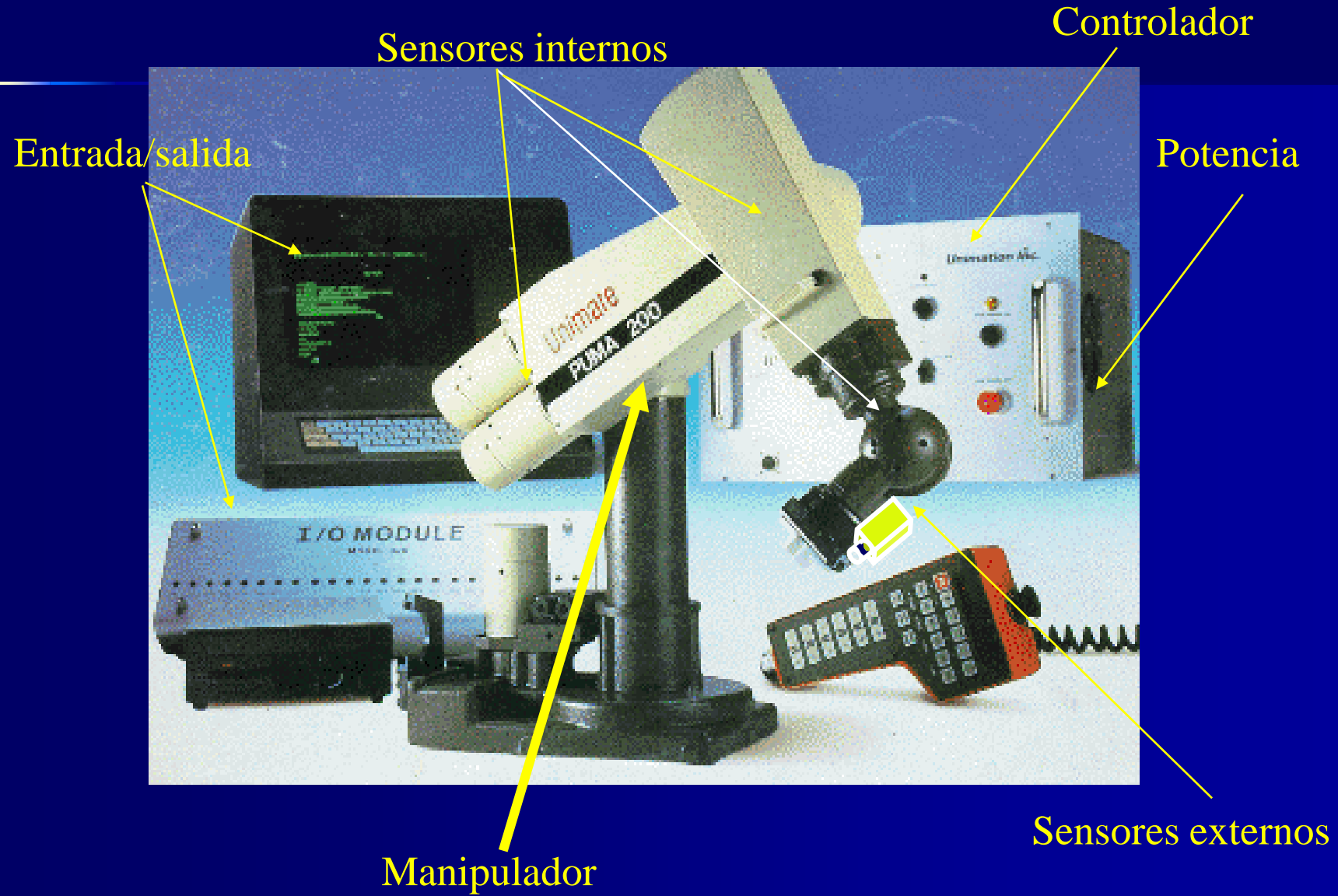


# Robótica

## Sensores, Actuadores, Instrumentación en Robótica

Prof. Gerardo Fernández  
Prof. Juan Carlos Grieco  
Prof. Cecilia Murrugarra Q.

