



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un prototipo del circuito electrónico
de control para el sistema de tracción de un
montacargas eléctrico.**

TESIS

Para obtener el título de:
Ingeniero Eléctrico Electrónico

Presenta:
**Luis Fernando Soberanes Quintana
Néstor Ulises Hernández Quintana**

Directora de Tesis:
Dra. Alejandra Castro González



México D.F., Ciudad Universitaria 2014

JURADO ASIGNADO

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| PRESIDENTE: | M.I. Luis Arturo Haro Ruiz |
| VOCAL: | Dra. Alejandra Castro González |
| SECRETARIO: | M.I. Fernando Lepe Casillas |
| 1er SUPLENTE: | Dr. Arturo Guillermo Reinking Cejudo |
| 2do SUPLENTE: | Ing. Vicente Flores Olvera |

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González _____

SUSTENTANTES:

Hernández Quintana Néstor Ulises _____

Soberanes Quintana Luis Fernando _____

INDICE GENERAL

| | |
|-------------------------|------|
| INDICE GENERAL | I |
| INDICE DE FIGURAS | IV |
| INDICE DE TABLAS | VIII |
| NOMENCLATURA | IX |

| | |
|-----------------------------|---|
| Resumen | 1 |
| Introducción | 2 |
| Objetivo general | 3 |
| Objetivos específicos | 3 |

Capítulo 1 Antecedentes

| | |
|--|----|
| 1.1 Máquinas de transporte | 4 |
| 1.2 Montacargas | 5 |
| 1.2.1 Historia de evolución de los montacargas | 5 |
| 1.2.2 Normatividad | 8 |
| 1.2.3 Seguridad del usuario | 9 |
| 1.2.4 Estadística del uso de montacargas | 10 |
| 1.3 Costos de producción y uso de montacargas | 14 |
| 1.4 Mercado de los montacargas | 15 |

Capítulo 2 Fundamentos

| | |
|--|----|
| 2.1 Montacargas | 17 |
| 2.2 Tipos de montacargas | 18 |
| 2.3 Mantenimiento preventivo y correctivo en montacargas | 21 |
| 2.4 Maquinaria y componentes en montacargas | 23 |
| 2.4.1 Máquinas eléctricas | 23 |
| 2.4.2 Dispositivos mecánicos | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.4.3 Dispositivos electrohidráulicos | 29 |
| 2.4.4 Elementos de potencia | 30 |
| 2.4.5 Cabina del operador | 37 |
| 2.4.6 Baterías | 39 |
| 2.5 Sistema de control | 41 |
| 2.5.1 Tracción | 41 |
| 2.5.2 Castillo | 43 |
| 2.5.3 Pantógrafo y uñas..... | 44 |
| 2.6 Instalaciones eléctricas | 45 |
| 2.6.1 Conductores del circuito de control..... | 45 |
| 2.6.2 Conductores del circuito de potencia | 47 |
| 2.6.3 Protecciones | 47 |

Capítulo 3 Metodología

| | |
|--|----|
| 3.1 Prototipo..... | 49 |
| 3.2 Selección de acciones a controlar en la tracción del montacargas | 49 |
| 3.3 Características de dispositivos utilizados en modelo real | 50 |
| 3.3.1 Comparativo de microcontroladores en el mercado..... | 50 |
| 3.3.2 Microcontroladores PIC 18F4550 y PIC 12F683 | 51 |
| 3.3.3 Mosfet IRFZ48 | 53 |
| 3.3.4 Contactor SW80P | 54 |
| 3.3.5 Shunt B250-50..... | 54 |
| 3.3.6 Optoacoplador PC817 | 55 |
| 3.4 Programa de simulación para el funcionamiento del prototipo..... | 57 |
| 3.5 Tipo de montacargas para caso de estudio | 57 |
| 3.6 Diagrama de flujo de metodología a implementar..... | 58 |

Capítulo 4 Resultados

| | |
|--|----|
| 4.1 Condiciones de operación actual de un montacargas..... | 62 |
| 4.2 Análisis de tarjeta electrónica real..... | 63 |
| 4.3 Análisis de condiciones de mejora en el sistema de control | 66 |

| | |
|--|-----|
| 4.4 Diseño del sistema de control de tracción..... | 66 |
| 4.4.1 Selección de equipos y circuitos | 66 |
| 4.4.2 Simulación | 69 |
| 4.5 Construcción del prototipo | 84 |
| 4.6 Operación del prototipo..... | 89 |
| 4.7 Análisis de costos | 98 |
| 4.8 Factibilidad económica..... | 99 |
| 4.8.1 Evaluación financiera..... | 100 |

Capítulo 6 Conclusiones

| | |
|----------------------------------|-----|
| Conclusiones..... | 102 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 103 |
| Anexo A..... | 107 |
| Anexo B..... | 114 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Primeras ruedas | 4 |
| Figura 1.2 Maquina simple, polea | 4 |
| Figura 1.3 Carretilla antigua china..... | 5 |
| Figura 1.4 Elevador eléctrico diseñado por Elisha Otis | 6 |
| Figura 1.5 Montacargas moderno | 7 |
| Figura 1.6 Representación gráfica del porcentaje de montacargas usado en diversas empresas | 11 |
| Figura 1.7 Representación gráfica del porcentaje de montacargas clasificados por marca | 12 |
| Figura 1.8 Representación gráfica del uso de montacargas por país de procedencia..... | 13 |
| Figura 1.9 Representación gráfica de fallas en los montacargas | 14 |
| Figura 2.1 Diagrama de principio de funcionamiento de montacargas..... | 17 |
| Figura 2.2 Triángulo de estabilidad y centro de gravedad de montacargas | 18 |
| Figura 2.3 Montacargas clase I | 18 |
| Figura 2.4 Montacargas clase II | 19 |
| Figura 2.5 Montacargas clase III | 19 |
| Figura 2.6 Montacargas clase IV..... | 20 |
| Figura 2.7 Montacargas clase V | 20 |
| Figura 2.8 Montacargas clase VI..... | 20 |
| Figura 2.9 Montacargas clase VII..... | 21 |
| Figura 2.10 Partes de motor de corriente directa | 23 |
| Figura 2.11 Esquema de Ley de Lenz..... | 24 |
| Figura 2.12 Esquema de Regla de Fleming | 24 |
| Figura 2.13 Esquema de motor de DC en serie | 26 |
| Figura 2.14 Esquema de motor de DC en paralelo | 26 |
| Figura 2.15 Esquema de motor de DC compuesto | 27 |
| Figura 2.16 Esquema de motor de DC de excitación independiente..... | 28 |
| Figura 2.17. Esquema básico de un sistema hidráulico | 30 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.18 Diagrama de sistema eléctrico de potencia..... | 30 |
| Figura 2.19 Triángulo de potencias, tipo de carga | 33 |
| Figura 2.20 Esquema de partes de un contactor..... | 33 |
| Figura 2.21 Diagrama de funcionamiento de contactos | 35 |
| Figura 2.22 Diagrama de cabina del operador en un montacargas) | 38 |
| Figura 2.23 Esquema de asiento del operador con movimiento de un montacargas | 38 |
| Figura 2.24 Guarda de seguridad..... | 39 |
| Figura 2.25 Esquema de conexión de puente H en el sistema de tracción de un montacargas | 42 |
| Figura 2.26 Funcionamiento puente H | 42 |
| Figura 2.27 Conexión de puente H en motor serie y paralelo | 43 |
| Figura 2.28 Esquema de funcionamiento de PWM | 43 |
| Figura 2.29 Castillo o mástil de un montacargas..... | 44 |
| Figura 2.30 Esquema de uso de pantógrafo | 44 |
| Figura 2.31 Fotografía de las horquillas para manejo de carga de un montacargas | 45 |
| Figura 2.32 Partes de un conductor | 46 |
| Figura 3.1 Diagrama de pines del microcontrolador PIC18F4550..... | 52 |
| Figura 3.2 Diagrama de pines del microcontrolador PIC12F683..... | 53 |
| Figura 3.3 Mosfet IRFZ48..... | 53 |
| Figura 3.4 Contactor SW80P..... | 54 |
| Figura 3.5 Shunt B250-50 | 54 |
| Figura 3.6 Optoacopladores | 55 |
| Figura 3.7 Diagrama de bloques de sistema de tracción | 56 |
| Figura 3.8 Montacargas clase I | 58 |
| Figura 3.9 Diagrama de metodología implementada..... | 59 |
| Figura 3.10 Diagrama de metodología implementada continuación..... | 60 |
| Figura 3.11 Diagrama de metodología implementada continuación..... | 61 |
| Figura 4.1 Diagrama de tarjeta electrónica comercial. | 65 |
| Figura 4.2 Diagrama de fuerzas de un cuerpo estático..... | 67 |
| Figura 4.3 Simulación de sistema de control sin señal de llave | 70 |
| Figura 4.4 Simulación de sistema de control con señal de llave | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.5 Simulación de sistema de control con señal de asiento y llave | 71 |
| Figura 4.6 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando hacia adelante | 72 |
| Figura 4.7 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando hacia atrás | 73 |
| Figura 4.8 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando ambas direcciones..... | 74 |
| Figura 4.9 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección sin señal de asiento | 74 |
| Figura 4.10 Entrada de señal analógica y salida de señal PWM..... | 75 |
| Figura 4.11 Simulación de PWM con potenciómetro al 90%..... | 76 |
| Figura 4.12 Imagen de osciloscopio con señal PWM al 90% de ciclo de trabajo ... | 76 |
| Figura 4.13 Simulación de PWM con el potenciómetro al 50% | 77 |
| Figura 4.14 Imagen de osciloscopio con señal PWM al 50% de ciclo de trabajo ... | 78 |
| Figura 4.15 Simulación de PWM con potenciómetro al 10%..... | 78 |
| Figura 4.16 Imagen de osciloscopio con señal PWM de 10% de ciclo de trabajo.. | 79 |
| Figura 4.17 Motor utilizado para prototipo | 79 |
| Figura 4.18 Elementos para la simulación del control de velocidad | 81 |
| Figura 4.19 Simulación de generador de pulsos a una frecuencia de 50Hz | 82 |
| Figura 4.20 Simulación de control de velocidad con frecuencia de 50Hz | 82 |
| Figura 4.21 Simulación de tren de pulsos con frecuencia de 1KHz | 83 |
| Figura 4.22 Figura Simulación de control de velocidad con frecuencia de 1KHz ... | 83 |
| Figura 4.23 Figura de diagrama eléctrico del sistema. | 84 |
| Figura 4.24 Integración de zócalos de microprocesadores y MOSFET en tarjeta de prototipo. | 85 |
| Figura 4.25 Integración de PIC 12F683, Optocopladores y MOSFET en el prototipo | 86 |
| Figura 4.26 Ubicación de leds indicadores en el prototipo | 87 |
| Figura 4.27 Integración de terminales de conexión al prototipo | 87 |
| Figura 4.28 Prototipo de tarjeta de control de tracción de montacargas eléctrico .. | 88 |
| Figura 4.29 Prototipo de sistema de control | 88 |
| Figura 4.30 Elementos integrados para realizar pruebas al prototipo | 89 |
| Figura 4.31 Interacción del sistema de control al accionar el switch de llave..... | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.32 Encendido de led al accionar el switch de asiento | 90 |
| Figura 4.33 Leds indicadores de accionamiento de contactores..... | 91 |
| Figura 4.34 Switch de la palanca de dirección activado hacia adelante..... | 91 |
| Figura 4.35 Switch de la palanca de dirección activada hacia atrás | 92 |
| Figura 4.36 Switch de asiento desactivado | 92 |
| Figura 4.37 Prueba de señal PWM con elementos reales | 93 |
| Figura 4.38 Señal de PWM en el osciloscopio | 94 |
| Figura 4.39 Señal PWM al 90% de ciclo de trabajo | 94 |
| Figura 4.40 Señal PWM de al 10% de ciclo de trabajo | 95 |
| Figura 4.41 Conexión de encoder a osciloscopio..... | 96 |
| Figura 4.42 Señal producida por el encoder con el motor girando a 102 rpm | 96 |
| Figura 4.43 Señal producida por el encoder con el motor girando a 745 rpm..... | 97 |
| Figura 4.44 Espacio propuesto para la integración del sistema de control | 98 |
| Figura A.1 Diagrama de flujo del programa de sistema de control, primera parte | 107 |
| Figura A.2 Diagrama de flujo del programa de sistema de control, segunda parte | 107 |
| Figura A.3 Primera parte de código fuente de microprocesador principal..... | 108 |
| Figura A.4 Segunda parte de código fuente de microprocesador principal | 109 |
| Figura A.5 Tercera parte de código fuente de microprocesador principal | 110 |
| Figura A.6 Cuarta parte de código fuente de microprocesador principal..... | 111 |
| Figura A.7 Quinta parte de código fuente de microprocesador principal..... | 112 |
| Figura A.8 Sexta parte de código fuente de microprocesador principal | 113 |
| Figura B.1 Primera parte de código fuente de microprocesador secundario..... | 114 |
| Figura B.2 Segunda parte de código fuente de microprocesador secundario..... | 115 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1.1 Relación de normas que regulan el uso de montacargas..... | 8 |
| Tabla 1.2 Porcentaje de uso de montacargas por empresa..... | 11 |
| Tabla 1.3 Uso de montacargas clasificados por marca..... | 12 |
| Tabla 1.4 Uso de montacargas por país | 13 |
| Tabla 1.5 Porcentaje de fallas en montacargas | 13 |
| Tabla 1.6 Marcas y modelos de montacargas de clase I | 16 |
| Tabla 2.1 Capacidad de corriente promedio por calibre en conductores de cobre. | 47 |
| Tabla 3.1 Comparativa de marcas de microcontroladores | 51 |
| Tabla 4.1 Precios aproximados y origen de controles que se encuentran actualmente en el mercado nacional | 62 |
| Tabla 4.2 Costos de elementos que integran el control de tracción del proyecto... | 63 |
| Tabla 4.3 Comparación de tarjeta comercial con tarjeta diseñada..... | 64 |
| Tabla 4.4 Ventajas y desventajas del prototipo de tarjeta de control | 66 |
| Tabla 4.5 Características de los elementos a utilizar en el circuito del proyecto.... | 69 |
| Tabla 4.6 Características del motor y encoder usados en el prototipo..... | 80 |
| Tabla 4.7 Costos de elementos que integran el circuito del proyecto | 99 |
| Tabla 4.8 Tasas de interés consideradas para financiamiento de proyecto | 99 |
| Tabla 4.9 Flujos de efectivo anuales | 100 |

NOMENCLATURA

a.C. antes de Cristo

AC Corriente Alterna

ASME American Society of Mechanical Engineers

CEI Comité Electrotécnico Internacional

CPU Central Processing Unit

DC Corriente Directa

DCEO Department of Commerce and Economic Opportunity

EPROM Erasable Programmable Read Only Memory

FET Field Effect Transistor

LED Light Emitting Diode

MOSFET Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

NOM Norma Oficial Mexicana

OSHA Occupational Safety and Health Administration

Pb Plomo

PBC Printed Circuit Board

PIC Circuito Integrado Programable

PWM Pulse width modulation

RAM Random Access Memory

ROM Read Only Memory

STPS Secretaría de Trabajo y Previsión Social

Resumen

En esta tesis se propone el diseño de un sistema de tracción de un montacargas, en particular de la tarjeta que realiza el control de velocidad y dirección, así como las protecciones más básicas en los montacargas de clase I.

Se realizó un diseño que cumple con las funciones de protección básicas y que puede ser fácilmente sustituido en la mayoría de los montacargas eléctricos de clase I.

Actualmente este tipo de tarjetas tienen un valor que ronda entre los \$12,000 y \$15,000. Esto sin tomar en cuenta que todas estas tarjetas son extranjeras y, por consiguiente, estas conllevan un tiempo de expedición y de traslado. Lo anterior se reflejará como tiempo en que el montacargas estará detenido, lo que se traduce como pérdidas económicas para la empresa.

En el presente prototipo, como se presentará más adelante, el costo de desarrollo de la tarjeta es de \$3,500. Así, si lo comparamos con las tarjetas ya existentes en el mercado, se observa que es tan sólo la cuarta parte del costo. Lo anterior sin considerar los costos del traslado mencionados anteriormente.

Si una empresa reemplaza, aproximadamente, 15 tarjetas de este tipo al año, se podrá observar un ahorro de, aproximadamente, \$172,000.

Por ende, se tuvo como objetivo realizar una tarjeta de bajo costo. Como se verá más adelante el costo del desarrollo de esta tarjeta será menos de la cuarta parte del precio comercial de otras tarjetas. Asimismo será una tarjeta cien por ciento de desarrollo mexicano, lo que facilitará los tiempos de traslado, y la inactividad del montacargas.

Introducción

El transporte y manejo de carga en general se ha desarrollado a partir de la necesidad del hombre de llevar todo tipo de materias primas a las fábricas y centros de producción, en donde los insumos deben de ser manejados con especial cuidado. Actualmente dentro de cualquier almacén, se puede ver a los montacargas. Estos permiten el manejo de los insumos con seguridad y eficiencia, y en gran medida, el ahorro en tiempo al cargar y descargar material y de personal al tan solo requerir del operador del montacargas.

Dentro del mercado de los montacargas se encuentran dos tipos de montacargas, uno de ellos es el montacargas de combustión interna, que como su nombre lo indica, son alimentados por combustibles fósiles como diésel, gasolina, gas LP. Estos fueron los primeros en emplearse y por consecuencia existen en mayor medida. El montacargas de combustión interna se debe de operar en instalaciones a la intemperie o con suficiente ventilación, debido a la contaminación que producen. El segundo tipo de montacargas son los montacargas eléctricos, que gracias a la ventaja de no contaminar, permite ser utilizado en espacios cerrados y de muy poca ventilación. Estos son propulsados por una batería recargable. Se puede considerar que este tipo de montacargas presenta las mismas capacidades de manejo de carga que los montacargas de combustión interna, por lo que se han convertido en la herramienta de manejo de carga más usada dentro de espacios cerrados.

En el mercado nacional, el montacargas eléctrico es empleado en almacenes de tiendas comerciales, refrescos, venta y fabricación de productos alimenticios, medicinas, molinos de harina, donde trabajan durante jornadas de trabajo de ocho horas diarias.

La inversión inicial por un montacargas eléctrico varía entre 370 y 500 mil pesos, mientras que para un montacargas de combustión interna es de 270 a 400 mil pesos. Esto hace que la inversión inicial por un montacargas eléctrico sea mayor, a comparación de la inversión montacargas de combustión interna, pero, si se tiene en cuenta que su energía proviene de la batería recargable, que tiene un tiempo de vida aproximado de cuatro años y un costo por remplazo de 60 mil pesos, se tiene un ahorro de dinero en la inversión del combustible.

Otra ventaja del montacargas eléctrico es que, aunque los mantenimientos preventivos son requeridos cada 100 horas de trabajo para ambos tipos de montacargas, el costo del mantenimiento para un montacargas eléctrico varía entre 1,500 y 2,000 pesos, mientras que para los de combustión interna esta entre 2,000 y 2,500. Ahora el tiempo aproximado que se lleva en el mantenimiento preventivo en montacargas eléctricos es de 2 a 3 horas, mientras que para los de combustión interna es de 3 a 5 horas.

Las fallas más comunes que presentan los montacargas eléctricos son:

1. Alguno de sus fusibles se funde y necesite ser remplazado
2. La tarjeta de control falle en alguno de los módulos de control y
3. Los baleros y carbones de los motores requieran servicio o de ser cambiados
4. Que alguna de las partes hidráulicas falle.

La falla por la tarjeta de control es considerada de las más comunes y la que lleva mucho más tiempo de arreglo, aproximadamente el 40% de las fallas del montacargas eléctricos, es relacionada con la tarjeta de control de la tracción. Como las tarjetas de control son desarrolladas en otros países son artículos de importación y de precios elevados que alcanzan hasta 15,000 pesos por pieza y un tiempo de entrega de 5 semanas. Es por ello, que algunos montacargas se encuentran completamente parados. Si se considera que los tiempos que se toman para el mantenimiento de los montacargas en general, las empresas los consideran como pérdidas de dinero. La solución sería el desarrollo de un circuito electrónico de control para el sistema de tracción de los montacargas eléctricos que tenga la facilidad de remplazar al control original sin consumir demasiado tiempo y que tenga un costo accesible para futuros reemplazos.

Si en México se desarrollan estas tarjetas de control, se podría reducir el tiempo de reparación de cualquier montacargas eléctrico en un 60%. Tomando en cuenta el tiempo que se lleva en repararlo en la actualidad, que es de aproximadamente 6 semanas. En consecuencia, el desarrollo de la tarjeta, permitiría bajar los costos de reparación en aproximadamente 80%, haciéndola una pieza que podría estar en bodega. Fomentando el uso de los montacargas eléctricos se lograría evitar el uso del otro tipo de montacargas que generan una mayor contaminación.

Por lo anterior, se desprende el objetivo principal de esta tesis, para proponer una solución a un problema real en la industria, y que a continuación se plantea.

Objetivo general

Diseñar un prototipo del circuito electrónico de control para el sistema de tracción de un montacargas eléctrico de fácil manejo y de bajo costo.

Objetivos específicos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Diseñar un circuito electrónico de recambio para el control de tracción de un montacargas eléctrico Clase I
- Construir el circuito con componentes de fácil acceso en el mercado nacional y bajo costo.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Máquinas de transporte

A lo largo de la historia, el transporte de pertenencias y objetos necesarios para la vida, ha sido una necesidad que ha provocado el interés del hombre en desarrollar mecanismos que permitan el traslado de los mismos. Esto da como resultado la invención de la rueda en el año 2000 a.C. (Figura 1.1) (Llamas, 2008)



Figura 1.1 Primeras ruedas (Llamas, 2008)

Los primeros medios de mecanización fueron las palancas, los rodillos, las poleas y los planos inclinados (Figura 1.2). La realización de diversos trabajos relacionados con la construcción, se utilizaban este tipo de mecanismos, lo que exigía gran cantidad de gente. En el siglo VII a.C. aparecieron las poleas y en el siglo II a.C. los tornos con transmisiones por engranajes y tornillos sin fin con accionamiento manual. Con la evolución de las civilizaciones se fueron desarrollando maquinarias más específicas que aprovecharan los recursos naturales que se encontraban en su entorno.

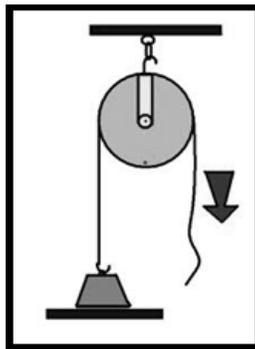


Figura 1.2 Máquina simple, polea (Llamas, 2008)

El desarrollo del comercio, navegación y de la industria minera y metalúrgica en los siglos XI y XII d.C.; contribuyó a perfeccionar las máquinas de elevación y a ampliar el número de aplicaciones. Aparecieron los primeros prototipos de las grúas modernas que tenían el accionamiento manual y accionamiento con ayuda de ruedas de malacate (del tipo “jaula de ardilla”) e hidráulicas (Llamas, 2008).

Con la llegada de la Revolución Industrial, el hombre comenzó importantes modificaciones en el diseño de su maquinaria. El desarrollo de inventos como el motor de vapor y el motor de combustión interna significaron un avance en el desarrollo de las tecnologías aplicadas al transporte. Más tarde la electricidad y el petróleo fueron la nueva fuerza motriz utilizada por transportes marítimos y terrestres (Ledo, 1996).

1.2 Montacargas

1.2.1 Historia de evolución de los montacargas

El desarrollo de nueva maquinaria, que mejora el manejo de carga, ha generado un crecimiento en la economía. A partir de la necesidad de mover con mayor rapidez y seguridad la materia prima y producto terminado para la industria, se ha generado el diseño de maquinaria de carga más específica.

Una de las primeras máquinas que fue empleada en el manejo de carga fue la carretilla. La carretilla más antigua fue ideada hacia el año 200 a.C. (Figura 1.3) por Zhuge Liang, un general del ejército imperial chino. Su finalidad consistía en transportar grandes cantidades de artefactos militares a lo largo de senderos angostos. La única pero enorme rueda de este artefacto tenía ciento veinte centímetros de diámetro y una docena de radios, y estaba situada de modo que el centro de gravedad de la carga pudiera encontrarse directamente encima de su eje. Los historiadores creen que el general Liang desarrolló la carretilla a partir de un carrito más pequeño y de dos ruedas, que ya se utilizaba en China para transportar arroz y hortalizas. Los carros de dos ruedas ya eran conocidos en Oriente y Occidente en el año 1000 a.C., pero al parecer nunca surgió la necesidad, como ocurrió en China en tiempos de Liang, de construir un vehículo de una rueda para utilizarlo en un camino muy angosto.

El impacto que tuvo en la sociedad el surgimiento de la carretilla ha sido muy importante desde su invención, permitió el transporte de mercancías y con ello el comercio, además fue y es auxiliar en la industria de la construcción ya que permite el movimiento de materiales

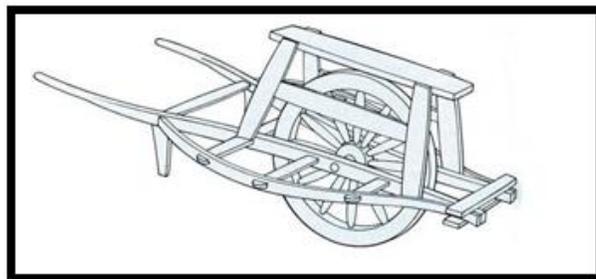


Figura 1.3 Carretilla antigua china (Embid, 2012)

Antes del montacargas existían otras máquinas llamadas elevadoras, que eran utilizadas para el levantamiento y transporte de materiales. Las elevadoras

estaban compuestas de cadenas y tornos sobre camiones con plataforma de madera. Más adelante, los camiones de madera incorporaron motores eléctricos y baterías de tracción (Embid, 2012).

El primer prototipo de montacargas en la historia, es una plataforma unida a un cable que se utilizaba para elevar carga, este modelo ayudó al desarrollo de un elevador seguro en el año 1853. En la Figura 1.4 se muestra el prototipo diseñado por el Sr. Elisha Otis. Él mostró su invento en el Crystal Palace en Nueva York, en mayo de 1854, con un sistema dentado, el cual iba poco a poco amortiguando la caída del mismo en caso de que el cable tuviera algún desperfecto (OTIS, 2010).

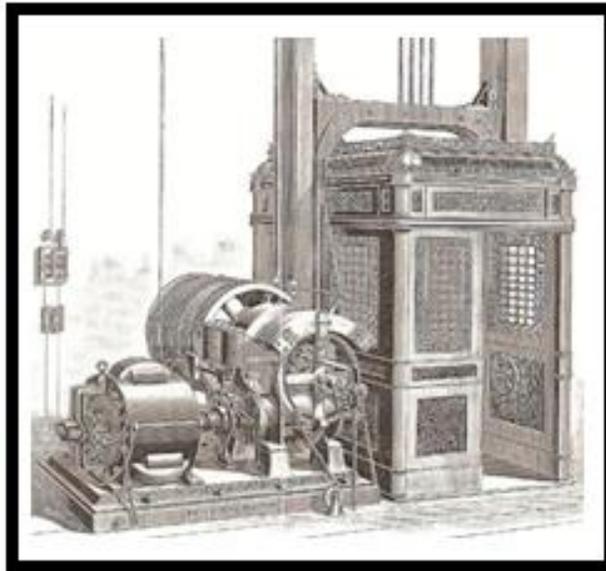


Figura 1.4 Elevador eléctrico diseñado por Elisha Otis (OTIS, 2010).

Posteriormente, en la Primera Guerra Mundial, los camiones fueron producidos con una plataforma eléctrica, basada en el diseño de OTIS, que podía ser elevada o descendida. En 1917, Ransomes Sims y Jeffries de Ipswich, crearon la versión británica del camión plataforma conocido como el camión Stevedoing. Este diseño fue completado con ballestas en el frente para un viaje más suave y tenía una configuración de tres ruedas.

Para 1950, las grúas habían sido diseñadas de tal forma que podían caber en pasillos más estrechos y eran capaces de levantar materiales hasta 15 [m], sobre la tierra. Este adelanto comprometía tanto la seguridad del conductor como integridad del cargamento, debido a que podrían caer de una altura mayor, así que los fabricantes comenzaron a desarrollar protecciones de carga y jaulas para el operador. Para el año 1980, era un procedimiento estándar el tener un sistema de retención del operador en los montacargas (Figura 1.5) (Ryan y Ryan, 2006).



Figura 1.5 Montacargas moderno (Ryan y Ryan, 2006)

Hoy en día, en la industria, el manejo de carga es uno de los principales retos. Se necesita de herramientas que permitan mover los suministros para la producción con velocidad, eficiencia y seguridad; que permita el ahorro de tiempo para la producción y el ahorro de tiempo-hombre.

Debido a que entre mayor sea el tiempo ocupado para el manejo de la carga, mayor será el tiempo-hombre utilizado y ambos casos son inversiones para la empresa. Esto se puede traducir como dinero detenido cuando la carga no se mueve y dinero desperdiciado en tiempo-hombre utilizado en el movimiento de la carga (YALE, 2008).

En el mercado se encuentran diversas herramientas que permiten el manejo de cargas, como son las carretillas, bandas transportadoras, grúas, patines hidráulicos, por mencionar algunos ejemplos. Estos permiten mover con menor esfuerzo y mayor eficiencia, comparándolos con el esfuerzo utilizado sin herramientas, pero cuando las dimensiones de la carga son mayores, estas herramientas se ven rebasadas. Por otra parte estas herramientas ponen en riesgo al operador ya que pueden ocasionar lesiones a causa del manejo de peso y la poca seguridad que brindan con su estructura (TOYOTA, 2010).

Cuando la velocidad con la que se tiene que cargar un camión es importante, y las empresas no pueden parar la producción para esperar la llegada de los suministros, se requiere de aminorar el tiempo en el traslado de los mismos, esto generó el desarrollo de máquinas de carga llamadas “montacargas”.

En la actualidad el uso de los montacargas, se observa en las diferentes áreas que existen en la industria, desde movimientos de medicamentos, alimentos dentro de cámaras de refrigeración, hasta en las minas, como apoyo en el cambio de llantas para los camiones (YALE, 2008).

1.2.2 Normatividad

El montacargas es un dispositivo mecánico empleado para el movimiento de suministros, materiales o productos terminados. Estos pueden ser accionados ya sea por motores eléctricos o de combustión interna de acuerdo a la definición que da la American Society of Mechanical Engineers (ASME por sus siglas en ingles). Las únicas herramientas que se excluyen son las utilizadas en la producción agrícola y el traslado de tierras.

Estos dispositivos han sido clasificados y han creado una serie de normas para el manejo seguro de los mismos. El organismo regulatorio es la Administración para la Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHA por sus siglas en ingles). Las normas que brinda esta dependencia son seguidas internacionalmente. Existen organismos en México como la Secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS), que regulan la operación segura del montacargas. Esta dependencia que otorga la licencia al operador, que acredita el manejo seguro del montacargas. Las normas que regulan el manejo de montacargas, obligaciones del patrón, obligaciones del trabajador y procedimientos de seguridad se presentan en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Relación de normas que regulan el uso de montacargas (NOM, 2000)

| Número de Norma | Nombre |
|--------------------|--|
| NOM-001-STPS-1999, | Edificios, locales, instalaciones y áreas de los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene. |
| NOM-004-STPS-1999, | Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. |
| NOM-017-STPS-1993, | Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo. |
| NOM-026-STPS-1998, | Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos. |

Las reglas de seguridad desarrolladas por la OSHA, que regulan el uso seguro de los montacargas y otros “vehículos industriales motorizados” en el lugar de trabajo se pueden encontrar en el CFR 29 de la sección 1910.178 de la Norma Mexicana, NOM-006-STPS-2000.

1.2.3 Seguridad del usuario

Acorde a lo mencionado en la norma de la dependencia mexicana que regula el uso seguro de los montacargas (NOM, 2000), se deben cumplir los siguientes puntos:

1. Las cabinas cumplan con lo siguiente:
 - a. Proporcionen al operador protección contra la intemperie
 - b. Garanticen una buena visión en la zona de trabajo
 - c. Permitan un fácil acceso al puesto de trabajo
 - d. Cuenten con piso antiderrapante
 - e. Estén ventiladas
 - f. Estén provistas de un asiento cómodo y concebido en función de su uso
 - g. Sean resistentes al fuego en sus materiales de construcción
 - h. Cuenten con extintor del tipo y capacidad específico a la clase de montacargas y al material que transporte, y cuenten con espejo retrovisor.
2. Se cuente con un dispositivo sonoro que sea activado automáticamente durante su operación en reversa.
3. Las luces delanteras y traseras, o la torreta, estén encendidas durante su operación.
4. En la operación:
 - a. Se respeten los límites de velocidad de la zona que transita
 - b. Se cerciore que la carga no sobrepase la CMU indicada en la placa
 - c. Se opere el equipo bajo un procedimiento seguro cuando no lleve carga
 - d. Circule con los brazos de la horquilla a una altura máxima de 0.15 metros por encima del suelo
 - e. Se estacione con los brazos de la horquilla colocados a una altura máxima de 0.15 metros sobre el suelo
 - f. En su caso, retire la llave del contacto al abandonar el montacargas
 - g. Efectúe el llenado de combustible en una zona ventilada y se adopten las medidas de seguridad correspondientes, de acuerdo con el tipo de combustible utilizado.
5. Las revisiones sean realizadas por personal autorizado por el patrón, antes de cada jornada, antes de ser puesta en servicio por primera vez, y después de la sustitución o reparación de alguna pieza sometida a esfuerzos.
6. El mantenimiento sea realizado en la forma y periodicidad recomendadas por el fabricante.

Las características de seguridad para los usuarios que todos los montacargas deben considerar:

1. Una ampliación en el respaldo de las horquillas; ya que ayuda a prevenir que la carga se resbale hacia atrás o caiga hacia el operador. También se requiere cuando las cargas son levantadas demasiado alto y el tipo de carga permite que toda o parte de la carga caiga hacia atrás si se acelera,

se detenga de repente el montacargas o al conducir sobre superficies disperejas. Se requiere cuando se manejan objetos pequeños o unidades que no están atadas

2. Una guarda de protección superior impide que un objeto que está en las horquillas o en un estante bastante elevado, caiga hacia el operador mientras escoge o coloca una carga. La mayoría de los mástiles verticales están equipados con una estructura protectora contra objetos que caen; otros montacargas, tales como los de terreno escabroso, están equipados con estructuras protectoras contra volcaduras. La guarda de protección no está diseñada para aguantar el impacto de una carga llena. Pudiera ser útil en esquivar bultos pequeños. Se requiere en todos los montacargas que puedan levantar una carga por encima del operador, al menos que ciertas condiciones tales como la falta de distancia libre adecuada no permita que el montacargas sea utilizado. La guarda de protección superior tiene que tener como características:
 - Deberán ser lo suficientemente grandes para extenderse sobre el operador bajo circunstancias normales
 - No deberá interferir el campo de visión
 - La guarda de protección superior no deberá tener aberturas mayores de 6 pulgadas en una de las dos dimensiones.
3. Sujetadores para el operador, los cuales mantendrán en su asiento en caso de que golpee un objeto o se vuelque el montacargas. La norma para los vehículos industriales motorizados no requiere específicamente el uso de cinturones de seguridad. No obstante, a los empleadores se les requiere que protejan a sus empleados de peligros serios e identificables así como se requiere que todos los empleados hagan uso pleno de los dispositivos de seguridad. Además, se espera que los empleadores se adhieran a las recomendaciones del fabricante tocante a la maquinaria.

La mayoría, si no todos, de los fabricantes de vehículos industriales recomiendan el uso de sujetadores para el operador e instalan sistemas de sujetadores para el operador en los vehículos nuevos donde se puedan sentar. Desde 1992, a los fabricantes de montacargas se les ha exigido que equipen los montacargas nuevos con sujetadores para el operador tales como cinturones de seguridad. Muchos de los fabricantes de montacargas ofrecen sistemas de sujeción que pueden actualizar los montacargas más viejos (DCEO, 2003).

1.2.4 Estadística del uso de montacargas

Basados en la investigación de Herrera (2008) sobre las principales marcas de montacargas usadas en el mercado, se obtienen las siguientes estadísticas.

Herrera (2008) realizó una encuesta a cinco empresas que usan montacargas para el transporte y almacenamiento de sus mercancías, estas empresas son:

- Embotelladora Pitic S.A. (Coca Cola)
- Bebidas Purificadas del Pacífico (Pepsi Cola)

- Maquiladora A.M.P.
- Molino Harinero de San Luis
- Molino La Fama.

A estas empresas se les aplicó un cuestionario con los siguientes tópicos:

1. Nombre de la empresa y cantidad de montacargas
2. Marca de los montacargas
3. País de procedencia
4. Principales fallas en los montacargas.

Al concluir el ejercicio se pueden observar los resultados que se muestran en las Tablas 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 y las Figuras 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9.

