



Departamento de electrónica  
Robótica

## Elaboración y validación práctica de un modelo cinemático directo de un robot móvil

---

Docente: Msc. Giannetta, Hernán

Ayudante: Ing. Granzella, Eduardo Damián

Apellido y nombre	Legajo
Bonzini, Aramis Augusto	141.582-1
Martinez, Jorge Nahuel	140.940-2

Entrega informe	Fecha
Primera	03/06/2016
Segunda	
Aprobación	

# Índice

1. Introducción	2
2. Desarrollo	3
3. Resultados	4
3.1. Experimento . . . . .	4
3.2. Medición de velocidad . . . . .	5
3.2.1. Encoder Derecho . . . . .	6
3.2.2. Encoder Izquierdo . . . . .	7
3.3. Espectro de las señales de los encoder . . . . .	8
3.3.1. En vacío . . . . .	8
3.3.2. Con carga . . . . .	9
3.4. Problemas en la trayectoria debido a estos efectos . . . . .	10
4. Conclusiones	11

## Resumen

Se propone la construcción teórica de un modelo de control cinemático del robot móvil Múltiplo N6 basado en el análisis de Dudek & Jenkin [1], y su posterior validación práctica.

**Palabras claves:** Robot móvil, control cinemático, modelo cinemático.

## 1. Introducción

En el campo de la robótica móvil se requiere desarrollar un modelo cinemático fiel del robot, ya que cuando éste deba realizar una tarea, deberá reconocer en cada instante, mediante diversos sensores, el entorno que lo rodea. En función de su concepción del ambiente y su modelo, deberá decidir en tiempo real qué acciones tomar para su desplazamiento.

A diferencia de los actuadores, los robots móviles no disponen de una referencia fija anclada a una estructura que les permita tener un punto de referencia absoluto sobre el cual basar sus decisiones, sino que se deben tomar siempre referencias relativas a un punto de partida o un punto anterior. Por esto, al existir algún error en el cálculo del desplazamiento, se obtendrá una imperfección en el punto al cual se quiera arribar, el cual se sumará en cada movimiento, pudiendo ocasionar que el resultado final no sea el previsto. Por lo tanto, cuanto más exacto sea el modelo cinemático del robot móvil, será posible seguir más fehacientemente la premisa de una trayectoria, desviándose lo menos posible del punto final.

Se propone diseñar un modelo teórico del robot Múltiplo N6 basado en sus dimensiones geométricas y en las bases teóricas vistas en la materia “Robótica”. Luego, se desarrollará una trayectoria genérica, impartidosela como objetivo al robot en cuestión, para poder recolectar los datos del camino realizado en la práctica y poder corroborar la validez del modelo planteado, extrayendo así conclusiones.

## 2. Desarrollo

El robot sobre el cual se va a llevar a cabo la experimentación es el Múltiplo N6. Éste es un robot del tipo diferencial con una rueda libre en la parte posterior para mejorar su estabilidad.

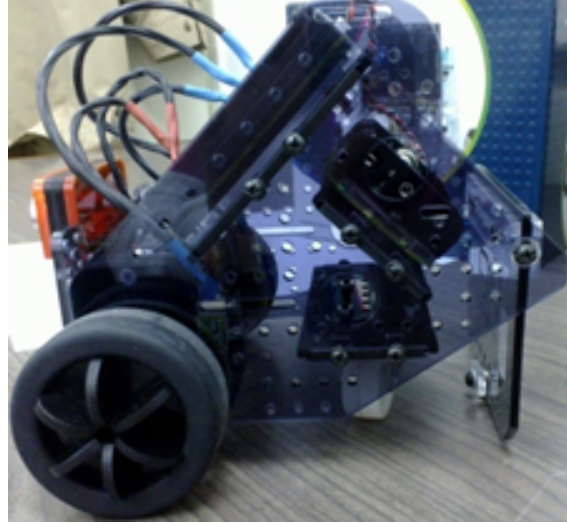


Figura 1: Robot diferencial utilizado

Sus dimensiones físicas necesarias para obtener el modelo cinemático son:

- Distancia entre ruedas: 13 cm
- Diámetro de las ruedas: 5.9 cm

Además, se cuenta con la siguiente información sobre los motores:

- Velocidad máxima de las ruedas: **200RPM**

Según la teoría de cinemática directa desarrollada por Dudek & Jenkin [1], para un robot con manejo diferencial, el par de ruedas está montado sobre un eje común. Además, se pueden realizar las siguientes suposiciones:

- El robot se mueve sobre una superficie plana sin irregularidades ni defectos del suelo.
- Los ejes de guiado son perpendiculares al suelo.
- Las ruedas se mueven con rodadura pura, es decir, el deslizamiento es despreciable.

