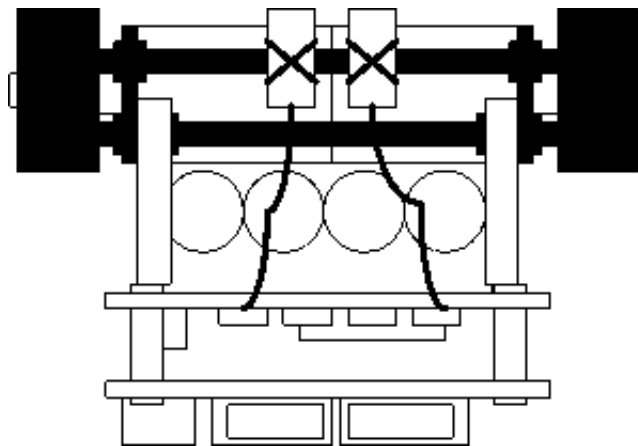
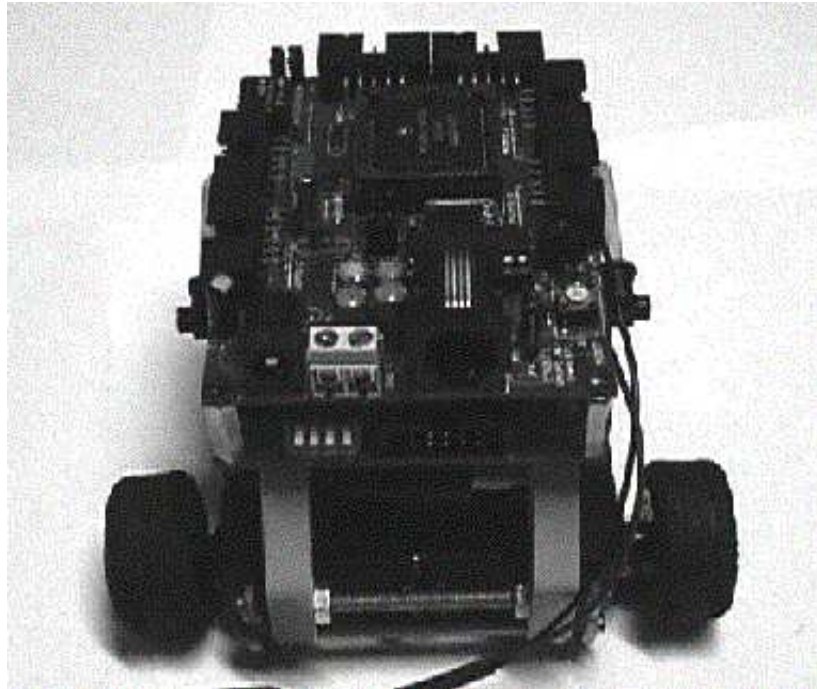


CONSTRUCCIÓN DEL MICROBOT: Estructura meánica y Motores

Andrés Prieto-Moreno Torres



1. Introducción

La estructura mecánica y los motores son factores decisivos del microbot, un correcto diseño de la estructura y una adecuada elección de los motores pueden ahorrar mucho trabajo y esfuerzo. Es difícil dar una solución única, sobretodo por la existencia de un sin fin de alternativas. Por ejemplo es muy diferente un microbot hexápodo que uno basado en ruedas, no sólo en la apariencia sino en los motores. El primero necesita doce motores con control de posición y topes mecánicos para formar articulaciones, y para el segundo, con un par de motores sin ningún tipo de tope es suficiente. Otra posibilidad es usar correas tipo tanque en lugar de ruedas o hacer que directamente el microbot sea un brazo robot. En las fotos se pueden apreciar diferentes microbots, que a pesar de tener el mismo hardware de control mantienen una estructura diferente como se ha indicado arriba.



En esta sección se procederá a construir un microbot básico, en concreto el de la foto central. El objetivo es que el lector aprenda los conocimientos mínimos para poder armar uno, y así con la experiencia, poder ir complicándolo hasta llegar a formas totalmente distintas, como el hexápodo de la figura derecha. El microbot se podrá programar según el ejemplo explicado en el manual de la CT293+, mediante el cual sigue una línea negra sobre fondo blanco, evidentemente el programa podrá variarse para atribuir otras funciones al microbot.

El proceso de construcción se ha dividido en dos partes, en la primera se explican los motores y en la segunda la estructura mecánica. Ambas partes contienen un gran número de fotos para facilitar la comprensión.

2. Los motores del microbot: Servomecanismos

La elección de motores en aplicaciones de robótica siempre hay que realizarla cuidadosamente, hay que tener en cuenta bastantes factores, por ejemplo velocidad, par, inercias, frenos, modo de control, etc... Interesa tener bien definida la aplicación para calcular correctamente lo anterior. En el caso del microbot que se construye aquí se ha tenido en cuenta lo siguiente. Se trata de un prototipo para pruebas y de aprendizaje, cuya primera función será seguir una línea negra sobre fondo blanco, como ya se ha dicho esta información relativa a la programación se podrá encontrar en la sección correspondiente a la CT293+.

Es muy probable que el microbot se programe desde un PC y que no se disponga de mucho espacio alrededor de él, por eso se ha optado por una velocidad baja. Además puede ser que el microbot se amplíe con otras piezas, incluso que necesite ser lo suficientemente potente como para poder mover objetos, por eso se han buscado buenos pares de salida en los motores. En la elección también se ha tenido en cuenta la forma del mismo para poder unirlo fácilmente a la estructura mecánica, un bajo

consumo de energía y una calidad y precisión buena. Todo lo anterior se encuentra en aplicaciones de aeromodelismo, en concreto en los servomecanismos. La conclusión es que se ha optado por utilizar este tipo de motores, aunque como se verá a continuación traen consigo un trabajo adicional.

Este trabajo adicional consiste en desmontar dichos servomecanismos para eliminar unos topes mecánicos que impiden que el eje gire más de 180 grados. La razón es obvia, si se quiere que el microbot se comporte como un coche es necesario que sus motores puedan realizar giros completos y esto no lo permite el servomecanismo en su estado natural. Este uso del servomecanismo es bastante común y no debe preocupar al lector, en otros microbots, por ejemplo los del MTI¹ o los del III de Bielefeld², se usa la misma técnica. El proceso para desmontarlos se describe a continuación:



Hay aplicaciones con microbots que necesitan un giro completo de los motores. Ya se ha visto que los servomecanismos tienen un giro de unos 180 grados. Esta limitación viene impuesta por unos topes mecánicos que limitan el giro a 180 grados, y un circuito electrónico que termina por fijar el giro en 90 grados. Todo esto se puede anular para conseguir el giro completo buscado, pero es un proceso destructivo, es decir no se podrá recuperar la funcionalidad original.



Al quitar los cuatro tornillos posteriores se aprecia un circuito electrónico totalmente integrado. Para poder extraerlo es necesario quitar además el tornillo que une la rueda con el eje del motor. Una vez hecho esto se puede quitar la tapa superior del servomecanismo, dejando al descubierto unos engranajes blancos.



Los engranajes blancos que se pueden apreciar en esta figura forman la caja reductora del servomecanismo. La misión de esta es proporcionar más par (fuerza) de salida en el eje del motor y reducir la velocidad del mismo.

Para quitar el circuito electrónico se tiene que desmontar primero la caja reductora. Con mucho cuidado para no perder las piezas se irán quitando las pequeñas ruedas dentadas blancas. Atención con el pequeño eje situado en las dos ruedas intermedias.



Una vez hecho lo anterior se puede presionar con un destornillador el saliente mecánico que se esconde debajo del engranaje más grande (eje de salida). Se observará como el circuito electrónico sobresale por debajo. Ahora se puede hacer palanca para extraerlo entero. En la figura se muestra la apariencia de ese circuito electrónico una vez extraído. Hay dos cilindros y un circuito integrado. Un cilindro es el potenciómetro de control (en la figura a la izquierda), el otro es el motor (En la figura a la derecha).

¹MIT son las siglas del Massachusetts Institute of Technology.

²III de Bielefeld son las siglas del Instituto de Investigación Interdisciplinaria de Bielefeld, Alemania.



Ha llegado el momento de empezar a transformar el servomecanismo. Hasta ahora el proceso no ha sido destructivo, pero a partir de aquí sí lo será. Lo primero que hay que hacer es desoldar el motor, será la única parte que se reutilice, el resto no se va a necesitar. El potenciómetro establece junto con el chip la limitación de giro electrónica, al quitar ambos componentes se elimina dicha limitación.



El cable triple que sale del circuito electrónico se puede cortar para utilizarlo en otras aplicaciones. Es muy útil debido al conector triple que tiene en su extremo. Por ejemplo se puede usar para conectar los sensores de infrarrojos a la CT293+.

En la figura se observa el circuito totalmente desmontado. El potenciómetro se puede reutilizar en otras aplicaciones, por eso no viene mal guardarlo, nunca se sabe.



