

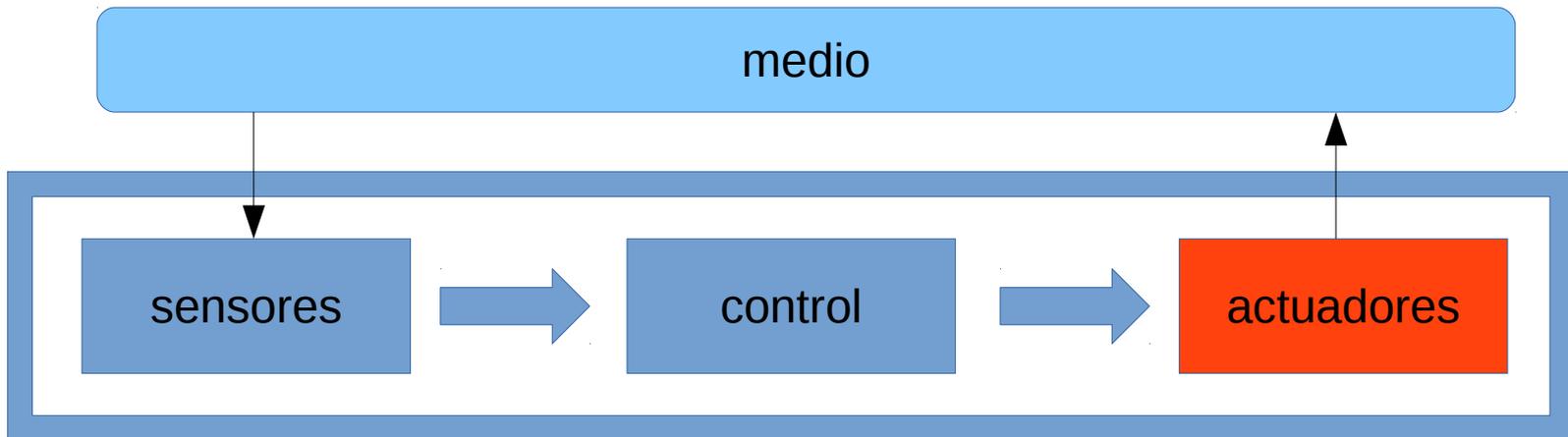
# Robótica y Automatización

Actuadores

# Temario

- Articulaciones
- Actuadores

# Actuadores



# Actuadores

Transductores: del control al mundo

- Trabajo mecánico
  - Movilidad
  - Manipulación
- Indirectos
  - Bocina
  - Luces
  - Elementos de UI físicos

# Actuadores

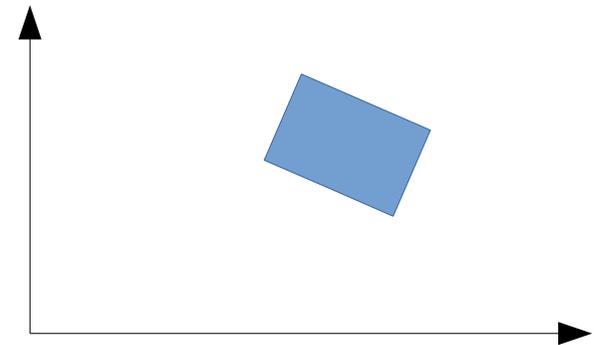
Transductores: del control al mundo

- Trabajo mecánico
  - Movilidad
  - Manipulación
- Indirectos
  - Bocina
  - Luces
  - Elementos de UI físicos

# Grados de libertad

Número de parámetros necesarios para describir una posición

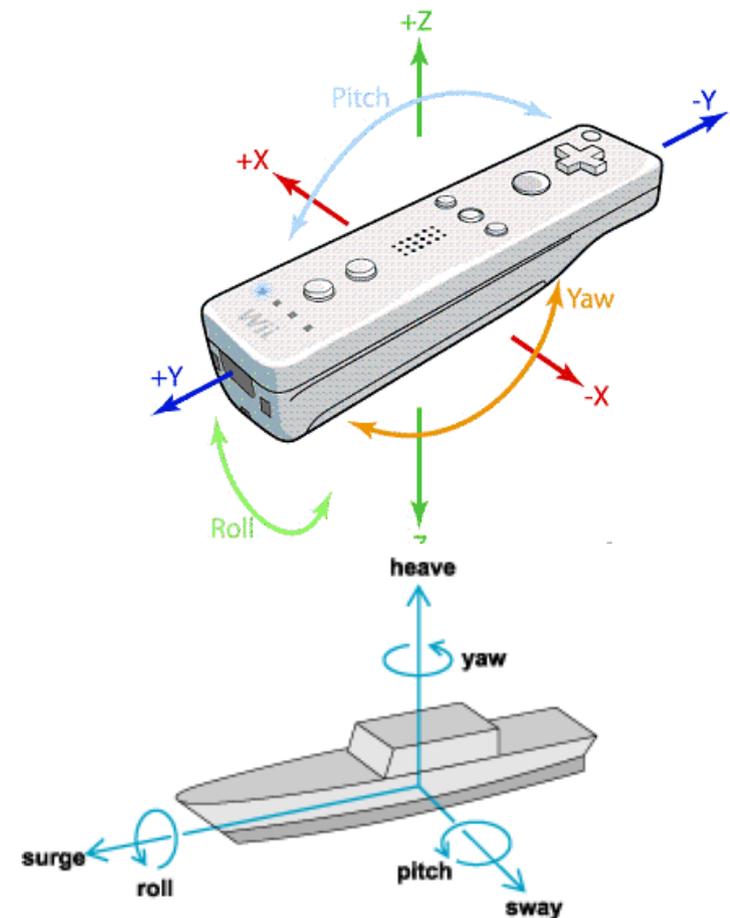
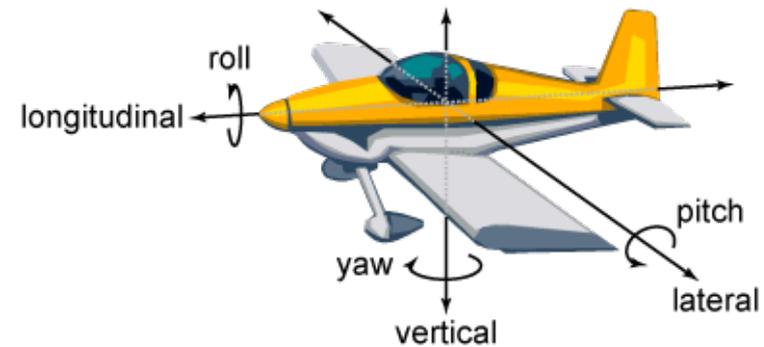
- En el espacio 2D, son 3:
  - 2 traslaciones + 1 rotación
- En el espacio 3D, son 6 (6DOF):
  - 3 traslaciones + 3 rotaciones



