

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA LA PLATAFORMA MÓVIL LABVIEW ROBOTICS sbRIO STARTER KIT DE NATIONAL INSTRUMENT

JUNIOR RAFAEL FIGUEROA OLMEDO

ALEX ANGEL PALAGUACHI ALCÍVAR

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador

jrfo_rodry@hotmail.com

alexang_1187@hotmail.com

Resumen.- El presente documento expone el diseño e implementación de varias aplicaciones robóticas sobre el robot móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit, el cual está basado en una tarjeta sbRIO-9631 con arquitectura abierta y tecnología FPGA. Cada aplicación robótica ha sido documentada como una guía de laboratorio y agrupada en básicas y avanzadas tomando en consideración su nivel de complejidad.

Para realizar la programación del robot móvil se ha empleado el software LabVIEW de National Instruments, el cual incluye varios módulos y herramientas empleadas en Robótica. Los módulos utilizados para el desarrollo de las aplicaciones han sido el LabVIEW Robotics, LabVIEW Real Time y LabVIEW FPGA.

Palabras Claves.- LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit, tarjeta sbRIO-9631, FPGA, procesador, tiempo

real, concurrente, sensores, comunicación inalámbrica, tarjeta de entrenamiento, robotSim.

I. INTRODUCCIÓN

Tomando en consideración las actividades realizadas por el Club de Robótica y para beneficio del mismo, la ESPE realizó la adquisición de la plataforma móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit de National Instruments, que corresponde a un prototipo tanto de hardware y software robótico, basado en tecnología FPGA y ampliamente utilizado en sistemas de adquisición debido a su rendimiento, posibilidad de reconfiguración, pequeño tamaño y bajos costos de desarrollo de ingeniería. Bajo este esquema, ahora se puede aprovechar la tecnología FPGA implementada sobre el robot móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit para crear sistemas de adquisición y control reconfigurables altamente

optimizados, sin necesidad de conocer lenguajes especializados de diseño de hardware, tales como VHDL, ni dedicar tiempo a la implementación mecánica de una plataforma móvil.

Debido a que el robot móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit corresponde a una nueva adquisición del Club de Robótica y no ha sido manipulado ni puesto en funcionamiento, en este proyecto se ha desarrollado, implementado y documentado un conjunto de guías didácticas que faciliten a los estudiantes iniciarse en el manejo y programación de la plataforma móvil.

II. ROBOT MÓVIL LABVIEW ROBOTICS SBRIO STARTER KIT

EL robot móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit (Figura 1), corresponde a una plataforma móvil diseñada e implementada por National Instruments, la simplicidad de este hardware robótico es ideal para la enseñanza de conceptos de Robótica y Mecatrónica, así como para realizar proyectos de investigación.

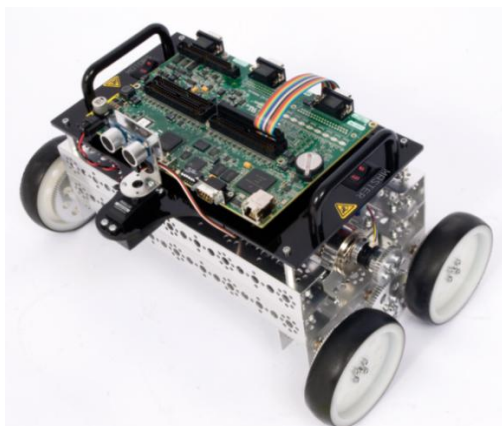


Figura 1 Robot móvil LabVIEW Robotic sbRIO Starter Kit.

El robot móvil tiene una configuración diferencial y se basa en un controlador sbRIO-9631 que es programado utilizando el software LabVIEW y gracias a las capacidades de los módulos FPGA, Real Time y Robotics (empleado para aplicaciones robóticas) se consigue una rápida familiarización con el manejo y funcionamiento de todo el sistema. Entre las características principales del prototipo tenemos:

- Totalmente ensamblado sobre una base de robot móvil.
- La toma de decisiones es en tiempo real y el procesamiento de las entradas y salidas es realizado por un dispositivo FPGA.
- Fácil conexión a una variedad de sensores y actuadores de uso robótico.

