

SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMATIZADO DE LEVANTAMIENTO Y  
TRANSPORTE DE CANASTILLAS

MIGUEL FELIPE ORJUELA GARZÓN

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ D.C.  
2018

SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMATIZADO DE LEVANTAMIENTO Y  
TRANSPORTE DE CANASTILLAS

MIGUEL FELIPE ORJUELA GARZÓN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico y de  
Telecomunicaciones

Director  
JOSE ROBERTO CUARAN VALENZUELA  
Ingeniero Electrónico, MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2018



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, Noviembre de 2018

## PAGINA DEDICATORIA

*Esta tesis está dedicada a mi familia ya que gracias a ellos soy lo que soy, a mis papás por ese gran apoyo, comprensión, consejos y más valiosa ayuda en momentos más difíciles de mi carrera, además de ayudarme con los recursos necesarios para estar donde lo estoy ahora, me dieron todos los valores que hoy conforman mi persona, mis principios, mi carácter, desempeño y perseverancia para tener el coraje suficiente para alcanzar mis objetivos.*

*A mi hermana por ser ese maravilloso ejemplo a seguir con su perseverancia y empeño que he aprendido, sé que lograre mis objetivos.*

*Gracias también a mis amigos y compañeros, especialmente Erika que me apoya y me permite poder seguir soñando, mi amigo y compañero de trabajo Beto quien me ayudo con los diseños de mi trabajo de grado y en general mis amigos quienes no me dejan desfallecer en las peores circunstancias de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios por guiarme en ese paso a paso para la culminación de este proyecto el cual es el resultado del esfuerzo de una ardua investigación que me llevo a un resultado final esperado.

Agradezco a mis docentes José Roberto Cuarán y Daniel Ávila, quienes manifestaron su interés en dirigir mi trabajo de grado, por su confianza, colaboración, entrega y apoyo en el proceso de realizar este proyecto.

A todos los docentes y personas de la Universidad Católica de Colombia que dentro del transcurrir de mi carrera me brindaron sus conocimientos dentro y fuera de clase, haciendo posible que mi formación profesional proyectara como resultado final satisfacciones académicas.

A mi familia quienes han sido mi mayor motivación para nunca desfallecer y lograr mi objetivo, especialmente por apoyarme y colaborar en cada decisión tomada de mi vida, su soporte constante y su interés de ayudarme día tras día me hacen ser mejor persona y grande profesional.

Para finalizar y no menos importante a mis amigos, compañeros y colegas que me acompañaron durante estos años de estudios, brindando su conocimiento, la mejor de su energía y empeño por el bien de mi formación personal y profesional, a quienes compartieron su confianza, tiempo y los mejores momentos que vivimos durante esta etapa como estudiantes de pregrado “Mi recompensa se encentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
4 OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5 JUSTIFICACION	19
6 ANTECEDENTES	20
7 MARCO TEÓRICO	25
<b>7.1 MANIPULACION DE MATERIALES</b>	<b>25</b>
7.1.1 tolva para granos. E	25
7.1.2 Estibas de madera	26
7.1.3 Estibas plásticas	26
<b>7.2 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA CON ESCOBILLAS</b>	<b>27</b>
7.2.1 Tipos de motores de corriente directa	27
7.2.1.1 Motor Serie.	27
7.2.1.2 Motor en paralelo.	28
7.2.1.3 Motor Compound.	29
7.2.1.4 Motor de excitación independiente	30
7.2.2 Criterios para la selección de motores	31
<b>7.3 BATERIAS</b>	<b>33</b>
7.3.1 Acción electroquímica de la batería	33
7.3.2 carga y descarga	33
7.3.3 Densidad específica:	34
<b>7.4 CANASTILLAS PLASTICAS</b>	<b>34</b>
7.4.1 Clases de canastillas	34
<b>7.5 MONTACARGAS</b>	<b>35</b>
8 METODOLOGÍA	37
<b>8.1 RECOPIACION DE INFORMACION</b>	<b>37</b>
<b>8.2 DISEÑO</b>	<b>37</b>

	<b>8.3 IMPLEMENTACION</b>	<b>37</b>
	<b>8.4 PRUEBAS</b>	<b>38</b>
9	<b>DISEÑO</b>	<b>39</b>
	<b>9.1 DISEÑO MECANICO</b>	<b>39</b>
	<b>9.1.1 Diseño del sistema de tracción</b>	<b>39</b>
	<b>9.1.1.1 Cálculo de potencia y torque de motores para el transporte de carga</b>	<b>41</b>
	<b>9.1.1.2 Referencias comerciales de motores</b>	<b>42</b>
	<b>9.1.2. Diseño del sistema de levantamiento de carga</b>	<b>43</b>
	<b>9.1.2.1 Cálculo de potencia y torque del motor para el levantamiento de carga</b>	<b>46</b>
	<b>9.2 DISEÑO ELECTRÓNICO</b>	<b>47</b>
	<b>9.2.1 Diseño del mando inalámbrico:</b>	<b>47</b>
	<b>9.2.2 Diseño del sistema de control.</b>	<b>49</b>
	<b>9.2.2.1 Referencias comerciales de Microcontroladores</b>	<b>49</b>
	<b>9.2.2.2 Diseño de la PCB.</b>	<b>52</b>
	<b>9.2.3 Diseño etapa de potencia</b>	<b>53</b>
	<b>9.2.3.1 Cálculo de los driver para los motores</b>	<b>55</b>
10	<b>IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>59</b>
	<b>10.1 IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DEL PROTOTIPO.</b>	<b>59</b>
	<b>10.1.1 Mecanismo de tracción</b>	<b>59</b>
	<b>10.2.1 Sistema de mando inalámbrico</b>	<b>63</b>
	<b>11.2.2 Etapa de potencia</b>	<b>64</b>
	<b>10.2.3 Impresión PCB</b>	<b>65</b>
11	<b>PRUEBAS DEL PROTOTIPO</b>	<b>67</b>
	<b>11.1 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO.</b>	<b>67</b>
	<b>11.1.1 Pruebas del mecanismo de tracción del dispositivo</b>	<b>67</b>
	<b>11.1.2 Pruebas del mecanismo de levantamiento del dispositivo</b>	<b>68</b>
	<b>11.2 PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO</b>	<b>70</b>
	<b>11.2.1 Pruebas del sistema de mando inalámbrico:</b>	<b>70</b>
	<b>11.2.2 Pruebas del sistema de potencia</b>	<b>71</b>
12	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
13	<b>RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>73</b>

14	BIBLIOGRAFÍA	74
15	ANEXOS	76

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Densidad especifica de la batería .....	34
Tabla 2: Motores por seleccionar.....	43
Tabla 3: Microcontroladores por seleccionar. ....	50
Tabla 4: Puente H por seleccionar.....	56
Tabla 5: Componentes en funcionalidad.....	71
Tabla 6: Módulos de potencia en funcionalidad.....	71

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Recipiente para materiales sueltos .....	25
Figura 2. Estiba de madera.....	26
Figura 3. Estiba plástica.....	26
Figura 4. Motor Serie .....	28
Figura 5: Motor serie.....	28
Figura 6: Motor en paralelo.....	29
Figura 7: Motor paralelo.....	29
Figura 8: Motor Compound .....	30
Figura 9: Motor Compound .....	30
Figura 10: Motor de excitación independiente .....	31
Figura 11: Motor de excitación independiente .....	31
Figura 12: Diagrama de cuerpo libre.....	32
Figura 13: Diagrama de cuerpo libre de la rueda.....	33
Figura 14: Canastillas plásticas .....	35
Figura 15: Montacargas .....	36
Figura 16: Diseño, planos y medidas del chasis acondicionado.....	40
Figura 17: llantas de goma industriales .....	41
Figura 18: Motor DC marca Nissan.....	43
Figura 19: Diseño, planos y medidas del chasis.....	44
Figura 20: Varilla roscada y tuerca de 1"NC.....	44
Figura 21: Base de rodamientos del levantamiento de carga .....	45
Figura 22: Diseño frontal del sistema de levantamiento de carga.....	46
Figura 23: Diseño electrónico general .....	47
Figura 24: Diagrama de comunicación .....	48
Figura 25: Módulos de RF 4 canales control remoto PT2262/272 a 315MHz.....	48
Figura 26: Modulo de comunicación RF APDC-2PC-B.....	49
Figura 27: Microcontrolador 16f873 .....	50
Figura 28: Diagrama de flujo del sistema de control .....	51
Figura 29. Diagrama circuital .....	52
Figura 30: Diseño PCB .....	53
Figura 31: Diagrama de conexiones de drivers de potencia para tracción .....	54
Figura 32: Diagrama de conexiones del sistema de potencia de levantamiento de carga.....	55
Figura 33: Drivers de potencia Puente H BTS7960 de 43 amperios.....	57
Figura 34: Regulador de voltaje 12V a 5V con referencia LM2596 DC-DC. ....	57
Figura 35: Batería 12 VDC 48-850.....	58
Figura 36: Prototipo mecánico desechado.....	59
Figura 37: Sistema de tracción del prototipo en dos ruedas traseras. ....	60
Figura 38: Sistema de tracción delantera .....	60
Figura 39: Mecanismo de levantamiento de carga .....	61
Figura 40: Porta horquillas.....	62
Figura 41: Horquillas.....	62
Figura 42: Mando inalámbrico RF.....	63

Figura 43: Costado posterior del mando.....	64
Figura 44: Etapa de potencia.....	65
Figura 45: Tarjeta PCB.....	66
Figura 46: Ruedas giratorias implementadas.....	67
Figura 47: Mecanismo de tracción fallido.....	68
Figura 48: Engranaje del mecanismo de levantamiento de carga.....	69
Figura 49: Prototipo funcional vista frontal.....	69
Figura 50: Prototipo funcional, vista lateral.....	70

## LISTADO DE ANEXOS

Anexo A Motores adecuados a los engranajes para tracción .....	76
Anexo B Implementación del sistema de tracción trasera .....	76
Anexo C. Tracción trasera .....	77
Anexo D. Código del microcontrolador .....	78
Anexo E. Implementación de módulos y carcasa del mando inalámbrico .....	79
Anexo F. Panel de control.....	79
Anexo G. Prototipo terminado vista trasera .....	80
Anexo H. Prototipo, vista frontal.....	80
Anexo I. Ficha técnica del puente H BTS7960 .....	81
Anexo J. Ficha técnica del regulador LM2596 .....	82
Anexo K. Ficha técnica del PIC16F873 .....	83

## **GLOSARIO**

**AUTOMATIZACION:** es el uso de sistemas o elementos computarizados que sirven para controlar maquinas o procesos industriales

**ENGRANAJE:** es utilizado en mayor parte por la mecánica y refiere lo que realizan las piezas dentadas cuando encajan entre sí.

**MONTACARGAS:** es un aparato destinado a recoger, levantar y transportar mercancías.

**TRACCIÓN:** acto y consecuencia de tirar de una cosa con el objetivo que se mueva o se desplace.

## RESUMEN

El documento detalla el proceso investigativo que conllevó al problema del transporte de carga en las ciudades como Bogotá ya que este proceso está asociado a una alta incidencia de alteraciones que afectan directamente la salud, ya que esta actividad del levantamiento y transporte de carga en Colombia ha sido de manera artesanal, empleando personas para la realización de dichas tareas, generando en estos empleados problemas frecuentes como los espasmos y dolores lumbares.

La elaboración del prototipo partió del hecho de tener que levantar el peso que promedia una canastilla plástica, tomando las dimensiones de la misma y partiendo de allí, se realizó el diseño de un chasis que cumple las características de levantar y transportar el peso determinado de la canastilla, para ello se usaron motores y llantas como medio de tracción y tomando como base las partes de un montacargas de gasolina el diseño del mecanismo de levantamiento de carga; y para facilitar el proceso de transporte, se diseñó un circuito de control electrónico por radio frecuencia que ejerce control sobre todo el dispositivo, usando como interacción con el usuario un control remoto en forma de joystick.

Durante la fase de diseño se solucionaron diferentes complicaciones a nivel mecánico y electrónico partiendo de los 60Kg que será capaz de soportar el prototipo y el cálculo del torque necesario por cada motor para poder mover este peso de un lugar a otro así como también el levantamiento del peso desde el suelo hasta una distancia considerable del suelo para poder transportar el peso, además de los diseños electrónicos de radio frecuencia y de potencia implementados.

El dispositivo que en su diseño tuvo diferentes problemas posteriormente resueltos, tuvo como principal resultado que si puede levantar y transportar el peso requerido pero exige mucha potencia en el motor DC implementado, entonces para poder evitar un esfuerzo mayor se determinó que el prototipo si levanta y transporta los 60Kg pero se recomienda que su operación este entre los 0 y los 40Kg de peso en las canastillas que está dispuesto a transportar.

El mando de radiofrecuencia que se uso tuvo conflictos en la banda de los 315 MHz para el levantamiento de carga, por esta razón se debió usar otra banda de frecuencias para poder realizar las actividades de transporte y levantamiento de carga, principalmente se demostró que el hecho de transportar carga de manera autónoma si es posible gracias a la ingeniería para facilitar la vida a la comunidad.

### **PALABRAS CLAVES**

Electrónica, Mecánica, Montacargas, Potencia, Radiofrecuencia

## INTRODUCCIÓN

El levantamiento y transporte de carga en Colombia se hace de manera artesanal usando animales como burros o caballos, a nivel industrial se asocia a que este tipo de movimientos los realizan empleados exponiéndose a una alta probabilidad de sufrir lesiones lumbares, espasmos o afecciones a la columna al tener que levantar y transportar cargamentos de un lugar a otro usando canastillas plásticas de tipo industrial.

Para el desarrollo del proyecto de grado se toman en cuenta los procesos técnicos y productos en el área de ingeniería electrónica que permitan la articulación de la mecánica y la electrónica para dar solución al problema en zonas en las cuales se necesita poder transportar canastillas ya sea con frutas, verduras o materiales más industriales como troncos, metales o aparatos que representan un desgaste físico.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesaria la integración de estas dos áreas del conocimiento se dio una solución tecnológica que ayuda a suplir esta necesidad mediante el robot Montacargas Automático que ayuda a la industrialización de este tipo de procesos que son rudimentarios, este montacargas es totalmente eléctrico y electrónico que no emite gases contaminantes al medio ambiente usando motores DC para su movilidad y un mando inalámbrico usando las bandas de radiofrecuencias del espectro radioeléctrico permitido por el ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Colombia para el uso del sistema de radiofrecuencia incorporado.

El montacargas automático implementado es capaz de levantar y transportar canastillas plásticas que contengan cualquier tipo de objetos y que tengan el equivalente a 60Kg de peso como máximo, los diseños implementados partieron de las medidas de dichas canastillas y el torque necesario por cada motor ya que este robot posee un peso de 60Kg estando sin carga, y con la carga máxima que puede cargar llega a pesar 120Kg para moverse con facilidad en pendientes iguales a cero y en terrenos de concreto.

### 3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Tanto en el campo como en las zonas urbanas, muchas personas tienen la necesidad de levantar y trasladar cargas pesadas, tales como cajas y canastas, repetidamente en el transcurso del día. Algunos objetos pueden alcanzar un peso de hasta 60 kg. Las personas ocupan su tiempo con diferentes actividades agotadoras día a día, por lo tanto, tienen mucho desgaste físico, el cual en exceso es perjudicial para la salud, más aún cuando se hacen posturas erróneas al hacer esfuerzos grandes para mover estos objetos.

En este proyecto de grado se propone implementar un sistema electro-mecánico orientado a facilitar la recolección de objetos pesados y posteriormente realizar el transporte de dichos objetos al lugar deseado por el usuario, controlado remotamente desde un lugar seguro y en tiempo real para así poder realizar la actividad de recolección y transporte durante el día. Esta acción de recolección será implementada a través de un sistema electro-mecánico controlado desde un sistema de mando por RF.

Para ello, habrá que resolver la pregunta de investigación: ¿Cómo implementar un prototipo montacargas que permita levantar y transportar canastillas de hasta 60 kg de peso?

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema mecatrónico automatizado de levantamiento y transporte de canastillas.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información de componentes electrónicos y actuadores requeridos para un montacargas automático.
- Desarrollar plataforma móvil y sistema de control para levantamiento de canastillas hasta de 60Kg.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico que permita la ejecución de movimientos y trayectorias en la plataforma móvil.