De esta forma, si las ruedas del robot giran sobre el suelo con diferentes velocidades, entonces habrá un punto, denominado *ICC* (Centro Instantáneo de Curvatura), alrededor del cual ambas giran y describen una trayectoria circular. Las ecuaciones para determinar la ubicación del punto de giro y la velocidad con que se desplaza el robot, son las siguientes:

$$R = \frac{l}{2} \cdot \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l} \quad (2)$$

Por lo tanto, para generar una trayectoria circular genérica con un radio de 15cm y un tiempo de giro de 10 segundos:

$$R = 15 \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{10\text{s}}$$

Con  $l = 13 \text{ cm}$ , despejando las velocidades:

$$v_l = 21.86 \%$$

$$v_r = 8.64 \%$$

Debido a que la implementación será llevada a cabo sobre un microcontrolador Arduino, el cual cuenta con funciones que imprimen velocidades a los motores de forma relativa a la máxima, se deben trabajar en forma porcentual.

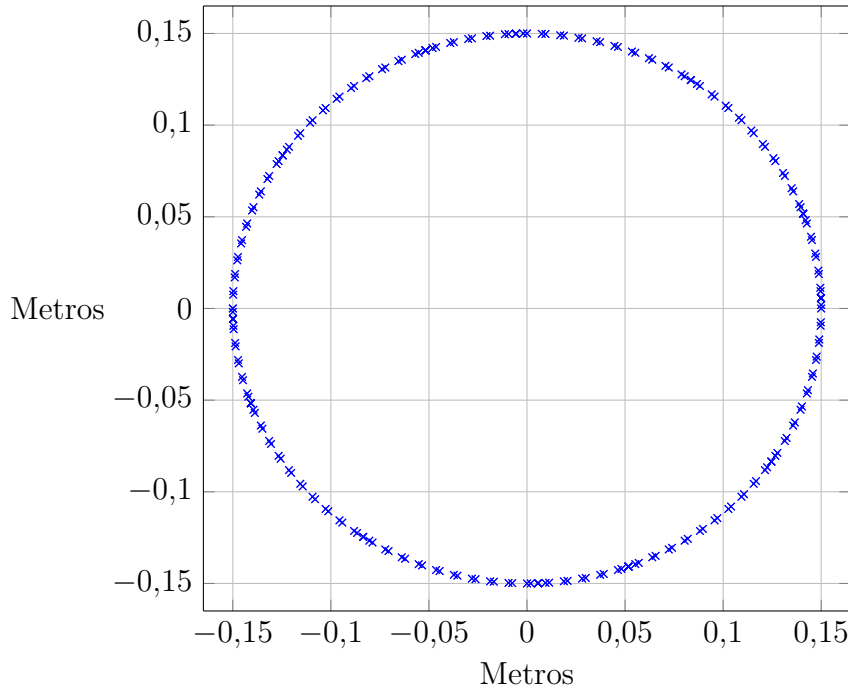


Figura 2: Trayectoria a realizar

## 3. Resultados

### 3.1. Experimento

Durante la experimentación se observaron varios problemas en la implementación de la trayectoria diseñada. Principalmente, para una trayectoria circular con un radio determinado, el resultado termina siendo un círculo diferente al esperado, de un radio diferente al calculado, lo que hace que el robot se detenga en un punto distinto y no de una revolución justa, acumulando un error y produciendo que al cabo de varias revoluciones, el punto final obtenido no coincida con el de partida.

Esto se debe a que las velocidades medidas en los encoder son diferentes a las esperadas, lo que da a pensar que las velocidades máximas de los motores son diferentes a la indicada o que la implementación de las funciones de Arduino no es como se supuso. Por lo tanto, se podría proponer un factor de corrección para ajustar las velocidades teóricas a emplear, de modo de obtener resultados más certeros.

