

Proyecto de grado  
Control y Comportamiento de Robots Omnidireccionales

# Diseño Mecánico de un Robot Omnidireccional

Santiago Martínez, Rafael Sisto  
pgomni@fing.edu.uy  
<http://www.fing.edu.uy/~pgomni>

**Tutor**

Gonzalo Tejera

**Cotutores**

Facundo Benavides, Santiago Margni

Versión 1.1

Instituto de Computación  
Facultad de Ingeniería - Universidad de la República  
Montevideo - Uruguay

8 de agosto de 2009



## Resumen

En este documento se describe la construcción de un robot omnidireccional utilizado en este proyecto de grado. Se describen las características técnicas consideradas para la estructura del robot así como la elección de las ruedas. En lo referente a la estructura del robot, se detallan las consideraciones técnicas y decisiones tomadas. Respecto a las ruedas, se realizan comparaciones, tanto técnicas como económicas, con otros tipos de ruedas y se explican las características consideradas para determinar la utilización de las ruedas elegidas.



# Índice

1. Introducción	9
2. Estructura principal	11
3. Elección de ruedas	13
4. Control del Robot	15



## Índice de figuras

1.	Disposición de las ruedas en el robot. . . . .	11
2.	Robot creado con kit Lego Mindstorms NXT. . . . .	12
3.	Robot creado con Lego Digital Designer[3]. Vista en perspectiva (izquierda) y vista superior (derecha). . . . .	12
4.	Configuraciones de tres y cuatro ruedas en los robots. [1] . . . . .	13
5.	Ruedas omnidireccionales utilizadas para la construcción del robot. Vista de perspectiva (izquierda), vista lateral (centro) y vista superior (derecha).[5] . . . . .	14
6.	Ruedas de la empresa Kornylak. A la izquierda una rueda simple, a la derecha, aplicación de estas ruedas[2]. . . . .	14



# 1. Introducción

Para utilizar el sistema implementado, se construyó un robot que sería utilizado para observar el comportamiento en el mundo físico. Se debió considerar las herramientas de construcción a utilizar así como las dimensiones de éste y la comunicación con el sistema. Estos aspectos se consideraron de forma general ya que el fin del proyecto es la implementación del sistema de control y planificación de trayectorias para robots omnidireccionales, no siendo el aspecto mas importante la construcción del robot físico.

Se detallarán las herramientas utilizadas así como las componentes más importantes para poder realizar los desplazamientos omnidireccionales: las ruedas. Tal como se vio en [6], se necesitan ruedas de determinados tipos para poder realizar los desplazamientos buscados. Dentro estos tipos, de los que se excluyen los de las Ruedas de tipo Automóvil, se estudiaron tanto las Ruedas Convencionales como las Especiales. Ya se explicó en [6] que si bien las Ruedas Convencionales permiten realizar movimientos omnidireccionales, se necesita un tiempo para posicionar las ruedas en el sentido del desplazamiento. Por otro lado, las Ruedas Especiales permiten realizar los movimientos omnidireccionales de forma directa. En este documento se detallarán las distintas Ruedas Especiales estudiadas y consideradas así como las componentes de ellas que fueron tomadas en cuenta para seleccionar las que se utilizarían en el proyecto.

Este documento comienza describiendo la estructura principal que se utilizó para la construcción del robot, luego se describe la decisión de las ruedas a utilizar y finalmente los cálculos necesarios para el control del robot construido.



## 2. Estructura principal

En esta sección se presentará la estructura del robot omnidireccional diseñado para realizar pruebas con el fin de validar las ventajas y desventajas de robots omnidireccionales en general.

Para el diseño de este robot se tuvieron en cuenta todas las estructuras descritas en el estado del arte de este proyecto [6]. Se consideraron las restricciones del kit lego Mindstorms NXT [4] en lo referente a motores y piezas. Con este kit se pueden controlar hasta 3 motores por defecto.

Estas restricciones determinaron que el diseño de robot a construir debería contar con 3 ruedas. Partiendo de esto, el próximo paso fue evaluar las distintas opciones de ruedas, tema tratado en la sección 3.

