

LEMUR - Experiencia  
HANDS - ON ICRA  
Satellital LA@Chile

{

}

# Bibliografía complementaria

- Budynas, R. G. (Richard G., & Nisbett, J. Keith. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley / Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, revisión técnica Miguel Angel Ríos Sanches. (8a. ed.). McGraw-Hill/Interamericana.
- Machinery's Handbook. (31th ed.). Industrial Press.



# Ejemplo de transmisiones en la industria



<https://www.youtube.com/watch?v=HXJOnWBbcwM>



<https://my.kuka.com/s/category/componentes/motoresengranajes/enganajes/0ZG1i000000Xad6GAC?language=es>

# Algunos ejemplos de cuadrúpedos



[Unitree](#)  
[Boston Dynamics](#)  
[Anybotics](#)  
[MIT](#)  
[Ghost Robotics](#)  
[Google Deepmind](#)

AND  
A  
LOT  
MORE

# Componente principal: “pierna”

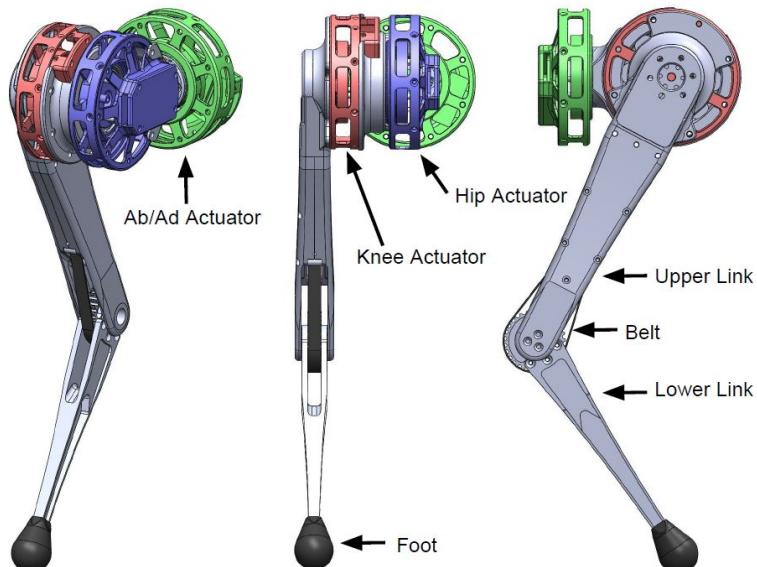
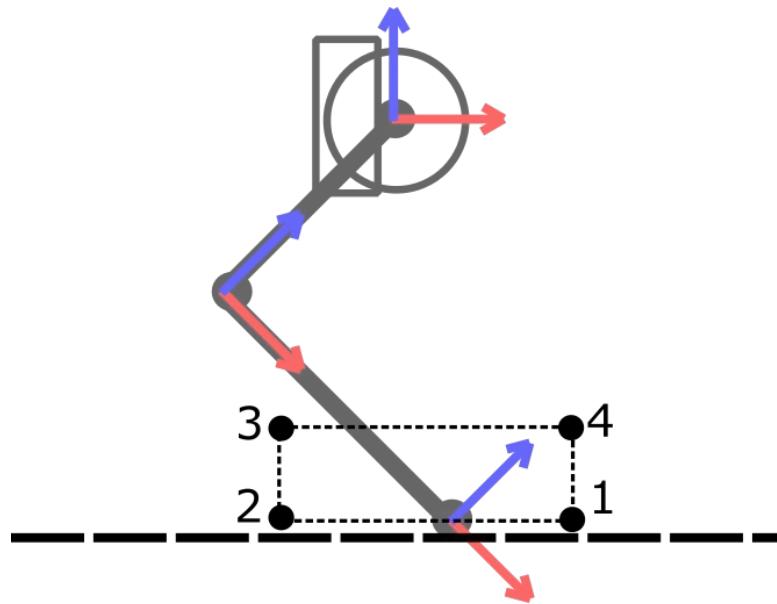
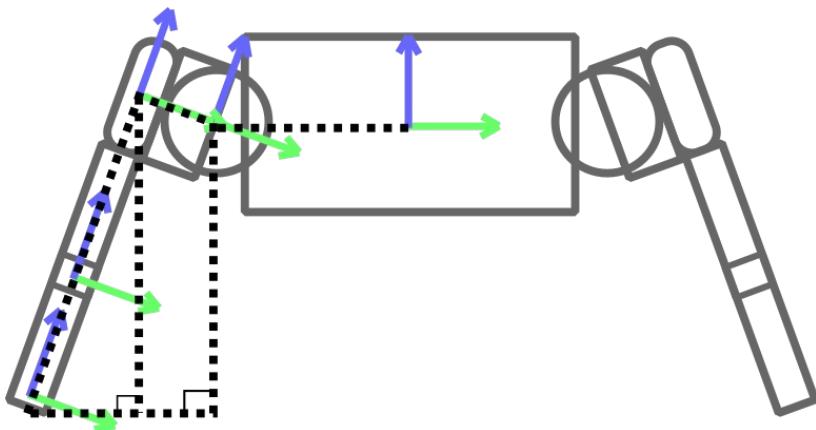


