



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMPUTACIÓN

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

**“USO DE MATLAB Y SIMULINK PARA EL CONTROL DE ROBOTS
Y LA OBSERVACIÓN DE SENSORES DE SONIDO Y LUZ.”**

Previa a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

PRESENTADA POR:

ANA PATRICIA CABRERA SAN MARTÍN

RONALD MANOLO CHICAIZA OÑA

JORGE ARTURO HERBOZO GAMBOA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2009

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres por todo el esfuerzo que nos dieron para culminar la carrera, a Dios, por cubrirnos con su paz que sobrepasa todo entendimiento, a todos nuestros compañeros y amigos que nos ayudaron en la realización del proyecto. A ellos les decimos: “por todo gracias”. Finalmente agradecemos los consejos recibidos por todos los profesores de la facultad junto con los profesores del ciclo básico con quienes nos iniciamos en la carrera.

DEDICATORIA

Primero que nada dedicamos este proyecto a Dios por la maravillosa vida que nos ha dado y la salud para llegar a este momento importante en nuestras vidas. Para nuestros padres por su comprensión y ayuda. Nos han dado todo lo que somos como personas, nuestros valores, principios, perseverancia y empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio. A todas las personas que nos han ayudado en este proyecto y a lo largo de la carrera.

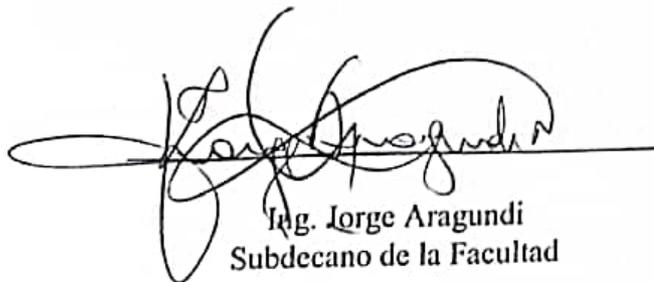
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Carlos Valdivieso
Instructor de la Materia de Graduación



Ing. Hugo Villavicencio
Delegado del Decano



Ing. Jorge Aragundi
Subdecano de la Facultad

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Patricia Cabrera

Ronald Chicaiza

Jorge Herbozo

RESUMEN

Para el desarrollo del informe se utilizaron varias herramientas tanto de programas como, Matlab y Simulink, conocimientos básicos de Microcontroladores avanzados, y para su implementación se utilizó el Lego Mindstorm NXT. Todo esto para la facilitación y cumplimiento de la programación del robot minero, que consiste en la recolección de datos y análisis de la cantidad de oro encontrado, almacenado en la mina. Los componentes principales y de mayor estudio en el robot son los sensores de luz y de sonido, dichos sensores son parte de los elementos del LEGO Mindstorm.

El capítulo uno se hace una introducción de lo que se quiere realizar. Los fundamentos se basan en el por qué la realización del robot minero, la descripción de cada uno de los elementos que se utilizarán para las diferentes aplicaciones, como son los sensores, servomotores y programación.

Para esto se realiza un análisis respectivo del alcance del robot de como se quiere el funcionamiento en el área que se va a desenvolver, las diferentes actividades que va a desempeñar en cuestiones de horas o días según el operario lo requiera. A la vez de diseñar un robot minero, se ayuda a tener una mejor manera de excavación de rocas y explosión de minas, ya que se lo ha estado realizado de forma inadecuada ya sea por mala práctica, costumbre o responsabilidades de quienes lo realizan. Con esto se ayudará al medio ambiente, se salvarán vidas humanas como los trabajadores de la mina como los habitantes del pueblo.

En el capítulo dos se hace el estudio de los sensores que brinda Lego Mindstorm NXT para la facilitación de la programación, sus componentes las formas de uso y las diferentes aplicaciones que puede tener para simulación como es el caso de Matlab y Simulink, así como de las demás piezas físicas que tiene el robot.

Se hace un enfoque de Matlab las aplicaciones y librerías que posee para la comunicación, a la vez se tiene Simulink que posee bloques para su programación de la misma manera que Matlab pero diferente forma de aplicación.

Posteriormente se realiza la comunicación de Lego con Matlab y Simulink para mostrar los diferentes resultados y datos para que sean analizados por un usuario y a la vez tomados en cuenta por cada trabajo que se realiza en una mina, de esta manera se ayuda en una nueva forma de obtención de metales y de mejor excavación de rocas en las minas. Finalmente se realizan gráficos mediante el software de Microsoft EXCEL con los cuales se realizan comparaciones y se pueden llegar a conclusiones sobre el estado físico de una mina.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1:	
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Descripción general del funcionamiento.....	3
1.3 Introducción a la Robótica	4
1.3.1 Los Robots	5
1.3.2 Beneficios obtenidos al implementar un robot	7
1.3.3 Análisis de la necesidad de un robot.....	7
1.3.4 Áreas en las que LEGO Mindstorm es aplicable	10
1.4 Justificación del proyecto.....	10
1.5 Componentes del Kit Lego Mindstorm NXT	13
1.5.1 Detalle de sus componentes	15
1.5.2 El sistema motor.....	15
1.5.3 El cerebro	17
1.5.4 El esqueleto	16
1.5.5 Sus comportamientos	17
1.5.6 Un ejemplo paso a paso.....	18

1.5.7	Diseño y montaje de un robot móvil.....	18
1.5.8	La Programación	19
CAPÍTULO 2		
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL SISTEMA.....	22
2.1	Elaboración del proyecto.....	22
2.2	Características del bloque Brick NXT	22
2.3	Sensores NXT utilizados en el proyecto	24
2.3.1	Concepto y características del sensor de luz NXT.....	24
2.3.2	Concepto y características del sensor de sonido NXT.....	31
2.3.3	Concepto y características del sensor de tacto NXT.....	37
2.4	Concepto y características de los servomotores NXT.....	38
2.5	Comunicación Bluetooth.....	41
2.6	Aplicación con Matlab	43
2.6.1	NXT Communication.....	43
2.6.2	NXT Sensors	43
2.6.3	NXT Motor Class Methods.....	43
2.6.4	Classic NXT Motor Functions	44
2.6.5	NXT Direct Commands	44
2.6.6	NXT Module Map Functions	44
2.6.7	General Functions	44
2.6.8	Debug Functions	45
2.7	Aplicación con Simulink.....	45

CAPÍTULO 3:	
3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL ROBOT MINERO.....	48
3.1 Robot minero.....	48
3.2 Uso de MATLAB y de SIMULINK en la programación	49
3.3 Programación en MATLAB.....	50
3.4 Programación en SIMULINK.....	51
3.4.1. Diseño del sistema en SIMULINK	51
3.4.2. Diagrama de entradas y salidas del programa.....	52
3.4.3. Diagrama de estado del programa.....	53
3.5 Descripción física del diseño	53
3.6 Implementación y secuencia del sistema	55
CAPÍTULO 4:	
4. SIMULACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES	57
4.1 Análisis de datos experimentales	57
4.1.1 Número de cada roca.....	57
4.1.2 Número de golpes del robot	58
4.1.3 Valor del color detectado	58
4.1.4 Valor binario asignado a la existencia del mineral Oro	59
4.2 Visualización de los datos obtenidos en MATLAB.....	59
4.3 Presentación de datos en formato XLS	60
4.4 Análisis de resultados en formato de EXCEL.....	60
4.4.1 Primera prueba experimental	61

4.4.2 Segunda prueba experimental	63
4.4.3 Tercera prueba experimental.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Hz	Hertz, unidad de frecuencia
dB	Decibelios, unidad de sonido
dB(A)	Decibelios ajustados, sonido captado por el hombre
Lux	Unidad de luminosidad
PLC	Power Logical Controller

ÍNDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.1:.....	Diagrama de Comunicación...4
FIGURA 1.2:.....	Imagen del LEGO Mindstorm y perspectiva de su tamaño...10
FIGURA 1.3:.....	Robot minero industrial...12
FIGURA 1.4:.....	Esquema del diseño de un robot...18
FIGURA 1.5:.....	Algoritmo del programa Lego Mindstorm...20
FIGURA 1.6:.....	Configuración del movimiento para el Robot...21
FIGURA 2.1:.....	Imagen del LEGO Brick y sus componentes...23
FIGURA 2.2:.....	Espectro de luz visible...24
FIGURA 2.3:.....	Imágenes de sensores fotoeléctricos...28
FIGURA 2.4:.....	Imagen del color captado en el sensor de luz...30
FIGURA 2.5:.....	Sensor de Luz LEGO Mindstorm...30
FIGURA 2.6:.....	Distintas formas de onda sonora...32
FIGURA 2.7:.....	Gráfica comparativa del sonido en función de la frecuencia...35
FIGURA 2.8:.....	Circuito eléctrico del sensor de sonido...36
FIGURA 2.9:.....	Sensor de sonido NXT...37
FIGURA 2.10:.....	Funcionamiento del circuito interno del sensor de tacto...37
FIGURA 2.11:.....	Sensor de tacto NXT...38
FIGURA 2.12:.....	Vista interna de las componentes del servomotor...39

FIGURA 2.13:	Circuito de control del servomotor...	40
FIGURA 2.14:	Servomotor NXT...	41
FIGURA 2.15:	Dispositivo Bluetooth...	42
FIGURA 2.16:	Bloques de la función Stateflow...	45
FIGURA 2.17:	Bloque de la función Call Subsystem...	46
FIGURA 2.18:	Bloques de Interfaz y Lectura del sensor de luz...	47
FIGURA 2.19:	Bloques de Interfaz y Lectura de servomotor...	47
FIGURA 3.1.:	Ventana de SIMULINK...	50
FIGURA 3.2:	Bloques funcionales de la función Call Subsystem...	52
FIGURA 3.3:	Elementos del kit del LEGO Mindstorm...	54
FIGURA 3.4:	Imagen del Robot Minero...	55
FIGURA 4.1:	Presentación de datos en formato XLS...	60
FIGURA 4.2:	Gráfica del número de golpes de la primera prueba...	62
FIGURA 4.3:	Gráfica del material basado en el color en la primera prueba...	62
FIGURA 4.4:	Gráfica del valor binario en la primera prueba...	63
FIGURA 4.5:	Gráfica del número de golpes de la segunda prueba...	64
FIGURA 4.6:	Gráfica del material basado en el color en la segunda prueba...	64
FIGURA 4.7:	Gráfica del valor binario en la segunda prueba...	65
FIGURA 4.8:	Gráfica del número de golpes de la tercera prueba...	66
FIGURA 4.9:	Gráfica del material basado en el color en la tercera prueba...	66
FIGURA 4.10:	Gráfica del valor binario de la tercera prueba...	67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1:	Comparación de colores y su longitud de onda...	25
TABLA 2.2:	Necesidad de aumento de la luz según la condición de operación ...	29
TABLA 2.3:	Nivel de intensidad en dB según la situación del sonido...	34
TABLA 2.4:	Porcentaje de sonido percibido por el sensor...	34
TABLA 2.5:	Clasificación del Bluetooth según su potencia requerida...	42
TABLA 4.1:	Datos experimentales de la primera prueba...	61
TABLA 4.2:	Datos experimentales de la segunda prueba...	63
TABLA 4.3:	Datos experimentales de la tercera prueba...	65

INTRODUCCIÓN

En este informe de materia de graduación se realizó el diseño del robot minero mediante la utilización de los programas de MATLAB, SIMULINK y de LEGO MINDSTORM, programas que nos ayudarán en la elaboración de este proyecto.

El título de la tesis es el uso de MATLAB y de SIMULINK para el control del robot. Esto significa que se dará una aplicación de ambos programas en un mecanismo controlado por computadora, es decir un robot. En nuestro caso decidimos hacer la aplicación a un robot minero capaz de recorrer una pista en búsqueda de materiales importantes como oro.

Asimismo se hace énfasis en el uso de los sensores de luz y de sonido que fueron instalados en el robot para su debido control. Estos sensores fueron previamente calibrados en rangos requeridos para la debida lectura y facilitando su utilización., también se utiliza un sensor de tacto con el cual sensa los obstáculos dentro de la mina.

El uso de MATLAB y de SIMULINK es muy importante en diversas áreas de desarrollo e ingeniería con diferente desempeño y de mayor aplicación para el uso al que se lo dedique. En nuestro caso fueron utilizados en la robótica.

Para la construcción del robot se utilizaron piezas del conocido LEGO Mindstorm NXT.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

El presente trabajo es para analizar el funcionamiento de un robot diseñado para ser utilizado en la industria minera. Su funcionamiento es dirigido principalmente por los sensores de Luz y de Sonido, esto no limita que se haga uso de otros sensores y demás piezas que se incluyen en el kit del LEGO Mindstorm NXT.

El robot minero y su programación están diseñados para trabajar en varios campos de la ingeniería; siendo de gran ayuda en campo abierto porque reduce la contaminación ambiental además en cuanto a reducción de personal dentro de una mina. De aquí se deriva la importancia de este tema, porque al implementar este proyecto con los softwares antes mencionados economizaría tiempo, recursos humanos y sobre todo la calidad de un respectivo proceso industrial.

Se trabaja con una comunicación de datos vía Bluetooth procedentes de los sensores instalados en el robot, lo cual es de gran importancia porque permite al usuario mantenerse fuera de la mina al momento de revisar los respectivos datos. Todo aquello se logra mediante la programación realizada con los softwares de MATLAB y de SIMULINK, los cuales son fácilmente compatibles con cualquier interfaz para ser implementados dentro de la robótica.

1.2 Descripción general del funcionamiento

Al iniciar su trabajo dentro de la mina, el robot hace un recorrido del lugar hasta detectar el obstáculo más cercano como una roca, entonces empieza a excavar siendo su objetivo principal la búsqueda de oro. Mientras realiza esta función almacena datos sobre la cantidad de oro encontrado en cada roca y número de golpes efectuados en estas guardando los respectivos valores en una base de datos, mostrados en excel.

El robot seguirá su proceso mientras no se le de el aviso de salida de la mina, este consiste en que cuando el operador que se encuentra en la parte externa de la mina, decida que regrese a su punto de inicio u origen, este regreso lo hará mediante un sonido específico que receptorá el robot y dará lugar a su regreso.

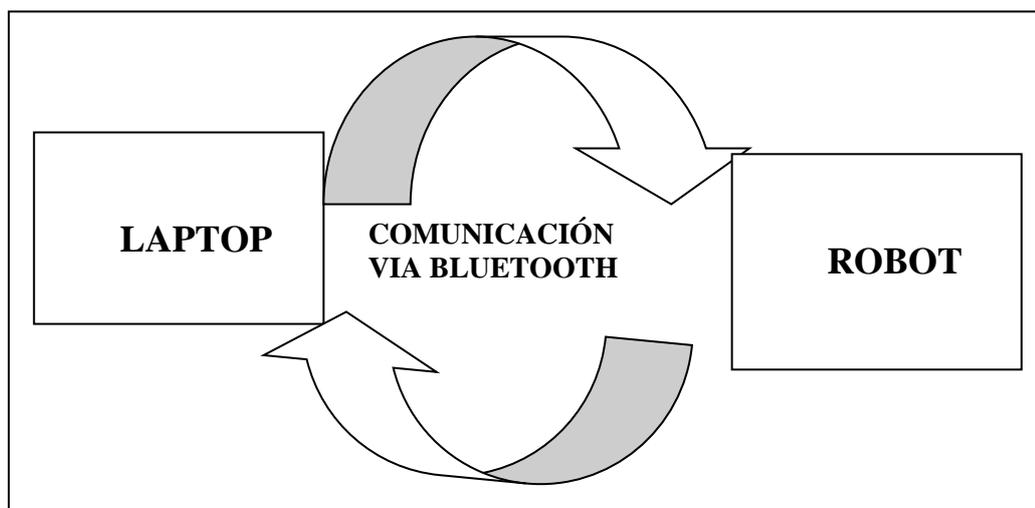


Figura1.1: Diagrama de Comunicación de Datos

1.3 Introducción a la Robótica

El término robótica procede de la palabra robot. La robótica es, por lo tanto, la ciencia o rama de la ciencia que se ocupa del estudio, desarrollo y aplicaciones de los robots. Otra definición de robótica es el diseño, fabricación y utilización de máquinas automáticas programables con el fin de realizar tareas repetitivas como el ensamble de automóviles, aparatos, etc. y otras actividades. Básicamente, la robótica se ocupa de todo lo concerniente a los robots, lo cual incluye el control de motores, mecanismos automáticos neumáticos, sensores y sistemas de cómputos.