Realizando una simple aproximación cinemática, la trayectoria puede contener mucho error, y ser diferente a la esperada.

### 3.2. Medición de velocidad

Para conocer cómo evoluciona el robot en su recorrido, se deben utilizar los encoders ópticos adosados a las ruedas, los cuales permiten medir los desplazamientos angulares. Esto se hace a través de los sensores ópticos *CNY70*, los cuales detectan los cambios de luz al ubicarse frente a superficies blancas y negras, que son las marcas de los encoders. Como su respuesta es del tipo analógica en función de la luz reflejada sobre la superficie a sensar, las cuentas obtenidas mediante el conversor ADC son una indicación del tipo de superficie vista por el sensor, tendiendo a disminuir cuando el color sea negro y a incrementarse cuando sea blanco.

De esta forma, la separación entre 2 picos sucesivos (sean mínimos o máximos), representa el avance de la rueda en 1 posición del encoder. Relacionándolo con el tiempo entre dichos sucesos, se tiene la velocidad de desplazamiento de dicha rueda.



Figura 3: Encoders ópticos que utiliza el robot.

Para comprobar la validez del modelo cinemático teórico del robot se realizaron las siguientes experiencias:

1. **En vacío:** Sosteniendo el robot de tal forma que las ruedas queden totalmente aisladas del contacto con la superficie del suelo y rueden libres. Para verificar que efectivamente los desplazamientos de ambas coinciden con los esperados.
2. **Cargado:** Sobre una superficie regular.

### 3.2.1. Encoder Derecho

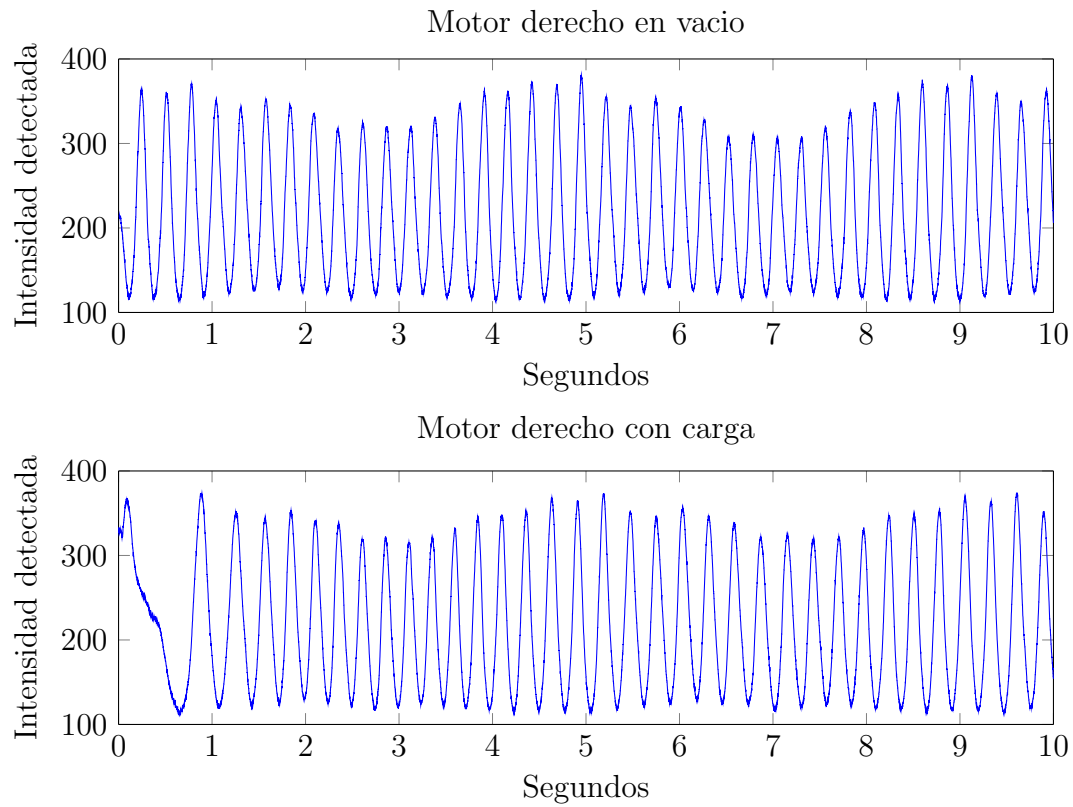


Figura 4: Mediciones del encoder de la rueda derecha

Cabe notar que la respuesta extraña en el inicio del motor derecho con carga, se debe a un error en la comunicación con el Arduino. No representan una variación inesperada en la velocidad, sino un simple error de datos.

