



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
FRENOS REGENERATIVOS EN UN CHEVROLET VITARA,  
PARA ENCENDER LOS EXTRAS DEL VEHÍCULO Y EVITAR  
PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL MOTOR.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**JOSÉ DAVID CORRAL GUERRA**

**DIRECTOR: ING. MILTON REVELO, MSC.**

**Quito, agosto 2016**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016  
Reservados todos los derechos de reproducción

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717793895
APELLIDO Y NOMBRES:	Corral José David
DIRECCIÓN:	Quito Norte
EMAIL:	lennonguerra10@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	2532981
TELÉFONO MOVIL:	0995325658

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis, diseño e implementación de un Sistema de frenos regenerativos en un Chevrolet Vitara, para encender los extras del vehículo y evitar pérdidas de potencia en el motor.
AUTOR O AUTORES:	José David Corral Guerra
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	20 de Mayo del 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ingeniero Milton Revelo MSc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente proyecto se basó en el desarrollo del análisis, diseño y posterior implementación de un sistema regenerativo de frenos en un vehículo liviano situado en la ciudad de Quito, para evitar la disminución de las potencia generada por la demanda extra de trabajo del alternador al motor de combustión interna y consistió en la recuperación de la energía que por lo general se pierde en el proceso de frenado mediante un generador acoplado a la rueda del automóvil que fue controlado por el pedal del freno, el cual fue conectado a un acumulador o batería para su respectiva carga. Luego de las pruebas de campo realizadas, se obtuvieron resultados favorables, donde se vio reflejado una disminución considerable de potencia del régimen normal de funcionamiento del motor, debido a que los sistemas extras del vehículo estuvieron

	<p>consumiendo energía de la batería por ende el motor tuvo que realizar un trabajo extra al intentar cubrir la demanda de carga del alternador, de igual manera se realizaron las pruebas con un sistema didáctico de freno regenerativo montado en la rueda posterior del automóvil, en el cual se obtuvo una carga de 2V recibida por el acumulador, siendo una solución válida al problema planteado.</p>
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	<p>Freno regenerativo, recuperación de energía, generador, energía cinética, acumulador, potencia, Chevrolet, motor de combustión interna, frenos.</p>
<b>ABSTRACT:</b>	<p>This project was based on the development of analysis, design and subsequent implementation of a regenerative braking system in a light vehicle located in the city of Quito, to prevent loss of power generated by the additional demand for labor alternator to the engine internal combustion and consisted of the recovery of energy that is usually lost in the braking process by a generator coupled to the wheel of the car that was controlled by the brake pedal, which was connected to an accumulator or battery their respective load. After the field tests, favorable results were obtained, which was reflected a substantial derating of normal operation of the engine, because the extra vehicle systems were consuming battery power thus the engine had to do extra when trying to meet the demand for alternator charge, just as work tests were performed with a didactic regenerative braking system mounted on the rear wheel of the car, in which a load of 2V received by the accumulator was obtained, It is a valid solution to the problem.</p>
<b>KEYWORDS:</b>	<p>Regenerative brake, energy recovery, generator, power, accumulator, power, kinetic, Chevrolet, internal combustion engine, brakes.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: \_\_\_\_\_

CORRAL GUERRA JOSE DAVID

1717793895

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CORRAL GUERRA JOSE DAVID**, CI 1717793895 autor del proyecto titulado: **Análisis, diseño e implementación de un Sistema de frenos regenerativos en un Chevrolet Vitara, para encender los extras del vehículo y evitar pérdidas de potencia en el motor.** Previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, Agosto del 2016




f: \_\_\_\_\_  
CORRAL GUERRA JOSE DAVID

1717793895

## DECLARACIÓN

Yo **JOSE DAVID CORRAL GUERRA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

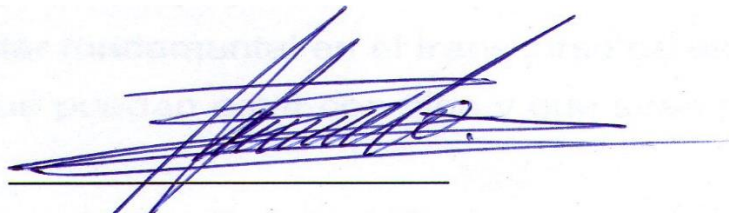


---

José David Corral Guerra  
C.I. 171779389-5

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Análisis, diseño e implementación de un sistema de frenos regenerativos en un Chevrolet Vitara, para encender los extras del vehículo y evitar pérdidas de potencia en el motor**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Automotriz** fue desarrollado por **José David Corral Guerra**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Milton Revelo, MSc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
C.I. 0400728242

## DEDICATORIA

En primer lugar a Dios que con su sabiduría y amor supo guiarme y darme fuerzas para finiquitar esta carrera y dar por hecha una meta más en mi vida. Toda mi carrera y el sacrificio diario que tuve que realizar esta dedicado para toda mi familia con mucho cariño.

A mi querida Madre Rosario Guerra por su apoyo incondicional, paciencia, amor y sacrificio.

A mi luchador Padre Fabián Corral por sus palabras de aliento y guía que estuvieron cuando más las necesite.

A mis Hermanos Belén y Paúl que con sus familias supieron estar pendientes de mí y ser un pilar fundamental en el transcurso de esta carrera.

Me siento orgulloso y feliz que puedan estar conmigo y que sean parte de mi vida.

"La voluntad obstinada de perseguir una ambición propia es verdaderamente una fuerza que puede hacer superar obstáculos" – Enzo Ferrari



## **AGRADECIMIENTO**

Gracias infinitas a Dios por haberme concedido salud y vida para poder llegar a cumplir esta meta y de llenarme de bendiciones en todo momento.

Agradezco a mis Padres por su arduo trabajo y sacrificio que tuvieron que hacer para que yo pueda cumplir un sueño y una meta de vida, esto es para ustedes y por ustedes. Les estoy eternamente agradecido por confiar y creer en mí.

Gracias a mis dos hermanos mayores que siempre estuvieron presentes apoyándome y motivándome para que llegara a cumplir mi objetivo.

A toda mi gran Familia les agradezco de corazón por ser una parte fundamental en todo este proceso, gracias por sus consejos, confianza y solidaridad que tuvieron y tienen hacia mí.

Quiero agradecer a mi querida novia Karla por ser mi apoyo y brindarme ese empujón adicional que necesitaba para seguir adelante.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Milton Revelo por las innumerables enseñanzas que me impartió a lo largo de la carrera y por su ayuda para llegar a cabo este proyecto. Gracias Inge!

Y finalmente deseo hacer una mención especial a la Universidad Tecnológica Equinoccial por abrirme sus puertas y en donde gracias a sus grandes profesores y a sus enseñanzas me pude formar como persona y profesional.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 SISTEMAS DE FRENO .....	3
2.1.1 FRENOS HIDRÁULICOS .....	4
2.1.1.1 Componentes .....	4
2.1.1.2 Funcionamiento.....	5
2.1.1.3 Diagrama freno hidráulico .....	5
2.1.2 FRENOS NEUMÁTICOS.....	6
2.1.2.1 Componentes .....	6
2.1.2.2 Funcionamiento.....	6
2.1.3 FRENOS DE DISCO .....	7
2.1.3.1 Frenos de Disco Ventilados.....	7
2.1.3.2 Frenos de Disco Sólidos.....	8
2.1.3.3 Componentes .....	8
2.1.3.4 Funcionamiento.....	9
2.1.4 FRENO DE TAMBOR.....	9
2.1.4.1 Componentes .....	9
2.1.4.2 Funcionamiento.....	10
2.2 FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS .....	10
2.2.1 ELECTROMAGNETISMO .....	10
2.2.1.1 Fundamentos .....	11
2.2.2 SISTEMA DE CARGA DEL VEHICULO .....	11
2.2.2.1 Funcionamiento.....	11

2.2.3 ACUMULADORES .....	12
2.2.3.1 Funcionamiento.....	14
2.2.3.2 Tipos de Batería.....	14
2.2.3.3 Comprobaciones y fallas .....	16
2.2.4 ALTERNADORES .....	17
2.2.4.1 Funcionamiento.....	17
2.2.4.2 Tipos de alternadores.....	18
2.2.4.3 Fallas .....	21
2.2.5 EXTRAS ELÉCTRICOS DEL VEHÍCULO .....	21
2.3 INDUCCION ELECTROMAGNÉTICA.....	24
2.3.1 VARIACIÓN DEL FLUJO ELECTROMAGNÉTICO .....	24
2.4 FRENO REGENERATIVO.....	26
2.4.1 TIPOS DE FRENOS REGENERATIVOS .....	26
2.4.1.1 Freno dinámico regenerativo.....	26
2.4.1.2 Freno regenerativo de volante libre .....	27
2.4.2 ESQUEMAS .....	28
2.4.3 SISTEMA KERS.....	30
2.4.4 FUNCIONAMIENTO.....	30
2.4.5 PARTES.....	31
2.4.6 ESQUEMA ELECTRICO .....	32
2.5 POTENCIA DEL MOTOR .....	32
2.5.1 REGIMEN NORMAL DE OPERACIONES.....	33
2.5.2 SENSOR HALL .....	34
2.5.3 MICROCONTROLADOR.....	35
2.5.4 PERDIDAS DE POTENCIA .....	33
2.6 ECUACIONES GENERALES .....	36
2.6.1 PAR EN LAS RUEDAS .....	37
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>

4.1 DISEÑOS .....	46
4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	46
4.2.1 ACOPLAMIENTO DE SOLENOIDES O BOBINAS.....	47
4.2.2 ACOPLAMIENTO DE IMANES .....	47
4.3 PARTE ELECTRÓNICA.....	49
4.3.1 SEÑAL DE ENTRADA ANALÓGICA .....	50
4.3.2 REGULADOR DE ENERGÍA.....	51
4.3.3 FUNCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	52
4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO .....	55
4.4.1. Cálculo estructural de los brazos auxiliares del sistema regenerativo.....	61
4.4.1.1. Cálculo del momento puntual ejercido en el elemento A.....	63
4.4.1.2 Cálculo del momento puntual ejercido en el elemento B.....	72
4.5 BALANCE ENERGETICO. ....	79
4.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	82
4.6.1 PRUEBAS SIN SISTEMA REGENERATIVO.....	82
4.5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON SISTEMA REGENERATIVO .....	84
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	97
5.2 RECOMENDACIONES.....	98
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Datos técnicos del Chevrolet Vitara .....	64
<b>Tabla 2.</b> Cálculo de la relación de transmisión al final del sistema de transmisión .....	65
<b>Tabla 3.</b> Cálculo del par en las ruedas para cada velocidad.....	65
<b>Tabla 4.</b> Cálculo de la flecha máxima .....	68
<b>Tabla 5.</b> Tabla de deformaciones admisibles por reglamento (CIRSOC) .....	69
<b>Tabla 6.</b> Cálculo de la flecha máxima .....	75
<b>Tabla 7.</b> Potencia o energía mecánica que se transmite en las llantas .....	80
<b>Tabla 8.</b> Potencia o energía mecánica que se transmite en las llantas .....	81
<b>Tabla 9.</b> Resumen de los cálculos de transformación de energía y medición .....	82
<b>Tabla 10.</b> Datos de corriente alterna a diferentes velocidades del automóvil. ....	87
<b>Tabla 11.</b> Datos de corriente continua a diferentes velocidades del automóvil. ....	88
<b>Tabla 12.</b> Mediciones de la corriente continua a diferentes posiciones del potenciómetro a diferentes velocidades del automóvil. ....	89
<b>Tabla 13.</b> Parámetros de energía obtenidos a diferentes velocidades del automóvil. ....	90
<b>Tabla 14.</b> Potencia de extras instalados en el vehículo .....	92
<b>Tabla 15.</b> Potencia teórica entregada por el motor en relación al par motor máximo y rpm .....	93
<b>Tabla 16.</b> Pérdida de potencia evidenciada en el vehículo para cada rpm .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Sistemas de frenado .....	3
<b>Figura 2.</b> Partes componentes del sistema de freno hidráulico .....	4
<b>Figura 3.</b> Servo freno y cilindro maestro.....	5
<b>Figura 4.</b> Diagrama Freno Hidráulico .....	5
<b>Figura 5.</b> Diagrama del sistema neumático de freno .....	6
<b>Figura 6.</b> Disco de freno refrigerado.....	7
<b>Figura 7.</b> Disco de freno sólido.....	8
<b>Figura 8.</b> Componentes del sistema de disco de freno vista A .....	9
<b>Figura 9.</b> Partes componentes del sistema de freno de tambor.....	10
<b>Figura 10.</b> Inducción eléctrica .....	11
<b>Figura 11.</b> Circuitos del sistema de carga del vehículo .....	12
<b>Figura 12.</b> Circuito Básico de carga de Batería de Ion-Litio.....	13
<b>Figura 13.</b> Partes componentes de una batería .....	14
<b>Figura 14.</b> Batería de plomo.....	14
<b>Figura 15.</b> Batería alcalina .....	15
<b>Figura 16.</b> Baterías Níquel-Hidruro (Ni-H) .....	15
<b>Figura 17.</b> Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd).....	16
<b>Figura 18.</b> Baterías Litio-Ión (Li-ion) .....	16
<b>Figura 19.</b> Comprobación del voltaje de la batería con multímetro .....	17
<b>Figura 20.</b> Despiece de un alternador .....	18
<b>Figura 21.</b> Alternadores de polos intercalados con anillos colectores .....	19
<b>Figura 22.</b> Alternador compacto, partes componentes .....	19
<b>Figura 23.</b> Alternador monoblock, partes componentes .....	20
<b>Figura 24.</b> Alternadores de polos individuales con anillos colectores .....	20
<b>Figura 25.</b> Alternador compacto de refrigeración líquida .....	21
<b>Figura 26.</b> Barra Led. ....	22
<b>Figura 27.</b> Wincha eléctrica para automóviles .....	22
<b>Figura 28.</b> Tiras Led .....	23
<b>Figura 29.</b> Equipo de audio del vehículo .....	23
<b>Figura 30.</b> Equipos auxiliares para conexión de extras .....	23

<b>Figura 31.</b> Campo magnético .....	24
<b>Figura 32.</b> Flujo magnético de un motor .....	25
<b>Figura 33.</b> Flujo magnético de un alternador .....	25
<b>Figura 34.</b> Funcionamiento del sistema de frenos regenerativos.....	27
<b>Figura 35.</b> Freno regenerativo de cuerpo sólido o volante libre .....	27
<b>Figura 36.</b> Funcionamiento de almacenamiento de energía .....	28
<b>Figura 37.</b> Esquema de funcionamiento del sistema de freno regenerativo Mazda .....	29
<b>Figura 38.</b> Esquema de funcionamiento de un sistema de freno regenerativo.....	29
<b>Figura 39.</b> Motor - Generador .....	30
<b>Figura 40.</b> Circuito básico de la batería de Ion-litio.....	31
<b>Figura 41.</b> Partes componentes de un auto con freno regenerativo .....	31
<b>Figura 42.</b> Diagrama de flujo eléctrico y mecánico del sistema de freno regenerativo existente en autos híbridos .....	32
<b>Figura 43.</b> Curva par motor-potencia frente a las revoluciones de giro del motor.....	33
<b>Figura 44.</b> Microcontrolador .....	35
<b>Figura 45.</b> Motor DC sin escobillas .....	36
<b>Figura 46.</b> Devanado de bobinas .....	42
<b>Figura 47.</b> Conexión Bobinado ondulado .....	42
<b>Figura 48.</b> Potenciómetro utilizado .....	43
<b>Figura 49.</b> Conexiones Potenciómetro .....	43
<b>Figura 50.</b> Dimensiones de los imanes .....	44
<b>Figura 51.</b> Disposición de imanes en el generador.....	44
<b>Figura 52.</b> Disposición de los Imanes dentro del generador.....	44
<b>Figura 53.</b> Principio de funcionamiento del sistema de frenos regenerativos.....	46
<b>Figura 54.</b> Acoplamiento de las bobinas en el generador.....	47
<b>Figura 55.</b> Acoplamientos de imanes al tambor .....	48
<b>Figura 56.</b> Juego de imanes acoplados al estator .....	48
<b>Figura 57.</b> Despiece de Motor Brushless .....	50

<b>Figura 59.</b> Fuente de conmutación.....	51
<b>Figura 60.</b> Sistema de Control que utiliza un Micro controlador de 8 bits.....	52
<b>Figura 61.</b> Esquema simplificado de un sistema de control.....	53
<b>Figura 62.</b> Secuencia de alimentación de las bobinas para una revolución eléctrica .....	54
<b>Figura 63.</b> Estado de los sensores de efecto Hall y las bobinas.....	54
<b>Figura 64.</b> Aro trasero del vehículo .....	55
<b>Figura 65.</b> Proceso de maquinado del disco soporte.....	56
<b>Figura 66.</b> Uso de los medios de protección .....	56
<b>Figura 67.</b> Ajuste del disco soporte en el aro .....	57
<b>Figura 68.</b> Montaje del disco o conjunto regenerativo al aro .....	57
<b>Figura 69.</b> Fabricación de los orificios roscados en la pestaña del aro.....	58
<b>Figura 70.</b> Montaje del sistema regenerativo en el vehículo.....	58
<b>Figura 71.</b> Fabricación del brazo auxiliar.....	59
<b>Figura 72.</b> Elemento de unión del brazo auxiliar al chasis del vehículo.....	60
<b>Figura 73.</b> Equipo de suelda MIG.....	60
<b>Figura 74.</b> Ajuste y montaje del sistema regenerativo .....	61
<b>Figura 75.</b> Elementos del sistema de brazos auxiliares.....	62
<b>Figura 76.</b> Diagrama de cuerpo libre del elemento A. ....	63
<b>Figura 77.</b> Diagrama de cuerpo libre del elemento B. ....	63
<b>Figura 78.</b> Diagrama de reacciones .....	66
<b>Figura 79.</b> Diagrama de fuerzas cortante momento flector .....	67
<b>Figura 80.</b> Diagrama de reacciones .....	72
<b>Figura 81.</b> Diagrama de fuerzas cortante momento flector.....	74
<b>Figura 82.</b> Diagrama de la ecuación general del balance energético. ....	79
<b>Figura 83.</b> Sentido y tipos de energía que se transforman de un subsistema a otro dentro del sistema.....	79
<b>Figura 84.</b> Sentido y tipos de energía que se transforman de un subsistema a otro dentro del sistema.....	80
<b>Figura 85.</b> Medición de amperaje y voltaje entregado al sistema .....	81
<b>Figura 86.</b> Medición de voltaje de la batería con el multímetro.....	83



<b>Figura 87.</b> Funcionamiento sin extras conectados .....	83
<b>Figura 88.</b> Lectura de la pistola estroboscópica .....	83
<b>Figura 89.</b> Circuito de instalación .....	84
<b>Figura 90.</b> Conexión de elementos .....	85
<b>Figura 91.</b> Voltaje obtenido con el pedal de freno al 60 % de recorrido .....	85
<b>Figura 92.</b> Voltaje obtenido con posición del pedal de freno al 90% al 95% .....	86
<b>Figura 93.</b> Funcionamiento del potenciómetro del pedal de freno .....	86
<b>Figura 94.</b> Funcionamiento del sistema regenerativo .....	87
<b>Figura 95.</b> Comportamiento de generación a diferentes velocidades. ....	87
<b>Figura 96.</b> Comportamiento de generación a diferentes velocidades. ....	88
<b>Figura 97.</b> Medición de carga de las baterías.....	88
<b>Figura 98.</b> Comportamiento del voltaje obtenido en las diferentes posiciones del potenciómetro del pedal de freno a 60 Km/h. ....	91
<b>Figura 99.</b> Representación de la potencia a diferentes cargas totales .....	94
<b>Figura 100.</b> Representación de la potencia al incluir carga al sistema .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1.</b> Diseño del elemento no. 1 del brazo soporte. ....	103
<b>ANEXO 2.</b> Vistas del elemento no. 1 del brazo soporte.....	104
<b>ANEXO 3.</b> Diseño del elemento no. 2 del brazo soporte. ....	105
<b>ANEXO 4.</b> Vistas del elemento no. 2 del brazo soporte.....	106
<b>ANEXO 5.</b> Diseño del elemento no. 3 disco soporte del sistema regenerativo.....	107
<b>ANEXO 6.</b> Vistas del elemento no. 3 del disco soporte. ....	108
<b>ANEXO 7.</b> Diseño del elemento no. 4 soporte del sistema de brazos.....	109
<b>ANEXO 8.</b> Vistas del elemento no.4 soporte del sistema de brazos. ....	110
<b>ANEXO 9.</b> Norma y características de los aceros bajo la norma de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM).....	111
<b>ANEXO 10.</b> Material de apoyo (Prontuario básico de estructuras simples) .....	112

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se pudo sintetizar el diseño, construcción e implementación de un sistema de freno regenerativo, en un vehículo convencional Chevrolet Vitara, y en el cual se logró recuperar 238 J de energía regenerativa perdida en la acción de frenado. El proyecto consistió en recuperar la energía cinética que se perdía cuando el vehículo entraba en el proceso de frenado y la cual se almacenó en un acumulador para ser utilizada por los extras del vehículo. Se trabajó bajo el principio de que un motor eléctrico puede ser utilizado también como generador de energía. El sistema de frenos didácticos regenerativos, que mediante elementos constructivos, se acopló a la rueda posterior, la cual por el movimiento producido por el eje dio los giros necesarios para que el generador actué transformando la energía cinética del vehículo en energía eléctrica de corriente alterna, la cual va dirigida a un controlador eléctrico que hace de rectificador y regulador de energía, el cual mandaba la carga necesaria para suplir las necesidades de alimentación de la batería extra que se utilizó. Mediante pruebas se llegó a constatar que el porcentaje de pérdida de potencia es de 14% con los consumidores eléctricos convencionales y del 30% con los consumidores eléctricos extras, lo que se traduce en una pérdida de 0.8 Hp y 1.1 Hp, de igual manera se verificó que el generador a 95% de recorrido del pedal de freno a 60 Km/h transmitía 24.5 V y 19.47 A, logrando alimentar eficazmente al acumulador, lo cual resolvió el problema existente de pérdida de potencia que sufre el motor de combustión interna debido al alternador. Todo el sobre esfuerzo realizado por parte de la polea del cigüeñal cuando el alternador, por diferentes razones, demanda de una carga más elevada, fue suplido por la implementación, en la rueda posterior del vehículo, de un sistema regenerativo, el cual se encargó de proveer la carga necesaria a un acumulador que fue utilizado para accionar los diferentes y muy variados sistemas eléctricos extras incluidos en el automóvil, dando como resultado un menor consumo de combustible y mayor vida útil del motor.

## ABSTRACT

In the present research work could synthesize the design, construction and implementation of a regenerative braking system in a conventional vehicle Chevrolet Vitara, and which was recovered 238 J of regenerative energy lost in braking action. The project was to recover kinetic energy lost when the vehicle entered the braking process and which is stored in an accumulator for use by the vehicle extras. He worked under the principle that an electric motor can also be used as a power generator. The system of regenerative teaching brakes, which by construction elements, coupled to the rear wheel, which by the movement produced by the shaft gave the necessary orders for the generator acted transforming the vehicle's kinetic energy into electrical energy AC, which is aimed at making an electrical controller rectifier and energy regulator, which sent the necessary to meet the food needs extra battery charge was used. By testing was reached to note that the percentage of power loss is 14% with conventional electricity consumers and 30% with the extra power consumers, resulting in a loss of 0.8 Hp and 1.1 Hp, the same way he verified that the generator to 95% travel of the brake pedal 60 Km / h transmitting 24.5 V and 19.47 a, achieving effectively feed the accumulator, which solve the existing problem of power loss suffered by the internal combustion engine due to alternator. The whole on efforts by the crankshaft pulley when the alternator, for different reasons, demand for a higher load, was supplemented by the implementation, on the rear wheel of the vehicle, a regenerative system, which was responsible for provide the necessary charge a battery that was used to power the various and varied extras including electrical systems in the car, resulting in lower fuel consumption and longer life engine

## **INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible y el rendimiento del motor a cierto régimen de giro son dos factores importantes que se ven afectados por el uso de energía en el vehículo, ya que la geometría con la que vienen acopladas las poleas tanto del cigüeñal como del alternador que es el elemento de carga de la batería, da como resultado que un cierto porcentaje de potencia se pierda.

En la actualidad lo que se busca en los automotores es menor consumo de combustible y el mayor rendimiento del motor, es así que este proyecto buscará mantener la potencia del motor cuando el usuario desee encender extras en su vehículo, mediante la utilización de una batería.

En el campo automotriz los avances tecnológicos son innumerables, el tema de los frenos regenerativos, son usados por los autos híbridos para poder cargar sus baterías, en el proyecto se usará el mismo principio para cargar un acumulador que servirá para encender los llamados equipamientos extras de un vehículo como pueden ser lámparas halógenos, barras Led, wincha, equipo de audio, etc.

Tecnológicamente hablando este sistema ya se lo utiliza desde hace mucho tiempo atrás, lo que se trata de analizar es la versatilidad del mismo y como poder aprovechar la energía que generalmente se desperdicia, para luego ser utilizada en el futuro.

Siempre que se enciende algún tipo de sistema eléctrico incluido en los autos, las revoluciones tienden a disminuir debido a que el alternador esta acoplado mediante un sistema de poleas y bandas al cigüeñal del motor, y por ende este tiene que hacer un mayor trabajo para cargar la batería, lo que da como resultado una disminución de potencia en el motor.

La viabilidad del proyecto es positiva al existir motor generadores que cumplen la misma función del sistema regenerativo KERS, o sistema de recuperación de energía cinética.

Es aquí en donde entra el principio de funcionamiento de los frenos regenerativos para no perder esta pequeña cantidad de potencia se implementara una segunda batería que va ser cargada cuando el vehículo

entre en el proceso de frenado, es decir, que el alternador seguirá funcionando en su régimen normal de operación sin que afecte al rendimiento del motor, lo que derivará en menor resistencia al giro normal de funcionamiento del mismo, siendo esto el problema de la investigación.

La justificación del proyecto se basa en el aprovechamiento de energía por lo general desperdiciada en el momento de frenado, dicha energía está dada en forma cinética por el movimiento del vehículo, lo que se tratará de hacer es acumular esta energía que es lo suficientemente fuerte para recargar un acumulador y esta batería alterna suplirá a la batería principal del vehículo cuando se necesite encender un sistema eléctrico extra, de tal manera que se evitara el sobre esfuerzo de la polea del cigüeñal, dando como resultado menor consumo de combustible y más vida útil del motor.

Se va a realizar la implementación de un sistema de freno regenerativo en un vehículo Chevrolet Vitara, ubicado en la ciudad de Quito y con un alcance de aplicación a vehículos livianos con sistemas eléctricos extras como Barras Led, Halógenos, Sistema de Audio, entre otros.

El objetivo general propuesto para este proyecto fue, analizar, diseñar e implementar un sistema de frenos regenerativos en un Chevrolet vitara, para encender los extras del vehículo y evitar pérdidas de potencia en el motor.

Los objetivos específicos utilizados en el tema de trabajo fueron, analizar el principio de funcionamiento y componentes del sistema de frenos regenerativos, también se planteó, diseñar el sistema más apto de frenada regenerativa para ser utilizado en un vehículo con motor tipo Otto. De igual manera se propuso, implementar de manera eficaz un mecanismo de frenos regenerativos en un Vehículo Chevrolet Vitara. Y por último, realizar pruebas de campo para conocer si los sistemas de frenos regenerativos son una solución válida para la no disminución de potencia en el motor.