La robótica es una disciplina, con sus propios problemas, sus fundamentos y sus leyes. Tiene dos vertientes: teórica y práctica. En el aspecto teórico se aúnan las aportaciones de la automática, la informática y la inteligencia artificial. Por el lado práctico o tecnológico hay aspectos de construcción

(mecánica, electrónica), y de gestión (control, programación). La robótica presenta por lo tanto un marcado carácter interdisciplinario.

En la robótica se aúnan para un mismo fin varias disciplinas afines, pero diferentes, como la Mecánica, la Electrónica, la Automática o la Informática.

El término robótica se le atribuye a Isaac Asimov, quien propuso este concepto a partir de una palabra en idioma checo llamada: “robota”.

Asimismo Isaac Asimov planteó tres principios o leyes de la robótica:

- Un robot no puede lastimar ni permitir que sea lastimado ningún ser humano.
- El robot debe obedecer a todas las órdenes de los humanos, excepto las que contradigan la primera ley.
- El robot debe autoprotegerse, salvo que para hacerlo entre en conflicto con la primera o segunda ley.

1.3.1 Los Robots

Los robots son dispositivos compuestos de sensores que reciben datos de entrada y que pueden estar conectados a la computadora. Esta, al recibir la información de entrada, ordena al robot que efectúe una determinada acción. Puede ser que los propios robots dispongan de microprocesadores que reciben el input de los sensores y que estos microprocesadores ordenen al robot la ejecución de las acciones para

las cuales está concebido. En este último caso, el propio robot es a su vez una computadora.

El Robot industrial: nace de la unión de una estructura mecánica articulada y de un sistema electrónico de control en el que se integra una computadora. Esto permite la programación y control de los movimientos a efectuar por el robot y la memorización de las diversas secuencias de trabajo, por lo que le da al robot una gran flexibilidad y posibilita su adaptación a diversos medios.

Un robot industrial es, por su propia naturaleza, un nuevo tipo de maquinaria que proporciona una flexibilidad doble:

a) Flexibilidad mecánica, proporcionada por estar constituido por un sistema mecánico articulado que puede variar la posición de su extremo libre en el espacio, adoptando además una orientación espacial deseada.

b) Flexibilidad de programación, debida a que su configuración espacial está controlada por un computador, y por lo tanto puede ser cambiada fácilmente con solo cambiar el programa. La movilidad del manipulador es el resultado de una serie de movimientos elementales, independientes entre sí, denominados grados de libertad del robot.

1.3.2 Beneficios obtenidos al implementar un robot

Los beneficios que se obtienen al implementar un robot son:

- Reducción de la labor.
- Incremento de utilización de las máquinas.
- Flexibilidad productiva.
- Mejoramiento de la calidad.
- Disminución de pasos en el proceso de producción.
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
- Mayor productividad.
- Ahorro de materia prima y energía.
- Flexibilidad total.

1.3.3 Análisis de la necesidad de un robot

Cuando la longitud total de la línea de un proceso es lo más corta posible y los puntos de almacenamiento son los menos posible, el propósito de instalación de un Robot es la manipulación de piezas no muy disímiles entre sí. Para considerar la factibilidad de su instalación debe responderse a una serie de preguntas, a saber:

¿Cuál es la producción anual?

¿Pueden almacenarse?

¿Cuál es el tiempo disponible para el manipuleo?

¿Qué dotación de personal de operación y supervisión será necesaria?

¿Es la inversión posible?

La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. Otras áreas importantes en robótica son el álgebra, los autómatas programables y las máquinas de estados. El término robot se popularizó con el éxito de la obra RUR (Robots Universales Rossum), escrita por Karel Capek en 1920. En la traducción al inglés de dicha obra, la palabra checa robota, que significa trabajos forzados, fue traducida al inglés como robot. La historia de la robótica ha estado unida a la construcción de “artefactos”, que trataban de materializar el deseo humano de crear seres a su semejanza y que lo descargasen del trabajo.

En la actualidad existen muchas herramientas para la construcción de robots, entre ellas se encuentran el Lego Mindstorm NXT. Es un kit de robótica programable lanzado por Lego a fines de julio de 2006. Se sustituye la primera generación del kit Lego Mindstorms, que fue llamado el sistema de invención robótica. El kit de base de los buques en dos versiones: La versión comercial (set # 8527) y el Conjunto de

base de Educación (set # 9797). Estos se pueden utilizar para competir en las competiciones FIRST Lego League.

El principal componente en el equipo es un ordenador denominado el Brick NXT. Se puede obtener información de hasta cuatro sensores y el control de hasta tres motores, a través de cables RJ12, muy similar a, pero incompatible con cables telefónicos RJ11. El ladrillo tiene una pantalla LCD de 100x64 píxeles blanco y negro y cuatro botones que se pueden utilizar para navegar una interfaz de usuario con menús jerárquicos. También tiene un altavoz y puede reproducir archivos de sonido en las frecuencias de muestreo de hasta 8 kHz.

LEGO MINDSTORMS NXT es lo último en robótica educacional, permitiendo a los estudiantes descubrir conceptos relacionados con la tecnología de la información y comunicación, ciencia, diseño y tecnología y matemáticas de una manera divertida, entretenida y práctica.

Combina el robusto set de construcción LEGO Technic con el software de fácil manejo y las actividades, y enseña a estudiantes desde los 8 años a diseñar, programar y controlar robots que llevan a cabo tareas automatizadas relacionadas con el mundo real. Los estudiantes adquirirán habilidades nuevas y aprenderán a trabajar con otros para obtener nuevas ideas y resolver problemas.



Figura 1.2: Imagen del LEGO Mindstorm y perspectiva de su tamaño.

1.3.4 Áreas en las que LEGO MINDSTORMS es aplicable.

- Tecnología de la información y comunicación: Programación y control de dispositivos de entrada y salida, usando comunicación sin cables.
- Ciencia: Investigación de la energía, fuerzas y velocidad.
- Diseño y tecnología: Desarrollo de soluciones, selección, construcción, testeo y evaluación.
- Matemáticas: Medición, uso de sistemas de coordinación, conversión y matemáticas aplicadas.

1.4 Justificación del proyecto

Hay muchos trabajos que las personas no les gusta hacer, sea ya por ser aburrido o bien peligroso, siempre se va a tratar de evitar para no hacerlo. La solución más práctica era obligar a alguien para que hiciera el trabajo, esto se le llama esclavitud y se usaba prácticamente en todo el mundo bajo la política

de que el fuerte y el poder dominan al débil.

Ahora los robots son ideales para trabajos que requieren movimientos repetitivos y precisos. Una ventaja para las empresas es que los humanos necesitan descansos, salarios, comida, dormir, y una área segura para trabajar, los robots no. La fatiga y aburrimiento de los humanos afectan directamente a la producción de una compañía, los robots nunca se aburren por lo tanto su trabajo va a ser el mismo desde que abra la compañía a las 8:00 AM hasta las 6:00PM.

El noventa por ciento de robots trabajan en fábricas, y más de la mitad hacen automóviles. Las compañías de carros son tan altamente automatizadas que la mayoría de los humanos supervisan o mantienen los robots y otras máquinas.

Otro tipo de trabajo para un robot es barajar, dividir y repartir en fábricas de comidas. Por ejemplo, en una fábrica de chocolates los robots arman las cajas de chocolates. Mediante un sistema de visión, un brazo robótico que localiza cada pieza de chocolate y de forma gentil sin dañar al producto lo separa y divide.

En la minería se realiza la excavación en zonas determinadas para esto se utilizan muchos explosivos para encontrar los metales requeridos, Este proceso que se viene haciendo desde hace mucho tiempo por muchos años trae consecuencias, como enfermedades, contaminación ambiental, accidentes,

muertes al mismo personal de trabajo y personas secundarias como los habitantes del mismo pueblo que corren mucho riesgo en adquirir enfermedades como deformaciones. Por tal motivo se ha construido un prototipo de máquina que ayude a realizar el proceso de excavación y obtención de los metales. Lo llamamos robot minero, es una simulación a escala de lo que se quiere realizar a futuro.

El robot fue desarrollado para inspeccionar áreas de minas que son peligrosas para el ingreso del personal, por ejemplo, stopes no apoyados y vacíos peligrosos. Este prototipo es de gran utilidad para proyectos del campo de la ingeniería civil porque permite la demolición de rocas y extracción de minerales dentro de una mina; facilitando al personal adquirir información del material encontrado dentro de ella vía Bluetooth desde el robot al PC.



Figura 1.3: Robot minero industrial

1.5 Componentes Del Kit Lego Mindstorms NXT

El kit del LEGO Mindstorm NXT contiene una serie de componentes y

herramientas útiles en la fabricación de robots. A continuación se mencionan algunas de sus componentes.

- Ladrillo Inteligente NXT con un microprocesador de 32-BIT.
- Lo más innovador del nuevo software es que tiene editor de sonido, este graba cualquier tipo de sonido y después se programa para que el Ladrillo NXT pueda decir el sonido anteriormente grabado.
- Con el editor de imagen se puede subir una imagen para que el Ladrillo NXT lo represente en su pantalla.
- Aplicación del control remoto: Usando la conexión por medio de Bluetooth se puede tener mando directo sobre el robot.
- Servo motores Interactivos que incorporan sensores de rotación to para ajustar la velocidad y disponer de un control más preciso.
- Nuevo sensor visual ultrasónico capaz de responder al movimiento.
- Nuevo sensor de luz mejorado capaz de diferenciar diferentes colores reales. Se puede utilizar en modo de sensor de color, usando el software estándar, puede detectar seis colores: negro, blanco, rojo, verde, azul y amarillo. Se puede usar en modo de lámpara: es posible controlar los LED's del sensor como verde, rojo y amarillo.
- Elementos LEGO TECHNIC especialmente seleccionados.
- Soporte USB 2.0 y Bluetooth.

1.5.1 Detalle de sus componentes.

Una de las partes básicas de un robot es su sistema sensitivo, sin él no podría percibir su entorno, y en consecuencia, no podría responder ante los diferentes estímulos que se le presentan. Los elementos por medio de los que el robot recibe información de su entorno son los sensores que permiten medir distancias, iluminación del ambiente, niveles de ruido, temperatura.

El sistema básico dispone de cuatro sensores:

- **Sensor de contacto:** básicamente es un pulsador como el que utilizamos para hacer sonar el timbre de casa. Tiene dos posiciones: pulsado y suelto. Puede ser utilizado en un robot móvil para detectar cuando choca contra una pared.
- **Sensor de luz:** Mide el nivel de luminosidad que recibe convirtiendo la lectura en valores comprendidos entre 1 y 100. Ejemplos básicos de su uso pueden ser hacer que un robot se dirija a una zona iluminada, detectar el encendido de la luz en un espacio y hacer sonar una alarma, o para el clásico robot que sigue una línea sobre el suelo.
- **Sensor de ultrasonidos:** Es capaz de medir la distancia a un objeto que se encuentre a una distancia inferior a 250 cm. Así como con el sensor de contacto hay que chocar para detectar un objeto con el detector de ultrasonidos ya no es necesario. Su uso lo podríamos

asimilar al sistema por medio del cual un murciélago detecta los obstáculos en la oscuridad.

- **Sensor de sonido:** Mide el nivel de ruido en su entorno y asigna un valor a la lectura entre 1 y 100. Puede dársele diferentes usos, entre ellos se encuentra el controlar un robot con palmadas de las manos, tal y como se hace con ciertos sistemas de iluminación doméstica.

1.5.2 El sistema motor

Además de sentir el robot ha de tener la capacidad responder a los estímulos externos, es decir, de hacer. De hecho es posible diseñar un robot sin sensores pero al contrario, no tiene ningún sentido que no sea capaz de hacer nada, aunque no sea más que generar sonidos.

Para hacer utiliza los motores con los que puede desplazarse, abrir y cerrar una pinza... o lo que se desee.

Los motores del sistema LEGO MINDSTORMS está diseñados de tal manera que además de controlar la potencia y sentido de giro es posible controlar la magnitud de dicho giro: ya sea por tiempo, número de vueltas o grados (con una precisión de 1 grado). Esto facilita en gran manera el control de los movimientos.

1.5.3 El cerebro

Para responder a los estímulos externos hay que tener la capacidad de tomar decisiones y para eso está el “cerebro” o controladora que en el caso del nuevo sistema de LEGO MINDSTORMS se llama NXT.

El NXT dispone de tres salidas (en las que podremos conectar hasta tres motores) y de cuatro entradas (permiten conectar hasta cuatro sensores). Además de ello dispone de otros modos de comunicarse con el entorno: un pequeño altavoz que puede reproducir sonidos con una limitada potencia, pero muy útiles en algunos programas; una pantalla con una resolución de 64x100 píxeles por medio de la cual es posible presentar mensajes de texto o gráficos; y un puerto de comunicaciones bluetooth que le permite conectarse con otros robots (enviar y recibir mensajes), teléfonos móviles o incluso conectarse con un receptor GPS.

El NXT puede conectarse con el ordenador por medio de un cable USB o de modo inalámbrico vía una conexión bluetooth.

1.5.4 El esqueleto

Todo lo anterior necesita un esqueleto adaptado al uso que se le quiera dar que lo sustente. En función del objetivo deseado habrá que montar una estructura en forma de vehículo con ruedas, en forma de bípedo o

cuadrúpedo, en forma de organizador de ladrillos LEGO en base a su color.

En el caso de los robots móviles es importante que esta estructura sea resistente, un robot móvil que puede chocar con una pared hay que montarlo de tal manera que no se desmonte durante su uso.

Tanto el set comercial de LEGO MINDSTORMS como el educativo ofrecen un conjunto de piezas suficiente para empezar a montar robots y con el tiempo puede completarse principalmente con la línea LEGO TECHNIC.

1.5.5 Sus comportamientos

Pero ¿qué es un cerebro sin inteligencia? Nada, así que por medio de la programación hay que definir cómo se ha de comportar el robot ante los diversos estímulos externos.

Para ello LEGO MINDSTORMS ofrece un software de programación gráfico conocido como NXT-G. Una serie de bloques ordenados de acuerdo con lo que se desea que haga el robot generan un programa que se transfiere al NXT para que éste, de modo totalmente autónomo sin necesitar el ordenador para nada, lo ejecute.

1.5.6 Un ejemplo paso a paso

Se trata de montar y programar un robot que se mueva por una habitación o pasillo y que cuando choque contra la pared u otro objeto sea capaz de girar y seguir tras evitar el obstáculo.

El procedimiento básico de diseño, montaje y programación de un robot es un procedimiento de ensayo, error y mejora. En la siguiente figura puede verse un esquema del procedimiento.