# EL Robot Industrial



Sensores internos

Controlador

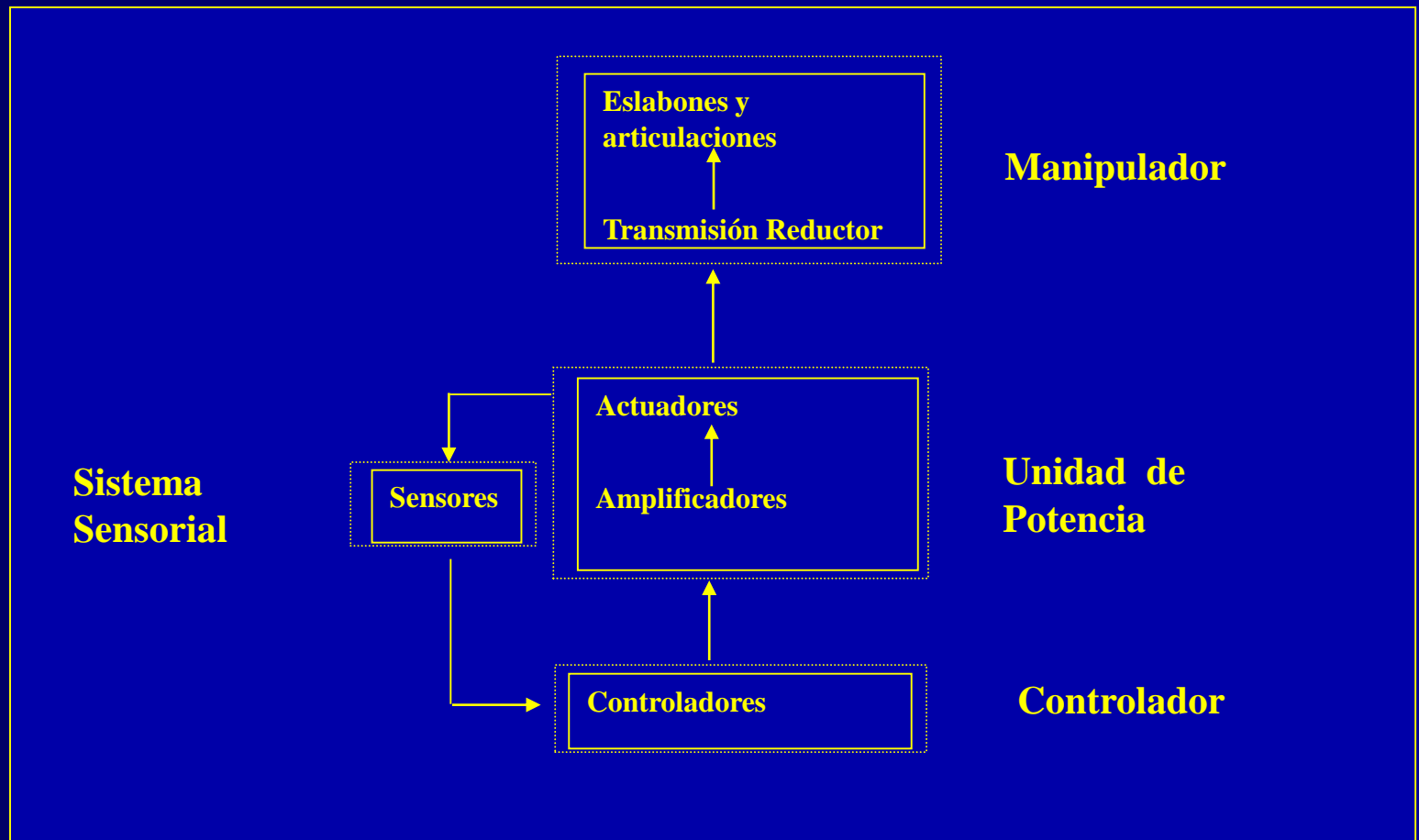
Entrada/salida

Potencia

Manipulador

Sensores externos

# COMPONENTES BASICOS DE UN ROBOT MANIPULADOR



# Componentes mecánicos

- ARTICULACIONES

- ACTUADORES

- TRANSMISIONES Y REDUCTORES

- FRENOS

- SUBSISTEMAS MECÁNICOS: Muñeca, Elemento terminal

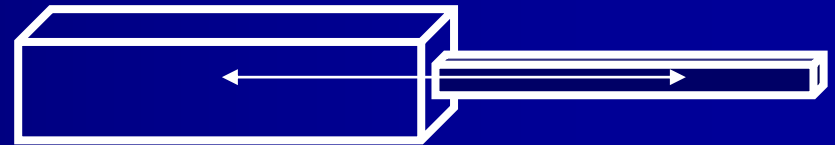
# Componentes mecánicos

## ■ ARTICULACIONES

- 1 grado de libertad

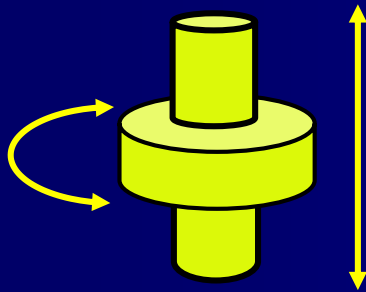


Rotacional

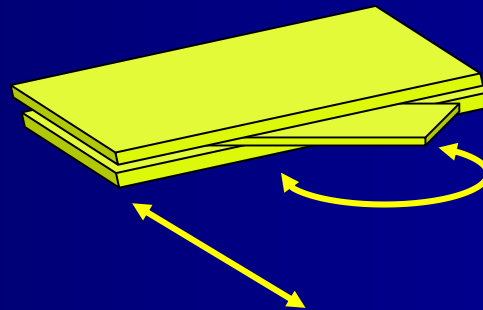


Prismática

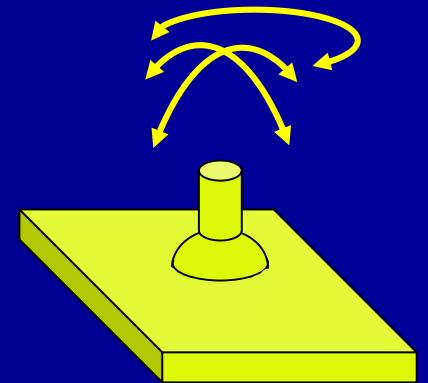
- 2 y 3 grados de libertad



Cilíndrica



Planar



Esférica

# Componentes mecánicos

- ARTICULACIONES

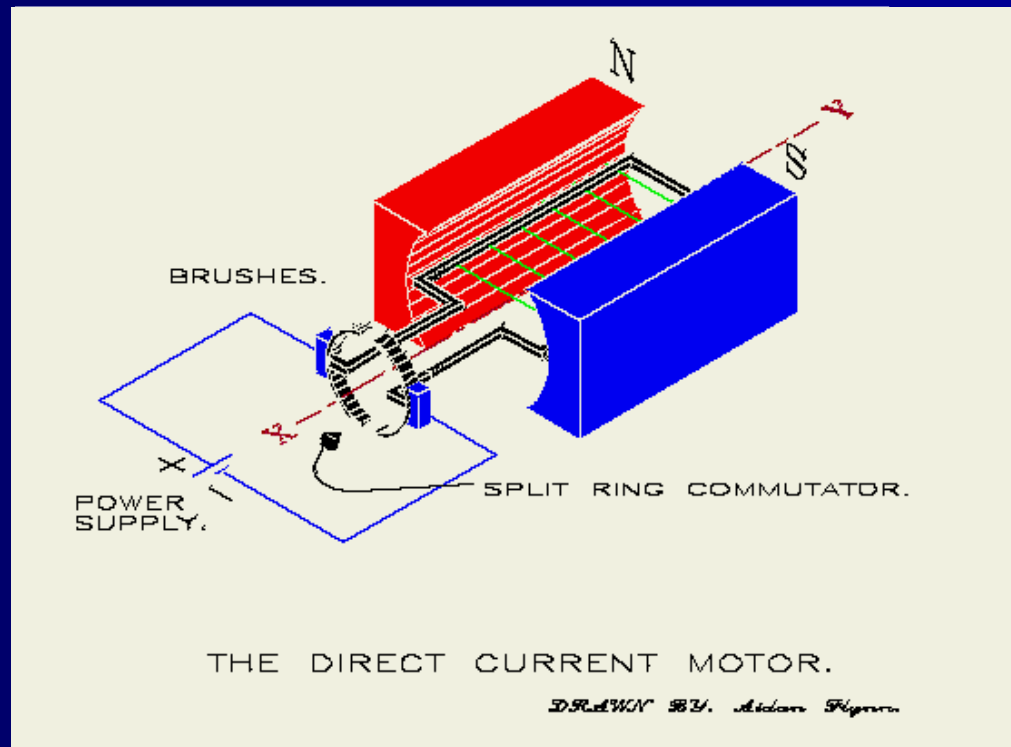
- ACTUADORES

- TRANSMISIONES Y REDUCTORES

- FRENOS

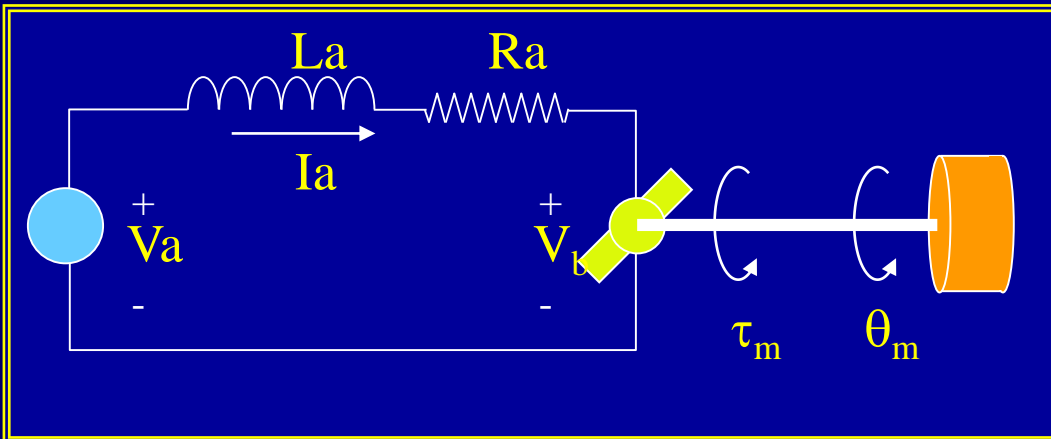
- SUBSISTEMAS MECÁNICOS: Muñeca, Elemento terminal

# Los actuadores: Motores DC



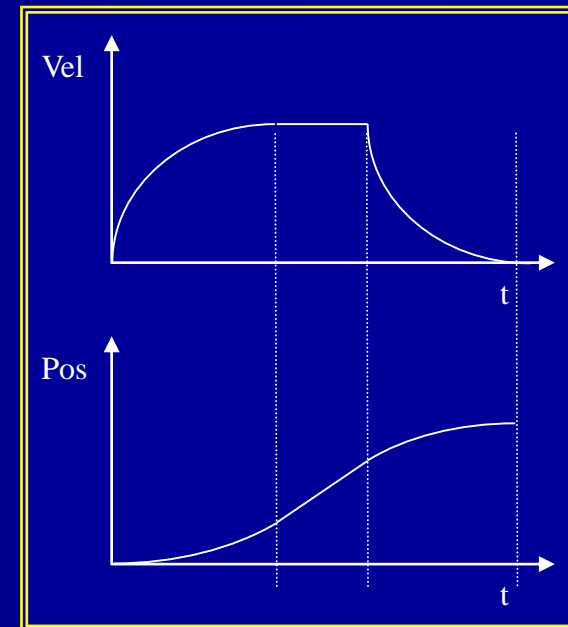
$$\mathbf{F} = (\mathbf{I} \times \mathbf{B})$$

# Los actuadores: Motores DC



$$V_b = K \omega_m$$

$$\tau_m = K I_a$$





# Ecuaciones del Motor DC

$$V_a - L_a \frac{di_a}{dt} - i_a * R_a - V_b = 0$$

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + i_a * R_a + V_b$$

$$V_b = K_m * \omega_m$$

$$V_a(s) = L_a * s I_a(s) + I_a(s) * R_a + V_b(s)$$

$$V_a(s) - V_b(s) = I_a(s) * (L_a * s + R_a)$$

Ecuaciones  
Mecánicas

Ecuaciones  
Eléctricas

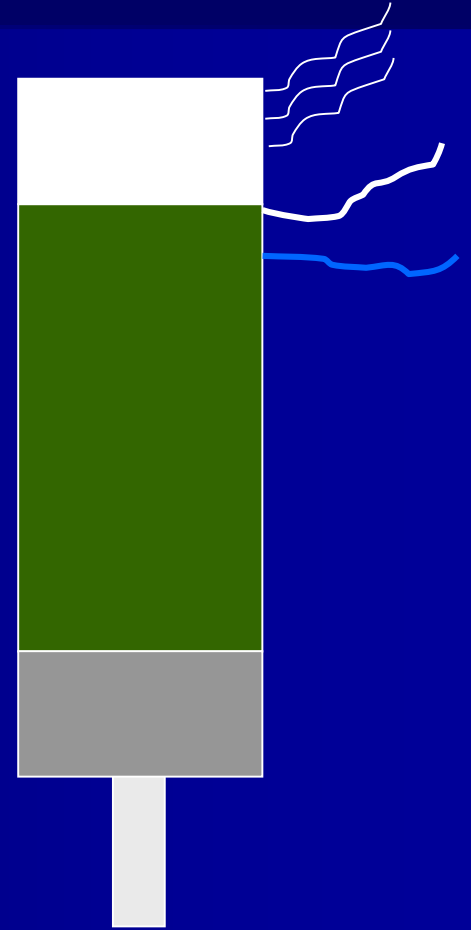
$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B \omega_m = \tau_m - \tau_L$$

$$J * s \omega_m(s) + B \omega_m(s) = \tau_m(s) - \tau_L(s)$$

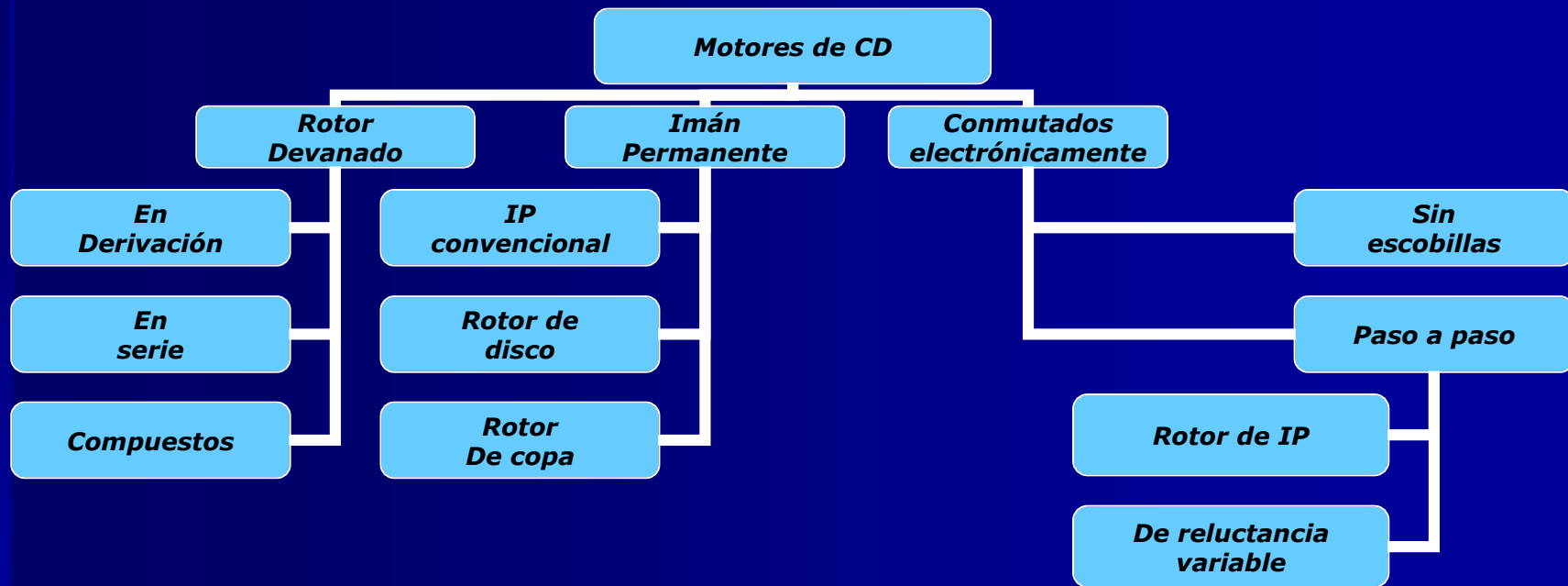
# Los actuadores: Motores DC



Motor Maxon

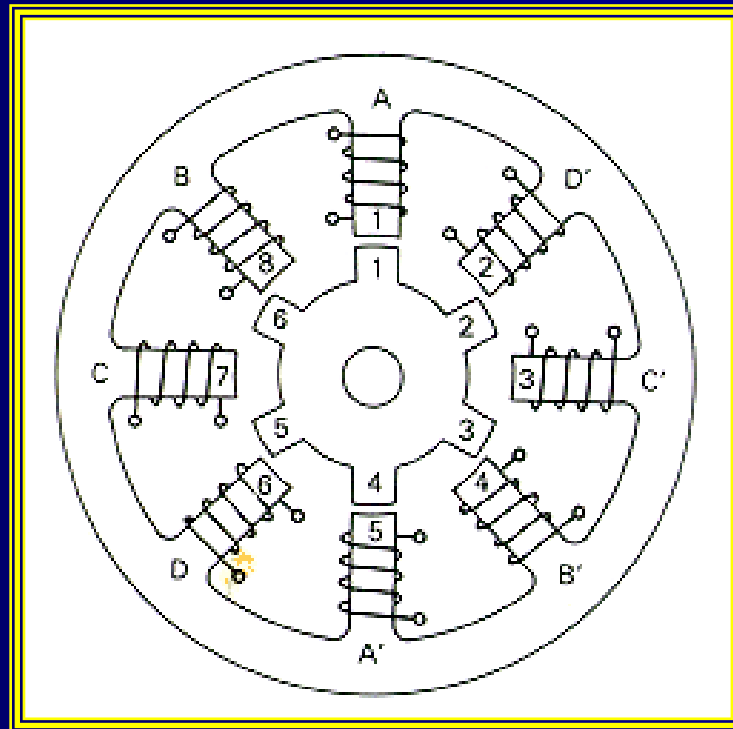


# Clasificación de motores DC



# Los actuadores: Motores de paso

- *Es un dispositivo en el que el rotor es capaz de posicionarse únicamente en posiciones angulares discretas*
- *La rotación se produce mediante desplazamientos del rotor desde una posición de equilibrio a otra posición de equilibrio.*