# 6DOF

La posición de un cuerpo en el espacio tridimensional:

- 3 de ubicación
  - $(x, y, z)$  en cartesianas
  - $(r, \theta, \varphi)$  en polares
  - $(r, \theta, z)$  en cilíndricas
- 3 de orientación
  - Rolado (*roll*), cabeceo (*pitch*) y guiñada (*yaw*)
  - Representado como ángulos de Euler, cuaterniones, eje-ángulo...

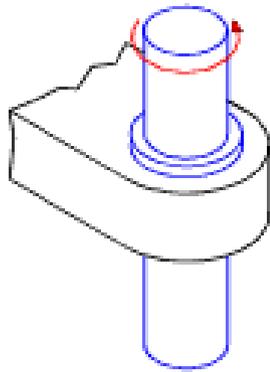


# Articulaciones

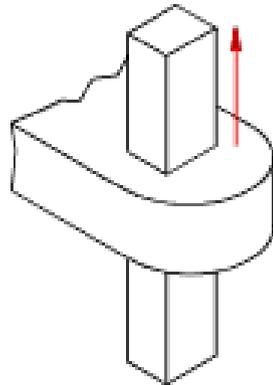
- Revolutas (de rotación): 1DOF
- Deslizantes: 1DOF
- Esféricas: 3DOF
- Encadenando articulaciones:
  - Cilíndrica, revoluta+deslizante: 2DOF
  - Cardán, revoluta+revoluta: 2DOF
  - los DOF se suman, pero alguno se puede perder.



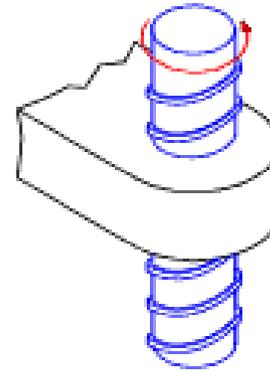
# Articulaciones



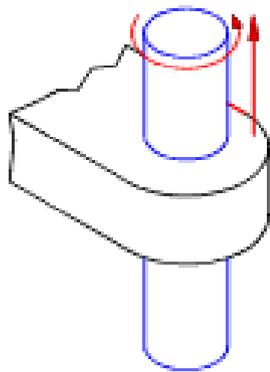
Turning Pair...1-DOF



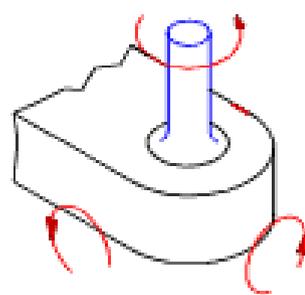
Prismatic (Sliding) Pair...1-DOF



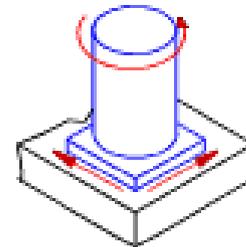
Screw Pair ...1-DOF



Cylindrical Pair ...2-DOF



Spherical (Globular) Pair...3-DOF

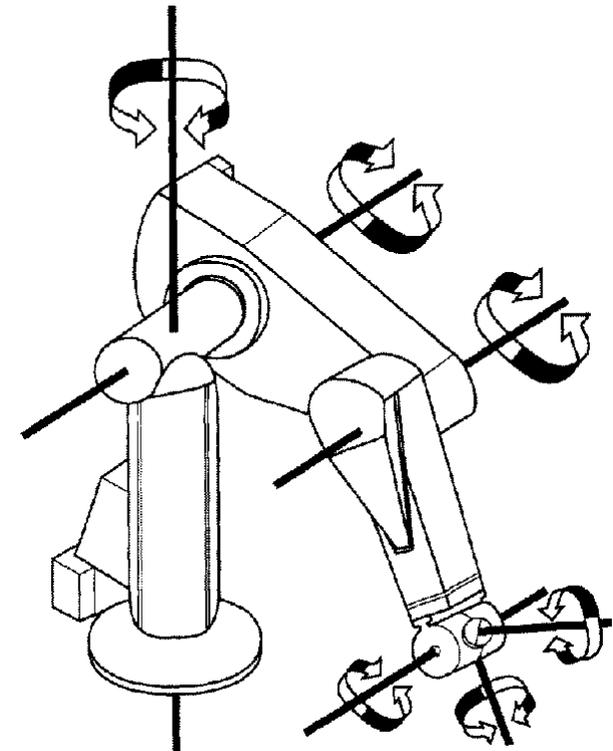


Flat Pair ...3-DOF



# Articulaciones

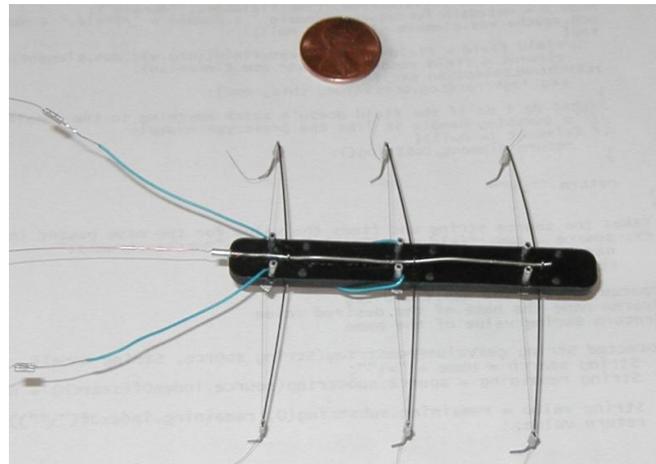
- Encadenando articulaciones
  - Cilíndrica, revoluta+deslizante: 2DOF
  - Cardán, revoluta+revoluta: 2DOF
- los DOF se suman, pero...
  - Si encadeno articulaciones prismáticas o de rotación con ejes colineales, no sumo DOF
  - “Gymbal lock”



# Actuadores

Actuadores mecánicos:

- Electromagnéticos
- Hidráulicos y neumáticos
- Piezoeléctricos
- Materiales con memoria
- ...