El prototipo robótico cuenta con los siguientes elementos:

- 2 Motores de 12 VDC con 152 rpm y 300 oz-in de torque.
- 2 Encoders ópticos de cuadratura con 400 pulsos por revolución.
- Sensor ultrasónico de distancia (PING))) para medir la distancia entre 3 cm y 3 m.
- Soporte de montaje con un servo para el sensor (PING))) para un barrido de 180 grados del entorno.
- Plataforma robótica Pitsco TETRIX con 4 ruedas de 4 pulgadas.
- Tarjeta single-RIO (sbRIO-9631)

- Paquete de Baterías Recargables NiMH de 12 V DC y cargador incluido

III. CONTROLADOR SINGLE BOARD RIO 9631 (SBRIO-9631)

Como ya se ha mencionado el robot móvil LabVIEW Robotics sbRIO Starter Kit está basado en una tarjeta sbRIO-9631, la misma que ofrece la funcionalidad de arquitectura abierta y una tecnología FPGA que facilita al programador la generación de sistemas personalizados reconfigurables con procesamiento integrado, ejecución paralela y más rápida con respecto a otros dispositivos.

La tarjeta sbRIO-9631(ver Figura 2) es el sistema controlador del robot móvil y se encuentra localizada encima de la plataforma robótica Tetrrix de Pitsco. Esta tarjeta está diseñada para aplicaciones que requieren flexibilidad, alto rendimiento y fiabilidad; consideraciones necesarias para tener un buen funcionamiento del robot.

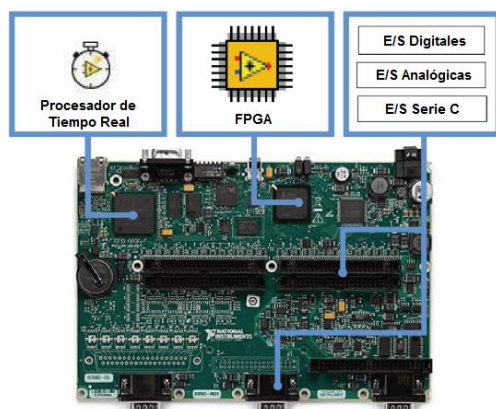


Figura 2 Componentes principales de la tarjeta sbRIO-9631.

El controlador sbRIO-9631, es una tarjeta de bajo costo que combina dispositivos embebidos de despliegue que tienen un procesador de tiempo real, un arreglo de compuertas en campo (FPGA) y E/S analógicas y digitales en una sola tarjeta (ver Figura 2). Se puede incrementar la E/S analógicas y digitales usando módulos de la Serie C, estos son fabricados por National Instruments.

El sbRIO-9631 contiene 110 líneas digitales bidireccionales e incluye 32 entradas analógicas de 16 bits y 4 salidas analógicas de 16 bits. El FPGA se conecta directamente a todos los bornes de E/S digitales de la tarjeta sbRIO y cada módulo de E/S analógico y digital tiene una conexión especializada con el FPGA.

Esta tarjeta posee un conector Ethernet RJ-45 (10/100 BASE-TX) el cual permite conectar al robot con el computador vía Ethernet y así poder descargar y ejecutar los programas realizados en el entorno gráfico de LabVIEW. Además este conector permite comunicar al robot móvil con otros dispositivos y sistemas externos (switchs, routers, cámaras IP, etc...) a través de los protocolos TCP/IP, UDP y Modbus/TCP.

La principal característica en un entorno de robótica es la conectividad inalámbrica, por dicha razón se le ha incorporado al robot móvil un router inalámbrico *Planet WRT-414*, pero tomando en consideración que el computador host, el robot (es decir la tarjeta sbRIO-9631) y el router hayan

programa se ejecutan de forma concurrente (simultaneidad en la ejecución de múltiples tareas).

- Reconfigurable, se puede diseñar e implementar programas nuevos o modificar los existentes para tareas específicas, lo que añade una enorme flexibilidad al flujo de diseño.
- Bajos costos de procesamiento computacional, tanto en el desarrollo como en la adquisición de datos de una determinada aplicación.
- Menor tiempo de desarrollo.

