

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MULTIPROPÓSITO,  
A.G.V.F.  
(Automatic Guided Vehicle Forklift)

IVAN DAVID ALFONSO DÍAZ  
LEONARDO ANDRÉS CHAPARRO AMAYA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIRA  
SOGAMOSO  
2014

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MULTIPROPÓSITO,  
A.G.V.F.  
(Automatic Guided Vehicle Forklift)

IVAN DAVID ALFONSO DÍAZ  
LEONARDO ANDRÉS CHAPARRO AMAYA

Trabajo de Grado en Modalidad  
PARTICIPACIÓN ACTIVA EN EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIRA  
RECONOCIDO POR LA DIN

Ing. Nelson Barrera Lombana  
Director de Proyecto

Ing. Wilson Javier Pérez  
Director Grupo GIRA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIRA  
SOGAMOSO  
2014

Nota de aceptación

---

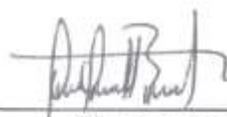
---

---

---

---

---



Firma Director de Escuela



Firma Director del Proyecto



Firma del jurado



Firma del jurado

Sogamoso 31 de julio de 2014

*Ivan David Alfonso Díaz*

A mis padres, Jesús y Marlen quienes me acompañaron y brindaron todo su apoyo.

*Leonardo Andrés Chaparro Amaya*

A toda mi familia en especial mis padres Rafael y Clemencia quienes me ayudaron de una u otra forma en todo este tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar sincero agradecimiento a Dios por permitirme concluir este gran logro, a mis padres quienes me inculcaron la ética y los valores que rigen mi vida, a mi familia y amigos que estuvieron acompañándome en mi desarrollo.

*Ivan David Alfonso Díaz*

Agradecimiento a mi familia y amigos que estuvieron acompañándome durante mi formación, a mis compañeros y profesores de estudio en la universidad, también a Andrea Alfonso quien me soporto en los últimos 4 años de estudio y aún está a mi lado.

*Leonardo Andrés Chaparro Amaya*

Los autores de este libro presentan sus agradecimientos a cada una de las personas que de una u otra forma han permitido la terminación de este proyecto.

Al director de tesis ingeniero Nelson Barrera por su colaboración, entusiasmo y optimismo en todo momento.

Al director del grupo GIRA Ingeniero Wilson Pérez por su colaboración mostrándonos la facilidad de las proyectos y la contribución económica por medio del grupo GIRA.

Al ingeniero Camilo Sanabria por sus colaboración en las consultas sobre programación y robótica.

Al compañero Juan David Guerrero por sus madrugadas y explicaciones.

Al compañero Edwin González por su colaboración en conocimientos del módulo de comunicación.

Al compañero John Silva por sus donaciones y colaboración en partes del proyecto.

Al señor Alirio Pérez por su colaboración y paciencia en la construcción metálica del robot.

A la empresa Acrílicos Sogamoso por su colaboración y compromiso en la construcción plástica del robot

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES	3
1.2.1. A.G.V. (Vehículo Guiado Automáticamente)	3
1.2.2. Montacargas	4
1.2.3. Robots Didácticos	5
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. Objetivo General	7
1.3.2. Objetivos Específicos	7
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	8
3. CONSTRUCCIÓN Y PARTES DEL PROTOTIPO	10
3.1. CHASIS o A.G.V.	11
3.2. MANIPULADOR O MONTACARGAS	13
3.3. SENSORES	14
3.3.1. Sensores del chasis o A.G.V.	15
3.3.2. Sensores del manipulador	15
3.4. ACTUADORES	18
3.4.1. Actuadores del A.G.V.	18
3.4.2. Actuadores del manipulador	19
3.5. COMUNICACIÓN	21
3.6. DESCRIPCIÓN DEL MODULO DE CONTROL	22
4. DISEÑO DE HARDWARE	23
4.1. MODULO DE POTENCIA	23
4.1.1. Requisitos	23
4.1.2. Diseño electrónico y selección de componentes	23
4.2. MODULO DE ACONDICIONAMIENTO	25
4.2.1. Requisitos del módulo de acondicionamiento	25
4.2.2. Diseño electrónico y selección de componentes	25
4.3. MODULO DE ACOUPLE	27
4.3.1. Diseño	27
4.4. MONTAJE Y CONEXIONES	28
4.4.1. Montaje de módulos	28
4.4.2. Conexiones (transporte de datos y alimentación de sensores y actuadores)	29
5. CONTROLADORES	31
5.1. CONTROLADOR PARA VELOCIDAD DEL ROBOT (SEGUIMIENTO DE LÍNEA)	31
5.2. CONTROLADOR PARA POSICIÓN VERTICAL DE LAS	34

	HORQUILLAS		
5.3.	CONTROLADOR PARA EL MODULO RFID		37
5.4.	CONTROLADOR DE COMUNICACIÓN MICROCONTROLADOR	DEL	38
6.	DISEÑO DE SOFTWARE DEL A.G.V.F.		40
6.1.	DISEÑO DE FUNCIONES		40
6.1.1.	Función XBEE		40
6.1.2.	Función Seguimiento de línea		40
6.1.3.	Función Girar Mástil		42
6.1.4.	Función Horquillas		42
6.1.5.	Función Reiniciar horquillas vertical		43
6.1.6.	Función Horquillas Vertical		44
6.1.7.	Función Caja errónea		45
6.1.8.	Función Leer etiqueta RFID		46
6.2.	DIAGRAMAS DE FLUJO		49
7.	SOFTWARE E INTERFAZ DEL USUARIO		54
7.1.	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC .NET		54
7.2.	DISEÑO APLICACIÓN O SOFTWARE DEL USUARIO		54
8.	APLICACIÓN DIDÁCTICA		61
9.	FINALIZACIÓN TRABAJO DE GRADO		65
9.1.	CONCLUSIONES		65
9.2.	LOGROS ALCANZADOS		66
9.3.	TRABAJOS FUTUROS		66
9.4.	RECOMENDACIONES		67
9.5.	COSTOS DEL PROYECTO		67
	REFERENCIAS		
	ANEXOS		
	APÉNDICES		

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Pág.
4.1	Conexiones de los sensores y actuadores a los puertos del microcontrolador.	30
5.1	Conjuntos difusos de entrada según el estado de los sensores.	32
5.2	Conjuntos Difusos de entrada según el valor del Error.	35
6.1	Parámetros de entrada y salida de las funciones diseñadas y programadas	48
9.1	Costos del proyecto	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.1	Uno de los primeros AGV de BAMA	3
1.2	El primer tractor montacargas	5
2.1	Componentes del sistema, robot y módulo de comunicación	8
2.2	Componentes del sistema, pista y estante con cubos	8
2.3	Mapa conceptual de funcionamiento del sistema	9
3.1	Robot <i>A.G.V.F 3D Y fotografía.</i>	10
3.2	Modelo de movimientos del Chasis o <i>A.G.V.</i>	11
3.3	Chasis o <i>A.G.V.</i>	12
3.4	Ejemplos manipuladores para el <i>A.G.V.</i>	12
3.5	Manipulador	13
3.6	Modelo Robot cilíndrico	14
3.7	QRD1114 en board	15
3.8	Fin de curso en el mástil	16
3.9	Pulsador de las horquillas	16
3.10	Encoder de cuadratura	17
3.11	Módulo RFID y etiqueta electrónica	17
3.12	Esquema de control de los servomotores	18
3.13	Servomotor HSR-1425CR y rueda del AGV	19
3.14	Servomotor HS-311	19
3.15	Micromotor	20
3.16	Motor 12V faulhaber	20
3.17	Módulo Xbee	21
3.18	Xbee Explorer USB	21
3.19	Módulo de control	22
4.1	Regulador nacional, regulador Murata y batería	24
4.2	Diseño 3D y distribución Módulo de potencia	24
4.3	Diagrama módulo de potencia	25
4.4	Módulo de acondicionamiento 3D	26
4.5	Diagrama del módulo de acondicionamiento	27
4.6	Módulo de acople en 3D	27
4.7	Diagrama de los módulos	28
4.8	Módulos 3D y fotografía interna del robot	28
4.9	Conectores para la tarjeta de acondicionamiento	29
4.10	Punto de conexiones al módulo de control	29
5.1	Diagrama de bloques seguidor de línea	31
5.2	Distribución de los sensores QRD1114 en la trayectoria	32
5.3	Conjuntos difusos de entrada controlador Seguimiento de línea	33
5.4	Conjuntos difusos de salida Vel_Motor1 controlador Seguimiento	33

	de línea	
5.5	Salida vs Entrada controlador difuso Seguimiento de línea	34
5.6	Diagrama de Bloques	35
5.7	Conjuntos difusos de entrada controlador de posición vertical Horquillas	36
5.8	Conjuntos difusos de salida controlador de posición vertical Horquillas	36
5.9	Comportamiento salida controlador de posición vertical Horquillas	37
5.10	Diagrama de bloques controlador ON/OFF para módulo RFID.	38
5.11	Diagrama de bloques controlador ON/OFF para comunicación	39
6.1	Diagrama de flujo de la función XBEE	41
6.2	Diagrama de flujo de la función Seguimiento de línea	41
6.3	Diagrama de flujo de la función Girar Mástil	42
6.4	Diagrama de flujo de la función Horquillas	43
6.5	Diagrama de flujo de la función Reiniciar horquillas vertical	44
6.6	Diagrama de flujo de la función Horquillas vertical	45
6.7	Diagrama de flujo de la función Caja errónea	46
6.8	Diagrama de flujo de la función Leer etiqueta RFID	47
6.9	Diagrama de flujo robot montacargas	49
6.10	Diagrama de flujo de la subrutina <i>Proceso Montacargas</i>	50
6.11	Diagrama de flujo de la subrutina <i>Modo Alumno</i>	51
6.12	Diagrama de flujo de la subrutina <i>Reiniciar mecánica del Robot</i>	52
6.13	Diagramas de flujo de la subrutinas Situar caja en el estante y Extraer caja del estante	53
7.1	Formulario de presentación.	55
7.2	Formulario Conexión XBEE	55
7.3	Formulario Principal	56
7.4	Formulario VOCALES	57
7.5	Formulario NÚMEROS	58
7.6	Formulario COLORES	58
7.7	Diagrama de flujo correspondiente al programa botón INICIAR	59
8.1	Fotografías explicando a la docente y alumnos	60
8.2	Alumno revisando los cubos	61
8.3	Alumno interactuando con el robot	61
8.4	Profesora y alumna participando.	62

## 1. INTRODUCCIÓN

El A.G.V. de sus siglas en inglés *automatic guided vehicle* y traducidas al español vehículo guiado automáticamente, son robots capacitados para poder movilizarse autónomamente en entornos determinados, realizando tareas como transporte, manipulación y recolección de objetos. La sigla F seguida de A.G.V hace referencia a *forklift* traducida al español montacargas.

Un A.G.V.<sup>1</sup> consiste en una plataforma con ruedas, un microprocesador incorporado y una fuente de alimentación propia, que es capaz de moverse por sí misma por rutas predeterminadas y tener capacidad de programación, selección de paradas, bloqueos, y otras características que requiere el control del sistema.

Por otra parte, en 1851 Waterman inventó el primer prototipo de montacargas, consistía en una simple plataforma unida a un cable, para subir y bajar mercancías y personas<sup>2</sup>. El montacargas hizo su primera aparición en el comienzo del siglo 20, cuando Estados Unidos estaba en la revolución industrial.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo de grado está enfocado a aportar al grupo de investigación GIRA de la UPTC en el diseño, construcción y programación de un robot multipropósito A.G.V. con las características de un montacargas. El robot ha sido diseñado para moverse en ambientes controlados, su principal función es recoger y descargar objetos que estén sobre una estiba o pallet, identificados por medio de tecnología de radio frecuencia. El robot recibirá las órdenes desde un computador por medio inalámbrico, la aplicación durante este trabajo será de robot didáctico como herramienta para la enseñanza de números, letras y colores.

Para controlar las tareas y procesos del robot se diseñó el software o interfaz del usuario que permite establecer comunicación inalámbrica con el prototipo por medio de un módulo inalámbrico llamado Xbee<sup>3</sup>. El propósito general que se desea cumplir con la plataforma robótica es contribuir en la solución a problemas de aprendizaje que presentan los niños en los grados de preescolar, primero y segundo de primaria.

---

<sup>1</sup> FERRUZ, Joaquín. Los AGV, Dpto. ing. Sistemas y Automática, ESI Sevilla. 2010

<sup>2</sup> History of Forklift, tomado de <http://forfliftrtruckinfo.com>, revisado Agosto 31 de 2012

<sup>3</sup> Página 23 Capítulo 3.5

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante muchos años, la adecuada implementación y uso de herramientas siempre ha puesto en marcha grandes cambios dentro de las sociedades humanas, así como el desarrollo tecnológico en diferentes áreas. La humanidad traza una secuencia de eventos en evolución, donde las herramientas desempeñan un papel interactivo fundamental que conducen a ciclos de mejoramiento humano y desarrollo de tecnologías. Al respecto, Craig Brod dice, “Los seres humanos no solo evolucionaron junto con sus herramientas, sino que también evolucionaron debido a éstas.”<sup>4</sup>.

La creciente demanda de recursos de apoyo para la comunidad educativa, genera diferentes desafíos en la mejora de ambientes de aprendizaje y la ejecución de actividades didácticas. El diseño de recursos de apoyo orientados a facilitar el aprendizaje de conceptos y el desarrollo de habilidades, son un área de investigación en la educación en ingeniería, de gran interés en la actualidad. La robótica educativa, según Martial (Vivet y Nonnon, 1989), se define como “la actividad de concepción, creación y puesta en funcionamiento, con fines didácticos, de objetos tecnológicos, que son reproducciones reducidas muy fieles y significativas de los procesos y herramientas robóticas que son usadas cotidianamente, y que cada vez son más comunes en nuestro entorno social, productivo y cultural”<sup>5</sup>, debido a lo anterior el desarrollo de prototipos robóticos móviles que permitan la interacción de la tecnología con la comunidad educativa de grados preescolar y básica primaria contribuirían a estimular una buena memoria colectiva, desarrollar mecanismos de atención selectiva para el mejoramiento del estudiante en la aprehensión de conocimientos mediante procesos con uso de instrumentos tecnológicos que abastecen habilidades para la comprensión de conceptos a primera vista.

El grupo de investigación GIRA de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, lleva un proyecto macro de robótica educativa<sup>6</sup>, en el cual se propone un robot que pueda transportar y reconocer letras, números, colores y formas para ser ordenados, con el fin de minimizar conflictos particulares en el aprendizaje (atención, concentración y memoria), es decir, se busca que la comunidad educativa en grados preescolar y primero de básica primaria disponga de un material con facilidad de uso que reduzca temores en los educandos. Por esta razón se ha propuesto realizar el prototipo que posee las características de un vehículo guiado automáticamente y la herramienta de un montacargas; por esta razón sus siglas en inglés son A.G.V.F. que traducido al español corresponde a vehículo montacargas guiado automáticamente.

---

<sup>4</sup> BROD Craig. Tecnoestres: The Human Cost of the Computer Revolution, 1984

<sup>5</sup> VIVET, M. et Nonnon. Actes du Premier Congres Francophone de Robotique Pédagogique, 1989

<sup>6</sup> PINTO, Maria. BARRERA Nelson, PEREZ Wilson, Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza, 2010

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. A.G.V. (Vehículo Guiado Automáticamente)

Los A.G.V. se utilizaron por primera vez en 1952<sup>7</sup>, su funcionamiento era básico. Como ejemplo se tiene un tractor con remolque modificado para seguir un cable. Estos se fueron difundiendo por algunos almacenes principalmente del sector de víveres, pero no fue hasta los años setenta cuando se produjo una importante revolución en el AGV, principalmente gracias al apoyo de la informática. Fue necesario esperar hasta los años ochenta para ver los primeros AGV guiados sin cable, basados en láser o en inercia, como el que se observa en la figura 1.1. Estos últimos años han dado paso a los AGV con capacidad para tomar decisiones y auto guiarse.

Figura 1.1: Uno de los primeros AGV de BAMA



Fuente: <http://www.bama.es/>

De acuerdo con Secchi<sup>8</sup>, los AGV se componen de:

Unidad de control: se compone a su vez de cuatro partes, que pueden ir implementadas en el mismo dispositivo o bien situadas por separado en cuatro unidades (normalmente van por separado)

Control de manejo (Drive Unit): controla los convertidores que alimentan los motores del sistema locomotor. Se encarga de la aceleración y desaceleración, la velocidad, si el frenado ha de ser suave o rápido, etc.

Unidad de control (Control Unit): controla todos los aspectos necesarios para llevar a cabo las funciones que debe realizar el AGV (control del brazo robot, las herramientas, la suspensión del elevador, etc.)

---

<sup>7</sup> ALONSO, Antonio. El buen rumbo de los vehículos guiados, En: siglo XXI, España, 2008

<sup>8</sup> SECCHI, Humberto. Sistemas Inteligentes, Seminario Vehículos Autoguiados, argentina 2011

Unidad de seguridad (Safety Unit): su función es evitar colisiones, especialmente con seres humanos.

Unidad de control externa: todos los AGV incorporan un panel de control manual en la parte trasera accesible para el técnico, que puede así controlar el AGV y modificar su comportamiento mientras se mueve.

Fuente de alimentación: un AGV debe disponer de una fuente de alimentación autónoma. Esta suele consistir en baterías eléctricas, selladas y recargables. En el ámbito industrial, son los propios AGV quienes acuden cada cierto tiempo a recargar sus baterías para luego volver al trabajo.

Sistema locomotor: permite que el AGV pueda moverse. Pueden ser ruedas, rodillos, hélices, o extremidades articuladas como en un insecto.

Herramientas: horquillas, brazos robot, ventosas, sondas, etc.

Actuadores: se usan motores, normalmente de corriente continua y con realimentación, cilindros, válvulas de aire, etc.<sup>9</sup>

Sensores: cumplen una doble función. Por una parte, la de seguridad, para evitar colisiones con personas u objetos, y por otra, la de realimentación, para enviar a la unidad de control información sobre el entorno que le rodea, información necesaria para conformar la trayectoria a seguir. Sensores que puede llevar implementado un AGV: Cámaras para detectar objetos, antenas para enviar y recibir ondas, láseres para barrer el área circundante, sensores de ultrasonidos para detectar proximidad, encoders y potenciómetros para medir velocidad y ángulo de giro, bumpers para detectar colisiones, sensores de infrarrojos, etc.

En cuanto al sistema remoto, éste suele organizarse en torno a un punto central de control, que puede tomar la forma de un PC o un PLC. Este centro de control gestiona el tráfico y el movimiento de los AGV, conforme a las instrucciones que reciba de un operador o desde un sistema más complejo de gestión del almacén<sup>10</sup>.

### 1.2.2. Montacargas

En 1917, la empresa fabricante Clark<sup>11</sup> construyó el primer camión de seguimiento para el uso en su planta de ejes, observado en la figura 1.2. Los primeros modelos de montacargas eran muy simples, ya que el uso de la hidráulica aún no se había

---

<sup>9</sup> FERRUZ, Juaquin. AGV (Autonomous guided vehicles), Departamento de ingeniería de sistemas y automática, ESI Sevilla, Octubre 2 del 2006

<sup>10</sup> BENITEZ, Ignacio. Automática y Electrónica Industrial, Shadow Robot Company, Junio 21 del 2012

<sup>11</sup> Historia de Clark Material Handling, tomado de <http://clarkmhcr.com>, revisado Agosto 31 de 2012

desarrollado. Estas máquinas levantaban cargas tan solo unos cuantos centímetros por encima del suelo.

Figura 1.2: El primer tractor montacargas



Fuente: <http://clarkmhcr.com/>

En 1920, el montacargas comenzó a utilizar el poder de la hidráulica. Tres años más tarde, Yale Baker, entró en primer lugar en el mercado mediante el desarrollo del vehículo eléctrico, que dio lugar a diseños de montacargas eléctricos que ofrecían bajos costos de operación, el mástil funcionaba por un sistema de piñón y trinquete<sup>12</sup>.

### 1.2.3. Robots Didácticos

La robótica no solo está al servicio de la industria; en los últimos años la pedagogía ha evolucionado con la robótica debido al interés popular en los beneficios que ofrece para todos los niveles de educación. Además, teóricos como Papert (1993)<sup>13</sup>, creen que las actividades de robótica tienen un enorme potencial para mejorar la enseñanza en el aula de clase.