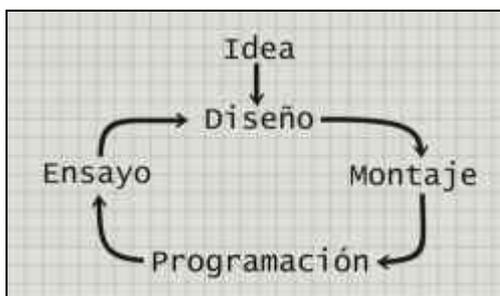


Figura 1.4: Esquema del Diseño de un Robot

1.5.7 Diseño y montaje de un robot móvil

Cuando se va a montar un robot móvil, antes de nada hay que definir qué sistema de dirección se va a utilizar: un robot con cuatro ruedas, dos para la dirección y dos motrices; o un robot con un sistema de dirección diferencial, es decir, con dos ruedas conectadas cada una a un motor y un tercer punto de apoyo que puede ser una esfera o una rueda loca.

El que los motores se muevan a la misma o diferente velocidad hará que el movimiento sea rectilíneo o de giro.

Para empezar es mejor hacerlo con dirección diferencial, hacerlo de otro modo complica tanto el montaje como la programación. Para este ejemplo lo mejor es utilizar el Tribot (uno de los modelos incluidos en el set de LEGO MINDSTORMS).

1.5.8 Programación

Antes de empezar con el software de programación, sea este el que sea, hay que escribir el algoritmo a utilizar. ¿Qué es el algoritmo? Es la descripción paso a paso de lo que ha de hacer el robot en el propio lenguaje, en este caso podría ser el siguiente:

1. **avanzar** en línea recta hasta que choque
2. **retroceder** en línea recta durante 1 segundo
3. **girar** 90° sobre sí mismo a la izquierda
4. **repetir** el ciclo otra vez

Ahora que tenemos el algoritmo ya podemos convertirlo a un lenguaje que comprenda el robot, eso lo haremos por medio de LEGO MINDSTORMS NXT-G. Una de las características de NXT-G, al contrario de otros lenguajes de programación, es que desde el primer momento podremos editar programas totalmente funcionales, no es

necesario un proceso de aprendizaje previo y está pensado para todos los públicos.

Un programa en NXT-G es una secuencia de bloques de programación unidos por medio de un enlace que simula un *liftarm*. Los bloques se arrastran hasta la posición deseada y se enlazan automáticamente. En la figura siguiente puede verse el programa correspondiente al algoritmo anterior.

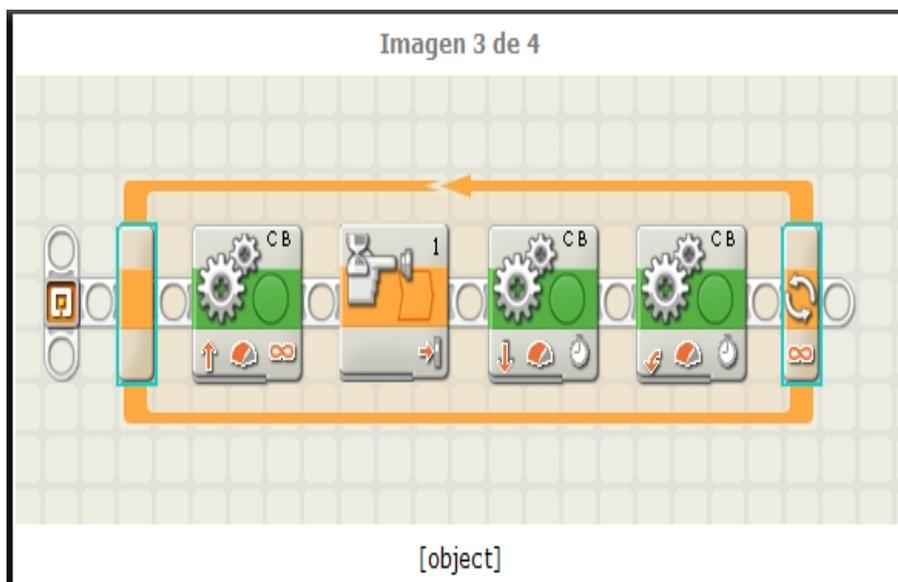


Figura 1.5: Algoritmo del Programa de Lego Mindstorms.

Cada bloque de programación dispone de un panel que permite configurarlo. En el caso del bloque Mover (figura siguiente) se puede modificar la velocidad, el tiempo que ha de permanecer en marcha o si

ha de hacerlo de modo indefinido, cómo ha de pararse o si lo que ha de hacer es únicamente un giro de un ángulo determinado.



Figura 1.6: Configuración del Movimiento para el Robot.

En este programa, tal y como puede verse en una de las figuras anteriores, se utilizan únicamente dos bloques de programación y una estructura de control. Uno de los bloques (*Move* o Mover) es el que hace que el robot avance, retroceda, gire... es decir, que se mueva y el otro es el que hace que el programa espere hasta que el robot choque. Las estructura de control determinan el flujo del programa, en este caso *Loop* hace que la secuencia que engloba se repita una y otra vez.

Una vez que hayamos editado el programa solo falta transferirlo al NXT. Para ello hay que encenderlo y conectarlo al ordenador vía cable USB (es lo más rápido y fácil) o conexión inalámbrica bluetooth (a veces su configuración da trabajo y es más lenta). En la figura pueden verse los botones que se utilizan para dicha transferencia.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL SISTEMA

2.1 Elaboración del proyecto.

El proyecto del *robot minero* debe su nombre a la utilidad que se le da en campo abierto. Está construido con piezas del conocido producto llamado LEGO Mindstorm NXT y programado mediante los softwares de computación MATLAB y SIMULINK. La parte física primordial del robot es el LEGO Brick que dirige su funcionamiento por medio de órdenes hacia los servomotores mediante la información proveniente de los sensores.

2.2 Características del Bloque Brick NXT

En el bloque de NXT existen cuatro entradas para los sensores y tres salidas para los servomotores o partes móviles.

Como medio de entradas posee tres conectores que permiten capturar la información que proviene de los distintos sensores. Se ubican en la parte inferior de la pantalla de LCD, son de color gris y se distinguen por los

números 1, 2, 3 y 4. Las salidas del bloque NXT son para energizar los motores que se pueden conectar al robot y así darle movimiento. El voltaje que provee es de 9 volts, haciendo que cada motor que se conecte al bloque para moverse acorde a las instrucciones del programa. Las salidas de energía se encuentran en la parte superior de la pantalla de LCD, son de color gris y se distinguen por las letras A, B y C.

Puede comunicarse con el computador mediante la interfaz de USB. Además, para comunicarse con otros robots en las cercanías posee una interfaz Bluetooth. Esta conectividad con *Bluetooth* no tan sólo permite conectarse con otros bloques, sino también con computadores, palms, teléfonos móviles, y otros aparatos con esta interfaz de comunicación.



Figura 2.1: Imagen del LEGO Brick y sus componentes

2.3 Sensores NXT utilizados en el proyecto

Sensor es un aparato que responde a un estímulo, como energía térmica, energía electromagnética, energía acústica, presión, magnetismo, o movimiento, produciendo una señal, generalmente eléctrica.

Los sensores a utilizarse en el proyecto por desarrollarse fueron seleccionados de acuerdo a las necesidades que tendrá el robot.

Nombrados según su utilización, los sensores son los siguientes: Luz, Sonido y Tacto.

2.3.1 Concepto y características del sensor de luz NXT

La luz se forma por saltos de los electrones en los orbitales de los átomos. Como sabemos, los electrones poseen la extraña cualidad de moverse en determinados orbitales sin consumir energía, pero cuando caen a un orbital inferior de menor energía (más próximo al núcleo) emiten energía en forma de radiación. Algunos de esos saltos producen radiación visible que llamamos luz, radiación que ven nuestros ojos en su manifestación de color.

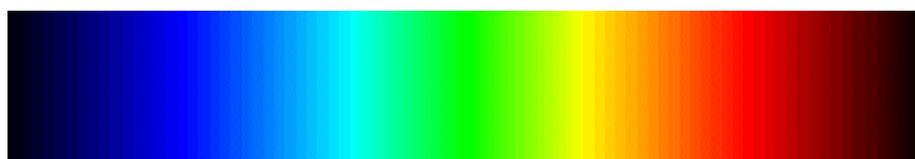


Figura 2.2: Espectro de luz visible

Color	Rango	Características
INFRARROJO	890...950 nm	No visible, son relativamente inmunes a la luz ambiente artificial. Generalmente se utilizan para detección en distancias largas y ambientes con presencia de polvo.
ROJO	660...700 nm	Al ser visible es más sencilla la alineación. Puede ser afectado por luz ambiente intensa, y es de uso general en aplicaciones industriales.
VERDE	560...565 nm	Al ser visible es más sencilla la alineación. Puede ser afectado por luz ambiente intensa, generalmente se utiliza esta fuente de luz para detección de marcas.

Tabla 2.1: Comparación de colores y su longitud de onda

Una de las propiedades de la luz es la interferencia; al hacer incidir sobre una pantalla dos haces de luz habrán regiones de la pantalla en donde las ondas que arriban se suman constructivamente creando una intensidad mayor que la que poseen las ondas incidentes, habrán regiones de la pantalla en las cuales las ondas se suman destructivamente, pudiéndose hasta cancelar su efecto. El hombre ha sacado mucho provecho de esta propiedad de interferencia al crear dispositivos que consisten de dos o más capas sucesivas de materiales dieléctricos, esto es, materiales que no absorben la luz, de modo que escogiendo apropiadamente los espesores de estos y sus índices de

refracción se refuerza el grado en que el dispositivo como un todo refleja o transmite la luz.

Un sensor de luz detecta la iluminancia. Permite gobernar automáticamente las escenas de luz en función de la luz natural. En los espacios interiores es posible obtener una iluminancia constante a través de la combinación de la luz natural variable con una instalación de iluminación.

Si se tiene instalado un sensor de luz diurna en el techo (sensor exterior), éste mide la iluminancia de la luz natural y gobierna, a base de ésta, la iluminación en los espacios interiores. Si el sensor de luz está dentro del local (sensor interior), éste mide la suma de la iluminancia resultante de la luz natural incidente y la iluminación en el local, al objeto de regular la iluminación en función de la luz natural.

El primero de estos procesos se denomina control; el otro, con el circuito, es llamado regulación. En combinación con un control de escenas, se da la posibilidad de una regulación de las escenas de luz en función de la luz natural, por ejemplo mediante un interruptor crepuscular. Del mismo modo es posible regular la protección contra los rayos solares mediante el control de sensores.

Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que “ve” la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada.

La operación de los sensores que no poseen luz modulada está limitada a zonas donde el receptor no reciba luz ambiente y sólo reciba la luz del emisor. Un receptor modulado ignora la presencia de luz ambiente y responde únicamente a la fuente de luz modulada.

Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación para sensibilidades cruzadas como la temperatura y formateo de la señal de salida.

La modulación de la fuente de luz provee el poder de sensado necesario para detectar confiablemente con esos bajos niveles de luz. Muchos de los sensores fotoeléctricos utilizan LEDs emisores de luz modulada y receptores fototransistores.



FFigura 2.3: Imágenes de sensores fotoeléctricos

El sensor de luz permite tomar una muestra de luz mediante un bloque modificado que un extremo trae un conductor eléctrico y por el otro una cámara oscura que capta las luces. Esta cámara es capaz de captar luces entre los rangos de 0,6 a 760 lux. Este valor lo considera como un porcentaje, el cual es procesado por el bloque lógico, obteniendo un porcentaje aproximado de luminosidad.

Condición de operación	Mínima ganancia requerida
Aire limpio, sin suciedad en lentes o reflector	1,5X
Ambiente levemente sucio, con humedad, o filmes sobre los reflectores o las lentes. Lentes limpiados regularmente.	5X
Ambiente medianamente sucio, contaminación en lentes o reflectores, limpiados ocasionalmente.	10X
Ambiente muy sucio, alta contaminación en lentes o reflectores, limpiados esporádicamente.	50X

Tabla 2.2: Necesidad de aumento de luz según la condición de operación

Debido a que este sensor capta grados de luminosidad, no es capaz de distinguir colores, sólo captando la existencia del blanco (claridad), negro (oscuridad) y los tonos de grises que corresponden a los distintos porcentajes de luz existentes en el medio.

Puede leer la intensidad de la luz en una habitación y medir la intensidad de la luz de las superficies de colores.



Figura 2.4: Imagen del color captado en el sensor de luz

El sensor se puede usar en dos modos: El primer modo detecta la luz del ambiente y se puede usar para detectar si un cuarto tiene la luz prendida o apagada, o la intensidad de la luz que entra por la ventana dependiendo de la hora del día o incluso para programar un robot que siga una fuente de luz. En el segundo modo el mismo sensor emite una luz y luego mide que tanto rebota o refleja esta luz en las superficies. Este modo lo podemos usar para diferenciar el brillo de los colores en una superficie El sensor nos da una lectura desde 0 (completa a oscuridad) hasta 100 (muy brillante).



Figura 2.5: Sensor de Luz LEGO Mindstorm

2.3.2 Concepto y características del sensor de sonido NXT

El sonido, es un fenómeno físico que estimula el sentido del oído. Este fenómeno se transmite a través de ondas. El sonido es una vibración de energía transmitida a través de una sustancia mediante el movimiento de los átomos o moléculas que la conforman. Donde pasa una vibración, las partículas en la sustancia se comprimen primero y luego se separan abruptamente. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 Hz. llega al oído interno.

Cuando una onda sonora alcanza la membrana sensible del tímpano, produce en él vibraciones que son transmitidas por la cadena de huesecillos hasta la base de otra membrana situada en la llamada ventana oval, ventana localizada en la cóclea o caracol. El hecho de que la ventana oval sea de 20 a 30 veces más pequeña que el tímpano da lugar a una amplificación que llega a aumentar entre 40 y 90 veces la presión de la onda que alcanza al tímpano. Esta onda de presión se propaga dentro del caracol a través de un líquido viscoso hasta alcanzar otra membrana conectada a un sistema de fibras fijas por sus extremos a modo de cuerdas de arpa, cuyas deformaciones elásticas estimulan las terminaciones de los nervios auditivos. Las señales de naturaleza eléctrica generadas de este modo son enviadas al cerebro y

se convierten en sensación sonora. Mediante este proceso el sonido físico es convertido en sonido fisiológico.

Cuando se produce una perturbación periódica en el aire, se originan ondas sonoras longitudinales. El término sonido se usa de dos formas distintas. Los fisiólogos definen el sonido en término de las sensaciones auditivas producidas por perturbaciones longitudinales en el aire. Deben existir dos factores para que exista el sonido. Es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico a través del cual se propague la perturbación. Es necesario un medio material para que se produzca sonido. Las ondas sonoras constituyen un flujo de energía a través de la materia. La intensidad de una onda sonora específica es una medida de la razón a la cual la energía se propaga a través de un cierto volumen espacial.

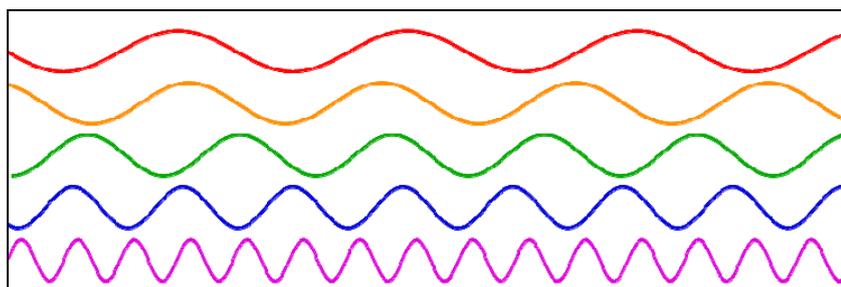


Figura 2.6: Distintas formas de onda sonora.

