



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VERACRUZ

Materia:

Robótica

Unidad 1

Morfología del Robot

Tema:

1.3 Transmisiones y reducciones

Catedrático:

Dr. José Antonio Garrido Natarén

Equipo: Omega

H. Veracruz, Ver. 9 de Febrero de 2015

Las transmisiones son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Se incluirán junto con las transmisiones a los reductores, encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot.

Transmisiones

Dado que un robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es de gran importancia reducir al máximo su momento de inercia. Del mismo modo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, por lo general pesados, estén lo más cerca posible de la base del robot. Esta circunstancia obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones, especialmente a las situadas en el extremo del robot. Asimismo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, lo que en ocasiones puede ser necesario.

Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular-Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
	Correa dentada	Distancia grande	-
	Cadena	Distancia grande	Ruido
	Paralelogramo	-	Giro limitado
	Cable	-	Deformabilidad
Circular-Lineal	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
Lineal-Circular	Paral. articulado	-	Control difícil
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento

Sistemas de transmisión para robot

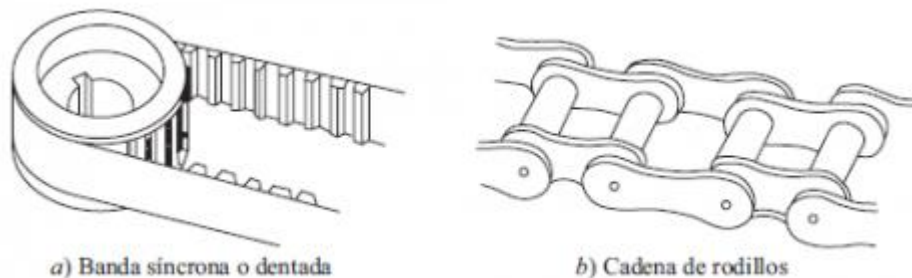
Existen actualmente en el mercado robots industriales con acoplamiento directo entre accionamiento y articulación, ventajosos, en numerosas ocasiones. Se trata, sin embargo, de casos particulares dentro de la generalidad que en los robots industriales actuales supone la existencia de sistemas de transmisión junto con reductores para el acoplamiento entre actuadores y articulaciones.

Es de esperar que un buen sistema de transmisión cumpla una serie de características básicas: tiene que tener un tamaño y peso reducido, se ha de evitar que presente juegos u holgaduras considerables y se deben buscar transmisiones con gran rendimiento.

Aunque no exista un sistema de transmisión específico para robots, si existen algunos usados con mayor frecuencia y que se reconocen en la Figura 1. La clasificación se ha realizado en base al tipo de movimiento posible en la entrada y la salida: lineal o circular. En la citada figura también quedan reflejadas algunas ventajas e inconvenientes propios de algunos sistemas de transmisión. Entre ellas cabe destacar la holgura o juego. Es muy importante que el sistema de transmisión a utilizar no afecte al movimiento que transmite, ya sea por el rozamiento inherente a su funcionamiento o por las holguras que su desgaste pueda introducir. También hay que tener en cuenta que el sistema de transmisión sea capaz de soportar un funcionamiento continuo a un par elevado, y a ser posible entre grandes distancias. Las transmisiones más habituales son aquellas que cuentan con movimiento circular tanto a la entrada como a la salida. Incluidas en éstas se hallan los engranajes, las correas dentadas y las cadenas.