Entre los beneficios, el más destacado es el interés que despierta hacia la tecnología y la ciencia. En el artículo *Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review*<sup>14</sup> se presenta un estudio para observar si la robótica puede mejorar el rendimiento de los estudiantes en las escuelas primarias, intermedias y secundarias. Este artículo indica que el principal proveedor de robótica pedagógica es LEGO, obteniendo excelentes críticas acerca de sus productos, lo que incentiva y genera gran motivación para seguir con la investigación y creación de diferentes robots didácticos.

---

<sup>12</sup> Ibíd.

<sup>13</sup> PAPER S, "Mindstorms: children, computers and powerful ideas (2nd ed.). New York, NY: basic Books.

<sup>14</sup> FABIANE B. VAVASSORI B. "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review". El sevier, Computers & Education. 9 de octubre 2011.

## En la actualidad

- Enrique Ruiz Velasco Sánchez<sup>15</sup>, desarrolló un robot pedagógico, para el aprendizaje de conceptos informáticos. Él creó un ascensor miniatura, que puede ser programado por los alumnos (niños de primaria) y con esto ha demostrado que una herramienta nos puede permitir agilizar el proceso enseñanza-aprendizaje. Se empieza con problemas y conceptos muy sencillos y se va aumentando la complejidad de los primeros, así como el alcance de los segundos para que el alumno llegue a construir programas muy sofisticados para resolver cuestiones complejas apoyadas por importantes conceptos informáticos.
  - Este caso muestra un ejemplo para el desarrollo de la metodología
  - Define las ventajas que se tiene al aplicar el uso de tecnologías en el desarrollo de los estudiantes
- Carpio, Jorge Badenas, y Sanchiz Martí José Miguel<sup>16</sup>, desarrollaron un sistema industrial de múltiples vehículos autónomos guiados por láser (2002-2006). El objetivo de este proyecto era desplazar mercancías dentro de una instalación de manera automática. Este proyecto ya está en el mercado y es altamente competitivo. Los vehículos guiados automáticamente, llamados comúnmente AGV, diseñados para cumplir con el objetivo de este proyecto, pueden recorrer trayectorias programadas anteriormente cargando y descargando mercancías.
- Bryfors, Hans Cederqvist<sup>17</sup>, Björn Henriksson y Andrew Spink, realizaron un proyecto en cual se automatiza la manipulación de contenedores para contribuir en el comercio mundial, utilizando grúas inteligentes dejando de lado el control manual que anteriormente se utilizaba. Las grúas inteligentes que se diseñaron se basan en el movimiento rápido y preciso, posicionando la carga, obstáculos y el destino.

---

<sup>15</sup> RUIZ, Enrique. SÁNCHEZ, Velasco. La robótica pedagógica infantil Robots construidos por niños, IISUE-UNAM, México, 2008.

<sup>16</sup> CARPIO, Jorge. SANCHIZ José. Sistema industrial de múltiples vehículos autónomos guiados por láser. Universidad Jaume I Servicio De, 2006.

<sup>17</sup> Bryfors, Uno, et al. "Grúas inteligentes: Euromax, la moderna terminal automática de contenedores." Revista ABB 3. 2006

### 1.3.OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo A.G.V.F. con las características de un AGV vehículo guiado automáticamente y un montacargas, para el transporte e identificación de objetos mediante radio frecuencia, guiado mediante una trayectoria fija, con comunicación inalámbrica, desarrollado con fines didácticos para la comunidad educativa de Sogamoso en grado preescolar y primero de básica primaria.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar, construir e implementar la estructura del A.G.V.F. con la capacidad de expandir el mástil en dos secciones y rotar 180°, extender las horquillas y levantar un peso máximo de 400 gramos.
- Diseñar y construir los circuitos para la integración y funcionamiento de los elementos del prototipo.
- Diseñar y programar los controladores para el posicionamiento, la velocidad, la identificación y la comunicación del prototipo.
- Diseñar y programar una Interfaz de usuario o Software didáctico para la interacción con la comunidad educativa en grados preescolar y primero de básica primaria.
- Determinar por métodos cualitativos, el impacto del prototipo como herramienta didáctica aplicándolo en un grupo de estudiantes de primaria en la ciudad de Sogamoso.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En los siguientes capítulos se describe el sistema con sus principales componentes como son: la plataforma robótica, el sistema de comunicación, la aplicación de escritorio y su programación. El propósito de este capítulo es explicar el funcionamiento general de la plataforma robótica en sus dos métodos de trabajo.

El sistema está compuesto por un robot denominado A.G.V.F, un módulo de comunicación Xbee USB, CD con la interfaz de usuario, una pista base que indica la trayectoria a seguir por el robot montacargas, quince cubos marcados con letras, números y colores, dos estantes uno de carga que consta de tres niveles para ubicar los quince cubos y otro de descarga para ubicar cinco cubos. El manual del robot se encuentra en anexos A manual robot didáctico<sup>18</sup>. En este manual se enseñan los componentes del kit didáctico y la explicación para utilizarlo.

Figura 2.1: Componentes del sistema, robot y módulo de comunicación.



Fuente: Autores

Figura 2.2: Componentes del sistema, pista y estante con cubos.



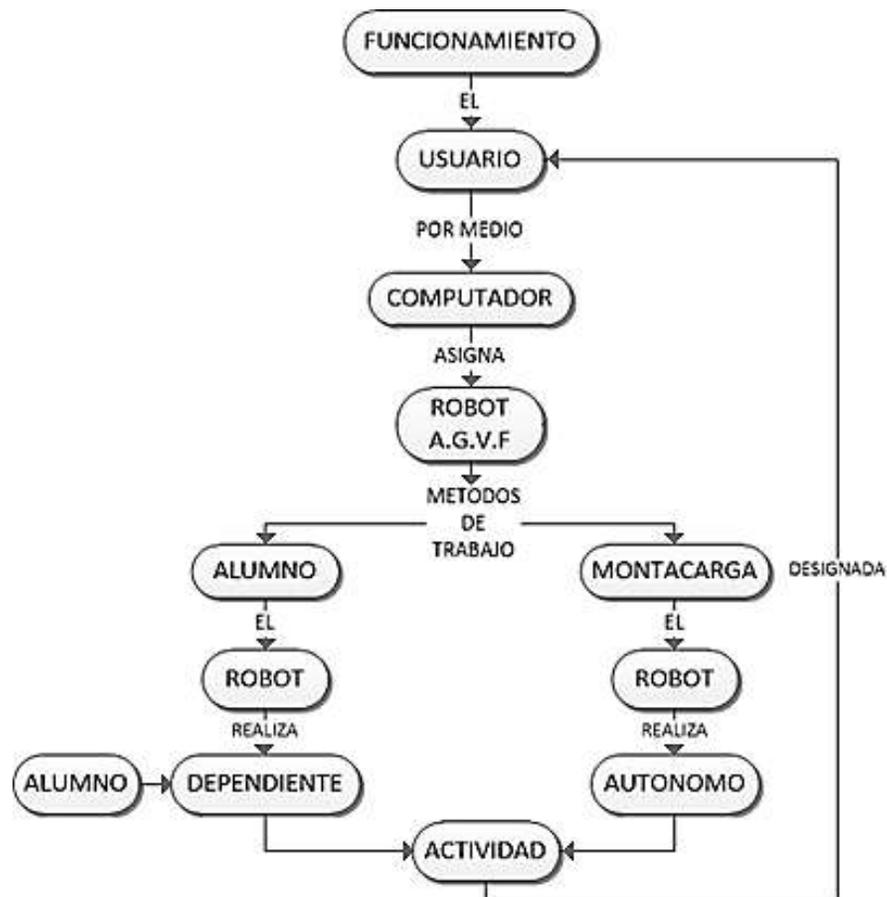
Fuente: Autores

<sup>18</sup> Anexos A Manual del usuario del Robot didáctico

El robot y sus accesorios expuestos en las gráficas 2.1 y 2.2 están diseñados para ser usados en la enseñanza de números, letras y colores por dos métodos diferentes. El método se selecciona desde el computador por medio de la interfaz de usuario. Uno de los métodos se denomina alumno en el cual el robot, espera que el usuario le entregue el cubo correcto para ubicarlo en la zona de descarga. Si el cubo es incorrecto señala la equivocación y espera nuevamente por otro cubo. En el método robot montacargas el robot funciona de forma autónoma en la cual, el usuario desde el computador, asigna los cubos que debe buscar y luego el robot los retira de un estante de carga y los deja en la zona de descargue.

El sistema puede interactuar con una o varias personas dándole la posibilidad de crear varios ambientes de trabajo. Un ejemplo sucede cuando lo manipula un único usuario, pidiendo al robot realizar tareas de ordenamiento. Otro es el de tipo enseñanza en el cual, un usuario controla el robot para que los alumnos realicen una tarea específica con el robot. El mapa conceptual de la figura 2.3 se observa el funcionamiento de la plataforma.

Figura 2.3: Mapa conceptual de funcionamiento del sistema



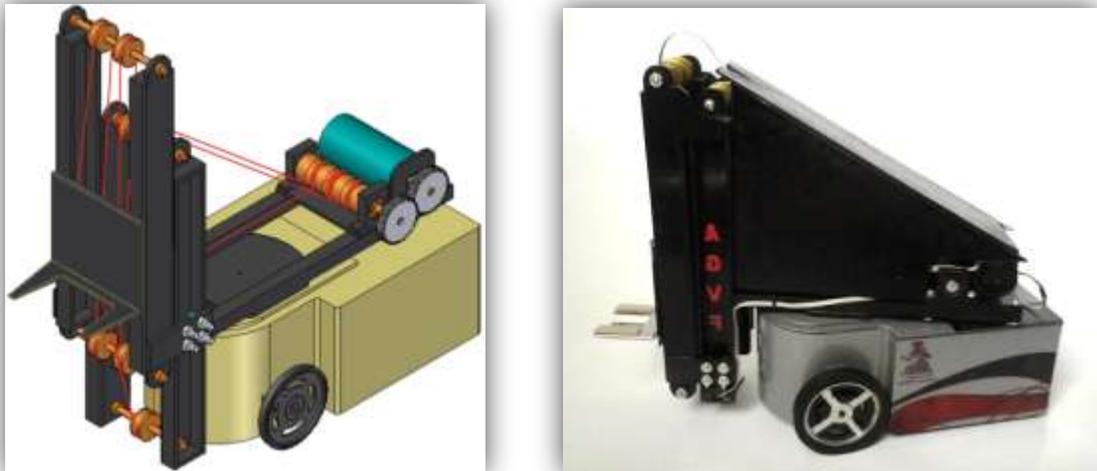
Fuente: Autores.

### 3. CONSTRUCCIÓN Y PARTES DEL PROTOTIPO

Este capítulo expone las partes que componen la plataforma robótica con sus respectivos elementos y su funcionamiento. La plataforma se divide en dos partes, una se denomina chasis o A.G.V. y la segunda denominada manipulador o montacargas. La plataforma se diseñó con el criterio de ser multipropósito, es decir, que puede usar diferentes manipuladores o herramientas para distintas aplicaciones. Además, el material del chasis permite modificar los agujeros para implementar distintos sensores y actuadores.

En la figura 3.1 se observa el diseño en 3D de la plataforma A.G.V.F. El chasis es de color beige y el manipulador de color negro.

Figura 3.1: Robot A.G.V.F 3D Y fotografía.



Fuente: Ing. Fabio Pérez y autores.

El robot se traslada, controlando la velocidad de dos servomotores de rotación continua acoplados en las dos ruedas delanteras del AGVF, siguiendo una línea o trayectoria predefinida, sensada o identificada por medio de tres sensores ópticos, que detectan el reflejo de luz incidente. Cuando el robot se detiene, en una posición definida, empieza el funcionamiento del manipulador o montacargas, el cual tiene la capacidad de elevar y bajar las horquillas, por medio de un motor DC, para estirar y contraer las horquillas lo hace por medio de un micromotor. Con el fin de alcanzar los objetos o cargas sin necesidad de mover el robot A.G.V.F, el robot también posee la característica de girar el manipulador 180 grados por medio de un servomotor.

La identificación de objetos se hace por medio de un módulo de identificación de radiofrecuencia. Todos los componentes, son controlados por un micro

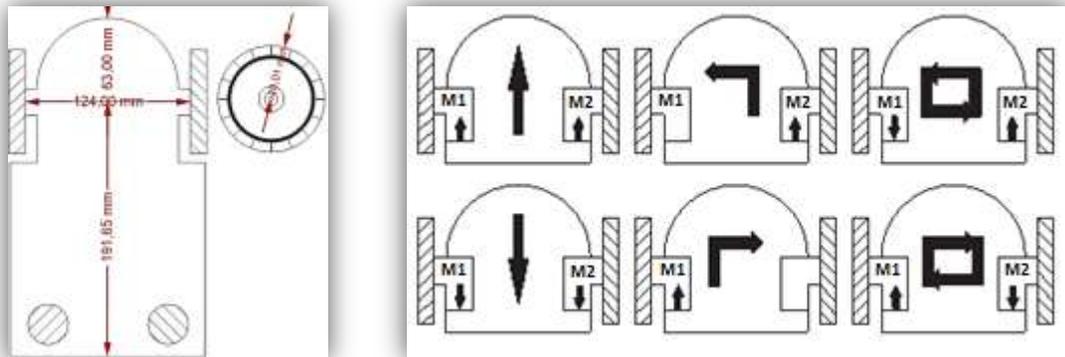
controlador, el cual recibe las órdenes o instrucciones desde un ordenador o computador estableciendo una comunicación inalámbrica por medio de un módulo Xbee.

### 3.1. CHASIS o A.G.V.

Para el diseño del chasis se tuvo en cuenta el tipo de robot móvil, la tracción, el espacio que debía ocupar y el espacio interno para poder equiparlo. Con toda la electrónica, el tipo de material y la forma, además de no perder la funcionalidad multipropósito.

El tipo de robot que se diseñó es un vehículo con ruedas de direccionamiento diferencial,<sup>19</sup> es decir que la dirección viene dada por la diferencia de velocidades en las ruedas de tracción. Para tener una idea del control y sus grados de libertad se puede observar el esquema de la figura 3.2 donde se aprecia la forma como se pueden realizar los movimientos de giro y la propiedad de girar sobre su eje delantero. En el anexo B modelo del chasis, se plantea el modelado del chasis<sup>20</sup>.

Figura 3.2: Modelo de movimientos del Chasis o A.G.V.



Fuente: Autores.

Para dimensionar y poder ver la forma del chasis, éste se diseñó previamente con el programa Solid Edge con medidas exactas para evitar problemas en su construcción y montaje. La estructura está hecha en poliuretano acrílico de color gris. Este material es resistente y maleable lo que permite realizar agujeros con diferentes formas para sensores y actuadores. La tapa del chasis está diseñada para soportar un peso aproximado de 4 kilos, con una abertura que permite la entrada de cables al interior del chasis y un soporte con un servomotor para el montaje de manipuladores. En la figura 3.3 se observa la distribución de elementos dentro del chasis. Cabe anotar que el chasis posee unas ruedas

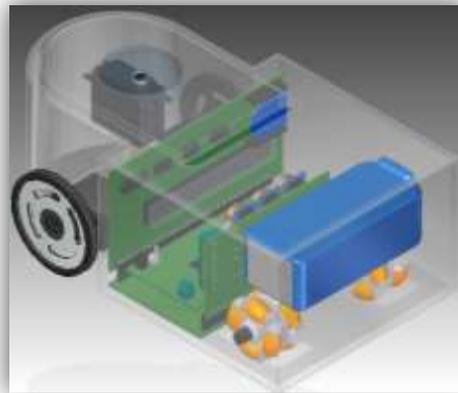
<sup>19</sup> OLLERO, Aníbal. Robótica, manipuladores y robots móviles. Sevilla. Marcombo. 2001

<sup>20</sup> Anexo B Modelo del chasis

omnidireccionales en la parte trasera, las cuales permiten mayor maniobrabilidad y la rotación sobre el eje delantero.

El chasis se divide en dos secciones, la primera sección con forma redondeada contiene los dos servomotores de rotación continua, el servomotor para la rotación del manipulador y los sensores de contraste para la detección de la línea. Esta sección es destinada para la instalación de más actuadores y sensores según la necesidad que se tenga. La segunda sección, de forma cuadrada, contiene las ruedas omnidireccionales. Sobre éstas se encuentra la batería. En el espacio restante se posicionan e instalan las tarjetas de control, potencia y demás necesarias para el funcionamiento del robot. Para conocer las dimensiones del chasis se puede ver el anexo B Dimensiones Chasis y manipulador.

Figura 3.3: Chasis o A.G.V.



Fuente: Autores.

La principal característica del chasis es la versatilidad para poder usar e instalar otros componentes, sensores o actuadores, manipuladores más pesados y complejos, como los ejemplos de la figura 3.4.

Figura 3.4: Ejemplos manipuladores para el A.G.V.



Fuente: Autores.

### 3.2. MANIPULADOR O MONTACARGAS

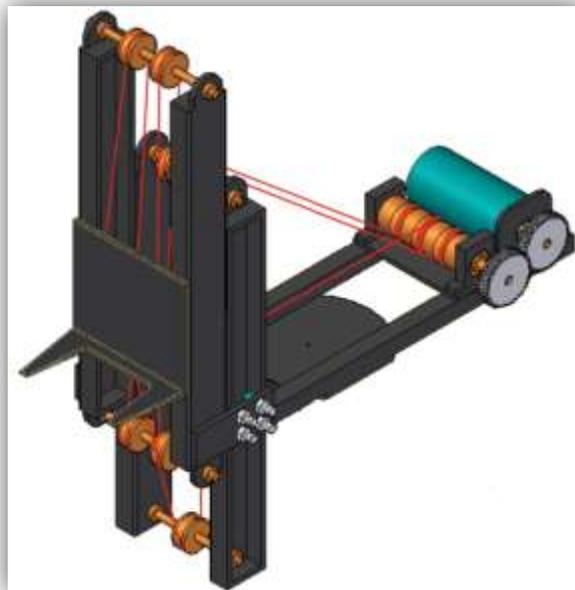
Era necesario un manipulador que pudiese mover distintos objetos sin ser muy complejo. Por esta razón se eligió el montacargas industrial, que puede cargar variedad de objetos que se encuentre sobre una estiva. El manipulador está compuesto por tres secciones: mástil, horquillas y porta horquillas.

Para recoger objetos a mayor altitud el mástil está dividido en dos secciones, unas horquillas extraíbles para recoger cargas sin necesidad de mover todo el robot, todo el manipulador está sobre un servomotor que permite girarlo 180°.

El manipulador esta hecho en acrílico de poliuretano negro dividido en tres secciones unidas por tornillos y rodamientos, para lograr el deslizamiento entre los tres segmentos se diseñaron cuatro juegos de balineras. En la parte trasera, para acoplar el carrete y el motor, se diseñó una base en metal que también es usada como soporte y contrapeso.

En la figura 3.5 se puede observar las partes que conforman el manipulador. De color azul se encuentra el motor unido por piñones al carrete de color naranja. De color rojo están las cuerdas de nailon que conectan el carrete con las horquillas del montacargas. En anexos B Dimensiones del chasis y el manipulador<sup>21</sup> se encuentran las dimensiones del manipulador.

Figura 3.5: Manipulador.



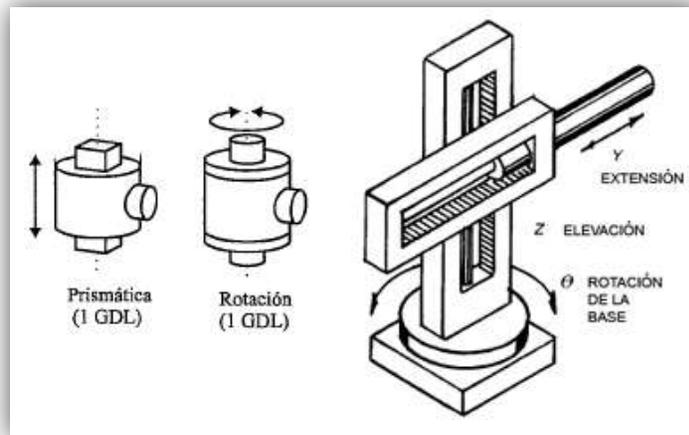
Fuente: Autores.

