

Guía práctica para elegir los motores de mi robot

Javier Baliñas Santos

12 de Mayo de 2018



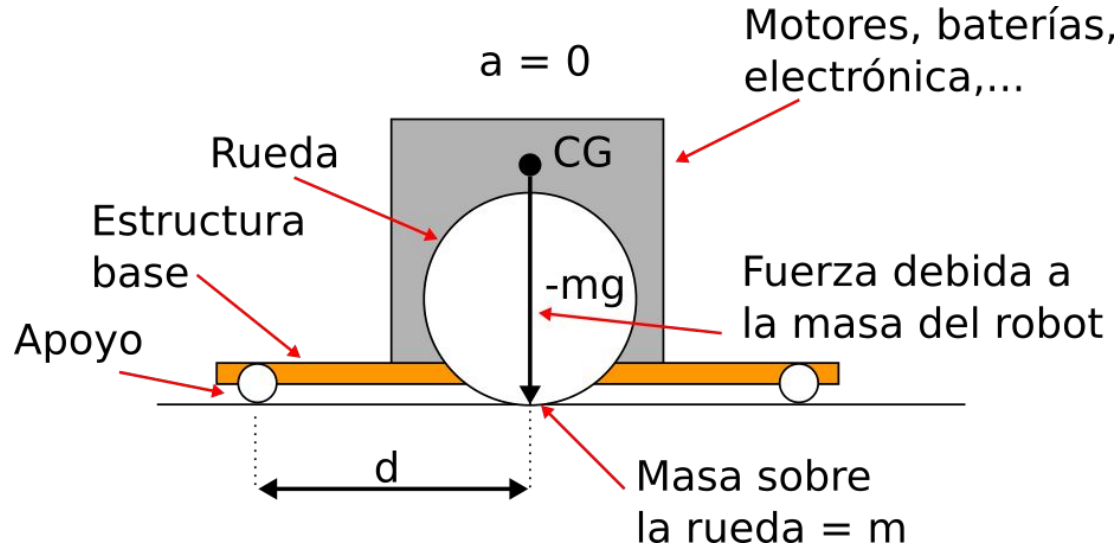
Feria de micro robótica e innovación. STEAM Granada

¿Qué vamos a ver?

1. ¿Dónde coloco los motores en mi robot?
 - 1.1. Centro de gravedad y transferencia de masa
 - 1.2. Momento de inercia
2. ¿Influye el peso del robot en el agarre al suelo?
3. ¿De cuánta potencia deberían ser los motores?
4. ¿Cómo elegir el motor de la potencia necesaria?
5. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

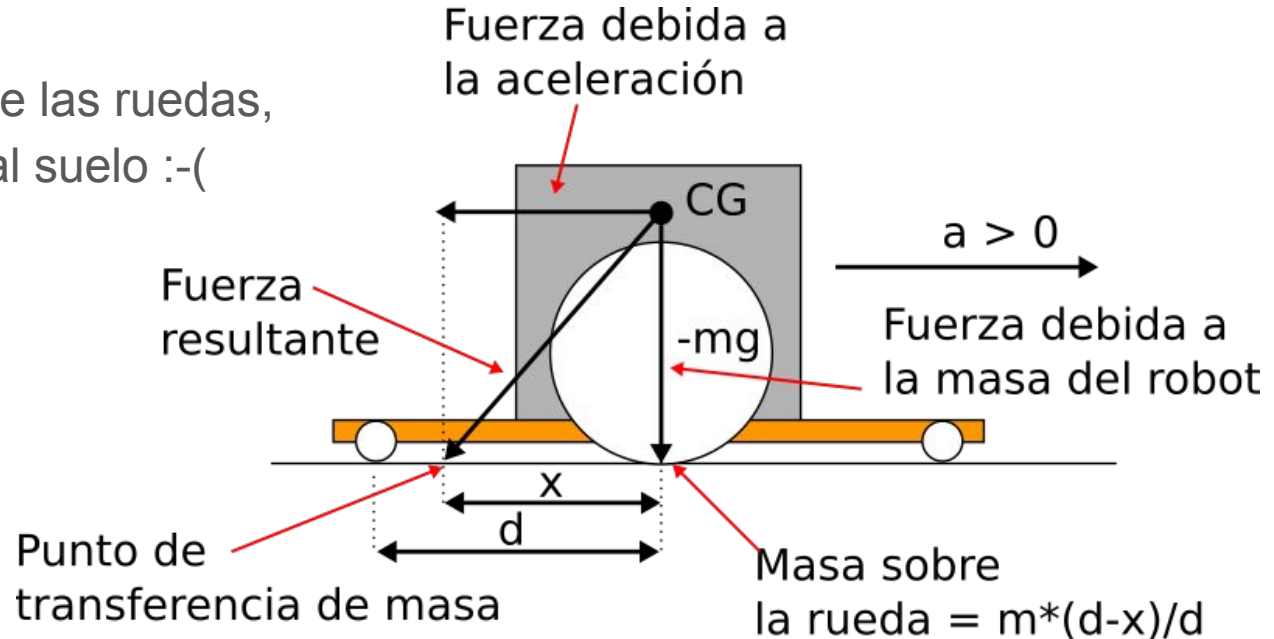
1.1. Centro de gravedad y transferencia de masa