# Los actuadores: Motores de paso

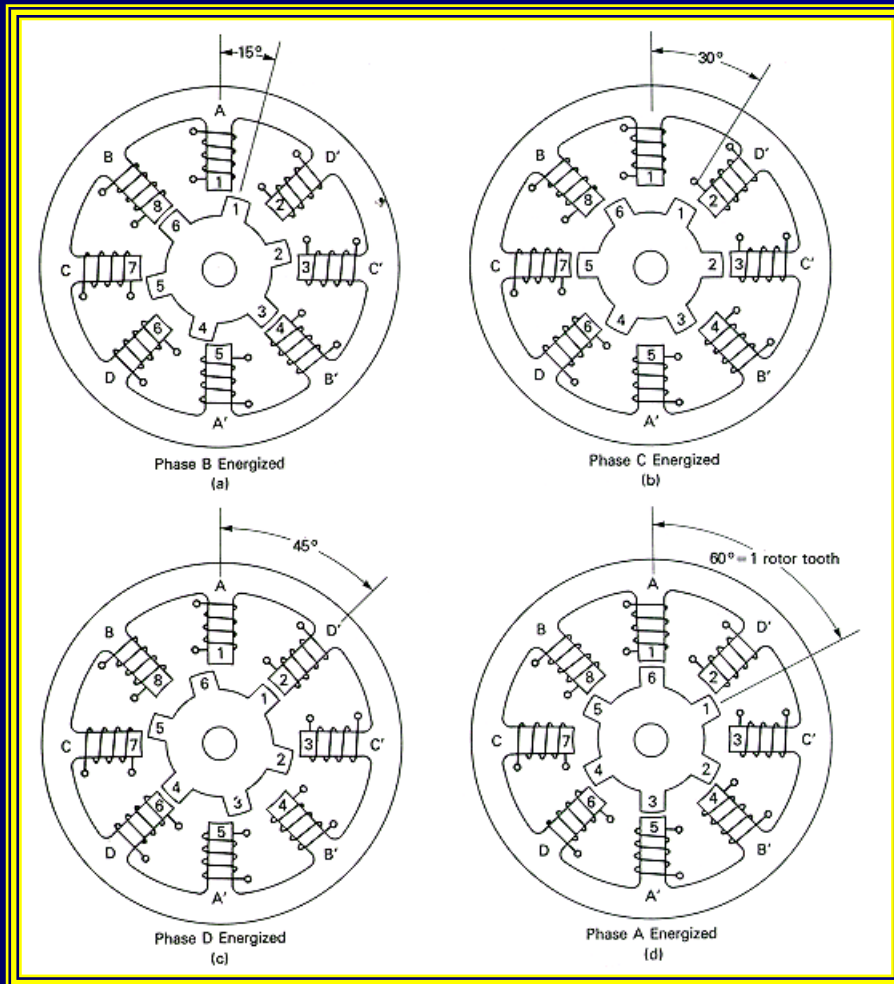
## ■ **VENTAJAS:**

- Se opera en *lazo abierto*
- Precisiones altas de posicionamiento a bajas velocidades
- El motor ofrece alto torque para velocidades angulares bajas
- No necesita codificador o tacómetro
- Bajo mantenimiento

## ■ **DESVENTAJAS:**

- Si no hay lazo de control de posición, el motor puede parar (por causas no deseadas) y no haber alcanzado la posición final
- Pueden existir errores de posición al tratar de mover el rotor demasiado rápido (fenómeno de "dropped steps")
- El movimiento "a pasos" puede generar oscilaciones en el manipulador

# El motor de paso: Principio de funcionamiento

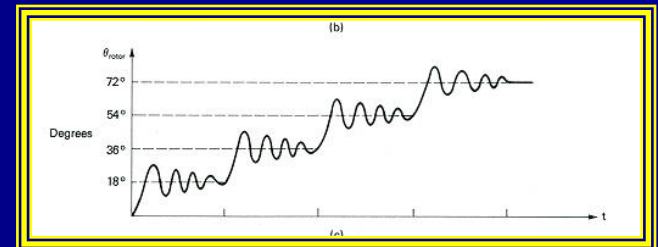


$$Paso = 360^\circ \frac{N_s - N_r}{N_s N_r}$$

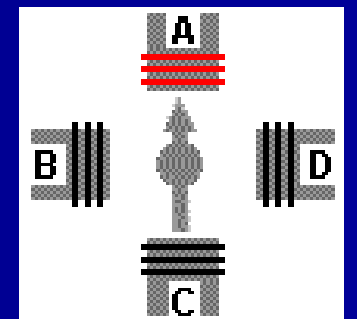
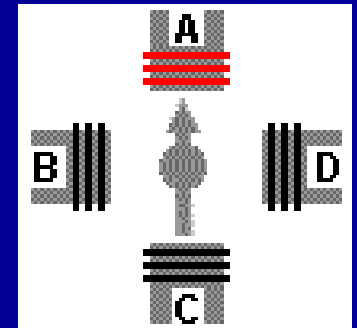
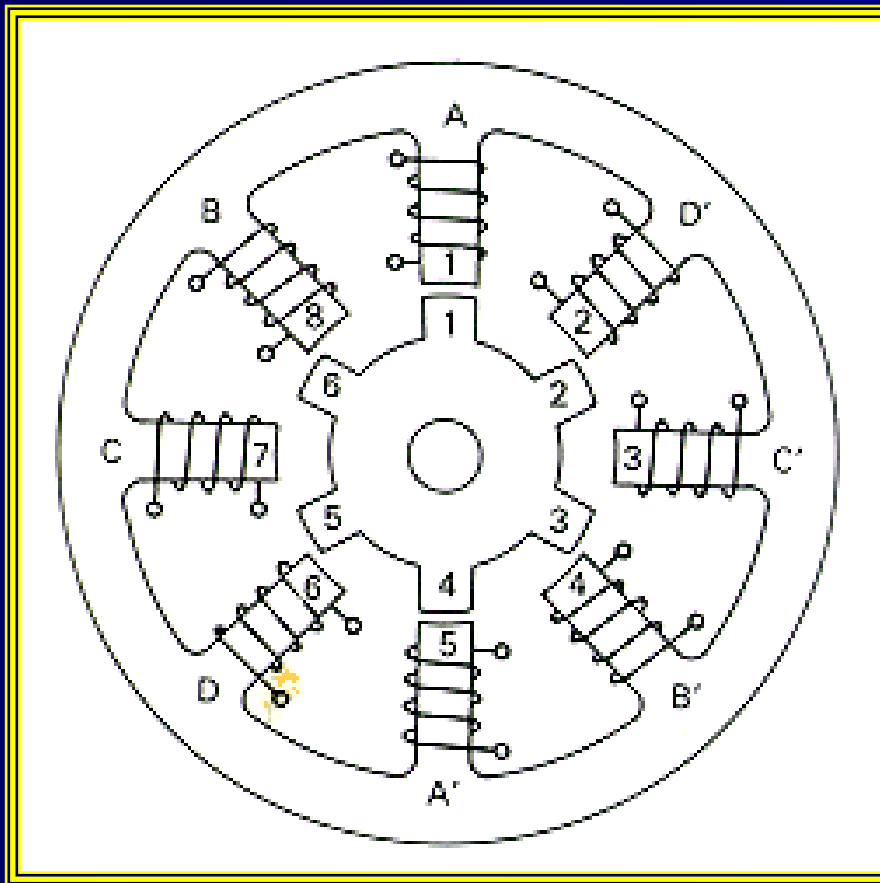
$$Pasos/Vuelta = \frac{N_s N_r}{N_s - N_r}$$

donde

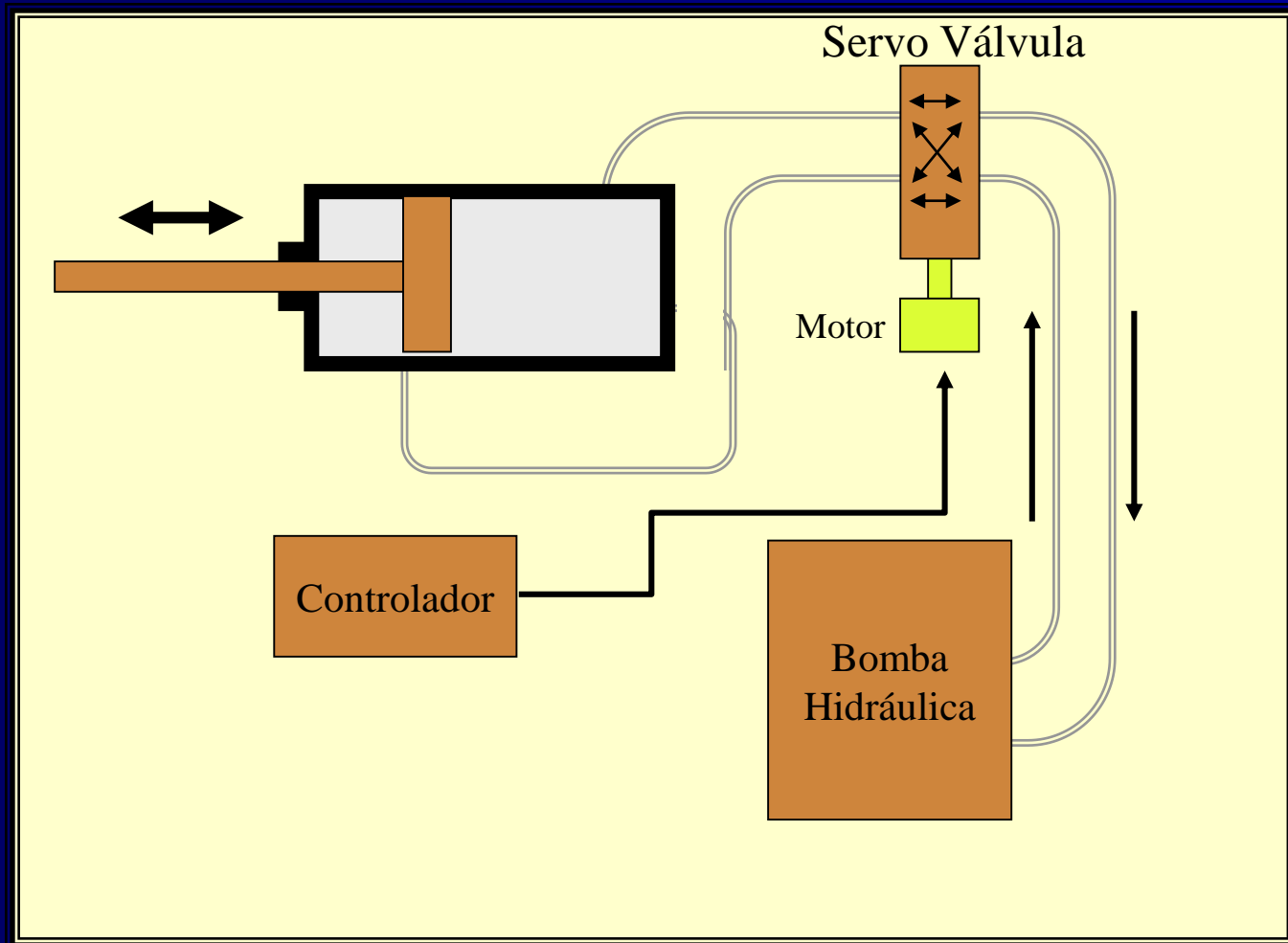
$N_s$  es el número de polos en el estator  
y  $N_r$  es el número de polos en el rotor