# Actuadores

## Actuadores mecánicos:

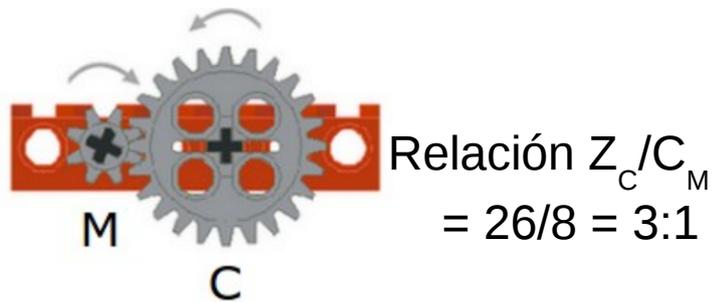
- Motor+cadena de salida
- Motores
  - De rotación
  - Lineales
- Salida manipulada con dispositivos mecánicos



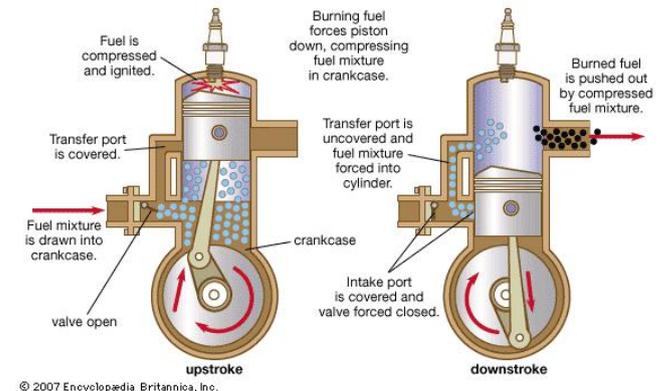
# Actuadores

## Conversión de movimientos

- Rotación – rotación



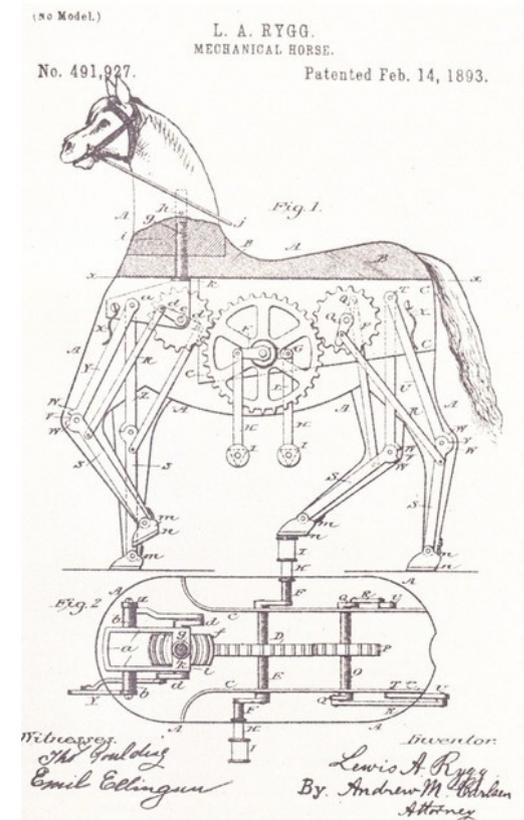
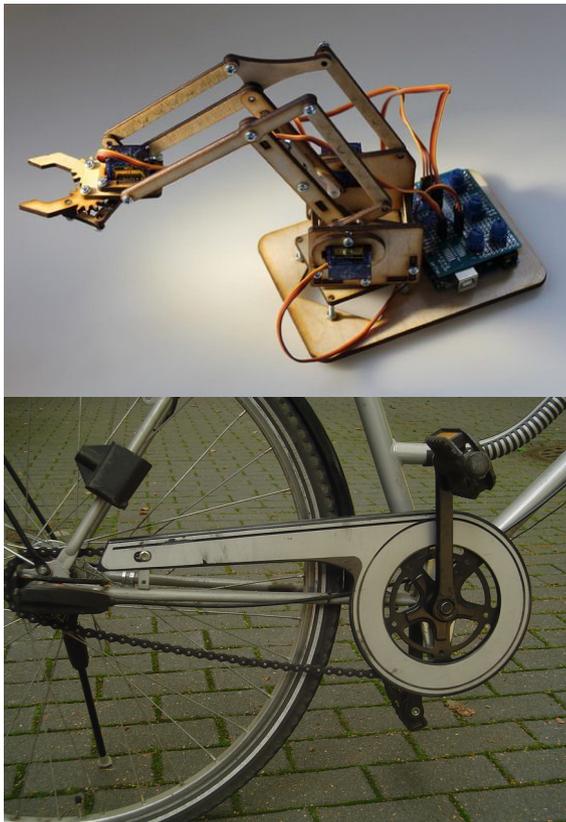
- Rotación – lineal



# Actuadores

## Conversión de movimientos

- Transmisión de rotaciones y desplazamientos
- Síntesis de movimientos



# Actuadores

## Características:

- Dimensiones y peso
- Fuerza / torque
- Velocidad de movimientos
- Potencia consumida y eficiencia
- Parámetro controlado
  - Posición, velocidad, fuerza?
- Precisión, resolución y tiempo de respuesta
- Costo y disponibilidad

# Actuadores

## Características:

- Dimensiones y peso
- **Fuerza / torque**
- **Velocidad de movimientos**
- Potencia consumida y eficiencia
- Parámetro controlado
  - Posición, velocidad, fuerza?
- Precisión, resolución y tiempo de respuesta
- Costo y disponibilidad

# Actuadores

## Velocidad de movimiento

- Usualmente, se da sin carga. Pero, ¿cómo responde el actuador cuando hace trabajo útil?

