

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DE LAS POSIBLES SOLUCIONES**

Dado que en este proyecto se pretende crear una herramienta para la elaboración de robots pedagógicos, es necesario acotar el trabajo a realizarse. Tal como se mencionó en el Capítulo 1, el sistema mecánico del robot dependerá del diseñador, así como el resultado final de la aplicación que se realice, y por consiguiente, la tarea que pretende realizarse es el diseño de la interfaz electrónica, y el desarrollo de la comunicación que requiere dicho robot con la PC para su control.

Este proyecto consta de tres etapas (hardware, firmware, software); para poder diseñar el prototipo se deben de tomar en cuenta las opciones que se tienen en la implementación de ellas. En este capítulo se plantean las consideraciones y posibilidades en cada una de estas tres etapas de conformación del prototipo.

### **3.1 INTERFAZ ELECTRÓNICA**

#### **3.1.1 Motores**

Para implementar la interfaz electrónica se debe de establecer el tipo y la cantidad de cada uno de los elementos que se pretende utilizar. Con respecto a los motores, su número debe ser tal que permita diseños variados, pero evitando, en la medida de lo posible, la dificultad por el número de conexiones.

Se considera que con cuatro motores es posible crear diseños de robots con varias aplicaciones interesantes. Cabe destacar que podría presentarse el caso que se requiera el funcionamiento simultáneo de todos ellos, así como otros casos en los que tan solo se requiera uno de ellos, y también se debe de pensar en la manera que dichos elementos se puedan conectar y desconectar fácilmente.

De los tres motores descritos en el capítulo anterior, el uso de los servomotores se descartó por su alto costo y debido a que las aplicaciones de la robótica pedagógica no requieren la precisión en la posición que te ofrecen los servomotores.

Se decidió usar motores de CD, tanto por su versatilidad, como por su mayor contenido pedagógico, ya que tiene la forma de controlar físicamente tanto su sentido de giro como su velocidad, y por lo tanto es más ilustrativo para el niño.

Los motores de CD son muy económicos, se pueden encontrar en la mayoría de juguetes que se mueven, aunque tienen el inconveniente de que su velocidad de giro es muy rápida, y por lo cual muchas veces se requiere utilizar reductores de velocidad externos; este hecho añade un magnífico pretexto para el aprendizaje de los quebrados y de las razones y proporciones por parte de los niños.

Se optó también por la utilización del motor de pulsos, para contrastar su funcionamiento con el del motor de CD, y de este modo hacer énfasis en las cualidades de cada uno, así como su utilización en la vida cotidiana.

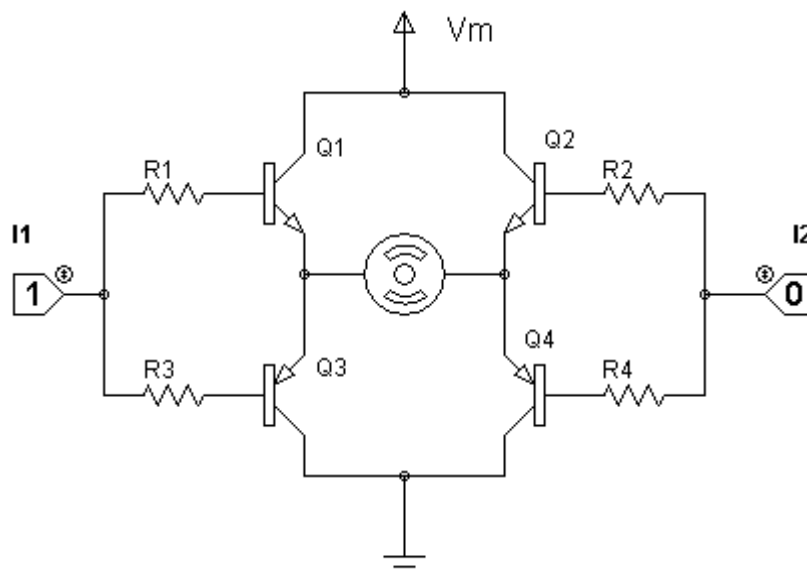
Para el control de los motores de pulsos es importante establecer una secuencia, lo cual se puede conseguir por medio de software, de un dispositivo programable, o bien, de un circuito integrado diseñado exprofeso para generar dicha secuencia, como es el caso del circuito L297, que es un controlador de motores de pulsos bipolares y unipolares. Lo único que requiere para su funcionamiento es la señal de reloj, una señal de sentido de giro y una señal de habilitación, entre otras. Este circuito no es más que un circuito secuencial de cuatro bits de salida.