Como todo movimiento ondulatorio, el sonido puede representarse como una suma de curvas sinusoides con un factor de amplitud, que se pueden caracterizar por las mismas magnitudes y unidades de medida que a cualquier onda de frecuencia bien definida: Longitud de onda (λ), frecuencia (f) o inversa del período (T), amplitud que indica la cantidad de energía que contiene una señal sonora y no hay que confundir amplitud con volumen o potencia acústica.

Un sonido consta de tres características:

Intensidad: Distingue un sonido fuerte de uno débil, depende de la amplitud.

Tono: Distingue a un sonido agudo de un grave, depende de la frecuencia.

Timbre: Distingue sonidos de igual intensidad y tono, pero distintas fuentes.

El sensor de sonido permite medir niveles de sonido en DB y DBA. Un DB (decibel) es una medida de presión del sonido, un DBA (decibelios ajustados) son los sonidos que sus oídos son capaces de oír.

Sonido	Nivel de intensidad, dB
Umbral de audición	0
Susurro de las hojas	10
Murmullo de voces	20
Radio a volumen bajo	40
Conversación normal	65
En una esquina de una calle transitada	80
Transporte subterráneo	100
Umbral de dolor	120
Motor a propulsión	140 -160

Tabla 2.3: Nivel de intensidad en dB según la situación del sonido

El sensor de sonido puede medir los niveles de presión sonora de 90 dB. Los niveles de presión de sonido son muy complicados, así que las lecturas del sensor de sonido en el MINDSTORMS NXT se muestran en porcentaje [%].

<u>Porcentaje percibido</u>	<u>Situación o lugar</u>
(4 - 5) %	una sala de estar en silencio sin ruidos de fondo
(5 - 10) %	alguien hablando a cierta distancia poco perceptible
(10 - 30) %	conversación normal en un lugar cerrado
(30 - 100) %	gente gritando o música en un alto volumen

Tabla 2.4: Porcentaje de sonido percibido por el sensor

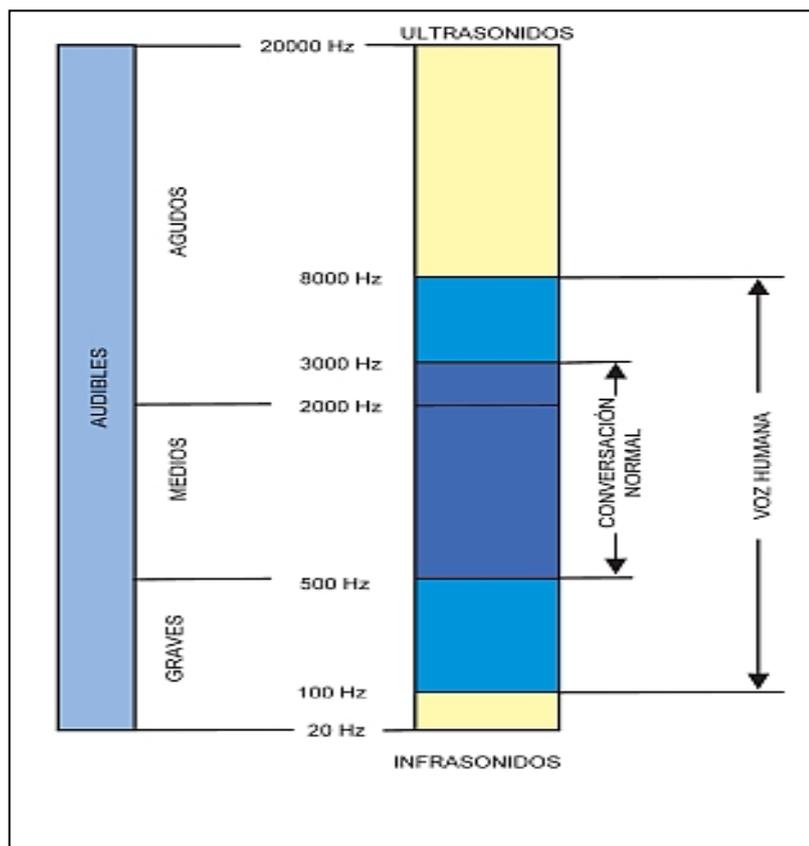


Figura 2.7: Gráfica comparativa del sonido en función de la frecuencia

Un micrófono recoge la señal de sonido o ruido ambiente. Esta señal es amplificada y, si se alcanza un determinado nivel o umbral, se produce un pulso lógico de disparo de unos 100 mS de duración y activo por flanco ascendente. Mediante un potenciómetro de ajuste es posible regular el nivel sonoro al que se desea se produzca la señal de disparo en la salida. De esta forma se puede ajustar la sensibilidad del circuito.

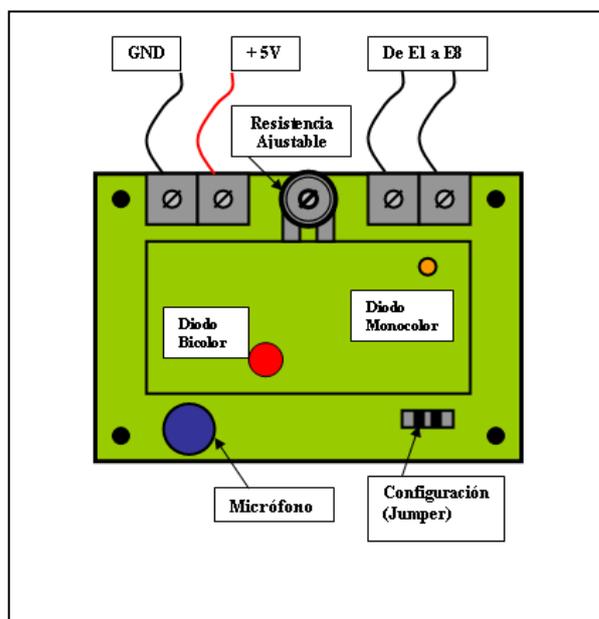


Figura 2.8: Circuito eléctrico del sensor de sonido

La resistencia ajustable sirve para controlar manualmente el límite de nivel sonoro o umbral de disparo del sensor, es decir podemos ajustar la sensibilidad del dispositivo, actuando sobre esta resistencia. Con el jumper podemos variar la configuración del sensor y así decidir su forma de funcionamiento.

El sensor solo detecta la “cantidad” de sonido y no tipos de tono o modulación, pero aun así hay muchas aplicaciones ingeniosas que se le pueden dar. Lee el sonido ambiental y nos regresa una medida de 0 a 100%. Podemos configurarlo para que lea Decibeles o Decibeles Ajustados.



Figura 2.9: Sensor de sonido NXT

2.3.3 Concepto y características del sensor de tacto NXT.

El sensor de tacto permite detectar si el bloque que lo posee ha colisionado o no con algún objeto que se encuentre en su trayectoria inmediata. Este detecta cuando se está presionando por algo y cuando se libera de nuevo. Internamente, el sensor de tacto es una placa de circuito impreso (PCB) montado botón pulsador y un conector. Es importante colocar el cable que conduce la corriente apropiadamente.

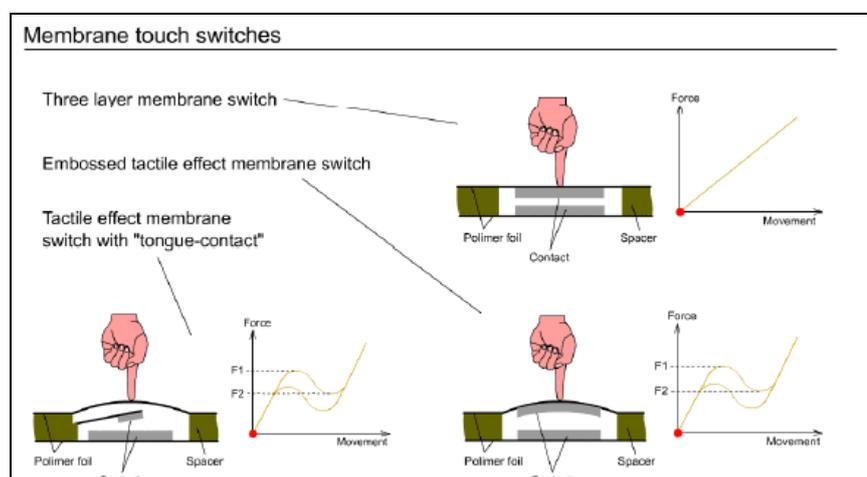


Figura 2.10: Funcionamiento del circuito interno del sensor de tacto

Al tocar una superficie, se contrae y permite que una pieza dentro del bloque cierre un circuito eléctrico comience a circular energía, provocando a su vez una variación de energía de 0 a 5 V. Cuando el botón deja de ser presionado el circuito se rompe y entonces no hay flujo de electricidad. Una buena característica física de este sensor es la cruz orificio que permite la conexión al operador del sensor directamente a otro ensamblaje.



Figura 2.11: Sensor de tacto NXT

2.4 Concepto y características de los servomotores NXT

El servomotor es un motor, generalmente eléctrico, combinado con un mecanismo reductor y un sistema sensor de posición que se controla electrónicamente; es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia.

Los Servos son sumamente útiles en robótica. Los motores son pequeños, tienen internamente una circuitería de control interna y es sumamente poderoso para su tamaño. Consta de una circuitería de control, el motor, un juego de piñones, y la carcaza. Posee una alimentación Vcc (+5volts), conexión a tierra GND y una interfaz de control.

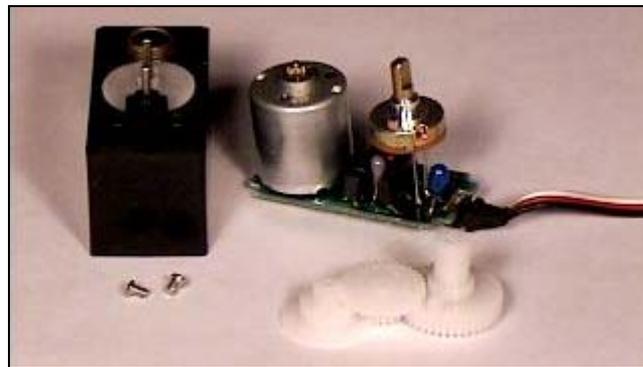


Figura 2.12: Vista interna de las componentes del servomotor

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro (una resistencia variable) Consta de un potenciómetro que le permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante. Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados. La cantidad de voltaje aplicado al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así, si el eje

necesita regresar una distancia grande, el motor regresará a toda velocidad. Si este necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor correrá a una velocidad más lenta. A esto se le llama “control proporcional”.



Figura 2.13: Circuito de control del servomotor

El modelo LEGO Mindstorm NXT usa servo motores, los cuales permiten la detección de giros de la rueda, indicando los giros completos o medios giros, que es controlado por el software. Son alimentados mediante cables que poseen conductores eléctricos que transmiten la energía a los inductores. El Servo Motor tiene un sensor Lego Mindstorms NXT que mide la velocidad de rotación y la distancia, e informa a los Lego Mindstorms NXT Intelligent Brick. Esto permite medidas precisas y de control de motores completos dentro de un grado de exactitud. Varios motores pueden ser alineados a conducir a la misma velocidad. El sensor de rotación lee datos en grados o rotaciones completas [precisión de + / - un grado]. Una rotación es igual a 360

grados, por lo que si se establece un motor para girar 180 grados, su eje de salida va a hacer una media vuelta. El built-in Sensor de rotación en cada uno de los motores también le permite establecer diferentes velocidades para sus motores mediante el establecimiento de parámetros de energía diferentes en el software. Los motores de la serie Lego Robotics han sido de tres tipos, los cuales son independientes al bloque, lo que entrega movilidad al sistema dinámico según las necesidades de construcción.



Figura 2.14: Servomotor NXT

2.5 Comunicación Bluetooth

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, con una cobertura baja y basados en transeptores de bajo coste. Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Rango (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Tabla 2.5: Clasificación según su potencia requerida

Básicamente, un ordenador habilitado con Bluetooth está equipado con un receptor bluetooth que puede ser utilizado con hasta siete dispositivos de este tipo. Por el contrario, dispositivos wireless no tienen que tenerlo instalado si soporta esta tecnología ya que lo tendrá integrado.



Figura 2.15: Dispositivo Bluetooth.

Una de las máximas ventajas de Bluetooth, no es solo el poder conectar dispositivos a ordenadores, se pueden conectar diferentes accesorios y productos electrónicos, desde cámaras fotográficas a periféricos informáticos, sin ninguna conexión física entre ellos. Los teléfonos móviles y las PDAs se

aprovechan de esta tecnología en muchos entornos. Se pueden transferir archivos de cualquier tipo.

2.6 Aplicación con Matlab.

La aplicación del Matlab en LEGO MINDSTORM NXT va relacionada con las librerías que este software posee. Estas son comandos expresados a manera de sus respectivas sintaxis, las cuales cumplen funciones al momento de realizar una programación. Mediante estas librerías se crea un pseudo código en MATLAB con el cual se programa una secuencia de órdenes ejecutadas por el robot. A continuación se muestra las librerías de MATLAB divididas según su función en sus respectivas categorías.

2.6.1 NXT Communication

En esta categoría se encuentran las librerías responsables de realizar la comunicación con el mundo externo. En este caso de la comunicación del programa con el LEGO Brick.

2.6.2 NXT Sensors

Reúne las características en cuanto a funcionamiento o calibración de los sensores de acuerdo con la aplicación otorgada.

2.6.3 NXTmotor Class Methods

Funciones u órdenes que se les dará a los motores en cuanto al control

de su movimiento. Entre las funciones importantes se encuentran la de arranque y la de alto.

2.6.4 Classic NXT Motor Functions

Genera funciones más específicas en cuanto al movimiento de los motores, estas librerías trabajan con ángulos, revoluciones y distancias por controlar.

2.6.5 NXT Direct Commands

Reúne todos los comandos que se van a ejecutar según las especificaciones requeridas. Entre los comandos se encuentran los de frecuencia, duración de tonos de sonido, al igual que el estado de la batería y el envío de mensajes al puerto de salida.

2.6.6 NXT Module Map Functions

Muestra gráficos provenientes de una programación, trabaja a manera de interfaz para la recolección de los datos y la elaboración de sus gráficas.

2.6.7 General Functions

Muestra los mensajes de error provenientes del programa, así como mensajes del usuario.

2.6.8 Debug Functions

Es la función de compilación de un archivo o programa, se ejecuta al final de la programación.

2.7 Aplicación con Simulink

La aplicación de Simulink en LEGO MINDSTORM NXT va relacionada con el uso de la librería ECRobot NXT junto con sus funciones de modelo de referencia relacionadas con el controlador. Este enfoque de modelado permite un proceso de desarrollo de diseño paralelo entre el controlador o programa y el diseño de una planta física. Para mantener esta interfaz entre ambos sistemas se utilizan los bloques de Simulink y sus uniones.

El diagrama de estados o Stateflow permite a los usuarios diseñar un sistema planificador complejo. Mediante ECRobot NXT, se introduce un enfoque para el control del tiempo de ejecución mediante la función Call Subsystem.