## **MARCO TEÓRICO**



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 SISTEMAS DE FRENO

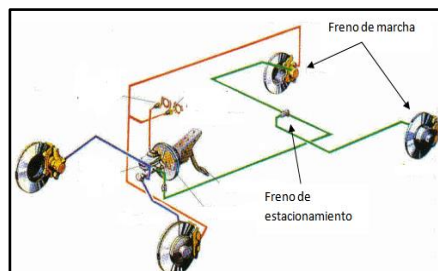
El sistema de frenos, es uno de los sistemas de mayor importancia en el vehículo, dando la eficiencia necesaria para la seguridad en conducción. La industria automovilística de hoy, desarrollan e investigan cada día más, para lograr sistemas de frenos seguros y duraderos. (Arias-Paz, 2008)

En los vehículos se puede encontrar dos posibilidades de sistema de frenado, tal como se observa en la figura 1.

- Frenos de marcha: El conductor lo opera a través del pedal de freno del automóvil, al ser accionado este se disminuye la velocidad o se detiene el vehículo por completo. (Orozco, 2015)
- Frenos de estacionamiento: Es producido por el conductor del automotor cuando este está detenido para ser estacionado, a través de una palanca. (Orozco, 2015)

Los sistemas de frenos pueden ser accionados de cuatro diferentes formas básicas: (Arias-Paz, 2008)

- Hidráulico: Funcionan con la ayuda de un líquido.
- Neumático: Se acciona con aire comprimido.
- Manual: Se activan a través de un cable de acero.
- Combinaciones de las anteriores.



**Figura 1.** Sistemas de frenado  
(Arias-Paz, 2008)

Existen tres formas principales de sistemas de frenos que son:

- Sistema de frenos de Zapata.

- Sistema de frenos de Disco.
- Sistema de frenos de Banda.

No obstante a que las anteriores sean las más utilizadas, también se utiliza, el frenado regenerativo en autos eléctricos e híbridos.

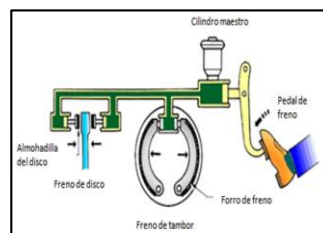
## 2.1.1 FRENOS HIDRÁULICOS

El sistema de freno hidráulico utiliza la acción que multiplica el esfuerzo ejercido por el conductor al pedal del freno y la cual se ejerce sobre el cilindro maestro, con un líquido incompresible. La presión que se ejerce encima del pistón y sobre el líquido es trasladada a otros pistones que accionan los frenos, con lo cual se logra la misma presión necesaria de frenado en los distintos elementos de fricción y se evita la necesidad de realizar diferentes ajustes. (Hernández, 2008)

### 2.1.1.1 Componentes

Los frenos hidráulicos están divididos en dos sistemas fundamentales que son los Sistemas hidráulicos, propiamente dichos y los basados en materiales de fricción. (Bosch, 2005)

Las pastillas de frenos, suelen ser piezas metálicas o de cerámica, con propiedades que le permiten soportar elevadas temperaturas y desgaste a la fricción. El freno hidráulico está compuesto por una bomba principal que transporta el pistón unido al pedal de freno, como se indica en la figura 2, también dispone un cilindro de mando que está sumergido en un líquido especial y un depósito de almacenamiento. (Rodes, 2016)



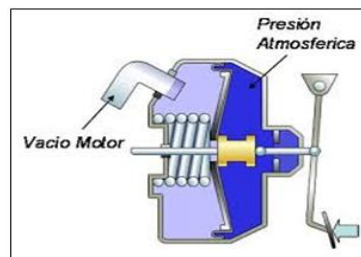
**Figura 2.** Partes componentes del sistema de freno hidráulico (Rodes, 2016)

### 2.1.1.2 Funcionamiento

El freno hidráulico trabaja accionando el pedal de freno, el cual hace funcionar la bomba de freno, proporcionando la debida presión al líquido de freno, enviándolo a los cilindros individuales de cada llanta. Para generar la presión hidráulica en el circuito de freno y controlar el proceso de frenado.

El desplazamiento, que hacen los pistones, dentro de la estructura del cilindro maestro, genera una fuerza hidráulica. (Astudillo, 2010)

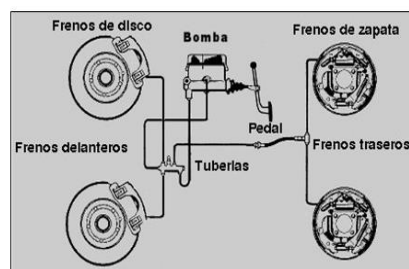
Esta fuerza es conducida a través de mangueras, hacia los cilindros de los neumáticos del auto. Para activar el pedal de freno de forma eficaz se utiliza un servo, tal como se observa en la figura 3, el cual disminuye la fuerza aplicada por el conductor, para oprimir el pedal, y conseguir una respuesta veloz de frenado. (Rodes, 2016)



**Figura 3.** Servo freno y cilindro maestro  
(Rodes, 2016)

### 2.1.1.3 Diagrama freno hidráulico

En la figura 4 se observa el diagrama general de un sistema de frenos hidráulicos.



**Figura 4.** Diagrama Freno Hidráulico  
(Astudillo, 2010)

## 2.1.2 FRENOS NEUMÁTICOS

El sistema de freno de aire es un método de frenado que utiliza aire comprimido a alta presión para su funcionamiento, se hallan estos frenos principalmente en maquinaria pesada, equipo camionero y también en el transporte de pasajeros. (Bendix, 2010)

### 2.1.2.1 Componentes

El sistema de freno neumático o de aire se dispone tal como se observa en la figura 5, estos elementos poseen un valor mayor en diferencia a los otros sistemas ya que están relacionados con tamaño y dificultad de ensamblaje, este sistema se encuentra conformado por los siguientes elementos: Compresor de aire, Regulador de presión, Filtro de aire, Depósitos de aire, Válvula de drenaje, Válvula de retención, Válvula de seguridad, Pulmón posterior de doble acción, Válvula principal de pedal, Pulmón delantero, Tensor de ajuste, Cañerías, Plato de freno, Tambor de freno. (Bendix, 2010)

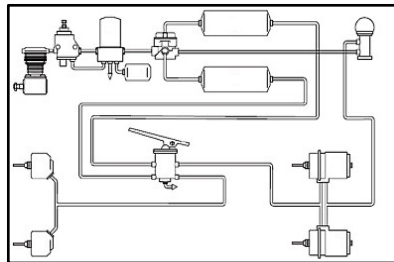


Figura 5. Diagrama del sistema neumático de freno  
(Bendix, 2010)

### 2.1.2.2 Funcionamiento

La puesta en marcha del sistema de aire empieza cuando el conductor del vehículo, acciona el pedal de freno y la válvula neumática permite el paso del aire comprimido almacenado a más de 60 libras por pulgada cuadrada, hacia las cámaras de freno o pulmones, los cuales accionan al sistema de varillas y levas, mueven las zapatas contra el interior de los tambores haciendo un fuerte rozamiento lo que hace que el automóvil ponga en cero

su velocidad. Al soltar el pedal se corta el paso de aire comprimido y el sistema retorna a su posición de partida, por el accionamiento de los resortes internos de los pulmones o accionadores de freno, tanto los delanteros como los traseros.

### **2.1.3 FRENOS DE DISCO**

Este sistema es el más utilizado en la mayoría de los vehículos, ya que su frenado es más enérgico, efectivo y potente en comparación con los frenos de tambor, obteniéndose un menor tiempo de frenado y una menor distancia de frenada total. (Rodes, 2016)

#### **2.1.3.1 Frenos de Disco Ventilados**

El sistema de freno de disco tiene espacios o conductos bien diseñados que permiten que circule el aire dentro de los elementos y actúe enfriando el disco. Estos están compuestos por dos componentes, unidos por partes metálicas o aletas, asegurando la unión de las partes, dejando circular al aire, este tipo de sistemas se lo utiliza en autos deportivos y gama alta y están provistos en las cuatro ruedas del mismo, actúa más eficazmente al querer disminuir la velocidad cuando se está conduciendo a más de 100 kilómetros por hora. (Bendix, 2010)

El proceso de enfriamiento se efectúa tanto en la superficie exterior como interior del disco por los orificios y ranuras tal como se indica en la figura 6.



**Figura 6.** Disco de freno refrigerado  
(Rodes, 2016)

### 2.1.3.2 Frenos de Disco Sólidos

El freno de disco sólido, como su nombre lo indica, está compuesto por un elemento sólido, como se observa en la figura 7, el cual no tiene espacio para el enfriamiento o refrigeración, normalmente se utilizan en los frenos posteriores de los autos, ya que estos se calientan muy rápido por la acción de la fricción entre este y las pastillas de freno. (Rodes, 2016)

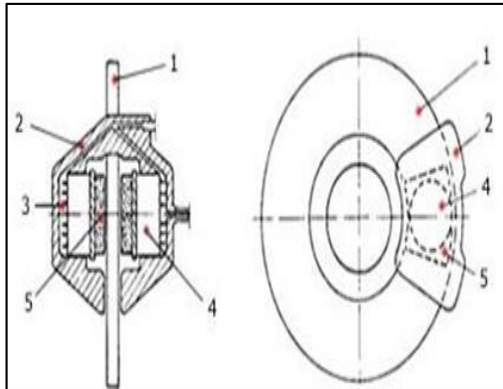


**Figura 7.** Disco de freno sólido  
(Rodes, 2016)

### 2.1.3.3 Componentes

El sistema de freno de accionamiento por disco por lo general se encuentra dispuesto en las ruedas delanteras de los vehículos y se encuentra conformado por las partes componentes que se muestran en el despiece de la figura 8 y se enumeran a continuación: (Bendix, 2010)

- Disco o rotor de freno
- Pinza (mordaza o caliper)
- Pastilla de freno (balata)
- Cubierta del pistón
- Tapacubo de la rueda
- Cubrepolvo
- Pasador de deslizamiento de la pinza
- Ranuras de ventilación
- Válvula de purga (purgador)
- Manguera de frenos



**Figura 8.** Componentes del sistema de disco de freno vista A  
(Astudillo, 2010)

#### **2.1.3.4 Funcionamiento**

En el sistema de disco, el líquido de frenos circula por el circuito hidráulico hasta ejercer fuerza en el pistón y empujar la pastilla contra el disco de freno y este a su vez contra la otra pastilla. Las mordazas son el soporte de las pastillas y los pistones de freno. En la actualidad existen dos tipos de frenos de disco, el hidráulico y el mecánico. (Astudillo, 2010)

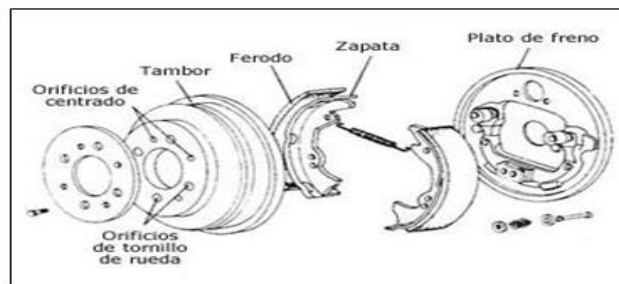
#### **2.1.4 FRENO DE TAMBOR**

Los frenos de tambor por lo general se utilizan en la parte trasera de varios modelos de vehículos de tracción trasera, delantera y doble tracción. Son económicos en cuanto a servicio, fabricación, reparación y mantenimiento.

##### **2.1.4.1 Componentes**

En la figura 9 se muestran las partes componentes del sistema de freno de tambor como se enumeran a continuación. (Ferrer, 2015)

- Tambor.
- Zapatas primarias y secundarias
- Muelle recuperador
- Plato de freno.
- Pistón.



**Figura 9.** Partes componentes del sistema de freno de tambor  
(Ferrer, 2015)

### 2.1.4.2 Funcionamiento

El freno de tambor es un sistema de freno en el que el rozamiento originado por las zapatas, las cuales se encuentran presionadas con el área interior del tambor, lo que hace que el automotor disminuya su velocidad. (CE, 2004) Este sistema consta de un tambor de acero o de hierro unido a la rueda por espárragos, de tal forma que gira simultáneamente, en su interior, junto al semieje, al accionar el pedal la presión hidráulica ejercida desde el cilindro maestro, hace que el cilindro de rueda presione las pastillas contra las paredes interiores del tambor, produciendo la disminución de velocidad, en correspondencia a la presión ejercida por el conductor en el pedal de freno.

## 2.2 FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS

Estos son los principios fundamentales que van a ser vistos y analizados para posteriormente ponerlos en práctica cuando el proceso de diseño e implementación del proyecto estén en marcha. También se espera que estén reflejados en los datos finales obtenidos de la investigación.

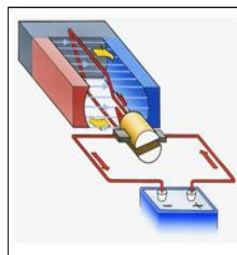
### 2.2.1 ELECTROMAGNETISMO

El electromagnetismo es una rama de la física y esta a su vez unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría, estos fundamentos fueron dados a conocer por primera vez por Michael Faraday y formulados por primera vez de forma completa por James Clerk Maxwell. (Nuñez, 2015)



### 2.2.1.1 Fundamentos

El dinamo es el rotor que se enrolla para aumentar las líneas de fuerza magnéticas y usar de esta forma la regla de repulsión o atracción entre el dinamo y el estator que sería el imán permanente. (Gil, 2007). Un dinamo es un generador eléctrico el cual está destinado a la transformación del flujo magnético en electricidad, mediante el fenómeno de la inducción electromagnética, tal como se muestra en la figura 10. (Domínguez, 2012)



**Figura 10.** Inducción eléctrica  
(Nuñez, 2015)

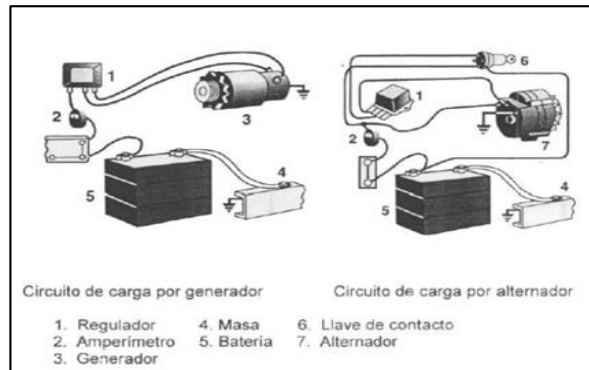
### 2.2.2 SISTEMA DE CARGA DEL VEHICULO

El alternador es el componente principal del sistema de carga, el cual tiene la función de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, basándose en el principio de funcionamiento del electromagnetismo, formándose campos magnéticos en el rotor, induciendo de esta forma un voltaje y una corriente eléctrica alterna la cual es rectificadora a corriente directa por diodos rectificadores que se encuentran dispuestos al interior del alternador. (Reid, 2013)

#### 2.2.2.1 Funcionamiento

El alternador que se encuentra acoplado a la correa de accesorios del motor mediante poleas, se acciona y comienza su funcionamiento enviando corriente a la batería para de esta manera recargarla y poder suministrar la energía a todo el sistema y equipos extras existentes, esta energía es filtrada por un regulador, controlando el voltaje y corriente. (Ribbens, 2007)

El circuito eléctrico de carga está formado por: batería, alternador y regulador, como se indica en la figura 11.



**Figura 11.** Circuitos del sistema de carga del vehículo  
(Orozco, 2015)

### 2.2.3 ACUMULADORES

Existen dos formas de producir electricidad para usos prácticos, mediante máquinas como generadores de corriente eléctrica o dinamos y mediante baterías de pilas secas o acumuladores. Una batería convierte la energía química en energía eléctrica, en este proceso parte de la energía química es disipada en forma de calor. (Bosch, 2005)

Se identifican dos clases de almacenadores, el primario, cuya carga no se puede renovar una vez agotada, y el secundario, que sí es susceptible de recargarse si se somete al paso de una corriente eléctrica continua y en sentido inverso al que fluye normalmente cuando esta está cediendo su carga. La capacidad de una batería se la define como la cantidad completa de electricidad originada en la reacción electroquímica y se define en unidades de amperios por hora (Ah), esta última es la más usada como especificación de las baterías. Esta está dada por la masa de los electrodos. En la práctica, la capacidad se mide descargando la celda a una intensidad hasta alcanzar el valor de tensión especificado en los bornes. (Ocaña, 2005)

Las baterías más utilizadas son las de Litio y las de Ácido – Plomo, esta última ha sido la más ampliamente utilizada. La batería de Ácido – Plomo posee una densidad energética en un número mayor a 20 veces en comparación a las de Níquel – Cadmio, adicionalmente, las de Ácido –

Plomo, no tienen efecto negativo de memoria, que consiste en la reducción de su capacidad de carga cuando estas no han sido descargadas completamente antes de la recarga. Por otro lado los sistemas de Litio poseen densidades de energía de 100 Watts por Kilogramo y pueden ser empleadas en temperaturas un poco más altas. El sistema de ion litio ya se ha establecido con éxito en el exigente mercado de las baterías aunque son mucho más caras y más inestables, por lo que usualmente necesitan estar conectadas a un circuito electrónico que monitoree la carga y la descarga del mismo, se las encuentra cada vez más en la industria automotriz. (Ribbens, 2017). En la figura 12 se observan las baterías de Ion-Litio conectadas al circuito.



**Figura 12.** Circuito Básico de carga de Batería de Ion-Litio

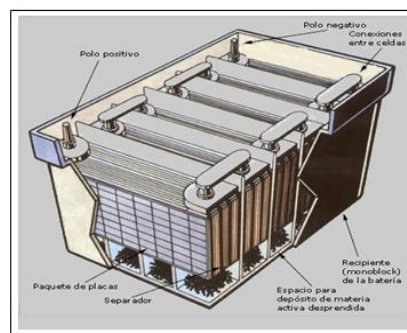
#### Datos Técnicos

- Fabricante: Victron Energy
- Tecnología: Fosfato de Hierro y Litio (LiFePo4)
- Voltios: 12
- Amperios: 58
- Medidas: 238 X 129 X 127 (mm.)
- Peso (Kg). 12.65
- Temperatura de trabajo para carga: 0 ~ 45 °C
- Temperatura de trabajo para descarga: -20 ~ 55 °C
- Temperatura de almacenamiento: -20 ~45 °C
- Configuración en serie: Sí, hasta máx. 2

### 2.2.3.1 Funcionamiento

Las baterías poseen un terminal positivo y otro negativo; desde ellos envían una corriente de electrones para activar los componentes eléctricos o extras en el auto (faros, audio, aire acondicionado, wincha, barras led y motor).

Las baterías están conformadas por celdas, cada una de estas celdas contiene dos sets de electrodos, conformadas por placas metálicas superpuestas, como se observa en la figura 13. (Serrano, 2008)



**Figura 13.** Partes componentes de una batería  
(Nuñez, 2015)

### 2.2.3.2 TIPOS DE BATERÍA

En la actualidad existen diversos tipos de baterías, los fabricantes de la industria automotriz desarrollan tecnologías cada día más eficientes y duraderas, entre los diferentes tipos de baterías se tiene:

- **Batería de plomo:** Están constituidas por dos electrodos de plomo y el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico, en la figura 14 se observa un corte en sección de la batería de plomo. (Nuñez, 2015)



**Figura 14.** Batería de plomo  
(Nuñez, 2015)

- Batería alcalina: También denominada de ferroníquel, sus electrodos son láminas de acero en forma de rejilla con panales rellenos de óxido níqueloso (NiO) el electrodo positivo y de óxido ferroso (FeO) el negativo, como se observa en el figura 15. (Serrano, 2008)



**Figura 15.** Batería alcalina  
(Nuñez, 2015)

- Baterías Níquel / Hidruro: Utilizan un terminal positivo de hidróxido de níquel y un cátodo de una mezcla de metal-hidróxido. Su densidad de energía llega a los 80 Wh/kg, estas baterías son más altas como se observa en el figura 16. (Nuñez, 2015)



**Figura 16.** Baterías Níquel-Hidruro (Ni-H)  
(Nuñez, 2015)

- Baterías Níquel / Cadmio: Poseen un terminal positivo de hidróxido de níquel y un cátodo de una mezcla de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada para su reutilización, como se muestra en el figura 17. (Nuñez, 2015)



**Figura 17.** Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd)  
(Nuñez, 2015)

- Baterías Litio / Ion: Poseen un terminal positivo de Litio y un cátodo de lón. Son relativamente nuevas en el mercado de la industria automotriz, la ventaja de este acumulador es que permite llegar a densidades del orden de 115 Wh/kg, por lo general se la encuentra en el mercado como se observa en el figura 18. (Nuñez, 2015)



**Figura 18.** Baterías Litio-Ión (Li-ion)  
(Nuñez, 2015)

### 2.2.3.3 Comprobaciones y fallas

Una batería puede descargarse por diversas razones, algunas de ellas pueden ser: (Serrano, 2008)

- Falla en el alternador o en algún componente del sistema de carga.
- Existencia de fuga de corriente cuando el automóvil se encuentra apagado.
- Contacto en falso en los bornes de la batería.

Para una correcta comprobación del correcto funcionamiento de baterías y alternadores del vehículo, en primer lugar se debe realizar una inspección

visual a la batería, luego se procede a desconectar el borne negativo y con el multímetro conectado y puesto a punto se procede a medir el voltaje de la batería, el cual debe ser mayor a 12.7 V, tal como se indica en la figura 19.



**Figura 19.** Comprobación del voltaje de la batería con multímetro  
(Posted, 2014)

## **2.2.4 ALTERNADORES**

El alternador es un elemento eléctrico esencial y de vital importancia en el automotor, el cual se encarga de la función de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, originando una tensión alterna mediante el principio de inducción electromagnética. (Read, 2013)

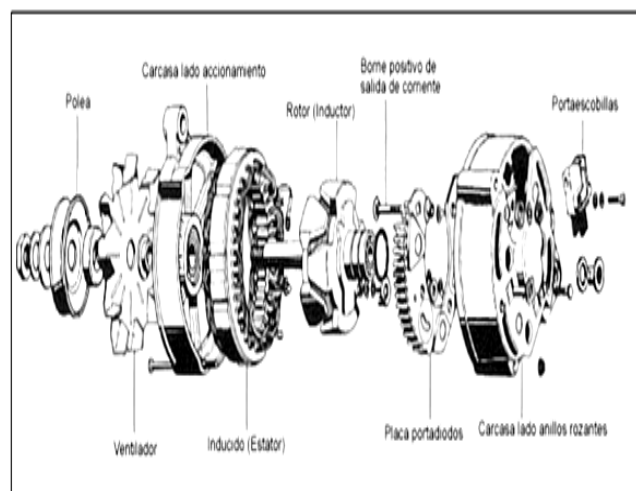
### **2.2.4.1 Funcionamiento**

El alternador posee los siguientes componentes, estos tienen diferentes funciones que al complementarse dan su funcionalidad. (Bosch, 2005)

- Polea: Obtiene una fuerza mecánica originada en el motor de combustión a través de la correa. (Bello, 2013)
- Rotor: Posee un electroimán que consigue la corriente del regulador, a través de los anillos que están en el eje. Este imán electromagnético, produce un campo con el cual trabajan las bobinas del estator produciendo corriente eléctrica. (Domínguez, 2012)

- Regulador: Es el elemento eléctrico que regula el voltaje máximo de salida del alternador y lo mantiene constante en 14.4 V. A mayor R.P. M., mayor campo magnético y a su vez se origina más voltaje, por lo que a mayor número de revoluciones suministrada, menor corriente al rotor. (Bello, 2013)
- Estator: Es la parte estática, sobre la que se halla el bobinado trifásico. Este puede tener forma de estrella o en delta. (Bello, 2013)
- Puente rectificador de diodos: Su trabajo consiste en rectificar la corriente alterna que se realiza en el alternador haciendo que se transforme en corriente continua, que es la corriente con el que se accionan los elementos eléctricos y electrónicos del automóvil.
- Carcasas: Conforman el cuerpo del alternador fabricada de fundición de aluminio, es el elemento sobre el que se montan las partes del alternador. (Domínguez, 2012)

En la figura 20 se muestran las partes componentes de un alternador, mediante el despiece del mismo. (Rodes, 2016)



**Figura 20.** Despiece de un alternador  
(Rodes, 2016)

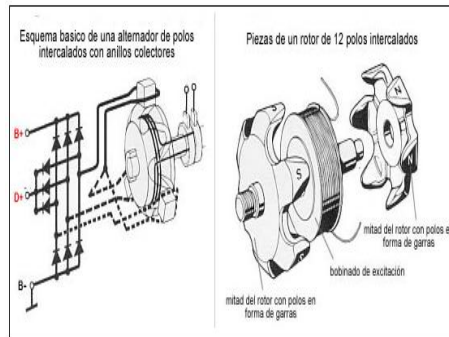
#### 2.2.4.2 Tipos de alternadores

Los tipos de alternadores se los divide en correspondencia del tamaño, función y características deseadas: (Domínguez, 2012)



- **Alternadores de polos intercalados con anillos colectores**

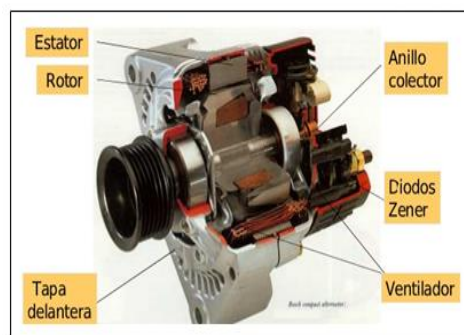
Son generalmente utilizados para buses, vehículos industriales y maquinaria pesada, en la figura 21 se muestra su esquema básico.



**Figura 21.** Alternadores de polos intercalados con anillos colectores (Nuñez, 2015)

- **Alternadores compactos**

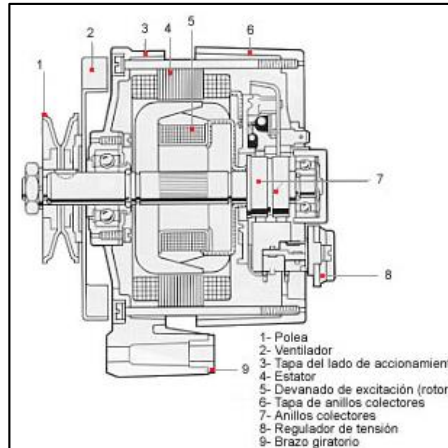
Son generadores con geometría y peso más reducido en comparación a los otros y son especialmente apropiados y fabricados para los motores de vehículos modernos que cuentan con un régimen mínimo o ralenti pequeño, en la figura 22 se observa su despiece. (Nuñez, 2015)



**Figura 22.** Alternador compacto, partes componentes (Pérez, 2009)

- **Alternadores monoblock**

Los alternadores monoblock están siendo implementados en vehículos industriales. El corte en sección se muestra en la figura 23. (Bello, 2013)



**Figura 23.** Alternador monoblock, partes componentes (Rodes, 2016)

- **Alternadores de polos individuales con anillos colectores**

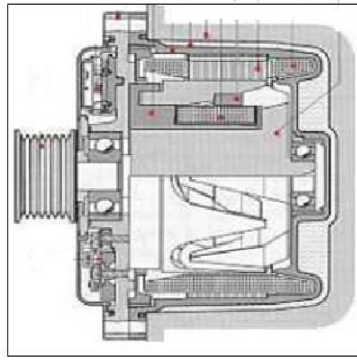
Este tipo de alternadores se encuentran en la gama de vehículos de tamaño grande ya que trabaja en 24 V y que necesitan de una gran cantidad de energía que supera los 100 Amperios, el tamaño y corte se muestra en la figura 24. (Nuñez, 2015)



**Figura 24.** Alternadores de polos individuales con anillos colectores (Rodes, 2016)

- **Alternador compacto de refrigeración líquida**

Estos se enfrían en conjunto con el sistema de refrigeración del propio motor de combustión, ya que poseen conductos de refrigeración por donde circula el líquido ayudando a mantener la temperatura óptima de funcionamiento, en la figura 25 se indica su disposición. (Bello, 2013)



**Figura 25.** Alternador compacto de refrigeración líquida  
(Bello, 2013)

### 2.2.4.3 Fallas

Los fabricantes de automóviles e investigadores de la rama automotriz, han realizado diversos estudios de fallas de los alternadores obteniendo los siguientes porcentajes de fallas como resultado. (Read, 2013)

- El 67% de las fallas del alternador se debe a una batería defectuosa o débil.
- El 14% de las fallas del alternador se deben a malas conexiones eléctricas, conexiones soldables incorrectas, cables de batería y una mala conexión a tierra.
- El 9% de todas las fallas del alternador se debe al uso y ajuste incorrecto de la correa de transmisión.
- El 6% de las fallas se debe a iniciar el motor del auto con ayuda de otro vehículo de forma inapropiada.