### H/W Specification

- Weight : 53.5g (AX-12/AX-12+), 54.6g (AX-12A)
- Dimension : 32mm \* 50mm \* 40mm
- Resolution : 0.29°
- Gear Reduction Ratio : 254 : 1
- Stall Torque : 1.5N.m (at 12.0V, 1.5A)
- No load speed : 59rpm (at 12V)
- Running Degree

# Actuadores

## Fuerza o torque

- Representa la capacidad del motor de superar una resistencia

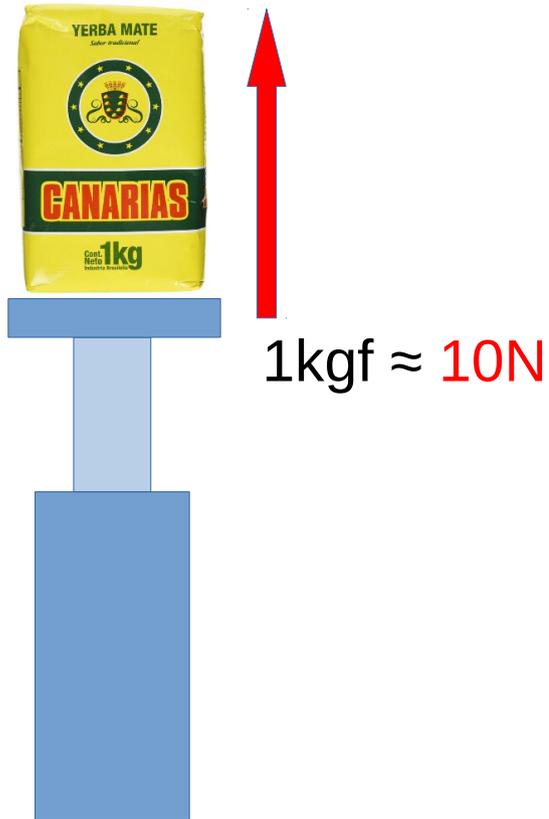
### H/W Specification

- Weight : 53.5g (AX-12/AX-12+), 54.6g (AX-12A)
- Dimension : 32mm \* 50mm \* 40mm
- Resolution : 0.29°
- Gear Reduction Ratio : 254 : 1
- Stall Torque : 1.5N.m (at 12.0V, 1.5A)
- No load speed : 59rpm (at 12V)
- Running Degree

# Fuerza y torque

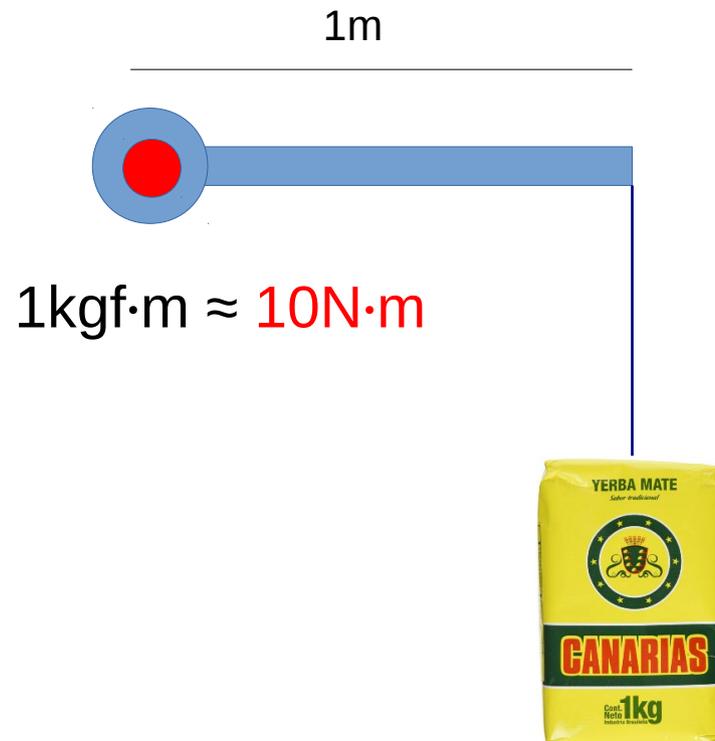
Lineal

- Unidades: N



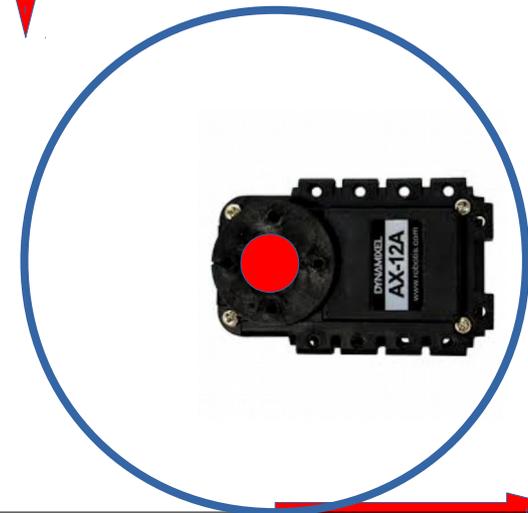
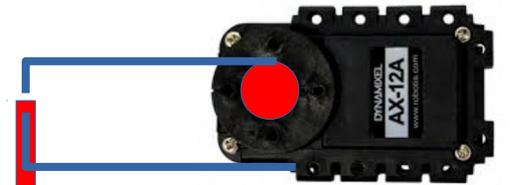
De rotación