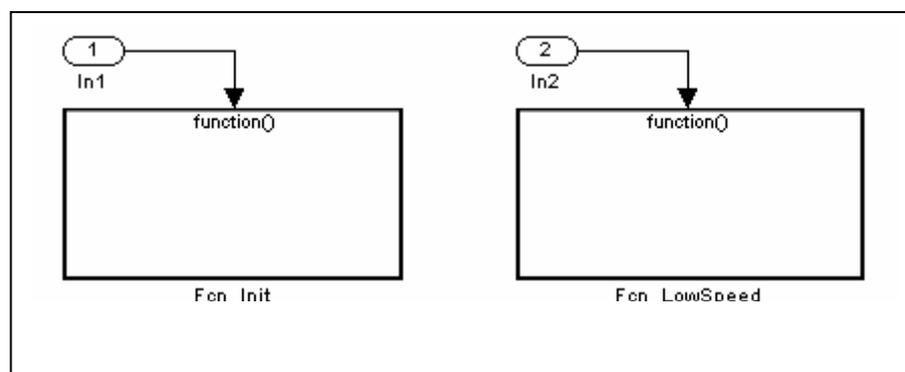


Figura 2.16: Bloques de la función Stateflow

La función NXTbuild proporciona las características de implementación del objetivo, en cuanto a su funcionamiento y ejecución.

ECRobot NXT también proporciona un Real-Time Workshop Embedded Coder para la ejecución en el tiempo según las características de implementación de destino con las herramientas de trabajo y el firmware.

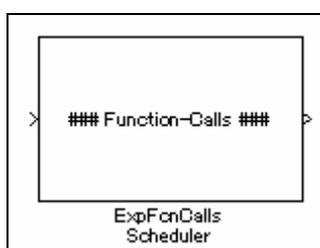


Figura 2.17: Bloque de la función Call Subsystem

Un ejemplo de sistema de control es la ejecución de una estrategia de control en tiempos diferentes (modelo asíncrono o periódico). Los subsistemas durante la simulación deben tomar en cuenta y estar de acuerdo con los parámetros especificados en el cuadro de diálogo, en este caso con los Parámetros de bloque.

En la figura a continuación se ve el bloque del Sensor de luz, utilizado para la medición del brillo. Consta de dos bloques: el bloque de Interfaz que es una comunicación al exterior mediante el controlador de NXT y el bloque de Lectura que permite una lectura de datos provenientes de los sensores de luz.

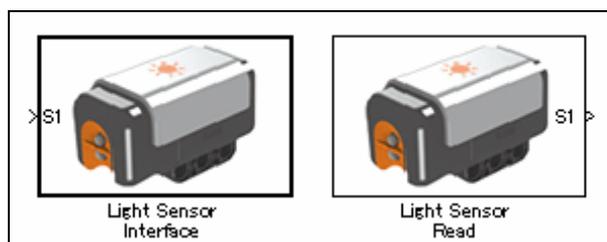


Figura 2.18: Bloques de Interfaz y Lectura del sensor de luz

De igual manera existen bloques similares para los sensores de distancia, tacto y de sonido en los que se cumplen las mismas funciones de Interfaz y de Lectura. En cada sensor se receptorá un valor numérico desde el bloque de interfaz y luego será interpretado por el bloque de lectura para su siguiente comparación y operación.

El bloque del sensor de Revolución se utiliza para medir la velocidad de un servo motor, este sensor viene incorporado dentro del mismo

Asimismo consta de dos bloques: el bloque de Interfaz donde se logra la comunicación con el controlador de NXT y el bloque de Lectura que se utiliza para la lectura de datos de las revoluciones del Servomotor.

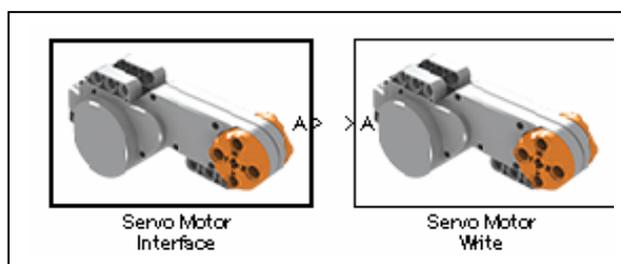


Figura 2.19: Bloques de Interfaz y Lectura del servomotor

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT MINERO

3.1 Robot Minero.

El robot fue construido con piezas del conocido juego LEGO Mindstorm y fue programado para realizar sus funciones mediante los softwares de MATLAB y de SIMULINK. La implementación fue realizada mediante pruebas en las que el proyecto debía detectar obstáculos y analizar colores.

El diseño del robot minero fue realizado con el propósito de cumplir con las funciones de demolición y de búsqueda de oro.

De igual manera este robot es capaz de tomar datos y enviarlos vía Bluetooth a un computador donde podrán ser observados y analizados por un usuario.

A continuación detallaran descripciones de las principales componentes y herramientas del sistema, asimismo se detallara sobre la programación

utilizada y de las ventajas que se tiene en cada caso.

3.2 Uso de MATLAB y de SIMULINK en la programación.

Para el desarrollo del diseño e implementación del robot minero, se la realiza con la complementación de los programas Matlab y Simulink. Ambos conocidos softwares son herramientas muy importantes en cuanto a la programación y lectura de circuitos, en este caso de la robótica puesto que el proyecto se centra en la construcción y ensamblaje del Robot Minero. Los programas funcionan con una comunicación externa con la cual se controla el robot y es vía Bluetooth o mediante cable USB.

MATLAB consta de librerías con las cuales se accede a una programación mas sencilla ya que este abrevia muchos pasos de diseño y se puede realizar el proyecto de manera eficiente en la obtención de datos de muestreo y análisis. Las librerías son sintaxis de programación previamente realizadas para ser utilizadas y facilitar una programación. Asimismo este software logra una comunicación externa con el robot junto con una recolección de datos que a su vez serán almacenadas en una base de datos y visualizados en formato de EXCEL. Cabe indicar que estos datos inicialmente son almacenados en un archivo propio de MATLAB para luego ser visualizados en formato XLS.

El software de SIMULINK, a diferencia del software de MATLAB, brinda ventanas de elementos para su programación, como componentes de interfaz que van de enlazados en par, que sirven de lectura y de recolección de datos.

Mediante este software se pueden desarrollar diagramas de bloques para diferentes tipos de funciones que el programador lo desee. Cada bloque posee su debida programación interna realizada previamente. Estos bloques cumplen la función de librerías que son como herramientas para lograr la debida comunicación con el mundo externo.

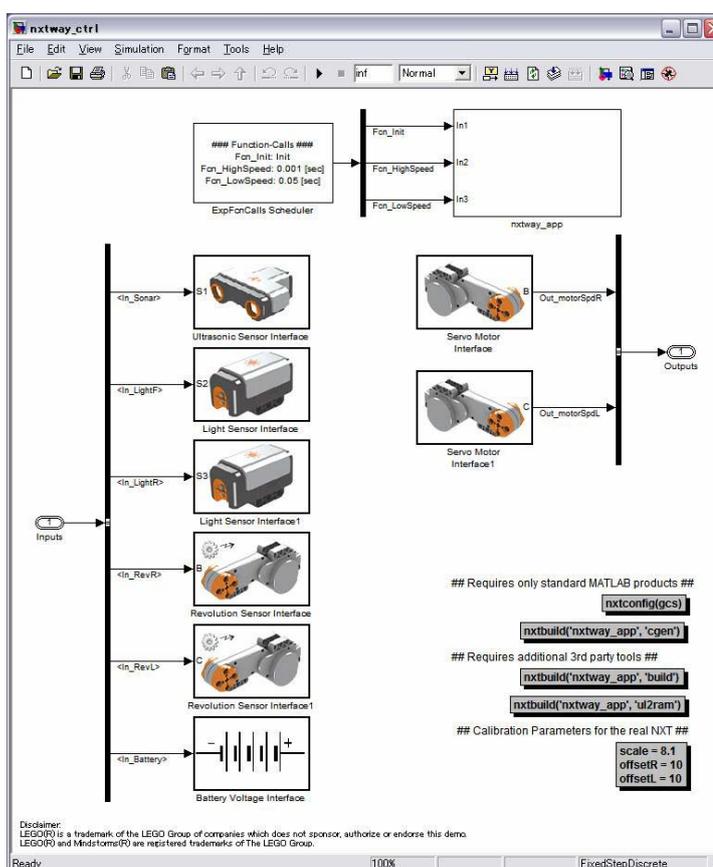


Figura 3.1: Ventana de SIMULINK

3.3 Programación en MATLAB.

La forma de programación en MATLAB se la realiza mediante el lenguaje C, este facilita la comunicación de sus elementos como servomotores, sensores

de luz, sensores de sonido, y de tacto mediante sus librerías que son explícitamente para la comunicación de matlab con lego Mindstorm.

Este código de programación se encarga de las funciones previamente explicadas y genera un archivo xls de nombre “datos minas” el cual es un archivo de datos ordenados en columnas a manera de una matriz. Para realizar la transmisión de datos se utiliza la función simbolizada como COM_OpenNXT. En el Anexo A se puede revisar el pseudo código del programa y su debida explicación. En el mismo, se ven las utilidades de las librerías.

3.4 Programación en SIMULINK.

Para la programación en SIMULINK se utilizó la librería ECRobot Toolbox del Simulink del software de Matlab. Se realizó mediante diagrama de bloques basados en los sensores que dirigen el movimiento del robot. Se utilizaron bloques previamente estructurados mediante órdenes por ejecutar. Esta es una programación mediante gráficos que ejecutan sus órdenes basadas en condiciones previas, según lo que se requiere desarrollar..

3.4.1 Diseño del sistema en SIMULINK.

Se crea el programa, mediante bloques de programación y finalmente se utiliza una función Call Subsystem; esta función es una interfaz con el diagrama de estados (Stateflow), donde se facilita el diseño de la programación gráfica. Mediante la librería ECRobot NXT, se revisan

los bloques por utilizar en la programación y se introduce un control para el tiempo de ejecución con la función-Call Subsystem.

En el anexo c se encuentra la programación gráfica del proyecto.

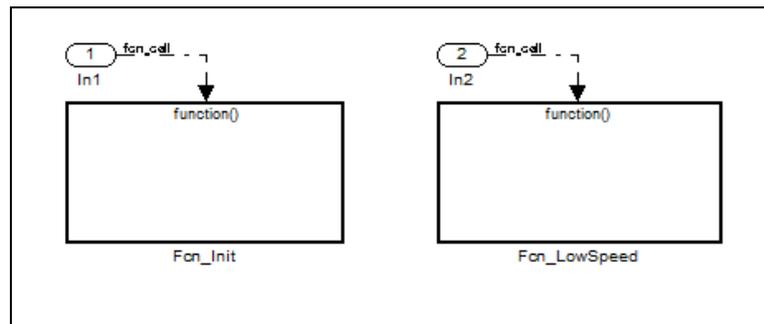


Figura 3.2: Bloques funcionales de la función Call Subsystem

La Función-Call Subsystem posee una característica única en cuanto al modelado de bloques de Simulink. El orden de ejecución de cada bloque en el modelo de Simulink está determinada por sus conexiones, es decir las líneas o flechas de conexión. Sin embargo, la función Call Subsystem no tiene un orden para el tiempo de ejecución y es controlada por el usuario que ejecuta la programación, que puede ejecutarse a través del diagrama de estados o Stateflow. Estas características conducen una dificultad en relación a la transferencia de datos entre los subsistemas programados.

3.4.2 Diagrama de entradas y salidas del programa.

En esta etapa se configuraron las entradas y salidas del diseño, en el

cuadro central llamado Chart se encuentra la interacción de los sensores con los motores. De esta manera se facilita la comunicación en SIMULINK. Asimismo consta de una señal USB encargada de recibir y enviar los datos para ser visualizados. En el Anexo c se muestran las ventanas de programación en cuanto a las entradas y salidas.

3.4.3 Diagrama de estado del programa.

Esta etapa es la parte principal de la programación, aquí se encuentra la interacción de las entradas y las salidas a manera de diagrama de estados.

En esta ventana se pueden modificar valores que influirán en los resultados y movimientos del robot. En los cuadros se ejecutan las acciones que realizará el robot, mientras que en las flechas se mencionan las condiciones provenientes de las entradas. De esta manera se ejecutarán las acciones en los lapsos definidos previamente.

3.5 Descripción física del diseño

Como se mencionó anteriormente, se utilizaron piezas propias del LEGO Mindstorm NXT.



Figura 3.3: Elementos del kit del LEGO Mindstorm

Para cumplir las diversas funciones, el robot esta diseñado por los siguientes elementos:

- 1 Sensor de tacto
- 1 Sensor de luz
- 1 Sensor de sonido
- 1 LEGO Brick
- motores
- llantas
- juegos de tenazas para demolición
- Demás piezas para la unión de sus debidas partes funcionales

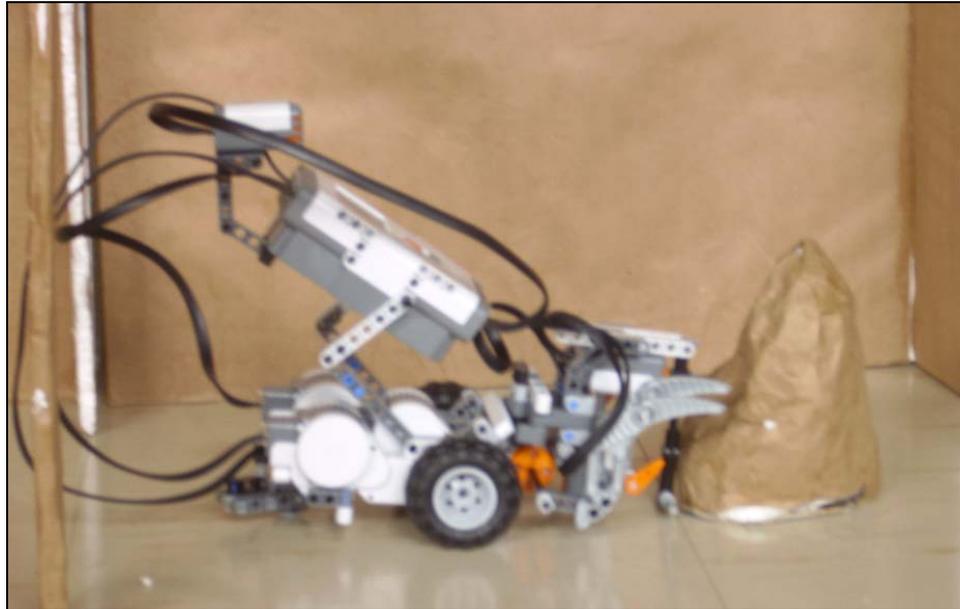


Figura 3.4: Imagen del Robot Minero

3.6 Implementación y secuencia del sistema.

A continuación, una secuencia del funcionamiento basada en las condiciones de los sensores respectivos para cada actividad:

- 1.- El robot inicia su recorrido al correr el programa.
- 2.- El robot sigue su trayectoria hasta que el sensor de tacto detecte un obstáculo o roca a ser demolida.
- 3.- El sensor de tacto decide la siguiente función:
 - a) Si el sensor detecta el obstáculo inicia la tarea de demolición.
 - b) Si no detecta nada, continúa su recorrido por el lugar.
- 4.- El sensor de luz detectara en su recorrido la existencia de oro.