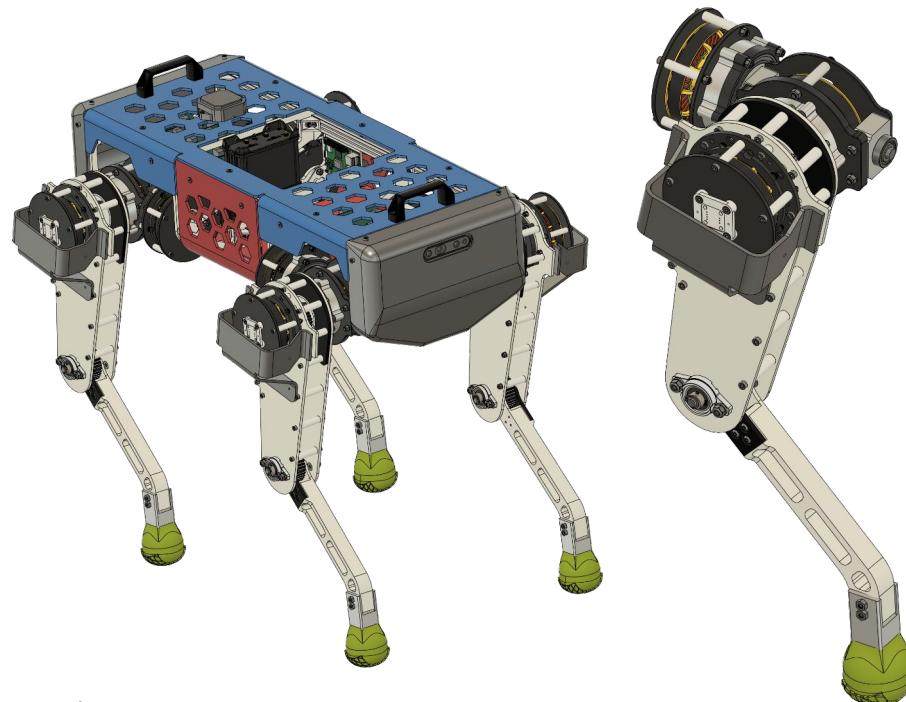
Figure 3-2: CAD Diagram of one leg

- ¿Cómo se describe la posición del pie a partir de los ángulos del upper link y lower link?
- ¿Cómo se modela la carga sobre el pie?
- ¿Cómo se modela la carga en el hombro?
- ¿Cómo se modela la carga sobre el chasis?

# Abstracción



# Condiciones de carga



Simplificación de cargas:

- Peso Propio
- Geometría de la masa (Inercia)
- Interacción con el suelo (Postura)

Casos de carga:

- Ciclo de pisada/trote
- Caídas/Saltos

# Cargas de inercia y principio de D'Alembert

$A_G$  : aceleración del centro de masa

$\alpha$  : aceleración angular

$\sum F$  : suma de todas las fuerzas externas

$\sum M_G$  : suma de momentos entorno a G

$I$  : momento de inercia entorno a G

$m$  : masa del cuerpo

$$\sum F = mA_G \Leftrightarrow \sum F - mA_G = 0$$

$$\sum M_G = I\alpha \Leftrightarrow \sum M_G - I\alpha = 0$$

Fuerza inercial

Momento inercial

"La suma vectorial de todas las fuerzas externas y las fuerzas de inercia es cero.  
La suma de todos los momentos y el momento de torsión de inercia es cero."\*

\*forma con masa cte.



{

Para la selección de la transmisión se busca el torque más alto estimado por el caso más severo de carga\*

}

\*De no haber otro tipo de restricciones:

- peso
- consumo de energía
- restricción de presupuesto
- disponibilidad

# Problema: cómo transmitir potencia de un punto a otro

- Qué tengo:
  - Tipo de movimiento (giro o avance lineal)
  - Torque calculado en un caso de carga
  - RPMs fijas o variables para la aplicación
  - Componentes mecánicas para seleccionar



# Componentes mecánicas complementarias

- Rodamientos/Bujes
  - Radiales
  - Axiales
  - Cónicos
  - de contacto angular
  - de carga combinadas
- Ejes / Flechas
- Chavetas/chaveteros
- Poleas/correas
- Retenes y sellos
- Seguros
- Fijaciones (pernería)



{

Usemos engranajes!

