

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

Trabajo de Fin de Grado  
Grado en Física

---

Daniel A. Durán García  
Tutor: Carlos Javier García Orellana  
24 de septiembre de 2020  
Universidad de Extremadura



1. Posicionamiento local
2. Técnicas de posicionamiento
3. Metodología
4. Resultados
  - Laboratorio
  - Edificio de Física
5. Conclusiones

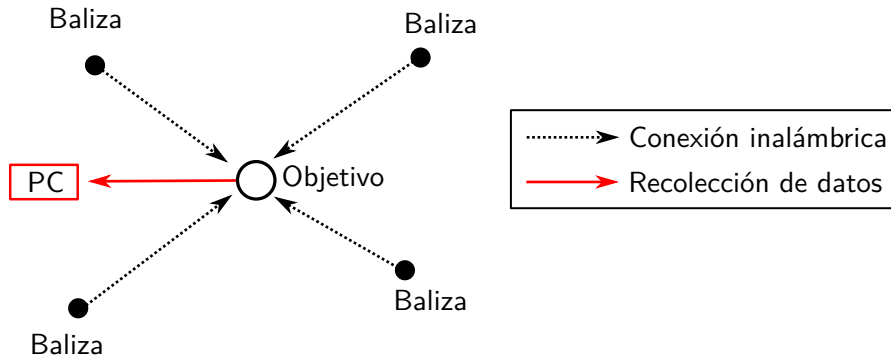
## Posicionamiento local

---

## Posicionamiento local

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

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



# **Técnicas de posicionamiento**

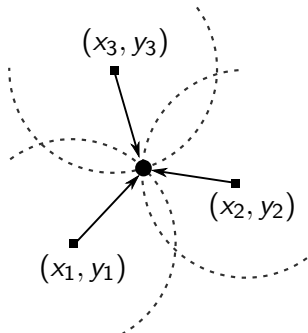
---

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

# 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.

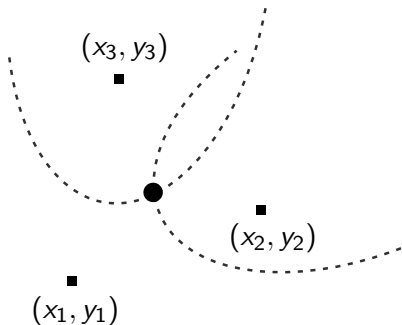
Requiere la sincronización de relojes de balizas y objetivo.



# 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.

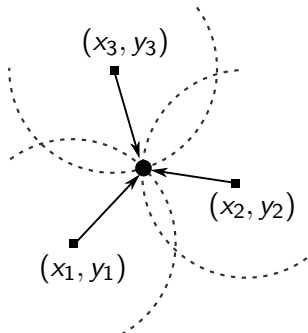




## Potencia percibida (RSSI)

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

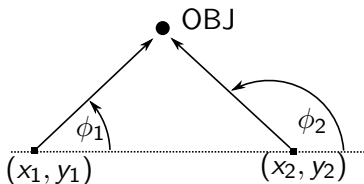
Muy susceptible a interferencias.



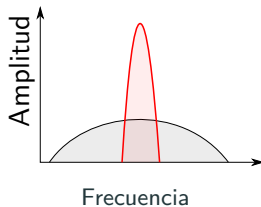
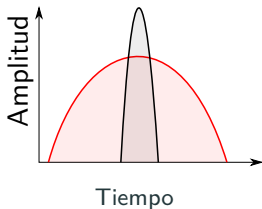
# Ángulo de llegada (AOA)

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.



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



Dominio de tiempo en negro y dominio de frecuencia en rojo.

# 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.
- Poca influencia con 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.

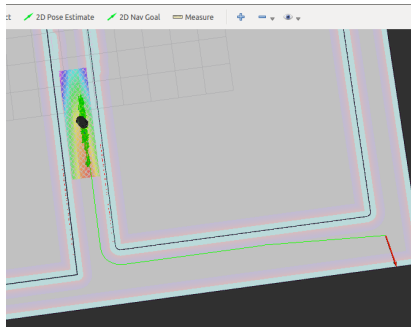
Es posible su uso con el entorno ROS.