- 5.- El sensor de luz analiza la cantidad de oro encontrado según la intensidad de color, guardando los datos en una matriz.
- 6.- Mientras continúan las actividades el usuario puede revisar los datos obtenidos.
- 7.- El robot continúa su proceso hasta recibir una orden de regreso.
- 8.- Se genera una señal externa de sonido a manera de alarma.
- 9.- El sensor de sonido capta la señal de sonido:
 - a) Si el sensor no detecta la alarma continua su recorrido
 - b) Si la detecta entonces gira para iniciar su regreso.

CAPÍTULO 4

4. SIMULACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1 Análisis de datos experimentales.

En este capítulo se hará una revisión de los datos generados en la programación del proyecto. Estos datos fueron generados por el pseudo código de MATLAB y almacenados posteriormente en una base de datos de EXCEL para poder realizar un análisis mediante una gráfica de los mismos.

Se generaron cuatro variables provenientes de la ejecución del robot y las diferentes pruebas realizadas. Los datos se almacenaron en cuatro columnas según la variable. Estos datos son los siguientes: Número de cada roca, Número de golpes del robot, Valor del color detectado y Valor binario asignado a la existencia del mineral Oro.

4.1.1 Número de cada roca

Como se había mencionado anteriormente, uno de los elementos del robot es el sensor de tacto NXT, éste se activa al chocar con la roca y

envía un dato que se incrementará a medida que percibe el siguiente obstáculo. Esta variable asigna un valor numérico ordenado a cada roca y será el valor a comparar en cada gráfica posterior.

4.1.2 Número de golpes del robot

Los datos de esta variable provienen del sensor de rotación incluido en el servomotor NXT. El movimiento del motor central a diferencia de los motores laterales no es rotacional sino que es cíclico al llegar a una cantidad de grados.

Cada vez que ocurra este movimiento, el sensor de rotación enviará valores que serán almacenados en una base de datos. Cabe indicar que estos datos se reinician cada vez que el robot se acerca a un siguiente objetivo.

4.1.3 Valor del color detectado

En esta columna se presentan valores numéricos provenientes del sensor de luz NXT. Este elemento detecta la luminosidad presente y asigna un valor numérico según el grado de luminosidad. Mientras mayor es el valor generado, mayor es la cantidad de luz. En este caso el robot busca los colores más oscuros, es decir de menor valor. Asimismo los datos son almacenados en una columna y cambian a medida que aparezcan más obstáculos por analizar.

4.1.4 Valor binario asignado a la existencia del mineral Oro

Se presentaran datos binarios, es decir de 1 y 0. Estos valores se basan en la tercera columna que nos indicaba el valor del color detectado proveniente del sensor de luz.

Para el robot es de mayor interés los menores valores pues simbolizan la presencia de oro.

Valor de color detectado < 300: 1

Valor de color detectado > 300: 0

4.2 Visualización de los datos obtenidos en MATLAB

Como se mencionó anteriormente los datos provienen del software MATLAB, según las variables analizadas. Se realizaron pruebas con el robot en los cuales se le presentaban obstáculos por detectar para poder recibir los datos posteriormente visualizados. En el anexo B se muestra la tabla de resultados del software de MATLAB.

El programa genera una matriz horizontal donde se visualizan los datos:

- La primera columna equivale al Número de cada roca.
- La segunda columna equivale al Número de golpes del robot
- La tercera columna muestra el Valor del color detectado.
- La cuarta columna muestra el Valor binario asignado a la existencia de Oro.

4.3 Presentación de datos en formato XLS.

Luego de ejecutar las pruebas, el software genera un archivo de datos a manera de una matriz. Estos datos están alineados en un formato similar al de EXCEL. Automáticamente los datos son llevados a un archivo XLS de Excel donde quedarán almacenados para su posterior gráfica.

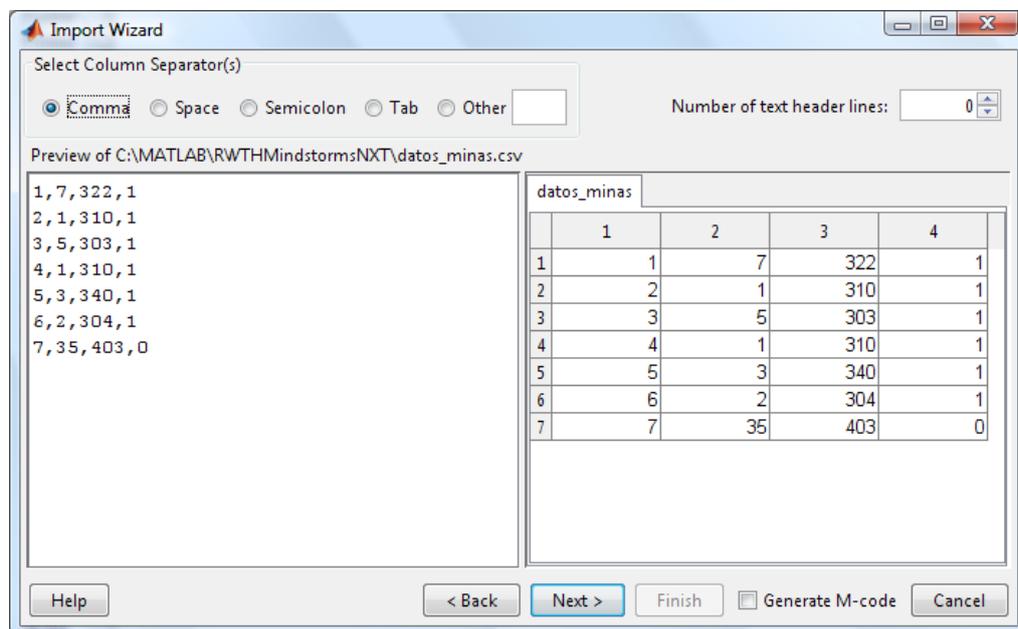


Figura 4.1: Presentación de datos en formato XLS

4.4 Análisis de resultados en formato de Excel.

Los datos fueron almacenados en un archivo XLS para su posterior trazado de la gráfica. A continuación se muestran las gráficas generadas a partir de los datos, de igual manera estos fueron almacenados en columnas de la siguiente manera.

El programa genera una matriz de cuatro columnas:

- La primera columna equivale al Número de cada roca.
- La segunda columna equivale al Número de golpes del robot.
- La tercera columna muestra el Valor del color detectado.
- La cuarta columna muestra el Valor binario asignado a la existencia de Oro.

Para la ilustración textual se realizaron tres pruebas donde se obtuvieron diferentes cantidades de datos en cada experimento.

4.4.1 Primera prueba experimental.

La tabla a continuación indica los valores obtenidos, como se logra apreciar se utilizaron 7 obstáculos:

	1	2	3	4
1	1	7	322	1
2	2	1	310	1
3	3	5	303	1
4	4	1	310	1
5	5	3	340	1
6	6	2	304	1
7	7	35	403	0

Tabla 4.1: Datos de la primera prueba

La gráfica a continuación se refiere al Número de Golpes en cada roca:

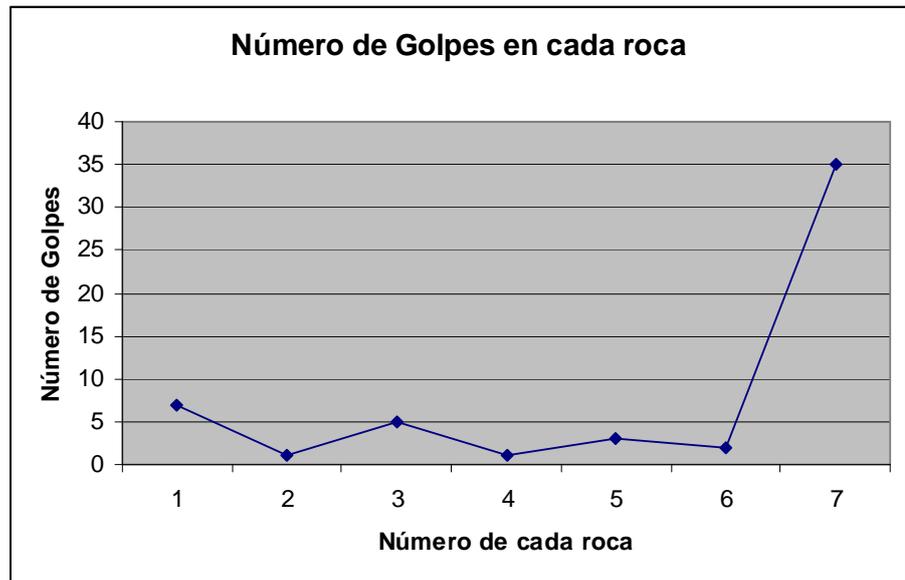


Figura 4.2: Gráfica del número de golpes de la primera prueba.

La siguiente gráfica indica el material encontrado basado en el color detectado.

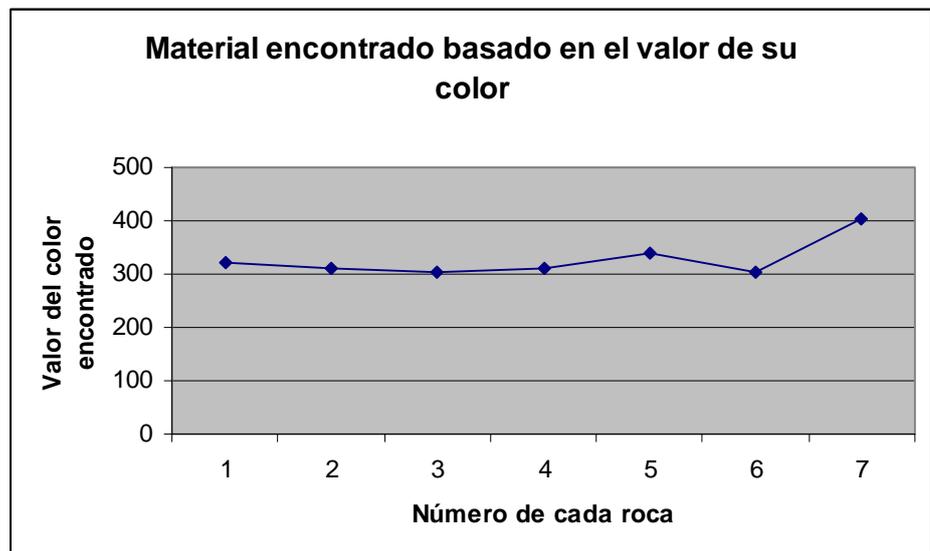


Figura 4.3: Gráfica del material basado en el color en la primera prueba.

La siguiente gráfica indica un valor binario según la existencia del Oro:

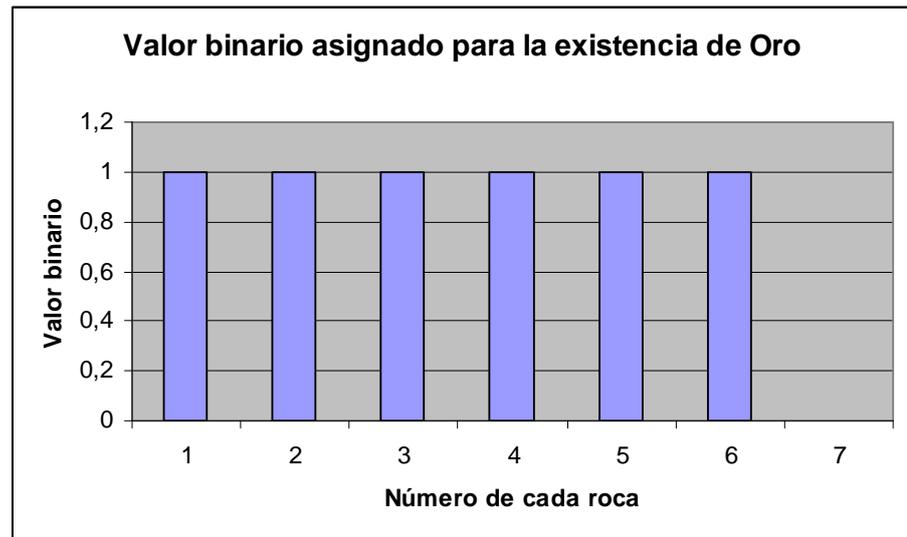


Figura 4.4: Gráfica del valor binario en la primera prueba

4.4.2 Segunda prueba experimental.

La tabla a continuación indica los valores obtenidos, como se logra apreciar se utilizaron 5 obstáculos:

	1	2	3	4
1	1	6	316	1
2	2	1	540	0
3	3	14	331	1
4	4	14	498	0
5	5	20	379	0

Tabla 4.2: Datos de la segunda prueba.

La gráfica a continuación se refiere al Número de Golpes en cada roca:

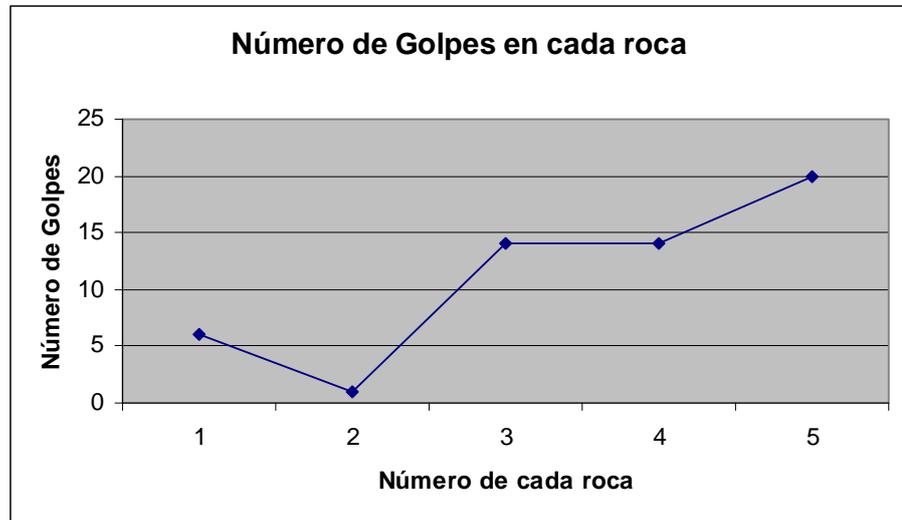


Figura 4.5: Gráfica del número de golpes de la segunda prueba

La siguiente gráfica indica el material encontrado basado en el color detectado.

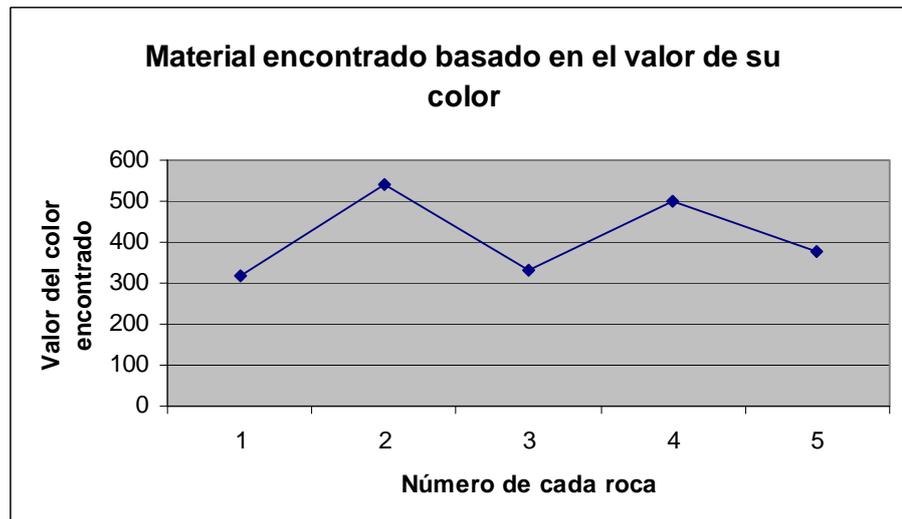


Figura 4.6: Gráfica del material basado en el color en la primera prueba

La siguiente gráfica indica un valor binario según la existencia del Oro:



Figura 4.7: Gráfica del valor binario en la primera prueba.