Transmisión por banda y cadena

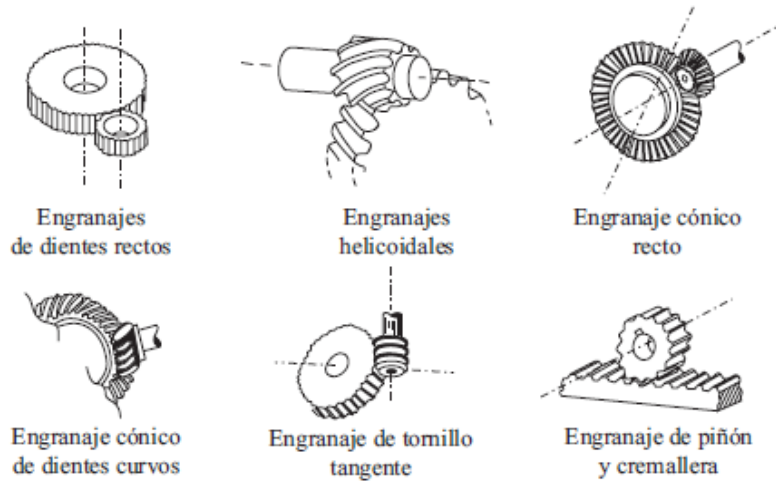
Los accionamientos por banda se utilizan mucho en la robótica, especialmente la banda síncrona, como se muestra en la figura 2a). Sin embargo, su vida útil es breve, ya que dependen de la tensión de la banda para producir agarre a través de la polea. Las cadenas, por otro lado, como se muestra en la figura 2b), son por lo general más económicas. Tienen una mayor capacidad de carga y una vida útil más larga en comparación con las transmisiones por banda, aunque menor en comparación con los engranajes.



Transmisión por banda y cadena

Engranajes

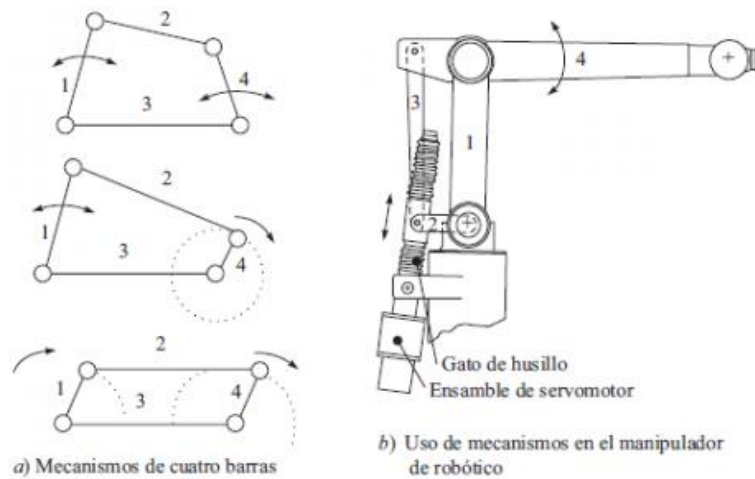
Entre todas las transmisiones mecánicas, los diferentes tipos de engranajes, como se muestra en la figura 3, son más confiables y duraderos, aunque un juego entre los dientes tendrá que tomarse en cuenta cuidadosamente durante la fase de diseño.



Engranajes

Mecanismos de eslabones

A fin de reducir el peso y exceso de flexibilidad de los elementos de transmisión arriba mencionados, se emplean los mecanismos de eslabones de la figura 4a). La figura 4b) muestra cómo se utiliza un gato de husillo con un arreglo de cuatro barras para transmitir movimientos.



Mecanismo y su uso en el manipulador robótico

Reductores

En cuanto a los reductores, al contrario que con las transmisiones, sí que existen determinados sistemas usados de manera preferente en los robots industriales. Esto se debe a que a los reductores utilizados en robótica se les exige unas condiciones de funcionamiento muy restrictivas. La exigencia de estas características viene motivada por las altas prestaciones que se le pide al robot en cuando a precisión y velocidad de posicionamiento. La figura 5 muestra valores típicos de los reductores para la robótica actualmente empleados.