ROS incluye un paquete de navegación autónoma del robot.

En un entorno controlado, permite enviar coordenadas a las que el robot se desplace, evitando obstáculos.



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.

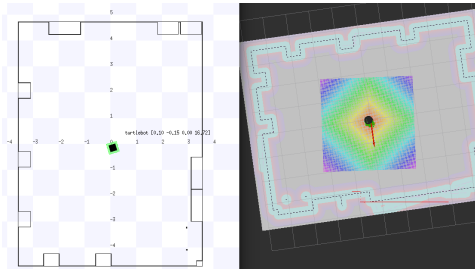
Configurando uno de los sensores como objetivo se colocó encima del robot.

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

# Toma de datos

Previamente a la toma de datos con el robot, se realizaron simulaciones de las trayectorias en el simulador Stage incluido en ROS.

Para una navegación más precisa, se realizaron de forma previa los mapas de ambos escenarios usados en dicha simulación y en la navegación con el robot.



# Resultados

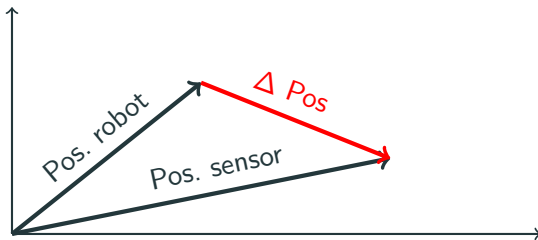
---

# 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

---

# Laboratorio

En el laboratorio se podía encontrar una superficie amplia sin obstáculos.

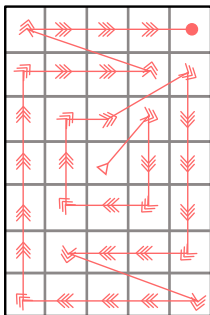


Fotografías del laboratorio de Robótica del ICCAEx.

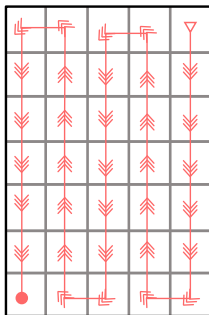
# Laboratorio - Puntos a medir y trayectoria