- Unidades N·m



# Fuerza y torque

5cm

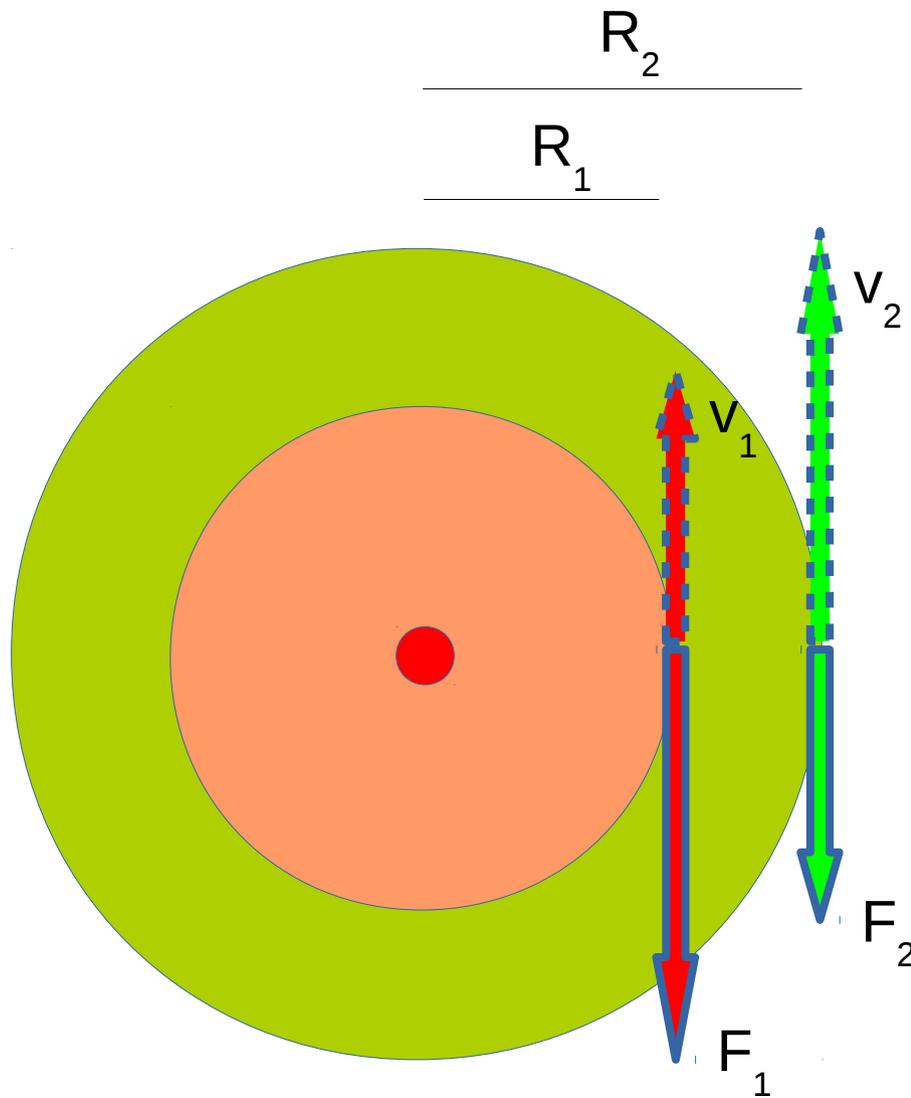


## H/W Specification

- Weight : 53.5g (AX-12/AX-12+), 54.6g (AX-12A)
- Dimension : 32mm \* 50mm \* 40mm
- Resolution : 0.29°
- Gear Reduction Ratio : 254 : 1
- Stall Torque : 1.5N.m (at 12.0V, 1.5A)
- No load speed : 59rpm (at 12V)
- Running Degree

$$1.5\text{Nm} / 0.05\text{m} = 30\text{N} \approx 3\text{kgf} \text{ (a } 12\text{V} \times 1.5\text{A} = 18\text{W)}$$

