

3 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO

El sistema robótico está seccionado en dos partes: el brazo mecánico y su controlador electrónico.

3.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL BRAZO

El brazo robot Scorbot-ER V Plus está construido como brazo vertical articulado, de cinco grados de libertad y una herramienta no intercambiable que en este caso es una pinza. Las articulaciones son todas de revolución excepto la pinza cuyo movimiento es prismático (apertura y cierre) como se muestra en la Figura 3.1.

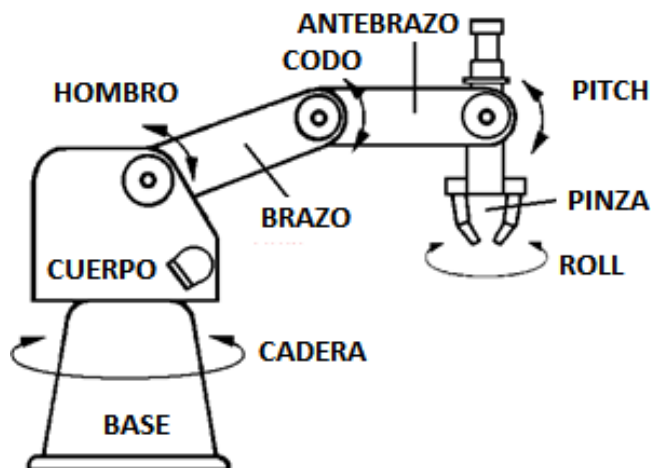


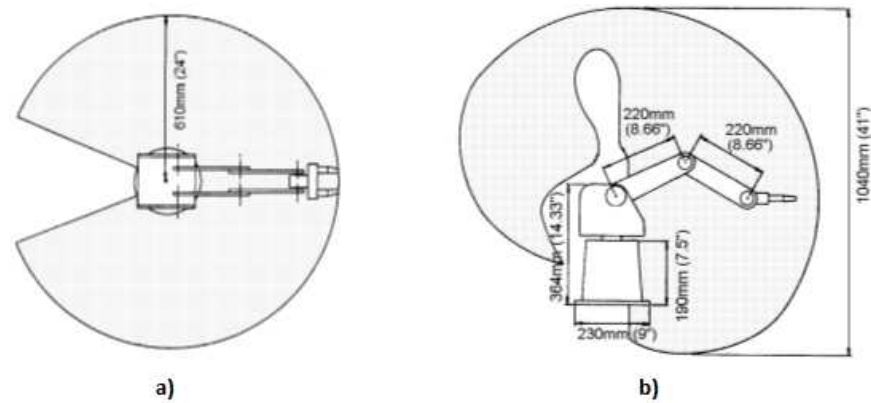
Figura 3.1. Articulaciones y eslabones del brazo robótico Scorbot-ER V Plus. (Intelitek, 2003)

Las articulaciones están accionadas mediante motores, los cuales están acoplados indirectamente; esto es, el motor está montado lejos de las articulaciones y el movimiento del motor se transmite a través de bandas o engranes, lo que ayuda a que el peso de los motores quede sostenido por la base y no por cada una de las articulaciones, de igual forma permite variar la velocidad angular de cada articulación proporcionalmente a la velocidad del motor. En la Tabla 3.1 se observa el movimiento que realiza cada motor dentro del robot.

Tabla 3.1. Movimiento de cada articulación			
# de Eje	Articulación	Movimiento	# de Motor
1	Cintura o Base	Rota el cuerpo	1
2	Hombro	Sube y baja brazo	2
3	Codo	Sube y baja antebrazo	3
4	Pitch	Sube y baja pinza	4+5
5	Roll	Rota pinza	4+5

