



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

**Aplicaciones de Robótica Móvil para
Adquisición de Datos**

Tesis

Ingeniero en Redes

PRESENTA

César Ismael Rosado Villanueva

Director de Tesis

Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar

Asesores

M. C. Javier Vázquez Castillo

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Chetumal, Quintana Roo, México, Marzo del 2010.

059784



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo de tesis elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

Ingeniero en Redes

Comité de Tesis

Director:

Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar

Supervisor:

M.C. Javier Vázquez Castillo

Supervisor:

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Agradecimientos

A mis padres y hermanos por compartir conmigo a lo largo de estos años mis alegrías, tristezas y logros.

A mi esposa por todo el apoyo brindado durante toda mi formación profesional.

A mis amigos por todas las experiencias vividas y por aquellas que están por venir.

A mis maestros y asesores de tesis, por los conocimientos brindados y enseñanzas impartidas que me ayudarán a continuar y sobresalir en mi vida profesional.

Por último a todas aquellas personas que tocaron mi corazón y me obsequiaron diversas lecciones de vida, porque de ellas aprendí que con esfuerzo todo es posible.

A Todos Ustedes....Gracias.

Dedicatoria

A mis padres por estar a mi lado en esos momentos difíciles, por guiar mi camino cuando este se ponía oscuro, por la confianza brindada desde el momento que inicié mis estudios. Les dedico esta tesis por todos los sacrificios que hicieron para que en este momento pudiese ser un profesionalista.

Resumen

En la actualidad los robots son diseñados para realizar cualquier tipo de actividad, ya sea levantar un objeto, ensamblar piezas, introducirse en cuevas para realizar escaneos, entre otras. En este proyecto nos enfocamos a la automatización de invernaderos mediante la utilización de robots, con la finalidad de tener una mayor precisión al realizar las mediciones temperatura de esta forma se mantiene un mejor control sobre el clima dentro del invernadero.

Para este proyecto se utilizaron robots LEGO Mindstorms NXT. En los siguientes capítulos se describen las características y funciones con las que cuentan estos robots. También podemos encontrar algunos ejemplos de programación y los programas utilizados, tanto por el robot que se encargará de realizar las mediciones de temperatura, como la estación base que es la encargada de la recepción y almacenamiento de las mediciones. Cabe mencionar que la forma en que se envían las mediciones es mediante una conexión Bluetooth entre el robot y la estación base.

Índice

Agradecimientos.....	3
Dedicatoria	4
Resumen	5
Capítulo 1 Antecedentes	9
1.1 Definición del Problema.....	12
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivo General.....	13
1.4 Objetivos Particulares.....	13
Capítulo 2 Marco Conceptual	14
2.1 Características del Robot LEGO Mindstorms NXT.....	14
2.1.1 Puertos de Motores	15
2.1.2 Puertos de Sensores:.....	15
2.1.3 Puerto USB.....	18
2.1.4 Botones NXT:.....	18
2.1.5 Pantalla NXT:	18
2.1.6 Microprocesador:.....	18
2.2 Descripción de LabVIEW.....	19
2.2.1 Requerimientos	20
2.3 Programas de prueba de software	20
2.3.1 Programa 1: Rotaciones.....	20
2.3.2 Programa 2: Movimiento en 8.....	21
2.3.3 Programa 3: Medición de Nivel de Batería	22
Capítulo 3 Desarrollo del Trabajo.....	25
3.1 Metodología.....	25
3.1.1 Variable a Medir con el Robot LEGO Mindstorms NXT.....	26
3.1.2 Tipos de Sensores a utilizar en el Robot LEGO Mindstorms NXT para Mediciones en un Invernadero.	26
3.2 Construcción de un Sensor de Temperatura.....	27
3.3 Elaboración de Cables para LEGO Mindstorms NXT.....	29

3.4 Desarrollo del Sistema	31
3.4.1 Análisis del Sistema	31
3.4.2 Diseño del Sistema.....	31
3.4.3 Programación	32
3.4.3.1 Actividades Realizadas por el Bloque NXT	32
3.4.3.2 Actividades de la Estación Base.....	34
3.4.4 Ejecución y Pruebas.....	36
3.4.5 Modelo del Robot	37
3.4.6 Ensamblado de un Tribot de Pruebas	38
Capítulo 4 Resultados	41
4.1 Energía y Tiempo de Ejecución.....	41
4.2 Movimiento	42
4.3 Muestras de Temperatura	42
Capítulo 5 Conclusiones.....	45
5.1 Trabajos Futuros	46
Glosario	50
Anexo A Instrumentos Virtuales	53
A.1 Diagrama de Bloques: Receptor de Datos.....	53
A.2 Panel Frontal: Receptor de Datos.....	54
A.3 Archivo de Muestras	55
A.4 Diagrama de Bloques: Medición de Temperatura	56
Anexo B Sistema de Pruebas para la Estación Base.....	57
B.1 Sistema de Pruebas para Verificar Niveles de Batería	57
B.2 Archivo de Muestras con Nivel de Batería	58
Anexo C Características del Termistor	59
Anexo D Tribot.....	60

Lista de Figuras

Figura 2.1: Bloque NXT	14
Figura 2.2: Movimiento de Rotación	21
Figura 2.3: Movimiento en 8	22
Figura 2.4: Diagrama de Bloque del Nivel de Batería.....	23
Figura 2.5: Panel Frontal del Nivel de Batería.....	23
Figura 3.1: Sensor de Temperatura Compatible con el Bloque NXT.....	27
Figura 3.2: Materiales para la Creación del Sensor de Temperatura	27
Figura 3.3: Termistor Soldado a una Resistencia de 2.2 K Ω	28
Figura 3.4: Construcción del Sensor de Temperatura	29
Figura 3.5: Materiales para la Elaboración del Cable para LEGO NXT	29
Figura 3.6: Adaptación del Conector RJ-11 para el Bloque NXT	30
Figura 3.7: Seguidor de Línea	32
Figura 3.8: Medición de Temperatura.....	33
Figura 3.9: Creación del Directorio del Receptor de datos y Conexión Vía Bluetooth	34
Figura 3.10: Ciclo Receptor de Datos.....	35
Figura 3.11: Receptor de datos	36
Figura 3.12: Servo Motores Laterales y Central	38
Figura 3.13: Tribot Base (3 Servo Motores y Bloque NXT)	39
Figura 3.14: Tribot Base con Sensor de Luz	39
Figura 3.15: Tribot Base con Sensor de Luz y Temperatura	40
Figura 4.1: Verificación de los Niveles de Energía	41
Figura 4.2: Tribot en Movimiento	42
Figura 4.3: Panel Frontal Temperatura Máxima	43
Figura 4.4: Panel Frontal Temperatura Mínima	43

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Pines de los Puertos de Sensores del LEGO Mindstorms NXT	15
Tabla 2.2: Consumo de Energía de los Sensores NXT	16

Capítulo 1

Antecedentes

El término robot proviene del año 1917 en una obra publicada por Karel Kapek llamada "Rossum Universal Robots", en la cual un científico construía estos mecanismos para que realicen actividades físicas (Sánchez Martín, et al. n.d.). En la actualidad los robots son útiles en diversas tareas ya que permiten maximizar la producción al realizar tareas repetitivas que requieren de gran esfuerzo y/o precisión, o aquellas que pueden ser peligrosas para el ser humano. Además, los robots son dispositivos versátiles y existe una gran variedad de ellos, pueden ser utilizados en diversas situaciones, tal es nuestro caso al utilizarlo para el control de un microclima en un invernadero.

Un invernadero es un espacio que recrea las condiciones naturales para que varias especies o una planta en especial se puedan reproducir en un ambiente óptimo. Durante todo el proceso de crecimiento, es posible que se liberen sustancias que a largo plazo pueden ser perjudiciales para las personas (García Ruiz, et al. n.d.). Por tal razón se implementan sistemas móviles (robots) para realizar tareas específicas dentro de los invernaderos. Algunos ejemplos de robots son los siguientes:

Robot Recolector de Tomates AGROBOT (Italia): Es un robot utilizado principalmente para recolección de tomates maduros pero también realiza tareas de fumigación en flores y frutos. El robot se compone de un vehículo autónomo que transporta un brazo robot de 6 grados de libertad y un sistema de visión estereoscópica que controla los movimientos del sistema (Buemi, Massa and Sandini, Agrobot: a robotic system for greenhouse operation 1995).

El funcionamiento del sistema se compone de dos fases:

- Fase de navegación: El sistema de visión controla la dirección de movimiento del robot y permite mantenerlo entre los pasillos del invernadero (Buemi, Massa and Sandini, Agrobot: a robotic system for greenhouse operation 1995).
- Fase de operación: El robot se detiene en cada planta para realizar un análisis e identificar y localizar los objetos utilizando el sistema de visión (Buemi, Massa and Sandini, Agrobot: a robotic system for greenhouse operation 1995).

El sistema de visión se diseñó para tener un panorama completo del área de trabajo. Está formado por una cabeza que contiene dos cámaras a color, que permiten realizar la fase de navegación y operación. La cabeza tiene 2 grados de libertad, lo que permite que pueda girar en el eje horizontal y mover las cámaras en el eje vertical. Mientras el robot se encuentra en la fase de navegación, una de las cámaras es utilizada para adquirir imágenes del pasillo. Se utiliza un blanco de color al final de cada pasillo para mantener centrado al robot (Buemi and Sandini, The vision system for the agrobot project 1994).

Robot Recolector de Tomates (Japón): Se desarrolló en 1990 por la Universidad de Okayama, al igual que el AGROBOT desarrollado en Italia, es un vehículo autónomo que funciona con baterías eléctricas y sensores fotoeléctricos para detectar obstáculos, cuenta con un brazo robot vertical con movimientos de elevación y giro en la muñeca y dos articulaciones prismáticas en la base para aumentar el volumen de trabajo. Es un brazo robot redundante por lo que tiene más de 6 grados de libertad. El robot está orientado a la recolección de tomates grandes y tomates cereza. Debido a la fitología y cultivo similar únicamente se requiere cambiar la pinza del brazo robot (Kondo and Ting 1998).

Robot Recolector de Fresas (Japón): Al igual que el robot anterior, éste fue desarrollado por la Universidad de Okayama y es un robot similar con la diferencia que utiliza un brazo robot esférico con movimientos de elevación y giro en la muñeca y está montado a un vehículo. Una cámara a color permite la identificación de los frutos maduros, que son succionados para luego ser introducidos en la pinza. Los sensores fotoeléctricos determinan cuando el fruto está en la posición correcta para que la muñeca gire para introducir la pinza y cortar la fruta (Kondo and Ting 1998).

Robot Fumigador de Invernaderos Aurora: Este proyecto desarrollado por un consorcio español formado por la Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA), la Universidad de Málaga y la Universidad de Sevilla, se basa en un sistema robotizado de fumigación inteligente. La estructura del robot Aurora es un vehículo octagonal de cuatro ruedas fijadas en un rombo imaginario donde las dos ruedas longitudinales sirven para la dirección al robot. Las dos ruedas que se encuentran sobre el eje horizontal son las que transmiten la potencia suministrada por dos motores eléctricos independientes. La forma en rombo que proporcionan las llantas del robot permite al mismo girar 360 grados sobre su mismo eje. El robot cuenta con un atomizador que utiliza una corriente de aire producido por un ventilador para llevar las microgotas de producto hasta las plantas, de esta forma se realiza la fumigación de las plantas (Madow, et al. 1996).

Los robots utilizan diferentes tipos de sensores y aplicaciones que permiten llevar un mejor control dentro del invernadero (Rodríguez Díaz and Berenguel Soria 2004).

Los sensores de temperatura por lo regular pueden ser de resistencias metálicas (RTD), en la que la resistencia eléctrica del conductor metálico aumenta con la temperatura, con esto se pueden fabricar sensores

relacionando los factores mencionados. Los más comunes son los de platino (Rodríguez Díaz and Berenguel Soria 2004).

Existen los termistores que emplean materiales semiconductores que varían su resistencia eléctrica al aumentar su temperatura. Hay dos tipos de termistores: Termistores de Resistencia Negativa (NTC) a mayor temperatura disminuye la resistencia eléctrica y los Termistores de Resistencia de Positiva (PTC) a mayor temperatura la resistencia eléctrica aumenta (Rodríguez Díaz and Berenguel Soria 2004).

Entre estos 3 tipos de sensores de temperatura por las características de estabilidad, repetitividad, sensibilidad, linealidad, rango de resistencia eléctrica ($R(T)$), y rango de temperatura; los sensores RTD son mejores que los NCT y PCT (Rodríguez Díaz and Berenguel Soria 2004).

Al medir la temperatura dentro del invernadero se debe tomar en cuenta que la temperatura entre el día y la noche es diferente. Durante el día se requiere una temperatura elevada debido a que las plantas requieren de la luz del sol para realizar la fotosíntesis para su crecimiento y en la noche una temperatura óptima ya que al carecer de la luz del sol las plantas no crecen y solo se requiere mantener una temperatura adecuada, por tal motivo el robot debe poder ubicar los horas del día para que el operador del invernadero pueda regular la temperatura (Rodríguez Díaz and Berenguel Soria 2004).

1.1 Definición del Problema

Hasta al momento, en el estado de Quintana Roo, los sistemas que mantienen actualizado el registro de datos de variables para controlar el clima en un invernadero son excesivos en costo. Es por ello que es necesario contar con un sistema confiable y económico que de seguimiento al crecimiento de especies vegetales y que sea diseñado acorde a las condiciones ambientales de nuestra región.