- Cuando el robot no está acelerando/frenando, toda la masa está sobre las ruedas



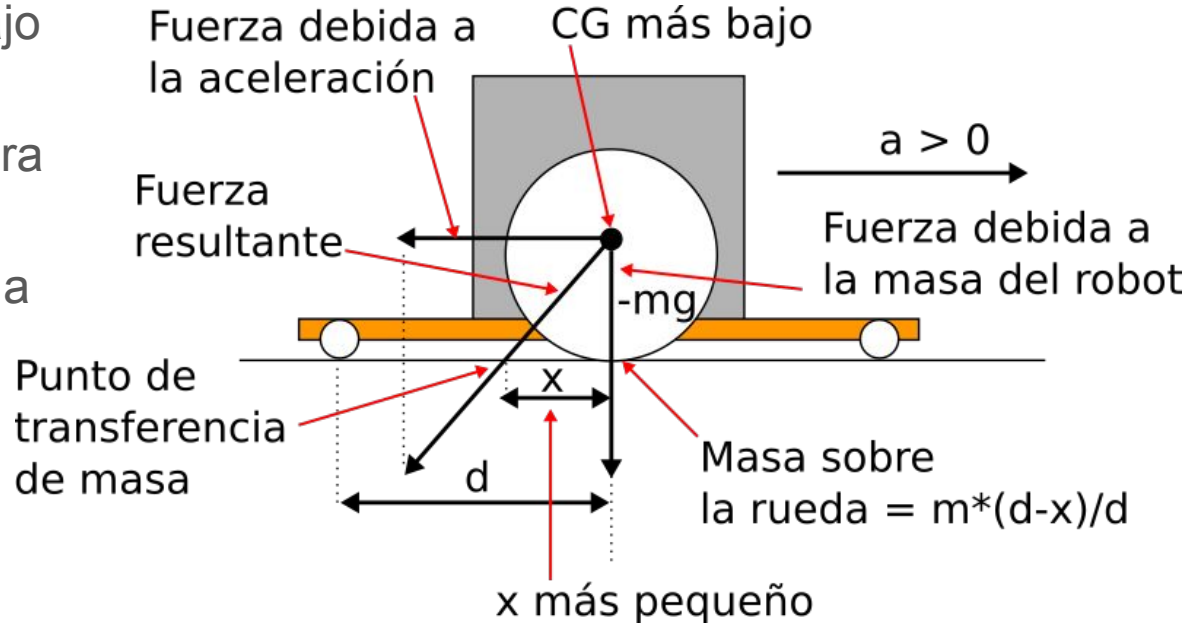
1.1. Centro de gravedad y transferencia de masa

- Centro de gravedad alto
- Transferencia de masa lejos de las ruedas
- Si no hay peso sobre las ruedas, no hay adherencia al suelo :-)



