

CAPÍTULO 2

EL BRAZO ROBOT SCORBOT-ER III

En este capítulo se presenta una descripción de la maqueta del robot SCORBOT-ER III, de las partes que lo componen y su función en dicha maqueta.

2.1 Introducción

Se pretende hacer una descripción genérica del brazo robot SCORBOT-ER III, utilizado para la experimentación. Descripción que será útil para poder llevar a cabo el control de la maqueta desde el entorno Matlab/Simulink.

2.2 EL SCORBOT-ER III

El robot didáctico SCORBOT-ER III fue desarrollado a principios de los años 80 debido a los logros desarrollados en la robótica y el aumento de las instalaciones de los robots en la industria mundial.

Dicho brazo robotizado fue comercializado junto a un exclusivo programa didáctico modular que permitía a los instructores establecer cursos de robótica al alcance de cualquiera. A través de él se presentaba al alumnado la posibilidad de manejar sistemas de robots, así como simular aplicaciones industriales, mantenimiento y construir células de trabajo completas robotizadas.

El sistema robótico está formado por dos secciones principales: el brazo mecánico y el controlador electrónico.

- El brazo mecánico está construido como brazo articulado de cinco grados de libertad (base, hombro, codo y dos movimientos de muñeca) y una pinza. La envolvente de trabajo en este tipo de construcción se denomina vertical articulada. Las articulaciones son todas de revolución, y se encuentran accionadas por servomotores de corriente continua en lazo cerrado por codificadores al eje de cada uno de los ejes motrices. Todos los servomotores de CC llevan una caja de engranajes de reducción, de forma que el eje de salida de la caja de engranajes gira a menor velocidad que el eje motor. En la Figura 2.1 se presenta el brazo robot SCORBOT-ER III.



Fig. 2.1 Brazo robot SCORBOT-ER III

- El controlador es la unidad responsable del funcionamiento del brazo mecánico. Este controlador permitirá el posicionamiento del brazo.

El brazo mecánico está provisto de cinco microinterruptores, uno por articulación, los cuales serán utilizados para evitar los choques entre articulaciones y también para un posicionamiento de referencia (*hard home*). Cuando todos ellos están cerrados el sistema se encuentra en una posición única denominada *hard home* y es el único punto desde el que se hace referencia para el comienzo de cualquier trabajo con el robot. A su vez también poseerá los encoders correspondientes a cada una de las articulaciones, de manera que esto permita el control en lazo cerrado de los motores de las articulaciones.

El Scorbot Er III se eleva sobre una base, la cual está provista de seis agujeros, a través de los cuales se ha de fijar el sistema para evitar la pérdida de su centro de gravedad durante su funcionamiento.

Todas las articulaciones del SCORBOT-ER III poseen un movimiento de articulación giratorio, excepto la pinza que posee un movimiento lineal o prismático de apertura y cierre. La Tabla 2.1 representa esta característica de las articulaciones

Tabla 2.1 Movimiento de articulación en el SCORBOT-ER III

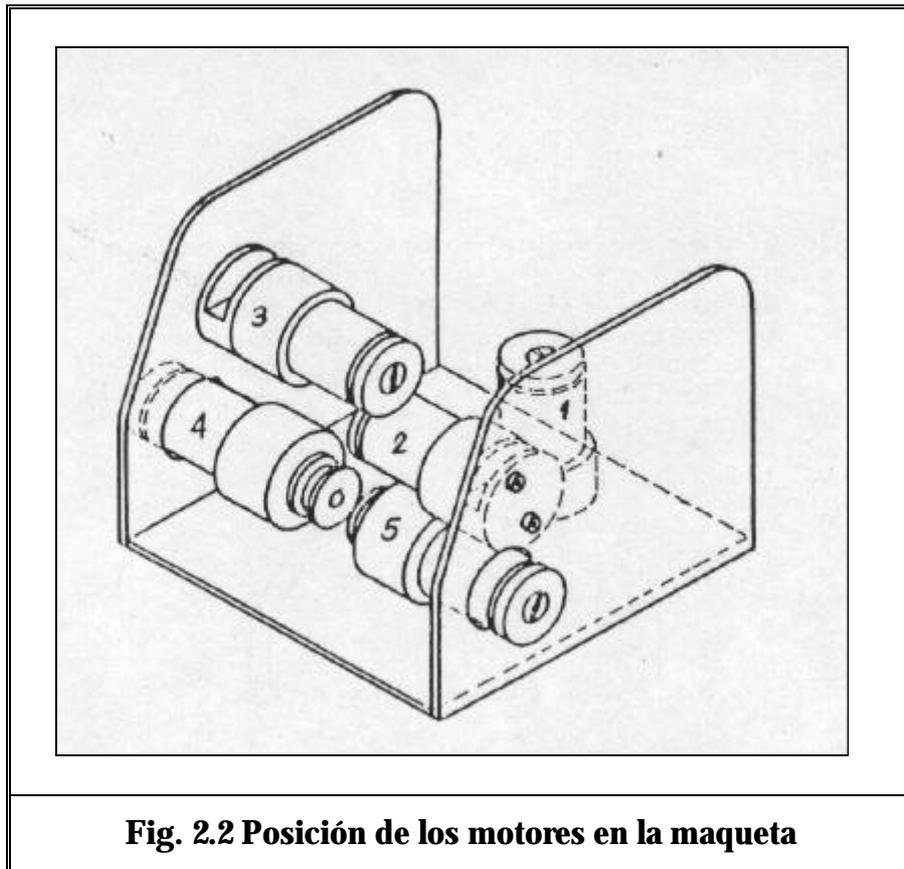
Articulación Número	Nombre de la articulación	Tipo de movimiento de la articulación	Motor Número
1	Base	Giratorio (enrollado)	1
2	Hombro	Giratorio (enrollado)	2
3	Codo	Giratorio (enrollado)	3
4	Muñeca (ele- vación)	Giratorio (enrollado)	4+5
5	Muñeca (giro)	Giratorio (enrollado)	4+5
6	Pinza	Lineal (prismático): apertura y cierre de los dedos	8

