

# Control de los Movimientos de un Robot Usando un Acelerómetro y Nios II

Pablo Palacios<sup>(1)</sup>, Segundo Bastidas<sup>(2)</sup>, Ronald Ponguillo<sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería de Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[pgpalaci@espol.edu.ec](mailto:pgpalaci@espol.edu.ec)<sup>(1)</sup>, [sjbastida@espol.edu.ec](mailto:sjbastida@espol.edu.ec)<sup>(2)</sup>, [rponguil@espol.edu.ec](mailto:rponguil@espol.edu.ec)<sup>(3)</sup>

## Resumen

*Este proyecto esta basado en el desarrollo e implementación de un control remoto para manejar los movimientos de un robot LEGO MINDSTORM NXT usando un acelerómetro ADXL345 incorporado en la tarjeta de desarrollo DE0-NANO y el procesador NIOS II. En este trabajo se abordan de forma general conceptos sobre protocolos de comunicación SPI, el protocolo usado por el robot, además de las características principales de la tarjeta DE0 NANO, de la FPGA Cyclone IV, del acelerómetro ADXL345 y del robot LEGO MINDSTORM NXT, que son las partes fundamentales del hardware que se usa en el desarrollo del proyecto, en conjunto con el software y el tipo de lenguaje de programación usado para la implementación.*

*Se explica el diseño del hardware del control remoto, el diseño del sistema NIOS II y el diseño del software del robot LEGO MINDSTORM NXT que integran todo el diseño y la implementación del proyecto, además se muestran los diagramas de flujos del software tanto para el sistema NIOS II como para el robot; por ultimo analizamos las pruebas y los resultados obtenidos.*

**Palabras Claves:** FPGA, DE0-NANO, LEGO MINDSTORM NXT, NIOS II, QUARTUS II, RN-42

## Abstract

*This project is based on the development and implementation of a remote control to handle the movements of a robot LEGO MINDSTORM NXT using an accelerometer ADXL345 incorporated in the development card DE0-NANO and the processor NIOS II. In this work we approach in a general way all the concepts on protocols of communication SPI, the protocol used by the robot, besides the principal characteristics of the card DE0 NANO, of FPGA Cyclone IV, of the accelerometer ADXL345 and the robot LEGO MINDSTORM NXT, which are the fundamental parts of the hardware that is used in the development of the project, as a whole with the software and the kind of programming language used for the implementation.*

*We can explain the design of the hardware of the remote control, the design of the system NIOS II and the design of the software of the robot LEGO MINDSTORM NXT that integrate the whole design and the implementation of the project, in addition there appear the graphs of flows of the software so much for the system NIOS II as like for the robot; finally we analyze the proofs and the results.*

**Keywords:** FPGA, DE0-NANO, LEGO MINDSTORM NXT, NIOS II, QUARTUS II, RN-42.

## 1. Introducción

La tecnología basada en FPGA continúa siendo impulsada año tras año debido a las distintas aplicaciones que en ella se encuentra no solo en el ámbito de los sistemas electrónicos digitales, sino en sistemas de comunicaciones, sistemas de seguridad y sistemas de control, todo esto con el objetivo de minimizar costos, hacer más fácil y rápido las implementaciones y miniaturizar los dispositivos a usarse.

Dentro de todas estas aplicaciones antes mencionadas se encuentra la de control, la cual, mediante el uso de una FPGA y la combinación de múltiples dispositivos, todos estos formando un solo

sistema programable podemos llegar a controlar movimientos de cámaras, de sensores e incluso de sistemas robóticos.

En nuestro proyecto usamos la tecnología de la FPGA embebida en una tarjeta de desarrollo DE0 nano que cuenta con dispositivos muy útiles tales como un acelerómetro con el cual podemos controlar los movimientos de un robot NXT de LEGO a nuestra voluntad mediante comunicación bluetooth entre el robot y la tarjeta, demostrando una aplicación bastante útil en nuestros días.