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

Puntos a evaluar



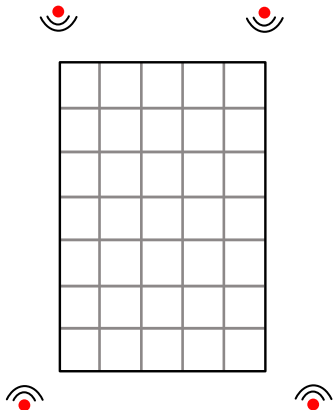
Trayectoria en espiral



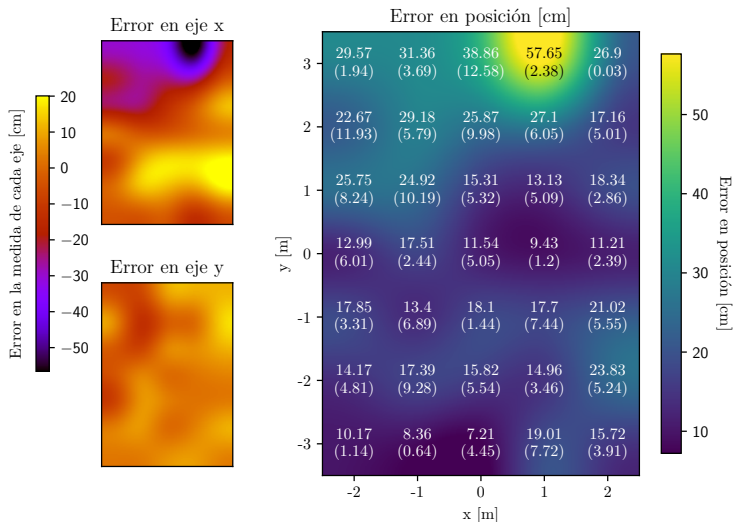
Trayectoria en vertical



## Laboratorio - Prueba con 4 balizas



# Laboratorio - Resultados con 4 balizas

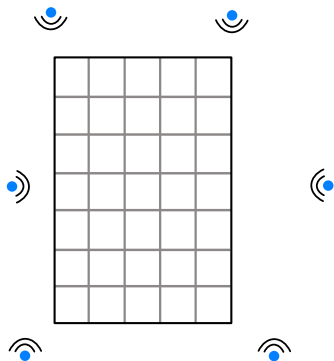


## Laboratorio - Resultados con 4 balizas

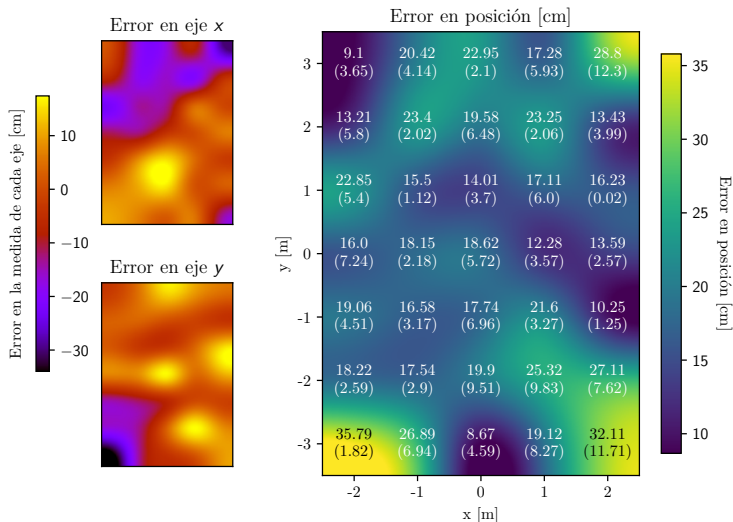
	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	-6.7	3.1	14.6	5.77	20.0
Mediana	-3.3	4.1	13.1	4.9	17.7
Desv. estándar	17.8	5.9	12.2	3.4	9.6
Máximo	20.1	14.4	56.6	14.4	57.6
Mínimo	-56.6	-12.4	0.5	0.7	7.2

Resumen de los errores en el laboratorio con 4 balizas.

Configuración con 6 balizas



# Laboratorio - Resultados con 6 balizas

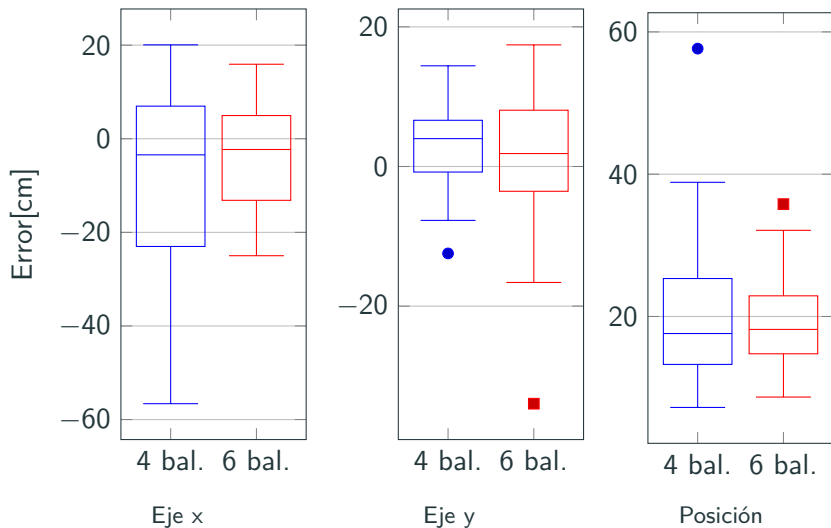


## Laboratorio - Resultados con 6 balizas

	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

Resumen de los errores en el laboratorio con 6 balizas.

# Laboratorio - Comparación de las configuraciones de balizas



# Edificio de Física

---



# Edificio de Física

La primera planta del edificio de Física presenta una superficie mayor que el laboratorio con la presencia de obstáculos entre las balizas y el objetivo.