## 5 JUSTIFICACION

En la actualidad existen diversos sistemas de transporte de carga pesada como lo son los montacargas y los cargadores de contenedores, pero existen pocos sistemas de levantamiento y transporte de carga para pesos domésticos como canastillas con frutas y vegetales; debido a esta problemática se procede a la investigación de cargadores y transportadores de carga en la actualidad, con el fin de desarrollar e implementar una estructura mecánica, eléctrica y electrónica programable que brinde solución para que las personas realicen actividades repetitivas sin tener que hacer malos esfuerzos al realizar malas posturas en el momento de alzar peso.

El desarrollo de esta estructura comprende varias áreas del conocimiento, dentro de las cuales la ingeniería electrónica y telecomunicaciones es fundamental en el desarrollo de los objetivos usando conceptos de electrónica de potencia, electrónica de radio frecuencia, sistemas embebidos y comunicaciones digitales, unificando los conceptos y proporcionando a los hogares colombianos el prototipo que dará solución a la problemática del transporte y levantamiento de canastillas.

## 6 ANTECEDENTES

Estudiantes de la universidad de Antioquia desarrollaron un sistema teledirigido de un brazo robótico de 4 grados de libertad aplicando visión del dispositivo en el área de la robótica en donde los movimientos del manipulador que implementaron son controlados por un dispositivo de tipo joystick que le permite al usuario que lo está manipulando seguir trayectorias autónomas y determinando la posición del brazo robótico usaron un sensor de tipo kinect y una figura de referencia situada en la posición final del espacio de trabajo del robot utilizando el mapa de profundidad que posee la cámara infrarroja.<sup>1</sup>

Por otra parte la empresa Mitsubishi Forklift Trucks es una empresa dedicada a la fabricación y venta de montacargas para aplicaciones de carga pesada, ofreciendo al público una línea de montacargas de combustión interna y de llantas neumáticas con capacidades de carga oscilando desde 8.000 y 12000 libras, estos diseñados para cargar madera, cemento, hierro y componentes de exportación entre otros, los diseños que implementa esta empresa da lugar al diseño de miles de montacargas que no son de combustibles fósiles ya que esta es la principal desventaja que tienen estos montacargas<sup>2</sup>.

De igual manera a empresa Elsag Bailey Telerobot y FIAT OM realiza la automatización de un portador de carretillas tradicionales, este posee un sistema de control a bordo el cual está basado en tecnologías de visión artificial resultando crucial en tareas como reconocimiento de tareas y la navegación. Este montacargas automático de la empresa italiana es empleado para el transporte de mercancías paletizadas en almacenes de superficie plana, en donde se tienen que apilar verticalmente sin alguna estructura de soporte metálico o un soporte de madera.<sup>3</sup>

Por otro lado en la conferencia internacional de robótica y automatización se presentó un nuevo transporte mutuo mediante robots cooperativos múltiples móviles en el cual se presenta una serie de instrucciones que les permite a los robots trabajar de manera ordenada y cooperativa para evitar posibles obstáculos, estos

---

<sup>1</sup> BUITRAGO German Darío, RAMOS Olga Lucia. Sistema teledirigido de un brazo robótico de 4 grados de libertad aplicando visión de máquina/remote control system of a robotic arm 4 degrees of freedom using machine vision/sistema de controle remoto de um braço robótico 4 graus de liberdade aplicando vi. Envigado : revista eia, 2015, vol. 12. 17941237.

<sup>2</sup> Bussines Wire En Español. Mitsubishi forklift trucks anuncia productos nuevos y mejoras para el 2010, 2010, Feb 01 recuperado el 01-11-2018.

<sup>3</sup> GARIBOTTO Giovanni, MASCISNGELO Stefano, BASSINO Paolo, COELHO Christopher, PAVAN Annita, MARSON Mario. Industrial exploitation of computer vision in logistic automation: autonomous control of an intelligent forklift truck. Genova (Italy), International Conference on Robotics & Automation Leuven Belgium May 1998.

robots se presentan de forma de un montacargas presentándose avances significativos omnidireccionales que tengan los robots solucionando dificultades con los mecanismos de elevación de carga presentando ejemplos de movilidad mutua de los robots.<sup>4</sup>

Por su parte en el Centro de Investigación e Innovación de Excelencia desarrollan la solución para la transferencia de contenedores de un lugar a otro ya que es un verdadero problema debido al manejo de los mismos, por esto los robots autónomos móviles son ideales para abordar este problema, estos requieren la solución de problemas de programación y enrutamiento, usando Abstract Time-Windows que representa el movimiento de los robots y define las condiciones y operaciones que son necesarias para resolver conflicto éntrelos robots encargados en transportar contenedores de un lugar a otro evitando este conflicto.<sup>5</sup>

De igual manera Han Zhang y Wanzhong Zhao realizaron un estudio del control de desacoplamiento del sistema de dirección y conducción para un vehículo eléctrico con motor de tracción en las ruedas, el documento propone mejorar la maniobrabilidad y estabilidad de un vehículo eléctrico con motor de rueda, propone usar una estrategia de control que está basada en el método de control de desacoplamiento no lineal, que realiza el control coordinado del sistema de dirección y conducción. Se construyeron modelos no lineales del prototipo eléctrico con motor de tracción en las ruedas y su subsistema, luego bajo la teoría de desacoplamiento inverso del sistema se utiliza para descomponer el sistema no lineal en varios subsistemas independientes, haciendo posible realizar el control coordinado de cada subsistema realizando una simulación por cada sistema, mostrando que en la simulación se puede ejercer control de tracción en las ruedas del prototipo como en las pruebas reales.<sup>6</sup>

Así mismo en la conferencia internacional sobre robótica y automatización que tuvo sede en Barcelona el año 2004 se presentó un vehículo robótico de carretilla elevadora que tiene incorporado un control guiado por visión permitiendo que el vehículo se enganche con paletas desde su ubicación actual usando las lecturas de sensores de visión, haciendo que la navegación del mismo sea más precisa en el

---

<sup>4</sup> HAJIME Asama, MASATOSHI, Xobuyuki Goto, HAYATO Kaetsu, AKIHIRO Matsumoto e ISAO Endo. Mutual Transportation of Cooperative Mobile Robots Using Forklift Mechanisms, Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation Minneapolis, Minnesota - April 1996.

<sup>5</sup> DEMETRIS Stavrou, STELIOS Timotheou, CHRISTOS G. Panayiotou, MARIOS M. Polycarpou, Assignment and Coordination of Autonomous Robots in Container Loading Terminals, IFAC-PapersOnLine, Volume 50, Issue 1, 2017, Pages 9712-9717, ISSN 2405-8963,

<sup>6</sup> HAN Zhang, WANZHONG Zhao. Decoupling control of steering and driving system for in-wheel-motor-drive electric vehicle, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 101, 2018, Pages 389-404, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.08.042>. Keywords: Electric vehicle; Decoupling control; Nonlinear control;  $\mu$ -Synthesis

momento de transporte de carga, la calibración de estos sensores ópticos no es rigurosa debido a que el dispositivo se mueve de forma matricial.<sup>7</sup>

Por otro lado en el aeropuerto de Santiago de Chile fue presentado el robot Leo creado por la empresa Cita Lab este es un robot que puede cargar hasta dos maletas con un máximo de peso de 45Kg, este puede incluso cobrar por peso extra sobre él, aunque todavía se encuentra en fase de prueba es posible que el futuro de los aeropuertos en el mundo utilicen a Leo para que los pasajeros depositen sus maletas para que el mismo las transporte y coloque las etiquetas.<sup>8</sup>

De igual manera la revista iberoamericana de ingeniería mecánica presenta una investigación realizada por Lagunes Joseph sobre el posicionamiento dinámico y guiado de un robot móvil con cinemática de triciclo ya que estos son los principales problemas de la navegación de robots móviles. El artículo presenta un algoritmo de posicionamiento basado en un girómetro laser y reflectores que permiten ubicar la posición del robot móvil, además se presenta un método guiado, para un robot móvil con cinemática de triciclo que funciona a partir de los errores de orientación del láser<sup>9</sup>

Por su parte la empresa Wheelbarrow desarrollo una carretilla llamada Electric de E - 750 que permite a los operadores de construcción transportar cargas pesadas con facilidad, y elimina los desafíos ergonómicos, superfluos y los altos de producción relacionados con las soluciones de carretilla tradicionales. Teniendo como protagonista una construcción mecánica compleja y un motor de 24V batería-operated, el E - 750 es creado por la ingeniería para enfrentar aplicaciones de construcción diversas<sup>10</sup>

Por su parte la revista internacional de control, automatización y sistemas público un documento en donde se evidencia que se trabajó en un vehículo elevador autónomo no tripulado con características muy similares a las de un montacargas de gasolina que se encuentran comercialmente, este vehículo tiene un sistema de navegación y visión por láser llamado Ranger, además los cálculos de giro y navegación se presentaron de manera real y simulada, observando detalles en fabricación y posibles errores que son corregidos por sí mismo mediante código y

---

<sup>7</sup> SEELINGER Michael, YODER John-David. Automatic Pallet Engagment by a Vision Guided Forklift, Proceedings of the 2005 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005

<sup>8</sup> MERCURIO, E. (2017, Aug 24). Presentan a robot de transporte de maletas. El Mercurio Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1953801961?accountid=45660>

<sup>9</sup> LLAGUNES, Joseph Maria font and Joaquin A. battle. 2006. "posicionamiento dinámico y guiado de un robot móvil con cinemática de triciclo." revista iberoamericana de ingeniería mecánica 10 (1): 3-13.

<sup>10</sup> Electric Wheelbarrow. (2014). Concrete Products, 117(1), 60. Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/docview/1491419708?accountid=45660>.

configuración del láser, y su desventaja más grande es que si no tiene una superficie para poder receptar la señal de infrarrojo, se necesita tener marcado el piso por donde debe funcionar.<sup>11</sup>

Por otro lado en la universidad de san Buenaventura con sede en Bogotá se desarrolló un proyecto de tesis que consiste en realizar el diseño de tres robots trabajando en grupo o conjunto, estos robots recorren un espacio controlado por ciertos obstáculos, en donde cada uno de los robots es capaz de llevar cierta carga en el transcurso de la pista, cada uno de los robots es capaz de pedir ayuda de uno o de dos robots para poder hacer entrega de la carga, para lograr esto cada uno lleva una tarjeta de comunicación para enviar y recibir instrucciones al mismo tiempo, conlleva sistemas integrados para el sistema de carga y sistema de motores para el movimiento en la pista además de sensores infrarrojos para esquivar los obstáculos propuestos en la pista haciendo al robot más autónomo en el momento de tomar una decisión.<sup>12</sup>

Así mismo en la E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación se desarrolló un trabajo de grado cumple el objetivo de diseñar e implementar un robot para la automatización de un almacén industrial usando comandos mediante de un computador, el cual usa tecnología de comunicación mediante tarjetas de desarrollo, en este caso se usó la tarjeta de desarrollo Arduino Nano, el mismo es autónomo de reaccionar a su entorno como situaciones hostiles para él, este robot sigue líneas negras pintadas en el piso, es guiado para realizar giro mediante la comunicación por Bluetooth y la interfaz Lab View, usando infrarrojos y sensores de ultrasonido para detectar y esquivar obstáculos.<sup>13</sup>

De igual manera en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se trabajó en un proyecto de grado el cual realizó un estudio en el centro tecnológico de automatización industrial, de la universidad Javeriana para estudiar la posible implementación de un vehículo automáticamente guiado, proporcionando a los estudiantes y a los laboratorios proporcionar nuevas tecnologías, dependiendo de las necesidades que tenían dichos laboratorios definieron que un AVG es una herramienta que proporciona ayudas de grandes dimensiones para mejorar aspectos débiles que tienen los laboratorios.<sup>14</sup>

---

<sup>11</sup> TUA AGUSTINUS Tamba, BONGHEE Hong, y KEUM-Shik Hong. A Path Following Control of an Unmanned Autonomous Forklift. International Journal of Control, Automation, and Systems (2009)

<sup>12</sup> MONTOYA CLAVIJO Roland, ESTUPIÑAN MESA Brayan, y TORRES ORJUELA Leonardo. Diseño e implementación de robots cooperativos montacarga. Bogota DC Mayo de 2014, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

<sup>13</sup> FERRO LASPIDEA Pablo, FERNÁNDEZ PAMPLONA Javier Goicoechea, Diseño e implementación de un robot para la automatización de un almacén, 25 de Junio de 2014, E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación.

<sup>14</sup> ECHEVERRI ESTRADA Juan Martin, ESCOBAR MURCIA Paula Andrea. Caracterización de un agv (vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible; caso centro

Por su parte The Meccano Magazine hizo publico en 1938 un artículo sobre un robot industrial que hasta la fecha es el más antiguo lo realizo "Bill" Griffith P, realizo una grúa accionada por un único motor eléctrico, usando 5 ejes de rotación, utilizando cintas perforadas para así poder lograr el movimiento de la carga encima de la grúa, usando engranajes mecánicos para así poder lograr ejercer control mediante palancas.

Las cualidades de este robot son apilar bloques de madera, hierro o cualquier material pero en lugares debidamente programados, sin exceder el radio total que tiene la grúa, las revoluciones del motor variaban en cuanto al peso y distancia que se querían transportar.<sup>15</sup>

Por otro lado, la revista Scientific American Supplement publico un artículo sobre la tracción de los vehículos que en su época estaban recién salidos al mercado, haciendo énfasis en que la tracción de estos vehículos automotores debe funcionar de tal manera que al girar no se presenten problemas como el arrastre de una de las dos llantas proponiendo una mejora significativa para los vehículos de carga principalmente.<sup>16</sup>

Por su parte en la Escuela Superior de ingeniería mecánica y eléctrica se desarrolló una tesis de grado en donde se representan los planos e implementación de un montacargas automático de uñas con el fin de agilizar los métodos de transporte de carga, haciendo la comparación de peso y utilidad con los diferentes montacargas existentes, presentan un montacargas eléctrico que contiene en su estructura sistemas hidráulicos de dos pistones y un sistema de tracción de dos llantas acoplado con dos llantas de dirección, haciendo una réplica de los montacargas a gasolina existentes y usando completamente sistemas eléctricos que son más económicos de mantenimiento y menor consumo.<sup>17</sup>

---

tecnológico de automatización CTAI de la pontificia universidad javeriana. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá 2012

<sup>15</sup> GRIFFITH P Bill. The Robot Gargantua, The Meccano Magazine marzo de 1938 [http://browse.feedreader.com/c/cyberneticzoo\\_com/322346070](http://browse.feedreader.com/c/cyberneticzoo_com/322346070).

<sup>16</sup> WHITING-SLAUSON Harold. The Motor Truck In Man ufacturing, Scientific American Supplement publicado en octubre 12 de 1912.

<sup>17</sup> LLAMAS J. Agustin. Montacargas Automático, ingeniería en robótica industrial de la escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/82/TESIS\\_%20MONTACARGAS%20AUTOMATIC Ollamas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/82/TESIS_%20MONTACARGAS%20AUTOMATIC%20Ollamas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## 7 MARCO TEÓRICO

El presente proyecto de grado está enfocado en facilitar el transporte y manipulación de cargas pesadas, beneficiando al operario que comúnmente debe realizar esfuerzos físicos para cumplir su trabajo, destacando como puntos importantes la prevención de las lesiones físicas que son causadas a raíz de estas labores; la utilización de las nuevas tecnologías en los vehículos de transporte amigables con el medio ambiente y el uso del control asistido remoto. Es importante tener en cuenta algunos conceptos asociados en la actividad de manipulación de cargas.

### 7.1 MANIPULACION DE MATERIALES

El hecho de manipular materiales implica la acción de recoger y depositar, trasladar ya sea en un plano vertical u horizontal objetos o cualquier tipo de material, los mecanismos de manipulación son todos los mecanismos utilizados para el transporte de objetos o materiales.

**7.1.1 tolva para granos.** El material a granel hace referencia al material que esta suelta en varias partículas, como lo es el arroz, arveja o simplemente polvo, véase en la figura 1.