---

<sup>21</sup> Anexos B Dimensiones del chasis y el manipulador.

Para completar el diseño del mástil se analizaron dos modelos matemáticos. Uno de los modelos describe el comportamiento al subir y bajar las horquillas por el método de curva de reacción.<sup>22</sup> El segundo modelo es un manipulador robótico conocido como robot cilíndrico, el cual cumple con las mismas características del manipulador tipo montacargas utilizado. Para hacer el modelo del manipulador como un robot cilíndrico se tuvo en cuenta los grados de libertad y el modo de funcionamiento. En la figura 3.6 se observan los tres grados de libertad del robot cilíndrico: extensión, elevación y rotación de la base; los mismos movimientos que posee el manipulador. Las partes móviles o articulaciones del manipulador están representadas por dos articulaciones prismáticas y una de rotación. Este modelo se plantea en el anexo B modelo del manipulador,<sup>23</sup> y permite realizar controles más robustos del manipulador para futuras aplicaciones.

Figura 3.6: Modelo Robot cilíndrico.



Fuente: Aníbal Ollero.

### 3.3. SENSORES

Para poder controlar las diferentes acciones o tareas realizadas por el robot montacargas, es necesario implementar varios sensores que suministren información acerca de su estado y entorno, sensores internos y externos. Los sensores internos le indican al robot la posición de sus articulaciones, y los externos indican como es el ambiente donde se mueve o trabaja. La mayoría de los sensores del robot son internos pues el robot trabaja en un ambiente controlado.

Para documentar los sensores, éstos se dividen en dos grupos, los que usa el A.G.V. y los del manipulador.

<sup>22</sup> Anexo B Modelo del mástil

<sup>23</sup> Anexo B Modelo del manipulador

### 3.3.1. Sensores del chasis o A.G.V.

El A.G.V. cuenta con 5 sensores QRD1114<sup>24</sup> en board con el acondicionamiento electrónico, como se muestra en la figura 3.7, para la detección de contraste blanco y negro a una distancia de 3mm. Es utilizado para detectar la pista o trayectoria del robot y determinar su posición en la misma, los sensores están ubicados en la cara inferior del chasis, tres sensores en el medio para detectar la línea y uno en cada extremo para detectar las marcas de posición espacial del robot.

Figura 3.7: QRD1114 en board.



Fuente: <http://www.dynamoelectronics.com/>

### 3.3.2. Sensores del manipulador

Los sensores del manipulador tienen como fin obtener información de la posición de cada parte que conforma el montacargas y realizar la lectura de las etiquetas electrónicas.

- Fin de curso:

Este sensor llamado fin de carrera o fin de curso es un switch, que tiene dos configuraciones normalmente abierto o normalmente cerrado. El manipulador cuenta con dos fin de curso que indica si las horquillas y/o el mástil están en su posición inicial, estos sensores se encuentran ubicados en la parte inferior de las columnas del mástil como se muestra en la figura 3.8.

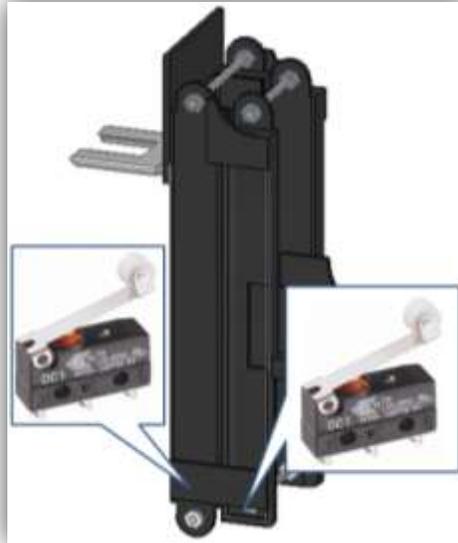
- Pulsador:

Es un switch muy pequeño que es presionado por las horquillas únicamente cuando se encuentran en su posición inicial, este sensor se encuentra ubicado entre las horquillas y el porta horquillas como se muestra en la figura 3.9.

---

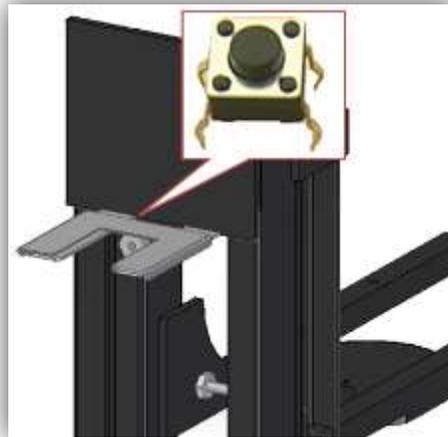
<sup>24</sup> Apéndice A Datasheet QRD1114

Figura 3.8: Fin de curso en el mástil.



Fuente: Autores.

Figura 3.9: Pulsador de las horquillas.



Fuente: Autores.

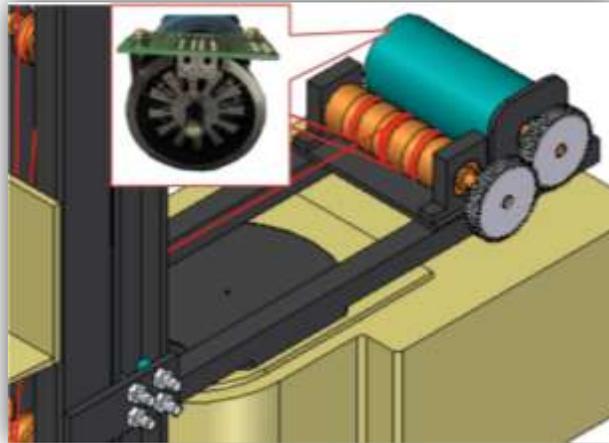
- Encoder de cuadratura:  
También llamados codificadores rotatorios.<sup>25</sup> Corresponde a un tipo de encoder incremental para suministrar los datos de posición, velocidad y dirección de rotación del eje. Se encuentra ubicado en la parte trasera del mástil unido al motor

---

<sup>25</sup> Apéndice C Encoders

como se muestra en la figura 3.10. Con este sensor es posible conocer la altura y posición vertical de las horquillas.

Figura 3.10: Encoder de cuadratura.



Fuente: Autores.

- Módulo de identificación por radio frecuencia RFID:  
El robot cuenta con un módulo RFID de Parallax<sup>26</sup>, que es una tecnología de identificación inalámbrica. El módulo está ubicado de frente al porta horquillas como se muestra en la imagen 3.11. Las etiquetas electrónicas se ubican dentro de los cubos de carga.

Figura 3.11: Módulo RFID y etiqueta electrónica.



Fuente: Autores.

<sup>26</sup> Apéndice A datasheet Lector RFID

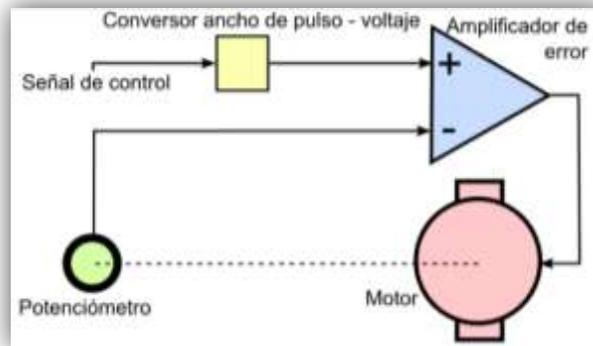
### 3.4. ACTUADORES

Los actuadores tienen la función de generar el movimiento de los elementos del robot según las ordenes de la unidad de control. Para este proyecto se utilizaron actuadores eléctricos. Los actuadores fueron seleccionados según los siguientes criterios: potencia, controlabilidad, peso, volumen, velocidad y costo.

#### 3.4.1. Actuadores del A.G.V.

El chasis está diseñado para acoplar cualquier tipo de actuador. Para este proyecto se optó por dos clases de servomotores que facilitan la programación del software en el microcontrolador porque solo necesitan de una señal PWM<sup>27</sup> (pulse wave modulation). El esquema de control del servomotor, se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12: Esquema de control de los servomotores.



Fuente: Autores.

- Servomotor de rotación continua:

Los servomotores de rotación continua se usan para la tracción del robot. Dos servomotores Hitec HSR-1425CR<sup>28</sup> como el ilustrado en la figura 3.13, estos servomotores permiten controlar sus RPM y sentido de giro por medio de señales PWM. Los servomotores se encuentran en la parte delantera del A.G.V. acoplados a las ruedas.

- Servomotor 180:

El servomotor de medio giro o 180<sup>0</sup> de rotación, marca Hitec HS-311<sup>29</sup> mostrado en la figura 3.14, está ubicado en la parte delantera de la tapa del A.G.V acoplado al manipulador con el objetivo de girarlo 180 grados.

<sup>27</sup> CANDELAS, Francisco. CORRALES, Juan, servomotores, universidad de alicante, grupo de automática, robótica y visión artificial, 09-2007

<sup>28</sup> Apéndice A datasheet Servomotor HSR1425cr

<sup>29</sup> Apéndice A datasheet Servomotor HS-311

Figura 3.13: Servomotor HSR-1425CR y rueda del AGV.



Fuente: <http://hitecrd.com/> y <http://www.dynamoelectronics.com/>

Figura 3.14: Servomotor HS-311.



Fuente: <http://hitecrd.com/>.

#### 3.4.2. Actuadores del manipulador

Los actuadores del manipulador, son dos motores de gran torque para poder mover cargas de hasta 1.5Kg, de esta forma también podemos seguir con el objetivo multipropósito, se podrá utilizar en aplicaciones que requieran mayor fuerza.

- Micromotor con caja reductora:  
Este micromotor<sup>30</sup> en el en el robot, está conectado a un circuito puente H y acoplado a las horquillas del montacargas para lograr contraerlas y estirarlas.

<sup>30</sup> Apéndice datasheet micro\_motor\_50a1

Figura 3.15: Micromotor.



Fuente: <http://www.dynamoelectronics.com>

- Motor con caja reductora:

Es un motor Faulhaber<sup>31</sup> con caja reductora. Este motor está ubicado en la parte trasera del manipulador unido a un carrete y ambos están sobre un soporte metálico. Todo el conjunto se usa como contrapeso del montacargas.

El motor y el carrete se encuentran acoplados por dos piñones de iguales dimensiones. Este carrete tiene tres cuerdas de nailon que soportan un peso hasta de 31.4kg; dos cuerdas se usan para elevar las horquillas y una para descenderlas, el motor está conectado a un circuito puente H. El control de velocidad, dirección y posición de este motoreductor es programado en el microcontrolador.

Figura 3.16: Motor 12V faulhaber.



Fuente: Autores.

---

<sup>31</sup> Apéndice A datasheet faulhaber 012CR

### 3.5.COMUNICACIÓN

Para la transferencia inalámbrica de datos entre el computador y el robot se utilizaron dos módulos XBee<sup>32</sup> como los mostrados en la figura 3.17, en configuración punto a punto que funcionan con el protocolo ZigBee. Uno de los dispositivos está acoplado a un XBEE Explorer USB (ver figura 3.18), que se conecta al computador. El otro dispositivo está dentro del robot conectado a la tarjeta de acondicionamiento<sup>33</sup> y se comunica con el microcontrolador por medio de la interfaz RS232.

Figura 3.17: Módulo XBee.



Fuente: [www.digi.com/xbee/](http://www.digi.com/xbee/).

Figura 3.18: XBee Explorer USB.



Fuente: Dynamoelectronics.

---

<sup>32</sup> Apéndice datasheet XBee

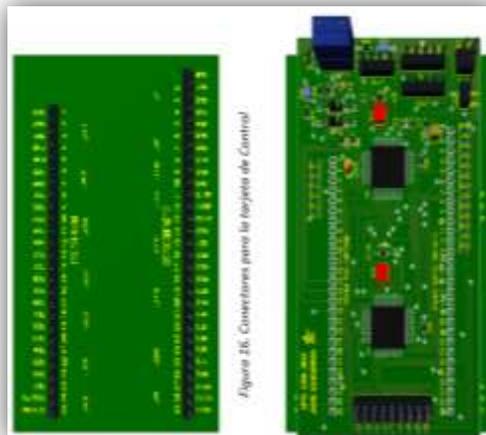
<sup>33</sup> remítase al capítulo 4.2 módulo de acondicionamiento

### 3.6. DESCRIPCIÓN DEL MODULO DE CONTROL

El módulo de control o cerebro del robot es una tarjeta desarrollada por el ingeniero Jaime Alexander Echeverría para su proyecto de grado denominado “DESARROLLO DE UN MODULO DE CONTROL Y/O INSTRUMENTACIÓN MULTIPROPÓSITO BASADO EN MICROCONTROLADORES” esta tarjeta consta de dos microcontroladores un dsPIC30F4013<sup>34</sup> y un PIC18F4550. Las salidas y entradas de estos microcontroladores cuentan con protecciones, también posee varios modos de comunicación entre los dos microcontroladores. El diseño 3D de la tarjeta se puede apreciar en la imagen 3.19.

Para este proyecto se utilizó el dsPIC30F4013 de la tarjeta debido a la necesidad y facilidad de usar los dos puertos UART que posee este micro. Además la capacidad de puertos I/O y velocidad del microcontrolador son suficientes para los requerimientos del proyecto, que módulo cuenta con un manual<sup>35</sup>. Este se encuentra en el apéndice C Manual del usuario módulo de control.

Figura 3.19: Módulo de control.



Fuente: Jaime Alexander Echeverría.

---

<sup>34</sup> Apéndice B DsPIC30F4013

<sup>35</sup> Anexo A Manual del usuario módulo de control

## 4. DISEÑO DE HARDWARE

El hardware construido para el robot está compuesto por 4 módulos que contienen los circuitos para el funcionamiento del robot. El conjunto de módulos se puede observar en la figura 4.8 del subcapítulo 4.4. Se diseñó un manual para utilizar los módulos, este manual se encuentra en el anexo A manual del usuario A.G.V.F.<sup>36</sup> En el diseño de estos módulos se tuvo en cuenta el objetivo multipropósito, siendo posible conectar diferentes actuadores y sensores. Además, las tarjetas son modulares y se pueden utilizar individualmente. En las siguientes secciones se explicaran con detenimiento y detalle cada una de las tarjetas o módulos.

### 4.1. MODULO DE POTENCIA

El módulo de potencia o alimentación es el encargado de suministrar los voltajes y corrientes constantes para todo el robot evitando caídas de voltaje y ruidos producidos por algunos actuadores.

#### 4.1.1. Requisitos

Para mantener la característica multipropósito del robot se tiene posibilidad de suministrar distintos voltajes y un amperaje de por lo menos 1.5A. El tamaño del módulo está limitado por el espacio en el chasis y se puede utilizar como módulo de alimentación en otros proyectos.

#### 4.1.2. Diseño electrónico y selección de componentes

La tarjeta suministrar tres voltajes regulados diferentes 3.3v, 5v y 12v además de un voltaje variable de 1.5v a 20v, la corriente que puede entregar es de 1.5 amperios por cada salida. Para generar los cuatro voltajes diferentes y evitar señales de ruido o interferencias producidas por los actuadores, se decidió utilizar convertidores DC-DC tipo buck step-down también conocidos como regulador de conmutación<sup>37</sup>, para la protección del circuito se añadió un fusible de 1.5 amperios.

Se diseñaron dos formas de suministrar los voltajes de este módulo, una forma es por medio de conexiones directas a la tarjeta de acondicionamiento y la otra forma es por medio de borneras. La fuente que suministra el voltaje a la tarjeta de potencia es una batería Sky Lipo de 22.2V y 2200mAh en polímero de litio<sup>38</sup>.

Los convertidores tipo buck utilizados para los voltajes de 3.3v y 12v son dos LM2576D2T<sup>39</sup>. Para el voltaje de 5v se eligió un convertidor marca Murata de buena eficiencia y alta tolerancia a señales de interferencia. En la figura 4.1 se

---

<sup>36</sup> Anexo A Manual de Usuario A.G.V.F.

<sup>37</sup> Para más información ver Apéndice C Reguladores Conmutados

<sup>38</sup> Apéndice C Manual Batería de Litio

<sup>39</sup> Apéndice A datasheet regulador LM2576D2T

puede observar los dos tipos de convertidores utilizados en la tarjeta de potencia, y la batería.

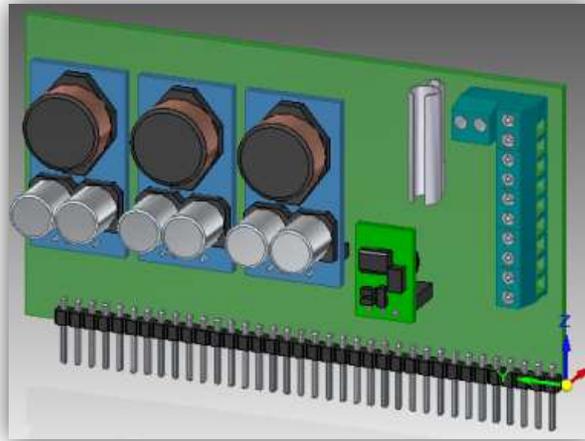
Figura 4.1: Regulador nacional, regulador Murata y batería.



Fuente: I+D, <http://www.hobbypartz.com/>.

El diseño 3D del módulo se aprecia en la figura 4.2 donde se puede observar la forma y distribución de sus componentes. El diagrama de la figura 4.3 explica la distribución y funcionamiento del módulo.

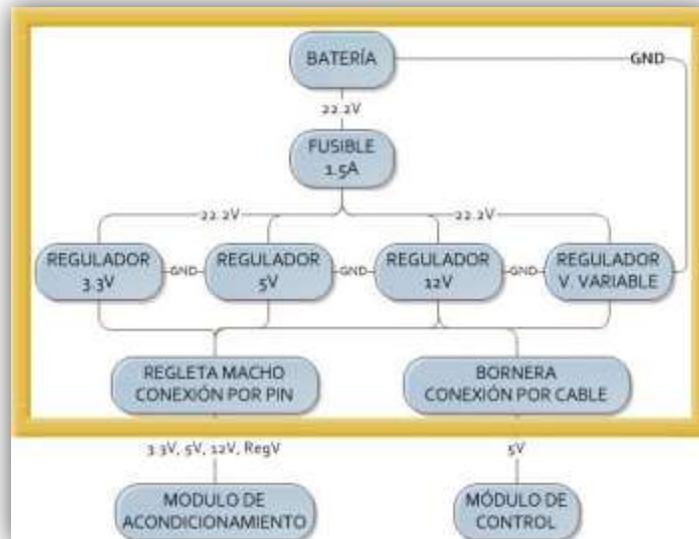
Figura 4.2: Diseño 3D y distribución Módulo de potencia.



Fuente: Autores.

En el diagrama de bloques de la figura 4.3 se puede observar que el módulo de potencia reduce el voltaje de la batería y suministra diferentes voltajes por medio de dos sistemas de conexión a los demás módulos y componentes del robot, contando con una protección tipo fusible.

Figura 4.3: Diagrama de bloques del módulo de potencia.



Fuente: Autores.

#### 4.2. MODULO DE ACONDICIONAMIENTO

La tarjeta de acondicionamiento tiene la función de comunicar los actuadores y sensores a la tarjeta de control evitando sobre corrientes y ruidos en los puertos I/O del micro controlador.

##### 4.2.1. Requisitos del módulo de acondicionamiento

Esta tarjeta o modulo está diseñada con la característica de ser multipropósito, es decir, no está construida estrictamente para este robot, ya que es posible conectar a este módulo cualquier tipo de sensor o actuador; también se tuvo en cuenta la posibilidad de controlar hasta cuatro motores DC. Fue necesario filtrar señales digitales como las que se obtienen del encoder, y disponer del espacio necesario para la conexión del módulo XBEE.

##### 4.2.2. Diseño electrónico y selección de componentes

Para cumplir con el requisito o característica de ser modulo multipropósito y tener la opción de conectar más, y distintas clases de sensores y actuadores, se diseñó un conjunto de entradas con regleta hembra que están divididas en seis filas y veintinueve columnas donde las columnas corresponden a los puertos del micro controlador. Las filas están distribuidas de la siguiente forma: la fila superior tiene la conexión a tierra, seguida de conexión a 5V, conexión a 3.3V, conexión a 12V, conexión a Vreg y la fila inferior tiene la conexión a cada uno de los pines del microcontrolador. De esta forma se puede hacer un conector de tres pines, el primer pin tierra, luego el voltaje que se necesite y por último la salida o entrada de la señal al microcontrolador. La idea surgió de un instrumento muy utilizado durante el proceso de formación como ingeniero electrónico, el protoboard.

