

CAPÍTULO 2

ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE LA INTERFAZ ELECTRÓNICA

2.1 ELEMENTOS DE UN ROBOT

Existen varias definiciones de lo que es un robot. Para este trabajo, la que mejor se adapta es la siguiente: *“Un robot es un dispositivo mecánico, equipado con actuadores y sensores bajo el control de un sistema computacional, el cual opera en un espacio de trabajo dentro del mundo real. El robot realiza tareas por medio de movimientos controlados en tal espacio de trabajo”* [1].

En lo que la mayoría de definiciones coinciden, es en los elementos que conforman a los robots: el sistema mecánico, los actuadores, los sensores y el sistema de control.

2.1.1 Sistema mecánico

El sistema mecánico se considera la estructura sobre la cual estarán colocados los demás elementos del robot, por lo que se requiere, por una parte, que proporcione rigidez para evitar inestabilidad y deformaciones, y por otra, que permita el libre movimiento cuando así se requiera; tal es el caso en las articulaciones.

Para el diseño del sistema mecánico se debe de considerar la selección de materiales; en general, se recomienda que sean ligeros y que posean propiedades mecánicas que minimicen su deformación.

2.1.2 Actuadores

Un robot utiliza dispositivos que generan fuerza, los cuales le sirven para la locomoción o la manipulación. La locomoción se refiere al desplazamiento de todo el robot; la manipulación es la acción que realiza el robot para interactuar sobre objetos del medio ambiente.

Tanto para la locomoción como para la manipulación, se necesita el empleo de *actuadores*; los hay neumáticos, hidráulicos y eléctricos; estos últimos son los que se emplean frecuentemente en los robots móviles.

2.1.3 Sensores

Los robots pueden tener dos clases de sensores, los internos y los externos. Los internos son aquéllos que le indican al robot en qué estado se encuentra, y son esenciales si se requiere un control de precisión del robot. Para obtener datos del entorno, se utilizan los sensores externos, y depende del diseñador elegir el tipo de sensores de acuerdo a la tarea que el robot realizará.

Existe una gran variedad de sensores, según la variable física que se requiera medir; los hay de posición, distancia, velocidad, aceleración, temperatura, presión, fuerza, flexibilidad en los materiales, luz, sonido, humedad, entre otros.

2.1.4 Sistema de control

El sistema de control es el que se encarga de regular los movimientos del robot, así como todo tipo de acciones como los cálculos y los procesos de la comunicación.

El sistema de control se puede diseñar con circuitos integrados sencillos o con dispositivos muy sofisticados. La selección depende de la complejidad del control, del número de elementos en la interfaz, las variables a controlar o el tipo de sensores, entre otras consideraciones.

2.2 ROBOTS PEDAGÓGICOS

Con base en la definición general de robot y sus partes constitutivas, es posible introducirse al caso particular del robot pedagógico.

“Un robot pedagógico es un dispositivo tecnológico construido exprofeso, que cumple con los principios de la robótica pedagógica y que tiene propiedades educativas que enriquecen los entornos de aprendizaje, favoreciendo los procesos cognoscitivos de los estudiantes de distintas edades y niveles educativos, durante su iniciación en el estudio de la ciencia y la tecnología” [2].

Un robot pedagógico consta de cuatro sistemas: mecánico, eléctrico, electrónico e informático.

El sistema mecánico es el soporte físico del robot, sobre el que van montados sus demás elementos. En su diseño se deben considerar las articulaciones que tendrá así como la colocación de motores y los sensores, de tal manera que permita su

libre movimiento y a la vez que sea robusto. En la robótica pedagógica esta parte es sumamente importante, ya que es en la que el niño participa de manera directa en el diseño y la construcción del robot. Los materiales ocupados para la elaboración del sistema mecánico pueden ser muy variados, desde materiales de recuperación como cajas, envases, envolturas, hasta estructuras mecánicas diseñadas para construcción y modelado de juguetes como Mecanos, piezas de ensamble tipo Lego o de Fischertechnik, entre otras marcas existentes en el mercado.