Tabla 1.2 Porcentaje de uso de montacargas por empresa (Herrera, 2008)

| Empresa | Cantidad | Porcentaje [%] |
|-----------------------------|----------|----------------|
| Coca Cola | 19 | 50 |
| Pepsi Cola | 10 | 26 |
| Molino La Fama | 3 | 8 |
| Maquiladora A.M.P | 3 | 8 |
| Molino Harinero de San Luis | 3 | 8 |

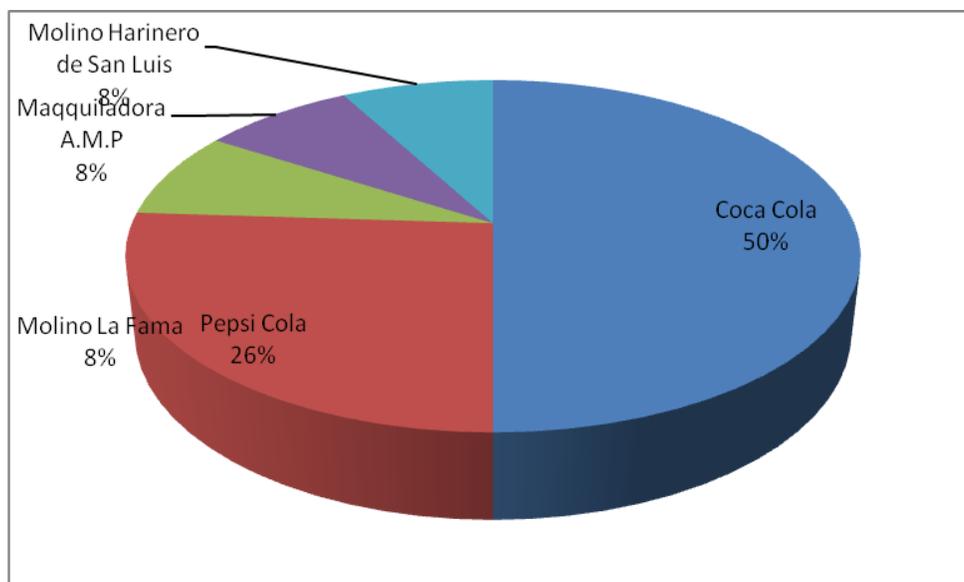


Figura 1.6 Representación gráfica del porcentaje de montacargas usado en diversas empresas (Herrera, 2008)

En la Figura 1.6 se puede observar que la empresa Embotelladora Pitic es la que más montacargas utiliza, ya que tiene el 50% de la suma total de los montacargas de las 5 empresas encuestadas. Por lo tanto, las respuestas de esta empresa fueron las dominantes en el ejercicio.

Tabla 1.3 Uso de montacargas clasificados por marca (Herrera, 2008)

| Marca | Cantidad | Porcentaje [%] |
|-------------|----------|----------------|
| Yale | 8 | 21 |
| Clark | 6 | 16 |
| Caterpillar | 8 | 21 |
| Mistubishi | 12 | 31 |
| Hyster | 4 | 11 |

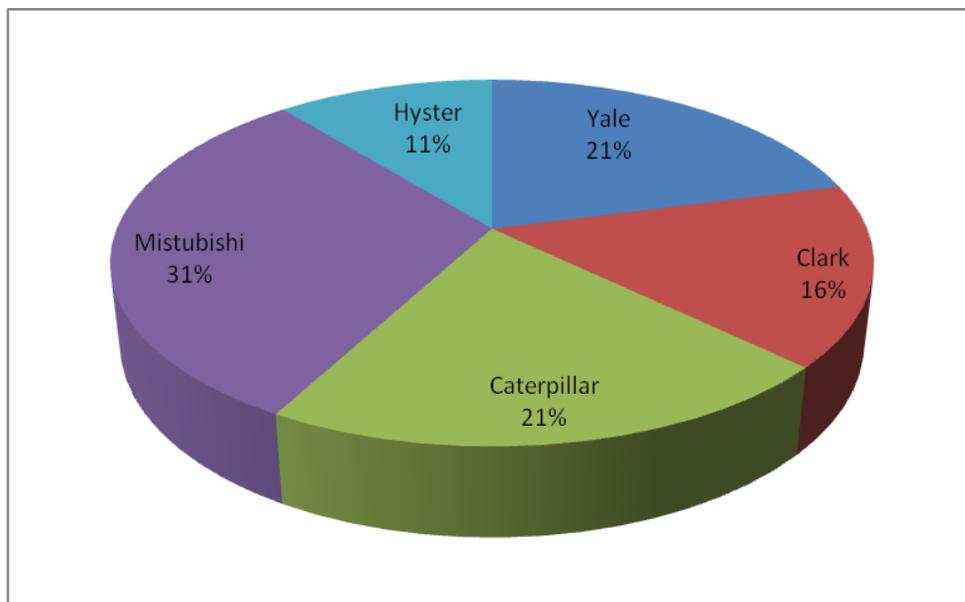


Figura 1.7 Representación gráfica del porcentaje de montacargas clasificados por marca (Herrera, 2008)

Con la Figura 1.7 se puede observar que la principal marca de montacargas usada es Mitsubishi seguida por Caterpillar y Yale.

Tabla 1.4 Uso de montacargas por país (Herrera, 2008)

| País | Cantidad | Porcentaje [%] |
|--------|----------|----------------|
| México | 6 | 16 |
| Japón | 12 | 32 |
| EE.UU | 20 | 52 |

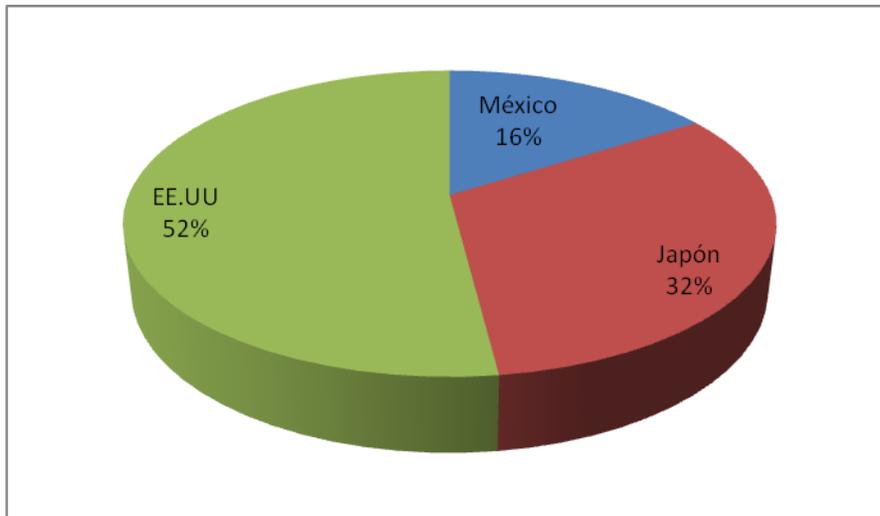


Figura 1.8 Representación gráfica del uso de montacargas por país de procedencia (Herrera, 2008)

Con la Figura 1.8 se puede observar que México sólo tiene el 16% de los montacargas provienen de México. Esto supone un porcentaje muy bajo. Asimismo las refacciones y servicios a éstos, lo cual se convierte en uno de los motivos del presente trabajo.

Tabla 1.5 Porcentaje de fallas en montacargas (Herrera, 2008)

| Fallas | Porcentaje [%] |
|-------------|----------------|
| Eléctricas | 18 |
| Hidráulicas | 58 |
| Mecánicas | 24 |

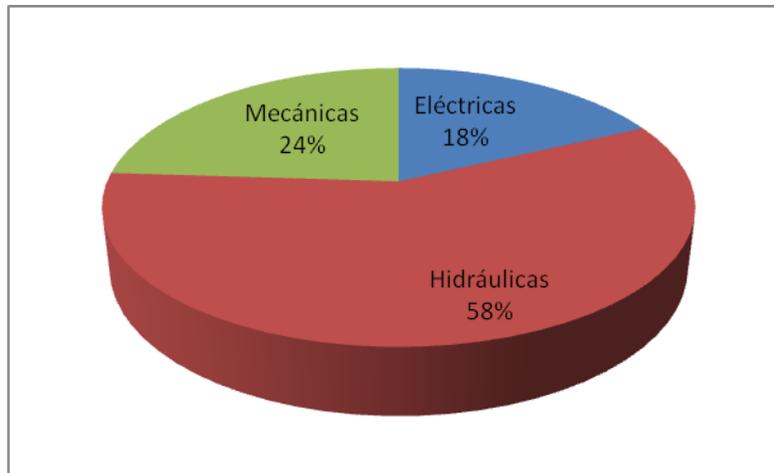


Figura 1.9 Representación gráfica de fallas en los montacargas (Herrera, 2008)

En las fallas hidráulicas se contemplan las fallas de los frenos y el sistema hidráulico de carga, el cual incluye la bomba hidráulica. En las fallas eléctricas se contemplan las fallas de los fusibles, en el motor y en la tarjeta de control. Finalmente las fallas mecánicas incluyen todas las fallas con los engranes y acoplamientos del montacargas.

Como se observa en la figura 1.9, solo el 18% de las fallas son eléctricas. Esto supone un porcentaje muy bajo para ser contemplado como uno de las mayores fallas. No obstante, se debe contemplar que estas fallas son las únicas que requieren de refacciones que no existen en el mercado nacional, y por ende, las que puede tomar más tiempo en ser reparada.

Las estadísticas anuales muestran que alrededor de 100 personas al año mueren por accidentes con montacargas y aproximadamente 20,000 sufren heridas de gravedad. Queda en evidencia la gran importancia de la operación segura del montacargas. La mayoría de las veces, el usuario es el responsable de los accidentes, los accidentes más comunes que suceden son:

- Cuando el montacargas se vuelca
- Golpea al personal a pie
- Caídas de montacargas, mientras están elevados en muelles inseguros.

La OSHA declara que cada año, decenas de miles de lesiones relacionadas con vehículos industriales motorizados o montacargas, ocurren en los lugares de trabajo. La estadística marca que actualmente hay alrededor de 1 millón de montacargas en uso, por lo que se debe de dar prioridad a la seguridad, tanto para el empleado como para el peatón (DCEO, 2003).

1.3 Costos de producción y uso de montacargas

Los costos del uso de montacargas son dependientes de la aplicación en la que se planea utilizar. Las diferentes posibilidades que existen en el mercado hacen que la elección sea sencilla. Las consideraciones que se deben tomar en cuenta son:

1. El tipo de ambiente dónde se planea utilizar
2. Las condiciones del suelo
3. Si el montacargas operará dentro o fuera de almacenes
4. Tamaño de pasillos dónde circulará.

Si se consideran estos puntos se puede elegir entre los diversos tipos de montacargas, ya sea eléctrico o de combustión interna en sus diferentes clases. Estos tienen diferentes costos, tanto el costo inicial, como el costo de mantenimiento (MVM, 2011).

El montacargas de combustión interna tiene un costo inicial entre 270 y 400 mil pesos. Este como otros montacargas requieren de servicios preventivos cada 100 horas de trabajo, el costo aproximado de cada servicio preventivo oscila entre 2,000 y 2,500 pesos. A estos costos hay que añadir el costo del combustible que utiliza.

Los montacargas eléctricos tienen un costo inicial mayor que el del montacargas de combustión interna, que está entre 370 y 500 mil pesos. De la misma manera a este montacargas se recomienda realizarle un servicio preventivo cada 100 horas de trabajo, pero con la diferencia que este servicio no requiere de algún cambio de componentes, tan sólo es limpieza y verificación de funcionamiento en general del montacargas. El costo aproximado por el servicio preventivo oscila entre 1,500 y 2,000 pesos. Este tipo de montacargas no utiliza ningún tipo de combustible fósil y se recomienda cambiar la batería entre 1,500 a 2,000 descargas. Si se considera que el montacargas eléctrico tiene una rutina de 8 horas de trabajo, 8 horas de carga y otras 8 horas de enfriamiento se cambiaría la batería cada 4 años aproximadamente, según sea el material con el que la batería esté fabricada. La mayoría de los montacargas utiliza baterías de plomo-ácido (BA, 2006).

1.4 Mercado de los montacargas

El uso de los montacargas se observa en todas las áreas de las industrias. Desde movimientos de medicamentos hasta el movimiento de alimentos. También se pueden encontrar montacargas trabajando dentro de cámaras de refrigeración o en minas, apoyando en el cambio de llantas para los camiones. Todos estos mercados se ven apoyados por esta herramienta. Así pues, se observa que el mercado de los montacargas es muy amplio. Además de los ya mencionados, se puede encontrar este tipo de máquinas en:

- Construcción general
- Industria petrolera
- Manejo de materiales de construcción y jardinería
- Industrias metalúrgicas primarias y prefabricadas
- Industria química y productos afines
- Manejo de piedras, vidrio y arcilla
- Industria papelera
- Industrias procesadoras de alimentos y embotelladoras.

Tabla 1.6 Marcas y modelos de montacargas de clase I

| Marca | Modelos | Características |
|--------------|----------------|--|
| Crown | SC 5200 | Su máxima capacidad de carga es de 2 toneladas. Funciona con una batería de 36 o 48 Vdc, con motores de corriente directa. El operador se encuentra sentado. |
| | FC 4500 | Su máxima capacidad de carga es de 2 toneladas. Funciona con una batería de 36 o 48 Vdc, con motores de corriente directa. El operador se encuentra sentado. |
| Yale | ERC030-040VA | Su capacidad de carga es de entre 1.5 a 2 toneladas. Funciona con una batería de 36 Vdc, con motor de corriente directa. El operador se encuentra sentado. |
| | ERC030-040AC | Su capacidad de carga es de entre 1.5 a 2 toneladas. Funciona con una batería de 36 Vdc, con motores de corriente alterna. El operador se encuentra parado |
| Mitsubishi | FB15KRT PAC | La serie de montacargas KRT, son montacargas de un rango de manejo de carga entre 1 a 1.5 toneladas. Funcionan con una batería de 24 Vdc, con motores de corriente alterna. |
| | FBPN Series | La serie de montacargas FBPN Series, son montacargas de un rango de manejo de carga entre 1.3 a 2 toneladas. Funcionan con una batería de 48 Vdc, con motores de corriente alterna. |

Capítulo 2

Fundamentos

2.1 Montacargas

El montacargas es un vehículo de transporte que se puede utilizar para transportar, remolcar, empujar, apilar, subir o bajar distintos objetos y elementos en general (Figura 2.1). Son máquinas que funcionan basándose en el principio de balanceo; una carga encima de una viga sostenida por un punto de apoyo, hace contrapeso con el peso del otro extremo de la viga (DCEO, 2003).

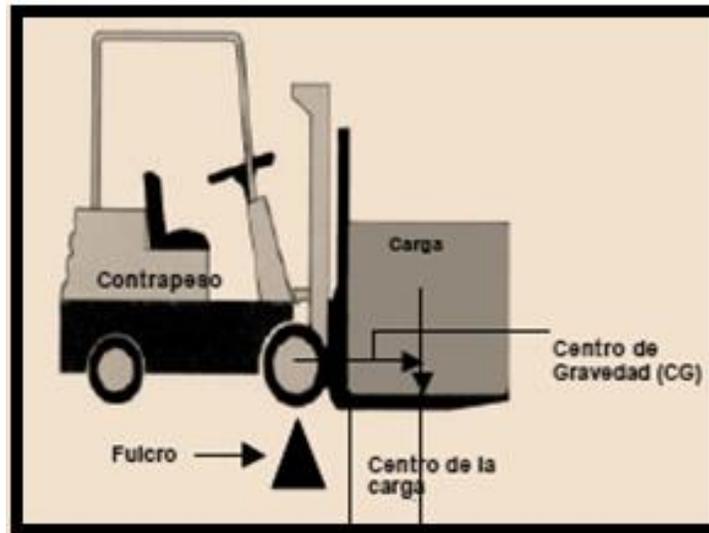


Figura 2.1 Diagrama de principio de funcionamiento de montacargas (DCEO, 2003)

Los montacargas son diseñados y fabricados sin balancear, debido a que la carga debe de balancearse con el peso de la carretilla elevadora para que el principio funcione. El montacargas cuenta con una placa que el fabricante instala, la cual indica las capacidades de carga que la maquinaria puede mover de manera segura. Mientras la carga se está levantando, el montacargas puede caer hacia un costado, por lo tanto se tiene que considerar el centro de gravedad combinado con la carga que lleva. Ese centro de gravedad se mueve mientras la carga también lo hace, y también si la superficie donde se desplaza es irregular o inclinada (Sifuentes, 2005).

El montacargas tiene un “triángulo de estabilidad” como se en la muestra la Figura 2.2. Se tiene que trazar una línea recta dentro del triángulo que se extiende desde el centro de gravedad de la combinación del vehículo con carga, para evitar que el montacargas se incline hacia adelante, se caiga hacia un costado o bien deje caer la carga (DCEO, 2003).

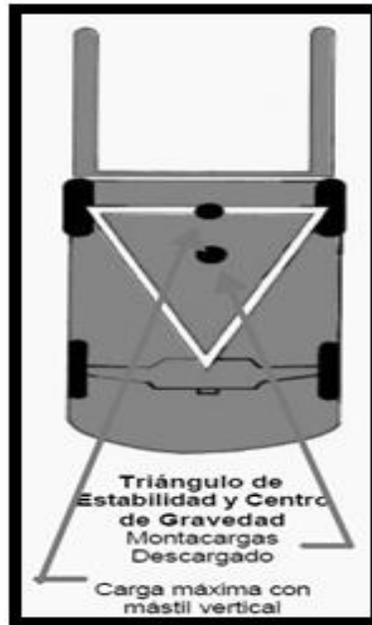


Figura 2.2 Triángulo de estabilidad y centro de gravedad de montacargas (DCEO, 2003)

2.2 Tipos de montacargas

La OSHA clasifica a los montacargas en siete diferentes clases, según sus características (OSHA, 2011). Esta clasificación es la siguiente:

- CLASE 1: Debe ser montacargas eléctrico. Puede tener cuatro o tres ruedas, contrabalanceado y el operador puede estar sentado o parado. Puede utilizar cualquier tipo de rueda, pero se usa sólo en interiores. Su capacidad de carga va de 1 hasta 1.5 toneladas, aproximadamente (Figura 2.3).

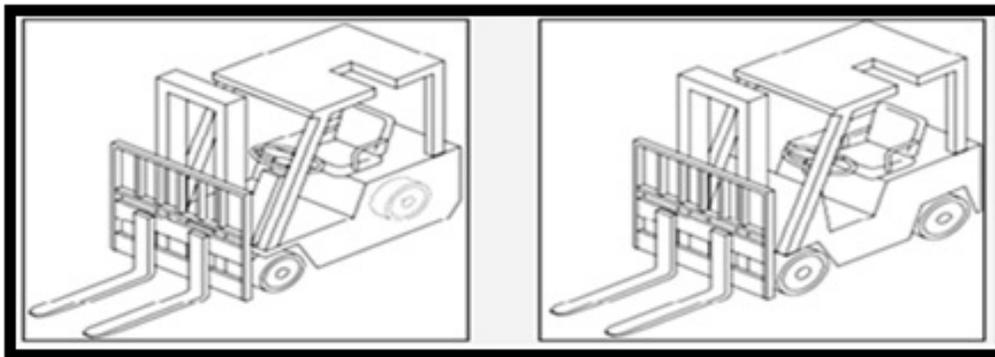


Figura 2.3 Montacargas clase I (OSHA, 2011)

- CLASE II: Para que un montacargas sea de esta clase debe ser eléctrico (Figura 2.4). El operario está parado durante el manejo, las ruedas tienen que ser sólidas (tipo Cushion), utiliza patas estabilizadoras para balancear la carga, estos montacargas están diseñados para pasillos angostos y no

se recomienda el uso en exteriores, su capacidad de carga está en el rango de 1 hasta 2 toneladas.

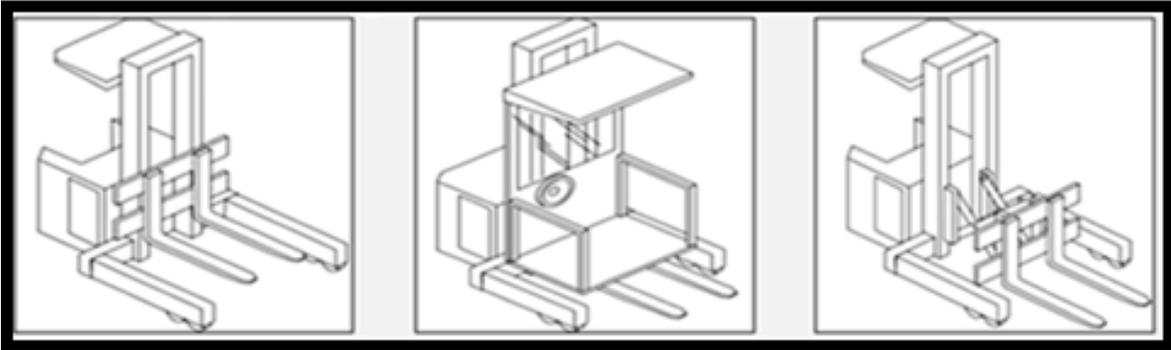


Figura 2.4 Montacargas clase II (OSHA, 2011)

- CLASE III: Estos montacargas se les conoce como WALKIE. Las características de estos montacargas es que el operador camina junto con el montacargas (Figura 2.5). Algunos montacargas de este tipo tienen una superficie para que el operador suba en él, pero siempre se mantiene de pie. Las ruedas tienen que ser sólidas (tipo Cushion) y son autopropulsados por el motor eléctrico. Estos no se recomiendan para uso en el exterior y su capacidad es de 1.5 a 3.6 toneladas.

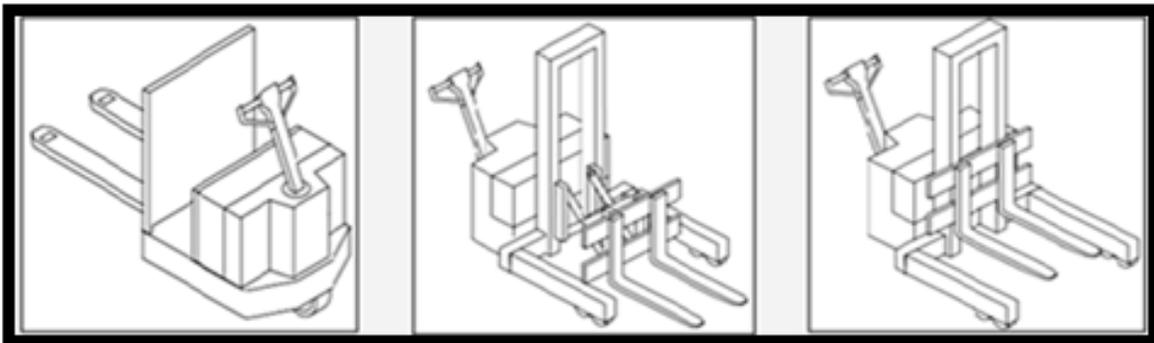


Figura 2.5 Montacargas clase III (OSHA, 2011)

- CLASE IV: Estos montacargas son de combustión interna. Las ruedas son sólidas (tipo Cushion) y de cuatro llantas, contrabalanceados. Se les conoce como montacargas bodegueros ya que son pequeños y por el tipo de rueda tan sólo se pueden utilizar en espacios de suelos lisos (Figura 2.6). No son recomendables para su uso en exteriores y su capacidad va desde 1.5 a 4 toneladas.

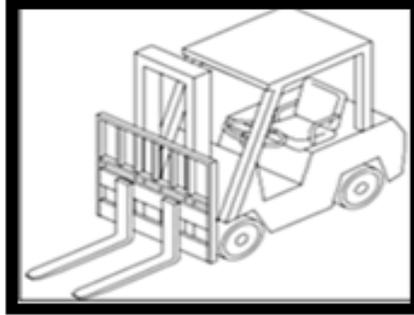


Figura 2.6 Montacargas clase IV (OSHA, 2011)

- CLASE V: Estos montacargas son de combustión interna, la principal diferencia que tiene con los de la clase IV, es que utilizan llantas neumáticas o rudomáticas (Figura 2.7). Estos son diseñados para el uso en exteriores, pero también se pueden utilizar en interiores aunque requieren de mayor espacio, estos montacargas son conocidos como montacargas de patio, su capacidad oscila entre 1.5 hasta 5.5 toneladas.

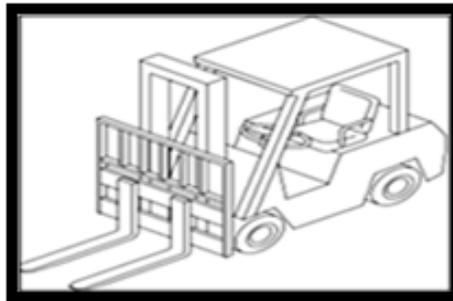


Figura 2.7 Montacargas clase V (OSHA, 2011)

- CLASE VI: Esta clase es para los tractores que pueden ser eléctricos o de combustión interna, estos pueden utilizar cualquier tipo de rueda, no son montacargas y se utilizan para arrastre de suministros (Figura 2.8).

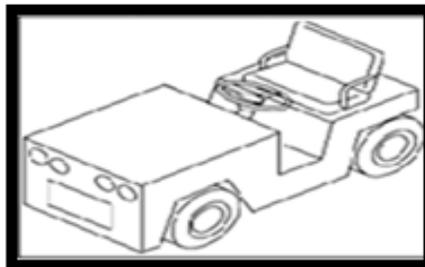


Figura 2.8 Montacargas clase VI (OSHA, 2011)

- CLASE VII: Son de combustión interna, tienen una carrocería muy robusta y están especialmente diseñados para terracería, utilizan llantas neumáticas, son una combinación de tractor agrícola con un montacargas normal. Su capacidad de carga va desde 1.5 hasta 3 toneladas (Figura 2.9).



Figura 2.9 Montacargas clase VII (OSHA, 2011)

Otra clasificación que se encuentra en el mercado de los montacargas es la siguiente (INMOINDUSTRIAL, 2011):

- Montacargas eléctricos contrabalanceados: Existen diferentes alternativas de equipos eléctricos contrabalanceados para cubrir las necesidades en el manejo de materiales
- Eléctricos para pasillos angostos: Los modelos diseñados para pasillos angostos hacen posible el transporte de carga en lugares de difícil acceso, minimizando el tiempo requerido
- Apiladores eléctricos: Los apiladores son de alto rendimiento, y muy funcionales. Están diseñados para trabajar en interiores, inclusive en áreas más reducidas para carga y descarga. Pueden encontrarse distintos modelos:
 - Manuales. Capacidad de 1.5 toneladas, levantamiento 1.6 m
 - Semieléctricos. Capacidad de 1.5 toneladas, levantamiento 3.0 m
 - Eléctricos: Capacidad de 3.0 toneladas, levantamiento 3.0 m.
- Carros de arrastre o carretillas eléctricas: Las carretillas son el equipo ideal para trabajar en andenes, ya que hacen más eficientes las tareas de carga y descarga de tráileres, camiones o contenedores, además de agilizar el traslado de materiales de un área a otra, y así asegurar jornadas productivas en menor tiempo
- Patines hidráulicos: Es un mecanismo confiable que permite mover tarimas con productos diversos de un lugar a otro y de fácil uso. De diferentes medidas, capacidades de carga y tipos de suelos
- De Combustión Interna: De llanta sólida con material de combustión a gas, LPG, doble combustión o diésel, de llanta semisólida con material de combustión LPG / diésel, resistencia de 5,000-7,500 Kg.

La clasificación de montacargas más seguida por los fabricantes actualmente es la que brinda la OSHA.

2.3 Mantenimiento preventivo y correctivo en montacargas

El tener en buen estado un montacargas, permite un ahorro considerable en los tiempos de servicio, en la seguridad del operador y la seguridad de la carga. Los tipos de mantenimientos que se encuentran en el mercado, que a lo largo de la vida del montacargas permitirán su buen funcionamiento, son:

- El mantenimiento preventivo, que tiene por objetivo identificar inicios de fallas y repararlos antes de que originen alguna falla mayor. El mantenimiento preventivo es diferente para los montacargas de combustión interna que para los montacargas eléctricos. Para los montacargas eléctricos, el servicio consiste en revisar los diferentes sistemas que componen al montacargas que son (MVM, 2011):
 1. Las mangueras del mástil
 2. Limpieza y revisión del control de válvulas
 3. Revisar los niveles del aceite hidráulico y remplazar en caso de ser necesario
 4. Se realiza limpieza de componentes del control electrónico, así como el buen funcionamiento de todos los componentes
 5. Los motores eléctricos
 6. El engrasado de todos los componentes del mástil, como son las horquillas y el pantógrafo
 7. El funcionamiento del cargador de baterías y de la misma batería
 8. Revisar el buen funcionamiento de todos los componentes de la cabina del operador.

Mientras que para los montacargas de combustión interna se tienen que revisar los siguientes puntos:

1. Las mangueras del mástil
2. Limpieza y revisión del control de válvulas
3. Revisar los niveles del aceite hidráulico y remplazar en caso de que sea necesario
4. Se realiza limpieza de componentes del control electrónico, así como revisar el buen funcionamiento de todos sus componentes
5. Afinación del motor, ya sea de gas, gasolina o diésel, incluye el cambio de los componentes necesarios
6. El engrasado de todos los componentes del mástil, como las horquillas y el pantógrafo en caso de que tenga el aditamento
7. Revisar sistema de enfriamiento y remplazar liquido de refrigeración
8. Revisar el buen funcionamiento de todos los componentes de la cabina del operador.

Para ambos montacargas al final del servicio preventivo se tiene que entregar un reporte, el cual incluye todos los desperfectos encontrados durante las diferentes revisiones realizadas.

- El mantenimiento correctivo; si se parte de las fallas encontradas en el servicio preventivo, en este se realizan las reparaciones pertinentes sobre una falla específica (MVM, 2011).

2.4 Maquinaria y componentes en montacargas

2.4.1 Máquinas eléctricas

En los montacargas se pueden encontrar tanto máquinas de corriente directa como de corriente alterna. El principio de cualquier motor eléctrico es transformar la energía eléctrica suministrada en sus devanados en energía mecánica, por el movimiento rotatorio de algunos de sus componentes (Sanz, 2002). Si consideramos que los montacargas obtienen dicha energía de una batería, deducimos que se emplearán motores de corriente directa para el desarrollo del presente trabajo.

El motor de corriente directa se compone principalmente de tres partes (Figura 2.10): El estator o campo, que es la parte del motor que da soporte mecánico y contiene un devanado con núcleo de hierro. Otra de las partes es el rotor o armadura, este es la parte del motor que se mueve, también contiene un devanado y un núcleo de hierro al que llega la corriente mediante la tercera parte del motor que son las escobillas, estas hacen contacto directamente con el devanado del rotor. Con el fin de no desgastar dicho devanado por el constante roce con las escobillas, se conectan barras de cobre delgadas en cada vuelta del devanado o en cada pocas vueltas (Lister, 1975). Estas a su vez se colocan en un cilindro sobre el eje del rotor, y así las escobillas hacen contacto sobre las barras de cobre del conmutador, que son más delgadas que el devanado de la armadura pero permitiendo el paso de la corriente sobre los mismos puntos.

La cantidad de pares de polos que se extraigan del devanado de la armadura afecta la estructura y la cantidad de escobilla (Kosow, 1975).

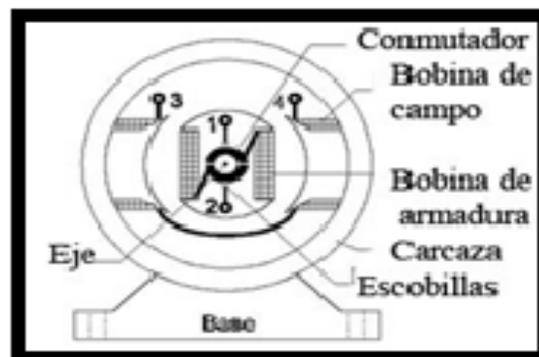


Figura 2.10 Partes de motor de corriente directa (Kosow, 1975)

El motor de corriente directa opera a base de los siguientes principios (Sanz, 2002):

1. La ley de Faraday: Establece que si un conductor con corriente eléctrica corta las líneas de un flujo magnético, se produce una fuerza electromotriz entre los extremos de dicho conductor, perpendicular tanto al campo magnético como a la dirección de la corriente inducida
2. La ley de Lenz: Indica que una corriente inducida fluirá en una dirección tal que por medio de su campo magnético se opondrá al movimiento del campo magnético que lo produce, esto indica que si una corriente eléctrica sobre un conductor realiza un trabajo mecánico, la energía necesaria debe provenir del trabajo efectuado para inducir la corriente (Figura 2.11)

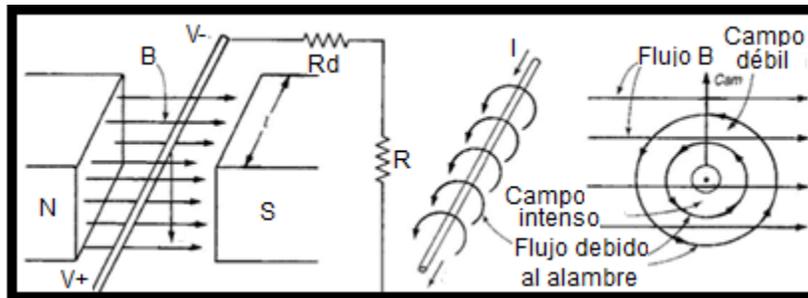


Figura 2.11 Esquema de Ley de Lenz (Kosow, 1975)

3. La dirección de la corriente inducida en el conductor se puede encontrar por medio de la regla de Fleming o regla de la mano derecha que es colocar el pulgar, el dedo índice y el dedo medio de la mano derecha en ángulo recto entre sí, con el pulgar indica la orientación del alambre y apunta con el índice la dirección del campo, se conoce la dirección de la corriente inducida por el dedo medio (Figura 2.12).

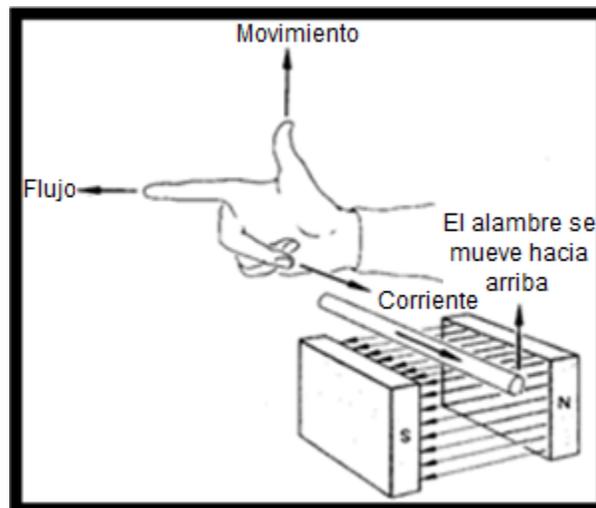


Figura 2.12 Esquema de Regla de Fleming (Kosow, 1975)

En un motor de corriente directa el flujo de campo Φ_f se establece por el estator por medio de imanes permanentes, donde Φ_f permanece constante o por medio de un devanado del campo donde la corriente I_f , controla a Φ (Sanz, 2002).

$$\Phi_f = (k_f)(I_f) \quad (2.1)$$

Donde k_f es una constante de campo de proporcionalidad.

El rotor lleva en sus ranuras el llamado devanado del inducido que maneja la energía eléctrica. Este tiene que estar sobre el estator debido a que tiene que proporcionar una rectificación mecánica de tensiones y corrientes. Esto es que altera el sentido conforme los conductores giran desde la influencia de un polo del estator al siguiente polo, por lo que producen una tensión y una corriente directa en las terminales del devanado del inducido. El devanado del inducido se encuentra conectado a los segmentos del conmutador por medio de las escobillas (Kosow, 1975).

En un motor de corriente directa, el par de torsión electromagnético es producto de la interacción entre el flujo del campo Φ_f y la corriente del inducido I_a .

$$T_{em} = (\Phi_f)(K_t)(I_a) \quad (2.2)$$

Donde k_t es la constante del par de torsión del motor. En el circuito del inducido se produce una fuerza contra electromotriz por la rotación de conductores del inducido a una velocidad ω_m en la presencia del campo magnético Φ_f

$$e_a = (\Phi_f)(k_e)(\omega_m) \quad (2.3)$$

Donde K_e es la constante del voltaje del motor.

De lo anterior la potencia eléctrica se puede calcular como:

$$P_e = (e_a)(I_a) = (K_e)(\Phi_f)(\omega_m)(I_a) \quad (2.4)$$

Y la potencia mecánica como:

$$P_m = (\omega_m)(T_{em}) = (K_t)(\Phi_f)(\omega_m)(I_a) \quad (2.5)$$

En estado permanente tanto la potencia mecánica como la potencia eléctrica son iguales.

En el uso de los motores de corriente directa se aplica una fuente de voltaje controlable v_t a las terminales del inducido, para establecer la corriente I_a . Por tanto la corriente I_a en el circuito del inducido es determinada por v_t , la fuerza electromotriz e_a , la resistencia del devanado del inducido R_a y la inductancia del devanado del inducido L_a :

$$v_t = (e_a) + (R_a)(I_a) + (L_a)\left(\frac{dI_a}{dt}\right) \quad (2.6)$$

A partir del análisis anterior se puede decir, que la fuerza contra-electromotriz inducida a través de las terminales del devanado del inducido, es directamente proporcional a la magnitud del flujo del campo y la velocidad rotativa del motor. Las características de funcionamiento de las máquinas de corriente continua,

dependen en gran parte de la forma de alimentar los devanados del inductor e inducido. De acuerdo a como se encuentren conectados se pueden clasificar las máquinas de corriente continua en cuatro categorías diferentes (Sanz, 2002):

1. Motor en serie
2. Motor en paralelo
3. Motor compuesto
4. Motor independiente.

En los motores de corriente directa en serie (Figura 2.13), se encuentra el devanado del rotor con el del estator en serie, esto determina que por ambos circule la misma corriente y en consecuencia los conductores deben ser de las mismas características. Puesto que la única resistencia existente en el circuito es el alambre proporcionado por ambos devanados. El circuito demanda un alto nivel de corriente de la fuente, lo que permite, desarrollar un mayor campo magnético y a su vez proporcionar una mayor potencia y torque.

Cuando la armadura gira lentamente es cuando este tipo de motor desarrolla un mayor torque ya que la corriente eléctrica es mucho mayor. En la conexión en serie se tiene que el motor desarrolla grandes momentos de torsión a bajas velocidades de armadura. Este tipo de motor siempre tiene que estar conectado a la carga, ya que sin ella no tendrá oposición a su movimiento al iniciar y se desbocara (Sanz, 2002).

