

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO PARA TOCAR UNA BATERÍA DE MÚSICA

Cela Rosero Andrés Fernando, Ing.
Nelson Gonzalo Sotomayor Orozco, MSc

Escuela Politécnica Nacional

1. RESUMEN

En este trabajo se ha diseñado y construido un sistema robótico capaz de tocar cuatro ritmos de música en una batería, cada ritmo contiene dos remates, además se pueden programar mediante pentagrama musical dos ritmos y cada uno con dos remates distintos.

Se utilizó para la interfase una pantalla gráfica GLCD, la cual permite un uso realmente fácil del sistema, ya que en ésta aparece en forma simple lo que el usuario debe hacer. Como actuadores se han usado contactores que se han acoplado para tener un actuador por cada instrumento que compone la batería musical, en total se tienen seis actuadores con posibilidad de conectar dos más.

Como parte importante de la interfase se tiene tres pedales que son: S2, PD1 y PD2, éstos permiten el inicio o finalización del ritmo y tocar los diferentes remates. El diseño de la interfase juntamente con los pedales se han elaborado basados en los sistemas de pedales para guitarras eléctricas, así, una vez que el usuario ha seleccionado el ritmo y la velocidad, puede controlar el inicio y remates usando solamente los pies, teniendo libertad de usar sus manos para otra labor.

Para el control tanto de la interfase como de los actuadores en sí se han usado dos microcontroladores, el Atmega 32 y el Atmega 8. Estos dos microcontroladores son nuevos en el mercado y presentan algunas facilidades de uso, además de ser económicos.

La pantalla GLCD, de 128 por 64 píxeles, permite presentar al usuario un menú fácil de manejar, además, en ésta se puede dibujar el pentagrama en el cual se programan los ritmos.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se puede observar a nuestro alrededor y notar que muchas de las cosas que diariamente se usan están en proceso de

automatizarse o ya lo están. Desde el hogar, como son: la cocina, el refrigerador, la tostadora, etc., hasta las puertas eléctricas, reconocimiento de voz, reconocimiento de huellas digitales, en todo esto se ha visto la creciente demanda de comodidad de los seres humanos.

Uno de los grandes dones que tiene el ser humano es la apreciación de los diferentes sonidos de la naturaleza, así se ha formado la música dependiendo de la región y la época en la que la persona se desarrolla. Hoy en día la mayoría de seres humanos se inclinan por ciertos tipos de ritmos, cantantes e instrumentos y se forma en la mente el tipo y calidad de música deseada.

La automatización también se ha abierto camino en el medio musical, así se puede apreciar en los medios de comunicación como se van desarrollando sistemas robotizados que tocan ciertos instrumentos de música, obviamente aún no lo hacen con la calidad que lo haría un ser humano ya que estos sistemas aún no cuentan con la llamada "improvisación" que es propia del ser humano, un músico estará de acuerdo en esto porque conoce que para tocar un instrumento se necesita a más de la habilidad de entonarlo, la capacidad de ser creativo en el momento de hacerlo.

3. BATERÍA DE MÚSICA

Una Batería de música es un conjunto de instrumentos de percusión a los cuales a través de la historia se los han ido modificando y mejorando sus características acústicas legando así a obtener hoy en día las baterías electrónicas, las cuales permiten tener una amplia gama de sonidos casi reales. Así se tiene dos tipos principales de baterías de música, electrónicas y acústicas.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



Figura 1. Batería acústica

COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA BATERÍA

Existen componentes acústicos como son: Bombo (1), Timbales aéreos (toms) (4), Timbal base (Tom de piso) (2) y Caja (tarola) (3).

También constan de accesorios como son: Pedal de bombo, Pie de plato (6) Pedal Charles/Hit-Hat (5), Baquetas, etc., los cuales se observan en la Figura 2 [5].

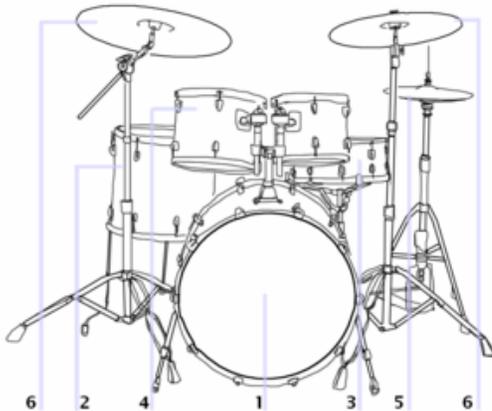


Figura 2. Componentes de una batería de música

BOMBO

Éste se percute con el pedal de bombo, y produce un sonido bajo, es el elemento más grande que compone la batería.