1.2 Justificación

La utilización de sistemas móviles dentro de invernaderos, es una herramienta muy eficaz para llevar a cabo las mediciones de variables fundamentales. Estas variables intervienen directamente en el proceso de crecimiento de las plantas en determinados intervalos de tiempo, para lograr las condiciones apropiadas y el crecimiento óptimo de las mismas. Es por esta razón que al hacer uso de robots, nos podremos asegurar de llevar a cabo un registro de información específica que se implementa en el invernadero y se traduce en un cultivo exitoso. Por otro lado el uso de un despliegue de sensores en algunos casos solo nos produce un amontonamiento de información que en ocasiones no puede ser totalmente procesada y al ser sensores estáticos se puede concurrir a puntos ciegos donde el sensor no pueda realizar la medición, aunado a lo anterior está el costo de todos los sensores y el sistema que se requiere para controlarlos. Con un sistema móvil podemos evitar puntos ciegos en las mediciones ya que las muestras se realizan por intervalos de tiempo y se reducen los costos al implementar un solo sensor.

1.3 Objetivo General

Implementar un sistema móvil de recopilación de muestras de variables físicas en cultivos protegidos para su análisis y procesamiento.

1.4 Objetivos Particulares

- Identificar tipos de sensores
- Identificación de variables físicas a ser muestreadas
- Método para la recopilación de muestras
- Construcción de dispositivo móvil
- Recolección y envío de datos

Capítulo 2

Marco Conceptual

Los invernaderos son estructuras cerradas de paredes transparentes dentro de las cuales se permite obtener condiciones físico-químicas adecuadas y con esto cultivar plantas fuera de la estación en condiciones apropiadas (García Ruiz, et al. n.d.).

La automatización es la aplicación de tecnologías a sistemas mecánicos-eléctricos y de bases computacionales para controlar la producción (Salazar Izaguirre, et al. n.d.).

Se puede definir a un robot como un manipulador multifuncional y reprogramable, está diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas (Robotica n.d.).

2.1 Características del Robot LEGO Mindstorms NXT



Figura 2.1: Bloque NXT

El Robot consta de un Bloque NXT (ver la Figura 2.1: Bloque NXT) que es el cerebro del Robot. Es un bloque que permite al robot desempeñar diferentes operaciones conforme a las instrucciones dadas por el usuario. Consta de varias partes (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

2.1.1 Puertos de Motores: El NXT tiene puertos de salida que permiten conectar hasta 3 Servo Motores (Puertos A, B y C). Estos puertos con potencia variable y control de polaridad pueden activar una variedad de dispositivos más allá de los motores del NXT como pueden ser las tenazas de un robot insectoide (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

2.1.2 Puertos de Sensores: En total son 4 puertos, numerados del 1 al 4, que permiten conectar sensores al robot con los cuales podrá realizar diversas tareas. Cada puerto está compuesto por 6 pines, en la Tabla 1 se muestra una tabla de colores y nombres de cada pin (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

Pin	Color	Nombre
1	Blanco	AN
2	Negro	GND
3	Rojo	GND
4	Verde	4.3V Power
5	Amarillo	DIGI0
6	Azul	DIGI1

Tabla 2.1: Pines de los Puertos de Sensores del LEGO Mindstorms NXT

Pin 1 – Blanco – AN: Este pin sirve para dos propósitos, como una entrada analógica o como una fuente de alimentación de energía de 9V. Cuando el pin es usado como entrada analógica, éste se encuentra conectado a un convertidor analógico-digital de 10 bits, además de estar permanentemente conectado a una corriente de 5V mediante una resistencia de 10 K Ω . Algunos sensores como el sensor de luz del bloque RCX o el ultrasónico del bloque NXT, requieren utilizar el pin 1

como una fuente de alimentación de 9V debido a que necesitan más energía para que realizar sus transmisiones. Los 9V hacen referencia a la energía de las baterías, pero cuando se usan baterías NI-MH solo puede usar 7.2V.

Pin 2 y 3 – Negro y Rojo – GND: Estos dos pines hacen referencia a la “Tierra”, y están conectados unidos dentro del bloque NXT y de los sensores LEGO. Los sensores pueden usar cualquiera de los pines o ambos.

Pin 4 – Verde – 4.3V Power: El pin 4 es la fuente de alimentación principal de todos los sensores del bloque NXT. Tiene un límite de corriente total de 180 mA para los 7 puertos de entrada y salida (4 Puertos de sensores y 3 de motores). Cada puerto utiliza 25mA en promedio, pero esto puede variar si un puerto utiliza más mA que otro. La Tabla 2.2: Consumo de Energía de los Sensores NXT muestra el consumo de energía de cada sensor del NXT.

Dispositivo	mA
Sensor de Tacto	0
Sensor de Sonido	1.7 mA
Sensor de Luz (encendido)	2.6 a 3 mA (dependiendo a luz)
Sensor de Luz (apagado)	16.3 mA
Sensor Ultrasónico	4 mA
Codificador del motor de posiciones	9 a 12 mA (dependiendo de la codificación de la posición)
Motores y Sensores del Bloque RCX (vía adaptador de cable)	0

Tabla 2.2: Consumo de Energía de los Sensores NXT

Pin 5 – Amarillo y Azul – DIGI0 Y DIGI1: Ambos pines tienen señales digitales de 3.3V. Cuando es usado como salida hay que tener cuidado en no sobre pasar el límite de 3.3V. Si se usa como un valor de entrada el bloque NXT cuenta con un circuito de protección para altos voltajes previniendo el daño de algún componente del NXT. El circuito está conectado a una resistencia de 4.7 K Ω en serie, lo cual evita el daño al equipo.

En los siguientes puntos se explicarán los tipos de sensores que se pueden conectar al bloque NXT:

- **Sensores de Contacto:** Son sensores sencillos debido a que funcionan mediante encendidos y apagados al ser presionados.
- **Sensores Resistivos:** Se les otorga este nombre debido a que utilizan las variaciones de resistencia eléctrica para realizar una determinada medición. Entre estos tipos de sensores se encuentran:
 - **Sensor de Óhmetro**
 - **Sensor de Temperatura**
 - **Sensor de Luz**
- **Sensores Potenciómetros:** Los potenciómetros permiten cambiar la resistencia mediante rotaciones de un eje mecánico. Un claro ejemplo de este tipo de sensores son los controles de audio que tienen algunos equipos, al girar la perilla del volumen podemos aumentar o disminuir el sonido.
- **Sensores de Voltaje:** El NXT puede convertir señales analógicas a digitales mediante un sensor integrado que permite leer voltajes de 0 a 5 V. Además el NXT puede utilizar sensores de voltajes externos con el único requisito de configurarlo para que trabaje en conjunto con el NXT.
- **Sensores de Potencia a 4.3V:** El NXT tiene un voltaje de corriente directa en los puertos de sensores, para los sensores que requieran una fuente de alimentación. Los sensores de luz y sonido de LEGO son ejemplos de sensores que utilizan esta fuente de alimentación.
- **Sensores de Potencia de 2 hilos:** El bloque RCX de LEGO Mindstorms utiliza sensores de potencia de 2 hilos que son compatibles con el NXT. Esto ofrece ventajas a los sensores personalizados que necesitan una potencia mayor a los 4.3V, asimismo es la primera opción para los sensores que precisen tomar una ventaja completa sobre las conversiones analógicas-digitales de 5V.

2.1.3 Puerto USB: Este puerto sirve para conectar un cable USB para la carga y descarga de datos entre la computadora y bloque NXT. Podemos usar la conexión Bluetooth en lugar del cable USB (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

2.1.4 Botones NXT:

- Botón naranja: Encendido / Entrar / Ejecutar
- Flechas Gris Claro: Se utilizan para moverse de izquierda a derecha en el menú del Bloque NXT.
- Botón Gris Oscuro: Limpiar/ Atrás (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

2.1.5 Pantalla NXT: La pantalla contiene varias características con las cuales se pueden realizar diversas actividades en el bloque NXT (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

2.1.6 Microprocesador: El bloque NXT está integrado por los siguientes componentes:

- Microcontrolador ARM7 de 32 bits (256 Kbytes en Flash y 64 Kbytes en RAM).
- Microcontrolador AVR de 8 bits (4 Kbytes en Flash y 512 Bytes en RAM)
- Comunicación inalámbrica vía Bluetooth versión 2.0
- Puerto USB "full speed" (12 Mbits/s)
- 4 puertos de entrada. Incluye un puerto IEC 61158 Type 4/EN 50 170 para usos futuros.

- Pantalla grafica LCD de 100 x 64 pixeles
- Bocinas con sonido de calidad de 8 KHz, tiene un canal de sonido de 8 bits de resolución y una frecuencia de muestreo de 2 a 16 KHz
- Fuente de poder de 6 baterías AA

2.2 Descripción de LabVIEW

LabVIEW es un poderoso lenguaje de programación gráfico, más sencillo que los lenguajes tradicionales, contiene funciones para adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medidas y presentaciones de datos.

Es un lenguaje ampliamente utilizado por ingenieros, científicos y técnicos de todo el mundo para realizar:

- Pruebas en Producción.
- Investigaciones y Análisis.
- Control de Procesos y Automatización en Fábricas.
- Monitorización y Control de Maquinaria.

Además cuenta con las siguientes ventajas:

- Integra cualquier hardware y software a la medida, conectando miles de instrumentos para construir sistemas de medida más completos.
- Protege la inversión, al construir sistemas definidos por el usuario sin la necesidad de cambiar equipos.
- Aumenta el rendimiento de los sistemas, mediante su compilador gráfico optimizado que permite múltiples procesos con los que maximiza el rendimiento de los sistemas.
- Provee un entorno completo con funciones integradas (adquisición, análisis y presentación de datos) para crear una solución única.

Como se había mencionado una de las ventajas de utilizar LABVIEW es poder implementar librerías adicionales al programa, de esta forma podemos agregar herramientas para controlar más instrumentos, este es el caso del kit de herramientas para LEGO (LEGO NXT Toolkit).

LEGO NXT Toolkit es una aplicación que contiene librerías de programación para LEGO Mindstorms NXT, de esta forma podemos crear programas que serán ejecutados directamente por el bloque NXT o establecer condiciones que

se ejecutan desde una computadora para que el bloque NXT realice en un determinado instante. Actualmente se encuentra en su versión 2.0 que puede ser descargado directamente de la página de LabVIEW.

(<http://www.ni.com/academic/mindstorms/>).

2.2.1 Requerimientos

Los requerimientos del sistema son:

- LabVIEW 7.1 o superior.
- LabVIEW Toolkit for LEGO Mindstorms NXT.
- Realizar un recorrido de pruebas.
- Elaboración de un sensor de un sensor de temperatura compatible con el bloque NXT.
- Construcción de cables para la conexión del sensor de temperatura con el bloque NXT.
- El programa debe realizar muestreos cada determinado tiempo.
- Envío de las muestras a una estación base (computadora) para que se realice un respaldo del día.

2.3 Programas de prueba de software

Antes de iniciar con la programación del robot se realizaron programas de prueba para conocer el funcionamiento del robot, a continuación se explican 3 de estos programas.

2.3.1 Programa 1: Rotaciones

El objetivo de este programa es simplemente un modelo construido con el NXT, (Tribot), que avanza durante 3 segundos y realiza un giro hacia la derecha de 180 grados.

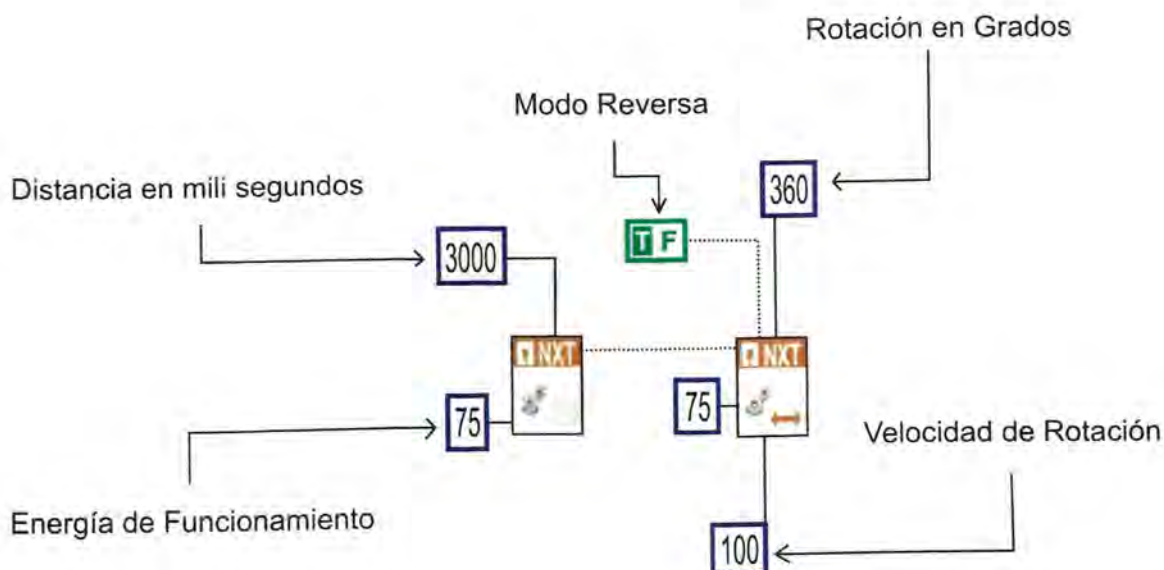


Figura 2.2: Movimiento de Rotación

La Figura 2.2: Movimiento de Rotación muestra un programa simple, el primer objeto indica al Tribot avanzar durante 3 segundos y el segundo realiza un giro hacia la derecha de 180 grados (el programa indica un giro 360 grados que es equivalente a 180 cuando el robot se encuentra ejecutando el programa).