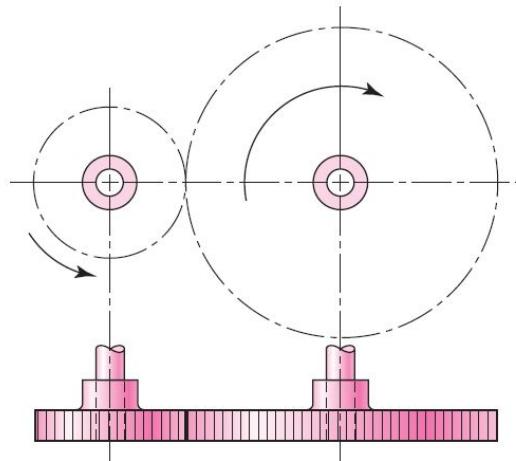
}

# Tipos de engranajes (comunes)

- Rectos
- Helicoidales
- Cónicos
- Hipoides
- Tornillo sinfin (gusano)

**Figura 13-1**

Los engranes rectos se emplean para transmitir movimiento de rotación entre ejes paralelos.

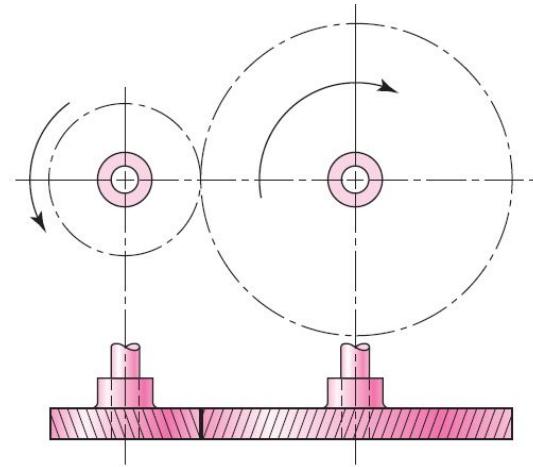


# Tipos de engranajes (comunes)

- Rectos
- **Helicoidales**
- Cónicos
- Hipoides
- Tornillo sinfin (gusano)

**Figura 13-2**

Los engranes helicoidales se usan para transmitir movimiento de rotación entre ejes paralelos o no paralelos.

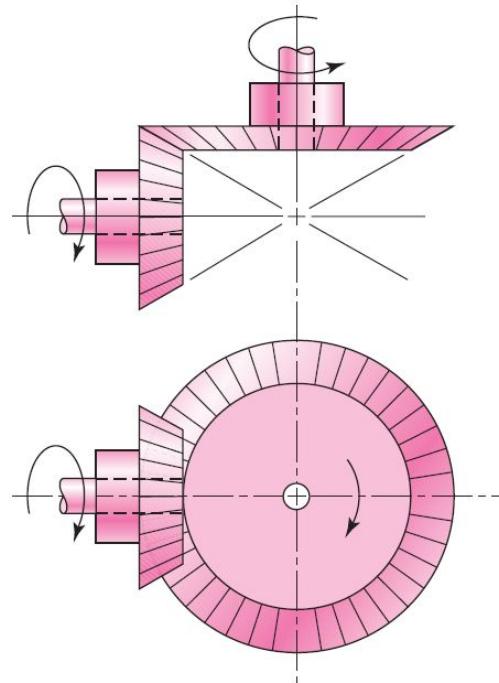


# Tipos de engranajes (comunes)

- Rectos
- Helicoidales
- **Cónicos / Hipoides**
- Tornillo sinfin (gusano)

**Figura 13-3**

Los engranes cónicos se utilizan para transmitir movimiento de rotación entre ejes que se intersecan.