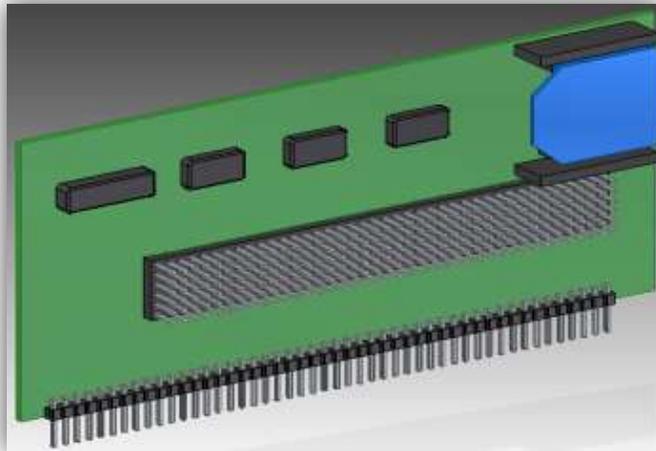
Para cumplir con el objetivo de utilizar hasta cuatro motores DC, se implementaron dos puente H L293D<sup>40</sup> que disponen los pines de entradas y salidas por medio de regleta hembra y de esta forma ofrecen la posibilidad de conectar diferentes motores si se utilizara esta tarjeta en otro proyecto. Para el robot montacargas, un circuito puente H controla el motorreductor de 12V y el otro circuito puente H controla el micromotor de 5V.

Para filtrar las señales digitales del encoder se implementó una compuerta Schmitt trigger 74LS14<sup>41</sup>.

Se instaló la regleta hembra en el módulo de acondicionamiento para tener la posibilidad de implementar cualquiera de las gamas que existen de los módulos XBEE, con la característica de tener acceso a cualquiera de los pines del módulo.

El diseño 3D del módulo de acondicionamiento se aprecia en la figura 4.4 donde se puede observar la forma y distribución de sus componentes. En el diagrama de la figura 4.5 se explica la distribución del módulo.

Figura 4.4: Módulo de acondicionamiento 3D.



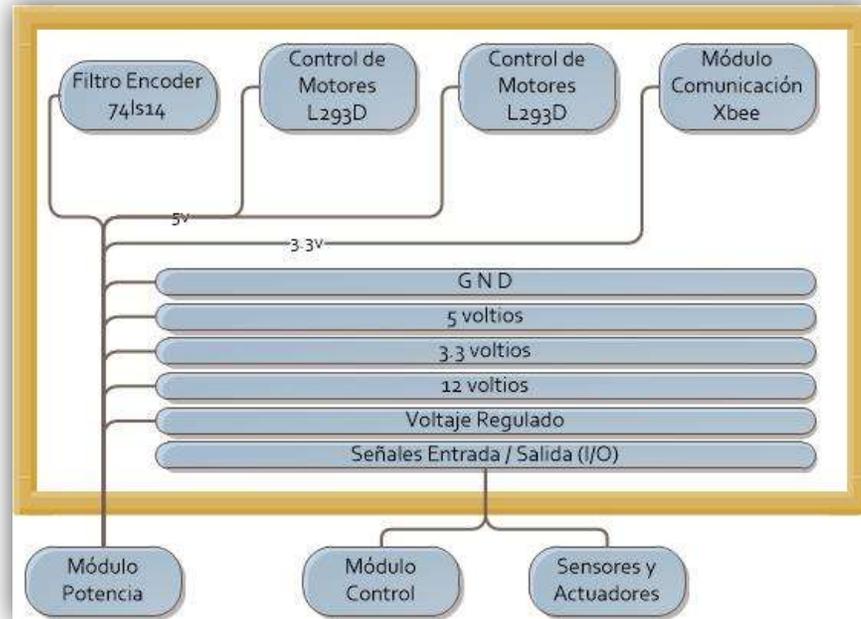
Fuente: Autores.

---

<sup>40</sup> Apéndice datasheet L293D

<sup>41</sup> Apéndice datasheet 74LS14

Figura 4.5: Diagrama del módulo de acondicionamiento.



Fuente: Autores.

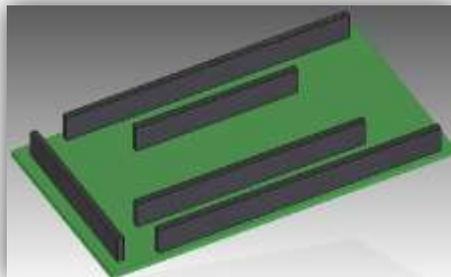
#### 4.3. MODULO DE ACOUPLE

La función de esta tarjeta es acoplar y realizar las conexiones necesarias para las 3 tarjetas: tarjeta de potencia, tarjeta de acondicionamiento y módulo de control.

##### 4.3.1. Diseño

La tarjeta de acoples se diseñó con el propósito de unir las tres tarjetas ocupando el espacio existente dentro del chasis del robot, dejando la posibilidad de instalar una nueva tarjeta para el uso de los puertos del microcontrolador PIC18f4550 que también contiene el módulo de control, pero que no fue necesario utilizar para el desarrollo de este proyecto. En la figura 4.6 se aprecian las regletas hembras para conectar todos los módulos.

Figura 4.6: Módulo de acople en 3D.



Fuente: Autores.

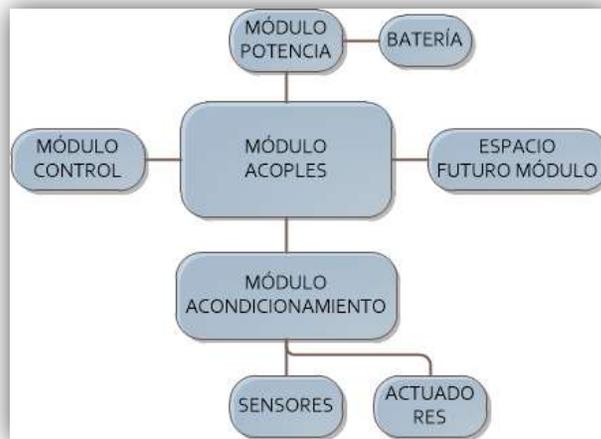
#### 4.4. MONTAJE Y CONEXIONES

El hardware diseñado es modular, cada módulo tiene sus ranuras y pines debidamente marcados para ser conectados fácilmente. Las conexiones fueron realizadas a medida que se programaba el robot.

##### 4.4.1. Montaje de módulos

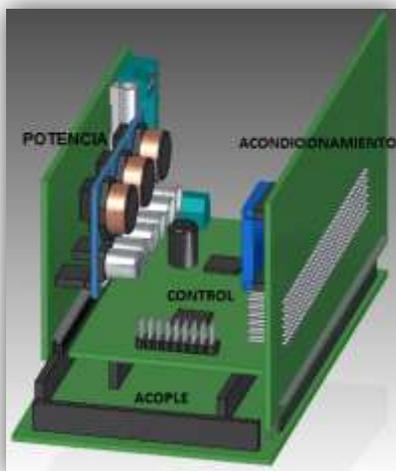
Los módulos de control, acondicionamiento y potencia se instalan sobre el módulo de acople y su distribución dentro del robot se hace como se ilustra en la figura 4.8. En el diagrama de la figura 4.7 se observa la distribución de los módulos, sensores, actuadores y la batería.

Figura 4.7: Diagrama de los módulos.



Fuente: Autores.

Figura 4.8: Módulos 3D y fotografía interna del robot.



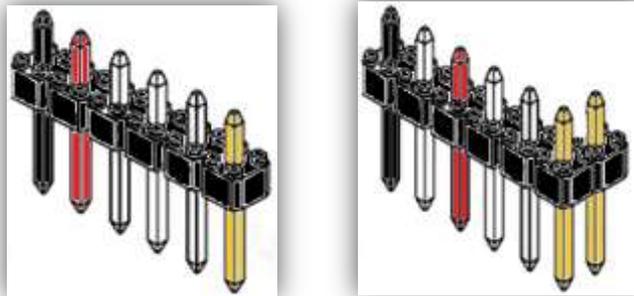
Fuente: Autores.

#### 4.4.2. Conexiones (datos y alimentación de sensores y actuadores)

Para realizar las conexiones de alimentación y comunicación de datos de los sensores y actuadores, a la unidad de control, en la tarjeta de acondicionamiento se utiliza el conector de la figura 4.9 donde el pin de color negro es tierra, rojo el voltaje y los amarillos la señal.

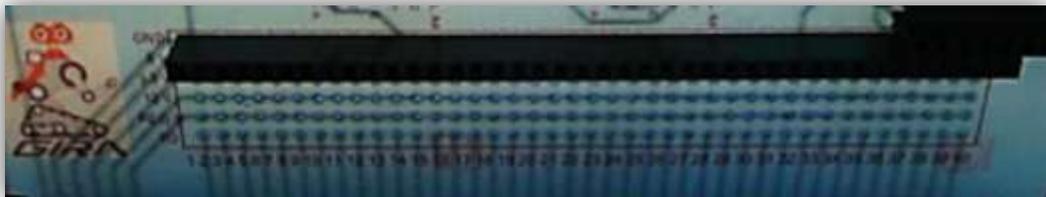
En la imagen, el conector de la izquierda es para un servomotor conectado a 5v, y el conector de la derecha es para el módulo Xbee conectado a 3.3v donde los pines amarillos representan Rx y Tx. Las regletas hembra de la tarjeta de acondicionamiento en la que se realizan las conexiones se observa en la figura 4.10.

Figura 4.9: Conectores para la tarjeta de acondicionamiento.



Fuente: Autores.

Figura 4.10: Punto de conexiones al módulo de control.



Fuente: Autores.

En la tabla 4.1 se encuentra los sensores y actuadores conectados a los puertos utilizados del microcontrolador y la lista de pines correspondientes en el módulo de acondicionamiento. La columna dos “pin dsPIC30F4013” de la tabla 4.1 hace referencia a los puertos utilizados en el micro controlador, para mayor información sobre estos puertos puede ver el Apéndice B dsPIC30F4013, Manual de referencia de microchip de dsPIC30F, sección11.

Tabla 4.1: Conexiones de los sensores y actuadores a los puertos del microcontrolador.

# PIN tarjeta acondicionamiento	PIN dsPIC30f4013	Configuración	Descripción
0			
1	RB0	Entrada	Sensor QRD
2	RB1	Entrada	Sensor QRD
3	RB2	Entrada	Sensor QRD
4	RB2	Salida	PWM servomotor rueda izquierda
5	RB4	Salida	PWM servomotor rueda derecha
6	RB5	Pin libre	
7	RB6	Salida	PWM motor reductor
8	RB7	Salida	Dirección motor reductor
9	RB8	Salida	Dirección motor reductor
10	RB9	Pin libre	
11	RB10	Salida	PWM servomotor giro del mástil
12	RB11	Entrada	Sensor fin de curso para motor reductor
13	RB12	Entrada	Sensor fin de curso para motor reductor
14	RD0	Salida	Micromotor
15	RD1	Salida	Dirección micromotor
16	RD2	Salida	Dirección micromotor
17	RD3	Pin libre	
18	RD8/INT1	Entrada	Sensor QRD externo
19	RD9/INT2	Entrada	Sensor QRD externo
20	RF0	Pin libre	
21	RF1	Salida	Enable módulo RFID
22	RF2/U1RX	Entrada	SOUT módulo RFID
23	RF3/U1TX	No usado	
24	RF4/U2RX	Entrada	TX módulo XBEE
25	RF5/U2TX	Salida	RX módulo XBEE
26	RF6	Entrada	Pulso 1 Encoder de cuadratura
27	RA11/INT0	Entrada	Pulso 2 Encoder de cuadratura
28	RC13	Entrada	Sensor fin de curso para micromotor
29	RC14	Pin libre	

Fuente: Autores.

## 5. CONTROLADORES

Durante el proceso de diseño y programación del firmware para el microcontrolador dsPIC30F4013 del robot montacargas, se diseñaron y programaron cuatro controladores importantes, dos mediante lógica difusa, el primero para controlar la posición vertical de las horquillas y el segundo controla la velocidad y posición del robot montacargas (seguimiento de línea); y dos controladores ON/OFF o de dos posiciones, uno para controlar el modo de funcionamiento (Activo/ Pasivo) del módulo RFID y otro la velocidad de transmisión de datos en baudios por el módulo USART del microcontrolador.

Se diseñó e implementó un controlador PID para la posición vertical de las horquillas, pero no se obtuvieron los resultados esperados ya que al iniciar el movimiento de las horquillas se presentaron movimientos bruscos que podían averiar o botar la carga. Para solucionar el problema se diseñó e implementó un controlador difuso que ubica acertadamente las horquillas en las referencias establecidas mediante movimientos suaves.

La lógica difusa es una lógica basada en la teoría de conjuntos que posibilita imitar el comportamiento de la lógica humana, es decir permite describir un conjunto de reglas que utilizaría una persona para controlar un proceso, generando acciones de control. El control difuso puede procesar información incompleta o incierta en procesos sencillos o procesos muy complejos<sup>42</sup>.

### 5.1. CONTROLADOR PARA VELOCIDAD DEL ROBOT (SEGUIMIENTO DE LÍNEA)

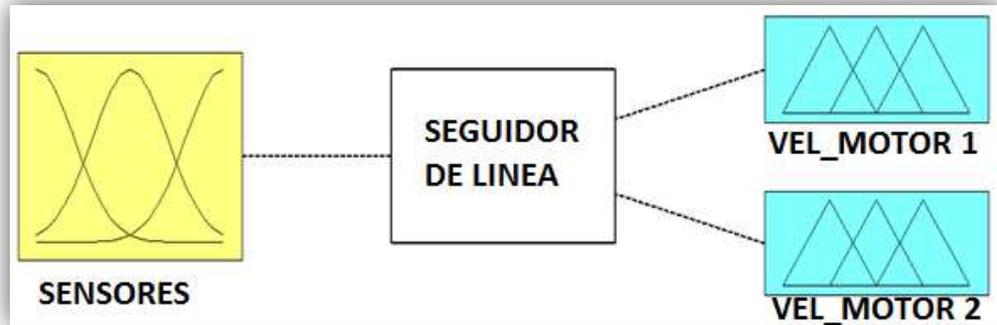
Para controlar la velocidad y posición del robot montacargas, se diseñó y programó un controlador mediante lógica difusa, simulado mediante la herramienta Fuzzy del software MATLAB. El sistema contiene una entrada que corresponde a la posición del robot con respecto a la línea y dos salidas correspondientes a los dos motores utilizados. En la figura 5.1 se observa el diagrama de bloques.

El controlador consta de cinco conjuntos difusos en la entrada, determinados por los tres sensores QRD1114 utilizados en el seguimiento de la línea negra o trayectoria fija que debe seguir el montacargas, y tres conjuntos difusos a la salida.

---

<sup>42</sup> Trillas, E., & Ríos, J. G. (Eds.). (1992). Aplicaciones de la lógica borrosa (Vol. 20). Editorial CSIC-CSIC Press.

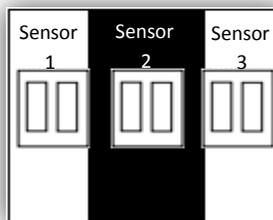
Figura 5.1: Diagrama de bloques seguidor de línea.



Fuente: Autores.

En la figura 5.3 se puede apreciar los cinco conjuntos difusos de entrada, dos trapezoidales y tres triangulares, estos se obtienen dependiendo el estado de los tres sensores QRD1114 como se observa en la tabla 5.1, considerando que un sensor obtiene estado lógico 1 cuando está sensando el color blanco y viceversa. La distribución correcta de los sensores en la línea negra es como se observa en la figura 5.2

Figura 5.2: Distribución de los sensores QRD1114 en la trayectoria.



Fuente: Autores.

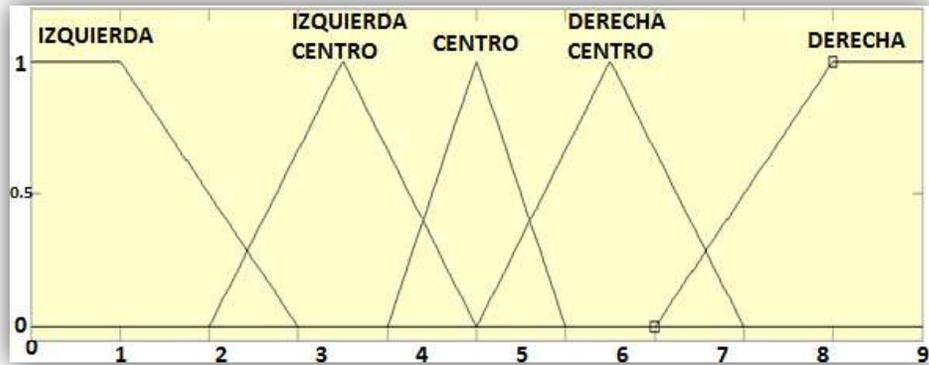
Tabla 5.1: Conjuntos difusos de entrada según el estado de los sensores.

Conjunto Difuso	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
Izquierda	1	1	0
Izquierda Centro	1	0	0
Centro	1	0	1
Derecha Centro	0	0	1
Derecha	0	1	1

Fuente: Autores.

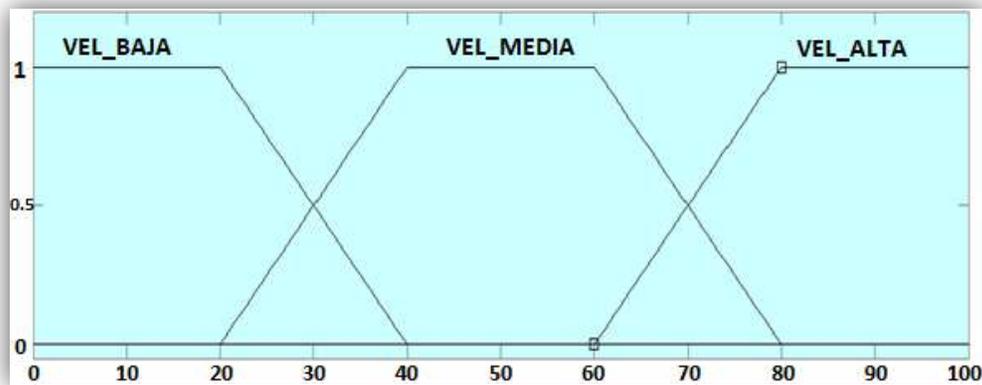
En la figura 5.4 se puede apreciar los tres conjuntos difusos de salida trapezoidales, que corresponden a las tres diferentes velocidades que pueden tener cualquiera de los dos motores. Los dos servomotores acoplados a las ruedas pueden tener una velocidad baja, media, o alta, por lo tanto los conjuntos difusos de salida son iguales para los dos motores.

Figura 5.3: Conjuntos difusos de entrada controlador Seguimiento de línea.



Fuente: Autores.

Figura 5.4: Conjuntos difusos de salida Vel\_Motor1 controlador Seguimiento de línea.



Fuente: Autores.