Para la estructura principal del robot se decidió que se utilizarían tres ruedas omnidireccionales con los rodillos dispuestos a  $90^\circ$  respecto de la rueda principal. Esto llevó a que se construyera una estructura triangular, como se muestra en la figura 1.

El resultado de utilizar la estructura y las ruedas descritas se puede apreciar en la figura 2.

Luego de la implementación física se utilizó la aplicación Lego Digital Designer [3] para realizar un modelo digital del robot. Esta aplicación fácilmente crea un manual de construcción en HTML, el cual se puede ver en la página del proyecto [7]. En la figura 3 se muestran distintas vistas del modelo. Cabe destacar que por las limitaciones del software utilizado, el modelo fue realizado con ruedas convencionales, ya que no existía un modelo de las ruedas omnidireccionales utilizadas para el robot físico.

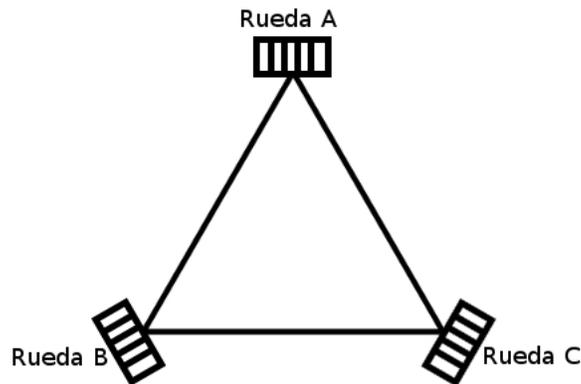


Figura 1: Disposición de las ruedas en el robot.

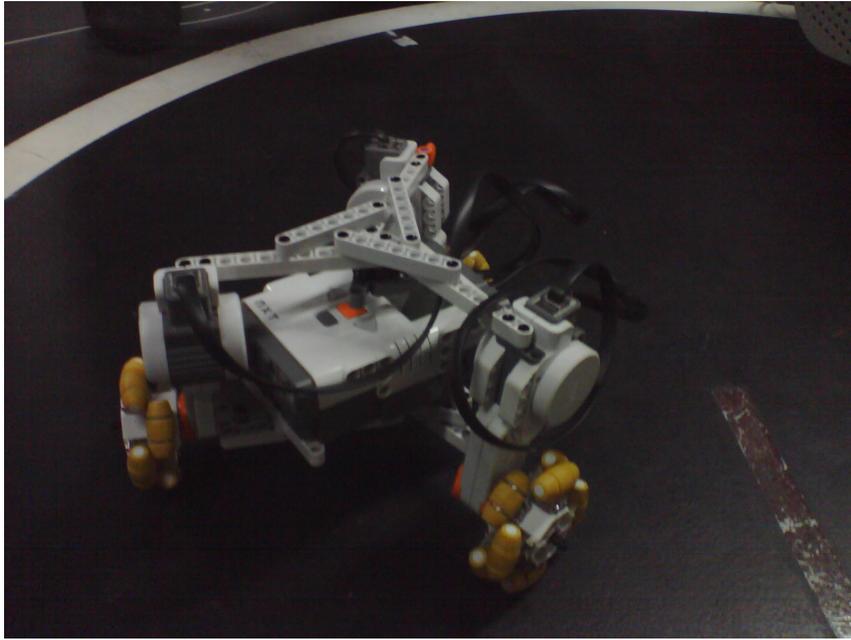


Figura 2: Robot creado con kit Lego Mindstorms NXT.