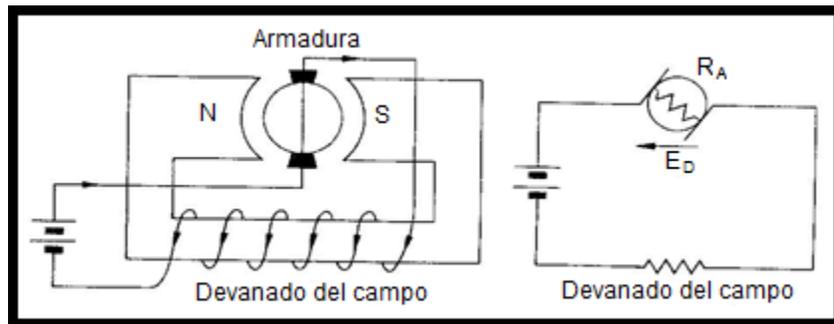


Figura 2.13 Esquema de motor de DC en serie (Sanz, 2002)

Para los motores de corriente directa en paralelo (Figura 2.14), se encuentra a los dos embobinados conectados en paralelo. En el circuito que se presenta en la Figura 2.14 se representa este motor y se observa dicha conexión.

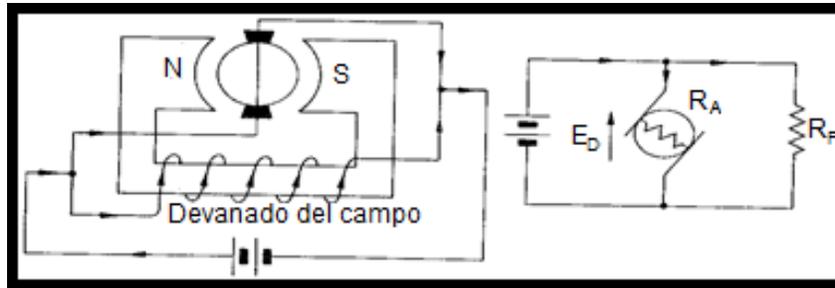


Figura 2.14 Esquema de motor de DC en paralelo (Sanz, 2002)

A diferencia del motor conectado en serie, en el que se observa que los conductores de ambos devanados tienen que ser de las mismas características, en el caso del motor en paralelo se encuentra que en los embobinados del rotor y del estator no circula la misma corriente. Por lo tanto las características de los devanados no tienen que ser iguales, esto permite que el devanado del estator se pueda fabricar de menor calibre, pero en busca de elevar su resistencia y provocar mayor campo magnético se construye con más número de vueltas, a diferencia del devanado de la armadura. El devanado de la armadura queda expuesto a este campo y es por el cual circula la mayor parte de la corriente. La principal ventaja de este tipo de motor es que produce un momento de torsión más constante para un amplio intervalo de velocidades (Kosow, 1975).

En el motor compuesto, existen dos semidevanados inductores alrededor de cada polo. Los semidevanados del mismo tipo ya sean serie o en paralelo de los diferentes polos inductores, están conectados en serie. Los primeros son recorridos por la misma corriente del inducido y los segundos están sometidos a la tensión del inducido. En la Figura 2.15 se demuestra el tipo de conexión.

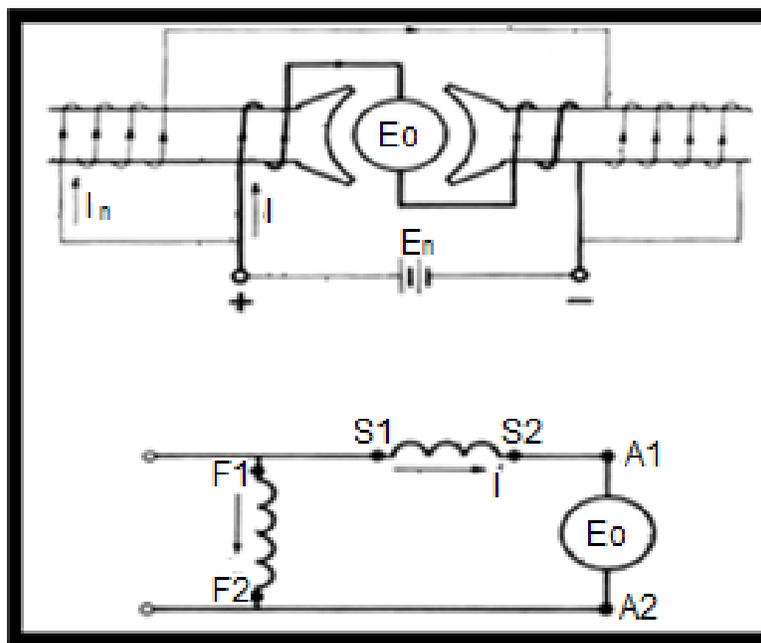


Figura 2.15 Esquema de motor de DC compuesto (Kosow, 1975)

En el caso de la conexión en excitación independiente (Figura 2.16), el inductor se alimenta de una fuente de tensión externa que es independiente de la que existe en el inducido. El resultado de este tipo de conexión, es que la intensidad del devanado del inductor y el flujo creado por los polos conductores se pueden regular de manera independiente. En este tipo de motores, el devanado del inductor suele estar formado por muchas espiras por polo de pequeña sección, lo que conduce a una resistencia elevada y que la corriente de excitación sea muy pequeña a comparación de la del inducido (Sanz, 2002).

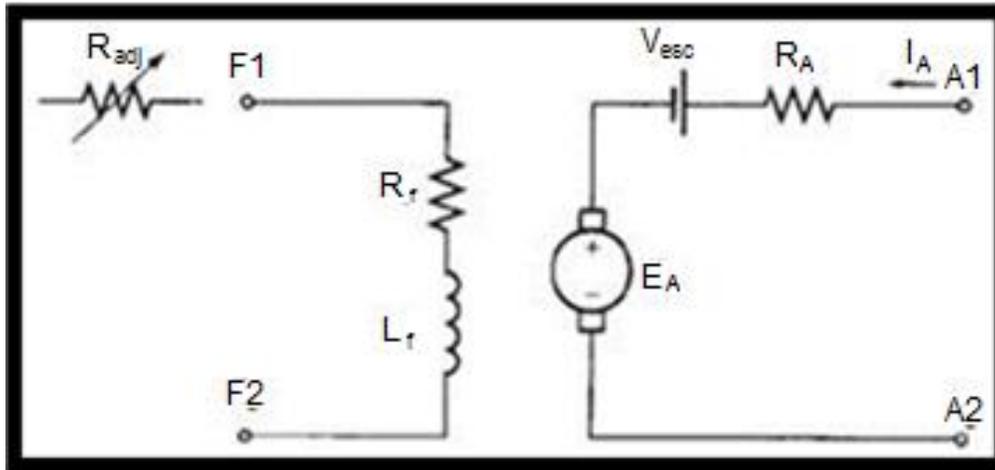


Figura 2.16 Esquema de motor de DC de excitación independiente (Sanz, 2002)

En el montacargas eléctrico se emplean tres motores eléctricos repartidos en los siguientes sistemas, el sistema de dirección, el sistema de tracción y el sistema hidráulico. Mientras que los montacargas de combustión no tienen ningún tipo de motor eléctrico, ya que todos los sistemas están conectados directamente al motor.

2.4.2 Dispositivos mecánicos

Los dispositivos mecánicos basan su funcionamiento en la reacción que se tiene al aplicar en ellos una fuerza. En el montacargas existen diferentes tipos de dispositivos mecánicos como son (Carrasco, 2011):

- Las horquillas. Las horquillas o uñas brindan el soporte mecánico para la carga durante el movimiento de la misma
- Las ruedas. Como se observa en la clasificación de los montacargas existen tres tipos de ruedas que son:
 - La sólida tipo cushion, que se utiliza en entornos cerrados y pisos lisos
 - La tipo rudomáticas, que son para cualquier tipo de piso pero en ambientes cerrados
 - La tipo neumática, que son para exteriores. Las ruedas son las que brindan el contacto con el suelo y la amortiguación del montacargas.
- Engranajes. Los engranes dentro de los montacargas son piezas mecánicas que sirven para transmitir el movimiento de los motores

- Cadenas. Las cadenas son las piezas mecánicas que se encargan de transmitir el movimiento que reciben los engranes de los motores a otros engranes.

2.4.3 Dispositivos electrohidráulicos

El término hidráulica es utilizado para el estudio de la aplicación de los fluidos sometidos a presión para realizar un trabajo, el movimiento del fluido involucra, transferencia de energía potencial o de presión, calorífica o de resistencia al flujo y energía cinética o energía en movimiento generada por el movimiento de un motor eléctrico (SB, 2006).

Los elementos que componen el sistema electrohidráulico del montacargas son los siguientes (Figura 2.17):

- Motobomba. La bomba proporciona el flujo requerido para hacer presión sobre el fluido, al ser impulsada por el elemento motriz. Existen diferentes tipos de motobombas como son:
 - Engranes. El motor de engranes desarrolla una torsión en la cual la presión actúa sobre las superficies de los engranes. Cuenta con dos engranes que giran conjuntamente, pero sólo uno está acoplado al eje del impulsor
 - Paletas. En un motor de paletas, la torsión se obtiene al aplicar presión sobre las superficies libres de paletas rectangulares que se deslizan hacia dentro y fuera de las ranuras del rotor. Este tipo de motor permite la operación en cualquiera de las dos direcciones, sin necesidad de balancines ni válvulas de vaivén. La presión que se crea en el orificio de entrada o salida del fluido, se dirige a dos cámaras interconectadas dentro del motor, las cuales están separadas 180°, las cargas laterales se generan a una apuesta a la otra por lo que se anulan entre sí
 - Pistones. Para los motores de pistones el fluido proveniente de la bomba actúa sobre la mitad de los orificios del block.
- Válvulas. Los sistemas hidráulicos están diseñados para trabajar en un determinado rango de presión. Este rango es una función de las fuerzas de los actuadores, la cual debe ser controlada y limitada ya que al ser excesiva puede dañar el sistema. Las válvulas son el dispositivo que controla esta función, y limita la descarga excesiva del fluido cuando la presión se incrementa (CETOP, 2006).

Las válvulas desempeñan diferentes funciones en el sistema, entre las cuales se encuentran:

1. Limitar la presión del sistema
2. Determinan la presión a la cual debe entrar el fluido en un sistema
3. Seleccionan y ordenan los movimientos de diferentes actuadores
4. Permiten diferentes presiones en diferentes ramales del circuito.

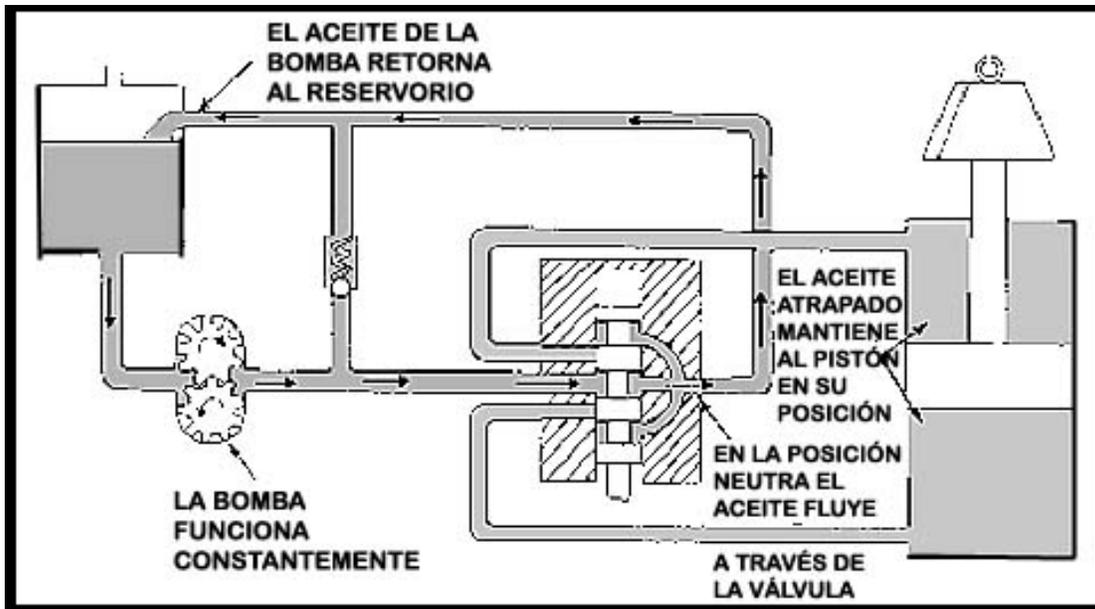


Figura 2.17. Esquema básico de un sistema hidráulico (CETOP, 2006)

Mangueras hidráulicas. Las mangueras hidráulicas son las encargadas de suministrar el fluido, desde la motobomba hasta los pistones, estas tienen que soportar la presión que el fluido ejerce sobre sus paredes. Deben tener una gran flexibilidad debido a que están en movimiento junto con los diversos componentes de carga.

Pistones. Los pistones son los encargados de hacer el cambio entre energía cinética producida por la motobomba a través del fluido hidráulico, por energía cinética pero aplicada en el movimiento de la carga (VICKERS, 1997).

2.4.4 Elementos de potencia

En términos generales, la tarea de los elementos de potencia es procesar y controlar el flujo de energía eléctrica mediante el suministro de voltajes y corrientes, en una forma óptima, para las cargas de los usuarios. La Figura 2.18 muestra un sistema de electrónica de potencia en forma de diagrama de bloques (Rashid, 2009).

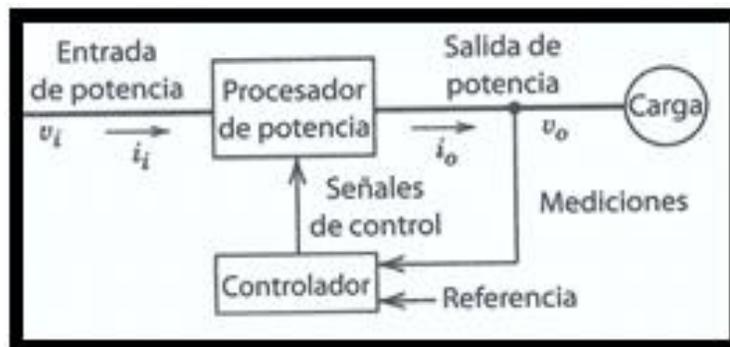


Figura 2.18 Diagrama de sistema eléctrico de potencia (Rashid, 2009)

En los últimos años, el campo de la electrónica de potencia tuvo un crecimiento considerable debido a varios factores. El controlador en el diagrama de bloques de la Figura 2.18 consiste en circuitos lineales integrados y/o procesadores de señales digitales. Dichos controladores fueron posibles gracias a avances revolucionarios en el campo de la microelectrónica. Además, los avances en la tecnología de la manufactura de semiconductores hicieron posible la mejora significativa de las capacidades de manejo de voltajes y corrientes así como de las velocidades de conmutación de dispositivos de semiconductores de potencia, que constituye la unidad del procesador de potencia.

Los procesadores de potencia consisten en lo general en más de una etapa de conversión, donde la operación de estas etapas se desacopla en forma instantánea por medio de elementos de almacenamiento de energía, tales como capacitores e inductores. Por tanto, la potencia instantánea de entrada no tiene que ser igual a la potencia instantánea de salida. Se llama a cada etapa de conversión de potencia como convertidor. Por ende, un convertidor es un módulo básico de los sistemas de electrónica de potencia. El convertidor usa dispositivos de semiconductores de potencia controlados por señales electrónicas, y quizás elementos de almacenamiento de energía como inductores y capacitores, con base en la frecuencia de entrada y salida los convertidores se dividen en las siguientes categorías (Rashid, 2009):

- Rectificador que convierte de corriente alterna a corriente directa
- Inversor que convierte de corriente directa a corriente alterna
- Troceador (chopper) que convierte de corriente directa a corriente directa
- Ciclo-convertidor que convierte de corriente alterna a corriente alterna.

Si los dispositivos de los semiconductores de potencia se consideran interruptores lineales, el análisis de las topologías de convertidores se facilita en gran medida. Este planteamiento tiene la ventaja de que los detalles de la operación de los dispositivos no ocultará la operación básica del circuito.

Los dispositivos de semiconductores de potencia disponibles se clasifican en tres grupos, de acuerdo a las posibilidades de control (Dewan y Straughen, 1975).

1. Diodos. Estados de conexión y desconexión controlados por el circuito de potencia
2. Tiristores. Son activados mediante una señal de control, pero pueden ser desactivados por medio del circuito de potencia o por un circuito de control externo
3. Interruptores controlables. Se conectan y desconectan mediante señales de control.

La categoría de interruptores controlables abarca varios tipos de dispositivos, como transistores de unión bipolar (TBJ), transistores de efecto de campo óxido metálico semiconductor (MOSFET), tiristores desactivables por puerta (GTO) y transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Otro de los elementos eléctricos de potencia que se puede definir es el contactor que es un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía,

menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga. Las energías utilizadas para accionar un contactor pueden ser muy diversas: Mecánicas, magnéticas, neumáticas, fluhídricas, etc. Los contactores corrientemente utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina.

Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas, que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos (Chapman, 2006).

Así pues, la característica importante de un contactor será la tensión que aplica a la bobina de accionamiento, así como su intensidad o potencia. El tamaño de un contactor, depende de la intensidad que es capaz de soportar e interrumpir, así como del número de contactos de que dispone (normalmente cuatro). El tamaño del contactor también depende de la tensión máxima de trabajo que puede soportar, pero esta suele ser de 660 V. para los contactores de normal utilización en la industria. Cuando el fabricante establece la corriente característica de un contactor, lo hace para cargas puramente resistivas y con ella garantiza un determinado número de maniobras, pero si existen cargas capacitivas o inductivas el contactor ve reducida su vida como consecuencia de los efectos destructivos del triángulo de potencias, que naturalmente aumentan a medida que disminuye el $\cos \delta$ (Flower, 2001).

Por lo general, los contactores que se utilizan referirán sus características a las recomendaciones del Comité Electrotécnico Internacional (CEI), que establecen los siguientes tipos de cargas:

- AC-1 Para cargas resistivas o débilmente inductivas $\cos \delta = 0.95$
- AC-2 Para cargar inductivas ($\cos \delta = 0.65$). Arranque e inversión de marcha de motores de anillos rozantes
- AC-3 Para cargas fuertemente inductivas ($\cos \delta = 0.35$ a 0.65). Arranque y desconexión de motores de jaula
- AC-4 Para motores de jaula: Arranque, marcha a impulsos y frenado por inversión.

Donde δ (factor de potencia) es el ángulo formado entre la potencia aparente y la potencia activa (Figura 2.19).

$$\delta = \arccos \frac{\text{potencia aparente}}{\text{potencia activa}} \quad (2.7)$$

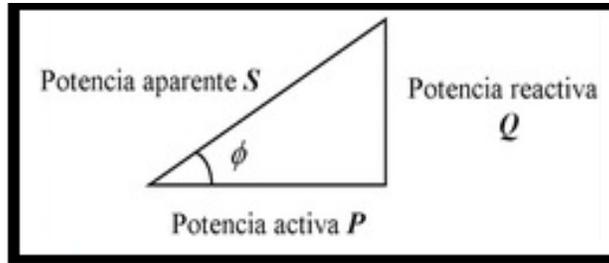


Figura 2.19 Triángulo de potencias, tipo de carga (Flower, 2001)

Prácticamente, la casi totalidad de las aplicaciones industriales, tales como máquinas-herramientas, equipos para minas, trenes de laminación, puentes-grúas, montacargas, etc., precisan de la colaboración de gran número de motores para realizar una determinada operación. Por lo que es conveniente que puedan ser controlados por un único operador situado en un "centro de control", desde donde sea posible observar y supervisar todas las partes de la instalación. Esta clase de trabajo no se puede realizar con interruptores o cualquier otro elemento de control que precise de un mando manual directo; debido a que el operador no tendría tiempo material de accionar los circuitos que correspondiesen de acuerdo con las secuencias de trabajo. Estos y otros problemas similares pueden quedar solventados con el uso de contactores, como se observó en la figura 2.18 (Flower, 2001).

Las partes que compone a un contactor son (Figura 2.20):

- Carcaza. La carcaza es el elemento en el cual se fijan todos los componentes conductores del contactor, por lo tanto, es fabricada en un material no conductor con propiedades como la resistencia al calor, y un alto grado de rigidez. Uno de los materiales más utilizados es la fibra de vidrio, pero tiene un inconveniente y es que este material es quebradizo y por lo tanto su manipulación es muy delicada. En caso de quebrarse alguno de los componentes no es recomendable el uso de pegantes.

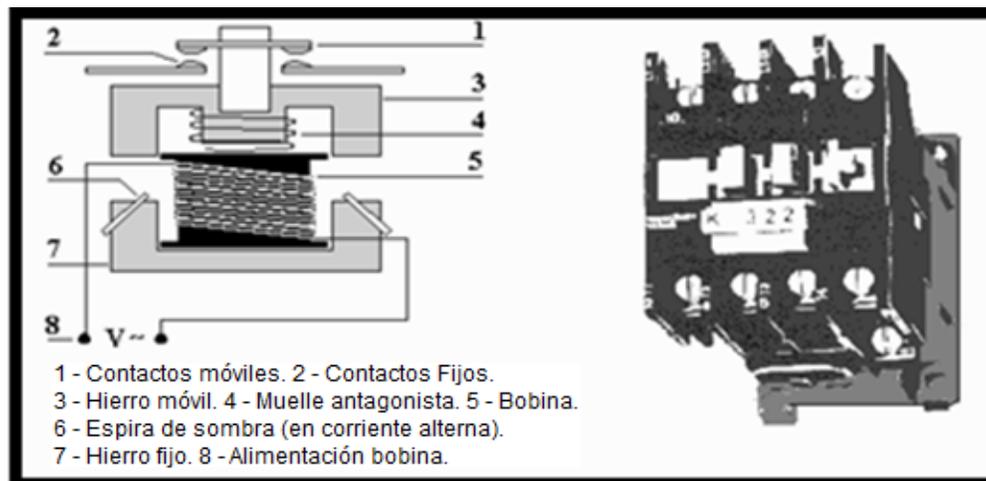


Figura 2.20 Esquema de partes de un contactor (Flower, 2001)

- Electroimán. También es denominado circuito electromagnético, y es el elemento motor del contactor. Está compuesto por una serie de elementos cuya finalidad es transformar la energía eléctrica en un campo magnético muy intenso mediante el cual se produce un movimiento mecánico que aprovecha las propiedades electromagnéticas de ciertos materiales.
- Bobina. Consiste en una bobina de alambre de cobre con unas características muy especiales, con un gran número de espiras y de sección muy delgada para producir un campo magnético. El flujo magnético produce un par magnético que vence los pares resistentes de los muelles de manera que la armadura se puede juntar con el núcleo estrechamente.
- Bobina energizada con CA. Para el caso cuando una bobina se energiza con corriente alterna, se produce una corriente de magnitud muy alta, puesto que solo se cuenta con la resistencia del conductor. Puesto que la reactancia inductiva de la bobina es muy baja debido al gran entrehierro que existe entre la armadura y el núcleo, esta corriente tiene factor de potencia. Y por consiguiente, alto del orden de 0.8 a 0.9 y se le conoce como corriente de llamada. Esta corriente elevada produce un campo magnético muy grande, capaz de vencer el par ejercido por los muelles o resorte que los mantiene separados y de esta manera se cierra el circuito magnético, uniéndose la armadura con el núcleo. Lo anterior trae como consecuencia el aumento de la reactancia inductiva y así la disminución de hasta aproximadamente diez veces la corriente, lo que produce, entonces una corriente conocida como corriente de mantenimiento, con un factor de potencia más bajo, pero capaz de mantener el circuito magnético cerrado. Para que todo este procedimiento tenga éxito, las bobinas deben ser dimensionadas para trabajar con las corrientes bajas de mantenimiento. De lo contrario, no se acciona el mecanismo de cierre del circuito magnético, la corriente de arranque circulará un tiempo más grande del previsto, lo que puede deteriorar la bobina.
- Bobina energizada con CC. En este caso no se presenta el fenómeno anterior puesto que las corrientes de llamada y de mantenimiento son iguales. La única resistencia presente es la resistencia de la bobina misma, por lo cual las características y la construcción de estas bobinas son muy especiales. La bobina puede ser energizada por la fuente de alimentación o por una fuente independiente.
- El núcleo. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético, con el fin de atraer la armadura eficientemente. Está construido de láminas de acero al silicio superpuestas y unidas firmemente unas con otras con el fin de evitar las corrientes parásitas. Si circula una corriente alterna por la bobina, es de suponerse, que cuando la corriente pasa por el valor cero, el núcleo se separa de la armadura, puesto que el flujo también es cero, pero como esto sucede 120 veces en un segundo (si la frecuencia es de 60Hz). Esto significa que en realidad no hay una verdadera separación, sin embargo, genera vibraciones y un zumbido, además del aumento de la corriente de mantenimiento. Por esto las bobinas que operan con corriente alterna poseen unos dispositivos llamados espiras de sombra. Las cuales producen

un flujo magnético desfasado con el principal, de manera que se obtiene un flujo continuo similar al producido por una corriente continua.

- Armadura. Es un elemento móvil muy parecido al núcleo, pero no posee espiras de sombra, su función es la de cerrar el circuito magnético, ya que en estado de reposo se encuentra separada del núcleo. Este espacio de separación se denomina entrehierro. Tanto el cierre como la apertura del circuito magnético suceden en un espacio de tiempo muy corto (10 milisegundos aproximadamente). Todo es debido a las características del muelle, por esto se pueden presentar dos situaciones:
 - Cuando el par resistente es mayor que el par electromagnético, no se logra atraer la armadura
 - Si el par resistente es débil no se logrará la separación rápida de la armadura.

Cada una de las acciones de energizar o desenergizar la bobina, y por consiguiente, la atracción o separación de la armadura, es utilizada para accionar los contactos que obran como interruptores, esto permite o interrumpe el paso de la corriente. Estos contactos están unidos mecánicamente (son solidarios) pero están separados eléctricamente.

- Contactos (Figura 2.21). El objeto de estos elementos es permitir o interrumpir el paso de la corriente, son elementos conductores, los cuales se accionan tan pronto se energiza o se desenergiza la bobina, por lo que se les denomina contactos instantáneos. Esta función la cumplen tanto en el circuito de potencia como en el circuito de mando. Los contactos están compuestos por tres partes, dos de las cuales son fijas y se encuentran ubicadas en la carcasa y una parte móvil que une estas dos, y posee un resorte para garantizar el contacto. Las partes que entran en contacto, deben tener unas características especiales, puesto que al ser accionados bajo carga, se presenta un arco eléctrico, el cual es proporcional a la corriente que demanda la carga. Estos arcos producen sustancias que deterioran los contactos, pues traen como consecuencia la corrosión. También las características mecánicas de estos elementos son muy importantes.

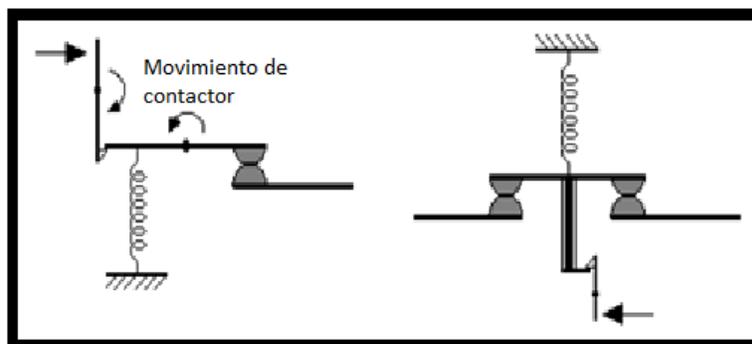


Figura 2.21 Diagrama de funcionamiento de contactos (Flower, 2001)

- Contactos principales. Son los encargados de permitir o interrumpir el paso de la corriente en el circuito principal, es decir que actúa sobre la corriente que fluye de la fuente hacia la carga, como se observó en la Figura 2.20. Debido a que operan bajo carga, es determinante poder extinguir el arco que se produce, puesto que esto deteriora el dispositivo. Debido a que produce temperaturas extremadamente altas, para esto, los contactos se encuentran instalados dentro de la llamada cámara apaga chispas. Este objetivo se logra mediante diferentes mecanismos.
 - Soplado por auto-ventilación: Este dispositivo consiste en dos aberturas, una grande y una pequeña, al calentarse el aire, este sale por la abertura pequeña, entrando aire fresco por la abertura grande y este movimiento de aire hace que se extinga la chispa.
 - Cámaras desionizadoras: Estas cámaras consisten en un recubrimiento metálico que actúa como un disipador de calor y por esto el aire no alcanza la temperatura de ionización. Este método suele acompañarse por el soplado por auto-ventilación.
 - Transferencia y fraccionamiento del arco: Consiste en dividir la chispa que se produce, de manera que es más fácil extinguir chispas más pequeñas. Esto se realiza mediante guías en los contactos fijos.
 - Soplo magnético: Este método emplea un campo magnético que atrae la chispa hacia arriba de la cámara, aumentando de esta manera la resistencia. Este método suele ir acompañado del soplado por auto-ventilación y debe realizarse en un tiempo no muy largo pero tampoco extremadamente corto.
- Contactos secundarios. Estos contactos secundarios se encuentran dimensionados para corrientes muy pequeñas, porque estos actúan sobre la corriente que alimenta la bobina del contactor o sobre elementos de señalización. Sin embargo, se encuentran contactores auxiliares con adelanto al cierre o a la apertura y con retraso al cierre o a la apertura. Estos contactos actúan algunos milisegundos antes o después que los contactos instantáneos. Existen dos clases de contactos auxiliares:
 - Contacto normalmente abierto. Llamado también contacto instantáneo de cierre, es un contacto cuya función es cerrar un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra abierto.
 - Contacto normalmente cerrado. Llamado también contacto instantáneo de apertura, es un contacto cuya función es abrir un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra cerrado.

Existen dos consideraciones que deben tener en cuenta en cuanto a las características de los contactores (Flower, 2001):

- Poder de cierre: Valor de la corriente independientemente de la tensión, que un contactor puede establecer en forma satisfactoria y sin peligro que sus contactos se suelden.

- Poder de corte: Valor de la corriente que el contactor puede cortar, sin riesgo de daño de los contactos y de los aislantes de la cámara apaga chispas. La corriente es más débil en cuanto más grande es la tensión.

Para que los contactos vuelvan a su posición anterior es necesario desenergizar la bobina. Durante esta desenergización o desconexión de la bobina (carga inductiva) se producen sobre-tensiones de alta frecuencia, que pueden producir interferencias en los aparatos electrónicos.

Criterios para la elección de un contactor. Para elegir el contactor que más se ajusta a las necesidades requeridas por la aplicación, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Condiciones de servicio: ligera, normal, dura, extrema. Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.
- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.
- Por la categoría de empleo.

2.4.5 Cabina del operador

La cabina del operador es la parte del montacargas en donde se concentran todos los controles que involucran el manejo de las funciones del montacargas (Figura 2.22). También es la parte de la máquina que brinda la protección necesaria al operador en caso de accidente, como volcaduras y caída de carga (DCEO, 2003).

Existen algunas recomendaciones con respecto a cómo se deben de instalar las diferentes partes que la componen.

Las palancas y manivelas se deben de instalar a la mano del operador sin interferir en la visibilidad no deben de exceder de 15 cm de largo. El diámetro debe de estar entre 2.5 y 3.2 cm y el espacio que debe de haber entre las palancas es de no menos de 1.8 cm. La fuerza que se le aplica para accionarlas no debe pasar los 4.5 N.

Los pedales se instalan justo enfrente del asiento del operador, con una distancia máxima de 70 cm del punto medio de donde se encuentra el asiento, tienen que tener un ángulo menor a 30°. Con respecto a sus dimensiones tiene que tener un ancho de 7.5 cm mínimo, y al accionarlo su desplazamiento no debe ser mayor de 100 mm. La fuerza requerida para activarlos debe ser entre 200 y 300 N, el espacio que se recomienda dejar entre cada pedal es de 5 cm pero puede ampliarse hasta 15 mm (SEMAC, 2009).

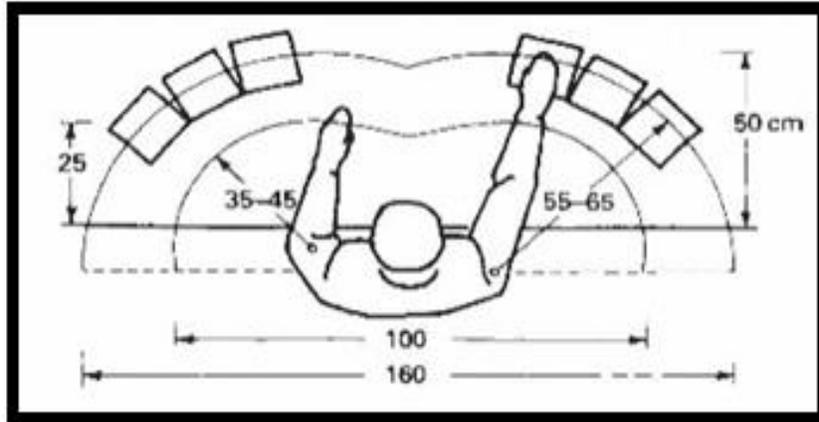


Figura 2.22 Diagrama de cabina del operador en un montacargas (SEMAC, 2009)

Otro componente importante de la cabina del operador son los espejos retrovisores, que proporcionan una vista parcial hacia atrás. Estos se encuentran distribuidos uno en cada lado del montacargas y otro en el centro, pero con esto no es suficiente para tener una vista confiable de la parte trasera, por lo que algunos fabricantes han instalado una pequeña cámara de video que da una visión más completa.

Para mejorar la visión cuando el montacargas se desplaza hacia atrás se recomienda la instalación de un asiento que tenga movimiento giratorio (Figura 2.23). Aparte de mejorar la visión, ayuda a no causar lesiones al operador por la mala postura.

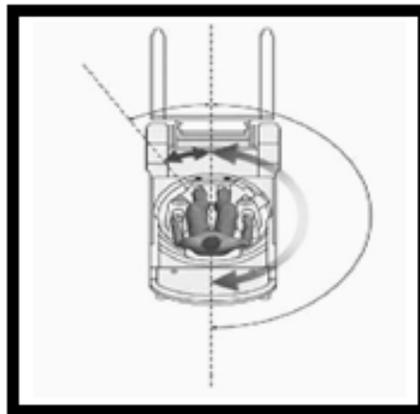


Figura 2.23 Esquema de asiento del operador con movimiento de un montacargas (SEMAC 2009)

Aparte de los componentes mencionados, la cabina del operador debe de contar con un peldaño y un pasamanos que permiten el acceso y descenso de la unidad de manera fácil y la guarda de seguridad (Figura 2.24), que es la encargada de proteger al operador de caídas de carga (Barriera, 2008).



Figura 2.24 Guarda de seguridad (Barriera 2008)

2.4.6 Baterías

La batería es el corazón del montacargas eléctrico, es el elemento que se utiliza para almacenar energía con la que se operarán los circuitos y componentes del montacargas. La batería almacena energía en forma química, hasta que se conecta a un circuito externo. La energía almacenada cambia entonces a energía eléctrica, que fluye de una terminal de la batería, por todo el circuito y vuelve a la otra terminal (ICONTEC, 2008).

- Acción electroquímica de la batería. La electroquímica de una batería trabaja sobre la reacción que se da cuando los electrodos, están colocados en una solución conductora y reactiva, que se llama electrolito. La reacción química hace que las terminales de las baterías tengan cargas opuestas, positivas y negativas. Esto crea una diferencia de potencial, entre las dos terminales de la batería. El electrolito de la batería es el medio por el cual reaccionan los materiales, estos materiales son: Plomo (Pb) y dióxido de plomo (PbO_2) en las placas de la batería. La electroquímica de la batería es una aplicación de las reacciones de oxidación y reducción (Cárdenas, 1996).
- Descarga y recarga. Cuando la batería se descarga, los iones de sulfato (SO_4) provenientes del electrolito se combinan con los iones de plomo generados en ambas placas, para formar el sulfato de plomo ($PbSO_4$). Entonces las placas se convierten en materiales similares y el electrolito contiene menos ácido y más agua. Dos electrodos semejantes no pueden producir un voltaje o corriente, entre dos terminales. La batería descargada se le llama también 'batería sulfatada'.

Una batería descargada tiene una solución ácida débil como electrolito y las placas en su mayor parte tienen sulfato de plomo. La recarga invierte esta condición. Para recuperar la batería a las condiciones originales, basta con desconectarla del circuito que alimenta, para conectarla ahora a una fuente eléctrica, como puede ser un generador. Se deberá tener cuidado de conectar la fuente de carga de la batería, positivo con positivo y negativo con negativo. De esta manera la fuente, cuyo voltaje deberá ser mayor que

el de la batería, hará circular una corriente por el interior de la batería en sentido inverso que cuando se está cargando.

El sulfato de plomo en las placas positivas vuelve a convertirse en dióxido de plomo y el sulfato de plomo de las placas negativas vuelve a ser plomo esponjoso. Los iones de sulfato se combinan nuevamente en el electrolito, y se generan iones de hidrógeno, lo cual aumenta el porcentaje de ácido sulfúrico (H_2SO_4), entonces la batería vuelve a tener carga completa (Cárdenas, 1996).

El mantenimiento y recarga de las baterías, solo debe ser ejecutado por personal debidamente entrenado y efectuarse solamente en las áreas especialmente designadas para su servicio. Se deben seguir las instrucciones de operación de los cargadores y las instrucciones para cuidados y conservación de las baterías proporcionadas por el fabricante.