Después de definir los conjuntos difusos, se proponen las cinco reglas de relación entre las entradas y salidas como se observa a continuación:

Regla 1: Si (Sensores es centro) entonces (Vel\_Motor1 es Vel\_Alta) (Vel\_Motor2 es Vel\_Alta)

Regla 2: Si (Sensores es Izquierda\_Centro) entonces (Vel\_Motor1 es Vel\_Alta) (Vel\_Motor2 es Vel\_Media)

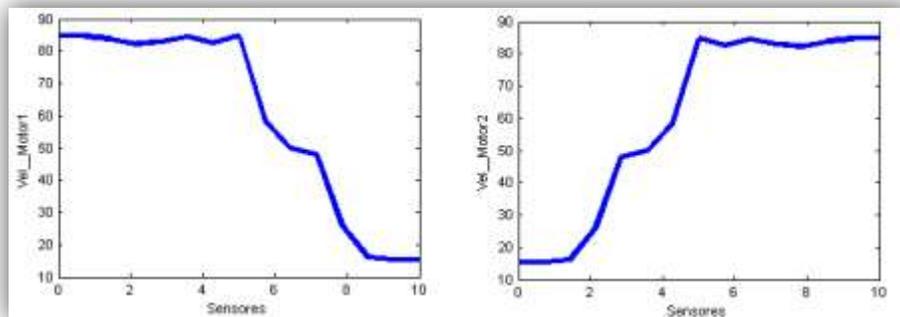
Regla 3: Si (Sensores es Izquierda) entonces (Vel\_Motor1 es Vel\_Alta) (Vel\_Motor2 es Vel\_Baja)

Regla 4: Si (Sensores es Derecha\_Centro) entonces (Vel\_Motor1 es Vel\_Media) (Vel\_Motor2 es Vel\_Alta)

Regla 5: Si (Sensores es Derecha) entonces (Vel\_Motor1 es Vel\_Baja) (Vel\_Motor2 es Vel\_Alta)

En la figura 5.5 se puede apreciar el comportamiento de las salidas con respecto a la entrada, donde se observa que las reglas planteadas anteriormente se cumplen ya que si la posición del robot determinada por los sensores QRD indica que no está en el centro, los dos motores generan velocidades diferentes tratando de posicionar el robot en el centro.

Figura 5.5: Salida vs Entrada controlador difuso Seguimiento de línea.



Fuente: Autores.

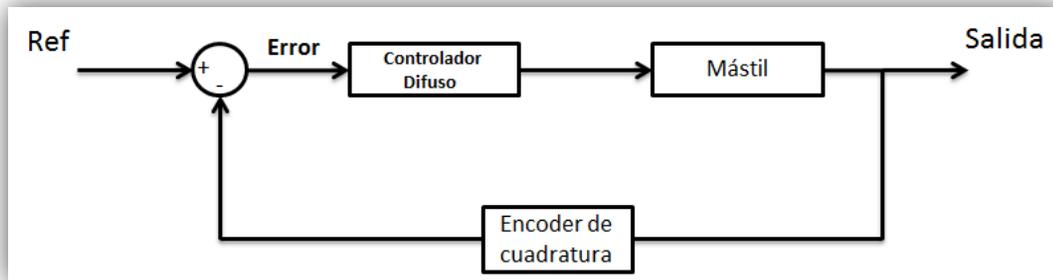
En el microcontrolador dsPIC30F4013 se programaron todas las reglas diseñadas dependiendo el estado de los sensores QRD, es decir, la única entrada que determina la posición del robot A.G.V.F y el valor de las salidas fue tomado de acuerdo al diseño del controlador difuso. En el anexo C Código del programa del dsPIC30F4013<sup>43</sup> se encuentra el código del programa diseñado para el microcontrolador, donde se utiliza el módulo PWM para manejar cada servomotor acoplado a las ruedas del robot montacargas.

## 5.2. CONTROLADOR PARA POSICIÓN VERTICAL DE LAS HORQUILLAS

<sup>43</sup> Anexo C Código del programa del dspic30f4013

Para controlar la posición vertical de las horquillas y la velocidad con la que se desplazan, se diseñó y programó un controlador difuso, simulado mediante la herramienta Fuzzy del software MATLAB. El controlador tiene una entrada que corresponde al error que se obtiene restando de la referencia la posición de las horquillas obtenida mediante el sensor encoder de cuadratura, y una salida correspondiente a la velocidad de giro del motoreductor encargado de posicionar verticalmente las horquillas del robot montacargas. En la imagen 5.6 se puede observar el diagrama de bloques.

Figura 5.6: Diagrama de Bloques.



Fuente: Autores.

El controlador consta de cuatro conjuntos difusos en la entrada como se observa en la figura 5.7, tres conjuntos trapezoidales y uno triangular, que hacen referencia a la posición de las horquillas, determinada por el valor del error como se observa en la tabla 5.2 en la que se asume que Ref es el valor de referencia constante. A partir de estos cuatro conjuntos difusos, se tienen tres velocidades diferentes de salida para controlar la posición vertical de las horquillas y velocidad del motoreductor, es decir, se tienen tres conjuntos difusos de salida.

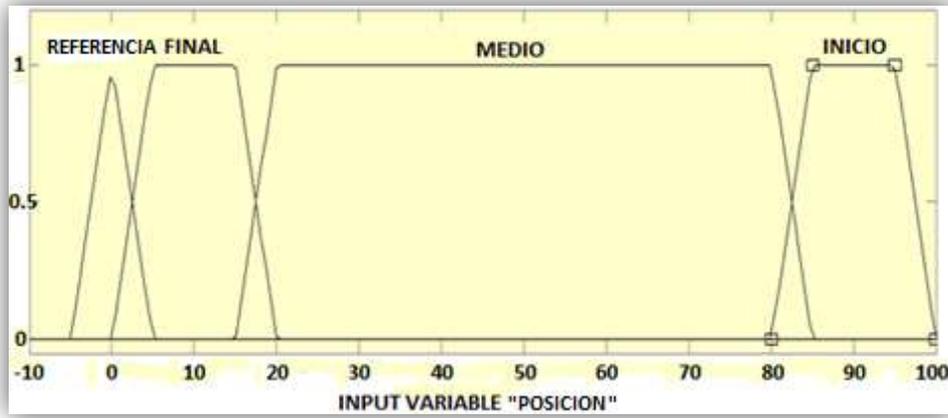
Tabla 5.2: Conjuntos Difusos de entrada según el valor del Error.

Conjunto Difuso	Error
Inicio	$Abs(Error) < Ref/5$
Medio	$Abs(Error) > Ref/5 \ \&\& \ Abs(Error) < 4*Ref/5$
Final	$Abs(Error) > 4*Ref/5$
Referencia	$Error = 0$

Fuente: Autores.

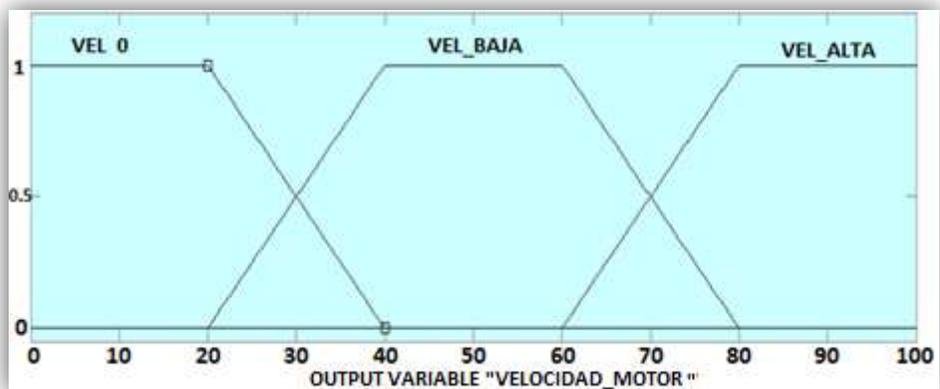
En la figura 5.8 se puede apreciar los tres conjuntos difusos de salida trapezoidales, que corresponden a las tres diferentes velocidades que puede tener el motoreductor para llegar a la referencia o posición deseada.

Figura 5.7: Conjuntos difusos de entrada controlador de posición vertical Horquillas.



Fuente: Autores.

Figura 5.8: Conjuntos difusos de salida controlador de posición vertical Horquillas.



Fuente: Autores.

Después de definir los conjuntos difusos, se proponen las cuatro reglas de relación entre las entradas y salidas como se observa a continuación:

Regla 1: Si (Error es Referencia) entonces (Motoreductor es Vel\_Cero)

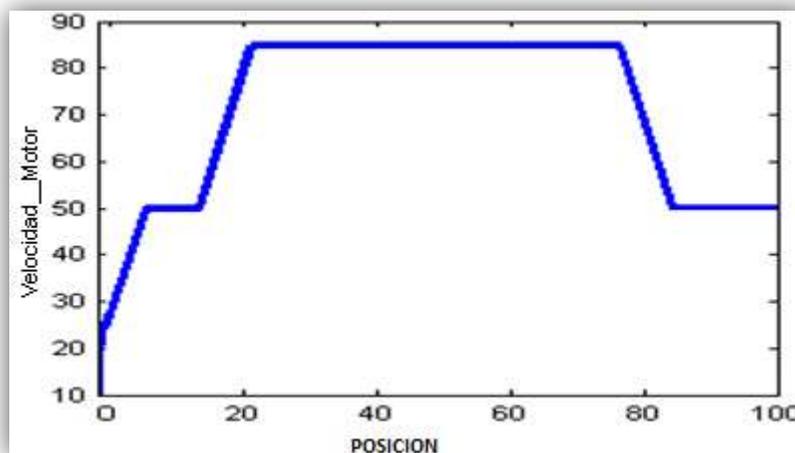
Regla 2: Si (Error es Inicio) entonces (Motoreductor es Vel\_Baja)

Regla 3: Si (Error es Medio) entonces (Motoreductor es Vel\_Alta)

Regla 4: Si (Error es Final) entonces (Motoreductor es Vel\_Baja)

En la figura 5.9 se puede apreciar el comportamiento de la salida con respecto a la entrada, donde se observa que las reglas planteadas anteriormente se cumplen. Cuando se provee una nueva referencia de posición vertical de las horquillas del robot montacargas, inicialmente el error es máximo, las horquillas se desplazan con velocidad baja y a medida que el error disminuye, la velocidad de movimiento se vuelve máxima; luego antes de que el error sea cero, la velocidad disminuye nuevamente hasta detener el motoreductor exactamente cuando las horquillas llegan a la posición de referencia. El controlador se diseñó con la característica de que en el momento de arrancar y detener el motoreductor, no se produjera un movimiento brusco que pueda averiar la carga.

Figura 5.9: Comportamiento salida controlador de posición vertical Horquillas.



Fuente: Autores.

En el microcontrolador dsPIC30F4013 se programaron las cuatro reglas establecidas en el diseño del controlador difuso. En el anexo C Código del programa del dsPIC30F4013<sup>44</sup> se encuentra el código del programa diseñado para el microcontrolador, donde se genera y modula el ancho de pulso de la señal PWM que controla la velocidad de giro del motoreductor que logra el desplazamiento vertical de las horquillas.

### 5.3. CONTROLADOR PARA EL MODULO RFID

En el proceso de identificación de las etiquetas electrónicas o reconocimiento de cajas, se ha implementado el módulo RFID. Este módulo puede tener dos estados, modo activo cuando se introduce un cero lógico por el pin /ENABLE del módulo, activando la antena para realizar la lectura de una etiqueta electrónica; y el modo pasivo cuando no se necesita leer ninguna etiqueta electrónica, introduciendo un uno lógico por el pin /ENABLE del módulo. Cuando el módulo RFID se encuentra

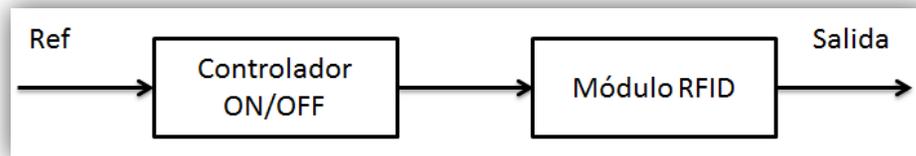
<sup>44</sup> Anexo C Código del programa del dspic30f4013

en estado o modo activo, la antena se encuentra transmitiendo para localizar etiquetas electrónicas a su alcance, por lo que el consumo de energía del módulo en este estado se incrementa enormemente, a diferencia del estado pasivo.

Se ha diseñado un controlador ON/OFF encargado de controlar el estado del módulo RFID, configurándolo en modo activo únicamente en el instante que se desea leer una etiqueta, luego de realizar la lectura de la etiqueta, el controlador configura el módulo RFID en estado pasivo, para reducir el consumo de energía y no exigir al módulo RFID.

Si es necesario realizar una lectura con el módulo RFID, el controlador configura el módulo en estado activo, y vuelve a configurarlo en estado pasivo, una vez realizada la lectura de la etiqueta, o pasado un determinado tiempo en caso que no se encuentre ninguna etiqueta dentro del rango de lectura del módulo. En la figura 5.10 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de control en lazo abierto ON/OFF.

Figura 5.10: Diagrama de bloques controlador ON/OFF para módulo RFID.



Fuente: Autores.

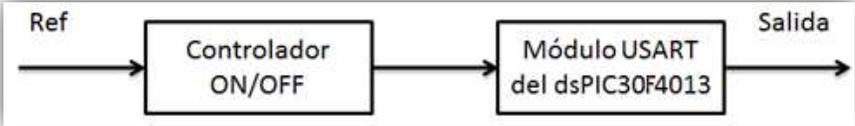
#### 5.4. CONTROLADOR DE COMUNICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El módulo XBEE y el módulo RFID deben establecer comunicación con el microcontrolador dsPIC30F4013, para poder realizar la lectura de etiquetas electrónicas y para comunicar inalámbricamente el robot montacargas con el computador de mando. Para esto se hace uso de los módulos USART del microcontrolador, pero existe el inconveniente, de que el microcontrolador solo permite establecer comunicación con uno de los dos módulos a la vez. Los módulos poseen diferentes velocidades de transmisión, el módulo XBEE de 9600 baudios mientras que el módulo RFID de 2400 baudios, por lo que se hace necesario configurar el módulo USART del microcontrolador con una velocidad de transmisión diferente cada vez que este se comunica con el otro módulo.

Para establecer la comunicación de los dos módulos XBEE y RFID con el microcontrolador, se ha diseñado y programado un controlador de dos estados o comúnmente conocido como controlador ON/OFF, donde los dos estados son las dos velocidades de transmisión de datos correspondientes a los módulos XBEE y RFID de 9600 y 2400 baudios respectivamente.

Cuando es necesario enviar o recibir datos inalámbricamente por el módulo XBEE, el controlador se encarga de configurar el módulo USART del dsPIC a una velocidad de transmisión de 9600 baudios y cuando es necesario realizar una lectura de una tarjeta o tag mediante el módulo RFID, el controlador configura el módulo USART del dsPIC a una velocidad de transmisión de 2400 baudios. En la figura 5.11 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de control en lazo abierto ON/OFF.

Figura 5.11: Diagrama de bloques controlador ON/OFF para comunicación.



Fuente: Autores.

## 6. DISEÑO DE SOFTWARE DEL A.G.V.F.

El software de la plataforma robótica se diseñó en lenguaje de programación de alto nivel C con el compilador CCS<sup>45</sup>, por su facilidad de uso y gran ventaja en cuanto a la cantidad de librerías de funciones predefinidas y comandos de preprocesado.

Durante el proceso de diseño, del software programado en el microcontrolador dsPIC30F4013, se decidió diseñar y programar funciones modulares que realizan tareas específicas del robot montacargas, como cambiar la posición de las horquillas del montacargas, recibir y almacenar datos por el módulo XBEE, girar el mástil del montacargas, entre otros. El objetivo de programar y emplear funciones en el firmware del microcontrolador, es facilitar el diseño y ordenar el código del programa. Además, si se desea reprogramar y cambiar la dinámica de la plataforma robótica en el futuro, con el uso de las funciones previamente programadas, se facilitará bastante la comprensión y programación del código.

### 6.1. DISEÑO DE FUNCIONES

A continuación se exponen las funciones más importantes, diseñadas para la realización de tareas específicas del robot montacargas, los recursos utilizados y configurados en cada función para lograr su programación en el microcontrolador, recursos como interrupciones, timers, módulos, entre otros.

#### 6.1.1. Función XBEE

La función XBEE retorna un dato que es recibido por el canal de recepción del módulo UART del microcontrolador, enviado en este caso de modo inalámbrico desde el módulo XBEE, el cual estará conectado a un computador, con una tasa de transmisión de 9600 baudios. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.1.

#### 6.1.2. Función Seguimiento de línea

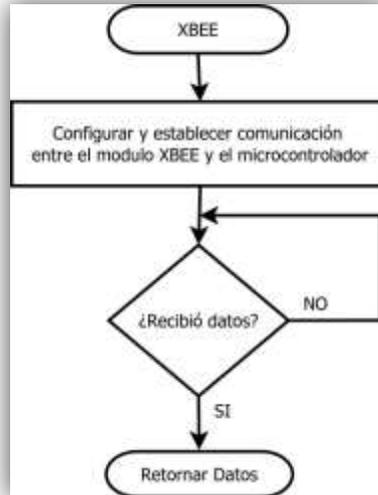
La función Seguimiento de Línea, genera dos señales PWM y controla sus anchos de pulso mediante el controlador difuso diseñado en el capítulo 5.1, para variar la velocidad de los dos servomotores que hacen girar las ruedas del montacargas. Esta función tiene un parámetro de entrada suministrado por el usuario, un número entero que indica el número de la señal de parada en la que el montacargas deberá detenerse. La trayectoria fija que sigue el robot posee diez señales de parada diferentes en las que el robot podrá detenerse, cada señal de parada corresponde a uno de los diez lugares donde se puede extraer o colocar cajas. Durante la ejecución de esta función se testea constantemente el estado de los sensores QRD, además se configuraron y programaron dos interrupciones

---

<sup>45</sup> GARCÍA, Eduardo, Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC (Primera Edición), Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México (2008).

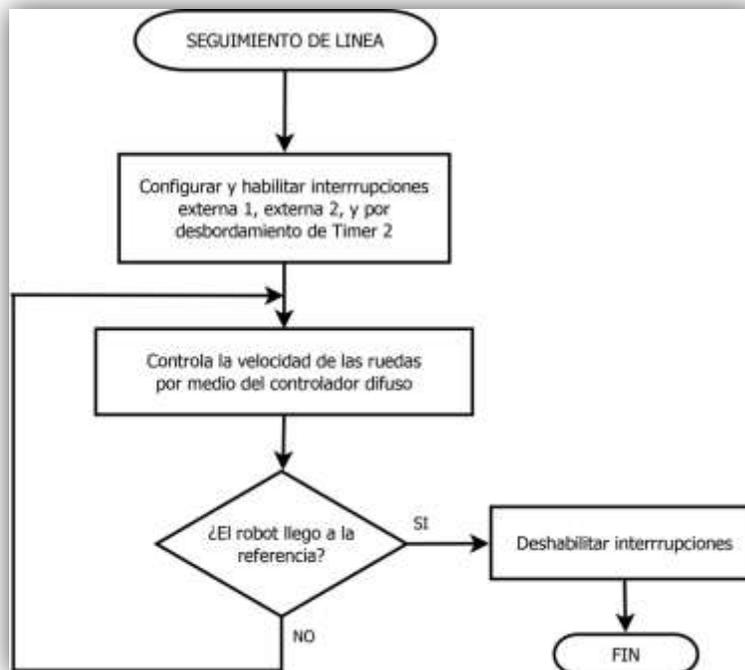
externas para dos sensores QRD que detectan las señales de parada en la pista, y una interrupción por desbordamiento de timer para generar las dos señales PWM. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.2.

Figura 6.1: Diagrama de flujo de la función XBEE.



Fuente: Autores.

Figura 6.2: Diagrama de flujo de la función Seguimiento de línea.

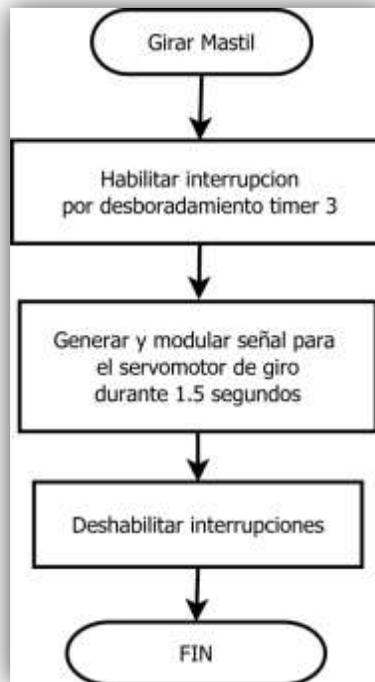


Fuente: Autores.

### 6.1.3. Función Girar Mástil

La función Girar Mástil, cambia la posición angular del mástil del robot A.G.V.F. Esta función tiene un parámetro de entrada un número entero que hace referencia a la posición angular a la que se desea llevar el mástil. Para realizar el movimiento angular del mástil, se genera una señal PWM que controla el servomotor de giro 180° que esta acoplado al mástil del montacargas, configurando y programando una interrupción por desbordamiento de timer. Para verificar que el mástil se posicione angularmente en la referencia no se implementó ningún sensor. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.3.