Todas las articulaciones mencionadas son movidas por motores de corriente continua, y a su vez estos motores se pueden mover independientemente de los demás.

El sistema motor utilizado para todas las articulaciones del SCORBOT-ER III es el acoplamiento indirecto. El accionamiento indirecto se produce cuando el motor está montado lejos de la articulación y el movimiento del motor se transmite a la articulación a través de sistemas de transmisión como pueden ser correas y engranajes. El accionamiento indirecto es preferible debido a que reduce el peso del brazo mecánico ya que los motores quedan fijados en la base del robot, y no en las

articulaciones, y además permite variaciones de velocidad angular de la articulación proporcional a la del motor.

El cuerpo es el bastidor principal en el que van acoplados cinco de los seis servomotores de accionamiento del motor. El sexto motor se encuentra alojado en la pinza, que como se sabe es el elemento terminal del brazo del robot. Dicha pinza está construida de tal forma que sus dedos se mueven en paralelo, tanto en apertura como en cierre. Se puede observar en la Figura 2.2:



En realidad el SCORBOT-ER III está provisto de seis grados de libertad, ya que la muñeca está provista de dos grados de libertad, debido a que puede hacer un giro arriba y abajo, y a su vez también un giro a izquierdas y a derechas. La articulación es de revolución y es capaz de producir movimientos de flexión y extensión. En esta articulación dos motores trabajarán al unisono, de manera que según el movimiento de ambos se producirá un movimiento u otro.

Todas las articulaciones anteriormente mencionadas son movidas por los seis servomotores de CC. La dirección de giro del motor se determina por la polaridad de la

tensión de funcionamiento: Una tensión CC positiva hace girar el motor en una dirección concreta; De igual forma si la tensión es negativa el motor girará en sentido contrario.

El SCORBOT-ER III es un brazo robótico de enseñanza y por consiguiente debe estar dotado de elementos que faciliten su control. El dispositivo más comúnmente utilizado para el control en lazo cerrado de motores es el encóder óptico rotatorio. Un encóder de este tipo se encuentra instalado en cada motor del brazo mecánico. En la Figura 2.3 se representa la apariencia de un encóder óptico:

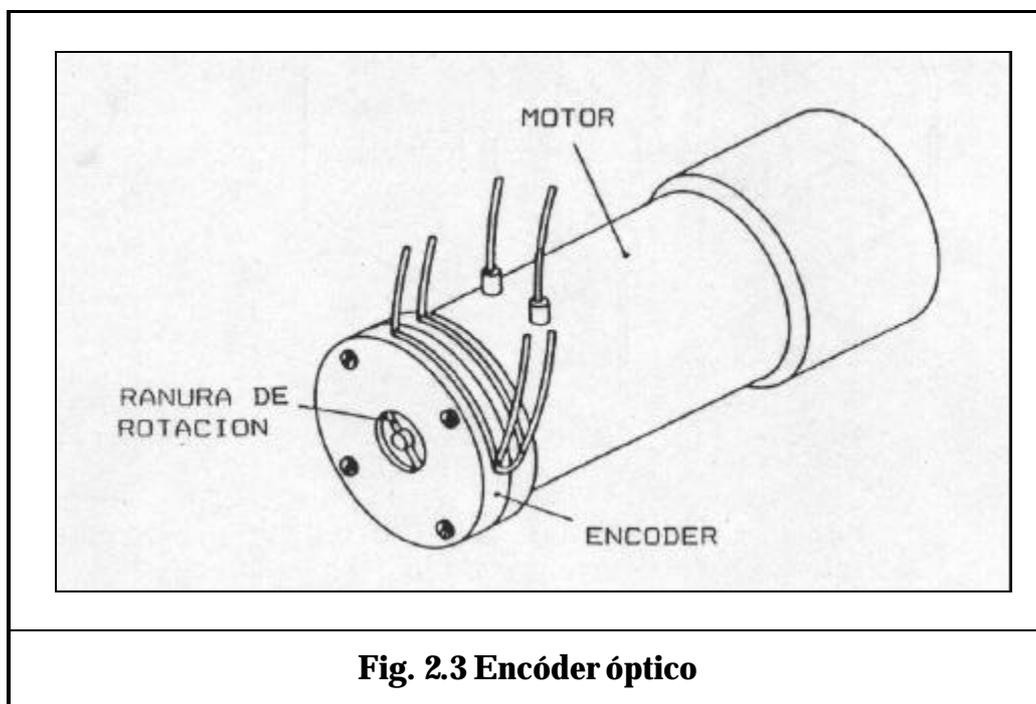
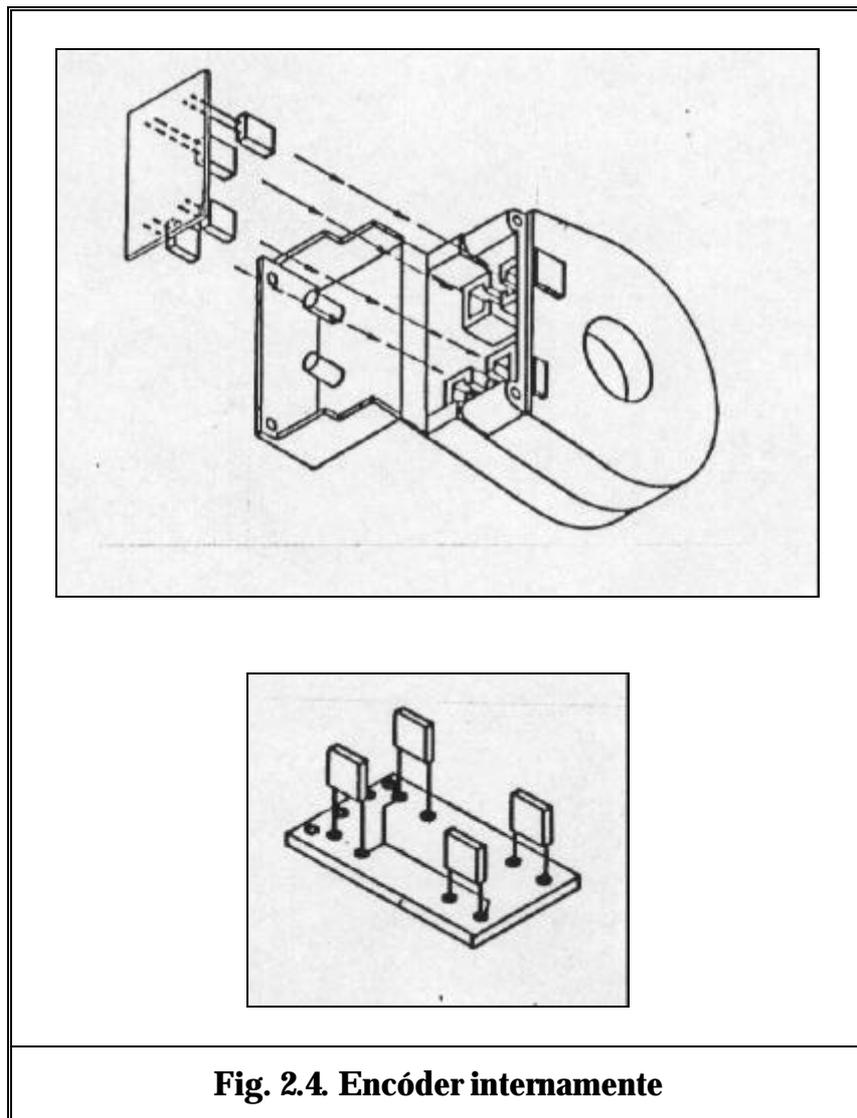


Fig. 2.3 Encóder óptico

El encóder consta de dos fuentes de luz (LED), dos foto-transistores, y un disco metálico rasurado que gira con cada revolución del motor. Así de un encóder se podrán obtener dos señales (una por cada par LED - fototransistor). El encóder suministra un tren de pulsos (una vez acondicionada la señal), de manera que permitirá enviar señales al controlador y así poder llevar a cabo el control de su articulación. La Figura 2.4 presenta internamente el encóder, con sus pares LED – fototransistor:



En cuanto a las transmisiones cabe destacar los siguientes tipos:

- * El movimiento de la base y el hombro del robot se crea mediante engranajes dentados.
- * El movimiento del codo del robot se crea mediante engranajes dentados y correas de regulación.
- * El movimiento de la muñeca se crea mediante correas de regulación y una unidad diferencial de engranajes dentados en el extremo del brazo.