- Factores que influyen en la vida y rendimiento de una batería.
 - Sobrecarga. La sobrecarga es el resultado de aplicar un voltaje de carga continuamente elevada, elevadas cantidades de corriente de carga, o ambas. De cualquier modo la corriente excedente atraviesa la batería, forzada, lo cual produce calor. El calor puede deformar las placas y oxidar el material positivo de la placa. La sobrecarga también ocasiona que el electrolito se descomponga y libere gases de hidrógeno y oxígeno. Los gases liberados pueden lavar el material activo en las placas, disminuir el nivel de electrolito y aumentar la corrosión de la batería.
 - Carga insuficiente y sulfatación. Cuando una batería no está totalmente cargada, el sulfato de plomo se queda en las placas. La cantidad de sulfatación varía con el estado de la carga. Si la batería tiene continuamente carga insuficiente, el sulfato puede cristalizarse y no combinar con el electrolito. Finalmente, una batería con carga insuficiente, puede que no reciba carga completa. Una batería sulfatada no puede recargarse efectivamente.
- Nivel del electrolito. Se sabe que la temperatura elevada, la sobrecarga, el funcionamiento en ciclo y la recarga, originan calor y puede ser causa de gasificación y pérdida de agua. Si el nivel del electrolito baja de la parte superior de las placas, los materiales de placa están expuestos al aire y al endurecimiento. Los materiales endurecidos en la placa ya no se restauran ni vuelven a su condición activa total. Además el electrolito que ha perdido agua tiene una mayor concentración de ácido, lo cual aumenta la corrosión de las placas. También el sobrellenado de las placas es dañino, demasiada agua diluye la concentración de ácido, esto eleva el nivel del electrolito hasta los respiraderos y aumenta la corrosión de la batería.
- Corrosión. La corrosión de la batería se debe al electrolito derramado y a la gasificación normal de la batería. El ácido sulfúrico destruye los conectores de metal así como las terminales. Las terminales y los conectores corroídos aumentan la resistencia del circuito. La corrosión debilita los soportes y daña el metal de la carrocería.

- Vibración. La vibración puede ocasionar que el material activo se desprenda de las placas y pueda aflojar las conexiones internas, entre las celdas y grupos de placas, lo cual aumenta la resistencia. La vibración puede aflojar las conexiones externas a la terminal de la batería. Si la vibración es muy fuerte, puede incluso agrietar la caja de la batería o hacer caer la batería de su soporte.
- Temperatura. La capacidad del acumulador se reduce a bajas temperaturas, debido al aumento en la resistencia y la viscosidad del electrolito, pero no ocurrirán daños si no se congela. Por lo tanto, una batería puede trabajar a temperaturas ambientes muy bajas durante periodos cortos, sin que la temperatura interna de la batería disminuya al punto en que su capacidad se vea seriamente afectada.

Las temperaturas altas aumentan la corriente de carga y pueden producir una sobrecarga considerable. Esto significa mayor consumo de agua, mayor corrosión de las rejillas, placas positivas y menor vida de la batería (BA, 2006).

2.5 Sistema de control

2.5.1 Tracción

El sistema de control de la tracción de un montacargas eléctrico, tiene como objetivo brindar el sentido de desplazamiento, que tendrá el montacargas, por medio del control en el flujo de la corriente que pasa a través del motor, utilizando un arreglo eléctrico y electrónico. Este circuito tiene la función de suministrar la corriente demandada por el motor, al accionar el pedal del acelerador (Flower, 2001).

Como establecen los principios del motor de corriente directa, la dirección del movimiento del rotor dependerá de la dirección del campo magnético o la dirección de la corriente eléctrica del conductor, siempre y cuando una de las dos se mantenga constante. Por consecuencia, para controlar el sentido del movimiento del rotor, es suficiente invertir la polaridad del campo magnético que produce cualquiera de sus embobinados. Por medio de la aplicación de un puente H, que se muestra en la Figura 2.25, se puede lograr el cambio en el sentido del flujo de la corriente.

El funcionamiento del puente H es el siguiente: Si se cierran tan sólo los contactos S1 y S4, la corriente circulará en un sentido a través del motor. Y si se cierran solamente los contactos S2 y S3 la corriente circulará en sentido contrario, como se ve en la Figura 2.26.

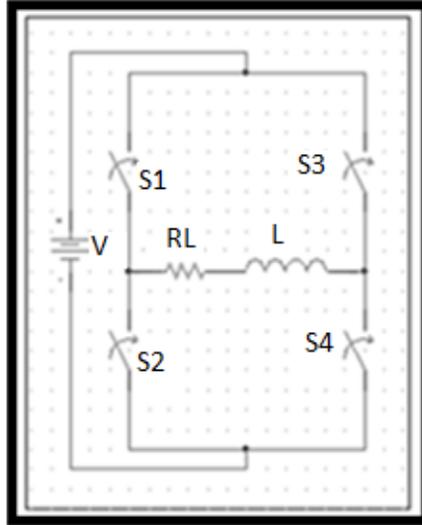


Figura 2.25 Esquema de conexión de puente H en el sistema de tracción de un montacargas (Rashid, 2009)

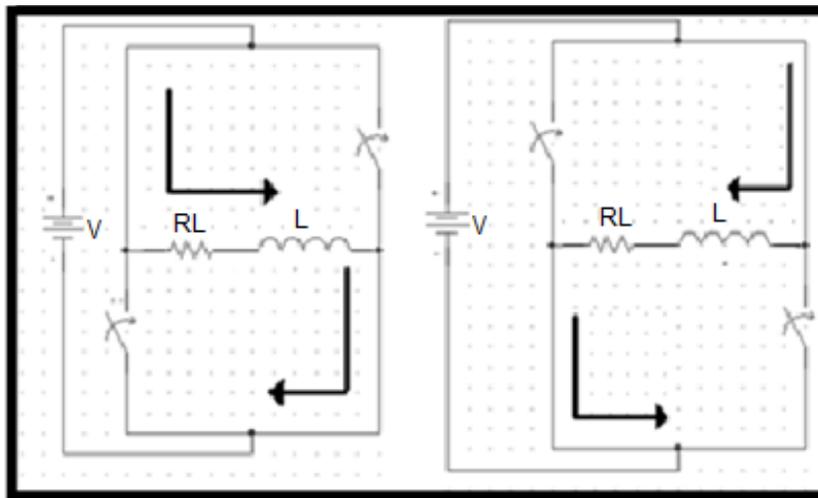


Figura 2.26 Funcionamiento puente H (Rashid, 2009)

La Figura 2.27 muestra un ejemplo de las posibles conexiones que se pueden aplicar para el motor de corriente directa ya sea en serie o en paralelo. El sistema de control de tracción debe de ser capaz de identificar cual es el sentido en el cual el operador requiere que se mueva el montacargas, y así permitir el flujo de la corriente en ese sentido. Esto lo logra mediante el control de los contactores que forman al puente H (Flower, 2001).

El sistema de tracción es el que permite el control de velocidad del montacargas, por medio de un arreglo electrónico a la salida del puente H. Esto se logra al regular el voltaje medio de la alimentación. A esto se le conoce como control PWM, y permite el paso de la corriente por medio de cambios de estados (prendidos y apagados), rápidos de un interruptor (Rashid, 2009).

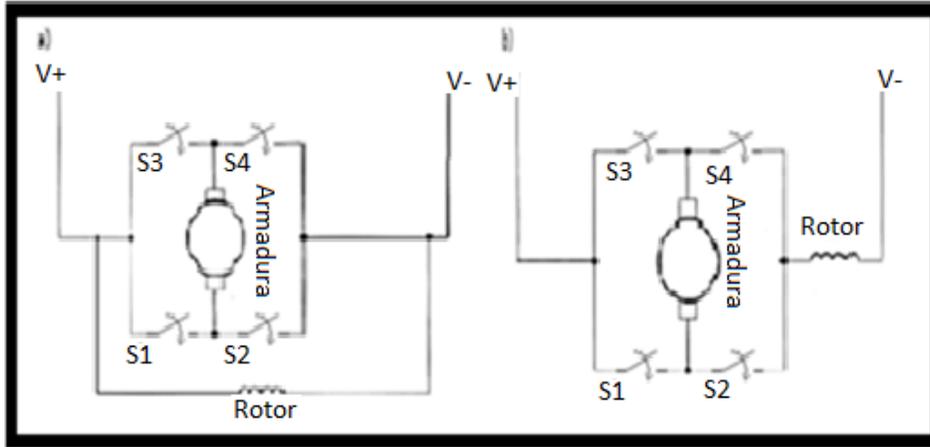


Figura 2.27 Conexión de puente H en motor serie y paralelo (Rashid, 2009)

En la modulación por ancho de pulso se emplea una frecuencia constante y se ajusta el tiempo del encendido del interruptor para controlar el voltaje medio de salida. Al tiempo en el que el interruptor se encuentra encendido en el período de la señal, se le conoce como el ciclo de trabajo (Figura 2.28).

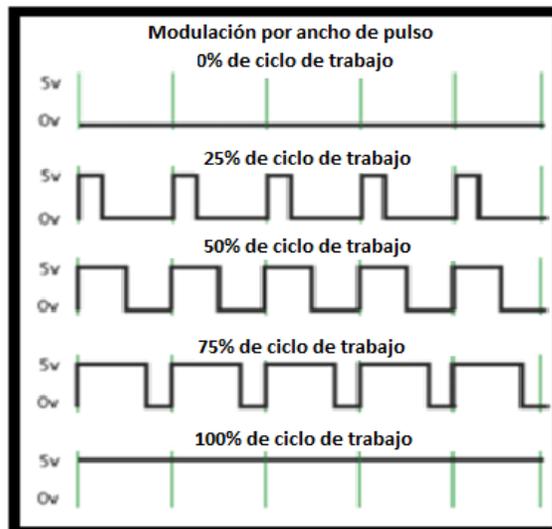


Figura 2.28 Esquema de funcionamiento de PWM (Rashid, 2009).

2.5.2 Castillo

El castillo o mástil es el encargado de elevar la carga que será desplazada, por medio de la fuerza hidráulica que proviene de la motobomba, también tiene como función inclinar la carga para colocarla en algún área específica. El mástil estándar es de triple etapa con rodillos soportados que brindan mayor visibilidad al operador al momento de desplazar la carga, esto se muestra en la Figura 2.29. El mástil se encuentra montado al frente del montacargas (Carrasco, 2011).



Figura 2.29 Castillo o mástil de un montacargas (Carrasco, 2011)

Los mástiles de dos etapas tienen carriles interiores y exteriores, o canales que permiten obtener la altura máxima, mediante la extensión del carril interior. En el castillo se encuentran instalados los cilindros de elevación, las mangueras del líquido hidráulico que se conectan a los cilindros de elevación, y los aditamentos necesarios para brindar soporte a las horquillas.

Cuando el mástil se encuentra totalmente abajo, se le dice mástil colapsado, y si éste se encuentra en su máxima altura se le dice mástil a plena altura (DCEO, 2003).

2.5.3 Pantógrafo y uñas

El pantógrafo es un aditamento especial de algunos montacargas el cual permite alcanzar o acomodar cargas a mayor distancia, muchas de las marcas lo manejan con el nombre de push pull por la manera en la que se toma y se deja la carga.

El primer paso, es alcanzar la carga, el segundo paso ocurre cuando se contrae el pantógrafo, el tercer paso es el manejo de la carga hacia el lugar donde se va a depositar y por último cuando se expande el pantógrafo y se deposita la carga, la Figura 2.30 ilustra su uso (DCEO, 2003).



Figura 2.30 Esquema de uso de pantógrafo (LAYNESAFETY, 2009)

Las uñas u horquillas son los aditamentos para manejo de carga para montacargas más comunes (Figura 2.31). Algunas de las razones es que estos se montan y quitan con facilidad, el ajuste entre sus separaciones se puede hacer manualmente o con ayuda de aditamentos hidráulicos. La especificación que se tienen con respecto a las horquillas es que deben de ser más cortas que la carga que van a llevar, aproximadamente deben ocupar un 70% del ancho total de la carga. Si estas son menores la carga es inestable y puede llegar a provocar accidentes y si estas son mayores, puede llegar a dañar la carga cuando se maneja (Carrasco, 2011).



Figura 2.31 Fotografía de las horquillas para manejo de carga de un montacargas (LAYNESAFETY, 2009)

En el mercado existen diferentes aditamentos para manejo de carga que se pueden instalar a los montacargas. Esto hace que el montacargas desempeñe una tarea especial como manejo de barriles o rollos de papel, palas de volteo, aditamentos que, con ayuda del pantógrafo, empujan la carga en lugar de alzarla.

2.6 Instalaciones eléctricas

2.6.1 Conductores del circuito de control

La función básica de un conductor consiste en transportar energía eléctrica en forma segura y confiable desde la fuente de energía a la carga del sistema. Los conductores se componen de varias partes (Figura 2.32), las cuales permiten que el transporte de dicha energía se haga con mayor eficiencia. Dichas partes son (Farina, 2011):

1. Conductor. Los cables pueden estar constituidos por un conductor (cables monofásicos), dos (cables bifásicos), tres (cables trifásicos), etc.
2. Aislamiento. El aislamiento es una capa de material dieléctrico, que aísla los conductores de distintas fases, o entre fases y tierra.
3. Capa semiconductor o barniz, se emplea para homogenizar la superficie en la distribución de los conductores.

4. Blindaje o pantalla. El blindaje es cubierta metálica que recubre el cable en toda su extensión y que sirve para confinar el campo eléctrico y distribuirlo uniformemente en su interior.
5. Cubierta. La cubierta es un material aislante muy resistente que separa los componentes de un cable del medio exterior.

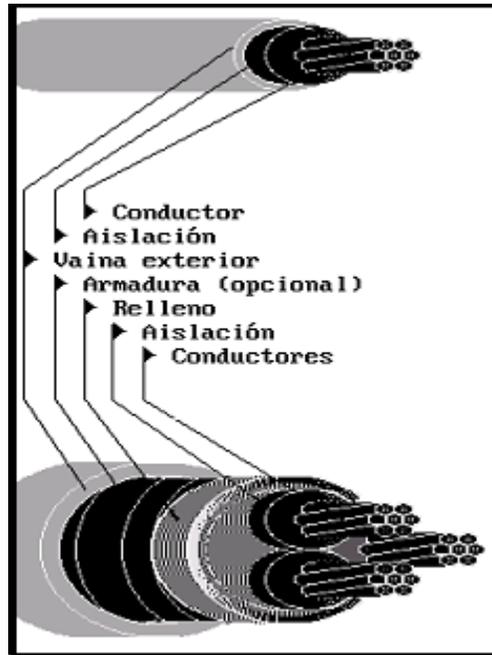


Figura 2.32 Partes de un conductor (Farina, 2011)

Son cuatro los principales factores que deben ser considerados en la selección de conductores:

1. Materiales
2. Flexibilidad
3. Forma
4. Dimensiones

Con base en lo anterior, se ha escogido un circuito impreso para los conductores del circuito electrónico, esto debido a que el circuito impreso, también conocido como PCB, da la ventaja de sostener de forma mecánica aparte de conectar eléctricamente los componentes electrónicos. Para lograr este trabajo utiliza pistas o rutas de material conductor; los cuales se graban desde hojas de cobre laminadas encima de un sustrato no conductor aparte de que estos circuitos generalmente presentan una elevada fiabilidad; además de ser baratos y robustos. Por tanto, los PCBs son ideales para conectar circuitos en los que se requiera fijar dispositivos además de interconectarlos, se debe considerar que la demanda de corriente sea relativamente baja, lo suficiente para ser soportada por las láminas de la tarjeta (ELECTROSOFT, 2010).

2.6.2 Conductores del circuito de potencia

Para la selección de los conductores de potencia, se tienen que considerar más variables, ya que, como su nombre lo indica, este circuito demandará una gran cantidad de corriente. Si esto se considera, se deberá seleccionar un conductor que soporte toda la energía que fluirá por él. Al contrario de la selección de conductores para el circuito de control, donde la demanda es muy baja. Por lo tanto, se deberá conocer la demanda de corriente máxima que circulará por dichos conductores, para así escoger el más adecuado. Existen muchas tablas de especificaciones, proporcionadas por las empresas manufactureras de conductores por ejemplo la Tabla 2.1, en las cuales se indica la corriente máxima soportada por un conductor de cobre con respecto al calibre del mismo (CONDUMEX, 2011).

Así una vez conocida la corriente máxima que demandará el circuito de potencia, al compararla con la tabla anterior y seleccionar el conductor más adecuado para esta aplicación.

Tabla 2.1 Capacidad de corriente promedio por calibre en conductores de cobre (CONDUMEX, 2011)

| Calibre AWG - MCM | Sección Real (mm ²) | Intensidad Admisible (Ampers) |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 14 | 2.081 | 30 |
| 12 | 3.309 | 40 |
| 10 | 5.261 | 55 |
| 8 | 8.366 | 70 |
| 6 | 13.300 | 100 |
| 4 | 21.150 | 130 |
| 3 | 26.670 | 150 |
| 2 | 33.630 | 175 |
| 1 | 42.410 | 205 |
| 1/0 | 53.480 | 235 |
| 2/0 | 67.430 | 275 |
| 3/0 | 85.030 | 320 |
| 4/0 | 107.200 | 370 |
| 250 MCM | 126.700 | 410 |
| 300 MCM | 151.000 | 460 |

2.6.3 Protecciones

Los elementos de protección son aquellos elementos que se intercalan en el circuito para proteger de posibles fallas por establecer contacto directo entre los conductores (cortocircuito) y también para proteger a las personas de posibles accidentes. Los dispositivos destinados a la protección del sistema deben poder soportar la influencia de los agentes exteriores a que estén sometidos, presentado el grado de protección que les corresponda de acuerdo con sus condiciones de instalación. En la mayoría de los equipos electrónicos existen circuitos encargados de proteger etapas que contienen componentes más costosos y que forman parte de circuitos vitales para el funcionamiento de un equipo en particular. Sin estas

protecciones los circuitos serían bastante vulnerables ante una falla repentina (Dewan y Straughen, 1975).

Los siguientes son algunos ejemplos de elementos utilizados para la protección de sistemas electrónicos.

- El fusible: Este es probablemente el componente más utilizado como forma de protección en los equipos electrónicos. Los más comunes son los encapsulados en vidrio en donde internamente se coloca un hilo conductor térmico el cual se destruye cuando se sobrepasa el límite de corriente que puede soportar. El fusible puede venir en diferentes presentaciones físicas y con características eléctricas diferentes, dependiendo del uso que se requiera. Los fusibles irán colocados sobre material aislante incombustible y estarán contruidos de forma que no puedan proyectar metal al fundirse. Tienen la condición de permitir su recambio bajo tensión de la instalación sin peligro alguno. Deberán llevar marcada la intensidad y tensión nominales de trabajo del que han sido contruidos. Los fusibles son calculados dependiendo de las características de consumo eléctrico en un equipo electrónico en particular. No se debe utilizar uno diferente ya que alterará las condiciones de protección, por ejemplo, si se utilizara uno de menor corriente, este se fundirá con el consumo normal del aparato, o si se utilizara uno de mayor corriente ante una falla en el equipo, este resistirá por mayor tiempo el paso de la corriente, lo que puede ocasionar que los circuitos se quemen (Borges y col., 2010).
- El varistor: Este componente es utilizado para evitar picos de voltaje momentáneos. Estos picos de voltaje suelen ser de varios cientos o miles de volts, pero sólo permanecen por períodos de nano o milisegundos, suficientes para causar daños a los circuitos. Precisamente el varistor se encarga de derivar el excedente de voltaje hacia tierra, cuando la corriente supera los límites eléctricos del varistor, este entra en corto y quema rápidamente el fusible, lo cual evita daños mayores a los circuitos.
- Diodo zener y de avalancha: Esta protección consiste en utilizar la cualidad propia de este tipo de diodos. Por ejemplo si en una línea de voltaje DC se desea que el voltaje no sobrepase un voltaje de 5.1 voltios, entonces se usa un diodo Zener de este valor. Este sistema se utiliza generalmente para proteger las entradas de circuitos digitales que no deban superar este voltaje, también se puede hacer uso de la característica de voltaje de ruptura en donde el diodo zener, una vez sea sobrepasado su valor nominal de voltaje este conducirá el voltaje del cátodo hacia el ánodo. Por otro lado se tiene al diodo de Avalancha, que funciona de manera similar pero este es utilizado en líneas que manejan voltajes más altos y de mayor corriente. Ante una falla, este diodo entra en conducción inversa y deriva el voltaje excesivo a tierra. Este diodo presenta una gran impedancia y no se puede medir con la mayoría de los multímetros comunes (Borges y col., 2010).

Capítulo 3

Metodología

3.1 Prototipo

El prototipo a realizar se basa en el diseño e implementación de un modelo a escala del control del sistema de tracción de un montacargas eléctrico. Este sistema contará con los siguientes elementos:

- Microcontrolador. Es la parte del sistema que se encargará de monitorear las diversas señales que se producen por los dispositivos de entrada y tendrá programadas las acciones a realizar acorde a los eventos que se presenten durante la operación (Angulo, 2003).
- Dispositivos de entrada. Los dispositivos de entrada son los que brindarán las señales que el microcontrolador recibe con el fin de corroborar el correcto funcionamiento. Estos son:
 - Switch de llave
 - Switch de asiento
 - Señal de encoder
 - Señal de palanca de dirección
 - Señal de pedal de acelerador.
- Dispositivos de salida. Son los encargados de realizar las acciones que el microcontrolador indique, las cuales dependerán de las señales de entrada. Estos son:
 - Mosfet
 - Contactores
 - Relevador de encendido

3.2 Selección de acciones a controlar en la tracción del montacargas

Como se explicó en el inciso 2.5. El sistema de tracción de un montacargas, tiene como objetivo establecer el sentido de desplazamiento del montacargas. También permite controlar la velocidad en la cual se desplaza y cuenta con algunas protecciones que brindan seguridad al operar el montacargas eléctrico. Acorde a lo anterior, las acciones que este circuito controlará son:

1. El sentido en el cual se moverá el montacargas.
2. La velocidad de desplazamiento.

El diseño de este circuito no se limitará a estas acciones, también tendrá medidas de seguridad, por medio de diferentes dispositivos que se incluirán dentro del circuito, como:

1. Evitar el exceso de velocidad en el montacargas para prevenir posibles accidentes

2. Permitir el avance del montacargas sólo si se cumplen los siguientes parámetros, que se tenga la llave activada y que el operador se encuentre sentado en la cabina del montacargas, por medio de dos switch.

3.3 Características de dispositivos utilizados en modelo real

3.3.1 Comparativo de microcontroladores en el mercado

El microcontrolador es un circuito integrado que incorpora parte de los elementos que configuran a un controlador y dispone de los siguientes componentes:

- Procesador
- Memoria RAM
- Memoria para almacenar el firmware tipo ROM/PROM/EPROM
- Periféricos de entrada o salida, que permiten la interacción con el exterior

Los microcontroladores de la marca Microchip “PIC” son de los más usados en el mercado de los microcontroladores, se encuentran con facilidad y están dentro de cualquier aparato por lo que se vuelven repuestos fáciles de encontrar y de precio accesible. Además es posible encontrar una bibliografía basta en relación a su funcionamiento y sus posibles aplicaciones.

A diferencia de muchos microcontroladores que encontramos en el mercado los microprocesadores de Microchip, cuentan con diferentes herramientas de hardware para programarlos de bajo costo, desde los programadores originales como PICKIT2, ICDE3, etc, hasta los realizados por empresas ajenas a Microchip. Son microprocesadores robustos y de fácil manejo, para el desarrollo de prototipos así como de la producción de proyectos finales.

Microchip maneja diferentes modelos de microcontroladores, que varían en la configuración de sus periféricos y otras propiedades internas, esto permite que se puedan emplear en cualquier proyecto.

La Tabla 3.1 muestra una comparativa entre las marcas de fabricantes de microcontroladores más usadas y algunos sistemas ya integrados, enfocándose en la viabilidad de la implementación de cada uno, se considera su costo, facilidad de encontrar la herramienta de programación en el mercado nacional.

Tabla 3.1 Comparativa de marcas de microcontroladores

| Características | PIC | AVR | ARDUINO | PLC |
|------------------------|------------|------------|----------------|------------|
| Costo viable | si | Si | no | no |
| Fácil manejo | si | Si | si | si |
| Fácil implementación | si | No | si | no |
| Tamaño reducido | si | Si | no | no |

Como se observa en la tabla anterior la característica de costo viable no las cumplen el sistema Arduino y PLC, debido a que al ser producto embebidos en un circuito impreso, el costo aumenta, aparte sus requerimientos de instalación hacen aumentar el costo de implementación.

En la característica de fácil implementación se observa que el AVR no cumple el requerimiento debido que sus herramientas para poder descargar el programa no son baratos y su precio es elevado. En el caso de un PLC y el sistema ARDUINO no requieren de programador, debido a que te permiten ser programados desde la computadora por medio del software que el proveedor da en la compra del dispositivo, para el caso del PIC, tenemos gran variedad de programadores de bajo costo y que permiten implementar el dispositivo sin mayores inversiones.

Por parte del tamaño de los componentes encontramos que los microcontroladores PIC y AVR existen en diferentes tamaños y configuraciones de periféricos, pero el sistema ARDUINO y el PLC son sistemas de tamaño más amplio que difícilmente se pueden ajustar a las dimensiones del compartimiento del montacargas.

3.3.2 Microcontroladores PIC 18F4550 y PIC 12F683

Un microcontrolador es un circuito integrado, que incorpora parte de los elementos que configuran un controlador, que dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU
- Memoria RAM
- Memoria para el programa tipo ROM, PROM o EPROM
- Periféricos de entrada y salida
- Generador de pulsos de reloj.

Las ventajas de un microcontrolador (PIC) son:

- Aumento de fiabilidad
- Reducción de tamaño en el producto terminado
- Mayor flexibilidad de programación
- Variedad de sus elementos de hardware que permiten grabar, depurar, borrar y comprobar el comportamiento del PIC.

Los microcontroladores PIC18F4550 y PIC12F683, tienen diversos recursos, que se pueden utilizar por medio de la programación de sus componentes (Figura 3.1 y Figura 3.2).

Algunas de las características más importantes del PIC18F4550 son:

- Soporta una demanda de corriente de 20 mA en cada una de sus puertos
- Soporta una corriente de entrada de 25 mA
- Tiene tres interrupciones externas programables

3.3.3 Mosfet IRFZ48

El transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor MOSFET, es un transistor utilizado para conmutar señales eléctricas. El MOSFET está compuesto por cuatro terminales llamadas source (S), drain (D), gate (G), body (B) y. El body generalmente está conectado internamente a la terminal del surtidor (Figura 3.3). Las características de su uso son:

- Pueden usarse como interruptores controlados por tensión
- Su impedancia de entrada es elevado
- Un MOSFET de potencia se componen de muchas células de enriquecimiento, las cuales están conectadas en paralelo.

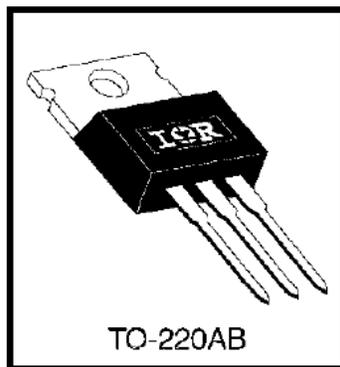


Figura 3.3 Mosfet IRFZ48 (PHILIPS, 1999)

Las características eléctricas del MOSFET son:

- Soporta corriente de drain máxima de 50 A
- Su potencia de disipación es de 150W
- Soporta un voltaje Gate-Source de 20V
- Frecuencia de corte de 40 MHz
- Voltaje de saturación Gate-Source 2 a 4 V.

3.3.4 Contactador SW80P

El contactador se puede utilizar como los switches en el circuito puente H, debido a sus características que permite acoplar la señal del control electrónico al motor de tracción del montacargas. Según sea la señal que provenga del control el contactador se accionará o permanecerá abierto (Figura 3.4). Las características eléctricas del contactador SW80P son:

- Contactador de un sólo polo
- Funciona con voltajes de 24/36/48/72/80/110 V de DC
- Soporta una corriente máxima entre sus terminales de 250 A
- Tiene un ciclo de vida mecánico de 3×10^6 switcheos.

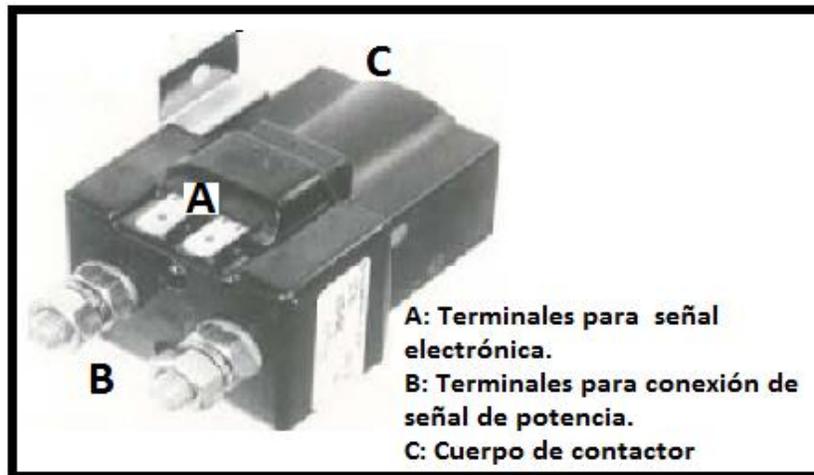


Figura 3.4 Contactor SW80P (ALBRIGHT, 2002)

3.3.5 Shunt B250-50

Una resistencia Shunt está colocada en paralelo al circuito principal, el valor de esta resistencia es mucho menor a la impedancia del circuito, con esto permite medir la corriente que circula por el circuito por medio de la caída de tensión que tiene sus terminales (Figura 3.5).



Figura 3.5 Shunt B250-50 (CSHUNT, 2011)

Las características eléctricas del shunt B250-50 son las siguientes:

- Soporta hasta 250 A de DC
- Voltaje máximo de 50 mV.

3.3.6 Optoacoplador PC817

Muchos sistemas electrónicos controlan a otros sistemas o realizan funciones de control tales que deben ser interconectados a una etapa de manejo de potencia, con base en transistores de potencia. La manipulación de altas corrientes, de

hasta varios centenares de amperes, implica tener consideraciones de seguridad eléctrica para los operadores y de protección para dicho el sistema.

Es deseable que la interconexión entre ambas etapas (la electrónica y la de potencia) se haga por un medio de acoplamiento que permita aislar eléctricamente los dos sistemas. Esto se puede lograr con los dispositivos llamados optoacopladores, mediante los cuales se obtiene un acoplamiento óptico y, al mismo tiempo, un aislamiento eléctrico (Figura 3.6).

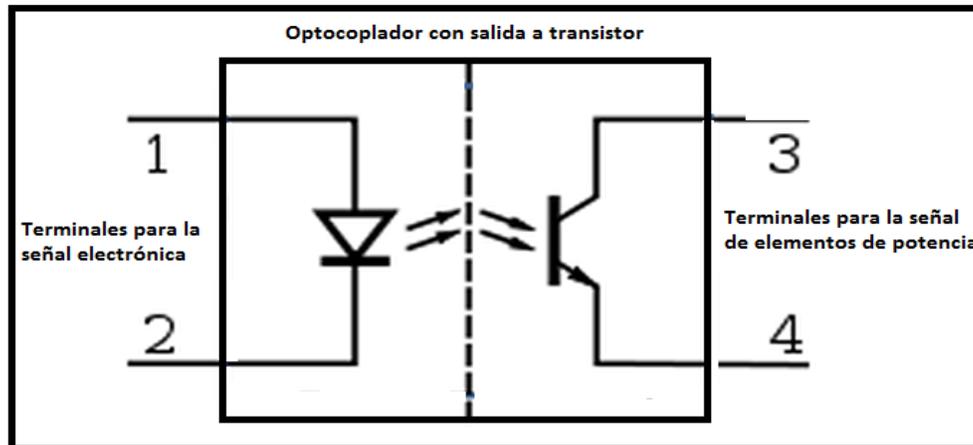


Figura 3.6 Optoacopladores (SHARP, 1996)

Las características eléctricas más importantes del optoacoplador PC817 son:

- Soporta una demanda de corriente de 50 mA
- Se dispara con un rango de corrientes de entre 5 y 15 mA
- Su disipación de potencia es de 100mW
- Su voltaje de encendido es de 3V.

En la Figura 3.7 se muestra un diagrama a bloques de la interconexión de los dispositivos seleccionados.

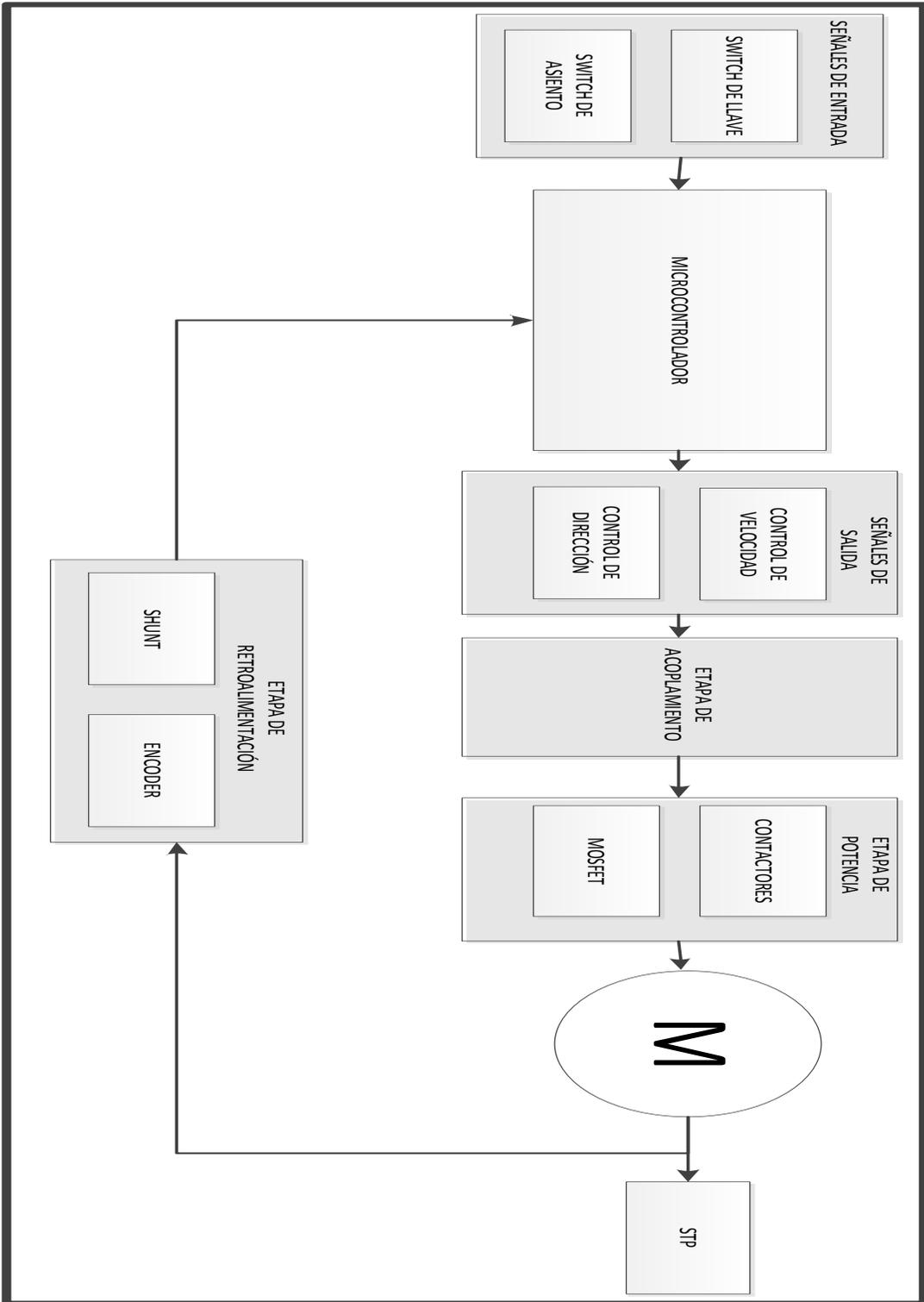


Figura 3.7 Diagrama de bloques de sistema de tracción

3.4 Programa de simulación para el funcionamiento del prototipo

Para el desarrollo del prototipo se utilizará el entorno integrado de diseño ISIS Proteus 7.0. Éste permite el desarrollo completo de proyectos electrónicos en todas las etapas de diseño, simulación, depuración y construcción. Este programa fue desarrollado por la empresa, Labcenter Electronics. Esta compañía fue fundada en 1988 por el jefe de diseño de software John Jameson. Desde la primera versión del programa PROTEUS ha habido un desarrollo continuo de más de 20 años, lo que lo convierte en una de las mejores plataformas de simulación de proyectos de electrónica (LABCENTER, 2009).

El programa se compone de cuatro herramientas que son:

1. ISIS. La herramienta para la elaboración avanzada de esquemas electrónicos, que incluye una librería de más de 6,000 modelos de dispositivos digitales y analógicos.
2. Ares. La herramienta para la elaboración de placas de circuito impreso con posicionador automático de elementos y generación automática de pistas, que permite el uso de hasta 16 capas.
3. Prospice. La herramienta de simulación de circuitos según el estándar industrial SPICE3F5.
4. VSM. La revolucionaria herramienta que permite incluir en la simulación de circuitos, el comportamiento completo de los microcontroladores más conocidos del mercado. PROTEUS es capaz de leer los ficheros con el código ensamblador, para los microprocesadores de las familias PIC, AVR, 8051, HC11, ARM/LPC200 y BASIC STAMP, simular perfectamente lo programado, incluso puede ver su propio código, interactuar en tiempo real con su propio hardware y puede usar modelos de periféricos animados tales como displays LED o LCD, teclados, terminales RS232, simuladores de protocolos I2C, etc. Proteus es capaz de trabajar con los principales compiladores y ensambladores del mercado.