## 2. Descripción del Proyecto

### 2.1. Objetivo General

Implementar mediante el uso de la tarjeta de desarrollo DE0-NANO y su acelerómetro, un sistema capaz de controlar los movimientos de un robot MINDSTORM NXT de LEGO mediante comunicación bluetooth.

## 2.2. Objetivos Específicos

- Uso, manejo y comprensión de la tarjeta de desarrollo DE0-NANO.
- Conocer el manejo del acelerómetro ADXL345 embebido en la tarjeta DE0-NANO
- Diseñar el sistema de comunicación entre el modulo bluetooth RN-42 y la tarjeta DE0-NANO
- Diseñar el sistema de comunicación entre la tarjeta DE0-NANO y el robot NXT mediante bluetooth

## 2.3. Alcances y Limitaciones

### 2.3.1. Alcance

- Procesar la información del acelerómetro, para poder controlar el movimiento del robot en base a esa información.
- Comunicación serial (RS232) entre la FPGA y el módulo bluetooth.
- Comunicación SPI entre el acelerómetro y la FPGA para el envío y recepción de datos.
- Decodificación de los datos recibidos por el robot NXT de LEGO
- Mostrar en la pantalla del robot NXT de LEGO los detalles del movimiento del robot.

### 2.3.2. Limitaciones

- Debido a las características mecánicas de los motores del robot NXT de LEGO no se puede lograr alcanzar velocidades mayores a 170 rpm, además influye en la precisión del movimiento del robot.
- El robot NXT de LEGO cuenta con un módulo bluetooth clase B el cual limita el alcance a solo 20 metros.

## 3. Marco Teórico

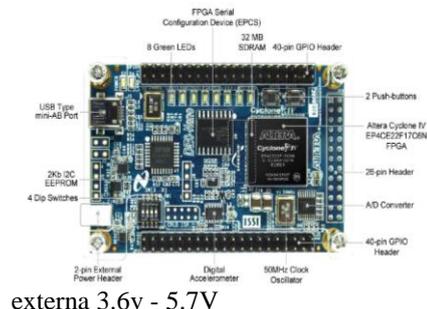
### 3.1. Hardware

**3.1.1. Tarjeta de desarrollo DE0-NANO.** Es una tarjeta de desarrollo educacional diseñada por la empresa Terasic que nos permiten desarrollar proyectos basados en plataforma FPGA la ventaja que tiene para el proyecto es su tamaño su peso la capacidad de ser reconfigurado sin cambios en el hardware, contar con puertos de expansión GPIO,

acelerómetro, leds, botones, memoria SDRAM y EPROM.

Esta tarjeta tiene como características principales:

- FPGA Altera Cyclone IV EP4CE22F17C6N con 153 pines I/O
- Circuito USB-Blaster para configurar la FPGA
- Dispositivo de configuración serial EPCS16 de 16Mbits
- 2 cabeceras de expansión de 40 pines
- Memoria SDRAM de 32MB
- EEPROM de 2Kbits con comunicación I2C
- 8 LEDs verdes
- 2 Pulsadores
- 4 interruptores DIP
- Acelerómetro de 3 ejes con una resolución de 13 bits
- Convertidor A/D de 8 canales y 12 bits de resolución
- Reloj de 50MHz
- Puerto USB tipo mini-AB (5V)
- Conector de 2 pines para fuente de poder



**Figura 1.** Tarjeta DE0-NANO

**3.1.2. FPGA Cyclone IV.** Cuenta con bloques de lógica programable que se configura por software mediante lenguaje de programación VHDL O VERILOG, todos los componentes que se encuentra en la de0-nano se encuentran directamente conectados a la FPGA, ya que este chip va albergar TODO EL sistema de procesamiento.