Características	Valores típicos
Relación de reducción	50 ÷ 300
Peso y tamaño	0.1 ÷ 30 kg
Momento de inercia	10^{-4} kg m ²
Velocidades de entrada máxima	6000 ÷ 7000 rpm
Par de salida nominal	5700 Nm
Par de salida máximo	7900 Nm
Juego angular	0 ÷ 2 "
Rigidez torsional	100 ÷ 2000 Nm/rad
Rendimiento	85 % ÷ 98 %

Características de reductores para robótica

Se buscan reductores de bajo peso, reducido tamaño, bajo rozamiento y que al mismo tiempo sean capaces de realizar una reducción elevada de velocidad en un único paso. Se tiende también a minimizar su momento de inercia, de negativa influencia en el funcionamiento del motor, especialmente en el caso de motores de baja inercia.

Los reductores, por motivos de diseño, tienen una velocidad máxima de entrada admisible, que como regla general aumenta a medida que disminuye el tamaño del motor. También existe una limitación en cuanto al par de salida nominal permisible (T_2) que depende del par de entrada (T_1) y de relación de transmisión a través de la relación:

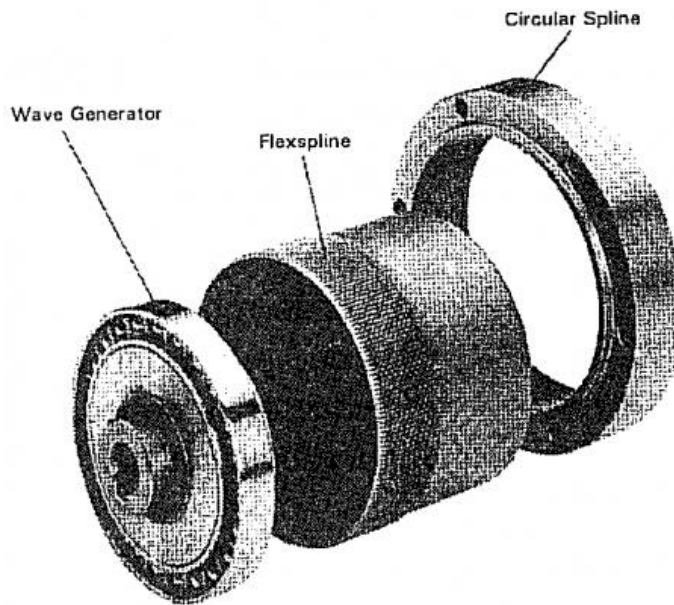
$$T_2 = \eta T_1 \omega_1 \omega_2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde el rendimiento

(η) puede llegar a ser cerca del 100% y la relación de reducción de velocidades

(ω) = velocidad de entrada; ω_2 = velocidad de salida) varía entre 50 y 300.

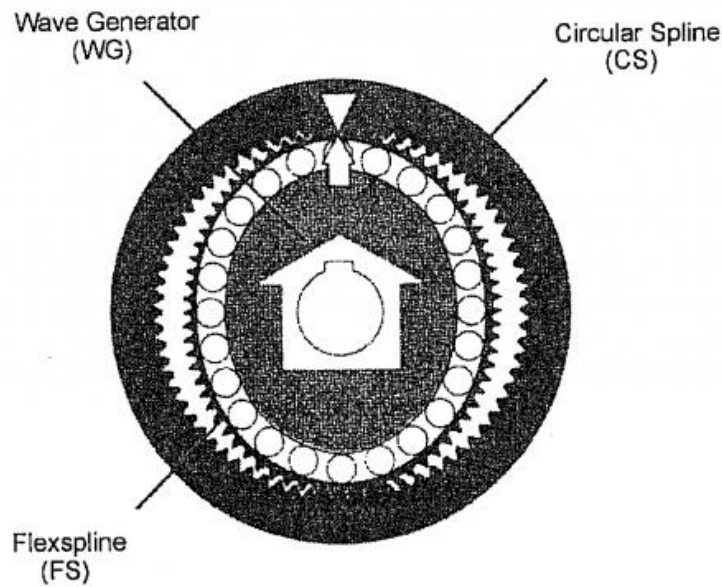
Puestos que los robots trabajan en ciclos cortos que implican continuos arranques y paradas, es de gran importancia que el reductor sea capaz de soportar pares elevados puntuales. También se busca que el juego angular o backlash sea lo menor posible. Éste se define como el ángulo que gira el eje de salida cuando se cambia su sentido de giro sin que llegue a girar el eje de entrada. Por último, es importante que los reductores para robótica posean una alta rigidez torsional, definida como el par que hay que aplicar sobre el eje de salida para que, manteniendo bloqueado el de entrada, aquél gire un ángulo unitario.