### 2.2.5 EXTRAS ELÉCTRICOS DEL VEHÍCULO

La industria automotriz en su desarrollo, continúa elevando el confort de los autos, sacando al mercado estos elementos o accesorios para que el conductor se sienta a gusto, ya que se estaría realizando una mejora a su vehículo. Los radios, equipos de audio y video, barras led, focos de xenón, dispositivos para conectar equipos de comunicación, carga de celulares, winchas, entre otros, son algunos de los accesorios y equipos que se instalan a los autos, teniendo un consumo considerable de la corriente

almacenada en las baterías o acumuladores. Teniendo como resultado mayor trabajo del alternador, pérdida de potencia del motor y mayor consumo de combustible.

La gama de barras Led que se encuentran en el mercado son diversas, permiten mayor visibilidad a los automotores aumentando el alcance del haz de luz en conducción nocturna y bajo condiciones extremas de manejo, tienen baja potencia y poco consumo de electricidad además de que son fácil adaptación y montaje, se puede apreciar en la figura 26 una barra led de doble fila. (Logiled, 2015)



**Figura 26.** Barra Led.  
(Logiled, 2015)

Los Winches son elementos de auxilio, estos tienen diferentes capacidades de tiro de una sola línea, por un cable de acero galvanizado, enrollado en un tambor, conectado a un motor eléctrico. En la figura 27 se aprecia un modelo de wicha Iron Man de 8000 libras. (Iron Man 4x4, 2015)



**Figura 27.** Wincha eléctrica heavy duty  
(Iron Man 4x4, 2015)

La gama de tiras Led que se encuentran en el mercado, permiten dar colorido a los autos y una mayor visibilidad. Estas tienen como características la gran flexibilidad y versatilidad de montaje, posee baja

potencia, poco consumo de electricidad y es de fácil adaptación, tal como se observa en la figura 28. (Logiled, 2015)



**Figura 28.** Tiras Led  
(Logiled, 2015)

Los equipos de audio en los autos, dan un mayor confort a los mismos permitiendo escuchar música o cualquier archivo de audio, mientras se conduce, todos estos accesorios extras van provistos de su respectiva caja acústica que hará que expulse todo el sonido del elemento, en la figura 29 se muestra un radio marca Pioneer de uso comercial. (Pioneer, 2015)



**Figura 29.** Equipo de audio del vehículo  
(Pioneer, 2015)

Los elementos o equipos auxiliares, como encendedores, conextores USB, tal como se muestra en la figura 30, brindan una serie de posibilidades al conductor, aumentando la versatilidad dentro del automovil. (ppcaraudio, 2015)



**Figura 30.** Equipos auxiliares para conexión de extras  
(ppcaraudio, 2015)

## 2.3 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En el momento que se mueve un imán por el interior de las espiras de una bobina solenoide (A) de forma permanente, la cual está conformada por espiras de alambre de cobre, se puede apreciar de que de manera casi instantánea se genera una fuerza electromotriz (FEM), en otras palabras, aparece una corriente eléctrica que fluye por las espiras de la bobina, esta corriente es producida por la inducción magnética del imán en movimiento. El ejemplo de la figura 31 ilustra dicho fenómeno.

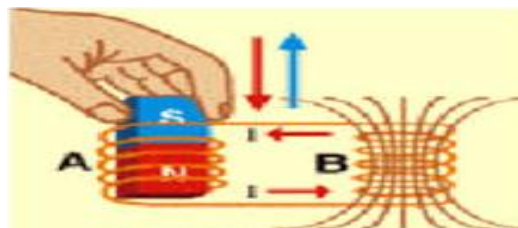


Figura 31. Campo Magnético  
(García, 2015)

Por otra parte si al circuito de esa bobina se le conecta una segunda bobina a modo de carga eléctrica, se logra que la corriente al circular por la otra bobina cree un campo electromagnético a su alrededor, el cual es capaz de inducir, corriente eléctrica en una tercera bobina. (García, 2015)

Siendo la inducción electromagnética el fenómeno que se produce para la obtención de una fuerza electro-motriz en un cuerpo mostrado a un campo magnético variable, también hallado en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. (Álvarez, 2012)

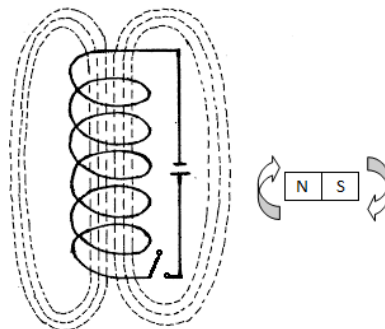
### 2.3.1 VARIACIÓN DEL FLUJO ELECTROMAGNÉTICO

El flujo magnético aplicado por Faraday, corresponde al número de líneas del campo magnético que atraviesa una superficie arbitraria. Se define análogamente al flujo eléctrico en un elemento de área determinada, siendo la unidad de medida el WEBER (WB) o en Newton metros por amperes (Nm/A). (Nuñez, 2015)

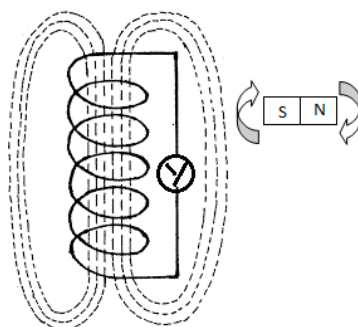
Cada vez que un circuito eléctrico sea atravesado por un flujo magnético variable, aparecerá en dicho circuito una fuerza electromotriz inducida. El reconocimiento de la existencia de una fuerza electromotriz en un circuito es a través de la corriente eléctrica que aparece en el mismo. La variación de flujo magnético sobre un circuito eléctrico, puede estar producida por diversas razones, por ejemplo:

- El acercamiento o alejamiento de un imán natural.
- Acercando o alejando un solenoide (siempre que esté recorrido por una corriente constante).
- Variando la corriente de un solenoide (provocando un aumento o disminución del campo magnético por la variación, sin necesidad de moverlo respecto al circuito).
- Moviendo el circuito dentro de un campo magnético de tal forma que el flujo que lo atraviesa sea variable.

En las figuras 32 y 33 que se muestran a continuación se describe el comportamiento de un flujo magnético para el circuito de un motor y un alternador respectivamente.



**Figura 32.** Flujo magnético de un motor



**Figura 33.** Flujo magnético de un alternador

## **2.4 FRENO REGENERATIVO**

El freno regenerativo tiene como objetivo la recuperación de la energía ligeramente según el tipo de vehículo, aunque todos tiene algo en común, por lo que se busca ahorrar en consumo y prolongar la autonomía del automóvil sin perder por ello prestaciones o confort. El freno regenerativo actúa cuando la energía producida por el generador es devuelta al sistema y almacenada en baterías para uso futuro. No se debe confundir, de que el freno regenerativo puede ser utilizado como sustituto del freno tradicional, basado en el rozamiento, ya que este se sigue utilizando en conjunto con el regenerativo. (Escalante, 2015)

### **2.4.1 TIPOS DE FRENOS REGENERATIVOS**

De forma general se explica que el freno regenerativo se aplica cuando al realizar la acción de frenado el motor eléctrico, actúa como un generador de energía, durante la frenada, el propio movimiento de las ruedas hacen girar el motor, de esta manera la energía obtenida se acumula o almacena en una acumulador o batería para su posterior uso.

#### **2.4.1.1 Freno dinámico regenerativo**

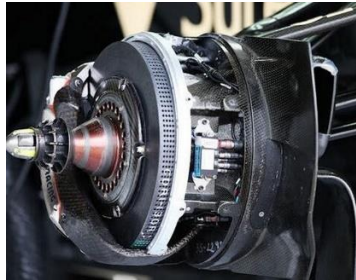
El freno dinámico se aplica cuando los motores eléctricos de tracción de un vehículo son usados como generadores para disminuir la velocidad del automotor, dentro de este se puede encontrar los frenos reostáticos y los frenos regenerativos. (Macías, 2014)

Los frenos reostáticos, se lo llama de esta manera cuando la electricidad generada es disipada en forma de calor por medio de resistencias o de enormes bancos de resistores variables o reóstatos, esta energía disipada puede servir para calentar el interior de vehículos o disipado al exterior, los frenos regenerativos se lo entiende así cuando la energía producida es



devuelta a la línea de alimentación o es almacenada en baterías para uso futuro. (Escalante, 2015)

El freno dinámico reduce el desgaste de los componentes del sistema de freno convencional debido al uso y fricción y adicionalmente, puede reducir en gran medida el consumo de energía, la geometría en corte de un sistema de frenos dinámicos está dada de acuerdo como se puede apreciar en la figura 34. (Macías, 2014)



**Figura 34.** Funcionamiento del sistema de frenos regenerativos  
(Machine Designed, 2016)

#### **2.4.1.2 Freno regenerativo de volante libre**

Esta dentro de un alojamiento parecido a un tambor sellado y se lo puede definir como un volante de inercia montado en un eje que está conectado a través de una cadena al eje principal de accionamiento. (Sáenz & Tresaco, 2010)

Durante el frenado se acciona el mecanismo del volante libre dentro de un tambor, recobrando la energía perdida en el proceso de desaceleración, en la figura 35 se observa en corte sus componentes internos y el tamaño de los mismos. (Macías, 2014)



**Figura 35.** Freno regenerativo de cuerpo sólido o volante libre  
(Machine Designed, 2016)

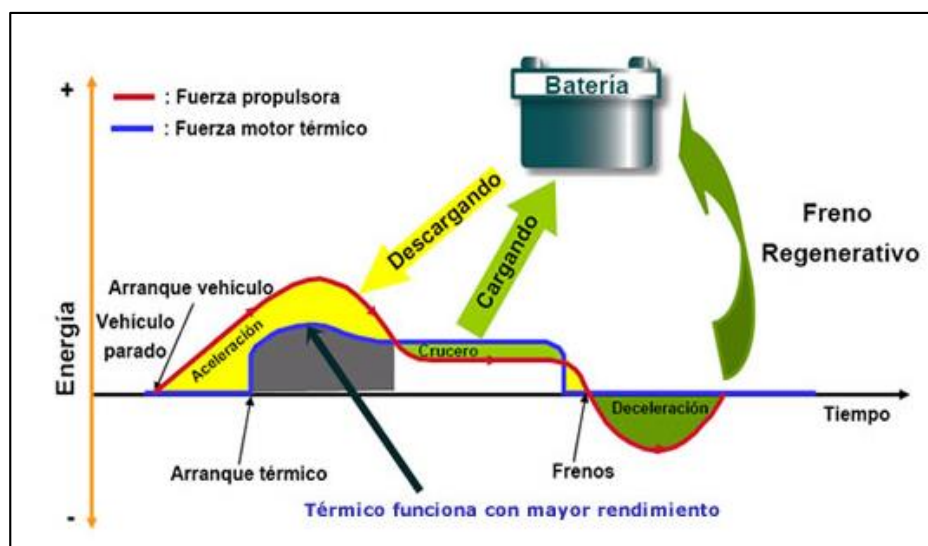
En la investigación se propone el diseño e implementación de un freno regenerativo basado en el concepto E-Whell, el cual consiste en colocar el motor-generator en las llantas del vehículo, logrando obtener el movimiento giratorio del mismo y recoger la energía de la acción del frenado. Este sistema mejora el consumo de energía hasta en un 30%, captando el 85% de la energía cinética.

Esto quiere decir que toda la energía recobrada en un gran porcentaje va a ser limpia, esto ayudara al medio ambiente y al ahorro de combustible del vehículo en donde se lo quiera implementar.

Al momento de convertir la energía cinética a energía eléctrica se está generando electricidad mediante otros medios en el auto.

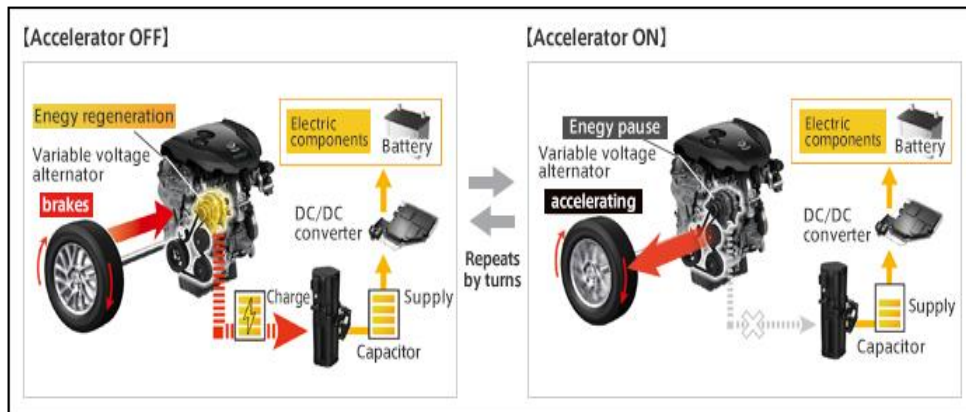
## 2.4.2 ESQUEMAS

En la figura 36 se representa a gran rasgo el proceso de descarga y de carga de la batería en un auto hibrido, para el cual se tomara como referencia el proceso de frenado regenerativo, al ser accionado por la fuerza propulsora del motor térmico, representando en color verde, las zonas donde se obtiene la carga de la batería, tanto en la zona crucero o de deceleración o aplicación de los frenos. (Sáenz & Tresaco, 2010)



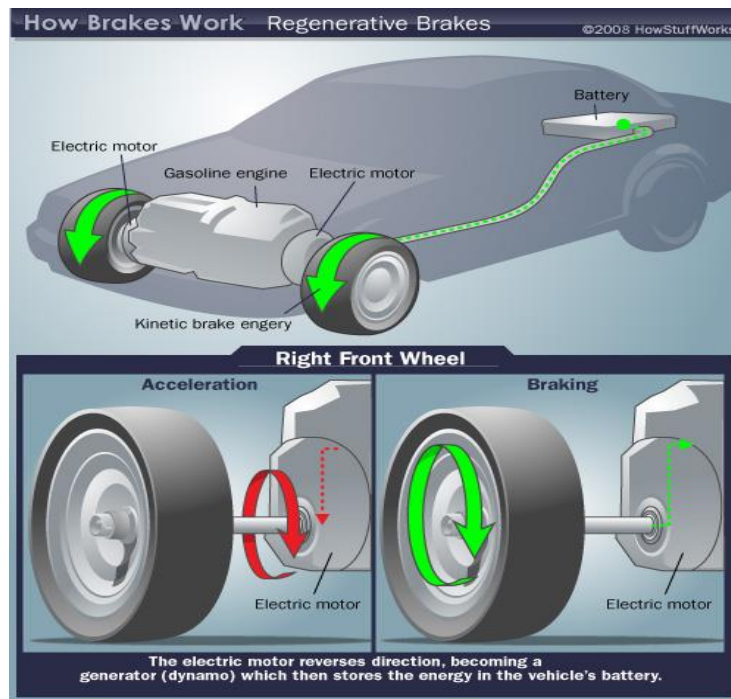
**Figura 36.** Funcionamiento de almacenamiento de energía (Muel, 2011)

El sistema propuesto actúa en la zona mencionada donde el movimiento giratorio de los neumáticos o energía mecánica es convertida en energía eléctrica y esta su vez es almacenada en acumuladores o disipada en forma de calor como se muestra en la figura 37.



**Figura 37.** Esquema de funcionamiento del sistema de freno regenerativo Mazda (Mazda, 2015)

Para el diseño de la propuesta planteada se tomó como base el principio de diseño y fabricación de los frenos reostático y regenerativos, como se muestra en la figura 38.



**Figura 38.** Esquema de funcionamiento de un sistema de freno regenerativo (Machine Designed, 2015)

### 2.4.3 SISTEMA KERS

El sistema de freno regenerativo o KERS, son siglas en inglés para denominar al Kinetic Energy Recovery System, o lo que es lo mismo, el sistema de recuperación de energía cinética, es un componente que permite reducir la velocidad del automotor, cambiando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Esta electricidad es almacenada en baterías para usarla cuando sea necesaria. (Macías, 2014). El KERS eléctrico a diferencia del mecánico, crea energía eléctrica con la ayuda de un volante de inercia mediante un dispositivo basado en una batería inercial, que pueda funcionar como alternador, o bien como motor eléctrico, recuperando de esta forma la electricidad que se produce en la acción de frenado. (Watson, 2000)

Esta es la razón por la cual este sistema regenerativo es menos eficiente ya que en primer lugar se cambia la energía de la frenada en energía eléctrica y después cuando se transmite a las ruedas ya es energía mecánica. En la figura 39 se muestra un motor generador, con sistema KERS incluido.

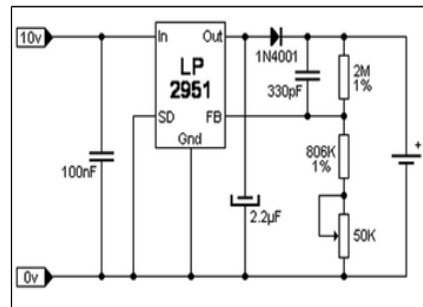


**Figura 39.** Motor- Generador  
(Sáenz Gonzalo & Tresaco Vidaller, 2010)

### 2.4.4 FUNCIONAMIENTO

El sistema regenerativo es un motor eléctrico el cual puede trabajar como generador. El motor de tracción se conecta como alternador durante el proceso de frenado y los sockets de alimentación se transforman en proveedores de energía al banco de baterías, esta carga la origina el efecto de frenado. La diferencia se encuentra en el tipo de baterías que se utiliza ya que en el KERS eléctrico trabaja con ión y litio, y la energía cinética se acumula en un volante de inercia. (Macías, 2014)

El sistema de ion de litio, tal como se indica en la figura 40, ya se ha implementado de manera eficaz en vehículos híbridos y eléctricos.



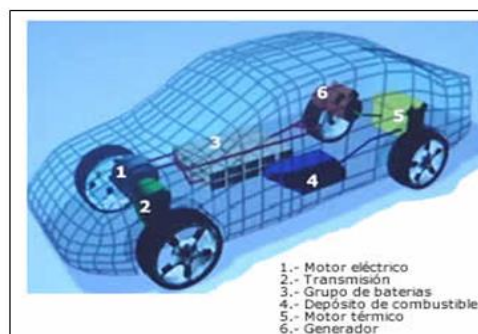
**Figura 40.** Circuito básico de batería de Ion-litio (Macías, 2014)

Ya obtenida la energía eléctrica por el efecto del frenado es necesario realizar un rectificado. Es aquí donde se combinan la potencia, la electrónica y el control. (Escalante, 2015)

El control se basa en las características de estado estable del sistema, ya que hace que el mismo trabaje en un rango de operación normal y que sea útil para el proyecto.

### 2.4.5 PARTES

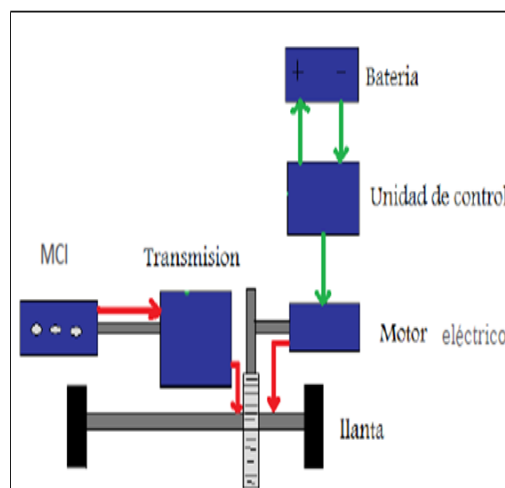
Por lo general en la actualidad los automóviles que cuentan con un sistema de freno regenerativo a bordo están conformados por las siguientes partes componentes elementales en su funcionamiento. Motor eléctrico, Transmisión, Banco de baterías, Depósito de combustible, Motor de combustión y Generador, como se muestra en la figura 41. (Macías, 2014)



**Figura 41.** Partes componentes de un auto con freno regenerativo (Posted, 2014)

## 2.4.6 ESQUEMA ELÉCTRICO

En la figura 42 se muestra el diagrama de flujo eléctrico y mecánico de freno regenerativo que está dispuesto en un vehículo híbrido, se puede apreciar todos los elementos inmersos en la generación y control de la energía producida por el proceso de frenado, cada uno cumple con una función específica dada, si en el caso de que algún elemento llegará a fallar el sistema tendría varias fallas. (Sáenz & Tresaco, 2010)



**Figura 42.** Diagrama de flujo eléctrico y mecánico del sistema de freno regenerativo existente en autos híbridos (Posted, 2014)

## 2.5 POTENCIA DEL MOTOR

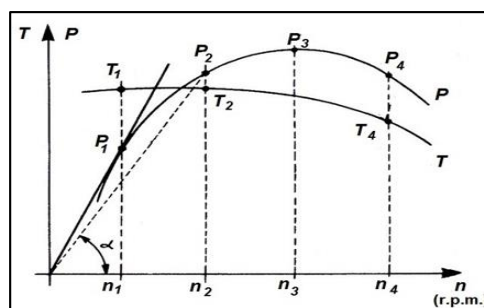
La potencia de un motor de combustión se define como el cociente entre el trabajo realizado en la cámara de combustión y el tiempo necesario para poder terminarlo. Una parte de esta potencia se pierde debido a que es disipada como calor en la cámara de combustión a través de las paredes de los cilindros, otra parte de la potencia se pierde en la fricción de los elementos que componen el motor, a lo que se le conoce como potencia de fricción y la pérdida de potencia por la potencia al frenado. (Reid, 2013)

El torque es la capacidad del motor a realizar un trabajo, y la potencia es la taza en la cual este trabajo es realizado. (Bosch, 2005)

### 2.5.1 REGIMEN NORMAL DE OPERACIONES

Para analizar el régimen normal de operación de un motor se debe conocer las fuerzas que producen el par motor, ya que ésta es una fuerza variable. En la fase de combustión que es generado el par motor el rendimiento del motor o régimen de operación normal depende del régimen de giro y por consiguiente de la fuerza de empuje que se genera. A bajas revoluciones del motor la combustión interna de la mezcla no resulta óptima o eficiente, por la poca inercia que poseen los gases, afectando el llenado de los cilindros al igual que el vaciado de los mismos. (Pérez, 2010). Teniendo problemas de igual forma en un elevado régimen o altas revoluciones, cuando la mezcla se presenta poco tiempo, el cual no es suficiente para poder llenar todo el volumen de los cilindros, provocando ineficiencias en el sistema. (Arias-Paz, 2008)

La curva par motor/potencia que se la puede apreciar en la figura 43, frente a las revoluciones de giro del motor, debería ser una recta horizontal para el régimen normal de operación, pero esta se convierte en una curva, con un tramo central casi recto que proporciona el par máximo, y en los extremos en donde el par motor decrece por lo expuesto anteriormente por la variación del régimen de giro. (Astudillo, 2010)



**Figura 43.** Curva par motor-potencia frente a las revoluciones de giro del motor (Arias-Paz, 2008)

### 2.5.2 PERDIDAS DE POTENCIA

Las pérdidas de potencia en el motor de combustión interna del automóvil, pueden estar causadas por diferentes factores como se planteó

anteriormente son las pérdidas iniciadas y generadas en la cámara de combustión, por la fricción de los elementos que componen el motor, a lo que se le conoce como potencia de fricción y la pérdida de potencia por el proceso de frenado, pérdidas por factores externos como son, la resistencia a la rodadura, a las pendientes y por resistencia aerodinámica. (Pérez, 2010).

Si el motor se encuentra funcionando a un régimen de velocidades entre  $n_1$  y  $n_2$ , como se representa en la figura 43 cualquier situación cambiante que se produzca durante la conducción y que suponga un aumento del par resistente, el motor se adapta automáticamente disminuyendo su régimen de giro y por ende esto supone que aumentará el par motor. Y análogamente, si de nuevo baja el momento resistente, automáticamente aumenta la velocidad del motor. (Ocaña, 2005). Otro de los factores de pérdida de potencia del motor, son los elementos o partes anexos del motor, que son necesarios para el funcionamiento del automóvil y confort (alternador, aire acondicionado), ya que estos están acoplados, directamente por sistemas de poleas, al eje cigüeñal, ofreciéndole una resistencia al par, al iniciar su función, por lo que el motor disminuye su régimen de giro experimentando una pérdida de potencia. (Arias-Paz, 2008)

### **2.5.3 SENSOR HALL**

Los sensores de efecto Hall son utilizados en los automóviles con el objetivo de medir velocidades de rotación o detectar la posición de un determinado elemento. Su ventaja fundamental es que pueden ofrecer a cualquier velocidad de rotación datos fiables. En el caso de sus inconvenientes se encuentra que son de mayor complejidad así como menos económicos si se comparan con respecto a un sensor inductivo.

Los sensores de efecto Hall se basan en la tensión transversal de un conductor que está sometido a un campo magnético. Se puede medir esa tensión si se coloca un voltímetro entre dos puntos transversales de un cable. Para ello es necesario que circule por el cable una intensidad fija y



acercar un imán. Los electrones que pasan por el cable se verán desplazados hacia un lado, entonces aparece una diferencia de tensión entre los dos puntos transversales del del mismo. Al separar el imán del cable, la tensión transversal desaparece. Es válido avlarar que para poder utilizar la tensión transversal es necesario amplificarla, porque su valor es muy pequeño.

#### 2.5.4 MICROCONTROLADOR

Para poder energizar las bobinas del estator en el momento preciso para que el motor comience a funcionar, es necesario un microcontrolador, que utiliza como una de sus entradas la señal de los sensores de efecto Hall, que indican la posición del rotor.

El conocimiento y análisis de esta señal permite realizar un control preciso de velocidad y torque, así como garantizar el funcionamiento del motor en los mejores niveles de eficiencia y generación de energía. En la figura 44 se observa la imagen de la caja del microcontrolador utilizado en el proyecto.



**Figura 44.** Microcontrolador  
(Marrero, 2016)

#### Datos Técnicos del Sistema de Control o Microcontrolador

- Microcontrolador a 24V 250W
- Diseñado para los 24 voltios de corriente continua sin escobillas, motores de entre 180 y 250 vatios.
- Protección de bajo voltaje 19 Volts. Función de limitación de corriente previene el daño del controlador debido a sobre intensidades. Bajo tensión característica de protección evita la sobre - descarga y extiende la vida útil de la batería.