La FPGA Cyclone IV EP4CE22 ofrece las siguientes características:

- Voltaje del núcleo 1.0v y 1.2v
- 22,320 elementos lógicos
- 594Kbits de memoria embebida
- 66 multiplicadores embebidos de 18x18
- 4 PLLs de propósito general
- Red global de 20 clock
- 8 bancos de I/O

- 153 pines I/O
- Soporte para DDR2 SDRAM de hasta 200MHz

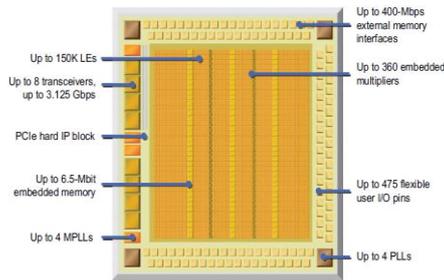


Figura 2. FPGA Cyclone IV

**3.1.3 Acelerómetro ADXL345.** Es un acelerómetro embebido en la tarjeta DE0 NANO de 3 ejes pequeño de baja potencia y alta resolución que permite hacer mediciones de inclinación con cambios menores a 1.0°. El sensor funciona mediante capacitores de placas fijas.

El interfaz de comunicación entre el acelerómetro con cualquier dispositivo externo se puede realizar mediante comunicación I2C o SPI, para nuestro proyecto usamos SPI.

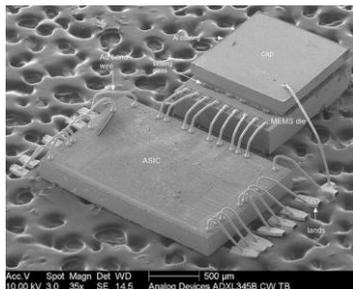


Figura 3. Vista interna a 500 µm del ADXL345

**3.1.4 Módulo bluetooth RN-42.** Fabricado por la compañía Roving Networks que se basa en un enlace de corto alcance bastante robusto y de bajo coste, provee un alcance de 20 metros con bajo consumo de energía y una interfaz de comunicación UART que facilita la integración con la tarjeta DE0 nano.

Para su uso previamente fue necesario hacer una configuración de parámetros que garantizan el correcto funcionamiento en nuestro sistema.



Figura 4. Módulo bluetooth RN-42

**3.1.5 Robot Lego Mindstorm NXT.** Usamos el robot LEGO MINDSTORM NXT ya que cuenta con varias características que se requieren para implementar el proyecto:

Tiene incorporado un módulo bluetooth clase II el cual permite tener un alcance máximo de 20 metros, cuenta con 3 servos motores que funcionan con 9 voltios y alcanzan una velocidad máxima de 170 rpm sin carga en el vacío, estos permiten controlar el movimiento del robot con precisión de un grado.

La programación del robot Lego Mindstorm NXT la hacemos mediante el software NXT 2.0 programming el cual usa un sencillo lenguaje grafico basado en LABVIEW



Figura 5. Robot Lego MINDSTORM NXT

## 3.2. Software

**3.2.1 Quartus II.** Es una herramienta de software producida por Altera para el análisis y la síntesis de diseños realizados en HDL que permite al diseñador compilar sus diseños de circuitos lógicos, realizar análisis de tiempo, examinar diagramas RTL, simular la reacción de un diseño a diferentes estímulos y configurar el dispositivo de destino con el programador JTAG. Para la realización de este proyecto usamos la versión 12.1 lanzada al mercado en Julio del 2012.

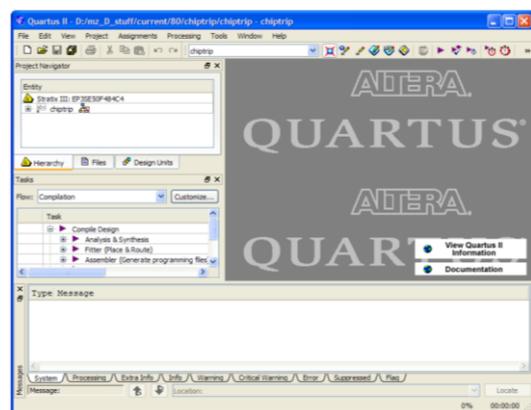


Figura 6. Interfaz de usuario de Quartus II

**3.2.2 SOPC BUILDER.** Altera proporciona una infraestructura completa para crear sistemas con

microprocesadores embebidos, completamente a medida según las necesidades del diseñador por medio de la combinación de una serie de componentes configurables sobre sus FPGAs.