El sistema eléctrico al que hace referencia la robótica pedagógica lo constituyen motores, y en algunos casos también a sus controladores.

Con respecto al sistema electrónico de la robótica pedagógica, se consideran los sensores, los convertidores y las interfaces y sistemas de control externos a la PC.

La comunicación entre el niño y el robot es fundamental para el control de este último por parte del primero; se ha utilizado para ello el puerto paralelo, en la mayoría de los casos, así como diferentes lenguajes de programación, algunos muy específicos para niños como es el caso de LogoObjeto, el cual brinda características importantes desde el punto de vista didáctico-pedagógico, y otros más avanzados como Basic y C. Lo anterior corresponde a la parte del sistema informático de la robótica pedagógica.

2.3 MOTORES UTILIZADOS EN LA ROBÓTICA MÓVIL

De los motores eléctricos, los más utilizados en la robótica son el motor de CD, el motor de pulsos y el servomotor.

2.3.1 Motor de CD

El funcionamiento del motor de CD se basa en el principio de la ley de Lorentz: por un conductor por el que circula una intensidad de corriente y que está colocado dentro de un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la intensidad de corriente.

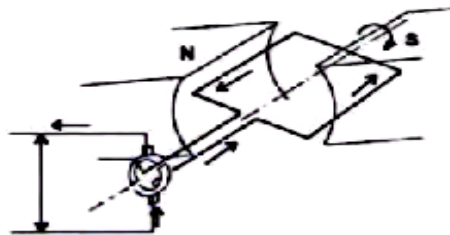


Figura 1 Principio de funcionamiento del motor de CD.

En la Figura 1 se muestra una espira de alambre inmersa en el campo magnético producido por un imán permanente fijo, y a la que se le aplica una intensidad de corriente lo que causa su giro.

En el motor de CD se aprovecha y multiplica este fenómeno, ya que son varios los alambres conductores que conforman al rotor, propiciando su giro continuo.

A este tipo de motores se les puede controlar la velocidad y el sentido de giro, en tanto que la posición angular de su eje de rotación no se puede controlar, al menos directamente.

La velocidad del motor depende de la tensión aplicada a sus terminales: para que comience a girar se requiere una tensión mínima, y al incrementarla, la velocidad también aumentará, siempre y cuando no exceda la tensión permitida. Existe otro modo de controlar la velocidad que es con la modulación por ancho de pulso, o PWM, por las siglas en inglés de *Pulse Width Modulation*; se envía a las terminales

del motor un tren de pulsos de frecuencia fija (del orden de 1 khz), cuyo ciclo de trabajo se controla, con objeto de producir un efecto similar a la variación del voltaje.

En cuanto al sentido de giro del motor, éste depende de la polaridad del voltaje que se aplica a sus terminales, por lo que para cambiar dicho sentido basta con intercambiar las terminales del motor, o bien, cambiar la polaridad de la alimentación. Sin duda la segunda opción es más fácil de realizar, y la manera usual de efectuarlo es con un arreglo de transistores conocido como puente H.

Existen varias maneras indirectas de conocer la posición de la flecha del motor: con potenciómetros acoplados al eje, detectores magnéticos, capacitivos u ópticos, entre otros. Los ópticos son de los más utilizados y consisten en un emisor y un detector de luz, entre los que gira un disco acoplado al eje del motor. El disco tiene zonas opacas y transparentes por las que bloquean o dejan pasar el haz de luz del emisor al detector, provocando pulsos eléctricos. Entre más de dichas zonas tenga, mayor es la resolución de posición angular que se obtiene. Los datos capturados por medio de los pulsos eléctricos sirven para conocer el sentido y el ángulo girado por el rotor; si se requiere que el sistema de control utilice esta información, se debe establecer su retroalimentación, obteniendo así un control en lazo cerrado.

2.3.2 Motor de pulsos

Un motor a pulsos consta de dos partes principales: el rotor y el estator (Figura 2). El rotor es la parte central del motor, conformada generalmente por un imán permanente, dentado, y que gira debido a que el estator tiene bobinas que cuando se excitan adecuadamente, generan un campo electromagnético que produce el movimiento del rotor en alguna dirección.