Como se puede observar en la Figura 5, los dispositivos FPGAs poseen una arquitectura digital reconfigurable con una matriz de bloques lógicos configurables (CLBs) rodeados por una periferia de bloques de E/S. Los bloques lógicos son una colección de componentes digitales tales como tablas de búsqueda, multiplicadores y multiplexores donde los bits son procesados para producir un resultado programático. Las señales pueden ser dirigidas de un bloque a otro dentro de la matriz FPGA de una manera arbitraria mediante interconexiones programables y rutas cableadas.

Las interconexiones programables permiten a los bloques lógicos de un FPGA ser interconectados según la necesidad del diseñador del sistema. Estos bloques lógicos e interconexiones pueden ser programados después del proceso de manufactura por el

usuario/diseñador, de esta forma el FPGA puede desempeñar cualquier función lógica necesaria.

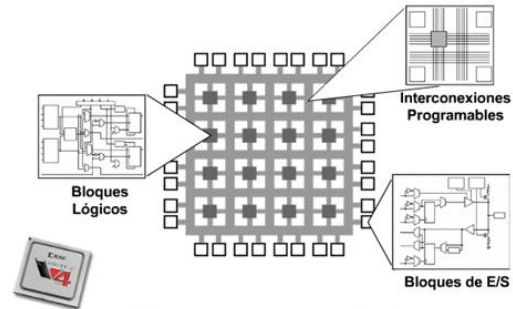


Figura 5 Arquitectura de un dispositivo FPGA.

En este sentido, la tarea del programador es definir la función lógica que realizará cada uno de los CLBs, seleccionar el modo de trabajo de cada bloque de E/S e interconectarlos, para esto el diseñador cuenta con la ayuda de entornos de desarrollo especializados en el diseño de sistemas a implementarse en un FPGA. Un diseño puede ser capturado ya sea como esquemático, o haciendo uso de un lenguaje de programación especial. Estos lenguajes de programación especiales son conocidos como HDL o *Hardware Description Language* (lenguajes de descripción de hardware).

En un intento de reducir la complejidad y el tiempo de desarrollo en fases de prototipaje rápido, y para validar un diseño en HDL, existen varias propuestas y niveles de abstracción de un diseño. Por ejemplo, el Modulo LabVIEW FPGA de National Instruments propone un acercamiento de programación gráfica de alto nivel, lo que permite simplificar el diseño de sistemas

complejos en FPGAs, poniendo a disposición de los usuarios bibliotecas de funciones complejas predefinidas y circuitos que se han probado y optimizado para acelerar el proceso de diseño. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un contador síncrono de 4 bits, donde se puede apreciar la diferencia entre programar con LabVIEW FPGA (a) y con VHDL (b).

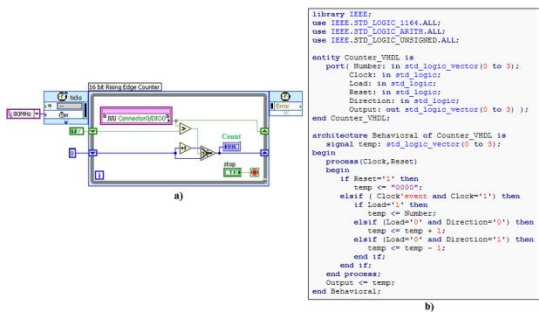


Figura 6 Programación de un contador a) Con LabVIEW FPGA y b) Con VHDL.

VI. GUÍAS DE LABORATORIO BÁSICAS

En las guías básicas se ha manejado los periféricos y puertos de E/S digitales y analógicos de la tarjeta sbRIO-9631, un display LCD, el servomotor y el sensor ultrasónico incluidos con el robot. También se ha simulado e implementado físicamente el control manual del robot móvil haciendo uso de un joystick o de un teclado de computador.

En la Figura 7 se muestra la conexión entre los pines de E/S digitales de la tarjeta sbRIO con los pines de un *Dip Switch* y un grupo de 12 leds localizados sobre la tarjeta de entrenamiento; estos elementos han sido

empleados en la Guía de Laboratorio 1. El programador puede hacer uso de todos estos elementos de la forma que lo crea conveniente. Para este caso en particular se los ha empleado para realizar una secuencia de encendido/apagado de los leds tomando en consideración el estado de las señales provenientes de los primeros 5 pines del *Dip Switch*.