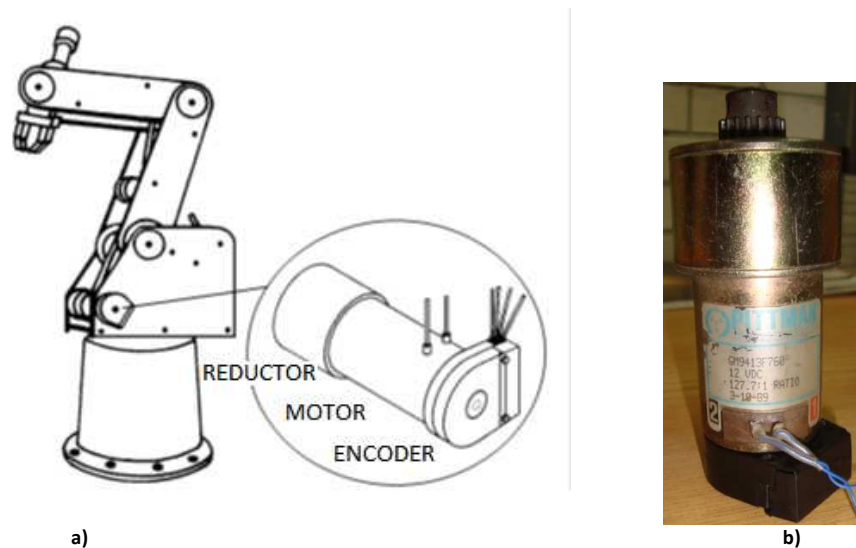
ESPACIO DE TRABAJO.

La longitud de cada eslabón y la rotación determina el espacio de trabajo del robot, el cual puede ser observado en la Figura 3.2.



MOTORES Y TRANSMISIÓN

Las 5 articulaciones del robot y la pinza del efector son operadas por servomotores de corriente directa. La dirección de giro de cada articulación depende de la polaridad del voltaje de operación. Cada motor está acompañado por un encoder para control de lazo cerrado, como se observa en la Figura 3.3.



Cada motor cuenta con diferentes tipos de transmisión, mientras que para la base y el hombro se usa una transmisión de engranajes dentados, para el codo se usan engranajes dentados y correas de regulación, para la muñeca se hace uso de correas de regulación y una unidad diferencial de engranajes dentados en el extremo del brazo, y en la pinza se transmite por medio de un tornillo de avance directamente acoplado al motor, en la Figura 3.4 se observa la disposición de dichas bandas. Cada articulación tiene un ángulo de giro limitado, los cuales son ilustrados en la Tabla 3.2.

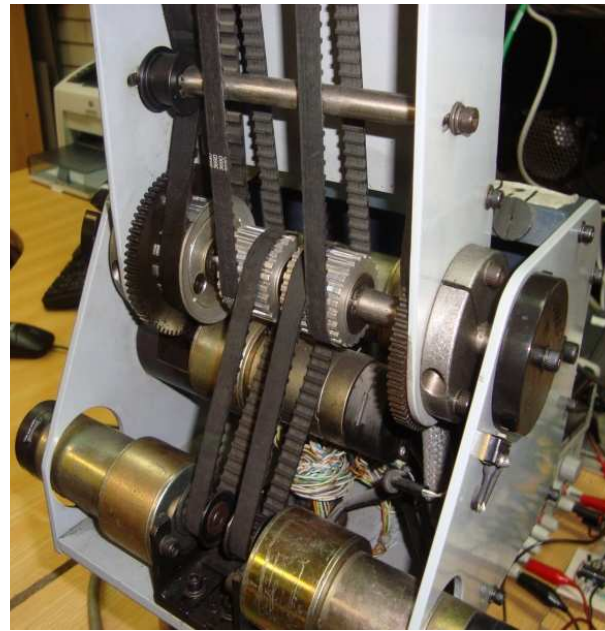
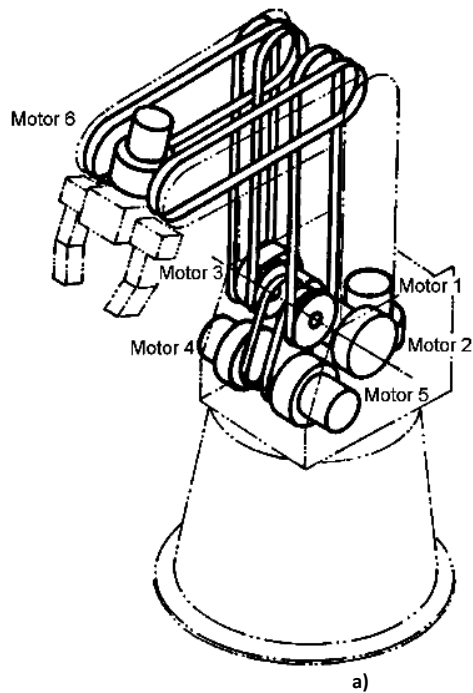


Figura 3.4. a) Disposición de las bandas de transmisión de Scorbot-ER V Plus. (Intelitek, 2003) b) Foto de las bandas de transmisión.