Lo anterior implica que para que el motor dé un paso, basta excitar a una combinación determinada de bobinas, enviando a cada una de ellas un pulso eléctrico [3].

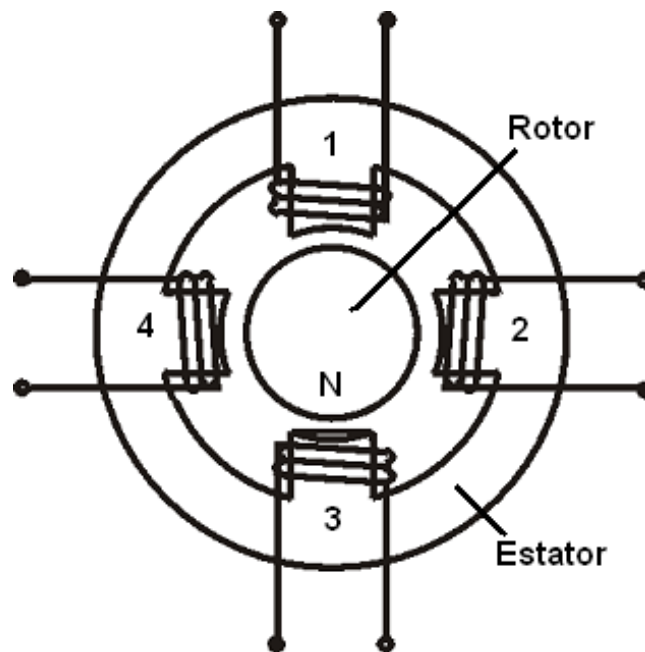


Figura 2 Motor de pulsos.

Cada pulso provoca la rotación del rotor del motor en un incremento de ángulo preciso, denominado paso. Debido a ello se puede controlar en lazo abierto, siempre y cuando la carga no afecte su giro, ya que en todo momento se puede conocer su posición angular con base en el número de pulsos enviados al motor.

Los parámetros que se deben de considerar para el diseño de circuitos de control del motor de pulsos son: par dinámico de trabajo, ángulo de paso, el número de pasos por vuelta, frecuencia de pulsos máximo, par de mantenimiento, debido a que varían dependiendo del fabricante.

2.3.3 Servomotores de modelismo

El servomotor de modelismo es un motor de CD con reducción de velocidad y control incluido, el cual permite posicionar la flecha del motor en un ángulo no mayor a 180°, en la mayoría de los casos [3]. Además de las dos terminales del motor de CD, tiene una tercera terminal por la que se introduce una señal de PWM con la que se determina la posición de la flecha del motor, que depende del ancho de pulso de dicha señal. La relación del ancho de pulso con la posición de la flecha depende del fabricante. Dado que el circuito de control del motor está incluido en el servomotor, su costo es mayor que el de un motor de CD.

2.4 CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE SENSORES

Debido a que la interfaz, objeto de este trabajo, debe ser flexible para poder adaptarse a varias aplicaciones, es necesario analizar cuáles sensores tienen características de conexión similares, con objeto de que a una misma entrada se pueda conectar cualquiera de ellos.

El criterio para la selección de los sensores es considerar aquéllos que son más usados en los robots pedagógicos, que sean sencillos de utilizar, que sean para uso rudo, y conviene no perder de vista uno de los objetivos comunes a cualquier diseño que es la economía.

En primera instancia, se descartaron los que son sofisticados o nuevos en el mercado, o su costo es elevado, y después, aquéllos con aplicaciones muy específicas.

A continuación se presenta un resumen de los sensores que son más utilizados en la mini robótica, y los cuales se pueden tomar como referencia para diseñar la interfaz.

Los sensores de luz son muy empleados. El LDR (*Light Dependent Resistor*) es un resistor que varía su resistencia eléctrica en función de la luz que incide sobre su superficie: mientras mayor sea la intensidad de luz que incida en la superficie del LDR, menor será su resistencia, y a menor intensidad de luz incidente mayor será dicho valor.