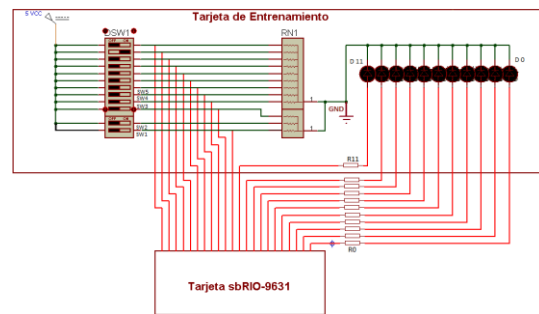


Figura 7 Diagrama de Conexión entre el Dip Switch, los leds y la Tarjeta sbRIO.

En la Guía de Laboratorio 2 se ha utilizado el Dip User1, así como el sensor de temperatura incluido en la tarjeta sbRIO y un sensor de temperatura LM35 que se encuentra localizado sobre la tarjeta de entrenamiento. La aplicación que se ha implementado es la de comparar la temperatura adquirida desde ambos sensores y la ejecución de la misma se realiza únicamente cuando el Dip User1 este activado. En la Figura 8 se muestra la ventana de usuario desarrollada en LabVIEW.



Figura 8 Panel Frontal de la Guía de Laboratorio 2.

En la Figura 9 se puede observar la ventana de usuario de la Guía de Laboratorio 3, en donde se puede controlar el servomotor incluido con el robot ya sea de forma manual o automática, además se ha empleado el sensor ultrasónico para medir la distancia que puede existir entre un objeto y el robot móvil.

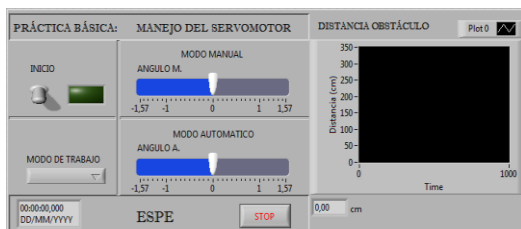


Figura 9 Ventana de usuario para controlar el servomotor y adquirir las señales de sensor ultrasónico.

La aplicación desarrollada en la Guía de Laboratorio 4 (ver Figura 10), consiste en simular y controlar los movimientos del robot móvil, ya sea con un joystick o el teclado del computador. Para tal efecto se ha empleado el simulador robotSim para que se ejecute simultáneamente con un programa desarrollado en LabVIEW. En la Guía de

Laboratorio 5 se ha implementado el mismo control, pero ahora ejecutándose sobre el robot móvil físico.

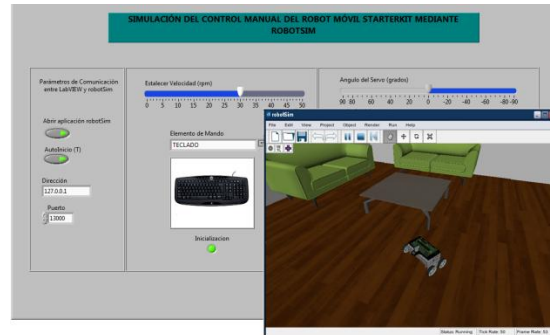


Figura 10 Ventanas de robotSim y LabVIEW para simular el control manual del robot móvil.

En la última guía (Guía de Laboratorio 6) perteneciente a este conjunto de guías básicas, se ha desarrollado un programa para escribir caracteres sobre un display LCD (ver Figura 11), tomando en consideración que se ha realizado todas las configuraciones de temporización y establecido otros parámetros previos a la utilización del LCD.

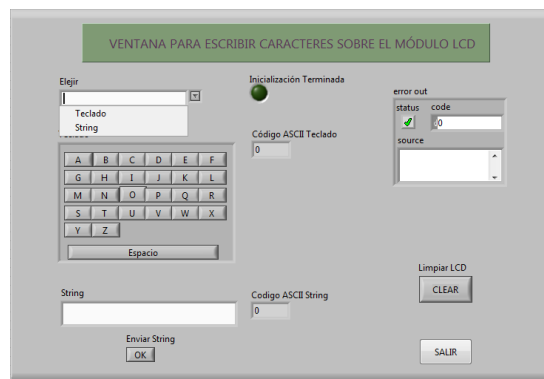


Figura 11 Ventana para escribir caracteres sobre el módulo LCD.