* El cierre y la apertura de la pinza se crea mediante un tornillo de avance acoplado directamente a un servomotor de CC.

2.2.1 Los motores del SCORBOT-ER III

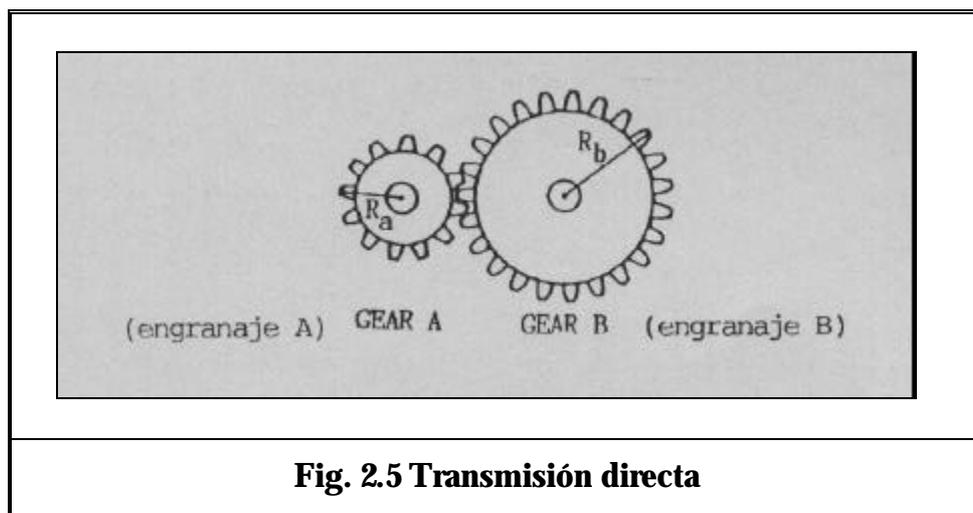
Los motores del SCORBOT son de la casa Pittman y se adjunta una hoja de características en el anexo I. Serán de la serie G9000, véase anexo I.

Los motores del SCORBOT funcionan con una tensión de 12 voltios de DC. Su consumo de corriente varía entre 0.5 y 1 A, dependiendo de la carga que se ejerce sobre el motor; cuanto mayor sea la carga, mayor será el consumo de corriente.

Los componentes del motor son componentes de conmutación capaces de transferir potencia de las fuentes de alimentación a los motores del robot.

2.2.2 Transmisión directa entre etapas

En la Figura 2.5 se presenta un ejemplo de transmisión directa:



La Figura 2.5 muestra la transmisión que se usa para mover la base del motor.

El engranaje pequeño, cuyo radio es $R_A = a$ mm. Está instalado directamente en el eje de salida del motor. El engranaje grande, cuyo radio $R_B = b$ mm. Está fijo a la articulación de la base del robot. El giro del motor produce una cadena de movimientos como sigue:

Motor Engranaje A Engranaje B Base del robot.

Obsérvese que cuando los engranajes se mueven, si el engranaje A se mueve en sentido positivo el B lo hará en sentido negativo y viceversa.

La relación de transmisión según la figura anterior vendrá determinada por la expresión:

$$T_{AB} = \frac{R_B}{R_A} : 1$$

Donde:

T_{AB} es la relación de transmisión del engranaje A al engranaje B.

R_B Radio del engranaje acoplado a la base del robot.

R_A Radio del engranaje acoplado al eje de salida del motor.

En otras palabras, por cada vuelta del engranaje cuyo radio es R_A , el engranaje cuyo radio es R_B girará un número de vueltas iguala ($\frac{R_A}{R_B}$).

Otro método de representar la relación de transmisión es como relación entre el número de dientes de la circunferencia de cada engranaje:

$$T_{AB} = \frac{N_B}{N_A}$$

Cálculo de la relación de RPM

La relación de transmisión determina también las velocidades de giro relativas de los engranajes implicados.

En el caso descrito anteriormente el engranaje A girará ($\frac{N_B}{N_A}$) veces más rápido que el engranaje B.

$$\frac{W_B}{W_A} = \frac{1}{T_{AB}} = \frac{N_A}{N_B}$$

Donde:

W_A es la velocidad de giro del engranaje acoplado a la base del robot.