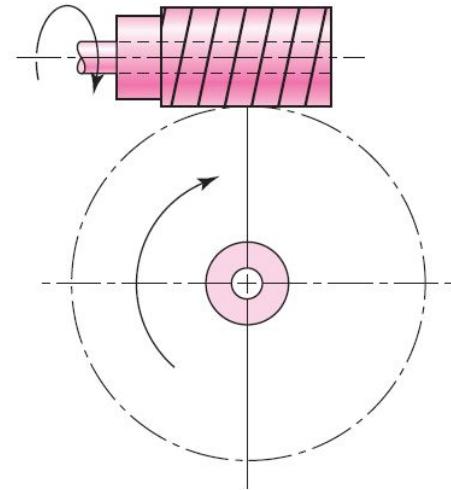


# Tipos de engranajes (comunes)

- Rectos
- Helicoidales
- Cónicos / Hipoides
- **Tornillo sinfin (gusano)**

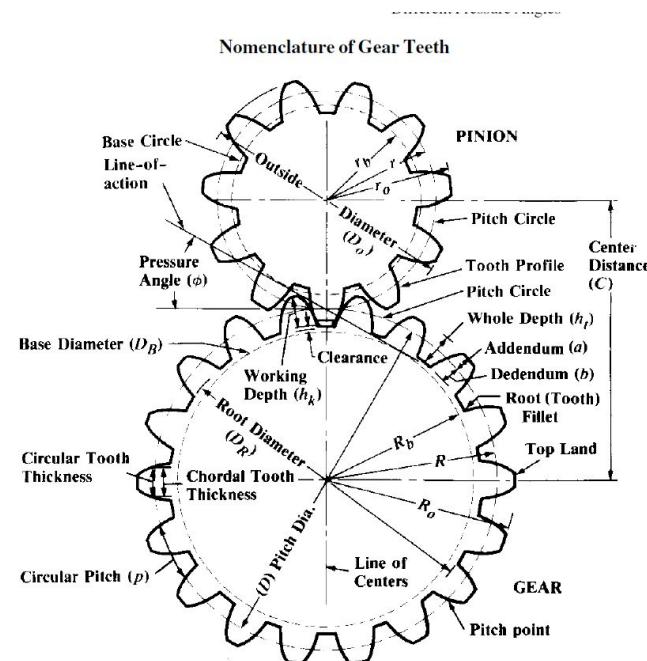
**Figura 13-4**

Los engranajes de tornillo sinfin transmiten movimiento de rotación entre ejes no paralelos que no se intersecan.



# Variables

- Diámetro de paso (D) o Diámetro primitivo (D<sub>p</sub>) o *Pitch Diameter*
- Número de dientes (N) o z (a veces)
- Módulo (m)
- Relación de velocidades/torques
- Eficiencia de transmisión
- Par piñón - engranaje/corona



Terms Used in Gear Geometry from [Table 1](#) on page 2035

# Engranaje recto

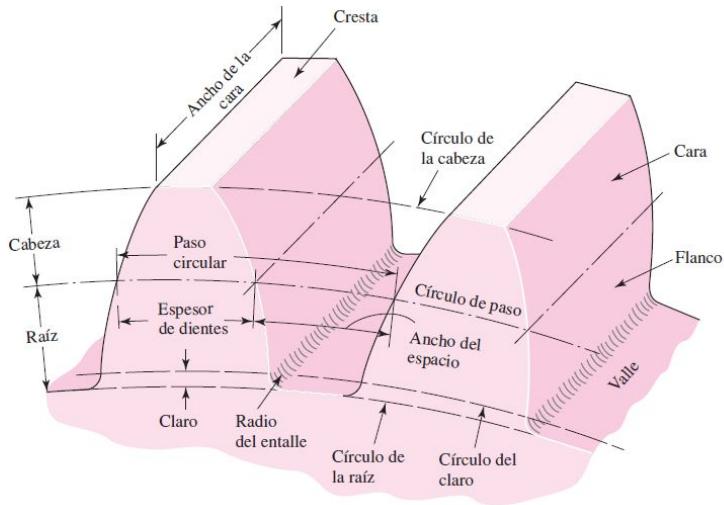
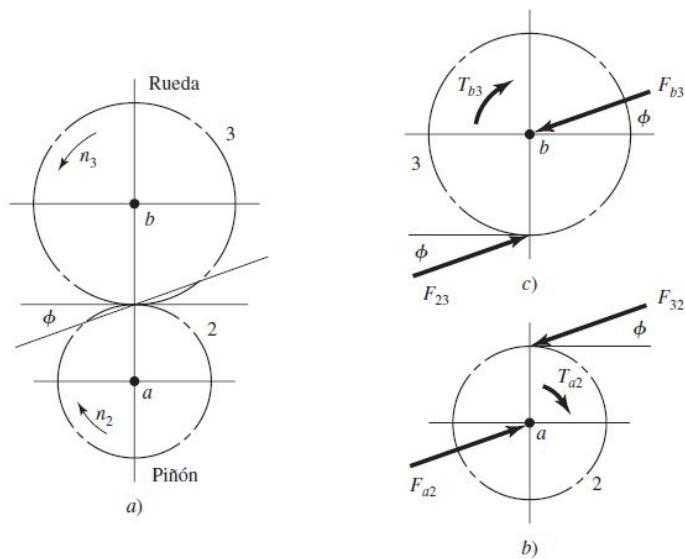
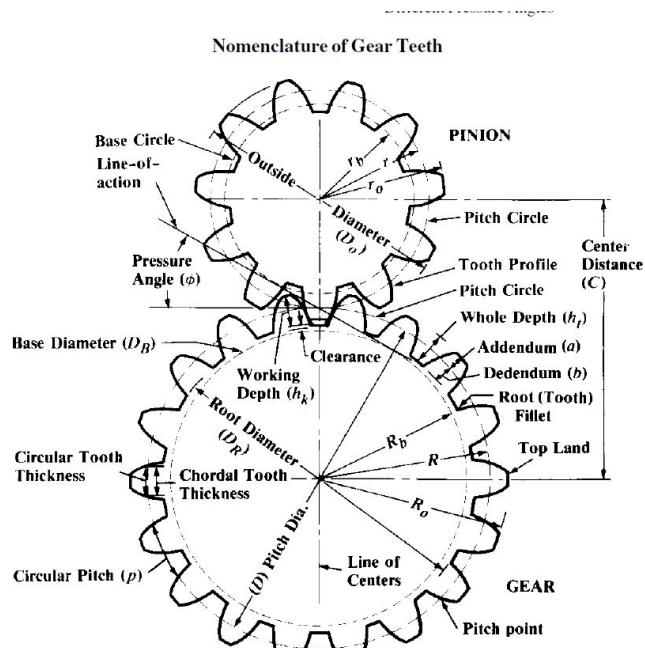


Figura 13-32

Diagramas de cuerpo libre de las fuerzas y momentos que actúan sobre dos engranes de un tren de engranes sencillo.