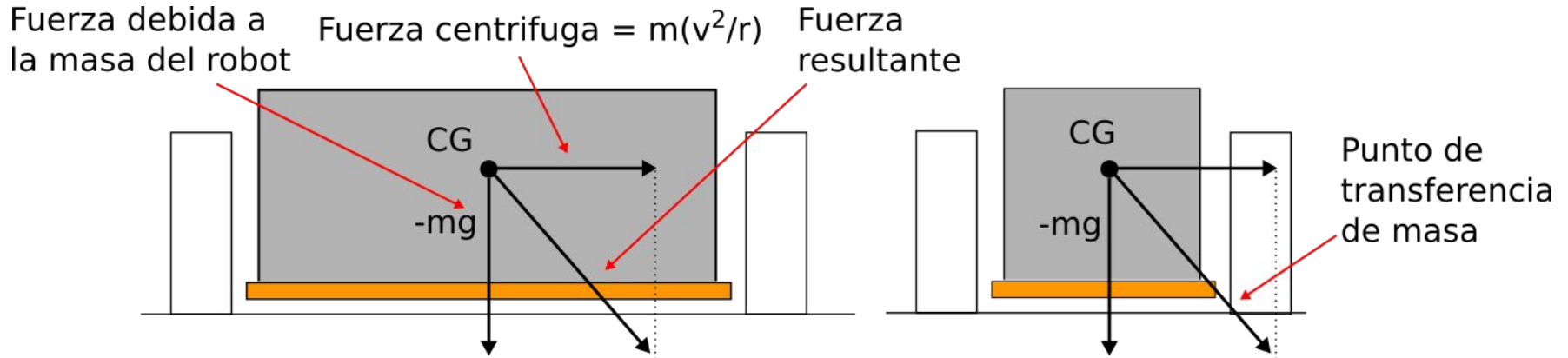
1.1. Centro de gravedad y transferencia de masa

- Centro de gravedad bajo
- Motores finos o ligeros permiten tener un CG bajo
- Más masa sobre las ruedas, mayor agarre para acelerar
- La fuerza resultante actúa a través del CG



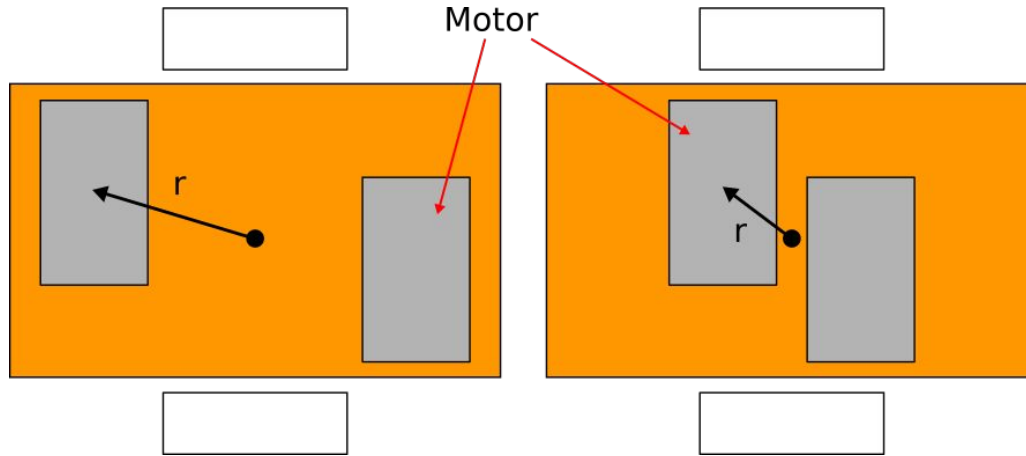
1.1. Centro de gravedad y transferencia de masa

- Transferencia de masa en una curva de radio r a una velocidad v
- Con un CG alto, mayor probabilidad de derrapar o volcar en las curvas
- Intentar mantener el CG del robot lo más bajo posible
- Intentar hacer el robot lo más ancho posible