Tabla 3.2. Límite de giro en grados por articulación ¹	
Eslabón	Límite [°]
Cadera	310
Hombro	+130/-35
Codo	±130
Pitch	±130
Roll	Sin limite

Por otro lado la pinza tiene una apertura máxima de 65 [mm]

Todos los motores llevan un moto-reductor, para establecer un mayor torque, con lo cual el giro a la salida de la caja de engranes es menor al del motor, en la Tabla 3.3 se muestra la relación de transmisión de cada motor.

Tabla 3.3. Relación de transmisión de cada motor-reductor	
Motor	Relación de transmisión (en vueltas)
1,2,3	127.1:1
4,5	65.5:1
6 (Pinza)	19.5:1

¹ Especificaciones usando controlador original.

Con tales características de los motores y el controlador original se tienen las siguientes características mecánicas, ilustradas en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Características mecánicas de Scorbot-ER V Plus ²	
Carga Máxima	1 [kg] (incluyendo pinza)
Repetibilidad de la posición	0.5 [mm]
Peso total	11.5 [kg]
Velocidad Máxima	600 [mm/s]

SENSORES

ENCODER

La localización y movimiento de cada eje está censada por un encoder óptico incremental, el cual está montado en la parte trasera del motor. Cuando se mueve el motor, el encoder genera una serie alternada de pulsos altos y bajos, el número de pulsos es proporcional al movimiento del eje, además la secuencia de pulsos indica el sentido de giro. En la Figura 3.5 se muestra uno de los tipos de encoder montado a los motores del manipulador.