Los módulos integrados de sensores fotorreflectivos y de ranura son frecuentemente utilizados en los robots móviles, y su principio de funcionamiento es muy similar: ambos tienen una fuente luminosa (led infrarrojo) y un receptor (fototransistor), y los cuales se muestran en la Figura 3.

En el sensor fotorreflectivo el led infrarrojo y el fototransistor se encuentran en el mismo plano, y para que este último se active con la luz emitida por el led infrarrojo, debe colocarse una superficie que refleje dicha luz. Este tipo de sensor puede servir para detectar objetos; la distancia de detección suele variar dependiendo del dispositivo: el CNY70 (de Telefunken) funciona para distancias de 0 a 5 mm aproximadamente; el GP2D02 (Sharp) es capaz de detectar objetos a 0.80 m de distancia.



Figura 3 Sensor fotorreflectivo y fotointerruptor.

En el caso del sensor de ranura, llamado también fotointerruptor, los elementos se encuentran alineados de tal manera que el haz del led infrarrojo siempre está activando al fototransistor, a menos que un objeto se interponga entre ellos.

Un elemento que puede servir para determinar la posición angular de un mecanismo es el potenciómetro rotacional, el cual se trata de un resistor variable cuyo valor depende de la posición en que se encuentre su cursor.

Un dispositivo que permite interactuar con el exterior es el interruptor, que también se puede considerar como sensor; existe una amplia gama de ellos y uno de los más utilizados es el interruptor de palanca, que se trata de un conmutador de dos posiciones con muelle de retorno a la posición de reposo y con una palanca de accionamiento más o menos larga, según el modelo elegido. Es empleado como sensor de detección de obstáculos, ya que a la hora de chocar con el obstáculo es cuando se activa, aunque este método es algo primitivo, considerando que existen sensores capaces de detectar objetos sin tener contacto físico con ellos.

Existen interruptores de efecto Hall, que aprovechan las propiedades magnéticas de los materiales y se activan con la presencia de un campo magnético. Si no hay campo magnético aplicado, la tensión en la salida es de la mitad del voltaje de alimentación; si se acerca al sensor el polo sur de un elemento magnetizado, la tensión de salida aumenta, en cambio, si se acerca el polo norte, el voltaje de salida disminuye.

Otra aplicación de los sensores de efecto Hall consiste en la detección de materiales ferromagnéticos, utilizándose como sensor de proximidad. Este tipo de sensores suelen constar de un elemento conductor o semiconductor y un imán.

Entre los sensores de temperatura, uno de los más comerciales es el circuito integrado LM35, que además de económico cuenta con una resolución de 1°C y un rango de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$, características aceptables para aplicaciones simples. La temperatura medida es linealmente proporcional a la tensión eléctrica en sus terminales de salida y con un factor de escala de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

2.5 CONVERTIDOR ANALÓGICO–DIGITAL

Algunos de los sensores obtienen lecturas analógicas y otros digitales. Se desean procesar señales analógicas con una PC, usualmente se requiere efectuar una conversión analógica–digital, para lo cual existen diferentes circuitos integrados, algunos dedicados únicamente a esta tarea, y otros con más funciones. Una de las características importantes que se requiere establecer para la conversión analógica–digital es el número de bits de resolución que se requiera obtener para el procesamiento posterior de los datos con la PC.

2.6 ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE CONTROL

El control puede ser tan sencillo o tan complejo como se desee. Puede realizarse con algún circuito lógico programable, o con algún microcontrolador.

2.6.1 Circuitos lógicos programables

Los dispositivos lógicos programables o PLD, por las siglas en inglés de *Programmable Logic Device*, favorecen la integración de varios diseños lógicos en un solo circuito integrado. Los PLD no tienen una función establecida de origen, sino que el usuario debe programarla mediante software especializado.

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado diversos circuitos PLD, que varían en sus características, su arquitectura y su escala de integración.