Despiece HDUC

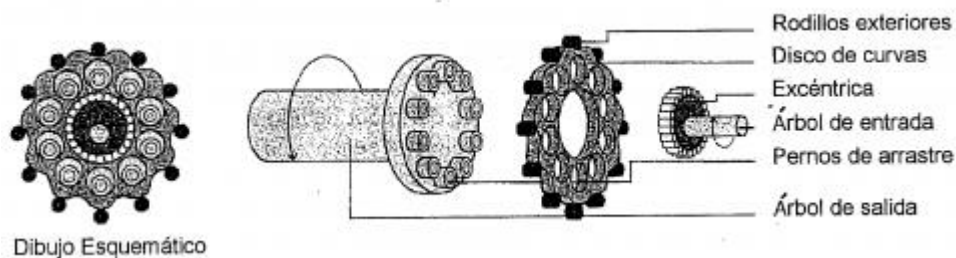
Los reductores para robots más comúnmente usados son los de las empresas Harmonic Drive y Cyclo-Getriebebau. Los primeros, denominados HDUC (Figura 6), se basan en una corona exterior rígida (figura 7) con dentado interior (circular spline) y un vaso flexible (flexspline) con dentado exterior que engrana en el primero. El número de dientes de ambos difiere de uno o dos. Interiormente el vaso gira un rodamiento elipsoidal (wave generator) que deforma el vaso, poniendo en contacto la corona exterior con la zona del vaso correspondiente al máximo diámetro de la elipse. Al girar el wave generator (al que se fija el eje de entrada), se obliga a que los dientes del flexspline (fijado al eje de salida) engranen uno a uno con los del circular spline, de modo que al haber una diferencia de dientes $Z=N_c-N_f$, tras una vuelta completa del wave generator, el flexspline solo habrá avanzado Z dientes. La relación de reducción conseguida será, por tanto, de Z/N_f . En

concreto, se consiguen reducciones de hasta 320, con una holgura cercana a cero y capacidad de transmisión de 5720 Nm.



Esquema HDUC

Por otra parte el sistema de reducción CYCLO se basa en el movimiento cicloidal de un disco de curvas (figura 8) movido por una excentricidad solidara al árbol de entrada. Por cada revolución de la excentricidad el disco de curvas avanza un saliente rodando sobre los rodillos exteriores. Este avance arrastra a su vez a los pernos del árbol de salida que describirán una cicloide dentro de los huecos del disco de curvas. La componente de traslación angular de este movimiento se corresponde con la rotación del árbol de salida. La relación de reducción viene dada, por tanto, determinada por el número de salientes. Para compensar los momentos de flexión y de las masas de cada disco excéntrico, generalmente se utilizan dos discos desfasados entre sí 180°.



Reductor CYCLO

Existen también un tercer tipo de reductor denominado REDEX-ACBAR, de funcionamiento similar al CYCLO, pero que presenta la posibilidad de poder reducir el juego angular desde el exterior a teóricamente un valor nulo.

Accionamiento directo

Desde hace unos años existen en el mercado robots que poseen lo que se ha dado en llamar accionamiento directo (Direct Drive DD), en el que el eje del actuador se conecta directamente a la carga o articulación, sin la utilización de un reductor intermedio. Este término suele utilizarse exclusivamente para robots con accionamiento eléctrico.

Este tipo de accionamiento aparece a raíz de la necesidad de utilizar robots en aplicaciones que exigen combinar gran precisión con gran velocidad. Los reductores introducen una serie de efectos negativos, como son juego angular, rozamiento o disminución de la rigidez de accionador, que pueden impedir alcanzar los valores de precisión y velocidad requeridos.