VII. GUÍAS DE LABORATORIO AVANZADAS

En la Guía de Laboratorio 7, se ha implementado un programa que permite al robot móvil realizar la evasión de obstáculos haciendo el uso de sensores de distancia (1 sensor ultrasónico y 2 sensores Sharp 2Y0A21). La ventana de usuario se muestra en la Figura 12. Los sensores Sharp 2Y0A21, han sido ubicados en lugares estratégicos según se muestra en la Figura 13.



Figura 12 Ventana de usuario para visualizar la distancia del robot al objeto.

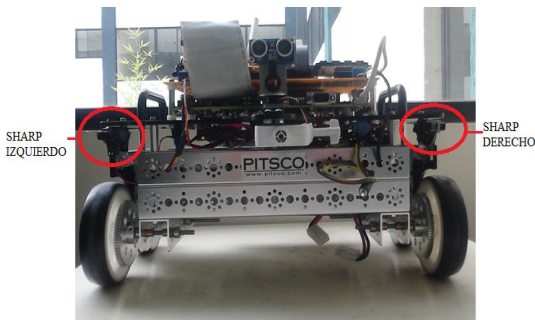


Figura 13 Ubicación de los sensores Sharp.

La aplicación desarrollada en la Guía de Laboratorio 8 (ver Figura 10), consiste en monitorear la inclinación del robot móvil utilizando un acelerómetro MMA7260QT (ver Figura 14.a). Para

poder visualizar la inclinación del robot físico en LabVIEW, se ha diseñado una imagen 3D con extensión .STL (ver Figura 14.b) la cual fue realizada en el programa *SolidWorks*.

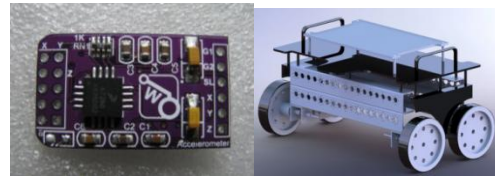


Figura 14 Elementos para el monitoreo de la inclinación a) Acelerómetro MMA7260QT y b) Imagen 3D.

En la Guía de Laboratorio 9, se ha utilizado el módulo receptor SPK-GPS-GS405 (ver Figura 15.a), que en conjunto con el programa desarrollado en LabVIEW permite visualizar sobre el navegador Google Earth (ver Figura 15.b) la ubicación geográfica del robot móvil



Figura 15 Ubicación geográfica del robot móvil a) Módulo receptor SPK-GPS-GS405 y b) Visualización de la ruta sobre el navegador Google Earth.

Tomando en consideración que la tarjeta sbRIO-9631 solo cuenta con único puerto serie y que en algunas de las prácticas se han utilizado varios dispositivos que manejan el protocolo de comunicación RS-232, en la Guía de Laboratorio 10 se ha desarrollado un

programa que permite simular dicho protocolo mediante dos pines E/S digitales del target FPGA.

En la Guía de Laboratorio 11 se realizó un aplicación que permite controlar los movimientos del robot móvil mediante un módulo reconocimiento de voz conocido como VRbot (Figura 16.a). La comunicación que se ha establecido entre el módulo y el robot es de forma inalámbrica, y para tal efecto se han utilizado 2 módulos inalámbricos conocidos como Cy2196R (Figura 16.b). Para establecer la comunicación inalámbrica se ha diseñado una tarjeta adicional (ver Figura 17), la cual permite reconocer las voces programadas sobre el módulo VRbot utilizando un microcontrolador y enviar las órdenes de mando hacia el robot empleando el módulo Cy2196R; además esta tarjeta tiene incorporado un display LCD en el cual se muestran las voces reconocidas o mensajes de error.

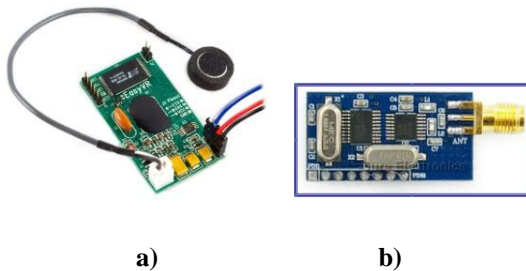


Figura 16 Módulos que intervienen en el control por voz: a) VRbot y b) Cy2196R.

