

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS Y SU
APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA DE
SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO BUGGY FÓRMULA FAU”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ

PROAÑO MEJÍA RUBÉN ALFREDO

DELGADO TERÁN JOSÉ LUIS

LATACUNGA, MAYO DEL 2011

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Proaño Mejía Rubén Alfredo

Delgado Terán José Luis

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO BUGGY FÓRMULA FAU**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Mayo del 2011

Proaño Mejía Rubén Alfredo

CI. 172074152-7

Delgado Terán José Luis

CI. 100259911-4

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Proaño Mejía Rubén Alfredo

Delgado Terán José Luis

DECLARAMOS QUE:

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo **“ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO BUGGY FÓRMULA FAU”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo del 2011

Proaño Mejía Rubén Alfredo

CI. 172074152-7

Delgado Terán José Luis

CI. 100259911-4

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

ING. JUAN CASTRO (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo “**ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO BUGGY FÓRMULA FAU**” , realizado por el señor Proaño Mejía Rubén Alfredo y el señor Delgado Terán José Luis, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el reglamento de estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de **UN** Empastado y **UN** disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil. Autorizan al señor Proaño Mejía Rubén Alfredo y el señor Delgado Terán José Luis que lo entregue al ING. JUAN CASTRO, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Mayo del 2011

Proaño Mejía Rubén Alfredo

CI. 172074152-7

Delgado Terán José Luis

CI. 100259911-4

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por Proaño Mejía Rubén Alfredo y el señor Delgado Terán José Luis bajo nuestra supervisión

ING. OSCAR ARTEAGA
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN CASTRO
CODIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a Dios, quien me ha otorgado una vida buena y llena de felicidad.

A mí Padres, Rubén y Belén por enseñarme con la práctica los valores y virtudes que han marcado el camino de mi vida. A mi hermano David por ser quien siempre ha creído en mí. Y a mi novia Naty por ser este logro un peldaño más en el éxito de nuestras vidas.

A todos ustedes les dedico este trabajo, este logro que he alcanzado con esfuerzo y dedicación. Gracias por ser parte de mi vida.

Rubén Proaño

AGRADECIMIENTO

Agradezco el esfuerzo de mis padres, por su apoyo incondicional que me han otorgado cada día de mi vida. Por ser ustedes quienes me han ayudado a seguir mis sueños e ideales. En todo momento sus consejos me motivaron a trabajar cada día con más empeño y buscar siempre lo mejor.

A mi hermano y mis amigos; personas quienes me han ayudado a crecer estando a mi lado y hemos compartido momentos inolvidables que nunca olvidaremos. Y a mi novia Naty por el amor y apoyo que me ha entregado estos dos últimos años, por ser una persona muy especial en mi vida.

Gracias a todas las personas que creyeron en mí, que me entregaron su confianza y cariño. Por ello se ha cumplido este trabajo y este logro en mi vida.

Rubén Proaño

DEDICATORIA

El éxito de este proyecto se debió a la colaboración y ayuda de muchas personas pero en especial de Dios y de mi abuelita Lucila que desde el cielo nos ha sabido guiar a mi familia con su apoyo incondicional con lo cual me dio fuerzas para culminar una meta más en mi vida. Por ello considero que este triunfo no es solo mío sino de todos ustedes...

José Luis

AGRADECIMIENTO

A Dios y a tí virgen santísima de Baños, por brindarme salud, vida, y cuidarme cada día de mi existencia. A mis padres por enseñarme que lo mejor de la vida es enfrentar los problemas con una sonrisa y siempre luchar para salir victorioso en el ciclismo. A mis hermanos, tíos, primos, amigos; por su apoyo durante mi carrera universitaria.

Gracias y hasta siempre.....

José Luis

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
CERTIFICADO	iv
CERTIFICACIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN	xxii

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO	1
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES INTELIGENTES.....	1
1.2 FLUIDO	3
1.2.1 Fluidos Newtonianos.....	3
1.2.2 Fluidos No Newtonianos	4
1.3 FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS.....	6
1.3.1 Características de los fluidos magnetoreológicos	7
1.3.2 Aplicaciones de los fluidos magnetoreológicos.....	8

1.3.3 Ventajas y desventajas de los fluidos magnetoreológicos	10
1.4 SISTEMAS DE SUSPENSIÓN	11
1.4.1 Funciones de la suspensión de un vehículo	11
1.4.2 Elementos de la suspensión	14
1.5 SUSPENSIONES CONVENCIONALES	19
1.5.1 Suspensión dependiente	19
1.5.2 Suspensión independiente.....	19
1.6 SUSPENSIONES ACTIVA - SEMI ACTIVA	20
1.6.1 Suspensión MagneRide.....	21

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS.....	23
2.1 FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS	23
2.2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICO	26
2.2.1 Propiedades reológicas.	26
2.2.2 Propiedades magnéticas	27
2.3 FLUIDO MAGNETOREOLÓGICOS	28
2.3.1 Creación del Fluido.....	28
2.3.2 Creación del Campo Magnético.....	34

2.3.3 Calculo de Viscosidad.....	40
----------------------------------	----

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y MODELADO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	47
---	-----------

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	47
-------------------------------	----

3.2 REQUERIMIENTOS GENERALES.....	47
-----------------------------------	----

3.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS.....	48
----------------------------------	----

3.3.1 Carga del Vehículo.....	48
-------------------------------	----

3.3.2 Análisis característico del resorte.....	50
--	----

3.3.3 Características de Amortiguador.....	53
--	----

3.4 MODELIZACIÓN EN SOLIDWORKS.....	54
-------------------------------------	----

3.4.1 Modelado en SolidWorks del chasis del Buggy.....	54
--	----

3.4.2 Diseño mecánico del amortiguador magnetoreológicos.....	55
---	----

3.4.3 Diseño mecánico de los elementos de fijación y anclaje.....	56
---	----

3.4.4 Modelado en SolidWorks del sistema de suspensión del Buggy	58
---	----

3.4.5 Determinación de esfuerzos.....	60
---------------------------------------	----

3.4.6 Análisis dinámico y simulación en SolidWorks.....	70
---	----

3.4.7 Análisis de vibraciones y frecuencia en el sistema de suspensión.....	72
--	----

3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO DE CONTROL DE AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS	75
--	----

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS 77

4.1 INSTALACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES EN EL BANCO DE PRUEBAS	78
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS AMORTIGUADORES	80
4.3 MEDICIÓN DE DATOS	81
4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	85

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA SUSPENSIÓN MAGNETOREOLÓGICA 87

5.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	87
5.1.1 Amortiguadores.....	87
5.1.2 Resortes	89
5.2 ADAPTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ANCLAJE DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	89
5.2.1 Anclaje superior	90

5.2.2 Anclaje Inferior	90
5.2.3 Modificación de Mesas	91
5.3 MONTAJE DE LOS AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS	92
5.4 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SUSPENSIÓN.	92
5.5 CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO.....	93

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
6.1 CONCLUSIONES.....	95
6.2 RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIG. 1.1 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE	2
FIG. 1.2 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE FLUIDOS NO NEWTONIANOS	5
FIG. 1.3 REPRESENTACIÓN DE UN FLUIDO MAGNETOREOLÓGICO	7

FIG. 1.4 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA MAGNETOREOLÓGICOS ENTRE UNA PLACA MÓVIL Y UNA FIJA SOMETIDA A UNA FUERZA TANGENCIAL. A) SIN CAMPO MAGNÉTICO B) APLICADO CAMPO MAGNÉTICO B.....	8
FIG.1.5 AMORTIGUADOR RHEONETIC RD-1001/4.....	9
FIG. 1.6 AMORTIGUADOR DE VIBRACIONES RHEONETIC RD-1013- 1	9
FIG.1.7 AMORTIGUADOR SÍSMICO RHEONETIC MRD-9000	10
FIG. 1.8 PUENTE DE LAGO DONG TING EN CHINA ESTÁ EQUIPADO CON AISLANTE DE MOVIMIENTO MAGNETOREOLÓGICOS PARA CONTRARRESTAR RÁFAGAS DE VIENTO.....	10
FIG. 1.9 REPRESENTACIÓN DE ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA SUSPENSIÓN.....	12
FIG. 1.10 AMORTIGUACIÓN DE UN VEHÍCULO	13
FIG. 1.11 OSCILACIONES EN EL VEHÍCULO	14
FIG. 1.12 BALLESTAS	15
FIG. 1.13 RESORTES.....	15
FIG. 1.14 BARRA DE TORSIÓN.....	16
FIG.1.15 REPRESENTACION DE AMORTIGUADOR.....	17
FIG. 1.16 ELEMENTOS DE AMORTIGUADOR 1) RETEN 2) PISTÓN DE TRABAJO 3) ACEITE 4) PISTÓN FLOTANTE 5) GAS.....	17
FIG. 1.17 REPRESENTACIÓN DE LA SUSPENSIÓN RÍGIDA	19
FIG. 1.18 SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE.....	20
FIG. 1.19 AMORTIGUADOR MAGNERIDE	21
FIG. 1.20 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL ACTIVO	22

CAPÍTULO 2

FIG. 2.1 REACCIÓN DE PARTÍCULAS SEGÚN EL CAMPO APLICADO	24
FIG. 2.2 DEMOSTRACIÓN DE DISEÑO DE POLOS FIJOS	25
FIG. 2.3 DEMOSTRACIÓN DE DISEÑO DE POLO FIJO Y POLO MÓVIL	25
FIG.2.4 COMPORTAMIENTO SIN CAMPO MAGNÉTICO	26
FIG.2.5 COMPORTAMIENTO APLICADO CAMPO MAGNÉTICO	26
FIG. 2.6 REPRESENTACIÓN AL APLICAR CAMPO MAGNÉTICO	27
FIG. 2.7 MATERIAL FERROMAGNÉTICO	30
FIG. 2.8 ACIDO OLEICO.....	30
FIG.2.9 CONJUNTO PARA PREPARACIÓN DEL FLUIDO	30
FIG. 2.10 MEDIDA DE ACEITE SAE 40.....	32
FIG. 2.11 MEZCLA DE ACEITE – ÁCIDO OLEICO	32
FIG. 2.12 CONJUNTO DE FLUIDO MAGNETOREOLÓGICO.....	33
FIG.2.13 PESAJE DEL FLUIDO TOTAL	33
FIG. 2.14 REPRESENTACIÓN DE UN ELECTROIMÁN	35
FIG. 2.15 ELECTROIMÁN.....	37
FIG. 2.16 CIRCUITO MAGNÉTICO	39
FIG. 2.17 REPRESENTACIÓN DE FUERZAS APLICADAS.....	41
FIG.2.18 MATERIALES REQUERIDOS PARA LA PRÁCTICA.....	43
FIG. 2.19 INICIO DE LA PRÁCTICA EN EL PUNTO SUPERIOR.....	43
FIG. 2.20 FINAL DE CARRERA Y TOMA DE TIEMPO.....	44
FIG.2.21 VISCOSIDAD VS INTENSIDAD A 5% DE CONCENTRACIÓN	45

FIG.2.22 VISCOSIDAD VS INTENSIDAD A 2.5 DE CONCENTRACIÓN	46
--	----

CAPÍTULO 3

FIG. 3.1 REPRESENTACIÓN DE DISTANCIAS	48
FIG. 3.2 MODELADO DEL CHASIS DEL BUGGY	55
FIG. 3.3 REPRESENTACIÓN DE AMORTIGUADOR MAGNETOREOLÓGICOS	55
FIG. 3.4 MESAS SUPERIORES RECTANGULARES IZQUIERDA	56
FIG. 3.5 MESAS SUPERIORES RECTANGULARES DERECHA	56
FIG. 3.6 SUJECIONES PARA AMORTIGUADOR	57
FIG. 3.7 RESORTE	57
FIG. 3.8 BASE DE RESORTE.....	57
FIG. 3.9 AMORTIGUADOR ARMADO EN CORTE.....	58
FIG. 3.10 AMORTIGUADOR ARMADO	58
FIG. 3.11 SISTEMA DE SUSPENSIÓN DELANTERO-VISTA FRONTAL	59
FIG. 3.12 SISTEMA DE SUSPENSIÓN DELANTERO-VISTA LATERAL	59
FIG. 3.13 SISTEMA DE SUSPENSIÓN DELANTERO-VISTA ISOMÉTRICA	59
FIG. 3.14 ESTUDIO DE TENSIONES QUE SOPORTA EL RESORTE	61
FIG. 3.15 ESTUDIO DE DESPLAZAMIENTO QUE SOPORTA EL RESORTE	62

FIG. 3.16 ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD QUE SOPORTA EL RESORTE.....	63
FIG. 3.17 ESTUDIO DE TENSIONES QUE SOPORTA LA BASE DEL CHASIS.....	65
FIG. 3.18 ESTUDIO DE DESPLAZAMIENTO QUE SOPORTA LA BASE DE CHASIS.....	66
FIG. 3.19 ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD QUE SOPORTA LA BASE DE CHASIS	66
FIG. 3.20 ESTUDIO DE TENSIONES QUE SOPORTA LA MESA INFERIOR.....	68
FIG. 3.21 ESTUDIO DE DESPLAZAMIENTO QUE SOPORTA LA MESA INFERIOR.....	69
FIG. 3.22 ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD QUE SOPORTA LA MESA INFERIOR.....	69
FIG. 3.23 ANÁLISIS DINÁMICO A 1 AMPERIO.....	70
FIG. 3.24 CURVA DE DESPLAZAMIENTO VS TIEMPO.....	71
FIG. 3.25 ANÁLISIS DINÁMICO A 0 AMPERIO.....	71
FIG. 3.26 CURVA DE DESPLAZAMIENTO VS TIEMPO.....	72
FIG. 3.27 INICIO DE ANÁLISIS DINÁMICO (LADO IZQUIERDO 1AMP- LADO DERECHO 0AMP).....	72
FIG. 3.28 TRABAJO DE SUSPENSIÓN (LADO IZQUIERDO 1AMP- LADO DERECHO 0AMP).....	73
FIG. 3.29 GRÁFICA VELOCIDADES (ARRIBA 1AMP - ABAJO 0AMP)	74
FIG.3.30 DIAGRAMA DE CONTROL.....	76

CAPÍTULO 4

FIG.4.1 BANCO DE PRUEBAS DE AMORTIGUADORES	77
FIG.4.2 PROGRAMA EN LABVIEW.....	78
FIG.4.3 AMORTIGUADOR INSTALADO.....	79
FIG.4.4 TARJETA DE CONTROL DE AMORTIGUADORES.....	79
FIG.4.5 FUNCIONAMIENTO EN EL BANCO DE PRUEBAS.....	80
FIG.4.6 FUNCIONAMIENTO A 0 AMPERIOS.....	81
FIG.4.7 FUNCIONAMIENTO A 0.1 AMPERIOS.....	81
FIG. 4.8 FUNCIONAMIENTO A 0.15 AMPERIOS.....	82
FIG.4.9 FUNCIONAMIENTO A 0.20 AMPERIOS.....	82
FIG.4.10 FUNCIONAMIENTO A 0.25 AMPERIOS.....	83
FIG.4.11 FUNCIONAMIENTO A 0.30 AMPERIOS.....	83
FIG.4.12 FUNCIONAMIENTO A 0.35 AMPERIOS.....	84
FIG.4.13 FUNCIONAMIENTO A 0.43 AMPERIOS.....	84
FIG.4.14 GRÁFICA FUERZA-AMPERAJE	86

CAPÍTULO 5

FIG.4.15 AMORTIGUADORES A GAS (ANTERIORES).....	87
FIG.4.16 AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS RD-8041-1	88
FIG. 4.17 RESORTES.....	89
FIG.4.18 ANCLAJE SUPERIOR AL CHASIS	90
FIG.4.19 ANCLAJE INFERIOR A LA MESA	90
FIG. 4.20 MESA SUPERIOR CON RESPECTO A LA MESA INFERIOR ORIGINAL-MODIFICADO	91

FIG. 4.21 MODIFICACIÓN DE LAS MESAS SUPERIORES	91
FIG.4.22 AMORTIGUADORES INSTADOS.....	92
FIG. 4.23 CONTROL ELECTRÓNICO DE LA SUSPENSIÓN	93
FIG.4.24 CALIBRACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO	94

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES INTELIGENTES..	3
--	---

CAPÍTULO 2

TABLA. 2.1 DENSIDADES DE ACEITES.....	29
TABLA 2.2 DENSIDADES DE MATERIALES UTILIZADOS	30
TABLA 2.3 FLUIDO MR AL 5%.....	31
TABLA 2.4 FLUIDO MR AL 2.5%.....	31
TABLA 2.5 DATOS DEL ELECTROIMÁN	38
TABLA 2.6 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA	42
TABLA 2.7 CONSTANTES EN LA PRÁCTICA DE VISCOSIDAD	44
TABLA 2.8 DATOS CALCULADOS CON FLUIDO AL 5% DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	45
TABLA 2.9 DATOS CALCULADOS CON FLUIDO AL 2.5% DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	46

CAPÍTULO 3

TABLA 3.1 DATOS CARACTERÍSTICOS EN ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO	49
TABLA 3.2 DATOS EN DESACELERACIÓN DEL VEHÍCULO.....	49
TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS DEL RESORTE	50
TABLA 3.4 DATOS DE AMORTIGUADOR	53
TABLA 3.5 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DEL RESORTE .	60
TABLA 3.6 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DE BASE DE CHASIS	64
TABLA 3.7 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DE MESA INFERIOR	67

CAPÍTULO 4

TABLA. 4.1 COMPORTAMIENTO DE AMORTIGUADOR MAGNETOREOLÓGICOS	85
---	----

RESUMEN

En el presente trabajo se trata sobre el estudio de los fluidos magnetoreológicos y su aplicación e implementación en el sistema de suspensión del vehículo Buggy formula FAU.

Este trabajo cuenta con seis capítulos los cuales se encuentra organizados de manera que se inicie con un estudio de los tipos de fluidos hasta llegar a concluir las bondades de los fluidos estudiados en el campo automotriz.

En el capítulo I es el marco teórico en el cual se da una breve introducción de los materiales inteligente así como también conceptos básicos de los tipos de suspensión que poseen los vehículos.

En el capítulo II se realiza un el estudio de lo que son los fluidos magnetoreológicos con ello se realizo su creación así como también se creó electroimán el cual controla el comportamiento del liquido. Con este elemento se realizo pruebas para determinar el comportamiento del líquido.

El diseño computacional de la suspensión está presente en el capítulo III; siendo este el más importante del trabajo, se realiza el análisis y los cálculos de los diferentes parámetros de diseño seguidamente se realiza un bosquejo de la suspensión delantera para luego se modelar y aplicar las cargas calculadas mediante el programa SolidWorks 2010.

En el capítulo IV se enfoca en el análisis del comportamiento de amortiguador, este análisis se realiza variado la corriente inducida al amortiguador y sometiéndole a oscilaciones en el banco de pruebas de amortiguadores.

El capítulo V se refiere a la construcción en implementación de la suspensión lo cual se realiza orientado en los planos generados en el capítulo anterior, así como también se realizar las diferentes pruebas de campo para verificar los resultados obtenidos.

En el último capítulo se lleva a obtener las conclusiones y recomendaciones una vez llegado a culminar con todas las etapas de mejoramiento del sistema de suspensión del vehículo Buggy.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES INTELIGENTES

En este capítulo vamos a dar comienzo al estudio del material con el que vamos a realizar el proyecto para conocer los principios de funcionamiento, características y aplicaciones de estos nuevos elementos de la industria moderna.

Uno de los grandes avances tecnológicos que podemos citar es el diseño y creación de materiales inteligentes o activos.

“Un material inteligente es capaz de reconocer adecuadamente un estímulo de su entorno, procesar la información proveniente del estímulo y responder de forma adecuada y en tiempo real” ¹

Los materiales inteligentes mimetizan la habilidad de la naturaleza para reaccionar a estímulos externos. Aunque desde hace mas de 50 años se emplean materiales que podrían denominarse inteligentes como aquellos materiales que cambian su forma, ductibilidad, conductividad entre otras características sin ser estos del todo inteligentes lo cual lo definimos por ser parte del diseño al cual queremos innovar.

Actualmente existe controversia entre las definiciones dadas para estos tipos de materiales, ya que es muy prematuro decir que son inteligentes siendo que estos no son capaces de tomar decisiones ni de poder repararse por sí solos. Por lo cual muchos autores suelen emplear términos como materiales activos o materiales adaptivos.