Figura 1. Recipiente para materiales sueltos



Fuente: Ungheinirch, Profi Shop, recopilado 31 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/5ua8wx>

**7.1.2 Estibas de madera:** las estibas son elementos de madera en su gran mayoría, estas tienen dimensiones diferentes según sea el tipo de carga, estas estibas tienen como característica principal que son huecas en la parte del medio, las dos caras superior e inferior son planas, facilitando así la manipulación por parte de un montacargas de horquillas, estas estibas se pueden apreciar en la figura 2 mostrada a continuación:

Figura 2. Estiba de madera



Fuente: Mercado Libre, recopilado 31 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/Vb7KFm>

**7.1.3 Estibas plásticas:** Este tipo de estibas dado su material es más resistente y con mayor duración que las estibas de madera convencionales, igual que las de madera tienen estas características para facilitar el levantamiento de cargas pesadas por el montacargas de horquillas, pero su costo es mayor, este tipo de estibas se puede apreciar en la figura 3 mostrada a continuación:

Figura 3. Estiba plástica



Fuente: Mercado Libre, recopilado 31 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/9pzVS4>

Los tipos de materiales a transportar debe depender siempre del producto, por esta razón se tiene que empacar en el embalaje de tal manera que pueda ser movido por montacargas, grúas etc. De esta manera se verá reflejado que la obra de mano

se reduce, los daños y agiliza la entrega de las cargas haciendo más eficiente el transporte.

## 7.2 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA CON ESCOBILLAS

Los motores DC son muy similares a los generadores DC, es decir se puede decir que es la misma máquina que puede funcionar como actuador o generador. Los motores DC son máquinas muy versátiles, son los motores más fáciles de adaptar a procesos industriales ya que se puede ejercer un flexible control del par sobre ellos, así como el control de velocidad y torque, teniendo en pocos casos competencia como lo son los motores de corriente alterna (AC) que usan accionamientos electrónicos para el control de velocidad sobre ellos.<sup>18</sup>

**7.2.1 Tipos de motores de corriente directa:** los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión que tengan las bobinas inductoras e inducidas entre sí, estos tipos de motores son los siguientes:

- Motor en serie
- Motor en paralelo o motor Shunt.
- Motor Compound.
- Motor de excitación independiente.

Para realizar la aplicación se tiene que fijar en los siguientes parámetros:

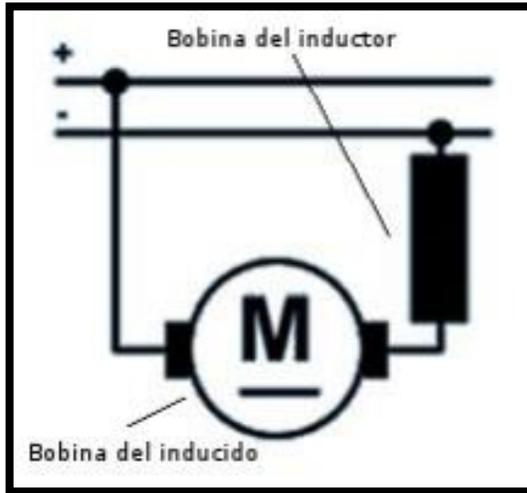
- velocidad (RPM).
- Potencia eléctrica absorbida (KW).
- Par Motor (Kgfm).
- Rendimiento.

**7.2.1.1 Motor Serie.** La conexión de las bobinas de este tipo de motor esta puesta en serie, en el que la intensidad consumida al ponerlo en marcha es la misma para la bobina conductora como para la bobina inducida, la conexión se puede apreciar en la figura 4 & 5 mostradas a continuación:

---

<sup>18</sup> RODRÍGUEZ POZUETA Miguel Ángel. Máquinas de corriente continua. Universidad de Cantabria, departamento de ingeniería eléctrica y energética, España 2017

Figura 4. Motor Serie



Fuente: Villalba Hervas Tecnologia, recopilado 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/1qavldi>

Figura 5: Motor serie



Fuente: Jaime Gotopo, electricidad, recopilado 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/ksx2T8>

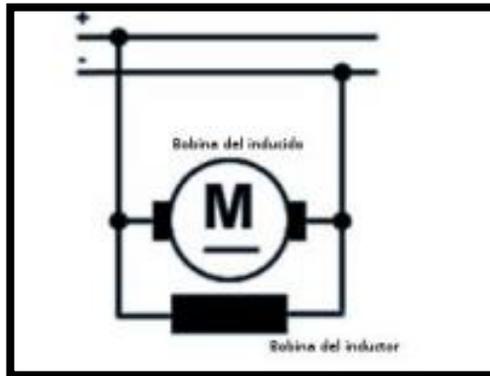
Algunas características del motor serie son:

- Este motor desarrolla un elevado Par-Motor de arranque.
- Si se disminuye la carga al motor, disminuye notablemente la intensidad de corriente absorbida aumentando la velocidad exponencialmente.
- Tiene aplicaciones en las que se requieran bajas velocidades y elevado par de arranque.

**7.2.1.2 Motor en paralelo.** El tipo de conexión de este motor es en paralelo en donde las bobinas inductoras están conectadas en paralelo, así la corriente consumida por el motor se divide en la corriente consumida por las bobinas

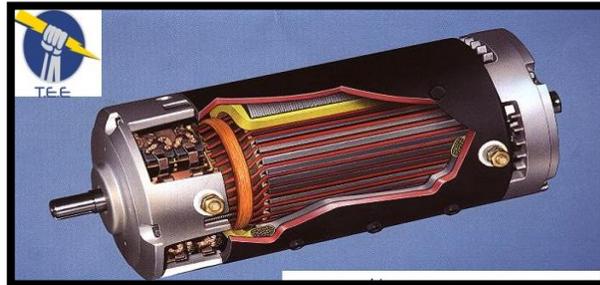
inductoras y la otra parte por las bobinas inducidas, la conexión se puede apreciar en la figura 6 & 7 mostradas a continuación:

Figura 6: Motor en paralelo



Fuente: Villalba Hervas Tecnologia, recopilado 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/1qavldi>

Figura 7: Motor paralelo



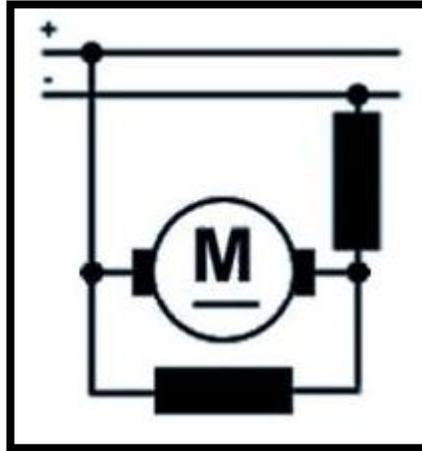
Fuente: JAC, Electronica superior, recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/M6FTMC>

Algunas características del motor en paralelo son:

- Par de arranque menor que el par en serie.
- Es más estable que el motor serie debido a la distribución de las corrientes.
- Al aumentar el par de arranque la velocidad no se ve afectada.

**7.2.1.3 Motor Compound.** Este motor es una combinación del motor serie y paralelo ya que una de las bobinas inductoras se encuentra en serie con el inducido mientras que la otra en paralelo con él, como se puede apreciar en la figura 8 & 9, una parte de la intensidad de corriente consumida circula por las bobinas inducidas y la otra parte por una de las bobinas inductoras; mientras que lo que queda de la corriente circula por las bobinas inductoras restantes.

Figura 8: Motor Compound



Fuente: Villalba Hervas Tecnologia, recopilado 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/1qavldi>

Figura 9: Motor Compound

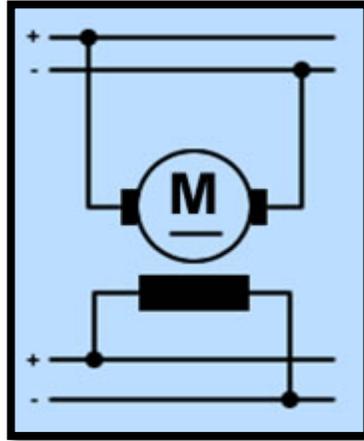


Fuente: Ingeniería Meca fénix, recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/vZMQzN>

Este motor se caracteriza principalmente por tener un elevado par de arranque, pero es muy estable al trabajar en vacío.

**7.2.1.4 Motor de excitación independiente.** El motor de excitación independiente tiene una conexión en donde se alimenta por dos fuentes diferentes y la excitación se produce por electroimanes, la corriente que consumen es independiente a la corriente que consume el rotor, así como se aprecia en la figura 10 & 11 mostradas a continuación:

Figura 10: Motor de excitación independiente



Fuente: Amilcar Electrónica, tipos de motores, Recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/1hAVMR>

Figura 11: Motor de excitación independiente



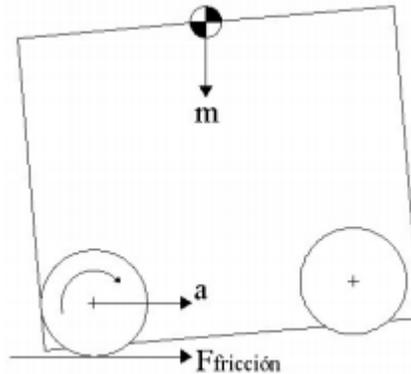
Fuente: Alibaba, Global Trade starts here, recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://goo.gl/images/YYn1nk>

**7.2.2 Criterios para la selección de motores:** Los criterios en la selección de motores se debe basar en los objetivos de diseño de un robot de campo de juego, la aceleración de los mimos se puede definir en términos de torque y la velocidad se puede determinar en revoluciones del motor.

Para calcular el torque requerido para que acelere a una velocidad de  $9.8\text{m/s}^2$  tomaron como aspecto principal, el centro de masa que esta lo más alto posible en la estructura del robot en cuanto se realiza la aceleración, por tanto el efecto de transferencia de masa hace que todo el peso sea soportado por las dos llantas

traseras, distribuyendo el peso equitativamente y conseguir que este acelere a esa velocidad, la figura 12 muestra este ejemplo de distribución de masas en cuanto la aceleración se hace efectiva.

Figura 12: Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Universidad de las américas, Catarina, recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2DeaOGM>

El peso del robot influye de manera significativa la aceleración del motor, dado que las leyes de Newton establecen que la fuerza requerida para acelerar una masa a cierta aceleración es igual a la fuerza normal multiplicada por la aceleración, por tanto, se requiere más fuerza para acelerar un objeto pesado a una aceleración determinada, que un objeto más liviano a la misma aceleración.

La teoría de fricción estática dice que la fuerza de fricción máxima que se le puede aplicar a un cuerpo estático es proporcional a la fuerza normal, entonces teniendo en cuenta que se utilizaran en total 4 ruedas, la fuerza de fricción en cada rueda solo es una cuarta parte de la fuerza total ejercida por la masa del robot, siendo entonces la Ecuación 1 la que describe esta situación:

$$FUERZA\ TOTAL_{max} = k * \mu * m * g \quad [1]$$

En donde:

$k =$  constante de proporcionalidad

$\mu =$  coeficiente de fricción

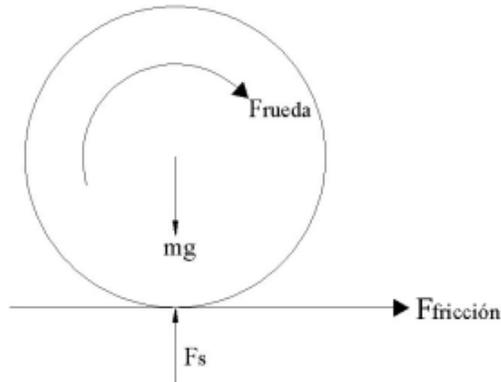
$m =$  Masa del robot

$g =$  Gravedad

Entonces la constante de proporcionalidad está relacionada con el número de ruedas, su posición en el chasis y la dirección de la aceleración, la Figura 13 muestra

el diagrama de cuerpo libre de la rueda, en el cual se pueden observar las fuerzas que actúan sobre ella.

Figura 13: Diagrama de cuerpo libre de la rueda



Fuente: Universidad de las Américas, Catarina, recopilado el 27 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2DeaOGM>

### 7.3 BATERIAS

La batería es el corazón y elemento principal del montacargas automático. Se utiliza para almacenar la energía que va a usarse para ejecutar los sistemas de control, sistema eléctrico y mecánico del prototipo. Esta batería almacena energía de forma química, hasta que se le conecta una carga o circuito externo haciendo entonces que la energía almacenada cambie a energía eléctrica, circulando desde una terminal hasta la otra recorriendo todo el circuito.

**7.3.1 Acción electroquímica de la batería:** La acción electroquímica de la batería trabaja cuando la reacción que se da entre dos electrodos se sumergen en una solución conductora y reactiva más comúnmente llamado electrolito. Esta reacción electroquímica hace que la batería obtenga una polaridad, positiva (+) y negativa (-), estas polaridades son opuestas entre sí, creando una diferencia de potencial (voltaje) entre las dos terminales de la batería. Las placas de la batería se componen de plomo (Pb) y bióxido de plomo ( $PbO_2$ ).

**7.3.2 Carga y descarga:** Cuando a batería se encuentra descargada es porque los iones de sulfato que son provenientes del electrolito tienden a combinarse con los iones de plomo que generan ambas placas, es allí en donde las placas se convierten en materiales similares haciendo que el electrolito contenga más agua y menos ácido. Entonces dos electrodos que son muy parecidos, no pueden producir diferencia de potencial entre dos terminales llamando este efecto como batería descargada o sulfatada.

La recarga tiene un efecto contrario al sentido de circulación de la corriente por el circuito, pero se deberá desconectar el circuito que mantiene alimentando para poder restaurar los valores originales del electrolito, en donde la fuente que se conecte debe tener un voltaje mayor al que tiene la batería en el momento que se encuentra descargada.

**7.3.3 Densidad específica:** la densidad específica es una medición del estado de la batería, midiendo estas densidades con un hidrómetro; las densidades específicas de una batería de 1.260 a 1.280 indica que la batería está cargada totalmente, pero si este valor es disminuido entre 1.220 a 1.200 indica que la batería esta descargada, estos valores se pueden apreciar de una mejor manera en la Tabla 1 mostrada a continuación:

Tabla 1: Densidad específica de la batería

DENSIDAD ESPECIFICA (Kg/dm <sup>3</sup> )	CARGA DE LA BATERIA
1.260-1.280	100% DE CARGA
1.230-1.250	75% DE CARGA
1.200-1.220	50% DE CARGA
1.170-1.190	25% DE CARGA
1.140-1.160	MUY DEBIL
1.110-1.130	DESCARGADA

## 7.4 CANASTILLAS PLASTICAS

Las principales características de las canastas plásticas es que son de fácil agarre, higiénicas y resistentes. Las canastillas tienen perforaciones para generar ventilación a los productos almacenados al momento de apilar las canastas.

**7.4.1 Clases de canastillas:** Existen diferentes clases de canastillas plásticas acordes a las necesidades de los compradores en todo el mundo, de medidas casi estándares, pero con la misma finalidad de uso, las medidas de las canastillas como lo muestra la Figura 14 indican que estas son muy acordes al prototipo de montacargas implementado. Canastillas plásticas para uso cotidiano y finalidades a fines de agro, industria y exportación existen clases como plegables, con apertura frontal, con apertura lateral, con astas abiertas, con astas cerradas, paredes y fondo liso o rejado, ampliables, encajables y resistentes a los golpes.

Figura 14: Canastillas plásticas



Fuente: Ecosolplast, recopilado el 23 de agosto de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2CYrMlc>

## 7.5 MONTACARGAS

Un montacargas es un equipo de elevación que sirve para cargar y transportar materiales de gran peso y tamaño. Lo hace a través de una plataforma que se desliza a lo largo de dos guías rígidas paralelas. Debido a sus diversos tipos y aplicaciones, el montacargas puede ser usado tanto en la industria de carga y almacenamiento, como en el sector construcción, véase en la Figura 15 un montacargas a gasolina tipo industrial.