W_B es la velocidad de giro del engranaje acoplado al eje del motor.

Cálculo de la relación de resolución

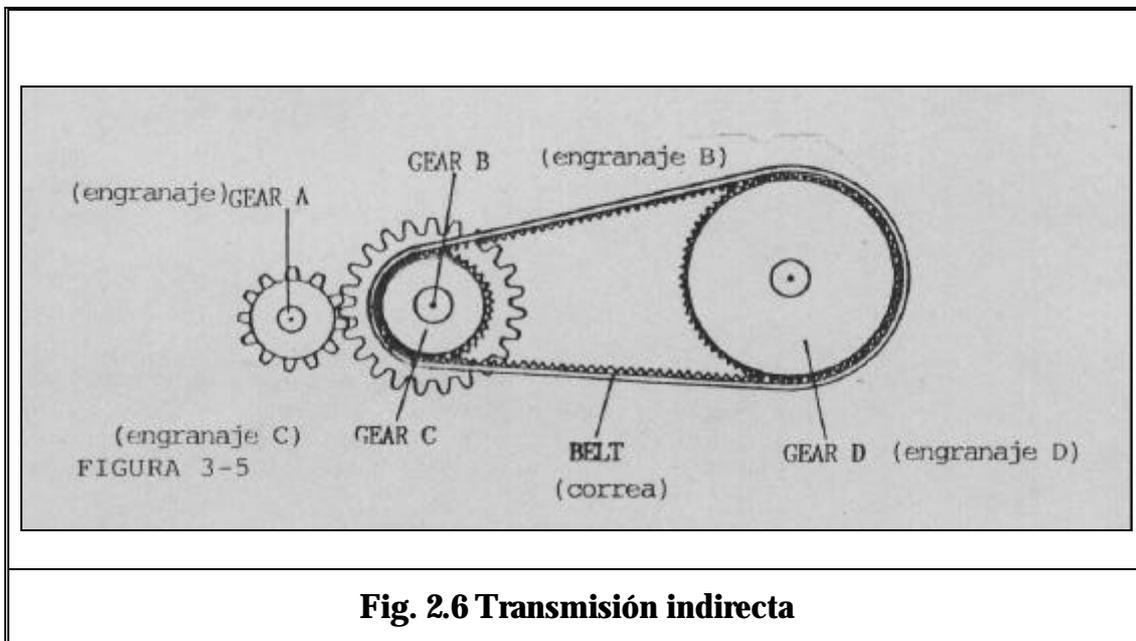
La resolución se define como el paso más pequeño realizable mediante el giro de los engranajes (o motores, o articulaciones, etc). La práctica usual es definir este paso en grados (resolución angular) o en unidades de longitud (resolución lineal).

Cuanto más pequeño sea el paso mayor precisión del movimiento. La expresión que relaciona la resolución de ambos engranajes es la que sigue:

$$\frac{S_B}{S_A} = \frac{1}{T_{AB}} = \frac{N_A}{N_B}$$

2.2.3 Transmisión indirecta entre etapas

En la Figura 2.6 se muestra una transmisión indirecta entre dos etapas:



A los engranajes A, B, C y D les corresponderá el número de dientes N_A, N_B, N_C y N_D respectivamente.

Es importante observar que la parte de transmisión que consta de los engranajes A y B produce una inversión de la dirección de giro. La parte de transmisión que consta de los engranajes C y D no causa la inversión de dirección de giro, debido a la correa que los une.

Cálculo de la relación de transmisión

La relación de transmisión mostrada en la figura es el producto de las relaciones de transmisión que forman cada etapa de la transmisión:

$$T_{AD} = T_{AB} * T_{CD}$$

Si se añaden más etapas de transmisión, la relación de transmisión T_{AD} deberá ser multiplicada por la relación de cada etapa añadida

Cálculo de la relación de RPM

La relación entre la velocidad de giro del engranaje D y el engranaje A, será:

$$\frac{W_D}{W_A} = \frac{W_D}{W_C} * \frac{W_B}{W_A} = \frac{1}{T_{CD}} * \frac{1}{T_{AB}} = \frac{N_C}{N_D} * \frac{N_A}{N_B}$$

La inclusión de etapas adicionales de transmisión, cuyas relaciones de transmisión sean mayores que 1, reduce la velocidad de giro de la última etapa de la transmisión.