1.2. Momento de inercia

- El momento de Inercia (I) es la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado en rotación.



$$I = m * r^2$$

m: masa del motor

1.2. Momento de inercia

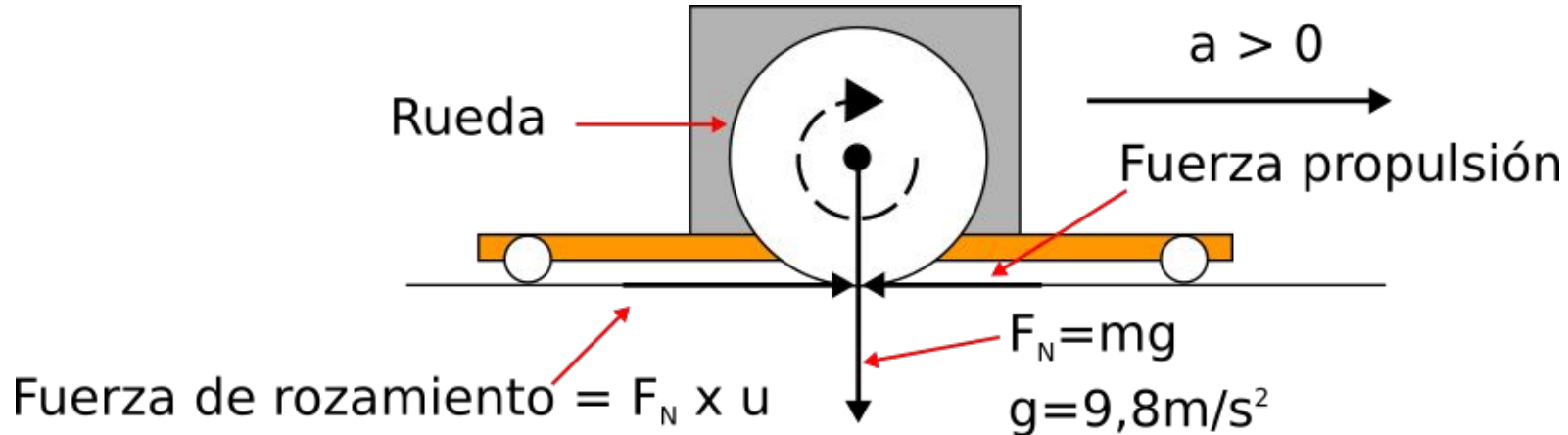
- Para un par M dado (motor), cuando el momento de inercia es grande, la aceleración en rotación se reduce → El robot gira más despacio
- Ley equivalente a $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$ en rotación:

$\text{Par} = I * \alpha$, siendo α la aceleración angular

- Mantener las partes pesadas como motores o baterías lo más cerca posible del centro del giro del robot
- Si el momento de inercia es grande, se necesitan motores de mayor potencia y por lo tanto baterías más grandes :(

2. ¿Influye el peso del robot en el agarre al suelo?

- **Fuerza (Newtons) = masa (kg) x aceleración (m/s^2)**
- La fuerza para propulsar al robot hacia delante depende de la potencia del motor y del coeficiente de rozamiento μ .
- Si el motor es de suficiente potencia \rightarrow el rozamiento es lo que limita
- Si el motor supera la fuerza de rozamiento, las ruedas derrapan