# Engranaje recto (Piñón y engranaje/corona)



Terms Used in Gear Geometry from [Table 1](#) on page 2035

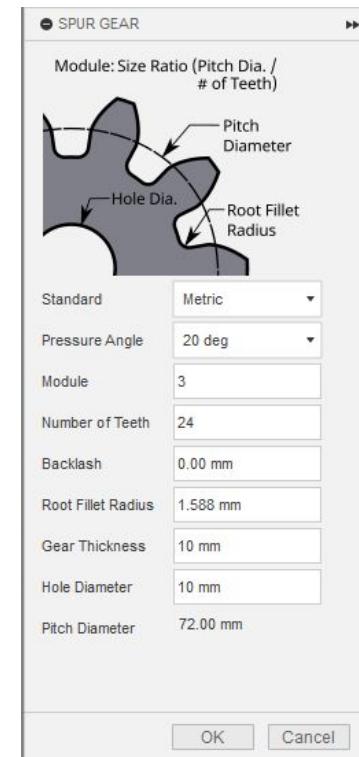
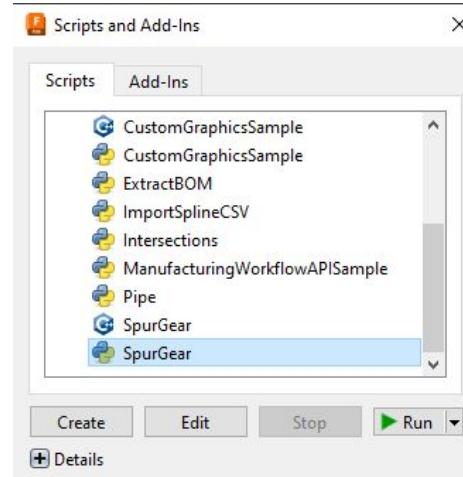
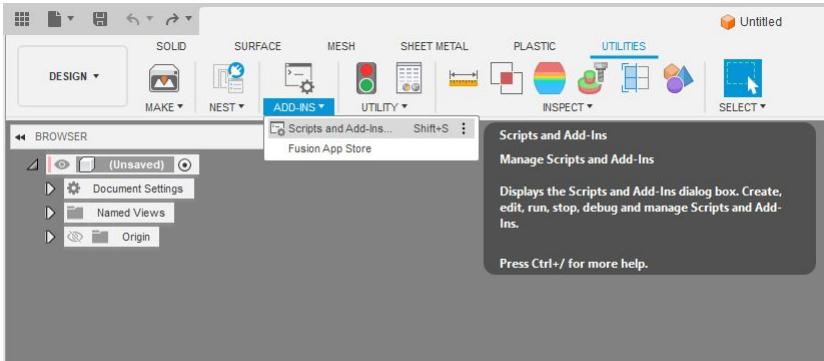
Relación de módulo:

$$m = D/N = D_p/z$$

El módulo para ambos es el mismo por lo que se pueden relacionar los diámetros, números de dientes y sus velocidades angulares.

Módulos (métricos) normalmente van en pasos de 0.5 o 0.25.

# 3D: Piñón básico en Fusion 360



# Fabricación de engranajes

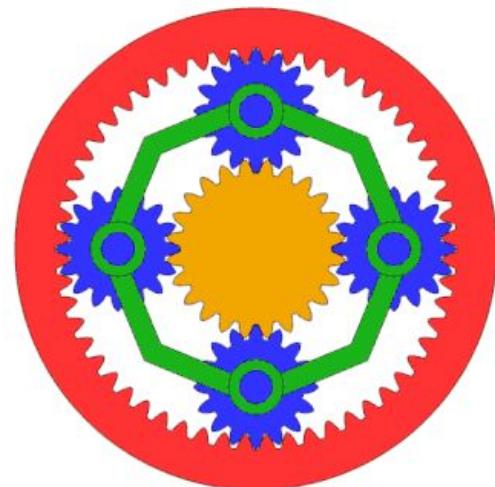
- Fundición
- Inyección
- Fresado/corte, con “módulo”/fresa madre
- Cepillado
- Sinterizado
- Extrusión
- Trefilado
- Troquelado