¹ Gordon G. Wallace Adimendum Materialak boletín n 7 Abril 2007

Para nuestro trabajo vamos a emplear el término de material inteligente, por ser un avance tecnológico que modifica las propiedades de la naturaleza del fluido para reaccionar según nuestro diseño de un estímulo en tiempo real.

En el estudio de los materiales inteligentes se quiere lograr la mayor similitud con el comportamiento de la naturaleza. Siendo necesario un sistema integrado que contenga tanto sensores, controladores y actuadores. Los sensores que capten las necesidades del entorno y las conviertan en señales para que sean procesadas por un ordenador y que este establezca señales oportunas que deben ejecutar el actuador.

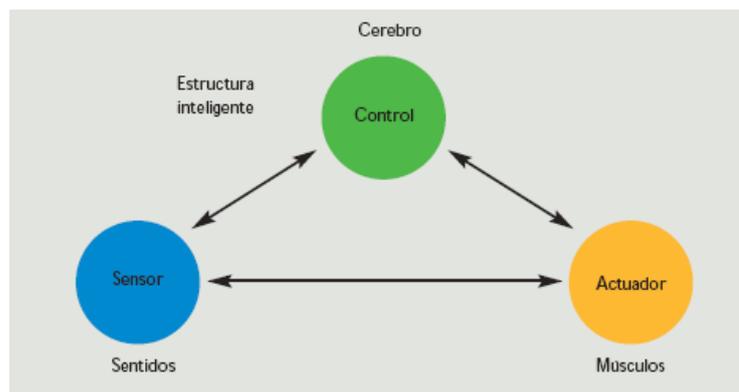


Fig. 1.1 Representación de un sistema inteligente²

Actualmente los materiales inteligentes carecen de las unidades de control dentro del mismo material por lo que se necesita de un agente externo que nos proporcione este tipo de control que se basa en estímulos simples en su esencia

Hoy en día se puede encontrar varias clasificaciones de estos tipos de materiales inteligentes, ya sea por su origen, funcionamiento químico o físico. En la siguiente ilustración se presentará una división según el estímulo y reacción que poseen estos materiales

² Materiales inteligentes I/II Introducción a los materiales del siglo XXI

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES INTELIGENTES³

RESPUESTA ESTIMULO	ELÉCTRICA	MAGNÉTICA	ÓPTICA	TÉRMICA	MECÁNICA
ELÉCTRICA			Electrocromico Electro-luminiscente Electro-óptico	Termoeléctrico	Piezoeléctrico Electrostrictivo Fluidos Electroreológicos
MAGNÉTICA			Magneto-óptico		Fluidos Magneto-reológicos Magnetostrictivo Elastomagnético Memoria de Forma magnética
ÓPTICA	Fotoconductor	Fotocromico			Aleaciones con memoria de forma
TÉRMICA			Termocromico Termo-luminiscente		
MECÁNICA	Electrostrictivo Piezoeléctrico	Magnetostrictivo Elastomagnético Memoria de Forma magnética	Mecánico-cromico		

Esta clasificación está dada por fundamentos físicos y se los puede citar como: piezoeléctricos, magneto estricción, aleaciones de memoria de forma, fluidos reológicos, fibra óptica y sistemas micro electromecánicos entre otros muchos.

1.2 FLUIDO

Un fluido es una sustancia o medio constante que se deforma continuamente con el tiempo ante la aplicación de cualquier tensión tangencial que se le aplique.

1.2.1 FLUIDOS NEWTONIANOS

Los fluidos Newtonianos son aquellos en los que el esfuerzo es directamente proporcional a la velocidad de deformación del fluido o velocidad de cizalladura. Se los conoce con este nombre porque rige la Ley de Newton de la Viscosidad.

³ Materiales inteligentes I/II Introducción a los materiales del siglo XXI

Ese esfuerzo y el gradiente de velocidad que se produce serán directamente proporcionales, a la constante de proporcionalidad se la conoce como Viscosidad.

La viscosidad es la propiedad que tienen los fluidos para oponerse a ser movidos, es decir la resistencia que oponen al momento de fluir.

1.2.2 FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Otro tipo de fluido son los No Newtonianos, son aquellos que carecen de la relación lineal entre la deformación del fluido y el esfuerzo. La diferencia entre fluidos Newtonianos y No Newtonianos se basa en la diferente relación que existe en unos y otros entre la aplicación del esfuerzo y la velocidad que este se deforma.

Como resultado un fluido No Newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante como ocurre con los fluidos Newtonianos.

Los fluidos No Newtonianos se clasifican con respecto a su comportamiento y trabajo con respecto al tiempo, siendo este dependiente del tiempo o independiente del mismo.

Pueden ser:

- Plásticos
- Tixotrópicos
- Pseudoplástico
- Dilatantes
- Irreversibles

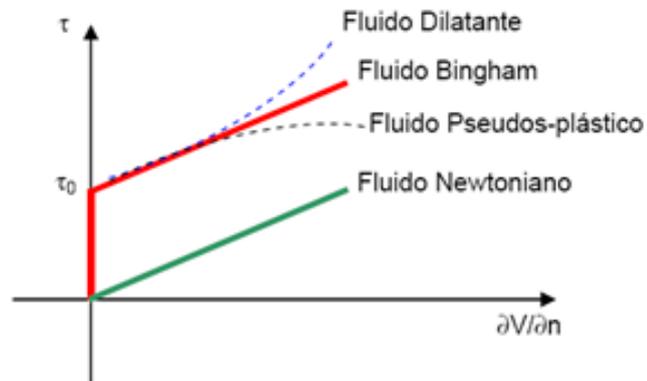


Fig. 1.2 Esfuerzo vs Deformación de Fluidos No Newtonianos

Pseudoplástico

Fluidos de alta viscosidad cuya característica se identifica al momento de la deformación del material cuando su viscosidad se ve disminuida.

Plásticos:

Son de comportamiento parecido a los materiales Pseudoplástico pero estos necesitan de una tensión mínima o fluidez límite para que exista la deformación continua.

Tixotrópico:

Los materiales tixotrópicos se caracterizan por la variación de viscosidad producida por la velocidad de deformación en un determinado tiempo.

Dilatantes:

Son materiales que se vuelven más resistentes al movimiento conforme se incrementa la velocidad de deformación.

Irreversibles:

Dichos materiales varían su viscosidad comportándose de tipo tixotrópico pero dicha modificación de viscosidad es irreversible y no hay regeneración estructural durante los tiempos de reposo.

1.3 FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

El americano Jacob Rainbow estudia hace mas de 50 años fluidos controlables mediante un campo magnético llamados Magnetoreológicos, son fluidos que cambian sus propiedades reológicas en presencia de un estímulo externo.

Los fluidos reológicos pertenecen a la clase de materiales inteligentes, ya que asimilan estímulos externos respondiendo con reacciones mecánicas. Subdividiéndose en fluidos Magnetoreológicos, fluidos Electrorreológicos y Piezoeléctricos.

En el presente trabajo utilizamos fluidos magnetoreológicos, los cuales son líquidos inertes usualmente aceites, siliconas o minerales que portan partículas en suspensión de carácter ferromagnético en un orden de tamaño alrededor de los 0.05 a 0.08 micrones en proporciones adecuadas de concentración.

A estos fluidos magnetoreológicos se les aplica un estímulo externo mediante un campo magnético, lo cual difiere de los fluidos Electrorreológicos cuyo estímulo se debe a la aplicación de una corriente eléctrica, estos dos tipos de fluidos reológicos pueden considerarse materiales inteligentes.

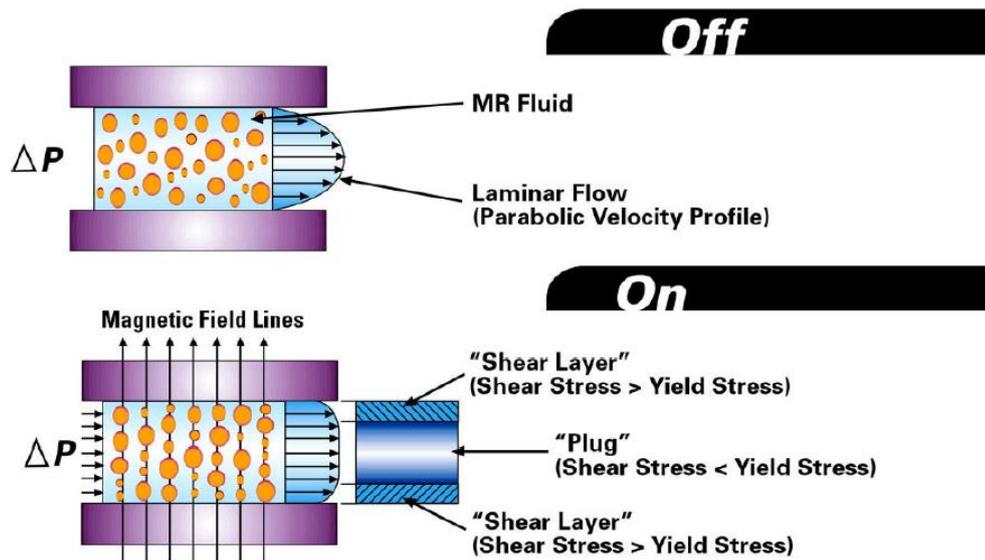


Fig. 1.3 Representación de un Fluido Magnetoreológico⁴

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

Esta clase de fluidos poseen ciertas características particulares al momento de estar bajo la influencia del campo o en ausencia del mismo.

Estos fluidos en ausencia del estímulo magnético puede comportarse normalmente como un fluido de baja viscosidad que obedezca las leyes de Viscosidad de Newton y a la ley de Hooke, al momento de aplicar un campo magnético mínimo estas propiedades del fluido comienzan un cambio en su comportamiento reológico llegando este a convertirse en un fluido con elevado esfuerzo umbral, plástico o Pseudoplástico, con una elevada viscosidad. Este proceso es reversible modificando el campo magnético las veces que el mecanismo lo requiera.

Al momento de aplicar el campo magnético en estos fluidos, internamente las partículas ferromagnéticas suspendidas forman estructuras en la dirección del campo. Si aplicamos el campo estando en dirección perpendicular a la del flujo, hacemos que el movimiento del mismo,

⁴ Delphi MagneRide

rompa las estructuras antes mencionadas y deban formarse nuevamente, en consecuencia de este efecto se crea un esfuerzo que se opone continuamente al movimiento del fluido.

Una característica muy importante en estas estructuras es su velocidad al momento de actuar ya que requiere apenas algunos milisegundos para cambiar de un estado a otro, lo cual es muy aprovechado y útil en algunos mecanismos de accionamiento en tiempo real.

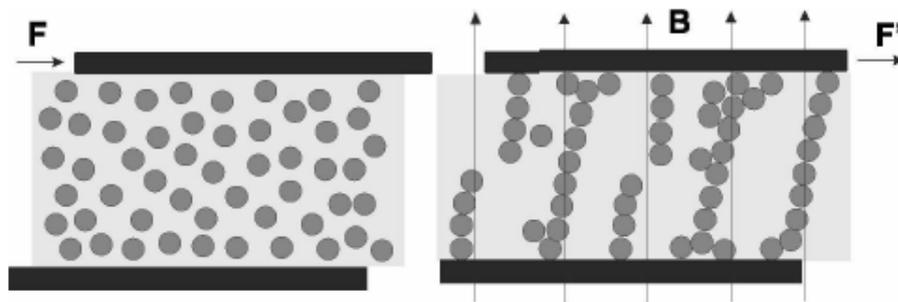


Fig. 1.4 Representación de un Sistema magnetoreológicos entre una placa móvil y una fija sometida a una fuerza tangencial. a) Sin campo magnético b) aplicado campo magnético B ⁵

1.3.2 APLICACIONES DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

En la actualidad se está desarrollando el estudio de estos fluidos magnetoreológicos y se ha conseguido su incorporación en los campos de la ingeniería mecánica, ingeniería civil así como en la medicina ortopédica.

Son notables la gran cantidad de aplicaciones que se pueden lograr con esta tecnología y sus beneficios por sus características especiales.

⁵ Estudio experimental de la viscosidad de un fluido magnetoreológico a base de magnetita mineral

Ejemplos de estas aplicaciones:

- Suspensiones de Asientos para vehículos pesados
- Amortiguadores de Vibraciones Periódicas
- Amortiguadores de Vibraciones No Periódicas
- Amortiguadores para palas de helicópteros
- Protección Antisísmica de Estructuras
- Apoyo de Motores Industriales
- Protección de Operadores en Maquinaria Pesada productora de vibraciones.

Suspensión de asientos para vehículos pesados

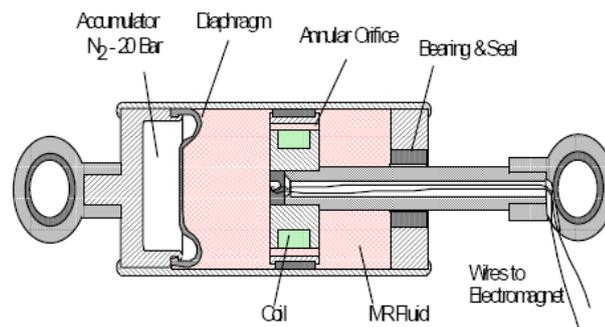


Fig.1.5 Amortiguador Rheonetic RD-1001/4

Amortiguadores de Vibraciones

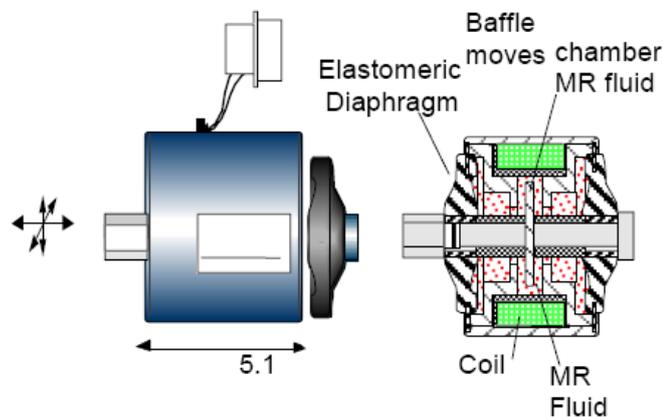


Fig. 1.6 Amortiguador de Vibraciones Rheonetic RD-1013-1

Control de Vibraciones Sísmica

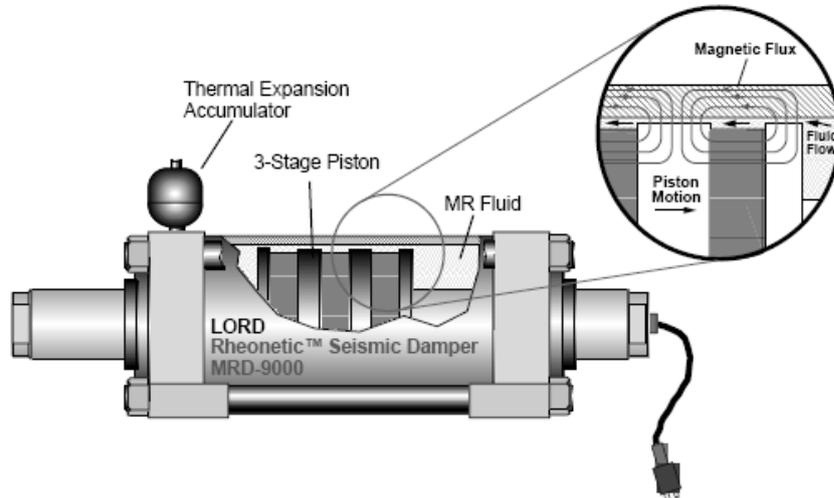


Fig.1.7 Amortiguador Sísmico Rheonetic MRD-9000



Fig. 1.8 Puente de Lago Dong Ting en China está equipado con aislante de movimiento magnetoreológicos para contrarrestar ráfagas de viento.⁶

1.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

En la actualidad el control de vibraciones se lo realiza a través dispositivos de amortiguamiento y amortiguadores de fluido viscoso que aprovechan

⁶ Cortesía de Lord Corp.

ciertas propiedades del líquido para contrarrestar las fuerzas de vibración, la desventaja de dichos métodos son que las propiedades de los fluidos son constantes y también su coeficiente de amortiguamiento.

La ventaja de utilizar fluido magnetoreológico en estos casos es que logran variar sus propiedades principalmente su viscosidad adquiriendo varias gamas de dureza, mediante la variación del campo magnético

Comparando ciertas ventajas que poseen los fluidos magnetoreológicos sobre los fluidos Electrorreológicos, son que soportan una mayor temperatura de funcionamiento y pueden funcionar a una mayor presión. La habilidad de estos fluidos para reaccionar al estímulo magnético es simple, rápida y silenciosa, por lo que trabajar con estos fluidos disminuye los tiempos de reacción entre los interfaz de control y la ejecución que se requiera.

Cuando se diseña un mecanismo con fluidos magnetoreológicos, se considera una desventaja que al momento de apagar el campo magnético las partículas se sedimentan rápidamente, para evitar que este efecto ocurra se debe emplear surfactantes los cuales disgregan las estructuras y permiten que las partículas continúen en dispersión.

1.4 SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

1.4.1 FUNCIONES DE LA SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO

El sistema de suspensión es una de las partes más importantes de cualquier vehículo. Afecta principalmente, al confort de los pasajeros, al fácil manejo, a la maniobrabilidad y al control del vehículo.

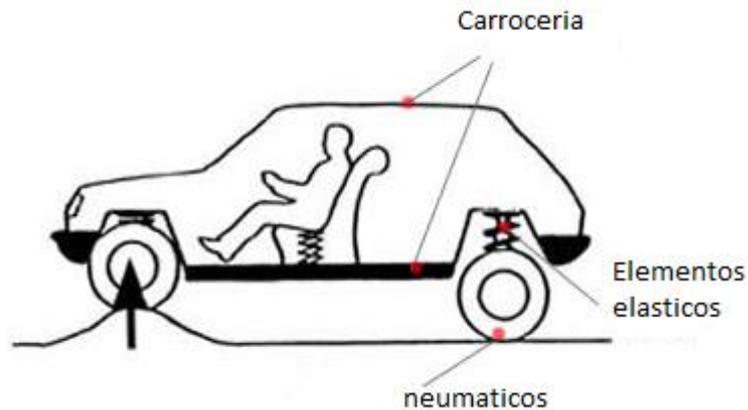


Fig. 1.9 Representación de elementos básicos para la suspensión

También es necesario que cumplan con otras funciones complementarias:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.
- Resistir el par motor y de frenada.
- Resistir los efectos de las curvas.
- Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido.
- Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor.
- Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo.
- Soportar la carga del vehículo.

Para el funcionamiento de la suspensión el peso del vehículo se descompone en dos partes:

- Masas suspendidas: Es todo el peso que se encuentra soportado por el chasis del vehículo.
- Masas No suspendidas: Constituye todo el peso de los componentes independientes al chasis. Tales como suspensión, frenos, dirección y transmisión.

La conexión de las masas se produce mediante el sistema de suspensión. Este sistema consta de elementos elásticos los cuales absorben una serie de impactos producidos por las irregularidades del camino que evitan que se transmitan en su totalidad a la carrocería.

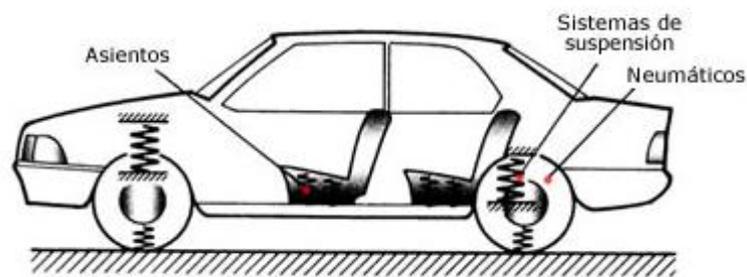


Fig. 1.10 Amortiguación de un Vehículo

Para contrarrestar las oscilaciones producidas por los elementos elásticos el sistema de suspensión consta de amortiguadores, los cuales neutralizan dichas ondas transformando la energía acumulada de los resortes en calor.

Cuando se produce una mala conducción o un reparto desequilibrado de las cargas se pueden también originar oscilaciones. Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del coche y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones existentes serían:

- Empuje: se produce al pasar por terreno ondulado
- Cabeceo: debido a la frenada brusca
- Bamboleo: se genera al tomar curvas a alta velocidad.