### 3.2.2. Encoder Izquierdo

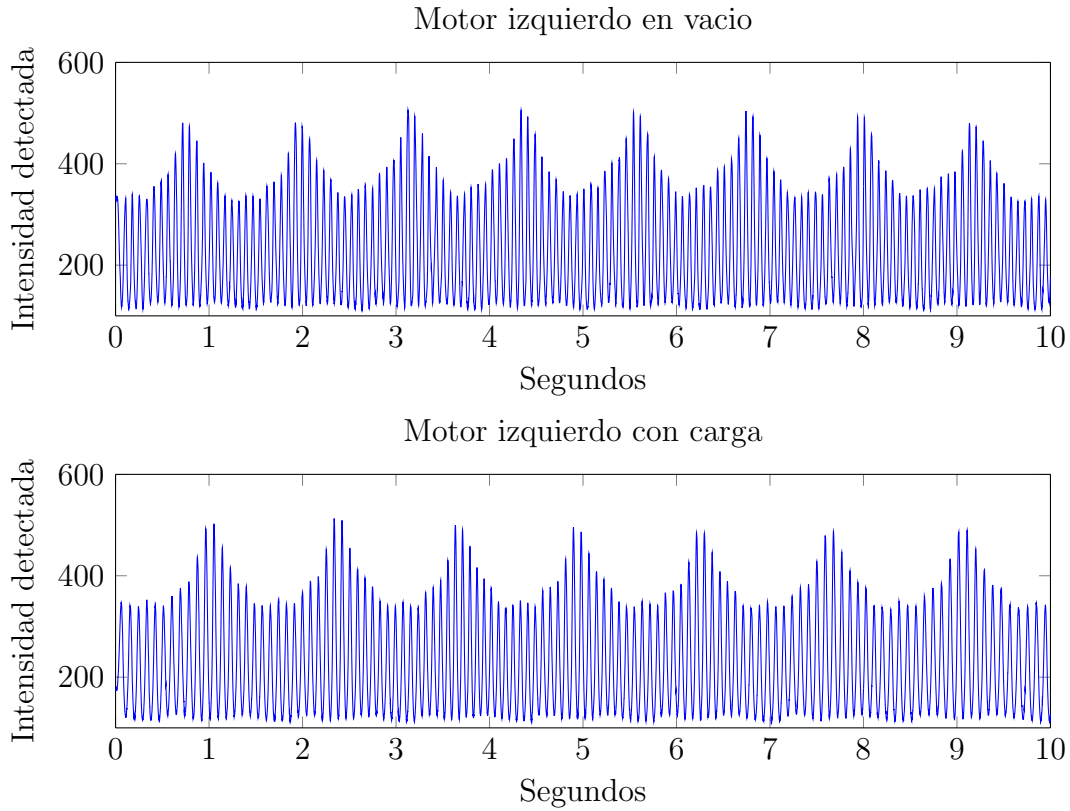


Figura 5: Mediciones del encoder de la rueda izquierda

En ambas imágenes se puede apreciar la señal de interés afectada por una señal espúrea de baja frecuencia. Esto se debe al juego mecánico que tiene cada rueda, que produce el alejamiento del encoder respecto del sensor en parte de la vuelta (donde la máxima intensidad de los picos se minimiza) y el acercamiento en la zona contraria.

Al contabilizar cada cuantos pasos se repite, se ve claramente que coincide con el total de divisiones del encoder (16 en este caso). Por lo tanto, el período de dicha señal será de una revolución de la rueda, mientras que la señal de interés tendrá un período  $N$  veces menor, siendo  $N$  las divisiones del encoder, con lo cual, al hacer un análisis espectral, ambas informaciones se encuentran lo suficientemente separadas como para poder distinguirlas sin errores.