Los valores de la potencia de rotación van de -100 a 100. Si utilizamos un valor positivo estamos indicando que el giro del robot va a estar enfocado sobre el servo motor derecho, si el valor es negativo el giro lo realizara el servo motor izquierdo. En el caso de poner un valor menor a 100 o -100 lo único que estamos indicando es la velocidad con el que se realiza el giro, es decir un valor menor a 100 el robot girara 180 grados pero a una velocidad menor.

El indicador Falso Verdadero del modo reversa sirve para indicar si el giro será hacia la derecha o izquierda. En un momento dado, podemos hacer que el servo motor derecho realice el giro y este puede ser a la derecha si escogemos un valor verdadero o a la izquierda si es falso. En el caso del servo motor izquierdo el valor verdadero será para hacer un giro sobre el lado izquierdo y cuando sea falso sobre el derecho.

2.3.2 Programa 2: Movimiento en 8

El objetivo de este programa es que el Tribot avance describiendo un ocho.

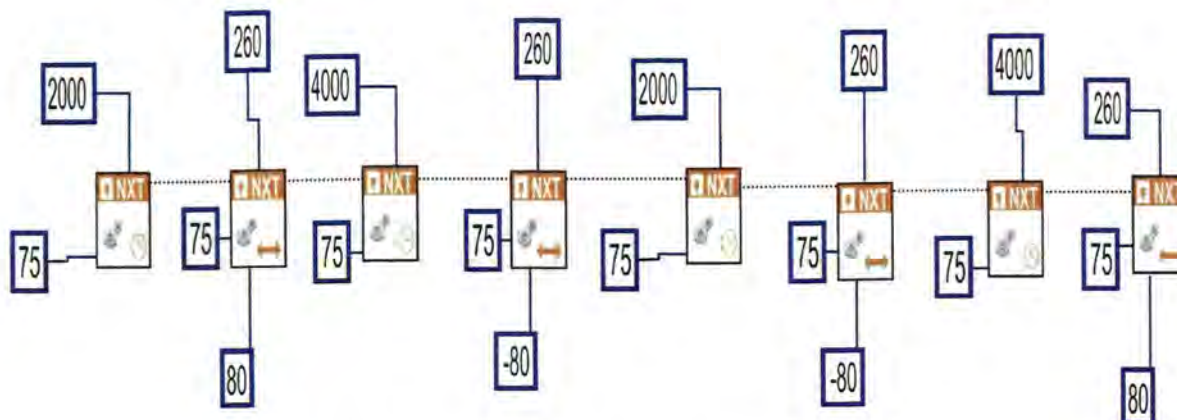


Figura 2.3: Movimiento en 8

Este programa es similar al anterior con la diferencia que ahora seguiremos un camino como si se estuviese trazando el número 8. El programa inicia indicando que el Tribot avanzará derecho durante 2 segundos y hará un giro de 260 grados (130 en ejecución del programa) hacia su lado derecho, después avanzará en diagonal durante 4 segundos para luego hacer un giro de 260 grados sobre el servo motor izquierdo hacia la izquierda donde avanzará durante 2 segundos y realizará de nuevo un giro en servo motor izquierdo y de nuevo avanzará en diagonal para llegar al lugar de origen, por último girará 260 grados para regresar al punto de partida. (Instruments and Celis n.d.)

2.3.3 Programa 3: Medición de Nivel de Batería

El objetivo de este programa realizar una conexión mediante Bluetooth entre la PC y el NXT, para consultar el nivel de energía restante en las baterías y desplegarlo.

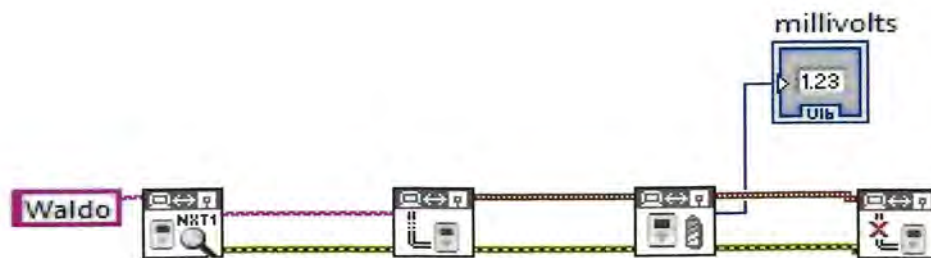


Figura 2.4: Diagrama de Bloque del Nivel de Batería

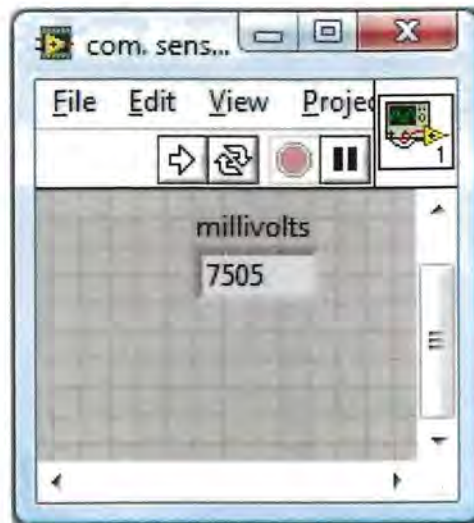


Figura 2.5: Panel Frontal del Nivel de Batería

En la Figura 2.4: Diagrama de Bloque del Nivel de Batería, podemos observar un pequeño programa para saber el nivel de batería actual del Tribot. El programa se ejecuta directamente en el diagrama de bloque y al finalizar se muestra el nivel de batería en panel frontal (ver la Figura 2.5: Panel Frontal del Nivel de Batería).

El programa al iniciar ejecuta una búsqueda del robot que hayamos ingresado dentro del buscador, inmediatamente crea un objeto NXT para que se pueda establecer una conexión con el objeto nivel de batería, de este objeto creamos un indicador de salida para que muestre el valor del nivel de batería al finalizar el programa, por último conectamos un objeto destruir al nivel de batería para

que una vez que haya realizado la medición se detenga automáticamente. (National Instruments n.d.)

Como se mencionó anteriormente, la finalidad de este programa es la conexión vía Bluetooth, que nos puede ser de utilidad, al momento que deseemos recolectar datos para las funciones que realizará el robot en este proyecto.

Capítulo 3

Desarrollo del Trabajo

En este capítulo se explicará paso a paso el desarrollo del sistema del robot, desde la investigación de la variable a medir, los sensores a utilizar, hasta el desarrollo de los sistemas con los que trabajará la estación base y el robot.

3.1 Metodología

A continuación se presenta la metodología que se siguió en el desarrollo del trabajo. Dado que el objetivo es utilizar robots para mediciones en un invernadero, se tuvo que analizar la variable a medir y los tipos de sensores que se requieren, tanto para el movimiento del robot como para efectuar las mediciones.

- **Investigación de la Variable Física a Medir en un Invernadero.**

Definir cuál es la variable a medir con el robot LEGO Mindstorms NXT.
Definir los posibles rangos de valores que puede tomar, y los elementos que pueden afectar dicha variable.

- **Investigación sobre los Diferentes Tipos de Sensores que se pueden Adaptar a un Robot LEGO NXT para Mediciones en un Invernadero.**

El robot LEGO Mindstorms NXT cuenta con varios tipos de sensores que se pueden adaptar dependiendo el funcionamiento que requiera, es por eso que en esta sección se hará una breve reseña de los sensores que se utilizarán para realizar las mediciones; así como, los pasos para la creación de un sensor de temperatura personalizado y los cables que se requieren para conectarlo al NXT.

- **Desarrollo del Sistema del Robot.**

Esta sección se compone de 4 puntos para realizar el desarrollo del sistema:

- **Análisis del Sistema.** Es un análisis de los requerimientos del proyecto.

- **Diseño del Sistema.** Partiendo del análisis del sistema se define como va a estar compuesto el sistema.
 - **Programación.** Se detalla la descripción de los programas que se emplearán en el robot y en la estación base.
 - **Ejecución y Pruebas.** En este punto se detallan algunos problemas que se presentaron al realizar los primeros programas, hasta llegar a los programas con los que trabajará el robot LEGO y la estación base.
- **Elección de un Modelo de Robot de Acuerdo a los Requerimientos del Sistema.**

Los robots LEGO Mindstorms NXT tienen la facilidad de ser moldeables y poder crear cualquier tipo de robot que nos venga a la mente, es por eso que esta sección se encarga de definir el tipo de robot con el que se trabajará en este proyecto.

3.1.1 Variable a Medir con el Robot LEGO Mindstorms NXT

Al principio se pretendía medir más de una variable con robots LEGO, sin embargo, no todas estas variables pueden ser medidas por el robot o bien el método que utiliza la medición no es el apropiado para los propósitos de este proyecto debido a que el robot únicamente acepta sensores de resistencia, por esta razón el robot LEGO únicamente obtendrá lecturas de temperatura.

3.1.2 Tipos de Sensores a utilizar en el Robot LEGO Mindstorms NXT para Mediciones en un Invernadero.

El kit de LEGO contiene varios tipos de sensores con diferentes funciones cada uno, para efectos de este proyecto trabajaremos únicamente con un sensor de luz y uno de temperatura en cada robot.

El sensor de luz contiene un diodo emisor de luz que puede ser encendido desde el programa, de esta forma el sensor puede medir la luz reflejada del objeto o la luz ambiental que cae al sensor. El interior del sensor de luz está compuesto por un fototransistor que es más sensible a los colores infrarrojos de luz que al espectro visible relativamente estrecho que vemos los humanos. En otras palabras, el sensor ve las fuentes de luz calientes con un mayor brillo que nosotros los humanos (Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007).

El sensor de temperatura no está incluido dentro del kit de LEGO, no obstante este puede ser adquirido o bien podemos construir nuestro propio sensor; cabe mencionar que ambos sensores están hechos para el bloque RCX de LEGO Mindstorms pero son compatibles con el bloque NXT. Para efectos de las mediciones se usará un termistor GE Infrastructure Sensing Type RL0503-5820-97MS.



Figura 3.1: Sensor de Temperatura Compatible con el Bloque NXT

3.2 Construcción de un Sensor de Temperatura

Materiales:

- Cable de teléfono de 6 hilos
- Termistor (GE Infrastructure Sensing type RL0503-5820-97MS). Ver Anexo D
- Resistencia de 2.2 K Ω

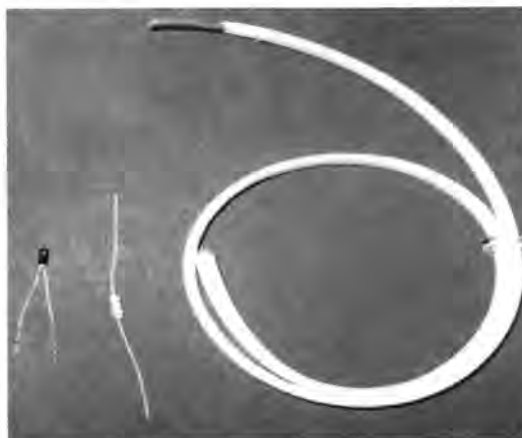


Figura 3.2: Materiales para la Creación del Sensor de Temperatura

Un termistor es una resistencia eléctrica, mientras la temperatura aumenta la resistencia varia, hay que mencionar que la forma en que detecta la temperatura es analógica y el bloque NXT se encarga de convertir estos valores a digital. Para la construcción del sensor compatible con el bloque NXT se requiere un termistor con una resistencia de 12.2 K Ω . El problema radica en que no hay un termistor con esta característica, sin embargo se puede utilizar un termistor GE Infrastructure Censan Type RL0503-5820-97MS con una resistencia de 10 K Ω y agregar una resistencia en serie de 2.2 K Ω para sumar los 12.2 K Ω que se necesitan. El termistor trabaja en un rango operacional de -50°C a 150°C



Figura 3.3: Termistor Soldado a una Resistencia de 2.2 K Ω

Para conectar el sensor al bloque NXT se precisa de un cable de teléfono de 6 hilos con su respectivo conector RJ-11 en uno de los extremos (en el siguiente tema se explica cómo elaborar los cables). El termistor va conectado en los cables blanco y negro que corresponden al PIN 1 y PIN 2 en el bloque NXT. Al estar conectado a estos dos pines, el bloque NXT puede realizar la conversión analógico-digital.