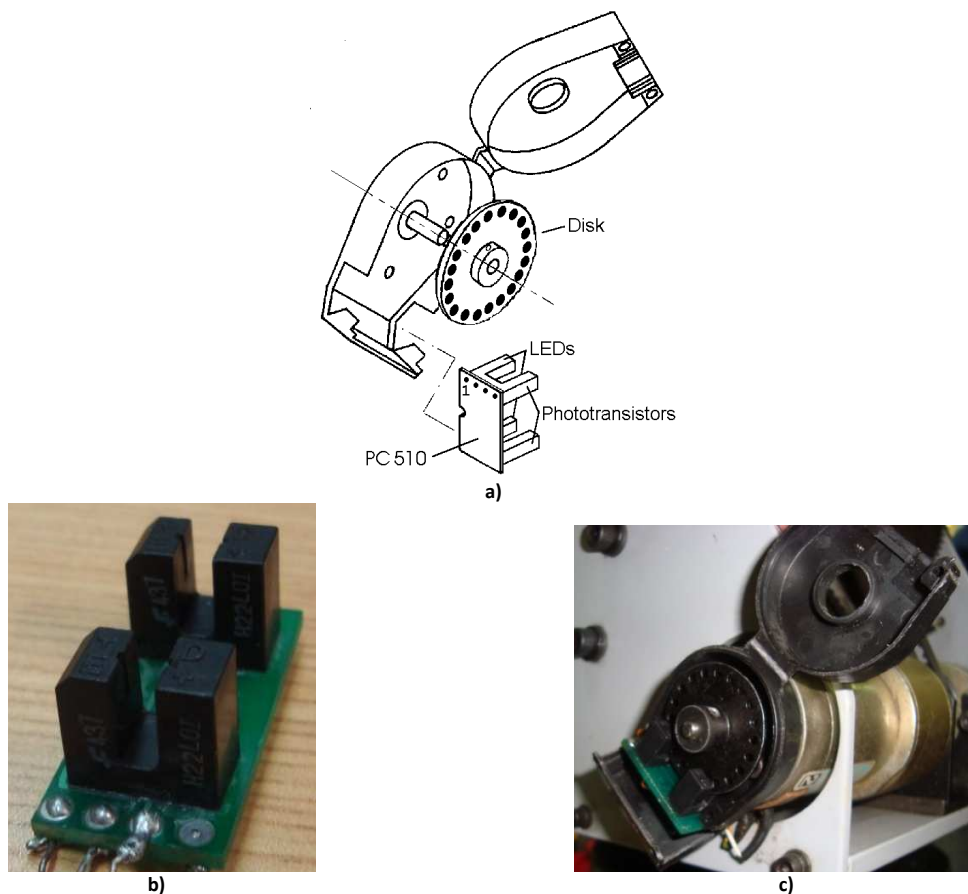


Figura 3.5. a) Encoder de Scorbot-ER V Plus. (Intelitek, 2003) b) Placa PC510. c) Encoder acoplado al robot.

² Especificaciones usando controlador original.

MICRO-INTERRUPTORES

El brazo mecánico cuenta con cinco micro-interruptores, uno por cada articulación, los cuales son usados para evitar choques entre las articulaciones así como el posicionamiento referencial (Home). Cuando todos los interruptores se encuentran activados indican que el brazo está ubicado en la posición de referencia o Home. Cuando el sistema es encendido, el robot debe ser enviado a dicha posición, mediante una rutina del software. En la Figura 3.6 se muestra un micro-interruptor de los montados en el robot.



Figura 3.6. Micro-interruptor de Scorbot-ER V Plus

PINZA

El Scorbot está provisto de una pinza mecánica la cual contiene cojines de agarre de goma, que pueden ser removidos para acoplar otro tipo de efectores finales como son los dispositivos de succión.

La muñeca tienen su movimiento basado en 3 engranes acoplados a los motores 4, 5 y 6, cuando se mueven los motores 4 y 5 en sentido contrario la muñeca se mueve hacia arriba o abajo, mientras que cuando se mueven en la misma dirección el movimiento que se realizará será horario o antihorario, de igual forma el motor 6 está acoplado directamente a la pinza mediante un tornillo sinfín el cual abre o cierra los dedos de la pinza.

3.2 CONTROL DE LOS ACTUADORES

MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PULSE WIDTH MODULATION PWM)

La modulación de ancho de pulso es una técnica para controlar circuitos analógicos con las salidas digitales de un procesador.

Una señal analógica tiene un cambio continuo de valor con una resolución infinita en tiempo y magnitud. Voltajes y corrientes analógicas son usadas para controlar dispositivos directamente como en el control de volumen en un estéreo; la perilla está conectada a una resistencia variable, conforme la perilla gira la resistencia aumenta o disminuye y por lo tanto la corriente que fluye se incrementa o decrementa. Intuitivamente podemos notar que en algunos casos no es muy económico o práctico, ya que los circuitos analógicos tienden a ser inexactos por varios factores como el ruido, por lo que al hacerlos más precisos se hacen más grandes y más caros.

Controlar sistemas analógicos digitalmente reduce drásticamente costos y consumo de energía. Además de que muchos microcontroladores incluyen controladores PWM lo cual hace aún más sencilla su implementación.

La PWM es una forma de digitalizar la señal analógica, usando las líneas digitales o de contadores de los procesadores. Con estos pines el ciclo de trabajo de la señal cuadrada es modulado para codificar un nivel específico de la señal analógica.

El *on-time* es el tiempo durante el cual la señal tiene un 1 lógico (5 volts) y la carga recibe alimentación de la fuente DC y el *off-time* es el tiempo donde la señal es un 0 lógico (0 Volts) y la carga no está alimentada, como se muestra en la Figura 3.7.

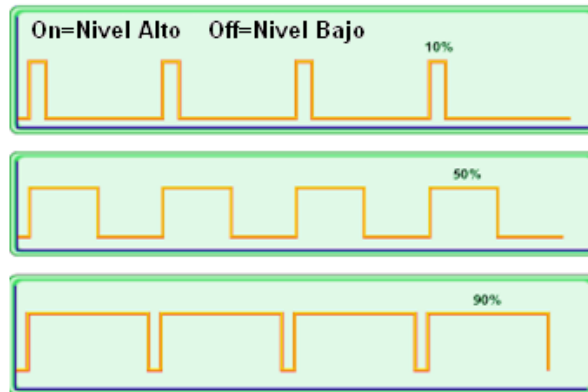


Figura 3.7. PWM con diferentes ciclos de trabajo. (Barr, 2001)

Algunas ventajas extras de la PWM es que no se requieren convertidores A/D o D/A para implementarla, además de que es casi inmune al ruido eléctrico, ya que éste solamente afectaría en el caso de que fuera un ruido muy fuerte que modificara el valor de 1 lógico a 0.