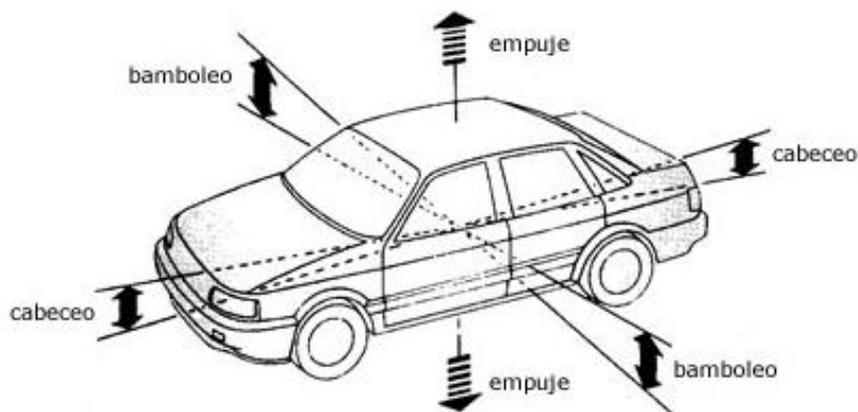


Fig. 1.11 Oscilaciones en el vehículo

1.4.2 ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN

Los elementos elásticos de la suspensión constan componentes como:

- Ballestas.
- Muelles helicoidales.
- Barras de torsión.

Además, dispone de otros elementos que mejoran el comportamiento de la suspensión como barras estabilizadoras, tirantes de reacción, barras transversales, brazos, rótulas, etc.

Ballestas

La suspensión por ballestas suele emplearse en vehículos de carga como camionetas.

Las ballestas están constituidas por unas láminas de acero especial para muelles (1) unidas mediante unas abrazaderas (2), que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan. La hoja superior, llamada hoja maestra, va curvada en sus

extremos, formando unos ojos en los que se montan unos casquillos (3) para su acoplamiento al soporte del bastidor, por medio de pernos o bulones. Todas las hojas se unen en el centro mediante un tornillo pasante con tuerca.

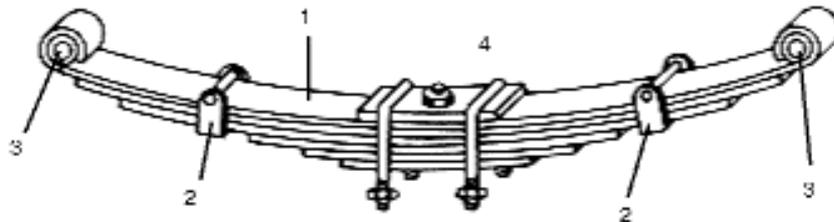


Fig. 1.12 Ballestas

Muelles helicoidales

Estos elementos mecánicos se utilizan modernamente en casi todos los turismos en sustitución de las ballestas, pues tienen la ventaja de conseguir una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso.

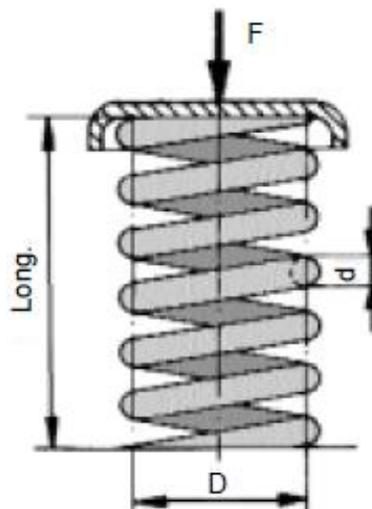


Fig. 1.13 Resortes

Están contruidos por una varilla de acero de diámetro comprendido, generalmente, entre 10 y 15 mm, enrollado en forma de hélice. Sus espiras extremas se hacen planas para obtener un buen asiento, tanto en la zona superior como en la inferior. El diámetro del muelle varía en función de la carga que ha de soportar.

Barra de torsión

Este tipo de resorte utilizado en algunos automóviles con suspensión independiente, está basado en el principio de que si a una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos se le aplica por el otro un esfuerzo de torsión, esta varilla tenderá a retorcerse, volviendo a su forma primitiva por su elasticidad cuando cesa el esfuerzo de torsión.



Fig. 1.14 Barra de torsión

Amortiguadores

Los amortiguadores se encargan de absorber las vibraciones de los elementos elásticos de la suspensión, la energía generada por las oscilaciones la convierten en calor.

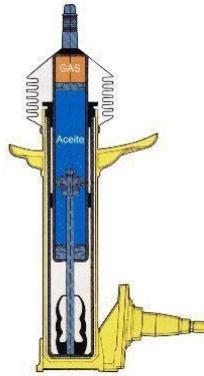


Fig.1.15 Representacion de Amortiguador

Cuando la rueda encuentra un bache, el muelle se comprime o se estira, recogiendo la energía mecánica producida por el choque, energía que devuelve a continuación, por efecto de su elasticidad, rebotando sobre la carrocería.

Este rebote en forma de vibración es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo, en primer lugar, el efecto de compresión y luego el de reacción del muelle, actuando de freno en ambos sentidos; por esta razón reciben el nombre de los amortiguadores de doble efecto.

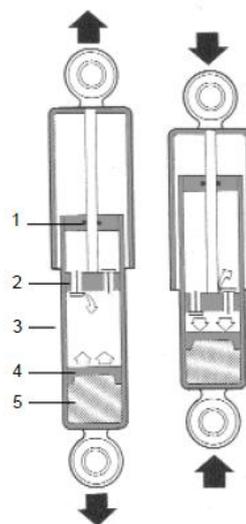


Fig. 1.16 Elementos de amortiguador 1) Reten 2) Pistón de trabajo 3) Aceite 4) Pistón Flotante 5) Gas

Los amortiguadores se pueden clasificar en diferentes tipos:

a) Según su sentido de trabajo:

- Amortiguadores de simple efecto: sólo amortiguan en un sentido.
- Amortiguadores de doble efecto: amortiguan en extensión y compresión.

b) Según el fluido de amortiguación:

- Amortiguadores de gas.
- Amortiguadores hidráulicos.
- Amortiguadores neumáticos.
- Amortiguador reológicos.

c) Según las necesidades se puede regular:

- Regulables en dureza.
- Regulables en altura de la suspensión.

Los fabricantes de amortiguadores más conocidos son:

- Monroe
- Sachs
- Gabriel
- Bilstein

1.5 SUSPENSIONES CONVENCIONALES

1.5.1 SUSPENSIÓN DEPENDIENTE

En este tipo la suspensión una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido, como se puede observar en la siguiente imagen fig. 1.17.

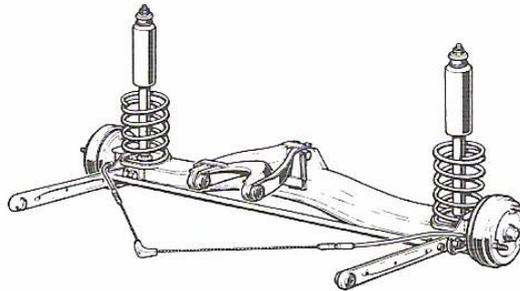


Fig. 1.17 Representación de la suspensión rígida

En este tipo de suspensión su geometría facilita la absorción de las vibraciones del camino y a la vez la transmisión de vibraciones de una rueda a la otra.

Este tipo de suspensión se clasifica en dos tipos:

- Rígida
- Semi-Rígida

1.5.2 SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE

Este tipo de suspensión garantiza que el movimiento de una de las ruedas por efecto de las irregularidades del terreno no afecta al movimiento de las demás.

En esta disposición cada rueda se encuentra sostenida por su propio sistema de suspensión y unión al bastidor como se puede observar en la siguiente imagen fig. 1.18.

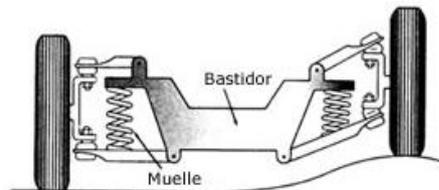


Fig. 1.18 Suspensión independiente.

Los vehículos con suspensión independiente poseen un centro de oscilación más amplio y se obtiene menos golpeteo y mayor adherencia en la rueda.

Los principales tipos de suspensión independiente son:

- Suspensión de eje oscilante.
- Suspensión de brazos tirados.
- Suspensión McPherson.
- Suspensión de paralelogramo deformable.
- Suspensión multibrazo

1.6 SUSPENSIONES ACTIVA - SEMI ACTIVA

Estos sistemas consisten en intercomunicar la suspensión delantera con la trasera de cada lado del vehículo, con lo que se consigue una gran reducción de las oscilaciones y se mantiene el vehículo nivelado en cualquier posición de las ruedas, lo que se traduce en una mayor comodidad para el conductor y ocupantes del mismo.

Entre los sistemas más destacados se pueden citar los siguientes:

- Sistema Hydrolastic.

- Suspensión Hidroneumática
- Suspensión Neumática.
- Suspensión MagneRide

1.6.1 SUSPENSIÓN MAGNERIDE

MagneRide es un sistema Semi activo de control de suspensión en el cual responde en tiempo real a las condiciones de la carretera y la conducción basándose en la información de sensores que vigilan los movimientos del chasis y las ruedas.

Como resultado de este sistema de suspensión es que se produce una marcha bien controlada pero aislada, que reduce también el rebote de la rueda y aumenta también el contacto de la rueda con la carretera sobre todos los tipos de superficies.



Fig. 1.19 Amortiguador MagneRide

Funcionamiento

El sistema usa fluidos magnetoreológicos (MR) para proporcionar una alta capacidad de control de amortiguación con incomparable sensibilidad. Un controlador en el tablero ajusta continuamente las fuerzas de suspensión cada milisegundo, basándose en la información de los cuatro sensores de desplazamiento de la suspensión, el sensor de aceleración lateral y el de desplazamiento del volante.

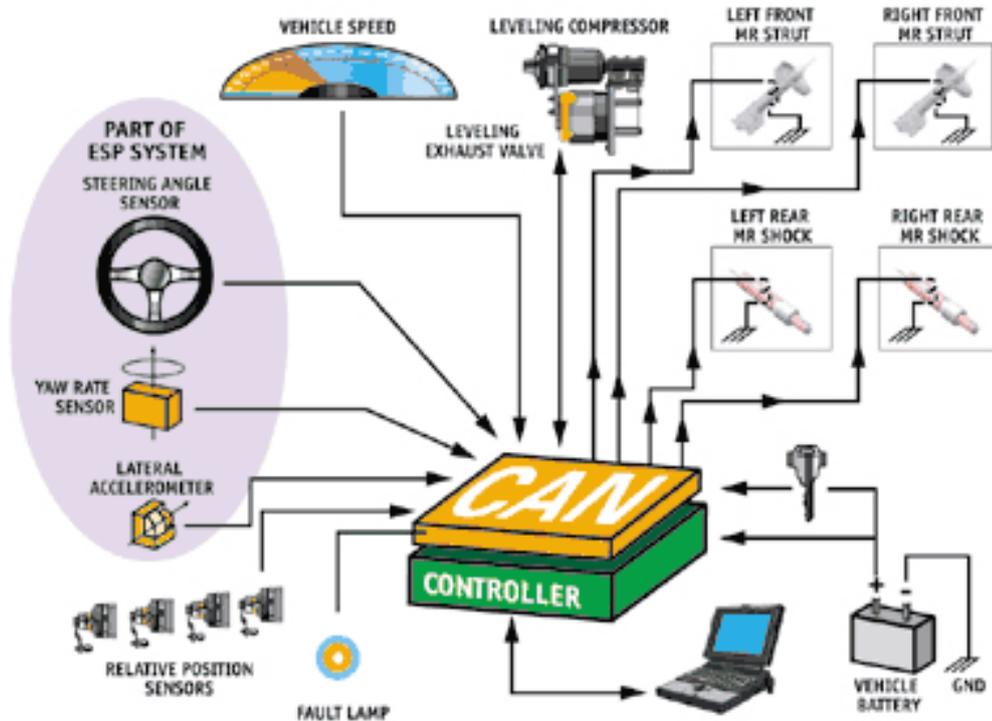


Fig. 1.20 Elementos del Sistema de control Activo

Beneficios

- El sistema MagneRide proporciona importantes mejoras en seguridad, control, manejo y confort.
- Mayor capacidad de amortiguación que controla los movimientos del chasis del vehículo y logrando así una marcha más uniforme.
- Un menor movimiento del vehículo al tomar curvas para una marcha más precisa y con mejor reacción.
- Menor aplastamiento durante el frenado y aceleración.
- Mejor control en maniobras bruscas a alta velocidad así evitando pérdida de control.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

2.1 FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

Los fluidos magnetoreológicos están compuestos por tres partes fundamentales en su estructura interna: Líquido portador, partículas ferromagnéticas y aditivo dispersor. La concentración de partículas en el líquido portador varía en relación a las necesidades requeridas del volumen total del fluido magnetoreológico. Es importante destacar que el tamaño de las partículas debe ser lo más pequeño posible para que la suspensión en el fluido sea uniforme y evitar así la sedimentación de partículas.

En ausencia del campo magnético, el fluido tiende a comportarse como un fluido newtoniano, las características que este posea serán en base las propiedades propias del fluido portador y los aditivos, en cuanto las partículas ferromagnéticas se encuentran dispersas por todo el fluido portador sin alterar su comportamiento.

Al momento de aplicar un campo magnético siendo este perpendicular a la dirección del flujo, el fluido deja de comportarse como un fluido newtoniano y adquiere características viscoelásticas. Es importante mencionar que si el campo magnético se encuentra en dirección de las líneas de fluido no se observara reacciones físicas del fluido ni cambios en su comportamiento reológico.

Los fluidos magnetoreológicos reaccionan al momento de inducir un momento dipolar a las partículas en suspensión mediante un campo

magnético. La interacción de los dipolos inducidos hace que las partículas suspendidas formen estructuras alargadas paralelas al campo aplicado y distribuidas uniformemente.

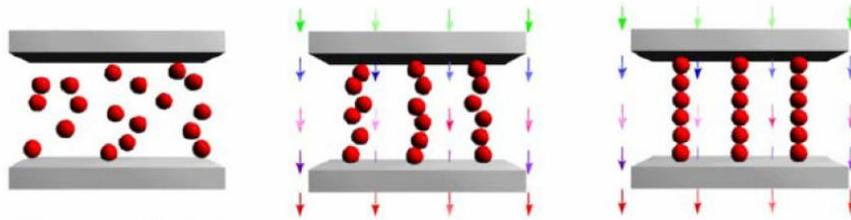


Fig. 2.1 Reacción de Partículas según el campo aplicado

La formación de las estructuras de partículas por el campo magnético es la condición por la cual la fluidez del líquido se ve afectada. Estas estructuras restringen el movimiento del fluido siendo este la característica viscosa del material portador. La intensidad de campo aplicado al fluido magnetoreológicos será el que dictamine las características con las cuales se va a comportar el fluido.

Esta organización de partículas y formación de estructuras dentro de fluido nos dificulta luego la dispersión de las mismas. Al momento de quitar el campo magnético ocurre el efecto de la sedimentación de las partículas a lo largo de las paredes del contenedor. Un factor que nos ayuda para la dispersión es la interacción de las mismas partículas dipolares entre las estructuras alargadas unas con otras para mantenerlas distanciadas uniformemente unas con respecto a las otras. Para tratar de evitar la sedimentación se usa elementos surfactantes los cuales nos ayudan a romper las estructuras y dispersar las partículas siendo esto uno de los mayores problemas al momento de crear esta clase de fluido.

Para el trabajo con dispositivos variables a base de fluido magnetoreológico se los puede caracterizar por dos tipos de diseños más

utilizados por la forma en la que van a trabajar. La primera forma será que los polos fijos y la segunda que uno de los polos sea fijo y el otro móvil.

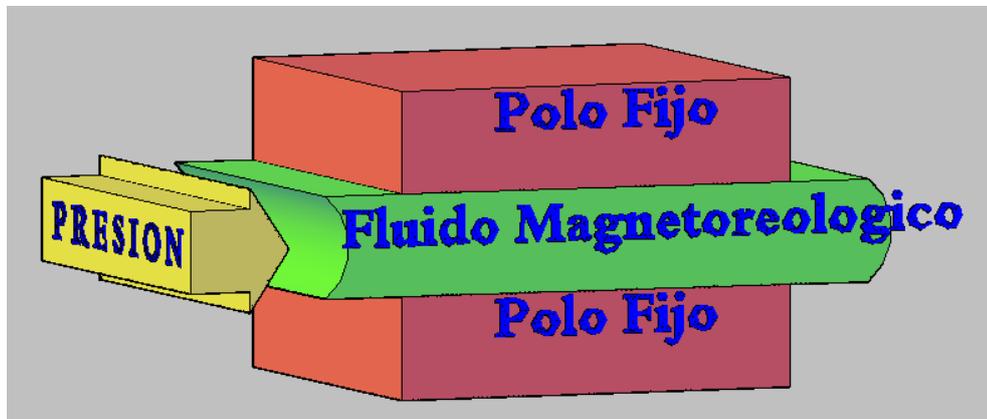


Fig. 2.2 Demostración de Diseño de Polos fijos

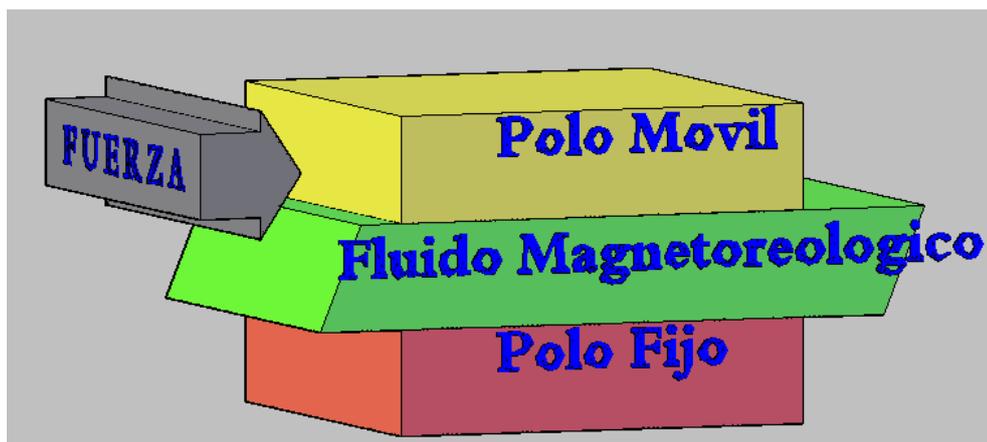


Fig. 2.3 Demostración de Diseño de polo fijo y polo móvil

A continuación se va a explicar el funcionamiento en la que los dos polos son fijos también llamado flujo de presión conducida. En esta modalidad de trabajo el fluido en ausencia del campo magnético no opone tanta resistencia a la presión P que mueve el fluido hacia la dirección mostrada y las partículas se mantienen dispersas alrededor de todo el fluido. Al momento de incrementar el campo magnético se forman las estructuras alargadas en dirección del campo inducido llegando a cruzar estas estructuras toda o parcialmente el área transversal del ducto. La presión

que requiere el fluido para circular deberá ser mayor a la presión inicial, para lograr así romper las estructuras que continuamente se regeneran por presencia de las líneas de campo magnético.