# Fuerza y torque



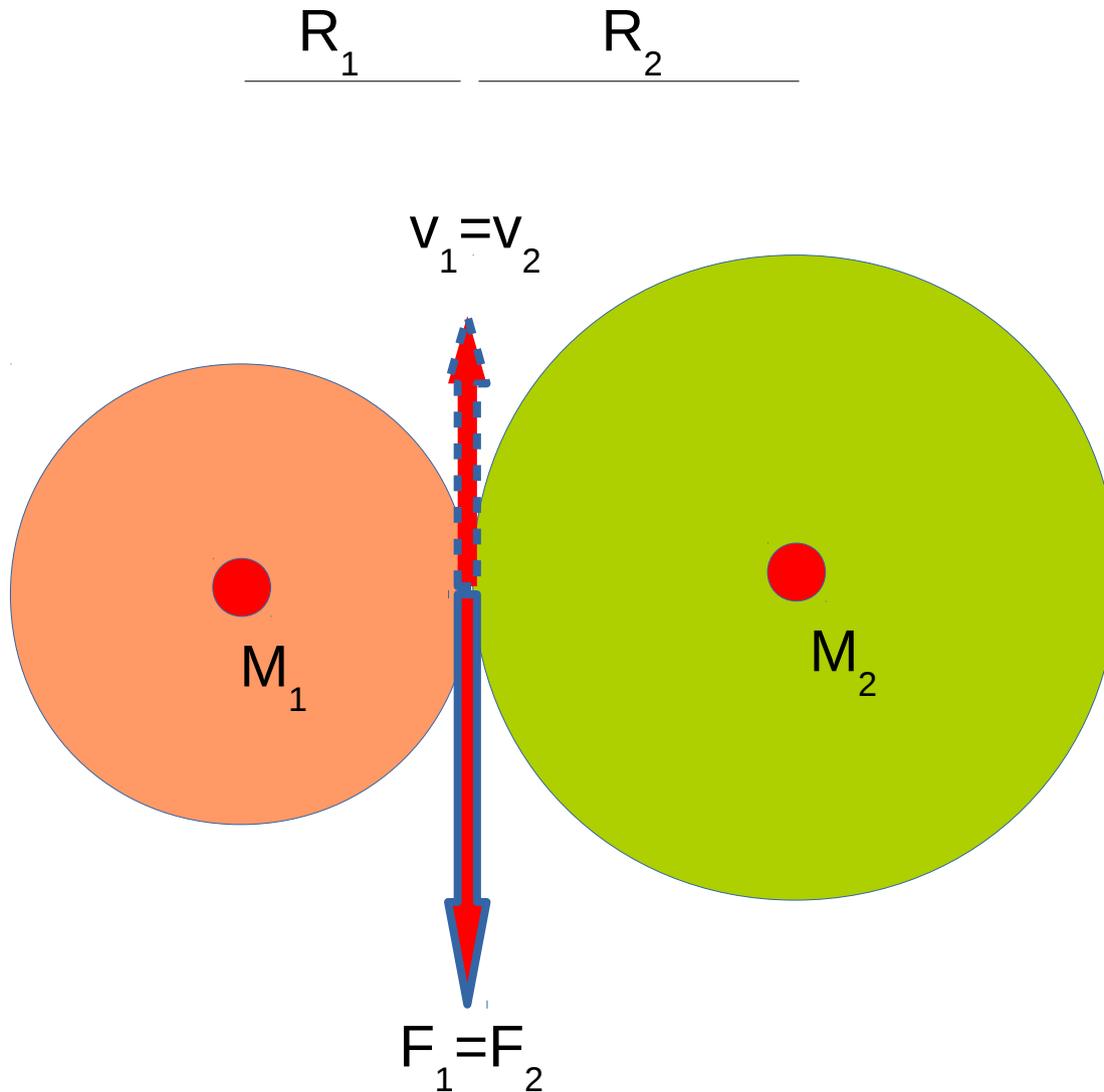
$$R_1 F_1 = R_2 F_2$$

$$F_2 = \frac{R_1}{R_2} F_1$$

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1} v_1$$

A igualdad de velocidad angular y torque, hay un balance entre fuerza y velocidad lineales

# Fuerza y torque



$$M_1 = R_1 F$$

$$M_2 = R_2 F$$

$$M_2 = \frac{R_2}{R_1} M_1$$

$$\omega_2 = \frac{R_1}{R_2} \omega_1$$

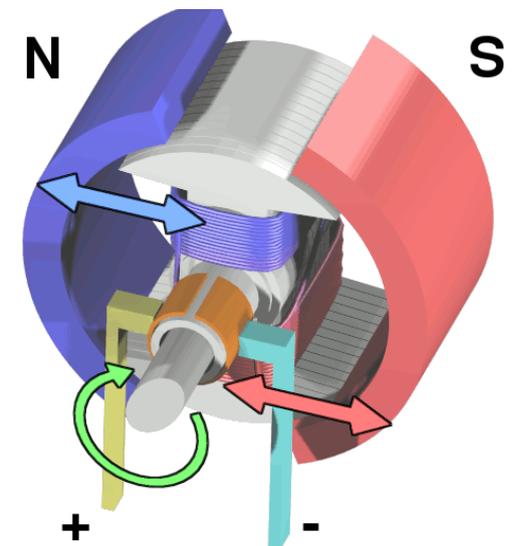
A igualdad de velocidad lineal, hay un balance entre torque y velocidad angular

# Motores eléctricos

- Motores DC con escobillas
- Motores sin escobillas
- Steppers
- Servomotores

# Motores DC con escobillas

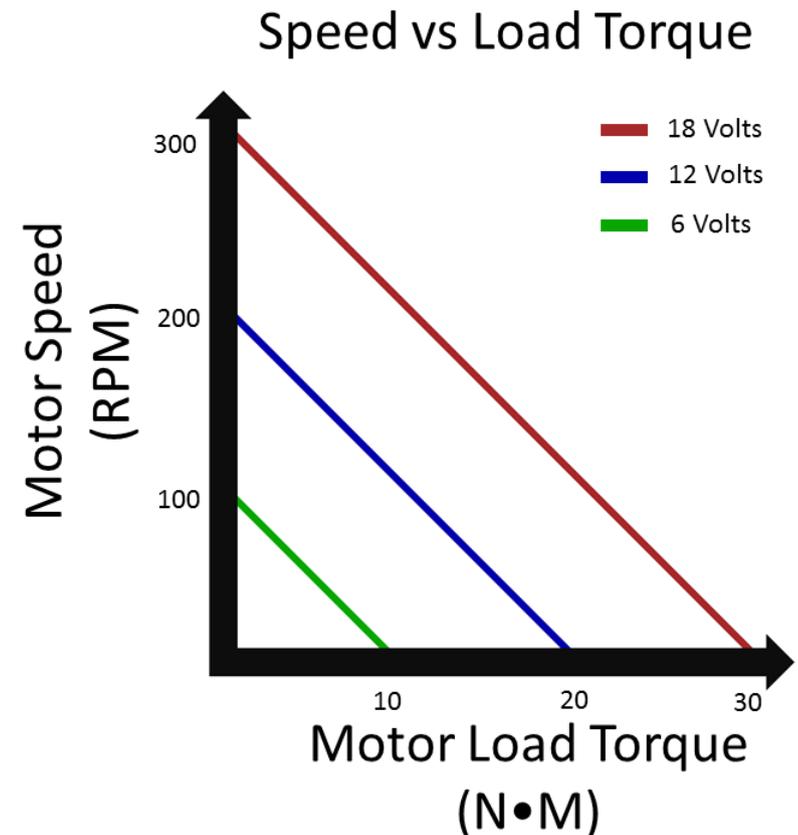
- *Brushed*
- Se le aplica un voltaje DC y gira
- Gira tan rápido como puede
- Bajo costo, simple.
- Gran variedad y disponibilidad
- No depende de ni ofrece ningún *feedback*



# Motores DC con escobillas

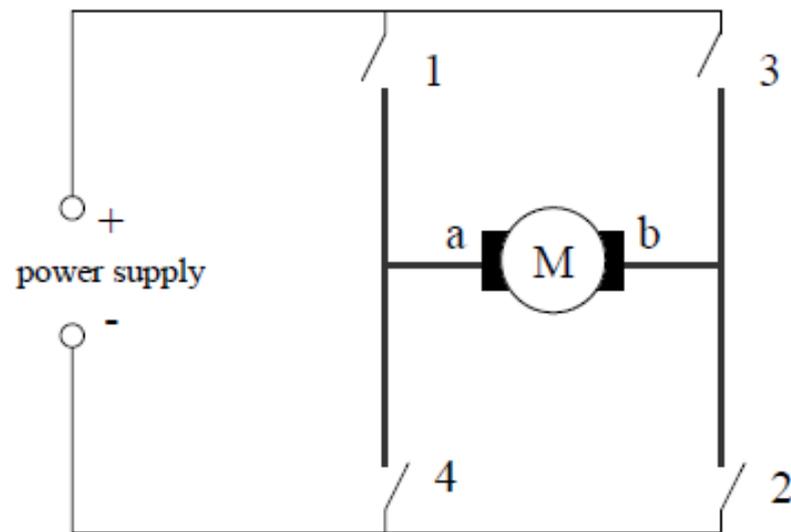
- Velocidad de giro depende del voltaje y carga mecánica (resistencia)
- Se regulan...
  - El sentido con la polaridad
  - La velocidad variando voltaje