3.5 Tipo de montacargas para caso de estudio

Uno de los montacargas más usados en las empresas es el montacargas clase 1, esta clase de montacargas son primordialmente usados en interiores, con superficies lisas y/o pavimentadas. No se recomienda para usos externos. Tienen menor potencia que los de combustión interna. Estos son excelentes para áreas cerradas, donde se requieren bajas emisiones contaminantes, debido a que hay poca ventilación o existe personal trabajando. Requieren de una batería industrial (con ciclos de 8 horas de trabajo, 8 horas de carga y 8 horas de enfriamiento), tiene una capacidad de carga que va de 1 hasta 1.5 toneladas aproximadamente (Figura 3.8).

La dirección en este tipo de montacargas es controlada por las llantas traseras. La tracción es controlada por las llantas delanteras, por lo tanto, tiene un buen manejo hacia adelante o en reversa. El material es transportado sobre las horquillas o sobre un mástil operado por un sistema hidráulico enfrente de la

unidad. La carga es llevada verticalmente sobre el mástil. El mástil puede ser inclinado hacia adelante o hacia atrás. Sus características son:

- Operación silenciosa y no contaminante gracias a los motores eléctricos.
- Tiene agarraderas en ambos lados de la cabina del operador.
- Son maniobrables, gracias a su tamaño.



Figura 3.8 Montacargas clase I (LAYNESAFETY, 2009)

3.6 Diagrama de flujo de metodología a implementar

En las Figura 3.9, Figura 3.10 y Figura 3.11 se muestra el diagrama de flujo de los pasos que se siguieron para implementar tanto el hardware como el software para el prototipo.

En el anexo A se plantea el diagrama de flujo que se siguió para el desarrollo del programa de control que se integrara en el microcontrolador. Y además muestra las etapas de seguridad que se tendrán que cumplir para que el sistema de control del montacargas permita alguna acción. Como se explica a continuación:

- El programa detectará la presencia de la señal de la llave
 - Si la llave existe se encenderán los controles y algunas funciones del montacargas.
- Si existe la presencia de la señal del asiento permitirá pasar al siguiente paso.
 - Si por algún motivo durante el funcionamiento del montacargas la señal del asiento no es detectada, inmediatamente el montacargas dejará de moverse.
- Si al iniciar las actividades, la palanca de dirección no se encuentra en neutro el montacargas no se moverá.
 - Si se cumple con la restricción anterior el sistema de control mandará una señal a los contactores correspondientes para que realicen su función.
- Acorde a la señal que reciba del pedal del acelerador será la señal que sea inyectada en el transistor MOSFET

- Si se llegará a pasar los límites de corriente permitidos por las protecciones y el Shunt el movimiento del montacargas se interrumpiría
- Si la velocidad en el que el montacargas se desplaza, es mayor a la permitida, el montacargas se detendría.

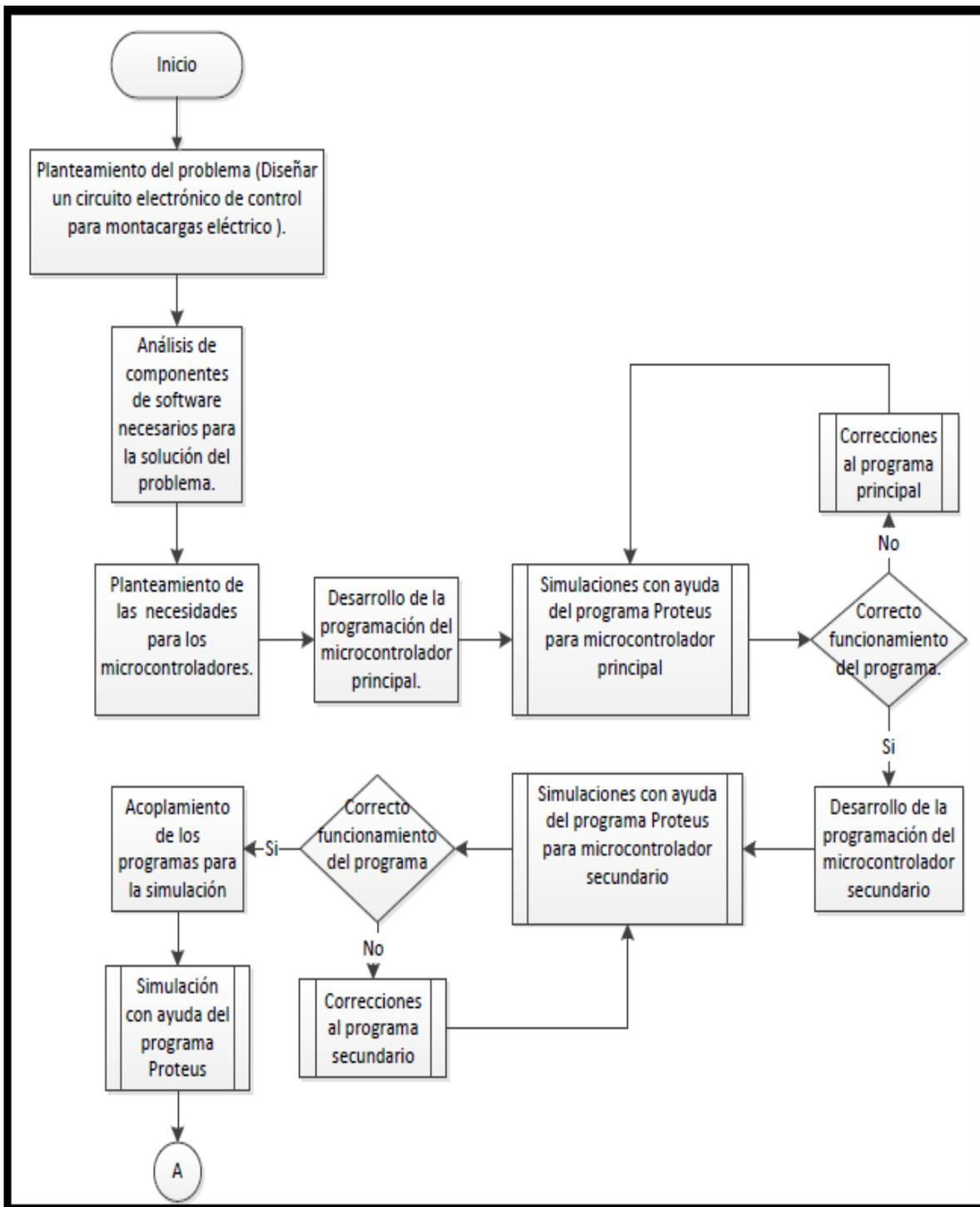


Figura 3.9 Diagrama de metodología implementada

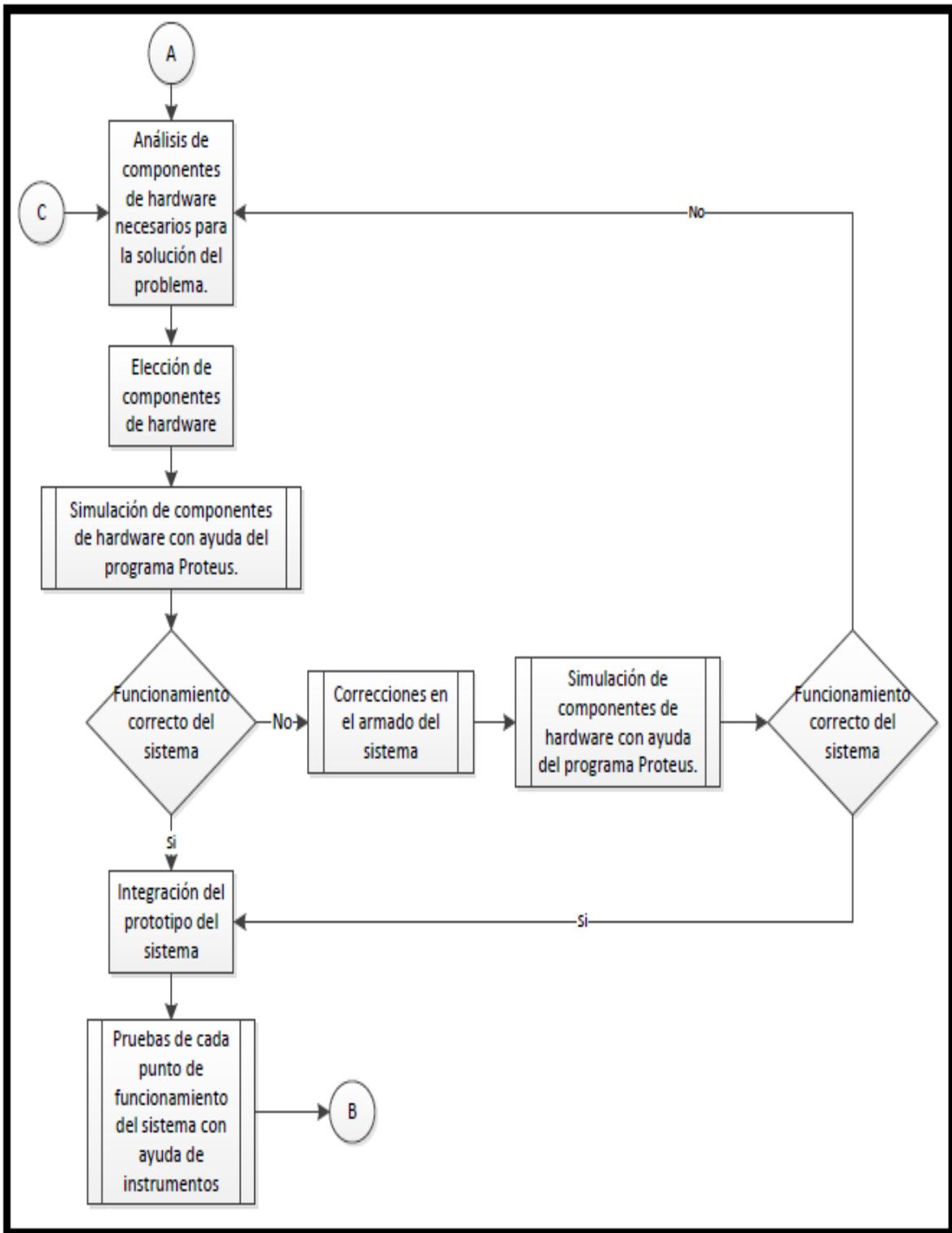


Figura 3.10 Diagrama de metodología implementada continuación

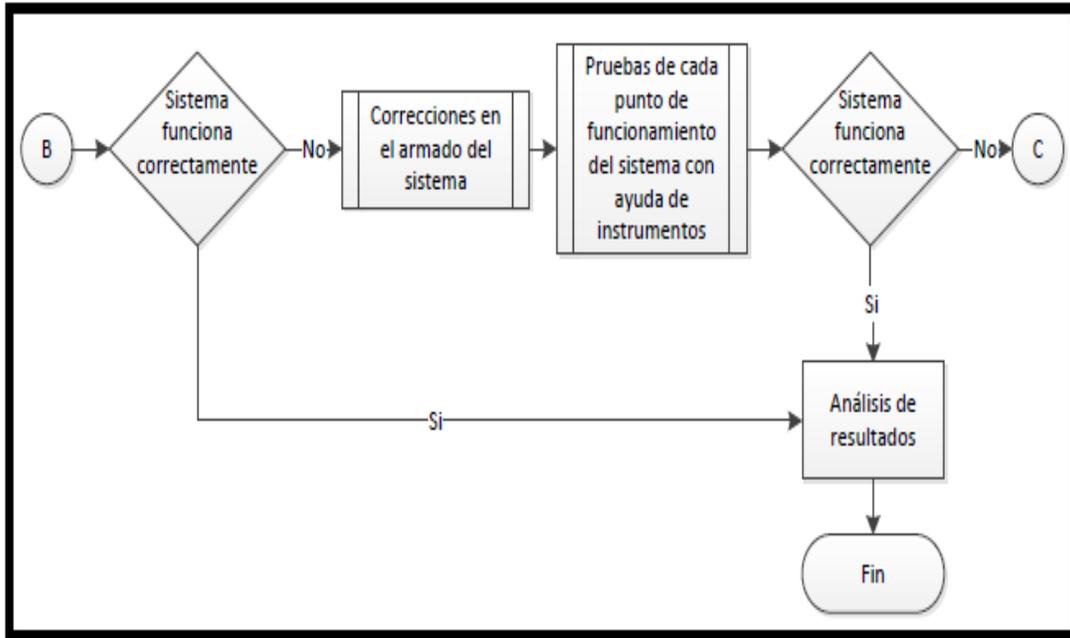


Figura 3.11 Diagrama de metodología implementada continuación

Capítulo 4

Resultados

4.1 Condiciones de operación actual de un montacargas

La operación actual de montacargas se ha enfocado en dos puntos: 1) En el ahorro de energía y 2) La menor emisión de gases contaminantes. Esto debido a que los montacargas por lo regular son utilizados en espacios cerrados y de poca ventilación. A partir de esos dos puntos, los montacargas eléctricos se han convertido en los montacargas más usados en la industria.

Debido a la necesidad de la industria de tener herramientas en un punto óptimo, se busca desarrollar elementos de cambio o refacciones para satisfacer la demanda, que sean de la misma calidad que los originales, pero más económicos. Si se considera que un control eléctrico para la tracción del montacargas, tiene un precio aproximado de 9 mil a 16 mil pesos, el control a desarrollar debe de cumplir todas las especificaciones del control original de la maquinaria, pero con un valor menor. La Tabla 4.1 muestra una relación entre los controles para tracción que actualmente se pueden adquirir en el mercado nacional, se debe considerar que todos estos controles son de importación, lo que hace que el precio aumente y no sean fáciles de encontrar.

Tabla 4.1 Precios aproximados y origen de controles que se encuentran actualmente en el mercado nacional (MVM, 2012)

| Marca | Precio en el mercado nacional | País de origen |
|------------------|-------------------------------|----------------|
| General Electric | \$15,000 | Estados Unidos |
| Curtis | \$12,000 | Japón |
| Danaher | \$13,000 | Estados Unidos |
| Sevcon | \$16,000 | Estados Unidos |
| Roboteq | \$15,000 | Estados Unidos |
| Techart | \$9,000 | China |

El control que se plantea en el trabajo tiene la virtud de ser adaptable, a los diferentes tipos de montacargas con algunos ajustes. Considerando los elementos que se plantearon en el inciso 3.1, el control tendrá por costo aproximado lo mostrado en la Tabla 4.2.

El costo total aproximado por el desarrollo del prototipo es de 26,084 pesos. Se debe tener en cuenta que está cantidad no es tan sólo por el control electrónico de la tracción del montacargas, si no que se está contemplando elementos como son: los contactores y el shunt, los cuales son elementos externos al control.

Tabla 4.2 Costos de elementos que integran el control de tracción del proyecto

| Elemento | Cantidad | Costo Unitario | Costo total |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Microcontrolador PIC18F4550 | 1 | \$94 | \$94. |
| Microcontrolador PIC12F683 | 1 | \$20. | \$20. |
| Transistor MOSFET IRFZ48 | 4 | \$30. | \$120 |
| Contactador SW80P | 4 | \$6,000 | \$24,000 |
| Shunt B250-50 | 1 | \$300 | \$300 |
| Optocoplador PC817 | 5 | \$10 | \$50 |
| Elementos de integración | 1 | \$1,500 | \$1,500 |

La consideración de los elementos de integración, es para aquellos elementos del circuito que tan sólo se utilizan para el armado del circuito, como son:

1. Placa fenólica
2. Soldadura
3. Cables
4. Zócalos
5. Conectores de diversos tamaños.

4.2 Análisis de tarjeta electrónica real

En la Figura 4.1 se observa el diagrama de una tarjeta electrónica de control comercial, de la cual se analizarán sus entradas y salidas.

Entradas de tarjeta EV-T100:

1. Entrada del Shunt por PZ 10 y PZ1, la función de esta entrada es recibir una parte proporcional de la corriente demandada por el motor de tracción, establecida por el valor del shunt. La acción realizada por la tarjeta de control al recibir un exceso en esta corriente es detener el funcionamiento del montacargas
2. Alimentación por PB1, este es el pin de alimentación de la tarjeta. El voltaje que recibe la tarjeta de control es el mismo con el que el montacargas funciona, la etapa de acoplamiento se encuentra en el interior de la tarjeta
3. Switch de llave por TB4, este pin tan solo recibe la señal de la llave, la acción que realiza la tarjeta es prender la iluminación del tablero por medio de una de sus salidas, encender otros sistemas como la torreta, si la palanca de dirección está en reversa encenderá la sirena e iluminación hacia el exterior del montacargas
4. Switch del asiento por TB3, esta entrada tan sólo recibe la señal del asiento del operador, la tarjeta de control al detectar la presencia del operador permite que los contactores se cierren, según sea la configuración que establezca la palanca de dirección

5. Switch del freno manual y el switch del acelerador que indica el apagado del freno regenerativo por TB2
6. Los switches de la palanca de dirección entran por los pines TB5 y TB6, y como se indicó en el punto anterior, estos le indican a la tarjeta de control hacia donde se requiere que se mueva el montacargas
7. Entrada del potenciómetro del acelerador. Esta es una entrada analógica, que permite graduar la salida PWM que se dirige hacia el transistor que se observa en la figura
8. Entrada del potenciómetro del freno regenerativo
9. Entrada del encoder. El encoder, permite evitar el exceso en la velocidad del montacargas, ya que, cuando el montacargas pasa la velocidad permitida, el sistema de control apaga el montacargas para así evitar la pérdida de control del montacargas
10. Entrada de funciones hacia otros sistemas del montacargas como la iluminación, señales hacia el motor del sistema hidráulico, torreta y sirena de alarma, funciones especiales del sistema de horquillas

Salidas de la tarjeta EV-T100

1. Acelerador (PWM) por TBM. El acelerador permite variar el ciclo de trabajo del PWM, lo que variará el voltaje promedio en el motor y por ende su velocidad
2. Controladores de dirección. Los controladores de dirección nos permitirán definir qué contactores en el puente H serán accionados, permitiéndonos de ese modo definir la dirección que adquirirá el montacargas

Tabla 4.3 Comparación de tarjeta comercial con tarjeta diseñada

| | Tarjeta diseñada | EV-T100 |
|--------------------------------|-------------------------|----------------|
| Switch del asiento | Si | Si |
| Switch de la llave | Si | Si |
| Switch de palanca de dirección | Si | Si |
| PWM | Si | Si |
| Switch del freno manual | No | Si |
| Encoder | Si | Si |
| Freno regenerativo | No | Si |

4.3 Análisis de condiciones de mejora en el sistema de control

El sistema de control a desarrollar tiene como principio tener la misma confiabilidad que los sistemas de control que actualmente se encuentran en el mercado, comparándolo con ellos debe de cumplir los siguientes puntos:

- Una aceleración del sistema estable, confortable
- Velocidad uniforme
- Protección en caso de pérdida de control.

Además en el sistema a desarrollar se busca que cumpla con los siguientes puntos adicionales:

1. Tendrá la capacidad de reemplazar controladores de diferentes marcas de montacargas eléctricos con tan sólo algunas adecuaciones
2. Económico
3. Con mantenimiento sencillo
4. Larga vida útil
5. Desarrollo puramente mexicano.

La Tabla 4.3 muestra una relación entre las ventajas que el desarrollo del prototipo de la tarjeta de control tendrá, con las diferentes marcas que se encuentran en el mercado y sus desventajas ante ellas.

Tabla 4.4 Ventajas y desventajas del prototipo de tarjeta de control

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Precio | Presentación |
| Adaptabilidad en diferentes montacargas | Tiempo consumido para adaptarlo |
| Las partes que lo componen están presentes en el mercado nacional | Requiere de ser reprogramado para cada montacargas |
| Fácil integración en los montacargas | |
| Desarrollo mexicano | |

4.4 Diseño del sistema de control de tracción

4.4.1 Selección de equipos y circuitos

Para seleccionar el motor que se utilizará en el diseño se realiza lo siguiente:

A partir de la Figura 4.1 se hace el siguiente análisis:

Para tener movimiento en cualquier cuerpo se tiene que cumplir que:

$$\text{Fuerza} > \text{Fricción}$$

$$\text{Fricción} = (\text{Peso})(\text{Coeficiente de fricción}) \quad (4-1)$$

Además por ser una superficie sin inclinación:

$$\text{Peso} = \text{Normal} \quad (4-2)$$

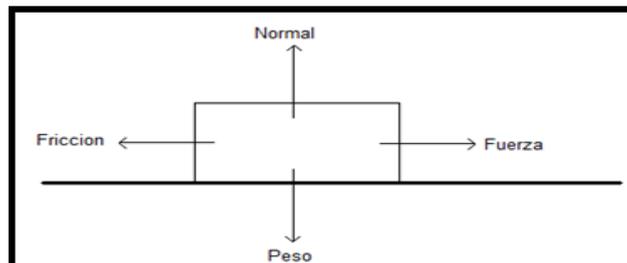


Figura 4.2 Diagrama de fuerzas de un cuerpo estático.

Como se mencionó al inicio del capítulo se está considerando un montacargas clase I, por lo tanto, el peso del montacargas será de 3,000kg y será capaz de soportar una carga de 1,500kg. Por lo tanto, si se toma en cuenta el caso de la carga máxima, se tendrá un peso de 4,500kg.

Para calcular la fricción, se considera un coeficiente de fricción estática (la cual dará la fuerza de fricción máxima que deberá sortear el montacargas para iniciar el movimiento). Así el coeficiente de fricción estática entre caucho (material de las llantas), y cemento (considerando que el montacargas será usado en interiores), es igual a 0.06 [adimensional].

Por lo tanto:

$$\text{Fuerza} > (\text{Peso})(\text{Coeficiente de fricción}) \quad (4-3)$$

$$\text{Fuerza} > (4500)(9.81)(0.06)$$

$$\text{Fuerza} > 2648.7\text{N}$$

Para calcular la potencia, se considera la velocidad máxima a la que avanzará el montacargas, debido a que:

$$\text{Potencia} = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad} \quad (4-4)$$

Tomando en cuenta la velocidad máxima que tendrá el montacargas es de 10km/h, al transformar este dato a m/s se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{10\text{km}}{\text{hora}}\right)\left(\frac{1\text{hora}}{60\text{ minutos}}\right)\left(\frac{1\text{minuto}}{60\text{segundos}}\right)\left(\frac{1000\text{metros}}{1\text{kilometro}}\right)$$

$$\text{Velocidad} = 2.7 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, si se sustituye lo anterior:

$$\text{Potencia} = 7.1515\text{kW} = 9.58\text{HP}$$

Y si la fuente en el diseño es de 36V, se obtiene una corriente máxima que demandará el motor.

$$\text{Corriente Máxima} = 207\text{A}$$

Con base en lo anterior, la carga del sistema será un motor de 10 HP, el cual demandará una corriente a plena carga de 207A.

El primer dispositivo que se tendrá que considerar es el contactor, el cual, será el encargado de conmutar y soportar en sus terminales la corriente demandada por el motor. Debido a esto se tendría que escoger un contactor que soporte una corriente mínima de 207A en sus terminales, por ejemplo, el contactor SW80P, es un switch de un solo polo que soporta una corriente de 250A circulando entre sus terminales. Esta es la razón por la que este dispositivo ha sido seleccionado para este diseño.

Como se puede observar en el diagrama de conexión de la Figura 4.2, este contactor estará conmutando conforme la señal de control, que sale del MOC. Así, se debe considerar la corriente mínima requerida para que el contactor realice su cambio de estado. Como se indica en el capítulo 3, este contactor requiere de una corriente mínima de 1A para lograr el cambio de estado en sus terminales de salida.

Con base en esto, se ha seleccionado el MOC PC817, el cual tiene una salida a transistor. Lo que facilitó la interconexión con los demás dispositivos para soportar hasta 1.5A de corriente de colector y que permite hacer el cambio de estado del contactor previamente seleccionado. Este optocoplador también requiere una corriente mínima de activación, en led infrarrojo de entrada, la cual es de sólo 10mA, como se anticipó en el capítulo anterior, por lo tanto, lo único que se tiene que garantizar es que el PIC pueda proporcionar esta corriente. Considerando lo anterior, el PIC seleccionado (18F4550) es capaz de soportar una demanda de 20mA en cada uno de sus puertos, por lo que es el indicado para los fines de este diseño. Una vez seleccionados los dos dispositivos anteriores, se busca el transistor MOSFET, el cual deberá soportar una corriente de drain igual o mayor a la corriente máxima demandada por el motor, y deberá ser activado por el voltaje a la salida del MOC.

No existen MOSFETs que puedan soportar individualmente 207A, que demanda el motor, por lo que en esta etapa se usarán MOSFETs en paralelo interconectando el gate de cada uno, para que se disparen al mismo tiempo. Así se seleccionó el MOSFET IRZ48X, el cual soporta una corriente de drain de 50A, por lo que, si se utilizan cuatro de estos dispositivos, se podrá soportar la corriente demandada por el motor. La Tabla 4.4 muestra en resumen las características que se necesitan utilizar de los elementos que compondrán el circuito del sistema de control de tracción del montacargas eléctrico, teniendo en cuenta los cálculos anteriormente desarrollados.

Tabla 4.5 Características de los elementos a utilizar en el circuito del proyecto.

| Elemento | Característica |
|--------------------------------|--|
| Microcontrolador PIC18F4550 | Oscilador interno |
| | Convertidor analógico digital |
| | Generador de PWM |
| | Cada uno de sus periféricos soporta una demanda de hasta 25mA |
| Microcontrolador PIC12F683 | Oscilador interno |
| | Interrupción externa por medio de cambio de flanco. |
| | Interrupción interna que utiliza el desbordamiento del Timer0 |
| Transistor MOSFET IRFZ48 | Soporta una corriente de drain de 50A |
| | Responde a cambios de estado de una frecuencia máxima de 40MHz |
| | El voltaje de saturación Gate-Source 2 a 4V |
| Contactor SW80P | Es de un solo polo |
| | Funciona a voltajes de 24/36/48/72/80/110V de DC |
| | Soporta una corriente máxima entre sus terminales de 250 ^a |
| Optocoplador PC817 | Su voltaje de encendido es de 3V |
| | Demanda una corriente de entre 5 y 15mA |
| | El transistor que tiene a la salida soporta una demanda de corriente de 1 ^a |

4.4.2 Simulación

Acorde a la Figura 3.1 lo primero que se simula con ayuda del programa ISIS 7 Professional es la interacción de las señales de entrada primero con el software desarrollado y programado en el microcontrolador. La primera condición que debe cumplir es:

- Si la llave no se encuentra, el montacargas no realizará ninguna función y la parte del control que se encuentra en el tablero no encenderá.

Acorde al programa realizado, la entrada de la señal de la llave será por el puerto B en el bit 0, se tiene configurado el bit 0 del puerto D como salida. En la Figura 4.2 se tiene al switch de la llave abierto, y no se observa ninguna reacción por parte del led D1, que simula la parte que enciende los controles de montacargas. Los controles del montacargas son manejados por otro sistema de control que no abarca el sistema que está en desarrollo, la señal que recibe el led D1 es tan sólo para indicarle al otro sistema de control que la llave ha sido colocada. Cuando se

cierra el switch de la llave, el microcontrolador manda la señal de encendido al led D1 (Figura 4.3).

Figura 4.3 Simulación de sistema de control sin señal de llave

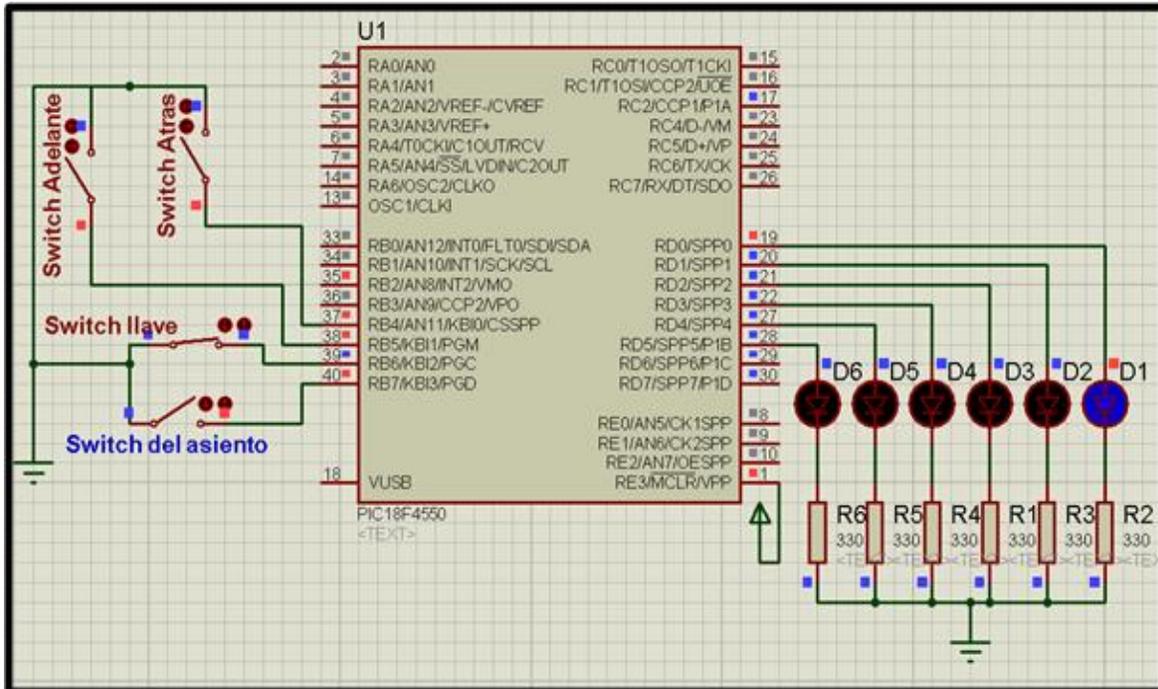


Figura 4.4 Simulación de sistema de control con señal de llave

La segunda señal de entrada hacia el microcontrolador es el switch del asiento. La función de este switch es la de indicar el momento en que el operador se encuentre sentado en la cabina del montacargas, el programa desarrollado para el microcontrolador tiene que cumplir con las siguientes condiciones de seguridad:

- Para que el montacargas pueda realizar alguna función, el operador tiene que estar sentado en todo momento
- Si por algún motivo el operador se levanta del asiento, el control desarrollado hará que el montacargas detenga toda su actividad y no se moverá si la llave no se quita y se pone de nuevo.

Con esto se garantiza que en todo momento el operador del montacargas este correctamente posicionado y con pleno control del montacargas, para así evitar posibles accidentes por falta de atención. Cuando se presiona el switch del asiento se observa en la Figura 4.4 que el led D2 se enciende. Este led indica que el operador se encuentra sentado y por lo tanto el montacargas puede iniciar su actividad.

Si el operador se retira del asiento mientras el montacargas está en movimiento, de inmediato se debe apagar el led D2, lo cual indica que el montacargas detuvo su actividad y se apagó. Para poder reactivar el montacargas se tendrá que retirar y volver a colocar la llave.

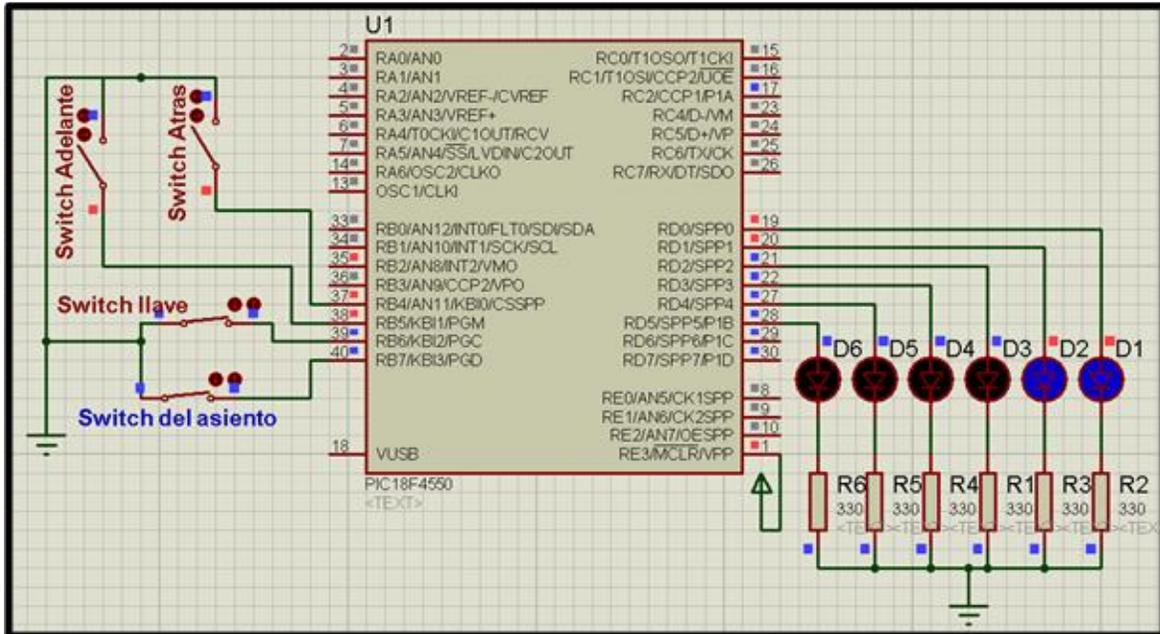


Figura 4.5 Simulación de sistema de control con señal de asiento y llave

Por parte del control de la dirección hay dos switch, que indicarán hacia donde el montacargas se moverá, ya sea hacia adelante o hacia atrás. Para esto en la simulación se tienen dos switch más, estas son las condiciones que el programa debe cumplir:

- Para que el sistema mande la señal de control hacia los contactores, primero la palanca de dirección tiene que estar en un punto neutro. Esto garantiza que no haya ningún arranque inmediatamente después de accionar el switch del asiento
- Según sea la dirección que se requiere tomar las señales de control saldrán del microcontrolador hacia los contactores. Si por algún motivo son accionadas ambas, el sistema interrumpirá el montacargas y se tendrá que reiniciar todo el sistema.

En la Figura 4.4 los switches de asiento y de llave están presionados, y los leds D1 y D2 prendidos, lo cual indica que el sistema está en espera de la instrucción de la palanca de dirección. En este caso la palanca de dirección es simulada por los dos switches que se encuentran en la parte superior izquierda de la Figura 4.4.

Las señales que el microcontrolador enviará a las terminales de control de los contactores. Están simuladas con los leds D3, D4 para ir hacia adelante, y los leds D5 y D6 para ir hacia atrás. Si se activan cualquiera de los switches que simulan la

palanca de dirección, se deben de prenderán los leds correspondientes. Por ejemplo si se activa el switch de movimiento hacia adelante se observa en la Figura 4.5 que los leds D3 y D4 se prenden. Por lo tanto el flujo de corriente que pasará por los contactores y hará que el motor se accione hacia esa dirección.

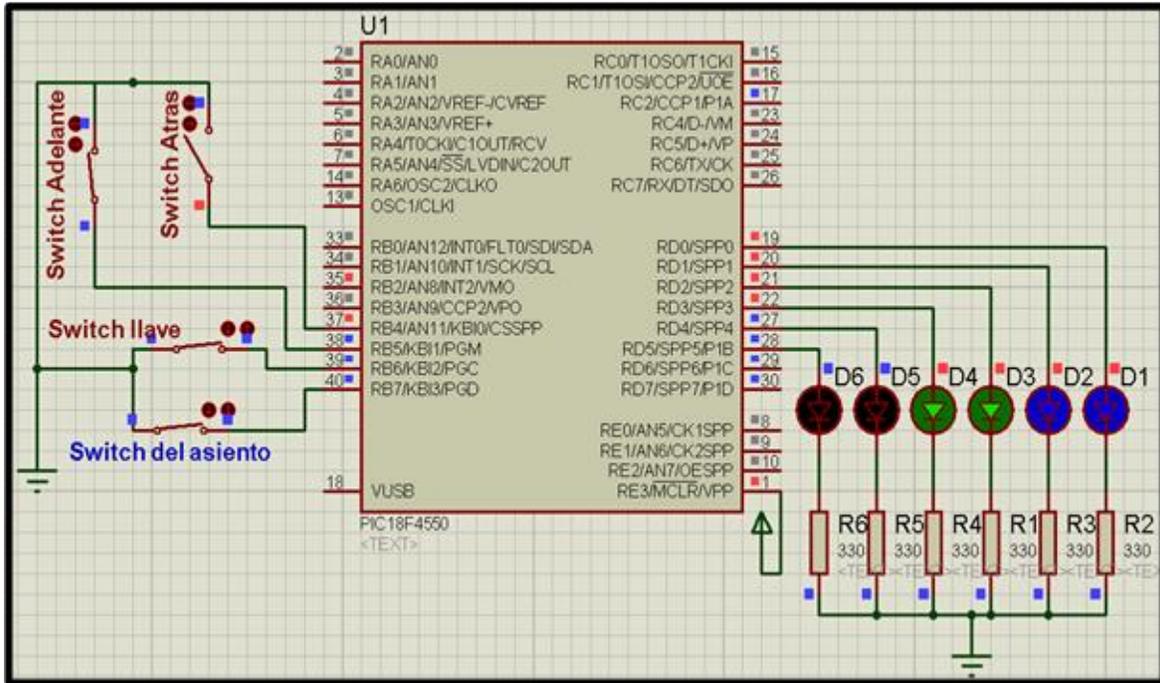


Figura 4.6 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando hacia adelante

Ahora al accionar el switch de hacia atrás, se puede observar en la Figura 4.6 que los leds correspondientes D5 y D6 se encienden, y de manera inmediata los leds D3 y D4 se apagan. Esto con el fin de evitar problemas en la circulación de la corriente por el motor. Si los leds D3 y D4 no se apagarán, el circuito que compone a los contactores correría el riesgo de hacer corto circuito por medio del devanado del motor.