- Compatible con velocidad variable de las válvulas reguladoras estándar de efecto Hall de 3 hilos.
- Dimensiones: 3-1 / 2 "x 2-1 / 2 " W x 1-1 / 4 "T

El conmutador electrónico del motor DC sin escobillas va energizando de forma secuencial las bobinas del estator generando un campo eléctrico giratorio que hace girar el rotor. Las N revoluciones eléctricas son equivalentes a una revolución mecánica, donde N es el número de pares de imanes. (Ribbens, 2007)

Para los motores trifásicos, tres sensores de efecto Hall se integran en el estator para indicar las posiciones relativas del estator y del rotor con respecto al controlador para que pueda energizar el bobinado en la secuencia correcta y en el momento correcto. Los sensores de tipo Hall se montan generalmente en el extremo no impulsor de la unidad, como se muestra en la figura 45.



Figura 45. Motor DC sin escobillas

## 2.6 ECUACIONES GENERALES

Con el objetivo de realizar algunas pruebas será necesario el cálculo de varios de los datos que se emplearán en dichas pruebas, para esto se partirá de ecuaciones generales las cuales se exponen a continuación.

De igual forma se analizarán los cálculos de las deformaciones de los materiales a utilizarse en el diseño, en estos se analizará el principio de la flecha máxima.

### 2.6.1 PAR EN LAS RUEDAS

Para el caso del par motor, ya que al igual que la velocidad del vehículo, es transformado en la caja de cambios y grupo diferencial, los cálculos realizados partirán de la ecuación (1) que aparece a continuación.

$$Cr = \frac{Cm}{Rd} \quad [1]$$

Donde:

*Cm*: Par desarrollado por el motor. (Kg.m)

*Cr*: Par en las ruedas. (Kg.m)

*Rd*: Relación de transmisión total.

### 2.6.2 DEFORMACIONES

Por otro lado para conocer las deformaciones que son generadas en los elementos, se calculara la flecha máxima, utilizando la ecuación (2).

$$Y_{Máx} = -\frac{Mmáx * x}{4EIL} * (L - x)^2 \quad [2]$$

Donde:

*Y máx*: Flecha máxima. (mm).

*M máx.*: Momento máximo (1789 Kg.cm).

*x*: Distancia ponderada desde la fuerza aplicada al apoyo o extremo de la viga donde se obtenga la flecha máxima.

*E*: Modulo de Young o módulo elástico del acero ( $2.1 \cdot 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>).

*I*: Momento de inercia (0.245 cm<sup>4</sup> para el fleje 40x4mm).

*L*: Longitud total del elemento (22.0 cm).

### 2.6.3 CÁLCULOS DE POTENCIA

Para los cálculos de potencia se utilizará el principio que plantea que la potencia del motor es igual a la corriente por la tensión como se refleja a continuación en la ecuación (3).

$$P = V * A \quad [3]$$

Donde:

*P*: Potencia (Watt - Hp)

*V*: Voltaje (Voltio)

*A*: Amperaje (Amperio)

## **METODOLOGÍA**

### 3. METODOLOGÍA

En el presente proyecto en primer lugar se llevó a cabo la investigación bibliográfica en la que se recolectó información y posteriormente se realizó el análisis del sistema de frenos regenerativos, para conocer los diferentes tipos y partes que lo componen. Como segundo paso que se realizó fue el estudio de los diferentes tipos de frenos existentes en el mercado para conocer sus componentes y funcionamiento comparando con el sistema de frenos regenerativos. Y en tercer lugar se procedió al análisis de los resultados del sistema de frenos regenerativos ya implementado en el vehículo por medio de la ejecución de pruebas de campo.

El método de investigación que se utilizó para la culminación de este proyecto fue el experimental, ya que se planteó una hipótesis que fue si el sistema regenerativo era una solución a la pérdida de potencia del motor, luego se elaboró un diseño viable del mismo, al final se implementó al vehículo y se realizaron pruebas de campo obteniendo y analizando resultados, de esta manera se pudo sacar las debidas conclusiones.

De igual manera se obtuvo resultados tangibles de la pérdida de potencia existente mediante la aplicación de la ecuación (13) en donde se explica la pérdida existente en el motor a diferentes revoluciones y torque máximo, aplicando diferentes tipos de cargas al alternador del vehículo.

A continuación se da una explicación puntual de los diferentes componentes que se emplearon en el proyecto, tanto en la parte de datos técnicos como en la parte de montaje del sistema de frenos regenerativos.

Las Bobinas que se emplearon en la armazón del generador fueron formadas por varias espiras de alambre de diámetro 0.511 mm, que según las normas americanas de alambres de cobre AWG lo especifica como número 24 teniendo una sección de 0.205 mm<sup>2</sup>. Se escogió este número de alambre de cobre debido a su alta flexibilidad, conductividad y versatilidad al momento de conexión y respectivo montaje. En este caso se realizó la conexión de Bobinas en fases idénticas y desfasadas entre sí basándose en

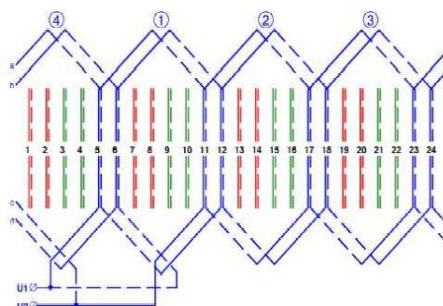
el ángulo característico del sistema trifásico a  $120^\circ$ , de igual forma se fue conformando grupos ondulados y conectados por polos consecuentes.

Se realizó la conexión por polos consecuentes en doble capa, es decir, que el final de un grupo de bobinado está conectado con el inicio del siguiente, y el final de un grupo de bobinado con el inicio del siguiente, al final se dejó sin conexión el inicio del primer grupo de bobinado y al final del último grupo de bobinado, los cuales son el inicio y el final de la conexión del grupo de bobinas tal como se observa en la figura 46.



**Figura 46.** Devanado de bobinas

En este proyecto el análisis será enfocado al freno regenerativo y su función como generador, ya que mediante campos magnéticos generados por bobinas se transforma energía eléctrica en movimiento rotatorio de un eje tal como se muestra en la figura 47.



**Figura 47.** Conexión Bobinado ondulado  
(Elementos Magneticos Navarra S.L, 2016)

En el proyecto era necesario un elemento eléctrico que trabaje aumentando o disminuyendo el nivel de energía o carga que se le va a suministrar a la batería, de este modo se decidió utilizar un potenciómetro que esta acoplado en el pedal del freno, el cual enviará dependiendo la fuerza y tiempo del

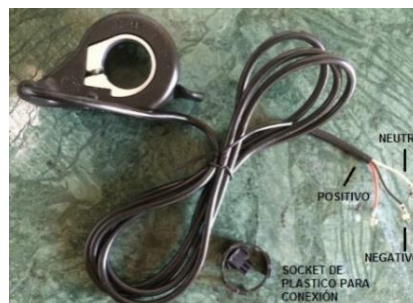
frenado, un porcentaje mínimo y máximo de carga. Se utilizará un potenciómetro de tres posiciones o tres terminales marca Wuzing, que posee un diámetro de 16 mm y un aro giratorio de 6 mm hecho en metal, además posee indicadores de voltaje que ayudan a saber en qué nivel de carga se encuentra la batería.

El anillo giratorio va acoplado al pedal del freno mediante un eje tal como se muestra en la figura 48, de tal manera que a medida que se aplasta el pedal manda mayor o menor energía al acumulador, este potenciómetro trabaja en conjunto con el controlador eléctrico que se lo va analizar más adelante.



**Figura 48.** Potenciómetro utilizado

El controlador posee terminales en donde entra la señal de un resistor variable, que realiza las veces de medidor de energía, la cual se suministra a la batería, de esta manera se realizó la conexión de los tres terminales del potenciómetro tanto masa, neutro y positivo a las entradas del controlador mediante cables y sockets de plástico como se indica en la figura 49.

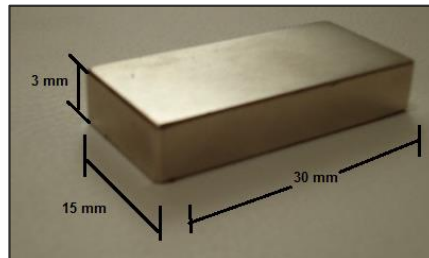


**Figura 49.** Conexiones Potenciómetro

Teniendo en cuenta las características planteadas anteriormente y las dimensiones del diseño de la carcasa, la potencia a obtener y el factor económico, se optó por utilizar los imanes de neodimio con las siguientes



propiedades tal como se observa en la figura 50, calidad N42, cantidad 20, dimensiones 30x15x3 mm, remanencia 13.2 kg y producto energético: 318-342 KJ/m<sup>3</sup>



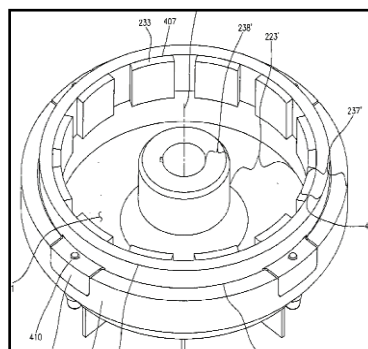
**Figura 50.** Dimensiones de los imanes

En la figura 51 se muestra la disposición de los imanes, en el generador



**Figura 51.** Disposición de imanes en el generador

Los imanes van acoplados a una carcasa metálica giratoria dispuestos de forma horizontal uno al lado del otro, en la figura 52 se indica la disposición de los imanes.



**Figura 52.** Disposición de los Imanes dentro del generador  
(Elementos Magneticos Navarra S.L, 2016)

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DISEÑOS

En el mercado actual se pueden encontrar variedad de diseños de frenos regenerativos en automóviles de gama alta, ya que cada vez más empresas de la industria automotriz le apuestan a esta tecnología que es más eficiente en aprovechar esa energía desperdiciada y amigable con el medio ambiente. En la figura 53 se muestra el esquema de funcionamiento del sistema de frenos regenerativos cuando el vehículo entra en el proceso de aceleración y de frenado.

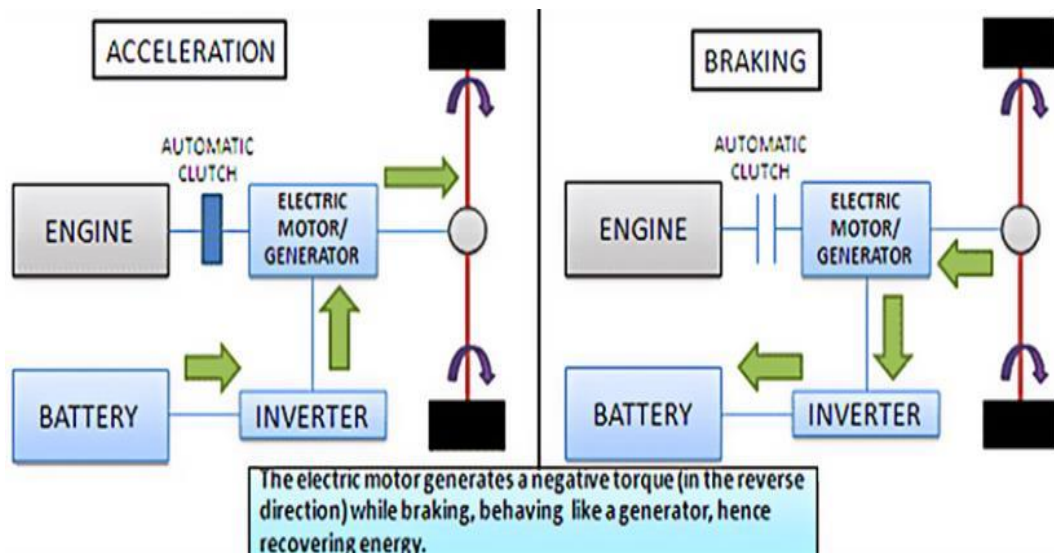


Figura 53. Principio de funcionamiento del sistema de frenos regenerativos.  
(Machine Designed, 2016)

### 4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En la parte mecánica se va a proceder a describir como se realizó la adaptación de los diferentes componentes para llegar a tener un conjunto generador de energía, de igual manera se verá de qué manera se implementó en el Chevrolet Vitara, mediante la construcción de una placa de acero sobrepuesta en el aro del neumático del vehículo antes mencionado. Este proceso se lo realizó analizando los diferentes tipos de

diseños que podrían ser válidos para la geometría del vehículo de prueba, dando resultados favorables al diseño expuesto en el proyecto.

También hubo otros diseños pero comprometían otros sistemas del vehículo, por lo que se decidió no alterar ni afectar ningún otro mecanismo del mismo, para de esta manera tampoco se viera afectado la economía del dueño.

#### **4.2.1 ACOPLAMIENTO DE SOLENOIDES O BOBINAS**

En la figura 54 se muestra la conexión de las bobinas y las posiciones en el devanado del núcleo, las bobinas se acoplaron al generador de manera tal generen energía suficiente y no se ocupará mayor espacio, determinando que el objetivo principal, es recuperar la energía que se pierde o disipa y almacenarla en un acumulador. Con esta conexión se obtendrá el amperaje deseado.



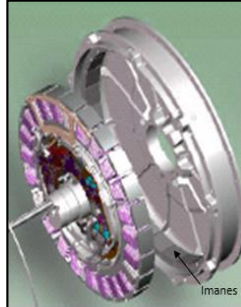
**Figura 54.** Acoplamiento de las bobinas en el generador

Los extremos de las bobinas fueron unidos con estaño y protegido con aislante para evitar cortes circuitos. Las bobinas fueron montadas en el núcleo sólido de una forma cuidadosa y precisa para evitar pérdidas y sobrecalentamiento de las mismas y el núcleo. Los terminales de los tres pares de polos se unieron a los cables de salida de conexión al circuito eléctrico.

#### **4.2.2 ACOPLAMIENTO DE IMANES**

En la figura 55 se indica el acoplamiento de los imanes en la coraza, dicho elemento será el que realizara el movimiento giratorio alrededor del núcleo.

Los imanes, son pegados alrededor de todo el perímetro interior del tambor con resina de alta resistencia como la LOCTTITE 480 encontrada en el mercado, ya que los imanes realizan una gran fuerza contra en núcleo y las bobinas.



**Figura 55.** Acoplamiento de imanes al tambor

Se utilizó este adhesivo instantáneo, por su tenacidad al unir metales e imanes, con buena resistencia a la humedad, con un curado medio, facilitando el posicionamiento uniforme de los imanes en el tambor, brindando una alta resistencia a la tracción

En el interior del tambor de 100 mm de diámetro y 50 mm de ancho, se encuentran 20 imanes de neodimio, instalados a lo largo del perímetro, como se muestra en la figura 56.

Luego de instalado se recubrirán con una capa muy fina de barniz industrial del que se puede hallar a la mano o adquirir en cualquier local comercial sin tener en cuenta la calidad. Esta pequeña capa de aislante protegerá los imanes del medio ambiente ya que son un producto que se corroe muy fácilmente.



**Figura 56.** Juego de imanes acoplados al estator

### 4.3 PARTE ELECTRÓNICA

Para el correcto funcionamiento del motor eléctrico es necesario realizar un control eficaz sobre el mismo, y de esta forma garantizar su correcto funcionamiento con los niveles requeridos en el proceso.

Este control es realizado de forma electrónica, a través de un circuito de regulación y control que toma como entrada la posición del motor a través de tres sensores de efecto Hall y la señal de salida de un potenciómetro ubicado debajo del pedal de freno, estas señales se procesa en un microcontrolador y mediante un modulador de ancho de pulso (PWM) se controlan los 6 elementos de Potencia que energizarán las bobinas del motor.

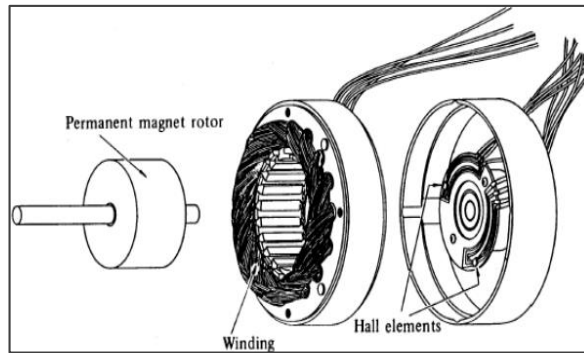
En el sistema regenerativo, al accionar el pedal de freno, en la primera fase solo se emplea la amplitud que el motor eléctrico provee al ocuparse como generador. Esta electricidad es utilizada para cargar las baterías. Si se mantiene accionado, entran en acción los frenos mecánicos tradicionales, por lo tanto se debe controlar electrónicamente la porción de energía que se aprovecha del frenado, ya que en desaceleraciones muy fuertes podrían causar daños a las baterías.

Con el fin de aprovechar la energía que normalmente se disipa en el proceso de frenado y almacenarla en un acumulador alternativo que permita reutilizar la misma por ejemplo en los extras del vehículo, se decidió aprovechar las características de los motores eléctricos de trabajar además como generadores.

Los motores DC sin escobillas tienen sensores hall que proporciona la posición del rotor, permitiendo de esta manera el control de velocidad del mismo y así controlar la carga y descarga, cuando se acelera y se frena, de la batería.

Esto dio como resultado el correcto control de las señales que entran al microcontrolador desde el potenciómetro y desde el generador.

Un ejemplo de motor sin escobillas puesto en vista de sección y señalando sus respectivos componentes se indica en la figura 57.



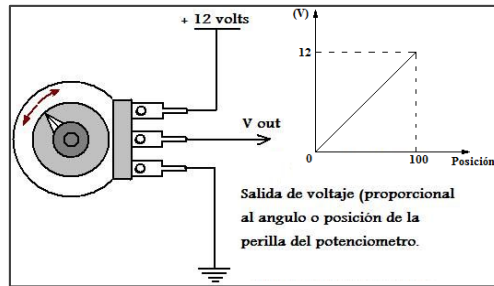
**Figura 57.** Despiece de Motor Brushless  
(Permanent magnet and brushless dc motors, 1985)

Por lo general, el campo originado por el paso del imán permanente a través de los bobinados del estator, es utilizado para excitar los sensores Hall que se encuentran montados sobre el rotor, generando señales que permiten realizar el control del motor. La electromagnética indica que se halla un campo, proporcional a la velocidad, cuando se mueve un polo magnético en el espacio. Este campo es originado en las bobinas del motor, generando una fuerza electromotriz de retorno inducida y un torque mayor a cero.

Esta electricidad puede ser utilizada cuando el motor ya no está siendo excitado, ya que es proporcional a la inercia, en el momento de frenar para recargar los acumuladores. La información de cada uno de los procesos del generador cuando no se está alimentando, puede ser obtenida mediante de los sensores que indican la posición del rotor.

#### 4.3.1 SEÑAL DE ENTRADA ANALÓGICA

Para el control del tiempo en el que se suministra carga a la batería se emplea un circuito de conmutación, la inercia produce una fuerza que aumenta la velocidad más de la deseada, se lleva a cabo el proceso de conmutación en el circuito para que traslade corriente desde el generador hacia la batería, frenando así el motor y a la vez reutilizando la energía que había almacenado como energía cinética. Esto conformaría la entrada de señal analógica del circuito de control y que se colocaría en el pedal de freno en forma de potenciómetro dando una medida del nivel de energía que se entregará o extraerá del motor eléctrico, como se indica en la figura 58.

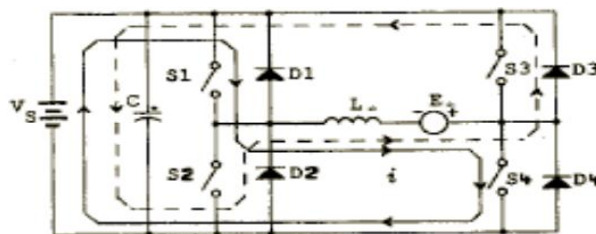


**Figura 58.** Señal analógica de referencia del Potenciómetro, variable de 0 a 12 V (Elementos Magneticos Navarra S.L, 2016)

### 4.3.2 REGULADOR DE ENERGÍA

El circuito de conmutación mencionado anteriormente para regular el circuito de carga de la batería se implementa en un bloque llamado conversor AC/DC Corriente Alterna a Corriente Directa. Estos convertidores por lo general son utilizados en la mayoría de vehículos, para evacuar la energía en las frenadas que no es posible recuperar, en estos casos trabaja el chopper de frenado que consiste en una resistencia, acoplada a un interruptor que permite el paso de corriente a través de ella, consiguiendo que la energía se pierda en forma de calor.

Esto no es muy eficiente, por lo que en el circuito de frenado regenerativo se utiliza un conversor AC/DC Corriente Alterna a Corriente Directa bidireccional electrónico con un circuito como el mostrado en la figura 58.



**Figura 58.** Fuente de conmutación (Dominguez, 2012)

En el circuito mostrado, la inductancia  $L_{ab}$ , forma el bobinado de las fases A y B del generador, y la fuente  $E_{ab}$ , la f.e.m de retorno inducida en las mismas fases.

La línea continua muestra el camino de la corriente en el estado inicial, cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados, y la línea discontinua



representa el camino de la corriente cuando el switch 4 está abierto, en el segundo estado.

Los interruptores S1 y S4 se abren cuando la tensión alcanza un valor máximo definido, cargando la batería, cuando se reduce la corriente que circula hacia la batería, S1 y S4 se vuelven a cerrar, repitiendo el proceso durante el proceso de frenado. (Domínguez, 2012)

### 4.3.3 FUNCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Combinando las señales de los tres sensores es posible determinar con exactitud la secuencia de conmutación. Cuando los polos magnéticos del rotor pasan por los sensores de efecto Hall, un polo recibe una señal alta y el otro más baja. En la figura 59 se muestra la configuración típica para manejar un motor DC sin escobillas con sensores de efecto Hall. Este sistema muestra las tres bobinas del motor A, B y C en configuración de estrella, un microcontrolador PIC18F2431 de Microchip, un controlador de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) y un inversor trifásico con seis IGBT (Q0, Q1, ...Q5) (para la conmutación de alta potencia también pueden ser utilizados los transistores de efecto de campo con semiconductores de óxido metálico (MOSFET)).

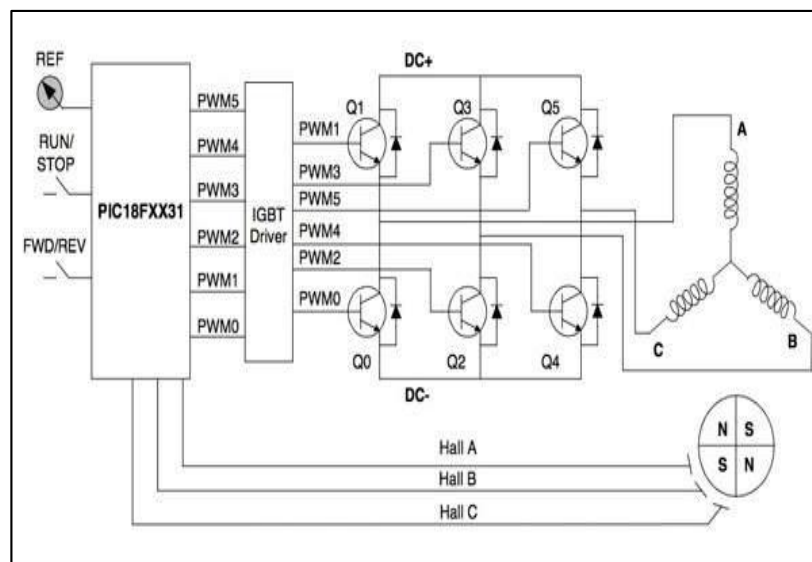
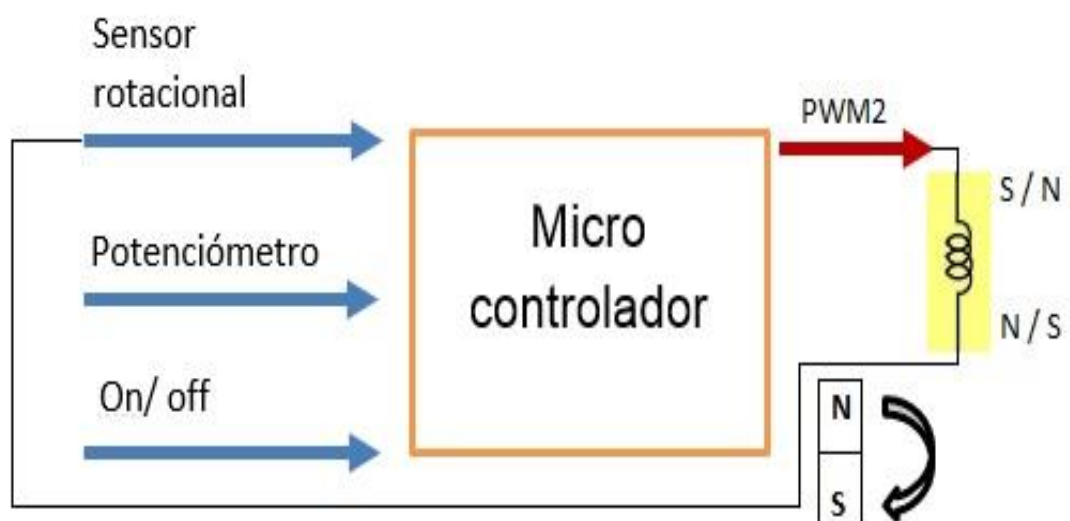


Figura 59. Sistema de Control que utiliza un Micro controlador de 8 bits (Gil, 2007)

La salida del microcontrolador (reflejado por el controlador IGBT) incluye señales moduladas de ancho de pulso (PWM) que determinan el promedio de voltaje y el promedio de corriente en las bobinas (y por lo tanto, la velocidad y par de torsión del motor). Esta interfaz con los moduladores de ancho de pulso y los IGBT es fundamental, ya que el microcontrolador, al ser un elemento digital de control no es capaz de manejar altas potencias. El motor utiliza tres sensores de efecto Hall (A, B y C) para indicar la posición del rotor. En este ejemplo simplificado el rotor utiliza dos pares de imanes permanentes para generar el flujo magnético.

En este sistema se emplea una secuencia de conmutación de seis pasos para generar cada revolución eléctrica. Como el motor tiene dos pares de imanes, se necesitan dos revoluciones eléctricas para hacer girar el motor una vez.

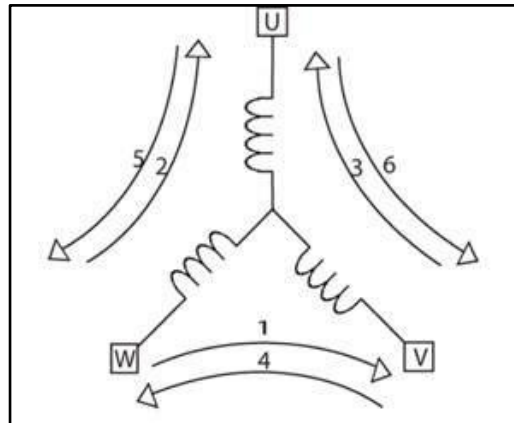
Para una mayor comprensión del sistema y de cómo funciona el microcontrolador específicamente, a continuación se expone en la figura 60 un esquema simplificado del funcionamiento del mismo.