Figura 15: Montacargas



Fuente: Andes Montacargas, recopilado el 23 de agosto de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2yNfD66>

## **8 METODOLOGÍA**

### **8.1 RECOPIACION DE INFORMACION**

Se realizó una investigación sobre los aspectos técnicos y teóricos directamente relacionados con el transporte y levantamiento de cargas apoyado en equipos mecánicos, relacionando las diferentes técnicas, equipos mecánicos y datos existentes para desarrollar tal labor. A continuación, se mencionan los siguientes procesos de seguimiento del proyecto de grado:

- Búsqueda y documentación existente sobre equipos y técnicas de levantamiento de cargas.
- Validación de marcos legales con respecto a la utilización de equipos mecánicos directamente relacionados con los procesos industriales de apilado y traslado de cargas
- Indagación de aspectos relacionados con la correcta manipulación de elementos y/o cargas
- Selección de aspectos que den soporte a la puesta en marcha del proyecto de innovación

### **8.2 DISEÑO**

Se tuvieron en cuenta diferentes diseños tanto de prototipado como de índole comercial sobre plataformas móviles con aplicación a la manipulación de objetos y cargas y transporte de las mismas para de ahí hacer una selección de elementos y/o características que beneficien la elaboración y ejecución del proyecto presente. A partir de lo recopilado se establece una fuerte base para iniciar con el establecimiento de la programación informática requerida para realizar los procesos de control sobre el vehículo robotizado, es decir, funciones como el desplazamiento y levantamiento de cargas, dicho esto se dejan establecidas unas actividades consecutivas:

- Diseño del prototipo para el levantamiento y transporte de cargas.
- Diseño del código de programación para el control del vehículo
- Diseño de la interfaz de radio-comunicación entre el operador y la máquina

### **8.3 IMPLEMENTACION**

Partiendo del proceso de indagación e investigación realizado al inicio del proyecto de grado se cimentó y de cierta forma se aterrizó la idea para la puesta en marcha del vehículo como proyecto de innovación. Teniendo en cuenta unas condiciones

de estructuración que permitieran el mejor rendimiento tanto de peso como de materiales resistentes a las condiciones a la que se va a exponer el vehículo:

- Elaboración del vehículo mecanizado de acorde al diseño escogido.
- Correcta ubicación y adecuación de los componentes electrónicos y mecánicos necesarios para crear el vehículo
- Ajuste del sistema de control a distancia del vehículo

#### **8.4 PRUEBAS**

Por último, se realizaron correcciones y ajustes pertinentes para la correcta elaboración del vehículo, se mencionan algunas actividades:

- Ejecución de pruebas de desplazamiento del vehículo sin carga
- Ejecución de pruebas de levantamiento de cargas
- Finalización de la documentación respectiva

## 9 DISEÑO

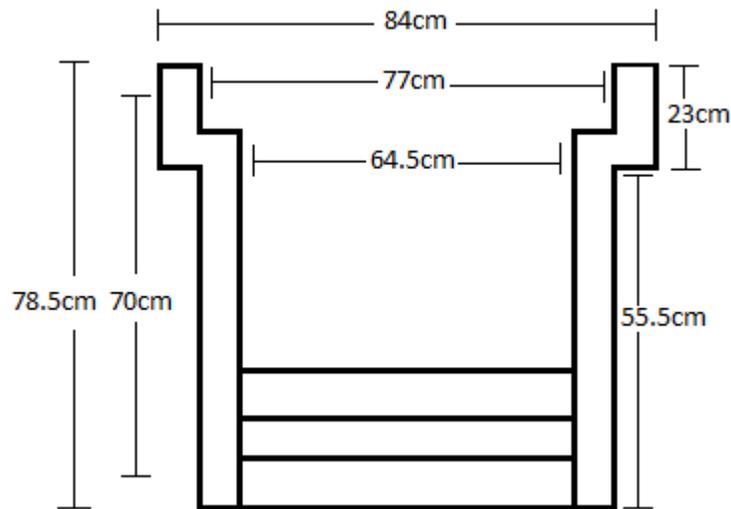
El diseño del prototipo montacargas se divide en diseño mecánico y diseño electrónico. El primero comprende el desarrollo de un mecanismo para el transporte de carga y otro para el levantamiento de carga. El diseño electrónico comprende el diseño del sistema de control de mando inalámbrico y el sistema de potencia.

### 9.1 DISEÑO MECANICO

El diseño mecánico del prototipo se hizo a partir de las medidas que tiene una canastilla plástica, estas medidas se muestran en la figura 2, a partir de allí se diseñó el chasis del prototipo usando tubo rectangular 3" x 1 ½", para poder soportar tanto peso, este tubo rectangular se puede evidenciar en la figura 1, varilla roscada de 1" NC vista en la figura 2, dos tuercas de 1" ver figura 2 y Angulo de ½" para la totalidad del chasis, sus complementos son rodamientos 6203, rodamientos 6202 y rodamientos 6303 usados para la locomoción, ver figura 3 y funcionamiento de las varillas, se usaron llantas de goma industriales, ver figura 4 y llantas de giro de 360° ver figura 5.

**9.1.1 Diseño del sistema de tracción:** El diseño del chasis diseñado con las medidas de la canastilla a levantar se usaron los materiales anteriormente mencionados, para lograr este objetivo se implementaron: tubos rectangulares, dos llantas de goma con un rin de 2", dos llantas giratorias de 2½" de diámetro, rodamientos 6202 y piñones de 14 dientes. El diseño del chasis se puede evidenciar en la Figura 16.

Figura 16: Diseño, planos y medidas del chasis acondicionado.



Fuente: Autor

Este diseño mecánico del chasis del prototipo cumple con las medidas proporcionadas por las canastillas plásticas, así como cumple totalmente el hecho de resistir el peso propuesto debido al chasis de gran capacidad.

En la parte superior hay una abertura del chasis debido a que en ese lugar están localizadas las llantas de giro, las cuales necesitan un mayor espacio para que puedan girar de manera perfecta sin que se vea afectado por las dimensiones de la canastilla, la parte inferior del diseño tiene atravesados dos tubos rectangulares de la misma medida, en el tubo superior esta soportada la carga y la estructura del chasis que va a levantar la carga, y el tubo inferior tiene que soportar los motores y la potencia de los motores, así como tener el soporte de la batería y dar una mayor consistencia al chasis del prototipo.

El tubo rectangular fue recortado dadas las medidas y proporciones de la carga, así como fue modificado para dar lugar a las llantas de goma como las llantas de giro. Estos rodamientos tienen como función sostener los ejes de las llantas, allí soportara la mayor potencia de los motores, es por esto que se diseñaron camisas que cubren los rodamientos, estas mismas van soldadas al chasis del prototipo.

En la figura 17 se muestran las ruedas utilizadas por el prototipo. Son ruedas de caucho de 12 cm de radio.

Figura 17: llantas de goma industriales



Fuente: Autor

#### 9.1.1.1 Cálculo de potencia y torque de motores para el transporte de carga

El torque y potencia (P) necesarios para mover la masa total del prototipo se calculó teniendo en cuenta los parámetros mostrados en la ecuación [2], la cual indica el cálculo en Watts, que se deben tener en cuenta para la potencia total de los motores<sup>19</sup>:

$$P = F_{rr} * V = Cr * M * g * V \quad [2]$$

- $M=120$  (Masa total del vehículo con carga (kg))
- $Cr=0.03$  (Coeficiente de fricción de las ruedas (caucho sobre concreto))
- $V=3$  (Velocidad máxima del vehículo con carga (m/s))
- $g=9.8$  (Constante de gravedad (m/s<sup>2</sup>))
- $F_{rr}$ = Fuerza de rozamiento ( $\mu sN$ )

Efectuando los cálculos en la ecuación 2, se obtiene como resultado:

$$P = 105.8 W$$

La potencia necesaria para la tracción del prototipo debe ser igual o mayor a 105.8 W.

---

<sup>19</sup> SAURABH Chauhan, Totor torque calculations for electric vehicle. International Journal of scientific & technology research, volume 4, issue 08, August 2015

Entonces la potencia por cada motor del prototipo se calcula en la ecuación [3] en donde la potencia total se debe dividir en la cantidad de motores que tenga el prototipo.

$$P_{motor} = \frac{P_{total}}{2} \quad [3]$$

Obteniendo potencia necesaria por cada motor:

$$P_{motor} = 52.92 \text{ W}$$

Al realizar el cálculo de la ecuación 3, se obtiene una potencia por cada motor de 52.92W.

El torque por cada motor se calcula en la ecuación [4] en donde la potencia por motor se debe dividir entre el cociente de la velocidad máxima y el radio de las ruedas:

$$Torque = \frac{P_{motor}}{v/r} \quad [4]$$

Obteniendo un torque necesario por cada motor:

$$Torque = 2.12 \text{ N.m}$$

Entonces el torque necesario que debe tener cada motor debe tener como mínimo 2.12 N.m.

**9.1.1.2 Referencias comerciales de motores:** los catálogos de los fabricantes de los motores deben proporcionar la información clave, como lo deber ser principalmente el torque necesario para mover el montacargas, precio, tamaño y velocidad.

Los motores preseleccionados con sus características se muestran en la siguiente tabla 2.

Tabla 2: Motores por seleccionar

Marca	Modelo	Voltaje (V)	Potencia (W)	Par (Nm)	Máxima velocidad (RPM)	Costo (USD)
Leili	ZD2735/ZD1735	12	180	100	35+/-5	54,6
Power	PGM-W90FUL-new	13	10.49	12.72	49.87	25.00
Power	PGM-W75P	13.5	13.71	9.153	93.24	15.00
GP	GP-WD63	24	30	55	100	100.00
Nissan	MT3-12	12	90	20	120	35.00

Debido al torque que proporcionado que es de 20Nm en condiciones ideales, costo de USD 35.00, voltaje de operación 12 VDC y potencia de 90W, se eligieron los motores de la marca Nissan (Figura 18), cuyas características técnicas se ajustan a los valores de potencia y torque calculados previamente.

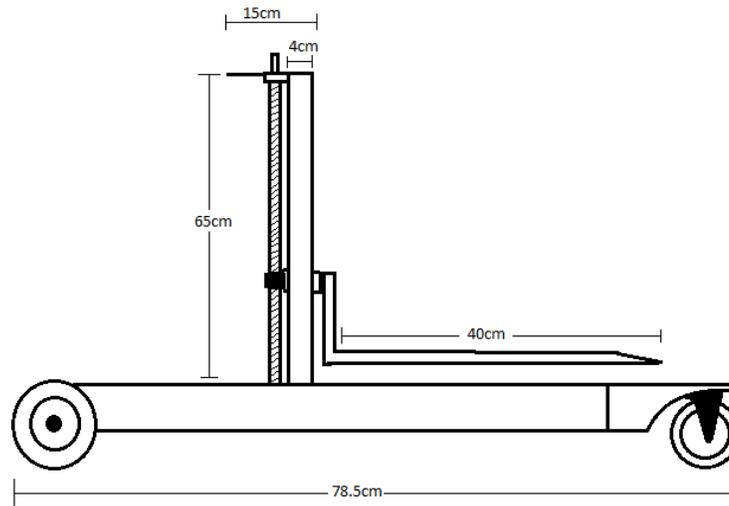
Figura 18: Motor DC marca Nissan



Fuente: Ebay, recopilado el 01 de octubre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2Rx165F>

**9.1.2. Diseño del sistema de levantamiento de carga:** El diseño del sistema de levantamiento de carga fue diseñado de igual manera que el chasis partiendo de las medidas que tiene una canastilla, usando para ello los materiales, varilla roscada de 1", dos tuercas de 1", Angulo de 1 ½" Angulo de 1" y rodamientos de medida 6303 mostradas a continuación en la figura 19:

Figura 19: Diseño, planos y medidas del chasis



Fuente: Autor

Este diseño de levantamiento de carga cumple con los requerimientos de levantar el peso de 60Kg, sin embargo, por el consumo del motor y potencia de la batería el peso óptimo de funcionamiento garantizando una autonomía del prototipo de máxima duración es recomendable trabajar desde 0Kg hasta 40Kg, de esta manera no se fuerza el sistema. A continuación (ver figura 20), se mostrarán los materiales necesarios para lograr este objetivo.

Figura 20: Varilla roscada y tuerca de 1"NC



Fuente: Autor

Estas varillas roscadas fueron cortadas y acondicionadas para el correcto funcionamiento del levantamiento de la carga, en donde la tuerca se encarga de hacer este movimiento del levante y descargue de las canastillas.

Partiendo de estos elementos y las medidas de la carga se procede a hacer el diseño completo del chasis del prototipo, el cual se muestra a continuación en dos secciones, la parte del chasis bajo del prototipo y el chasis del montacargas, a continuación, en la Figura 21 se puede observar las medidas reales diseñadas.

Figura 21: Base de rodamientos del levantamiento de carga

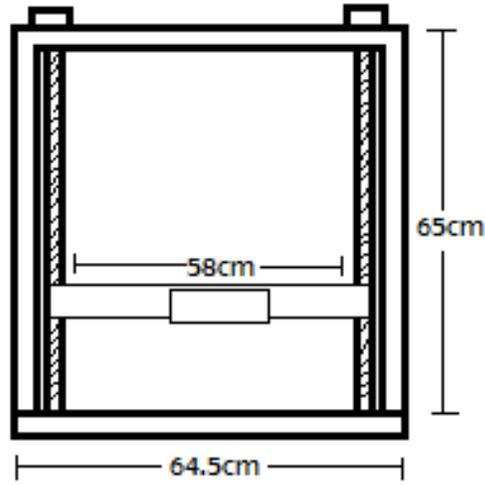


Fuente: Autor

En esta base está incorporado el rodamiento 6303 encargado de sostener y dar movimiento a la varilla roscada que levanta todo el peso.

A continuación, en la Figura 22 se muestra el diseño visto de frente del sistema levantamiento de carga, en el cual se puede evidenciar las varillas roscadas y su función, así como la porta horquillas, y los soportes hechos a medida para una canastilla plástica.

Figura 22: Diseño frontal del sistema de levantamiento de carga.



Fuente: Autor

### 9.1.2.1 Cálculo de potencia y torque del motor para el levantamiento de carga

El torque necesario para levantar el peso máximo de 60Kg se calculó teniendo en cuenta los parámetros mostrados en la ecuación [5], la cual indica el cálculo en (Watts) que se deben tener en cuenta para la potencia total del motor:

$$P_{motor} = \text{Peso} * V = M * g * V \quad [5]$$

- $M=60$  (Masa de la carga a levantar (kg))
- $V=0.1$  (Velocidad de levantamiento (m/s))
- $g=9.8$  (Constante de gravedad (m/s<sup>2</sup>))

Efectuando los cálculos se obtiene como resultado:

$$P = 58.8 \text{ W}$$

Potencia necesaria para levantar los 60Kg es de 58.8W, entonces es necesario calcular el torque para el motor, este cálculo lo muestra la ecuación [6] en donde la potencia del motor se divide en la velocidad angular del motor:

$$\text{Torque} = \frac{P_{motor}}{\omega} \quad [6]$$

- $\omega=120*2*(\pi/60)=12.56$ : Velocidad angular del motor (rad/s)

Obteniendo un torque total para el levantamiento de carga de:

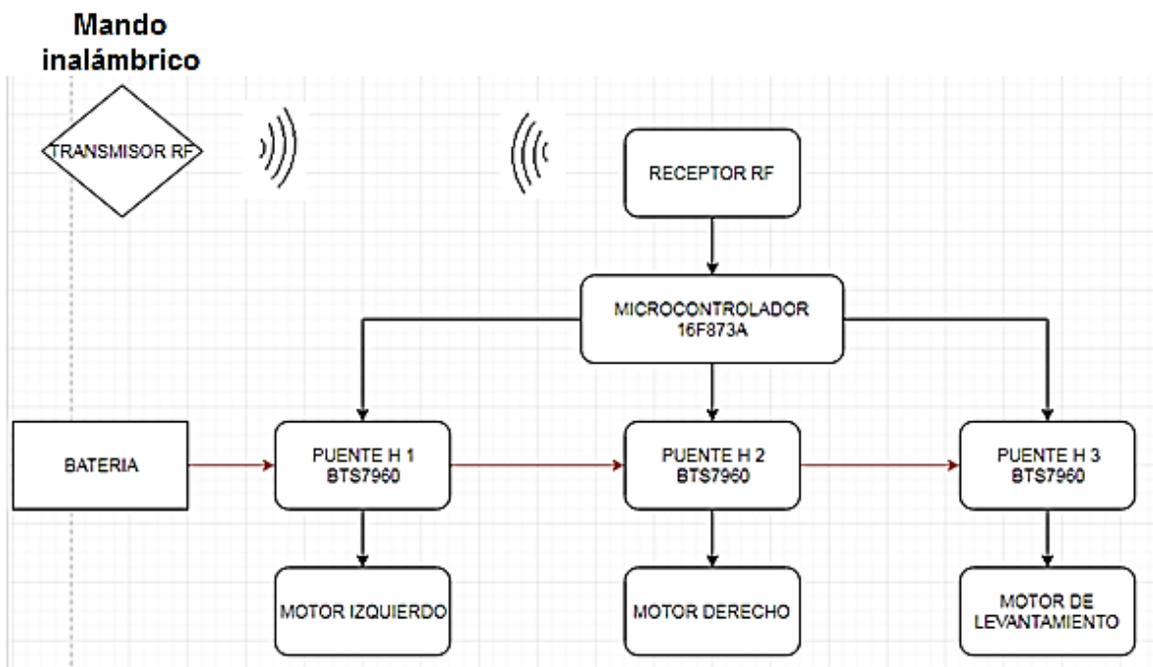
$$\text{Torque} = 4.68 \text{ N.m}$$

Entonces el torque necesario que debe tener el motor de levantamiento de carga es de 4.68N.m. El motor que cumple con estas características de potencia y torque es el de referencia MT3-12 marca Nissan, cuyas características técnicas se presentaron previamente.