{

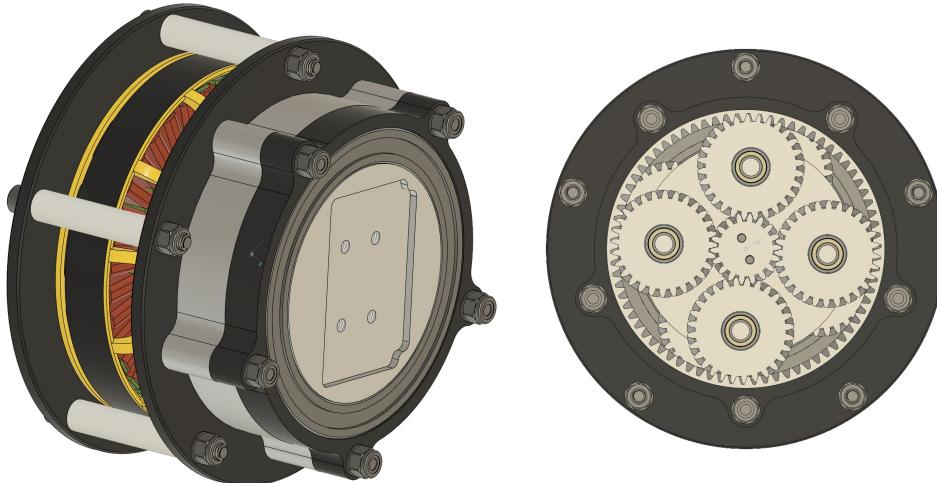
# Ahora caso especial de una reductora planetaria

}



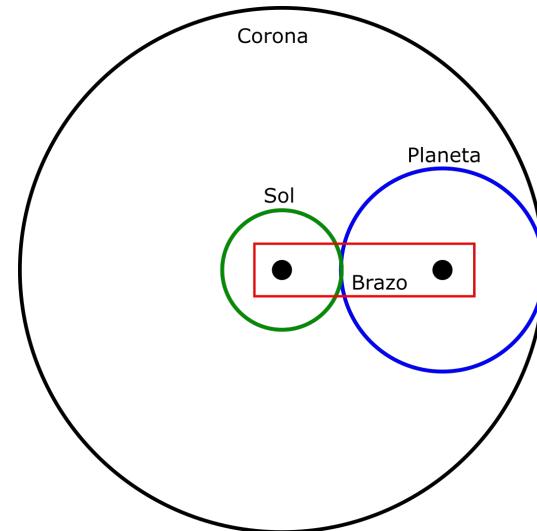
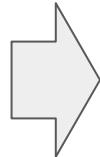
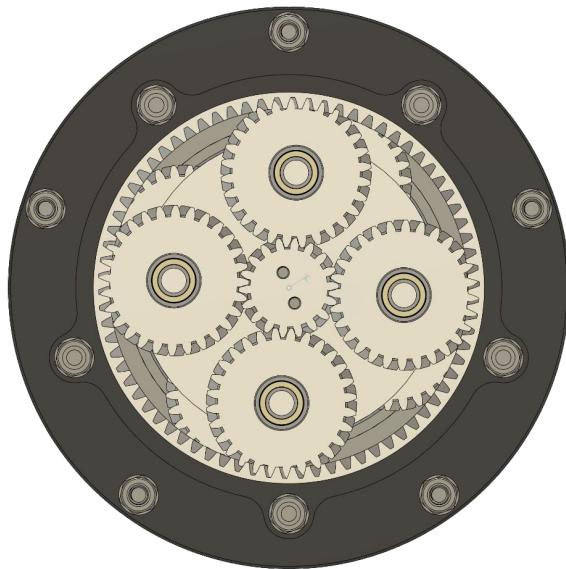
[https://en.wikipedia.org/wiki/Epicyclic\\_gearing](https://en.wikipedia.org/wiki/Epicyclic_gearing)

# Reductora planetaria del hombro del cuadrúpedo

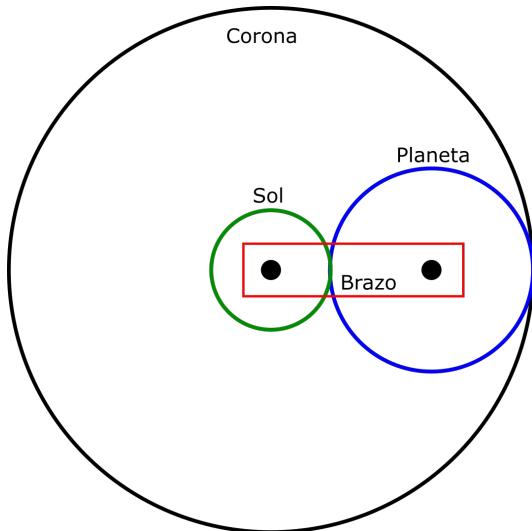


- Reducción altamente compacta
- Permite mantener el sentido de giro entre el input y el output
- Diseñada con dos etapas en serie
  - N de dientes del sol: 18
  - N de dientes del planeta: 28
  - N de dientes de la corona: 74