**Figura 60.** Esquema simplificado de un sistema de control

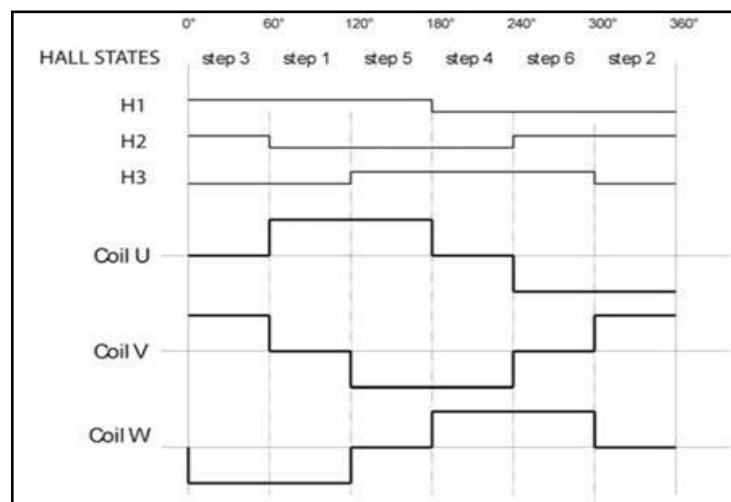
El flujo de corriente se indica en la figura 61 en un arreglo idéntico de bobinas conectadas al motor para cada uno de los seis pasos, también se puede apreciar las salidas subsiguientes de los sensores de efecto Hall y los voltajes de la bobina.

En esta geometría se encuentra inmersas las entradas y salidas dispuestas en el mecanismo además se observa de qué manera se mueve el flujo de electrones de igual forma se muestran las señales provenientes de los sensores de tipo Hall posicionados en el generador. (Gil, 2007)



**Figura 61.** Secuencia de alimentación de las bobinas para una revolución eléctrica (Serrano, 2008)

En la figura 62 se muestra gráficamente el comportamiento del estado de los sensores de efecto Hall y las bobinas.



**Figura 62.** Estado de los sensores de efecto Hall y las bobinas (Ribbens, 2007)

Los sensores de efecto Hall determinan el momento exacto en que el Micro controlador energiza cada bobina. En este ejemplo, los sensores H1 y H2 determinan la conmutación de la bobina U. Cuando H2 detecta un polo

magnético N, la bobina U se energiza positivamente; cuando H1 detecta un polo magnético N, la bobina U se abre; cuando H2 detecta un polo magnético S, la bobina U se torna negativa; y por último, cuando H1 detecta un polo magnético S, la bobina U se vuelve abrir. De manera similar, los sensores H2 y H3 determinan si se energiza la bobina V con H1 y H3 cuidando de la bobina W, todo este proceso se repite al momento de estar en funcionamiento el mecanismo. (Ribbens, 2007)

El Microcontrolador trabaja sobre dos de los interruptores en el inversor trifásico estén cerrados para energizar de manera positiva o negativa las dos bobinas activas. Por ejemplo, conmutar Q1 en la figura 59 energiza positivamente la bobina A y conmutar Q2 energiza negativamente la bobina B para ofrecer una ruta de retorno. La bobina C permanece abierta.

#### **4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO**

Ya conceptualizada, analizada y elegida la propuesta del diseño del proyecto que era viable y eficaz, se inició con la toma de las medidas del diámetro del aro y ancho de la pestaña, para realizar los planos de fabricación de taller, como se muestra en la figura 63.



**Figura 63.** Aro trasero del vehículo

Realizados los planos de taller de cada elemento, como se muestra en los Anexos 1, 2, 3 y 4, se procedió a la fabricación de los elementos del diseño. Los elementos del sistema constan de un disco soporte, fabricado con acero estructural o al carbono ASTM A-36 y dos brazos auxiliares de platina de acero al carbono ASTM A-36, con especificaciones técnicas y de fabricación como se muestra en los anexos antes mencionado.

En la imagen de la figura 64 se muestra la fabricación del disco o elemento soporte del núcleo sólido de imanes y bobinado en el torno, el cual está siendo refrentado para obtener la medida deseada, este disco soporte va acoplado al aro del vehículo para que sostenga todo el sistema, todo se encuentra conectado y ensamblado de modo tal que no interfiera con ningún otro sistema a bordo del vehículo.



**Figura 64.** Proceso de maquinado del disco soporte

En el proceso de maquinado se realizaron medidas de rectificación de dimensiones, teniendo en cuenta que el elemento quedara ajustado al diámetro del aro, al igual que el uso de los medios de protección para evitar accidentes del puesto de trabajo como se muestra la figura 65.



**Figura 65.** Uso de los medios de protección

En la figura 66 se aprecia la fase final o terminación y ajuste del disco soporte en el aro del vehículo de prueba.



**Figura 66.** Ajuste del disco soporte en el aro

Para la fabricación del disco soporte se utilizó una plancha de acero al carbono que se puede adquirir en el mercado, con especificación ASTM A-36 con dimensiones de 800 x 800 mm y espesor de 8 mm por norma NTE INEM 115:2008.

Como siguiente paso de fabricación se procedió al montaje del núcleo bobinado al disco de ajuste, a través de 4 pernos de 6 mm o M6. La unión del disco soporte o conjunto del freno regenerativo, se ajustó a la pestaña del aro con pernos de diámetro de 6mm a través de orejas insertadas al disco soporte, mediante el proceso de soldadura, con un acabado de pulido, como se aprecia en la figura 67.



**Figura 67.** Montaje del disco o conjunto regenerativo al aro

En la figura 68 se observa la fabricación de los orificios roscados (macho para rosca milimétrica M6) para este paso del proceso se utilizó un taladro horizontal, se realizaron orificios en la pestaña del aro los que servirán como unión y fijación de los elementos del mecanismo.



**Figura 68.** Fabricación de los orificios roscados en la pestaña del aro

Como continuación del proceso de fabricación se procedió al correcto montaje del disco en el aro del neumático conjuntamente con el mecanismo regenerativo en el vehículo de prueba, tal como se muestra en la figura 69.



**Figura 69.** Montaje del sistema regenerativo en el vehículo

A continuación se da el proceso de fabricación del brazo auxiliar, que soporta al eje del sistema regenerativo y los cables conductores que van guiados hacia la cabina del vehículo en donde estará acoplado el sistema de potenciómetro en el pedal del freno y estos a su vez van conectados a los acumuladores.

Para la fabricación del brazo auxiliar se utilizó un platina de 40x4 mm de 6 metros de largo de acero con especificación ASTM A-36 por norma N2415 2008 TE INEM.

Se fabricaron tres elementos como se muestran en los planos de fabricación de taller, con las especificaciones y dimensiones expuesta en los mismos, estos tres elementos sirven de fijación del sistema al automotor.

En la figura 70 se muestra una imagen de los elementos fabricados y de su disposición al momento del ensamblaje en la rueda posterior del vehículo de prueba Chevrolet Vitara.



**Figura 70.** Fabricación del brazo auxiliar

En la figura 71 se muestra el elemento de unión del brazo auxiliar al chasis del vehículo, esto proveerá de una sujeción fija al eje central del generador ya acoplado al aro del neumático posterior, es decir que el eje va a quedarse fijo mientras los demás componentes giran a su alrededor generando la energía, esta electricidad es proporcional con la velocidad y revoluciones por minuto del vehículo de prueba.





**Figura 71.** Elemento de unión del brazo auxiliar al chasis del vehículo

Para el proceso de fabricación y acoplamiento de estos elementos estructurales, se utilizó una amoladora eléctrica, un taladro vertical y un equipo de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible o mejor conocida como suelda MIG. (Metal Inert Gas)

Todos estos procesos se realizaron bajo normas de seguridad del taller y usando los elementos de protección personal específicos para cada uno de los procesos, el equipo de soldadura marca Hobart que fue utilizado en el proceso se muestra en la figura 72.



**Figura 72.** Equipo de suelda MIG

Terminada la fabricación de todos los elementos se procedió, al montaje y ajuste de los mismos en el vehículo como se muestra en la figura 73.

Se puede apreciar la unión de los elementos a través de los pernos de ajustes, además los cables conductores ajustados por medio de abrazaderas plásticas al brazo auxiliar, para evitar accidentes.



**Figura 73.** Ajuste y montaje del sistema regenerativo

Realizado el montaje del conjunto del sistema regenerativo, se procedió a realizar una prueba de funcionamiento del mismo, constatando el buen funcionamiento y adaptación del mecanismo al vehículo.

#### **4.4.1. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS BRAZOS AUXILIARES DEL SISTEMA REGENERATIVO**

Para el cálculo estructural del elemento se tendrá en cuenta los conocimientos de la resistencia de materiales teniendo como finalidad el cálculo del elemento como un cuerpo sometido a cargas y los problemas a resolver del tipo de dimensionamiento, cuándo se busca la selección adecuada del material, las formas y dimensiones más adecuada para el diseño, de forma que el elemento trabaje de forma segura y con un costo adecuado al diseño, así como conocer si las dimensiones y formas prefijadas, son las adecuadas o idóneas para resistir el estado de sollicitaciones actuantes.

Para el análisis se tendrá en cuenta la hipótesis del principio de superposición de efectos, debido a que las deformaciones en los elementos, son mínimas en comparación con las dimensiones del mismo, las ecuaciones de equilibrio a cada caso, de elementos o cuerpo cargado puede plantearse sobre su configuración o estado inicial normal, sin deformaciones y que las deformaciones sean proporcional a la carga ejercida.

Todos los elementos de máquinas están sometidos a la acción de fuerzas y momentos externos, los cuales actúan en las secciones de los elementos,

provocando esfuerzos y momentos internos, que cuando sobrepasan a las fuerzas de atracción molecular del material del elemento, producen acciones catastróficas como las separaciones, daños o roturas del material.

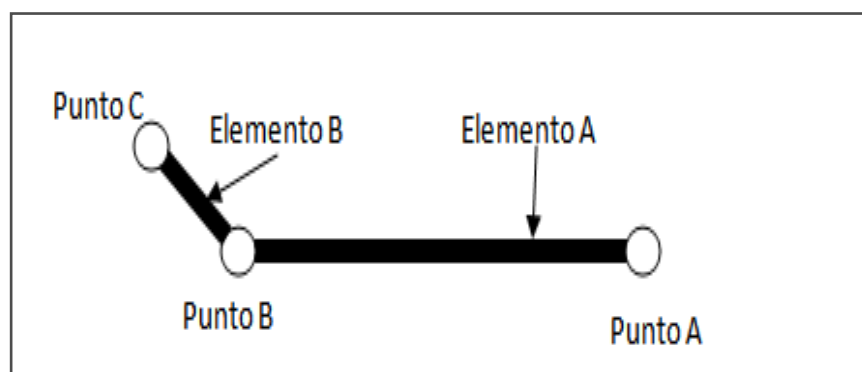
La falla de un elemento además de ocasionar pérdidas económicas puede provocar pérdidas humanas, por lo que se busca en cada diseño que se realice la máxima seguridad.

La teoría probabilística enseña que se puede lograr una seguridad absoluta en un diseño, pero si se puede lograr una reducción de la probabilidad de fallas, logrando factores o coeficientes de seguridad mayor que la unidad (1).

La elección de este coeficiente es compleja, pero teniendo en cuenta que existen disposiciones reglamentarias sobre la construcción en acero facilitan la elección, indicando que estos valores varían entre 1 y 1.6.

Se procederá a realizar el análisis de los elementos estructurales de los brazos auxiliares del sistema regenerativo, para determinar la capacidad de soportar las cargas y esfuerzos a lo que está sometido el elemento y determinar si el material seleccionado es el adecuado para resistir los esfuerzos actuantes o los previstos.

Para un análisis eficaz de los elementos a ser utilizados se tendrá en cuenta que es un mecanismo o sistema mecánico simple, compuesto por dos elementos articulados, los cuales permiten al sistema de generación la transformación de la fuerza de giro o torque en energía eléctrica, los elementos del sistema de brazos auxiliares con su disposición se pueden apreciar en la figura 74.



**Figura 74.** Elementos del sistema de brazos auxiliares

Los elementos componentes del sistema se analizarán como elementos independientes en correspondencia a las cargas o esfuerzos a los que están sometidos.

En la figura 75 se analiza el elemento A como una viga simple apoyada en un extremo y empotrada en el otro extremo. En el punto A o extremo A, se encuentra un momento puntual, ejercido por el par transmitido por el neumático y sistema regenerativo.

El elemento B, será tratado de igual forma que el elemento A como se muestra en la figura 76.

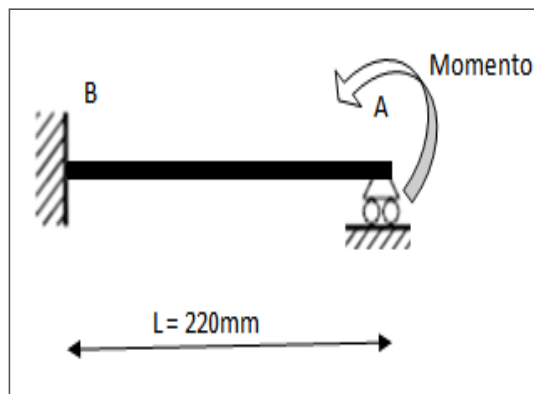


Figura 75. Diagrama de cuerpo libre del elemento A

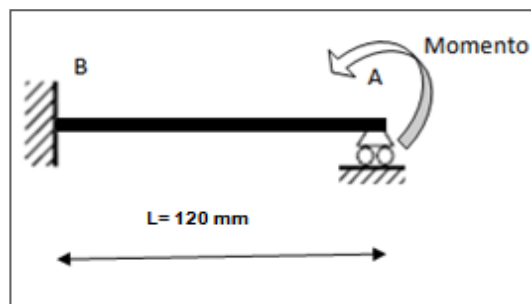


Figura 76. Diagrama de cuerpo libre del elemento B

#### 4.4.1.1. Cálculo del momento puntual ejercido en el elemento A

Para el cálculo del momento de las fuerzas cortantes y momento flector se emplean generalmente el método estático y el método de cálculo por integración, en el caso estudio se utilizará método estático, donde se realizan cortes imaginarios del elemento, aplicando elementos de la estática.

Para obtener el momento que se ejerce en el punto A del elemento A, se debe de considerar el par máximo transmitido por el motor del vehículo, al conjunto reductor, caja de velocidad-diferencial, transmitido a los ejes de este a los neumáticos y por consiguiente al sistema regenerativo.

El elemento A soporta el esfuerzo del momento ejercido por el eje del estator del sistema regenerativo, en el cual el rotor o tambor de imanes gira en conjunto con la llanta en igualdad al par transmitido.

En la tabla 1 se muestran los datos técnicos del vehículo de prueba Marca Chevrolet y Modelo Vitara basados en el Manual de Servicio de la Marca:

**Tabla 1.** Datos técnicos del Chevrolet Vitara

Torque máximo:	1.4 Kg.m (13.5 N.m)
Accionamiento:	Mecánico
Tipo:	Manual de 5 velocidades y 1 reversa.
Relaciones:	1ª. = 0.342
	2ª. = 0.534
	3ª. =0.781
	4ª. =1.032
	5ª. =1.321
	Rev.= 0.3
Relación de eje:	4.625: 1 (0.225)

(Chevrolet, 2014)

Para el cálculo de la relación de transmisión que se da al final del sistema de transmisión ( $R_d$ ), se toma en cuenta la relación de cada velocidad en la caja de cambios, y la relación de transmisión que se da en el diferencial, de esta manera se podrá obtener el torque máximo que se ejerce en punto A, esto esta expresado tal como se indica en la ecuación (4).

$$R_d = \text{Relación transmisión de la caja de velocidad} * \text{relacion de transmisión del grupo diferencial.} \quad [4]$$

Con ayuda de las hojas de cálculo de Excel, se obtuvieron las diferentes relaciones de transmisión al final del sistema de transmisión ( $R_d$ ) para cada velocidad del vehículo, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Cálculo de la relación de transmisión al final del sistema de transmisión

	Relación caja de velocidad	Relación diferencial	Relación total
1ra Velocidad	0.342	0.225	0.077
2da Velocidad	0.534	0.225	0.120
3ra Velocidad	0.781	0.225	0.176
4ta Velocidad	1.032	0.225	0.232
5ta Velocidad	1.321	0.225	0.297
Reversa	0.300	0.225	0.068

Aplicando la ecuación (1) referenciada en el marco teórico y con ayuda de las hojas de cálculo de Excel, se obtuvo el par en las ruedas, para las diferentes marchas o velocidades del vehículo de prueba, como se observa en la tabla 3.

**Tabla 3.** Cálculo del par en las ruedas para cada velocidad

	Relación total	Par Motor (Cm) Kg.m	Par Ruedas (Cr) Kg.m
1ra Velocidad	0.077	1.377	17.89
2da Velocidad	0.120	1.377	11.46
3ra Velocidad	0.176	1.377	7.84
4ta Velocidad	0.232	1.377	5.93
5ta Velocidad	0.297	1.377	4.63
Reversa	0.068	1.377	20.40

Sabiendo que el vehículo de prueba dispone de cinco velocidades y reversa, se procedió analizar los valores del par que llega a las ruedas para cada una de ellas.

Por lo que se puede constatar que el par máximo obtenido en las ruedas del vehículo, es de 17.89 Kg.m en marcha normal.

Como resultado se analiza que el momento máximo puntual en el punto A del elemento A posee un valor de 17.89 Kg. m.

Obtenido ya el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 71, se procede a analizar las fuerzas actuantes existentes para obtener el diagrama de reacciones, este grafico se puede observar en la figura 77.

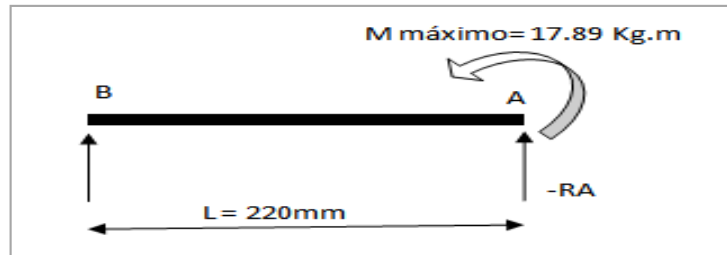


Figura 77. Diagrama de reacciones

Con los datos obtenidos, se determinan las reacciones en los apoyos A y B, utilizando la ecuación (5) y el sistema de ecuaciones de la estática predeterminadas para cada caso en correspondencia a las cargas incógnitas que se desean hallar y se conocen como estáticamente indeterminadas, planteando un ejemplo de solución para cada caso.

$$-R_A = R_B = \frac{3 M_{\text{max}}}{2 L} \quad [5]$$

Donde:

$R_A$ : Reacción en el punto A (Kg)

$R_B$ : Reacción en el punto B (Kg)

$M_{\text{máx}}$ : Momento máximo (17.89 Kg.m)

$L$ : Longitud del elemento.

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación (2) y en la ecuación (1) se resuelve:

$$-R_A = R_B = 1.5 * \frac{17.89 \text{ Kg.m}}{0.22\text{m}}$$

$$-R_A = R_B = 81.31 \text{ Kg}$$

Obtenido los respectivos valores de las reacciones tanto en el punto A como en el punto B, se calculan las fuerzas cortantes a la que está sometido el elemento, como se plantea en las ecuaciones (6) y (7).

$$V_A = R_A = 81.31 \text{ Kg} \quad [6]$$

$$V_B = R_B = 81.31 \text{ Kg} \quad [7]$$

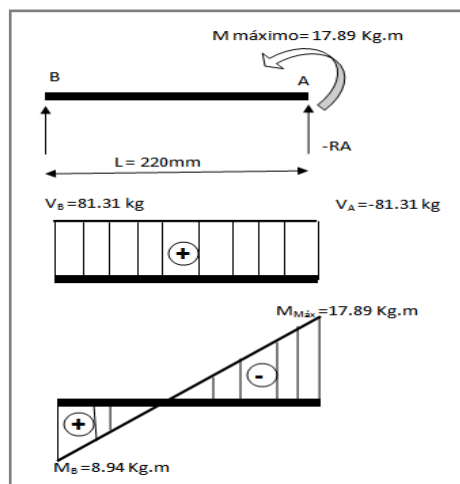
El momento máximo ( $M_{M\acute{a}x}$ ) se encuentra ubicado en el punto A, para poder obtener el momento especificado en el punto B ( $M_B$ ), se planteó la ecuación (8).

$$M_B = \frac{M_{M\acute{a}x}}{2} \quad [8]$$

Reemplazando el valor obtenido anteriormente en la ecuación (2) se resuelve que el momento en el punto B es:

$$M_B = 8.94 \text{ Kg.m}$$

Después de haber desarrollado y aplicado un correcto análisis de los cálculos y teniendo en cuenta los datos y resultados obtenidos con las fórmulas planteadas anteriormente se puede proceder a graficar el diagrama de las fuerzas cortantes existentes y momento flector o también conocido como momento de flexión de un material, estas graficas con sus respectivos valores se las puede apreciar tal como se muestra en la figura 78.



**Figura 78.** Diagrama de fuerzas cortante momento flector



Inicialmente un elemento recto, al que se le aplica una carga, se deforma adquiriendo una ligera curvatura, conociéndose como la elasticidad del material o deflexión del elemento, por lo que para evitar fallas estos esfuerzos no deben de exceder los límites de fluencia del material seleccionado para el diseño del elemento.

Despejando valores en la ecuación (2) referenciada en el marco teórico, y con la ayuda de las hojas de cálculo de Excel, se obtiene la flecha máxima o la deformación presente en vigas, para una ponderación de la distancia x en el elemento como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Cálculo de la flecha máxima

M máximo (Kg.cm)	Longitud (cm)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	x (cm)	Y máx. (cm)	Y máx. (mm)
1789	22	2100000	0.245	21	0.00053499	0.00534988
1789	22	2100000	0.245	20	0.00101902	0.010190248
1789	22	2100000	0.245	19	0.00145211	0.014521104
1789	22	2100000	0.245	18	0.00183424	0.018342447
1789	22	2100000	0.245	17	0.00216543	0.021654278
1789	22	2100000	0.245	16	0.00244566	0.024456596
1789	22	2100000	0.245	15	0.00267494	0.026749402
1789	22	2100000	0.245	14	0.00285327	0.028532695
1789	22	2100000	0.245	13	0.00298065	0.029806476
1789	22	2100000	0.245	12	0.00305707	0.030570745
1789	22	2100000	0.245	11	0.00308255	0.030825501
1789	22	2100000	0.245	10	0.00305707	0.030570745
1789	22	2100000	0.245	9	0.00298065	0.029806476
1789	22	2100000	0.245	8	0.00285327	0.028532695
1789	22	2100000	0.245	7	0.00267494	0.026749402
1789	22	2100000	0.245	6	0.00244566	0.024456596
1789	22	2100000	0.245	5	0.00216543	0.021654278
1789	22	2100000	0.245	4	0.00183424	0.018342447
1789	22	2100000	0.245	3	0.00145211	0.014521104
1789	22	2100000	0.245	2	0.00101902	0.010190248
1789	22	2100000	0.245	1	0.00053499	0.00534988

En la tabla se constata que la flecha máxima de deformación a la que está sometida el elemento es de 0.308 mm, siendo la flecha admisible del elemento 1.1 mm obtenida por la ecuación (9).

$$Y_{\text{admisible para elementos simples}} = \frac{\text{longitud del elemento}}{200} \quad [9]$$

En la tabla 5 se muestran las deformaciones admisibles en dependencia del destino del elemento.

**Tabla 5.** Tabla de deformaciones admisibles por reglamento (CIRSOC)

valores admisibles de flechas l = longitud de viga o losa	
destino de construcción	flecha límite
1.- En acero:	
destino A y B (soporta muros y pilares)	1/500
destino A y B (soporta techos, entrepisos)	1/300
destino C (cualquier función)	1/200
2.- En madera:	
destino A y B (cualquier función)	1/300
destino C (cualquier función)	1/200
3.- En hormigón:	
destino A y B (cualquier función)	1/400
destino C (cualquier función)	1/300

(Owen,G, 1989)

Por lo que se plantea que el material seleccionado para el elemento, es el adecuado, resistiendo los esfuerzos a los que está sometido.

Se pudo constatar al calcular la flecha máxima que el perfil seleccionado soporta la carga. Teniendo en cuenta las características de la platina de 40x4 ASTM A-36 por norma N2415 2008 TE INEM; y datos recomendados por el fabricante, se tiene como dato que el modulo elástico admisible mínimo es de 4080 Kg/cm<sup>2</sup>.

Se plantea en la ecuación (10) que:

$$\sigma_{ADM} = 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ADM} \leq 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

$$2950 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \geq \sigma = \frac{M}{S} \quad [10]$$

$$S \geq \frac{M}{4080 \text{ Kg/cm}^2}$$

Donde:

$\sigma$ : Limite elástico admisible del material ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$M$ : Momento máximo (17544 kg.cm)

$S$ : Módulo de plasticidad de la platina  $0.457 \text{ cm}^3$

Luego se calcula el módulo elástico al que están sometidas las vigas y se compara con el tabulado por el fabricante.

$$S \geq \frac{1789 \text{ Kg.cm}}{4080 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$SA \geq 0.43 \text{ cm}^3$$

Por lo que se puede constatar que el módulo de plasticidad del elemento seleccionado para el diseño del brazo auxiliar es mayor ( $0.457 \text{ cm}^3$ ) que el obtenido, por lo que la estructura soporta los esfuerzos a los que está sometida.

Aun que se constata que el elemento soporta las cargas, esfuerzos y deformaciones a la que está sometido, es necesario calcular el factor de seguridad como se indica en la ecuación (11).

Se plantea que:

$$n \text{ o F.S} = \frac{\sigma_{\text{Máximo}}}{\sigma} \quad [11]$$

Donde:

n: Factor de seguridad. (F.S)

$\sigma_{\text{max}}$ : Limite elástico máximo del material utilizado (5620 Kg/cm<sup>2</sup> (550Mpa) para acero ASTM A-36)

$\sigma$ : Limite elástico del material (Kg/cm<sup>2</sup>)

En la ecuación (12) se plantea que el límite elástico es:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad [12]$$

Donde:

$\sigma$ : Limite elástico del material (Kg/cm<sup>2</sup>)

M: Momento máximo (1789 Kg.cm)

C: Distancia de fibra extrema al eje neutro. (cm) (altura del perfil / 2)

I: Momento de inercia (0.245 cm<sup>4</sup>)

Sustituyendo los valores en la ecuación (12) se obtiene que:

$$\sigma_{\text{elemento A}} = \frac{1789 \text{ Kg. cm} * 0.2 \text{ cm}}{0.245 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma_{\text{elemento A}} = 1460.4 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ADM}} = 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se puede constatar que limite elástico al que está sometido el material por los esfuerzos, es mucho menor que el admisible, soportando las cargas a las que está sometida.

Sustituyendo en la ecuación (11).

$$n \text{ o F.S} = \frac{5620 \text{ Kg/cm}^2}{1460.4 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$n \text{ o F.S} = 3.8$$

$$n \text{ o F.S} = 4 > 1$$

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad debe de ser mayor que la unidad es decir 1, se plantea entonces que al ser los esfuerzos estáticos soportados por la viga, mucho menores que el admisible.

El factor de seguridad para la estructura diseñada está sobre dimensionada, soportando los esfuerzos con un factor de seguridad de  $4 > 1$ .

Como conclusión parcial, se plantea que el perfil seleccionado para la construcción del elemento del brazo soporta los esfuerzos a los que está sometido en el diseño planteado.

