

Robótica

Pablo González

Noviembre, 2018



Actuadores y Sensores

Actuadores y Sensores

Control de Posición

Control de Posición



Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

Actuadores y Sensores



Motor de CC

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

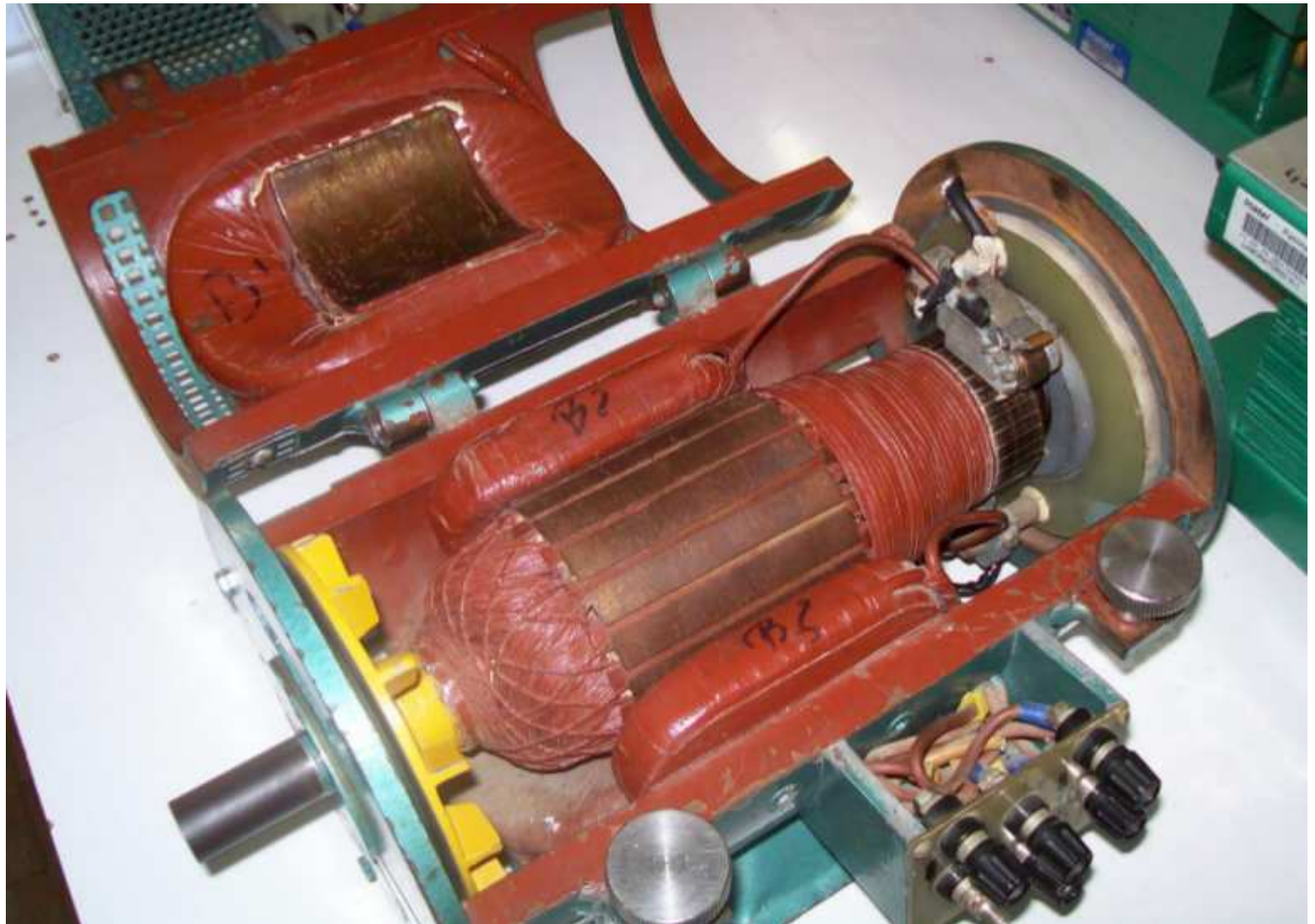
Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición





Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

Ecuaciones del motor de CC

■ Parte eléctrica

$$V_a = R_a I_a + L \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (1)$$

■ Conversión de energía

$$\tau_m = K_T I_a \quad (2)$$

$$E_a = K_V \dot{\theta}_m \quad (3)$$

■ Parte mecánica: dinámica del motor

$$\tau_m = J_m \ddot{\theta}_m + B_m \dot{\theta}_m + \tau_{\text{carga}} \quad (4)$$

Ecuación del actuador (motor controlado por corriente de armadura y equipo de electrónica de potencia):

$$\tau_m(t) = K_m u(t) \quad (5)$$



Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

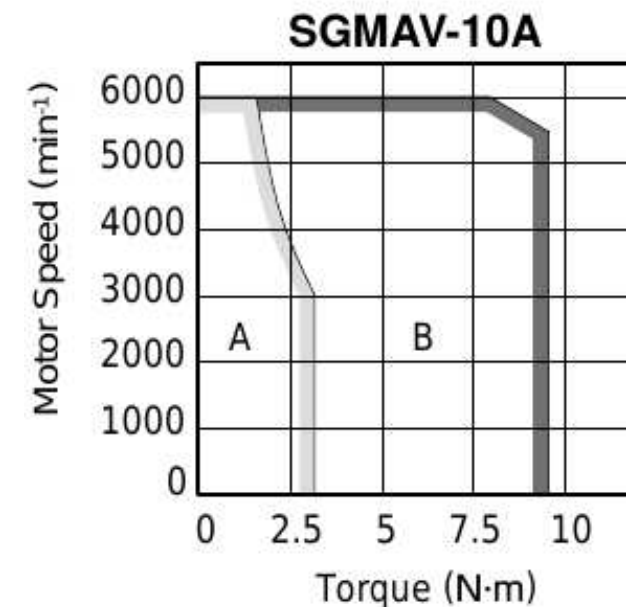
Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