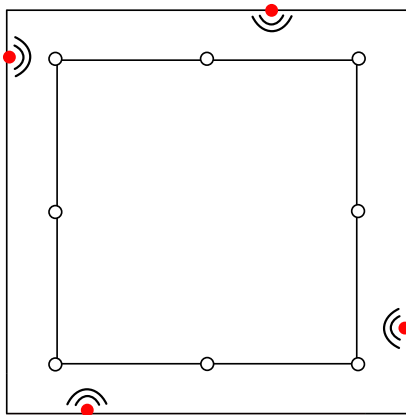


Fotografías del edificio B de la Facultad de Física.

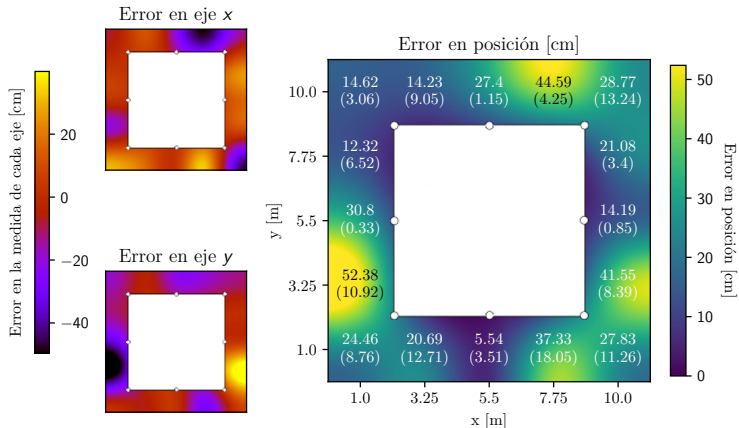


## Edificio de Física - Resultados con 4 balizas

Configuración de 4 balizas



# Edificio de Física - Resultados con 4 balizas

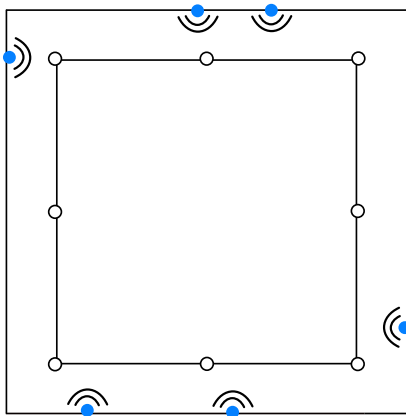


## Edificio de Física - Resultados con 4 balizas

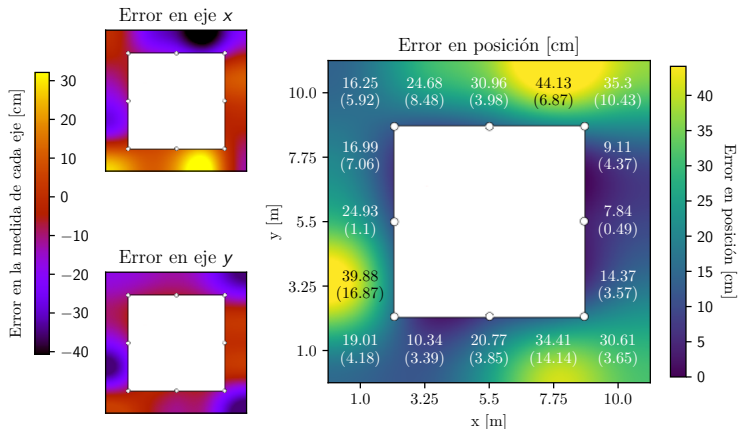
	Error en eje x (cm)	Error en eje y (cm)	Error en eje x (absoluto) (cm)	Error en eje y (absoluto) (cm)	Error en posición(cm)
Media	0.5	-8.6	15.3	15.4	26.1
Mediana	3.4	2.08	13.7	11.2	25.9
Desv. estándar	18.4	10.2	18.7	13.8	12.5
Máximo	27.8	39.9	40.8	49.6	52.3
Mínimo	-40.8	-49.6	2.3	0.5	5.5

Resumen de los errores en el edificio de Física con 4 balizas.

