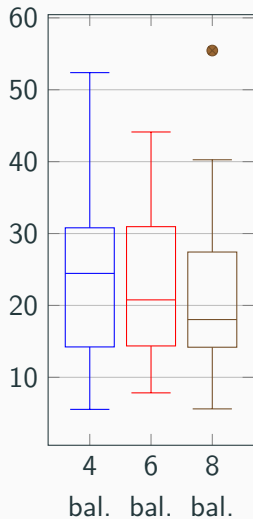
**Tabla 5:** Resumen de los errores en el edificio de Física con 8 balizas.



(a) Eje x



(b) Eje y



(c) Posición

## Conclusiones

---

Al usar solo 4 balizas en todo momento, la posición de las balizas es crítica para un correcto posicionamiento.

En general, se obtienen errores dos órdenes de magnitud menores que la superficie total.