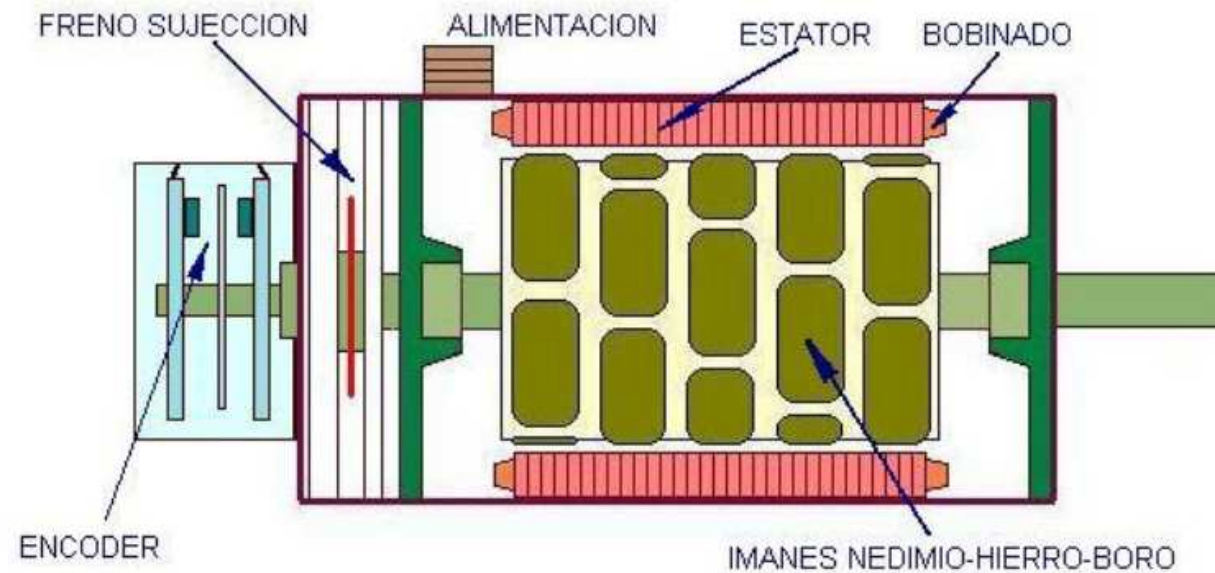
Características:

- Muy baja inercia
- Elevado torque pico instantáneo ($300\% \tau_{nom}$)
- Elevadas velocidades máximas instantáneas (6000RPM)
- Incluye sensor de posición y freno de mantenimiento.





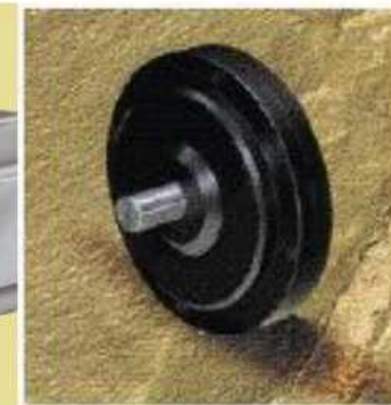
Servomotores. Construcción



Servomotor compacto



Servomotor con encoder incorporado



Servomotor extraplano

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.
Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de
Transmisiones en
Brazo Superior

Codificadores Opticos
Absolutos

Codificadores Opticos
Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición



Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

■ Relaciones entre entrada y salida

$$\dot{\theta}_m = N\dot{\theta} \quad (6)$$

$$N\tau_m = \tau \quad (7)$$

■ Ecuación dinámica del motor + reducción visto en el eje del robot. Combinando las ecs. 4, 6 y 7:

$$N\tau_m = J_m N^2 \ddot{\theta} + B_m N^2 \dot{\theta} + \tau_{eje} \quad (8)$$