Al cumplir con una de las condiciones de seguridad, se observa que al accionar ambos switches, en la Figura 4.7, el microcontrolador principal apaga los leds D3, D4, D5, D6, lo cual, garantiza que el montacargas se detenga y el sistema se proteja de posibles daños.

La otra condición de seguridad es que si el montacargas está en movimiento hacia alguna de las dos direcciones y el operador se levanta del asiento, el sistema de control inmediatamente dejará de enviar la señal de accionamiento hacia los contactores, lo que detendrá la operación del mismo. Esto se ejemplifica en la Figura 4.8, en donde se observan que el switch de hacia adelante esta activado pero los leds D5 y D6 están apagados. Debido a que el switch del asiento está abierto, también se observa que el led D2 está apagado.

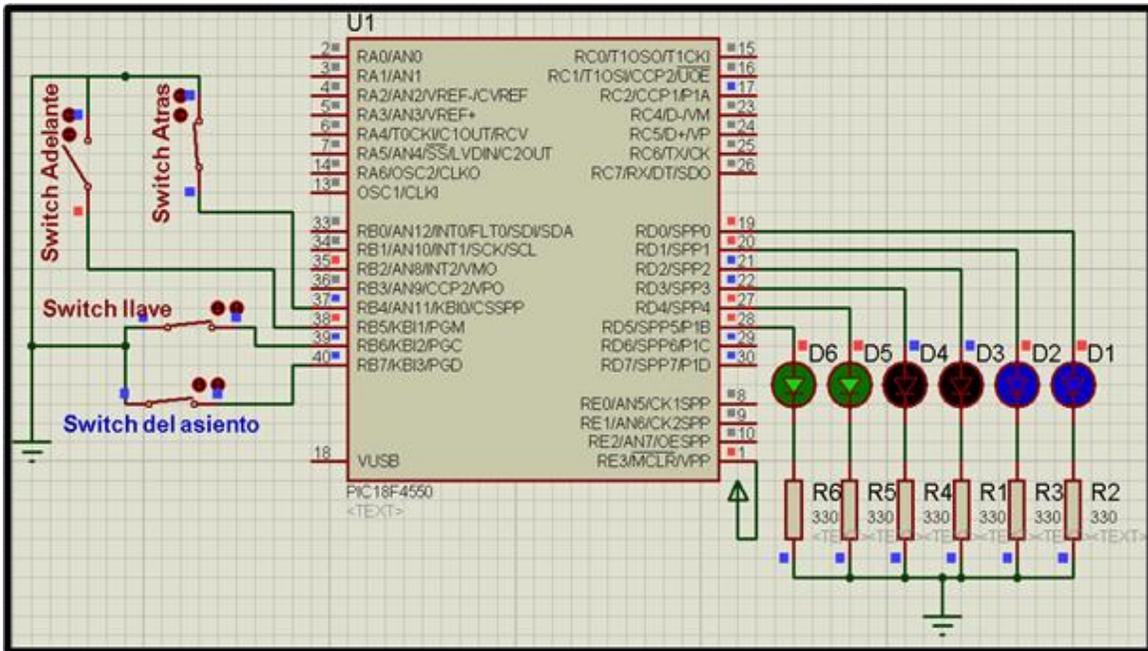


Figura 4.7 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando hacia atrás

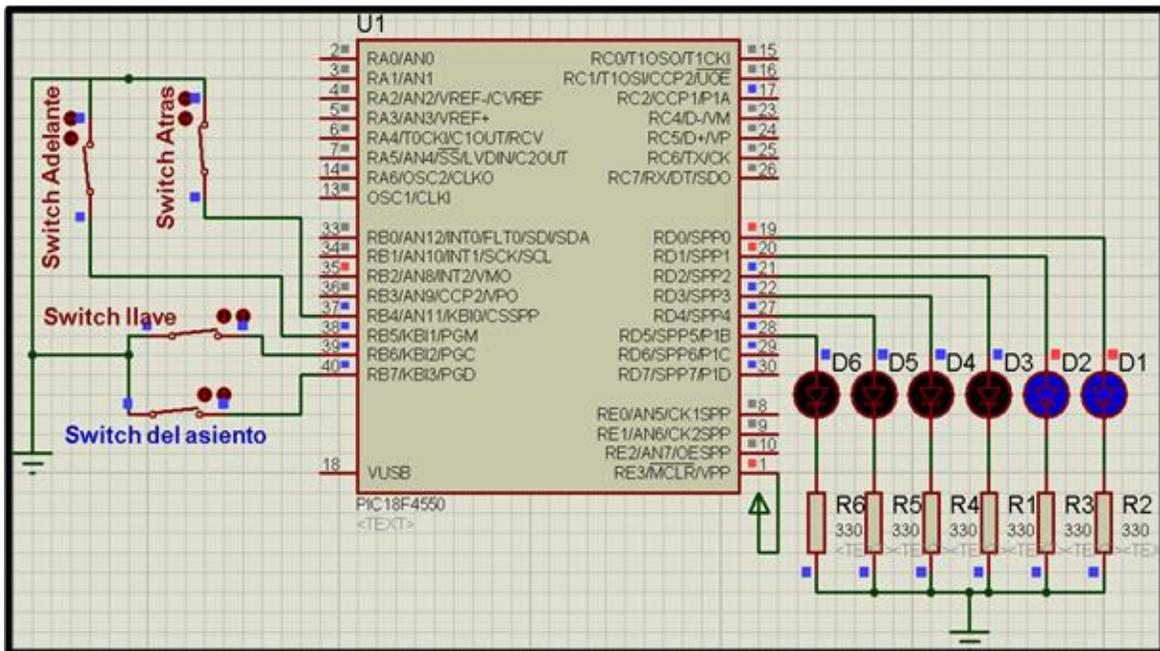


Figura 4.8 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección accionando ambas direcciones

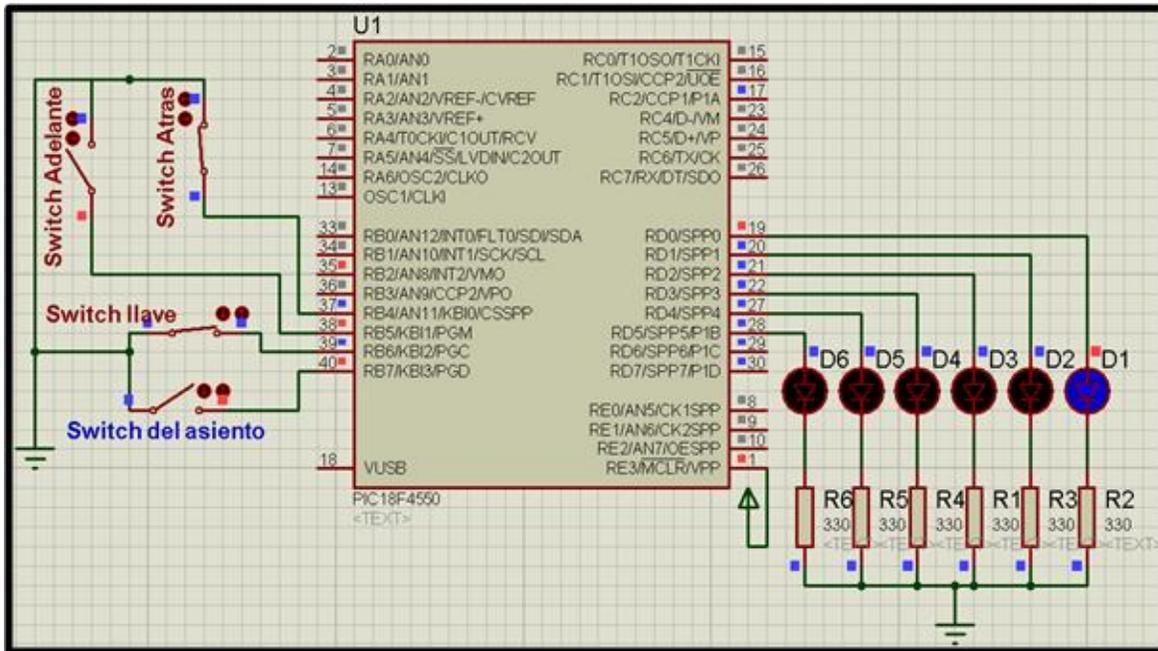


Figura 4.9 Simulación de sistema de control con interacción de palanca de dirección sin señal de asiento

Para la simulación del control de velocidad, se configuró el módulo CCP1 del microcontrolador PIC4550 como PWM con una frecuencia de 10 KHz su ciclo de trabajo será determinado por medio del convertidor analógico/digital proveniente del pedal del acelerador.

Para la entrada analógica se utiliza el módulo convertidor analógico/digital del microcontrolador, que se encuentra en el bit 0 del puerto A, como se observa en la Figura 4.9.

Se observa en la Figura 4.9 que la salida de la señal PWM es por el bit 2 del puerto C del microcontrolador, se utilizará el módulo CCP1, como se mencionó anteriormente. Esta señal PWM está configurada para tener una frecuencia determinada, pero un ciclo de trabajo variable con respecto a la entrada del acelerador. A la salida del bit 2 del puerto C se encuentra conectado el canal A del osciloscopio virtual, esto con el fin de ver el comportamiento de la señal PWM con respecto al cambio en el potenciómetro que simula la entrada del pedal del acelerador.

En la Figura 4.10, se observa que el potenciómetro está colocado casi al máximo, con el fin de ejemplificar la máxima aceleración del montacargas. En la Figura 4.11 se tiene la imagen del osciloscopio con la señal PWM producida por la entrada del potenciómetro. También en la Figura 4.11 se pueden observar dos características importantes:

1. La señal PWM tiene una frecuencia de 10KHz

2. El ciclo de trabajo de la señal es de casi el 90% debido a que el potenciómetro está casi a su máximo.

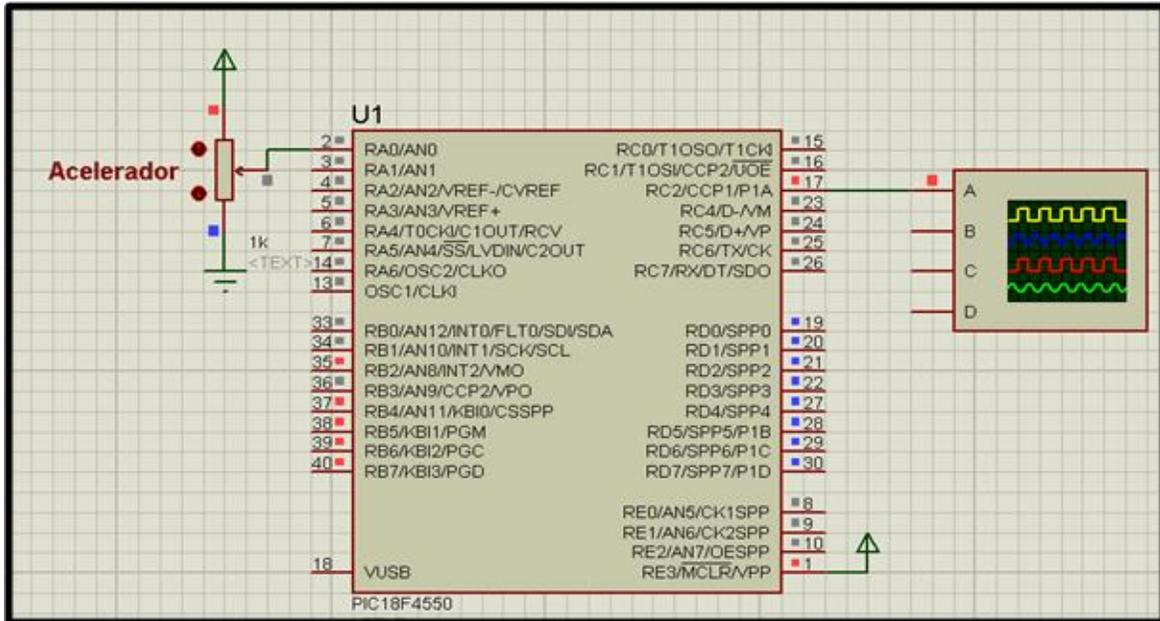


Figura 4.10 Entrada de señal analógica y salida de señal PWM

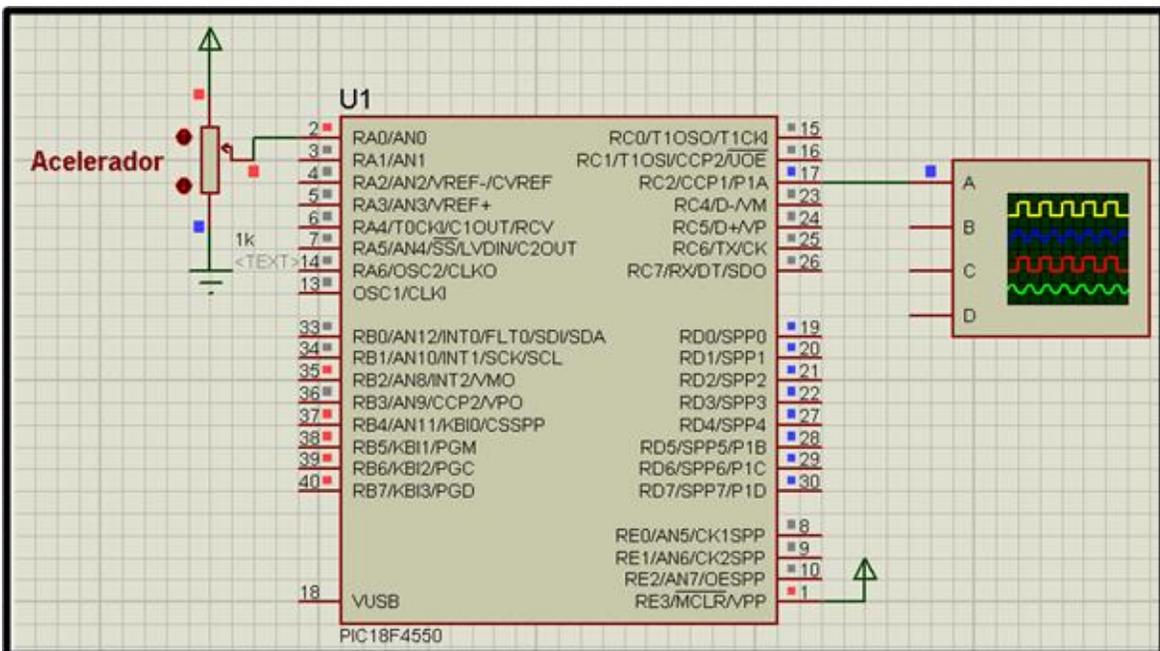


Figura 4.11 Simulación de PWM con potenciómetro al 90%

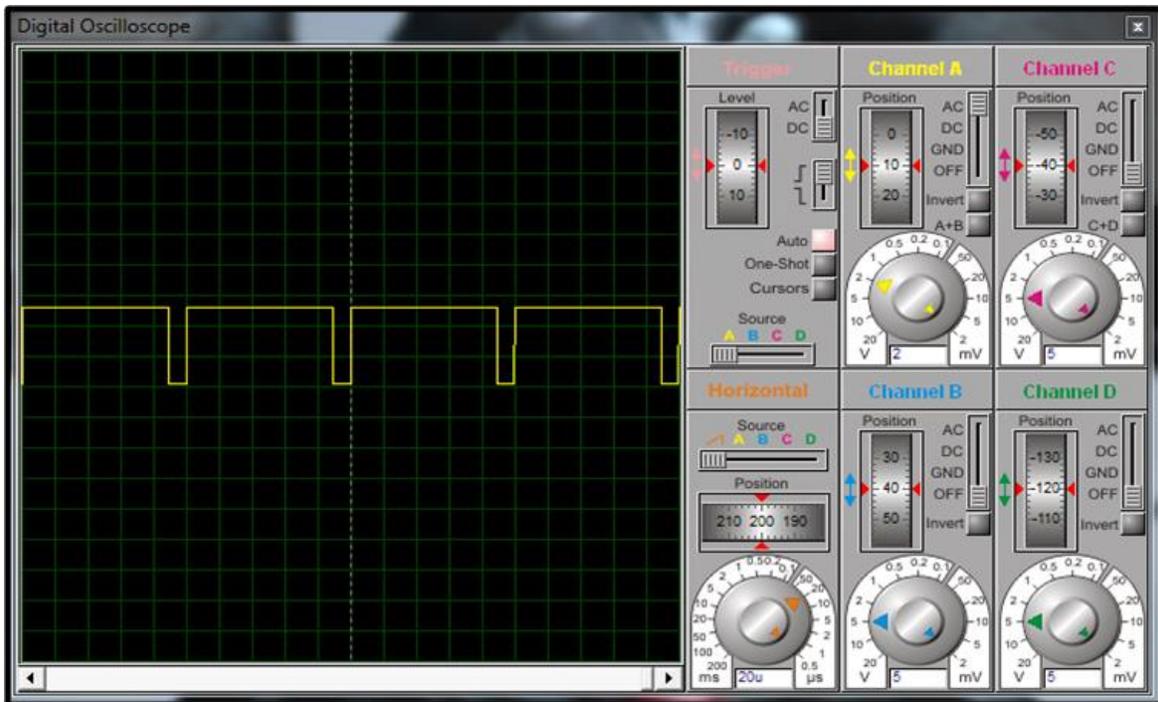


Figura 4.12 Imagen de osciloscopio con señal PWM al 90% de ciclo de trabajo

Se observa en la Figura 4.11, que la señal abarca 5 cuadros verticales del osciloscopio, con una resolución de 20 microsegundos, lo que hace que la señal tenga un período de 1×10^{-4} segundos, convirtiéndolo a frecuencia se tiene por resultado 10KHz. Se comprobó que la señal PWM tiene una frecuencia de 10KHz.

Para saber el ciclo de trabajo de la señal PWM, se observa en la Figura 4.11 lo siguiente: El tiempo en alto en que esta la señal, que en este caso es de aproximadamente 4.5 cuadros verticales del osciloscopio, multiplicándolos por la escala de 20 microsegundos, se tiene como resultado un tiempo de 9×10^{-5} segundos. Que es el 90% del período de la señal PWM.

Ahora en la Figuras 4.12 se observa que el potenciómetro se encuentra aproximadamente a la mitad de su capacidad. Lo que significa que la señal PWM tendrá un ciclo de trabajo aproximado del 50%. Como se observa en la Figura 4.13 en el osciloscopio.

También en la Figura 4.13 se observa que la modificación que provoca en la señal PWM el movimiento del potenciómetro es tan sólo en el ciclo de trabajo de la señal, pero la frecuencia de la señal se mantiene, lo que cumple con el principio de una señal PWM.

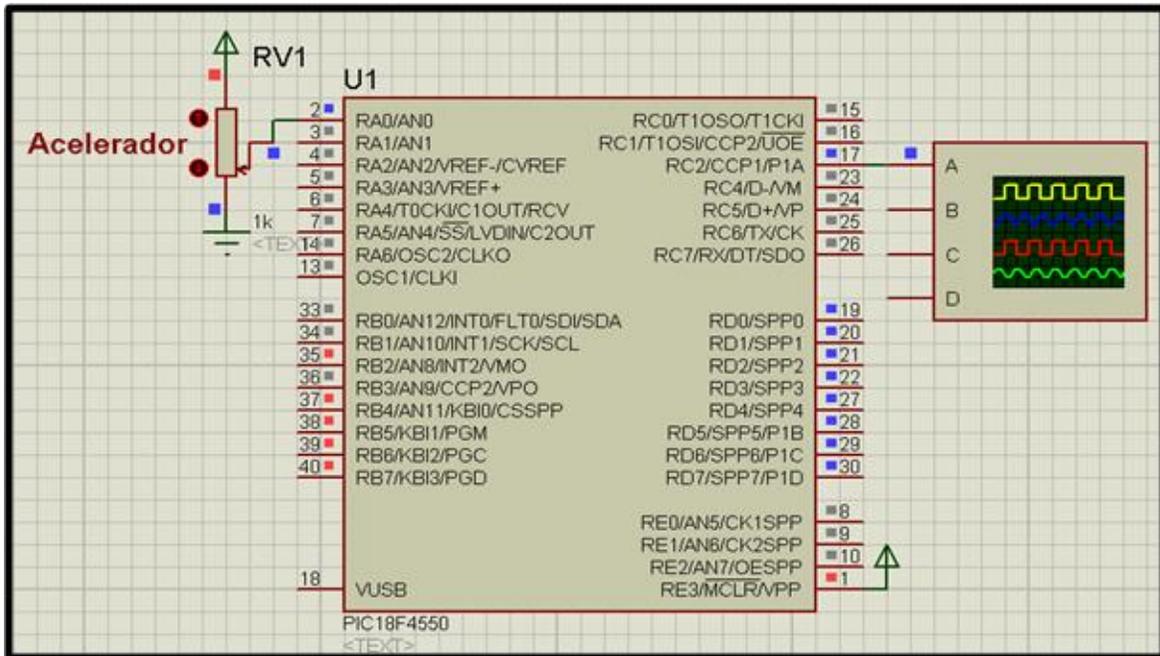


Figura 4.15 Simulación de PWM con potenciómetro al 10%

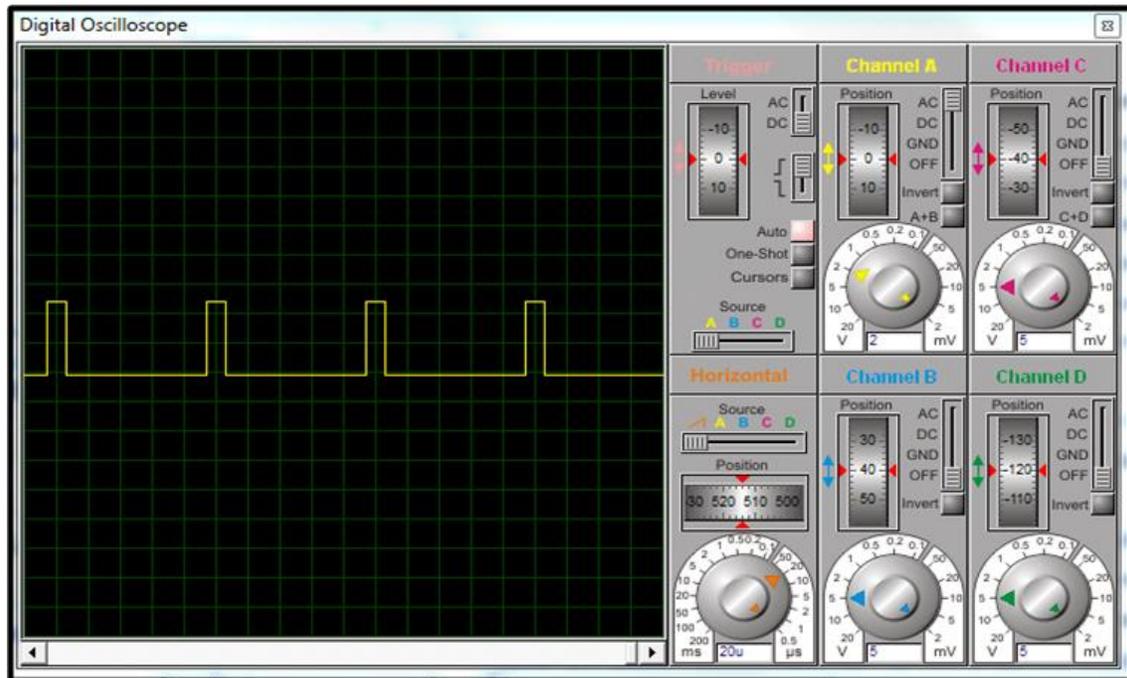


Figura 4.16 Imagen de osciloscopio con señal PWM de 10% de ciclo de trabajo

Con el fin de evitar pérdidas de control con respecto a la velocidad del montacargas, al desarrollo del control de tracción se le adiciona un control de velocidad, el cual estará encargado de monitorear que el montacargas no pase de una velocidad de seguridad. Esto se hace por medio de las señales enviadas por

el encoder. En el caso del prototipo se utilizó un motor que tiene acoplado directamente el encoder a su flecha como se observa en la Figura 4.16.



Figura 4.17 Motor utilizado para prototipo

Las características del motor y del encoder se encuentran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.6 Características del motor y encoder usados en el prototipo

| Elemento | Características |
|------------------------|--|
| Motor Hitachi AX060003 | Motor paralelo de 24V de DC |
| | Consumo de corriente de 2A |
| | Gira a 3100RPM |
| Encoder Hitachi | Relativo |
| | Entrega 200 pulsos por cada vuelta de la motor |

Para el desarrollo de esta medida de seguridad se utilizó otro microcontrolador de la marca Microchip modelo PIC12F683. El microcontrolador mencionado estará programado para recibir las señales provenientes del encoder. El control de velocidad se logra por medio de dos interrupciones, una interna que es el desbordamiento del Timer 0 y otra externa, que es la detección del cambio de estado de alguna de sus entradas, en este caso es la detección por flanco de subida. Para lograr el control de la velocidad se realizaron los siguientes pasos:

1. Se programó la interrupción por cambio de estado en el pin GP2. Esta interrupción se configuró para que detectara los cambios de flanco de subida, que es el cambio de cero a uno
2. La segunda interrupción se programa acorde a dos condiciones. Una es el número de pulsos que entrega el encoder por cada vuelta del motor, y otra es el número máximo de revoluciones que tiene el motor, con estos parámetros se programó la interrupción por desbordamiento del TIMER 0

El control de velocidad funciona de la siguiente manera:

- El encoder enviará pulsos a la entrada del microcontrolador y por cada cambio de flanco de cero a uno, se producirá un incremento en una variable programada en el software del microcontrolador. Para la simulación se utilizó un generador de pulsos de reloj, por ejemplo, el motor a su máxima velocidad entrega 3,100 rpm. por lo que, en cada segundo el motor hace 86.7% de una vuelta completa. Si por cada vuelta completa del eje del motor el encoder manda 200 pulsos, a velocidad máxima del motor, el encoder por cada segundo entregará 172 pulsos aproximadamente. Como se requiere que el montacargas no llegue a su velocidad máxima, a una velocidad controlada de seguridad, el número máximo de pulsos por segundo será limitado a la mitad de la máxima velocidad del motor que serían 86 pulsos por cada segundo
- La interrupción por el Timer 0, está programada para que ocurra cada determinado tiempo de control. Si ya se tiene el número máximo de pulsos, se programa la interrupción del Timer 0 acorde a estos pulsos. Si se programa para que ocurra cada segundo, en ese tiempo el número máximo de pulsos sería de 86 pulsos. Cada que ocurra la interrupción por Timer 0 se comparará el número de pulsos obtenidos del encoder, con el número máximo permitido. Si el número de pulsos mandados por el encoder es mayor el PIC12F683 enviará una señal de paro al PIC18F4550, esto interrumpirá toda la actividad del montacargas.

Para simular el funcionamiento del control de velocidad, primero se programa el microcontrolador PIC12F683, esto hace que la interrupción por el desbordamiento del TIMER 0 ocurra aproximadamente cada segundo. Posteriormente se programa la interrupción externa por cambio de estado en el pin GP2, este pin es el que recibirá las señales provenientes del encoder. La señal que el microcontrolador PIC12F683, enviará en caso de que la velocidad haya sido rebasada saldrá por el puerto GP0. En este caso se mantendrá en un estado alto, que indica que la velocidad no ha sido rebasada. Al momento de superar la velocidad de control el estado de este puerto pasará a bajo. Indicándole al otro microcontrolador que la velocidad ha sido superada y que detenga toda actividad.

En la Figura 4.17 se observa al microcontrolador PIC12F683 con lo siguiente:

- En su pin GP0 se observa conectado un led, el cual indicará al apagarse el momento en el que la velocidad ha sido superada y es de donde saldrá la señal hacia el otro microcontrolador
- En el pin GP2 se encuentra conectado un generador de pulsos, que simulará al encoder. También en este puerto se encuentra conectado el canal A del osciloscopio virtual, con el fin de observar la frecuencia del generador de pulsos y saber la frecuencia en la cual se dispara la señal de paro hacia el otro microcontrolador

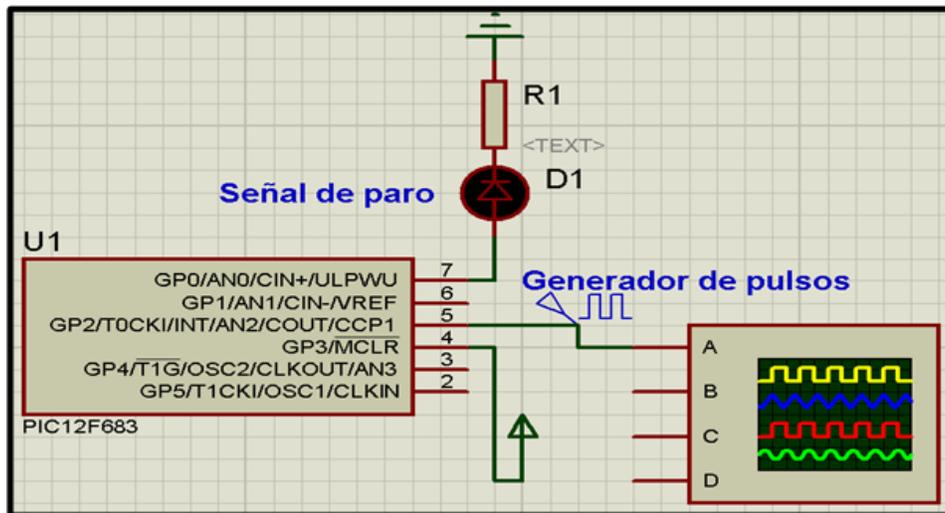


Figura 4.18 Elementos para la simulación del control de velocidad

Se realizó la simulación las señales del encoder, se hace que el generador de pulsos tenga una frecuencia menor a la de 86 pulsos por segundo. En este caso se programó con una frecuencia de 50 Hz como se observa en la Figura 4.18.

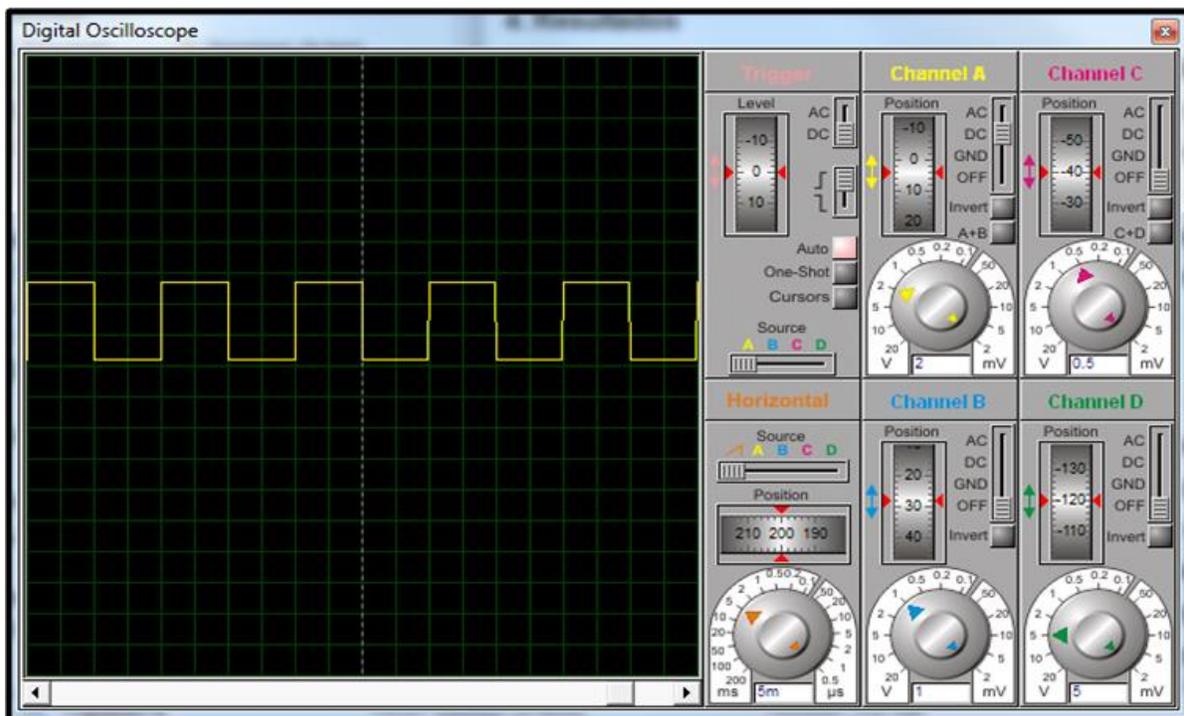


Figura 4.19 Simulación de generador de pulsos a una frecuencia de 50Hz

En la Figura 4.19 se observa que el led D1 se encuentra encendido. Esto debido a que en la frecuencia en la que se encuentra el generador de pulsos es menor a la permitida.

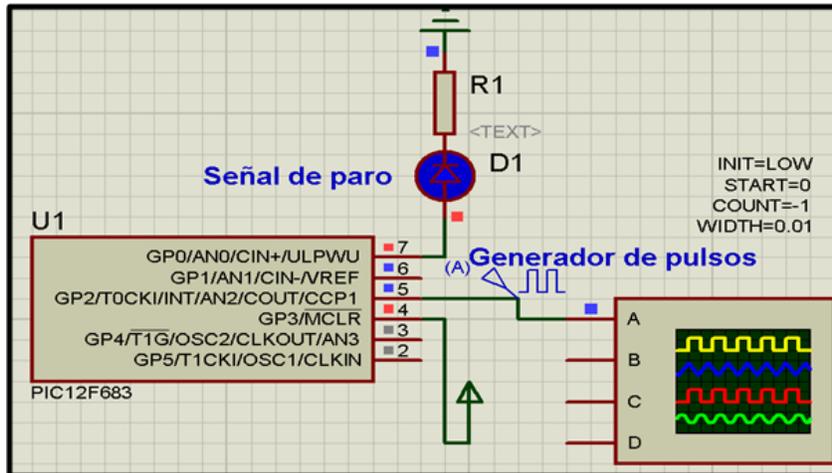


Figura 4.20 Simulación de control de velocidad con frecuencia de 50Hz

Como siguiente prueba se programa el generador de pulsos para que tenga una frecuencia mayor a los 86 pulsos por segundo; como ejemplo se hace que el generador de pulsos tenga una frecuencia de 1KHz como se observa en la Figura 4.20.

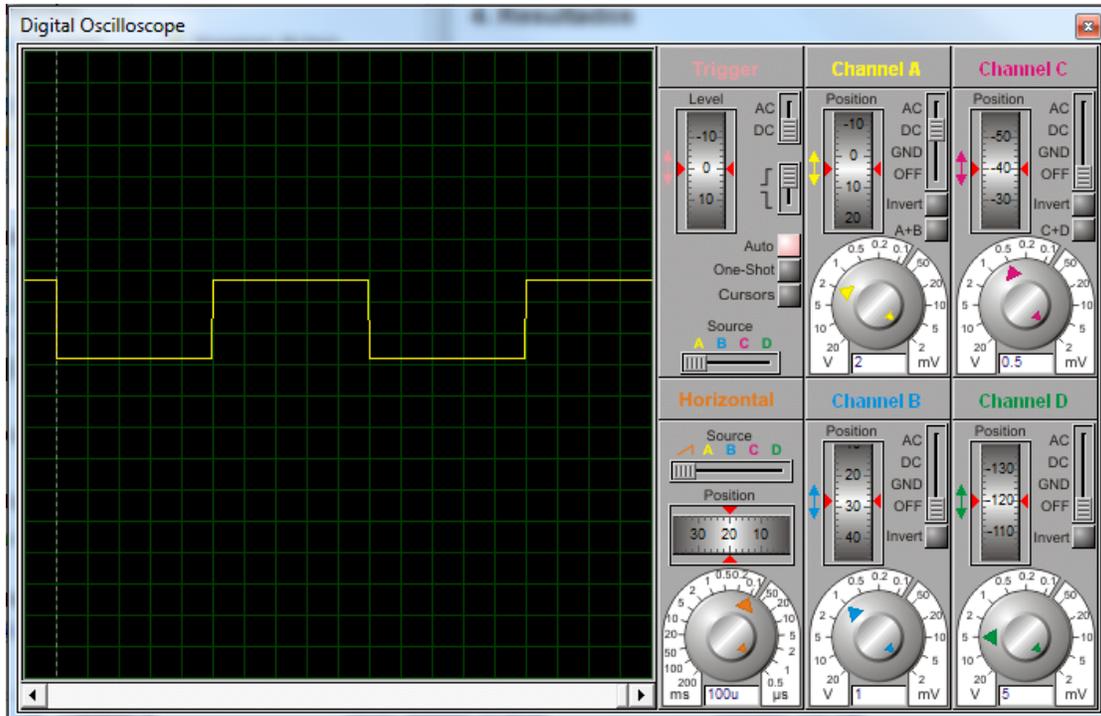


Figura 4.21 Simulación de tren de pulsos con frecuencia de 1KHz

Como la frecuencia (en la que está mandando los pulsos el generador de señal) hace que en un segundo existan más de 86 pulsos, el led D1 se apaga, esto manda la señal de paro hacia el otro microcontrolador como se observa en la Figura 4.21.