# El motor de paso: Principio de funcionamiento



# Actuadores: Motores Hidráulicos





# Los actuadores: Motores Hidráulicos

## *VENTAJAS:*

- Mueven cargas muy grandes.
- Presenta una gran relación par/peso.
- Rápidos en desplazamientos lineales.
- Son muy baratos.

## *DESVENTAJAS:*

- Difíciles de mantener.
- Propensos a fugas contaminantes.

# Componentes mecánicos

- ARTICULACIONES
- ACTUADORES
- TRANSMISIONES Y REDUCTORES
- FRENOS
- SUBSISTEMAS MECÁNICOS: Muñeca, Elemento terminal

# TRANSMISIONES y REDUCCIONES

*El movimiento de una articulación se puede realizar de dos maneras*

*Accionamiento directo*

*Simplicidad mecánica*

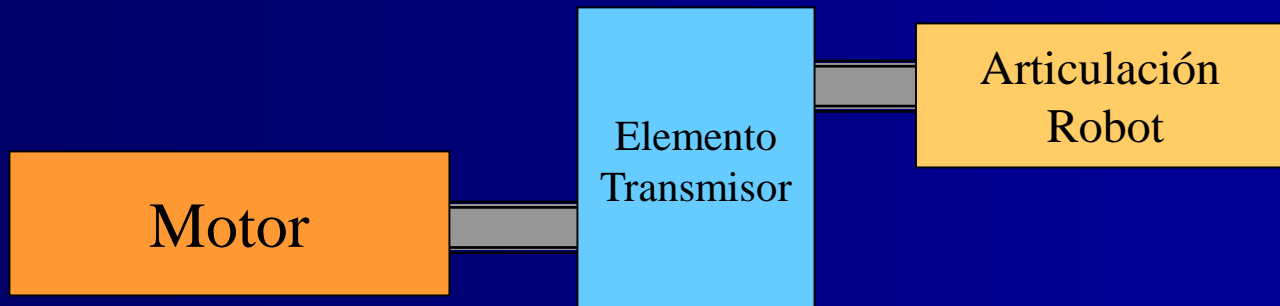
*Accionamiento indirecto  
o por transmisión*

*Mayor complejidad*

Pero...podemos convertir el movimiento...disminuir la inercia, adaptar el par y la velocidad etc...

# REDUCTORES Y ELEMENTOS TRANSMISORES

Estos elementos toman el par y la velocidad proporcionados por un actuador acoplado al eje de entrada y lo transforman y envían al eje de salida.

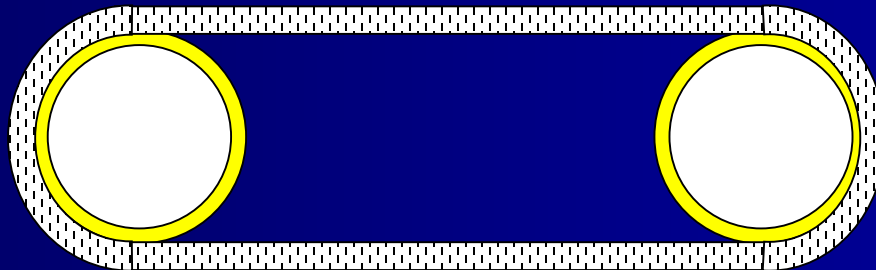


La transformación puede suponer aumento o disminución tanto del par como de la velocidad y los ejes de entrada y salida pueden ser paralelos, concéntricos, perpendiculares, etc.

# TRANSMISIONES

*Las más empleadas en robótica son:*

**Cadenas: Transmiten movimiento circular de un eje a otro**



**Grandes pares  
No hay deslizamiento  
Mantiene el sentido de  
giro.**

**Problemas de ruido  
lubricación**

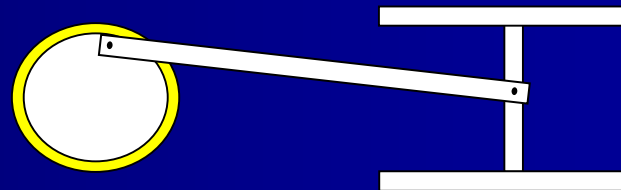
**Cables: Similar a la cadena...pero pueden tener  
deformaciones**

# TRANSMISIONES

**Enlaces rígidos: permiten convertir el movimiento**

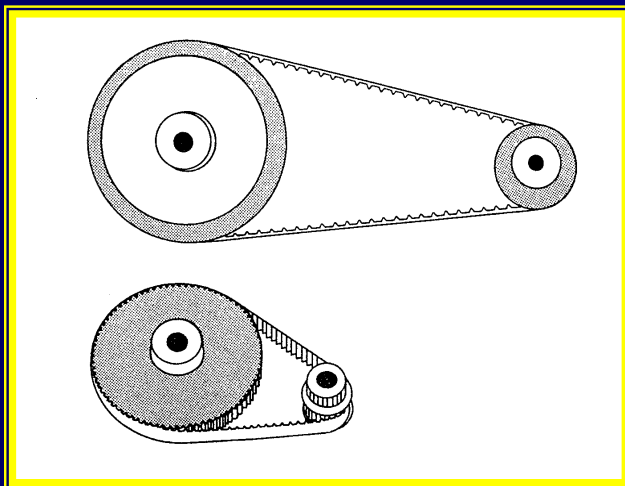


**Circular-circular**



**Circular-lineal**

**Correas : Similar a la cadena...pero algunas utilizan la fricción  
Son menos ruidosas pero tienen menor par**



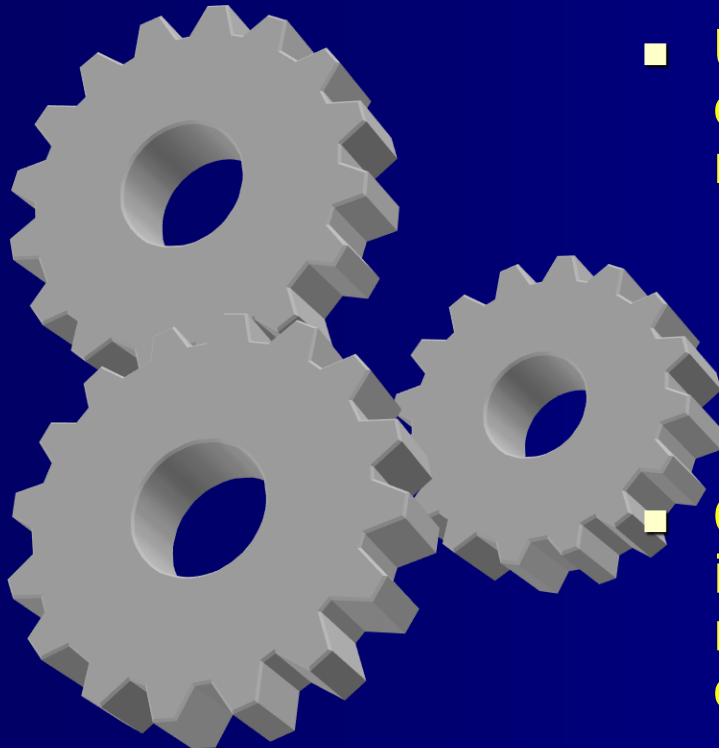
**Características:**

- Realizan la misma función de reducción o amplificación que los engranajes.
- Mantiene el sentido de giro.
- Permiten la transmisión de movimiento y par sobre grandes distancias
- Si la correa es dentada evita los deslizamientos.
- Tienen una pequeña elasticidad.

# REDUCTORES

*Permiten además de convertir movimientos, adecuar la velocidad y el par deseado*

## Trenes de engranajes



- Un engranaje es un dispositivo de conversión de movimiento rotatorio a movimiento rotatorio.
- Consideraremos que un engranaje es ideal cuando: es perfectamente redondeado, o cuando rota sobre su centro real y se supone sin inercia.

# Conversión de movimiento

## Engranajes ideales

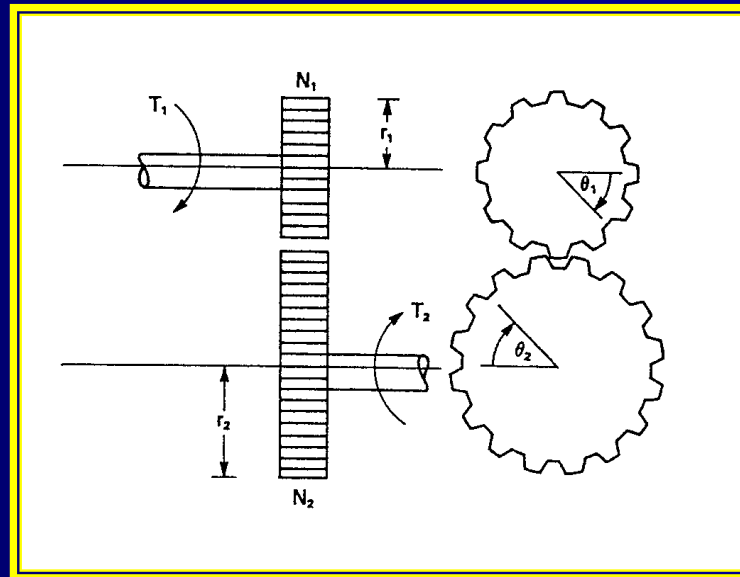
$$T_1 * \dot{\theta}_1 = T_2 * \dot{\theta}_2$$

$$r_1 * \theta_1 = r_2 * \theta_2$$

$$N_1 / r_1 = N_2 / r_2$$

$$T_1 = T_2 * (N_1 / N_2)$$

$$J_1 = (N_1 / N_2)^2 * J_2$$





# Engranajes ideales

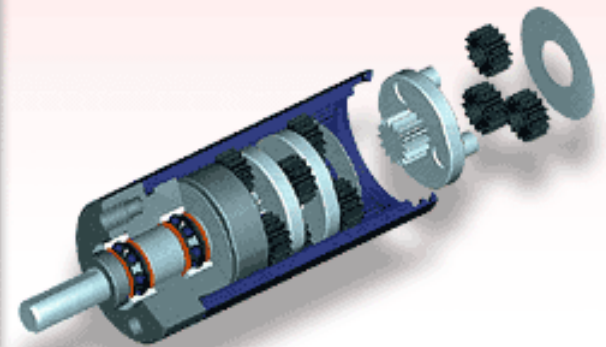
## *Ventajas de los engranajes:*

- Multiplican el par.
- Reducen la inercia reflejada.