Para ello, proporciona un entorno específico, al que denomina SOPC BUILDER que se utiliza en conjunto con el software Quartus II permitiendo al usuario diseñar sistemas basados en el procesador NIOS II, simplemente seleccionando las unidades funcionales deseadas y especificando sus parámetros y puede ser implementado directamente sobre una FPGA de la marca.

Para implementar un sistema útil es necesario añadir otras unidades funcionales. SOPC Builder incorpora una biblioteca de componentes pre-configurados incluyendo el procesador NIOS II, controladores de memoria, interfaces I/O, temporizadores, interfaces de comunicación y periféricos que son interconectados por medio de una red de interconexión llama la matriz de conmutación Avalon (Avalon Switch Fabric), resultando un sistema virtual que puede ser conectado con el mundo exterior a través de los pines programables de la FPGA o conectado internamente a otros componentes.

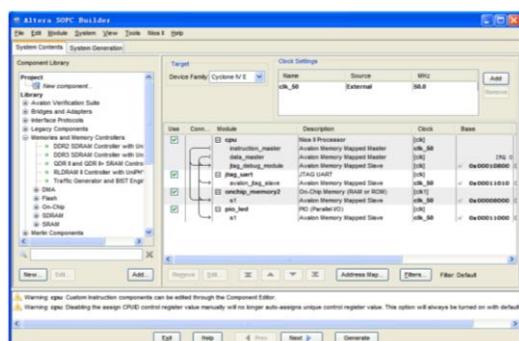


Figura 7. Interfaz de usuario de SOPC BUILDER

**3.2.3 Nios II Software Build Tools for Eclipse.** NIOS II Software Build Tools for Eclipse es una pequeña capa de interfaz gráfica que presenta un entorno de desarrollo unificado que funciona para todos los procesadores NIOS II. Es una herramienta que se puede integrar con ECLIPSE un entorno de desarrollo integrado de código abierto multiplataforma desarrollado originalmente por IBM.

Se puede llevar a cabo todas las tareas de desarrollo de software dentro de Eclipse incluyendo creación, edición, construcción, funcionamiento, depuración y perfilado de programas. Por otro lado, Eclipse proporciona amplias capacidades de interacción, depuración y gestión de archivos.



Figura 8. Figura ejemplo

**3.2.4 NXT 2.0 programming.** El software de LEGO MINDSTORMS NXT que usamos para nuestro proyecto es el NXT 2.0 Programming el cual nos permite programar el robot NXT y descargar sus programas al NXT por medio del puerto de USB o por conexión de Bluetooth. Este software, que funciona por medio de dar clics y de arrastrar bloques, el cual es impulsado por LabVIEW de National Instruments, incluye instrucciones de desarrollo y guías de programación para empezar a desarrollar y programar fácilmente robots Lego MINDSTORMS NXT.

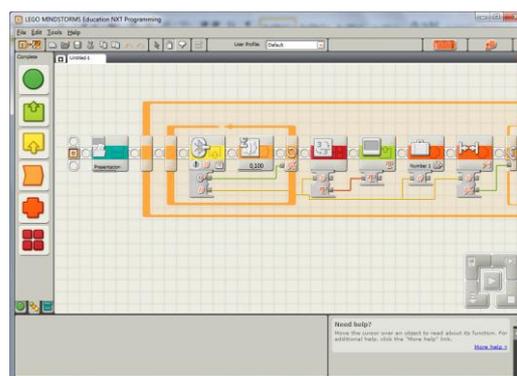


Figura 9. Interfaz de usuario del software NXT 2.0 programming

## 4. Diseño e Implementación

El proyecto en general consiste en controlar el movimiento de un robot LEGO MINDSTORM NXT con un acelerómetro a través de bluetooth. El proyecto consta de 3 partes:

- El diseño del hardware del control remoto
- El diseño del sistema Nios II
- El diseño del software del robot LEGO MINDSTORM NXT

### 4.1. Diseño del hardware del control remoto

El diseño del control remoto consta de 3 partes:

- Tarjeta DE0-NANO
- Modulo Bluetooth RN-42.