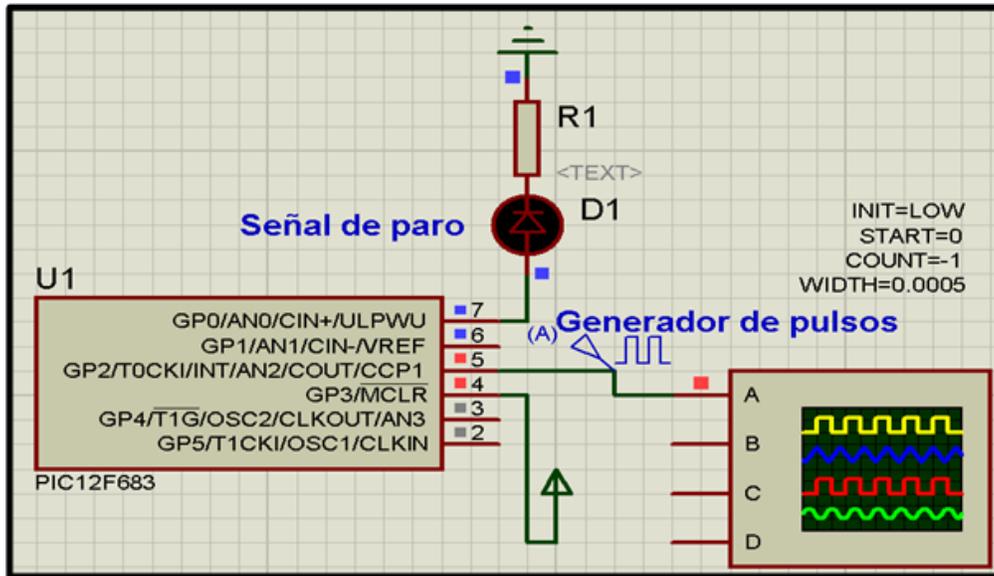


Figura 4.22 Figura Simulación de control de velocidad con frecuencia de 1KHz

En la figura 4.23 se observa la integración del sistema completo con los dos microcontroladores usados, sus entradas de periféricos externos y contactores.

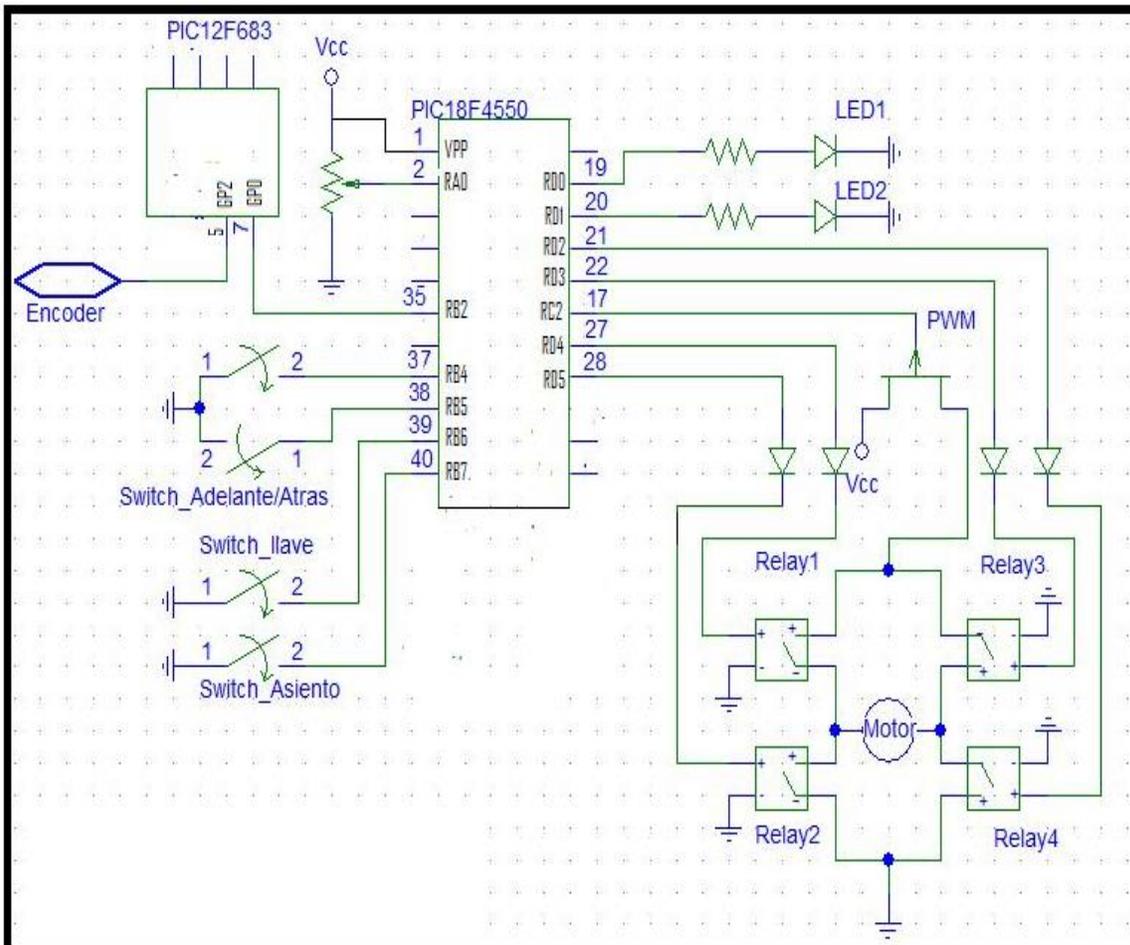


Figura 4.23 Figura de diagrama eléctrico del sistema.

4.5 Construcción del prototipo

Para demostrar que lo simulado funciona correctamente, se elaboró un prototipo a escala. Dicho prototipo tendrá el sistema de control que se propone instalar en cualquier montacargas de clase I. La única diferencia será que los elementos de potencia serán solamente representativos de los elementos reales encontrados en cualquier montacargas.

1. Como primera parte del armado del prototipo, se colocó la base del microprocesador en la tarjeta, proporcionando el suficiente espacio para los demás circuitos que acompañan al microprocesador principal (Figura 4.22).

El microprocesador principal está encargado de realizar las siguientes tareas:

- Verifica el estatus del switch de la llave
 - Verifica el estado switch del asiento
 - Corrobora hacia qué dirección la palanca ha sido activada
 - Proporcionar la señal PWM con respecto a la señal analógica proveniente del pedal del acelerador con ayuda de su convertidor analógico digital
 - Verifica que la señal de paro proveniente del segundo microcontrolador
 - Proporciona una señal hacia los demás sistemas de control para indicar que la llave fue colocada
 - También indicará cuando el montacargas está listo para empezar su funcionamiento
2. También se colocaron la base del segundo microcontrolador. Este microcontrolador se encarga de verificar que el montacargas no exceda la velocidad permitida en cuestión de seguridad. Si la velocidad es mayor que la permitida, el segundo microcontrolador, enviará una señal de paro inmediato al microcontrolador principal (Figura 4.22)
 3. Además se integra a la tarjeta del prototipo el transistor MOSFET, como se observa en la Figura 4.22. Es el encargado de recibir la señal PWM del microprocesador principal. Si se considera que en el prototipo tan sólo se utilizó uno, pero en el modelo real de la tarjeta se pretenden utilizar 4, debido a la demanda de corriente del sistema

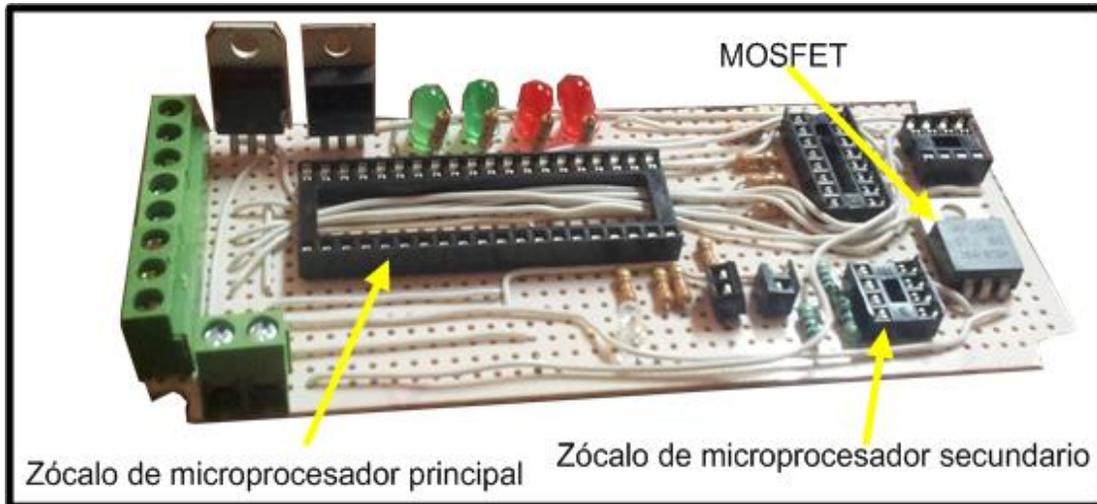


Figura 4.24 Integración de zócalos de microprocesadores y MOSFET en tarjeta de prototipo.

4. Después se instalaron los zócalos de los optocopladores, tomándose en cuenta que en el circuito de control se utilizan cinco, empleándolos de la siguiente manera:
 - Un optocoplador será el encargado de aislar la parte de control del PWM hacia el MOSFET
 - Los otros cuatro son los encargados de aislar el microcontrolador principal de los contactores (Figura 4.25).
5. Conjuntamente se colocaron, dos circuitos integrados, uno de ellos es el LM7805. Este dispositivo se utilizó debido a que los microcontroladores funcionan con un rango de voltaje de 3 a 5V. Este circuito tiene como objetivo brindar los 24V de DC que provienen de la batería del montacargas. El circuito LM7805 los convierte en 5V y soportará una demanda de 1A (Figura 4.25)
6. El otro circuito integrado instalado es el MC7809, que, al igual que el LM7805, reduce el voltaje de la batería del montacargas de 24V de DC a 9V de DC, y soportará también una demanda de 1A. Este dispositivo es usado para alimentar los relevadores que se utilizan en el prototipo. En el desarrollo final de la tarjeta de control, no será necesario, debido a que los contactores de los montacargas se activan con el mismo voltaje de la batería (Figura 4.25)

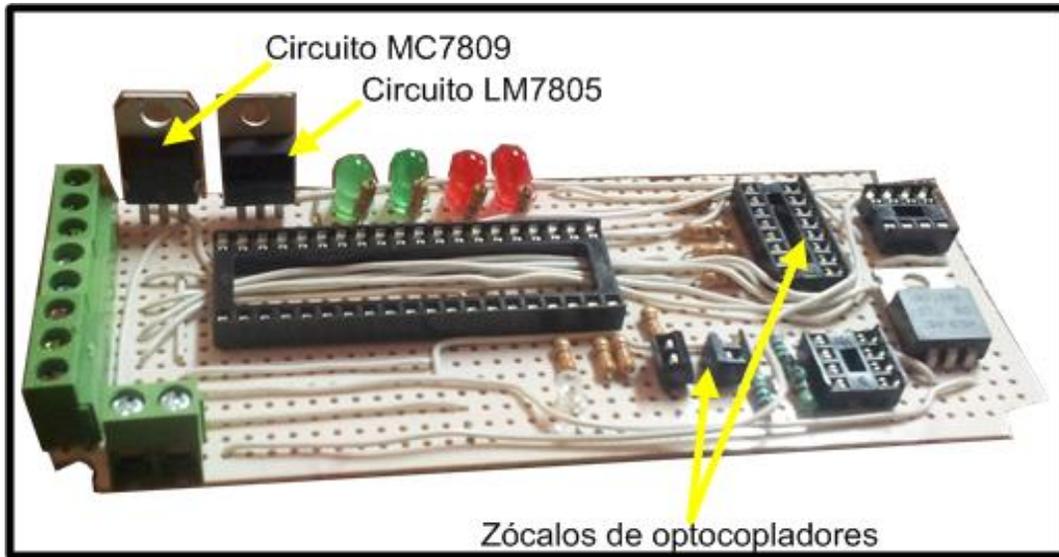


Figura 4.25 Integración de PIC 12F683, Optocopladores y MOSFET en el prototipo

7. Se integran a la tarjeta de control 5 leds que no estarán visibles al usuario. Cuatro de ellos tienen como objetivo mostrar las señales que el microcontrolador manda hacia los contactores y el último led mostrará el correcto funcionamiento de la señal PWM (Figura 4.26)

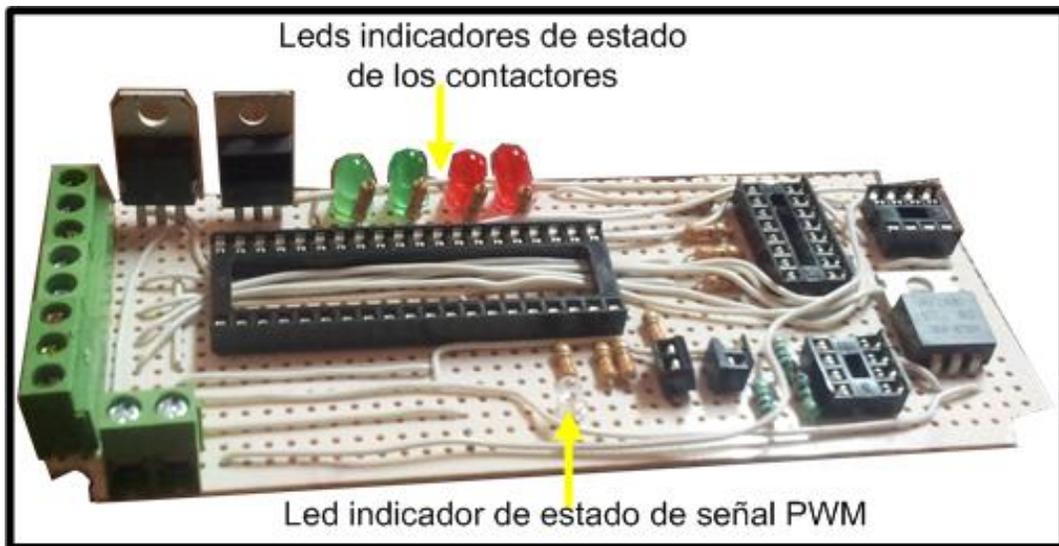


Figura 4.26 Ubicación de leds indicadores en el prototipo

8. Por último se instalaron las borneras necesarias para la conexión a la tarjeta de control de la alimentación, dispositivos como los contactores y los circuitos adicionales (Figura 4.27).

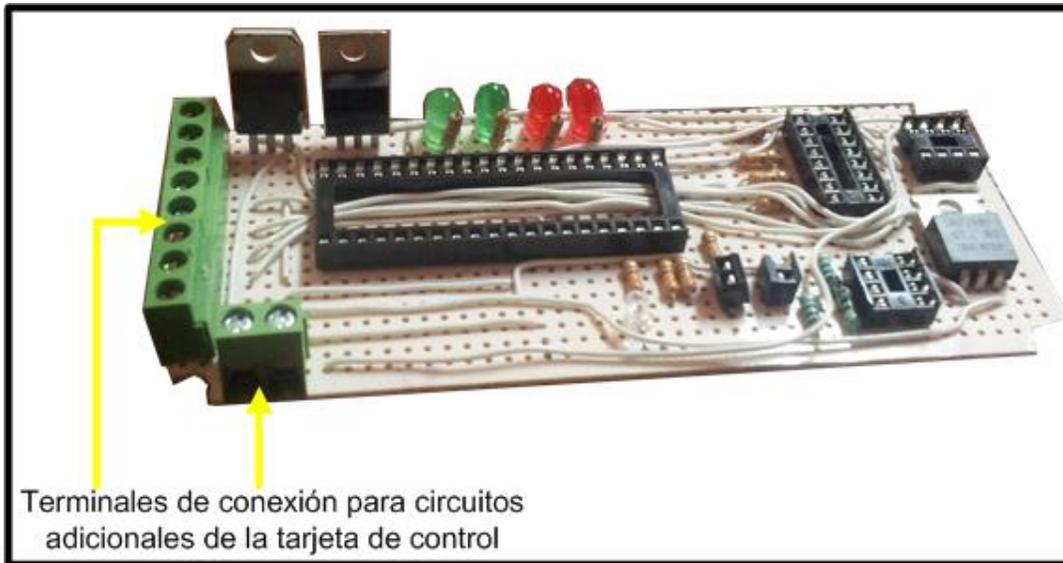


Figura 4.27 Integración de terminales de conexión al prototipo

La Figura 4.28 muestra el prototipo de tarjeta de control con todos los elementos que la integran ya puestos en sus respectivos espacios.

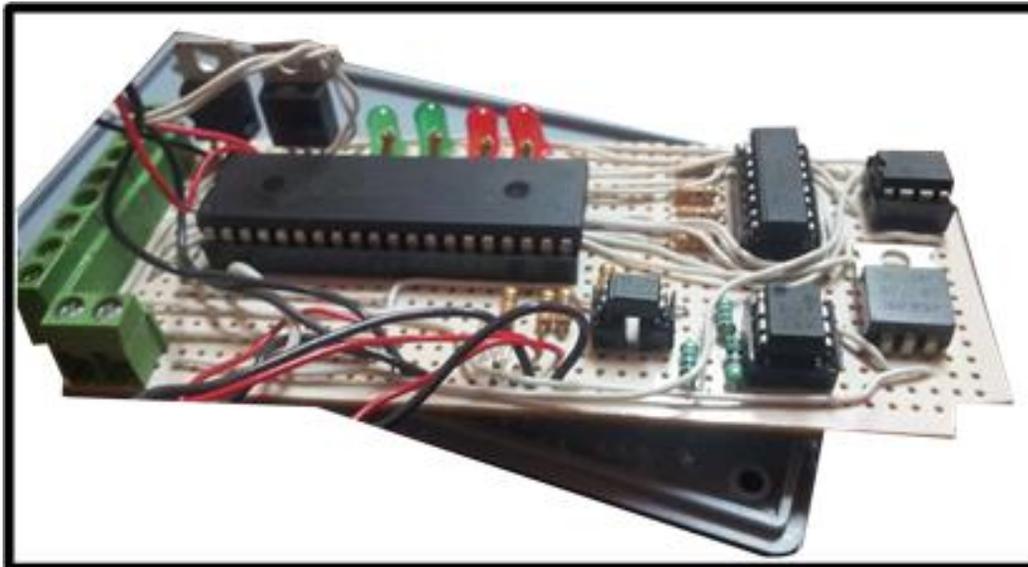


Figura 4.28 Prototipo de tarjeta de control de tracción de montacargas eléctrico

9. Por último se integró en el circuito un par de leds, que estarán visibles al usuario del control. Estos leds tienen como propósito, indicar cuando el switch de llave este activo y cuando el montacargas esté listo para iniciar el movimiento. Todo el circuito desarrollado se colocó dentro de un gabinete plástico, con el fin de protegerlo como se observa en la Figura 4.29



Figura 4.29 Prototipo de sistema de control

4.6 Operación del prototipo

Una vez construido el prototipo se realizan las siguientes pruebas para comprobar que el funcionamiento del sistema sea lo esperado según las simulaciones. Para esto, dentro del control se colocaron cuatro dispositivos más, que no son parte del sistema de control, pero son necesarios para las pruebas. Estos son (Figura 4.30):

1. El switch de llave
2. El switch del asiento
3. La palanca de dirección
4. El pedal del acelerador.

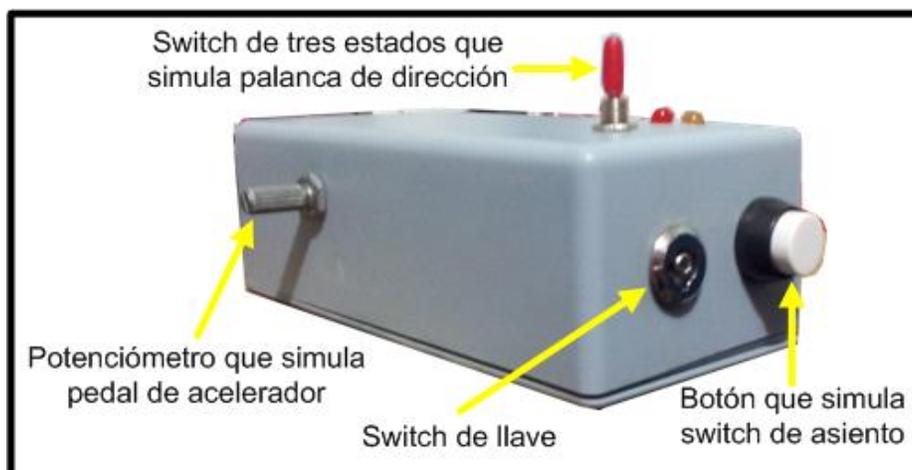


Figura 4.30 Elementos integrados para realizar pruebas al prototipo

En el desarrollo final del prototipo estos elementos se encuentran ya instalados en el montacargas y en el control solamente se integrarían en las terminales de conexión que se ven en la Figura 4.26. Acorde a las simulaciones realizadas, el prototipo tiene que realizar las mismas acciones al recibir las diferentes señales de los dispositivos de entrada. El código fuente que se programó en cada uno de los microcontroladores se encuentra en los anexos I y II. Las pruebas realizadas al sistema de control fueron las siguientes:

- La primera prueba fue que al colocar la llave, el sistema de control encienda el led indicador correspondiente. Como se indicó anteriormente esta señal también sirve para mostrar a los demás sistemas de control que existe la presencia de la llave y se enciendan (Figura 4.31)

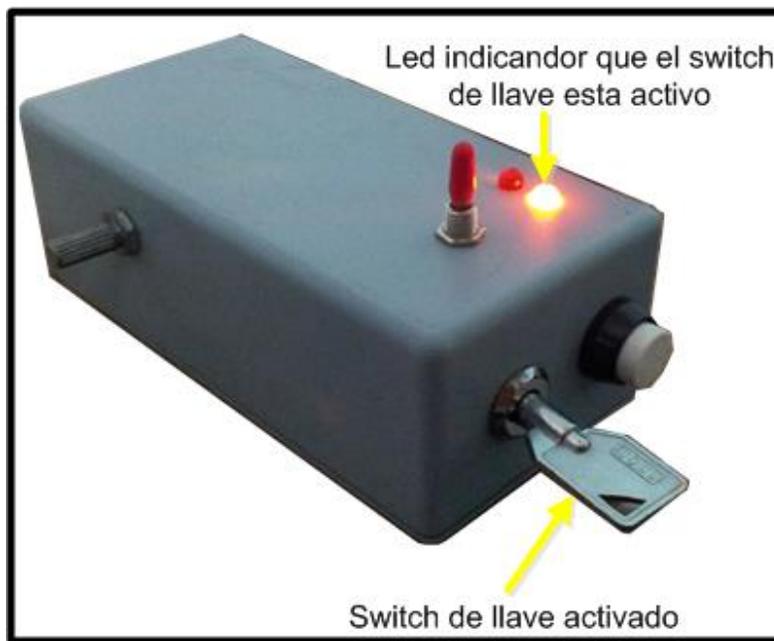


Figura 4.31 Interacción del sistema de control al accionar el switch de llave

- Posteriormente se activa la señal del switch del asiento, se observa en la Figura 4.32 que el led indicador correspondiente se enciende, con esto el sistema indica que está listo para iniciar su actividad. También se observa que el led de la llave no se apaga como se confirmó en la simulación.



Figura 4.32 Encendido de led al accionar el switch de asiento

- Para corroborar las señales enviadas por el sistema de control hacia los contactores, se retira el prototipo de tarjeta de control de su gabinete plástico y se puede observar que se incluyeron 4 leds, que encienden con las señales que envía el microprocesador hacia los contactores como se ve en la Figura 4.33

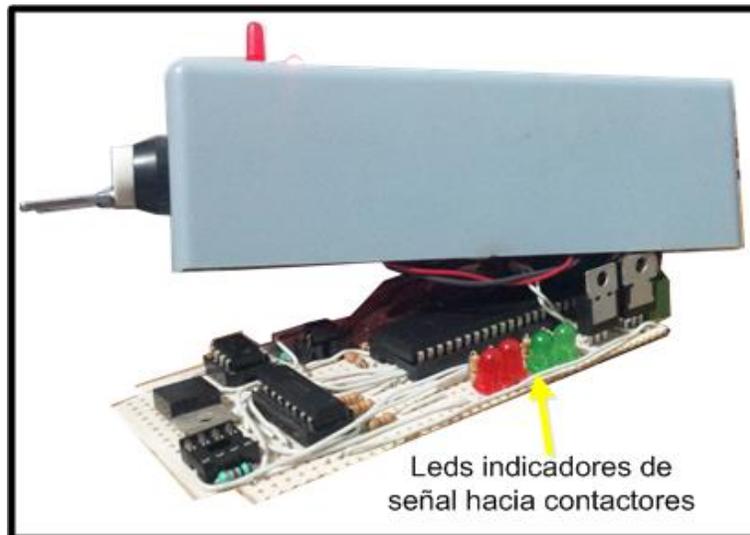


Figura 4.33 Leds indicadores de accionamiento de contactores

- Al accionar la palanca de dirección hacia uno de los lados, en este caso simulada por un switch de tres estados, se ve en la Figura 4.34 que tan sólo se encienden dos de los cuatro leds

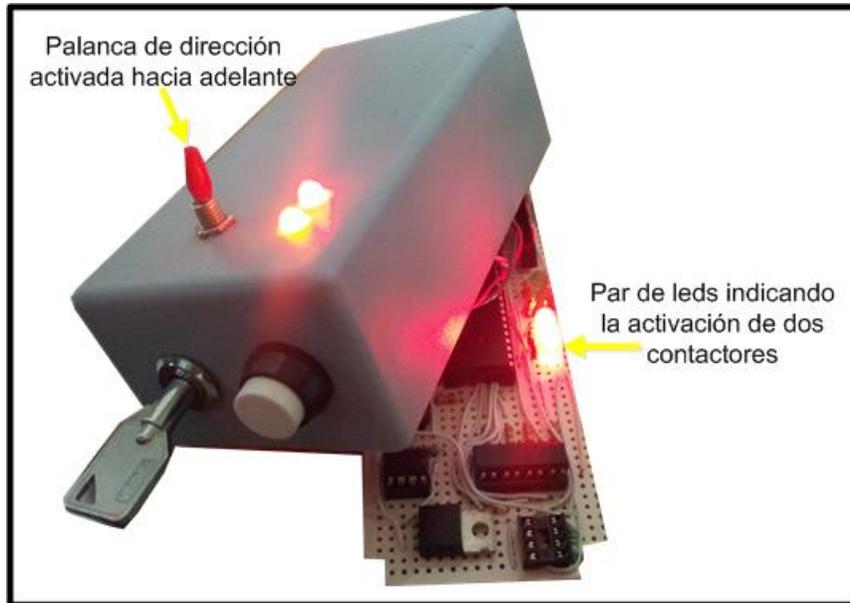


Figura 4.34 Switch de la palanca de dirección activado hacia adelante

- Ahora al accionar la palanca hacia el otro lado, los leds que estaban prendidos se apagan y los otros dos se encienden, como se describió en la simulación (Figura 4.35)

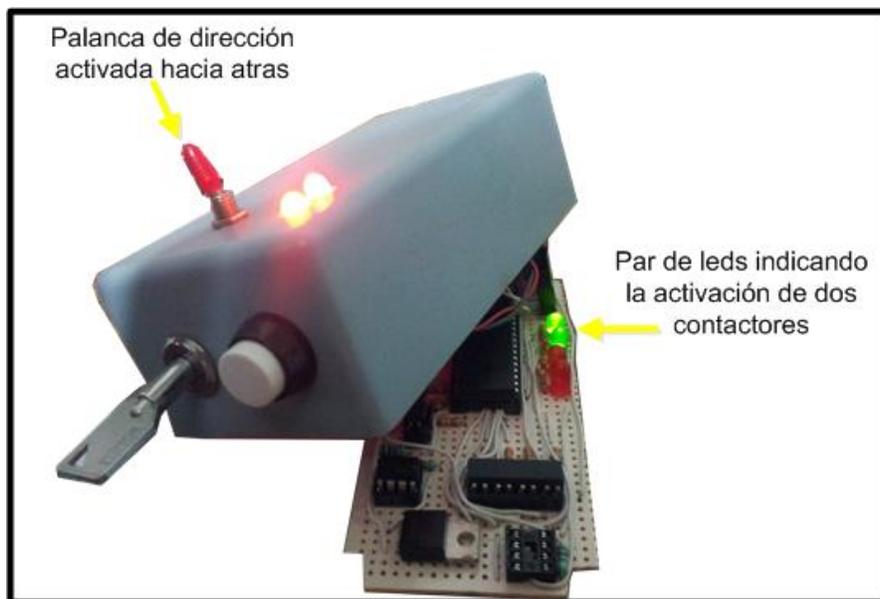


Figura 4.35 Switch de la palanca de dirección activada hacia atrás

- Al desactivar el switch del asiento se observa en la Figura 4.36 que el sistema de control deja de enviar la señal hacia los contactores, esto permite que el montacargas se detenga.

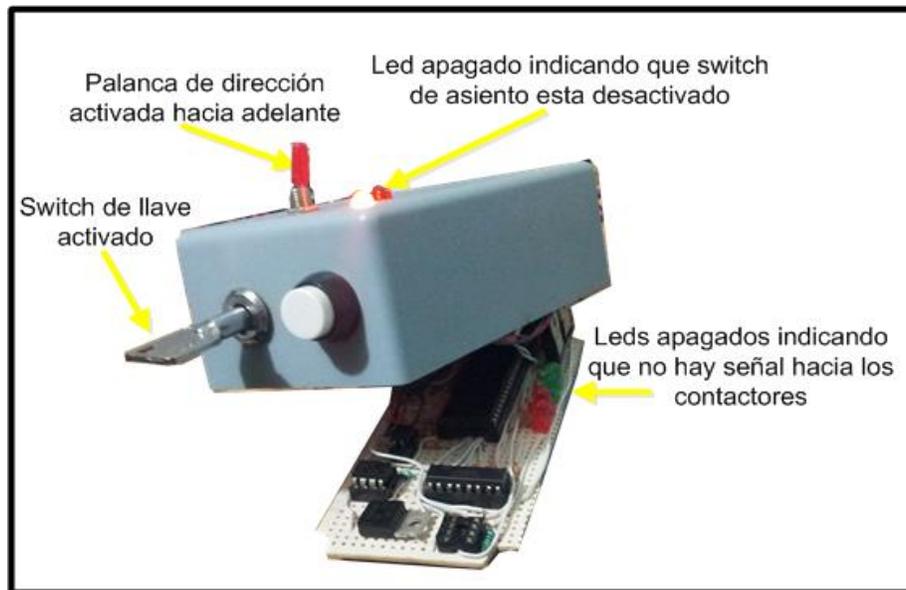


Figura 4.36 Switch de asiento desactivado

- Como segundo punto de seguridad con el fin de garantizar que el montacargas no arranque de manera brusca, se programó que si al encender el montacargas, la palanca de dirección no se encuentra en un punto neutro, el sistema no mandará señal de activación hacia los contactores, hasta que la palanca se encuentre en neutro. También si por alguna razón el switch de la palanca marca las dos direcciones al mismo tiempo, el sistema de control no realizará la misma acción.

Para realizar las pruebas del funcionamiento de la señal PWM se realizaron los siguientes pasos:

1. Se programa el microcontrolador PIC18F4550 para que proporcionara una señal PWM variable con respecto a la entrada analógica de un potenciómetro que simulara el pedal del acelerador (Figura 4.37) y también se corrobora que la señal tenga una frecuencia de 10KHz como se ve en la Figura 4.38

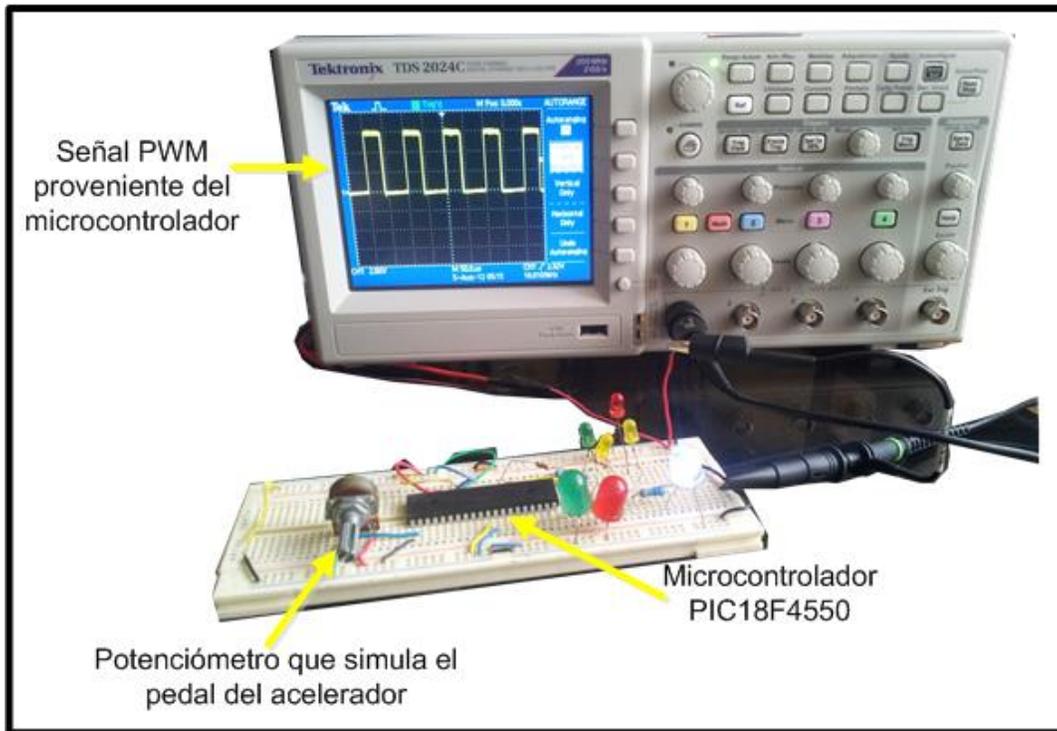


Figura 4.37 Prueba de señal PWM con elementos reales

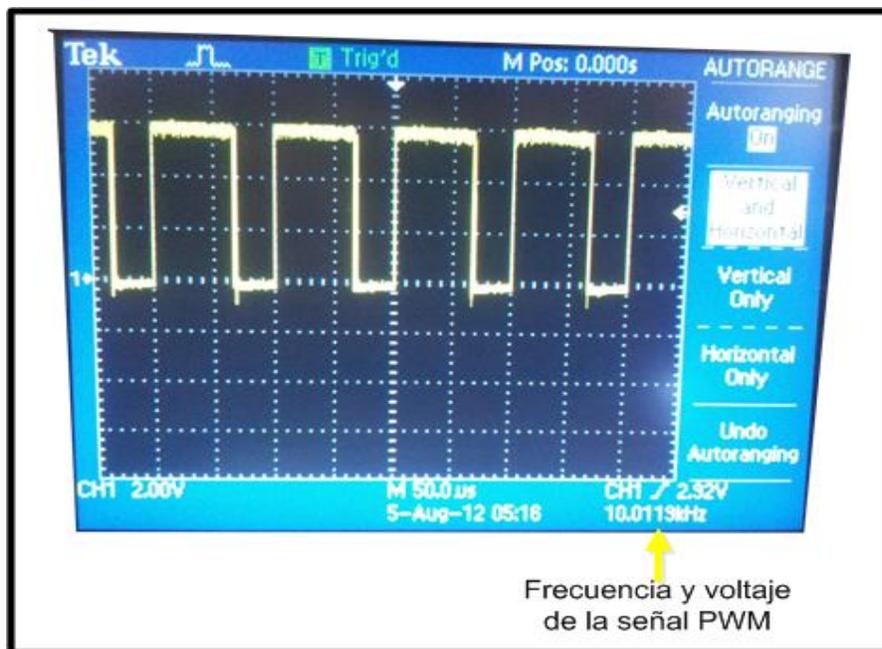


Figura 4.38 Señal de PWM en el osciloscopio

2. Para el funcionamiento del convertidor analógico/digital, se modifica el valor de la resistencia del potenciómetro. Se coloca al 90% y se observa que el ciclo de trabajo de la señal producida, corresponde a esa entrada como en la Figura 4.39

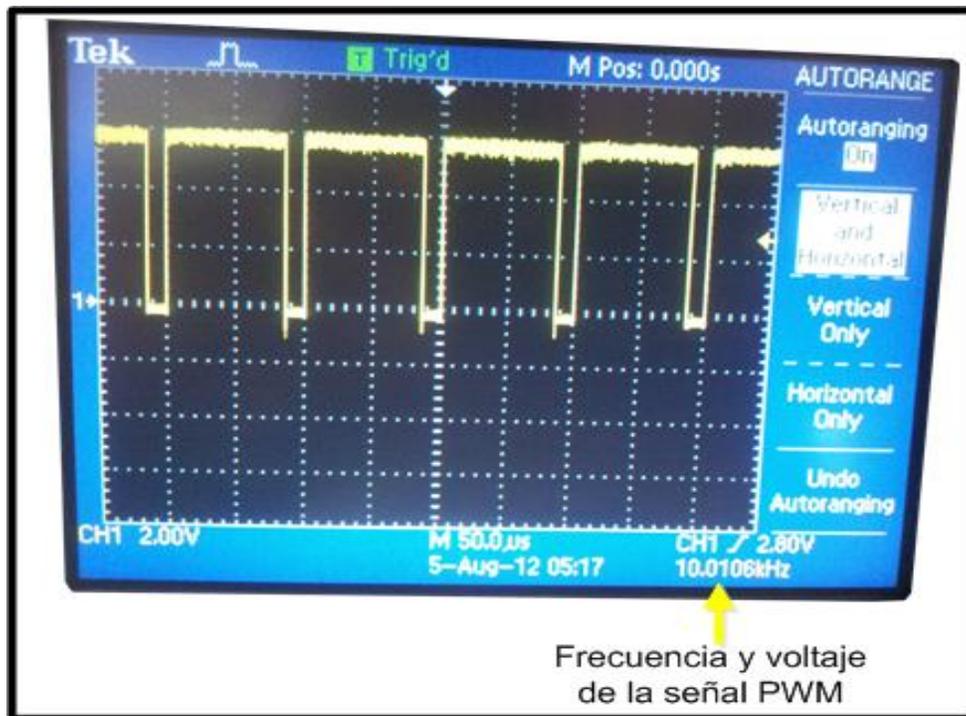


Figura 4.39 Señal PWM al 90% de ciclo de trabajo

3. Posteriormente se mueve el potenciómetro hasta aproximadamente el 10% de su capacidad y se puede observar en la Figura 4.40 una señal PWM de un ciclo de trabajo de aproximadamente 10%.