Antes de volver a colocar el motor en su sitio se deben soldar dos cablecillos en sus bornas de alimentación. Se recomienda usar un cable rojo y otro negro, el primero se soldará a la borna positiva (la que tiene el punto rojo) y el segundo a la negativa. La diferenciación no importa en el caso de microbots móviles, pero en aplicaciones que impliquen un solo sentido de giro del motor sí. Conviene hacer coincidir la polaridad de la fuente de alimentación con la del motor, de esa forma la vida útil del mismo será mayor.



Ahora se elimina la limitación mecánica. Esta consiste en un pequeño saliente situado en el engranaje que forma el eje de salida del servomecanismo. En la figura se puede apreciar dicho engranaje y la situación del saliente.

Para cortarlo se pueden emplear unas pinzas, lima, etc... lo importante es no dañar las muescas de la rueda dentada, o peor aún partir el eje. En caso de que esto ocurra se puede intentar pegar con 'Super Glue 3'.



Una vez eliminado el saliente se recomienda limar la zona para que no queden rugosidades, es decir que parezca que nunca hubo un saliente. La razón es evitar rozamientos innecesarios una vez montada la reductora. Cuantos más rozamientos más ruido y más pérdida de energía mecánica.



Una vez realizado lo anterior se procede a montar el servomecanismo. Lo primero es introducir el motor en el hueco cilíndrico que hay en el interior de la carcasa negra, es decir del lugar de dónde salió. Una vez introducido se monta la caja reductora, para ello fijarse en la figura, sobretodo tener cuidado con la posición que deben tener los engranajes y nunca forzar su colocación. La tapa superior debe entrar sin ningún problema, en caso contrario revisar los engranajes.



Por último se atornilla la tapa inferior, pero antes conviene hacer un pequeño nudo en los cablecillos del motor, y dejar dicho nudo en el interior. Este protegerá las soldaduras hechas al motor cuando se produzcan tirones en los cablecillos.



En la figura se aprecia el aspecto del servomecanismo trucado. La primera diferencia respecto al principio está en el cable de conexión, ahora no es triple sino doble. Pero la más importante es que ahora puede girar continuamente, es decir giros completos de 360 grados. Llegado a este punto se tendrán preparados los motores del microbot y se podrá abordar la construcción de la estructura mecánica.

3. Estructura mecánica

La estructura mecánica dará forma al microbot, su diseño será importante en la medida que muchas cualidades del microbot dependerán de cómo se realice ésta. Interesa que sea resistente, fácilmente desmontable o por lo menos facilidad de acceso a elementos como baterías, tarjetas de control, motores, sensores, etc.

La estructura que se propone aquí a pesar de ser muy simple reúne las condiciones anteriores, permitiendo que el lector pueda ampliar y desarrollar sus propios diseños. El material que se va a emplear es LEGO Technic, pero perfectamente es válido MECCANO, madera, chapa, plástico, etc. Los motores que también forman parte de la estructura serán los servomecanismos que se han desmontado en el apartado anterior. Otros elementos son gomas elásticas, un portapilas plano de cuatro pilas, y tornillería.

La lista completa del material que se debe tener es la mostrada en la tabla 1:

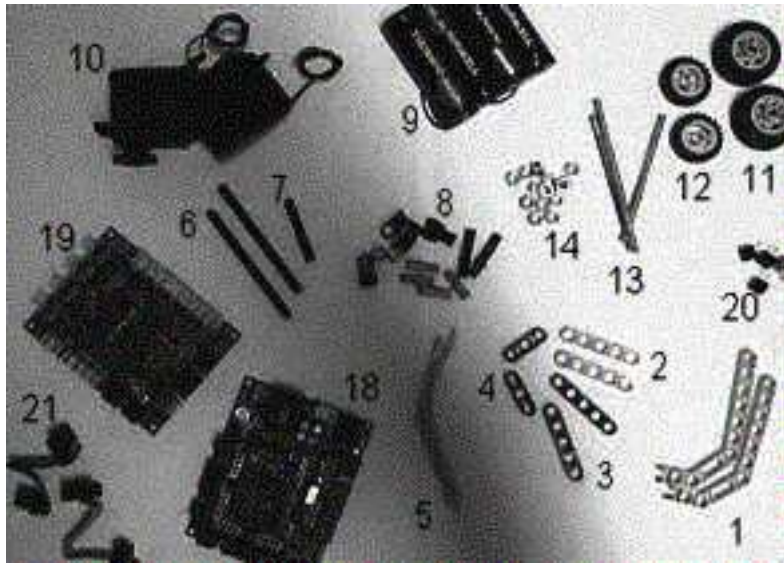
Las piezas de esta tabla son las que se van a utilizar para formar la estructura básica, puede ser que el lector encuentre en el kit otras piezas que no han sido nombradas, por ejemplo un mayor número de tuercas, esto no le debe preocupar. Estas piezas las puede utilizar en futuras ampliaciones.

Ahora se procederá a la construcción definitiva, pero antes de empezar se recomienda disponer del siguiente material. Unas tijeras para cortar la goma elástica, un par de llaves inglesas del 7 para sujetar las tuercas y un destornillador pequeño para conectar los cables a la CT293+. Más adelante se necesitará un soldador o utilidades de wirewrap para poder instalar los sensores de infrarrojos.

En la siguiente figura se muestran casi todas las piezas que se van a usar, faltan los separadores junto con sus tornillos y las gomas elásticas.

N°	Pieza	Descripción	Cantidad
1	Pieza estructural 1	Pieza Lego Technic en forma de L	2
2	Pieza estructural 2	Pieza Lego Technic alargada de 5 agujeros amarilla	2
3	Pieza estructural 3	Pieza Lego Technic alargada de 5 agujeros negra	2
4	Pieza estructural 4	Pieza Lego Technic alargada de 3 agujeros negra	2
5	Pieza estructural 5	Pieza Lego Technic en forma de tubo amarillo	2
6	Pieza estructural 6	Pasador negro de Lego Technic de 60 mm	2
7	Pieza estructural 7	Pasador negro de Lego Technic de 30 mm	1
8	Pieza estructural 8	Conjunto de sujeciones de Lego Technic	12
9	Portapilas	Portapilas plano para cuatro pilas	1
10	Motores	Servomecanismo adaptado al microbot	2
11	Ruedas Motrices	Ruedas Lego Technic diámetro 30 mm y ancho 15 mm	2
12	Ruedas traseras	Ruedas Lego Technic diámetro 25 mm y ancho 7 mm	2
13	Varillas	Varilla roscada de 80 mm de longitud y paso 3.5 mm	3
14	Tuercas	Tuercas para las varillas (llave inglesa del 7)	20
15	Goma	Goma elástica de longitud 500 mm	1
16	Separadores	Separadores de metal hembra por los dos lados	4
17	Tornillos	Tornillos para unir los separadores a las tarjetas de control	8
18	Ct6811	Tarjeta de control CT6811	1
19	CT293+	Tarjeta de potencia CT293+	1
20	CNY70	Sensores de infrarrojos	4
21	Cable de Bus	Cable tipo bus para unir tarjetas de control	2

Cuadro 1: Lista del material

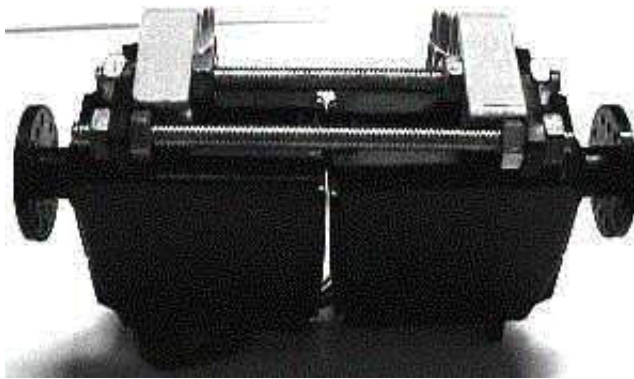
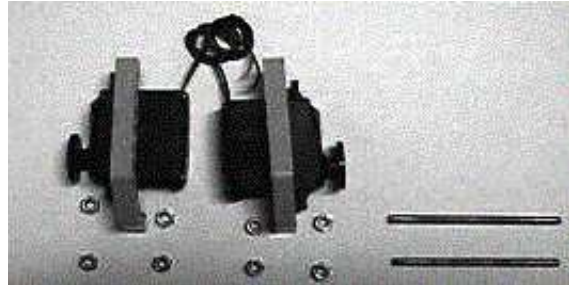
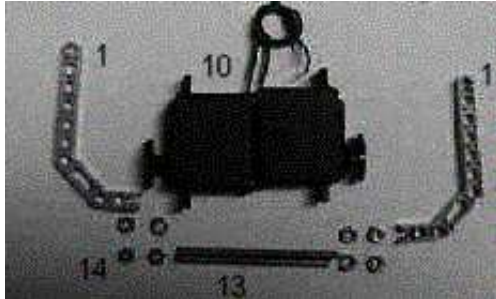


Antes de empezar la construcción se tendrá que modificar la pieza estructural 1, se deberá cortar un poco el extremo del brazo más corto. Al final quedará como se muestra en la figura.

El resto de la explicación se hará por medio de fotos, mostrando primero las piezas necesarias y finalmente el resultado de su unión.