Reductores Planetarios

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

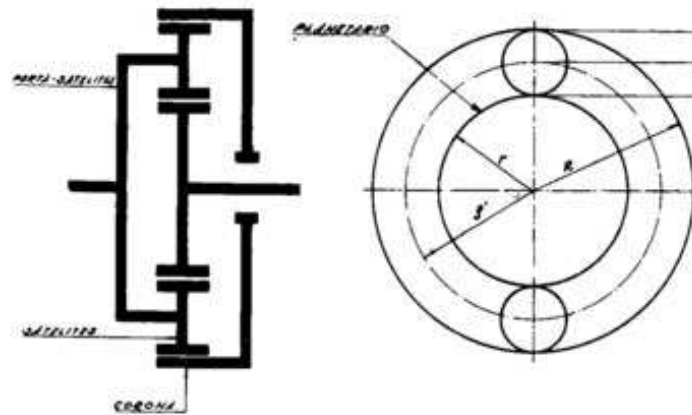
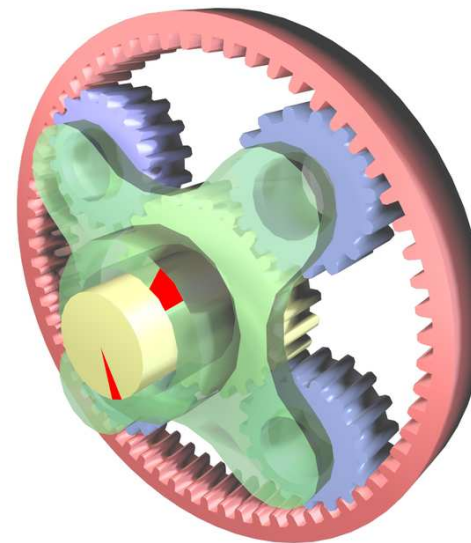
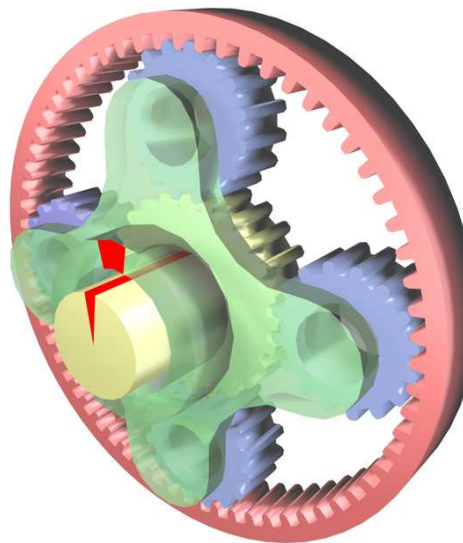


Figure 1





Reductores Armónicos

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

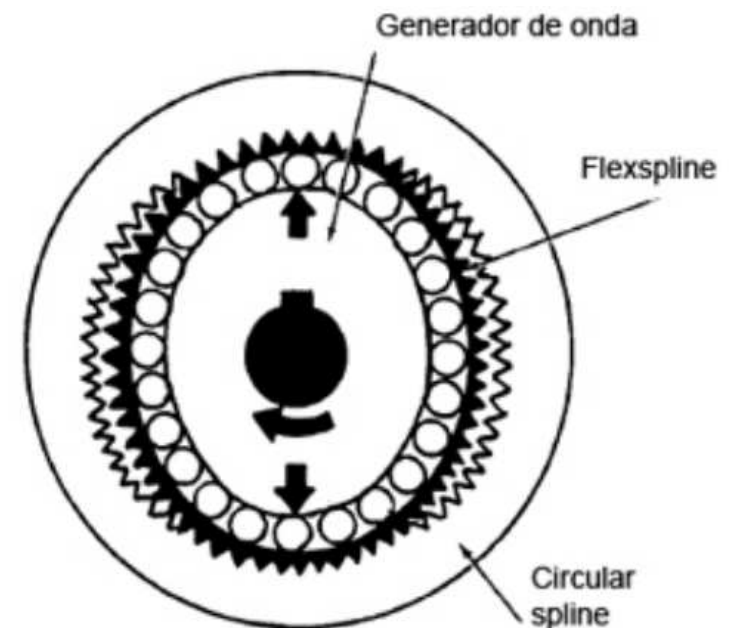
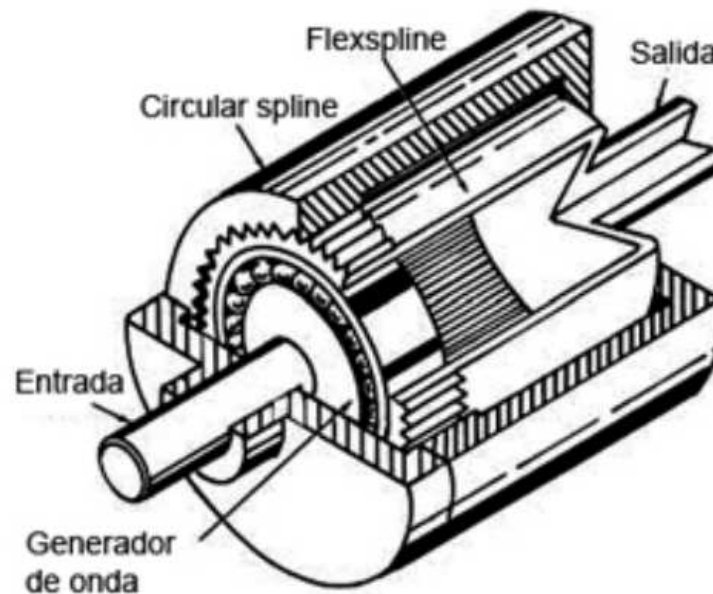
Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición

Nombre genérico: *Strain wave gearing*.

- Sin juego mecánico (*zero backlash*)
- Altísima precisión
- Altísimas reducciones en poco espacio ($N = 100$)
- Diseño de eje concéntrico
- Alta capacidad de torque en relación al peso o volumen.