Ya que se estableció el tipo de motores que se van a utilizar, ahora se requiere definir la etapa de potencia. Para su diseño se requiere garantizar tanto la intensidad de corriente como el voltaje de operación de los motores, sea cual sea el sistema de control de la interfaz que se considere.

Existe la configuración denominada puente H, la cual sirve para controlar el sentido de giro de un motor de CD además garantiza el suministro de la intensidad de corriente que requieren los motores tanto de DC como de pulsos.

El puente H consiste en cuatro transistores, ya sea TBJ o MOSFET, que trabajan en conmutación, y que se comportan como interruptores controlados por las señales que les llegan a sus bases o sus compuertas, tal como se muestra en la Figura 8.

Cuando se introduce a la entrada I1 una señal alta y a la entrada I2 un voltaje bajo, los transistores Q1 y Q4 (NPN y PNP) entran en saturación simultáneamente, mientras que Q2 y Q3 están en corte por ser de polaridad contraria (NPN y PNP, respectivamente). En estas condiciones el motor gira en un sentido.



*Figura 8 Puente H.*

Cuando se invierten las señales de entrada, es decir a I1 se introduce una señal baja y a I2 un voltaje alto, los transistores que se saturan son ahora Q2 y Q3, mientras que los que entran en estado de corte son Q1 y Q4. Esto hace que el motor gire en sentido contrario [3].

En el mercado existen circuitos integrados con dicha configuración. Entre los más conocidos están el L298 para voltajes menores de 48 V y hasta 2 A, el LMD18200 con capacidad de corriente de 3 A y voltajes hasta de 55 V; MC33887 de Motorola, 5 a 40 V TTL/CMOS. Además el L293D trabaja como tal, para voltajes hasta de 36 V con intensidades de corriente de 600 mA,

Lo que se necesita conocer, para definir qué puente H se debe elegir, es la intensidad de corriente de consumo, así como el voltaje de operación de los motores. Para circuitos de bajo consumo de intensidad de corriente (hasta 3 A), lo más conveniente es el empleo de circuitos integrados comerciales; de lo contrario, se requiere construirlo con elementos discretos tales como transistores de potencia.

### **3.1.2 Sensores digitales y analógicos**

Para que un robot sea más o menos autónomo, éste requiere un mínimo conocimiento de su entorno, y es por medio de diversos sensores es que lo logra, por tal motivo es importante elegir el tipo adecuado de sensores con los que se diseñará.

Para un buen control del robot, en la mayoría de los casos, debe ser capaz de obtener las lecturas de sensores en tiempo real, para que éste pueda tomar decisiones con respecto a su movimiento de inmediato.

Varios sensores analógicos tienen tres terminales de salida correspondientes a la polarización, la tierra y la señal de salida. Aprovechando esta característica, fue posible diseñar la interfaz de manera que fuera adaptable a varios tipos diferentes de sensores analógicos, por medio de la creación de entradas genéricas.

Para el caso de dichos sensores analógicos, se puede trabajar con rangos, con umbrales, o bien, realizar su conversión analógica digital, en cuyo caso se requiere un circuito convertidor. En caso de trabajar con umbrales es necesario un comparador, en el que se define un voltaje de referencia, de manera que la entrada es comparada con dicho voltaje, teniendo como salida un estado lógico bajo si la entrada se encuentra debajo de la referencia, o un estado alto si está arriba de ella. Es posible invertir dichas salidas, intercambiando las terminales de la señal de entrada y del voltaje de referencia.