Las principales ventajas que se derivan de la utilización de accionamientos directos son las siguientes:

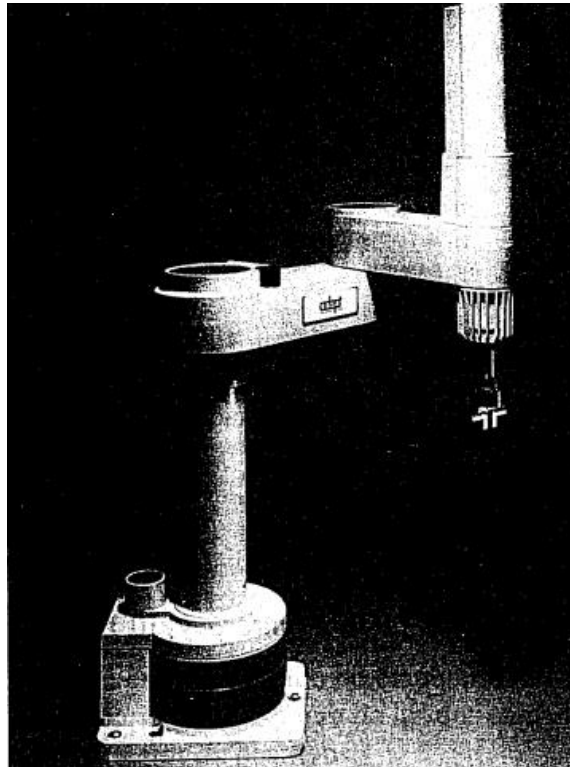
- Posicionamiento rápido y preciso, pues se evitan los rozamientos y juegos de las transmisiones y reductores.
- Aumento de las posibilidades de controlabilidad del sistema a costa de una mayor complejidad.
- Simplificación del sistema mecánico al eliminarse el reductor.

El principal problema que existe para la aplicación práctica de un accionamiento directo radica en el motor a emplear. Debe tratarse de motores que proporcionen un par elevado (unas 50-100 veces mayor que con un reductor) a bajas revoluciones (las de movimiento de la articulación) manteniendo la máxima rigidez posible.

Entre los motores empleados para accionamiento directo y que cumplan estas características, se encuentran los motores síncronos y de continua sin escobillas (brushless), ambos con imanes permanentes fabricados con materiales especiales (sumario-cobalto). También se utilizan motores de inducción de reluctancia variable. La necesaria utilización de este tipo de motores encarece notablemente el sistema de accionamiento.

Otra cuestión importante a tener en cuenta en el empleo de accionamientos directos es la propia cinemática del robot. Colocar motores, generalmente pesados y voluminosos, junto a las articulaciones, no es factible para todas las configuraciones del robot debido a las

inercias que se generan. El estudio de la cinemática con la que se diseña el robot ha de tener en cuenta estos parámetros, estando la estructura final elegida altamente condicionada por ellos. Por este motivo, los robots de accionamiento directo son generalmente de tipo SCARA, cuyo diseño se corresponde bien con las necesidades que el accionamiento directo implica. Al eliminar el reductor también se disminuye de forma considerable la resolución real del codificador de posición acoplado al eje, esto lleva a la utilización de los DD de codificadores de posición de alta resolución.



Robot AdeptThree de accionamiento directo

El primer robot comercial con accionamiento directo se presentó en 1984. Se trataba de un robot SCARA denominado AdeptOne, de la compañía norteamericana Adept Technology, Inc. A partir de entonces este tipo de robots se ha hecho popular para aplicaciones que requieran robots con altas prestaciones en velocidad y posicionamiento (montaje microelectrónico, corte de metal por láser, etc.). La figura 9 muestra una fotografía del robot AdeptThree, de la misma compañía y también de accionamiento directo. En la actualidad un robot con accionamiento directo puede llegar a aumentar tanto la velocidad de manera significativa con respecto a aquellos robots de accionamiento tradicional.