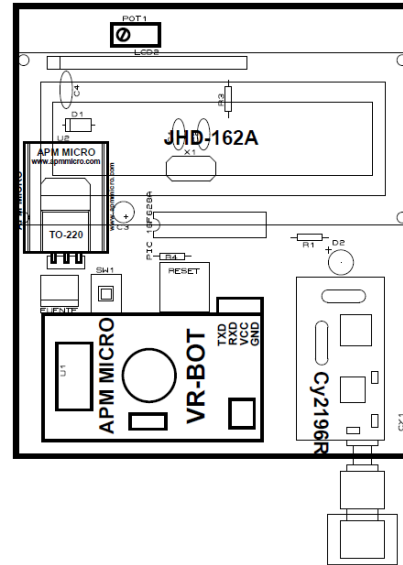


Figura 17 Tarjeta VRbot Inalámbrica.

La aplicación desarrollada en la Guía de Laboratorio 12, consiste en que el robot móvil debe seguir una línea blanca sobre un fondo negro, mediante procesamiento de imágenes. Para adquirir dichas imágenes se ha utilizado la cámara de Red AXIS M1011-W y se establecido una comunicación inalámbrica entre el router y el computador.

La idea detrás de la implementación de la Guía de Laboratorio 13, es la de realizar un proyecto que permita al robot móvil navegar de forma automática por un entorno conocido, en este caso un laberinto (ver Figura 18). Esto involucra obtener un arreglo 2D que haga referencia al laberinto físico y configurar las posiciones de partida y llegada del robot. Para determinar la ruta que debe seguir el robot móvil se ha utilizado el algoritmo de búsqueda A-Star.



Figura 18 Ventana de usuario para determinar y visualizar la ruta que debe seguir el robot dentro del laberinto físico.

VIII. CONCLUSIONES

- Una vez conocidas las alternativas que permiten comunicar en red al robot móvil y él o los computadores (alámbrica o inalámbricamente), así como el establecimiento de la comunicación entre LabVIEW y la tarjeta sbRIO-9631, se pudo iniciar el desarrollo de las guías de laboratorio básicas y avanzadas. En cada guía se ha provisto una descripción de conocimientos previos que el estudiante debe de comprender tanto a nivel de hardware como software antes de iniciar con el desarrollo de cada una de las aplicaciones; así mismo se han descrito todos los pasos necesarios que se deben realizar para elaborar con éxito los programas desarrollados en LabVIEW y que se ejecutarán sobre el robot móvil.
- Una vez realizadas todas las aplicaciones robóticas, se ha verificado y puesto en evidencia las grandes prestaciones y versatilidad que posee la tarjeta sbRIO-9631, específicamente el potencial que posee el dispositivo FPGA Spartan-3E incorporado sobre la misma. Mediante la ejecución de cada uno de los programas descargados sobre el chip FPGA se ha comprobado los beneficios con los que cuenta este dispositivo, resaltando ante todo la simultaneidad en la ejecución de múltiples tareas (conurrencia) lo que ha conllevado a un menor tiempo en la adquisición de datos y el procesamiento computacional; además se constató la particularidad de reconfiguración que posee el chip FPGA, lo que ha añadido una enorme flexibilidad en el flujo de diseño de cada una de las aplicaciones desarrolladas.
- Mediante el diseño de cada uno de los programas realizados sobre la plataforma de programación LabVIEW, se ha comprobado la facilidad de utilizar las herramientas disponibles sobre el módulo LabVIEW FPGA en comparación a la descripción de circuitos mediante lenguaje de descripción de hardware VHDL. Se ha verificado que el utilizar el módulo LabVIEW FPGA permite simplificar el diseño de sistemas complejos sobre el chip FPGA, puesto que este módulo pone a disposición del programador varias bibliotecas de funciones

predefinidas y circuitos que se han probado y optimizado para acelerar el proceso de diseño. En consecuencia se puede afirmar que la programación gráfica en LabVIEW reduce la complejidad y el tiempo de desarrollo en fases de prototipaje rápido sobre el robot móvil.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica del Ejército, por abrirnos las puertas de tan noble institución para poder cumplir nuestros sueños y lograr culminar con éxito nuestra formación profesional.