Figura 6.3: Diagrama de flujo de la función Girar Mástil.

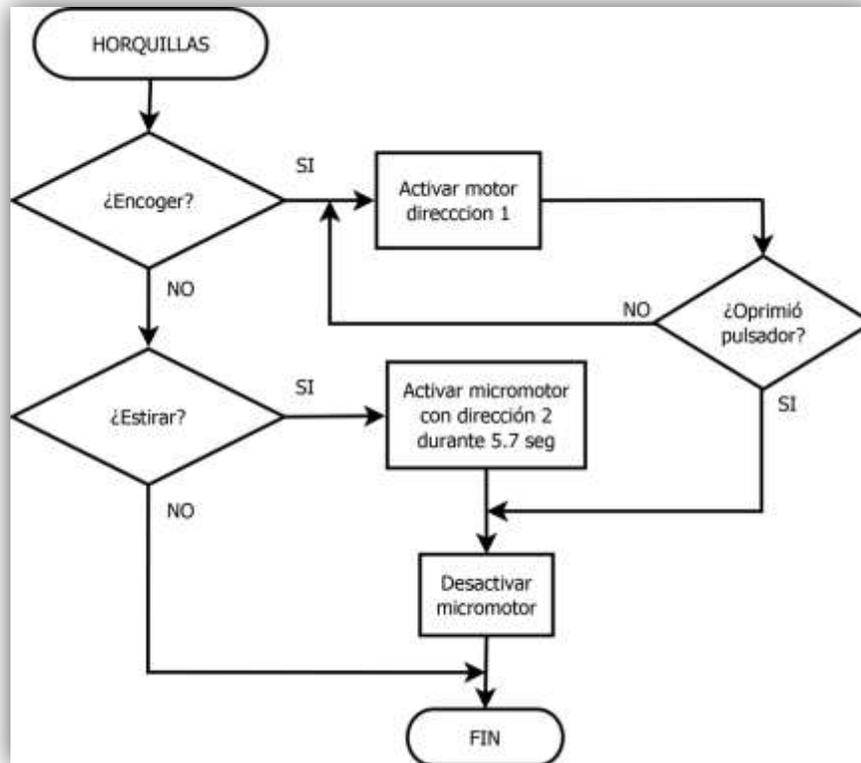


Fuente: Autores.

### 6.1.4. Función Horquillas

La función Horquillas, realiza la tarea de estirar o encoger las horquillas del robot montacargas, dependiendo de un parámetro de entrada de tipo entero que requiere esta función. Si el parámetro de entrada es igual al número uno, el micromotor va a girar en un sentido haciendo que las horquillas se estiren durante un tiempo de 5,7 segundos, y si el parámetro de entrada es igual al número cero, el micromotor va a girar en sentido opuesto haciendo que las horquillas se encojan hasta la posición en la que estas oprimen un botón pulsador (observar figura 3.9) indicando que ahora están totalmente encogidas, momento en el que se debe desactivar el micromotor. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.4.

Figura 6.4: Diagrama de flujo de la función Horquillas.

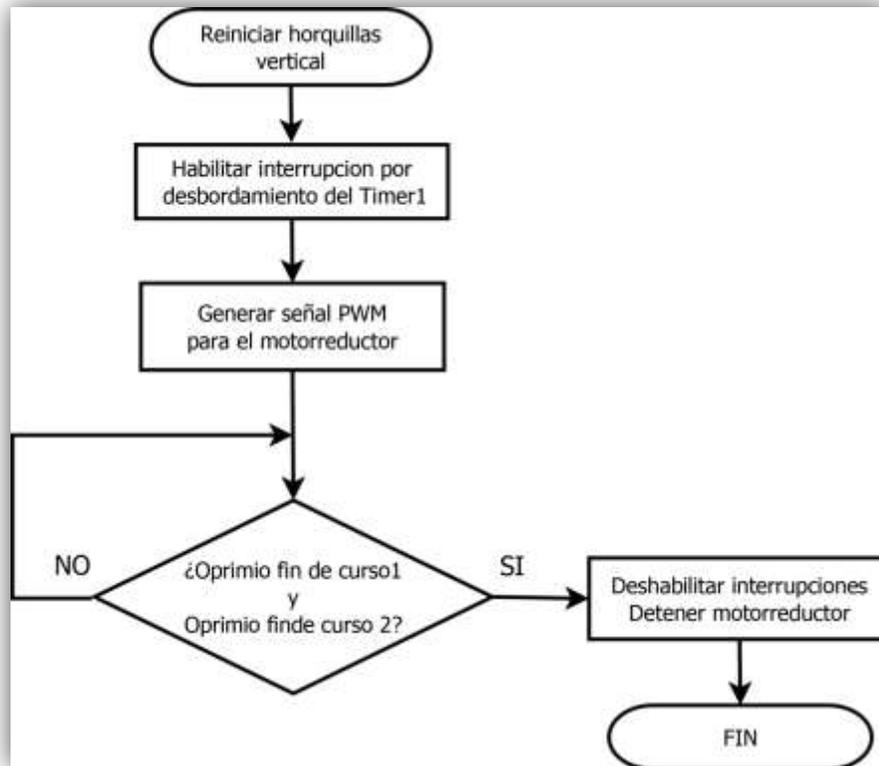


Fuente: Autores.

#### 6.1.5. Función Reiniciar horquillas vertical

Cuando el robot está apagado, las horquillas del montacargas, pueden quedar verticalmente en cualquier posición. Para obtener dicha posición en el instante en que el robot es encendido, fue necesario crear y programar la función Reiniciar horquillas vertical. Esta función genera una señal PWM con ancho de pulso constante, para activar el motoreductor en una sola dirección, haciendo que las horquillas del montacargas verticalmente descendan con velocidad constante, hasta el instante en que dos de las columnas del mástil presionen o activen los dos sensores fin de curso (observar figura 3.8) indicando que las horquillas han llegado a la posición cero. Esta función no tiene parámetros de entrada digitados por el usuario. Para generar la señal PWM se configuró y habilitó la interrupción por desbordamiento del Timer1 del microcontrolador. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.5.

Figura 6.5: Diagrama de flujo de la función Reiniciar horquillas vertical.

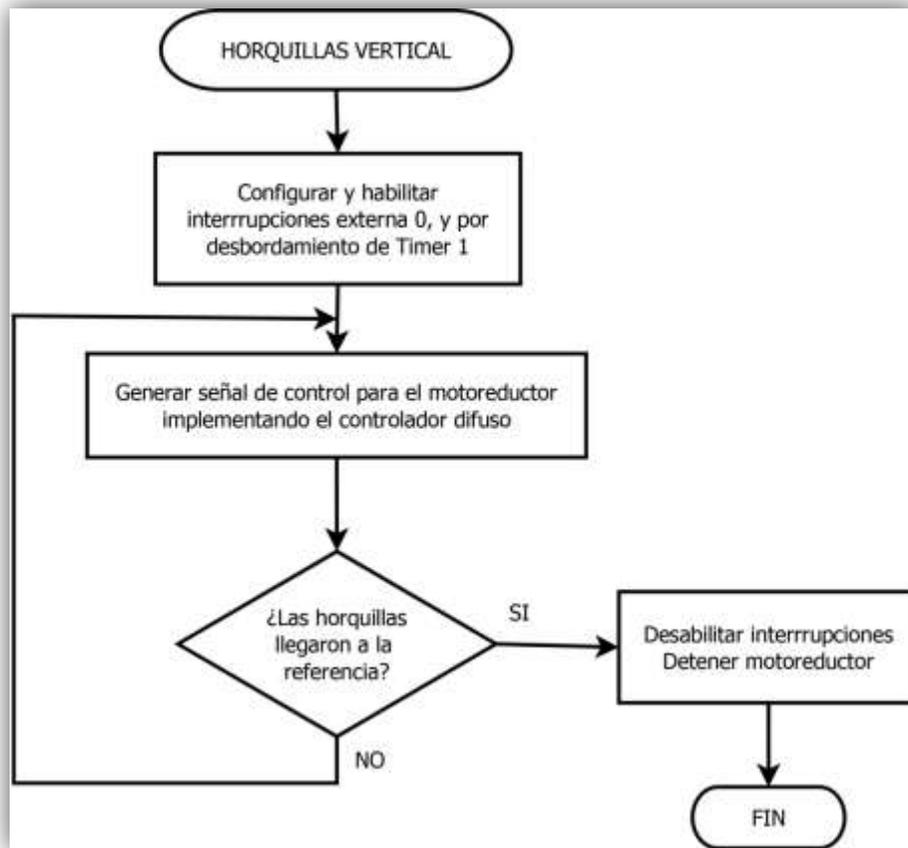


Fuente: Autores.

#### 6.1.6. Función Horquillas Vertical

La función Mover horquillas Vertical, se encarga de generar una señal PWM y variar su ancho de pulso mediante el controlador difuso diseñado en el capítulo 5.2, para controlar la posición vertical de las horquillas por medio del motorreductor que tiene incorporado el encoder de cuadratura. En el instante que se hace un llamado a esta función, se requiere un parámetro de entrada que corresponde a la referencia o posición vertical a la cual se desea llevar las horquillas. Este parámetro de entrada es el número de pulsos que registra el encoder de cuadratura desde la posición cero hasta la posición que se desea llevar las horquillas, la máxima altura vertical que puede tener las horquillas registra 4600 pulsos y la mínima cero pulsos. Durante la ejecución de esta función, se configura y programa una interrupción por desbordamiento del Timer 1 del microcontrolador, para generar la señal PWM que controla la posición del motor, y una interrupción externa que registra el conteo de pulsos del encoder de cuadratura (sensor). El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.6.

Figura 6.6: Diagrama de flujo de la función Horquillas vertical.

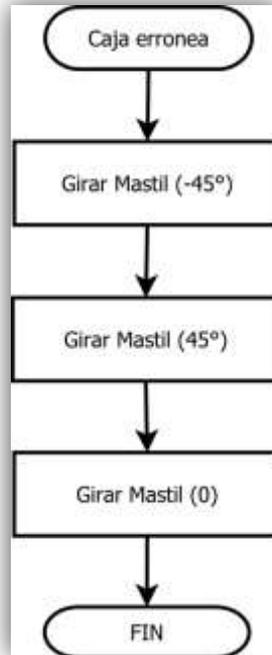


Fuente: Autores.

#### 6.1.7. Función Caja errónea

Cuando el robot montacargas trabaja en la modalidad estudiante, verifica si la caja que el estudiante elige es la correcta. En caso de que la caja no sea la correcta se hace un llamado a la función Caja Errónea, que se encarga de realizar tres movimientos angulares del mástil utilizando la función Girar Mástil tres veces, de forma que indica o señala que la caja no es la correcta. Se puede observar el diagrama de flujo de esta función en la figura 6.7

Figura 6.7: Diagrama de flujo de la función Caja errónea.



Fuente: Autores.

#### 6.1.8. Función Leer etiqueta RFID

El módulo RFID implementado en el robot montacargas tiene el objetivo de identificar las cargas o cajas de la plataforma robótica, donde cada una de las quince cajas contiene una etiqueta. Cuando el módulo RFID está en modo activo y detecta una etiqueta, esta transmite una cadena de doce caracteres ASCII, un byte de comienzo y uno de fin utilizados para garantizar la recepción correcta de un código válido (corresponden a un salto de línea 0x0A y un retorno de carro 0x0D respectivamente), y diez bytes correspondientes a la identidad de cada etiqueta. Para mayor información acerca del módulo RFID se puede revisar el datasheet en el apéndice<sup>46</sup>.

El programa grabado en el microcontrolador, se almacenaron los índices de las quince etiquetas utilizadas en la plataforma robótica en una matriz 15 x 12, donde cada fila de la matriz contiene los doce Bytes de identificación correspondientes a cada etiqueta. En el anexo 3<sup>47</sup> Se puede observar la matriz de índices almacenada en el programa.

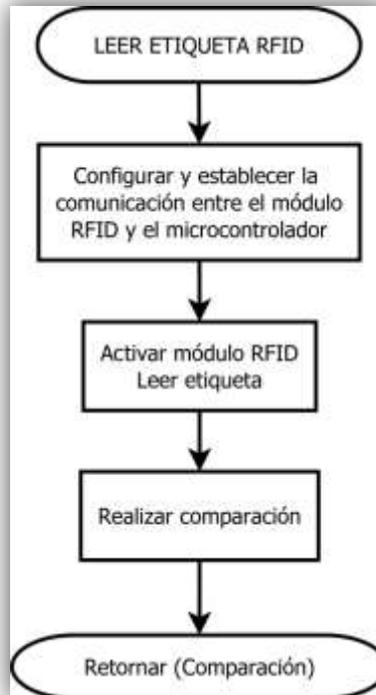
Es posible realizar la lectura de una etiqueta situada dentro de una caja, efectuada por el módulo RFID, mediante la función Leer etiqueta RFID, que inicialmente

<sup>46</sup> Apéndice datasheet Lector RFID

<sup>47</sup> Anexo C Matriz de etiquetas

configura y establece la comunicación entre el microcontrolador y el módulo RFID mediante el controlador ON/OFF diseñado en el capítulo 5.4. Por medio del controlador ON/OFF diseñado en el capítulo 5.3 se activa el módulo RFID, para realizar la lectura. Esta función requiere un parámetro de entrada que corresponde al número de fila de la matriz de índices donde se encuentra el índice de la etiqueta que se desea trasladar. Los primeros once Bytes del índice que se encuentra en dicha fila de la matriz de índices, es comparado con los primeros once Bytes obtenidos de la lectura que realiza el módulo RFID en ese momento, y la función retorna un valor o número que es igual al número de Bytes iguales entre la comparación. Si los dos índices son iguales, la función retorna el número once indicando que la etiqueta buscada, es la etiqueta correcta leído por el módulo RFID en ese momento. El diagrama de flujo de esta función se puede observar en la figura 6.8

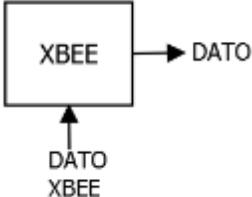
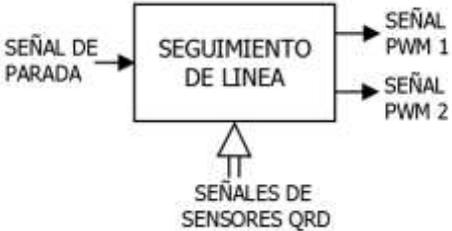
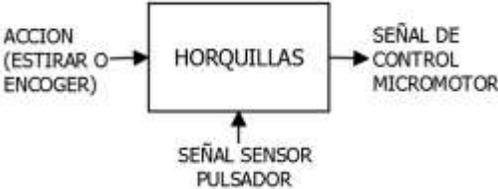
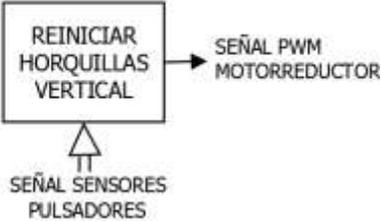
Figura 6.8: Diagrama de flujo de la función Leer etiqueta RFID.



Fuente: Autores.

En la tabla 6.1 se puede observar los parámetros de entrada y salida de cada función diseñada y programada en el microcontrolador dsPIC30F4013

Tabla 6.1: Parámetros de entrada y salida de las funciones diseñadas y programadas

FUNCIÓN	PARÁMETROS DE ENTRADA DEL USUARIO	PARÁMETROS DE ENTRADA SENSORES	PARÁMETROS DE SALIDA
		<p>Dato recibido por el módulo UART del microcontrolador.</p>	<p>Dato almacenado en una variable.</p>
	<p>Señal de parada del montacargas.</p>	<p>Señales de cinco sensores QRD.</p>	<p>Dos señales PWM para controlar la velocidad de dos servomotores.</p>
	<p>Posición angular a la que se desea llevar el mástil.</p>		<p>Señal PWM para controlar la posición del servomotor del mástil.</p>
	<p>Parámetro estirar o encoger las horquillas.</p>	<p>Señal del sensor pulsador.</p>	<p>Señal de control para el micromotor.</p>
		<p>Señal del sensor pulsador.</p>	<p>Señal PWM para el control de posición vertical del mástil (motoreductor)</p>

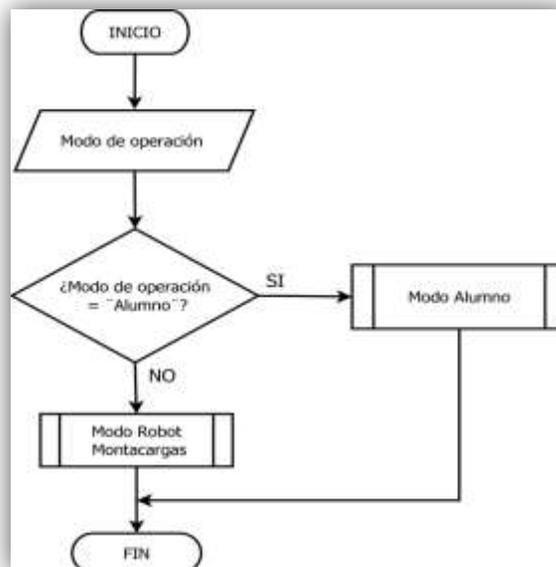
	Posición vertical a la que se desea llevar el mástil.	Señal del sensor encoder de cuadratura.	Señal PWM para el control de posición vertical del mástil (motoreductor)
	Número de fila de la matriz que contiene los índices de los tags.	índice del tag que detecta el módulo RFID	Numero de bytes iguales entre los dos índices. Si el valor que retorna es igual a 11, los identificativos son iguales

Fuente: Autores.

## 6.2. DIAGRAMAS DE FLUJO

El diagrama de flujo que describe el proceso que realiza el robot montacargas se puede observar en la figura 6.9. Inicialmente el Robot recibe un dato mediante el módulo XBEE, el tipo o modo de operación (estudiante o Robot montacargas). Los diagramas de flujo de las subrutinas modo robot montacargas y modo alumno, se pueden observar en las figuras 6.10 y 6.11 respectivamente.

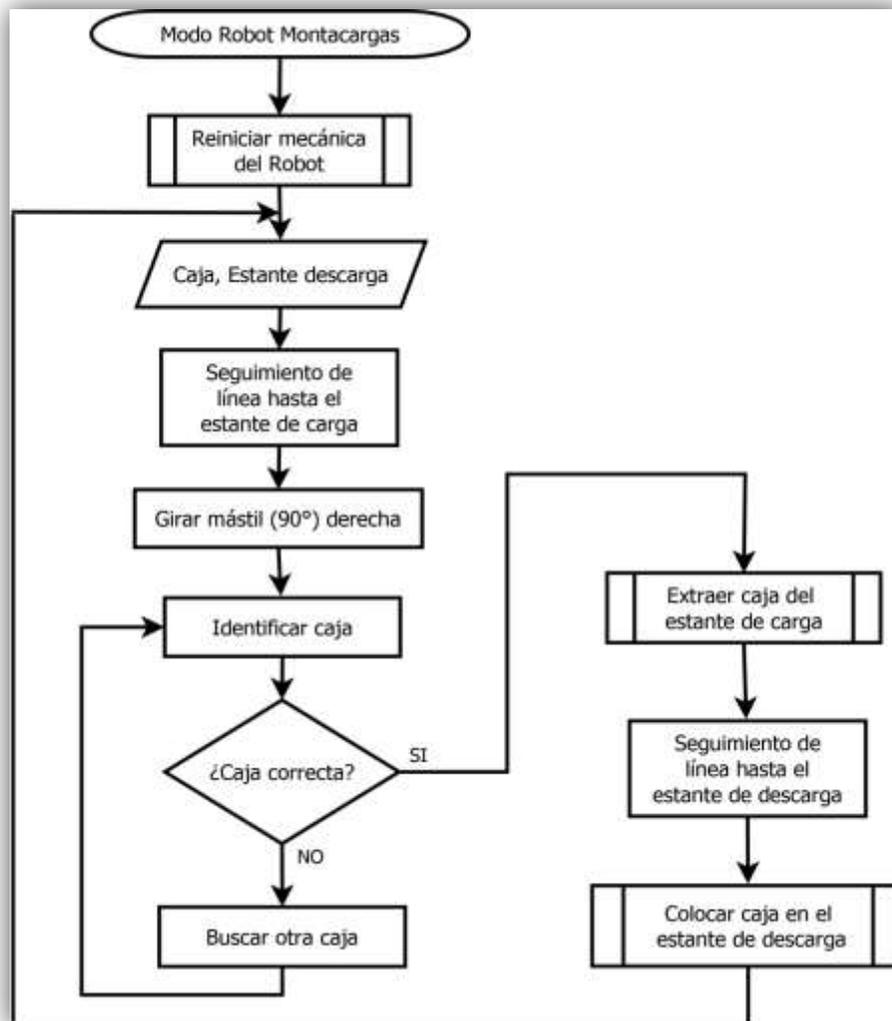
Figura 6.9: Diagrama de flujo operación robot montacargas.