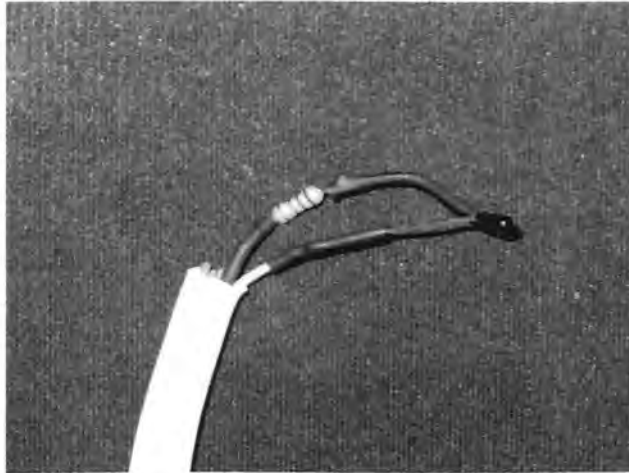


Figura 3.4: Construcción del Sensor de Temperatura

3.3 Elaboración de Cables para LEGO Mindstorms NXT

Materiales:

- Cable telefónico de 6 hilos
- Conector RJ-11

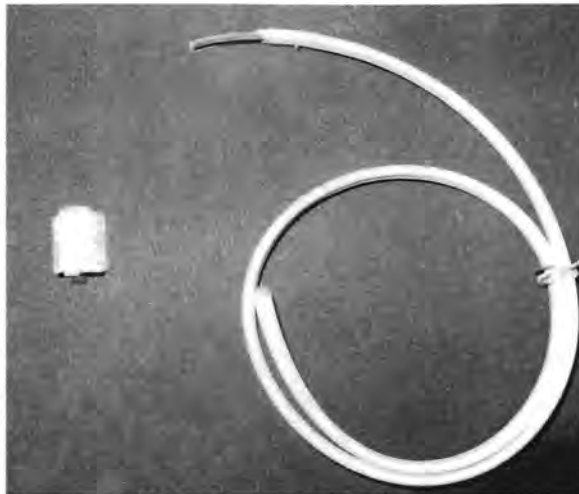


Figura 3.5: Materiales para la Elaboración del Cable para LEGO NXT

Si bien los cables para LEGO Mindstorms NXT pueden ser adquiridos en la página oficial, estos pueden ser creados utilizando únicamente un cable de telefónico de 6 hilos y un conector RJ-11. Los cables originales para el bloque NXT utilizan un conector propietario de LEGO Mindstorms que es idéntico al RJ-11 con la diferencia de la ubicación del seguro, para los cables originales este se encuentra del lado derecho y en el RJ-11 está en el centro del conector.

(Gasperi, Hurbain and Hurbain, Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level 2007)

Para realizar nuestro cable lo primero que debemos hacer es ponchar el cable telefónico dentro del conector RJ-11. Teniendo el conector con el seguro hacia abajo, introducimos el cable manteniendo la siguiente configuración de colores de izquierda a derecha:

- Azul
- Amarillo
- Verde
- Rojo
- Negro
- Blanco

El siguiente paso es adaptar el conector a la entrada del bloque NXT, para esto lo único que debemos hacer es eliminar el seguro del conector. Esto se puede hacer con un cúter y después usamos una lija para eliminar cualquier área puntiaguda que haya quedado.

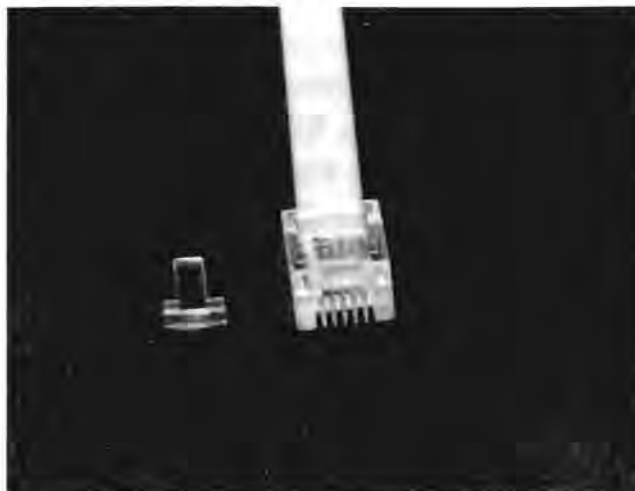


Figura 3.6: Adaptación del Conector RJ-11 para el Bloque NXT

El cable puede usarse como se muestra en la Figura 3.6: Adaptación del Conector RJ-11 para el Bloque NXT, sin embargo a este cable todavía se puede hacer una adaptación mas, el seguro sobrante puede ser pegado del lado derecho para el cable sea idéntico a un cable original de LEGO Mindstorms.

3.4 Desarrollo del Sistema

Para llegar al programa final, que usará la estación base y el robot, se necesitan tener las bases fundamentales para la toma de decisiones, es por este motivo que en este apartado nos enfocaremos a explicar el análisis y diseño del sistema, además de la programación del robot y los inconvenientes que se presentaron al principio del diseño del sistema.

3.4.1 Análisis del Sistema

Con base en los requerimientos del sistema se creará un sistema, con el cual un robot se desplace en un invernadero realizando mediciones de temperatura para luego ser enviadas a una estación base. En dicha estación, el operador podrá revisar si las mediciones realizadas concuerdan con la temperatura óptima del microclima, para luego realizar los cambios pertinentes al microclima. Asimismo, tener un control de las mediciones realizadas por el robot.

El robot trabajará con un sistema seguidor de línea para realizar todo el recorrido. Entre estos sistemas encontramos los seguidores de línea con dos sensores y los que trabajan con uno solo. Los seguidores de línea con dos sensores utilizan una línea negra y ambos sensores van afuera de la línea, de esta forma si un sensor detecta el color negro inmediatamente se mueve al lado correspondiente para centrarse de nuevo a las afueras de la línea negra. Los seguidores de línea de un solo sensor de luz también funcionan mientras se encuentre en borde de una línea negra y blanca, de tal forma que cuando el sensor de luz detecte el color negro haga un giro a la derecha o si se encuentra en el color blanco haga el giro a la izquierda, centrándose de nuevo en el borde de ambas líneas.

El robot LEGO Mindstorms NXT viene integrado con un sensor luz, por tal razón se decidió utilizar un seguidor de línea de un solo sensor.

3.4.2 Diseño del Sistema

Dentro de las facilidades que nos proporciona el programa LabVIEW está el poder crear ciclos simultáneos que se ejecutan en forma paralela. Así, podremos crear un solo programa que ejecute dos acciones distintas de manera simultánea. Adicionalmente, el sistema a implementar constará de dos partes:

- Las actividades a realizar por parte del bloque NXT
- Las actividades realizadas por la estación base.

El bloque NXT tendrá como objetivos recorrer el invernadero, esto lo realizará implementando un seguidor de línea y una rutina que realice mediciones y las envíe directo a la estación base para ser analizadas.

El seguidor de línea funciona con un movimiento de zigzag. El robot debe estar posicionado en el borde de dos líneas (Negra y Blanca) y mediante un sensor de luz debe identificar si se encuentra completamente sobre la línea negra o blanca para realizar un giro y lograr centrarse en el borde de ambas líneas para seguir avanzando.

En el caso de las mediciones, se usará un ciclo paralelo al seguidor de líneas que mida cada determinado tiempo y envíe la información a la estación base vía Bluetooth.

El programa para las actividades de la estación base constará de varios ciclos, uno para cada bloque NXT y constarán de una conexión con el bloque NXT vía Bluetooth para que pueda recibir los mensajes del mismo y proceder a la creación de un archivo con todas las mediciones realizadas.

3.4.3 Programación

3.4.3.1 Actividades Realizadas por el Bloque NXT

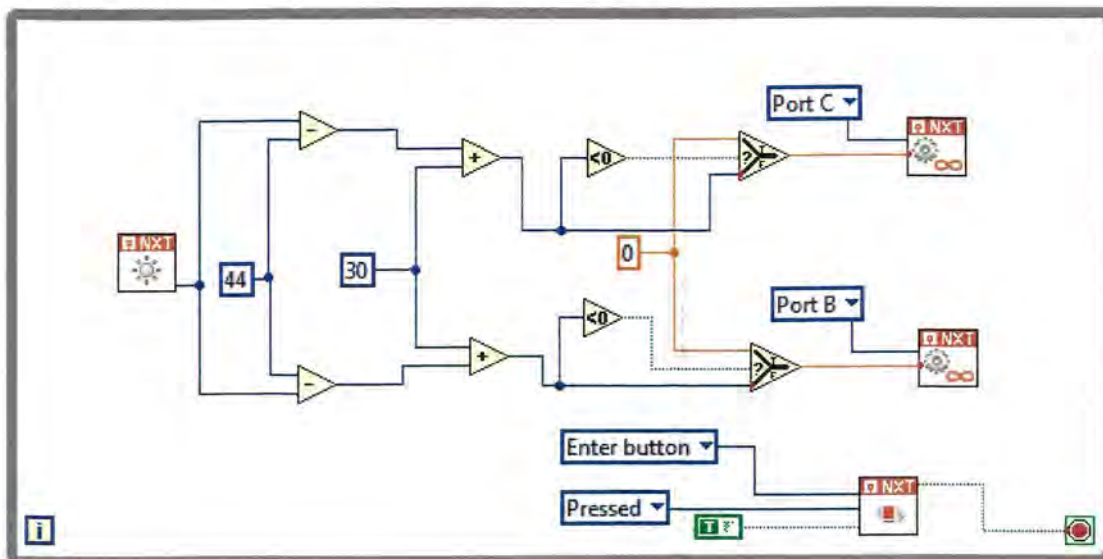


Figura 3.7: Seguidor de Línea

La Figura 3.7: Seguidor de Línea muestra un control proporcional para seguir una línea. El programa trata de graduar el margen de error para que el robot al

girar no haga movimientos completos en zigzag, sino que trate de rodear en proporción a la intensidad de luz que reciba el sensor de luz.

El ciclo del programa inicia con el VI del sensor de luz, el cual tiene dos salidas, una para cada motor de rotación ilimitado. La intensidad de luz recibida por este sensor es restada por un valor medio obtenido por la intensidad de luz recibida por el sensor entre la línea negra y blanca, este valor es ajustado antes de iniciar el programa. El valor resultante es sumado a la cantidad de energía dada a cada motor para su movimiento. Debemos entender que la forma en que el robot va a realizar sus giros va a ser en función al nivel de energía proporcionado a cada servo motor, este a su vez puede aceptar valores positivos y negativos; sin embargo un valor positivo es igual a un negativo, por lo tanto para evitar caer en valores negativos se anexo un selector que analiza si el valor de la última suma es menor a cero, en caso de ser cierto el motor toma el valor de cero, si es falso obtiene el valor de la última suma. Así, ambos servo motores van graduando su giro para tratar de mantener siempre en el borde la línea negra y blanca.

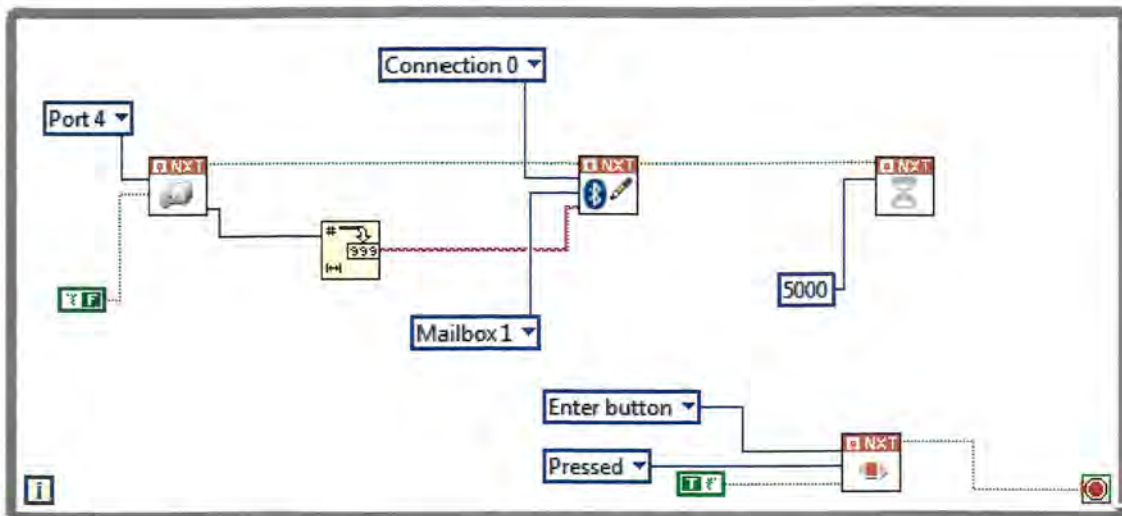


Figura 3.8: Medición de Temperatura

El segundo ciclo de las actividades del bloque NXT (ver la Figura 3.8: Medición de Temperatura) se compone de las mediciones de temperatura. LEGO Toolkit nos permite utilizar sensores heredados del LEGO RCX, de esta forma este ciclo se compone de un VI de temperatura heredada, que pasa por un convertidor de caracteres para llegar al VI que sirve para escribir mensajes y enviarlos por Bluetooth. En este VI se debe especificar la conexión a la cual se

requiere conectar; para este proyecto debemos elegir la conexión 0 ya que es la maestra y es la única por la cual se puede comunicar con el Bluetooth de la estación base. Por último está un VI de espera, el cual el bloque NXT esperará 5 segundos para realizar la siguiente medición, cabe mencionar que este valor puede ser ajustado.

Ambos programas requieren que el botón naranja del bloque NXT sea presionado para detener los programas.

3.4.3.2 Actividades de la Estación Base

La estación base será la encargada de establecer la conexión Bluetooth con el bloque NXT, adicionalmente recopilará todos los mensajes recibidos en un solo archivo para tener un respaldo de todas las mediciones realizadas durante el recorrido del robot por la zona. El programa consta de varios ciclos, uno para cada robot. En un principio se había programado un solo ciclo que detectara los robots pero al descargar los archivos a la computadora se sobrescribían. Por tal motivo, se tomó la iniciativa de trabajar con ciclos paralelos. En las siguientes imágenes se explicara cómo funciona cada ciclo.