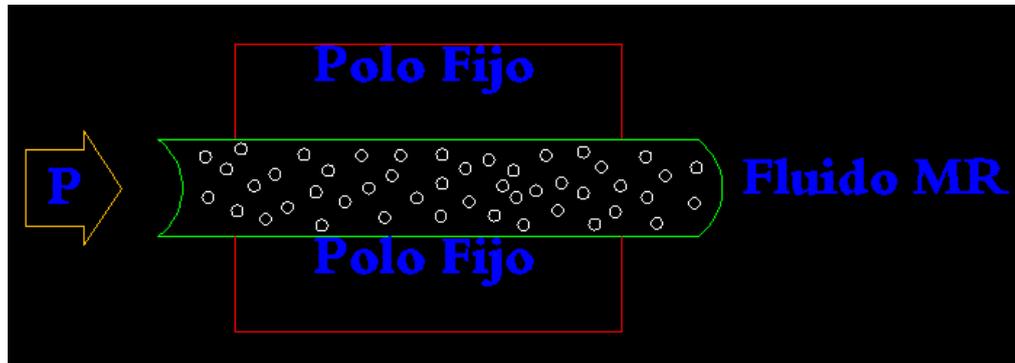


Fig.2.4 Comportamiento sin campo magnético

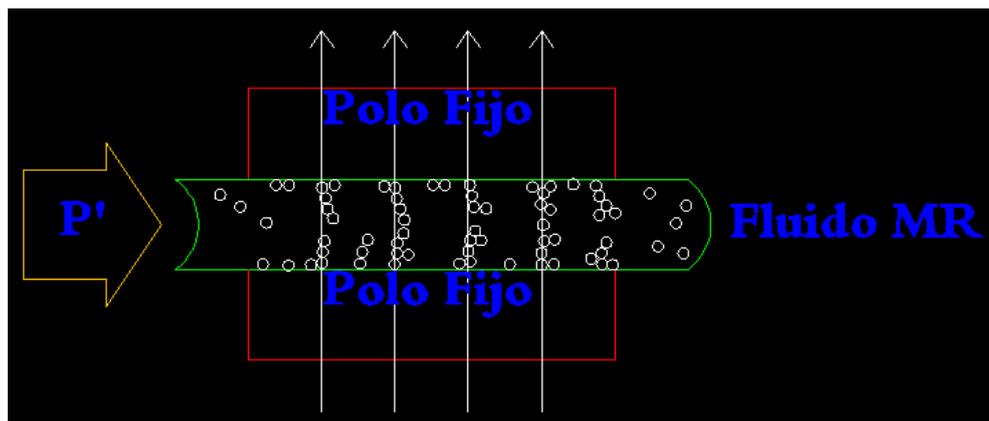


Fig.2.5 Comportamiento aplicado campo magnético

2.2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICO

2.2.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS.

La reología es la ciencia que estudia los fluidos y sus comportamientos cuando se los somete a esfuerzos externos o cargas mecánicas. Los fluidos líquidos al no tener una forma definida, cuando se somete a cargas no se deforma sino que al cambio producido en la posición de los átomos se le llama fluencia y la tensión se ve liberada. La palabra reología proviene del griego $\rho\epsilon\iota\nu$ la cual significa fluir.

Los fluidos Magnetoreológicos varían sus propiedades reológicas con la aplicación de un campo magnético. Estas propiedades de los fluidos magnetoreológicos dependen de algunos aspectos como las características del líquido portador, el nivel de concentración de las partículas suspendidas, los aditivos surfactantes diluidos en el fluido, el campo magnético con el que se trabaje entre otros factores como la temperatura y la presión de funcionamiento.

En todas las variaciones de fluidos magnetoreológicos para diferentes aplicaciones, las propiedades sin campo magnético dependen específicamente del líquido portador, de los aditivos y las proporciones en la cantidad de partículas. Esto hace que el fluido se comporte como un fluido newtoniano.

2.2.2 PROPIEDADES MAGNÉTICAS

Las propiedades magnéticas en los fluido magnetoreológicos son muy importantes ya que son materiales que responden a la aplicación de un campo magnético con la variación de su comportamiento reológico como se puede observar en la siguiente imagen.



Fig. 2.6 Representación al aplicar campo magnético

Se puede apreciar que la aplicación de un campo magnético en el fluido produce internamente la polarización de sus partículas suspendidas dando como resultado la formación de estructuras en forma de columna, paralelas al campo aplicado.

En este tipo de fluidos la susceptibilidad magnética va de acuerdo a la aplicación que se dé al fluido.

Una característica muy importante de los fluidos magnetoreológicos es que a pesar de su nombre, no retienen su magnetización en ausencia de un campo aplicado de manera externa. De hecho, los fluidos magnetoreológicos se identifican por su gran susceptibilidad magnética.

2.3 FLUIDO MAGNETOREOLÓGICOS

A continuación se realiza la elaboración y prueba del fluido magnetoreológico para verificar el funcionamiento al momento de aplicar el campo magnético. Para esta práctica se realizó cálculos tanto en el área de magnetismo como en el área de ensayos de viscosidad. Para la elaboración del fluido se efectuaron varios ensayos con diferentes proporciones de materiales hasta que se llegó a un fluido más estable y adecuado para el correcto comportamiento de las pruebas efectuadas.

2.3.1 CREACIÓN DEL FLUIDO

La elaboración del fluido magnetoreológico requiere seleccionar correctamente los materiales base, como el aceite portador, el material ferromagnético y aditivos. Cada uno de estos elementos debe interactuar correctamente por lo que se manejan diferentes elementos a diferentes proporciones. Además el fluido debe presentar respuesta suficiente al campo magnético aplicado para luego proceder a evaluarlo.

Se desea que el fluido magnetoreológico se comporte como un fluido normal en ausencia de campo y vaya aumentando su viscosidad según incremente el campo aplicado. La sedimentación de las partículas ferromagnéticas se notará según transcurra el tiempo. Para contrarrestar la sedimentación se utilizó uno de los aditivos más utilizados como es el ácido oleico que actúa como dispersor de las partículas ferromagnéticas.

Selección de materiales

Para seleccionar el aceite base se calculo sus densidades. También se requiere las densidades de aditivo y material ferromagnético, en dicho procedimiento se utilizo la balanza, vasos de precipitado y probetas para pesar los materiales con una medida de volumen de 50 ml.

Se conoce que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec 2.1

Donde:

ρ = Densidad

m = masa

V = Volumen

Utilizando la ec 2.1 se procedió a calcular las densidades de los aceites portadores que se detallan en la tabla 2.1

TABLA. 2.1 DENSIDADES DE ACEITES

Aceite	Densidad (g/ml)
Aceite hidráulico	0.774
Aceite de amortiguador	0.854
Aceite vegetal	0.837
Aceite SAE 40	0.881

También se utilizo la ec 2.1 para calcular las densidades del material ferromagnético y de la sustancia surfactante. Dando como resultados los datos mostrados en la tabla 2.2.



Fig. 2.7 Material Ferromagnético



Fig. 2.8 Acido Oleico

TABLA 2.2 DENSIDADES DE MATERIALES UTILIZADOS

Material	Densidad (g/ml)
Acido oleico	0.782
Material Ferromagnético	2.376



Fig.2.9 Conjunto para preparación del fluido

A continuación se realizaron ensayos con diferentes concentración de material ferromagnético, al 30% de magnetita, 20% de magnetita, 10% de

magnetita, 5% de magnetita y 2.5% de magnetita. El aceite portador se selecciono después de utilizar cada uno de los mismos en varias pruebas quedando evidenciado que fueron más efectivos los de mayor densidad, Aceite SAE40 ya que ayuda para contrarrestar la sedimentación de mejor manera.

TABLA 2.3 FLUIDO MR AL 5%

Fluido al 5%
Total de Fluido: 35 ml
95% de Acido-Aceite Base: 33.25 ml
Acido Oleico total: 13.3 ml al 40%
Aceite Base SAE 40: 19.95 ml al 60 %
5% de Material Ferromagnético: 4.158 g

En la tabla 2.3 se puede observar el porcentaje de cada componente para la creación del fluido magnetoreológico al 5% de material ferromagnético.

TABLA 2.4 FLUIDO MR AL 2.5%

Fluido al 2.5%
Total de Fluido: 35 ml
97.5% de Acido-Aceite Base: 34.12 ml
Acido Oleico total: 17.06 ml al 50%
Aceite Base SAE 40: 17.06 ml al 50 %
2.5% de Material Ferro magnético: 2.07 g

En la tabla 2.4 indica el porcentaje exacto que se coloca de cada componente para la creación del fluido magnetoreológico al 2,5% de material ferromagnético

Elaboración del Fluido

Con los datos calculados según la tabla 2.3 y tabla 2.4 se procede a la preparación de las muestras. Como primer paso se colca el liquido portador en la probeta de 25 ml, en este caso se va a realizar con aceite SAE 40 como base del fluido.



Fig. 2.10 Medida de Aceite SAE 40

A continuación se coloca el aditivo surfactante en este caso el ácido oleico.



Fig. 2.11 Mezcla de Aceite – Ácido Oleico

Como paso final se deposita el material ferromagnético en la probeta y procedemos a mezclar hasta obtener un fluido oscuro y denso como se puede observar en la fig. 2.12.

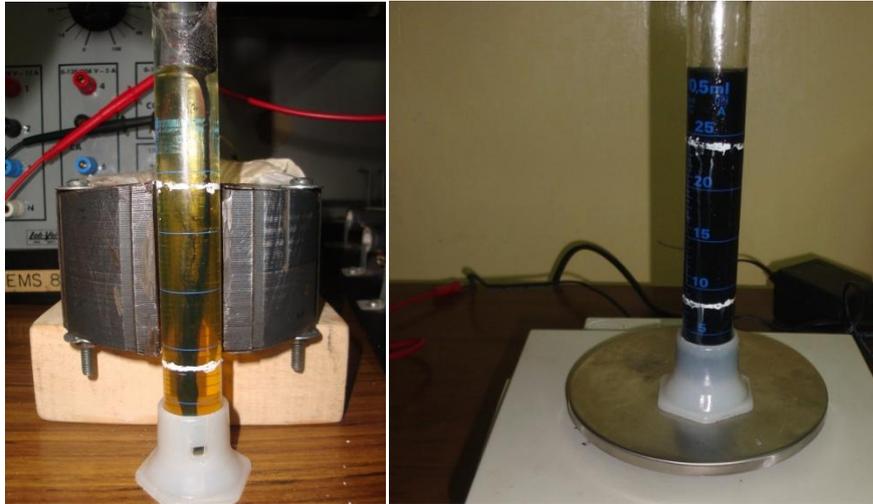


Fig. 2.12 Conjunto de Fluido Magnetoreológico

Los fluidos con el 10%,20% y 30% no se adecuaron a nuestra práctica de laboratorio ya que adquirieron demasiada oposición al movimiento sin dar lugar al ensayo de viscosidad previsto para la práctica. Dejando constancia que su naturaleza viscosa cambia de manera proporcional al campo magnético aplicado.

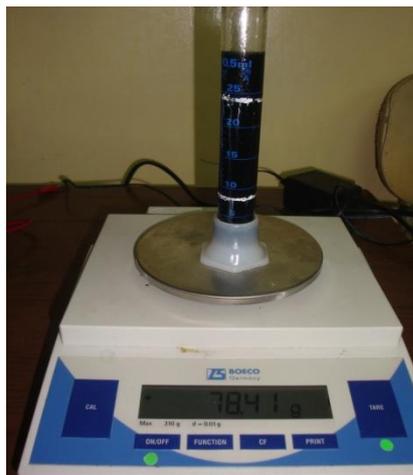


Fig.2.13 Pesaje del fluido total

2.3.2 CREACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

En el estudio del magnetismo se analiza el comportamiento del campo magnético el cual es un mecanismo fundamental para convertir la energía de una forma a otra y se lo puede apreciar en motores, generadores, transformadores.

Un campo magnético variable en el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ella también llamado transformador.

La ley básica que gobierna la producción de un campo magnético por medio de una corriente, es la Ley de Ampere expresada en la siguiente ecuación:

$$H = \frac{N * i}{lc}$$

EC 2.2

Donde:

H =Intensidad de campo Magnético (amp-vueltas*metro)

N =Numero de vueltas

i = Intensidad de corriente

lc = Longitud media de recorrido

En la siguiente figura 2.15 se puede apreciar las partes principales en un electroimán.

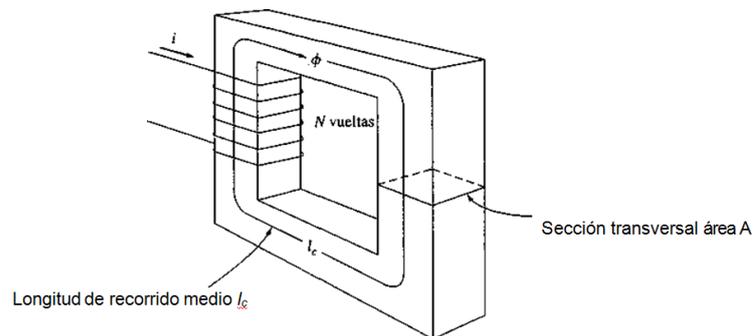


Fig. 2.14 Representación de un Electroimán

La potencia del campo magnético producido en el núcleo depende también del material del que está compuesto el electroimán. La relación entre la intensidad de campo magnético (H) y la densidad del flujo magnético (B) la podemos apreciar en la ecuación 2.3:

$$B = H * \mu \quad \text{Ec 2.3}$$

Donde:

B = Densidad de flujo (webers * m²) o (Tesla)

μ = Permeabilidad del material.

El circuito magnético al igual que un circuito eléctrico consta de tres elementos, la fuerza magneto motriz, el flujo magnético y la reluctancia. La siguiente ecuación nos indica su relación:

$$F_{mm} = \Phi * R \quad \text{Ec 2.4}$$

Donde:

F_{mm} = Fuerza Magneto motriz

Φ = Flujo magnético

R = Reluctancia

Tomando en consideración que la fuerza magneto motriz de un circuito magnético es igual al flujo de corriente aplicado al núcleo. Se considera la siguiente ecuación:

$$F_{mm} = N * i \quad \text{Ec 2.5}$$

El flujo magnético (Φ) se relaciona a la densidad de flujo por el área transversal del electroimán por donde recorre el flujo magnético dando una ecuación de la siguiente forma:

$$\Phi = B * A \quad \text{Ec 2.6}$$

Donde:

A= Área perpendicular al vector densidad de flujo B

A continuación se despejara trabajara a partir de la Ec 2.4 para encontrar la reluctancia dentro del circuito magnético.

$$R = \frac{F_{mm}}{\Phi}$$

Donde reemplazaremos la Ec.2.5 a la fuerza magneto motriz y la Ec 2.6 al flujo magnético:

$$R = \frac{N * i}{B * A}$$

Dentro de esta ecuación se reemplaza la densidad de flujo B por la Ec 2.3:

$$R = \frac{N * i}{H * \mu * A}$$

A su vez la Ec 2.2 se sustituye por la intensidad de campo H dando como resultado la ecuación 2.7:

$$R = \frac{N * i}{\frac{N * i}{lc} * \mu * A}$$

$$R = \frac{lc}{\mu * A}$$

Ec 2.7

Para el cálculo de la Densidad de flujo magnético B utilizaremos las ecuaciones (2.4 y 2.6) y se equiparan por el flujo magnético Φ :

$$B * A = \frac{F_{mm}}{R}$$

Obteniendo la siguiente ecuación:

$$B = \frac{N * i}{R * A}$$

Ec 2.8

Análisis del electroimán

Se diseñó el electroimán con un núcleo ferro magnético cuya longitud media es de 28 cm. El entrehierro necesario para la práctica es de 2 cm en la estructura del núcleo. El área de la sección transversal del núcleo es de 12,7 cm². Siendo su lado más alto de 6 cm. La permeabilidad relativa del núcleo es de 4 000 y la bobina de alambre que posee 85 vueltas.



Fig. 2.15 Electroimán

En la tabla 2.5 se expresa las características principales del electroimán que se ocupar para el análisis de la viscosidad del fluido magnetoreológico.

TABLA 2.5 DATOS DEL ELECTROIMÁN

Longitud media lc (m)	0,28
Entrehierro (m)	0,02
Área entrehierro (m^2)	0,00127
Numero de vueltas N	85
Coefficiente de permeabilidad del material	4000
Coefficiente de permeabilidad del aire	1,25502E-06
Resistencia total de electroimán (ohm)	2

Cálculo

Para empezar el análisis del electroimán se aplica la Ec 2.7. Para determinar la reluctancia del entrehierro, los coeficientes de permeabilidad del aire y del hierro se encuentran en el Anexo 1:

$$R_1 = \frac{lc}{\mu_{aire} * A}$$

$$R_1 = \frac{0.02 \text{ m}}{(4\pi \times 10^{-7})(0.00127\text{m}^2)}$$

$$R_1 = 12548031,5 \text{ A} \cdot \text{espiras/Wb}$$

Donde:

μ_{aire} = permeabilidad del aire

La reluctancia del núcleo de igual manera se la calcula mediante la Ec 2.7:

$$R_2 = \frac{lc}{\mu_{hierro} * A}$$

$$R_2 = \frac{0.028 \text{ m}}{(4000)(4\pi \times 10^{-7})(0.00127\text{m}^2)}$$

$$R_2 = 43918,1102 \text{ A} \cdot \text{espiras/Wb}$$

Donde:

μ_{hierro} = permeabilidad del hierro

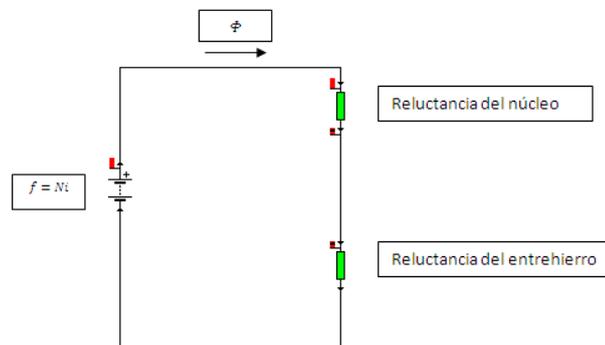


Fig. 2.16 Circuito Magnético

Reluctancia total en el camino del flujo se obtiene mediante la Ec 2.14 siendo la sumatoria de la reluctancia que tiene el circuito magnético.

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 \quad \text{Ec 2.14}$$

$$R_{\text{total}} = 12548031,5 + 43918,1102$$

$$R_{\text{total}} = 12591949,6 \text{ A} \cdot \text{espiras/Wb}$$

Para el cálculo de la Densidad de flujo se aplica la Ec 2.8

$$B = \frac{N * i}{R_{\text{total}} * A}$$

$$B = \frac{(85 \text{ espiras}) * (5 \text{ A})}{\left(12591949,6 \text{ A} \cdot \frac{\text{espiras}}{\text{Wb}}\right) * (0.00127\text{m}^2)}$$

$$B = 0,02657 \text{ (Tesla) o } \left(\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\right)$$

La densidad de flujo es $B=0,02657$ a 5 Amperios.

2.3.3 CÁLCULO DE VISCOSIDAD

El cálculo de viscosidad se realiza a los diferentes estados del fluido magnetoreológico para comprender sus diferentes reacciones según los estímulos externos. Para llegar a encontrar dicha viscosidad se va a describir el movimiento vertical de una esfera en el seno del fluido viscoso, donde la esfera va a estar sometida a diferentes fuerzas como el peso, el empuje y una fuerza de rozamiento proporcional a la velocidad que tome la esfera.

De acuerdo con el principio de Arquímedes que indica:

$$E = \rho_f * V * g \tag{Ec 2.15}$$

Donde:

E = Empuje

ρ_f = Densidad del fluido

V = Volumen total sumergido

g = Gravedad

La fuerza de rozamiento que se genera se denomina ley de Stokes y se denota de la siguiente forma:

$$F_r = 6 * \pi * R * \eta * v \tag{Ec 2.16}$$

Donde:

F_r = Fuerza de Rozamiento

R = Radio de la esfera

η = Viscosidad

v = Velocidad

Para el cálculo del peso, se conoce la relación de densidad y volumen:

$$P = m_e * g = \rho_e * V * g \quad \text{Ec 2.17}$$

Donde:

P = Peso

m_e = Masa de la esfera

g = Gravedad

ρ_e = densidad de la esfera

V = Volumen de la esfera

La ecuación de movimiento será, por tanto,

$$m_e * g - E - F_r = m_e * a \quad \text{Ec 2.18}$$

Donde:

a = Aceleración

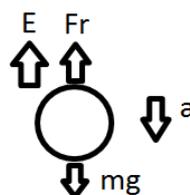


Fig. 2.17 Representación de fuerzas aplicadas

La velocidad límite se alcanza cuando la esfera tiene una aceleración de cero, esto se requiere para que la velocidad sea constante en relación al tiempo, por lo que la ecuación se ve reducida a:

$$m_e * g - E = F_r \quad \text{Ec 2.19}$$

Reemplazando las ec 2.15, ec 2.16, ec 2.17, en la ecuación 2.19 obtenemos:

$$(\rho_e * V * g) - (\rho_f * V * g) = 6 * \pi * R * \eta * v \quad \text{Ec2.20}$$

En donde:

$$\frac{(\rho_e * V * g) - (\rho_f * V * g)}{6 * \pi * v * R} = \eta \quad \text{EC 2.21}$$

Instrumentos Necesarios

En la tabla 2.6 se ha clasificados los materiales dependiendo su aplicación en la práctica de la viscosidad.