En un sistema mecánico perfecto sin juego, la señal proveniente del encoder sería una senoidal con amplitud constante.

### 3.3. Espectro de las señales de los encoder

#### 3.3.1. En vacío

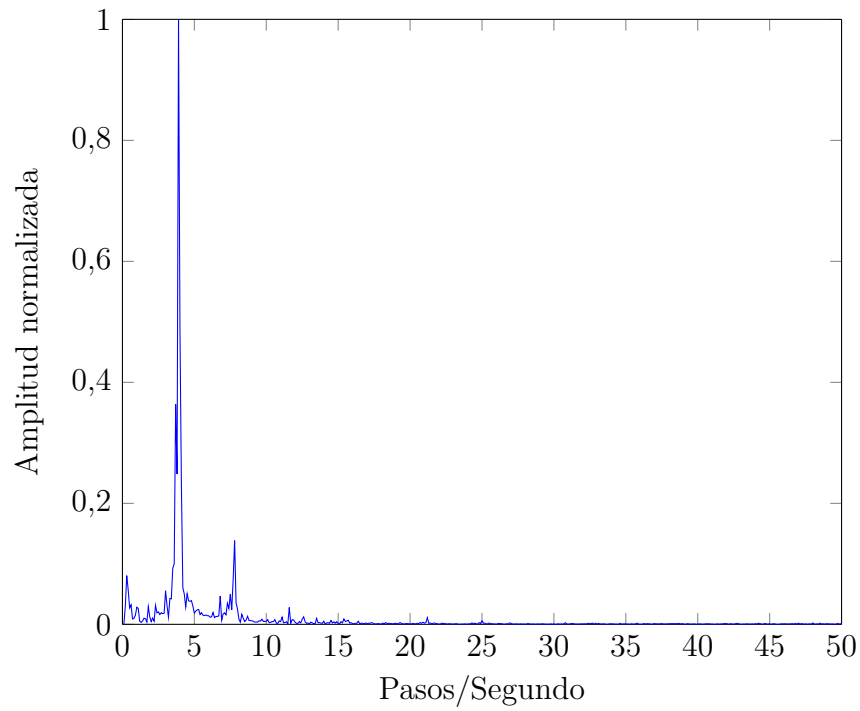


Figura 6: Espectro frecuencial del encoder derecho en vacío

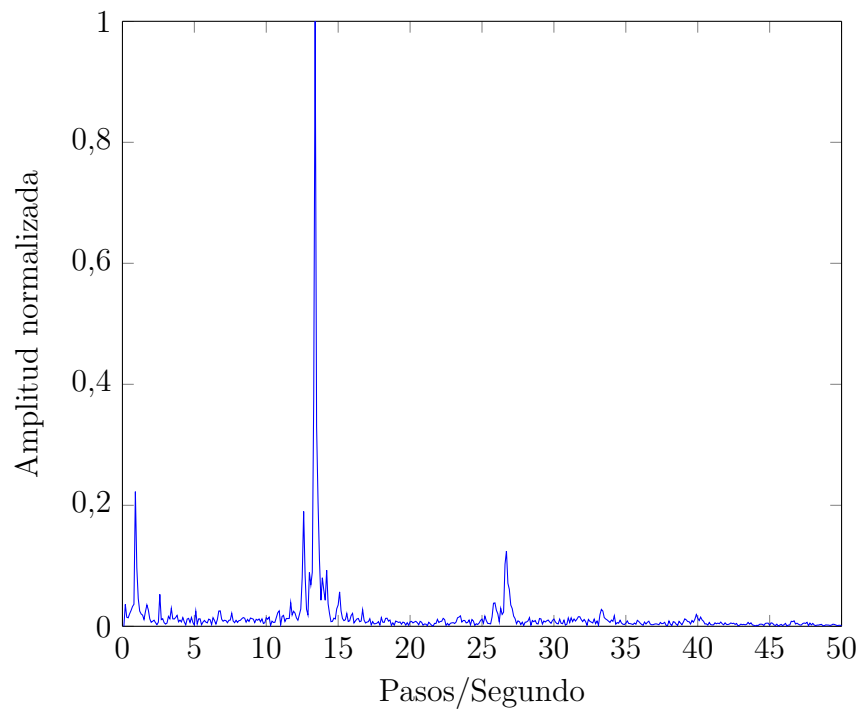


Figura 7: Espectro frecuencial del encoder izquierdo en vacío



### 3.3.2. Con carga

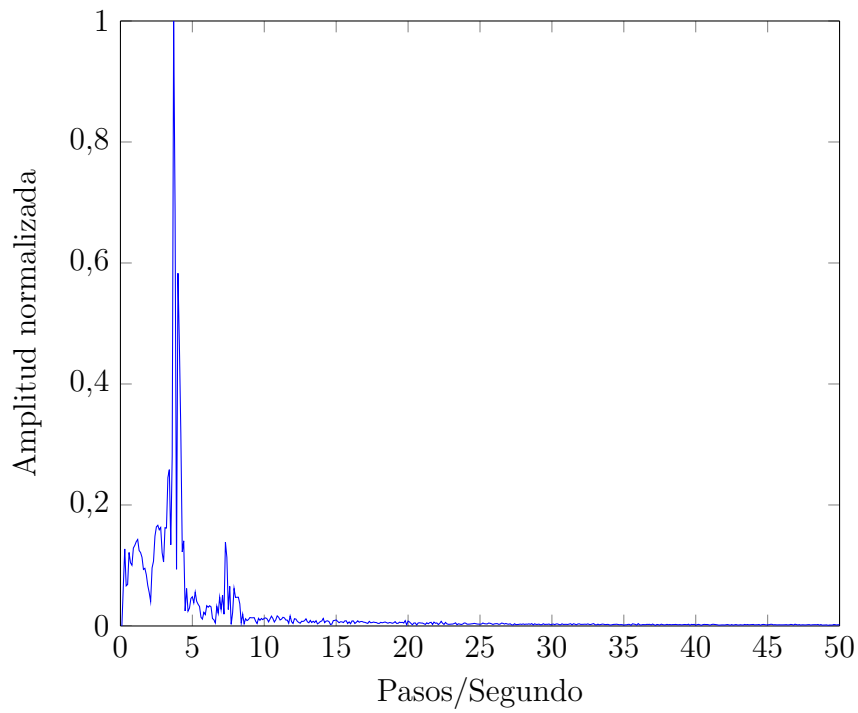