Primer paso:

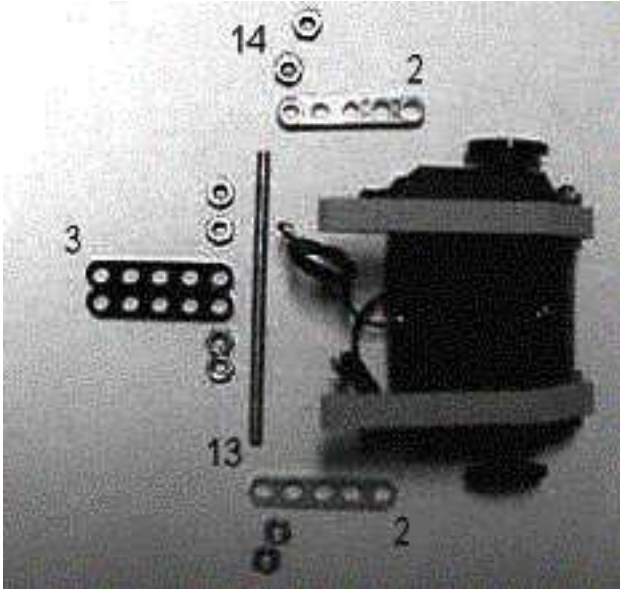
Empezando la estructura. Unión de los motores y del soporte de las tarjetas.



Para la realización de este paso conviene fijarse en la posición de las tuercas interiores, sobretodo cuando se une la pieza estructural 1 con los motores. Las tuercas interiores son las primeras que hay que colocar, las exteriores las últimas. Una vez situadas todas las piezas se fijarán las tuercas teniendo en cuenta que al ser la estructura de plástico sufrirá una pequeña deformación, se buscará un compromiso entre la deformación y la firmeza de la estructura.

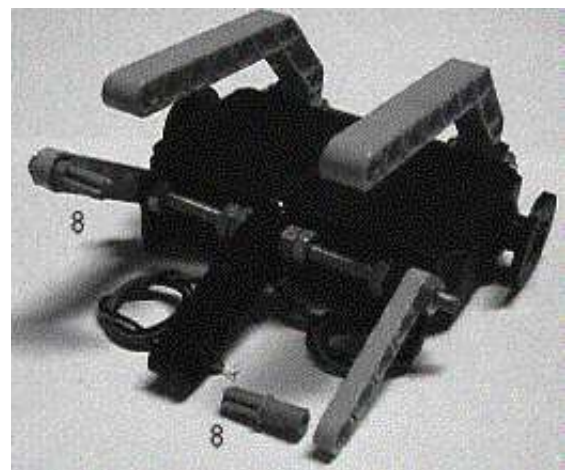
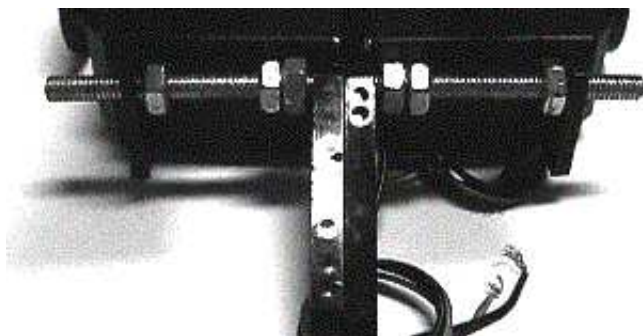
Segundo paso:

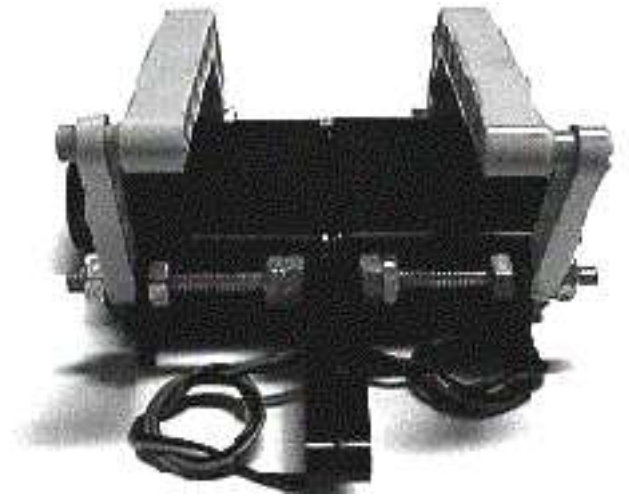
Finalización de la unión de los motores, empezando a colocar las ruedas traseras.



Las piezas necesarias para realizar este segundo paso se muestran en la figura superior. Primero se colocará la última varilla junto con las tuercas y las piezas estructurales 3. Luego se unirá la varilla con las piezas estructurales 1, esto dará firmeza a la estructura y proporcionará un habitáculo para poner el portapilas.

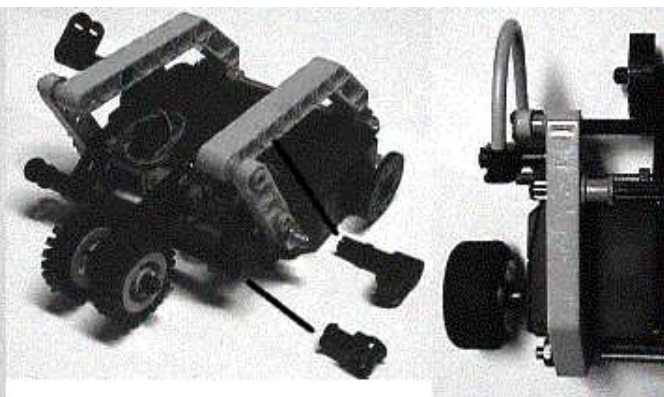
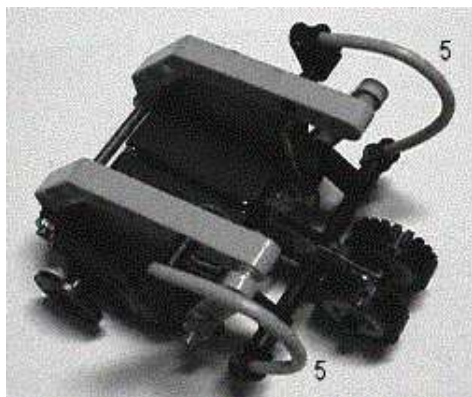
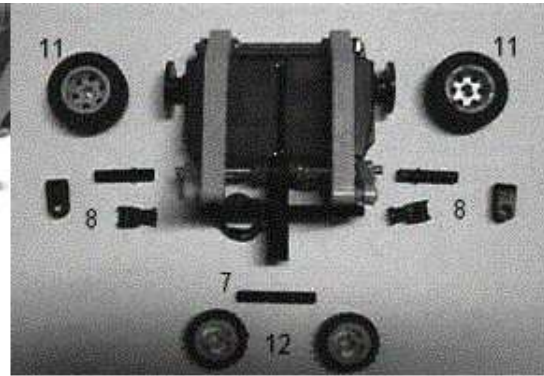
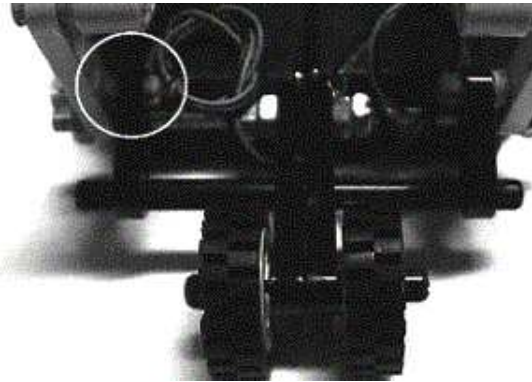
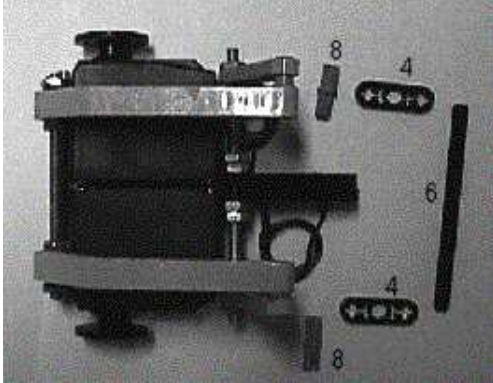
En las siguientes figuras se muestran los pasos del montaje y el resultado final. Lo más importante en esta etapa es dejar una pequeña holgura al colocar las piezas estructurales 3, por eso a ambos lados de estas piezas se sitúan dos pares de tuercas, de manera que una tuerca se aprisione contra la otra y deje libre las piezas estructurales 3.