TOMS

Éstos producen sonidos más altos que el bombo, en general son dos y permiten combinar sus sonidos con

los sonidos de los demás componentes. El sonido de cada tom es diferente y dependen del tamaño de su caja. Se colocan sobre el bombo, en muchos casos se usa un solo tom.

TOM DE PISO

Puede ser uno o dos y produce sonidos más graves que los timbales aéreos, generalmente se colocan al lado derecho del bombo.

CAJA

Ésta produce un sonido diferente a los timbales ya que consta de una malla de resortes estirados que hacen contacto con la membrana inferior al golpearse la membrana superior, existen muchas variaciones en su sonidos dependiendo de su construcción. Se coloca frente al percusionista, ya que la caja produce el sonido principal en muchos de los ritmos.

PEDAL CHARLES/HIT-HAT

Éste es un pedal especial, en su parte superior tiene dos platillos que se golpean entre sí al aplastar el pedal, éste produce sonidos agudos.

PEDAL DE BOMBO

Permite percudir al bombo con el pie.

PIE DE PLATO

Sostiene el platillo que se coloca sobre éste, los platillos pueden ser: Crash, Ride, Splash, etc..

BAQUETAS

Permiten percudir cualquier componente de la batería, existen muchos tipos los cuales permiten que los elementos produzcan sonidos diferentes al ser golpeados.

PARTITURAS PARA PERCUSIÓN MAYOR

Se llama comúnmente percusión mayor a la batería en sí. El material de estudio de un baterista está basado en partituras.

Una partitura es un conjunto de líneas paralelas, siendo generalmente cinco, en las cuales se colocan las diferentes notas musicales, esto permite escribir la

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

música y también proceder a la interpretación por cualquier persona que pueda leer pentagrama.

Se observa en la Figura 3 la posición en el pentagrama de los diferentes elementos que componen una batería de música.

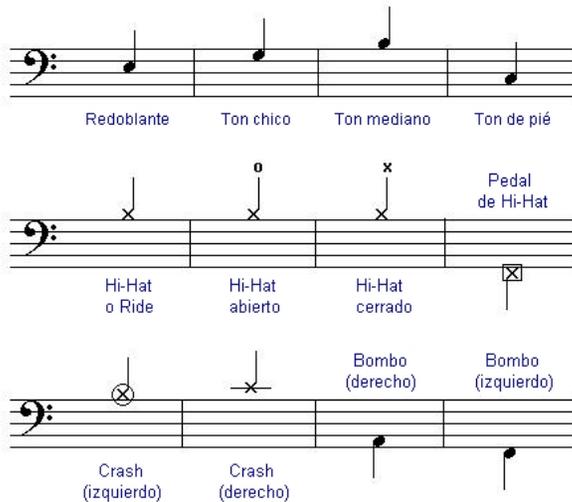


Figura 3. Posición de los elementos de la batería en pentagrama, tomado de [8]

Hay que notar que cada elemento tiene su lugar determinado en el pentagrama, en general la ubicación es estándar, pero un autor o baterista puede variar la posición del elemento en el pentagrama cuando lo crea necesario, pero casi siempre se aclara el tipo de notación usada. Cuando se tiene elementos que no están dentro de lo estándar se agregan líneas adicionales en el pentagrama.

4. DISPOSITIVOS USADOS PARA EL PROYECTO

Fueron seleccionados diferentes dispositivos electrónicos para el desarrollo de este sistema siendo los principales la pantalla gráfica KS – 108, los microcontroladores Atmega de la familia AVR y los actuadores.

PANTALLA GRÁFICA GLCD KS 108

Esta pantalla es de 128 x 64 píxeles, permite realizar gráficos en dos dimensiones y se puede controlar píxel a píxel.

Tiene 20 pines que se distribuyen como se muestra en la Tabla 1.