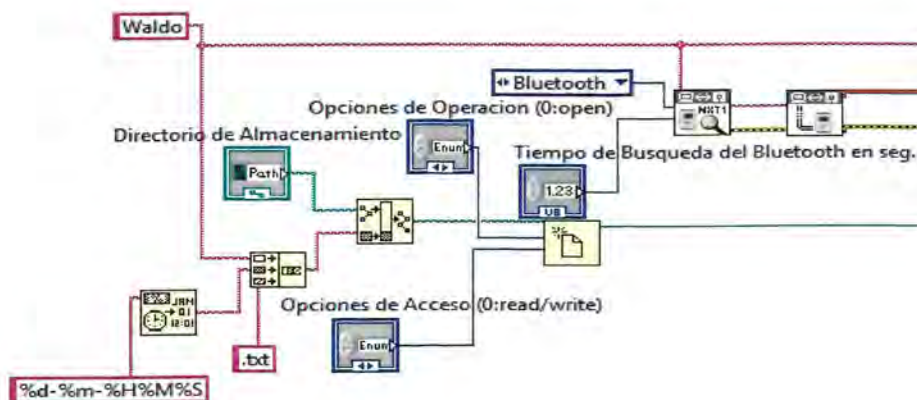


Figura 3.9: Creación del Directorio del Receptor de datos y Conexión Vía Bluetooth

La primera parte del ciclo (ver la Figura 3.9: Creación del Directorio del Receptor de datos y Conexión Vía Bluetooth) crea un archivo con formato "txt", para esto usamos el VI "open/create/replace file", este VI nos da la opción de escoger la ruta de almacenamiento y el nombre del archivo, además de las opciones a utilizar. Para evitar que el nombre del archivo se sobrescriba cada

vez que se inicie el programa, se creó una concatenación usando el nombre del robot, la fecha y la hora. De esa forma cada vez que se inicie el programa se creara un archivo con la fecha actual y una hora diferente. Una vez que se ha creado el archivo se inicia la conexión entre la computadora y el bloque NXT por medio del Bluetooth, a partir de este momento los VI que se utilizarán en el resto del programa se encuentran en el NXT Toolkit. La conexión se inicia con el VI Find NXT, para buscar al bloque NXT deseado, inmediatamente un VI "Create Object" crea los enlaces necesarios para iniciar la ejecución de los VI que se encuentran dentro del ciclo.

La segunda parte del programa consta de la recopilación de la información y cuando debe detenerse el programa. El ciclo inicia con dos enlaces que salen del VI "Create Object" y van dirigidos al VI de "Get Battery Level" para posteriormente conectarse al VI "Read Message". Ver la Figura 3.10: Ciclo Receptor de Datos.

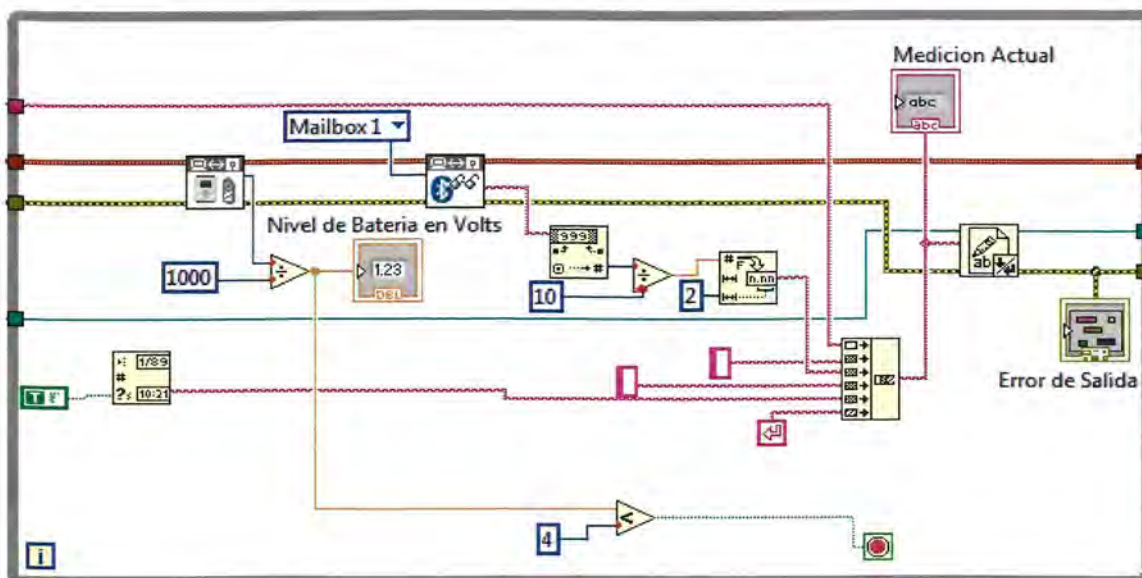


Figura 3.10: Ciclo Receptor de Datos

El VI del nivel de batería nos sirve para saber cuando el programa se va detener, esto va a suceder cuando el nivel de batería se encuentre por debajo de los 4V. Se ha implementado un indicador para saber en el panel frontal el nivel de batería actual del bloque NXT. Por defecto el nivel de batería esta dado en Mili Volts por esta razón el valor esta dividido entre 1000 para registrar el valor en Volts. El VI leer mensaje recibirá los mensajes enviados por el bloque NXT, en este caso serán las mediciones realizadas, que estarán concatenadas al nombre del robot y a la hora en que se recibió la medición. En la Figura 3.10:

Ciclo Receptor de Datos y Figura 3.11: Receptor de datos se pueden observar entradas vacías en color rosa, estas entradas son constantes que representan un espacio vacío para separar cada concatenación, al final se puede ver un retorno de carro que servirá para saltar a la siguiente fila. También se ha anexado un indicador para que muestre la medición actual.

Para finalizar el programa únicamente falta un VI "Close File", para guardar el archivo y un VI "Destroy Object" para terminar el enlace que se había iniciado (ver la Figura 3.11: Receptor de datos). Para el segundo ciclo paralelo el programa es el mismo únicamente cambia el nombre del bloque NXT y así sucesivamente para los posteriores. (Ver Anexo A)

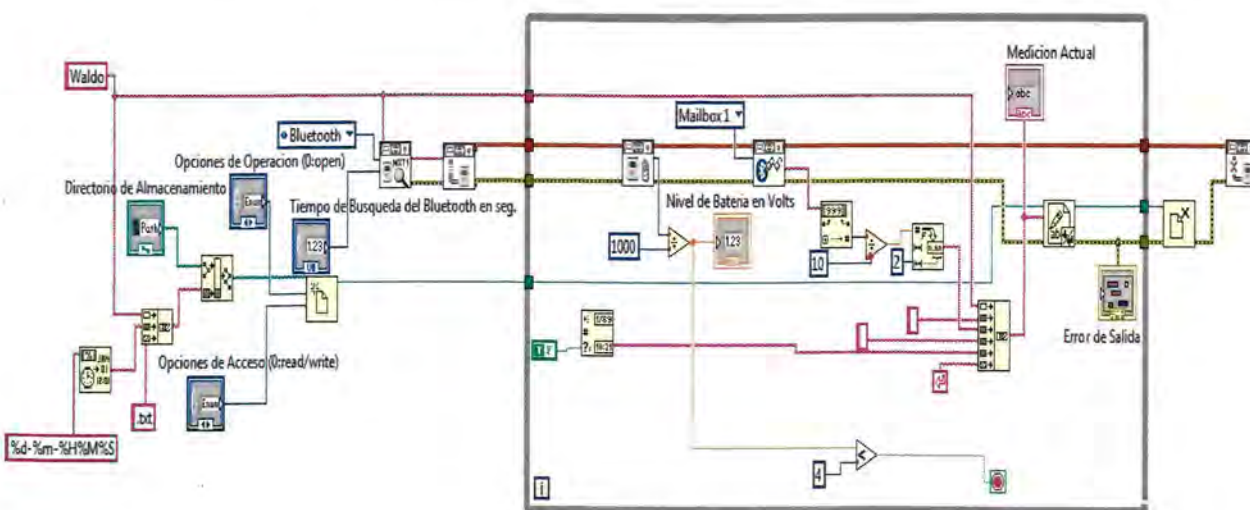


Figura 3.11: Receptor de datos

3.4.4 Ejecución y Pruebas

En un principio se tenía pensado hacer que el robot avanzara ilimitadamente y que hiciera sus rotaciones ubicando puntos de un determinado color en las esquinas del prototipo de recorrido; así el robot al llegar a una esquina debía de dar un giro para luego seguir avanzando hasta llegar a la siguiente esquina. Al tratar de hacer este sistema surgieron dos problemas:

1. El robot no se mantenía en línea recta.
2. El robot debía pasar por puntos repetidos en donde debía girar a la izquierda o derecha ya que el robot no sabía cuando debía doblar para el lado correcto.

El segundo problema se trató de resolver agregando un segundo color en los puntos, sin embargo el recorrido se hizo demasiado largo.

Para eliminar ambos problemas se recurrió a la utilización de un sistema seguidor de línea, de esta forma solo tendríamos que hacer una pequeña modificación a la trayectoria del robot y este pudiera identificar hacia qué lado doblar dependiendo a la línea que seguiría.

Los primeros programas que se crearon funcionaban a un 30% o 40% ya que en ocasiones solo avanzaban en línea recta sobre el borde de las líneas o al tratar de dar un giro perdían el borde y ya no regresaban a la línea.

El primer programa que logro funcionar a un 100% fue un sistema bang bang, el cual seguía la línea pero como si el robot estuviera caminando, es decir el robot avanzaba en zigzag. Por último se realizó el sistema proporcional con el que trabaja el robot actualmente, en donde el robot al perder el borde de ambas líneas va rotando una rueda dependiendo del lado en que se haya salido mientras avanza hacia adelante para recuperar su camino.

En el caso del sistema que utiliza la estación base, al principio el programa que se creó utilizaba un buscador de Bluetooth, y en el panel frontal se podía elegir a cual robot se deseaba conectar para descargar los datos. El problema de esto radicó en que los archivos se sobrescriban, ya que no se podía agregar una función que cambie el nombre automáticamente, adicional a esto se tenía que esperar a que el robot llegara a un punto para que se pudiera detener el programa de medición y se pudieran descargar los datos a la estación base. Por estas razones el robot ya no crea el archivo en su sistema, sino envía un mensaje vía Bluetooth con la medición realizada y la estación base al manejar ciclos paralelos puede recibir los mensajes de ambos robots al mismo tiempo; además puede crear el archivo de las mediciones sin el riesgo de sobrescribir el archivo.

3.4.5 Modelo del Robot

El robot de LEGO Mindstorms viene con un manual donde explica las 3 clases básicas de robots que se pueden construir (Vehículos, Insectos y Humanoides), adicional a esto en la página oficial de LEGO Mindstorms se hallan varios diseños que se pueden construir. Para este proyecto, se construyó un Tribot básico, esto se debió a que este diseño contiene las partes necesarias que se requieren para el proyecto; 3 servo motores, el bloque NXT, el sensor de luz y temperatura.

3.4.6 Ensamblado de un Tribot de Pruebas

Dado que se trata de un Tribot básico, se pueden seguir las instrucciones contenidas en el manual del robot LEGO Mindstorms NXT, sin embargo, aquí se presentan imágenes de algunos de los pasos que se siguieron.

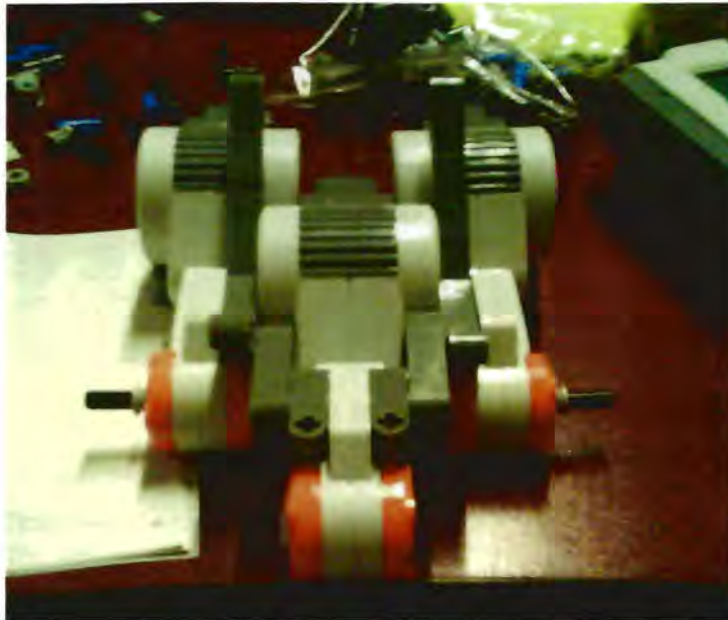


Figura 3.12: Servo Motores Laterales y Central

La Figura 3.12: Servo Motores Laterales y Central muestran el ensamblado de 3 servo motores del Tribot. Los servo motores laterales servirán para los movimientos de rotación, avanzar y retroceder. El servo motor central por lo general es utilizado para el movimiento de las tenazas que viene con el kit de componentes del robot LEGO. Para nuestro proyecto las tenazas no tienen ninguna funcionalidad, sin embargo el servo motor central es instalado debido a que es el soporte para los servo motores laterales del Tribot.