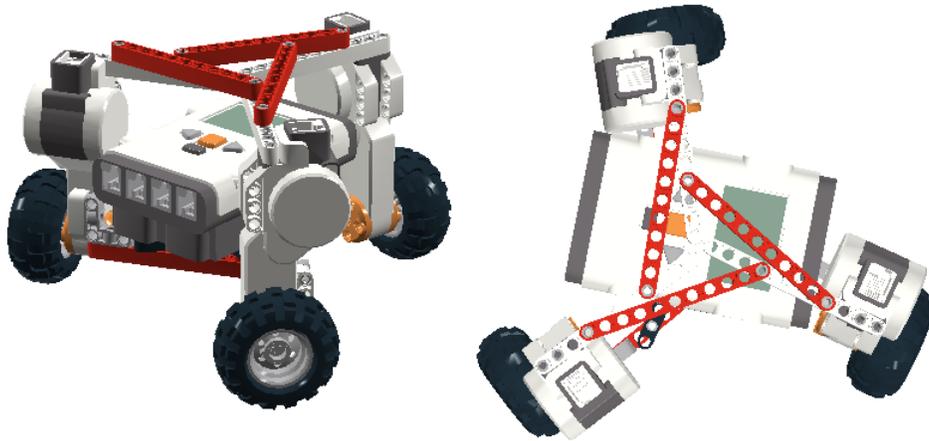


Figura 3: Robot creado con Lego Digital Designer[3]. Vista en perspectiva (izquierda) y vista superior (derecha).

### 3. Elección de ruedas

Para la elección de ruedas a utilizar en el robot desarrollado en el proyecto se realizó un relevamiento de las existentes en el mercado. Se consideraron aspectos como capacidad de carga, tamaño de la rueda y rodillos, precio y compatibilidad con el resto de las componentes del robot. Como aspecto fundamental, se buscaba la capacidad de realizar trayectorias de forma omnidireccional. En [6] se vio que esto es posible mediante la utilización de ruedas convencionales obteniendo un comportamiento cuasi-omnidireccional. Utilizando ruedas especiales se logra la omnidireccionalidad de forma natural además de quitar complejidad al diseño mecánico, por lo que se optó por la utilización de estas ruedas.

El robot desarrollado consta de tres ruedas. Se consideró la posibilidad de construir el robot con cuatro ruedas pero luego de observar las diferencias entre estas dos configuraciones resultó que se desarrollaría la primera sin perder capacidad omnidireccional y disminuyendo la complejidad mecánica (debido a que se tiene que controlar menos ruedas), tal como se explicó en el documento [6]. Las dos configuraciones consideradas se pueden observar en la figura 4.

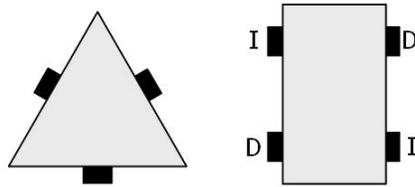


Figura 4: Configuraciones de tres y cuatro ruedas en los robots. [1]

Así, la elección de ruedas también debía considerar la configuración. En los robots de tres ruedas, es recomendable utilizar aquellas en las que los rodillos se encuentran a un ángulo de  $90^\circ$  respecto de la rueda principal. No se imposibilita el utilizar ruedas cuyo ángulo entre los rodillos y la rueda sea otro, pero esto introduciría una mayor complejidad mecánica en la creación u obtención de las ruedas.

Tras considerar esta configuración, se debían tener en cuenta otras características de las ruedas para su uso, como son la capacidad de carga de cada una y el precio de compra disponible en el mercado.

Las capacidades de carga de las ruedas disponibles superaban ampliamente la necesaria para el robot en construcción. Para ejemplificar, las ruedas del fabricante *School of Robotics* [5] (ver figura 5) poseen una capacidad de carga de 25kgs. por rueda. Las ruedas del fabricante *Kornylak Corporation* [2] (ver figura 6) poseen una capacidad de carga dependiente del tipo de ruedas, pero varían entre los 34kgs. y los 135kgs. Por lo tanto, tras evaluar estos datos, la capacidad de carga no limitaba las ruedas a adquirir para el robot considerando todos los fabricantes.

Los precios de las ruedas son muy dispares de acuerdo a cada fabricante. Para considerar el precio total de cada rueda, se consideró la cantidad necesaria para asegurar que los rodillos siempre posean un punto de contacto con la superficie para cada rueda. Para las ruedas del fabricante *School of Robotics*, alcanza con adquirir tres ruedas para el robot, cada una a un costo de US\$11 [5]. Considerando al fabricante *Kornylak Corporation*, de igual forma, se deben adquirir seis ruedas para el correcto funcionamiento del robot, ya que hay que utilizar 2 ruedas por motor para que la rueda siempre tenga contacto con la superficie sin dar saltos (ver figura 6). Sin embargo, el precio de estas ruedas, considerando las de calidad más baja, era de US\$14,67 ya que se construyen de forma de poseer una mayor capacidad de carga que las del fabricante anterior [2]. A pesar de que el precio era superior a las ruedas del primer fabricante, el adquirir estas ruedas podría justificarse para una futura reutilización en un robot de mayor tamaño y peso, por lo que se necesitó considerar alguna otra característica que justifique la decisión.