### Configuración de 6 balizas



# Edificio de Física - Resultados con 6 balizas



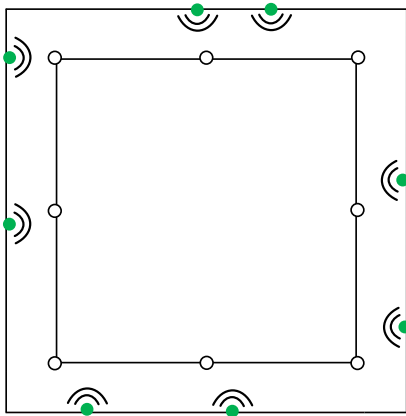
## Edificio de Física - Resultados con 6 balizas

	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	-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

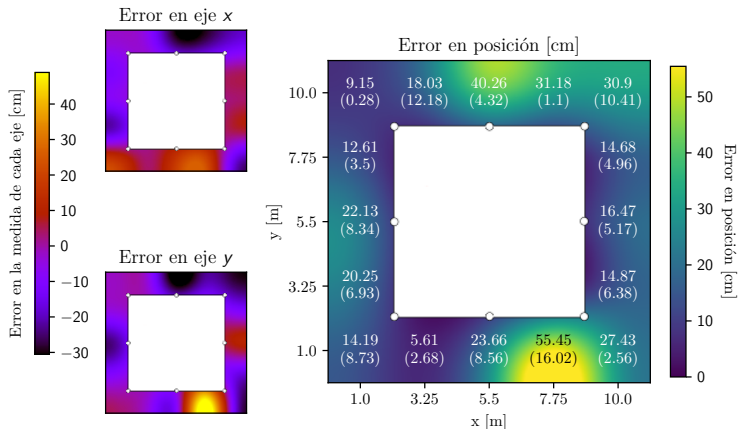
Resumen de los errores en el edificio de Física con 6 balizas.



## Configuración de 8 balizas



# Edificio de Física - Resultados con 8 balizas

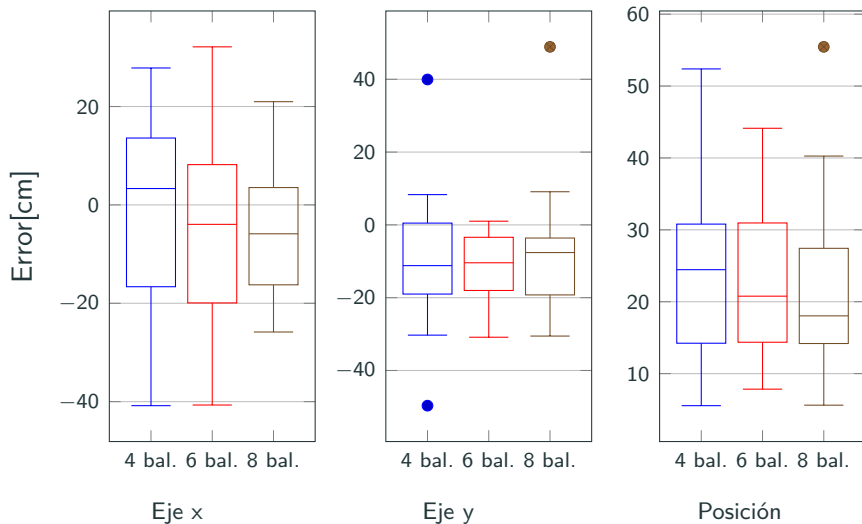


# Edificio de Física - Prueba con 8 balizas

	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

Resumen de los errores en el edificio de Física con 8 balizas.

# Edificio de Física - Comparación de resultados



## Conclusiones

---

Se ha medido el rendimiento del kit comercial DecaWave MDEK1001 de Ultra-wide Band con la ayuda de un robot autónomo en dos escenarios con distintas características.

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

La presencia de obstáculos que evitan la visión directa tienen un efecto crítico en el posicionamiento.

Aunque la tecnología UWB ofrece el mejor rendimiento entre sus rivales, sus puntos débiles hacen que el problema del posicionamiento no esté del todo resuelto.

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

Trabajo de Fin de Grado  
Grado en Física

---

Daniel A. Durán García  
Tutor: Carlos Javier García Orellana  
24 de septiembre de 2020  
Universidad de Extremadura