Ejemplo de Transmisiones en Brazo Superior

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de
Transmisiones en
Brazo Superior

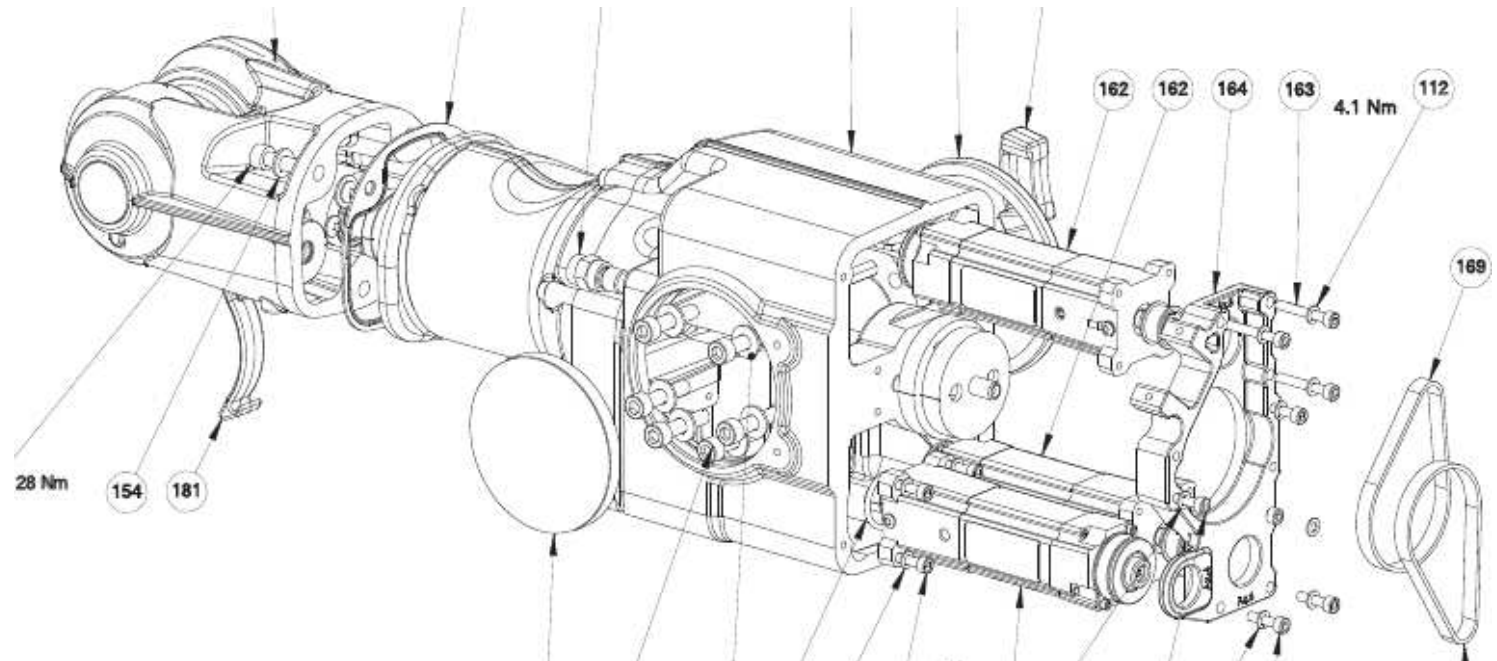
Codificadores Opticos
Absolutos

Codificadores Opticos
Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición



Video muñeca Kuka KR-500.



Codificadores Opticos Absolutos

Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de
Transmisiones en
Brazo Superior

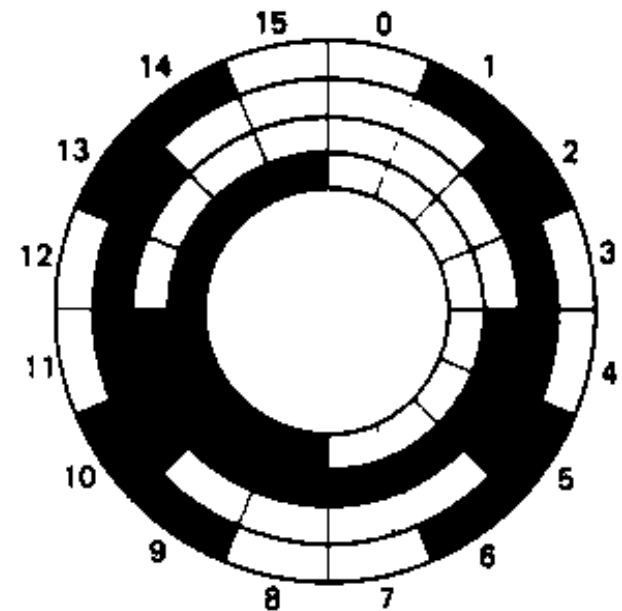
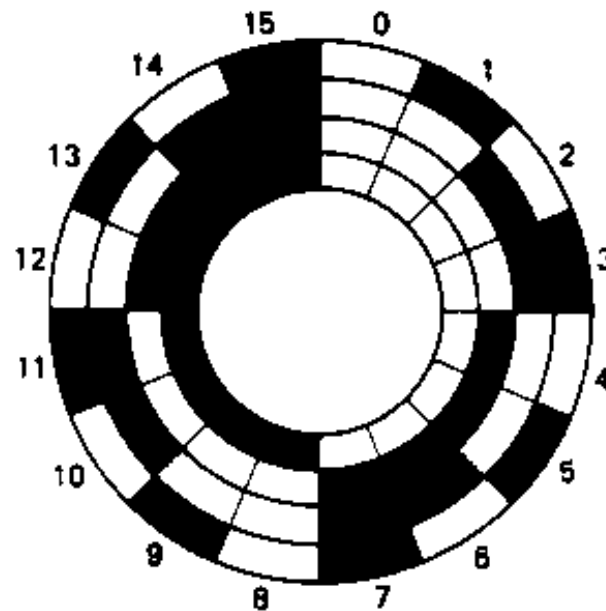
Codificadores Opticos
Absolutos