Figura 3.13: Tribot Base (3 Servo Motores y Bloque NXT)

La Figura 3.13: Tribot Base (3 Servo Motores y Bloque NXT) muestra como queda el Tribot con las ruedas montadas.



Figura 3.14: Tribot Base con Sensor de Luz



Figura 3.15: Tribot Base con Sensor de Luz y Temperatura

En la Figura 3.14: Tribot Base con Sensor de Luz, se observa al Tribot Base con el sensor de luz instalado que permitirá al robot seguir el borde de una línea Negra y Blanca para recorrer la trayectoria deseada en el invernadero. Además podemos visualizar la Figura 3.15: Tribot Base con Sensor de Luz y Temperatura, en la parte superior del bloque NXT podemos identificar el sensor de Temperatura que está cubierto por la mitad de una capsula de color gris oscuro.

Capítulo 4

Resultados

Por medio de las pruebas realizadas entre el robot y la estación base se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1 Energía y Tiempo de Ejecución

El voltaje inicial del robot varía entre los 8.4 y 8.6 V y un voltaje final registrado de 3.95 V.

Las horas de funcionamiento del robot con una carga completa, es de 8 horas aproximadamente, el tiempo de funcionamiento dependerá de cómo el robot consume la energía de las baterías ya que por momentos se presentan altas y bajas de energía en todo el transcurso de funcionamiento. Para tener una mejor idea se puede ver la Figura 4.1: Verificación de los Niveles de Energía, en donde la primera columna representa el nivel de energía de las baterías del bloque NXT en Volts. Se puede observar como el nivel de batería en algunos casos se mantiene estable, luego aumenta o disminuye constantemente. Las columnas siguientes representan el nombre del bloque, la temperatura censada, y la hora de la medición, respectivamente.

Waldo16-02-130415.txt: Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
8.47	waldo	27.90	01:04:42	p. m.	
8.47	waldo	27.70	01:04:58	p. m.	
8.49	waldo	27.90	01:05:10	p. m.	
8.50	waldo	27.70	01:05:27	p. m.	
8.49	waldo	27.70	01:05:39	p. m.	
8.50	waldo	27.70	01:05:56	p. m.	
8.49	waldo	27.70	01:06:09	p. m.	
8.45	waldo	27.70	01:06:25	p. m.	
8.49	waldo	27.70	01:06:38	p. m.	
8.50	waldo	27.70	01:06:52	p. m.	
8.49	waldo	27.70	01:07:07	p. m.	
8.46	waldo	27.70	01:07:21	p. m.	
8.47	waldo	27.70	01:07:35	p. m.	
8.46	waldo	27.70	01:07:48	p. m.	
8.43	waldo	27.70	01:08:03	p. m.	
8.46	waldo	27.70	01:08:16	p. m.	
8.45	waldo	27.70	01:08:31	p. m.	
8.46	waldo	27.70	01:08:43	p. m.	
8.47	waldo	27.90	01:08:59	p. m.	

Figura 4.1: Verificación de los Niveles de Energía

Regularmente las variaciones del nivel de batería oscilan entre el 0.01V a 0.03V aproximadamente, siendo en algunos casos la última media hora cuando se produce un consumo notable de energía, sin embargo este consumo notable de energía también se puede empezar a producir una hora y media antes de que

termine las 8 horas de funcionamiento del robot. Cabe mencionar que el programa de la estación base se detiene cuando queda menos de 4V, porque a este nivel de voltaje de las baterías, el bloque NXT marca batería baja y tiende a apagarse automáticamente. Durante los muestreos se detectó que el robot puede funcionar hasta los 3.5V, sin embargo la condición de apagado del sistema de la estación base no acepta valores decimales y este tiende a redondearlos. Es por esto que el programa se apaga a los 4V.

4.2 Movimiento

Proporcionando al robot un nivel de energía de 35 en ambos servo motores, el robot realiza 3 vueltas por minuto aproximadamente, dando 180 vueltas por hora y 1440 vueltas por 8 horas de funcionamiento.



Figura 4.2: Tribot en Movimiento

4.3 Muestras de Temperatura

El tiempo que se tarda la estación base en recibir las muestras de temperatura varía entre los 12 y 17 segundos. Se registro un mínimo de 261 muestras y un máximo de 310 muestras. En total se registraron 1900 muestras aproximadamente durante todo el transcurso de funcionamiento del robot.

A pesar que el programa del robot obtiene una muestra cada 5 segundos. El sistema de la estación base no puede recibirlos en ese intervalo de tiempo exactamente, ya que requiere un mínimo de 12 segundos para poder recibir un nuevo mensaje por bluetooth con la muestra actual.

Durante las pruebas se registró una temperatura máxima de 70 °C que se produjo en 45 segundos al acercarse la llama de un encendedor. Ver la Figura 4.3: Panel Frontal Temperatura Máxima

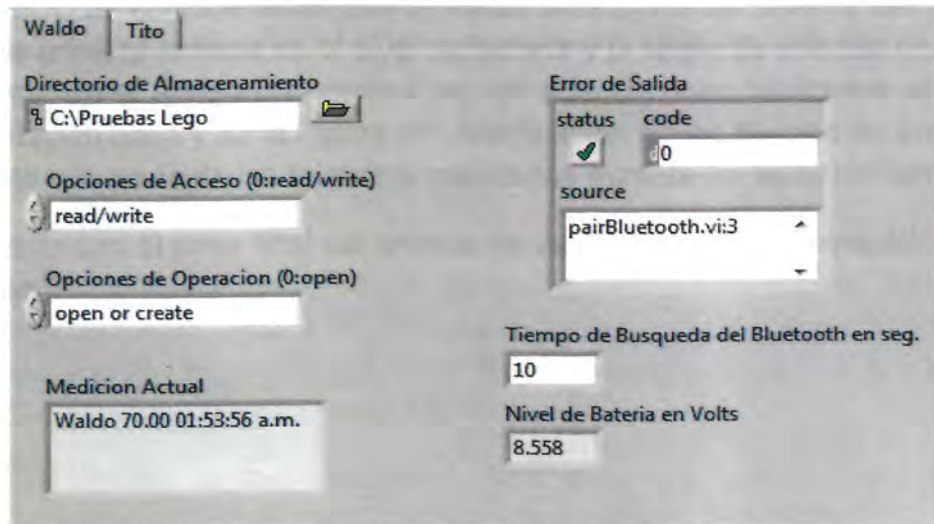


Figura 4.3: Panel Frontal Temperatura Máxima

Además se registró una temperatura mínima de 0.5 °C al mantener el sensor de temperatura en un lugar cerrado con un cubo de hielo aproximadamente 5 min. El sensor llega a medir hasta 0.1 °C, en el momento que el sensor detecta los 0 °C, empieza a enviar lecturas erróneas de la temperatura, iguales a las que envía cuando el sensor no está conectado al bloque NXT. Ver la Figura 4.4: Panel Frontal Temperatura Mínima

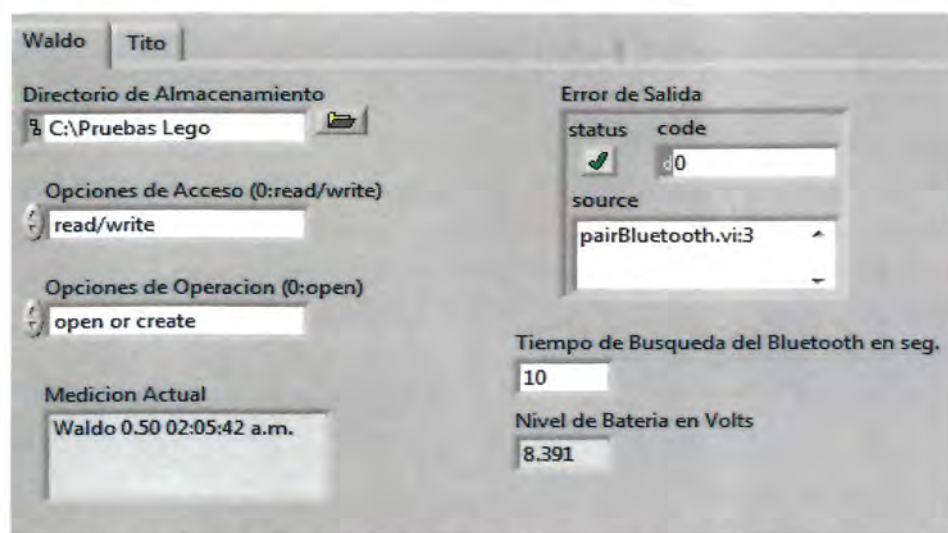


Figura 4.4: Panel Frontal Temperatura Mínima

Para poder revisar los niveles de energía, y el tiempo en que tarda en recibir una nueva muestra se le hizo una pequeña adaptación al sistema de la estación con el único propósito de tener un resultado más específico. Únicamente se agregó al VI de concatenación dos entradas más antes del nombre del robot, en la cual la primera entrada es el nivel de batería y la segunda entrada un espacio en blanco. En el Anexo B podemos ver las adaptaciones realizadas al sistema de la estación base y en la Figura 4.1: Verificación de los Niveles de Energía se despliega una parte de las muestras realizadas durante un lapso de tiempo.

En relación con el peso final del archivo es de 68 Kb con un promedio de 1900 muestras.

Capítulo 5

Conclusiones

La línea de productos LEGO se destaca por la forma en que los usuarios finales pueden explotar su imaginación al construir una infinidad de modelos, a un tamaño escala; se pueden construir edificios, vehículos, barcos, aeronaves entre otras cosas.

La gama Mindstorms de LEGO también posee la habilidad de explotar la imaginación del usuario final, ya que se puede construir diversos tipos de robot con un solo kit de piezas, además de poder programarlos para realizar muy diversas actividades. Por esta razón los robots LEGO, además de ser un producto dirigido al usuario doméstico, ha pasado a formar parte en la realización de proyectos e investigaciones.

Entre los conocimientos adquiridos, fue observar como estos juguetes contruidos de la forma adecuada pueden llegar a realizar las mismas actividades que un robot con forma y funciones predefinidas. En la actualidad existen robots para la agricultura, los cuales son utilizados para realizar desde mediciones de variables físicas hasta la recolección y en otros casos los robots son los encargados de realizar la fumigación de las plantas.

Una de las ventajas que presentan estos robots, además de su costo que es relativamente más barato que un robot con funciones específicas, es la facilidad con la que se pueden hacer sensores personalizados y la flexibilidad de poder adaptarlos al robot sin importar la forma que este tenga. Esto es algo importante ya que mayormente un robot tiene una forma definida y únicamente se puede cambiar piezas que no funcionen.

En el caso de la programación el lenguaje gráfico (NXT-G) que se maneja con el kit, es bastante sencillo y se acopla a las necesidades de los usuarios sin conocimientos de programación, sin embargo si lo que se requiere es realizar actividades más complejas se puede recurrir a otros lenguajes de programación como pueden ser Java (LeJOS) o C++ (RoboC), ahora bien si lo que quiere es seguir trabajando con un lenguaje gráfico, aun se puede usar Robolab o LabVIEW; este último requiere la utilería LabVIEW NXT Toolkit para poder programar al robot.

A pesar de las ventajas que presentan los robots LEGO Mindstorms NXT, también presentan algunos problemas:

- No todos los sensores pueden ser contruidos, en algunos casos es necesario adquirir el original.
- El robot trabaja con 6 baterías doble A y dependiendo al uso del robot estas pueden durar por horas o menos de una hora.
- Se debe tener cuidado a la hora de construir el robot, ya que se debe tener una idea clara del lugar en donde estará ubicado el bloque NXT. Esto se debe a que será necesario destapar el bloque NXT en repetidas ocasiones para cambiar las pilas, por lo que el lugar de éste debe ser accesible.
- Cuando se inició el proyecto, se tenía planeado medir más de una variable, sin embargo las características del robot no permiten la utilización de los sensores requeridos. Este fue uno de los problemas principales debido a que la idea primordial era utilizar los robots LEGO.

Aunque la implementación de robots en invernaderos ya existe en diversos lugares, para mí fue la manera de ver como los robots operan y forman parte de nuestro ambiente de trabajo; en especial ver como estos juguetes pueden llegar a realizar actividades de forma eficaz y precisa, tal como si tuviéramos un robot con funciones especiales para trabajar dentro de un invernadero.

5.1 Trabajos Futuros

El proyecto desarrollado logro cumplir con el objetivo de medir la temperatura dentro de un invernadero, sin embargo al principio se tenía trazado varias ideas para complementar al robot pero no se lograron llevar a cabo debido a las incompatibilidades que presentaban con el robot LEGO Mindstorms NXT. Es por esta razón que en esta sección se anexan algunas ideas para continuar en este proyecto.

Entre las variables que se requerían medir, además de la temperatura se encuentran la humedad y el CO₂, como se menciona dentro del proyecto estas variables no pueden ser medibles ya que el robot solo acepta sensores resistivos, sin embargo se pudiera desarrollar un sistema independiente al bloque NXT y que este sujeto al robot para que este realizara las mediciones faltantes; mientras el bloque NXT realiza la medición de temperatura y a su vez las enviara la estación base para su análisis posterior. De esta forma podríamos solventar el problema suscitado.

Una forma de seguir implementando los robots LEGO Mindstorms dentro de invernadero es la recolección de frutos, aunque este tema es totalmente

diferente a lo que abarca este proyecto, los robots LEGO también pueden ser modificados y programados para la recolección de frutos.