Los PLA (*Programmable Logic Array*), los PAL (*Programmable Array Logic*) y los GAL (*Generic Array Logic*), están formados por arreglos o matrices de compuertas y pueden reemplazar a circuitos digitales de pequeña y mediana escala de integración.

Todos los PLDs integran en sus circuitos dos arreglos denominados AND y OR, con los cuales es posible el diseño de circuitos combinatoriales y secuencias sencillos.

El PLA está formado por un arreglo AND y otro OR ambos programables. En la figura 4 se puede observar un esquema con tres entradas y dos salidas, cuatro compuertas AND cuyas entradas se pueden configurar y dos compuertas OR también con entradas configurables.

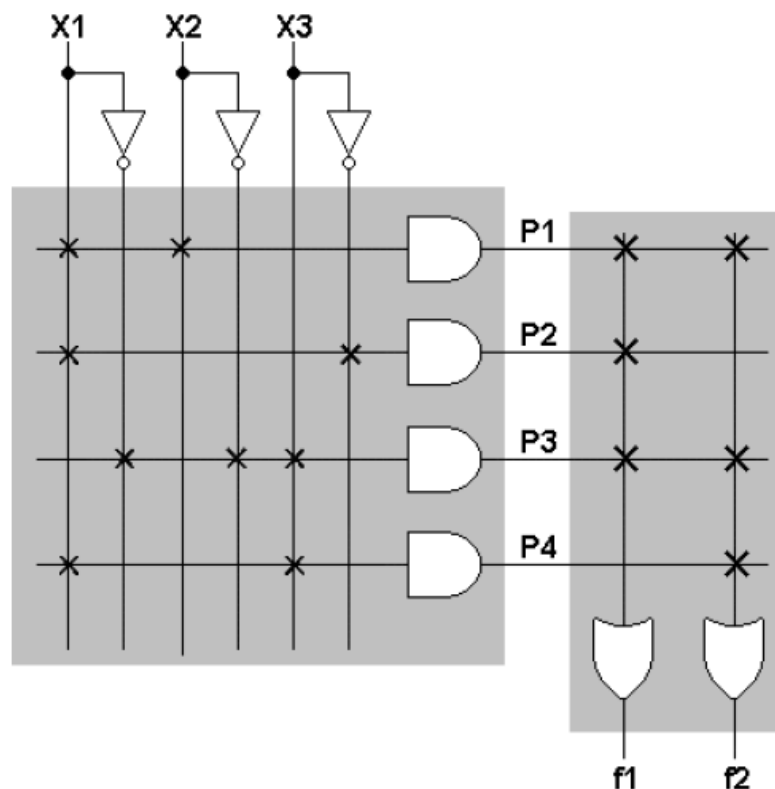


Figura 4 Compuertas AND Y OR con entradas configurables [8].

En cuanto al PAL y al GAL, el arreglo AND es programable y el OR es fijo, tal como se muestra en la Figura 5. Aunque el GAL y el PAL son similares, aquél es reprogramable debido al uso de la tecnología EECMOS, por las siglas en inglés de *Electrically Erasable Complementary Metal Oxide Semiconductor*.