Cálculo de la relación de resolución

$$\frac{S_D}{S_A} = \frac{S_D}{S_C} * \frac{S_B}{S_A} = \frac{1}{T_{CD}} * \frac{1}{T_{AB}} = \frac{N_C}{N_D} * \frac{N_A}{N_B}$$

De lo que se desprende que la adición de una segunda etapa de engranajes incrementa la relación de transmisión, y por ello se incrementa la resolución

2.2.4 Análisis de transmisión en cada etapa

La transmisión de cada eje de movimiento del Scrobot Er III comienza dentro de la carcasa metálica de cada motor. Acoplado a cada uno, dentro del cilindro metálico, existe un conjunto de engranajes que se mueven unos a otros.

El brazo propuesto para estudio tiene tres tipos de motores, con diferentes conjuntos de engranajes. A saber:

Motores de la base, hombro y codo: $T_m = 127.7:1$

Motores de elevación y giro de la muñeca: $T_m = 65.5:1$

Motor de la pinza: $T_m = 19.5:1$

Donde T_m significa la transmisión entre el eje motor y el eje de salida.

En otras palabras, los motores cuya relación de transmisión es 127.7:1, significa que 127.7 vueltas del motor producirán que el eje de salida gire una sola vez.

2.2.4.1 Transmisión de la articulación de la base

La transmisión de la articulación de la base del robot responde a al tipo de transmisión directa de una etapa, la cual ya ha sido convenientemente expuesta con anterioridad. El engranaje A está acoplado directamente al eje de salida del motor y gira con él; el engranaje B está acoplado al cuerpo del rotor.

2.2.4.2 Transmisión de la articulación del hombro

Resulta similar a la transmisión a la transmisión de la articulación de la base. La diferencia radica en que la transmisión del hombro es una transmisión doble, esto quiere decir que el hombro se mueve simultáneamente desde los dos lados del brazo mecánico. Esto mejora el movimiento del hombro así como su capacidad de soportar carga.

2.2.4.3 Transmisión de la articulación del codo

También se trata de una transmisión doble. El codo también se mueve desde ambos lados del brazo mecánico. En otras palabras incluye dos sistemas de tipo transmisión indirecta de dos etapas.

La combinación de dos transmisiones dobles (hombro y codo) previene que el brazo se retuerza e incrementa su estabilidad.

2.2.4.4 Transmisión de la articulación de la muñeca

La articulación de la muñeca, como se sabe, tiene dos grados de libertad, lo que le permite dos tipos de movimiento diferentes.

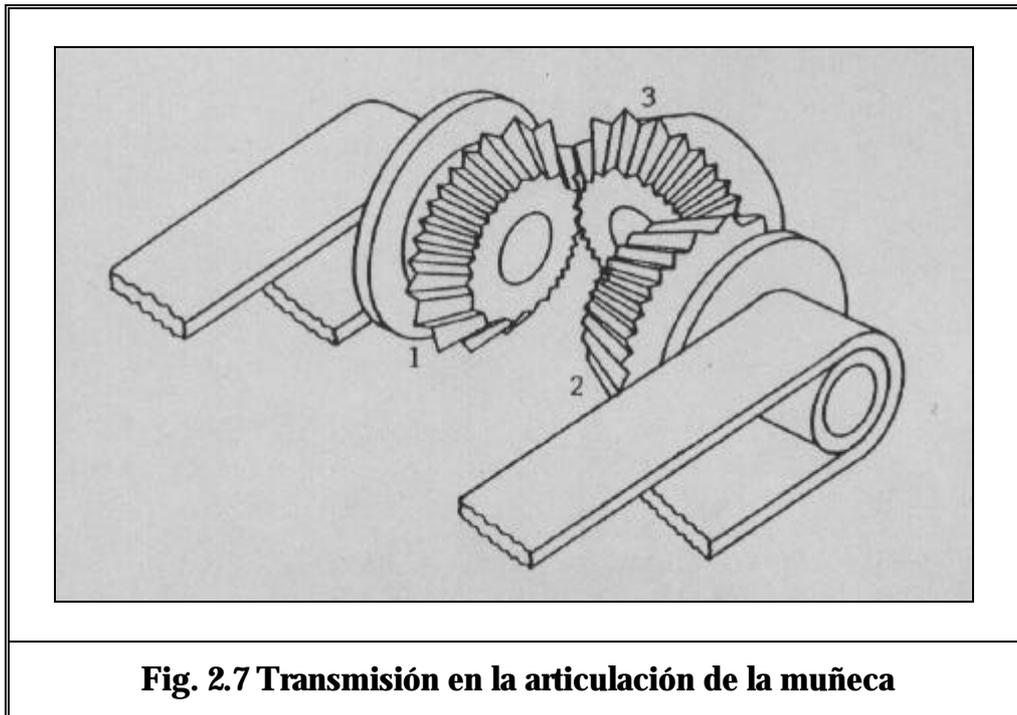
La articulación de la muñeca tiene tres partes diferentes que forman un conjunto llamado diferencial. Las partes 1 y 2 están movidas por los motores 4 y 5 respectivamente. El movimiento relativo entre las piezas 1 y 2 determina el movimiento de la pieza 3, a la cual está sujeta la pinza.