TABLA 2.6 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

Práctica de Viscosidad	Control de Campo Magnético
Esferas	Voltímetro
Probeta	Amperímetro
Cronómetro	Electroimán
Calibrador	Fuente variable de voltaje
Fluido	Cables

Procedimiento

La experiencia propuesta consiste en dejar caer la esfera dentro del tubo que contiene el fluido magnetoreológico. En primer lugar trataremos de determinar los tiempos que se demora en recorrer una determinada distancia a la cual le aplicaremos el campo magnético

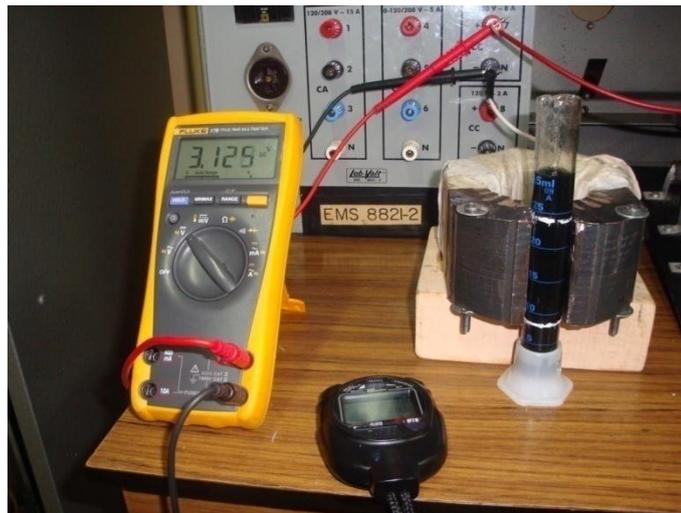


Fig.2.18 Materiales requeridos para la práctica

Durante el proceso de la práctica se toman varias medidas de los tiempos que se demora en descender la esfera desde los puntos marcados como el inicial y final de la carrera donde se encuentra el área del electroimán.



Fig. 2.19 Inicio de la práctica en el punto superior

Los datos se marcaron al momento que la esfera paso cada una de las marcas en su totalidad. No obstante algunos valores llegaron a marcar

errores por efectos de variaciones en el campo del electroimán, cambios en las concentraciones del fluido y por errores de apreciación. El incremento del campo magnético ocasiono que el fluido llegara a puntos muy altos de viscosidad lo cual imposibilito la lectura de algunos ensayos.



Fig. 2.20 Final de carrera y toma de tiempo

Datos Obtenidos

En la tabla 2.7 se puede observar los datos que se mantendrán constantes al realizar la prueba de viscosidad. Los datos se expresan en el Sistema internacional de unidades. Las constantes de la densidad de la esfera se encuentran detalladas en el Anexo 2:

TABLA 2.7 CONSTANTES EN LA PRÁCTICA DE VISCOSIDAD

Radio esfera (m)	0.016
Densidad del fluido (kg/m^3)	2400
Densidad de esfera (kg/m^3)	2500
Longitud de la prueba (m)	60

En la tabla 2.8 se puede observar los datos obtenidos del fluido MR a una concentración de material ferromagnético al 5%, en la práctica se realizaron 6 variaciones de voltaje cada una con tres mediciones de tiempo, lo cual nos permite obtener un tiempo más real del

desplazamiento de la esfera. Para calcular la viscosidad se aplicó la fórmula Ec 2.21.

TABLA 2.8 DATOS CALCULADOS CON FLUIDO AL 5% DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO

Densidad de flujo (B)	Intensidad (A)	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Viscosidad (Kg/(m*s))
0.01700	3.2	18.41	18.05	17.50	17.98	0.0033370	100,27
0.01488	2.8	14.54	15.32	14.21	14.69	0.0040844	81,89
0.01169	2.2	13.81	12.42	13.10	13.11	0.0045766	73,08
0.00850	1.6	11.95	11.77	11.88	11.86	0.0050561	66,15
0.00584	1.1	10.95	11.06	10.92	10.97	0.0054661	61,19
0	0	10.57	10.39	10.24	10.40	0.0057692	57,98

Se puede observar el comportamiento del fluido MR a una concentración del 5% de material ferromagnético, se puede determinar que el comportamiento de fluido depende de la carga magnética aplicada.

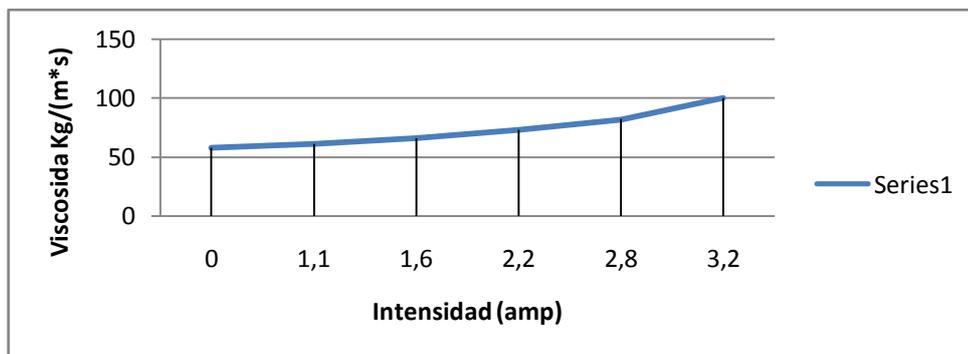


Fig.2.21 Viscosidad vs Intensidad a 5% de concentración

En la tabla 2.9 se puede observar los datos obtenidos del fluido MR a una concentración de material ferromagnético al 2.5%, en este ensayo se realizaron tres variaciones de voltaje ya que la variación de sus propiedades no fue muy evidente en lapsos más cortos.

**TABLA 2.9 DATOS CALCULADOS CON FLUIDO AL 2.5%
DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO**

Densidad (Tesla)	Intensidad (A)	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Viscosidad (Kg/(m*s))
0.017540	3.3	11.06	10.64	11.23	10.97	0.00546614	61,19
0.008504	1.6	10.06	9.95	9.59	9.86	0.00608108	55,00
0	0	8.06	8.63	8.78	8.49	0.00706714	47,33

Se logra observar en la siguiente figura la curva característica de incremento de viscosidad con respecto al incremento de corriente aplicada al electroimán. Se puede concluir que la viscosidad del material magnetoreológico es directamente proporcional al incremento de campo magnético aplicado alrededor del fluido.

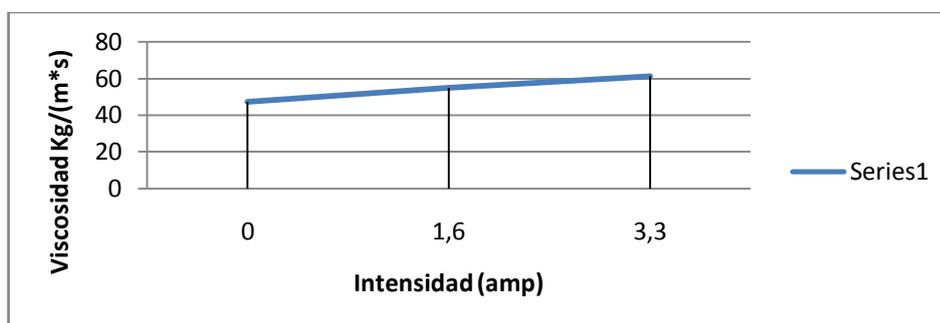


Fig.2.22 Viscosidad vs Intensidad a 2.5 de concentración

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y MODELADO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Durante el proceso de diseño de la suspensión se debe tener en cuenta varias situaciones donde el vehículo se somete a esfuerzos máximos. Con los respectivos análisis se logra determinar las partes débiles y mejorar hasta cumplir los objetivos deseados, por ello es primordial utilizar la ayuda de un programa computacional, se utilizara el paquete SolidWorks 2010.

3.2 REQUERIMIENTOS GENERALES

Distancia entre ejes y configuración del vehículo: El vehículo posee una distancia entre ejes de 2000 mm.

Peso: El peso del vehículo es de 310Kg sin piloto, sin combustible, sin agua en el pulverizador y en orden de marcha. Total incorporado aproximadamente 400 kg.

Distancia al piso: La distancia al piso es de 20cm.

Longitud total de Amortiguador es de 25.4 cm

Carrera de amortiguador 6 cm

Longitud total del espiral 25.5 cm

3.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS

3.3.1 CARGA DEL VEHÍCULO

Para el Análisis estático del vehículo se dispuso un peso aproximado de conductor de 80Kg y un aproximado de 80 kg de distribución de masa en la parte delantera del chasis. Con un total de 160 kg quedarán repartidos 80 kg a cada lado respectivamente.

$$F_{estatico} = (M_{delantera}) * \frac{(b)}{(a)} \quad \text{Ec 3.1}$$

$$F_{estatico} = 80 * \frac{(16)}{(13)}$$

$$F_{estatico} = 98.46 \text{ N} = 217.06 \text{ lb}$$

Donde:

$F_{estatico}$ = Carga estática aplicada al amortiguador

$M_{delantera}$ = masa delantera del vehículo

b = Distancia del centro de contacto de la rueda a la punta de sujeción de la mesa inferior.

a = Distancia de la punta de sujeción de la mesa inferior hasta punto de apoyo del amortiguador.

En la figura 3.1 se muestra las distancias consideradas en la Ec 3.1:

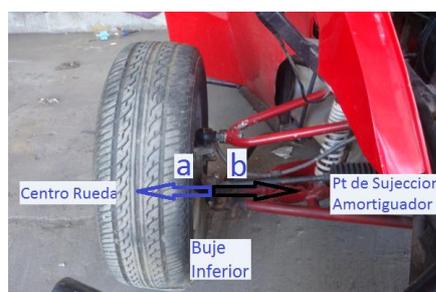


Fig. 3.1 Representación de distancias

En Aceleración:

Análisis realizados por los constructores del Chasis tubular de Buggy muestran los siguientes resultados en relación peso-potencia en la práctica obteniendo las siguientes tablas a partir del Anexo 3:

TABLA 3.1 DATOS CARACTERÍSTICOS EN ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO

Fuerza de empuje	803.41N
Aceleración	4.03 m/s^2
Transferencia de Masa	16.71kg
Transferencia de Masa Real	475.398N

En frenada Brusca donde se obtendrá los valores críticos del cálculo de las fuerzas se obtuvo a partir del Anexo 3:

TABLA 3.2 DATOS EN DESACELERACIÓN DEL VEHÍCULO

Desaceleración	12.63 m/s^2
Transferencia de Masa	98kg
Transferencia de Masa Real	2112.8 N

Los cálculos realizados a continuación son respecto a cada uno de los amortiguadores delanteros en condiciones de frenada brusca para así determinar si cumplirán con los requerimientos necesarios para ser adaptados y determinar así las modificaciones necesarias

La transferencia de masa real lo soporta los dos amortiguadores, así que para cada uno nos da un total de:

$$T1 = \frac{\text{Transferencia de Masa real}}{2}$$

Ec 3.1

$$T1 = 1056.44 N$$

Donde:

T1= Transferencia de masa a cada lado de la suspensión.

Para calcular la fuerza que soportara el amortiguador:

$$F_{final} = T1 * \frac{(b)}{(a)}$$

Ec 3.2

$$F_{final} = 1056.44N * \frac{(16 mm)}{(13 mm)}$$

$$F_{final} \text{ aplicada al amortiguador} = 1300N = 292lb - f$$

3.3.2 ANÁLISIS CARACTERÍSTICO DEL RESORTE

Del resorte a colocar se conoce las siguientes propiedades:

TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS DEL RESORTE

Material		Acero al carbón templado en aceite ASTM 229
Longitud libre	L_f	9,45 pulg.
Diámetro exterior	DE	2,45 pulg.
Diámetro de alambre	D_w	0,445 pulg.
Los extremos están escuadrados y rectificados		Si
Numero de espiras total	N	13
Fuerza de instalación	f_i	217 lb

El material utilizado se obtuvo relacionándolo con la tabla 7-3 detallada en el Anexo 4 Este resorte se usara para una aplicación donde la carga máxima es de 1298N (292 lb).

1. Diámetro medio, diámetro interior, el índice del resorte y el factor wahl.

Diámetro medio D_m :

$$D_m = DE - D_w = 2,45 - 0,445 = 2.005 \text{ pulg} \quad \text{Ec 3.3}$$

Donde:

DE = Diámetro exterior de la espira

D_w = Diámetro del alambre

Diámetro interior DI :

$$DI = D_m - D_w = 2.005 - 0,445 = 1,56 \text{ pulg} \quad \text{Ec 3.4}$$

Índice del resorte C :

$$C = D_m/D_w = 2.005/0,445 = 4,505 \quad \text{Ec 3.5}$$

Factor Wahl :

$$k = (4C - 1)/(4C - 4) + 0,615/C \quad \text{Ec 3.6}$$

$$k = [4(4,505) - 1]/[4(4,505) - 4] + 0,615/4,505$$

$$k=1,350$$

2. Esfuerzo esperado a la carga de operación de 292 lb-f.

El esfuerzo en el resorte cuando $F = F_o = 292lb$ lb

$$\tau_o = \frac{8 * K * F * C}{\pi D_w^3} = \frac{8(1,370)(292)(4,505)}{\pi(0,445)^3} \quad \text{Ec 3.7}$$

$$\tau_o = 22847,10 \text{ psi}$$

3. La deflexión del resorte bajo la carga de 292 lb.

Deflexión con la fuerza de operación carga máxima $F_o = 292lb$

$$f_o = \frac{8 * F_o * C^3 * N_a}{G * D_w} = \frac{8(292)(4,505)^3(11)}{(11,2 \times 10^6)(0,46)}$$

Ec 3.8

$$f_o = 0,455 \text{ pulg}$$

Deflexión con la fuerza de carga instalación $F_i = 217lb$

$$f_i = \frac{8 * F_o * C^3 * N_a}{G * D_w}$$

Ec 3.9

$$f_i = \frac{8(217)(4,505)^3(11)}{(11,5 \times 10^6)(0,445)}$$

$$f_i = 0,338 \text{ pulg}$$

El numero de espiras activas para un resorte con extremos escuadrados y rectificadas es $N_a = N - 2 = 13 - 2 = 11$. También el modulo del alambre en cortante G se obtuvo en del apéndice 20 ⁷ detallado en el Anexo 4.

4. Longitud de operación, longitud de instalación, longitud comprimida y la constante del resorte.

Longitud de operación a carga máxima

$$L_o = L_f - f_o = 9,45 - 0,455 = 8,99 \text{ pulg} \quad \text{Ec 3.10}$$

⁷ Apéndice 20 del Libro de Diseño de Elementos y Máquinas de R, Mott

Longitud de operación a carga instalación

$$L_i = L_f - f_i = 9,45 - 0,338 = 9,11 \text{ pulg} \quad \text{Ec 3.11}$$

Constante del resorte K :

$$K = \frac{F_o}{f_o} = \frac{292}{0,455} = 641,48 \text{ lb/pulg} \quad \text{Ec 3.12}$$

Se selecciono un resorte de estas características para resistir las cargas del Buggy y que soporte los esfuerzos en los momentos críticos de la suspensión en el momento de una frenada brusca. La constante del resorte nos indica que por cada 641,48 lb-f que le apliquemos a la espiral esta se deformara aproximadamente 1 pulgada. Lo que nos indica que no sobrepasara la carrera del amortiguador como una medida de seguridad.

3.3.3 CARACTERÍSTICAS DE AMORTIGUADOR

Los amortiguadores magnetoreológicos varían su coeficiente de amortiguamiento según el Anexo 5 de la siguiente manera mostrados en la tabla 3.4:

TABLA 3.4 DATOS DE AMORTIGUADOR

Carga Máxima	8896 N		
Fuerzas de Amortiguamiento(N)	Velocidad	Carga	Coeficiente
2447N	5cm/s	1 amp	48.9 N/(mm/s)
667 N	20cm/s	0 amp	3.33N/(mm/s)

3.4 MODELIZACIÓN EN SOLIDWORKS

Partiendo de los parámetros antes calculados, procedemos a la modelización de ciertos componentes del Buggy formula FAU, mediante la ayuda de un software de diseño mecánico, en este caso SolidWorks 2010.

Este programa nos ayudara a realizar los diseños a partir de croquis y modelar cada elemento por separado. Las piezas modeladas las juntamos por medio de la opción de ensamblajes, podemos así juntar cada modelo y darles parámetros de relación con los cuales van a regir sus movimientos y acciones. La facilidad de este software es que al momento de modificar los diseños básicos, estos se rediseñaran automáticamente a todos los documentos en los cuales intervenga la pieza modificada, dándonos un ahorro de tiempo importante para corregir errores.

Luego de obtener un modelo como lo demandamos, pasamos a comprobar si soportara las cargas a lo que será sometido. El software utiliza el método de elementos finitos (FEM) para analizar los diseños. Los resultados nos proporcionaran datos valiosos acerca de las piezas o ensamblajes que podremos analizar y concluir la factibilidad de fabricar dichos elementos.

3.4.1 MODELADO EN SOLIDWORKS DEL CHASIS DEL BUGGY

Se modelo el chasis del Buggy con el sistema de suspensión y dirección cuales son los más importantes para nuestro estudio. En la parte mecánica se incluyo lo que es chasis, mesas, columna de dirección, brazos de dirección, puntas de ejes, terminales manzana y llantas. Estos elementos de fijación se los anclo al chasis para representar el Buggy y poder así realizar un estudio acorde a la realidad.

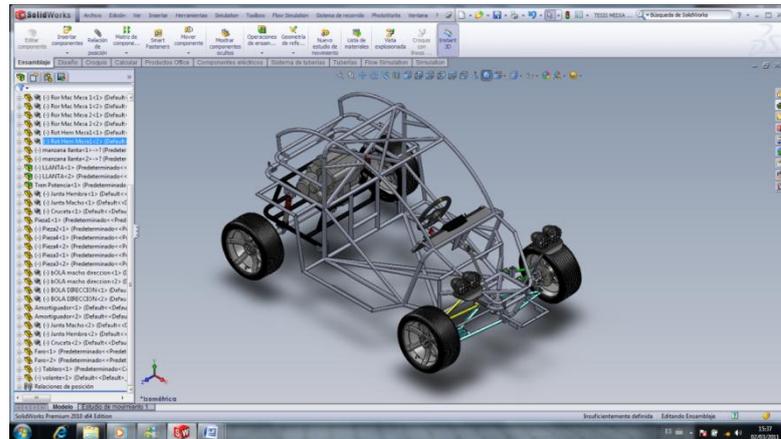


Fig. 3.2 Modelado del chasis del Buggy

3.4.2 DISEÑO MECÁNICO DEL AMORTIGUADOR MAGNETOREOLÓGICOS.

El diseño mecánico del amortiguador magnetoreológicos consta de una serie de elementos internos que ayuden para el control del fluido y su paso por el pistón. En los aspectos mecánicos más notables son los canales internos para los alambres de conexión para las bobinas internas. Las bobinas se encuentran junto a las vías de paso de líquido magnetoreológicos las cuales son activadas para cumplir la función de proporcionar un campo magnético alrededor de estas vías para afectar al líquido que circula y así cumplir su función.

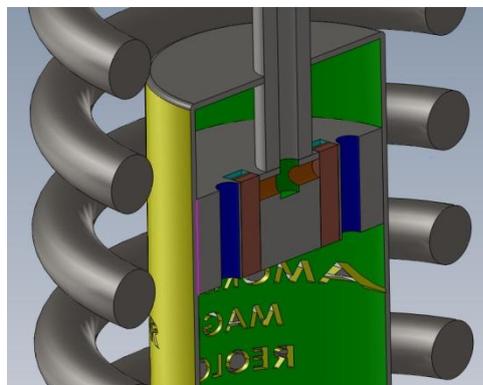


Fig. 3.3 Representación de Amortiguador Magnetoreológicos

3.4.3 DISEÑO MECÁNICO DE LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN Y ANCLAJE

Se diseñó elementos de fijación tanto para el amortiguador como para el chasis. Dentro de estos elementos modificados constan las mesas superiores por ser modificaciones al sistema de suspensión que se realizaron para mejorar imperfecciones que poseía el vehículo en toda la parte delantera. Para los elementos de fijación del amortiguador, se diseñó el resorte con sus soportes bases y los puntos de sujeción para el chasis.