4.4.3 Tercera prueba experimental.

La tabla a continuación indica los valores obtenidos, como se logra apreciar se utilizaron 20 obstáculos.

	1	2	3	4
1	1	2	304	1
2	2	1	334	1
3	3	6	394	0
4	4	6	465	0
5	5	9	404	0
6	6	5	332	1
7	7	5	301	1
8	8	5	428	0
9	9	6	307	1
10	10	26	350	0
11	11	22	435	0
12	12	7	397	0
13	13	5	309	1
14	14	2	309	1
15	15	2	303	1
16	16	2	338	1
17	17	66	303	1
18	18	1	307	1
19	19	1	309	1
20	20	6	309	1

Tabla 4.3: Datos de la tercera prueba

La gráfica a continuación se refiere al Número de Golpes en cada roca:

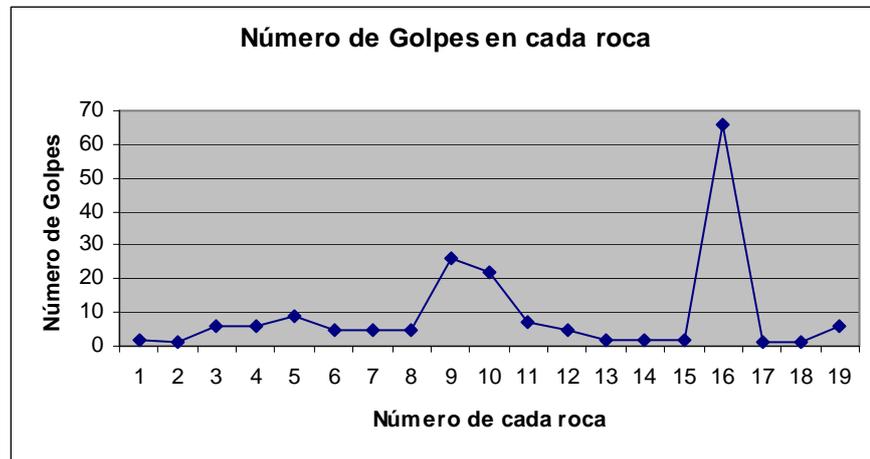


Figura 4.8: Gráfica del número de golpes de la tercera prueba

La siguiente gráfica indica el material encontrado basado en el color detectado:

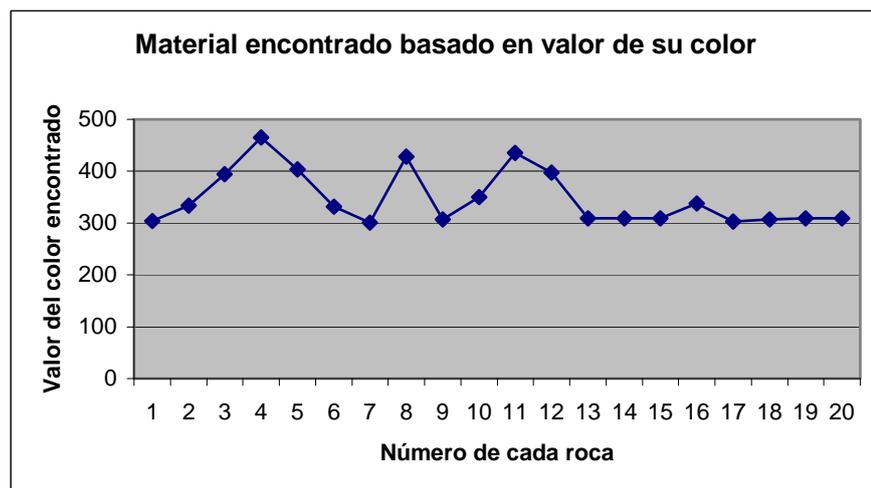


Figura 4.9: Gráfica del material basado en el color en la tercera prueba.

La siguiente gráfica indica un valor binario según la existencia del Oro:



Figura 4.10: Gráfica del valor binario en la tercera prueba.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.** El diseño realizado cumple con el funcionamiento que tiene como objetivo principal de trabajar en una mina, con ciertas restricciones y la de determinar la cantidad de oro encontrado que se muestra en porcentajes en una hoja de Excel, puesto que es de fácil acceso al manejo y manipulación del diseño para que se puedan realizar varios tipos de pruebas y ver que minas se encuentran en mejor estado para su excavación.
- 2.** La forma de control en Matlab para la implementación del programa brinda mejores características y facilidades para su diseño y así tener un mejor funcionamiento del equipo, debido a que Matlab es un sistema abierto que cuenta con un grupo de librerías y comandos que nos permite manipular elementos como sensores, servomotores y así de esta manera se permite la obtención de datos en Excel para su respectivo análisis.

- 3.** El control implementado con Simulink dificultó un poco en el diseño del sistema, ya que es un sistema cerrado, aunque posee bloques de estados y su programación se la realiza mediante diagrama de bloques, aun impide realizar algunos procesos, como en la recolección de datos en este caso y así obtener un muestreo de oro encontrado en la mina. En el caso de control de servomotores y sensores se lo realiza de forma gráfica como un diagrama de estado.
- 4.** La utilización de LEGO MINDSTORM fue de mucha ayuda para entender el funcionamiento de los motores y sensores, ya que tiene como característica su forma de programación de manera gráfica en forma de diagrama de bloques y además es una manera de conocer varias herramientas como librerías y funciones que puede tener al acoplarse con otros sistemas como Matlab y Simulink, dando así su uso en el área de automatización y de microcontroladores.
- 5.** Las gráficas obtenidas en Excel fueron realizadas a partir de ese programa. Se puede apreciar una diferencia en la cantidad de valores obtenidos en cada campo mencionado. Con respecto a las gráficas de “Valor de color detectado” y la del “Valor binario asignado” se puede notar que la segunda gráfica es inversamente proporcional a la primera, lo cual se debe a que el robot detecta oro con el color negro que posee valores bajos asignados por el sensor de luz.
- 6.** Los datos almacenados en la hoja de Excel como porcentaje de oro encontrado y la cantidad de golpes realizados por las tenazas del robot en cada expedición

dentro de una mina, se las realiza Online mediante la ayuda del uso de Bluetooth, esta facilidad brinda para que el usuario tenga una visión de lo que encuentra el robot y a la vez tome una decisión de parar el trabajo si el lo amerita necesario.

RECOMENDACIONES

1. Según la experiencia obtenida en la elaboración del proyecto, y para tener mejores resultados en la industria en la búsqueda de minerales y en cuanto a reducir accidentes del personal como contaminación del medio ambiente. Sería factible poder enlazar varios robots con diferentes funciones y ser controlados por una misma comunicación vía Bluetooth.
2. Sería recomendable mejor desarrollar el funcionamiento del programa mediante Matlab, ya que este nos proporcionaría mayor aplicación de funciones y de mayor amplitud de librerías para realizar menos pasos para el proceso pero con el mismo objetivo, de esta manera ayudaría al mejor desenvolvimiento del robot para la ejecución de la programación.
3. Para trabajar en áreas de mayor distancia donde el recorrido tenga mas obstáculos y no facilite su traslado debido al uso de cable USB, es recomendable la utilización de Bluetooth que daría un alcance máximo de 10 metros, donde no tendría problema de recolección de datos y en el lugar que lo amerite, como se lo realizó en este proyecto.

4. Para una mayor aplicación del diseño para su funcionamiento como obtención de datos, movimientos y mayor precisión es recomendable la utilización de más sensores, como son los sensores de luz, servomotores, piezas legos como en el caso que se encuentre con más obstáculos y esto interfiera la toma de información de manera apropiada.
5. Para aplicaciones industriales, se deberá construir un modelo de robot más grande similar a un tractor. Las tenazas deberán ser de hierro para poder perforar. Sería recomendable una buena iluminación en el lugar para que la máquina pueda detectar rápidamente los minerales por buscar. En cuanto a la programación se utilizará el mismo formato con otro tipo de aplicación.

ANEXOS

ANEXO A

SEUDOCÓDIGO EN MATLAB

```
%% RWTH - Mindstorms NXT Toolbox functions test
% This little script calls and times some basic toolbox
functions.
% The main purpose (next to benchmarking specific motor
functions) is a
% basic test if some of the functions are correctly
implemented

function dato = robot_minero(enable)
%while 1
%if (enable==1)

%% Set up MATLAB
clear
close all
format compact

%% Clear handles, obtain one
COM_CloseNXT all

h = COM_OpenNXTEX('Any', '', 'bluetooth.ini', 'check');
COM_SetDefaultNXT(h);

%% Reset all motors
StopMotor all off

%% Start some tests
OpenSwitch(SENSOR_2);
OpenLight(SENSOR_4, 'ACTIVE');
OpenSound(SENSOR_1, 'DBA');

NXT_PlayTone(440, 100);
pause(1);
sound=0;
```

```

tmp=1;
i=1;
golpe=0;
tipo=0;

while (sound<500)
light = GetLight(SENSOR_4);
switchState = GetSwitch(SENSOR_2);
sound = GetSound(SENSOR_1);
color = light;
if (switchState==0 && light>300)
    if (tmp==0)
        %color = light;
        if (color<350)
            tipo=1;
        else tipo=0; end;
        dato(i,:)=[i,golpe,color,tipo]
        golpe=0;
        i=i+1
        color = 0;
    end
    tmp=1;

    StopMotor(MOTOR_C, 'brake');
    SetMotor(MOTOR_A);
        SetPower(80);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;

    SetMotor(MOTOR_B);
        SetPower(80);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;
else
    StopMotor(MOTOR_A, 'brake');
    StopMotor(MOTOR_B, 'brake');

    %if(light<=300 || switchkState==1)
    MotorRotateAbs(MOTOR_C, 180, 80);
    WaitForMotor(MOTOR_C);
    golpe=golpe+1;

    if (tmp==1)

```

```

        %mina=mina+1;
        tmp=0;
    end

    %end
end;
end;

pause(1);
NXT_PlayTone(1200, 200);

StopMotor(MOTOR_A, 'brake');
StopMotor(MOTOR_B, 'brake');

pause(1);

    StopMotor(MOTOR_C, 'brake');
    SetMotor(MOTOR_A);
        SetPower(-37);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;

    SetMotor(MOTOR_B);
        SetPower(37);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;
pause(1);

    StopMotor(MOTOR_C, 'brake');
    SetMotor(MOTOR_A);
        SetPower(100);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;

    SetMotor(MOTOR_B);
        SetPower(100);
        SpeedRegulation('on');
    SendMotorSettings;

pause(5);

xlswrite('datos_minas.xls',dato,'minas');
StopMotor(MOTOR_A, 'off');
StopMotor(MOTOR_B, 'off');

```

```
StopMotor(MOTOR_C, 'off');  
CloseSensor(SENSOR_1);  
CloseSensor(SENSOR_2);  
CloseSensor(SENSOR_4);  
%% Done  
COM_CloseNXT(h);  
close all;  
%end;
```

ANEXO B

DATOS OBTENIDOS EN FORMATO MATLAB

```
>>> In COM_OpenNXTEEx>StartMotorControl at 1037  
In COM_OpenNXTEEx at 287  
In robot_minero at 20
```

```
dato =  
    1    7   322    1
```

```
i = 2
```

```
dato =  
    1    7   322    1  
    2    1   310    1
```

```
i =
```

```
    3
```

```
dato =  
    1    7   322    1  
    2    1   310    1  
    3    5   303    1
```

```
i =
```

```
    4
```

```
dato =  
    1    7   322    1  
    2    1   310    1  
    3    5   303    1  
    4    1   310    1
```

```
i =
```

```
    5
```

```
dato =  
    1    7   322    1  
    2    1   310    1  
    3    5   303    1  
    4    1   310    1  
    5    3   340    1
```

```
i =
```

```
    6
```

```
dato =  
    1    7   322    1
```

2	1	310	1
3	5	303	1
4	1	310	1
5	3	340	1
6	2	304	1

i =

7

dato =

1	7	322	1
2	1	310	1
3	5	303	1
4	1	310	1
5	3	340	1
6	2	304	1
7	35	403	0

ANEXO C

PROGRAMACIÓN GRÁFICA EN SIMULINK

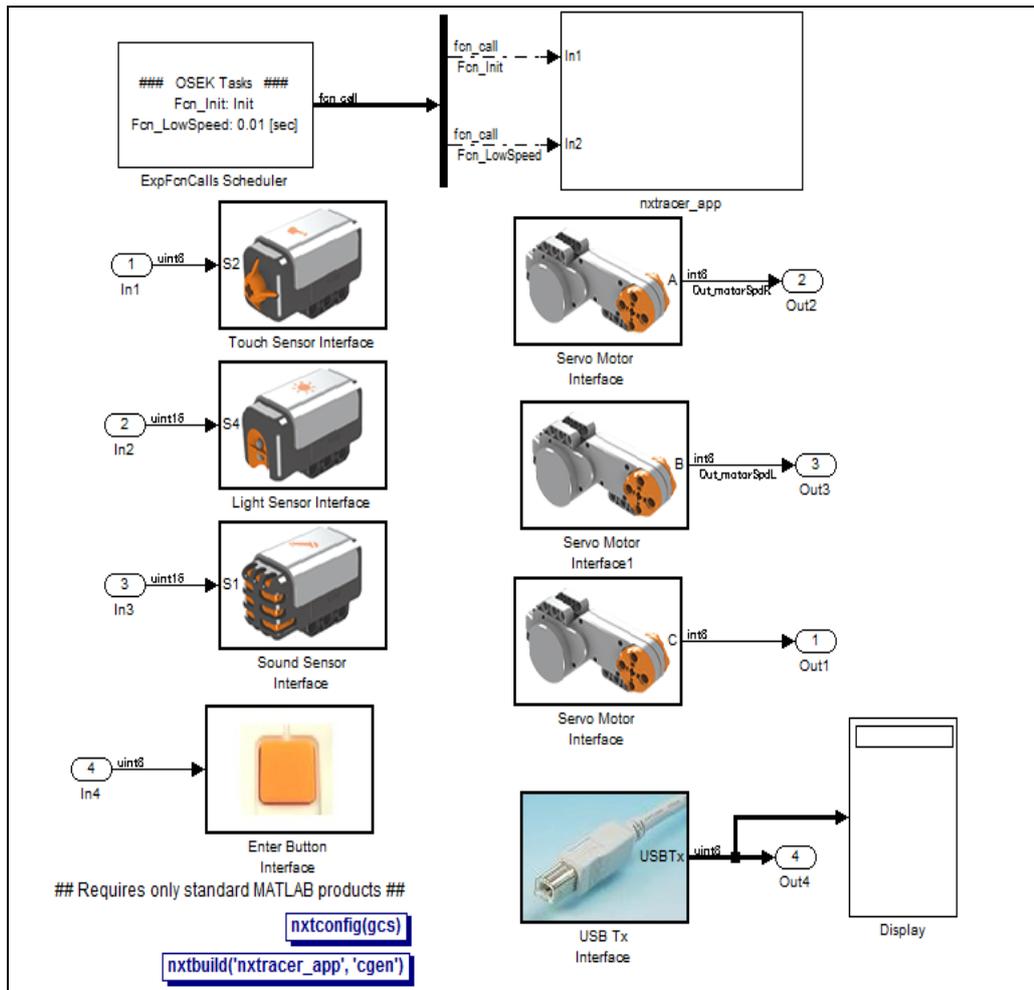


Figura C.1: Diagrama de bloques de la programación en SIMULINK

En esta ventana se muestran las variables por controlar, es una ventana de comunicación con el mundo externo y consta de un lado con los sensores como entrada y los servomotores como salida.