Tercer paso:

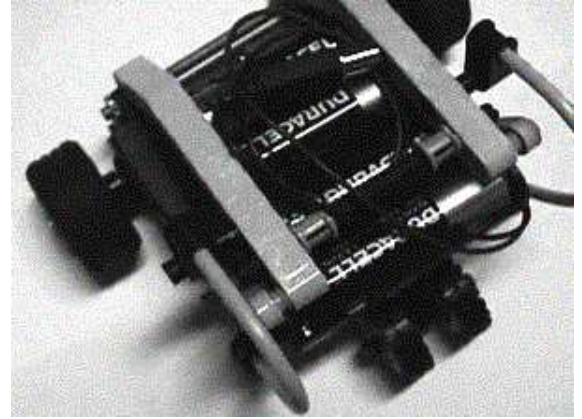
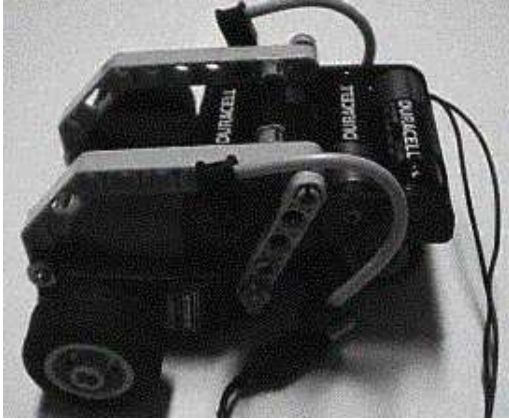
Instalación de las ruedas y de la amortiguación



Lo más complejo en este paso es pegar las ruedas motrices a la rueda pequeña del motor, para ello se recomienda emplear un pegamento resistente, por ejemplo (SuperGlue3). Antes de pegar tener en cuenta que el tornillo de sujeción de la rueda al eje deberá estar presente. Además vigilar que ambas ruedas (la del motor y la de LEGO) sean concéntricas para no tener movimientos ovalados.

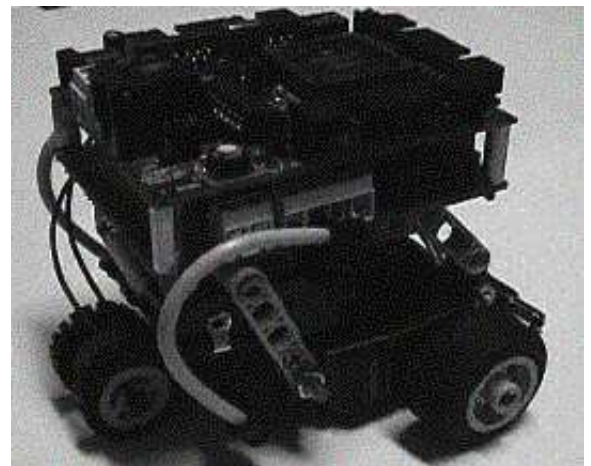
Cuarto Paso:

Introduciendo el portapilas y colocando las tarjetas de control



El portapilas se introduce como muestra la figura, la estructura está diseñada para poder sacarlo siempre que se quiera sin necesidad de desmontar nada El portapilas trae por defecto dos cables de conexión que pueden conectarse a la clema de alimentación de la CT6811, también en el kit se incluye un jack de alimentación para aquellos que prefieran utilizar este tipo de conexión, aunque para utilizarlo se deberá soldar éste a los cales del portapilas. Para ello se recomienda leer en el manual de la CT6811 el capítulo referente a la alimentación de la tarjeta, donde se dice que la tensión positiva va por el interior del jack y la masa por el exterior.

El siguiente paso es unir la CT6811 con la CT293+, para ello se utilizan los separadores metálicos y sus respectivos tornillos. Cuidar la posición de ambas tarjetas al ponerlas en paralelo, conviene hacer coincidir el Puerto A de la CT6811 con el Puerto A de la CT293+. Fijarse en las figuras siguientes. Además, suponiendo que el microbot avance siendo las ruedas motrices las delanteras, conviene que la clema de teléfono se sitúe en la parte trasera. La conexión de los motores a la CT293+ se explica en el manual de la CT293+.



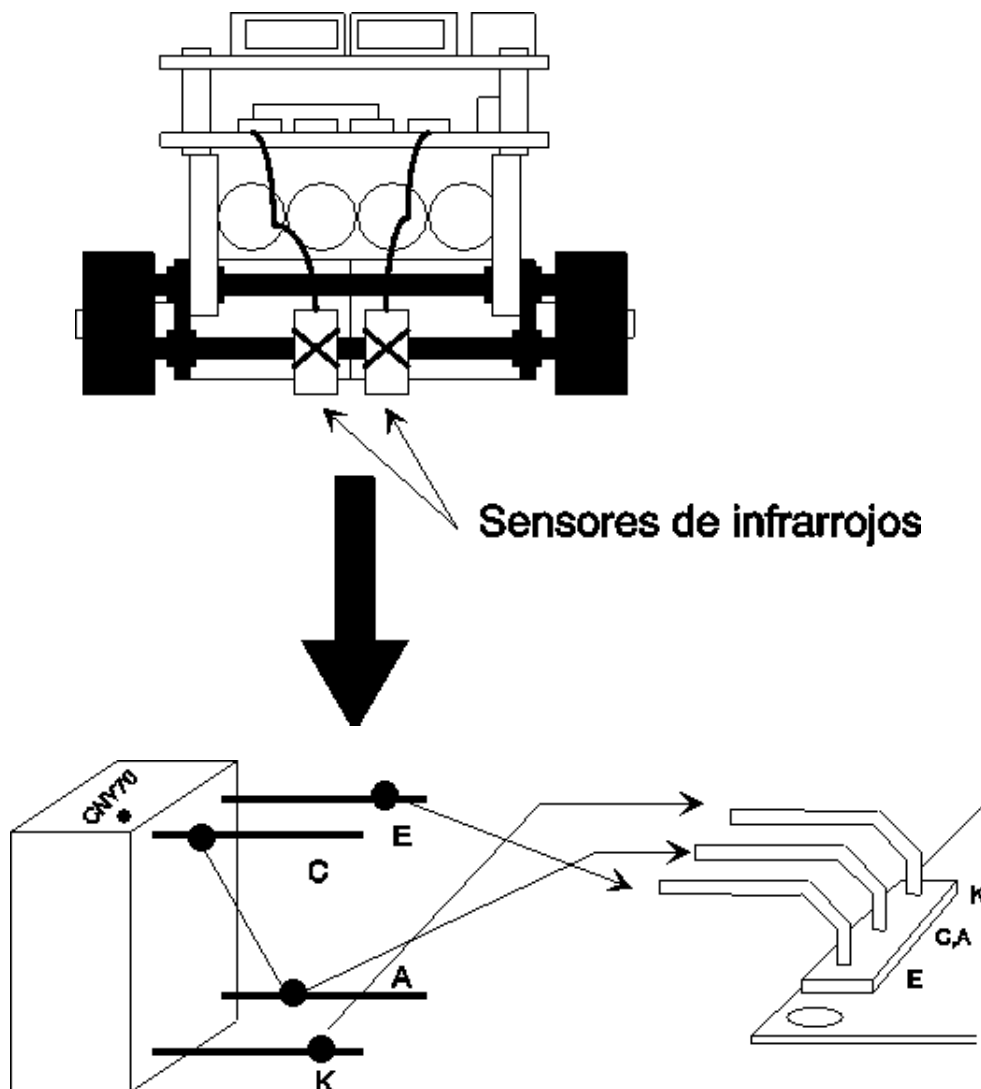
La unión de las tarjetas a la estructura se realizará utilizando la goma elástica, para ello aprovechar los salientes de las varillas, los agujeros de las piezas de LEGO, y la disposición de los componentes en las tarjetas. No complicar esta unión, es normal tener que sacar las tarjetas de control para realizar modificaciones en los sensores.

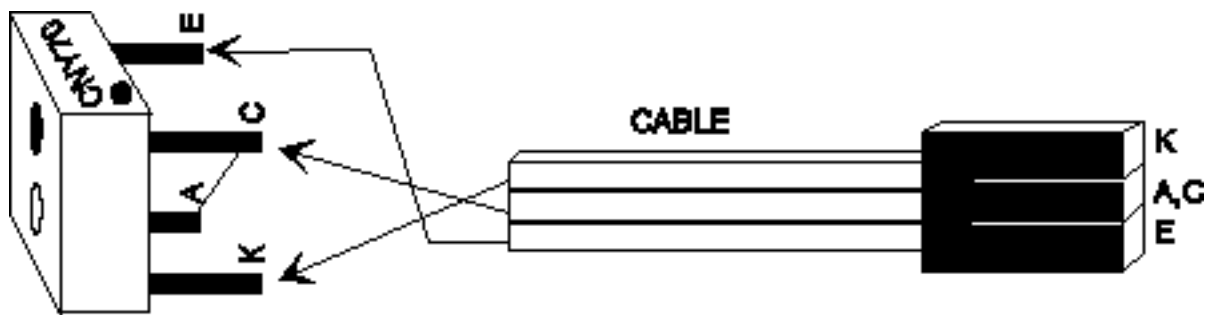
Quinto paso:

Colocando los sensores de infrarrojos.