## 9.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

En la siguiente figura 23 se muestra el diseño electrónico general del sistema y en seguida se describen las diferentes partes.

Figura 23: Diseño electrónico general

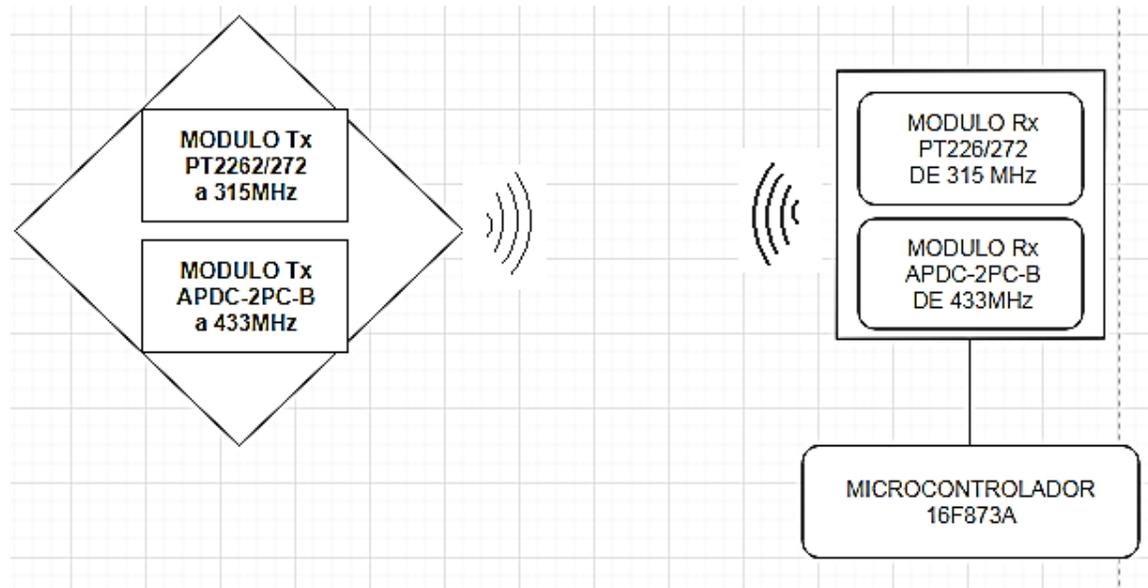


Fuente: Autor

**9.2.1 Diseño del mando inalámbrico:** El sistema remoto a implementar constituye una palanca joystick de videojuegos, el cual se encarga de enviar los comandos al

módulo de RF para tener control sobre el aparato, como se muestra en el diagrama a continuación en la Figura 24.

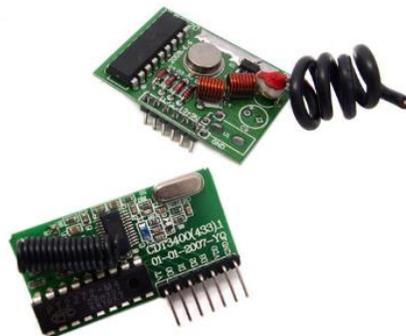
Figura 24: Diagrama de comunicación



Fuente: Autor.

Los mandos inalámbricos usados utilizan la frecuencia de 315 MHz garantizando una comunicación por radio frecuencia con recepción segura. De esta manera usando una sola frecuencia para el sistema de tracción se evita un posible cruce de frecuencias causantes de una mala recepción y mal funcionamiento del sistema. Los módulos de radiofrecuencia usados para este mando inalámbrico se muestran en la Figura 25 a continuación.

Figura 25: Módulos de RF 4 canales control remoto PT2262/272 a 315MHz



Fuente: Electrónica embajadores, Recopilado el 23 agosto de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2QgHdPY>

El mecanismo de levantamiento de carga utiliza la frecuencia de 433 MHz evitando el conflicto entre los mecanismos de tracción y levantamiento de carga. Los módulos utilizados para lograr comunicar el mando inalámbrico y el microcontrolador para el mecanismo de levantamiento de carga son APDC-2PC-B el cual es mostrado en la Figura siguiente.

Figura 26: Módulo de comunicación RF APDC-2PC-B



Fuente: Amping Electronics, recuperado el 23 Agosto de 2018. Disponible en <http://www.szapq.com/productshow-88.html>

La transmisión y recepción no requieren ningún tipo de código puesto que estos módulos mantienen una comunicación permanente entre sí mismos.

**9.2.2 Diseño del sistema de control.** El mando inalámbrico envía señales a un microcontrolador que convierte las instrucciones del usuario en señales de avance o retroceso para los motores.

**9.2.2.1 Referencias comerciales de Microcontroladores:** los catálogos de los fabricantes de los Microcontroladores deben proporcionar la información clave, como velocidad de respuesta, coste y número de pines de entrada y salida. Los microcontroladores preseleccionados se muestran en la tabla 9 con sus características técnicas principales.

Tabla 3: Microcontroladores por seleccionar.

Referencia	Bus de datos	Memoria	frecuencia de operación	Costo (USD)
ATMEGA328-PU	8 bit	32KB	20MHz	USD 3.5
PIC16F84	8 bit	64KB	20MHz	USD 3.00
PIC16F873	8 bit	128KB	20MHz	USD 4.00

Se seleccionó el PIC16F873 debido a la memoria y velocidad dependiendo el valor del cristal de cuarzo que se implemente, además tiene mayor rendimiento que los otros posibles microcontroladores ofreciendo un canal de datos de 8 bits y memoria de 128KB.

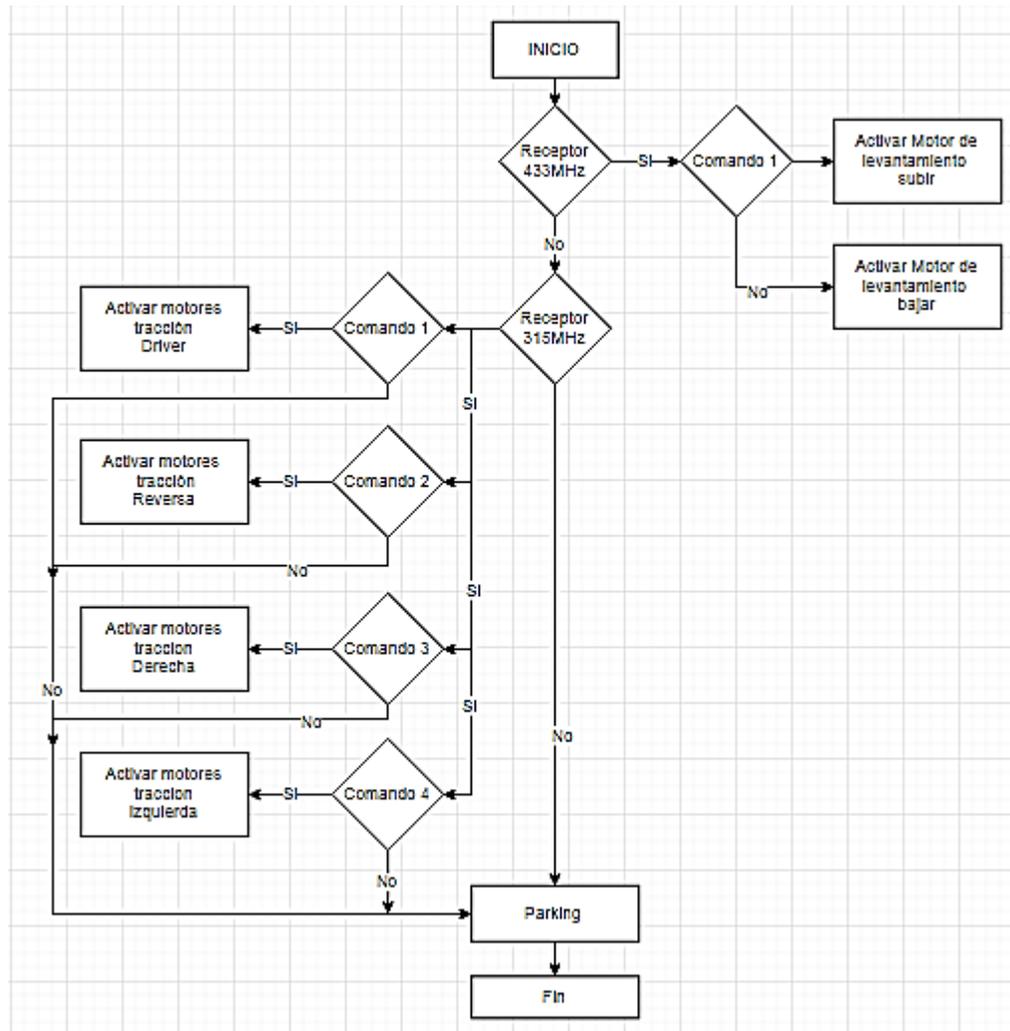
Figura 27: Microcontrolador 16f873



Fuente: Mactronica.com, recuperado el 26 Septiembre de 2018. Disponible en: [https://www.mactronica.com.co/pic16f873\\_qOpic16f873XvOresultxSM](https://www.mactronica.com.co/pic16f873_qOpic16f873XvOresultxSM)

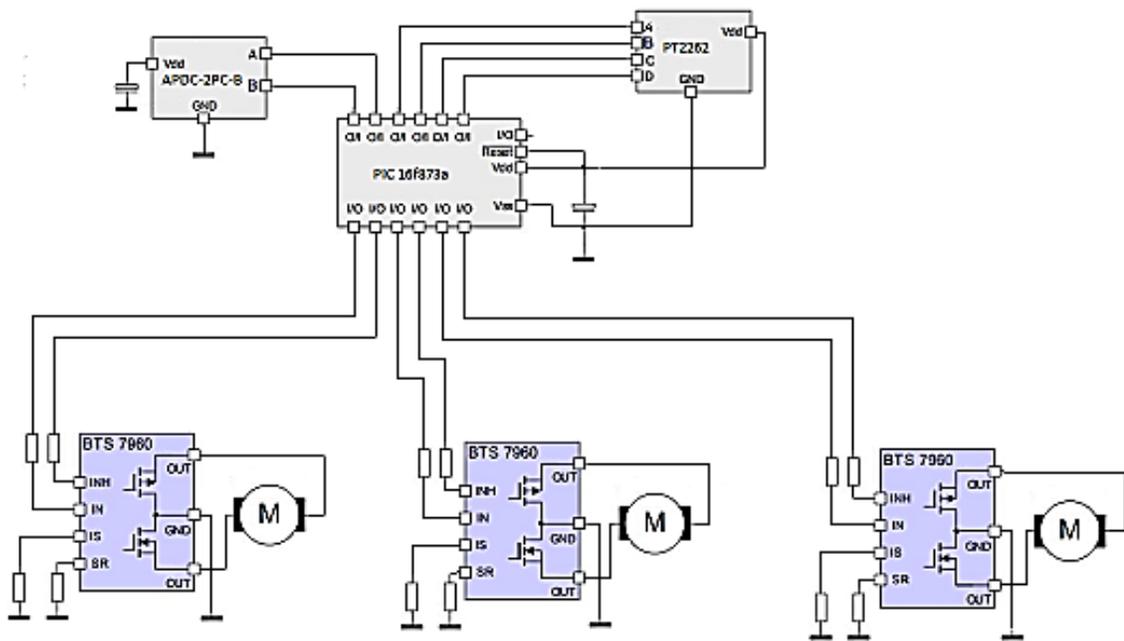
La recepción del microcontrolador PIC16F873A se encarga en convertir los comandos provenientes del usuario en pulsos necesarios para los actuadores encargados de controlar el mecanismo de tracción y el mecanismo de levantamiento de carga. El diagrama de flujo del sistema de control implementado en el microcontrolador se muestra en la siguiente figura. En el anexo D se presenta el código de programación del microcontrolador.

Figura 28: Diagrama de flujo del sistema de control



Fuente: Autor

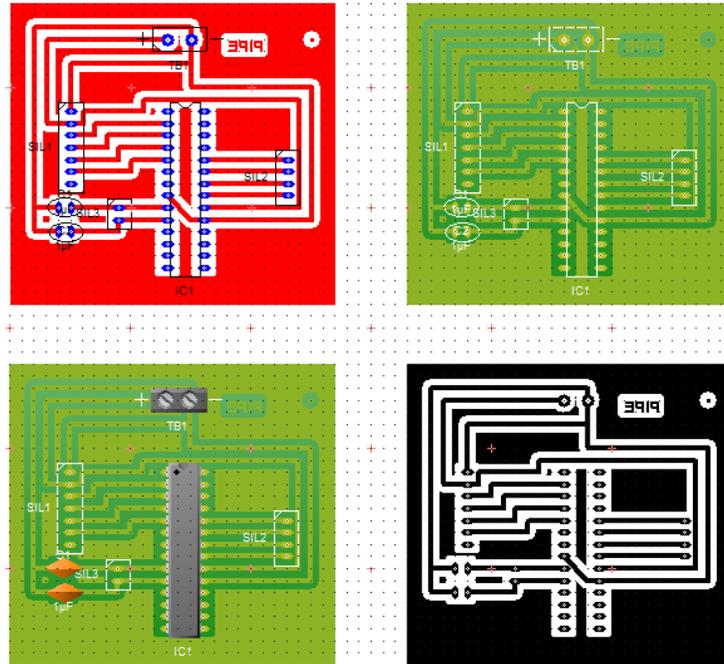
Figura 29. Diagrama circuital



Fuente: Autor

**9.2.2.2 Diseño de la PCB.** La PCB diseñada para el funcionamiento del PIC se muestra a continuación en la figura 30, diseñada en PCB Wizard, alimentando el microcontrolador con un voltaje de 5V y GND, con cuatro entradas y cuatro salidas respectivamente como se necesita su funcionamiento.