Cuando las piezas 1 y 2 se mueven en la misma dirección, la pieza 3 se mueve hacia arriba o hacia abajo.

Cuando las piezas 1 y 2 se mueven en direcciones opuestas, la pieza 3 tiene un movimiento giratorio.

Cada una de las piezas mencionadas es un engranaje de 32 dientes.

La Figura 2.7 representa la transmisión en la articulación de la muñeca:



2.2.4.5 Transmisión de la pinza

La pinza del Scorbobot Er III es movida por un motor más pequeño que los otros motores. Este motor está fijado permanentemente a la articulación de la muñeca. El giro del motor de la pinza hace girar un tornillo, que produce la apertura o cierre de la pinza. Este tipo de transmisión se llama de tornillo de avance.

En éstas un valor importante es el del paso del tornillo, que es equivalente al movimiento lineal del tornillo. El tornillo de avance de la transmisión de la pinza está fijado al eje de salida del motor de la pinza. Y por tanto su paso definirá el movimiento de la pinza producido por cada vuelta del eje de salida.

A medida que se incrementa el paso del tornillo, lo hace la velocidad a la que la pinza se abrirá o se cerrará. La resolución de los dedos de la pinza, sin embargo, disminuye en proporción. En la Figura 28 se puede observar la transmisión entre la el motor y la pinza:

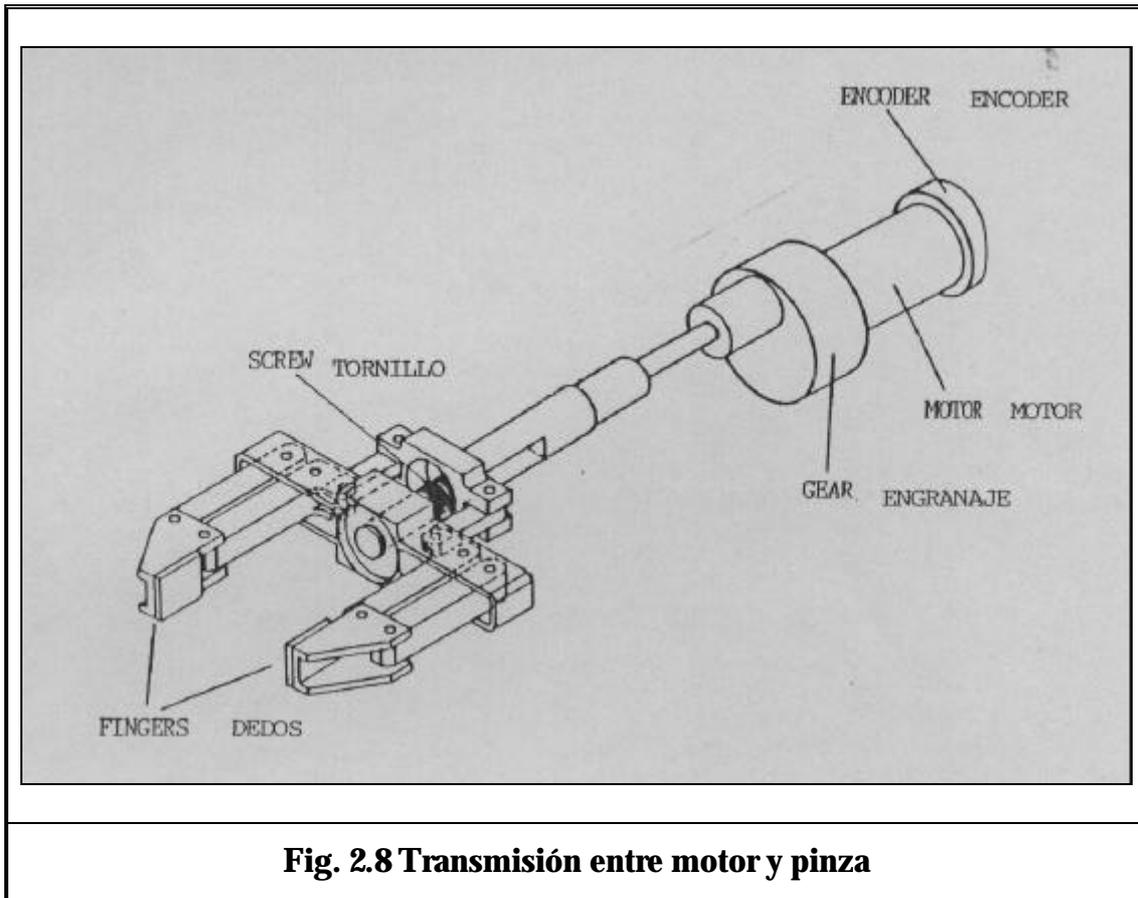


Fig. 2.8 Transmisión entre motor y pinza

2.3 Sistemas de sensorización o percepción.

Como medio de percepción de cada uno de los elementos del robot se ha hecho uso de un cable de red que va fijado a la base y cuyo conector responde al tipo D, formado por 50 conductores.