Figura 4. Pantalla Gráfica KS - 108

Tabla 1. Distribución de pines del GLCD KS – 108, tomado de [13]

Pin	Símbolo	Función
1	Vdd	Fuente (+5V)
2	GND	Fuente (GND)
3	Vo	Ajuste de Contraste
4	DB0	Línea de Bus de Datos
5	DB1	Línea de Bus de Datos
6	DB2	Línea de Bus de Datos
7	DB3	Línea de Bus de Datos
8	DB4	Línea de Bus de Datos
9	DB5	Línea de Bus de Datos
10	DB6	Línea de Bus de Datos
11	DB7	Línea de Bus de Datos
12	Cs1	Chip Select IC1
13	Cs2	Chip Select IC2
14	Rst	Reset
15	R/W	Dato Leer / escribir
16	D/I	Dato / Instrucción
17	E	Habilitar Señal
18	Vee	Salida de Voltaje Negativo
19	A	Fuente de poder del Led (4.2V)
20	K	Fuente de poder del Led (0V)

Su programación resulta muy fácil usando lenguajes como Basic y C++. Una gran ventaja de esta pantalla es que funciona a 5v y permite aplicaciones gráficas que en una pantalla LCD normal no se puede conseguir pues

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

éstas están limitadas a mostrar caracteres, mientras que la GLCD no tiene limitación para dibujar en 2D.

MICROCONTROLADOR AVR

Estos Microcontroladores pertenecen a la rama de ATMEL, empresa que hoy en día se ha dedicado a la producción de esta nueva serie de Microcontroladores más avanzados. Algunas de las grandes ventajas que presentan este tipo de Microcontroladores son:

- La versión de bajo consumo de energía trabaja desde 2.7 V.
- Se cuentan con 32 registros generales de trabajo de ocho bits, antiguamente se contaba con un solo registro de ocho bits.
- Tiene 131 instrucciones de lenguaje ensamblador, lo que facilita mucho la programación si se lo hace de esta manera.
- La mayoría de sus instrucciones trabaja a un ciclo de máquina, razón por la cual al programar este microcontrolador en lenguaje Basic o C, y conociendo que estos lenguajes incluyen más líneas de programación, generalmente no se presentan retardos de ejecución del programa.
- Todos estos microcontroladores cuentan con oscilador interno programable desde 1 MHz hasta 16MHz.
- Trabaja con un rendimiento máximo de 16 millones de instrucciones por segundo MIPS con oscilador de 16 MHz.
- Los costos de estos microcontroladores en relación a otros de similares características como: Microchip, Motorola, etc., son inferiores.

Para el desarrollo de este sistema robótico se han usado dos tipos de estos Microcontroladores, el Atmega 32 y el Atmega 8. Estos dos presentan características similares siendo sus diferencias principales: la cantidad de memoria de la cual se dispone para programar, es decir, su memoria Flash y el número de entradas / salidas programables.



Figura 5. Atmega 8 y Atmega 32 respectivamente

ACTUADORES

Los actuadores utilizados son reciclados, pues antiguamente eran contactores que se usaban en el control de ascensores.

En base a su antiguo funcionamiento se determinó el voltaje de funcionamiento y la corriente que éste consume, después de haber sido minuciosamente limpiados y desacoplados para ensamblarlos nuevamente como se los necesitaba, se puede observar finalmente el tipo de actuador usado en la Figura 6

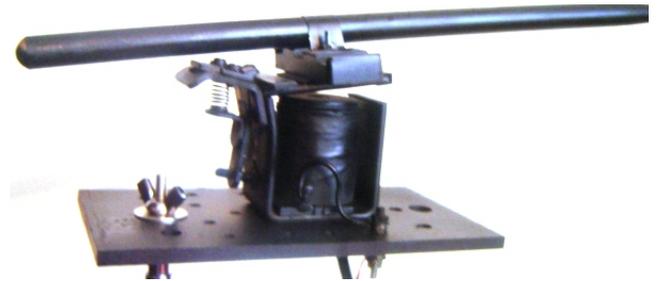


Figura 6. Actuador

Fue necesaria una selección de cada actuador, ya que de cada cinco contactores uno o dos no tenían la suficiente fuerza para que con la baqueta instalada en su base superior golpeará con fuerza al tom y funcionara como actuador.