Figura 30: Diseño PCB

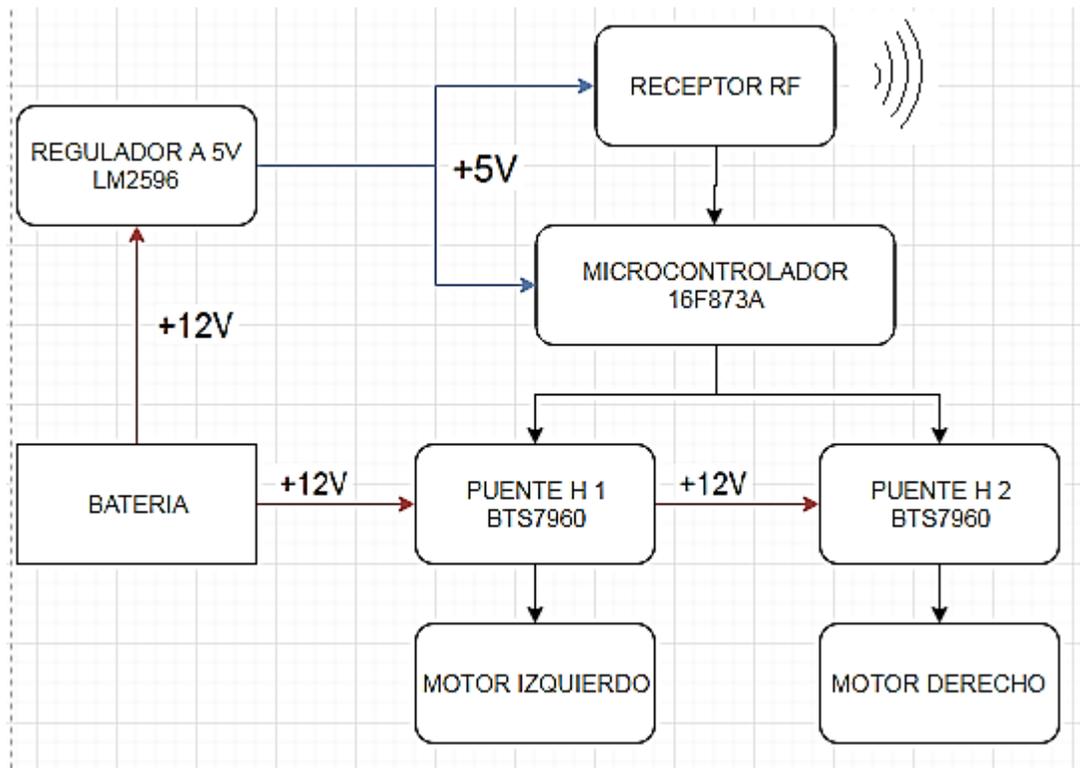


Fuente: Autor

En esta figura 30, se puede apreciar el diseño de la PCB propuesta para el PIC16F873a, en la cual se muestra la PCB de tierras, real, con componentes y sin componentes, lista para empezar el procedimiento de impresión.

**9.2.3 Diseño etapa de potencia:** La etapa de potencia fue diseñada de tal manera que los dos motores de tracción tienen un driver independiente para así lograr una movilidad de locomoción perfecta usando el Puente H BTS7960 de 43 amperios, este plano se puede observar en la Figura 31.

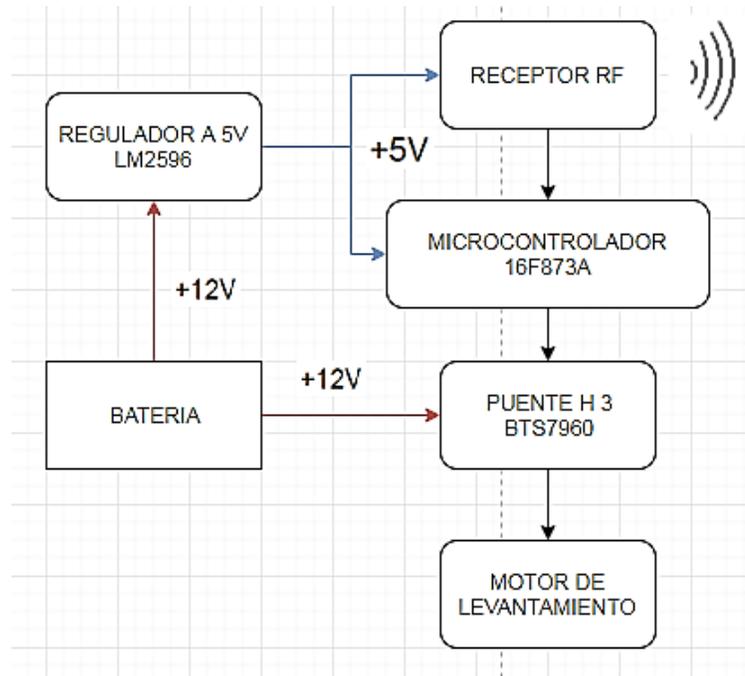
Figura 31: Diagrama de conexiones de drivers de potencia para tracción



Fuente: Autor

El diagrama de potencia diseñado para el levantamiento de carga posee un Puente HBTS7960 independiente, este diagrama se puede apreciar en la Figura 32 mostrada a continuación:

Figura 32: Diagrama de conexiones del sistema de potencia de levantamiento de carga



Fuente: Autor

### 9.2.3.1 Cálculo de los driver's para los motores

Los drivers de los motores de tracción se alimentan de una batería de 12 VDC, entonces la corriente nominal ( $I_n$ ) soportada la muestra la ecuación [7]:

$$I_n = \frac{P_{motor}}{V_{bateria}} \quad [7]$$

Obteniendo una corriente nominal de:

$$I_n = \frac{52.92}{12} = 4.4 \text{ A}$$

Estos drivers deben soportar además la corriente de arranque de los motores DC, que se estima 8 veces la corriente nominal, siendo entonces la ecuación [8] la que efectúa el cálculo:

$$I_{max} = 8 * I_n \quad [8]$$

Obteniendo una corriente total de:

$$I_{max} = 35.2 A$$

El driver del motor de levantamiento se alimenta de una batería de 12VDC, entonces la corriente nominal soportada la muestra la ecuación [9].

$$I_n = \frac{P_{motor}}{V_{bateria}} \quad [9]$$

Obteniendo una corriente nominal de:

$$I_n = \frac{58.8}{12} = 4.9 A$$

Este driver debe soportar además la corriente de arranque del motor DC, que se estima 8 veces la corriente nominal, siendo entonces la ecuación [10] la que efectúa el cálculo:

$$I_{max} = 8 * I_n \quad [10]$$

Obteniendo una corriente máxima de:

$$I_{max} = 39.2 A$$

Los catálogos de los fabricantes de los Puente H deberán proporcionar la cantidad de corriente que soporta, voltaje de operación y control de PWM.

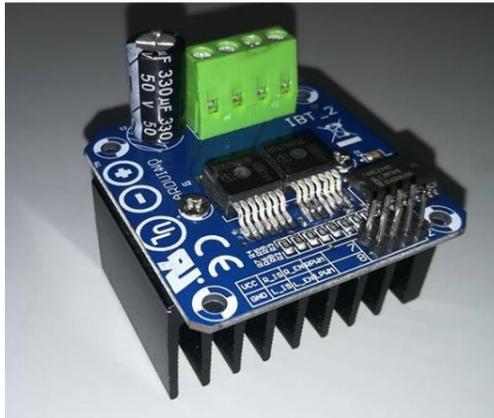
Tabla 4: Puente H por seleccionar

Referencia	Voltaje	Corriente	# de canales	Costo (USD)
L298N	7v - 46V	2A por canal	2	USD 3.00
L298n	2V - 10V	2.5A por canal	2	USD 2.5
BTS7960	5.5v - 30V	43A por canal	1	USD 18.00

Dado que la corriente máxima que consume cada motor es de 35.28 A de tracción y 39.2 A de levantamiento es necesario utilizar el Puente H BTS7960 (Figura 26), ya que soporta una corriente máxima de operación 43 A, y un voltaje máximo de 30V, cuenta con un solo canal de potencia implicando la compra de tres Puente H.

La etapa de potencia usa en total 3 Puente H BTS7960 de 43 amperios, dos de ellos dedicados al sistema de tracción del dispositivo y el otro dedicado al sistema de levantamiento de carga, los drivers se muestran a continuación en la Figura 33.

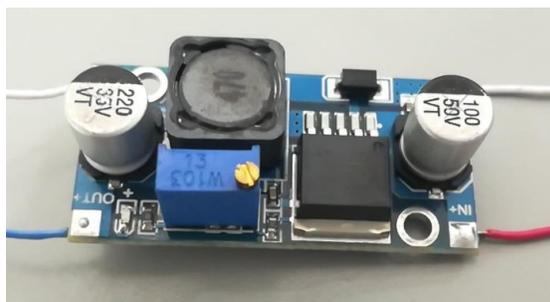
Figura 33: Drivers de potencia Puente H BTS7960 de 43 amperios



Fuente: Autor

Estos drivers reciben los comandos provenientes del microcontrolador, soportando el amperaje consumido por cada motor el cual como se calculó en la ecuación (7) y ecuación (9), las cuales indican que la corriente máxima consumida es de 35.28 A y 39.2 A respectivamente, estando conectados directamente de la batería y ejerciendo control sobre ellos el regulador de 5V LM2596 DC-DC ya que los drivers sin esta entrada de control no funcionan correctamente, este regulador de 5V se muestra a continuación en la Figura 34.

Figura 34: Regulador de voltaje 12V a 5V con referencia LM2596 DC-DC.



Fuente: Autor

### 9.2.3.2 Batería

La batería es el elemento esencial del dispositivo, por esto se requiere una batería de gran capacidad de carga, por esto se usará una batería de marca Willard 12 VDC 48-850 proporcionando una corriente de 48 Amperios, esta es mostrada en la Figura 35 a continuación. Esta batería tiene la capacidad de hacer funcionar estos tres motores de manera continua soportando la carga ejercida por el dispositivo cuando se encuentra con el peso total cargado y cuando se encuentra el dispositivo sin la canastilla cargada.

Figura 35: Batería 12 VDC 48-850



Fuente: Autor

## 10 IMPLEMENTACIÓN

### 10.1 IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA DEL PROTOTIPO.

**10.1.1 Mecanismo de tracción:** En esta fase del proyecto, la fase mecánica del prototipo, se tuvieron diferentes inconvenientes dado que el peso propuesto para el dispositivo, no permitía un correcto funcionamiento del prototipo. Debido a esto se tuvo que hacer dos implementaciones diferentes en la tracción, por esta razón el prototipo tiene dos tipos de llantas diferentes delanteras y traseras.

Figura 36: Prototipo mecánico desechado



Fuente: Autor

El prototipo que se muestra en la figura 36 no funcionó correctamente debido a que los motores no podían mover tanto peso junto en las 4 llantas, teniendo en cuenta que la relación de piñones era correcta y la cadena que se instaló en este era de bicicleta y el trayecto entre llantas era muy largo, causando que se desencadenara en cualquier momento, por esta razón se tuvo que hacer un diseño completamente nuevo del sistema de tracción como se podrá evidenciar en las Figuras 37 y 38.

Figura 37: Sistema de tracción del prototipo en dos ruedas traseras.



Fuente: Autor

Figura 38: Sistema de tracción delantera

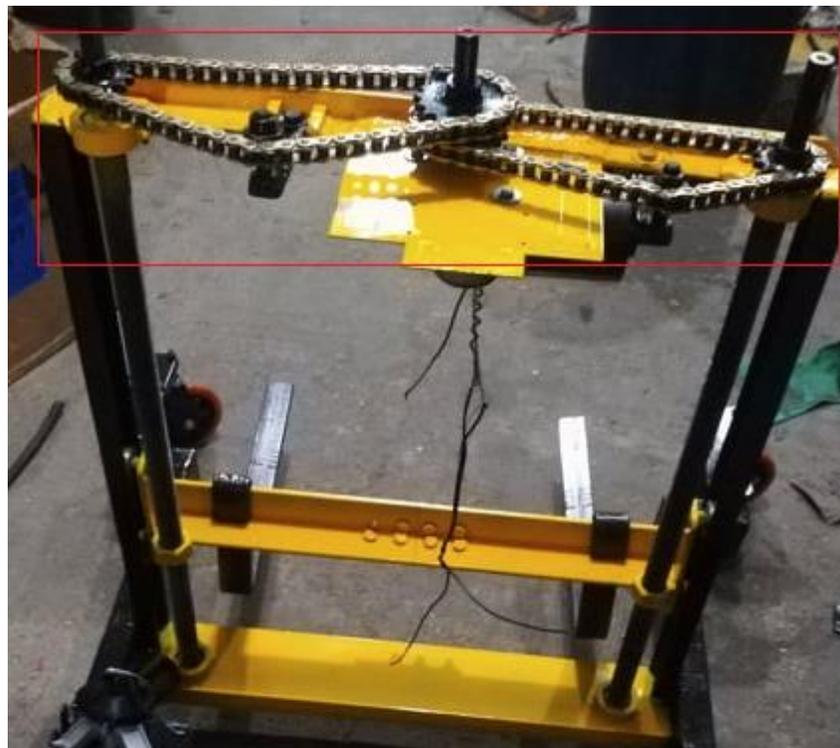


Fuente: Autor

Este sistema de tracción implementado funciona correctamente ya que al tener cargado el peso en el prototipo, las llantas giratorias de 360° hacen más fácil el movimiento en todas las direcciones, evitando que se bloquee con el mismo peso, así mismo la tracción directa con cadena en los motores hacia las llantas hace que los motores no se fuercen de tal manera que pudieran llegar a dañarse.

**10.1.2 Mecanismo de levantamiento:** En esta fase de levantamiento de carga se usaron dos varillas roscadas para dar movimiento al sistema, estas constan de dos horquillas tipo gancho que soportan el peso a cargar, una porta horquillas encargada en llevar todo el peso, subir y bajar, un motor eléctrico DC, piñones de 17 dientes en el motor y piñones de 14 dientes en las varillas, cadenas como se evidencia en las Figuras 39, 40 y 41 a continuación.

Figura 39: Mecanismo de levantamiento de carga



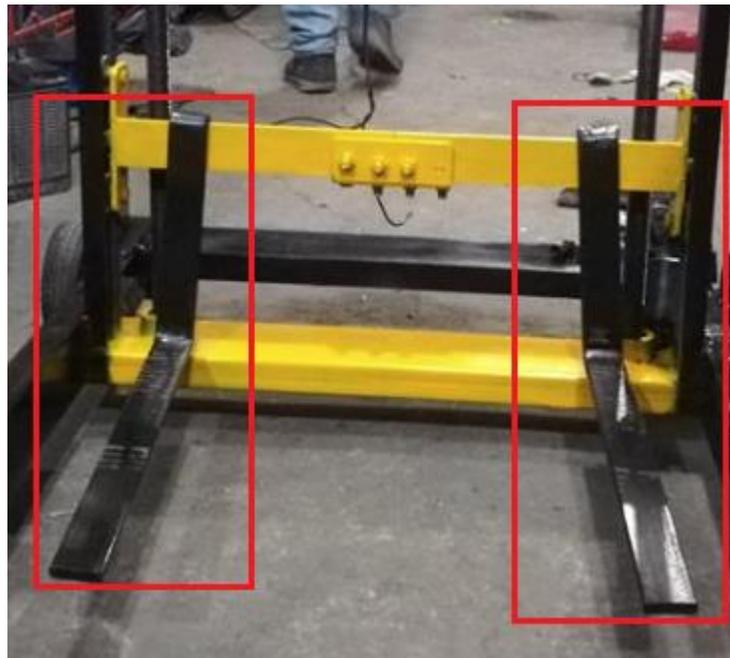
Fuente: Autor

Figura 40: Porta horquillas



Fuente: Autor

Figura 41: Horquillas



Fuente: Autor

Este mecanismo de levantamiento de carga fue diseñado partiendo de las medidas que tiene una canastilla plástica, dando la opción al usuario de poner una canastilla encima de otra dependiendo si se necesita solamente transportar la carga u ordenar las canastillas verticalmente.

## 10.2 IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA

**10.2.1 Sistema de mando inalámbrico:** Este sistema de mando inalámbrico tiene como principio el Modulo de RF 4 canales control remoto PT2262/272 a 315MHz, que transmite 4 señales diferentes en la frecuencia de los 31MHz, acondicionado por completo por una palanca joystick de un mando para videojuegos, el cual proporciona control de tracción al dispositivo, este mando inalámbrico en su primera fase se puede evidenciar en la Figura 42, mostrada a continuación.

Figura 42: Mando inalámbrico RF



Fuente: Autor

Esta palanca de videojuegos se implementó debido a que cumple con los requerimientos necesarios para la movilidad del prototipo, ya que en el costado posterior tiene 4 microswitches proporcionando las entradas y salidas que al ejercer un manejo sobre el mismo, estos microswitches se pueden apreciar en la Figura 43 a continuación.