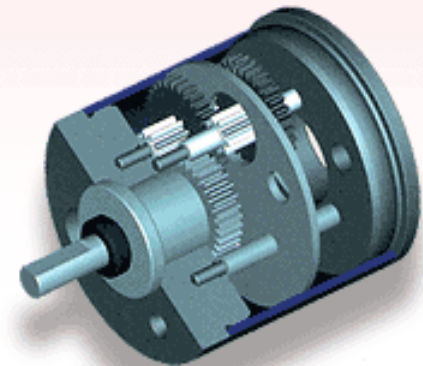
## *Inconvenientes:*

- Disminuyen velocidad y aceleración.
- Son muy voluminosos.
- No son concéntricos.
- Presentan holguras

Planetary Gearheads

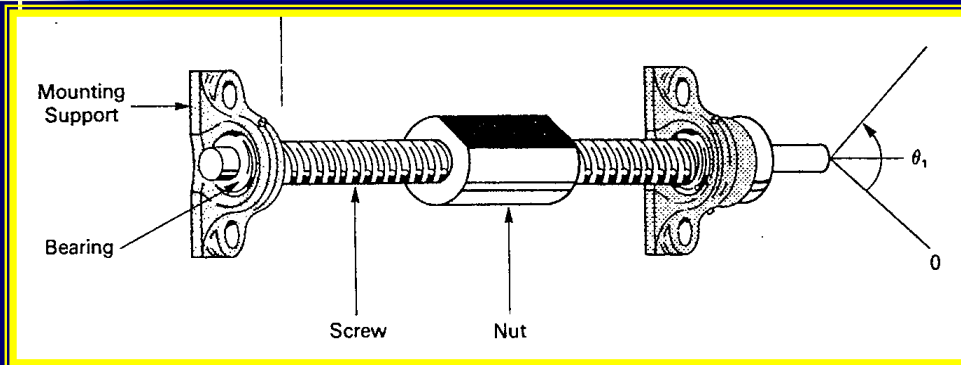


Spur Gearheads



# Conversión de movimiento

## De rotacional a lineal: el tornillo sin fin



$$\theta = P * x$$

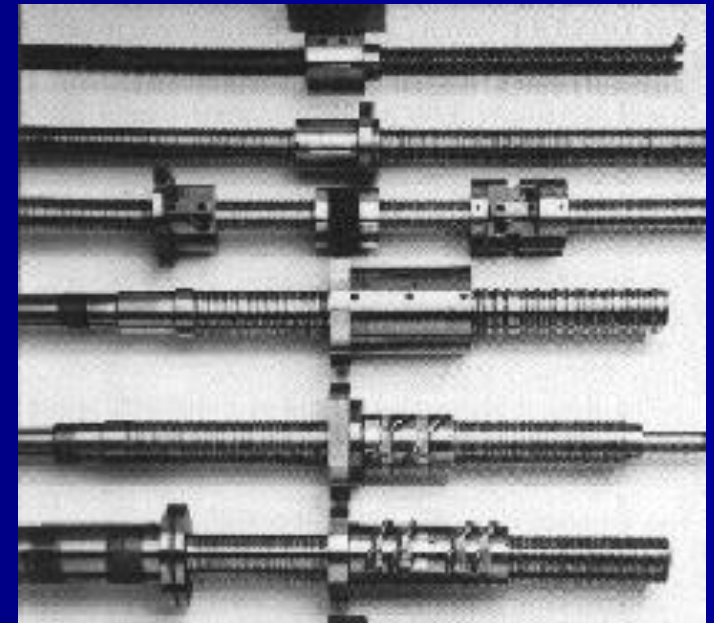
*Al rotar un ángulo  $\theta$ , el tornillo se desplaza la distancia  $x$*

*$P$  es el paso, expresado en vueltas/cm*

$$E_k = \frac{1}{2} M_L v^2$$

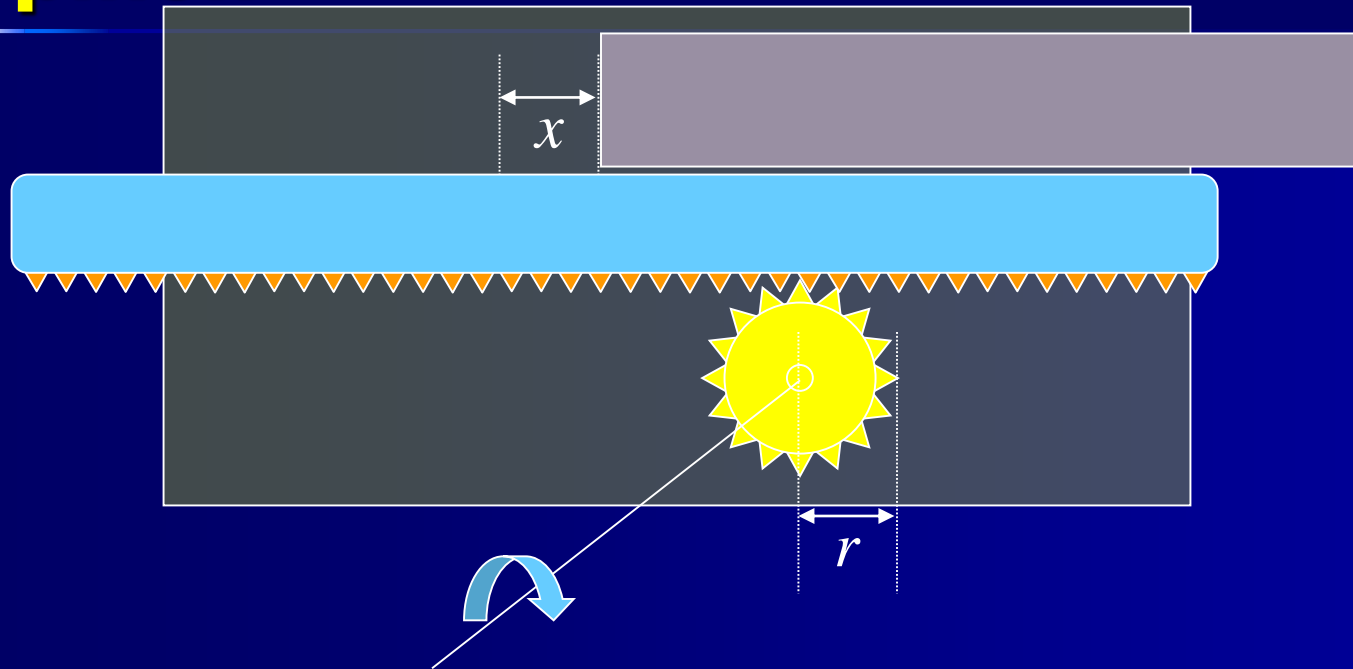
$$E_k = \frac{1}{2} J_{eq} \omega^2$$

$$J_{eq} = \frac{M}{(2\pi P)^2}$$



# Conversión de movimiento

## De rotacional a lineal: sistemas con piñón



*Siendo “ $r$ ” el radio de circunferencia del piñón*

*$x=2\pi rn$ ;  $n$ : número de vueltas*

*$y$*

*$J=Mr^2$ ,  $J$  es la inercia vista por la entrada*

# Acoples



- *Acoples Universales*
- *Acoples elásticos: Modelo Resorte-Amortiguador*

*Cambio direccional*



# Componentes Sensoriales

- INTERNOS
  - sensores de posición
  - sensores de proximidad
  - sensores de velocidad
- EXTERNOS
  - sensores de fuerza
  - sensores ópticos

# Sensores de posición: Potenciómetros

Convierte posiciones mecánicas en tensiones eléctricas de una forma muy sencilla.

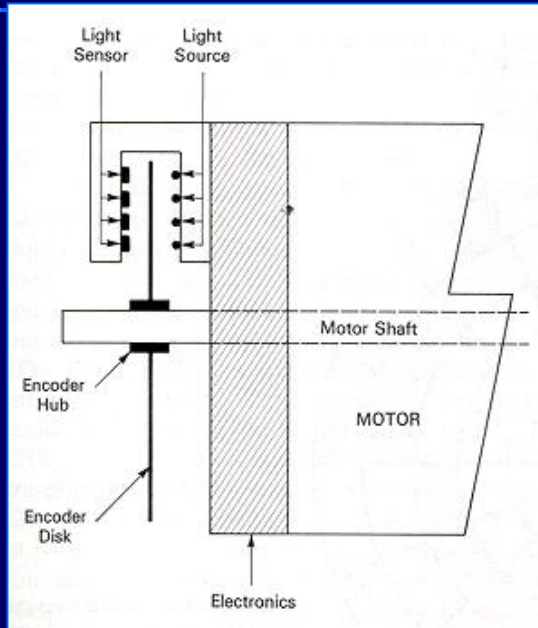


**Rotatorio**



**Lineal**

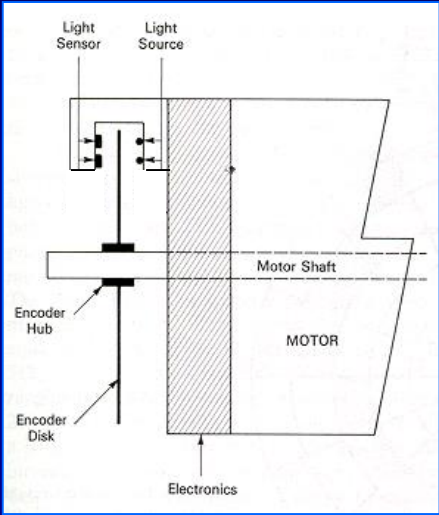
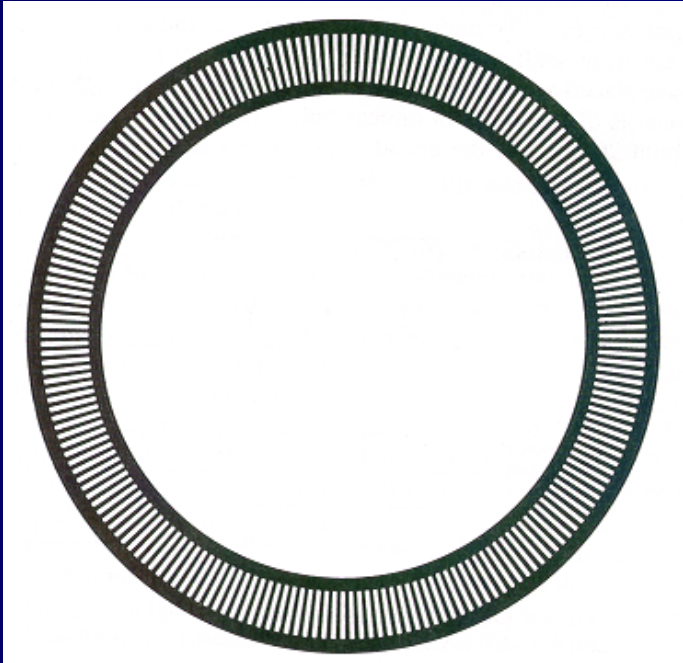
# Sensores de posición; el encoder absoluto



## *Características:*

- La posición se obtiene con un simple dispositivo e/s digital.
- Deben ir situados en el eje de la carga (salida).
- Son caros.