Si con los sensores analógicos se pretende detectar ciertos rangos de valores, se requiere implementar más comparadores, uno por cada valor límite diferente, y la salida general se puede obtener por medio de un circuito combinacional que tome en cuenta las salidas de todos los comparadores.

Asimismo, algunos sensores digitales, tales como el fotointerruptor, también cuentan con terminales similares a los sensores analógicos. Sin embargo, existen

otros, como los interruptores de botón o los de palanca, que sólo requieren dos terminales para su correcto funcionamiento. Por consiguiente, para la construcción de la interfaz se consideraron entradas de dos terminales para este tipo de sensores.

### **3.1.3 Sistema de control**

Para definir cómo se implementará el sistema de control, se debe de tomar en cuenta una de las características establecidas para la interfaz: la comunicación con la computadora a través del puerto USB. Para ello es necesario un transceptor, que se encargue de realizar funciones tanto de transmisión como de recepción.

Tomando en cuenta esta consideración, se tienen al menos dos opciones: utilizar la computadora como interfaz gráfica y también como sistema de control, que envíe las instrucciones a cada uno de los elementos del hardware; o bien, utilizar la PC únicamente como interfaz gráfica y el sistema de control se encuentre en la propia interfaz.

Si se utiliza la computadora como sistema de control, se aprovecharía su procesador, aunque tendría varios inconvenientes, como podrían ser algunos problemas en el flujo de la comunicación, las interrupciones por procesos propios de la máquina, además de que su funcionamiento podría variar según las características de cada equipo.

La utilización de la PC únicamente como interfaz gráfica que provea las órdenes para que el dispositivo trabaje, y por consiguiente, implementar el sistema de control en dicha interfaz, utilizaría la comunicación con la PC únicamente cuando el usuario necesite modificar el comportamiento del robot que aquella tenga conectada. Para realizar esta opción, se podrían emplear dispositivos lógicos programables, FPGA o microcontroladores, entre otros dispositivos.

Los dispositivos lógicos programables son de gran utilidad para desarrollar funciones secuenciales, y los hay con diferentes características. En caso de que se utilicen para el sistema de control, es posible establecer las secuencias de los motores de pulsos, cambiar su sentido de giro y su velocidad, aunque ésta estaría limitada a dos o tres diferentes. También se puede controlar el sentido y la velocidad de motores de CD, por medio del diseño de un circuito generador de PWM, y de una señal de sentido de giro. Asimismo, es factible la adquisición de los datos de los diversos sensores conectados a la interfaz, y únicamente haría falta un transceptor que permita la comunicación con la PC.

El FPGA cuenta con un sistema de desarrollo con conexión USB, lo cual tendría la ventaja de que el transceptor y el sistema de control se podrían encontrar juntos en el mismo dispositivo. Dado que es un circuito con mayor nivel de integración que los PLD, se podrían realizar todas las tareas de la interfaz utilizando únicamente un solo dispositivo.

Es frecuente el uso del microcontrolador para el diseño de sistemas de control. Existe una amplia gama de integrados, por lo que se considerarán aquéllos que ya incluyan la comunicación por medio del puerto USB, que sean fáciles de conseguir, tanto el circuito como las herramientas de desarrollo, y que sus periféricos, y el tamaño de su memoria de programa sean los adecuados.

A continuación se mencionan los integrados de algunas compañías que se consideraron, ya que sus circuitos cumplen con varias de las características deseables.

Silicon Lab, cuenta con una gama de 16 microcontroladores con comunicación USB de las familias C8051F320/21 C8051F326/27, C8051F34x. En la Figura 9 se puede observar un diagrama de bloques donde se muestra su configuración. Son de bajo costo.