Figura 43: Costado posterior del mando



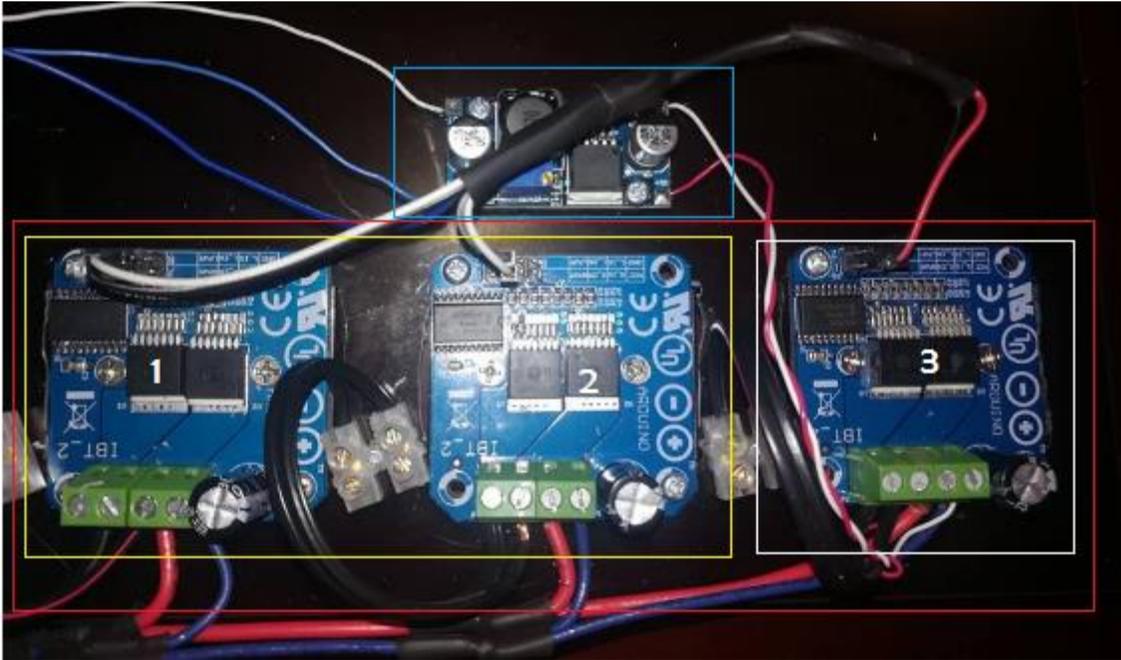
Fuente: Autor

El modulo RF receptor, esta implementado con las salidas del mismo al microcontrolador, el cual envía los comandos provenientes del control inalámbrico hacia los drivers de potencia, para su correcto funcionamiento se tiene un regulador a 5V conectado de la batería al microcontrolador.

Así usando la frecuencia de los 315MHz se proporciona un manejo directo de tracción al prototipo.

**11.2.2 Etapa de potencia:** La etapa de potencia del dispositivo cuenta con drivers de potencia Puente H BTS7960 de 43 amperios, 3 en total, los cuales son individuales para cada motor, dos para el mecanismo de tracción y uno para el sistema de levantamiento de carga como se puede evidenciar en la Figura 44, estos drivers deberán ser controlados por el microcontrolador, alimentándose directamente de la batería y recibiendo voltajes lógicos provenientes del microcontrolador.

Figura 44: Etapa de potencia



Fuente: Autor.

En la etapa de potencia de la figura 46 se muestran los tres drivers de potencia utilizados, el cuadro rojo muestra enumerándolos cada uno:

Rectángulo amarillo:

- 1- Puente H BTS7960 de 43 amperios para motor 1.
- 2- Puente H BTS7960 de 43 amperios para motor 2.

Cuadrado blanco

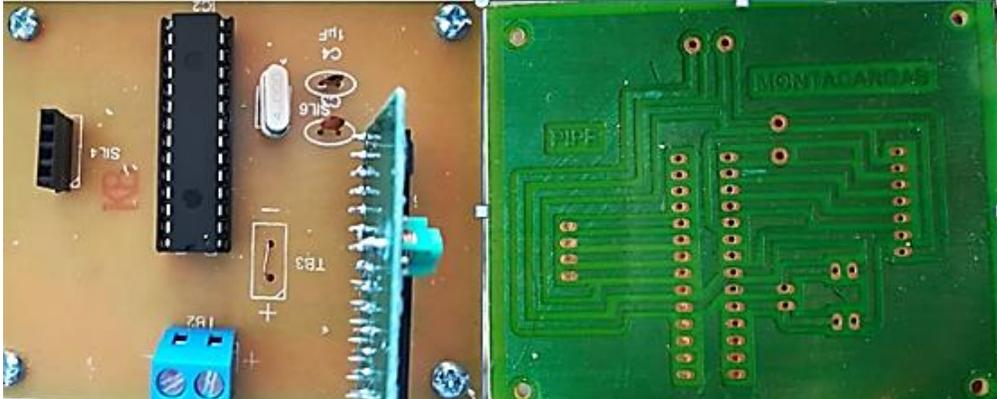
- 3- Puente H BTS7960 de 43 amperios para motor 3.

En el rectángulo azul se muestra el regulador LM2596 DC-DC a 5V.

Estos cuadros muestran todos los módulos usados en la etapa de potencia, dadas sus conexiones, ninguno interfiere con el otro, el cableado por colores indica que conexión va a cada motor y las entradas del comando del microcontrolador.

**10.2.3 Impresión PCB:** La impresión de la PCB se realizó en el programa PCB Wizard, en el cual se obtuvo el diseño de la placa que se verá en la Figura 45, en esta se muestra la PCB terminada la cual tiene los componentes necesarios como el receptor RF y el microcontrolador.

Figura 45: Tarjeta PCB



Fuente: Autor

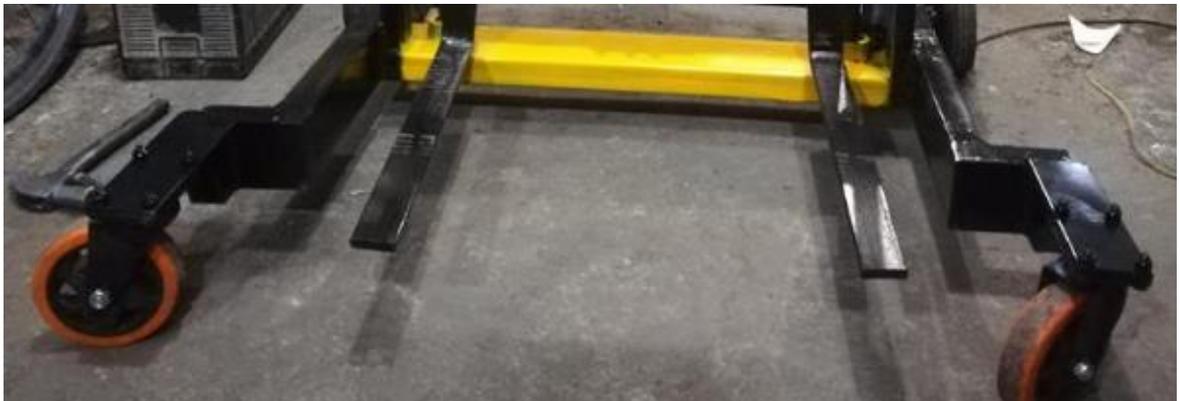
## 11 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

En la fase de pruebas del prototipo arrojaron diferentes resultados según fueron los diseños mecánicos y electrónicos, se presentan los resultados de las pruebas realizadas de la siguiente manera:

### 11.1 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO.

**11.1.1 Pruebas del mecanismo de tracción del dispositivo:** El mecanismo de tracción del dispositivo se comporta muy bien dado el peso que maneja, ya que estando sin carga, esta pesa en total 60 Kg dada la estructura, y cargado puede llegar a pesar hasta los 120 Kg. Esto gracias a las ruedas giratorias industriales implementadas en el mismo como se observa en la figura 46 mostrada a continuación.

Figura 46: Ruedas giratorias implementadas



Fuente: Autor

Estas llantas fueron la solución al problema mencionado en la fase de diseño, en donde se quiso realizar un montaje de 4x4 usando cadenas para bicicleta. El problema en la fase de pruebas fue que con el peso total de los 120Kg, el prototipo no podía girar puesto que se tenían que mover dos llantas al mismo tiempo arrastrando dos llantas, forzando mucho los motores a tal punto que se dañó la caja reductora de uno de los dos motores, el mecanismo implementado se muestra en la figura 47.

Figura 47: Mecanismo de tracción fallido



Fuente: Autor

Por esta razón se tuvo que hacer un rediseño completo del mecanismo de tracción afectando directamente el chasis del dispositivo e implicó un cambio en la piñonera del mecanismo de tracción, obligado a dejar solo tracción en las dos llantas traseras. De esta manera se solucionó por completo el problema de giro del prototipo, con un Angulo de giro de 360°.

**11.1.2 Pruebas del mecanismo de levantamiento del dispositivo:** El mecanismo de levantamiento de carga funcionó correctamente dado que la relación de piñonera es de 14 a 17 dientes, proporcionando una mayor potencia al mecanismo en las dos varillas que funcionan girando al mismo tiempo ejerciendo una potencia equilibrada en la portahorquillas.

El mecanismo de levantamiento de carga logra levantar los 60 Kg cumpliendo el objetivo propuesto, pero dado que es mucho peso para un solo motor DC hace que el mismo se fuerce más de lo adecuado realizando su trabajo más lento de lo estipulado, tardando más tiempo y consumiendo mucha energía. El mecanismo de levantamiento del montacargas en su sección de engranaje se muestra en la figura 48 vista a continuación.

Figura 48: Engranaje del mecanismo de levantamiento de carga



Fuente: Autor

Dadas las condiciones del motor y la relación de piñonería se recomienda trabajar el prototipo con un peso máximo de 40 Kg para evitar forzar el prototipo, no obstante, el mecanismo de tracción puede remover cargas hasta de 100 Kg de un lugar a otro sin ninguna dificultad.

En la figura 49 mostrada a continuación se puede observar el prototipo completamente finalizado, en esta figura se muestran los sistemas de tracción y levantamiento de carga en funcionamiento.

Figura 49: Prototipo funcional vista frontal



Fuente: Autor

La figura 50 muestra el prototipo funcional visto de costado, en el cual se observan los mecanismos funcionando, y el mecanismo de tracción implementado en las dos ruedas traseras.

Figura 50: Prototipo funcional, vista lateral



Fuente: Autor

## 11.2 PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

**11.2.1 Pruebas del sistema de mando inalámbrico:** El mando inalámbrico por RF usado en el control remoto para movimiento motriz no fueron suficientes los 4 canales de transmisión que maneja el mismo, esto debido a que en el prototipo se necesitarían 6 canales de transmisión.

Por esta razón se tuvo que manejar el módulo de transmisión y recepción APDC-2PC-B, el cual proporciona los dos canales adicionales de transmisión, pero transmitiendo a una frecuencia de 433 MHz, esto debido a que al usar el mismo módulo de 4 canales que funciona a 35 MHz produjo una interferencia entre el control de tracción y control de levantamiento de carga, como se muestra en la tabla 5 a continuación.

Tabla 5: Componentes en funcionalidad.

COMPONENTE	FRECUENCIA (Hz)	FUNCIONALIDAD
Modulo RF de cuatro canales	315MHz	OK
Modulo RF de dos canales	433MHz	OK

Fuente: Autor.

Estando en funcionamiento el sistema de transmisión, el circuito receptor en principio se quería hacerlo en ATMEGA328, controlador de Arduino, pero se utilizó de mejor manera el PIC16F873a como microcontrolador para así lograr una mejor efectividad del dispositivo de transmisión y recepción, obteniendo en la etapa de potencia funcionalidad total distinguiendo las frecuencias de cada uno de los transmisores RF sin presentar las interferencias anteriormente mencionadas.

**11.2.2 Pruebas del sistema de potencia:** Los Puente H de potencia utilizados no presentaron problemas en la fase de implementación, las combinaciones lógicas que se tuvieron que realizar fueron muy leves como el cambio de giro de los motores directamente en el motor.

Cabe resaltar que de estos módulos de potencia parte la funcionalidad total del prototipo, así mismo soportan el amperaje necesario y exigido por cada motor cuando se encuentra con la canastilla cargada o sin ella puesto que tiende a forzarse más cuando tiene la canastilla cargada, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: Módulos de potencia en funcionalidad

COMPONENTE	CORRIENTE CON CARGA	CORRIENTE SIN CARGA	FUNCIONALIDAD
Modulo puente H Motor 1	HASTA 4 AMPERIOS	2 AMPERIOS	OK
Modulo puente H motor 2	HASTA 4 AMPERIOS	2 AMPERIOS	OK
Modulo puente H motor 3	HASTA 6 APERIOS	2.5 AMPERIOS	OK

Fuente: Autor.

## 12 CONCLUSIONES

En conclusión, los montacargas eléctricos tienen un futuro y campo muy grande debido a la demanda que tendrán los motores que reemplazan los de combustión interna ya que estos no emiten gases contaminantes a la atmósfera terrestre y la reserva de combustibles fósiles tiende cada vez más a extinguirse en todo el mundo cambiando así las economías mundiales. Aprovechando los conocimientos científicos sobre mecánica y electrónica, se pueden implementar más y mejores mecanismos con motores eléctricos, en los montacargas dispositivos mecánicos e hidráulicos que ejercen mayor fuerza con menos consumo de energía la cual deberá ser mayormente aprovechable.

Los equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos son la parte fundamental del prototipo, por esto el montacargas es un aparato totalmente amigable con el medio ambiente, además es lo suficientemente potente para poder remover el peso planteado, para ello se tuvo que hacer el cálculo necesario de torque, voltajes y corrientes, para seleccionar el equipo que más se adapte a las necesidades calculadas teniendo en cuenta las referencias y características proporcionadas por los fabricantes, así entonces dar por cumplido el objetivo e implementando un dispositivo capaz de solucionar la problemática presentada.

Las canastillas plásticas deben tener un soporte en el piso tipo estiba para poder facilitar el proceso de levante de carga, debido a que el montacargas no puede sujetar una canastilla directamente desde el suelo haciendo más difícil la labor de levantamiento.

El montacargas funciona mejor con tracción trasera y dos llantas giratorias, no se consideró que al tener una tracción en las cuatro ruedas con el peso total se exigen más los motores haciendo que este no pueda girar, requiriendo un nivel de torque mayor, por tanto, motores más grandes y más costosos. En conclusión, los motores marca Nissan cumplen con el objetivo de transportar las canastillas.

El mecanismo de levantamiento de carga con varillas roscadas girando al mismo tiempo es muy efectivo puesto que no fuerza ni exige de más al motor, pero tiende a ser un poco lento el mecanismo de levantar y bajar la carga.

El diseño del mando de radiofrecuencia, con el módulo de levantamiento de carga y el módulo de tracción funciona perfectamente ya que estos dos módulos manejan dos frecuencias diferentes, una de 315 MHz y otra de 433 MHz. De esta manera se logra evitar un conflicto entre las dos señales que causan truncamientos en la comunicación, sin embargo, se concluye en cuanto a rendimiento es muy efectivo con larga distancia, cumpliendo con el objetivo de diseñar un mando RF para el montacargas.

### 13 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda para mejorar el prototipo de levantamiento de carga un motor de más revoluciones, pero al mismo torque, dado que este sistema funciona muy bien, pero es lento y un motor de más revoluciones mejoraría notoriamente el prototipo. De igual manera hacer un rediseño de la estructura metálica ya que esta es demasiado pesada para los motores ya que estos podrían trabajar más ligeros con menos peso.

Por otra parte, se podría mejorar la interfaz física de usuario, de tal manera que éste sea más amigable para el operario, dado que el mando inalámbrico implementado posee la particularidad de ser muy grande ocasionando posibles molestias en el momento de interactuar, es recomendable realizar una interfaz más pequeña mejorando la portabilidad de la misma con la misma efectividad.

Se podría complementar este trabajo con el diseño e implementación de una carcasa mejorada del montacargas cubriendo la mayoría de partes dado que podrían presentarse accidentes al tener expuestos los engranajes y los motores del mismo.

## 14 BIBLIOGRAFÍA

BUITRAGO German Darío, RAMOS Olga Lucia. Sistema teledirigido de un brazo robótico de 4 grados de libertad aplicando visión de máquina/remote control system of a robotic arm 4 degrees of freedom using machine vision/sistema de controle remoto de um braço robótico 4 graus de liberdade aplicando vi. Envigado : revista eia, 2015, vol. 12. 17941237.