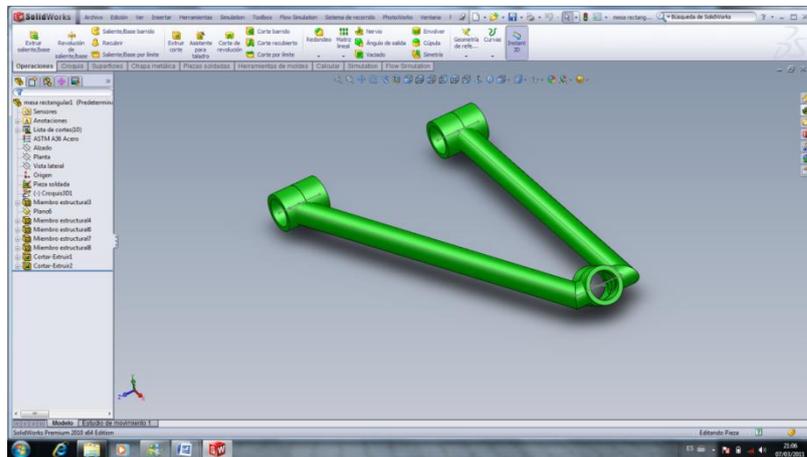


Fig. 3.4 Mesas Superiores Rectangulares Izquierda

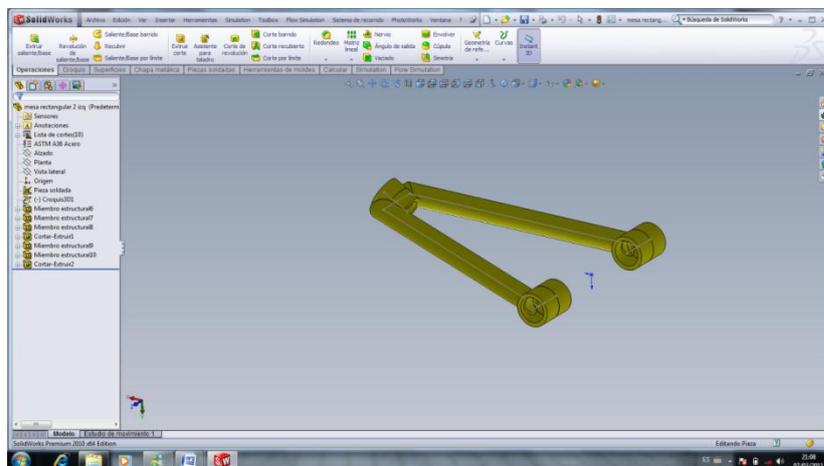


Fig. 3.5 Mesas Superiores Rectangulares Derecha

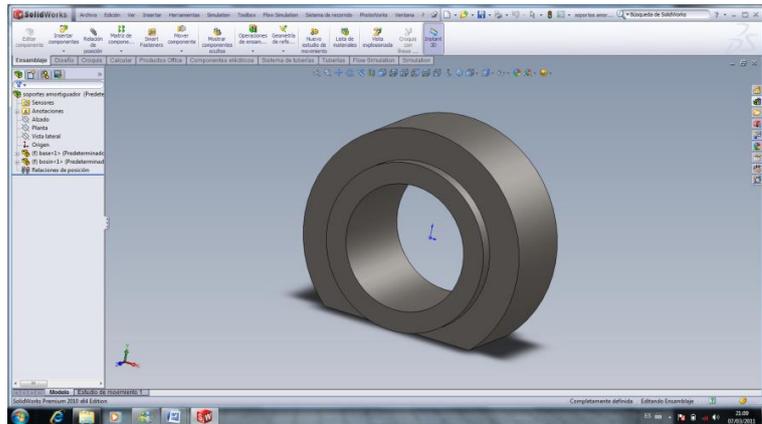


Fig. 3.6 Sujeciones para amortiguador

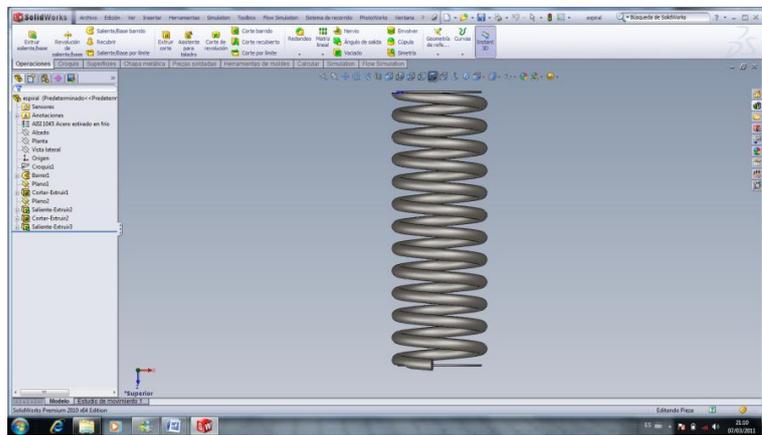


Fig. 3.7 Resorte

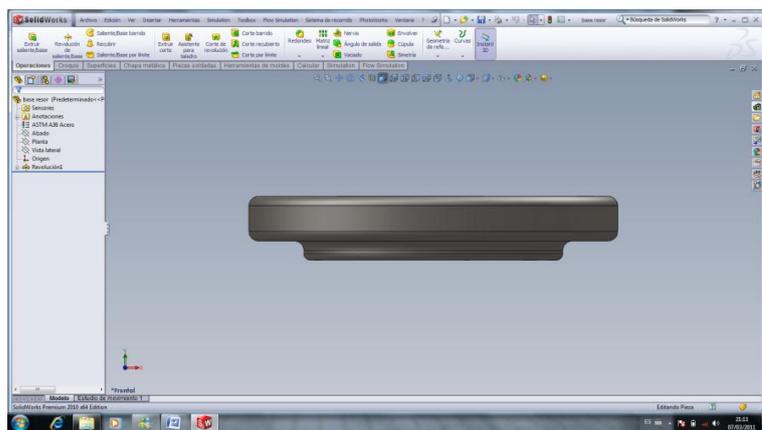


Fig. 3.8 Base de Resorte

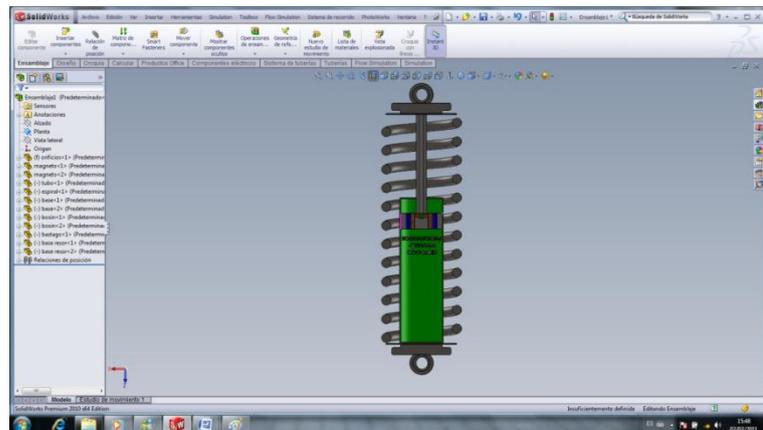


Fig. 3.9 Amortiguador Armado en Corte

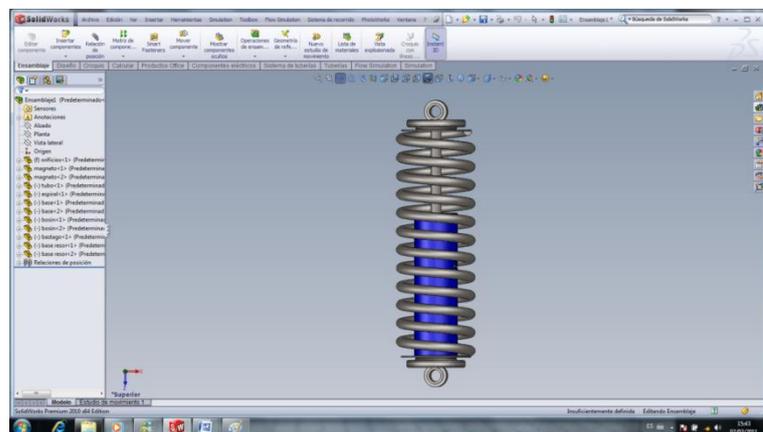


Fig. 3.10 Amortiguador Armado

3.4.4 MODELADO EN SOLIDWORKS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL BUGGY

Se modeló el sistema de suspensión delantero del Buggy armado con todos los elementos mecánicos rectificadas y los nuevos elementos de anclaje para observar si el espacio físico es suficiente y poder así optimizar las medidas de ciertos componentes.

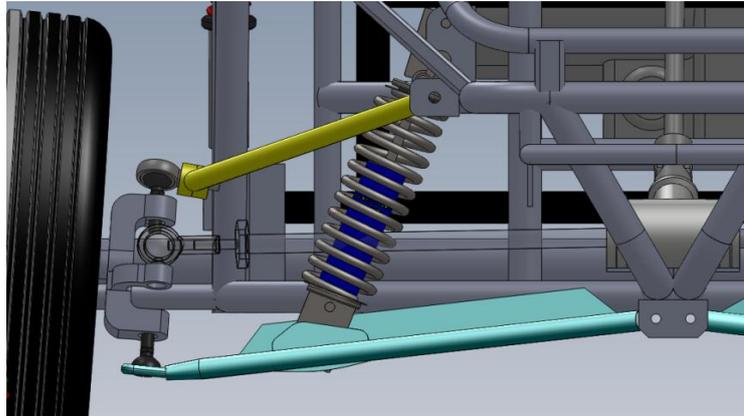


Fig. 3.11 Sistema de Suspensión Delantero-Vista Frontal

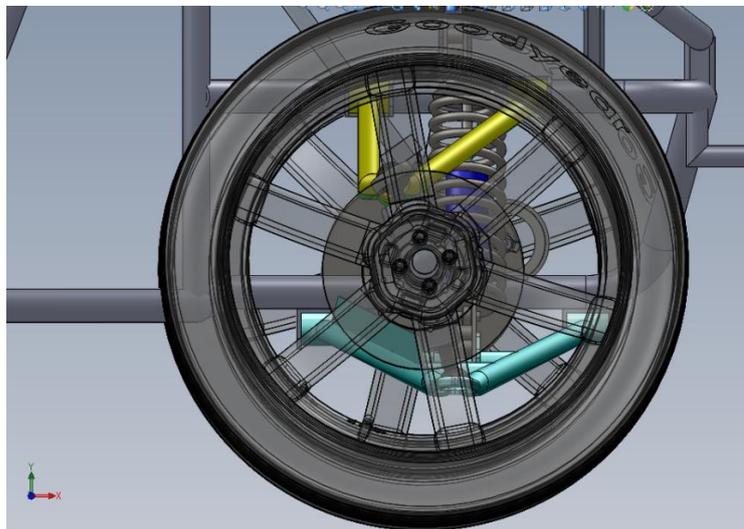


Fig. 3.12 Sistema de Suspensión Delantero-Vista Lateral

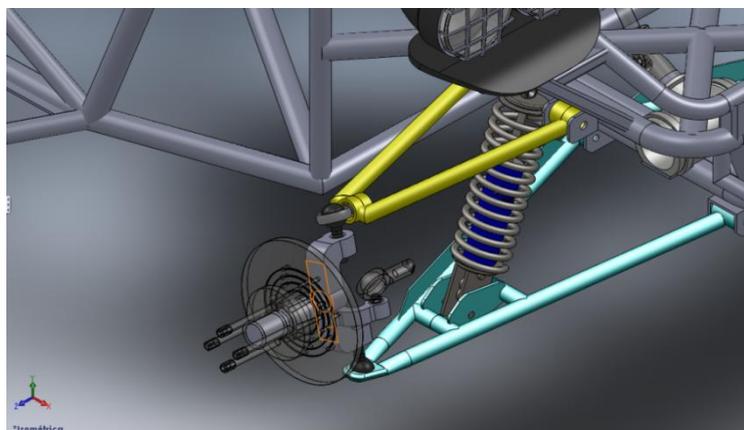


Fig. 3.13 Sistema de Suspensión Delantero-Vista Isométrica

3.4.5 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS

El estudio estático se lo realizó en el programa de SolidWorks para determinar si nuestros resortes serían seguros al momento de soportar fuerzas. La fuerza utilizada para el estudio fue la máxima de 1300 N para asegurarnos que soporten magnitudes menores estos elementos mecánicos.

Resultados del estudio del Resorte

TABLA 3.5 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DEL RESORTE

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	21881.7 N/m ² Nodo: 3925	2.61158e+008 N/m ² Nodo: 12580
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	11.6538 mm Nodo: 9270
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.44536e- 008 Elemento: 2366	0.000882307 Elemento: 19268

Los resultados son obtenidos a partir del informe resultante del programa SolidWorks 2010. Dicho documento se encuentra en su totalidad en el Anexo 6.1 donde constan los parámetros y consideraciones para realizar este estudio. A continuación se detalla gráficamente los valores obtenidos:

Los datos obtenidos en el cálculo de las tensiones se concluye que en el peor de los caso el resorte fallara sobre los 261158272 N/m² según el criterio de Von Mises

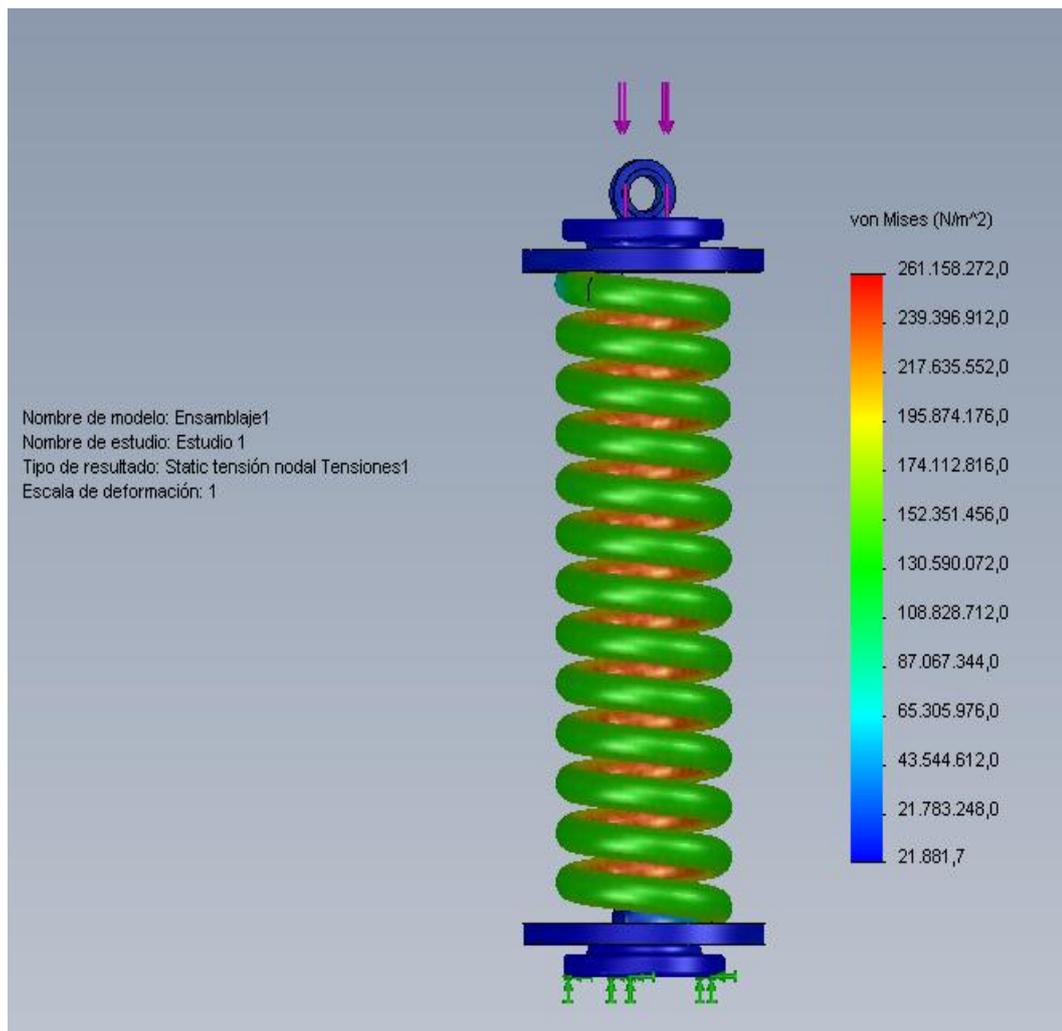


Fig. 3.14 Estudio de Tensiones que soporta el Resorte

En la grafica de desplazamientos podemos observar los desplazamientos máximos que va a tener el resorte al momento de la carga. Esa longitud coincide según los datos descritos de la longitud de operación de la espiral calculados en la Ec 3.10 del análisis del resorte y en la tabla 3.5 de los resultados de SolidWorks.

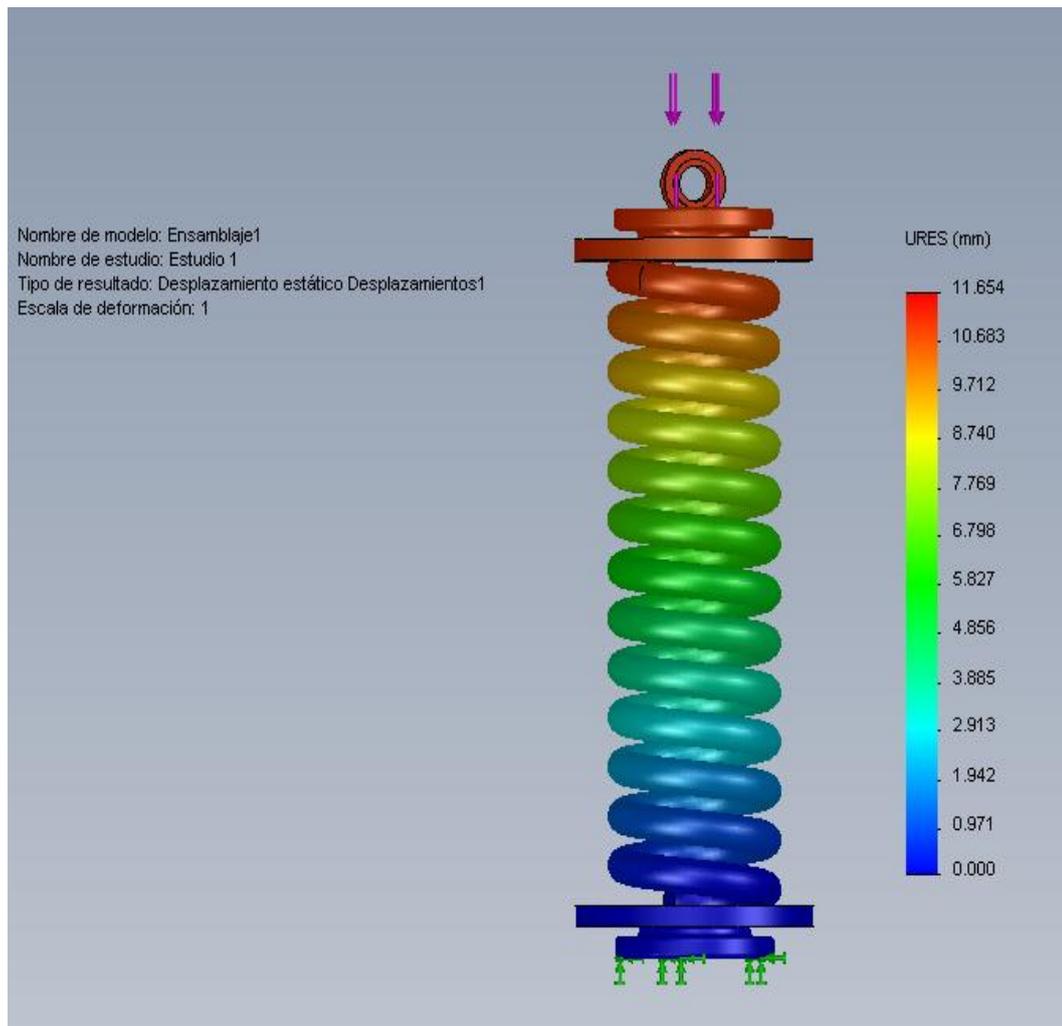


Fig. 3.15 Estudio de Desplazamiento que soporta el Resorte

El factor de seguridad que podemos apreciar a continuación, se encuentra sobre el valor mínimo recomendado, esto nos indica que es segura la instalación y funcionamiento de la estructura en su máxima carga al momento de recibir los 1300 N de una frenada brusca.