- Fuente de poder externa recargable NOKIA BL-5B

El módulo bluetooth esta soldado a un PCB el cual permite conectarlo con facilidad al puerto GPIO-1 de la tarjeta DE0-NANO. La fuente de poder externa está ubicada en la parte inferior de la tarjeta y va conectada al puerto de entrada de voltaje de 2 pines. No se requirió diseñar ni construir circuitos electrónicos adicionales debido a que todo lo que necesitamos ya esta embebido en la tarjeta DE0-NANO.

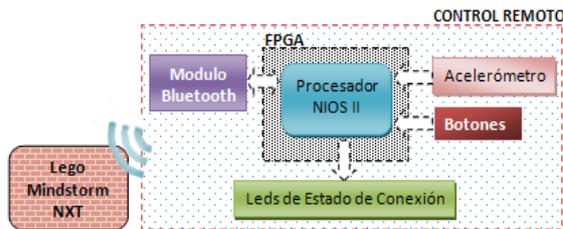


Figura 10. Diagrama de bloques del hardware del control remoto

Tabla 1. Asignación de pines entre el PCB del bluetooth, la DE0 NANO y la FPGA

PCB BLUETOOTH		DE0-NANO GPIO1		FPGA	
PIN	NOMBRE	PIN	NOMBRE	PIN	NOMBRE
2	RX	22	GPIO_117	PIN_K16	TX-UART
3	RESET	23	GPIO_118	PIN_R16	RESET
4	TX	24	GPIO_119	PIN_L15	RX-UART
5	PIO2	25	GPIO_120	PIN_P15	LED6
7	PIO5	27	GPIO_122	PIN_R14	LED5
9	VDD	29	VCC3P3	---	---
10	GND	30	GND	---	---

## 4.2. Diseño del sistema Nios II

Para que el control remoto funcione se debe diseñar un sistema de procesamiento basado en el procesador NIOS II dentro de la FPGA. Este sistema nos permite controlar todo el hardware que se encuentra conectado a los pines de la FPGA de la tarjeta DE0-NANO. También permite establecer comunicación con el PC usando el software QUARTUS II, el cual permite guardar el diseño construido en SOPC BUILDER en la FPGA, realizar modificaciones de las asignaciones de pines de la FPGA a los distintos controladores que usamos.

El sistema consta de los siguientes componentes:

- Un procesador Nios II de 100MHZ el cual ejecuta un software programado en lenguaje C que permite al procesador comunicarse con los dispositivos externos
- El JTAG port permite conectar el sistema a la computadora para realizar modificaciones y cargar nuevas configuraciones a la FPGA

- El controlador SPI permite al procesador Nios II establecer comunicación con el acelerómetro
- Los parallel port permiten al procesador verificar el estado de los botones y los leds
- El controlador EPCS16 permite establecer comunicación con la memoria flash y tiene un bootloader que accede a la memoria flash y carga la configuración del sistema Nios II en la FPGA, también copia en la memoria SDRAM el software que controla el sistema Nios II. Este bootloader está almacenado en pequeño espacio de memoria ROM en la FPGA y se va a ejecutar cada vez que se energiza el sistema
- El controlador SDRAM permite al procesador Nios II tener acceso a la memoria RAM
- El controlador UART permite al procesador NIOS II establecer comunicación con el modulo bluetooth
- El MUX controla el reset del sistema Nios II y del modulo bluetooth

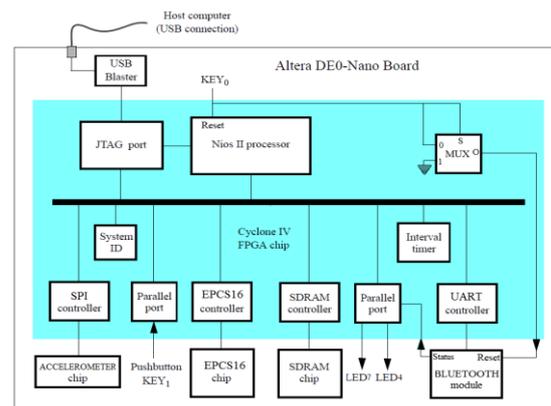


Figura 11. Diagrama de bloques del sistema Nios II

## 4.3. Diseño del software del robot LEGO MINDSTORM NXT

Al tener diseñado totalmente el control remoto tanto hardware como software aún no somos capaces de controlar el robot porque necesitamos una aplicación que se ejecute en el robot y reciba los comandos de movimientos que el control le envía para que el robot empiece a moverse.