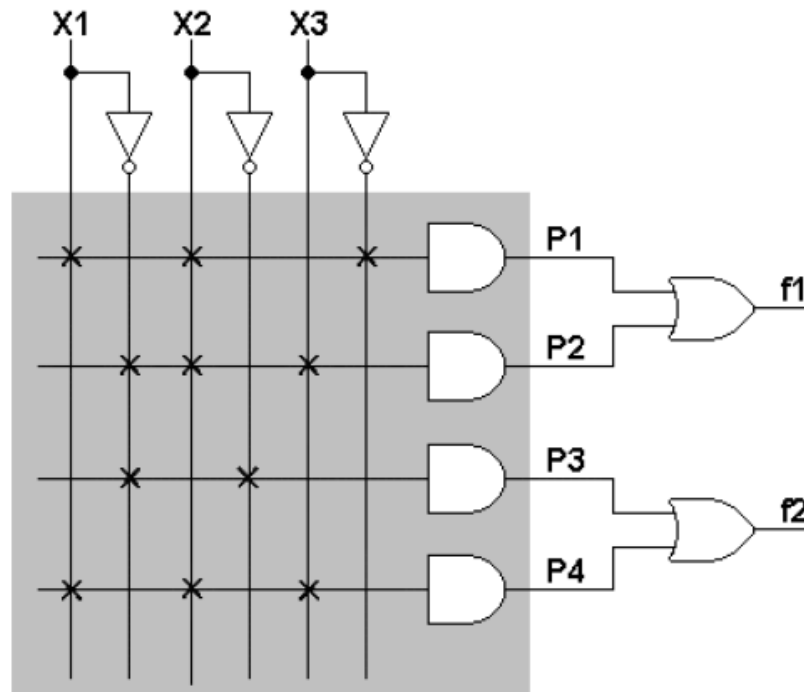


Figura 5 Compuertas AND configurable Y OR fija [8].

El CPLD, o dispositivo lógico programable complejo, por las siglas en inglés de *Complex Programmable Logic Device*, consiste en un arreglo de múltiples PLD agrupados en un solo circuito integrado. Se encuentra estructurado mediante bloques lógicos configurables, y tiene aplicaciones de mayor magnitud con respecto a las del GAL, ya que es equivalente a decenas de miles de compuertas lógicas.

El FPGA, por las siglas en inglés de *Field Programmable Gate Array*, o Arreglo de Compuertas Programables en Campo, es decir, que se programan en la aplicación y no de fábrica, contiene tres tipos de elementos programables: bloques de lógica configurable (CLB), bloque de entrada/salida (IOB) e Interconexiones programables. Los bloques de lógica constan de una sección lógica y registros de almacenamiento, pueden trabajar con multiplexores o con tablas que se almacenan en memoria, y en los que se puede implementar cualquier función booleana. En la

Figura 6 se observa la distribución que tienen estos dispositivos de la compañía Xilinx; para el caso de dispositivos de otras compañías, la distribución cambia aunque no sus elementos.

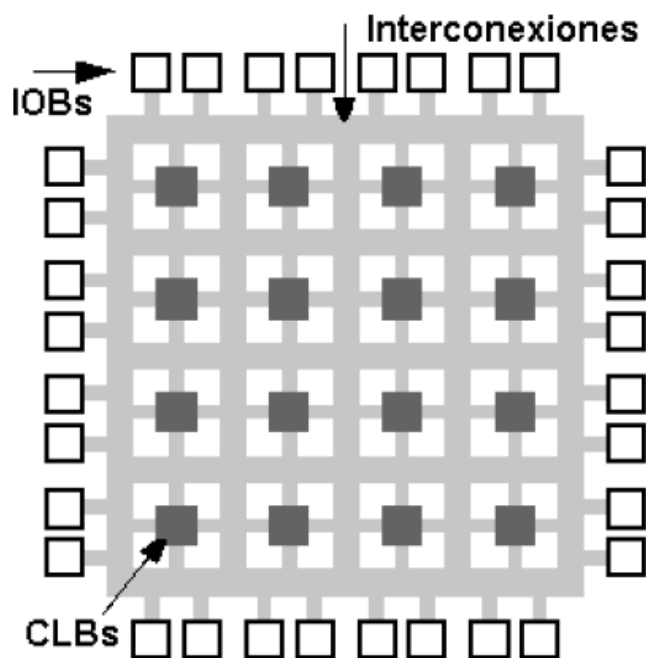


Figura 6 Diagrama de un FPGA [8].

La amplia posibilidad de interconexiones y los miles de bloques configurables, le confiere al FPGA una gran flexibilidad y complejidad en los diseños. Este circuito puede sustituir a cientos de miles, o hasta millones, de compuertas lógicas.

2.6.2 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable y con una estructura preestablecida, que cuenta con una unidad de control con sus diferentes elementos: registros de datos, contador de programa, decodificador de instrucciones y registro de instrucciones. Este dispositivo ejecuta un programa en código máquina propio de cada procesador, que se haya guardado en su memoria.