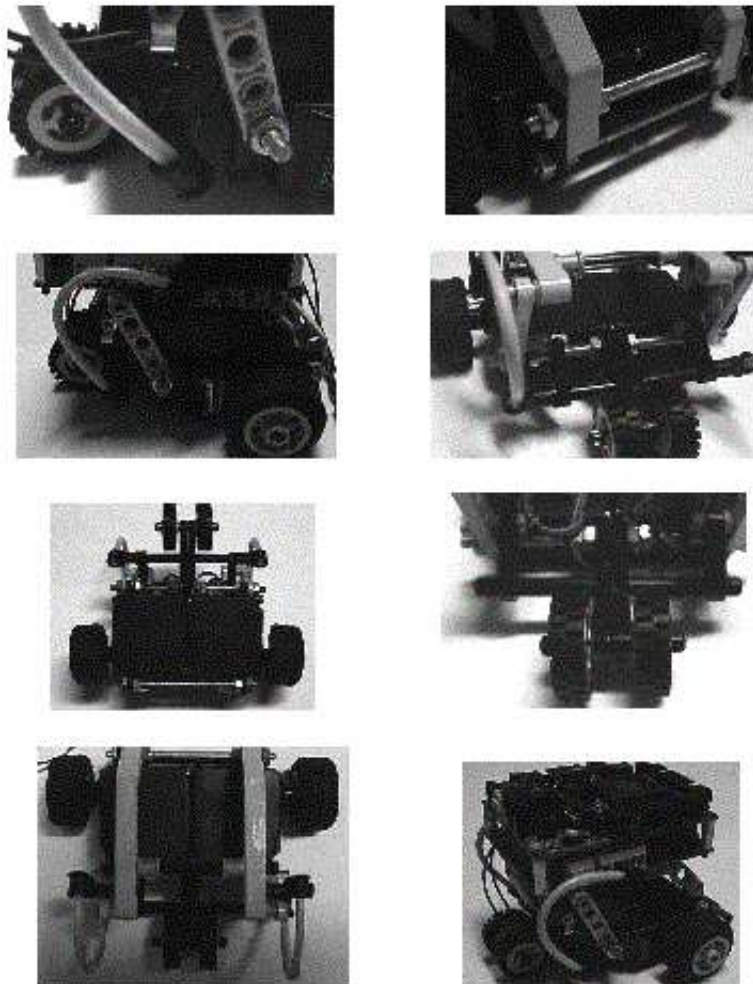
La estructura quedó terminada en el paso anterior, ahora lo único que falta es colocar los sensores en el microbot. El kit básico incorpora cuatro sensores de infrarrojos de corta distancia, se pueden utilizar dos para detectar negro/blanco en el suelo y otros dos para realizar encoders. La conexión y programación del microbot se cuenta detalladamente en el manual de la CT293+, aquí sólo se indicará resumidamente cómo conectar los sensores de infrarrojos.

Al desmontar los servomecanismos se cortó un cable con un conector hembra triple en un extremo. Ahora se va a utilizar dicho cable para conectar dos sensores de infrarrojos a la CT293+. Estos sensores se colocarán en la parte delantera del microbot utilizando algún tipo de adhesivo, goma elástica, cinta aislante, etc.

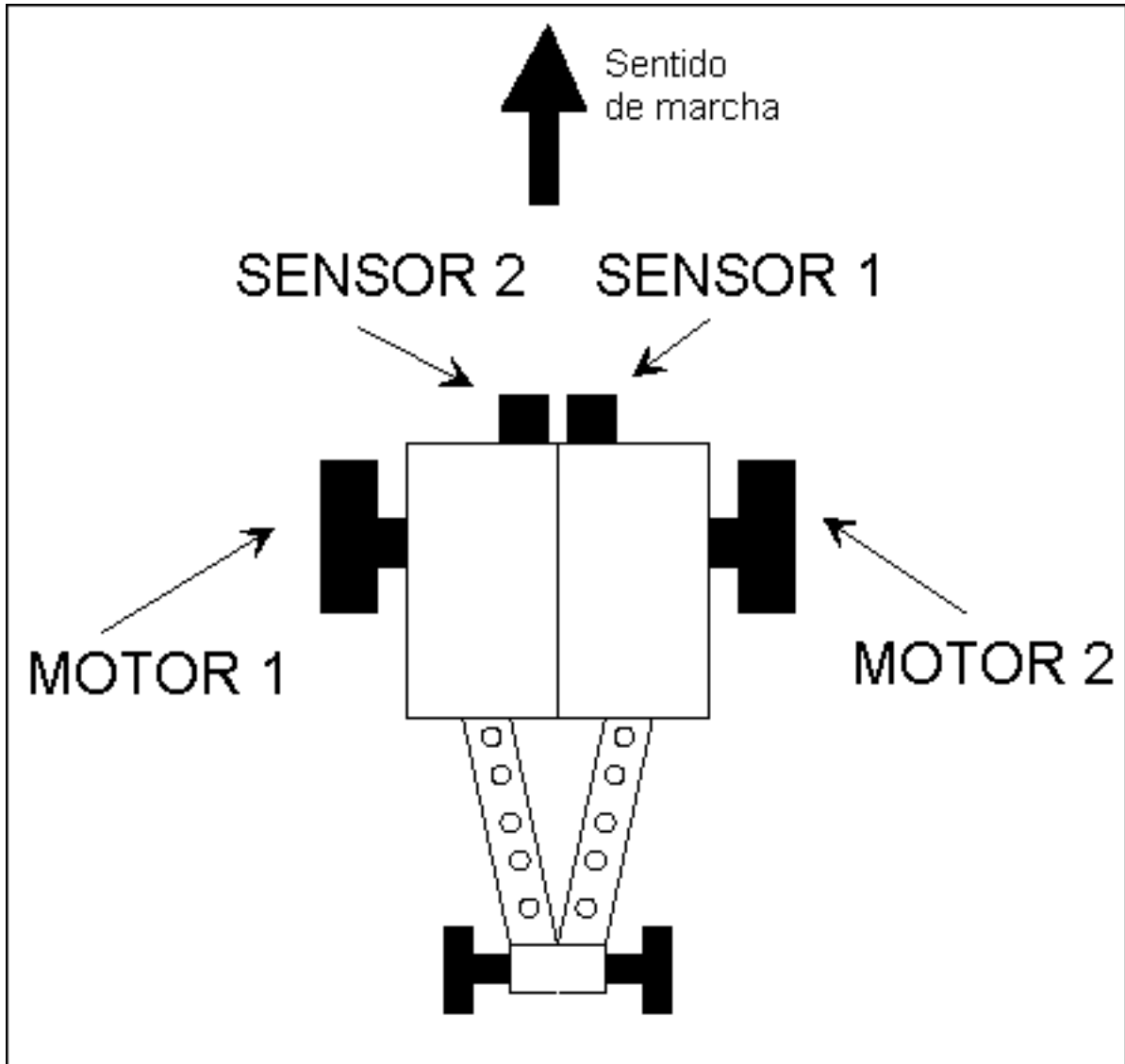




La figura de arriba representa la forma de unir el sensor de infrarrojo al cable. La unión se podrá hacer soldando o utilizando la técnica de wirewrap. En la figura de abajo se muestran imágenes de detalles del microbot.