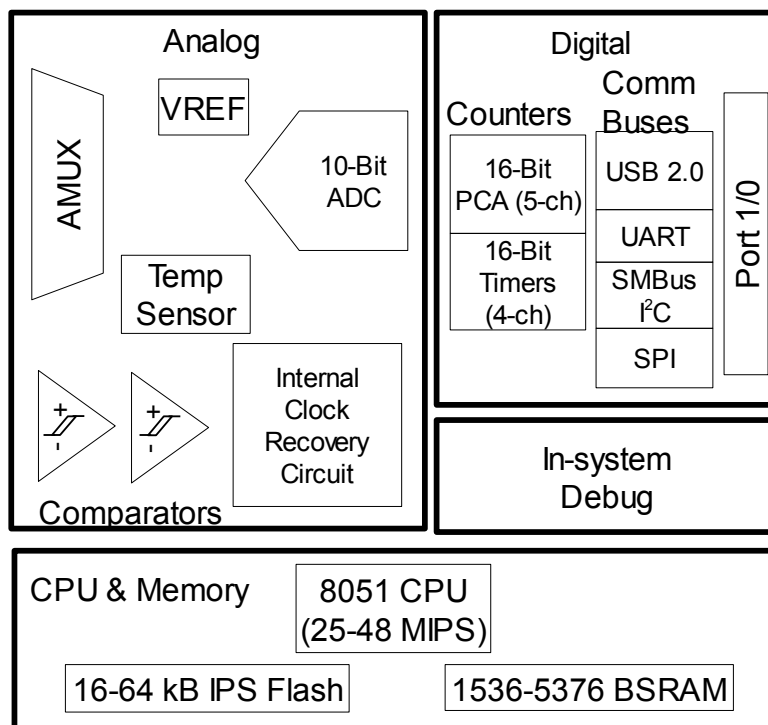


Figura 9 Diagrama de bloques de un microcontrolador de Silicon Lab.

ATMEL cuenta con una familia reducida de microcontroladores con comunicación USB, la familia AT90USBXXX, la cual puede ser una buena solución para este proyecto, ya que son accesibles, de bajo costo, y la compañía proporciona tutoriales.

Las especificaciones del circuito que se consideró de interés son las siguientes: memoria flash de programación de 8 kb, 512 b de SRAM, 512 b de memoria EEPROM, con la posibilidad de 16 millones de instrucciones por segundo (MIPS)



con un reloj de 16 Mhz, voltaje de operación de 2.7 a 5.5 V, aunque sólo es disponible en empaquetados TQFP32 y VQFN.

De la compañía Microchip existen más de 40 microcontroladores con opción de comunicación USB, con diversas características de memoria de programa, número de temporizadores, velocidad permitida en la transmisión, periféricos, número de instrucciones por segundo que pueden ejecutar, tipo de empaquetado y tipo de arquitectura.

Microchip proporciona documentos técnicos de sus microcontroladores en un lenguaje comprensible, el software para programarlo es gratuito, son compatibles con otros chips de la misma compañía, tienen soporte técnico, al ser ampliamente conocidos y usados, existen foros en Internet para poder compartir experiencias con otros programadores, además de su bajo costo.

En el mercado se pueden encontrar tarjetas de desarrollo, que permiten el control vía puerto USB de cierto número de entradas o salidas digitales. Pero el inconveniente de estas tarjetas es que recurrentemente no se llegan a ocupar todos los elementos que proporciona, por lo que dicha tarjeta es subutilizada, y su costo es relativamente alto para lo que se obtiene de ellos, por lo que una opción sería diseñar una tarjeta según las necesidades específicas de este trabajo.

Algo que se debe considerar en el diseño es minimizar tanto las fuentes de error como el número de circuitos integrados a utilizar, por lo cual no es conveniente la utilización del GAL, ya que se necesitarían varios de estos dispositivos para la implementación de la interfaz.

El empleo de un microcontrolador tendría la ventaja de disminuir el número de elementos así como las posibilidades de error, por lo que podría ser una buena opción, y sólo se necesitaría elegir el circuito que mejor se adapte a las necesidades de este proyecto.