Además, puede contener componentes extra, llamadas también unidades funcionales, como un convertidor analógico–digital, comparadores, módulos de comunicación, moduladores PWM, que son de gran ayuda para realizar una tarea determinada. La utilización de un microcontrolador en un diseño reduce notablemente el número de componentes, y por tanto el número de fallas, así como el tamaño físico del circuito que se desea diseñar.

2.7 CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNICACIÓN POR MEDIO DEL USB

Además del diseño de la interfaz electrónica para el control de robots pedagógicos, se requiere que el usuario tenga una interfaz visual en la PC, por medio de la cual pueda enviar y recibir datos tales como parámetros de control y señales de los sensores, por lo que se debe de considerar la comunicación con la PC como una parte importante del sistema de control.

La comunicación entre el robot y la computadora puede ser alámbrica o inalámbrica, pero es recomendable que exista un vínculo físico entre ambos por razones pedagógicas, ya que esto permite al niño comprender la relación acción–objeto, y que no lo vea como algo mágico. En etapas posteriores de aprendizaje, sería muy útil el hecho que fuera inalámbrico, ya que tiene ventajas con respecto al alámbrico, sobre todo de movilidad.

Para la comunicación alámbrica la alternativa viable es por medio del puerto USB, ya que en la actualidad todas las computadoras cuentan con más de uno, y que los puertos paralelo y serial tienden a desaparecer.

Se describirán brevemente las características de la comunicación por USB, así como su funcionamiento, las cuales se tomarán en consideración para el diseño de la interfaz.

Características del puerto USB

- Permite a los dispositivos conectarse y desconectarse sin necesidad de reiniciar el equipo (Plug&Play).
- La velocidad puede ser 1.5 Mbps (*low speed*), 12 Mbps (*full speed*), ó 480 Mbps (*high speed*).
- Puede suministrar hasta 5 V con una intensidad de corriente de 500 mA a los dispositivos que se le conecten.
- Consiste en un par de cables (D+ y D-) por los que se transmiten los datos, además de los cables de alimentación de 5 V y “tierra”, que garantizan una transmisión con cables cuya longitud sea de hasta de 5 metros.
- Para que Windows reconozca y pueda establecer la comunicación con el dispositivo USB, se requiere un programa controlador, conocido como *driver*, desarrollado exprefeso para dicho dispositivo. Existen dispositivos con características comunes que utilizan la misma forma de comunicarse con el entorno, a la agrupación de estos dispositivos se le denomina clase. Si un dispositivo USB es parte de alguna clase predefinida, el sistema operativo tendrá listo un controlador para la interfaz, y no será necesario desarrollar ningún controlador para este dispositivo. Entre las clases más utilizadas están: HID (*Human Interfaz Device*) utilizada en mouses, teclados, joystick, por mencionar algunos; MSD (*Mass Storage Device*) utilizadas en el almacenamiento de la información; CDC (*Comunication Device Class*) utilizada en dispositivos empleados para establecer comunicación como modems.
- EL sistema USB permite una estructura de conexión tipo árbol, donde existe un solo *Host*. El *Host* es un sistema completo que incluye tanto software como hardware, encargado de *detectar la inserción o desconexión de*

dispositivos USB, gestionar el flujo de control y de datos entre él y los dispositivos, coleccionar estadísticas de actividad y estado, y proveer una cantidad limitada de energía a los dispositivos conectados [4]. Al Host se le pueden conectar uno o más Hubs, los cuales son utilizados para conectar más dispositivos y así tener la posibilidad de crecer la estructura, como la que se muestra en la Figura 7. Se pueden conectar hasta un total de 127 dispositivos USB, cada uno con las mismas prestaciones,