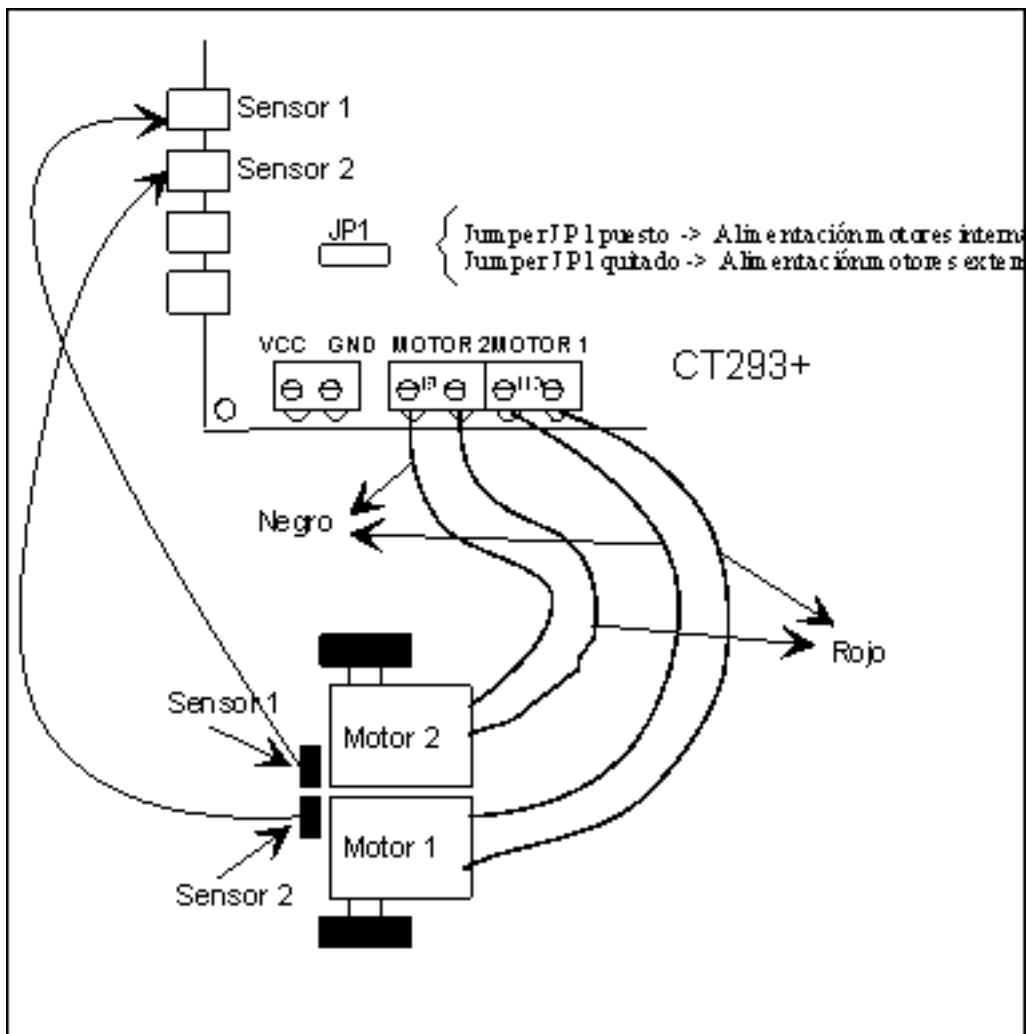
4. Resumen de conexión. Programa CT294



Para conectar los motores y los sensores a la CT293+ se puede seguir esta pequeña guía o directamente leer la sección correspondiente a la tarjeta CT293+.

Se supone que el microbot tiene dos motores y dos sensores situados en su parte delantera. En la figura de la derecha se especifica un diagrama del mismo. Si se sigue este modelo se tendrá compatibilidad con otros modelos de microbots y con el software desarrollado para la realización del test.

El paso más importante para asegurar la compatibilidad viene ahora, se trata de conectar todos los cables de la manera mostrada en la figura siguiente.



Al montar los motores del microbot se dijo que se soldase un cable rojo a la pata positiva del motor y uno negro a la negativa. La importancia de esto se refleja en este dibujo. El cable rojo de cada motor se introduce por el agujero derecho de su clema, el cable negro se introduce en el izquierdo. Si no se sabe distinguir los cables del motor montarlos al azar, luego con el software CT294 se podrá corregir la misma.

Para probar el microbot se puede usar el software CT294, proporcionado junto con otros programas en este kit. Para ejecutarlo teclear lo siguiente:

```
C:>ct294
```

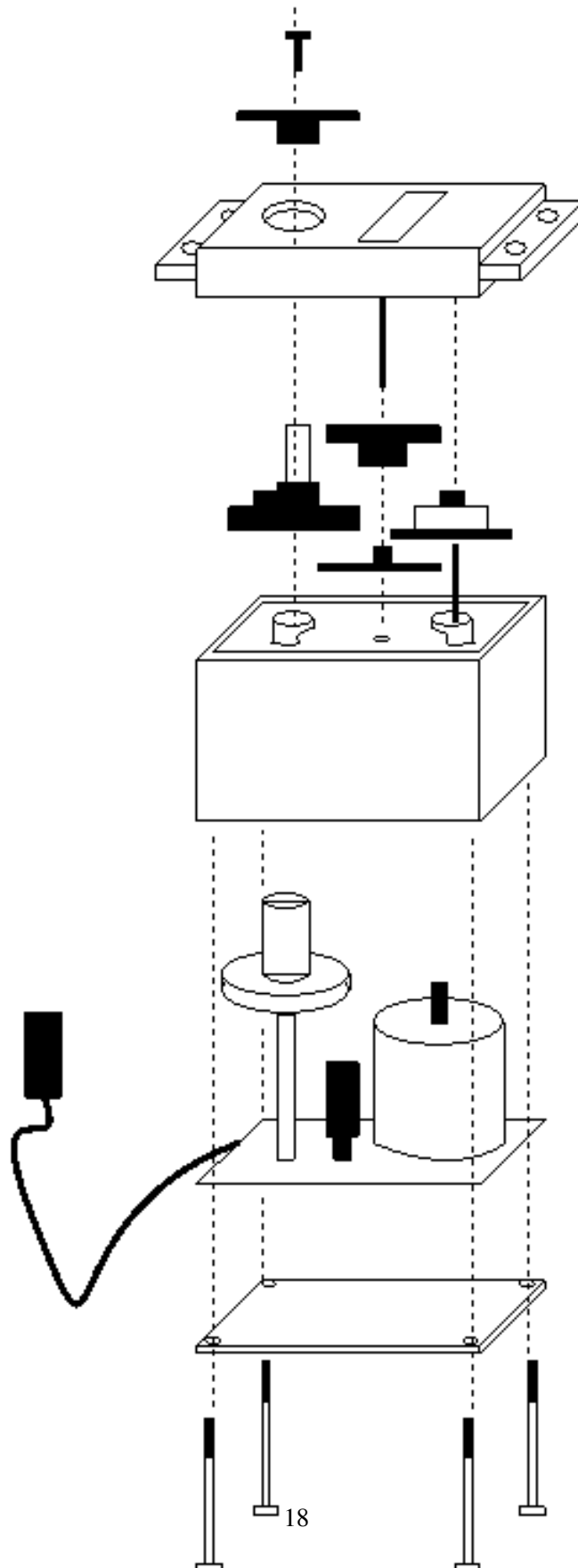
Por defecto el programa toma como puerto de salida el com2, si nuestro microbot lo conectamos al puerto serie 1, se pondrá después del nombre el parámetro ?-1?. En Linux la invocación es similar, salvo que el parámetro es ?-com1? o ?-com2? según sea el puerto elegido.

El programa es muy simple, consiste en una pantalla con cuadros informativos sobre el estado de los puertos A y E del 68HC11. No preocuparse si no se sabe que es esto, ahora lo importante es que con las teclas Q,A,O,P y SPACE se puede controlar el microbot. El significado de las teclas esta en la pantalla del programa. Con las teclas 0..7 podemos cambiar el estado de los bits del puerto activo (El Puerto A o el puerto E). Para elegir el puerto activo se utiliza la tecla ?C?. La información de los motores y de los sensores se recoge en el Puerto A, el Puerto E por ahora no hace falta mirarlo.

Para comprobar los sensores de nuestro microbot fijarse en los recuadros PA0, y PA1, situados dentro del Puerto A. Al pasar por debajo de los sensores un trozo de cartulina blanca con una cinta aislante negra, se observará como el estado de estos bits, cambia de valor según sea blanco o negro lo que esté debajo.

Para comprobar las conexiones de los motores se pueden utilizar las teclas anteriores, (Q,A,O,P), si los sentidos especificados coinciden con los que realiza el microbot se tiene compatibilidad con los programas de este manual. Si algún movimiento no es igual se puede cambiar la conexión de los motores para tener la compatibilidad, o directamente seguir adelante. Si se hace esto último se recomienda apuntar el valor que tienen los bits PA3, PA4, PA5 y PA6 cuando se elige el sentido de marcha recto, izquierda y derecha. El estado de los motores para hacer las pruebas anteriores se puede variar con las teclas 3,4,5 y 6.

5. Los servomecanismos Futaba S3003



Los servomecanismos Futaba S3003 son muy utilizados en aeromodelismo para mover los alerones, subir y bajar trenes de aterrizaje, orientar hélices y un sin fin de aplicaciones más. El esquema de un servomecanismo de este tipo se ha representado en la siguiente anterior.