Figura 8: Espectro frecuencial del encoder derecho con la rueda cargada

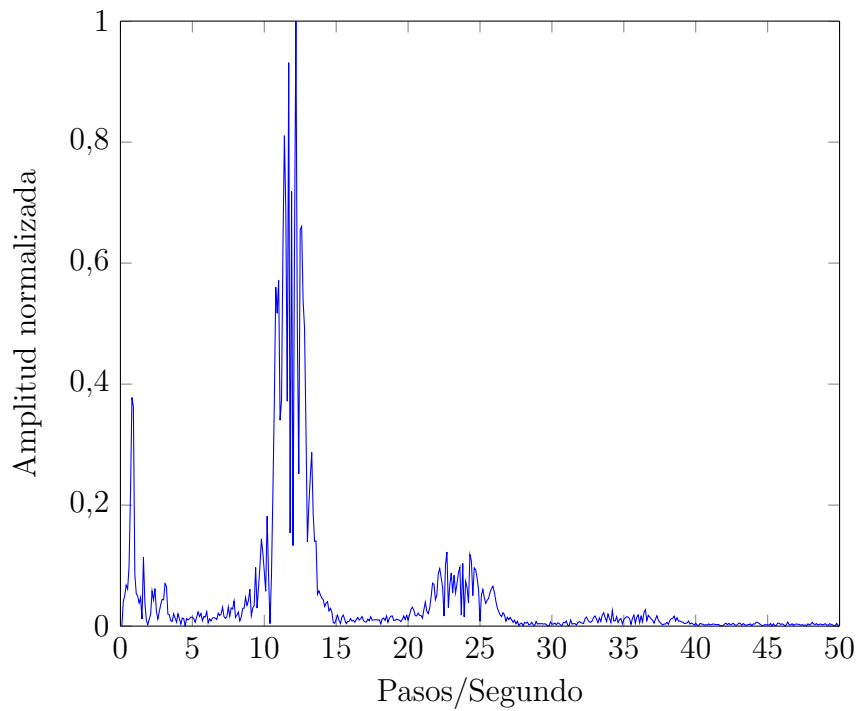


Figura 9: Espectro frecuencial del encoder izquierdo con la rueda cargada

Se observa en el espectro la componente de mayor energía, que es la rotación de la rueda a la velocidad deseada. Al mismo tiempo, se ve la baja frecuencia debido al juego mecánico del sistema motor-rueda-reducción.