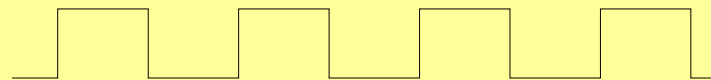
# Sensores de posición; el encoder incremental



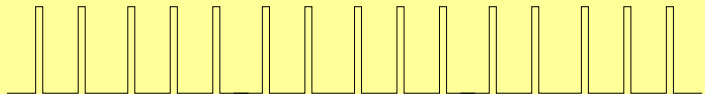
CANAL A



CANAL B



a) Canal A adelanta a canal B (sentido horario)



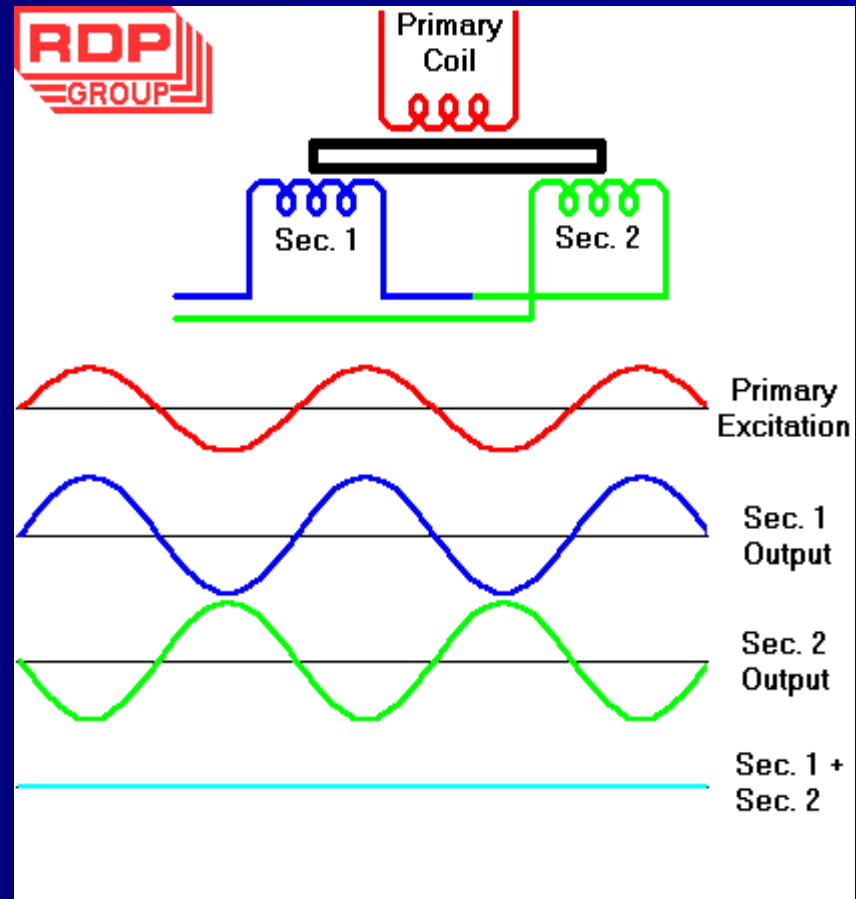
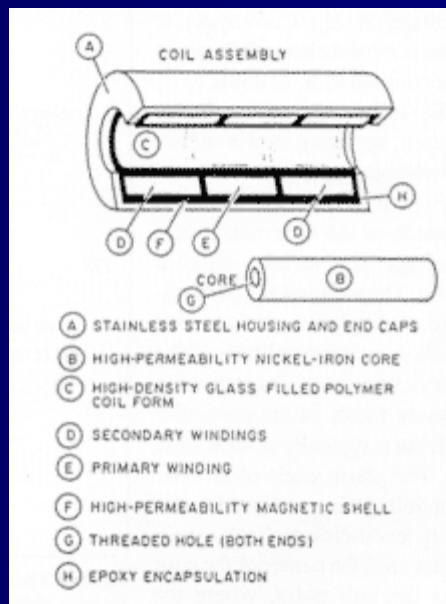
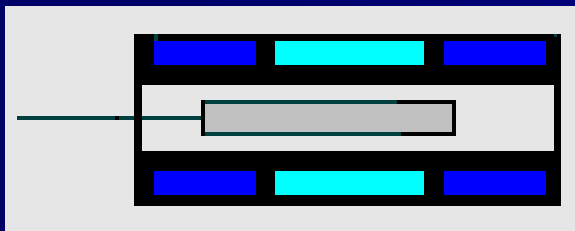
Aumento de la resolucin



# Sensores de posición; el encoder incremental

- Típicos encoders incrementales con 100, 128, 200, 256, 500, 512, 1000, 1024, 2000 y 2048 líneas.  
Resolución=360/N.
- Se puede incrementar la resolución electrónicamente.
- Para ello se emplean dos fotodetectores en lugar de uno

# Sensores de posición: El LVDT (Linear Variable Differential Transformer)



# Sensores de Proximidad en Robótica

*“Indican a un robot si está próximo (dentro de un intervalo de distancia especificado, por ejemplo algunos centímetros) a un objeto u obstáculo”*

Estos pueden ser:

- Sensores de Contacto
- Sensores de no-Contacto

Según el modo de operación tenemos:

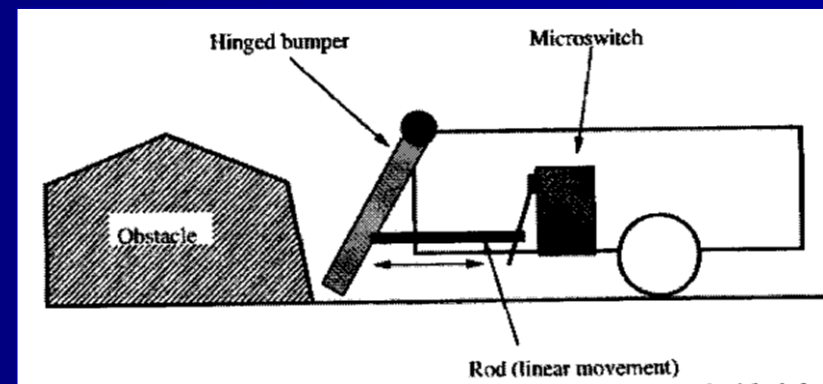
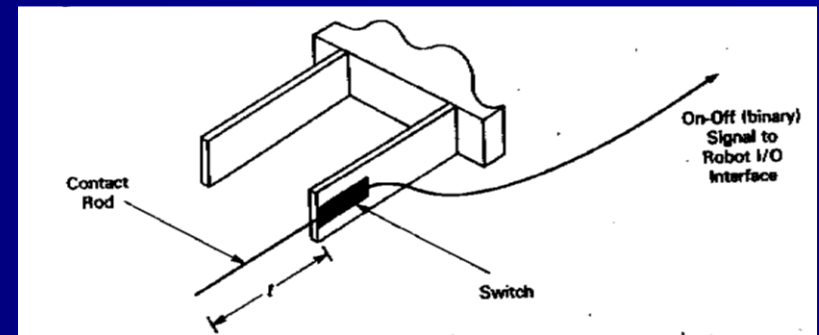
- Sensor óptico -luz reflejada-,
- Sensor de fibra óptica,
- Inductivos
- Capacitivos
- Efecto hall
- Ultrasonido, etc

# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de Contacto*

*“Es el tipo más sencillo de sensor de proximidad. Consiste de un vástago con una extremidad localizada dentro del sensor (llave mecánica)”*

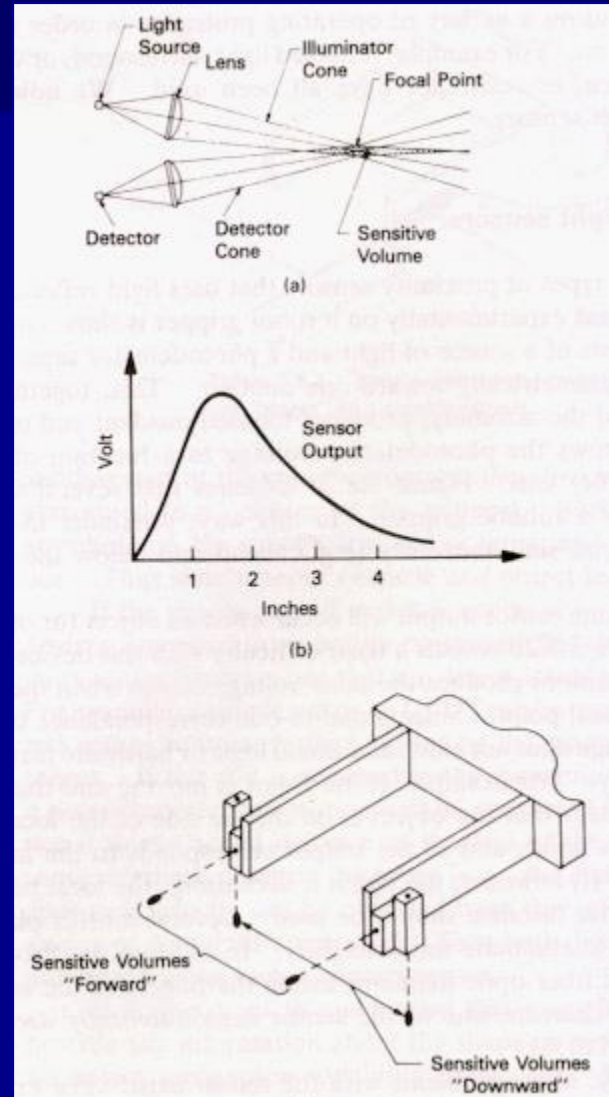
La llave mecánica posee dos estados abierto/cerrado. Cuando cambia de estado el robot puede realizar una acción programada, ej. Parada inmediata, cierre de la garra.



# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor de proximidad óptico (luz reflejada)
- Posee una fuente de luz y un fotodetector.
- La máxima tensión de salida ocurre cuando el objeto está en el punto focal.
- Un simple comparador de tensión nos determina la distancia.



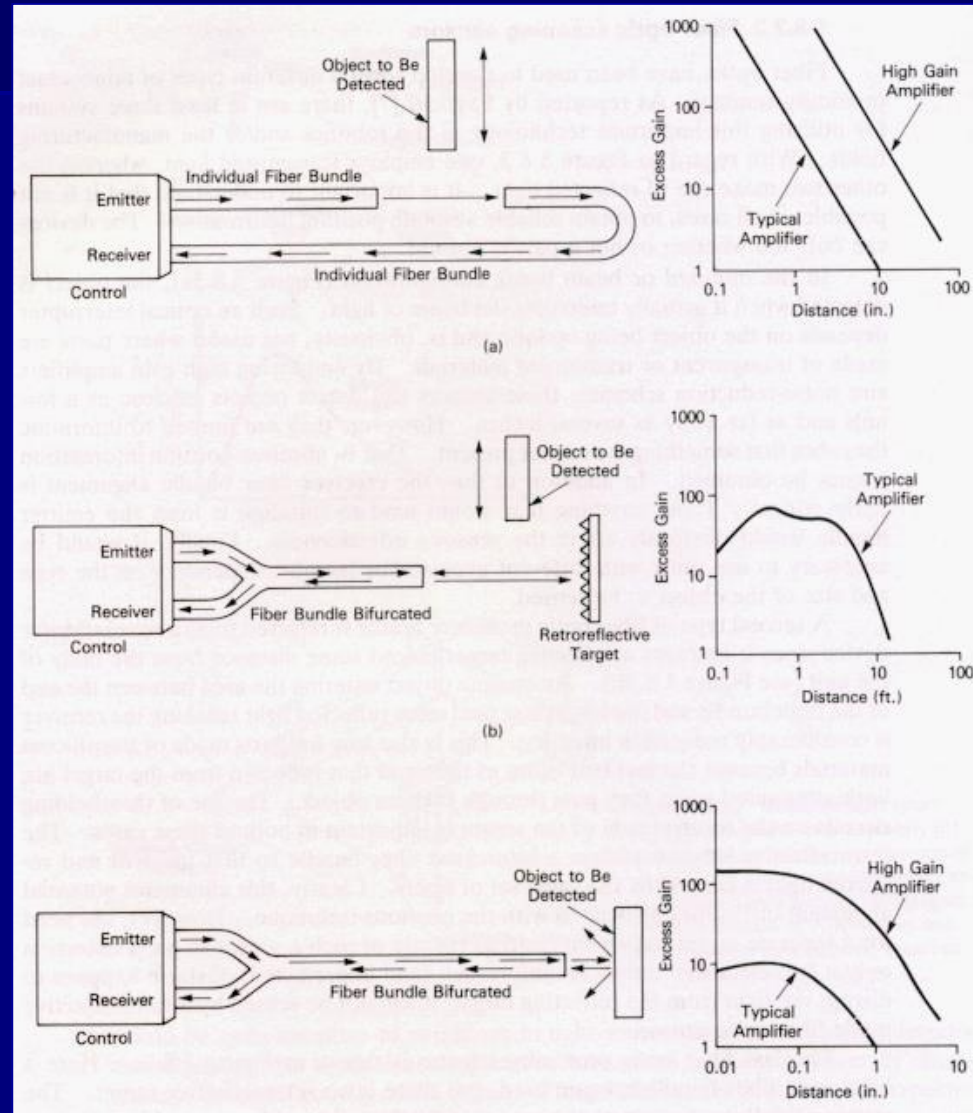
# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- **Sensor de fibra óptica**

Existen tres configuraciones que pueden trabajar a través de luz transmitida o luz reflejada:

- *Interrupción del haz*
- *Dispositivo retroreflectivo*
- *Dispositivo difuso (luz reflejada por el objeto)*

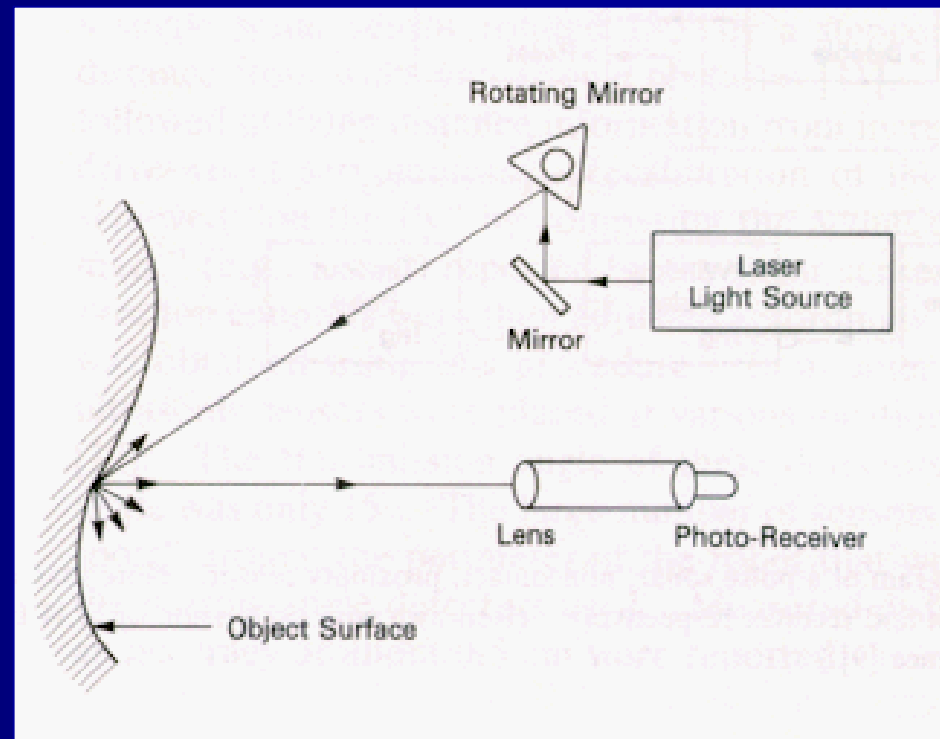


# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor de barrido laser

El haz de luz barre la superficie por la acción del espejo montado sobre el eje del motor mientras una lente capta la luz procedente de la superficie. La distancia se mide sincronizando la tensión del motor con un reloj de alta frecuencia (conteo de pulsos)



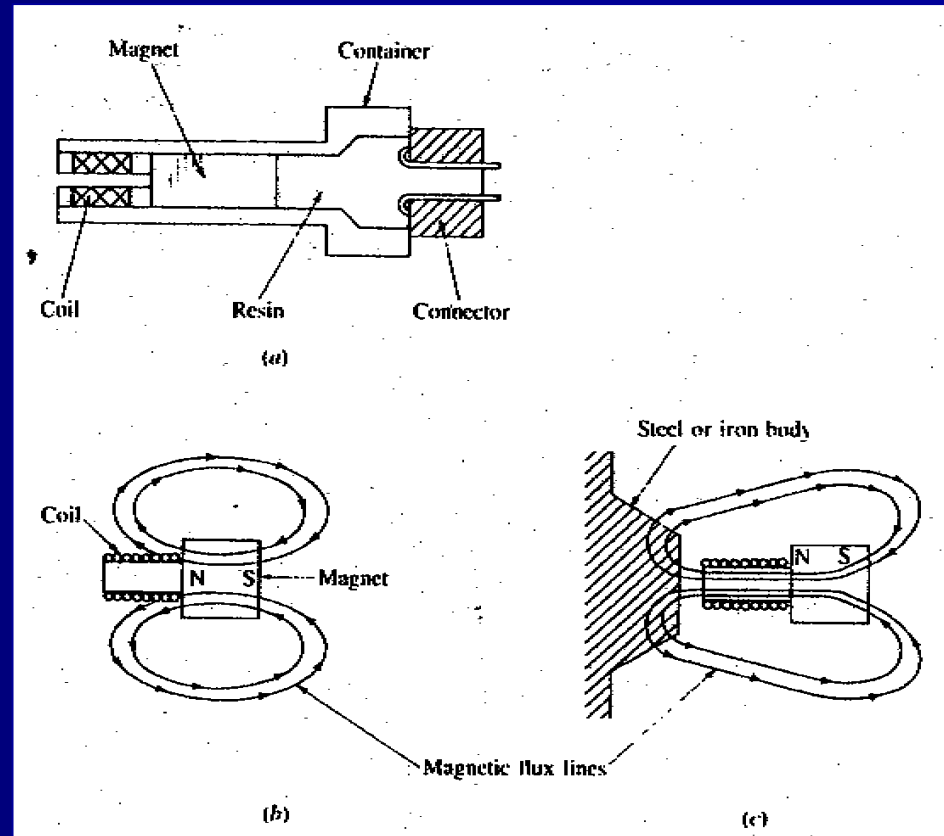
# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor inductivo

Produce una variación en la inductancia en presencia de objetos metálicos. Son robustos ante presencia de sucio y aceite.

Emplea una bobina enrollada próxima a un imán. Cuando el sensor se aproxima a un material ferromagnético cambian las líneas de flujo.





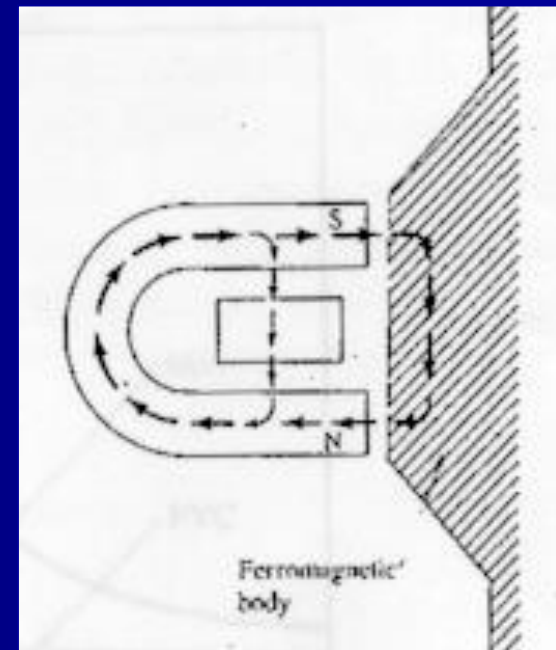
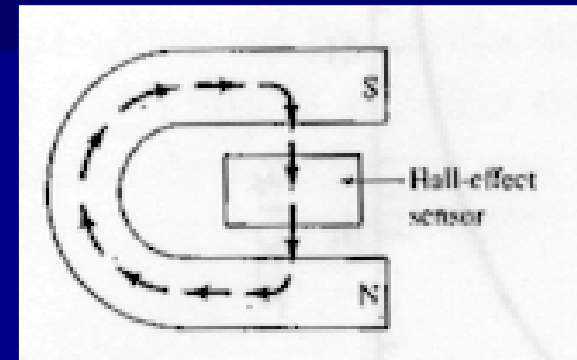
# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor de efecto Hall  
(con imán permanente)

El sensor relaciona la tensión entre dos puntos, en un material conductor o semiconductor, con un campo magnético que pasa a través del mismo.