Respuesta de un motor DC



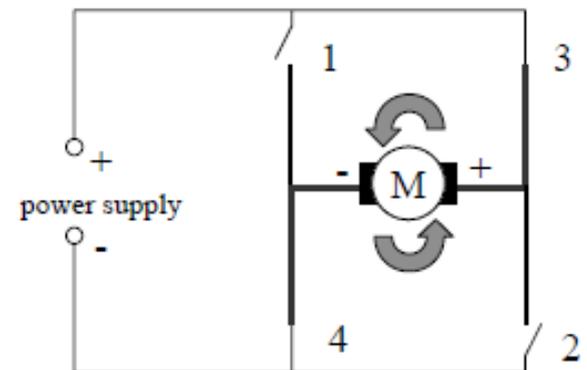
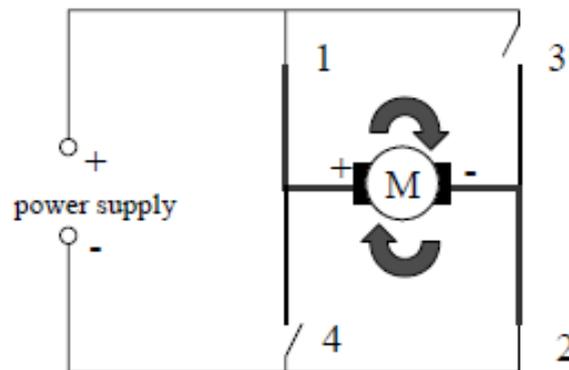
# Motores DC con escobillas

Regulación del sentido de giro: Puente-H



Adelante:

Atrás:

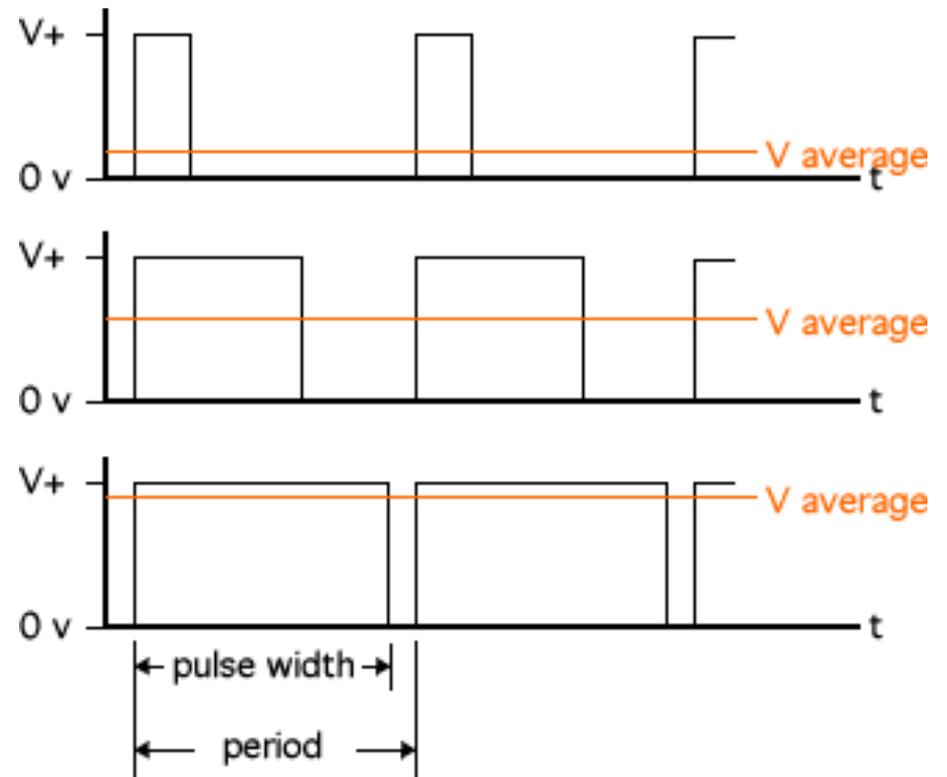


# Motores DC con escobillas

## Regulación de velocidad

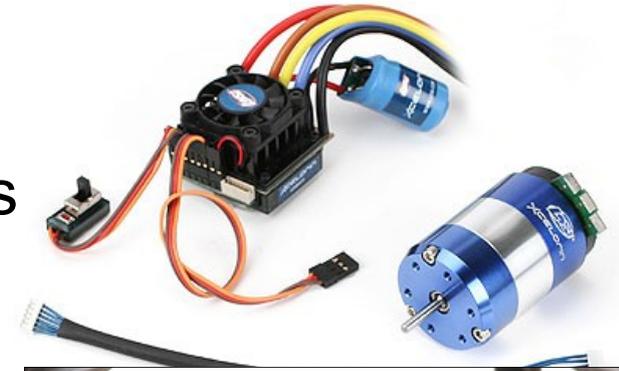
- *Pulse Width Modulation* (PWM), pulsos de período variable.