# Reducción planetaria



# Reductora del hombro del perro



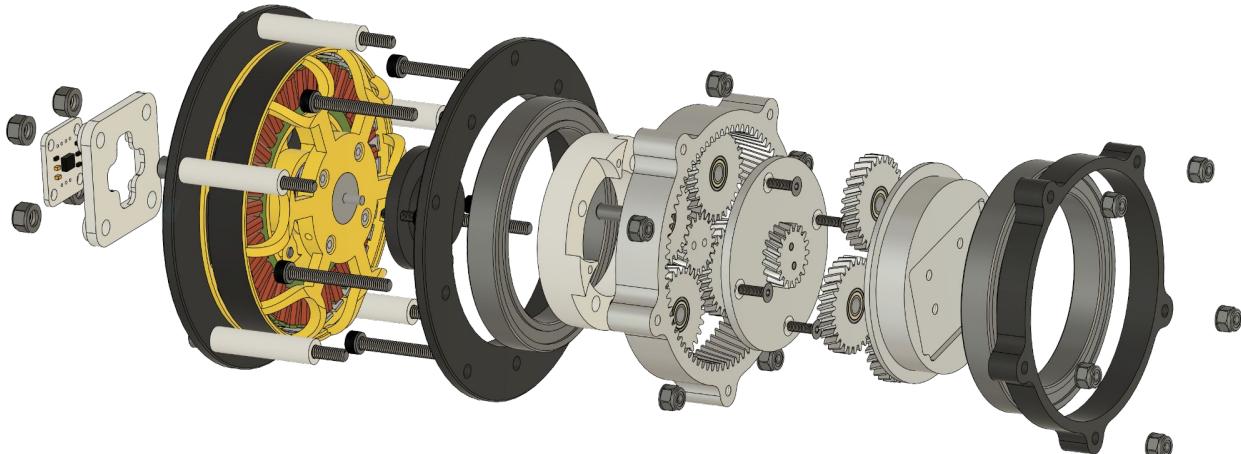
$$\frac{\omega_{sol} - \omega_{brazo}}{\omega_{planeta} - \omega_{brazo}} = -\frac{N \text{ dientes planeta}}{N \text{ dientes sol}}$$
$$\frac{\omega_{planeta} - \omega_{brazo}}{\omega_{corona} - \omega_{brazo}} = \frac{N \text{ dientes corona}}{N \text{ dientes planeta}}$$
$$\frac{\omega_{sol} - \omega_{brazo}}{\omega_{corona} - \omega_{brazo}} = -\frac{N \text{ dientes corona}}{N \text{ dientes sol}}$$

Para nuestro caso la corona está siempre fija:

$$\text{Razón de reducción} = \frac{N \text{ de dientes sol}}{N \text{ de dientes sol} + N \text{ de dientes corona}}$$

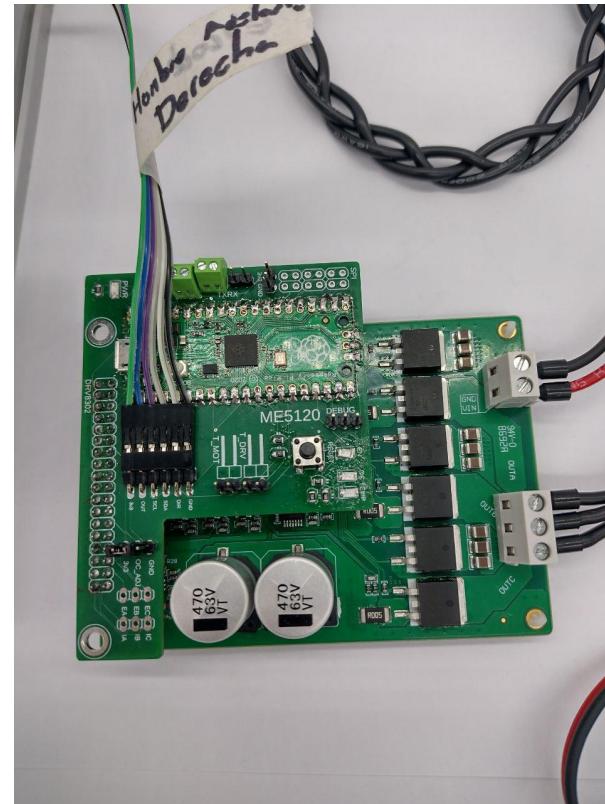
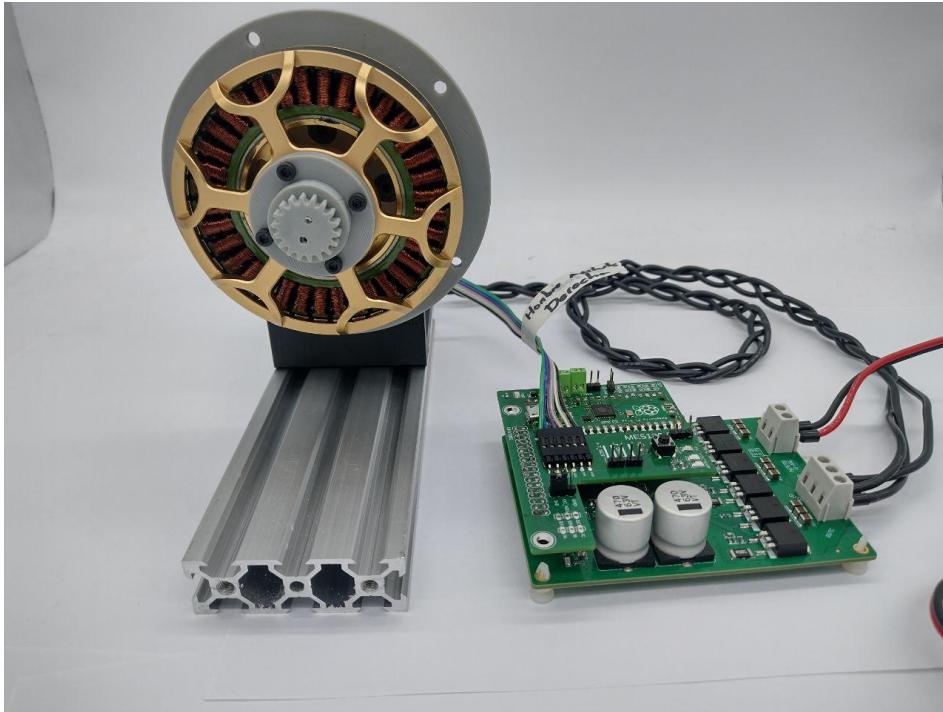
**ARMADO!**