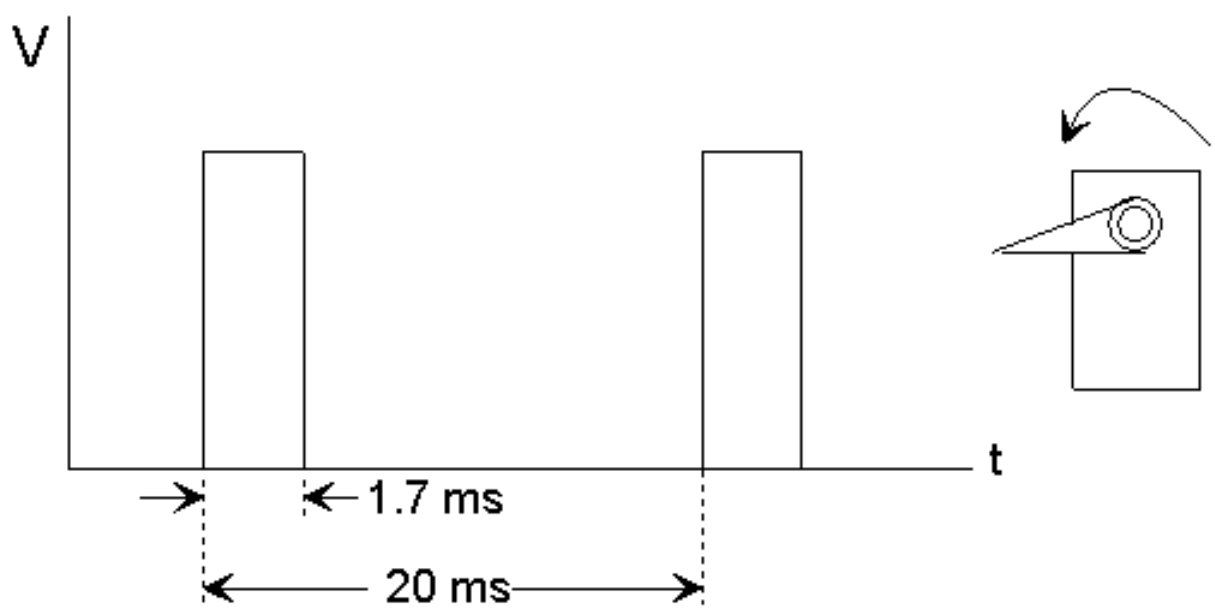
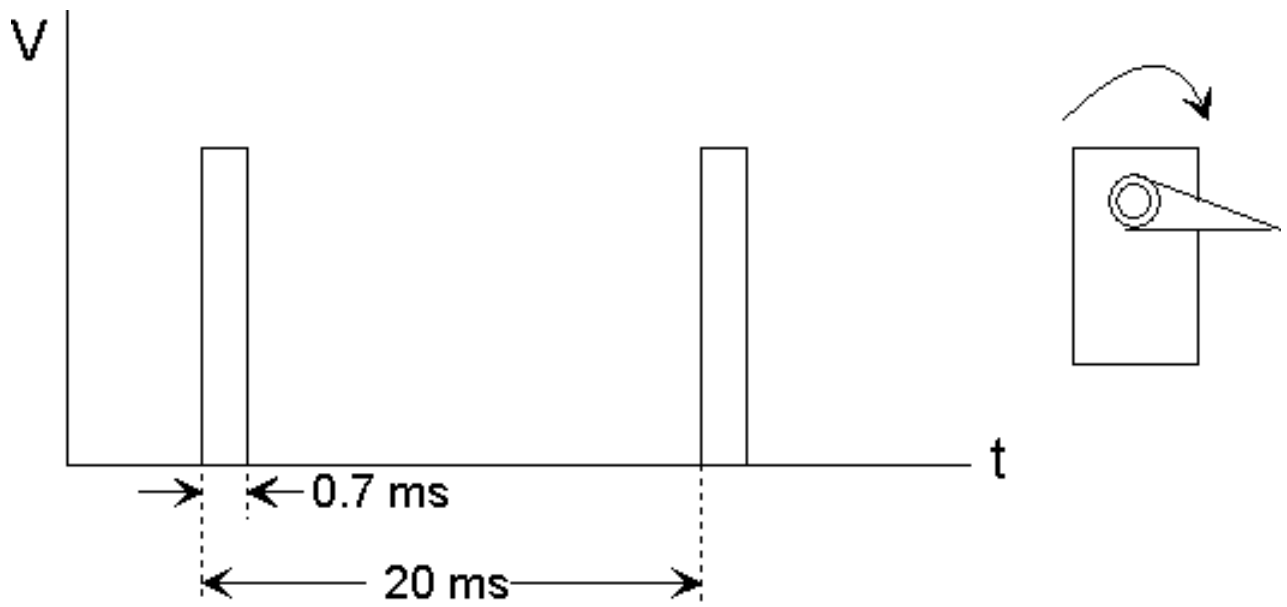
La conexión al exterior es a través de tres cables, uno para la masa (cable negro), otro para la tensión de alimentación de 6v (cable rojo) y el último lleva la señal de control de movimiento. El servomotor internamente realiza un control de posición en bucle cerrado, para ello utiliza un potenciómetro y un circuito de control. La señal que espera recibir dicho circuito es un tren de pulsos, estos pulsos se repetirán con un periodo de 20 mseg. La anchura de los pulsos indicará en que posición se deberá quedar el eje. El centro se corresponde con una anchura de 1.3 mseg, los extremos con anchuras de 0,7 mseg, y de 1,7 mseg.

Estos servos de posición son muy útiles para realizar accesorios de robots, como son los manipuladores, pinzas, brazos, en resumen todo aquello en dónde el rango de movimiento no necesite revolución continua. En aplicaciones de movimiento continuo habrá que desmontar el servomotor para dejarlo como un simple motor de corriente continua con caja reductora incorporada. Al desmontarlo se podrá optar por diferentes alternativas, cada una de ellas tendrá su aplicación más adecuada.

En el dibujo de la izquierda se pueden ver las distintas partes del servomotor. Empezando por la parte superior se tiene: La rueda del eje de salida, la tapa de la caja reductora, los engranajes que forman la caja reductora, la caja del servomotor, la tarjeta de control (potenciómetro, circuito de control y motor de izquierda a derecha) y por último la tapa del servomotor y los tornillos de sujeción.

El potenciómetro se encarga de cerrar el bucle de control, es el que examina la posición del motor. El circuito de control recibe la información del tren de pulsos y del potenciómetro y se sitúa al eje del motor en su nueva posición. La caja reductora aumenta la fuerza de salida del eje y reduce la velocidad del mismo. También existen un par de topes mecánicos, uno está en el engranaje de salida del eje del servomotor y el otro en su interior que afecta al potenciómetro.

En la figura superior se aprecia la señal de control que espera recibir un servomecanismo, se recuerda que la anchura de los pulsos es la que determina en que posición se deberá parar el eje. La posición central equivale a 1.3 mseg.



En la siguiente tabla se resumen las especificaciones dadas por el fabricante sobre el servomecanismo Futaba S3003. La tensión de alimentación será de 5 voltios, y la amplitud de la señal de control será TTL. (nominal 5 voltios).

Velocidad	0.23 seg/60 ⁰	0.23 seg/60 ⁰
Par de salida	3.2 Kg-cm	44.4 oz-in
Tamaño	40.4 x 19.8 x 36 mm	1.59 x 0.78 x 1.42 in
Peso	37.2 g	1.31 oz

Se especifica ahora que características se añaden o se quitan con cada componente del servomotor:

1. **Con Control:** El circuito de control se encarga de recibir la modulación tipo pulsos y ordenar al motor situarse en una posición relacionada con la anchura del pulso recibido. Para ello es necesario que esté el potenciómetro. Si no éste no se encuentra el circuito de control sólo puede mover hacia la izquierda o hacia la derecha el eje del motor. Esta característica se puede emplear para evitar usar etapas de potencia para mover el motor, en su contra esta la necesidad de manejar señales de control más complicadas.
2. **Sin control:** Al quitar el circuito de control se tendrá que usar un circuito de potencia externo, pero ahora la señal de control será más sencilla, no será obligatorio generar modulación. Otros inconvenientes se encuentran a la hora de cerrar el bucle. Para ello es necesario utilizar el potenciómetro pero el valor de éste hay que procesarlo con un circuito exterior.
3. **Con potenciómetro:** Establece un tipo de tope mecánico. Con él se pueden realizar bucles cerrados de control. Cuando se tiene el circuito de control el bucle se cerrará internamente. Esto es muy útil en aeromodelismo, por control remoto indicamos la posición que debe tomar el eje y el propio servomotor se encarga de buscarla y posicionar su eje en ella. Nos ahorramos de esa forma tener que transmitir datos desde el avión hasta el mando de control remoto. Si no hay circuito de control el bucle se tendrá que cerrar externamente.
4. **Sin potenciómetro:** Se elimina el primer tope mecánico y la posibilidad de cerrar el bucle. Si se mantiene el circuito de control se puede realizar un control en bucle abierto por medio de los pulsos, si no se mantiene éste no habrá posibilidad de control en bucle abierto.
5. **Con topes mecánicos:** Sólo se tienen giros limitados, su aplicación es muy útil en brazos robots, pinzas, manipuladores, mecanismos ON/OFF, aeromodelismo,...
6. **Sin topes mecánicos:** Se eliminará el tope del rodamiento y el potenciómetro, por lo tanto perderemos la posibilidad de cerrar el bucle.

Las dos aplicaciones por excelencia son utilizar el servomecanismo en su estado natural o utilizarlo sin circuito de control y sin potenciómetro. Alguna aplicación intermedia utiliza el servomecanismo en su estado original pero sin el circuito de control. Como ejemplo de cada caso se citan por orden : aplicaciones de aeromodelismo (alergones, timón,...), aplicaciones en microbots (ruedas motrices), y por último aplicaciones en robots (pinzas, brazos, ...).

En las aplicaciones de aeromodelismo se mantiene el estado original para no tener que enviar información desde el avión, barco, coche,... hasta el mando de radiocontrol. Se envía la posición codificada con pulsos y el servomotor se encarga del posicionamiento y control.

En los microbots se necesita rotación continua, para ello hay que eliminar todos los topes mecánicos, por lo tanto el potenciómetro también. Para controlar el movimiento (giro a izquierdas o a derechas) se puede utilizar el circuito de control o directamente eliminarlo. Si se mantiene el circuito, la señal de control será la modulada, para indicar hacia dónde debe girar el motor se empleará el ancho

máximo (1.7 ms) y el mínimo (0.7ms). Lo bueno de esta técnica es que no hará falta usar una etapa de potencia previa. Si por el contrario se elimina también el circuito de control, se tendrá que usar una etapa de potencia externa aunque las señales de control serán más sencillas. (Directamente tensión en bornas del motor).