Agradecemos a los ingenieros Mireya Zapata y Alexander Ibarra por apoyarnos a culminar este proyecto de grado, puesto que gracias a sus conocimientos, asesoramiento y disponibilidad de tiempo, fue posible cumplir con éxito los objetivos planteados.

Agradecemos a los ingenieros docentes de Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE, los cuales nos enseñaron y compartieron sus conocimientos y experiencias laborales, en todo el transcurso de nuestra formación profesional.

REFERENCIAS

Giamarchi, Frederick, “*Robot Móviles: Estudio y Construcción*”, Primera Edición, Editorial Paraninfo S.A., Madrid-España, 2000.

Ollero, Aníbal, “*ROBÓTICA: Manipuladores y Robot Móviles*”, Primera Edición, Editorial MARCOMBO S.A., Barcelona-España, 2007.

Varios autores, “*Estudio de los robots móviles con ruedas*”, [Online]. Disponible: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/175/2/Capitulo%201.pdf> [Accesado: Mayo 18, 2011].

Cañas, José, “*Programación de Robots Móviles*”, 2 de Agosto de 2004, [Online] Disponible: <http://gsyc.es/tr-docs/tr-programacionrobots.pdf> [Accesado: Mayo 30, 2011].

Wikipedia, “*Field Programmable Gate Array*”, 6 de Julio de 2010, [Online]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Field_Programmable_Gate_Array [Accesado: Junio 3, 2011].

National Instruments, “*NI Single-Board RIO Embedded Control and Acquisition*”, 29 de Julio de 2010, [Online] Disponible: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7441> [Accesado: Junio 5, 2011].

National Instruments, “*NI LabVIEW Robotics Starter Kit*”, 17 de Julio de 2010, [Online] Disponible: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-217/lang/es> [Accesado: Junio 7, 2011].

National Instruments, “*USER GUIDE: NI sbRIO-961x/963x/964x and NI sbRIO-9612XT/9632XT/9642XT*”, [Online] Disponible:

<http://www.ni.com/pdf/manuals/375052c.pdf> [Accesado: Junio 10, 2011].

L. José, P. José, “*LABVIEW: Entorno gráfico de programación*”, Primera Edición, Editorial MARCOMBO S.A., Barcelona-España, 2007.

National Instruments, “*Using the LabVIEW Project for Robotics Applications*”, Diciembre 2009, [Online] Disponible: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10682> [Accesado: Julio 12, 2011].

National Instruments, “*Introducción al Módulo de LabVIEW FPGA*”, Marzo 2008, [Online] Disponible: <http://zone.ni.com/wv/app/doc/p/id/wv-609> [Accesado: Julio 15, 2011].

National Instruments, “*Módulo NI LabVIEW FPGA*”, [Online] Disponible: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209853> [Accesado: Julio 20, 2011].

James M. Conrad, “*Introduction to Robotics with LabVIEW Robotics*”, [Online] Disponible: <http://coe.uncc.edu/~jmconrad/ECGR416-1-2011-05/lab.html> [Accesado: Julio 26, 2011].

Cogmation, “*robotSim Professional User Manual*”, [Online] Disponible: <http://www.cogmation.com/betasite/robotSim%20documentation/robotSim%20User%20Manual%20Index.html> [Accesado: Julio 30, 2011].

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Junior Rafael Figueroa Olmedo



Nace el 26 de Abril de 1987, en la ciudad de Esmeraldas, sus estudios primarios los realizó en la escuela fiscal Mixta Refinería de la ciudad de Esmeraldas, terminó el bachillerato en el colegio fiscomisional Sagrado Corazón de físico matemático en la misma ciudad.

Obtuvo su título de ingeniería en Electrónica Automatización y Control en el año 2012 en la Escuela Politécnica del Ejército.

Alex Angel Palaguachi Alcivar



Nace el 1 de Enero de 1987, en la ciudad de Esmeraldas, sus estudios primarios los realizo en la escuela Cristo Rey de la ciudad de Esmeraldas, terminó el bachillerato en el colegio fiscomisional Sagrado Corazón de físico matemático en la misma ciudad.

Obtuvo su título de ingeniería en Electrónica Automatización y Control en el año 2012 en la Escuela Politécnica del Ejército.