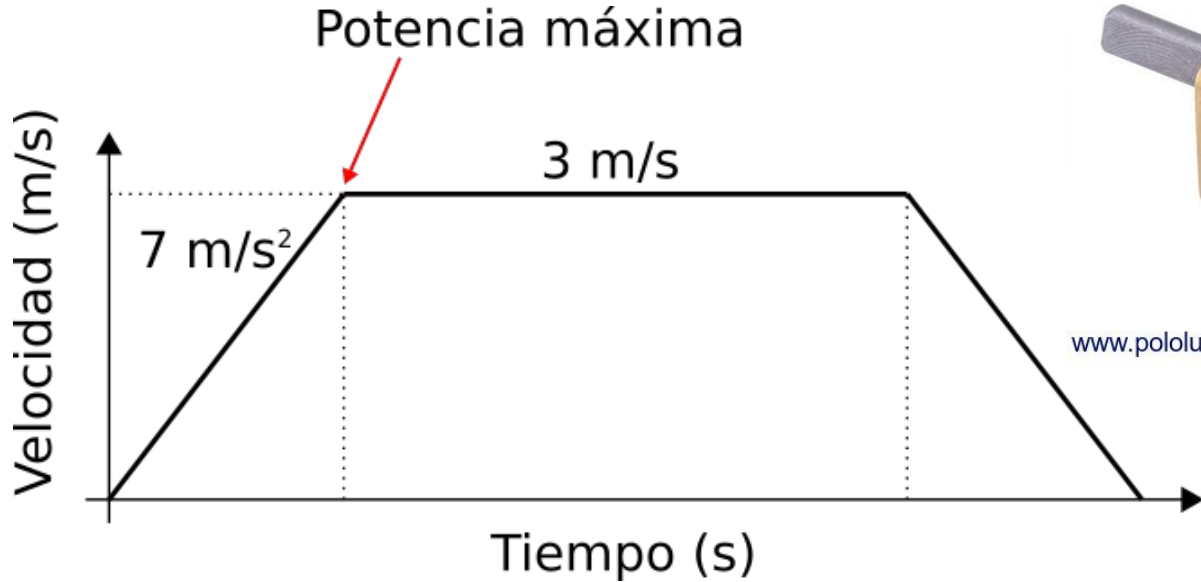
2. ¿Influye el peso del robot en el agarre al suelo?

- Para evitar el derrape:

Fuerza de propulsión < Fuerza de rozamiento ✓

- $F_R = F_N \times u$
- $F_R = mg \times u \rightarrow F_R = m (g \times u) \rightarrow F = ma$
- La aceleración límite es $= g \times u$
- Si $u=0,7 \rightarrow$ el **límite de aceleración** es aprox. $= 7m/s^2$
- **La aceleración no depende de la masa, está limitada por las ruedas.**
- La suciedad reduce el rozamiento \rightarrow limpieza de ruedas y pista

3. ¿De cuánta potencia deberían ser los motores?



www.pololu.com

3. ¿De cuánta potencia deberían ser los motores?

- **Fuerza (Newtons) = masa (kg) x aceleración (m/s²)**

$$\text{Fuerza} = 0,12\text{kg} \times 7\text{m/s}^2 = 0,84\text{N}$$

- **Potencia (w) = Fuerza(N) x Velocidad(m/s)**
- La potencia máxima se da para una aceleración de 7m/s², cerca de la velocidad máxima de 3m/s

$$\text{Potencia max.} = 0,84\text{N} \times 3\text{m/s} = 2,52 \text{ w}$$

- Como tenemos dos motores → **Potencia por motor = 1,26w**

3. ¿Cómo elegir el motor de la potencia necesaria?

- Datos del fabricante motor DC



DC-Micromotors

Precious Metal Commutation

2,9 mNm

5,3 W

Series 1524 ... SR

Values at 22°C and nominal voltage	1524 T	003 SR	006 SR	009 SR	012 SR	018 SR	024 SR	
1 Nominal voltage	U_N	3	6	9	12	18	24	V
2 Terminal resistance	R	1,1	5,1	10,6	19,8	43,9	79,3	Ω
3 Efficiency, max.	η_{max}	80	80	80	80	80	80	%
4 No-load speed		10 600	9 500	10 000	9 800	9 800	9 800	min-1

3. ¿Cómo elegir el motor de la potencia necesaria?

- Datos del fabricante conjunto motor DC + reductora (“Pololu”)

General specifications

Gear ratio:	4.995:1
Free-run speed @ 6V:	6000 rpm
Free-run current @ 6V:	120 mA
Stall current @ 6V:	1600 mA
Stall torque @ 6V:	2 oz·in
Extended motor shaft?:	N
Long-life carbon brushes?:	Y
Motor type:	1.6A stall @ 6V (HPCB 6V - carbon brush)

¿Potencia?