5. PROGRAMACIÓN DE LOS MICROCOMNTROLADORES

Para el funcionamiento del sistema se realizaron dos programas de control, el primero cargado en el microcontrolador Atmega 32 maneja la interfase manual y el segundo cargado en el microcontrolador Atmega 8 maneja la interfase pedal y los actuadores, éstos fueron programados en BASCOM AVR el cual permite programar este tipo de microcontroladores en lenguaje basic o ensamblador.

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR DE INTERFASE

Este programa maneja la pantalla gráfica y el teclado. Inicialmente muestra en pantalla una presentación del proyecto, luego se encarga de leer el teclado e ingresar a los submenús correspondientes a cada tecla. Adicionalmente establece la comunicación serial y lee la señal de estado del microcontrolador de control.

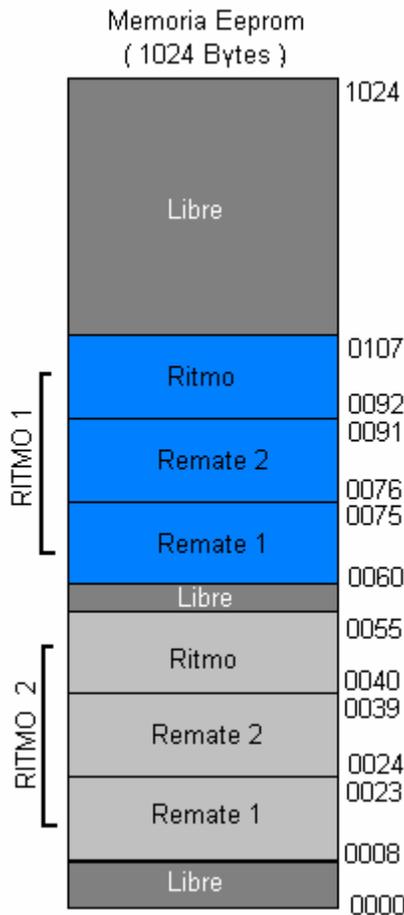


Figura 11. Direcciones de memoria eeprom usadas en Atmega 32

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR DE CONTROL

Como se ha mencionado anteriormente el microcontrolador de control es el encargado de enviar las señales de control para que los actuadores ejecuten el ritmo, además de atender a la interfase pedal del sistema y atender a las comunicaciones que establece el microcontrolador de interfase.

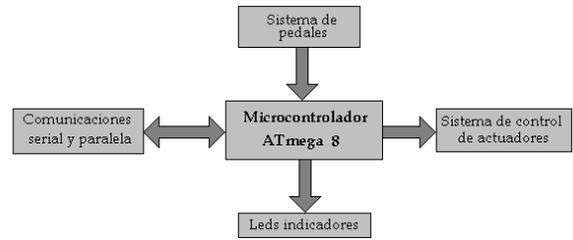


Figura 12. Arquitectura del programa de control

Cuando se ha decidido escuchar un ritmo el microcontrolador de interfase se comunica con el de control y le envía códigos mediante comunicación serial los que son analizados y dependiendo del tipo de código el microcontrolador de control carga los ritmos programados o recibe los ritmos programables con sus respectivos remates. Al recibir un ritmo programable el microcontrolador guarda el ritmo en la matriz lógica A, el remate 1 en la matriz lógica B y el remate 2 en las ubicaciones 1 a 16 de memoria eeprom del mismo microcontrolador.

Una vez recibida la orden de tocar un ritmo se enciende intermitentemente el led correspondiente al pedal S2, el cual permite iniciar o detener la ejecución de un ritmo, al presionar este por 2 segundos se inicia la ejecución del ritmo, los pedales PD1 y PD2 corresponden a los remates 1 y 2 respectivamente, el remate se ejecutará una vez que se ha culminado un compás. Para detener el ritmo simplemente se presiona el pedal S2.

Adicionalmente se puede variar la velocidad del ritmo que se está ejecutando el presionar las teclas direccionales superior o inferior del teclado.

Para escuchar otro ritmo distinto se debe salir del modo de ejecución, esto se logra presionando los pedales PD1 y PD2 simultáneamente por 3 segundos, titilan los leds correspondientes a estos pedales y se puede volver a ejecutar un ritmo.