De esta forma, se llegó a la condicionante más importante al momento de elegir las ruedas: la compatibilidad con el kit de construcción LEGO NXT siendo esta la herramienta que se utiliza para construir el robot. De las ruedas estudiadas, solamente las del fabricante *School of Robotics* son compatibles de forma nativa, por lo tanto eligiéndose como las ruedas utilizadas en la construcción del robot [5]. Estas ruedas además brindan dos características adicionales: los rodillos son recubiertos en goma lo que permite una mayor fricción con la superficie de contacto y que los rodillos son suficientemente anchos como para no perder la capacidad omnidireccional en una superficie rugosa o blanda (por ejemplo: una moquette). Con el fin de ejemplificar lo anterior, si los rodillos no fueran suficientemente anchos, al utilizarlos en una moquette se notaría que la rueda principal entraría en contacto con la superficie, perdiendo la capacidad omnidireccional.

También se consideró el tamaño de las ruedas ya que se pretende que el tamaño del robot no supere los 15 centímetros de diámetro por considerarse éste un tamaño apropiado para participar en futuras competiciones. Así

mismo, el peso de las ruedas, de 52 gramos no se consideró significativo dentro del peso del robot luego de su construcción. Las especificaciones de estas ruedas se pueden ver en la tabla 1.

En la figura 5 se pueden ver las ruedas adquiridas para la construcción del robot omnidireccional del presente proyecto de grado.

<i>Característica</i>	<i>Detalle</i>
Dimensiones	64mm. de diámetro, 12mm. de ancho.
Peso	52gr.
Capacidad de carga	25 kg. por rueda.
Material	Goma de alra fricción, marco de plástico, ejes y marcos de acero inoxidable.
Compatibilidad	Directa con el kit LEGO Mindstorm. Adaptable a otros kits.

Cuadro 1: Tabla detallando las características de las ruedas a utilizar.

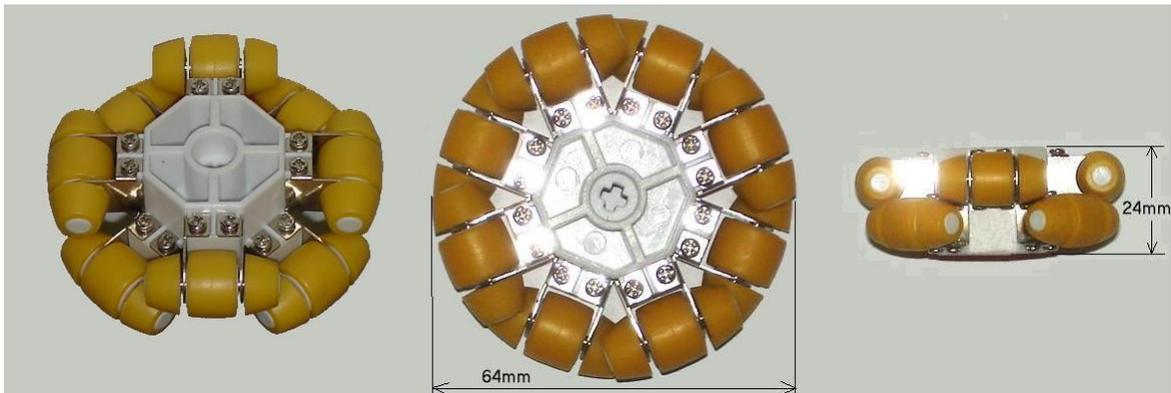


Figura 5: Ruedas omnidireccionales utilizadas para la construcción del robot. Vista de perspectiva (izquierda), vista lateral (centro) y vista superior (derecha).[5]



Figura 6: Ruedas de la empresa Kornylak. A la izquierda una rueda simple, a la derecha, aplicación de estas ruedas[2].