3. ¿Cómo elegir el motor de la potencia necesaria?

$$\text{Potencia (w)} = R/4 * (U/R - I_0)^2 \quad [1]$$

General specifications

Gear ratio:	4.995:1
Free-run speed @ 6V:	6000 rpm
Free-run current @ 6V:	120 mA
Stall current @ 6V:	1600 mA
Stall torque @ 6V:	2 oz·in

- **U (voltios)** es la tensión nominal del motor
- **I₀ (amperios)** es la corriente del motor en vacío
- **R (ohmios)** es la resistencia del bobinado del motor → $R = U/I_H$
- **I_H (amperios)** es la corriente del motor bloqueado

3. ¿Cómo elegir el motor de la potencia necesaria?

- Potencia (w) = $R/4 * (U/R - I_0)^2$

$$R = 6V/1,6A = 3,75ohm$$

$$Potencia = 3,75ohm/4 * (6V/3,75ohm - 0,12A) \rightarrow \textbf{Potencia = 2,05w}$$

- **Potencia > Potencia máxima = 1,26w** ✓
- Bateria lipo de 2 celdas $\rightarrow U=7,4v \rightarrow \textbf{Potencia = 3,22w} ✓✓$

4. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

- Una reductora (K_G) permite aumentar el par de salida del motor a costa de disminuir su velocidad
- Par (Nm) = fuerza (Newtons) x distancia (m)
- Par de salida = Par del motor * K_G

$$M_R = M_M * K_G$$

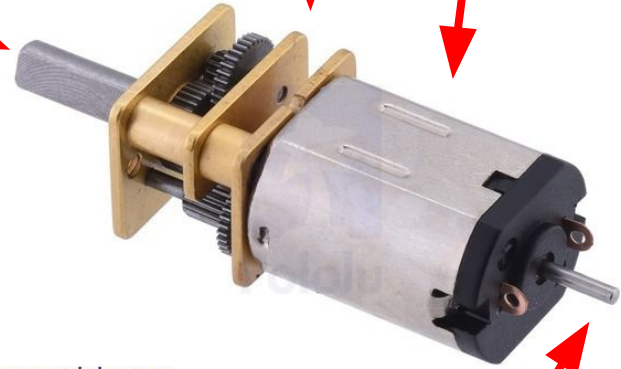
Eje de salida → rueda

- Velocidad de salida = Velocidad del motor / K_G

$$w_R = w_M / K_G$$

Eje del motor

www.pololu.com



4. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

Dos condiciones a cumplir por recomendación de los fabricantes [\[1\]](#):

1. Par necesario en el motor (M_M) $< 1/2$ * Par del motor bloqueado (M_H)

$$M_M < M_H / 2$$

$$M_R = M_M * K_G \rightarrow M_M = M_R / K_G$$

2. Velocidad necesaria en el motor (w_M) $> 1/2$ Velocidad del motor en vacío (w_0)

$$w_M > w_0 / 2$$

$$w_R = w_M / K_G \rightarrow w_M = w_R * K_G$$

4. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

Cálculo del par y la velocidad necesaria **en la rueda**:

- Rueda de diámetro $D = 24\text{mm}$
- Par total necesario $M = \text{fuerza} \times \text{radio de la rueda}$

$$M = 0,84\text{N} \times 12\text{mm} = 10,08\text{mNm}$$

- El par necesario en la rueda $\rightarrow \mathbf{M_R = 5,04\text{mNm}}$
- La circunferencia de la rueda = $\text{Pi} \times \text{Diametro de rueda} = 0,0754\text{m}$
- Velocidad = 3m/s , las revoluciones del motor $w_R = \text{Velocidad} / \text{Circunferencia}$

$$w_R = 3\text{m/s} / 0,0754\text{m} = 39,8\text{rps} \rightarrow \mathbf{W_R = 2387\text{rpm}}$$

4. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

Por lo tanto, **en la rueda** necesitamos un par de **5,04mNm** a una velocidad de **2387rpm**. Pasando a través de la reductora **en el motor** necesitamos un par y una velocidad:

$$M_M = M_R / K_G = 5,04\text{mNm} / K_G$$

$$W_M = W_R * K_G = 2387\text{rpm} * K_G$$

4. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

- Datos del fabricante motor DC

Series 1524 ... SR

Values at 22°C and nominal voltage

	1524 T	003 SR	006 SR
1 Nominal voltage	U_N	3	6
2 Terminal resistance	R	1,1	5,1
3 Efficiency, max.	η_{max}	80	80
4 No-load speed	n_0	10 600	9 500
5 No-load current, typ. (with shaft ϕ 1,5 mm)	I_0	0,05	0,013
6 Stall torque	M_H	6,95	6,98
7 Friction torque	M_R	0,08	0,08
8			

3. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

- Datos del fabricante conjunto motor DC + reductora (“Pololu”)

General specifications

Gear ratio:	4.995:1
Free-run speed @ 6V:	6000 rpm
Free-run current @ 6V:	120 mA
Stall current @ 6V:	1600 mA
Stall torque @ 6V:	2 oz·in

- K_G (cte) es el factor de reducción
- W_R (rpm) es la velocidad en vacío a la salida de la reductora
- M_{HR} (Nm) es el par a la salida de la reductora con el motor bloqueado

- $W_0 = W_R * K_G = 30000\text{rpm}$
- $M_H = M_{HR} / K_G = 2,82\text{mNm}$

3. ¿Cómo elegir la reductora del motor?

Reductora 5:1 ❌

$$¿ M_M < M_H / 2 ?$$

$$M_M = M_R / K_G = 5,04\text{mNm} / 5 = 1\text{mNm}$$

$$M_H / 2 = 1,41\text{mNm}$$

$$1\text{mNm} < 1,41\text{mNm} \checkmark$$

$$¿ W_M > W_0 / 2 ?$$

$$W_M = W_R * K_G = 2387\text{rpm} * 5 = 11937\text{rpm}$$

$$W_0 / 2 = 30000\text{rpm} / 2 = 15000\text{rpm}$$

$$11937\text{rpm} > 15000\text{rpm} \text{ ❌}$$

Reductora 10:1 ✔️

$$¿ M_M < M_H / 2 ?$$

$$M_M = M_R / K_G = 5,04\text{mNm} / 10 = 0,5\text{mNm}$$

$$M_H / 2 = 1,41\text{mNm}$$

$$0,5\text{mNm} < 1,41\text{mNm} \checkmark$$

$$¿ W_M > W_0 / 2 ?$$

$$W_M = W_R * K_G = 2387\text{rpm} * 10 = 23870\text{rpm}$$

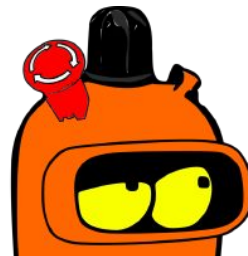
$$W_0 / 2 = 30000\text{rpm} / 2 = 15000\text{rpm}$$

$$23870\text{rpm} > 15000\text{rpm} \checkmark$$

Referencias y más información

Referencias:

1. [Technical info 2014. Faulhaber.](#)
2. [uMouse lecture-Mar17.](#) Ng Beng Kiat. Taiwan 2009
3. [Datasheet motor 1524 Faulhaber](#)
4. [Página web motores Pololu](#)



Más información:

- Mi blog: balitronics.wordpress.com
- Mi TFC: github.com/supernudo/tfc_ie_eurobot
- Página FB Puma Pride: [FB/pumaprideteam](https://www.facebook.com/pumaprideteam)
- Página web Eurobotics Engineering: arc-robots.org
- GitHub: Puma Pride, Eurobotics Engineering, Supernudo, Resaj, JavierIH
- Twitter: @supernudo, @rugidodepuma, @JavierIH



GRACIAS