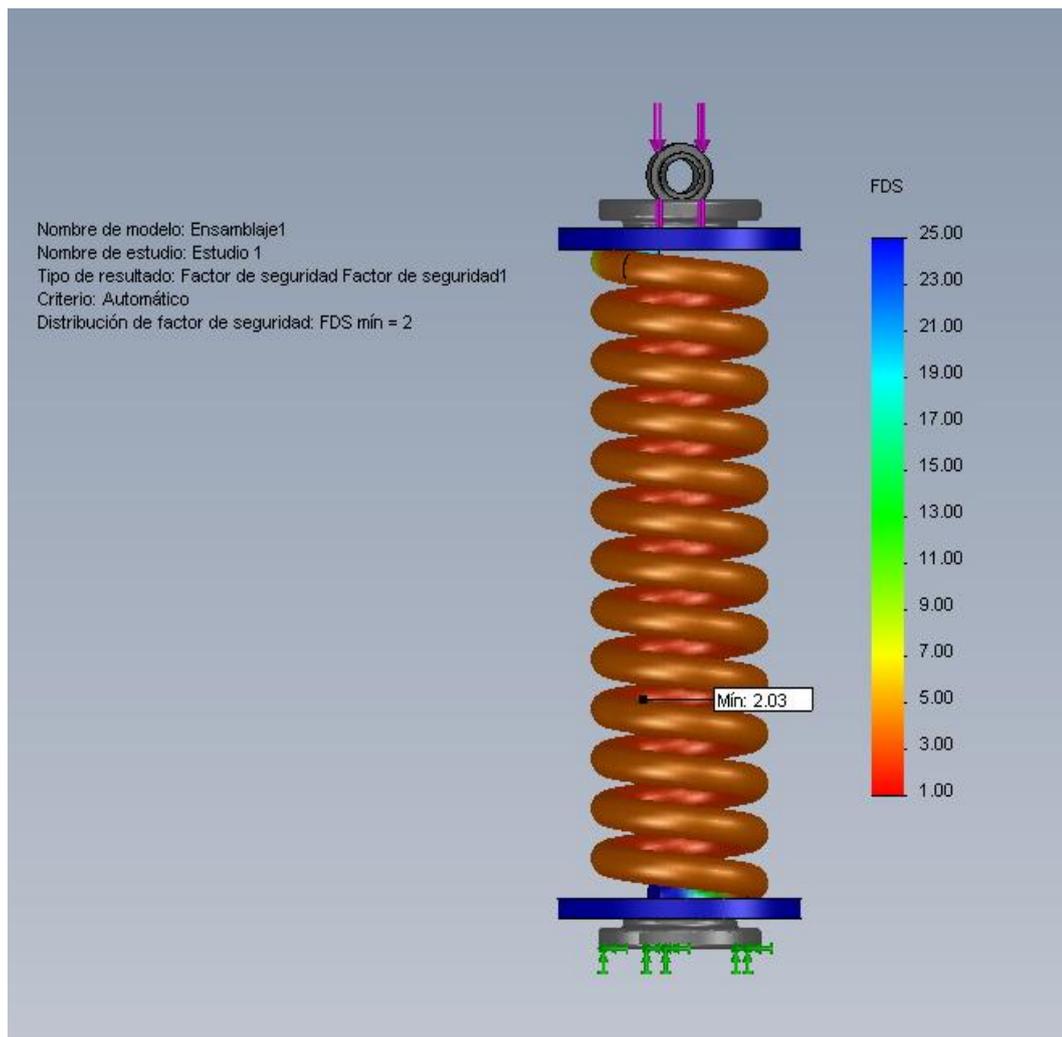


Fig. 3.16 Estudio de Factor de Seguridad que soporta el Resorte

Resultados del estudio de Base de Chasis.

Se realizo el estudio estático en la base del chasis con el fin de determinar si resisten los soportes donde van a ir instalados los amortiguadores. La fuerza utilizada para este estudio es de 1300 N como valor máximo, considerando que al momento de endurecer los amortiguadores la fuerza transmitida hacia delante en una frenada brusca afectara directamente a los componentes del chasis.

TABLA 3.6 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DE BASE DE CHASIS

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0 N/m ² Nodo: 1	8.70528e+007 N/m ² Nodo: 52576
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.447883 mm Nodo: 598567
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0 Elemento: 1	0.000233154 Elemento: 14299

Los resultados son mostrados en la tabla 3.6 son obtenidos partir del informe resultante del programa SolidWorks 2010. Dicho documento se encuentra en su totalidad en el Anexo 6.2 donde constan los parámetros y consideraciones para realizar este estudio. Las graficas mostradas a

continuación son representaciones de los esfuerzos, desplazamientos y el factor de seguridad.

Los datos obtenidos en el cálculo de las tensiones se concluye que en el peor de los caso el resorte fallara sobre los $87052812,3 \text{ N/m}^2$ según el criterio de Von Mises. En la figura se verá expresado las zonas de la estructura por una escala de colores los valores mínimos y máximos en toda la base del chasis para el amortiguador.

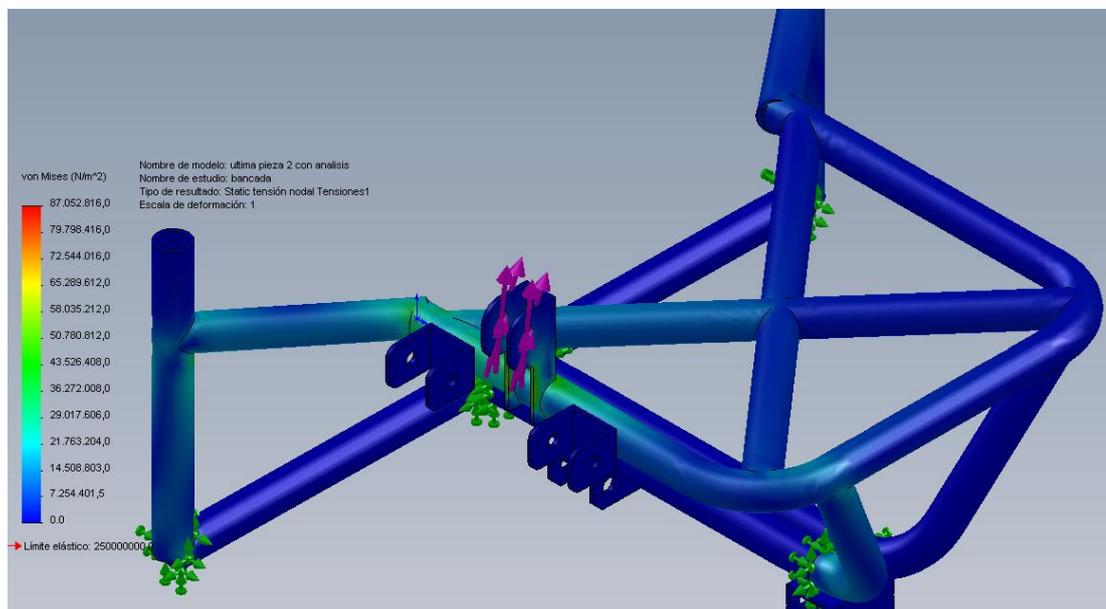


Fig. 3.17 Estudio de Tensiones que soporta la Base del Chasis

En la grafica de desplazamientos podemos observar los desplazamientos máximos que va a tener la base al momento de la carga. Los valores de desplazamientos son mínimos apenas de pocas milésimas de milímetro. Esto nos indica que no se afectara la distancia de recorrido a causa de los soportes.

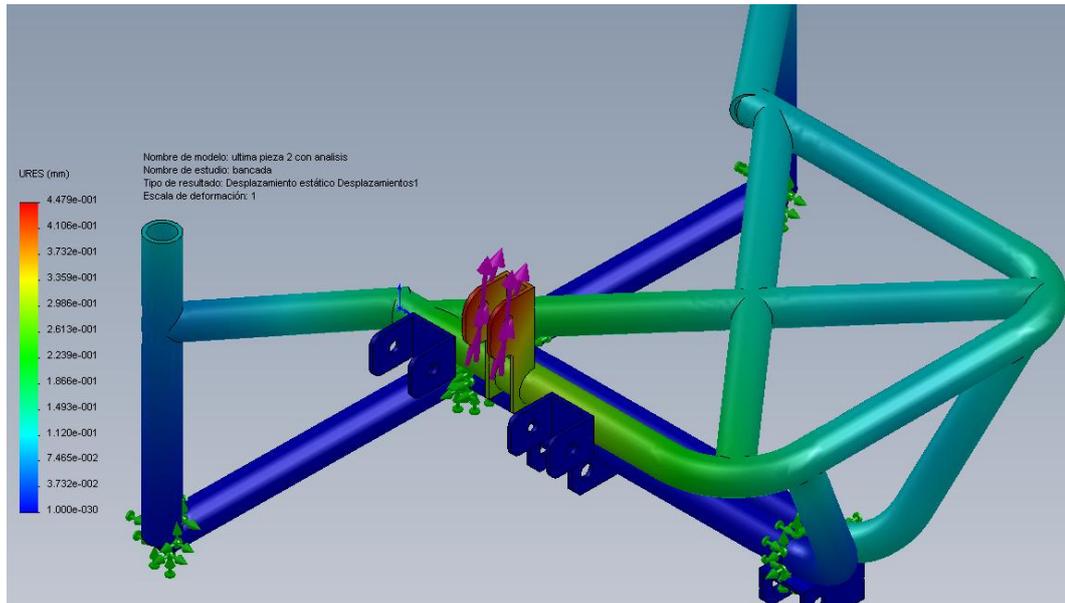


Fig. 3.18 Estudio de Desplazamiento que soporta la Base de Chasis

El factor de seguridad resultante del estudio se encuentra sobre el valor mínimo, esto nos indica que es segura la instalación y funcionamiento de la estructura en su máxima carga al momento de recibir los 1300 N de una frenada brusca. El factor mínimo es de 2.9 lo que nos indica que es una estructura solida y no se verá crucialmente afectada por la carga máxima.

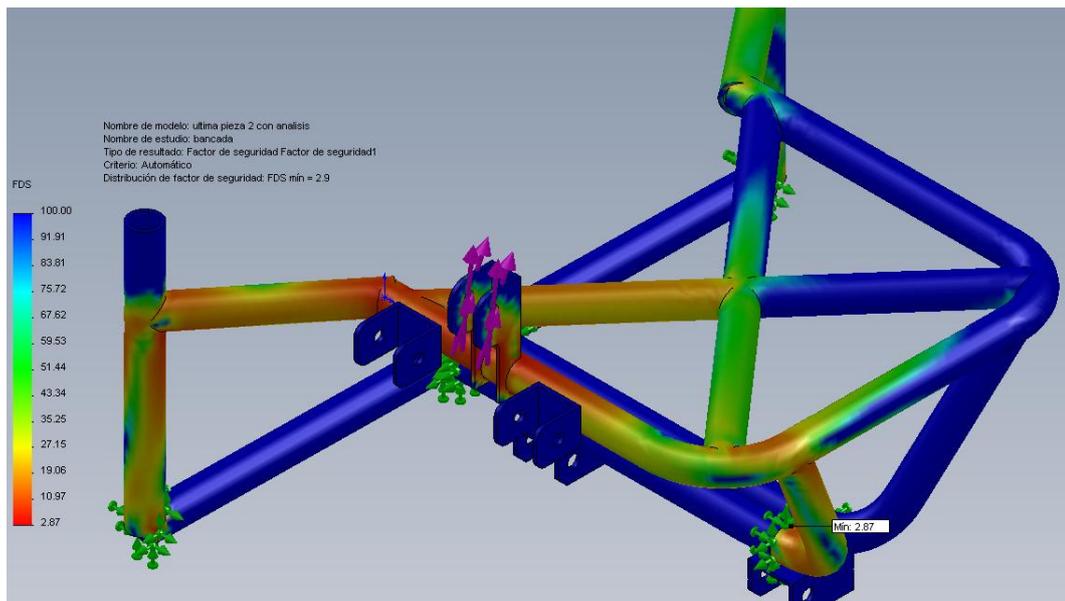


Fig. 3.19 Estudio de Factor de Seguridad que soporta la Base de Chasis

Resultados del estudio de Mesa Inferior.

Se realizo el estudio estático en la Mesa inferior, dicho análisis tiene el fin de determinar si las cargas aplicadas son las adecuadas para el modelo planteado. La fuerza utilizada para este estudio es de 1300 N como valor máximo, al igual que los soportes del chasis se considera que al momento de endurecer los amortiguadores la fuerza transmitida en una frenada brusca afecte directamente a los componentes de las mesas inferiores.

TABLA 3.7 RESULTADO DE ESTUDIO ESTÁTICO DE MESA INFERIOR

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	106.499 N/m ² Nodo: 2146	7.03246e+007 N/m ² Nodo: 39197
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.046682 mm Nodo: 1833
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.29624e-010 Elemento: 19521	0.000335287 Elemento: 1389

Los resultados son mostrados en la tabla 3.6 son obtenidos partir del informe resultante del programa SolidWorks 2010. Dicho documento se encuentra en su totalidad en el Anexo 6.3 donde constan los parámetros y consideraciones de dicho estudio. A continuación se detalla gráficamente los valores obtenidos para el diseño de la mesa inferior.

En los resultados obtenidos del estudio estático se demuestra gráficamente las tensiones soportadas por la mesa inferior, lo que se puede concluir que en el peor de los casos la mesa fallara sobre los 70324600 N/m² según el criterio de Von Mises. En la figura se verá expresado las zonas de la estructura por una escala de colores los valores mínimos y máximos en toda la estructura.

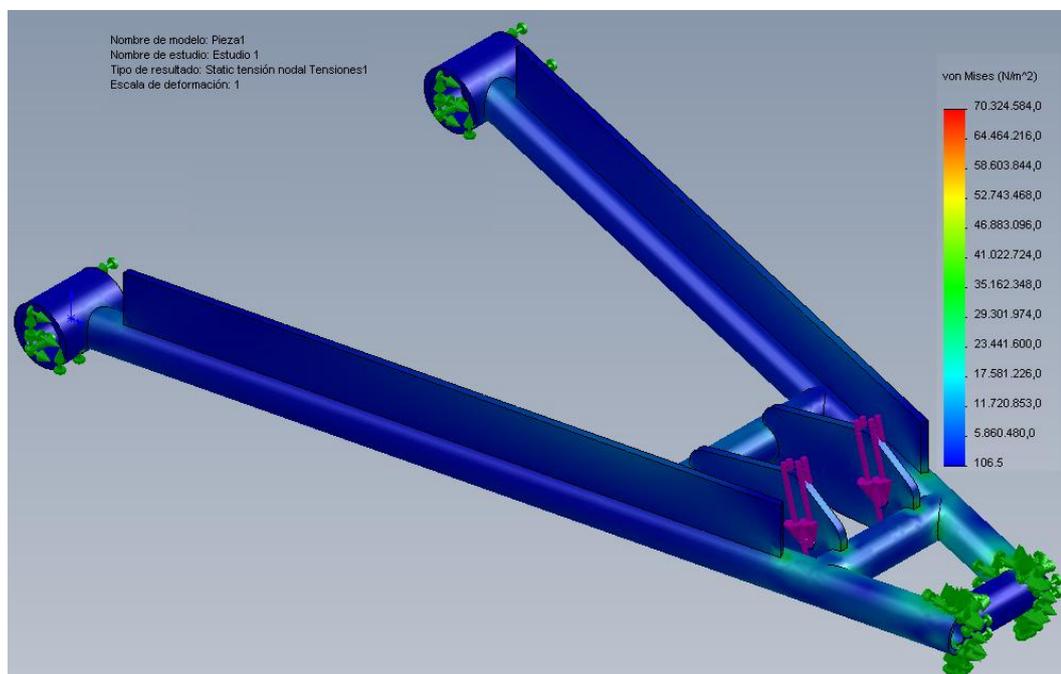


Fig. 3.20 Estudio de Tensiones que soporta la Mesa Inferior

Los datos obtenidos de desplazamiento se demuestran en la siguiente figura 3.21. La escala de colores va designada de máximo desplazamiento de aproximadamente 4 centésimas de milímetro a un valor mínimo despreciable. Esto nos ayuda a identificar las zonas que son mayormente afectadas por un desplazamiento en toda la estructura.

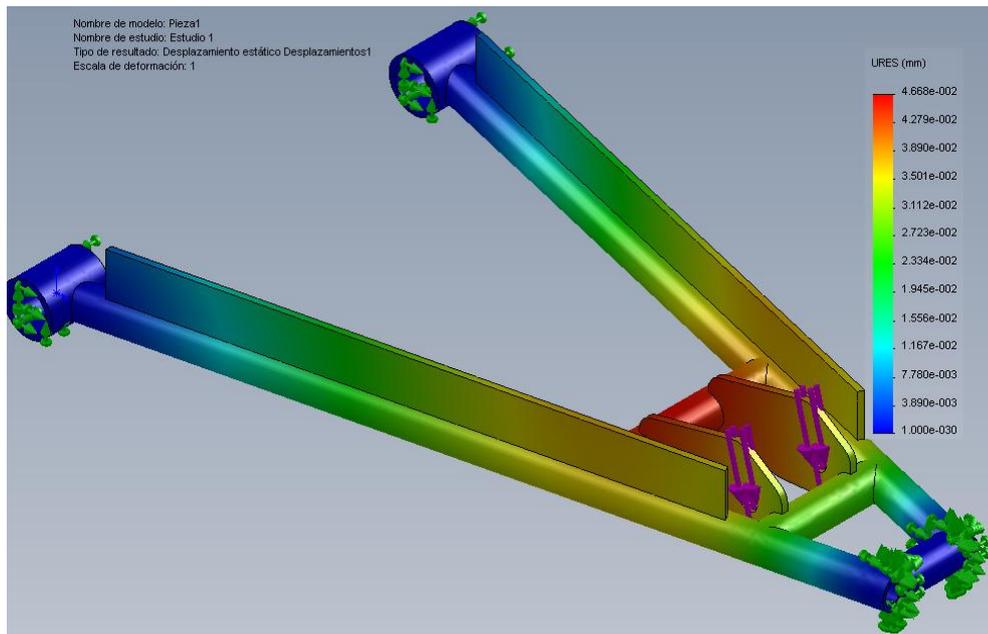


Fig. 3.21 Estudio de Desplazamiento que soporta la Mesa Inferior

El factor de seguridad obtenido mediante el estudio es de 3.5. Este valor nos asegura un buen desempeño de la mesa al recibir una carga de 1300 N lo que nos indica que es seguro su construcción y uso en la suspensión del Buggy.

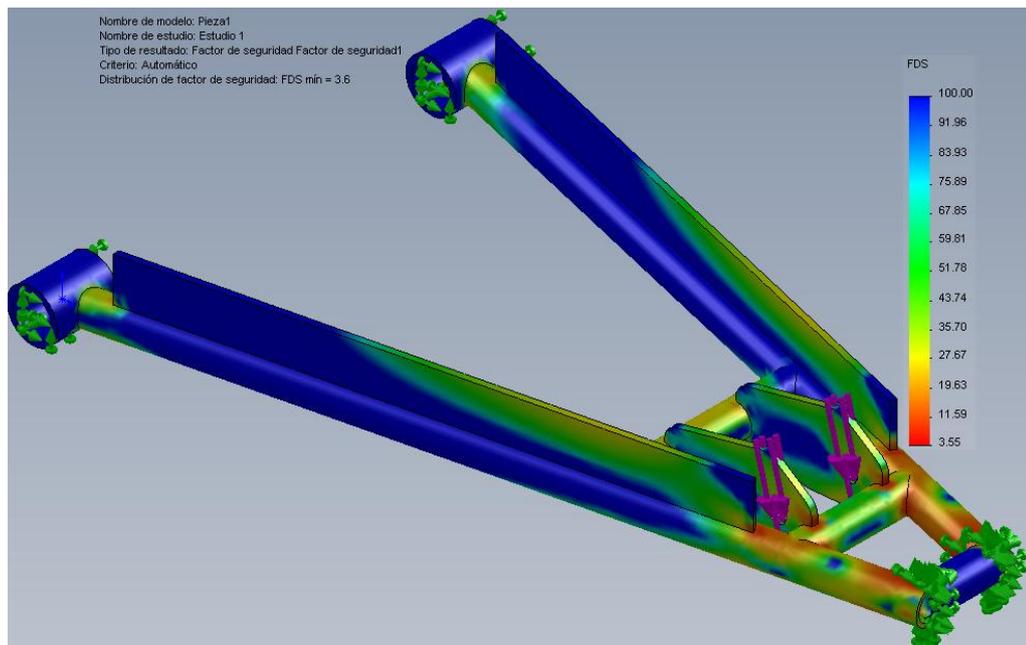


Fig. 3.22 Estudio de Factor de Seguridad que soporta la Mesa Inferior

3.4.6 ANÁLISIS DINÁMICO Y SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS

El análisis dinámico del amortiguador magnetoreológicos se lo realizó a diferentes coeficientes de amortiguamiento simulando la variación del amperaje para cada caso. Esta simulación se la hizo para un tiempo de 5 segundos y una fuerza oscilante que varía de un rango de 1300 N a 950 N con una frecuencia de 1.5 hertzios. Tabla descrita en el Anexo 7. Para simular el comportamiento en los diferentes estados se utilizo los valores de la Tabla 3.4 donde se especifica los coeficientes de amortiguamiento para cada nivel de amperaje aplicado al amortiguador.