El diseño del programa que se encarga de recibir los movimientos del control remoto es implementado utilizando el software Lego Mindstorm NXT 2.0 programming que se incluye con el robot el cual nos permitirá crear la aplicación para el robot Lego Mindstorm NXT usando lenguaje de programación gráfica basado en labview.

La aplicación que implementamos consta de 5 partes:

1. muestra mensaje de bienvenida al inicio mediante el bloque de presentación
2. espera mensajes dentro de un lazo infinito usando el bloque de recepción de mensajes bluetooth y bloque de retardo que permite monitorear mensajes cada 0.1 s
3. procesa los mensajes recibidos y determina la velocidad, dirección y sentido del movimiento y los almacena en variables
4. estas variables van a ser los parámetros de configuración de los motores las cuales van a indicar la velocidad de giro y la dirección en la que debe moverse el robot
5. por ultimo información sobre el movimiento del robot en pantalla



Figura 12. Código fuente del programa del robot Lego

#### 4.4. Diagrama de flujo del software de la FPGA

El diagrama de flujo muestra de forma general el funcionamiento del software que fue implementado en lenguaje C.

El software funciona de la siguiente manera:

Al encender el control remoto, el software es ejecutado por el procesador NIOS II y se muestra el Led 7 parpadeando indicando que no se ha establecido conexión con el robot. Para establecer conexión con el robot se debe presionar el botón 1, una vez establecida la comunicación, se envía un comando al robot para ejecutar el programa que recibe los movimientos del control. Además el Led 7 se apaga y se enciende el Led 5 indicando conexión con el robot.

Mientras el programa en el robot este ejecutándose y exista conexión bluetooth entre el control remoto y el robot, el software permite controlar el movimiento del robot enviando los rangos de velocidad y giro dependiendo de la inclinación del control remoto indicada por el acelerómetro.

Finalmente si se desea parar la ejecución del programa se debe volver a presionar el botón 1 el cual termina la conexión con el robot y se enciende el Led 7 indicando desconexión.

Usamos interrupciones para obtener el estado del botón 1, el cual permite iniciar o terminar la conexión con el robot. Los Leds indicadores de estado de

conexión bluetooth no son controlados por el procesador NIOS II, están directamente conectados a los pines de estado del módulo bluetooth a través de la FPGA.



Figura 13. Diagrama de flujo del software del Sistema Nios II

#### 4.5. Diagrama de flujo del software del robot

El programa que se diseña para el robot, se encarga de recibir los datos que representan la inclinación en que se encuentra el control. Estos datos son interpretados por este software como movimientos hacia las distintas direcciones o como velocidad dependiendo de los rangos de valores recibidos.

El programa funciona de la siguiente manera:

Este software es ejecutado remotamente desde el control remoto, el cual una vez ejecutado espera recibir los datos enviados por el control para proceder a determinar si corresponden a dirección de movimiento o velocidad y los almacena en distintas variables que son usadas como parámetros de configuración de los motores haciendo posible el movimiento del robot.

También muestra en la pantalla del robot información sobre el movimiento como el rango de velocidad, dirección y sentido; estos datos están cambiando constantemente mientras exista comunicación con el robot. El programa se sigue ejecutando de manera infinita hasta que el usuario decida terminar la comunicación con el robot presionando el botón 1 en el control remoto.

El rango de velocidad de 0-100 corresponde a valores de porcentaje 0% a 100% de la velocidad máxima de los motores del robot Lego Mindstorm NXT 170 rpm.