El circuito que permite alimentar a los actuadores conforme a la señal del microcontrolador de control se observa en la Figura13, este circuito permite aislar la señal del microcontrolador de la fuente de alimentación de los actuadores.

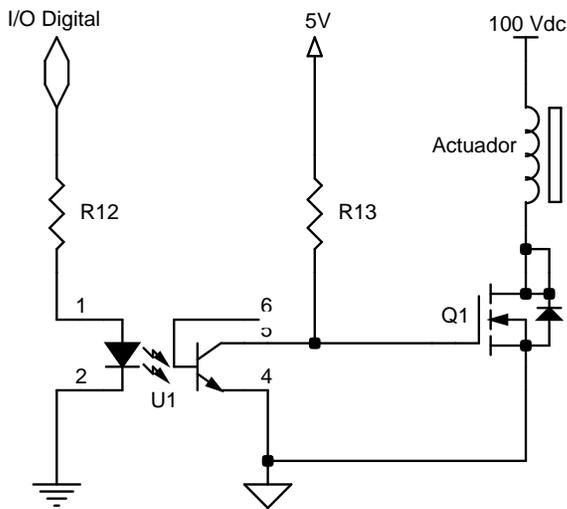


Figura 13. Acondicionamiento de señal de control de actuador

Para aislar el sistema de control y fuerza se usó opto acopladores como se indica en la Figura 13 La resistencia R12 es de 480Ω , lo que permite una circulación de corriente de 10,4 mA, la cual es suficiente para encender el led interno del opto acoplador y a su vez obtener un voltaje de 0V al gate del Mosfet, si se tiene un 0 lógico en la salida digital del microcontrolador al gate del mosfet llegará 5 v lo cual permite una circulación de 9 A. la cual es más que suficiente para el actuador.

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas se basaron en comparar una grabación digital y la forma de onda del sonido que produce la batería musical al ser entonada por el sistema robótico y el sonido que produce la batería al ser entonada por un baterista aficionado.

Se estudiaron los tres ritmos principales que son: Balada, Reguetón y Poprock y se presentan la pruebas obtenidas en le primer ritmo.

Para estas pruebas se usó una batería electrónica, pues de ésta se tiene fácilmente la señal de sonido y se la puede ingresar a un computador para su posterior estudio y para obtener su forma de onda.

La batería usada es una ROLAND TD 3KW y se muestra en la Figura 14.

El sonido proveniente de la batería electrónica se lo procesó en el programa de grabación Cool Edit Pro, el cual permite obtener las ondas de sonido que se observan en las pruebas realizadas, además cuenta con base de tiempo real con lo cual se estudia si el

sistema conserva el tiempo de ritmo, es decir, si se adelanta o se atrasa en la ejecución.



Figura 14. Batería electrónica de pruebas ROLAND TD 3KW

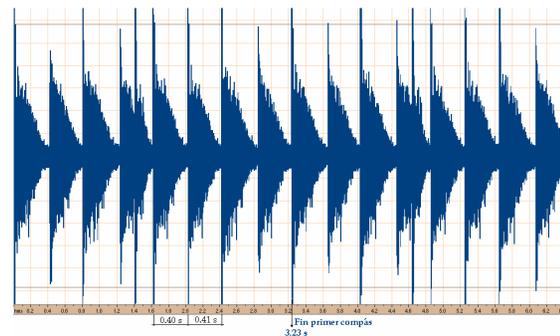
UBICACIÓN DE ACTUADORES

Como se observa en la Figura 15, la ubicación de los actuadores dependerá de la batería de música a la que se acople regulando así la altura e inclinación de las baquetas respecto de cada elemento de la batería.



Figura 15. Ubicación del actuador frente al instrumento PRUEBAS EN RITMO DE BALADA

En la Figura 16 se observa la ejecución del sistema robotizado y en la Figura 17 la ejecución por un baterista.



XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Figura 16 Ritmo balada ejecutado por el sistema robótico

Estudiando el tiempo de duración de los dos compases ejecutados se observa que el sistema lo toca en 6.46 s, es decir, cada compás a un tiempo de 3.23 s, además se observa en la Figura 4.3 el intervalo de tiempo en que se toca el hit hat y es aproximado entre 0.40 y 0.41 s.

La velocidad a la que se ejecutó este ritmo es de 200.