Estas ideas pueden ser el punto de partida para continuar con este proyecto o bien para iniciar uno nuevo que presente propuestas innovadoras.

Bibliografía

Bates, Peter. *A LabVIEW NXT Toolkit Manual*. Preston, 2008.

Buemi, F, and G Sandini. *The vision system for the agrobot project*. Orlando, Florida, 1994.

Buemi, F, M Massa, and G Sandini. *Agrobot: a robotic system for greenhouse operation*. Toulouse: IARP Workshop on Robotics in Agriculture and Food Industry, 1995.

García Ruiz, M. A., S. Gutiérrez Díaz, H. C. López Hernández, S. Rivera Ibáñez, and A. C. Ruiz Tadeo. "State of the Art of Robot Technology Applied to Greenhouses."

http://docente.uco.mx/~mgarcia/Estado_arte_%20Tecnologia_Robots_invernaderos.pdf (accessed Octubre 5, 2008).

Gasperi, Michael. *LabVIEW for LEGO Mindstorms NXT*. NTS PRESS, 2008.

Gasperi, Michael, Philippe "philo" Hurbain, and Isabelle Hurbain. *Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level*. Apress, 2007.

Instruments, National, and Benjamin Celis.

<ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/Mexico/Programacion%20de%20Robots%20Lego%20con%20LabVIEW.pdf> (accessed Mayo 26, 2009).

Kondo, N., and K. C. Ting. *Robotics for bioproduction system*. Edited by N. Kondo and K. C. Ting. 1998.

Madow, A., J.M. Gomez de Gabriel, J.L. Martínez, V. F. Muñoz, A. Ollero, and A. Garcia Cerezo. *The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation*. 1996.

National Instruments. "National Instruments." *Getting Started with the LabVIEW Toolkit for LEGO® MINDSTORMS® NXT*.

<http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/80456522F9BE87FB8625746400540977> (accessed Mayo 26, 2009).

Robotica, Instituto Norteamericano de. *Definición de la Robótica*.

http://www.industria.uda.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/DEFINICION%20DE%20LA%20ROBOTICA.htm. (accessed Octubre 9, 2008).

Rodríguez Díaz, Francisco, and Manuel Berenguel Soria. *Control y robótica en agricultura*. Almería: Universidad de Almería, 2004.

Salazar Izaguirre, Alejandro Bruchi, Alejandro García, Carolina Bahena Franco, Héctor Sánchez Ávila, and Juan Pablo Ramírez Vega. *Sistemas en la función productiva de las organizaciones*. <http://sifunpro.tripod.com/automatizacion.htm> (accessed Octubre 9, 2008).

Sánchez Martín, FM, et al. "Historia de la robótica: de Arquitas de Tarento al robot." <http://www.actasurologicas.info/v31/n02/pdf/3102OR01.pdf> (accessed Diciembre 14, 2008).

Glosario

Articulación Prismática: También llamado articulación lineal, consiste en un movimiento deslizante o de translación de las uniones de los elementos rígidos que se emplean para la conexión de las diversas articulaciones. Este movimiento puede ser generado por pistones o por medio de hacer deslizar el elemento sobre un carril o guía usando dispositivos mecánicos, eléctricos o neumáticos.

Atomizador: Es un dispositivo que pulveriza los líquidos para formar gotas diminutas mediante la diferencia de presión creada.

Bluetooth: (Diente azul) Tecnología utilizada en redes inalámbricas que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante una radiofrecuencia segura de 2.4 GHz

Brazo robótico esférico: También llamado Polar. Está compuesto por 2 uniones rotacionales y una lineal para un movimiento en las direcciones X, Y o Z.

Brazo robótico vertical: Hace referencia al brazo o la parte del brazo robótico que se encuentra sobre el eje vertical.

Codificador: Representa los datos por medio de un código, por ejemplo representa cada carácter alfanumérico mediante un conjunto de bits (0 o 1).

Conector RJ-11: Es una interfaz física en donde RJ significa Registered Jack y el número indica que es usado como conector para líneas telefónicas.

Diodo: Es un dispositivo de dos terminales que solo puede conducir electricidad en una dirección. Posee un estado de encendido que equivale a un circuito cerrado y un estado de apagado que es similar al circuito abierto.

Espectro visible: (Llamado espectro óptico), es una parte del espectro electromagnético que es visible para el ojo humano. La radiación electromagnética en este rango de ondas longitudinales es llamada luz visible o luz.

Fitología: Ciencia que estudia los vegetales.

Fototransistor: Es un componente que funciona bajo el foto efecto de unión produciendo una corriente eléctrica cuando incide sobre el energía luminosa. Esta corriente es amplificada por el mismo transistor.

Grado de libertad: Posibles movimientos básicos (giratorios y de desplazamiento) independientes para determinar la posición y la orientación de un manipulador.

IEC 61158 4/EN 50 170: Es un protocolo de red utilizado para el control distribuido en tiempo real.

Infrarrojo: Conocido como IRDA (Infrared Data Association), es una tecnología basada en rayos luminosos que se mueven en el espectro infrarrojo. Permite una comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades de 9600 bpd y los 4 Mbps

LabVIEW: Es un entorno de programación grafica usado para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando iconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. Ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos.

LEGO Mindstorms NXT: Segunda versión de los robots LEGO Mindstorms.

LEGO Mindstorms RCX: (Robotic Control Explorer) Es la primera versión de los robots LEGO Mindstorms. Es un bloque programable que transforma modelos en robots y controla sus acciones.

LEGO NXT Toolkit: Es un librería complementaria que sirve para programar y controlar dispositivos NXT desde LabVIEW.

Microclima: Se define como las características climáticas específicas de un punto determinado de una región y son reproducidas en un ámbito reducido.

Microcontrolador: Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las 3 unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S.

Microprocesador: El microprocesador es el cerebro de una computadora, está compuesta por millones de transistores y es el encargado de realizar todas las operaciones de cálculo y de controlar recibir información y dar órdenes a los demás componentes.

PIN: Hace referencia a las puntas metálicas de las entradas de los conectores RJ-11 o RJ-45, por ejemplo para el cableado telefónico se usa un conector RJ-11 que contiene 6 entradas de cables, cada entrada recibe el nombre de PIN.

Sensor de Óhmetro: Es un sensor que sirve para medir resistencias.

Sensor Fotoeléctrico: (Sensor de luz) sirve para la detección de objetos, está compuesto por un emisor que emite un haz de luz, y por un receptor.

Servo Motor: Es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada.

Temperatura: Es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia.

Termistor: Es un semiconductor que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Tribot: Es un robot con 3 servo motores.

VI: Es el nombre que se le da a cada instrumento virtual que se encuentra en el programa LabVIEW. Extensión con el que se guardan los archivos creados en LabVIEW.

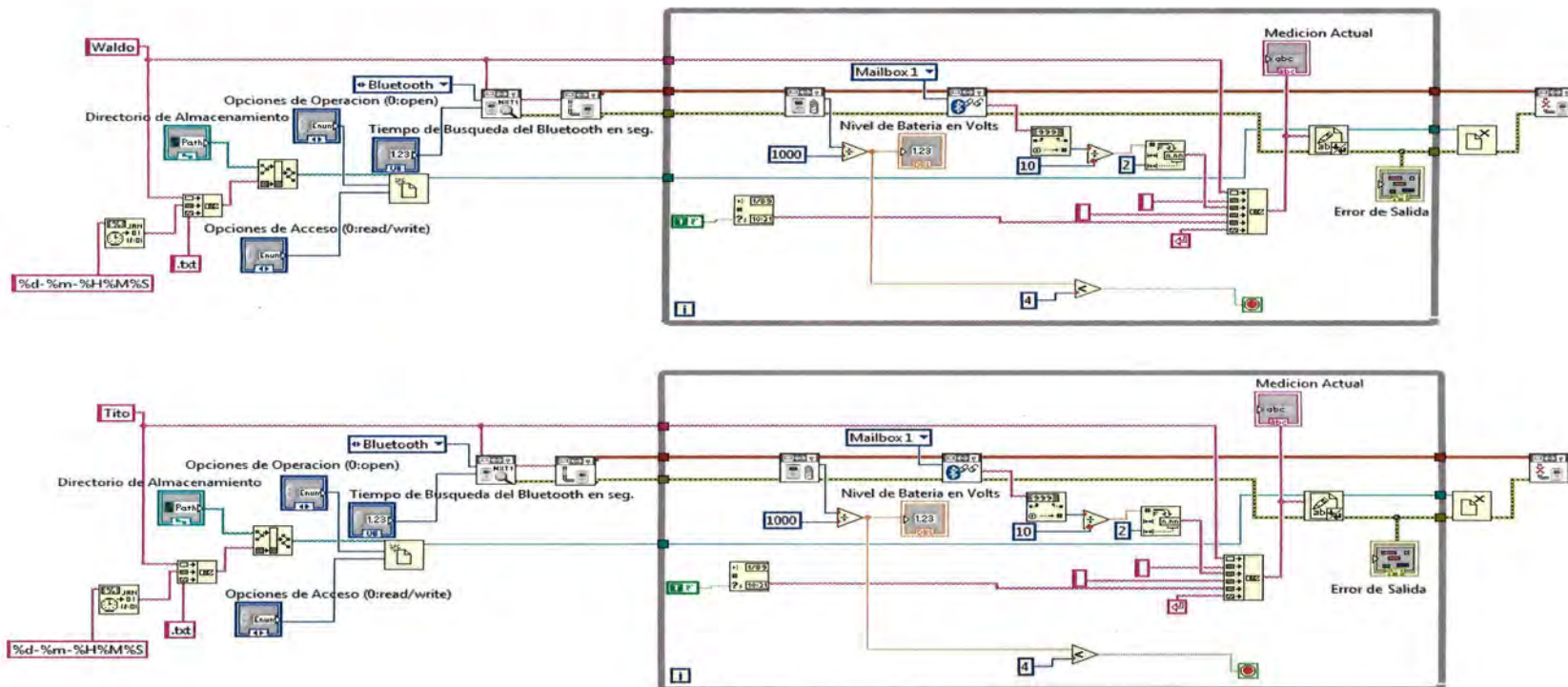
Visión Estereoscópica: (Visión en 3 dimensiones) Es la visión en relieve o el grado pleno de visión binocular. Es el tercer grado de visión binocular según Worth, siendo la percepción simultánea y la fusión el primer y segundo grado.

Anexo A Instrumentos Virtuales

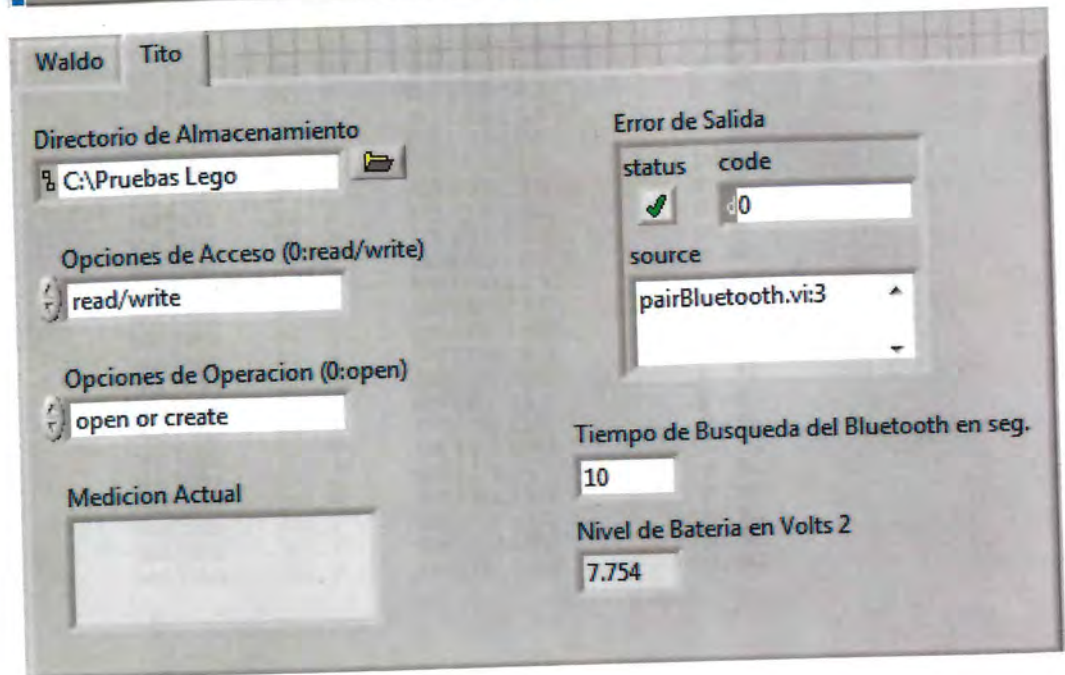
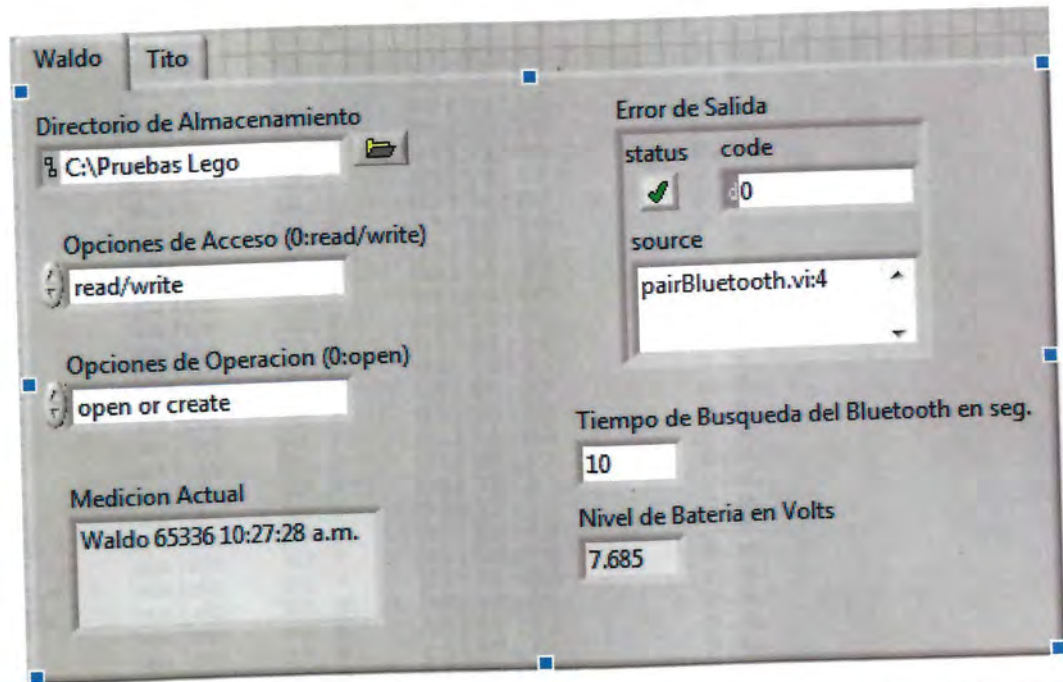
En el presente anexo se incluyen los instrumentos virtuales desarrollados en esta tesis. Se incluyen tanto los diagramas de bloques como los paneles frontales de los mismos.