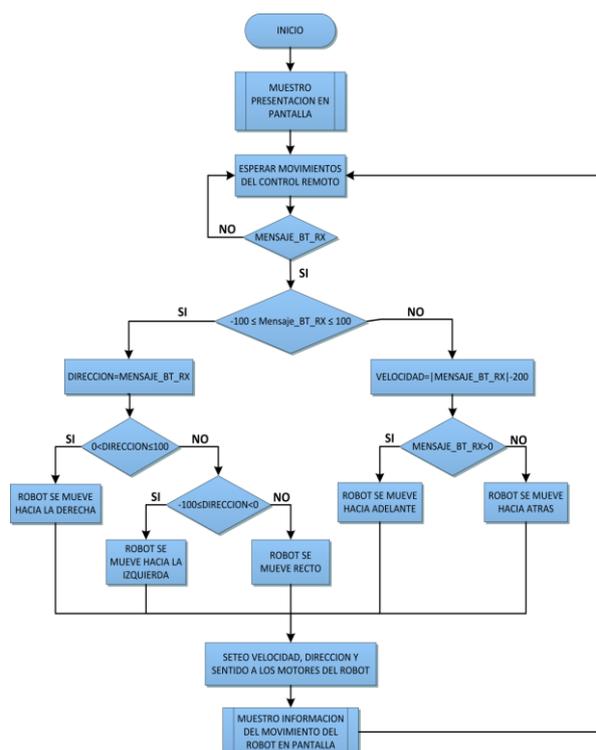


Figura 14. Diagrama de flujo del software del robot

## 5. Pruebas y Resultados

Evaluamos el rendimiento de nuestro proyecto de nuestro proyecto haciendo dos pruebas:

- prueba de distancia de recepción
- tiempos de respuesta del robot

En la primera prueba lo que se realizó es medir el alcance máximo de recepción en el cual tenemos control total del robot, obteniendo datos acorde con los valores dados por el fabricante de acuerdo a los escenarios planteados que fueron sin obstáculos y con obstáculos.

Tabla 2. Resumen de resultados de la prueba de distancia de recepción

RESUMEN DE RESULTADOS DE LA PRUEBA			
DISTANCIAS	escenario A	escenario B	escenario C
FABRICANTE	20 m	16.76 m	10.97 m
PRUEBA	35.5 m	24.4 m	10.95 m

En la segunda prueba medimos el tiempo que le toma al robot realizar distintas órdenes que le envía el control remoto variando la distancia de separación entre ellos.

Para realizar la prueba, evaluamos los tiempos que tardan en ejecutarse los siguientes procesos:

- Tiempo de conexión y desconexión bluetooth entre control remoto y robot
- Tiempo de respuesta del robot al cambio de dirección de movimiento

El primer proceso consiste en medir el tiempo que tarda en establecer conexión y desconexión bluetooth entre el control remoto y el robot LEGO variando la distancia entre ellos. La prueba se realizó en un ambiente sin obstáculos, para garantizar línea de vista.

Tabla 3. Tiempos de conexión y desconexión según distancia

DISTANCIA (m)	TIEMPO CONEXIÓN (s)	TIEMPO DESCONEXIÓN (s)
5	3.39	0.37
10	3.80	0.36
15	4.87	0.43
20	4.97	0.74
25	5.00	1.34
30	5.25	1.34
35	6.03	1.98

Como podemos observar los tiempos de conexión aumentan a medida que aumenta la distancia de separación entre ellos, pero los tiempo de desconexión no varían mucho y no son tan altos debido a que el control y el robot ya han establecido una comunicación y solo se envía el comando para iniciar la desconexión, mientras que durante el proceso de establecimiento de conexión los dispositivos inician un proceso de descubrimiento e identificación en la cual intercambian información adicional a los comandos de conexión.

El segundo proceso consiste en enviar al robot un cambio de dirección de movimiento y capturar el tiempo que tarda el robot en ejecutar el cambio.

La tabla 4 muestra los tiempos de respuesta obtenidos y se observa que no cambian mucho a medida que aumenta la distancia de separación entre el control y el robot. Esto confirma que el sistema trabaja bien en entornos sin obstáculos permitiendo tener un buen control del robot.