## 4. Control del Robot

En esta sección se describe el control básico necesario para el robot desarrollado en la sección 2. La primer parte de esta sección describe los cálculos matemáticos necesarios para controlar el robot con el comportamiento deseado y finalmente se detallan valores determinados de forma empírica para controlar los motores del kit lego Mindstorms NXT[4].

Los cálculos para el control básico del robot ya fue visto en el documento Estado del Arte[6] de este mismo proyecto. Para el control básico del robot el objetivo es obtener las velocidades angulares de las ruedas (vector  $(\dot{\phi}_1 \ \dot{\phi}_2 \ \dot{\phi}_3)^T$  en radianes/segundo) a partir de la rotación actual del robot ( $\theta$ ) y la velocidad deseada en coordenadas cartesianas (vector  $(\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{\theta})^T$ , con  $\dot{x}$  e  $\dot{y}$  en metros/segundo y  $\dot{\theta}$  en radianes/segundo).

Como se vio en el documento de Estado del Arte[6] el vector buscado es el determinado por las ecuaciones 1.

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} -\sin(\theta) & \cos(\theta) & L \\ -\sin(\frac{\pi}{3} - \theta) & -\cos(\frac{\pi}{3} - \theta) & L \\ \sin(\frac{\pi}{3} + \theta) & -\cos(\frac{\pi}{3} + \theta) & L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde  $r$  es el radio de las ruedas,  $L$  es la distancia desde el centro del robot a las ruedas, y  $\theta$  es el ángulo entre el eje X y la primer rueda.

En base a los cálculos descritos anteriormente, el último requerimiento restante para controlar el robot físico es determinar que velocidad se debe enviar para que los motores del robot físico tomen la velocidad determinada por la ecuación 1.

Los motores del kit lego Mindstorms NXT[4] reciben el parámetro de velocidad como un valor (potencia) entre -100 y 100. El método para obtener el factor de transformación (constante  $K_{rotToPower}$ ) entre velocidad angular de ruedas a potencia de motores fue el siguiente.

Se fijó una potencia del motor en  $P_k$ , luego se tomó el tiempo ( $t_k$ ) que toma una rueda en dar  $N$  vueltas. Este tiempo fue muestreado una cantidad de veces significativa y finalmente se promediaron los valores tomados de  $t_k$ .

Luego de determinar estos parámetros empíricamente, la potencia  $P$  a enviar a un motor para que rote a una velocidad angular  $\dot{\phi}$  está determinada por:

$$P = K_{rotToPower} \dot{\phi} \quad (2)$$

donde  $K_{rotToPower}$  es la constante determinada por

$$K_{rotToPower} = \frac{P_k \cdot t_k}{2 \cdot \pi \cdot N}$$

Las constantes  $P_k$ ,  $t_k$  y  $N$  son las detalladas anteriormente.

En el caso de los motores utilizados del kit Lego Mindstorms NXT [4], el resultado de esta constante fue

$$K_{rotToPower} = 5,6172$$

Luego de determinar esta constante se comprobó empíricamente mediante el mismo método que la constante vale para todos los valores posibles de  $P$ , confirmando la hipótesis planteada en la ecuación ??, esto es, la potencia  $P$  a determinar en los motores es lineal a la velocidad angular deseada.



## Referencias

- [1] Thomas Bräunl. *Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. Springer, July 2006.
- [2] Kornylak Corporation. Omni wheels for conveyors, multidirectional, powered & skate. Retrieved October 2008 <http://www.omniwheel.com/>.
- [3] The Lego Group. Lego digital designer. Retrieved July 2009 <http://ldd.lego.com/>.
- [4] Mindstorms. Mindstorms nxt kit. Retrieved April 2008 <http://mindstorms.lego.com/Products/Default.aspx>.
- [5] School of Robotics. Retrieved on October 2008 <http://www.schoolofrobotics.com/>.
- [6] Rafael Sisto and Santiago Martínez. Estado del arte. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
- [7] Rafael Sisto and Santiago Martínez. Página principal del proyecto de grado: control y comportamiento de robots omnidireccionales". Retrieved on August 2009 <http://www.fing.edu.uy/pgomni>, August 2009.