A.1 Diagrama de Bloques: Receptor de Datos

Este VI se ejecuta en la estación base y permite la comunicación con dos robots, sin embargo, es posible añadir más.



A.2 Panel Frontal: Receptor de Datos



A.3 Archivo de Muestras

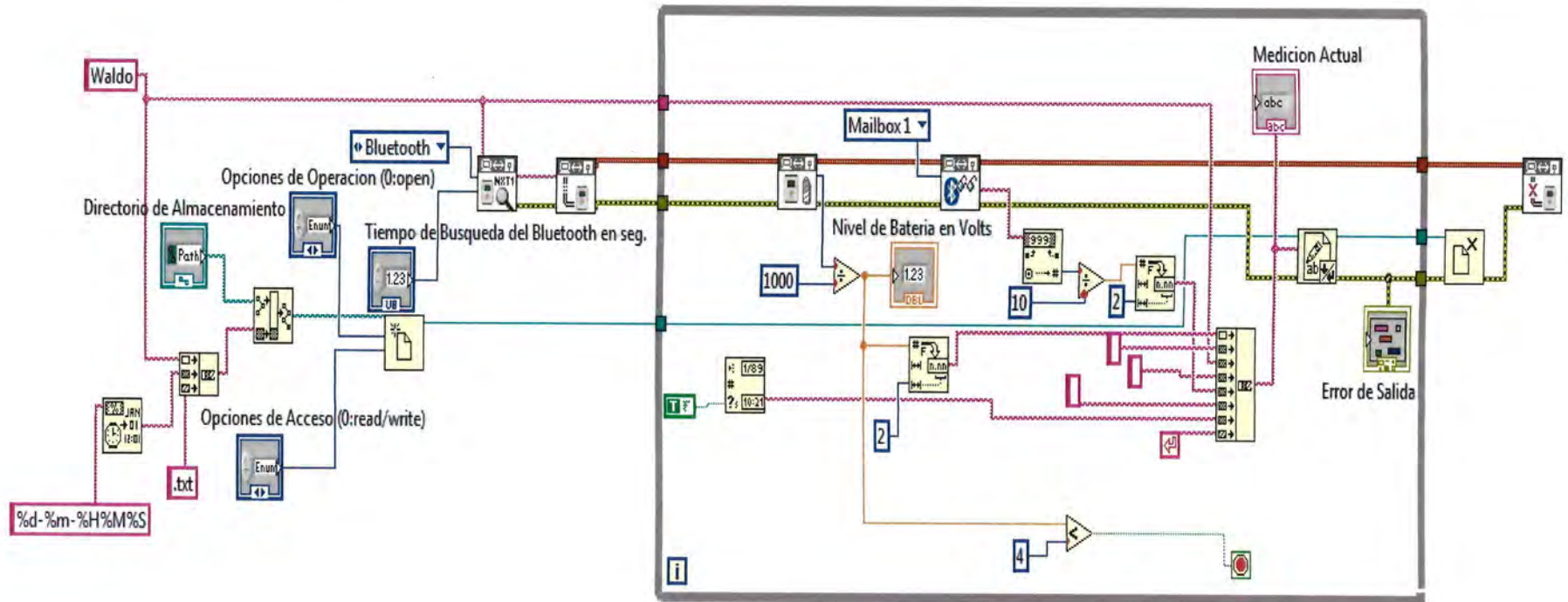
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
waldo	30.7	05:52:31		p. m.
waldo	30.7	05:52:43		p. m.
waldo	30.7	05:52:55		p. m.
waldo	30.7	05:53:06		p. m.
waldo	30.7	05:53:18		p. m.
waldo	30.7	05:53:29		p. m.
waldo	30.7	05:53:41		p. m.
waldo	30.7	05:53:53		p. m.
waldo	30.7	05:54:04		p. m.
waldo	30.7	05:54:16		p. m.
waldo	30.7	05:54:27		p. m.
waldo	30.7	05:54:39		p. m.
waldo	30.7	05:54:50		p. m.
waldo	30.7	05:55:02		p. m.
waldo	30.7	05:55:14		p. m.
waldo	30.7	05:55:25		p. m.
waldo	30.7	05:55:37		p. m.
waldo	30.7	05:55:48		p. m.
waldo	30.7	05:56:00		p. m.
waldo	30.7	05:56:12		p. m.
waldo	30.7	05:56:23		p. m.
waldo	30.7	05:56:35		p. m.
waldo	30.7	05:56:46		p. m.
waldo	30.7	05:56:58		p. m.
waldo	30.7	05:57:09		p. m.
waldo	30.9	05:57:21		p. m.
waldo	30.9	05:57:33		p. m.
waldo	30.9	05:57:44		p. m.
waldo	30.9	05:57:56		p. m.
waldo	30.9	05:58:07		p. m.
waldo	30.9	05:58:19		p. m.
waldo	30.7	05:58:30		p. m.
waldo	30.7	05:58:42		p. m.
waldo	30.7	05:58:54		p. m.
waldo	30.7	05:59:05		p. m.
waldo	30.7	05:59:17		p. m.
waldo	30.7	05:59:28		p. m.
waldo	30.7	05:59:40		p. m.
waldo	30.7	05:59:52		p. m.
waldo	30.7	06:00:03		p. m.
waldo	30.7	06:00:15		p. m.
waldo	30.9	06:00:26		p. m.
waldo	30.9	06:00:38		p. m.
waldo	30.9	06:00:49		p. m.
waldo	30.9	06:01:01		p. m.
waldo	30.7	06:01:13		p. m.
waldo	30.7	06:01:24		p. m.
waldo	30.7	06:01:36		p. m.
waldo	30.7	06:01:47		p. m.
waldo	30.7	06:01:59		p. m.
waldo	30.7	06:02:11		p. m.
waldo	30.7	06:02:22		p. m.
waldo	30.7	06:02:34		p. m.

Anexo B

Sistema de Pruebas para la Estación Base

El sistema que se muestra a continuación fue creado con fines de pruebas para el nivel de batería.

B.1 Sistema de Pruebas para Verificar Niveles de Batería



B.2 Archivo de Muestras con Nivel de Batería

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
8.50	waldo	27.70	01:06:52	p. m.
8.49	waldo	27.70	01:07:07	p. m.
8.46	waldo	27.70	01:07:21	p. m.
8.47	waldo	27.70	01:07:35	p. m.
8.46	waldo	27.70	01:07:48	p. m.
8.43	waldo	27.70	01:08:03	p. m.
8.46	waldo	27.70	01:08:16	p. m.
8.45	waldo	27.70	01:08:31	p. m.
8.46	waldo	27.70	01:08:43	p. m.
8.47	waldo	27.90	01:08:59	p. m.
8.47	waldo	27.70	01:09:10	p. m.
8.47	waldo	27.90	01:09:27	p. m.
8.47	waldo	27.90	01:09:38	p. m.
8.49	waldo	27.90	01:09:52	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:10:06	p. m.
8.45	waldo	27.70	01:10:20	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:10:34	p. m.
8.43	waldo	27.90	01:10:47	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:11:02	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:11:15	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:11:30	p. m.
8.43	waldo	27.90	01:11:42	p. m.
8.40	waldo	27.90	01:11:59	p. m.
8.45	waldo	27.90	01:12:10	p. m.
8.45	waldo	27.90	01:12:27	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:12:38	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:12:53	p. m.
8.45	waldo	27.90	01:13:07	p. m.
8.40	waldo	27.90	01:13:21	p. m.
8.45	waldo	27.90	01:13:35	p. m.
8.40	waldo	27.90	01:13:49	p. m.
8.46	waldo	27.90	01:14:03	p. m.
8.40	waldo	27.90	01:14:17	p. m.
8.45	waldo	27.90	01:14:34	p. m.
8.43	waldo	27.90	01:14:46	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:15:02	p. m.
8.38	waldo	27.90	01:15:13	p. m.
8.43	waldo	27.90	01:15:30	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:15:41	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:15:57	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:16:09	p. m.
8.43	waldo	27.90	01:16:24	p. m.
8.38	waldo	27.90	01:16:38	p. m.
8.36	waldo	27.90	01:16:51	p. m.
8.39	waldo	28.10	01:17:06	p. m.
8.40	waldo	27.90	01:17:19	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:17:34	p. m.
8.39	waldo	27.90	01:17:46	p. m.
8.42	waldo	27.90	01:18:02	p. m.
8.36	waldo	27.90	01:18:15	p. m.
8.36	waldo	27.90	01:18:31	p. m.
8.40	waldo	28.10	01:18:43	p. m.
8.36	waldo	27.90	01:18:59	p. m.

Anexo C

Características del Termistor



NTC THERMISTORS: TYPE MS

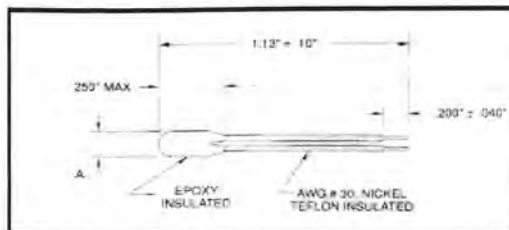
EPOXY COATED THERMISTOR

DESCRIPTION:

Epoxy coated point-matched disc thermistors with .010" nickel PTFE insulated lead-wires.

FEATURES:

- Low cost solid state sensor
- Standard resistance tolerances down to $\pm 2\%$
- High sensitivity to changes in temperature
- Suitable for temperature measurement, control and compensation
- Excellent mechanical strength
- Wide operating temperature range: -50°C to 150°C
- Suitable for PCB and probe mountings
- Available in a wide range of material systems
- Overall lengths from 18mm to 78mm (0.71" to 3.07")



TYPE NUMBER	Ro@25C (Ohms)	Material System	A	
			(in.)	(mm.)
RL0703-624-73-MS	1K	D7.3	0.120	3.05
RL0503-1248-73-MS	2K	D7.3	0.095	2.41
RL0703-1445-95-MS	2.5K	D9.5	0.120	3.05
RL0503-2890-95-MS	5K	D9.5	0.095	2.41
RL0703-2910-97-MS	5K	D9.7A	0.120	3.05
RL0703-3720-84-MS	6K	D8.4	0.120	3.05
RL0503-5820-97-MS	10K	D9.7A	0.095	2.41
RL0703-5744-103-MS	10K	D10.3	0.120	3.05
RL0503-7440-84-MS	12K	D8.4	0.095	2.41
RL0703-8780-96-MS	15K	F9.61	0.120	3.05
RL0503-11.49K-103-MS	20K	D10.3	0.095	2.41
RL0703-13.77K-120-MS	25K	D12.0	0.120	3.05
RL0503-17.56K-96-MS	30K	F9.61	0.095	2.41
RL0503-27.53K-120-MS	50K	D12.0	0.095	2.41
RL0703-27.68K-122-MS	50K	D12.2	0.120	3.05
RL0503-55.36K-122-MS	100K	D12.2	0.095	2.41

OPTIONS:

- Other resistances in the range 2k Ω to 100k Ω
- Other tolerances, tolerances at other temperatures
- Alternative lead lengths, lead materials, insulations
- For $\pm 5\%$ @ 25°C , replace "MS" with "MS5"
- For $\pm 3\%$ @ 25°C , replace "MS" with "MS3"
- For $\pm 2\%$ @ 25°C , replace "MS" with "MS2"

DATA:

Temperature Accuracy..... $\pm 1^{\circ}\text{C}$ @ 25°C
 Dissipation Constant..... 1.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$
 Time Constant..... 15 sec.
 Operating Range..... -50°C to 150°C

Anexo D

Tribot

La siguiente imagen muestra el modelo del Tribot completo, con los 3 servo motores, el bloque NXT, el sensor de temperatura y el sensor de luz.