**Tabla 4.** Tiempos de respuesta según distancia

DISTANCIA (m)	TIEMPO DE RESPUESTA (s)
5	0.168
10	0.168
15	0.172
20	0.170
25	0.179
30	0.184
35	0.206

Los tiempos de respuesta los vemos expresados en milisegundos (ms) debido a la capacidad de procesamiento que es limitada por el procesador del robot. La velocidad de procesamiento de la tarjeta DE0 nano es de 100 Mhz mientras que el procesador del robot es un ATMEL de 41 Mhz esto produce retardo en el procesamiento que queda demostrado en la prueba.

## 6. Conclusiones

- Se logró realizar el acoplamiento del módulo bluetooth con la tarjeta DE0-NANO mediante el uso del puerto GPIO1 – JP2 para conectarlo físicamente a la FPGA embebida en la tarjeta, además se utilizó el protocolo UART para la comunicación entre el procesador NIOS II y el módulo bluetooth RN-42.
- Para realizar la comunicación entre el control remoto diseñado en la tarjeta DE0-NANO y el robot LEGO MINDSTORM NXT, se implementó un protocolo de comunicación que permite al robot entender los mensajes recibidos, para hacerlo se siguió un formato de mensajes ya establecido que debían contener los paquetes enviados desde el control remoto.
- Al lograr medir la distancia de recepción del robot LEGO MINDSTORM NXT se observa que cumple perfectamente con los parámetros establecidos por el fabricante, con obstáculos y sin ellos, además se ratifica porque se usó un módulo bluetooth clase II y no uno clase I.

## 7. Recomendaciones

- Se recomienda para futuras mejoras el uso de un robot que nos permita alcanzar mayores distancias de recepción, mayores velocidades y mejor desplazamiento en distintos tipos de suelos; esto sería excelente para aplicaciones de control de robots espías o robots exploradores los cuales necesitan mayor alcance.
- Se puede adaptar otro tipo de comunicación entre la tarjeta DE0-NANO y el robot que permita obtener mayor alcance, se puede usar módulos de radiofrecuencia o módulos GSM, uno adaptado a la tarjeta y otro adaptado al robot, sea este LEGO o cualquier otro tipo de sistema robótico.
- Se recomienda adaptar una batería al control remoto tal como se realizó en el proyecto, usando los pines para fuente de poder externa incluidos en la tarjeta DE0-NANO se colocó una batería recargable (BL-50 NOKIA) de 3.7 v, debido a que nos permite mejor movilidad al momento de controlar el robot.

## 8. Referencias

- [1] Terasic, DE0-Nano Development and Education Board, <http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=139&No=593>
- [2] Altera, Cyclone4 Handbook, <http://www.altera.com/literature/hb/cyclone-iv/cyclone4-handbook.pdf>
- [3] Altera, Nios II Processor Reference Handbook, [http://www.altera.com/literature/hb/nios2/n2cpu\\_nii5v1.pdf](http://www.altera.com/literature/hb/nios2/n2cpu_nii5v1.pdf)
- [4] Analog Devices, Digital Accelerometer ADXL345, [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADXL345.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf)
- [5] Roving Networks, Bluetooth Module RN-42, <http://www.rovingnetworks.com/products/RN42>.
- [6] Lego, Lego Mindstorms NXT Hardware Developer Kit, <http://mindstorms.lego.com/en-us/support/files/default.aspx>
- [7] Altera, Introduction to the Quartus II Software, [http://www.altera.com/literature/manual/archives/intro\\_to\\_quartus2.pdf](http://www.altera.com/literature/manual/archives/intro_to_quartus2.pdf)
- [8] Altera, SOPC Builder User Guide, [http://www.altera.com/literature/ug/ug\\_socp\\_builder.pdf](http://www.altera.com/literature/ug/ug_socp_builder.pdf)
- [9] Rosenberg Neil, NXT Programming For Beginners, [http://www.rocwnc.org/Beginning\\_NXT\\_Programming\\_Workshop.pdf](http://www.rocwnc.org/Beginning_NXT_Programming_Workshop.pdf)