En aplicaciones de robótica se puede utilizar otra alternativa a la primera. Consiste en eliminar el circuito de control pero mantener el potenciómetro. Con un hardware externo se puede leer el valor de este y ver si se ha llegado o no a la posición deseada. Al quitar el circuito de control se usará una etapa de potencia externa.

Como resumen tener presente que al utilizar el circuito de control se ahorra la etapa de potencia pero se complica la señal de control, al utilizar el potenciómetro se puede cerrar el bucle pero no será posible tener movimiento continuo. Cuando se tiene movimiento continuo se podrá realizar un control en bucle abierto manteniendo el circuito de control.

Sin revolución Continua	Con Topes mecánicos	Sin Potenciómetro	Con control	No se puede cerrar el bucle pero podemos controlar el giro del motor con pulsos y ahorramos la etapa de potencia
			Sin Control	Necesita de etapa de potencia, para cerrar el bucle habrá que añadir elementos externos. Sirve para hacer movimientos tipo ON/OFF.
		Con Potenciómetro	Con control	Estado original del servomecanismo. Bucle cerrado internamente. Sin etapa de potencia. Aplicaciones posibles son brazos robots, manipuladores, pinzas, aeromodelismo.
			Sin control	Eliminamos la modulación pero seguimos cerrando el bucle aunque externamente. Se necesitará circuito de potencia. Las aplicaciones son casi todas las anteriores.
Con revolución continua	Sin Topes Mecánicos	Con Control	No necesita etapa de potencia y se utilizará modulación. Se puede controlar en bucle abierto.	
		Sin Control	Necesita etapa de potencia, para cerrar el bucle se necesita algún mecanismo externo. Utilización en microbots.	

6. Control de motores

En aplicaciones avanzadas es necesario saber si la orden que se le ha dado al motor se ha cumplido o no. Por ejemplo si se quiere girar el eje 30° , ¿cómo saber cuando se ha completado el giro?. Evidentemente hay muchas soluciones, una primera consiste en calcular la velocidad de giro y mantener al motor girando durante el tiempo adecuado. Esta técnica no recomendable esta llena de fallos. Por ejemplo las inercias del motor y la acumulación de errores en secuencias de giros.

Avanzando en el estudio se llega a dos tipos de control de motores, el control en bucle abierto y el control en bucle cerrado. Se entiende por bucle abierto un sistema de control dónde no hay realimentación de información, es decir una vez que se ha movido el motor no se sabe si lo ha hecho bien o mal. Por el contrario el bucle cerrado si tiene realimentación, se dispondrá de información sobre el estado final del motor. A continuación se estudian dos sistemas de motores, uno de cada tipo.

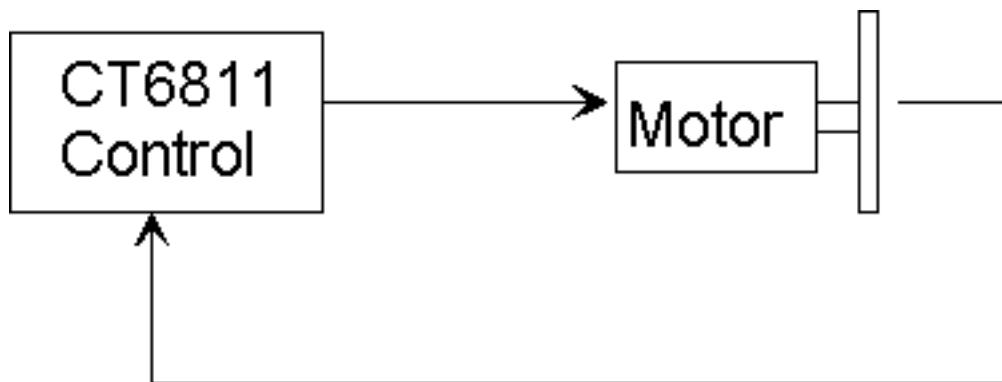
■ Control en bucle abierto con motores paso_paso



En bucle abierto no hay realimentación de información, es como el ejemplo anterior, dónde a pesar de hacer un cálculo previo sobre el movimiento del motor, no se sabe con seguridad si se ha movido correctamente.

Este tipo de control se usa bastante con unos motores especiales que se denominan motores paso_paso. En ellos el eje de salida gira un ángulo fijo cada vez que se le da la orden al motor. En estos motores no hay inercias, y el ángulo de giro es siempre el mismo. El control de la posición se controla sabiendo el número de pasos que ha dado con respecto a una posición inicial. Este tipo de motores se encuentran en impresoras, y en algunos brazos robots. Cuando se vaya a usar este tipo hay que tener presente que el objeto que se vaya a mover no presente mucha resistencia al motor, de tal forma que se asegure que cuando se le da la orden de dar un paso (girar un ángulo) éste realmente lo de. Si hay pérdida de pasos, se errará el cálculo del ángulo girado.

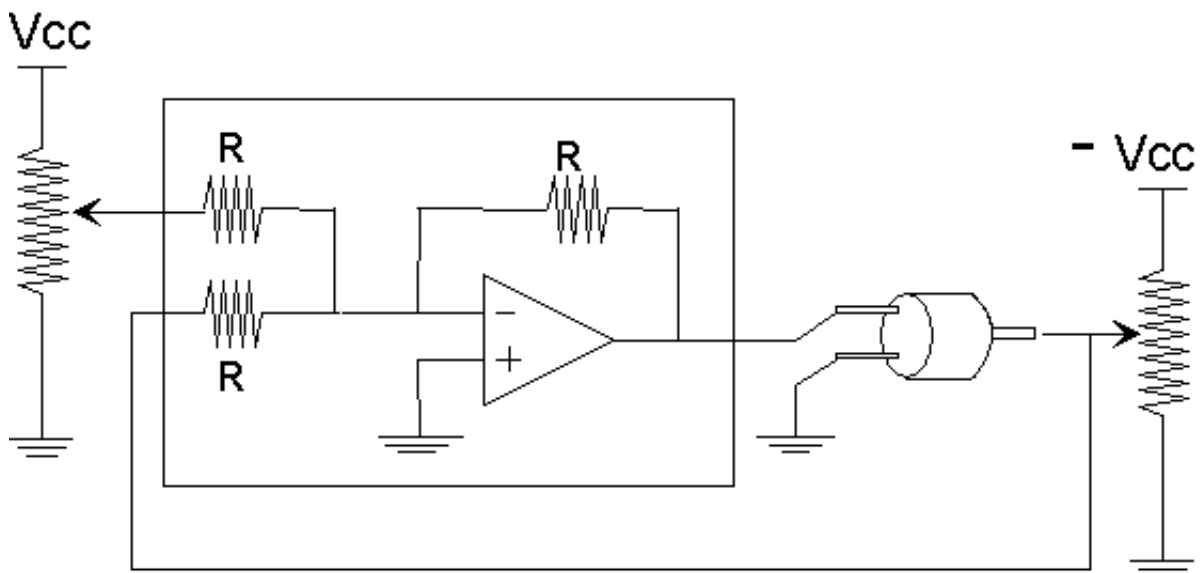
■ Control en bucle cerrado con motores de continua



El caso anterior tiene un inconveniente grave, la capacidad para posicionar el eje de salida se ve limitada a incrementos enteros del ángulo de paso. Es decir si cada paso significa girar el eje 1.8° , no se podrá posicionar el eje a 2° con respecto a una posición de referencia, se cometerá un error que en algunas aplicaciones es inaceptable. La forma de corregir esto es utilizar motores de corriente continua, pero ahora el bucle abierto deja de ser útil y habrá que aplicar técnicas de bucle cerrado.

Este tipo de control establece una realimentación de información desde la salida del motor hasta la tarjeta de control. Esta información adicional permite verificar continuamente si se ha llegado a la posición o/y velocidad especificada. Se denomina bucle cerrado por esa vuelta de información.

Para estudiar esto mejor se propone un ejemplo de control de posición en bucle cerrado. Para ello ver el esquema siguiente.



En este esquema se distinguen tres partes fundamentales, a la izquierda se encuentra el potenciómetro de mando, éste se usará para indicar dónde posicionar el eje del motor. A continuación (bloque punteado) el circuito de control, luego el motor y finalmente el potenciómetro de realimentación. Este

último se usa para detectar la posición del eje del motor (unido al cursor del potenciómetro), el valor del cursor se envía al circuito de control para ser procesado.

En el circuito de control se restan las dos señales provenientes de los cursores de los potenciómetros, la diferencia de ambas señales es amplificada y mandada al motor. El motor dejará de girar cuando ambas señales sean idénticas, es decir, cuando los cursores estén situados en la misma posición. El control de posición queda de esta forma establecido.

El circuito de control anterior es analógico, pero usando conversores analógico-digitales se pueden usar técnicas digitales. La CT6811 se convierte en una perfecta herramienta para hacer este tipo de control, sobretodo porque internamente incorpora 8 conversores analógico, digitales. En control digital se pueden emplear un sin fin de técnicas distintas, realización de PIDs, aceleraciones programadas, frenados, corrección de inercias, etc...