Codificadores Opticos
Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición





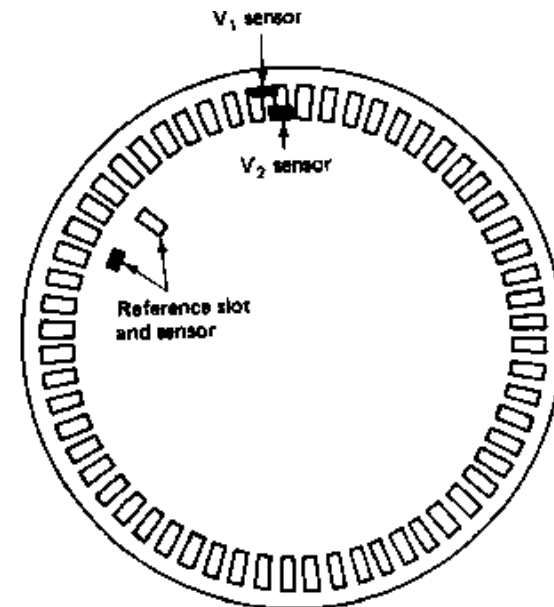
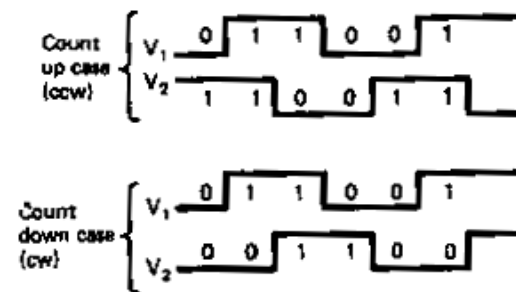
Codificadores Opticos Incrementales

Actuadores y Sensores

Motor de CC
Modelo Motor de CC
Servomotores
Servomotores.
Construcción
Transmisiones
Reductores Planetarios
Reductores Armónicos
Ejemplo de
Transmisiones en
Brazo Superior
Codificadores Opticos
Absolutos
Codificadores Opticos
Incrementales
Disco Ranurado
Resolvers
Control de Posición

Características:

- Digitales.
- Canal A, B y Z. Determina sentido de giro.
- Alta resolución 13bits@1500RPM.
- Incrementales: requiere contador de pulsos con retención.
- Estrategia de *homing* para el eje.





Disco Ranurado



Actuadores y Sensores

Motor de CC

Modelo Motor de CC

Servomotores

Servomotores.

Construcción

Transmisiones

Reductores Planetarios

Reductores Armónicos

Ejemplo de

Transmisiones en

Brazo Superior

Codificadores Opticos

Absolutos

Codificadores Opticos

Incrementales

Disco Ranurado

Resolvers

Control de Posición



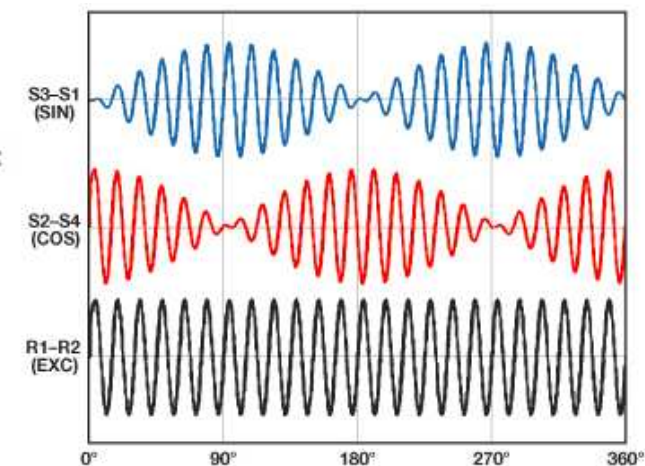
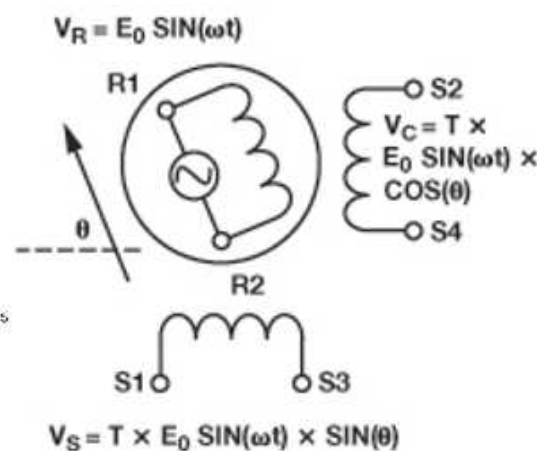
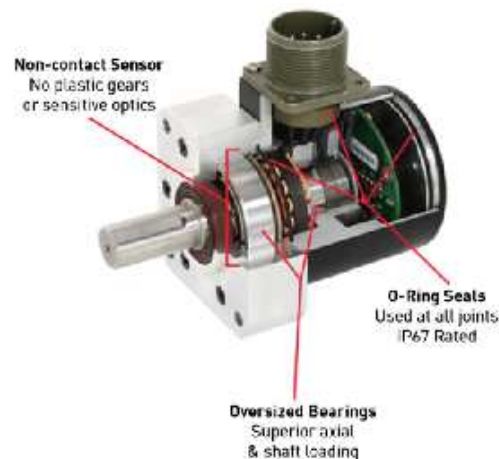
Actuadores y Sensores

Motor de CC
Modelo Motor de CC
Servomotores
Servomotores.
Construcción
Transmisiones
Reductores Planetarios
Reductores Armónicos
Ejemplo de
Transmisiones en
Brazo Superior
Codificadores Opticos
Absolutos
Codificadores Opticos
Incrementales
Disco Ranurado
Resolvers

Control de Posición

Características:

- Absolutos.
- Analógicos. Uso de RDC (Resolver to Digital Converter)
- RDC de Altísima resolución 16bits@10000RPM.
- Exactitud del sistema (RDC+sensor primario) $\sim 2.5'$
- Medición de posición y velocidad.
- Muy robustos.