#### 4.4.1.2 Cálculo del momento puntual ejercido en el elemento B

Obtenido el momento puntual que actúa en el extremo o punto B del elemento A, se obtiene que el momento puntual en el punto A del elemento B es de 8.94 Kg.m.

Obtenido el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 72, se analizan las fuerzas actuantes para obtener el diagrama de reacciones como se muestra en la figura 79.

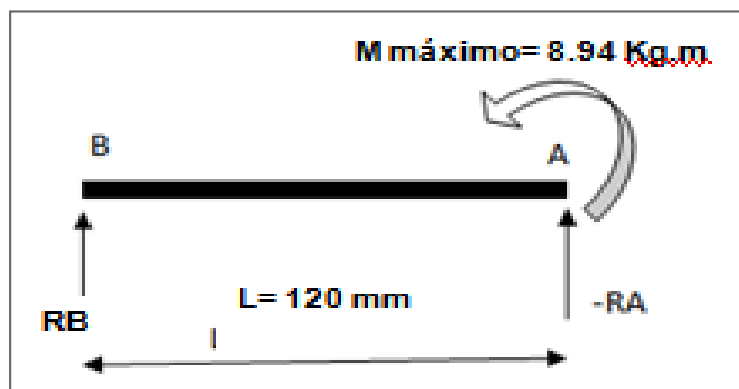


Figura 79. Diagrama de reacciones

Con los datos obtenidos, se determinan las reacciones en los apoyos A y B, utilizando la ecuación (13) utilizando el sistema de ecuaciones de la estática predeterminadas para cada caso en correspondencia a las cargas incógnitas que se desean hallar y se conocen como estáticamente indeterminadas, planteando un ejemplo de solución para cada caso.

$$-R_A = R_B = \frac{3}{2} \frac{M_a}{L} \quad [13]$$

Donde:

*RA*: Reacción en el punto A (Kg)

*RB*: Reacción en el punto B (Kg)

*M.a*: Momento en A (8.94 Kg.m)

*L*: Longitud del elemento (120 mm)

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación (13) se resuelve:

$$-R_A = R_B = 1.5 * \frac{8.94 \text{ Kg. m}}{0.12\text{m}}$$

$$-R_A = R_B = 111 \text{ Kg}$$

Obtenido los valor de las reacciones en el punto A y B, se calculan las fuerzas cortantes a la que está sometido el elemento, como se plantea en la ecuación (14) y (15).

$$V_A = R_A = 111 \text{ Kg} \quad [14]$$

$$V_B = R_B = 81.31 \text{ Kg} \quad [15]$$

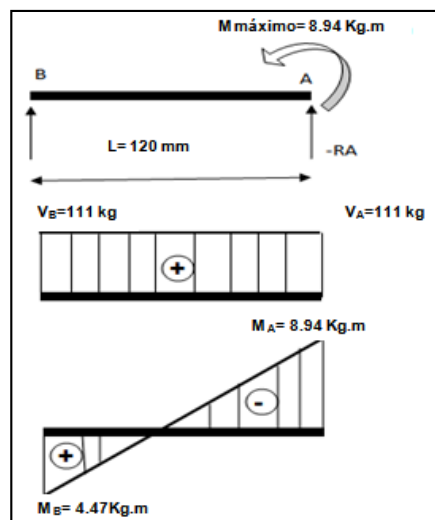
El momento máximo (*Ma*) se encuentra ubicado en el punto A, para obtener el momento en el punto B (*MB*), se plantea la ecuación (16).

$$M_B = \frac{M_a}{2} \quad [16]$$

Reemplazando el valor obtenido en la ecuación (16) se resuelve que el momento en el punto B es:

$$M_B = 4.47 \text{ Kg. m}$$

Teniendo en cuenta los datos y resultados obtenidos en los cálculos anteriores se puede proceder a graficar el diagrama de las fuerzas cortantes y momento flector o también conocido como momento de flexión, tal como se muestra en la figura 80.



**Figura 80.** Diagrama de fuerzas cortante momento flector

Para calcular las deformaciones que son generadas en el elemento, se calculara la flecha máxima, utilizando la ecuación (17).

$$Y_{Máx} = -\frac{Ma*x}{4EIL} * (L - x)^2 \quad [17]$$

Donde:

$Y_{máx}$ : Flecha máxima. (mm).

$Ma$ : Momento máximo en el punto A (8.94 Kg.cm).

$x$ : Distancia ponderada desde la fuerza aplicada al apoyo o extremo de la viga donde se obtenga la flecha máxima.

$E$ : Modulo de Young o módulo elástico del acero ( $2.1 \cdot 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>).

$I$ : Momento de inercia (0.245 cm<sup>4</sup> para el fleje 40x4mm).

$L$ : Longitud total del elemento (12.0 cm).

Despejando valores en la ecuación (17), y con la ayuda de las hojas de cálculo de Excel, se obtiene la flecha máxima o la deformación presente en vigas, para una ponderación de la distancia  $x$  en el elemento como se observa en la tabla 6.

**Tabla 6.** Cálculo de la flecha máxima

M máximo (Kg.cm)	Longitud (cm)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	x (cm)	Y máx. (cm)	Y máx. (mm)
8.94	12	2100000	0.245	11.5	1.04076E-06	0.00010408
8.94	12	2100000	0.245	11	3.98202E-06	0.0003982
8.94	12	2100000	0.245	10.5	8.5523E-06	0.00085523
8.94	12	2100000	0.245	10	1.44801E-05	0.00144801
8.94	12	2100000	0.245	9.5	2.14939E-05	0.00214939
8.94	12	2100000	0.245	9	2.93222E-05	0.00293222
8.94	12	2100000	0.245	8.5	3.76935E-05	0.00376935
8.94	12	2100000	0.245	8	4.63362E-05	0.00463362
8.94	12	2100000	0.245	7.5	5.4979E-05	0.0054979
8.94	12	2100000	0.245	7	6.33503E-05	0.00633503
8.94	12	2100000	0.245	6.5	7.11786E-05	0.00711786
8.94	12	2100000	0.245	6	7.81924E-05	0.00781924
8.94	12	2100000	0.245	5.5	8.41202E-05	0.00841202
8.94	12	2100000	0.245	5	8.86905E-05	0.00886905
8.94	12	2100000	0.245	4.5	9.16317E-05	0.00916317
8.94	12	2100000	0.245	4	9.26725E-05	0.00926725
8.94	12	2100000	0.245	3.5	9.15412E-05	0.00915412



En la tabla se constata que la flecha máxima de deformación a la que está sometida el elemento es de 0.0084 mm, siendo la flecha admisible del elemento 0.6 mm obtenida por la ecuación (18).

$$Y_{\text{admisible para elementos simples}} = \frac{\text{longitud del elemento}}{200} \quad [18]$$

Para calcular las deformaciones admisibles en dependencia del destino del elemento se toman los datos de la tabla 6 del subtítulo anterior.

Por lo que se plantea que el material seleccionado para el elemento, es el adecuado, resistiendo los esfuerzos a los que está sometido.

Se pudo constatar al calcular la flecha máxima que el perfil seleccionado soporta la carga. Teniendo en cuenta las características de la platina de 40x4 ASTM A-36 por norma N2415 2008 TE INEM; y datos recomendados por el fabricante, se tiene como dato que el modulo elástico admisible mínimo es de 4080 Kg/cm<sup>2</sup>.

Se plantea en la ecuación (19) que:

$$\sigma_{\text{ADM}} = 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{ADM}} \leq 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

$$2950 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \geq \sigma = \frac{M}{S} \quad [19]$$

$$S \geq \frac{M}{4080 \text{ Kg/cm}^2}$$

Donde:

$\sigma$ : Limite elástico admisible del material (Kg/cm<sup>2</sup>)

$M$ : Momento máximo (8.94 kg.cm)

S: Módulo de plasticidad de la platina  $0.457 \text{ cm}^3$

Luego se calcula el módulo elástico al que están sometidas las vigas y se compara con el tabulado por el fabricante.

$$S \geq \frac{894 \text{ Kg. cm}}{4080 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$SA \geq 0.21 \text{ cm}^3$$

Por lo que se puede constatar que el módulo de plasticidad del elemento seleccionado para el diseño del brazo auxiliar es mayor ( $0.457 \text{ cm}^3$ ) que el obtenido, por lo que la estructura soporta los esfuerzos a los que está sometida.

Aunque se constata que el elemento soporta las cargas, esfuerzos y deformaciones a la que está sometido, es necesario calcular el factor de seguridad como se indica en la ecuación (20).

Se plantea que:

$$n \text{ o F. S} = \frac{\sigma_{\text{Máximo}}}{\sigma} \quad [20]$$

Donde:

n: Factor de seguridad. (F.S)

$\sigma_{\text{max}}$ : Limite elástico máximo del material utilizado ( $5620 \text{ Kg/cm}^2$ ) ( $550 \text{ Mpa}$ )  
(para acero ASTM A-36)

$\sigma$ : Limite elástico del material ( $\text{Kg/cm}^2$ )

En la ecuación (21) se plantea que el límite elástico es:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad [21]$$

Donde:

$\sigma$ : Limite elástico del material(Kg/cm<sup>2</sup>)

M: Momento máximo (8.94 Kg.cm)

C: Distancia de fibra extrema al eje neutro. (cm) (altura del perfil / 2)

I: Momento de inercia (0.245 cm<sup>4</sup>)

Sustituyendo los valores en la ecuación (12) se obtiene que:

$$\sigma_{\text{elemento A}} = \frac{894 \text{ Kg. cm} * 0.2 \text{ cm}}{0.245 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma_{\text{elemento A}} = 729.79 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ADM}} = 4080 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se puede constatar que limite elástico al que está sometido el material por los esfuerzos, es mucho menor que el admisible, soportando las cargas a las que está sometida.

Sustituyendo en la ecuación (20).

$$\text{n o F. S} = \frac{5620 \text{ Kg/cm}^2}{729.79 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$\text{n o F. S} = 7.74$$

$$\text{n o F. S} = 8 > 1$$

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad debe de ser mayor que la unidad es decir 1, se plantea entonces que al ser los esfuerzos estáticos soportados por la viga, mucho menores que el admisible.

El factor de seguridad para la estructura diseñada está sobre dimensionada, soportando los esfuerzos con un factor de seguridad de  $8 > 1$ .

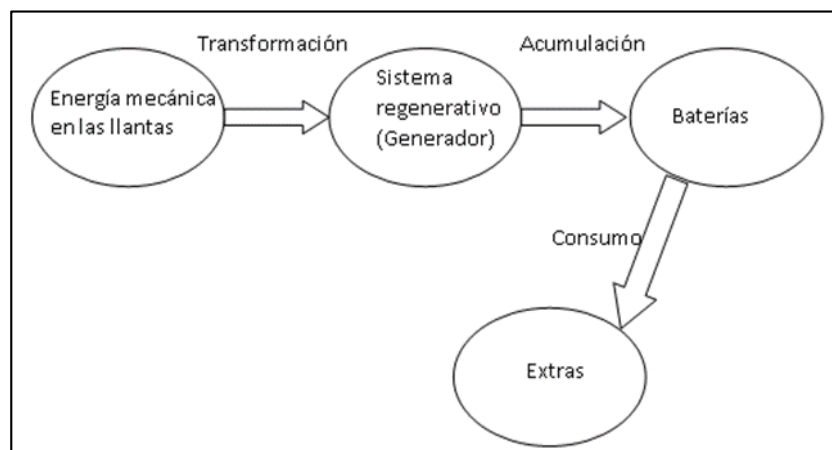
## 4.5 BALANCE ENERGETICO

El balance de energía es una derivación matemática de la Ley de la conservación de la energía o Primera Ley de La Termodinámica, es decir que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. El balance de energía es un principio físico fundamental, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema. En la investigación se encuentra de que manera la energía mecánica transmitida a través del torque o la potencia en las llantas del vehículo es enviada al sistema regenerativo, transformando esta energía mecánica en energía eléctrica, la cual es acumulada en las baterías para luego ser utilizada en los extras del vehículo como se muestra en el diagrama en la figura 81.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación de} \\ \text{energía dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación de} \\ \text{energía dentro} \\ \text{de sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo de} \\ \text{energía dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\}$$

**Figura 81.** Diagrama de la ecuación general del balance energético

En la figura 82 se refleja el sentido y tipos de energía que se transforman de un subsistema a otro dentro del sistema.



**Figura 82.** Sentido y tipos de energía que se transforman de un subsistema a otro dentro del sistema

Teniendo en cuenta que se tiene como datos el torque en las ruedas posteriores a las diferentes revoluciones, se obtiene la potencia transmitida por la misma al sistema regenerativo, a través de la ecuación (22) y con la ayuda de las tablas Excel.

$$Hp = \frac{RPM * T_{kgm}}{71620} \quad [22]$$

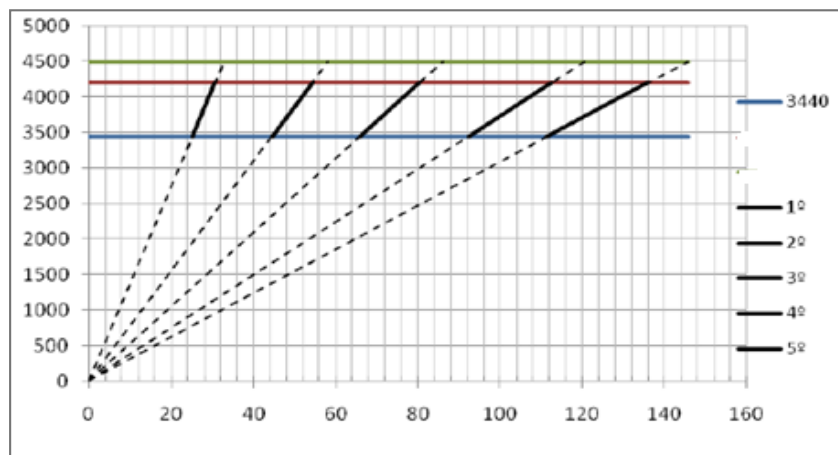
Donde:

Hp: Potencia (Watt - Hp)

RPM: Revoluciones del motor.

T: Torque en las llantas posteriores.

El cálculo es realizado a 60 km/h, con la 3ra macha del vehículo a 3000 rpm del motor como se muestra en la figura 83.



**Figura 83.** Gráfico de velocidades de vehículo según la marcha contra RPM del motor

En la tabla 7 se constata la potencia o energía mecánica que se transmite en las llantas del vehículo a 60 km/h y 3000 rpm, donde el generador aporta su máxima potencia, para ser transformada en energía eléctrica.

**Tabla 7.** Potencia o energía mecánica que se transmite en las llantas

Par Ruedas (Cr) Kg.m	Potencia (Hp)	Potencia (W)
7.84	0.3	2426,88

Teniendo en cuenta que el sistema regenerativo actúa como generador, estos, tienen una eficiencia que oscila entre el 50 y el 60 %, planteando que consumen entre el 40 y el 50% más de la potencia a producir, es decir que para obtener un valor determinado de energía, consumen o es necesario entregarle un 40-50% por encima del valor a generar. Con la ayuda de las tablas Excel se obtiene que la potencia mecánica se transforma en energía eléctrica a la salida del generador, como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8.** Potencia o energía mecánica que se transmite en las llantas

Potencia (W) en las llantas, transmitida al generador	Potencia del generador (W) (40% de 2426.88)	Potencia (W) entregada por el generador (50% )
2426.88	970.75	485.37

Por lo que se constata que al generador se entregan como promedio 2500W de energía mecánica, siendo transformada en energía eléctrica en un promedio de 480 W, la cual es almacena en los acumuladores o baterías, para ser consumida por los extras, con un consumo promedio de 400 W, transformados en calor o energía mecánica.

En la figura 84 se muestra la medición obtenida en el multímetro de 19.47 amperes y 25.5 voltios generados por el sistema generativo, con posición del potenciómetro entre 90-95% del recorrido del pedal de freno.



**Figura 84.** Medición de amperaje y voltaje entregado al sistema

Como resultado de las mediciones se obtuvieron datos de amperaje y voltaje con el vehículo en marcha, obteniendo una potencia entregada por el

generador, la cual es comparada con la obtenida teóricamente, los cuales se indican en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resumen de los cálculos de transformación de energía y medición

	A	B	C	Lectura de mediciones		
		40% de A		Potencia entregada por el generador (50% de A)	Voltaje de la medición (V)	Amperaje de la medición (A)
Velocidad Km/h	Potencia en las llantas, transmitida al generador (W)	(A) Potencia del generador (W)	Potencia entregada por el generador (50% de A)	Voltaje de la medición (V)	Amperaje de la medición (A)	Potencia generada (W)
60	2426.88	970.8	485.4	24.5	19.47	477.02
40	1617.92	647.2	323.6	21	16.16	339.36
35	1253.89	501.6	250.8	18.8	13.80	259.44
20	808.96	323.6	161.8	13.5	11.10	149.85

Planteando que la energía generada por el sistema regenerativo, satisface la demanda de la carga energética, de los extras conectados a las baterías secundarias instaladas al sistema.

## 4.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Ya comprobado el funcionamiento del vehículo con el sistema regenerativo, se procedió a realizar las debidas verificaciones, para dar cumplimiento al objetivo de la investigación, que expresa, al realizar pruebas de campo para conocer si los sistemas de frenos regenerativos son una solución válida para la no disminución de potencia en el motor.

### 4.6.1 PRUEBAS SIN SISTEMA REGENERATIVO

En la figura 85 se muestra la utilización del multímetro el cual es un equipo de comprobación automotriz muy utilizado en el área de diagnóstico, para obtener el voltaje de la corriente continua en la batería, de igual manera se utilizó una pistola estroboscópica para recolectar las revoluciones exactas del motor medidas sin la implementación del sistema regenerativo y encendiendo los extras del vehículo de prueba, obteniendo los resultados apreciados en las imágenes.



**Figura 85.** Medición de voltaje de la batería con el multímetro

En la figura 86 se muestra en la pantalla del multímetro el valor del voltaje obtenido en la batería al estar en funcionamiento el motor en el rango normal o ralentí.



**Figura 86.** Funcionamiento sin extras conectados

En la figura 87 se muestra la lectura de la pistola estroboscópica, obteniendo los resultados mostrados en la imagen, conectando todos los extras del vehículo, con una temperatura normal de funcionamiento. Observándose una considerable caída del voltaje y de las revoluciones del motor.



**Figura 87.** Lectura de la pistola estroboscópica



Por lo que se puede constatar que en el vehículo al encender los extras necesitan un mayor consumo de electricidad acumulada en la batería y generada por el alternador, elemento que se encuentra conectado directamente al cigüeñal del motor ocasionando una fuerza de resistencia al mismo, evidenciándose, la caída de revoluciones y de la potencia.

#### 4.5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON SISTEMA REGENERATIVO

Realizado el montaje de los elementos se procedió a la conexión de los elementos eléctricos y electrónicos como se muestra en el diagrama de instalación eléctrica de la figura 88, en donde se puede apreciar que todo el circuito eléctrico o electrónico (C.E.) está comandando el proceso de generación de energía mediante señales analógicas, es decir es el encargado de que todo el mecanismo esté funcionando normalmente mediante la interpretación de las señales, las cuales son conocidas como entradas y salidas.

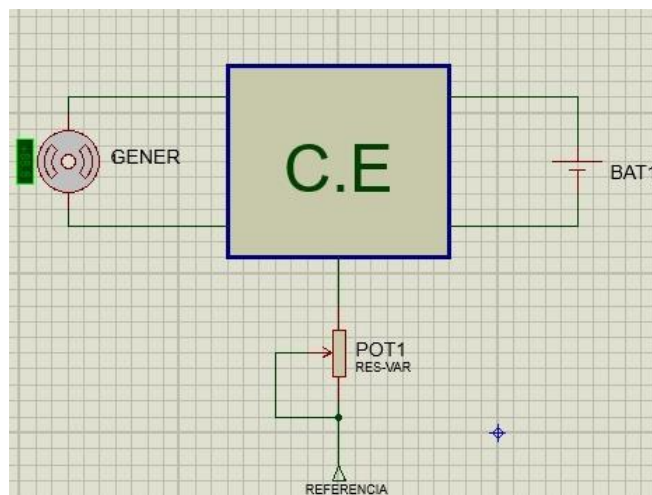


Figura 88. Circuito de instalación

En la figura 89 se muestra en sí ya toda la instalación real de los elementos componentes del sistema y las respectivas mediciones de voltaje y amperaje poniendo en funcionamiento el vehículo de prueba a diferentes revoluciones por minuto.



**Figura 89.** Conexión de elementos

En la figura 90 se muestra el voltaje obtenido a la salida de conexión del Microcontrolador a las baterías o acumuladores obtenido en un recorrido del pedal de freno en 60% de su posición, en donde se puede concluir que la generación de energía es proporcional a la aceleración del motor del vehículo de prueba.



**Figura 90.** Voltaje obtenido con el pedal de freno al 60 % de recorrido

Para la posición del pedal de freno al 90 al 95% de su posición se constató un lectura de voltaje de 25.5 voltios y un amperaje de 3.5 A como se muestra en la figura 91, es decir que el voltaje aumento de tal manera que si puede sostener la demanda de energía que posee una batería al momento de estar dando electricidad a los elementos o sistemas encendidos y acoplados a la misma.



**Figura 91.** Voltaje obtenido con posición del pedal de freno al 90% al 95%

En la figura 92 se muestra el funcionamiento del potenciómetro instalado en el pedal de freno, el cual regula la potencia del voltaje obtenido en el sistema regenerativo a las baterías, en correspondencia de la posición o recorrido del pedal, este elemento eléctrico provee al sistema tanto seguridad de generación como la amplitud de generación de la energía que producirá el mecanismo, de igual manera se lo acoplo en el pedal del freno gracias a su versatilidad de montaje ya que dispone de un eje rotatorio en donde se hizo la adaptación para el correcto funcionamiento del mecanismo.



**Figura 92.** Funcionamiento del potenciómetro del pedal de freno

En la figura 93 se muestra la imagen de la lectura del multímetro con recorrido del freno al 90%, entregando al sistema 25.4 volt.



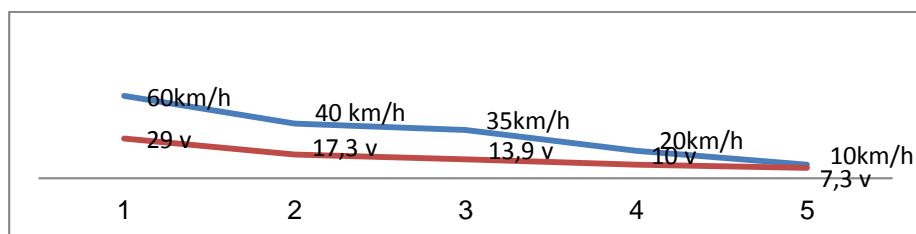
**Figura 93.** Funcionamiento del sistema regenerativo

Para una mayor exactitud de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, tomaron varias lecturas a diferentes revoluciones y ciclos de frenado. Se procedió a la toma de mediciones en la salida del sistema regenerativo, antes de la entrada al microcontrolador, obteniendo los valores y resultados mostrados en la tabla 10.

**Tabla 10.** Datos de corriente alterna a diferentes velocidades del automóvil.

Velocidad (km/h)	Datos de C.A obtenidos
10	7.3
20	10
35	13.9
40	17.3
60	29

En la figura 94 se constata que a medida que se disminuye la velocidad del vehículo, disminuye la corriente generada por el sistema regenerativo.



**Figura 94.** Comportamiento de generación a diferentes velocidades.

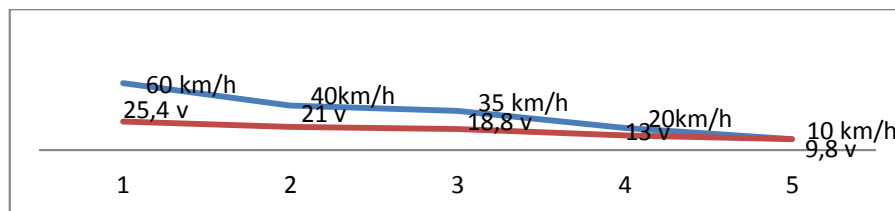
En la tabla 11 se muestra las mediciones tomadas en la salida del microcontrolador y entrada a las baterías, obteniendo los valores mostrados, estos datos indican que a medida que se obtiene mayor aceleración del vehículo el sistema regenerativo eleva la generación de carga eléctrica que

está siendo enviada a los acumuladores, la cual es controlada por el potenciómetro en el pedal del freno entre un 90 -95% del recorrido, a medida que este es accionado con mayor recorrido da paso a mayor corriente.

**Tabla 11.** Datos de corriente continua a diferentes velocidades del automóvil.

Velocidad (km/h)	Datos de C.C obtenidos
10	9.8
20	13
35	21
40	18.8
60	25.4

En la figura 95 se constata que a medida que se disminuye la velocidad del vehículo, disminuye la corriente a almacenar en las baterías, entregada por el sistema regenerativo.



**Figura 95.** Comportamiento de generación a diferentes velocidades.

Antes de realizar la conexión de las baterías (dos baterías de 12 voltios conectadas en serie), se procedió a realizar la medición de las mismas, constatando que el voltaje que se obtenía era de 0.4 V en ambas, las mismas luego de estar conectadas al sistema regenerativo y después de las pruebas con el mecanismo ya funcionando, se comprobó que tenían 12,8 V y un amperaje de 2.2 A como se muestra en la figura 96.



**Figura 96.** Medición de carga de las baterías

En las tablas 12 y 13 se muestran los valores de las mediciones realizadas, del voltaje entregado a las baterías, en las diferentes posiciones del potenciómetro, a diferentes velocidades del vehículo hasta llegar a obtener una reducción total de la velocidad, es decir a 0 Km/h.

**Tabla 12.** Mediciones de la corriente continua a diferentes posiciones del potenciómetro a diferentes velocidades del automóvil.

Velocidad inicial 60 km/h			
Posición del pedal (%)	Medición 1 (V)	Medición 2 (V)	Medición 3 (V)
0	0	0	0
10	7.3	7.2	6.9
50-60	19.9	20	18.9
90-95	25.5	24.5	25.4
100	0	0	0
Velocidad inicial 40 km/h			
Posición del pedal (%)	Medición 1 (V)	Medición 2 (V)	Medición 3 (V)
0	0	0	0
10	2.8	3,3	2.6
50-60	15.4	15.9	15.2
90-95	21	21.5	20.8
100	0	0	0
Velocidad inicial 35 km/h			
Posición del pedal (%)	Medición 1 (V)	Medición 2 (V)	Medición 3 (V)
0	0	0	0
10	0.6	1	0.3
50-60	13.2	13.6	12.9
90-95	18.8	19.2	18.5
100	0	0	0
Velocidad inicial 20 km/h			
Posición del pedal (%)	Medición 1 (V)	Medición 2 (V)	Medición 3 (V)
0	0	0	0
10	0.4	0.9	0.2
50-60	7.4	7.9	7.2
90-95	13	13.5	12.8
100	0	0	0

En la tabla 13 se puede apreciar los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el 95% de la posición del pedal, de igual forma se puede

observar los valores de energía regenerativa y energía cinética obtenidas del sistema.