Estas perturbaciones son mas notorias cuando el motor está cargado. También se observa en el sistema cargado, que se observa un “Jitter” o ruido mecánico, probablemente debido a resbalamientos con la superficie, o problemas similares.

Hay que recordar que la existencia de estos efectos mecánicos de frecuencias distintas, son extremadamente perjudiciales para el buen funcionamiento del robot. Se trata de energía inyectada al sistema que termina funcionando en frecuencias distintas a la buscada, reduciendo así el rendimiento o aumentando el consumo, y encima interfiriendo en el buen funcionamiento y medición.

### 3.4. Problemas en la trayectoria debido a estos efectos

Obviamente, todos estos efectos observados (frecuencias bajas de giro debido al juego de la rueda, diferencia entre las velocidades nominales de los motores, diferencia entre funcionamiento en vacío y en el suelo, etc.), van a afectar la trayectoria. Al mismo tiempo no se están teniendo las consideraciones dinámicas, tal como lo son las masas, momentos de inercia, rozamientos y demás.

Al plantear un modelo dinámico simple sin tener todas estas consideraciones, se verá que el resultado final será muy diferente al resultado estimado con la matemática: Esto se traducirá a una trayectoria no circular, de un radio diferente al calculado, y, además, como esta planeado para que de una vuelta completa; el robot no terminará en la marca de la vuelta completa sino que se pasará de largo o se detendrá antes de llegar al objetivo.

Esto se ve detallado en las siguientes figuras:

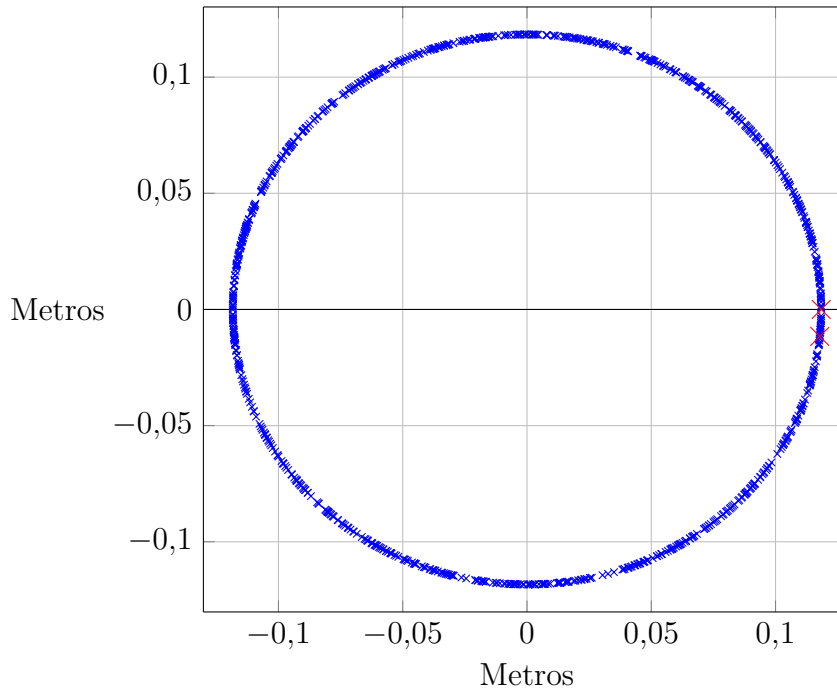


Figura 10: Trayectoria real del robot al aire

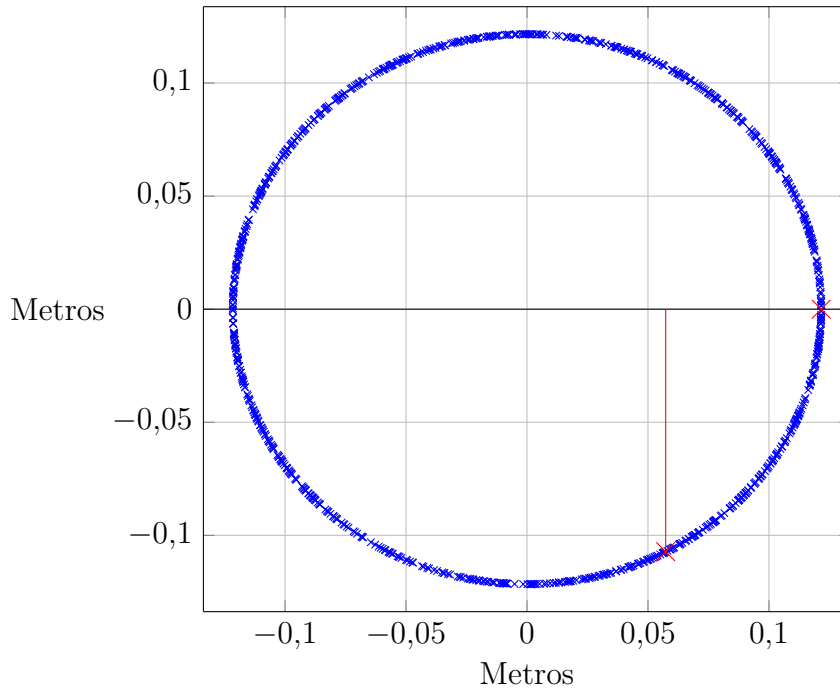


Figura 11: Trayectoria real del robot en el suelo

Donde se observa la trayectoria deseada punto por punto y, con las cruces rojas, punto inicial y punto final. Esta trayectoria es la real realizada por el robot. Idealmente, el sistema fue diseñado para que comience y termine en el mismo punto; aquí se observa que esto no ocurre.

Al girar las ruedas libremente (Figura 10), se ve que se acerca de todas formas bastante a la realidad, con puntos de inicio y final bastante cercanos. Al ensayar con el robot en el piso, sin embargo, se puede ver que los puntos son mas distantes (Figura 11), y que no solo dio una vuelta de un radio menor al calculado (13 cm) sino que además se pasó de largo.

Es debido a estas medidas que podemos concluir con seguridad, que si bien el modelo cinemático del robot permite calcular fácilmente trayectorias deseadas, estas luego no podrán ser fielmente representadas en la operación real del robot.

## 4. Conclusiones

Este trabajo fue realizado con la intención de experimentar con el diseño de una trayectoria simple de un robot, utilizando solamente su modelo cinemático. El objetivo fue, en parte, no solo verificar el buen diseño y funcionamiento, sino también poder caracterizar las diferencias que presenta el sistema en la realidad. Esto se observa rápidamente, ya que la mecánica del robot nunca es un sistema perfecto, y aún considerando un modelo mas completo (por ejemplo teniendo en cuenta las condiciones dinámicas), hay un sinnúmero de variables y efectos que resultan impredecibles, como por ejemplo ruidos eléctricos, juego mecánico, y muchas consideraciones ambientales.

Si se decide ensayar el robot en condiciones controladas (por ejemplo al vacío), ni siquiera será una representación fiel, ya que luego al colocar en su ambiente, se ven acentuadas todas las condiciones ambientales antes mencionadas.

Está de mas decir, entonces, que para cualquier sistema serio de robótica, donde se busque una buena precisión y rendimiento, deberían implementarse sistemas de control mas complejos, y modelados mas completos, ya que cualquier desviación, aunque sea mínima, resultará en una variación a veces considerable en el resultado final.

Incluso en una trayectoria tan simple como hacer un giro a una velocidad lenta, los propios parámetros constructivos del robot limitan la confiabilidad de la trayectoria final, y atentan contra el buen resultado deseado. Esto resultará ser crucial si la trayectoria es la de un vehículo automático o una máquina de calidad industrial.

## Referencias

- [1] G. Dudek; M. Jenkin. Computational Principles of Mobile Robotics. Cambridge University Press (2010).