PARAMETROS DE CONTROL

En el controlador del sistema robótico de fábrica del Scorbot-ER V Plus, se tiene un sistema en lazo cerrado, donde el valor controlado es medido por cada uno de los encoders ópticos de los motores. La señal del encoder sirve como realimentación para el controlador, pudiendo corregir cualquier variación del valor deseado.

CONTROL PROPORCIONAL

El parámetro proporcional es la ganancia del sistema de control. Este valor determina el tiempo de reacción a los errores de posición.

Cuando existe un error en la posición, esto es si la posición actual del motor se encuentra fuera del valor requerido por n cuentas, el procesador multiplica el error por el parámetro proporcional y añade el producto al valor del convertidor digital-analógico el cual envía voltaje a los motores, reduciendo así el error.

El parámetro proporcional es el parámetro, dentro del sistema de control PID, que actúa más rápido en reducir el error en la posición, especialmente durante el movimiento. Además éste es el primer parámetro en responder al error en la posición cuando el robot es detenido en una posición específica.

Usando una componente proporcional grande, es más rápido la respuesta del sistema y la reducción del error. Pero a su vez un valor muy grande puede causar una oscilación permanente.

La principal desventaja del control proporcional es que por sí sólo no puede cancelar el error, pues una vez que reduce el error, no puede generar suficiente energía para superar la fricción en el sistema e impulsar al motor a su posición de destino.

Aun en estado estacionario, con carga, el valor controlado (señal de salida) siempre será diferente del valor deseado. El error en estado estacionario puede ser reducido incrementando la ganancia, pero esto incrementa la oscilación y reduce la estabilidad.

CONTROL DIFERENCIAL

En el control diferencial, la salida controlada está en función de la velocidad de cambio en el error. Entre más rápido sea el cambio en el error, mas grande será la salida controlada. En otras palabras, el controlador es sensible a la pendiente de la señal de error.

El parámetro diferencial es responsable de reducir la velocidad del error. El sistema de control calcula la velocidad actual una vez por ciclo y compara con el valor deseado. Mientras el robot acelera (durante la primer parte de la ruta) el control diferencial actúa como un factor de impulso.

Mientras el robot desacelera (durante la segunda parte de la ruta) la componente diferencial actúa como un factor de frenado. Un buen ajuste en el valor diferencial propicia en un movimiento suave y limpio en toda la trayectoria. La falta de ajuste diferencial puede producir sobrepasos al final de la trayectoria. y un diferencial grande produce pequeñas vibraciones a lo largo de la trayectoria.

En este método de control, el controlador predice el valor del error tomando en cuenta la pendiente de la señal de error, y causa la corrección con antelación. Sin embargo, si el error es constante y invariable, el control diferencial no es capaz de reducir el error a cero.

CONTROL INTEGRAL

En el control integral, todos los errores que se han registrado cada ciclo se suman y el total se multiplica por el valor del parámetro integral.

En el control integral, la salida controlada, reduce la señal de error a cero a una tasa proporcional al tamaño y duración del error. En otras palabras, a mayor error, ya sea en amplitud o tiempo, mayor será la salida controlada.

La principal ventaja del control integral es que el error en estado estacionario es siempre reducido a cero, ya que su valor aumenta cada ciclo, lo cual fortalece la capacidad del control para reaccionar y reducir el error. Sin embargo, usando un valor muy grande para el parámetro integral se puede propiciar sobrepasos, mientras que un valor muy pequeño puede prevenir la cancelación del error en estado estacionario.

A diferencia del parámetro proporcional, el integral tiene un efecto lento y es menos perceptible durante el movimiento. Sin embargo, cuando el motor hace un alto total y el parámetro proporcional ya no es capaz de reducir el error de estado estacionario, el parámetro integral tiene lugar y puede cancelar el error completamente.