Bussines Wire En español. Mitsubishi forklift trucks anuncia productos nuevos y mejoras para el 2010, 2010, Feb 01 recuperado el 01-11-2018.

CÁRDENAS E. Estudio sobre la operación y mantenimiento de los circuitos de control y potencia de los montacargas eléctricos. Tesis de ingeniería mecánica. Instituto Politécnico Nacional. México 1996

DEMETRIS Stavrou, STELIOS Timotheou, CHRISTOS G. Panayiotou, MARIOS M. Polycarpou, Assignment and Coordination of Autonomous Robots in Container Loading Terminals, IFAC-PapersOnLine, Volume 50, Issue 1, 2017, Pages 9712-9717, ISSN 2405-8963.

ECHEVERRI ESTRADA Juan Martín, ESCOBAR MURCIA Paula Andrea. Caracterización de un agv (vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible; caso centro tecnológico de automatización CTAI de la pontificia universidad javeriana. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá 2012

Electric Wheelbarrow. (2014). Concrete Products, 117(1), 60. Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co/docview/1491419708?accountid=45660>

FERRO LASPIDEA Pablo, FERNÁNDEZ PAMPLONA Javier Goicoechea, Diseño e implementación de un robot para la automatización de un almacén, 25 de Junio de 2014, E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación.

GARIBOTTO Giovanni, MASCISNGELO Stefano, BASSINO Paolo, COELHO Christopher, PAVAN Annita, MARSON Mario. Industrial exploitation of computer vision in logistic automation: autonomous control of an intelligent forklift truck. Genova (Italy), International Conference on Robotics & Automation Leuven Belgium May 1998.

Griffith P Bill. The Robot Gargantua, The Meccano Magazine marzo de 1938 [http://browse.feedreader.com/c/cyberneticzoo\\_com/322346070](http://browse.feedreader.com/c/cyberneticzoo_com/322346070).

HAJIME Asama, MASATOSHI, XOBUYUKI Goto, HAYATO Kaetsu, AKIHIRO Matsumoto e ISAO Endo. Mutual Transportation of Cooperative Mobile Robots

Using Forklift Mechanisms, Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation Minneapolis, Minnesota - April 1996.

HAN Zhang, WANZHONG Zhao. Decoupling control of steering and driving system for in-wheel-motor-drive electric vehicle, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 101, 2018, Pages 389-404, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.08.042>. Keywords: Electric vehicle; Decoupling control; Nonlinear control;  $\mu$ -Synthesis.

WHITING-SLAUSON Harold. The Motor Truck In Manufacturing, Scientific American Supplement publicado en octubre 12 de 1912.

LLAGUNES, Joseph Maria font and JOAQUIN A. battle. 2006. "posicionamiento dinámico y guiado de un robot móvil con cinemática de triciclo." revista iberoamericana de ingeniería mecánica 10 (1): 3-13.

LLAMAS J. Agustin. Montacargas Automático, ingeniería en robótica industrial de la escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/82/TESIS\\_%20MONTACARGAS%20AUTOMATICOLLamas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/82/TESIS_%20MONTACARGAS%20AUTOMATICOLLamas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MERCURIO, E. (2017, Aug 24). Presentan a robot de transporte de maletas. El Mercurio Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1953801961?accountid=45660>.

MONTOYA CLAVIJO Roland, ESTUPIÑAN MESA Brayan, y TORRES ORJUELA Leonardo. Diseño e implementación de robots cooperativos montacarga. Bogota DC Mayo de 2014, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

RODRÍGUEZ POZUETA Miguel Ángel. Máquinas de corriente continua. Universidad de Cantabria, departamento de ingeniería eléctrica y energética, España 2017

SAURABH Chauhan, Totor torque calculations for electric vehicle. International Journal of scientific & technology research, volume 4, issue 08, August 2015

SEELINGER MICHAEL, Yoder John-David. Automatic Pallet Engagement by a Vision Guided Forklift, Proceedings of the 2005 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005.

TUA Agustinus Tamba, BONGHEE Hong, y KEUM-SHIK Hong. A Path Following Control of an Unmanned Autonomous Forklift. International Journal of Control, Automation, and Systems (2009)

## 15 ANEXOS

### Anexo A Motores adecuados a los engranajes para tracción



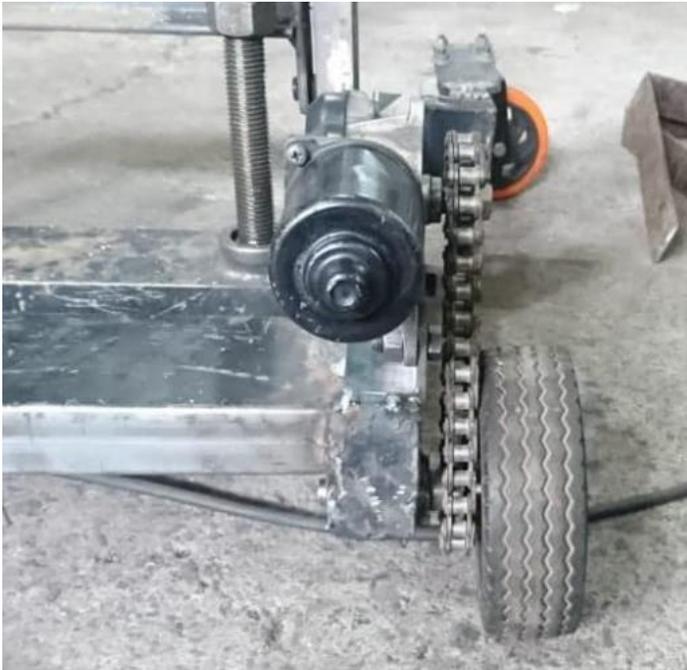
Fuente: Autor

### Anexo B Implementación del sistema de tracción trasera



Fuente: Autor

Anexo C. Tracción trasera



Fuente: Autor

## Anexo D. Código del microcontrolador

```
#define sharp2 input (pin_a1)
#define sharp3 input (pin_a2)
#define sharp4 input (pin_a3)
#define sharp5 input (pin_a4)

void main () {
  trisa=0xff;
  trisb=0x00;
  trisc=0xff;
  nico=200;
  portb=0;
  delay_ms(0);
  //portb=6;

  For (; ;) {
    If (sharp1==1){
      Portb=0x05;
      Delay_ms(10);
    }

    Else
      Portb=0x00;

    If (sharp2==1){
      Portb=0x0A;
      Delay_ms (10);
    }

    Else
      Portb=0x00;

    If (sharp3==1) {
      Portb=0x09;
      Delay_ms(10);
    }

    Else
      Portb=0x00;

    If (sharp4==1) {
      Portb=0x06;
      Delay_ms(10);
    }

    Else
      Portb=0x00;
  }
}
```

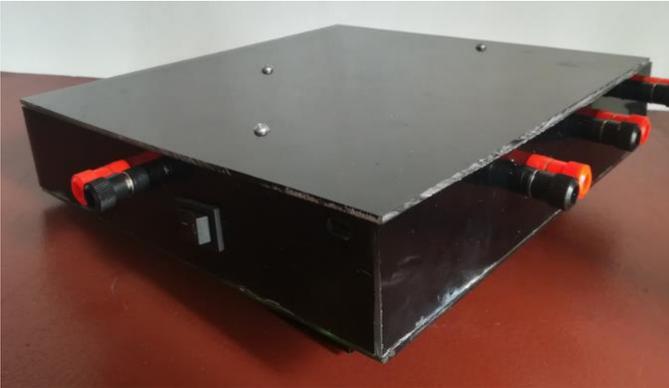
Fuente: Autor

Anexo E. Implementación de módulos y carcaza del mando inalámbrico



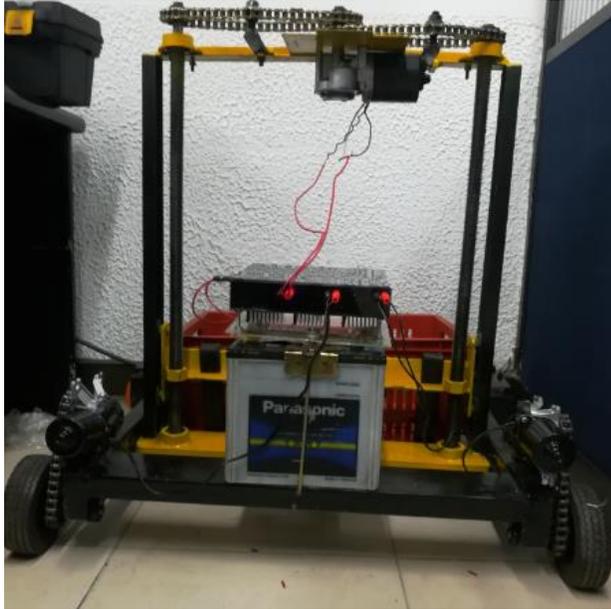
Fuente: Autor

Anexo F. Panel de control



Fuente: Autor

### Anexo G. Prototipo terminado vista trasera



Fuente: Autor

### Anexo H. Prototipo, vista frontal



Fuente: Autor

Anexo I. Ficha técnica del puente H BTS7960

**4.3.6 Electrical Characteristics - Protection Functions**

- 40 °C <  $T_j$  < 150 °C; 8 V <  $V_S$  < 18 V (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		

**Under Voltage Shut Down**

4.3.1	Switch-ON voltage	$V_{UV(ON)}$	-	-	5.5	V	$V_S$ increasing
4.3.2	Switch-OFF voltage	$V_{UV(OFF)}$	4.0	-	5.4	V	$V_S$ decreasing
4.3.3	ON/OFF hysteresis	$V_{UV(HY)}$	-	0.2	-	V	-

**Over Voltage Lock Out**

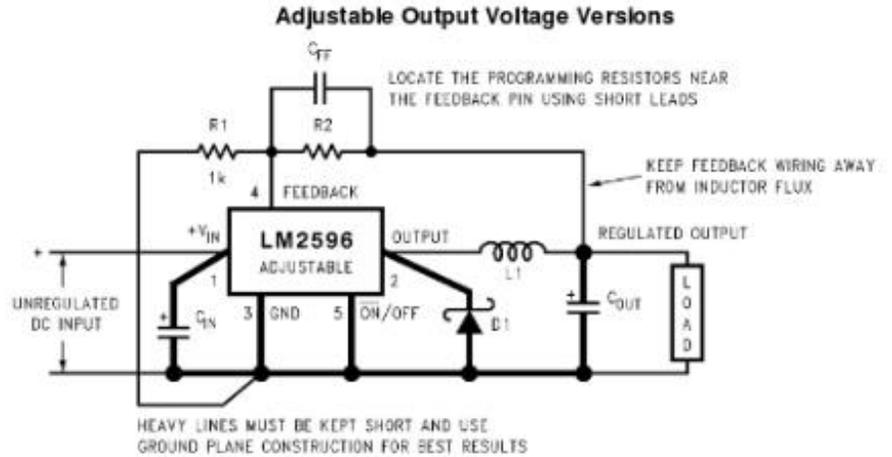
4.3.4	Switch-ON voltage	$V_{OV(ON)}$	27.5	-	-	V	$V_S$ decreasing
4.3.5	Switch-OFF voltage	$V_{OV(OFF)}$	27.6	-	30	V	$V_S$ increasing
4.3.6	ON/OFF hysteresis	$V_{OV(HY)}$	-	0.2	-	V	-

**Current Limitation**

4.3.7	Current limitation detection level high side	$I_{CLH0}$	47	62	84	A	$V_S=13.5$ V $T_j = -40$ °C $T_j = 25$ °C $T_j = 150$ °C
			44	60	80		
			43	59	79		

Fuente: Askix, recuperado el 20 de Noviembre de 2018. Disponible en [https://www.askix.com/motor-controlador-bts7960-43a\\_2.html](https://www.askix.com/motor-controlador-bts7960-43a_2.html)

## Anexo J. Ficha técnica del regulador LM2596



$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where  $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select  $R_1$  to be approximately  $1\text{ k}\Omega$ , use a 1% resistor for best stability.

$C_{IN}$  —470  $\mu\text{F}$ , 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"

$C_{OUT}$  —220  $\mu\text{F}$ , 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"

D1 —5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825

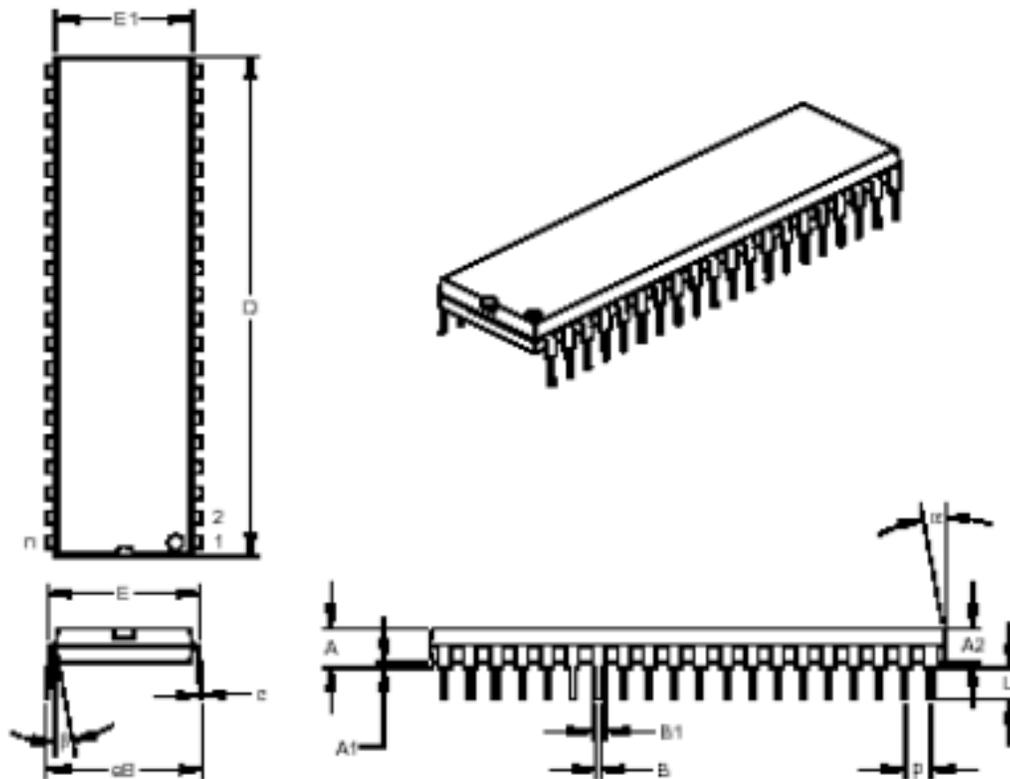
L1 —68  $\mu\text{H}$ , L38

R1 —1  $\text{k}\Omega$ , 1%

$C_{FF}$  —See [Application Information Section](#)

Fuente: Moun Hunter, Recuperado el 20 de Noviembre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2TzHVk1>

Anexo K. Ficha técnica del PIC16F873



Units		INCHES*			MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		40			40	
Pitch	P		.100			2.54	
Tip to Seating Plane	A	.160	.175	.190	4.06	4.45	4.83
Molded Package Thickness	A2	.140	.150	.160	3.56	3.81	4.06
Base to Seating Plane	A1	.015			0.38		
Shoulder to Shoulder Width	E	.525	.600	.625	13.11	15.24	15.88
Molded Package Width	E1	.530	.545	.560	13.46	13.84	14.22
Overall Length	D	2.045	2.056	2.065	51.94	52.26	52.45
Tip to Seating Plane	L	.120	.130	.135	3.05	3.30	3.43
Lead Thickness	c	.008	.012	.015	0.20	0.29	0.38
Upper Lead Width	B1	.030	.050	.070	0.76	1.27	1.78
Lower Lead Width	B	.014	.018	.022	0.36	0.46	0.56
Overall Row Spacing	§ αB	.620	.650	.680	15.75	16.51	17.27
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

\* Controlling Parameter

§ Significant Characteristic

Notes

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-011

Drawing No. C04-016

Fente: Futurlec, recuperado el 20 de Noviembre de 2018. Disponible en <https://bit.ly/2Tw9yUI>