Fuente: Autores.

El diagrama de flujo observado en la figura 6.10 describe la subrutina modo Robot Montacargas usando las funciones descritas anteriormente. Inicialmente el robot reinicia o lleva a la posición cero las horquillas y el mástil del montacargas (subproceso reiniciar mecánica del robot), luego recibe los datos de modo inalámbrico que contienen la información de la caja que debe encontrar y el número del estante de descarga donde debe situarla, después el robot se ubica junto al estante de carga para buscar la caja, una vez encontrada la caja, la extrae del estante y la lleva hasta el estante de descarga para dejarla. Los diagramas de flujo de las subrutinas, reiniciar mecánica del robot, extraer caja del estante y situar caja en el estante se puede observar en las figuras 6.12 y figura 6.13 respectivamente.

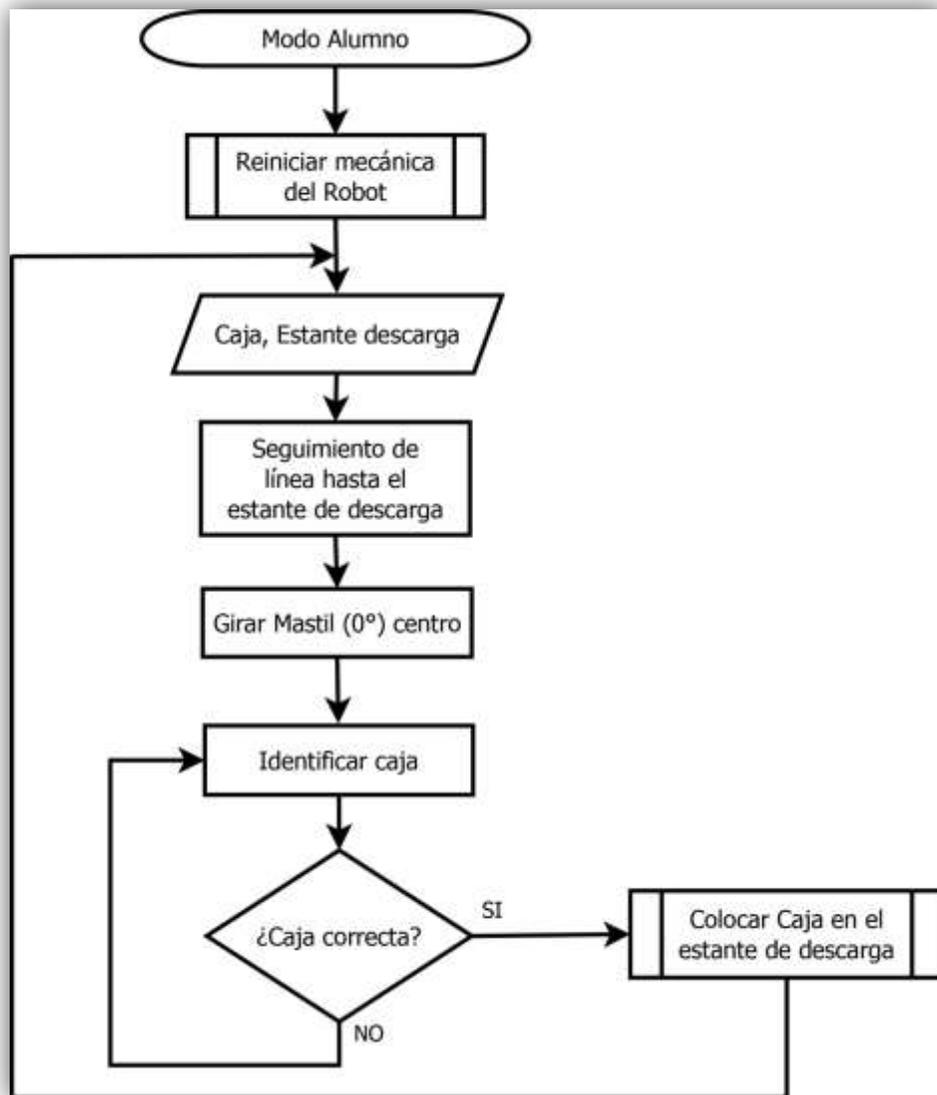
Figura 6.10: Diagrama de flujo de la subrutina *Proceso Montacargas*.



Fuente: Autores.

El diagrama de flujo observado en la figura 6.11 describe la subrutina modo Alumno usando las funciones descritas anteriormente. Inicialmente se reinicia o lleva a la posición cero el mástil y las horquillas del montacargas, luego se recibe los datos de modo inalámbrico, que contienen la información de la caja que debe entregar el alumno al robot y el estante donde deberá ser colocada, el robot se ubica junto al estante de descarga esperando que el alumno ubique la caja correcta sobre las horquillas, para luego colocarla en el estante de descarga.

Figura 6.11: Diagrama de flujo de la subrutina *Modo Alumno*.



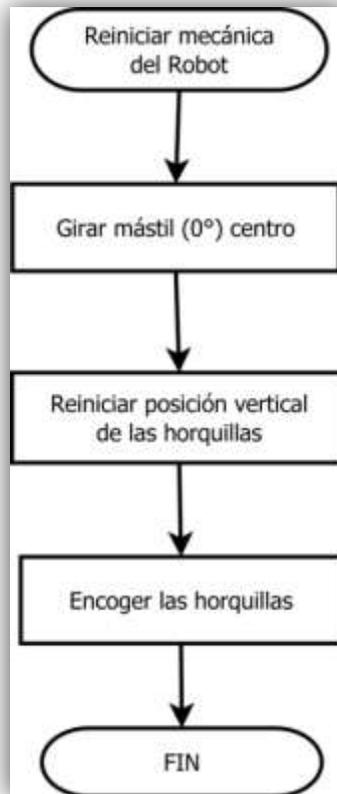
Fuente: Autores.

El diagrama de flujo de la subrutina, Reiniciar mecánica del Robot, planteado en la figura 6.12, expone las tres tareas que realiza el robot montacargas, reiniciando o

llevando a posición cero el mástil y las horquillas. Inicialmente se lleva el mástil a una posición angular de cero grados, se lleva la posición vertical de las horquillas a cero y por último se encogen las horquillas del montacargas.

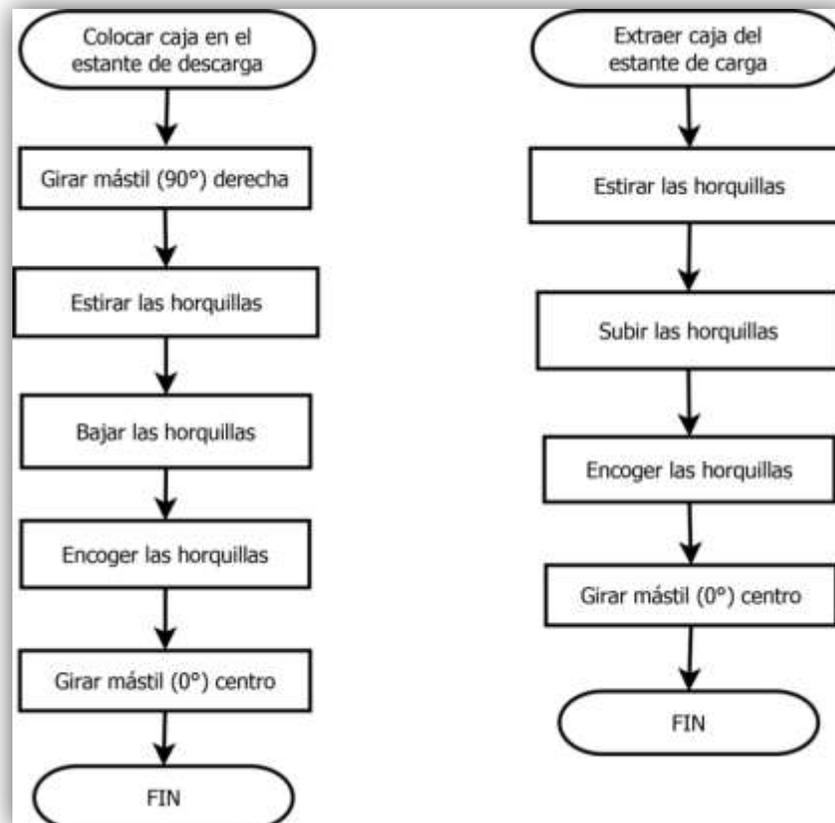
Los diagramas de flujo de la figura 6.13, muestran las tareas que realiza el robot montacargas para colocar y extraer una caja de un estante de la plataforma robótica, tareas como girar el mástil, bajar, subir, estirar o encoger las horquillas del montacargas.

Figura 6.12: Diagrama de flujo de la subrutina *Reiniciar mecánica del Robot*.



Fuente: Autores.

Figura 6.13: Diagramas de flujo de la subrutinas Situar caja en el estante y Extraer caja del estante.



Fuente: Autores.

## 7. SOFTWARE E INTERFAZ DEL USUARIO

Las diferentes tareas que se pueden asignar al robot montacargas como colocar las cajas en los estantes en un orden específico, son dictadas por un usuario (docente) que interactúa con este, por medio de un software diseñado para realizar la comunicación inalámbrica, entre un computador y el robot. Fue necesario diseñar este software, con un entorno agradable, legible y comprensible para facilitar el uso al usuario, por esta razón el software es diseñado y programado en lenguaje de programación Visual Basic .NET, utilizando el IDE (entorno de desarrollo integrado) Microsoft Visual Studio 2010, que incluye nuevas herramientas para crear innovadoras aplicaciones para Windows y provee un marco de desarrollo amigable con el lenguaje de programación Visual Basic .NET<sup>48</sup>.

### 7.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC .NET

Visual Basic .NET es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos basado en el “.NET framework”, Intenta crear un equilibrio entre confiabilidad, facilidad de uso y eficiencia en la definición del lenguaje<sup>49</sup> y posee características como:

- Su sintaxis y semántica son simples, sencillas y fáciles de comprender.
- Proporciona las principales características de .NET Framework.
- Facilita una sintaxis reducida, que permite especificar rápidamente la propiedad de una clase.
- Contiene varias herramientas que ahorran tiempo y líneas de código en el diseño de una aplicación.

.NET es un framework de Microsoft que proporciona la infraestructura para diseñar aplicaciones y su modelo de desarrollo basado en servicios. Flexibiliza y enriquece el modo en el que se construyen aplicaciones<sup>50</sup>.

### 7.2. DISEÑO APLICACIÓN O SOFTWARE DEL USUARIO

El software o interfaz del usuario se compone de varios formularios que contienen imágenes, botones, caja de listados, entre otros. A continuación se exponen cada uno de los formularios y la función que cumplen. Al iniciar el programa, se observa un formulario de presentación, figura 7.1. Oprimiendo el botón “CONTINUAR” se cierra el formulario actual y se muestra el siguiente formulario conexión Xbee (figura 7.2), en el cual se establece la comunicación, entre el software y el módulo

---

<sup>48</sup> PELLAND, Patrice. PARÉ, Pascal. & HAINES, Ken. Moving To Microsoft Visual Studio 2010. Editorial MPS Limited, a Macmillian Company, 2011.

<sup>49</sup> Liberty, J. (2002). Visual Basic .NET.

<sup>50</sup> Ibid.

XBEE, allí el usuario deberá seleccionar el puerto COM que corresponde al módulo XBEE.

Figura 7.1: Formulario de presentación.



Fuente: Autores.

Para lograr la comunicación entre el computador y el módulo XBEE, se testea cada segundo los puertos COM que están conectados al computador y se despliegan en un listado o listbox como se observa en la figura 7.2 (Formulario de conexión XBEE), se debe elegir el puerto COM que corresponde al módulo XBEE y oprimir el botón continuar que tiene la tarea de verificar que se puede abrir el puerto y luego pasar al siguiente formulario. Se ha utilizado el componente Serialport que representa un recurso de puerto serie para configurar parámetros de la comunicación como la tasa de baudios, bit de paridad, bits de datos entre otros.

Figura 7.2: Formulario Conexión XBEE.



Fuente: Autores.

En la figura 7.3 se puede observar el formulario principal del programa, donde se da la opción al usuario de elegir el tipo de cubos (vocales, números o colores) con los que desea realizar la actividad. Estos tres botones tienen programado cerrar el formulario actual y abrir otro formulario. También se da la opción al usuario de salir del programa presionando el botón “SALIR”.

Figura 7.3: Formulario Principal.



Fuente: Autores.

Si el usuario presiona el botón “VOCALES”, en el formulario principal, inmediatamente pasará a otro formulario llamado VOCALES, como el que se observa en la figura 7.4. Si presiona el botón “NÚMEROS”, pasará al formulario NÚMEROS, como el que se observa en la figura 7.5; Si presiona el botón “COLORES”, pasará al formulario COLORES, como el que se observa en la figura 7.6.

Los tres formularios (VOCALES, NÚMEROS o COLORES) observados en las figuras 7.4, 7.5 y 7.6, contienen cinco cajas de texto blancas, en las que se debe escribir vocales, números o el nombre de los colores dependiendo el formulario, cada caja de texto corresponde a una posición en el estante de descarga de la plataforma robótica. Por ejemplo, el estante 1 corresponde a la primera posición en el estante de descarga de la plataforma robótica y el estante 5 corresponde a la última posición.

Figura 7.4: Formulario VOCALES.



Fuente: Autores.

Figura 7.5: Formulario NÚMEROS.



Fuente: Autores.

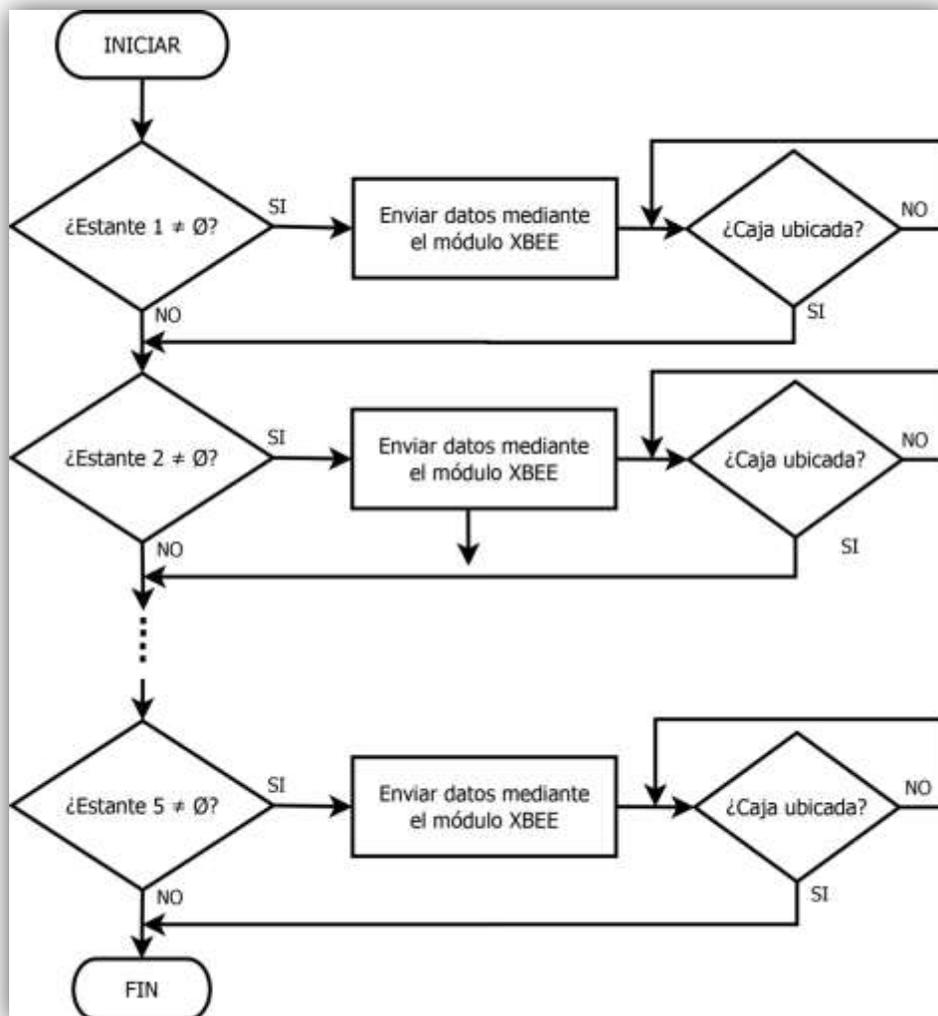
Figura 7.6: Formulario COLORES.



Fuente: Autores.

El diagrama de flujo del botón INICIAR se observa en la figura 7.7, al ser presionado este botón, se envía la información de la primer caja que el robot debe encontrar y la posición en el estante de descarga donde deberá colocarla. Esta información es enviada de modo inalámbrico mediante el módulo XBEE hacia la tarjeta de control del robot montacargas. Luego se espera hasta recibir un dato mediante el módulo XBEE enviado desde la unidad de control del robot, indicando que ya se ha colocado la primer caja para continuar y realizar el mismo procedimiento con las demás cajas que el usuario haya indicado, por medio del software, hasta situarlas todas en el estante de descarga.

Figura 7.7: Diagrama de flujo correspondiente al programa botón INICIAR.



Fuente: Autores.

Fue programado el evento KeyPress de todos los objetos cajas de texto donde el usuario debe ingresar, vocales o números. Este evento fue programado con la finalidad de limitar los caracteres ingresados, por ejemplo, si el usuario se encuentra en el formulario vocales, en las cajas de texto solo podrá ingresar vocales.

En los formularios VOCALES, NÚMEROS y COLORES presentados en las figuras 7.4, 7.5 y 7.6, se programó el evento DataReceived del objeto SerialPort para leer los datos que son enviados desde la tarjeta de control del robot montacargas hacia el software o interfaz del usuario.

En todos los formularios se agregó el componente MenuStrip para generar un menú desplegable en la parte superior izquierda de cada formulario, dando la opción al usuario de salir del programa o adquirir ayuda o información acerca del presente formulario para completar correctamente la actividad o tarea que desee asignar a la plataforma robótica.

Para observar el código programado de los eventos y componentes programados en el software, dirijase al anexo C, Código del software o interfaz del usuario<sup>51</sup>.

Para mayor información, acerca del software o interfaz del usuario dirijase al anexo A, manual de usuario robot didáctico<sup>52</sup>.

El instalador del software o interfaz del usuario se encuentra en el anexo E<sup>53</sup>.

---

<sup>51</sup> Anexo C Código del software o interfaz del usuario

<sup>52</sup> Anexo A Manual del usuario del Robot didáctico

<sup>53</sup> Anexo E Software o Interfaz del Usuario

## 8. APLICACIÓN DIDÁCTICA

Los problemas de aprendizaje que presenta una persona, pueden causar dificultades significativas en el acceso y uso de la lectura, escritura, razonamiento, habilidades matemáticas o sociales como lo expone Zainab y Sasikumar.<sup>54</sup> Teniendo en cuenta que los problemas de aprendizaje en una persona, son descubiertos en los primeros años de escolaridad, generalmente antes del ingreso al grado primero de primaria o en los primeros siete años de vida como lo expuesto por María Sierra<sup>55</sup>, se ha decidido realizar actividades didácticas implementando la plataforma robótica con niños estudiantes del grado preescolar, para determinar el impacto del prototipo como herramienta didáctica en el aprendizaje en los niños.

En el colegio Ecológico del Norte situado en la calle 43 No 10ª -10 en la ciudad de Sogamoso, se realizaron actividades didácticas el día 10 de Junio de 2014, implementando la plataforma robótica en dos cursos de grado preescolar con 15 y 17 niños en cada grupo, con el fin de validar la utilidad de la herramienta construida.