### 3.2 ALTERNATIVAS PARA LA COMUNICACIÓN MEDIANTE EL USB

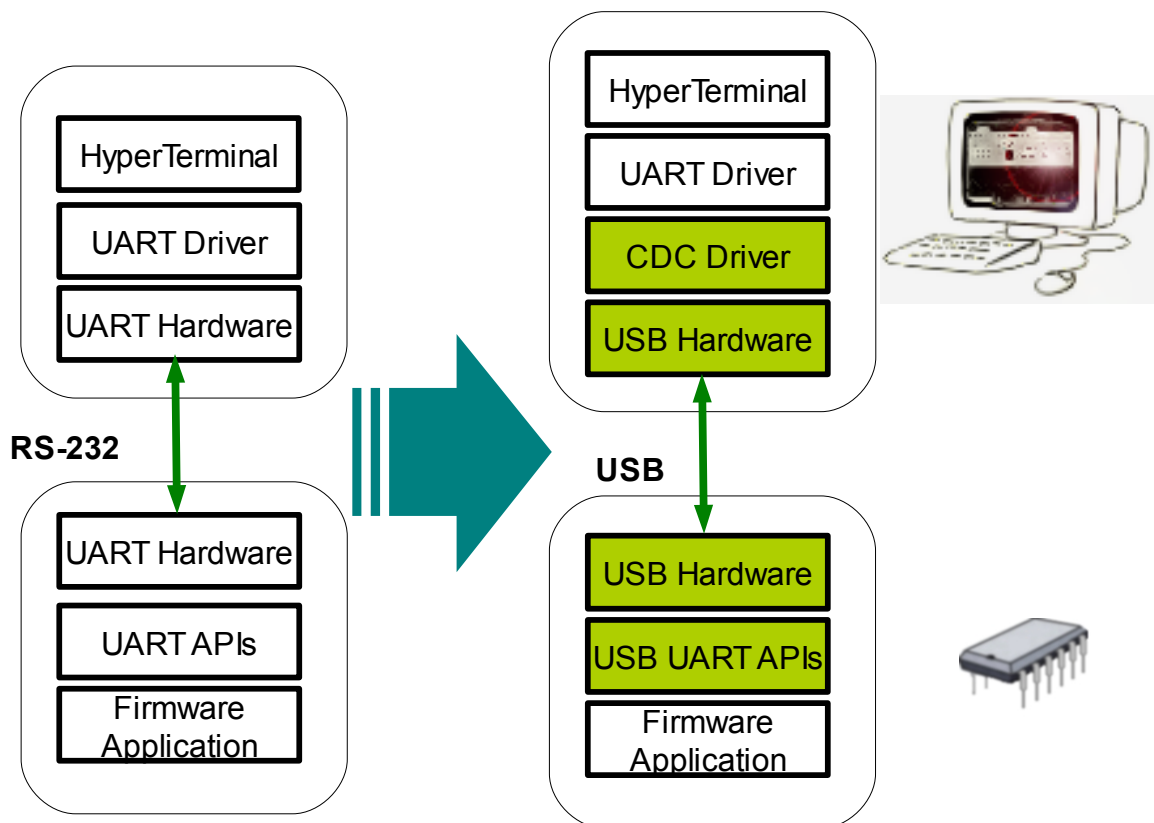
Sin duda la utilización del puerto USB no es sencilla, en comparación con el puerto paralelo o el serial. Una posibilidad sería la utilización del cable serial–USB, de tal forma que físicamente se utilizaría el puerto USB de la PC, pero con los protocolos de comunicación serial que son más sencillos. Comercialmente es fácil encontrar este tipo de convertidores, que poseen un conector DB–9 y trabaja con el estándar de comunicación RS–232. Cada una de las nueve terminales tiene una función específica: unas transmiten datos, otras los reciben y otras controlan la comunicación. En su versión más simple, se utilizan únicamente tres de estas terminales: *Received Data* RXD, *Transmitted Data* TXD, *Signal Ground* SG. Esta versión sirve para comunicarse con los microcontroladores o dispositivos que permitan sustituir el trabajo de las otras terminales de control de la comunicación por medio de software, el cual se encarga de controlar la transmisión enviando un bit de inicio y otro de paro.