En el prototipo de tarjeta de control se añadió un led indicador, como se ve en la Figura 4.26, que es encargado de recibir la señal PWM del microcontrolador principal. Este led sirve como monitor de que la señal PWM existe y que está funcionando correctamente.

Otra de las pruebas realizadas es mostrar el funcionamiento del encoder, que se utilizará para el control de la velocidad. El encoder del motor del prototipo se encuentra acoplado en la flecha del motor, este tiene tres cables, dos de ellos son la alimentación del circuito que en este caso se alimenta con 5V, y el tercero es la salida de su sensor, con esto se conectó la salida del encoder al osciloscopio, como se ve en la Figura 4.41. En el osciloscopio se muestra el tren de pulsos generados por el encoder debido al movimiento de la flecha del motor.

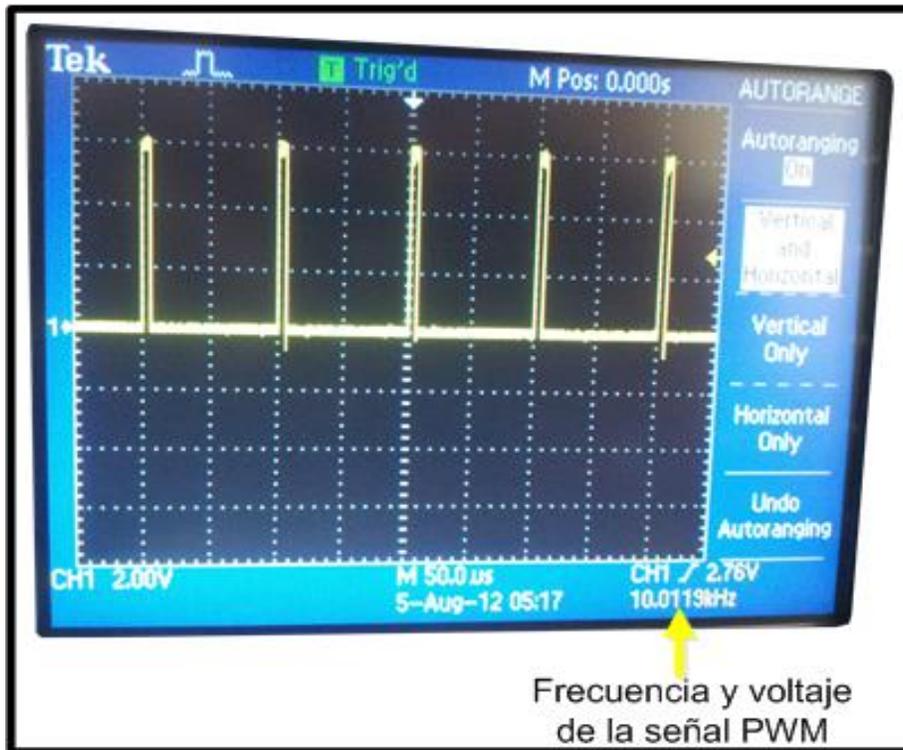


Figura 4.40 Señal PWM de al 10% de ciclo de trabajo

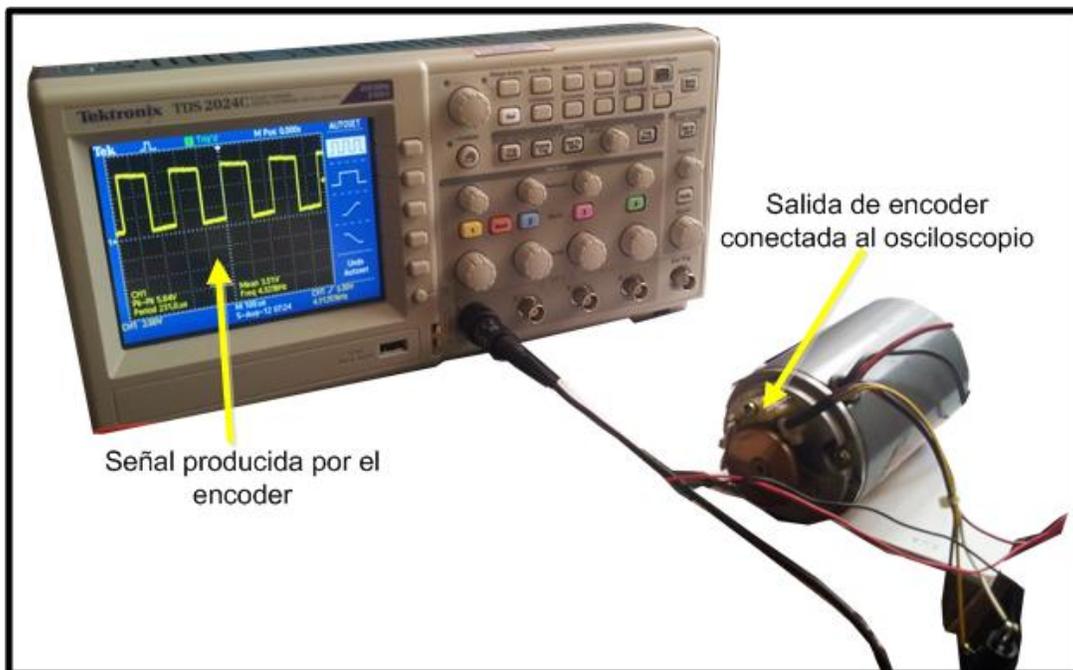


Figura 4.41 Conexión de encoder a osciloscopio

Ahora la frecuencia de la señal del encoder es directamente proporcional a la velocidad de la flecha del motor. En la Figura 4.42 se muestra la salida del encoder a una frecuencia de 343.101Hz, que indica que el motor está girando a 102 rpm.

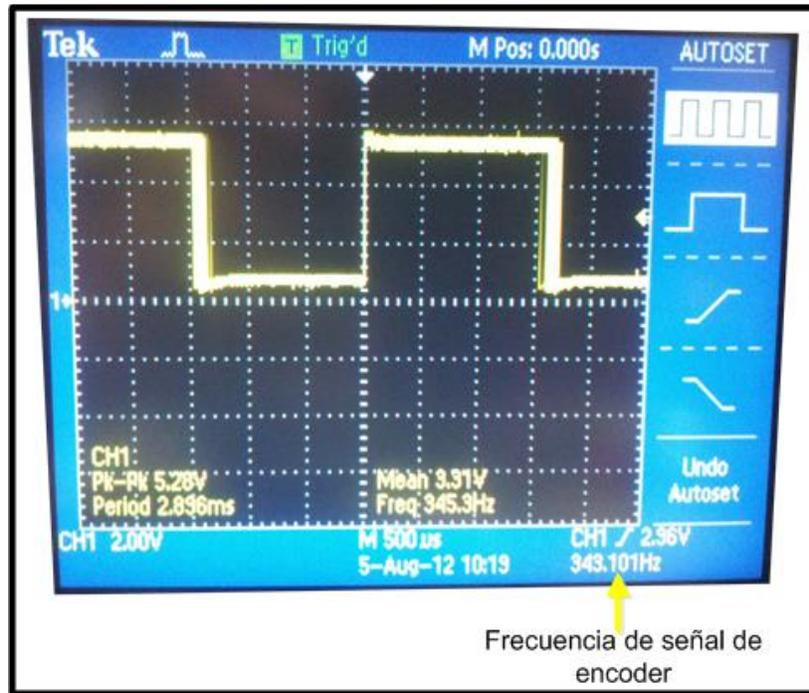


Figura 4.42 Señal producida por el encoder con el motor girando a 102 rpm

Pero al aumentar la velocidad del motor, se observa en la Figura 4.43, que la señal del encoder aumenta su frecuencia hasta llegar a 2.485KHz. Esta frecuencia indica que aproximadamente el motor está girando a 745 rpm, con esto se corrobora que el motor aumentó su velocidad.

Para la instalación de la tarjeta en el montacargas se tiene que la mayoría de los montacargas eléctricos clase I, tienen un espacio designado. Dicho espacio se encuentra justo en medio del contrapeso, tan sólo se tiene que retirar una tapa metálica y los controles del montacargas son visibles. En este espacio llegan por medio de conductos a través del chasis del montacargas, todas las terminales de control de todos los circuitos, incluyendo las terminales de control del sistema de tracción. Es aquí donde se acoplará la tarjeta prototipo del sistema de control de la tracción del montacargas, como se muestra en la Figura 4.44

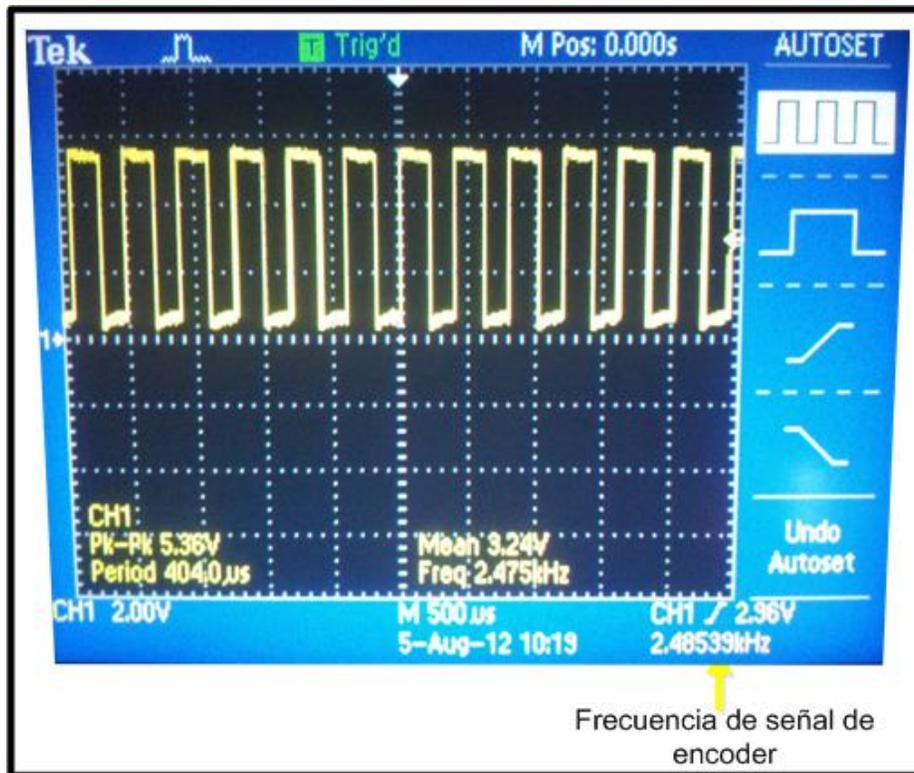


Figura 4.43 Señal producida por el encoder con el motor girando a 745 rpm



Figura 4.44 Espacio propuesto para la integración del sistema de control

4.7 Análisis de costos

La Tabla 4.4 muestra únicamente los dispositivos que componen el control de la tracción para montacargas eléctrico del proyecto. Incluye los precios reales de cada una de sus piezas, un costo estimado real para ser integrado en el montacargas y el precio en el que se encontraría en el mercado. Si se consideran solamente las partes que se necesitan para el desarrollo del controlador, éste tiene un costo aproximado de 2,000 pesos, que al compararlo con el costo de un sistema de control comercial es mucho menor.

El costo estimado por la integración del control al montacargas se realizó considerando el tiempo de programación de los microcontroladores, las adecuaciones que se realizarán en el programa para cada uno de los microcontroladores que dependerán del tipo de montacargas así como las modificaciones que se deben hacer al montacargas en la parte donde se instalará el controlador.

Tabla 4.7 Costos de elementos que integran el circuito del proyecto

| Elemento | Cantidad | Costo unitario (pesos \$) | Costo total (pesos \$) |
|---|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Microcontrolador PIC18F4550 | 1 | \$98.27 | \$98.27 |
| Microcontrolador PIC12F683 | 1 | \$23.48 | \$23.48 |
| Transistor MOSFET IRFZ48 | 4 | \$30.00 | \$120.00 |
| Optocoplador PC817 | 5 | \$5.00 | \$25.00 |
| Placa fenólica | 1 | \$40.52 | \$40.51 |
| Led | 6 | \$3.00 | \$18.00 |
| Soldadura | 1 | \$95.00 | \$95.00 |
| Zócalo de 40 pines | 1 | \$8.00 | \$8.00 |
| Zócalo de 8 pines | 2 | \$6.00 | \$12.00 |
| Poste vertical de conexión | 5 | \$9.00 | \$45.00 |
| Gabinete para circuito | 1 | \$55.00 | \$55.00 |
| Costo total del desarrollo del circuito | | | \$540.27.00 |
| Costo estimado para ser integrado en cualquier montacargas | | | \$1,460.00 |
| Costo total | | | \$2,000.00 |
| Precio estimado para la venta de la tarjeta de control | | | \$3,500.00 |

4.8 Factibilidad económica

Si se considera que el desarrollo de la tarjeta es para la venta en el mercado nacional, en donde se llegan a vender o reparar hasta 2 tarjetas de control por semana (MVM, 2012). Se tiene una posibilidad de venta de hasta 104 tarjetas anuales. Para lograr establecer el desarrollo de estas tarjetas por un año se necesita de una inversión inicial de \$208,000. La Tabla 4.7 muestra las tasas de interés anual para el financiamiento del proyecto que se encuentran en el mercado.

Tabla 4.8 Tasas de interés consideradas para financiamiento de proyecto

| Banco | Tasa de interés anual |
|----------|-----------------------|
| Banamex | TIIIE+15% |
| Banorte | TIIIE+14.3% |
| Bancomer | TIIIE+12.3% |

Considerándose una variación de la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIIE) a 28 días, ha tenido un promedio en los últimos 3 años de 4.9% (BANXICO, 2012). Si el proyecto es financiado tan solo por Bancomer, que en este caso es el que menor tasa de interés anual cobra. En primer lugar, se determinan los intereses reales o efectivos de la fuente de financiamiento mediante la ecuación (4-11) (Hernández y Villalobos, 2001).

$$i_c = \left(\left(1 + \frac{i}{r} \right)^r \right) - 1 \quad (4-5)$$

Para el caso del préstamo otorgado por Bancomer tendríamos la siguiente tasa real:

$$i_c = \left(\left(1 + \frac{.123 + .049}{12} \right)^{12} \right) - 1 \quad (4-6)$$

$i_c = 0.186$ Tasa real efectiva

Ahora como toda la inversión será financiada por un solo banco el costo del capital financiero (K), será la suma de la tasa real o efectiva más el riesgo país, que para el caso de México es de 3%.

$$K = 18.6 + 3 = 21.6\% \quad (4-7)$$

K es la cantidad que representa el costo de capital y sobre esta tasa, se va efectuar la evaluación financiera.

4.8.1 Evaluación financiera

La evaluación de un proyecto permite visualizar lo que va ocurrir una vez hecha la inversión, esto es, los flujos que se generarán en el futuro comparándolos con la inversión inicial (Hernández y Villalobos, 2001). La Tabla 4.8 muestra el estimado de ingresos y costos anuales por el desarrollo del prototipo en un período de 5 años, este período en el cual se pretende recuperar la inversión inicial, se está considerando una inflación anual del 0.5% (BANXICO, 2012).

Tabla 4.9 Flujos de efectivo anuales

| Año | Costo anual (pesos \$) | Ingresos totales anuales (pesos \$) | Flujo de Efectivo (pesos \$) |
|-----|------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 | \$208,000.00 | \$364,000.00 | \$156,000.00 |
| 2 | \$209,040.00 | \$365,820.00 | \$156,780.00 |
| 3 | \$210,085.20 | \$367,649.10 | \$157,563.90 |
| 4 | \$211,135.63 | \$369,487.35 | \$158,351.72 |
| 5 | \$212,191.30 | \$371,334.78 | \$159,143.48 |

El método del valor presente (VP) consiste en actualizar los flujos de efectivo descontándolos a una tasa de interés igual al costo de capital (K) y sumar estos, comparando dicha suma con la inversión inicial, de tal forma que: si el valor actual de la suma de los flujos es mayor o igual al de la inversión inicial, el proyecto se acepta como viable, en el caso contrario se rechaza (Hernandez y Villalobos, 2001). Lo anterior se representa en la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{F1}{(1+K)^1} + \frac{F2}{(1+K)^2} + \frac{F3}{(1+K)^3} + \frac{F4}{(1+K)^4} + \frac{F5}{(1+K)^5} \quad (4-8)$$

Si se sustituyen los valores de la Tabla 4.7 y el valor de K obtenido anteriormente, se tiene como resultado que $VP = 454,207.84$ el cual, al compararlo con la inversión inicial es mayor, por lo que el proyecto es viable y se acepta a este costo de capital esto es:

$$454,207.84 > 208,000$$

Para obtener el valor presente neto (VPN), se resta el valor presente (VP) a la inversión inicial, de tal forma que si esta diferencia es cero o mayor de cero, el proyecto es considerado viable y se puede aceptar (Hernández y Villalobos, 2001).

$$VPN = VP - \text{Inversión inicial} \quad (4-9)$$

$$VPN = 454,207.84 - 208,000 = 246,207.87$$

Como la cantidad obtenida es mayor a cero el proyecto se considera viable y es posible aceptarlo.

Ahora si evaluamos el proyecto por el método de tasa interna de retorno (TIR), se realiza lo siguiente. Este método consiste en igualar la inversión inicial, con la suma de los flujos actualizados, a una tasa de descuento (i) supuesta, que haga posible su igualdad, ahora si la tasa de interés que hizo posible su igualdad es igual o mayor al costo del capital (K), el proyecto se acepta, de lo contrario es rechazado (Hernández y Villalobos, 2001).

$$\text{Inversión inicial} = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} \quad (4-10)$$

Despejando a i y sustituyendo los valores del flujo de efectivo que se encuentran en la Tabla 4.7 y la inversión inicial se tiene que:

i = 1.18 puesto que i es mayor a k se acepta el proyecto.

Capítulo 5

Conclusiones

Se cumplió el objetivo de este trabajo, pues se diseñó el prototipo del circuito electrónico de control para un sistema de tracción de un montacargas eléctrico de fácil manejo y de bajo costo.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que es viable el desarrollo de un sistema de control para montacargas eléctrico mexicano. El sistema de control compite con los modelos de importación que se encuentran actualmente en el mercado. Así mismo el prototipo a escala de este trabajo demuestra que el control es igual de confiable en comparación a los controles del mercado y puede ser fácilmente integrado en cualquier tipo de montacargas eléctrico.

La única condición de uso es considerar las diferentes condiciones eléctricas que pueden encontrarse en cada una de las clases y marcas de montacargas eléctricos.

La segunda ventaja es la reducción en el precio del controlador, si se compara el costo del desarrollo total del control con el costo de un control comercial actual.

Una tercera ventaja en cuestión de partes de recambio es la facilidad de encontrar los componentes electrónicos que componen el circuito, ya que todos los componentes son comercializados en México. De la misma forma, con este proyecto se demuestra la facilidad de construir el circuito así como el remplazo de piezas para su reparación y su pronta puesta en marcha del montacargas.

Se reduce el uso excesivo del lote de montacargas de la empresa debido a que los montacargas activos cubren la operación de los que se encuentran inactivos; lo cual también reduce el forzamiento y aumenta las horas de operación de un montacargas.

Es factible el diseño y construcción de un prototipo del circuito electrónico de control para el sistema de tracción de un montacargas eléctrico de fácil manejo y de bajo costo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRIGTH, 2002. Datasheet SW80 Series of DC. Contactors. Publicación de Albright International LTD. Peekskill, Nueva York. EE.UU.

Angulo, I. 2003. Microcontroladores, diseño y aplicaciones. Editado por Mc. Graw Hill. Pág 67-72. México, D.F. México.

Barriera, V. 2008. Effect of forklift operation on lower back pain: an evidence-based approach. *International Journal of Human*. 18:40-70.

BA, 2006. Baterías para móviles. Publicación de Baterías Arizona, Buenos Aires, Argentina.

BANXICO. 2012. Estadísticas de las tasas de interés representativas. Publicación del Banco de México. México, D.F., México.

Borges, C., Oliveros, N., González, A. y Fernández, F. 2010. Protecciones Eléctricas. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Eléctrica. Instituto Universitario de Tecnología. Caracas, Venezuela.

CSHUNT, 2011. Datasheet DC. Ammeter Shunts. Publicación de Canadian Shunt Industries. Toronto, Canadá.

Cárdenas, E. 1996. Estudio sobre la operación y mantenimiento de circuitos de control y potencia de los montacargas eléctricos. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Eléctrica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. México.

Carrasco, V. 2011. Grúas y horquillas. En: Revista ascensores y montacargas. Pág 1-19. ISBN Editores. Madrid. España.

CETOP, 2006. Manual de válvulas hidráulicas. Publicación de CETOP European Fluid Power. Berlín, Alemania.

Chapman, J, 2006. Máquinas Eléctricas. Editado por Mc. Graw Hill. Pág. 27-53. Sidney, Australia.

CONDUMEX, 2011. Fichas técnicas cables para la construcción. Publicado por Conductores de México SA. de CV. México, D.F. México.

Dewan, S. y Straughen A. 1975. Power semiconductors circuits. Editado por Wiley Interscience. Pág 22-27. Nueva York, EE.UU.

ELECTROSOFT, 2010. Fabricación de circuitos impresos. Publicación de Electrosoft Ingeniería. México, D.F. México.

Embid, A. 2012. Breve historia de la evolución de la vida, las civilizaciones hasta la ciencia, tecnología y medicina en China. En: Boletín Armas para Defender la Salud. México, DF. México.

Enríquez, G. 2005. Curso de transformadores y motores de inducción. Edición Limusa Noriega Editores. Pág. 515-533. México, DF. México.

DCEO, 2003. Seguridad con los montacargas. Publicación del Department of Commerce and Economic Opportunity. Chicago, Illinois, EEUU.

Farina, A. 2011. Cables y conductores eléctricos. Edición Alsina. Pág. 119-130. Buenos Aires, Argentina.

Flower, L, 2001. Controles y automatismos eléctricos, Teoría y Prácticas. Edición Panamericana. Pág. 21-42. México, DF. México.

Hernández, A. y Villalobos, A. 2001. Formulación y evaluación de proyectos de inversión para principiantes. Pág. 127-183. Editorial Thomson-Learning. México, D.F., México.

Hernández, Octavio. Entrevista realizada el 15 de agosto de 2012 en D.F., México. Entrevistador: Luis Fernando Soberanes Quintana.

Herrera, R. 2008. Manejo de materiales con uso de montacargas industriales. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora. Sonora, México.

ICONTEC, 2008. Pilas Eléctricas para montacargas. Publicación del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Medellín, Colombia.

INMOINDUSTRIAL, 2011. Montacargas industriales. Publicación de Servicios Inmobiliarios y Financieros. México, D.F. México.

Kosow, I. 1975. Máquinas eléctricas y transformadores. Edición Reverté. Pág. 87-120. Barcelona, España.

LABCENTER, 2009. Proteus design software. Publicación de Labcenter Electronics. Grassington, North Yorkshire, Inglaterra.

LAYNESAFETY, 2009. Cumplimiento de las prácticas de seguridad en montacargas. Publicación de Layne Safety & Enviromental Health Sciences. Kansas, EE.UU.

Ledo, O. 1996. Ascensores y montacargas. Edición Ceac. Pág. 30-67. Madrid, España.

Llamas, A. 2008. Montacargas automático. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Robótica Industrial. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional. México, DF. México.

Lister, E. 1975. Máquinas y circuitos eléctricos. Edición Mc Graw Hill. Pág. 27-33. México, DF. México.

MICROCHIP, 2009. Datasheet PIC18F4550. Publicación de Microchip Technology Inc. Chandler. Arizona. EE.UU.

MVM, 2011. Montacargas y patines hidráulicos. Publicación de Montacargas de Valle de México. D.F., México.

NOM, 2000. NOM-006-STPS-2000. Publicado por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México, D.F., México.

PHILIPS, 1999, Datasheet MOSFET IRFZ48. Publicación de Philips Semiconductors. Koninklijke, Holanda.

OSHA, 2011. Powered industrial forklifts trucks. Publicación del Occupational Safety & Health Administrator. Washington, DC. EE.UU.

OTIS, 2010. Historia de OTIS, Publicación de OTIS Elevator Company. Berlín, Alemania.

Rashid, M, 2009. Electrónica de potencia circuitos, dispositivos y aplicaciones. Edición Prentice Hall. México, D.F., México.

Ryan, J. y Ryan N. 2006. Forklift and stacker manual. Edición Donegal Bay. Pág. 87- 95. EE.UU.

Sanz, F. 2002. Máquinas eléctricas. Edición Pearson Education. Pág. 43-57. Madrid, España.

SB, 2006. Manual de selección y operación de equipos hidráulicos, Publicación de Schrader Bellows Hydraulic and Heavy Futy Pneumatic Cylinders. Ohio, EE.UU.

SEMAC. 2009. Ergonomía de operadores en montacargas. Publicación de la Sociedad de Ergonomistas de México. México, D.F. México.

SHARP, 1996. Datasheet Photocoupler PC817. Publicación de Sharp Corporation. Osaka, Japón.

Sifuentes, S. 2005. Proyecto de inversión para el servicio de alquiler de montacargas. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

TOYOTA, 2010. Historia Toyota. Publicación de Toyota Tsusho Corporation. Toyota, Aichi, Japón.

VICKERS, 1997. Manual de hidráulica industrial. Publicación de Vickers Eaton Corporation. Madrid, España.

YALE, 2008. Yale History. Publicación de Yale Materials Handling Corporation. Cleveland, Ohio, EE.UU.

Anexo A

En la Figura A.1 y Figura A.2 se muestra el diagrama de flujo del programa de sistema de control implementado.

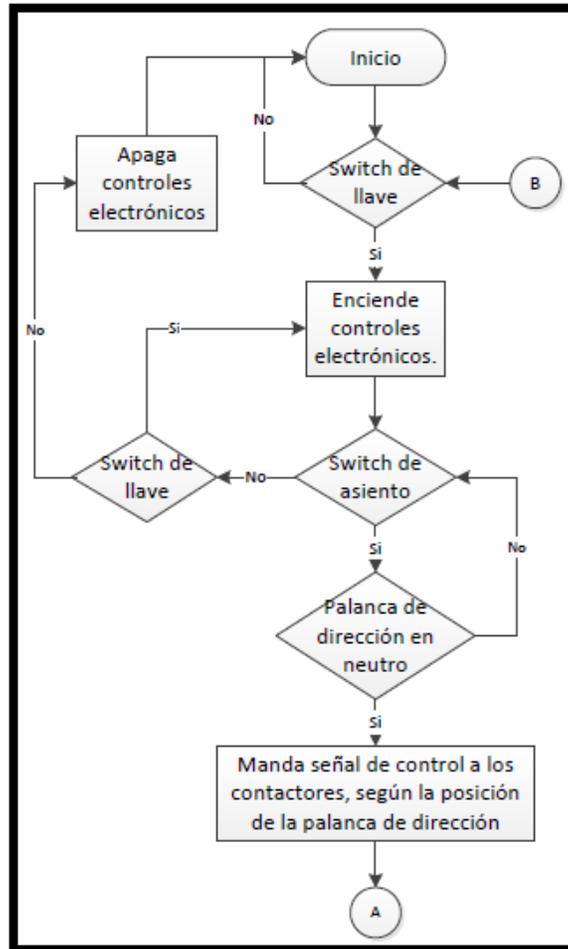


Figura A.1 Diagrama de flujo del programa de sistema de control, primera parte

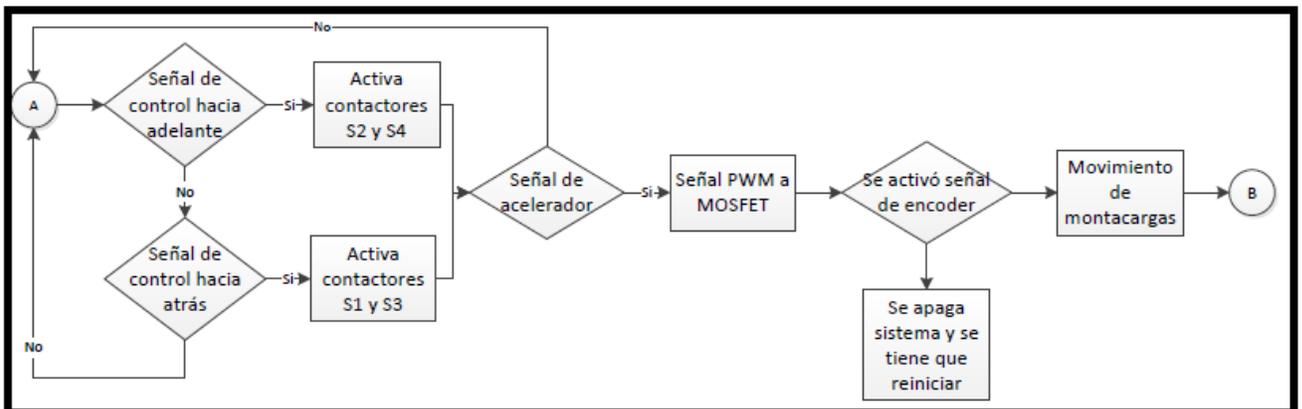


Figura A.2 Diagrama de flujo del programa de sistema de control, segunda parte

En la Figura A.3, Figura A.4, Figura A.5, Figura A.6, Figura A.7y Figura A.8 se muestra el código fuente que se encuentra programado en el microprocesador principal, este se desarrolló en el compilador C18.

```
#include<p18F4550.h>
#include<timers.h>
#pragma config FOSC=INTOSCIO_EC//Se usa el reloj interno
#pragma config CPUDIV=OSC1_PLL2
#pragma config USBDIV=1
#pragma config VREGEN=OFF
#pragma config FCMEN=OFF, IESO=OFF
#pragma config PWRT=ON, BO=OFF, BORV=0
#pragma config WDT=OFF, WDTPS=32768
#pragma config MCLRE=ON, LPT1OSC=OFF, PBADEN=OFF, CCP2MX=OFF
#pragma config STVREN=OFF, LVP=OFF, XINST=OFF, DEBUG=OFF
#pragma config CP0=OFF, CP1=OFF, CP2=OFF
#pragma config CPB=ON, CPD=ON
#pragma config WRT0=OFF, WRT1=OFF, WRT2=OFF
#pragma config WRTB=OFF, WRTC=OFF, WRTD=OFF
#pragma config EBTR0=OFF, EBTR1=OFF, EBTR2=OFF
#pragma config EBTRB=OFF
//////////////////Variables de entrada////////////////////////////////////
#define LLAVE PORTBbits.RB6
#define ASIENTO PORTBbits.RB7
#define ADELANTE PORTBbits.RB5
#define ATRAS PORTBbits.RB4
#define ENCODER PORTBbits.RB2
//////////////////Variables de salida////////////////////////////////////
#define ELEC LATDbits.LATD0
#define ASIENT LATDbits.LATD1
```

Figura A.3 Primera parte de código fuente de microprocesador principal

```

#define REL2 LATDbits.LATD3
#define REL3 LATDbits.LATD4
#define REL4 LATDbits.LATD5
#define TIMER0L_VAL 0xE8
#define TIMER0H_VAL 0xFD
//////////Funciones internas acorde a variables de entrada//////////
void adelante (void);
void atras (void);
void apaga (void);
void apaga1 (void);
void apaga2 (void);
void Configurar_PWM (void);
void Configurar_ADC(void);
//////////Variables internas del programa//////////
int get_ADC (void);
int dos;
int CONDICION;
//////////INICIO DE PROGRAMA//////////
void main (void)
{
    OSCCON=0b01110000; //Se configura el reloj interno a 8 MHz
    ADCON1 |= 0x0F; //Se configura los pines como digitales
    TRISB=0b11111111; //Se configura al puerto B como entradas
    TRISD=0b00000000; //Se configura al puerto D como salidas
    PORTD=0b00000000; //Se limpia el puerto D
    INTCON2bits.RBPU=0;//Se limpia el pin B2

```

Figura A.4 Segunda parte de código fuente de microprocesador principal

```

Configurar_PWM(); //Se manda llamar la función para configurar la señal PWM
while(1)
{
dos=get_ADC(); //El resultado de la conversión A/D se guarda en la variable "dos"
dos=dos&0x3FC; //Se aplica la función AND a "dos" para quedarnos con los bits
                //altos
dos=(dos>>2); //Se realiza esta operación con el fin de quedarnos con los 8 bits
                //altos y se guarda en la variable "dos" de nuevo*/
CCPR1L=dos; /*El resultado de la conversión se asigna como ciclo de trabajo para
                la señal PWM*/
if(ENCODER ==1) //Condición que debe cumplirse para que el programa inicie
{
if(ADELANTE==1 && ATRAS==1) //Condición para evitar arranques inmediatos
{
CONDICION=1;
}
if(LLAVE==0) //Condición si la llave se encuentra en posición//
{
ELEC=1;
if(LLAVE==0 && ASIENTO==0 && CONDICION==1) //Condiciones para empezar
                //movimiento en el montacargas
{
ASIENT=1;
if(ADELANTE==0 && ATRAS==1 && ASIENTO==0)
{
adelante(); //Llamado de función para activar contactores hacia adelante
}
}
}
}
}

```

Figura A.5 Tercera parte de código fuente de microprocesador principal

```
else if (ADELANTE==1 && ATRAS==0 && ASIENTO==0)
{
atras(); //Llamado de función para activar contactores de ir hacia atras//
}
else
{
apaga2();
}
}
else
{
apaga1();
}
}
else
{
apaga();
}
}
else
{
apaga();
}
}
}
```

Figura A.6 Cuarta parte de código fuente de microprocesador principal

```

//////////////////////////////////SUBRUTINAS//////////////////////////////////
void adelante (void)
{
REL1=1;
REL2=1;
REL3=0;
REL4=0;
}
void atras (void)
{
REL1=0;
REL2=0;
REL3=1;
REL4=1;
}
void apaga (void)
{
REL1=0;
REL2=0;
REL3=0;
REL4=0;
CONDICION=0;
ASIENT=0;
ELEC=0;
}
void apaga1 (void)
{

```

Figura A.7 Quinta parte de código fuente de microprocesador principal

```

{
int resultado; // se da de alta variable interna de la función
ADCON0bits.GO=1; //SE inicia el convertidor analógico digital
while(ADCON0bits.NOT_DONE); //Condición para esperar que la conversión este completa
resultado = (int)(ADRESH*256) + ADRESL; //Se guarda el resultado de la conversión en variable
return resultado; //La valor de la variable "resultado" se regresa a programa principal
}

void Configurar_ADC (void)
{
TRISAbits.TRISA0=1; //Se configura el bit A0 como entrada
ADCON0=0x01; //Se habilita el convertidor A/D
ADCON2=0x3C; //Se configura el convertidor con pre escalador fosc/4
ADCON2bits.ADFM = 1; //Se configura para justificación a la izquierda
}

```

Figura A.8 Sexta parte de código fuente de microprocesador principal

Anexo B

Ahora en las Figura B.1 y Figura B.2 se muestra el código fuente desarrollado para el microprocesador secundario, este código fuente fue desarrollado en el compilador CSS.

```
#include <12F683.h>
#fuses XT,NOVDT,PUT
int cont=0; //Variable interna de programa
#int_TIMER0 //Inicio de función de interrupción por desbordamiento de TIMER0
void TIMER0_isr (void)
{
    set_timer0(128); //Se coloca valor a Timer0 para control de velocidad
    cont=0; //Variable "cont" en cero, esta variable es la encargada de recibir
           //las señales del encoder
}
#INT_EXT //Inicio de función de interrupción externa
ext_isr (void)
{
    cont++; //Cada que hay cambio en estado de bajo a alto aumenta
           //"cont" para ser comparada para el control de velocidad
}
void main()
{
    setup_oscillator(OSC_1MHZ); //Se configura el reloj interno a 1MHz
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256); //Configuración timer0
    set_timer0(128); //Carga del timer0
    set_tris_A(0b00000100); //Se configura el bit A3 como entrada
                           //y los demás bits como salidas
    ext_int_edge(L_TO_H); //Se configura la interrupción externa para
                        //cambio de estado de bajo a alto
    enable_interrupts(int_ext); //Se habilita la interrupción externa
    enable_interrupts(INT_TIMER0); //Habilita interrupción timer0
```

Figura B.1 Primera parte de código fuente de microprocesador secundario

```
enable_interrupts(GLOBAL); //Habilita int. general
output_high(PIN_A0); //Se coloca el bit A0 en alto
while (true)
{
if (cont >= 120) //Se compara la variable "cont" con el número máximo de pulsos
{
//que se pueden recibir a la velocidad de control
output_low(PIN_A0); //En el caso de que la variable sea mayor a los pulsos
}
//permitidos se manda señal a controlador principal
}
}
```

Figura B.2 Segunda parte de código fuente de microprocesador secundario