Esta presentación da inicio a una serie de interfaces hasta llegar al punto central de la programación que es el diagrama de estados donde se modifican las ordenes que el robot deba seguir.

Para modificar datos propios del sistema se utiliza esta la ventana de parámetros con la cual se pueden alterar descripciones programables de los elementos

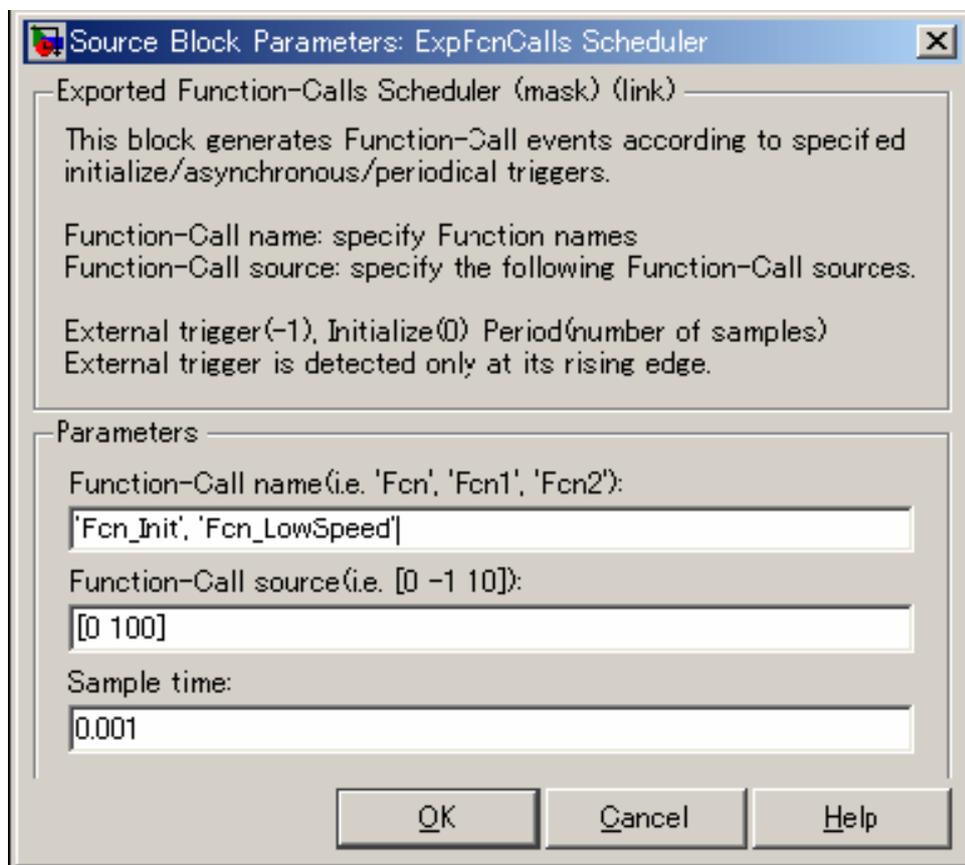


Figura C.2: Bloque de parámetros del SIMULINK

Con esta ventana se modifican datos de velocidad propios de los servomotores, para el caso de la programación se modificaron los datos del motor central del puerto C para dar el efecto de avance y retorno.

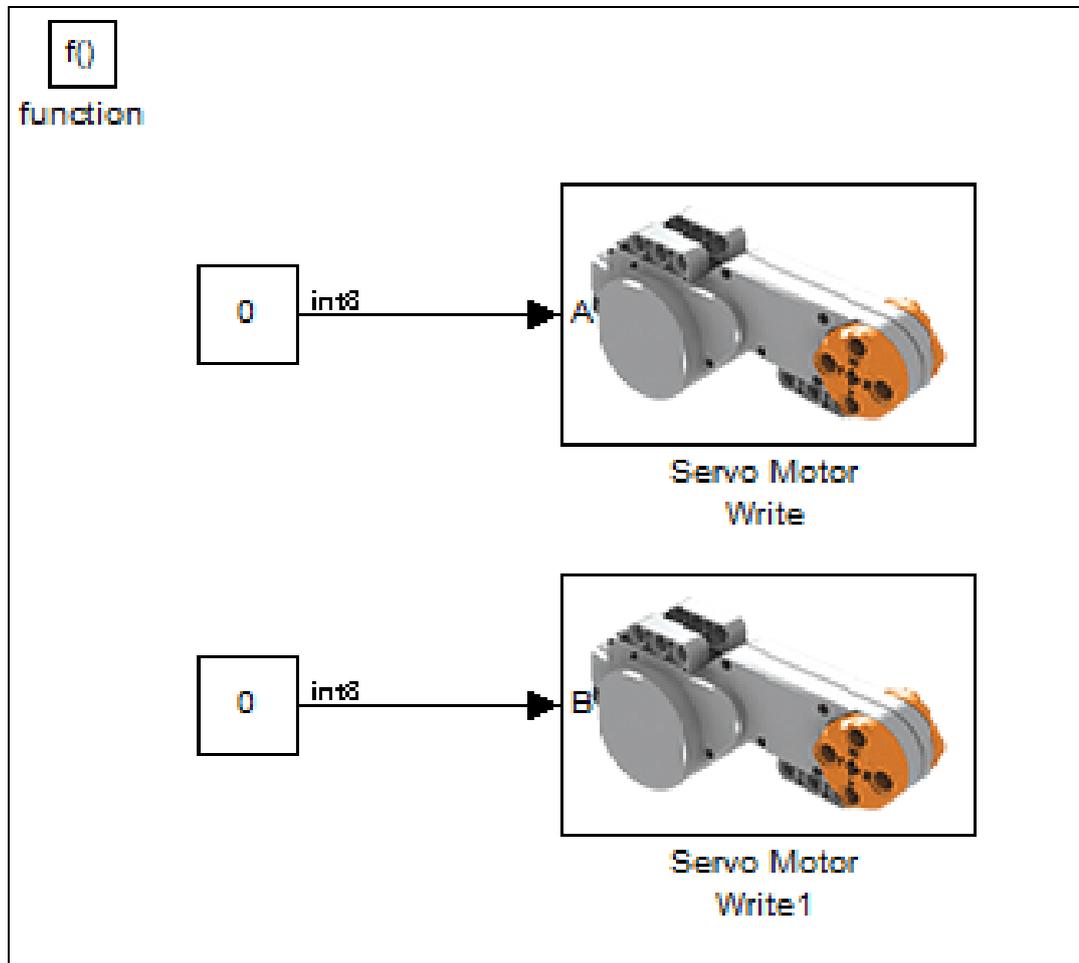


Figura C.3: Interfaz de Servomotores del SIMULINK

La siguiente ventana que se utiliza en la programación es el bloque de entradas y salidas. A diferencia de la primera ventana, aquí se muestran las interfaces de lectura, es decir que los bloques de los sensores contienen datos ya obtenidos del mundo exterior.

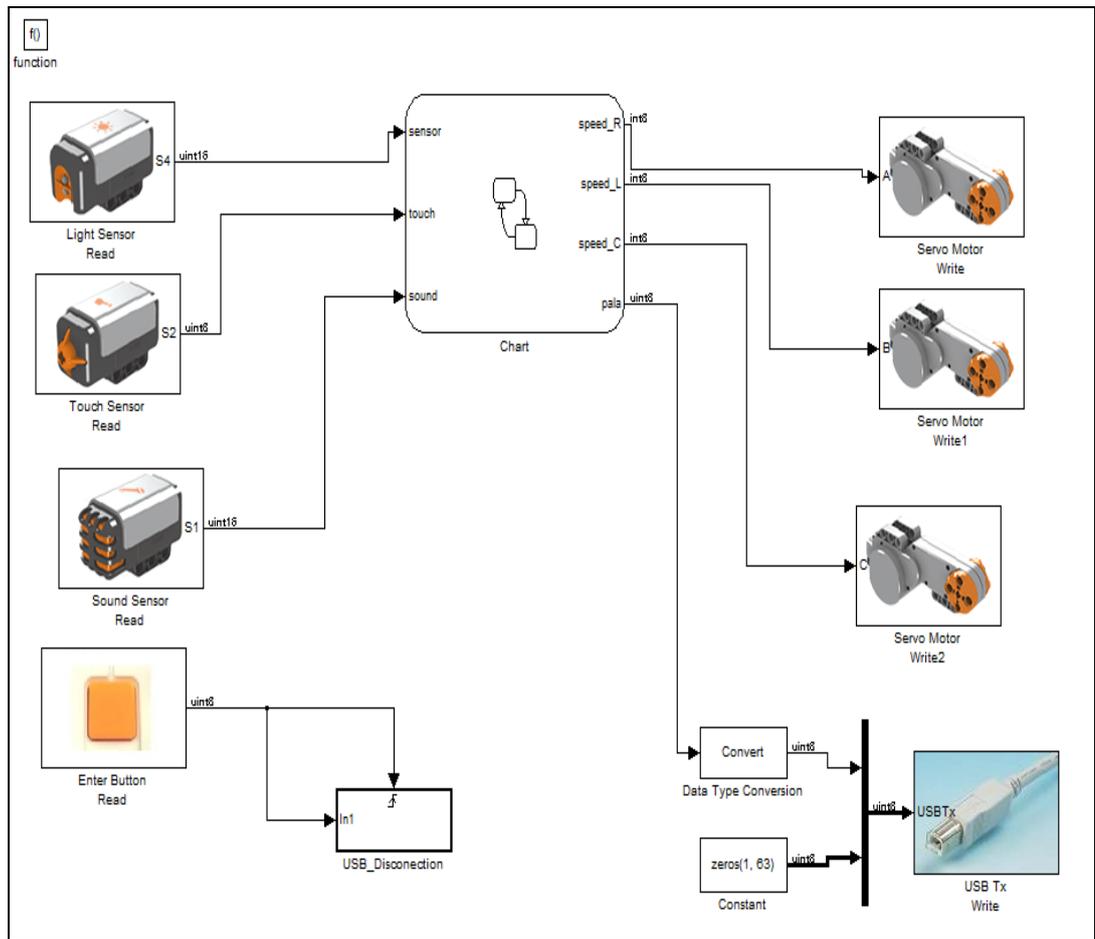


Figura C.4: Entradas y Salidas del sistema

Luego de esta ventana tenemos el diagrama de estados con el cual se hizo la programación del sistema. En esta ventana se realiza la programación mediante condiciones y ejecuciones, asimismo se reúnen los datos por visualizar.

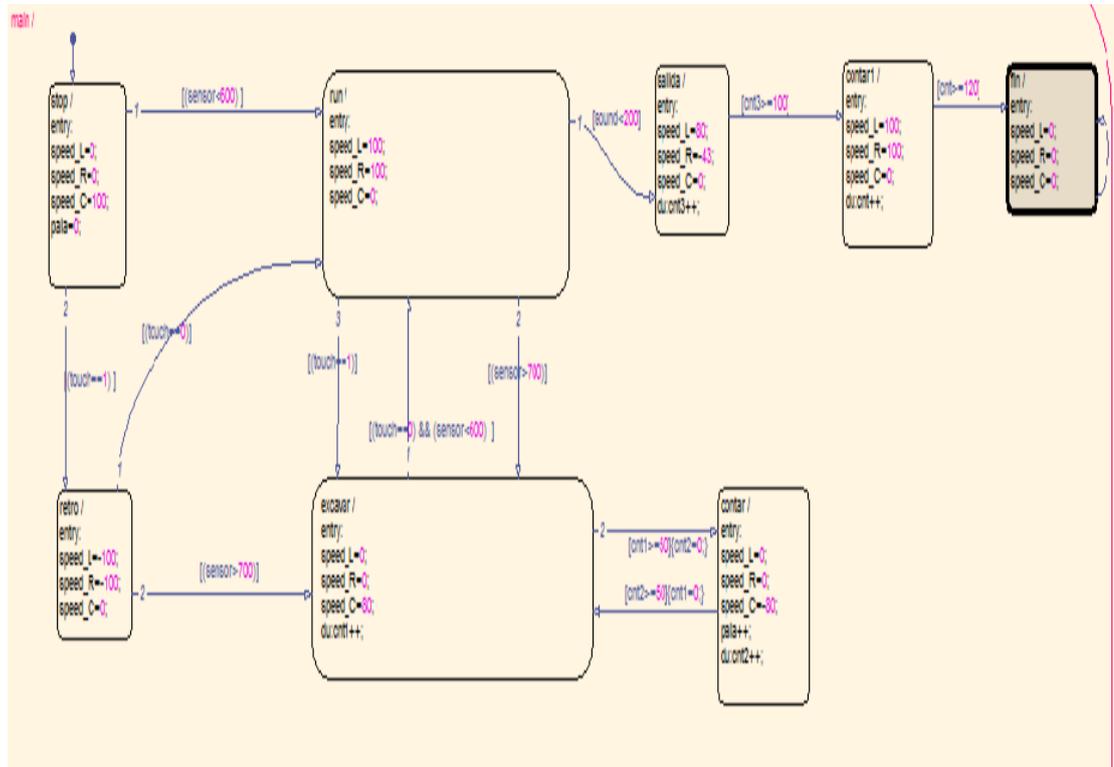


Figura C.5: Diagrama de estados de la programación

BIBLIOGRAFÍA

[1] La Minería, página PDF

http://www.mapaeducativo.edu.ar/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=1

[2] Robots – Wikipedia la enciclopedia libre, página HTML

<http://es.wikipedia.org/wiki/robot>

[3] Comunicaciones vía Bluetooth, página PDF

http://www.caroligualada.es/Documentos/OMRON/GR_Bluetooth.pdf

[4] Bluetooth – Wikipedia la enciclopedia libre, página HTML

<http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

[5] Definición de Servomotor, página HTML

<http://es.thefreedictionary.com/servomotores>

[6] El Servomotor, página HTML

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>

[7] Definición de Servomotor, página HTML

<http://es.thefreedictionary.com/servomotores>

[8] Luz – Wikipedia la enciclopedia libre, página HTML

<http://es.wikipedia.org/wiki/luz>

[9] Sonido – Wikipedia la enciclopedia libre, página HTML

<http://es.wikipedia.org/wiki/sonido>

[10] Programación para LEGO Mindstorm NXT, página PDF

http://www.julio.sandria.org/archivos/robotica/sandria2009-cpr_nxt_j-05.pdf

[11] Servomotor interactivo NXT, página HTML

http://www.electricbricks.com/product_info.php?products_id=252

[12] Brick NXT – Lego Mindstorm Overview, página HTML

http://mindstorms.lego.com/eng/overview/the_nxt.aspx

[13] Light Sensor – Lego Mindstorm Overview, página HTML

http://mindstorms.lego.com/eng/overview/light_sensor.aspx

[14] Sound Sensor – Lego Mindstorm Overview, página HTML

http://mindstorms.lego.com/eng/overview/sound_sensor.aspx

[15] Touch Sensor – Lego Mindstorm Overview, página HTML

http://mindstorms.lego.com/eng/overview/touch_sensor.aspx

[16] RWTH – Mindstorm NXT Toolbox Functions, página HTML

<http://www.mathworks.se/matlab/files/RWTHMindstormNXT/function>