Debido a que el protocolo de comunicación RS–232, no es compatible con entradas y salidas TTL, se requiere un circuito integrado capaz de acoplar las señales.

Para el empleo del cable convertidor USB–serial, se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La velocidad de transmisión es menor en el puerto serial que en el USB
- No se aprovechan las cualidades del puerto USB
- La creación de una conexión extra aumenta consigo posibilidades de error
- La gran ventaja que se tendría es que no se requiere un controlador de Windows para la interfaz electrónica
- El control por medio del puerto serial es muy conocido, y se puede realizar directamente sin la necesidad de un programa especializado. Se puede

utilizar la *Hyperterminal* de Windows, lo que serviría como sistema de prueba de la interfaz electrónica; además, existen bibliotecas en la mayoría de los lenguajes de programación para este puerto, lo que la hace una opción viable.



*Figura 10 Diagrama comparativo del protocolo RS–232 con la comunicación USB.*

En el diagrama de la Figura 10, se puede observar una comparación entre el protocolo RS–232 y la comunicación por el puerto USB.

La otra alternativa para establecer la comunicación es abordar la configuración del puerto USB y aprovechar sus cualidades, para lo que se debe realizar una búsqueda de los transceptores existentes en el mercado.

### **3.3 PROGRAMA DE APLICACIÓN**

Para el desarrollo del programa de aplicación se tomaron en cuenta las consideraciones que se mencionan a continuación.

Partiendo del concepto de que la programación es la actividad de representar ideas y procesos en algún lenguaje formal, la idea original del proyecto es la creación de un lenguaje de programación con el que se puedan dar instrucciones al robot diseñado por el niño, de manera directa, con lenguaje natural, que sea interactivo, intuitivo, gráfico y sencillo.

Con el fin de no retrasar el desarrollo del proyecto, se optó por la realización de un programa gráfico de aplicación, que sirva para verificar el funcionamiento de la interfaz electrónica.

Debido a que se trata de una interfaz con la posibilidad de interactuar con varias aplicaciones, el lenguaje debe ser de uso generalizado, preferentemente haciendo referencia a sus partes físicas, para lo cual es conveniente basarse en imágenes, dado que en la mayoría de casos se trata de un lenguaje nuevo para el niño, y con la finalidad de facilitar la comprensión de la interrelación de las interfaces física y gráfica.

El usuario, a través de esta aplicación, podrá controlar los parámetros de cada uno de los elementos de la interfaz, que para el caso de los motores serían su sentido y velocidad de giro, así como su estado de encendido–apagado, y para los sensores sería su lectura. Se pretende que se puedan ejecutar procesos en paralelo y de forma independiente.

C. Luden en su libro “Lenguajes de programación: principios y práctica” [5] , señala una serie de características deseables en los lenguajes de programación, hace una reseña de los principales lenguajes y señala cómo cumplen o violan estas

recomendaciones, por lo que recalca que son características deseables y no forzadas, y por tanto, se deben de considerar a la hora de tomar las decisiones. Dichas características son las siguientes: eficiencia, expresividad, capacidad de mantenimiento, legibilidad, confiabilidad, seguridad, simplicidad, y capacidad de escritura. Todas ellas están de una u otra manera relacionadas con la eficiencia y se refiere a ella en cada una de las tareas del lenguaje de programación: en la ejecución del programa, en el código, en la traducción y en la programación.

La interfaz, al ser una herramienta para la robótica pedagógica, será considerada como material didáctico, y como tal debe de cumplir ciertas características para su mejor aplicación. Es por esta razón que para el diseño del programa se tomaron en cuenta algunas consideraciones de un buen material didáctico:

- Cree situaciones atractivas de aprendizaje
- Facilite la apreciación del significado de sus acciones
- Prepare el camino para nociones valiosas
- Dependá de la percepción de imágenes visuales
- Sea polivalente.

Tomando en cuenta tanto las necesidades del proyecto como las características deseables de un lenguaje de programación y las consideraciones para un buen material didáctico, se procedió al diseño de la aplicación, que se presenta con todo detalle en el Capítulo 5.