Actuadores y Sensores

Control de Posición

Diagrama en Bloques

Dinámica del Robot +
Actuadores

Modelo Simplificado

Control PD

Control PID

Técnicas de Control
No Lineal

Torque Computado

Control de Posición



Diagrama en Bloques

Actuadores y Sensores

Control de Posición

Diagrama en Bloques

Dinámica del Robot +
Actuadores

Modelo Simplificado

Control PD

Control PID

Técnicas de Control

No Lineal

Torque Computado

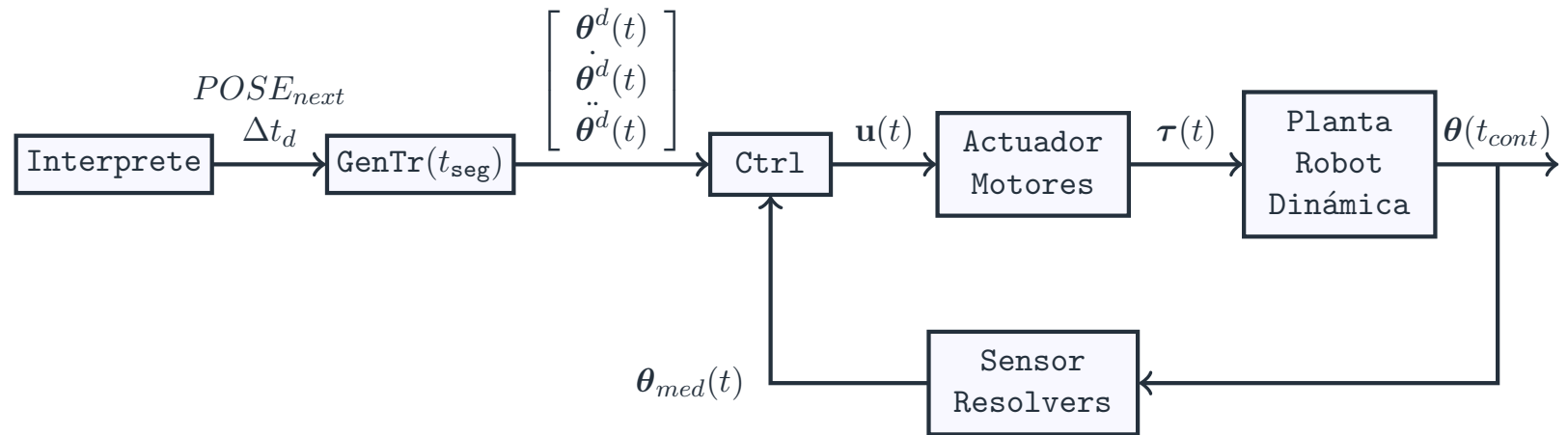


Figure 1: Diagrama en bloques del robot



Formas de modelar:

- Newton-Euler
- Resolución de la Ec. de Lagrange $\tau_s = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_s} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_s}$

Modelo Completo:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{H}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) + \mathbf{G}(\boldsymbol{\theta})$$
$$N\boldsymbol{\tau}_m = J_m N^2 \ddot{\boldsymbol{\theta}} + B_m N^2 \dot{\boldsymbol{\theta}} + \boldsymbol{\tau}$$

Simplificación del modelo para el eje s :

$$N_s \tau_{ms} = J_{ms} N_s^2 \ddot{\theta}_s + B_{ms} N_s^2 \dot{\theta}_s + \overline{m}_{ss} \ddot{\theta}_s + \tau_s^{\text{pert}}$$
$$N_s \tau_{ms} = \left(J_{\text{ef}} \ddot{\theta}_s + B_{\text{ef}} \dot{\theta}_s \right) + \tau_s^{\text{pert}}$$
$$N\tau_m - \tau^{\text{pert}} = \left(J_{\text{ef}} \ddot{\theta} + B_{\text{ef}} \dot{\theta} \right)$$



Modelo Simplificado

$$N\tau_m - \tau^{\text{pert}} = \left(J_{\text{ef}}\ddot{\theta} + B_{\text{ef}}\dot{\theta} \right) \quad (9)$$