Ante la proximidad de un objeto ferromagnético disminuye el campo magnético en el sensor.



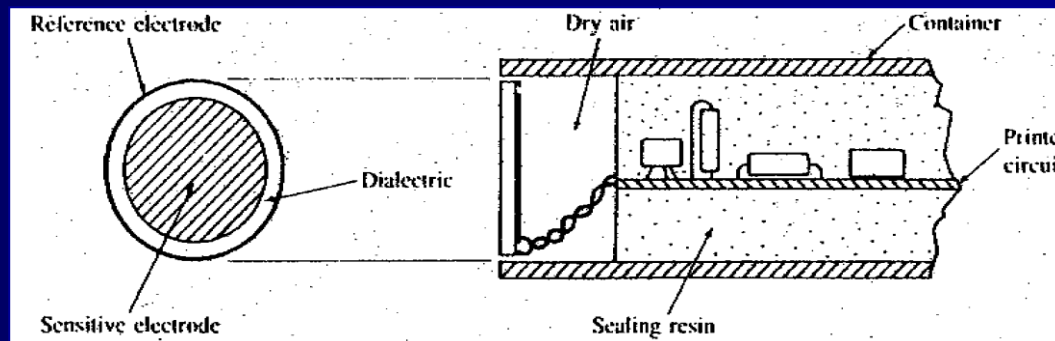
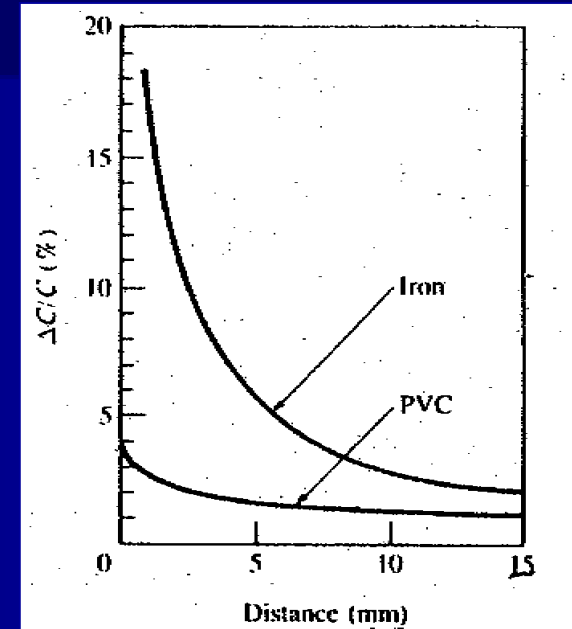
# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor capacitivo

A diferencia de los sensores inductivos y de efecto hall (para objetos ferromagnéticos) estos sensores detectan todos los materiales sólidos y líquidos.

Detectan cambios en la capacidad inducida cuando una superficie está próxima al sensor.



*El elemento sensor es un condensador compuesto por un electrodo sensor y uno de referencia*

# Sensores de Proximidad en Robótica

## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor de ultrasonidos

A diferencia de los otros sensores de proximidad la respuesta de este sensor es casi independiente del tipo de material a detectar

*Pueden estar basados en el efecto piezoeléctrico o electrostático*

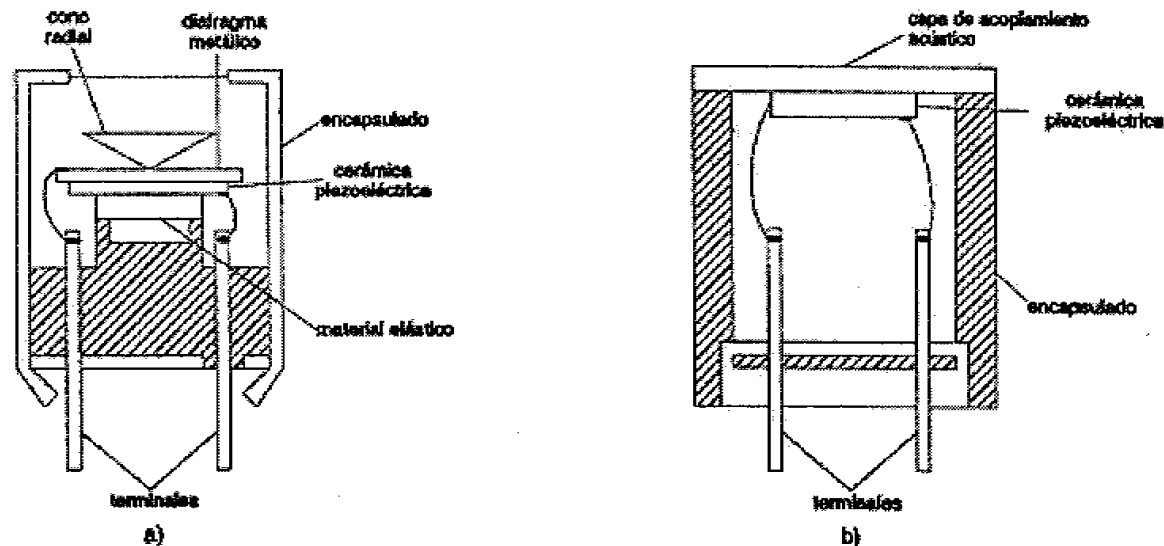
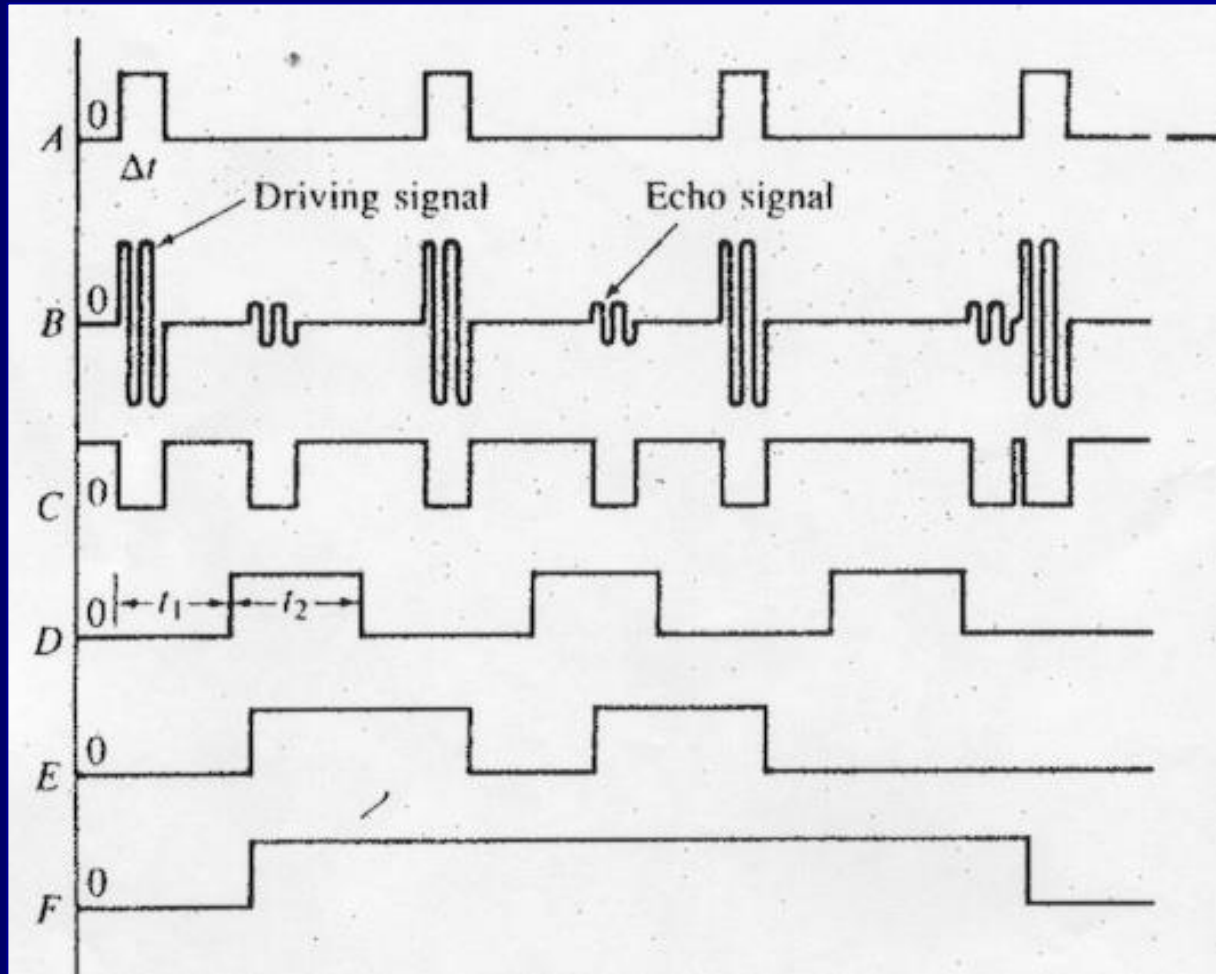


Fig.14 Montajes más usuales de transductores piezoeléctricos: (a) 40 kHz; (b) 220 kHz [3].

# Sensores de Proximidad en Robótica

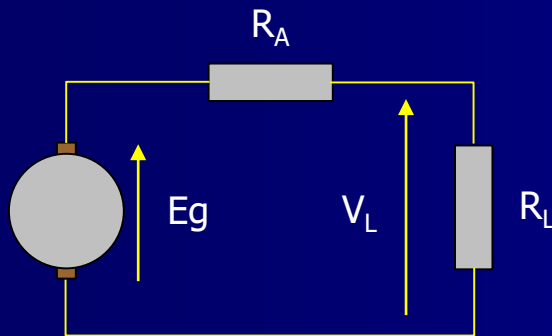
## *Sensor de proximidad de no Contacto*

- Sensor de ultrasonidos



# Sensores de velocidad; el tacogenerador

- Esencialmente un tacogenerador es un generador DC que se usa como sensor de velocidad.
- El Tacogenerador
- El voltaje  $E_g$ , dependiente de la velocidad, se induce sobre la armadura (o rotor).



$$E_G = K_G N$$

$$V_L = \frac{R_L K_G N}{R_L + R_A}$$

$K_g$ : Constante del Taco  
 $N$ : Velocidad del rotor (rpm)