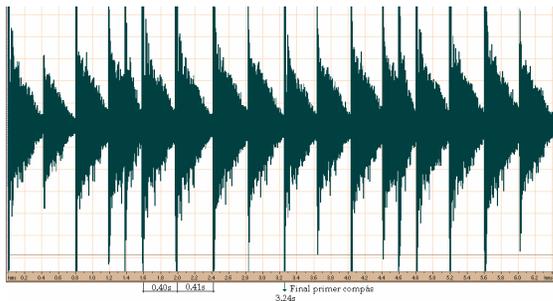


Figura 17 Ritmo balada ejecutado por un baterista

En base a la Figura 4.4, el tiempo de duración del primer compás es de 3.24 s y el tiempo total de ejecución de los dos compases es de 6.44, es decir, 2 centésimas de segundo más lento que lo ejecutado por el sistema robótico.

Comparando las formas de onda del sonido se puede notar que es más armónico al ser ejecutado por el sistema robótico.

RESULTADOS

Las pruebas dieron resultados positivos ya que las diferencias entre la ejecución de un ritmo por un baterista y el sistema robótico en cuanto a los tiempos fueron mínimas, esto se debe a que una persona tiene un índice de error al entonar un instrumento ya sea en la ejecución del ritmo o en conservar el tiempo de velocidad, pero justamente esto hace que la música sea tan satisfactoria ya que no es mecanizada.

El sistema robotizado cumple con el objetivo pero puede decirse que no se compara a una persona que entone este instrumento.

Luego de las pruebas se tiene como resultado el sistema robótico para la automatización de una batería de música con las siguientes características:

- ❖ Puede entonar 3 ritmos conservando su velocidad.

- ❖ Puede variarse la velocidad antes y durante la ejecución de los ritmos mediante la interfase manual.
- ❖ Cuenta con 3 pedales de ejecución de ritmos.
- ❖ Cuenta con articulaciones robóticas para la ejecución en los diferentes elementos de la batería.
- ❖ Cuenta con una interfase que permite seleccionar y programar los ritmos.

Adicionalmente se ha implementado 1 ritmo programado, 2 ritmos programables, dos remates para cada ritmo y un pentagrama de programación. Por lo mencionado anteriormente se puede decir que el sistema cumple con los objetivos iniciales planteados.

En la Figura 18 se observa el módulo de control del sistema.



Figura 18. Módulo de control del sistema robótico

7. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado las diferentes pruebas al sistema, se concluye que se ha cumplido con el objetivo planteado, es decir, el sistema robótico permite entonar tres ritmos de música, pero adicionalmente el sistema cuenta con un pentagrama en el cual el usuario puede programar sus ritmos y usarlos cuando desee. El sistema cuenta con cuatro ritmos programados, dos ritmos programables y dos remates para cada ritmo.

El sistema robótico permitirá a un usuario tener un acompañamiento musical con ritmos sencillos, además de permitirle crear sus propios ritmos y sus propios remates. Al contar con pedales de selección de remates y de inicialización o pausa del ritmo el usuario puede usar las manos para entonar otro instrumento.

En la actualidad está creciendo el interés por automatizar diferentes instrumentos musicales, siendo una de las razones principales, no reemplazar a los seres humanos, sino demostrar el punto al que somos capaces

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

de llegar en la ciencia de la automatización y el control. No cabe duda que para cualquier persona es muy interesante observar como un sistema robotizado puede ejecutar y entonar un instrumento de música pero no se debe olvidar las limitaciones que éste tiene y que el mismo diseñador le da.

Las limitaciones de este sistema corresponden en un 80% al sistema mecánico ya que al usarse actuadores electromecánicos las velocidades de respuesta son limitadas por el tamaño del mismo. Este problema se podría corregir usando actuadores neumáticos pero el principal inconveniente es el precio ya que éstos podrían hasta triplicar el costo del proyecto.

La nueva gama de microcontroladores ATMEL y el software de programación que se ha lanzado desde el año 2004 presentan una creciente demanda a nivel de programadores de control ya que es una herramienta muy útil en éste campo. Adicionalmente, como se mencionó anteriormente, estos microcontroladores se presentan fuertes al mercado ya que en comparación con otros de similares características son más económicos.