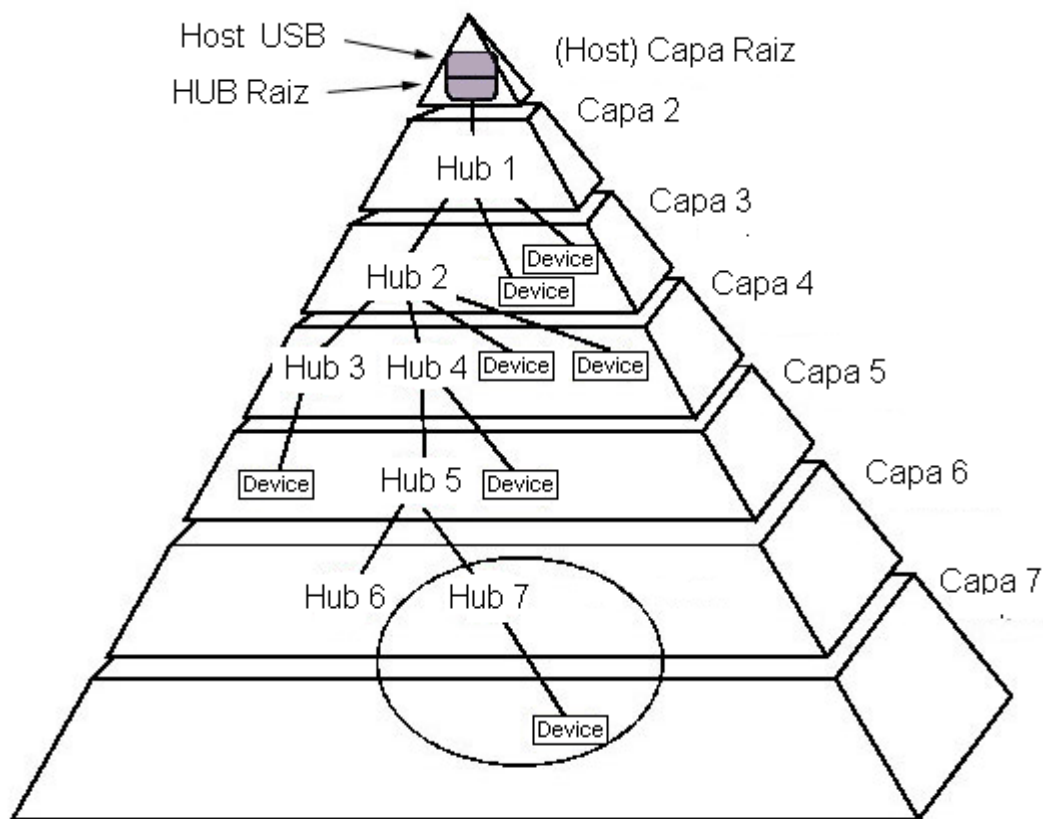


Figura 7 Estructura del USB.

- El USB es un bus punto a punto, con inicio en el Host y fin en un dispositivo o *Hub*. El dispositivo no puede iniciar ninguna transmisión si no es requerida por el *Host*.

- Los dispositivos USB, deben contener los descriptores que permitan al Host identificarlos. La información contenida en dichos descriptores determina el tipo de transmisión que se permite, la máxima velocidad de transmisión, el número de terminales (*endpoints*), entre otros datos. Un *endpoint* es un espacio de memoria dentro del dispositivo donde se almacena información [4]. Un *endpoint IN* es un generador de datos, mientras que un *endpoint OUT* es un consumidor de datos. Un dispositivo común puede requerir varios *endpoints* para poder crear un esquema eficiente de transferencia de datos.
- Cuando se conecta un dispositivo al *Host* se inicia una enumeración, en la cual se interroga al dispositivo sobre sus características principales a través de los descriptores del dispositivo, después le asigna una dirección, carga el controlador y permite la transmisión de datos. Este proceso de enumeración es una actividad continua y es desarrollada por el programa controlador en el Host.
- Una información fundamental es el *Vendor IDentificator* (VID) que consiste en un número para identificar al fabricante, y el *Product IDentificator* (PID) número para identificar al tipo de dispositivo, los cuales son necesarios para que el controlador del sistema operativo lo reconozca.