**Tabla 13.** Pruebas de frenado con sistema regenerativo (95% de Pedal de Freno)

Velocidad (Km/h) (m/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (J/s)	Tiempo de frenado (s)	Energía Regenerativa (ER) (J)	Energía Cinética (EC) (J)	% =ER/EC
60 - 16.7	24.5	19.47	477.02	2.0	238.51	257638,88	0.0092
40 - 11.1	21	16.16	339.36	1.85	183.43	114506,17	0.0015
35 - 9.72	18.8	13.80	259.44	1.73	149.97	87668,78	0.0017
20 - 0.56	13.5	11.10	149.85	1.40	107.04	28626,54	0.0037

Para el cálculo de la energía cinética se utilizó la ecuación (23)

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2 \quad [23]$$

Donde:

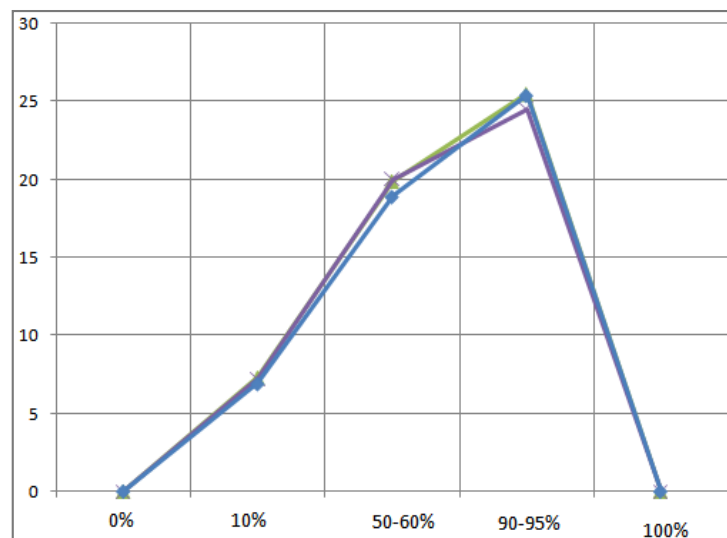
m: Masa del vehículo total obtenida del Manual del Fabricante (1855 Kg).

v: Velocidad del vehículo (m/s).

Ya conectadas las baterías extras al sistema eléctrico del vehículo se pudo constatar que al conectar los sistemas eléctricos extras, no se consumía energía del sistema convencional de suministro de energía del vehículo y por ende disminuyó el trabajo del alternador, provocando menor esfuerzo transmitido del motor para el funcionamiento del mismo, traduciéndose en menor pérdida de torque y potencia, teniendo en cuenta que al alternador consume potencia del motor o caballos de fuerza, en aproximado a una correspondencia casi directa con la entrega de electricidad necesaria, el mismo gira libre sino existe carga que generar o en correspondencia de la carga conectada, por lo antes expuesto se determinó la potencia consumida

por este al conectar la carga de los extras del vehículo, para conocer la pérdida de potencia existente en el motor de combustión interna.

En la figura 97 se observa el comportamiento del voltaje obtenido a la salida del potenciómetro en sus diferentes posiciones iniciando desde una velocidad de 60 Km/h hasta 0 Km/h.



**Figura 97.** Comportamiento del voltaje obtenido en las diferentes posiciones del potenciómetro del pedal de freno a 60 Km/h

Se realizó la verificación y se conoció que en el vehículo se encuentra instalado un alternador de 12 voltios y 50 amperes, obteniendo la potencia en watts, teniendo en cuenta mediante principios planteados, que la potencia del motor es igual a la corriente por la tensión como se plantea a continuación en la ecuación (21).

$$P = V * A \quad [21]$$

Donde:

*P*: Potencia (Watt - Hp)

*V*: Voltaje (Voltio)

*A*: Amperaje (Amperio)



Se obtiene:

$$P = 12 V * 50 \text{ amp}$$

$$P = 600 \text{ w}$$

$$P = 0.8 \text{ Hp}$$

Teniendo en cuenta que la eficiencia para este tipo de equipo eléctrico, planteada por los fabricantes oscila entre el 50 y el 60 %, se plantea que estos consumen entre el 40 y el 50% más de la potencia producida lo que significa un aproximado de 1200w traducido a 1.6 Hp. Sabiendo que 745 Vatios es 1 Caballo de Fuerza. Por lo que el alternador para generar 600 w de energía eléctrica, necesita una potencia mecánica de 1200 w.

En el vehículo se encuentran instalados los extras que se muestran en la tabla 14, en donde también se muestra su potencia de funcionamiento.

**Tabla 14** Potencia de extras instalados en el vehículo

Denominación	Potencia instalada (Watt)
Wincha	160
Barra led	80
Equipo de audio	120
Focos de Neón	120
Focos Auxiliar	60
Total	540
Promedio	130

Se constata que la potencia necesaria que debe de producir el alternador, para el consumo de los extras del vehículo es de 540 w, aumentando el 50% de la potencia producida equivale a 1080 w de potencia mecánica, necesario para generar la potencia necesaria para los extras, esto se le suma la potencia necesaria para el resto de los elementos convencionales del automóvil, como el motor de arranque, electro ventilador, luces restantes de señalización, motor limpiaparabrisas, entre otros, que ronda en valores aproximados a los 500 w, necesitando una potencia mecánica total de 1456 w o 2 Hp, para generar 1040 w.

Este valor de potencia no sería muy significativo en regímenes altos de funcionamiento del motor, pero si a bajas revoluciones del motor del vehículo o en ciertos rangos de revoluciones, como se muestra en la ecuación (23), al analizar la potencia en correspondencia a las revoluciones y el par motor máximo obtenido por datos técnicos ofrecidos por el fabricante del vehículo.

$$P = \frac{T*n}{9.55} \quad [23]$$

Donde:

*P*: Potencia del motor (W).

*T*: Par Motor máximo (13.5 N.m)

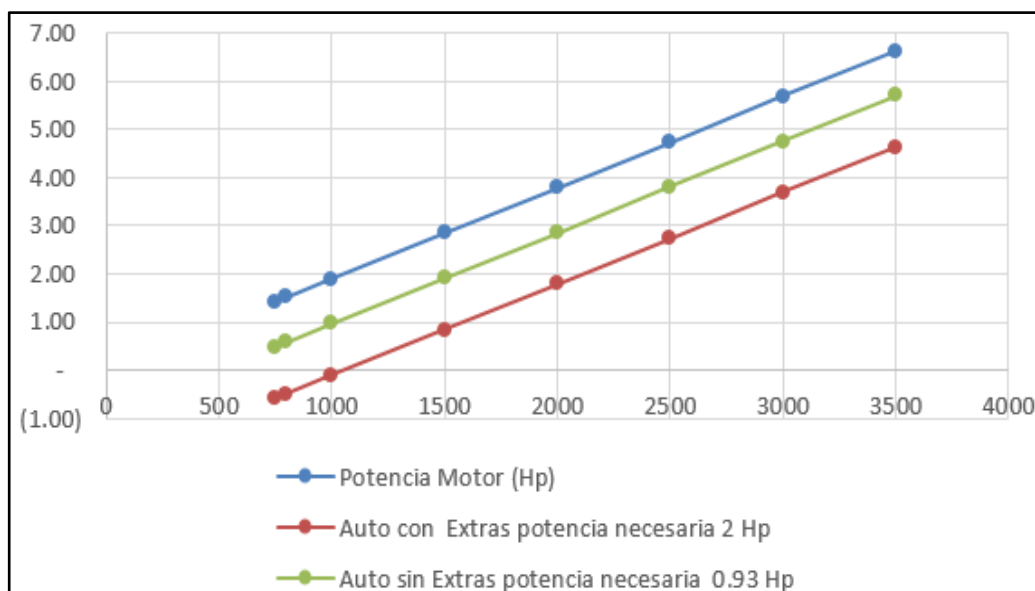
*n*: Revoluciones por minuto de giro del motor (rpm)

Con la ayuda de las tablas Excel, se realizó la ponderación de revoluciones del motor, para determinar la potencia en cada una de ellas, como se indica en la tabla 15.

**Tabla 15** Potencia teórica entregada por el motor en relación al par motor máximo y rpm

RPM	Torque (N.m)	Potencia (W)	Potencia (Hp)
750	13.5	1060	1.42
800	13.5	1130	1.52
1000	13.5	1413	1.89
1500	13.5	2120	2.84
2000	13.5	2827	3.79
2500	13.5	3534	4.74
3000	13.5	4240	5.68
3500	13.5	4947	6.63

Como conclusión parcial, se observa que el motor representa las mayores pérdidas de potencia en el estado de ralentí, cuando el alternador necesite entregar al sistema la mayor demanda de consumo como se muestra en el gráfico de la figura 98.

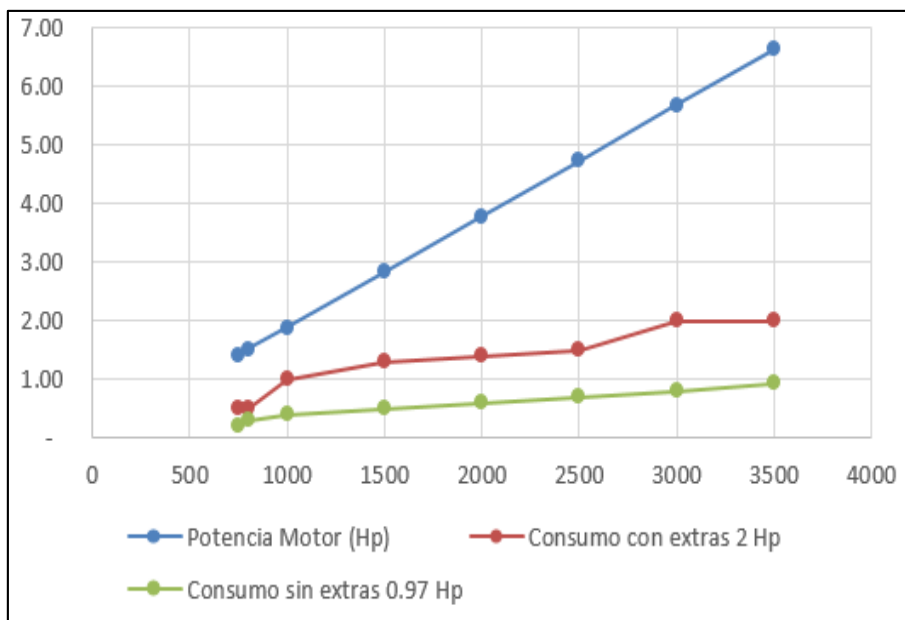


**Figura 98.** Representación de la potencia a diferentes cargas totales

En el gráfico se visualiza la pérdida de potencia del motor del vehículo cuando el alternador se activa, y se encuentran conectados en un caso todos los equipos consumidores de corriente en el vehículo incluido los extras (Potencia necesaria 2 Hp), en el otro caso solo los equipos eléctricos convencionales del vehículo (Potencia necesaria 0.93 Hp) y en el tercer caso sin conexión del alternador.

En el gráfico de la figura 99 se constata el comportamiento de la potencia del motor sin carga y las curvas del comportamiento de la potencia del motor al ir aumentando la carga o conectando los diferentes elementos de consumo eléctrico con la variante en la que se incluyen los equipos convencionales y los extras y la segunda variante con solo los equipos convencionales.

Se puede llegar a la conclusión que en realidad existen las pérdidas de potencia por el accionamiento del alternador, ya que genera mayor esfuerzo el motor de combustión interna para poder cubrir esta demanda., es así que se llega a la conclusión que a régimen normal de operación o ralenti se obtiene la mayor cantidad de fuga de potencia del mecanismo y se comprueba que el sistema regenerativo es una manera viable para llegar a un mínimo de pérdidas existentes en el motor.



**Figura 99.** Representación de la potencia al incluir carga al sistema

En la tabla 16, se evidencia la pérdida de potencia del vehículo al irse incrementando las revoluciones del motor, siendo representativa a las revoluciones más bajas, al incluir la carga de todos los consumidores de electricidad del vehículo.

**Tabla 16.** Pérdida de potencia evidenciada en el vehículo para cada rpm

Torque (N.m)	Potencia (W)	Potencia Motor (Hp)	Auto con Extras potencia perdida (2 Hp)	Auto sin Extras potencia perdida (0,93 Hp)
13.50	1.060,21	1.42	(0.58)	0.49
13.50	1.130,89	1.52	(0.48)	0.59
13.50	1.413,61	1.89	(0.11)	0.96
13.50	2.120,42	2.84	0.84	1.91
13.50	2.827,23	3.79	1.79	2.86
13.50	3.534,03	4.74	2.74	3.81
13.50	4.240,84	5.68	3.68	4.75
13.50	4.947,64	6.63	4.63	5.70

Se comprueba de forma general que la potencia del motor al incorporar el funcionamiento del alternador con los consumidores de electricidad convencional disminuye en un porcentaje de 14% y en las pruebas también se evidencio que con los extras exigiendo trabajo al sistema existe un porcentaje del 30% de pérdida.

Al ser instalados los extras al sistema de almacenamiento regenerativo se deja de perder por este concepto en potencia del motor un equivalente promedio entre 0.8 Hp y 1.1 Hp, siendo estos un valor representativo cuando el motor está trabajando en ralentí o situaciones de necesidad de mayor potencia del motor, alargando la vida útil de la batería de servicio común para el arranque del motor, es así que se está dando por cumplido el objetivo general planteado para esta tesis.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se analizó e implementó de manera eficaz un sistema de freno regenerativo en un vehículo liviano para de esta manera evitar pérdidas de potencia, es así que mediante pruebas a 60 km/h, como velocidad promedio en la ciudad de Quito, y con un porcentaje del 95% de recorrido del pedal de freno se llegó a concluir que el mayor valor de energía regenerativa recuperada fue de 238 J.
- Se confirmó que existen porcentajes de pérdida, constatándose de forma general que la potencia del motor al incorporar el funcionamiento del alternador con los consumidores de electricidad convencional disminuye 14% y con los extras instalados al sistema en un porcentaje del 30% de pérdida. Al ser instalados los extras al sistema de almacenamiento regenerativo se deja de perder por este concepto en potencia del motor un equivalente promedio entre 0.8 Hp y 1.1 Hp, siendo este un valor representativo.
- Existe una disminución de la eficiencia del motor que conlleva a un mayor consumo de combustible, un mayor desgaste de piezas del motor y a un aumento de emanaciones de gases nocivos al medio ambiente, todos estos factores inciden directamente con en el régimen normal de trabajo del motor, es así que acoplado el sistema de freno regenerativo se llegó a la conclusión que el motor no afectara su régimen óptimo de funcionamiento ya que el alternador no demandara más trabajo a la polea del cigüeñal.
- Con los diseños de sistemas regenerativos existentes en el mercado de la industria automotriz actual se obtuvo un principio válido de funcionamiento para la generación de energía el cual se aplicó a la investigación, al igual que se pudo desarrollar un diseño apto para el vehículo de prueba.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Al momento de elegir este sistema de carga de energía se recomienda considerar cuanta tensión se necesita para encender los sistemas eléctricos equipados en el vehículo, ya que el generador está provisto que entregue un valor máximo de carga de 2.4 V al acumulador, es así que si la demanda de energía excede con la capacidad de carga del generador, este no podrá abastecer a la batería y por ello los sistemas eléctricos no podrán funcionar con normalidad.
- Cabe recalcar que al adquirir un controlador eléctrico para el sistema se recomienda que se analice sus datos técnicos como voltaje de trabajo y rango de energía, para conocer a ciencia cierta si es o no compatible con todos los componentes inmersos en el sistema, ya que este elemento electrónico cumplirá las funciones de regulador de energía, además que enviara y receptara las señales analógicas producidas por el generador y el pedal del freno el cual es el potenciómetro de medición de carga.
- Contar con la seguridad necesaria para la manipulación del sistema ya que este cuenta con un microcontrolador electrónico, y con el menor cortocircuito podría originar fallas tanto en el sistema regenerativo como en los extras del vehículo.
- Se recomienda tomar como tema de estudio la unidad de control electrónica, ya que en este se encuentra inmerso todo el procesamiento de información.



## **GLOSARIO**

## GLOSARIO

- **Arranque Térmico:** Se define como el tiempo en el que el motor de combustión interna vence la inercia inicial, ayudándose de la temperatura de trabajo.
- **Cobre:** Elemento químico que posee elevada dureza, al tener puntos de ebullición y fusión elevados y también se caracteriza por ser buen conductor de la electricidad y el calor.
- **Coercitividad:** Se la define como la intensidad de un campo magnético y mide la resistencia de un material ferromagnético al ser desmagnetizado.
- **Combustión:** Proceso químico en donde se desprende grandes cantidades de energía en forma de calor.
- **Compresor:** Es un tipo de maquinaria utilizada para presurizar el aire comprimido en su interior y expulsarlo a gran presión cuando sea necesario.
- **Dinamo:** Es un elemento de generación de energía eléctrica mediante la transformación de flujo magnético.
- **Entrada Analógica:** Se refiere a un tipo de señal originada por un fenómeno electromagnético y se la representa por una función matemática continua.
- **Eficiencia:** La eficiencia de un motor está dada por el porcentaje de facilidad que tienen de entregar indicadores de funcionamiento determinados en un estándar.
- **Espira:** Espira eléctrica es un espiral que se mueve a través de un campo magnético uniforme.
- **Filtro de Aire:** Elemento del motor utilizado para filtrar impurezas y contaminantes contenidas en el aire, se los utiliza en el múltiple de admisión de los motores.
- **Híbrido:** Se define como la utilización de dos o más elementos de sistema de propulsión combinados, para obtener mayor eficiencia energética.

- **Ion:** Componente químico que está cargado de átomos con carga neta positiva o negativa.
- **Manómetro:** Elemento que posee la función de medir la presión de fluidos existentes en recipientes, los cuales pueden ser de tipo gas o líquido.
- **Litio:** Es un elemento químico que se considera es un metal ligero y altamente reactivo que pertenece al grupo de los alcalinos, por lo general es utilizado para hacer funcionar las baterías mediante sus propiedades químicas.
- **Potencia:** Se la define como la cantidad de trabajo realizado en un periodo de tiempo determinado.
- **PSI:** Medida del sistema anglosajón de medida y está dada por Libra por pulgada cuadrada.
- **Rectificado:** Se lo conoce como el circuito empleado para convertir una señal de energía de entrada en una señal de energía de salida.
- **Régimen de Giro:** Se lo define como el número de giros que realiza el motor por una unidad de tiempo, por lo general dadas en revoluciones por minuto.
- **Remanencia:** Se la define como la capacidad de un material al persistir de poseer magnetismo.
- **Resistencia:** Se la define como la oposición que posee los electrones a su movimiento, existen de diversos tipos y para diferentes usos.
- **Resistencia Aerodinámica:** Es la cantidad de resistencia que realiza un cuerpo al desplazarse por el aire.
- **Zapatas:** Son componentes en forma de media luna que realizan o ejercen la fuerza al interior del tambor de freno, la cual ejerce el conductor al pedal de freno lo que da una disminución de la velocidad del vehículo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- AA., V. (2012). *Sistema de Transmisión y Frenado*. Mcmillan Heinemann.
- Álvarez., J. E. (2009). *Que es el electromagnetismo*. Cuba: MAD.
- Arias-Paz, M. (2008). *Manual de Automóviles* (56 ed.). Madrid, Españ.: A. Madrid.
- Astudillo, O. (2010). *Tecnología del Automóvil* (1 ed.). Madrid: CiE DOSSAT 2000.
- Bello, M. A. (2013). *Electricidad automotriz*. Madrid: DOSSAT-2000.
- Bendix. (2010). *Manual de frenos de Aire*. Alemania: Air- Brake.
- Bosch. (2005). *Manual de la Técnica del Automovil*. Alemania.
- CEAC. (2004). *Manual CEAC del Automovil*. CEAC.
- Dominguez, E. J. (2012). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Editex.
- Edgar Mayz Acosta. (s.f.). *Tecnica Automotriz*. Obtenido de <http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-23.html>
- Enciclopedia. (2010). *Manual de Electrónica Automotriz*.
- Escalante, J. C. (2015). Freno Regenerativo: Recuperando Energía. *Motor Pasión Futuro*.
- Ferrer, A. (25 de febrero de 2015). *www.autonocion.com*. Recuperado el 7 de abril de 2016, de [www.autonocion.com](http://www.autonocion.com)
- Gil, H. (2007). *Circuitos Electricos en el Automovil*. CEAC.
- GMBH, R. B. (2003). Sistema de Frenos Convencionales y Electronicos. En R. B. GMBH, *Sistema de Frenos Convencionales y Electronicos*.
- Hernandez, E. S. (2008). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Macmillan Heineman.
- Logiled. (2015). *www.logiled.com*. Recuperado el 8 de abril de 2016, de [www.logiled.com/barras led](http://www.logiled.com/barras-led)
- Macías, R. G. (2014). *Freno regenerativo en automóviles para el uso híbrido*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Man, I. (2015). Accesorios Todo Terreno 4x4. *Todo Terreno*, 4-6.
- Nuñez, O. (6 de Abril de 2015). *www.batanga.com*. Obtenido de [www.batanga.com/curiosidades/4388/fundamentos-del-electromagnetismo](http://www.batanga.com/curiosidades/4388/fundamentos-del-electromagnetismo)
- Ocaña, A. O. (2005). *Tratado del automóvil. La técnica en los siglos XX – XXI*. Madrid: Paraninfo.
- Orozco, G. M. (8 de Abril de 2015). *www.pruebaderuta.com*. Obtenido de <http://www.pruebaderuta.com/sistema-de-carga-del-automovil.php>
- Perez, J. M. (2004). *Técnicas del Automovil Equipo Electrico*. Thomson Parainfo.
- Pérez, J. M. (2009). *Técnicas del Automóvil. Equipos eléctricos*. Madrid, España.: A. Madrid.

- ppcaraudio. (2015). *www.ppcaraudio.com*. Recuperado el 8 de abril de 2016, de [www.ppcaraudio.com/pioner.html](http://www.ppcaraudio.com/pioner.html)
- Read, P. (2013). *Manual Técnico del Automóvil*. Antonio Vicente Madrid.
- Reid, R. y. (2013). *Manual Técnico del Automóvil*. Madrid: CiE DOSSAT 2000.
- Ribbens, W. (2007). *Electrónica Automotriz*. Limusa.
- Rodes. (8 de Abril de 2016). <http://es.slideshare.net>. Obtenido de <http://es.slideshare.net/RO-DES/discos-de-freno-como-funcionan-y-su-mantenimiento>
- Sáenz Gonzalo, A., & Tresaco Vidaller, J. (2010). *Sistema para la recuperación de la energía cinética perdida durante la frenada en la Fórmula 1*. Aragon, España: Universidad de Zaragoza.
- Serrano, E. (2008). *Circuitos electronicos básicos. Sistemas de carga y arranque del vehículo*. Editex.
- STA (Sociedad de Técnicos de Automoción). (2011). *El vehículo eléctrico* (1 ed.). Barcelona, España: Libbooks Barcelona, S.L.L.
- Valkenburgh, V. (1970). *Electricidad Básica*. BELL.
- Watson, J. R. (2000). *Manual Practico de Electricidad y Electronica*. Antonio Vicente Madrid.
- Xioling, H., & Hodson, J. W. (2002). "Modeling and simulation for hybrid electric vehicles. II. Simulation". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 244-251.

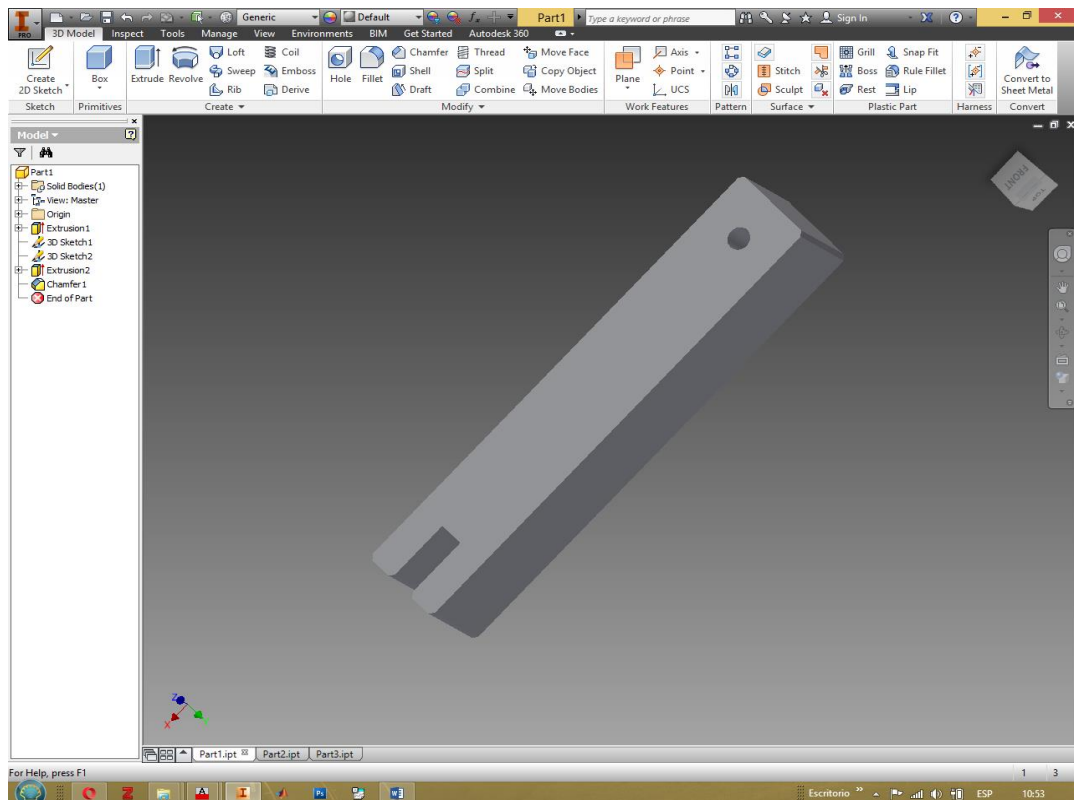
**ANEXOS**

# ANEXOS

## ANEXO 1.

### Diseño del elemento 1 del brazo soporte.

Diseño del elemento constructivo No. 1 para el montaje del Generador en el Neumático, diseñado en el Autodesk Inventor, obteniendo una vista tridimensional del elemento como se muestra en la imagen.