{



}

# Setup de hoy



# Armado de caja reductora



# Armado de caja reductora



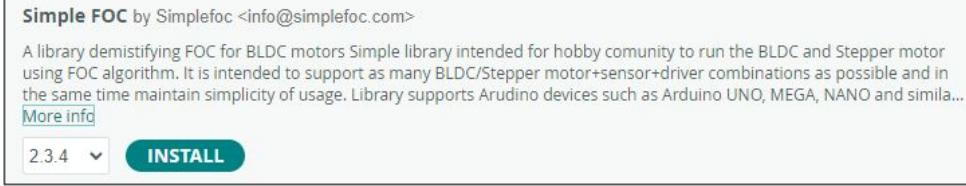
{

# CONTROL DE MOTOR

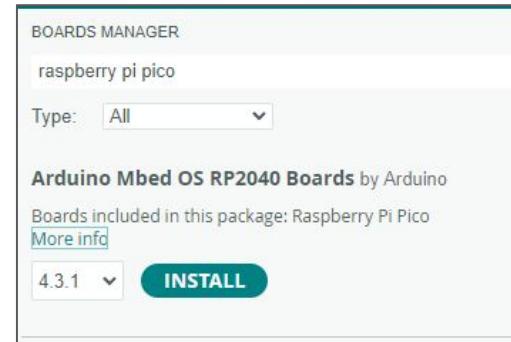
}

# Pasos para subir firmware a la RPi

- Buscar y clonar repositorio  
[https://github.com/LabRobDIMEC/ICRA\\_LA\\_CHILE\\_H01b](https://github.com/LabRobDIMEC/ICRA_LA_CHILE_H01b)
- Instalar librería SimpleFOC

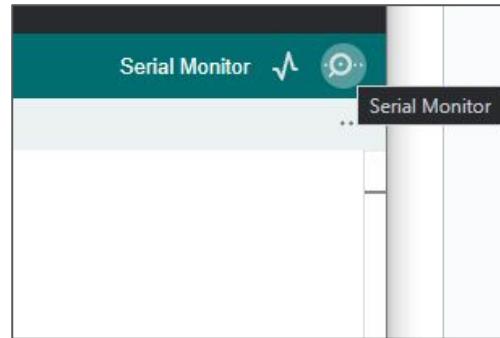


- Agregar microcontrolador Raspberry Pi Pico
- Subir firmware [position\\_motor.ino](#)



# Envío de mensajes de posición

- Es posible enviar un comando de texto para pedir posición del motor.
- El formato lleva 3 valores y una letra inicial.
  - Ejemplo para 1 radián:  
“T001\n”



# Probemos modificando el drv.h

```
#define FOC_MODULATION FOCModulationType::SpaceVectorPWM  
  
#define MOTION_CONTROL MotionControlType::angle  
  
#define VOLTAGE_SENSOR_ALIGN 1 // [V]  
  
#define VELOCITY_INDEX_SEARCH 3 // [rad/s]  
  
#define PID_VEL_P 1           // PID for velocity control  
  
#define PID_VEL_I 2  
  
#define PID_VEL_D 0
```

```
#define LPF_VEL_TF 0.01f // Low pass filter time constant for velocity control  
  
#define LPF_ANGLE_TF 0 // Low pass filter time constant for angle control  
  
#define ANGLE_PID_P 20 // PID for angle control  
  
#define ANGLE_PID_I 0  
  
#define ANGLE_PID_P_OUTPUT_RAMP 1000  
  
#define VOLTAGE_LIMIT 12 // limit the RPM to Voltage limit x KV  
  
#define VELOCITY_LIMIT 10  
  
#define CURRENT_LIMIT 5 // Check the current limit
```