Éstos a su vez están compuestos de seis grupos de conductores (un grupo para cada motor utilizado). Cada grupo tiene siete conductores cuya función es la siguiente:

- * 2 conductores para suministrar tensión a cada motor.
- * 2 conductores para recibir impulsos del encoger óptico.
- * 1 conductor al microinterruptor que determina la posición *hard home*
- * 1 conductor para suministrar tensión al encoder.
- * 1 conductor que proporciona masa para el interruptor y el encoder.

2.3.1 Encoders

Los encoders utilizados como dispositivos de realimentación en el SCORBOT-ER III son del tipo óptico e incrementales. Son construidos de manera sencilla.

El disco del encóder se conecta al eje del motor y gira con el mismo a una velocidad idéntica a la del motor. El disco gira entre dos etapas de aluminio. En una de éstas están montados dos LED's, que sirven como fuentes luminosas. En el otro están montados dos fototransistores que funcionan como barreras fotoeléctricas. Cada LED está montado justo enfrente de cada fototransistor, formando de esta forma dos pares LED – fototransistor. A medida que el disco gira la línea de emisión desaparece y aparece entre cada fuente de luz y su barrera fotoeléctrica. Un par LED – fototransistor está colocado próximo a la circunferencia exterior del disco, y el otro próximo a su centro.

Los LED están conectados constantemente a una fuente de tensión de 5v. De esta forma estarán continuamente encendidos mientras el robot está funcionando. Los fototransistores poseen tres conexiones eléctricas, esto es, base, colector y emisor. La base es la encargada del control del funcionamiento del transistor y determina cuanta corriente debe fluir entre las otras dos conexiones.

Una determinada corriente eléctrica que entra en la base produce la conducción eléctrica entre el conector y el emisor. Cuando ésta cesa se corta.

En los fototransistores utilizados la señal que determina la conducción del mismo no es una corriente eléctrica, sino óptica. La existencia de una determinada señal óptica determinará la conducción entre el conductor y el emisor. En el momento en que la luz se corta o se bloquea desaparece la conducción.

Dos estados posibles son los que definen al fototransistor: corte y saturación. Estados en los que irá oscilando el dispositivo, mientras el disco intermedio entre el LED y el fototransistor esté en movimiento, cortando o dejando pasar la señal del LED al fototransistor.

Obsérvese también que existe algo de desfase temporal entre las dos señales de cada uno de los fototransistores (diferencia de fase). Esto es debido al desplazamiento físico entre los anillos de perforaciones exterior e interior del disco del encóder.

La dirección de la diferencia de fase entre las dos ondas, indica al controlador la dirección de giro del controlador.

Recuérdese que cada uno de los discos del encóder del SCORBPT-ER III contiene seis pares de perforaciones. Esto significa que para cada vuelta del motor (y del disco del encóder) , pasan seis unidades de conteo.

Los encoders deben ser montados siempre preferiblemente en las articulaciones. Ya que éstos suministran información de realimentación de las articulaciones sobre las que están montados; mientras que los encoders montados sobre los motores informan sobre el movimiento de los mismos. Este dato es interesante ya que el movimiento de los motores en ciertas ocasiones no es directamente proporcional al movimiento de las articulaciones. Las transmisiones que unen los motores a las articulaciones introducen un grado de incertidumbre. Por ejemplo, puede haber un mal funcionamiento de la transmisión o una cierta holgura en el contacto de varios engranajes , lo que da lugar a imprecisiones.

2.3.2 Microinterruptores

Como ya se ha mencionado los microinterruptores se utilizarán para detener los motores en caso de su accionamiento. Así cuando todos estén accionados, se llegará a una posición denominada *hard home*, que permitirá tomar dicha posición como referencia para los movimientos de posicionamiento del brazo robot. En el capítulo de control de posición en entorno Matlab/Simulink se detallará la manera de alcanzar la posición *hard home* mediante un diagrama de bloques de control.

2.4 Resumen

En el capítulo se han reflejado las características del brazo robot SCORBOT-ER III, reflejándose numerosas características, tales como características de los motores, de los reductores, de los encoders y microinterruptores, así como los métodos de transmisión entre motor y articulación para cada una de las articulaciones.