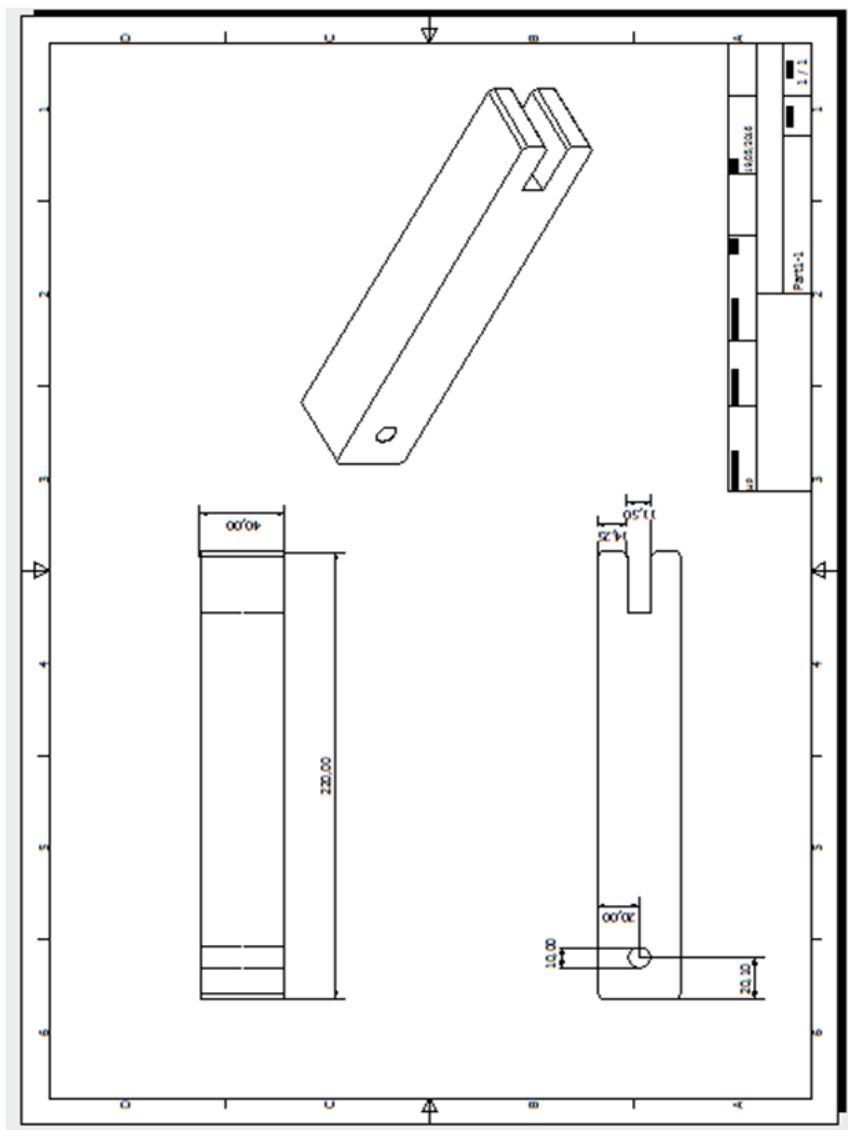
(Autodesk Inventor)



## ANEXO 2.

### Vistas del elemento 1 del brazo soporte.

En la figura se muestra la vista lateral y frontal del elemento No. 1, así como sus cotas y detalles de fabricación.

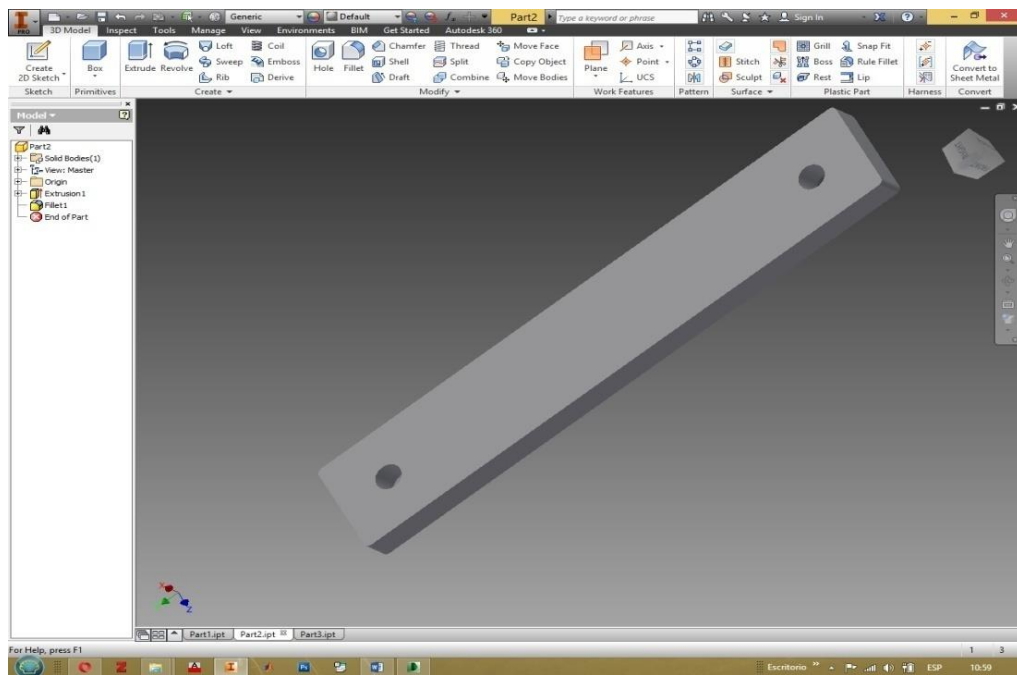


(Autodesk Inventor)

## ANEXO 3.

### Diseño del elemento 2 del brazo soporte.

Diseño del elemento constructivo No. 2 para el montaje del Generador en el Neumático, diseñado en el Autodesk Inventor, obteniendo un avista tridimensional del elemento como se muestra en la imagen.

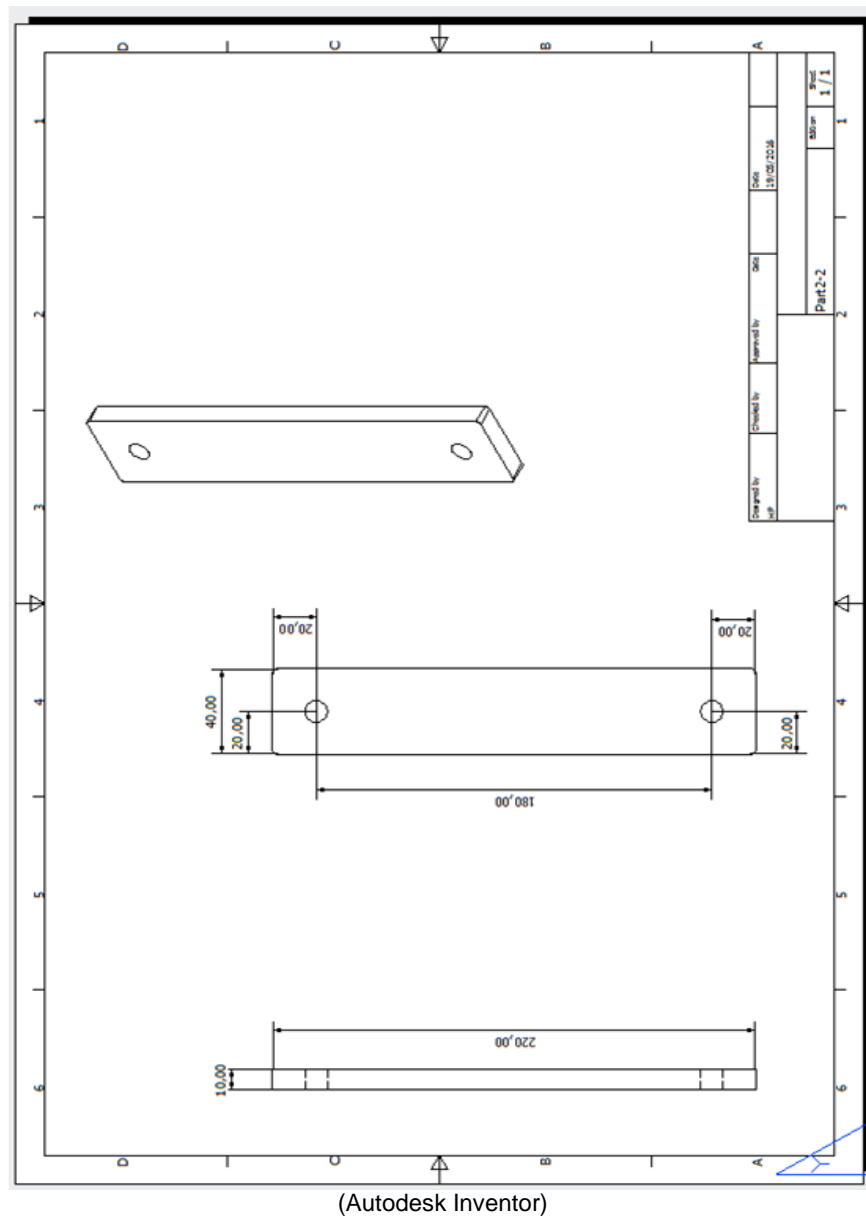


(Autodesk Inventor)

## ANEXO 4.

### Vistas del elemento 2 del brazo soporte.

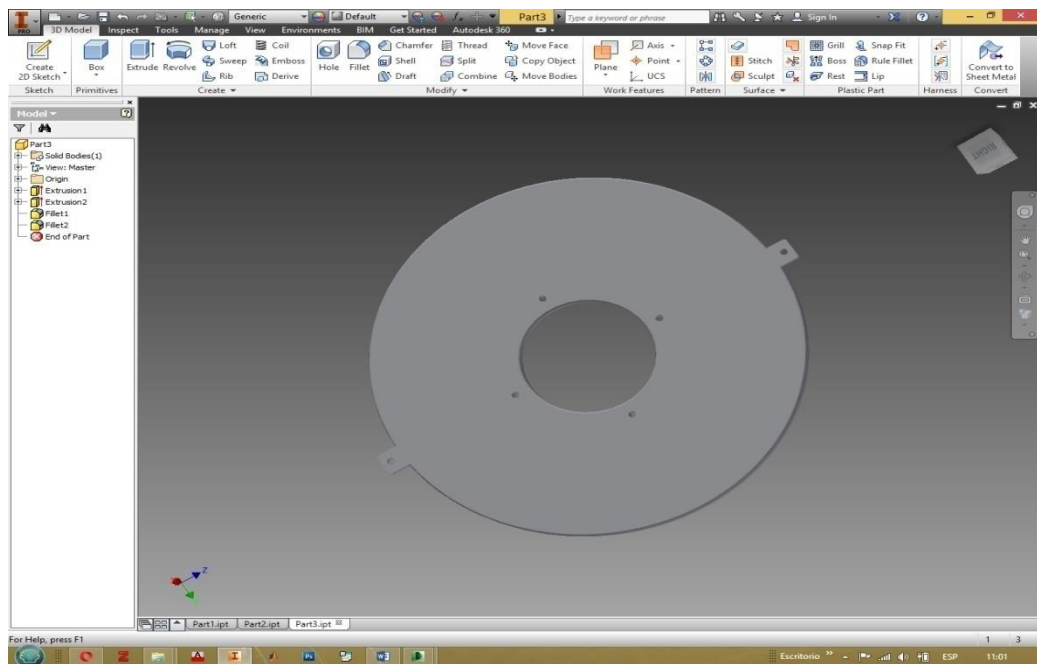
En la figura se muestra la vista lateral y frontal del elemento No. 2, así como sus cotas y detalles de fabricación.



## ANEXO 5.

### Diseño del elemento 3 disco soporte del sistema regenerativo.

Diseño del elemento constructivo No. 3 para el montaje del Generador en el Neumático, diseñado en el Autodesk Inventor, obteniendo un avista tridimensional del elemento como se muestra en la imagen.

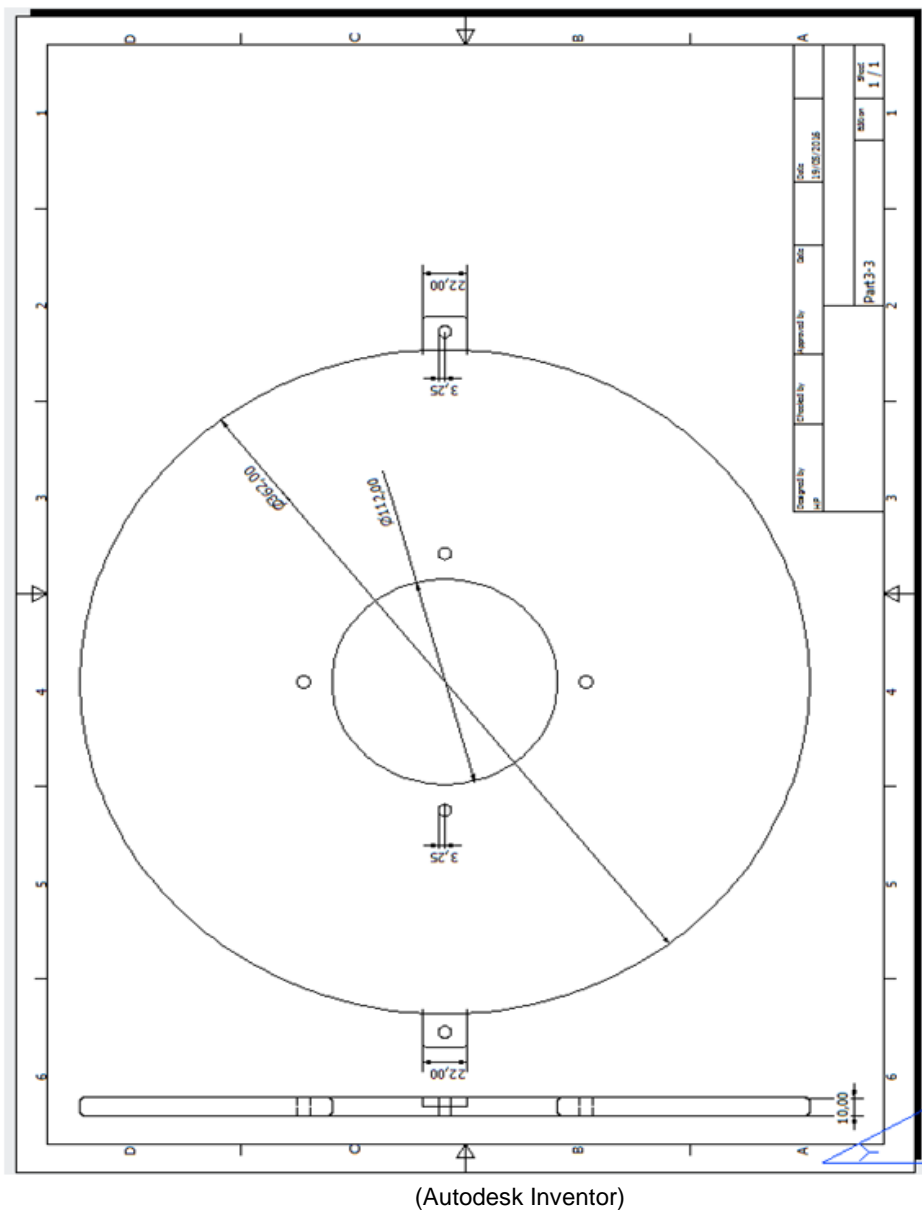


(Autodesk Inventor)

## ANEXO 6.

### Vistas del elemento 3 del disco soporte.

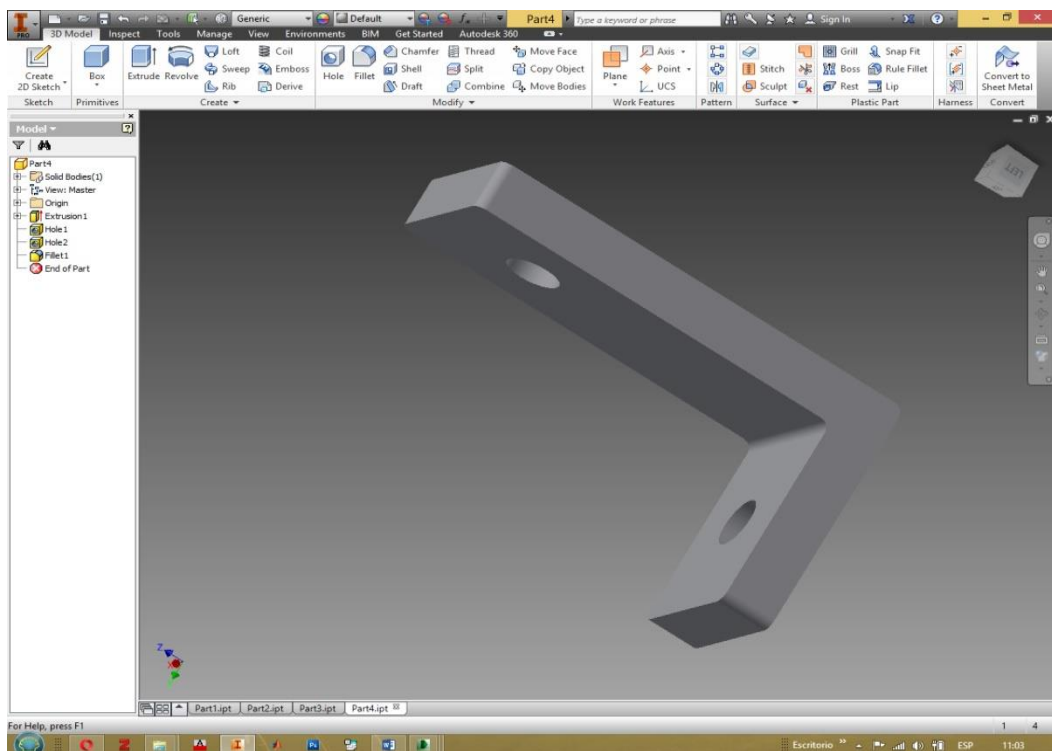
En la figura se muestra la vista lateral y frontal del elemento No. 3, así como sus cotas y detalles de fabricación.



## ANEXO 7.

### Diseño del elemento 4 soporte del sistema de brazos.

Diseño del elemento constructivo No. 4 para el montaje del Generador en el Neumático, diseñado en el Autodesk Inventor, obteniendo un avista tridimensional del elemento como se muestra en la imagen.

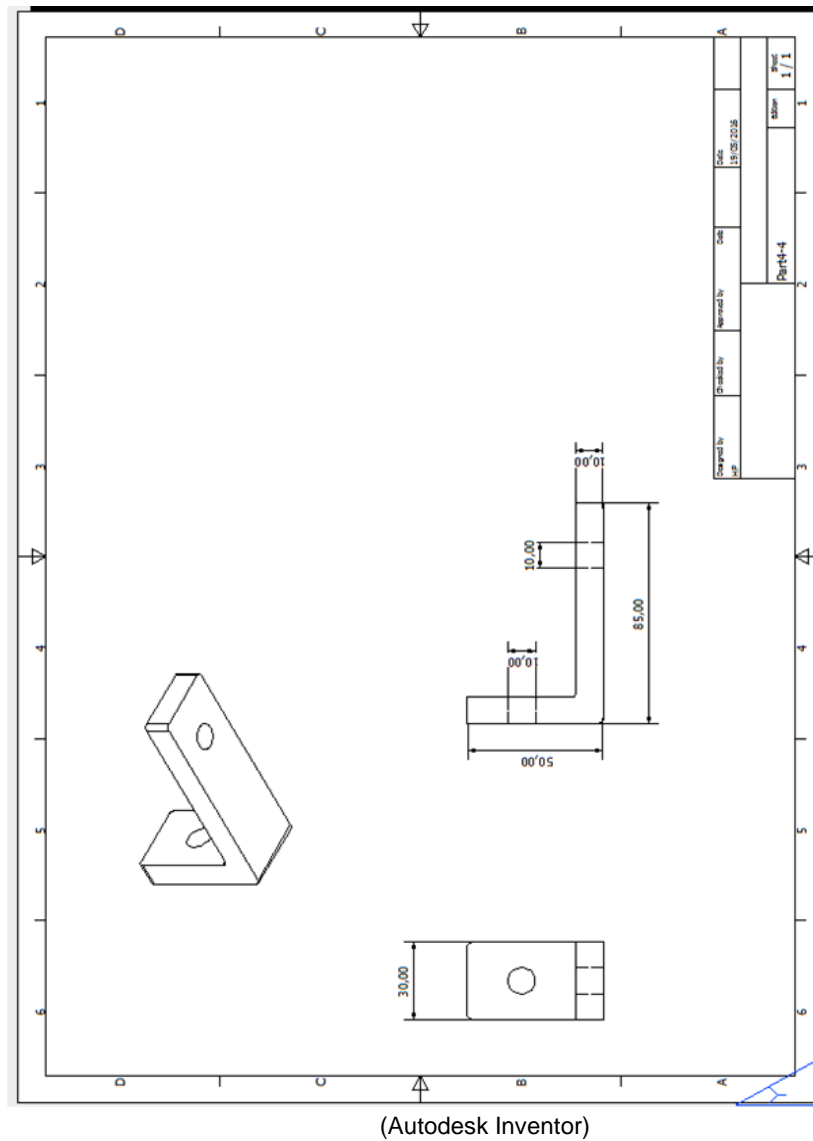


(Autodesk Inventor)

## ANEXO 8.

### Vistas del elemento 4 soporte del sistema de brazos.

En la figura se muestra la vista lateral y frontal del elemento No. 4, así como sus cotas y detalles de fabricación.



## ANEXO 9.

### **Norma y características de los aceros bajo la norma de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM)**

Las normas aprobadas por la ASTM para placas y perfiles laminados en caliente son A36, A529, A572, A242, A588, A709, A514, A852, A913 y A992. La norma A709 es especial, en ella se definen aceros convenientes para la construcción de puentes.

**ASTM A36.** Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Tiene un esfuerzo de fluencia de  $2\ 530\text{ kg/cm}^2$  ( $250\text{ MPa}$ ,  $36\text{ ksi}$ ) y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de  $4\ 080\text{ kg/cm}^2$  a  $5\ 620\text{ kg/cm}^2$  ( $400$  a  $550\text{ MPa}$ ,  $58$  a  $80\text{ ksi}$ ), y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron.

**ASTM A529.** El ASTM A529 se usa con mucha frecuencia en la construcción de edificios de acero, también es un grado de acero común en barras y perfiles (ángulos, canales de calidad estructural). El acero A529 básico incluye grado 50 para perfiles de los grupos 1 y 2 de la ASTM; placas hasta de una pulgada de grueso y 12 pulgadas de ancho ( $25\times 300\text{ mm}$ ) y barras hasta de  $2\ 1/2\text{ in}$  ( $64\text{ mm}$ ) de grueso. Los esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  mínimos son  $42$  y  $60\text{-}85\text{ ksi}$  ( $2\ 950$  y  $4\ 220$  a  $5\ 975\text{ kg/cm}^2$ ).



## ANEXO 10.

### Material de apoyo (Prontuario básico de estructuras simple)

VIGA SIMPLE APOYADA-EMPOTRADA: momento puntual $M$ intermedio.															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Reacciones y solicitaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Reacciones:</td> <td style="padding: 5px;"><math>R_A = -R_B = \frac{3M}{2L^3}(L^2 - a^2)</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cortantes:</td> <td style="padding: 5px;"><math>V_{AB} = R_A</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Flectores:</td> <td style="padding: 5px;"> <math>M_{AC} = \frac{3Mx}{2L^3}(L^2 - a^2)</math>     <math>M_{CB} = \frac{M}{2} \left[ 3\frac{x}{L} \left( 1 - \frac{a^2}{L^2} \right) - 2 \right]</math>  <math>M_B = \frac{M}{2L^2}(L^2 - 3a^2)</math>     <math>M_C^{int} = R_A a</math>     <math>M_C^{der} = R_A a - M</math> </td> </tr> <tr style="background-color: #eee;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Deformaciones</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Giros:</td> <td style="padding: 5px;"> <math>\varphi_A = -\frac{M}{4EIL}(L - a)(3a - L)</math>  <math>\varphi_C = \frac{Mb}{4EI} \left[ 4 - 3\frac{b}{L} \left( 1 + \frac{a}{L} \right)^2 \right]</math> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Elástica:</td> <td style="padding: 5px;"> <math>y_{AC} = \frac{Mbx}{4EIL^3} \left[ -4L^3 - (x^2 - 3L^2)(a + L) \right]</math>  <math>y_{CB} = \frac{M(L - x)^2}{4EIL^3} \left[ 2a^2L - x(L^2 - a^2) \right]</math> </td> </tr> </tbody> </table>	Reacciones y solicitaciones		Reacciones:	$R_A = -R_B = \frac{3M}{2L^3}(L^2 - a^2)$	Cortantes:	$V_{AB} = R_A$	Flectores:	$M_{AC} = \frac{3Mx}{2L^3}(L^2 - a^2)$ $M_{CB} = \frac{M}{2} \left[ 3\frac{x}{L} \left( 1 - \frac{a^2}{L^2} \right) - 2 \right]$ $M_B = \frac{M}{2L^2}(L^2 - 3a^2)$ $M_C^{int} = R_A a$ $M_C^{der} = R_A a - M$	Deformaciones		Giros:	$\varphi_A = -\frac{M}{4EIL}(L - a)(3a - L)$ $\varphi_C = \frac{Mb}{4EI} \left[ 4 - 3\frac{b}{L} \left( 1 + \frac{a}{L} \right)^2 \right]$	Elástica:	$y_{AC} = \frac{Mbx}{4EIL^3} \left[ -4L^3 - (x^2 - 3L^2)(a + L) \right]$ $y_{CB} = \frac{M(L - x)^2}{4EIL^3} \left[ 2a^2L - x(L^2 - a^2) \right]$
Reacciones y solicitaciones															
Reacciones:	$R_A = -R_B = \frac{3M}{2L^3}(L^2 - a^2)$														
Cortantes:	$V_{AB} = R_A$														
Flectores:	$M_{AC} = \frac{3Mx}{2L^3}(L^2 - a^2)$ $M_{CB} = \frac{M}{2} \left[ 3\frac{x}{L} \left( 1 - \frac{a^2}{L^2} \right) - 2 \right]$ $M_B = \frac{M}{2L^2}(L^2 - 3a^2)$ $M_C^{int} = R_A a$ $M_C^{der} = R_A a - M$														
Deformaciones															
Giros:	$\varphi_A = -\frac{M}{4EIL}(L - a)(3a - L)$ $\varphi_C = \frac{Mb}{4EI} \left[ 4 - 3\frac{b}{L} \left( 1 + \frac{a}{L} \right)^2 \right]$														
Elástica:	$y_{AC} = \frac{Mbx}{4EIL^3} \left[ -4L^3 - (x^2 - 3L^2)(a + L) \right]$ $y_{CB} = \frac{M(L - x)^2}{4EIL^3} \left[ 2a^2L - x(L^2 - a^2) \right]$														
VIGA SIMPLE APOYADA-EMPOTRADA: momento puntual $M$ extremo.															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #eee;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Reacciones y solicitaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Reacciones:</td> <td style="padding: 5px;"><math>R_A = -R_B = \frac{3M}{2L}</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cortantes:</td> <td style="padding: 5px;"><math>V_{AB} = R_A</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Flectores:</td> <td style="padding: 5px;"> <math>M_{AB} = \frac{M}{2} \left( 3\frac{x}{L} - 2 \right)</math>     <math>M_B = \frac{M}{2}</math> </td> </tr> <tr style="background-color: #eee;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Deformaciones</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Giros:</td> <td style="padding: 5px;"><math>\varphi_A = \frac{ML}{4EI}</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Elástica:</td> <td style="padding: 5px;"><math>y_{AB} = -\frac{Mx}{4EIL}(L - x)^2</math></td> </tr> </tbody> </table>	Reacciones y solicitaciones		Reacciones:	$R_A = -R_B = \frac{3M}{2L}$	Cortantes:	$V_{AB} = R_A$	Flectores:	$M_{AB} = \frac{M}{2} \left( 3\frac{x}{L} - 2 \right)$ $M_B = \frac{M}{2}$	Deformaciones		Giros:	$\varphi_A = \frac{ML}{4EI}$	Elástica:	$y_{AB} = -\frac{Mx}{4EIL}(L - x)^2$
Reacciones y solicitaciones															
Reacciones:	$R_A = -R_B = \frac{3M}{2L}$														
Cortantes:	$V_{AB} = R_A$														
Flectores:	$M_{AB} = \frac{M}{2} \left( 3\frac{x}{L} - 2 \right)$ $M_B = \frac{M}{2}$														
Deformaciones															
Giros:	$\varphi_A = \frac{ML}{4EI}$														
Elástica:	$y_{AB} = -\frac{Mx}{4EIL}(L - x)^2$														