Las pantallas gráficas hoy en día han ganado mucho territorio a tal punto que en la mayoría de sistemas modernos de control o de automatización se puede contar con una de ellas. Este hecho se debe a que permiten al usuario observar un campo más amplio de elección si fuera el caso de un menú, o de otra forma ésta le permite tomar una decisión más acertada. Por este motivo se usó la pantalla gráfica KS - 108 la cual al ser controlada por un microcontrolador permitió brindar al usuario un sistema fácil de manejar.

8. RECOMENDACIONES

El desarrollo de este sistema permitió conocer sistema similares diseñados por personas innovadoras que pretendían aplicar sus conocimientos al campo de la automatización de un instrumento de música, por lo que se recomienda continuar con el estudio de este apasionante campo.

Para diseñar un sistema robotizado que entone una batería de música es recomendable aprender conocimientos básicos acerca del instrumento, de la forma de escritura de la música y de la forma de entonarlo, una vez aprendido se debe emplear esos conocimientos en la programación de los microcontroladores para que éstos a su vez sean los

que permitan que el sistema funcione correctamente produciendo los ritmos deseados a las velocidades seleccionadas.

Se podría bajar el costo del sistema si existieran empresas que se dediquen exclusivamente a la fabricación de los pedestales y los actuadores ya que éstos son los que aumentan considerablemente el precio final del sistema robótico.

Finalmente no queda más que decir que el desarrollo de los sistemas robotizados siempre buscará que éstos lleguen a ser similares a las personas y que cuenten con una capacidad de decisión e improvisación. Con la ciencia que aumenta cada día y se plasma en los sistemas inteligentes no deberíamos asombrarnos que a mediano plazo observemos sistemas humanoides realizando tareas que hoy no lo podrían hacer.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Guitarra en línea, “Historia de la Batería”, www.worldnet.fr
- [2] Drums and Workshop, “Manual del propietario pedal”, 2007, www.dwdrums.com/info/manuals/DW5000D3PedalManual.pdf
- [3] Batería y Percusión, “Soporte de Charles Jimbao”, 2007, www.musicalcenter.com.
- [4] Roland, “6 SW V - Tour”, 2007, www.rolandu_s.com.
- [5] Wikipedia la enciclopedia libre, “Batería (Instrumento musical)”, 2007, www.wikipedia.org
- [6] Baterías y Percusiones, “Batería instrumento de música”, España, 2005-2007, www.mercamania.es/baterias_instrumentos_de_musica_.com
- [7] Musical Ortiz, “Batería digital Roland TD6-KW”, 2007, www.musicalortiz.com
- [8] Mauro Favero, “Introducción a las partituras”, 2007, www.guitarraonline.com
- [9] Frankie Graffagnino, “P.E.A.R.T.”, www.graffagnino.net
- [10] Matthew Abshire, “Musical robot composes, performs and teaches”, 2006, www.edition.cnn.com

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

[11] Componentes electrónicos Electan, "Interruptores y pulsadores, Pulsadores", 2007, www.electan.com

[12] Electricidad práctica, "Pulsadores", 2005, www.watios.com

[13] Vishay, "128x64 Dots graphic LCD Datasheet", 2002.

[14] ATMEL AVR, "Atmega 32 Data Sheet", 2003, www.atmel.com

[15] ATMEL AVR, "Atmega 8 Data Sheet", 2003, www.atmel.com

BIOGRAFÍAS

ANDRÉS FERNADO CELA ROSERO



Nacido el 22 de septiembre de 1983 en Quito. Realizó sus estudios primarios en la escuela fiscal de niños "5 de Junio", sus estudios secundarios en el "Instituto Tecnológico Superior Sucre" obteniendo el título de

Bachiller Técnico en Electricidad. Los estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo el título de "Ingeniero en Electrónica y Control"

Actualmente se encuentra trabajando como asistente de cátedra en la Escuela Politécnica Nacional y como director del Área de Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior Sucre.

Ha realizado trabajos de aplicación de nuevas tecnologías, (touch, bluetooth, color screen, etc).

Áreas de Interés: sistemas inteligentes, robótica móvil, robótica industrial, microcontroladores, DSPs.

email: andres_cela@yahoo.com

título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es miembro de la subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial
email: nelson.sotomayor@epn.edu.ec

NELSON SOTOMAYOR



Nació en Quito el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su