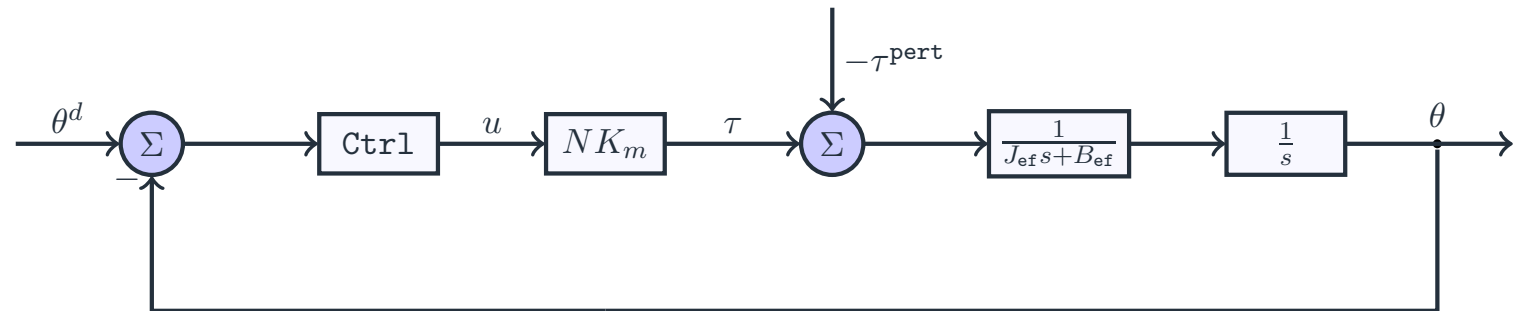


Figure 2: Diagrama en bloques simplificado

Aproximación válida cuando:

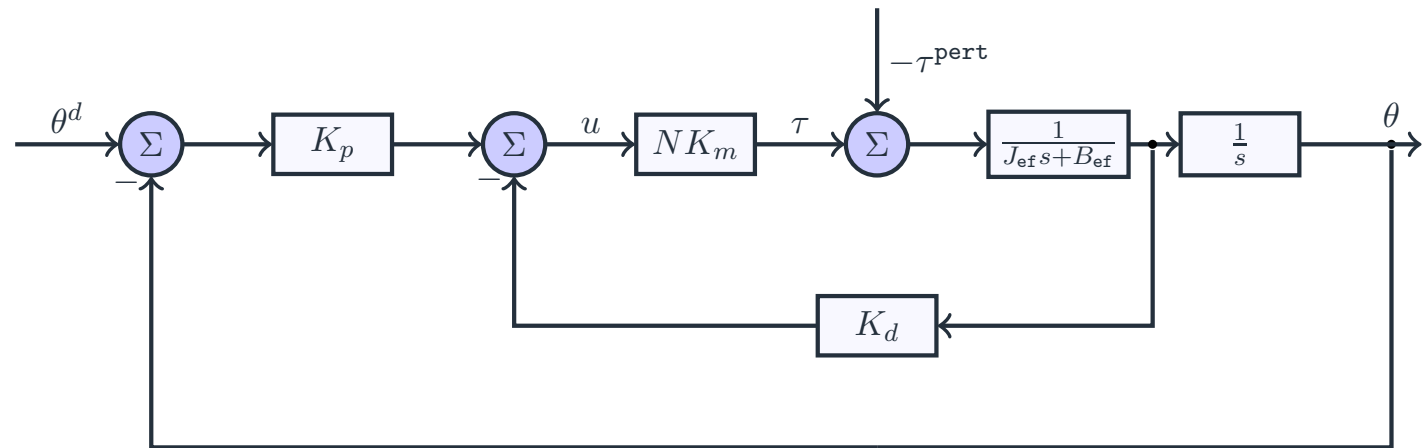
- Altas reducciones $N \approx 100$
- Velocidades y aceleraciones bajas
- Pesos balanceados

Todo ésto produce τ^{pert} baja.



Ley de control:

$$u = K_p (\theta^d - \theta) - K_d \dot{\theta} \quad (10)$$

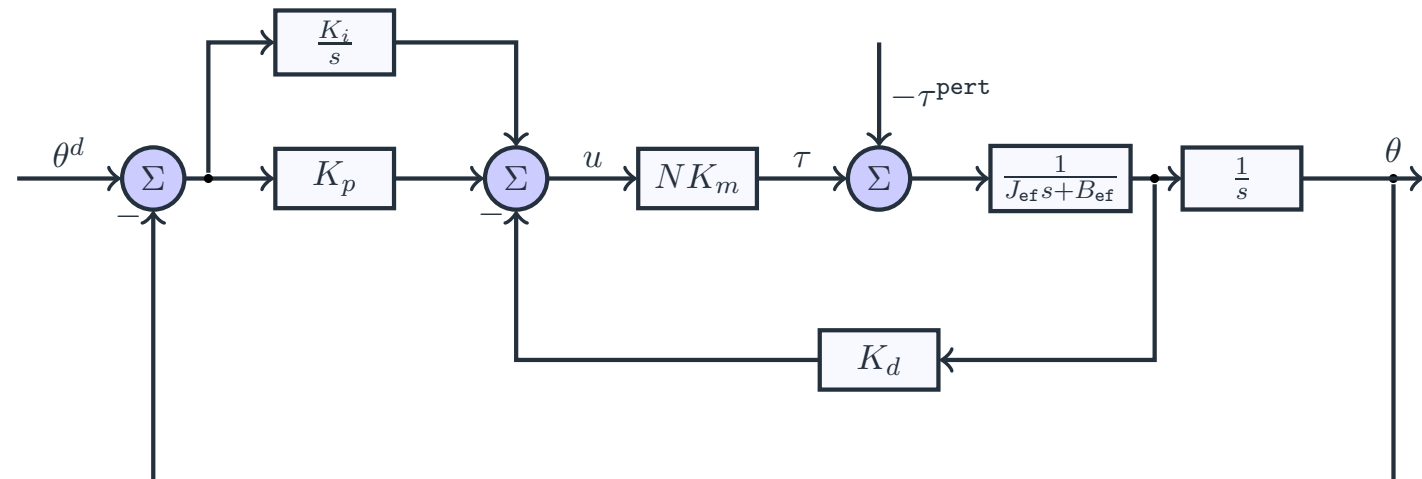


- Seguimiento de referencias tipo escalón
- Seguimiento de perturbaciones escalón !!