PWM



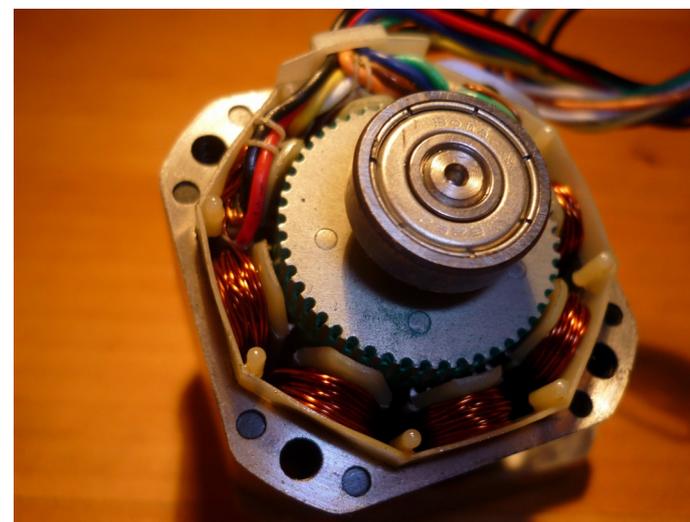
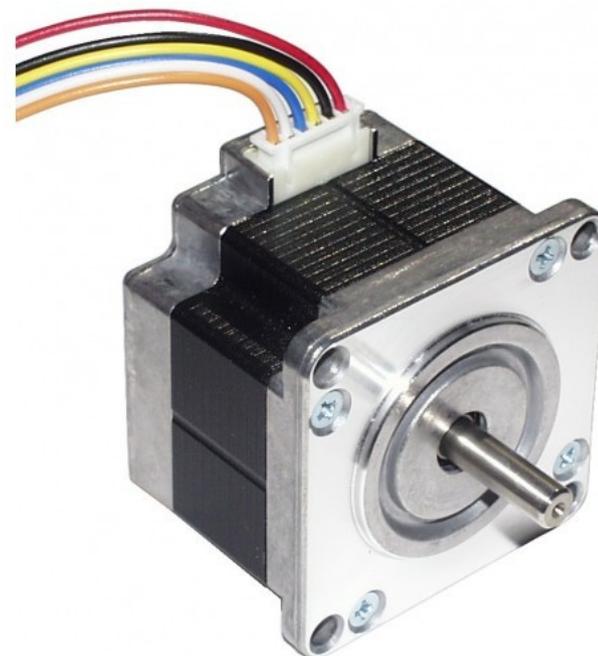
# Motores sin escobillas

- *Brushless, BLDC*
- Un motor DC con escobillas, sin las escobillas
- La alimentación de las bobinas es realizada por un controlador externo
  - Una línea de alimentación de cada bobina
  - Líneas de sensado de la posición del eje
    - A veces puede ser omitida - *sensorless*
- Puede tener las bobinas fijas y los imanes en el eje.
- Motores robustos y eficientes
- Muy populares gracias a las mejoras en los sistemas de control de potencia.



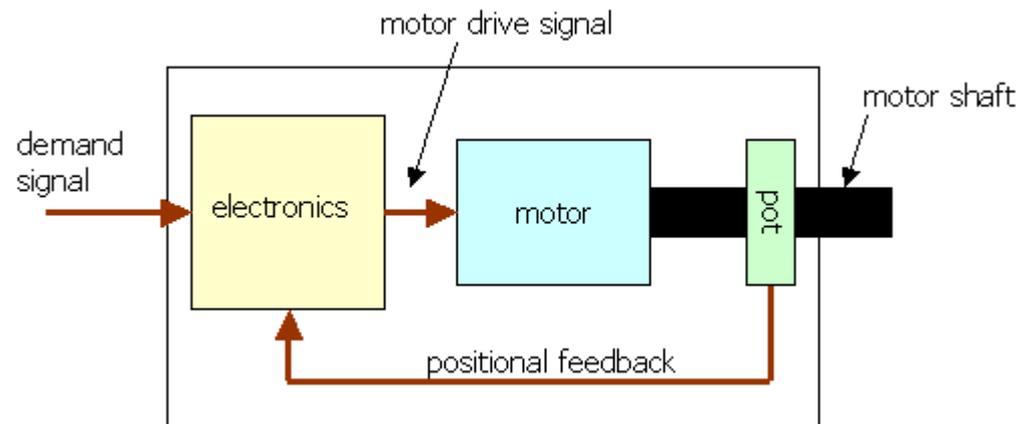
# Motores *stepper*

- Un *brushless* optimizado para avanzar una paso a la vez y mantener la posición
- Rotación consiste en pasos discretos
  - Varios modos posibles, según cuantas bobinas se energicen
- Resolución depende del número de bobinas
- No ofrece ni usa *feedback*



# Servomotores

- DC brushed + encoder + sistema de control
- De posición o de rotación continua
- Control digital
  - Señalización PWM
  - Protocolo de comunicaciones



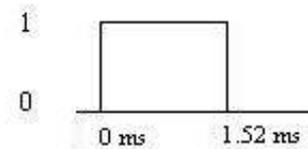
# Servomotores

- RC Servos
  - De posición (en un arco limitado) o de rotación continua
  - PWM (señalización), sin feedback
- Familia Dynamixel
  - Posición, rotación
  - Protocolo serial con feedback
- Lego NXT
  - Posición, rotación
  - PWM, feedback (de posición)

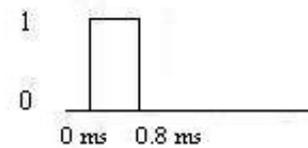
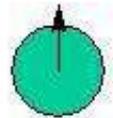


# Servomotores RC

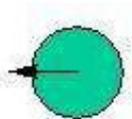
- RC Servos
  - Bajo costo
  - Tamaños, montajes y control estándar
  - Gran variedad de prestaciones



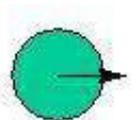
1.52 ms: Neutral



0.8 ms: 0 degrees



2.5 ms: 180 degrees



Fin

# Referencias

- Thomas Bräunl, Embedded Robotics, Springer - 2008
- George A. Bekey, Autonomous Robots, MIT Press - 2005
- F. Torres, J. Pomares et al, Robots y Sistemas Sensoriales, Prentice Hall – 2002
- Hojas de datos:
  - Servomotor RC  
<https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/283021%20Manual.pdf>
  - Motor stepper unipolar  
[https://dscl.lcsr.jhu.edu/main/images/9/98/Stepper\\_Motor\\_27964.pdf](https://dscl.lcsr.jhu.edu/main/images/9/98/Stepper_Motor_27964.pdf)
  - Servomotores digitales Dynamixel AX-12  
[http://support.robotis.com/en/product/dynamixel/ax\\_series/dxl\\_ax\\_actuator.htm](http://support.robotis.com/en/product/dynamixel/ax_series/dxl_ax_actuator.htm)