La actividad didáctica desarrollada en el colegio se dividió en tres fases, presentación, explicación y aplicación, durante la presentación se expusieron las características y componentes del kit didáctico a los estudiantes y docentes. En la explicación, se enseña e indica a los alumnos la forma cómo debían interactuar con el robot, mientras que al docente se le expone en forma breve el funcionamiento del software o interfaz del usuario como se observa en la figura 8.1.

Figura 8.1: Fotografías explicando a la docente y alumnos.



Fuente: Autores.

<sup>54</sup> PIRANI, Zainab. SASIKUMAR M, Assistive Learning Environment for Students with Learning Disabilities, 2012

<sup>55</sup> SIERRA, María. Problemas de Aprendizaje, Innovación Y Experiencias Educativas, 2010

Durante la tercera fase de la actividad (aplicación), el software o interfaz del usuario es usado únicamente por el docente que dirige al grupo de niños. Todos los estudiantes interactuaron con el robot, uno por uno eligen el cubo con la vocal, número o color indicado por el profesor, para entregarla al montacargas y verificar si la elección fue correcta. Si el alumno se equivocaba en la elección del cubo, tendrá la oportunidad de participar nuevamente hasta lograr la elección correcta del cubo.

Durante el desarrollo de las actividades, los estudiantes se mostraron muy entusiasmados por participar de forma activa. En las figuras 8.2 a 8.4 se observan algunas fotografías capturadas durante el desarrollo de las actividades didácticas en el colegio, y en el anexo D Fotos y videos Aplicación didáctica<sup>56</sup> se presenta fotografías y videos de la misma actividad.

Figura 8.2: Alumno revisando los cubos.



Fuente: Autores.

Figura 8.3: Alumno interactuando con el robot.



Fuente: Autores.

---

<sup>56</sup> Anexo D Fotos y videos Aplicación didáctica

Figura 8.4: Profesora y alumna participando.



Fuente: Autores.

Se llevó a cabo una entrevista guiada con las dos profesoras de la institución que dirigieron cada grupo de estudiantes, con el fin de analizar de forma cualitativa los resultados y el impacto del prototipo como herramienta didáctica. La entrevista guiada consta de cinco preguntas cerradas y una opinión acerca de la actividad desarrollada en el Colegio. Las preguntas que conforman la entrevista guiada son:

1. ¿Desarrollando actividades didácticas implementando la plataforma robótica o Robot Montacargas, se logra captar la atención de los estudiantes y fomentar su participación activa?
  - a. SI
  - b. NO
  
2. Si se empleara la plataforma robótica o Robot Montacargas en un grupo de niños para solucionar problemas de aprendizaje, ¿qué resultados cree usted que se obtendrían?
  - a. Malos resultados
  - b. Buenos resultados
  - c. Excelentes resultados
  
3. ¿Desarrollando actividades didácticas implementando la plataforma robótica o Robot Montacargas, se facilita el aprendizaje de conceptos, se estimula la memoria colectiva y se desarrollan habilidades como la creatividad, en un grupo de niños con problemas de aprendizaje?
  - a. SI
  - b. NO
  
4. ¿El software o interfaz del usuario es entendible y fácil de usar para manipular la plataforma robótica, por un profesor o una persona adulta?

- a. SI
- b. NO

5. ¿Un niño presta más atención y se ve más interesado a interactuar en el desarrollo de una actividad para aprender vocales, números o colores con ayuda de la plataforma robótica que con el método tradicional de enseñanza aplicado en la mayoría de los colegios?

- a. SI
- b. NO

De la entrevista guiada con cada una de las profesoras se han obtenido los siguientes resultados, en las preguntas número 1, 3, 4 y 5 el 100% de las respuestas fueron la opción a, y en la pregunta número 2 el 100% de las respuestas fueron la opción c, según las dos profesoras presentes durante la actividad didáctica, esta fue llamativa, dinámica y motivante para el aprendizaje de los niños. Ha sido notable la atención captada hacia el robot por los niños, y el interés mostrado por ellos, es bastante importante en la solución de problemas de aprendizaje.

En el anexo D Entrevista guiada<sup>57</sup> se puede observar la respuesta a cada pregunta de la entrevista guiada por cada profesora y la certificación del desarrollo de la actividad en el colegio Ecológico del Norte

---

<sup>57</sup> Anexo D Entrevista guiada

## 9. FINALIZACIÓN TRABAJO DE GRADO

### 9.1. CONCLUSIONES

Debido a la construcción del prototipo y el diseño de las tarjetas electrónicas de potencia y acondicionamiento, es posible adicionar al robot montacargas actuadores, sensores, o módulos, diferentes o iguales a los que contiene, con la finalidad de programar otras tareas o procedimientos diferentes, ofreciendo la posibilidad de implementar el prototipo en otras áreas de trabajo como las industriales.

El uso del lenguaje de programación C, para el desarrollo del software grabado en el microcontrolador, brinda grandes ventajas, como las funciones predefinidas y comandos de preprocesado, agilizando el diseño del programa en varios aspectos como el diseño y programación de funciones para cada subproceso, facilitando en gran parte la programación de las tareas desarrolladas por el robot montacargas, como extraer una caja del estante de carga y situarla en el estante de descarga, además se logró plantear el código del programa de forma ordenada y legible para el desarrollo de trabajos futuros.

Los controladores diseñados mediante lógica difusa generan los resultados esperados para el adecuado funcionamiento del robot; el controlador implementado para el seguimiento de línea, modifica la velocidad de las ruedas del robot de tal forma que éste siga su trayectoria fija, por otro lado, el controlador de posición vertical ubica acertadamente las horquillas en las referencias establecidas mediante movimientos suaves.

La implementación de convertidores DC-DC tipo buck step-down o reguladores de conmutación en el módulo de potencia, evitaron la presencia de señales de interferencia o ruido generado por los diferentes actuadores que obtienen su alimentación eléctrica del módulo de potencia.

Los resultados obtenidos con el prototipo referente a la mecánica del robot fueron satisfactorios, cumpliendo con el objetivo planteado, el montacargas tiene la capacidad de expandir el mástil en dos secciones y rotarlo 180°, extender las horquillas y levantar un peso máximo de 400 gramos. En cuanto al diseño y construcción de los circuitos para la integración y funcionamiento de los elementos del prototipo, se obtuvo buen funcionamiento de los tres módulos diseñados (módulo de potencia, módulo de acondicionamiento y módulo de acople), resultando además un sistema fácilmente programable e integrado en el conjunto mecánico.

Se logró desarrollar un software de calidad implementando las mejores herramientas y aprovechando las ventajas para la creación de aplicaciones que ofrece el entorno de programación Microsoft Visual Studio 2010.

En base a los resultados de la entrevista guiada a los docentes y la participación de los alumnos en la actividad didáctica en el Colegio Ecológico del Norte, se concluyó que implementar el prototipo en centros educativos apoya e incentiva el aprendizaje de los estudiantes.

El software fue utilizado de manera fácil y correcta por los docentes de la institución, garantizando que la interfaz de usuario presenta un entorno amigable, entendible, intuitivo y acorde al área de aplicación del proyecto, es decir la robótica didáctica.

## 9.2. LOGROS ALCANZADOS

Reconocimiento MERITORIO en el XV encuentro nacional y IX internacional de semilleros de investigación en calidad de ponentes como propuesta de investigación, realizado en Bucaramanga los días 11, 12, 13 y 14 de octubre del 2012.

Reconocimiento MERITORIO en el XVI encuentro nacional y X internacional de semilleros de investigación en calidad de ponentes como investigación en curso, realizado en montería los días 10, 11, 12 y 13 de octubre del 2013.

Stand de exposición en el III encuentro internacional y VII nacional en ingeniería de sistemas e informática realizado los días 3, 4 y 5 de octubre del 2012

Contribución con el desarrollo de la tarjeta electrónica para robótica cooperativa, del grupo de investigación en robótica y automatización industrial GIRA de la universidad pedagógica y tecnología de Colombia UPTC seccional Sogamoso.

## 9.3. TRABAJOS FUTUROS

El proyecto plataforma robótica multipropósito A.G.V.F. da la posibilidad de ser aplicado en diferentes entornos, por ejemplo en el área industrial, un robot montacargas que organice la mercancía en una bodega de una empresa; o como herramienta de apoyo para personas discapacitadas, entre otros.

Los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la UPTC tienen la posibilidad de explorar nuevos modelos y estrategias de control que puedan ser implementados y comprobados sobre el prototipo, además de reprogramar el cerebro del robot, asignando nuevas tareas a la plataforma robótica dependiendo el entorno o área elegida para su desarrollo.

Por la forma del diseño de las tarjetas electrónicas, en el robot montacargas es posible agregar o cambiar sensores o actuadores, es una ventaja que incrementa

las aplicaciones del prototipo, por ejemplo, el mástil del robot montacargas podría ser reemplazado por un brazo robótico compuesto por varios servomotores, dando la posibilidad de realizar tareas diferentes.

#### 9.4. RECOMENDACIONES

Antes de realizar actividades educativas o manipular el prototipo, se recomienda leer detalladamente el manual del usuario para conocer todas las partes de la plataforma robótica, la forma adecuada de usar el software o interfaz del usuario y las indicaciones y cuidados que se debe tener al usar el robot montacargas.

Es importante medir el voltaje de cada celda de la batería del robot luego de uno o dos días de uso, si el voltaje en una de las celdas es menor o igual a 3.5 Voltios la batería deberá ser recargada.

#### 9.5. COSTOS DEL PROYECTO

Tabla 9.1: Costos del proyecto

DESCRIPCIÓN	VALOR	FUENTE DE FINANCIACIÓN
PROTOTIPO		
Estructura Chasis y manipulador POLIURETANO	180.000	GIRA
Soporte Motoreductor y piñones	160.000	GIRA
Horquillas y soporte micromotor	100.000	Autores
Servomotores rotación continua X 2	120.000	GIRA
Servomotor estándar	40.000	GIRA
Micro motor	25.000	GIRA
Motor 12v con caja reductora y encoder	70.000	GIRA
Ruedas para servomotores	25.000	GIRA
Rueda omnidireccional X 2	32.000	GIRA
Sensor de contraste QRD1114 X 5	31.500	GIRA
Tag RFID X15	50.000	GIRA y Autores
Tarjeta RFID de parallax	160.000	GIRA
Tarjeta de control	400.000	GIRA
Módulos Xbee X 2	140.000	GIRA
Xbee Explorer	20.000	GIRA
Circuitos impresos (tarjeta de potencia, acoples, acondicionamiento y resetON/OFF)	120.000	Autores

Equipos de programación (pikit3 y computadores X2)	3.000.000	Autores
Componentes de construcción: tornillos, tuercas, arandelas, balineras, nailon, etc	200.000	Autores
Componentes electrónicos: cable, leds, resistencias, regletas, conectores, etc	150.000	Autores
Reguladores conmutados X3	60.000	GIRA
Pista en madera e impresa	70.000	Autores
Stand de carga y descarga balos pintado	30.000	Autores
Caja cuadradas pintadas e impresas con números y letras X 15	30.000	Autores
Batería Skylipo 22.2V 2200mAh	130.000	GIRA
Llantas para las ruedas	20.000	Autores
Herramientas(Bristol, llaves, destornillador, etc)	35.000	Autores
Subtotal	5'398.000	
	SERVICIOS DE CONSULTA	
Internet	100.000	Autores
Llamadas	50.000	Autores
Fotocopias	50.000	Autores
Transporte	150.000	Autores
Subtotal	350.000	
	SALARIOS	
Director	3'000.000	Universidad
Autores	8'000.000	Autores
Subtotal	10'000.000	
Total	15'618.000	

## REFERENCIAS

- 1 ALONSO, Antonio. El buen rumbo de los vehículos guiados, En: siglo XXI, España, 2008
- 2 BAÑON, Alberto. Análisis y diseño del control de posición de un robot Móvil con Tracción Diferencial, Universitat Rovira I Virgili, 2003
- 3 BARBER, Ramon. Tesis doctoral Desarrollo de una arquitectura para robots móviles autónomos, aplicación a un Sistema de navegación topológica. Universidad Carlos III de Madrid, Laganes 2000
- 4 BARREIROS, Antonio. PEÑIN, Luis. BALAGUER, Carlos. ARACIL, Rafael. Libro Fundamentos de robótica, universidad politécnica de Madrid, edi McGraw-Hill, primera edición 1997
- 5 BARRERA, Nelson. FERNÁNDEZ, Liliana. MESA, Ariel. PEREZ, Wilson. Engineering for kids by using affordable robots. Robotics and Automation Research Group GIRA, Electronics Engineering School, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.
- 6 BENITEZ, Ignacio. Automática y Electrónica Industrial, Shadow Robot Company , Junio 21 del 2012
- 7 BERMÚDEZ, Giovanni, Modelamiento cinemático y odométrico de robots Móviles, Tecnura, Roma, mayo 2003.
- 8 BROD Craig. Tecnoestres: The Human Cost of the Computer Revolution, 1984
- 9 Bryfors, Uno, et al. "Grúas inteligentes: Euromax, la moderna terminal automática de contenedores." Revista ABB 3. 2006
- 10 CANDELAS, Francisco. CORRALES, Juan, servomotores, universidad de alicante, grupo de automática, robótica y visión artificial, 09-2007
- 11 CARPIO, Jorge. SANCHIZ, José. Sistema industrial de múltiples vehículos autónomos guiados por láser. Universidad Jaume I Servicio De, 2006.
- 12 ECHEVERRÍA, Jaime. Libro tesis Desarrollo de un módulo de control y/o instrumentación multipropósito basado en Microcontroladores, universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, escuela de ingeniería electrónica, 2012
- 13 FABIANE B. VAVASSORI B. "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review". El sevier, Computers & Education. 9 de octubre 2011.
- 14 FERRUZ, Joaquín. Los AGV, Dpto. ing. Sistemas y Automática, ESI Sevilla. 2010
- 15 GARCÍA, Eduardo, Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC (Primera Edición), Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México (2008).
- 16 GARCÍA, Rafael. Tesis de maestría, Diseño y construcción de un robot móvil aplicando el método de campos potenciales en la evasión de obstáculos. Instituto politécnico nacional, México D.F. diciembre 2008
- 17 GÓMEZ, Beatriz. MENESES, Gustavo. Diseño de un vehículo guiado autónomo a partir de un trabajo interdisciplinario, Latin american and caribbean conference for engineering and tecnology, paper #159, panamá, julio 2012
- 18 HERNÁNDEZ, Libardo. BARRERA, Nelson. Libor tesis Actualización del prototipo robótico móvil orugado multipropósito todo terreno RAPTTER II, universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, escuela de ingeniería electrónica. 2011
- 19 Historia de Clark Material Handling, tomado de <http://clarkmhcr.com>, revisado Agosto 31 de 2012
- 20 History of Forklift, tomado de <http://forfliftruckinfo.com>, revisado Agosto 31 de 2012

- 21 HORST, Weinert. DIRK, Pensky. Mobile Robotics in education and student engineering, competitions, The falls resort and conference centre, livingtone Zambia, septiembre 2011
- 22 MUÑOS, Nelson. ANDRADE, Carlos. LONDOÑO, Nelson. Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación. Revista ingeniería y desarrollo, # 19. Universidad del Norte, abril 2006
- 23 MURUAGA, Leonardo. Seminario IA y R control de motores PWM con lógica difusa, universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires, mayo 2010
- 24 ODORICO, Arnaldo, La robótica desde una perspectiva pedagógica, revista de informática Educativa y medios audiovisuales, vol 2, 2005
- 25 ODORICO, Arnaldo. Marco teórico para una robótica pedagógica. Revista de informática educativa y medios audiovisuales. Vol 1. 2004
- 26 OLLERO, Aníbal. Robótica, manipuladores y robots móviles. Sevilla. Marcombo. 2001
- 27 PALACIN, J. MARCO, S. Aprendizaje de sensores y actuadores a través de la construcción de un robot móvil. VII congreso Universitario sobre innovación educativa, Huelva, septiembre 1999.
- 28 PALLEJA, T. TRESANCHEZ, D. FONT, M. TEIXIDO, J. Diseño y construcción de un robot móvil como herramienta docente en asignaturas de Electrónica. Universidad de Lleida, España
- 29 PAPERT S, "Mindstorms: children, computers and powerful ideas (2nd ed.). New York, NY: basic Books.
- 30 PELLAND, Patrice. PARÉ, Pascal. & HAINES, Ken. Moving To Microsoft Visual Studio 2010. Editorial MPS Limited, a Macmillian Company, 2011.
- 31 PINTO, María. BARRERA Nelson, PEREZ Wilson, Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza, 2010
- 32 PIRANI, Zainab. SASIKUMAR M, Assistive Learning Environment for Students with Learning Disabilities, 2012
- 33 REBAH, Ismail. Proyecto fin de carrera, Plataforma genérica para desarrollo con robots móviles, universidad autónoma de Madrid, diciembre 2009
- 34 RÍOS, Luis. BUENO, Maximiliano. Modelo matemático para un robot móvil, Scientia Et Technica, vol XIV, #38, Pereira Colombia, junio 2008
- 35 ROSAS, David. Diseño y construcción de un sistema de posicionamiento lineal, Universidad Autónoma de Baja California, México
- 36 RUIZ, Enrique. SÁNCHEZ, Velasco. La robótica pedagógica infantil Robots construidos por niños, IISUE- UNAM, México, 2008.
- 37 S. liawatimena, B, Felix. A, Nugraha. R, Evans. A mini forklift robot, computer engineering department, Bina Nusantara University, Jakarta Indonesia
- 38 SÁNCHEZ, Mónica. Ambientes de aprendizaje con robo totica Pedagógica. Universidad de los andes, Bogotá Colombia
- 39 SECCHI, Humberto. Sistemas Inteligentes, Seminario Vehículos Autoguiados, argentina 2011
- 40 SIERRA, María. Problemas de Aprendizaje, Innovación Y Experiencias Educativas, 2010
- 41 SPONG, Mark. HUTCHINSON, Seth. VIDYASAGAR, M. libro Robot Modeling and Control, primera edición, edi. JhonWiley&Sons, Inc.
- 42 TEJERA, Gonzalo. AGUIRRE, Andrés. ANDRADE, Federico. GINDEL, Pablo. Butiá: plataforma robótica genérica para la enseñanza de la informática. Congreso argentino de sistemas embebidos. UTN-FRBA, buenos aire, marzo 2011

- 43 Trillas, E., & Ríos, J. G. (Eds.). (1992). Aplicaciones de la lógica borrosa (Vol. 20). Editorial CSIC-CSIC Press.
- 44 VILLARREAL, Edwin. ARANGO, Daniel. MORENO, Leonardo. Prototipo para el control y ubicación de artículos en inventarios por medio de un carro grúa y RFID, Universidad Manuela Beltrán, prospect, vol 10, Colombia, junio 2012
- 45 Liberty, J. (2002). Visual Basic .NET
- 46 VIVET, M. et Nonnon. Actes du Premier Congres Francophone de Robotique Pédagogique, 1989.

## ANEXOS

### ANEXO A.

- Manual del usuario AGVF
- Manual del usuario del Robot didáctico
- Manual del usuario del módulo de control

### ANEXO B.

- Dimensiones del chasis y el manipulador
- Modelo del mástil
- Modelo del chasis
- Modelo del manipulador

### ANEXO C.

- Código del programa del dspic30f4013
- Matriz de etiquetas
- Código del Software o Interfaz del Usuario

### ANEXO D.

- Fotos y videos aplicación didáctica
- Entrevista guiada

## APÉNDICES

### APENDICE A. HOJAS DE ESPECIFICACIONES

- Compuerta lógica 74LS14
- Motor faulhaber 012CR
- Puente H L293D
- Lector RFID
- Micromotor 50a1
- Sensor QRD1114
- Regulador LM2576D2T
- RFID-Reader-v1.1
- Servomotor HS-311
- Servomotor HSR1425CR
- XBee

### APENDICE B. DsPIC30F4013

- Manual de referencia de microchip de dsPIC30F
- c30\_users\_guide
- dsPIC30F4013 Family Reference Manual
- dsPIC30F4013-Data Sheet
- dsPIC30F4013-Getting Started
- dsPIC30F4013-Programmers Reference Manual

### APENDICE C.

- Encoders
- Manual Batería de Litio
- Reguladores Conmutados
- XBee-Guia Usuario