Ley de control:

$$u = K_p (\theta^d - \theta) + K_i \int (\theta^d - \theta) dt - K_d \dot{\theta} \quad (11)$$



- Seguimiento de referencias tipo escalón y **rampa**
- Rechazo de perturbaciones escalón



Modelo del manipulador y actuadores, que no conocemos con exactitud:

$$\tau = M\ddot{\theta} + \mathbf{h}$$

Si proponemos una ley de control donde \hat{M} y $\hat{\mathbf{h}}$ son aproximaciones a los valores reales M y \mathbf{h} :

$$\tau = \hat{M}\mathbf{v} + \hat{\mathbf{h}}$$

Si el conocimiento de la planta es exacto queda un sistema con dos polos en el origen:

$$\mathbf{v} = \ddot{\theta}$$

Luego se puede calcular la señal \mathbf{v} con una ley de control lineal (PD+FF).

$$\mathbf{v} = K_p (\theta^d - \theta) + K_d (\dot{\theta}^d - \dot{\theta}) + \ddot{\theta}^d$$



Torque Computado

Actuadores y Sensores

Control de Posición

Diagrama en Bloques

Dinámica del Robot +
Actuadores

Modelo Simplificado

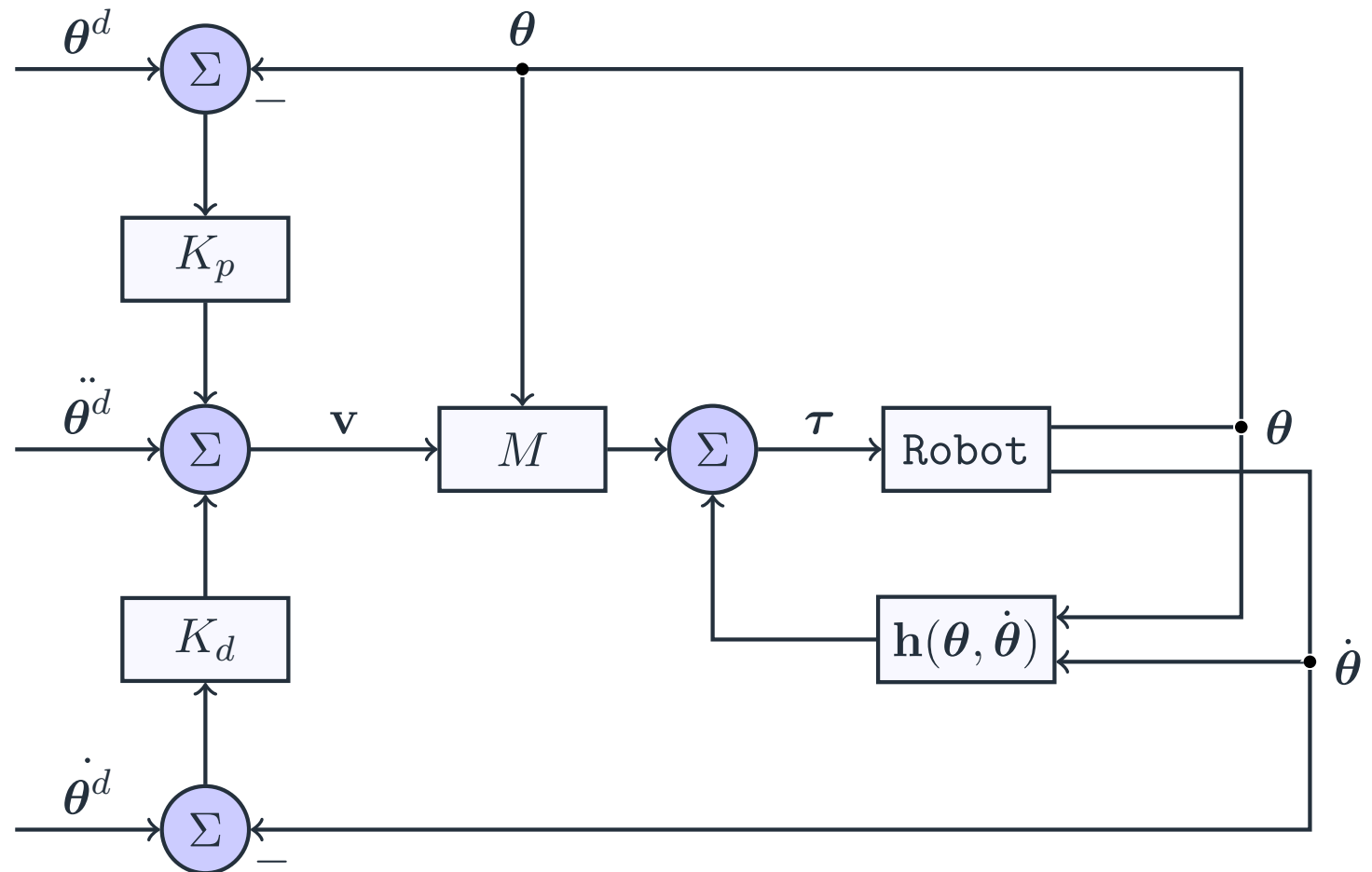
Control PD

Control PID

Técnicas de Control

No Lineal

Torque Computado



$$\ddot{e} + K_d \dot{e} + K_p e = 0$$