Análisis a 1amp:

Se puede observar que el recorrido del vástago del amortiguador es muy leve, esto nos indica que el amortiguador restringe el movimiento oscilante del resorte elástico.

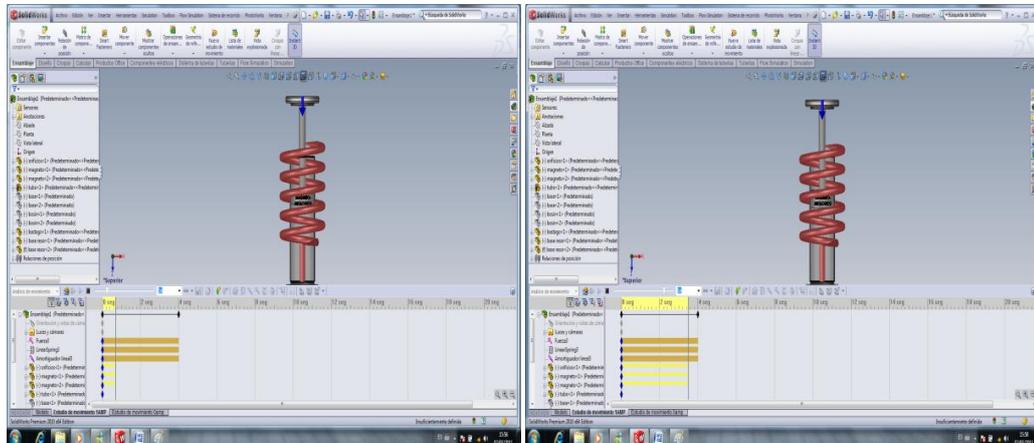


Fig. 3.23 Análisis Dinámico a 1 Amperio

Durante el ensayo, la curva de desplazamiento del vástago con respecto al tiempo de la prueba, fig. 3.24, nos indica que la amplitud de onda va disminuyendo y perdiéndose así la fuerza elástica del resorte.

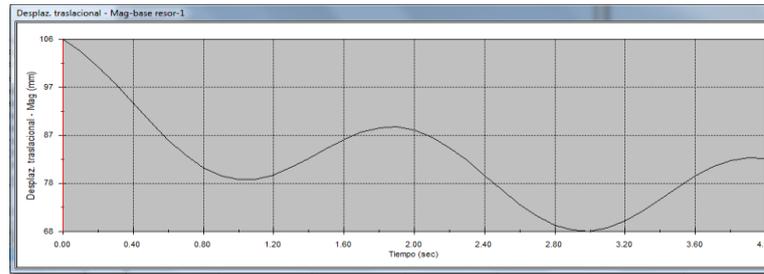


Fig. 3.24 Curva de Desplazamiento vs Tiempo

Análisis Dinámico a Cero Amperios:

Para los ensayos a cero amperios se cambio el coeficiente de amortiguamiento según la Tabla 3.4 para el valor designado a cero amperios, este valor es el único dato que varía con respecto a la prueba a 1 amperio. En esta simulación se aprecia una carrera de vástago más prolongada, el poco trabajo realizado por el amortiguador permite que el resorte acumule energía elástica.

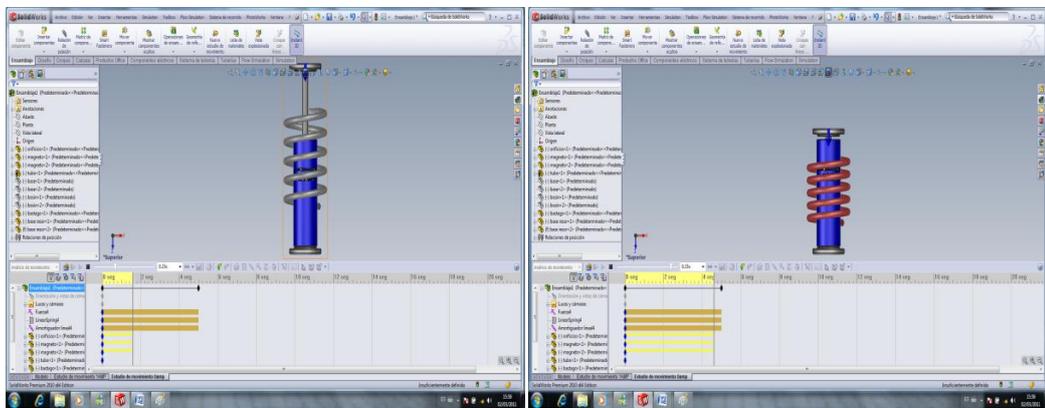


Fig. 3.25 Análisis Dinámico a 0 Amperio

En la siguiente figura 3.26, la curva de desplazamiento del vástago con respecto al tiempo de la prueba, nos indica que la amplitud de onda se mantiene constante concluyendo que el trabajo del resorte no se restringe por el trabajo del amortiguador, dicho amortiguador no absorbe las oscilaciones producidas por las fuerzas dejando actuar completamente al resorte durante toda la duración de la prueba.

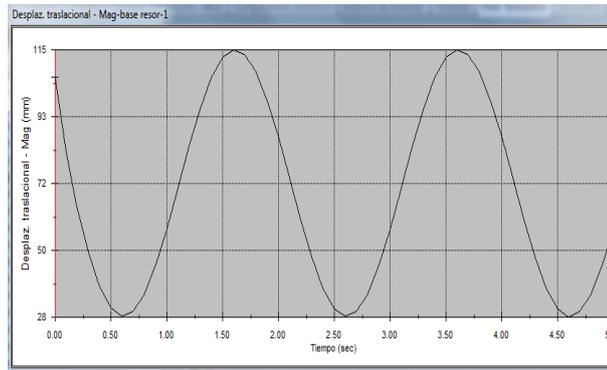


Fig. 3.26 Curva de Desplazamiento vs Tiempo

3.4.7 ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y FRECUENCIA EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El estudio de vibraciones se lo realizó en el diseño completo del chasis del Buggy con frecuencia de medio hertzio (1.5Hz) simulando una ruta normal de trabajo para la suspensión. Tabla descrita en el Anexo 7. En cada lado del vehículo se activó un estado de funcionamiento del amortiguador para lograr visualizar la diferencia de trabajo controlando la parte electrónica del elemento de amortiguación y su coeficiente expresado en la tabla 3.4.

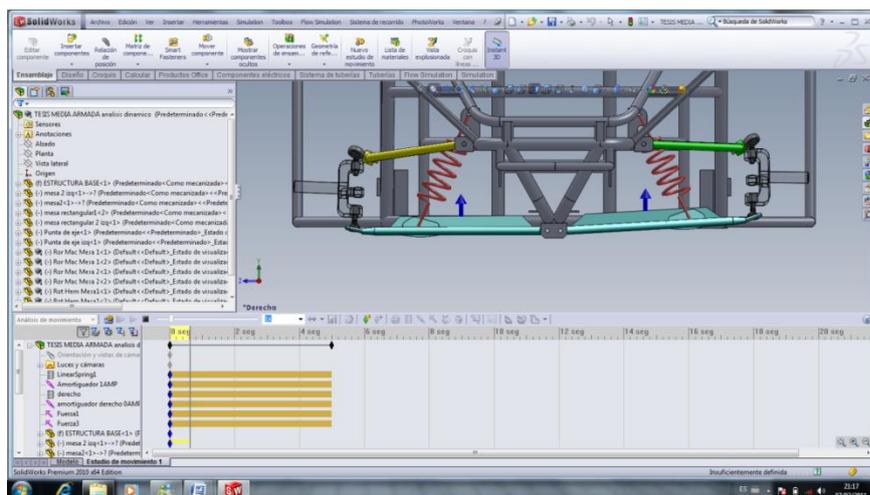


Fig. 3.27 Inicio de Análisis Dinámico (Lado Izquierdo 1amp-Lado Derecho 0amp)

En las figuras 3.27 y 3.28 se observa las diferencias de movimiento, cada configuración de los amortiguadores permite observar el recorrido que de las mesas y el trabajo de los resortes a cada uno de los lados de la suspensión.

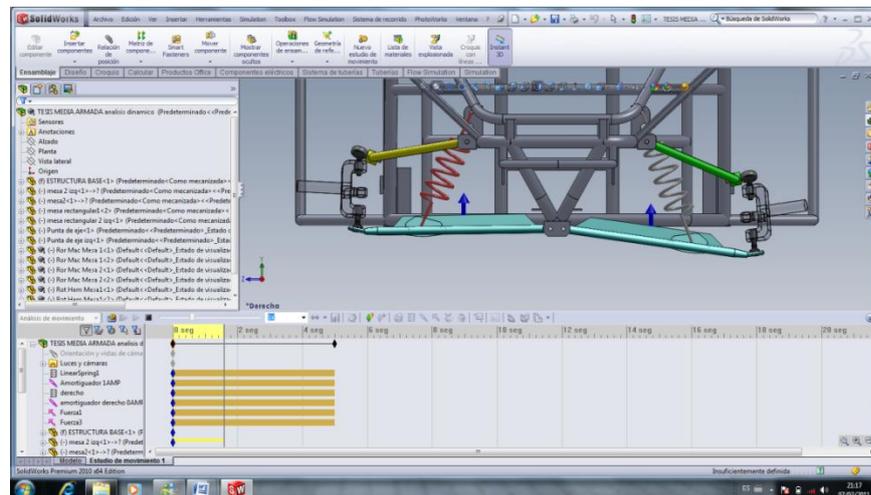


Fig. 3.28 Trabajo de Suspensión (Lado Izquierdo 1amp-Lado Derecho 0amp)

Resultados:

Las graficas de velocidades nos indican, que la regularidad de las ondas producidas varían en cada uno de los casos. La velocidad en ambas situaciones es tomada de la punta de los eje de las mesas superiores.

En la comparación de las velocidades de los elementos de cada lado de la suspensión, se llega a verificar que al configurar un amortiguador a 1 amperio la velocidad que se mueven sus elementos son mucho menores que los amortiguados a 0 amperios. La frecuencia de la amortiguación se mantiene constante con 7.5 oscilaciones durante 5 segundos que nos da la frecuencia de 1,5 hertzios.

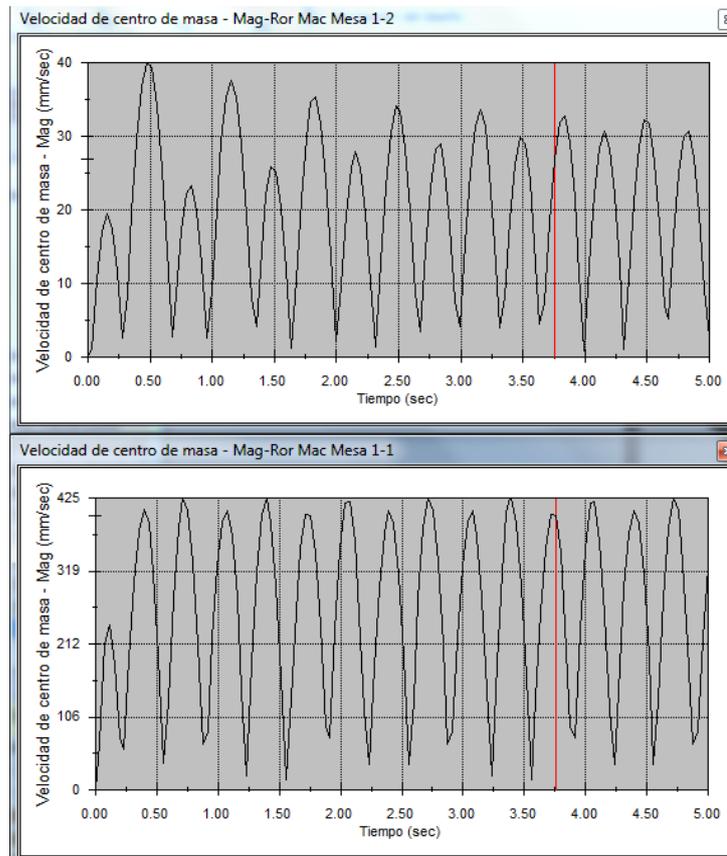


Fig. 3.29 Gráfica Velocidades (Arriba 1amp - Abajo 0amp)

La amplitud de las ondas a 0 amperios se observa que son más constantes a razón de 420 (mm/s) es por el hecho que la velocidad de las oscilaciones las rige solamente el resorte. En el caso de la grafica de velocidad a 1 amperio, esta se ve restringida por la dureza del amortiguador. Esto produce que atenué las vibraciones de una manera más efectiva, cabe resaltar que esto conlleva a una conducción más rígida ya que el chasis recibirá los impactos de una manera más directa.

3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO DE CONTROL DE AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS

En esta sección se realizara el diseño electrónico con el fin de controlar electrónicamente los amortiguares Magnetoreológicos.

Los circuitos fundamentales que componen este control:

- Circuito Fuente
- Circuito de regulador de voltaje
- Circuito de control
- Circuito De activación de Potencia

El circuito fuente se diseño para funcionar con la batería del vehículo de 12 voltios. El circuito de regulación de voltaje transforma la señal a 5 voltios para el funcionamiento interno de los componentes. El control de las señales de activación lo realiza un elemento programable, seleccionado y programado según los tiempos recomendados de activación de los amortiguadores. La activación lo realiza elementos de potencia que garantizan su óptimo funcionamiento para la cantidad de carga que se le va a aplicar.

Elemento utilizados para la placa:

- Circuito Integrado – Pic 16F873-a.
- Elementos de Activación- Transistores 332n3055.
- Cristal oscilador 8 (mHz).
- Resistencias de Potencia 0.22 ohm-2W
- Elementos como resistencias, Capacitores, transistores y borneras para complementar los circuitos

A continuación se representara gráficamente la conexión de los elementos:

A la hora de ejecutar el programa, este controla un tiempo de activación de 20 segundos, en los cuales induce una corriente de 0 a 1 amperio a cada amortiguador, según la calibración del operador. Este diseño como medida de seguridad corta la corriente pasado el 1 amperio.

Se instalo disipadores de calor para el caso de los transistores 332n3055 para evitar posibles fallas, dichos elementos adquieren una temperatura mayor por ser los que controlan directamente los amortiguadores y su carga varia constantemente.

Los elementos utilizados se detallan en el Anexo 8

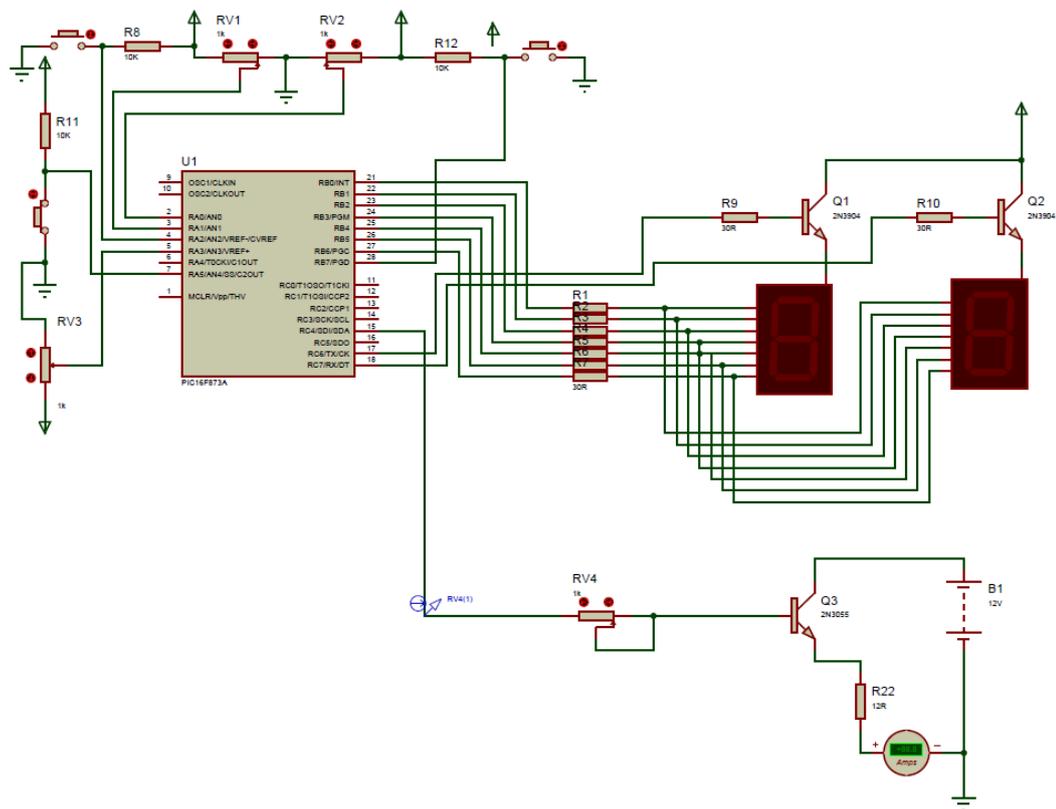


Fig.3.30 Diagrama de Control

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS

En este capítulo efectuarán las pruebas de operación del amortiguador magnetoreológico y así determinar su funcionamiento real, dichas pruebas se realizarán en el banco de pruebas para amortiguadores.

El banco de pruebas consta de un motor eléctrico, el cual genera el funcionamiento del amortiguador como si estuviera instalado en el vehículo, también consta de un sensor el cual asimila todo el comportamiento del amortiguador y lo transmite mediante un interface a la computadora y lo convierte en un lenguaje que se pueda interpretar.

En la siguiente imagen se puede observar el banco de pruebas de amortiguadores con sus respectivos componentes y listo para ser usado.

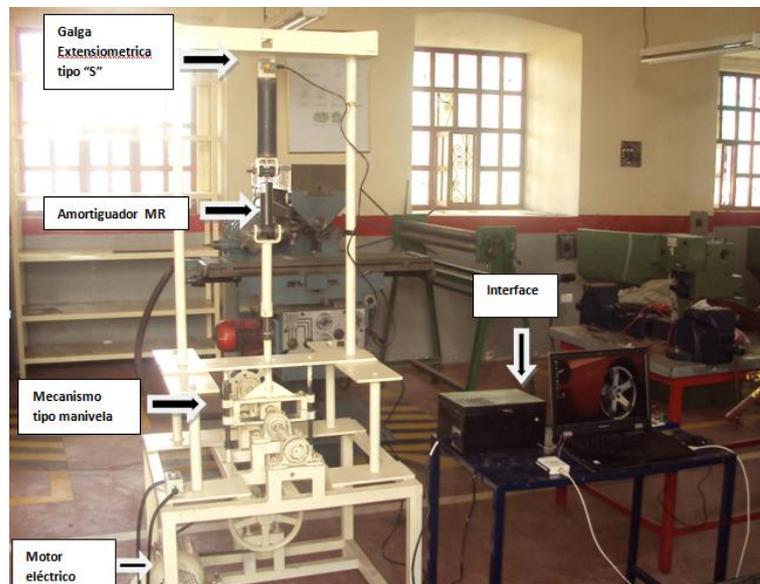


Fig.4.1 Banco de Pruebas de Amortiguadores

El banco de pruebas también consta de un programa llamado Labview 8.5 en el cual se puede visualizar el comportamiento del amortiguador y observar los valores máximos de funcionamiento.

En la siguiente imagen se aprecia el programa con sus respectivos componentes.



Fig.4.2 Programa en Labview

Esta es una programación realizada en la tesis del Banco de Pruebas para comunicarse con la galga extensiométrica y lograr una fácil visualización de los valores de funcionamiento del amortiguador.

4.1 INSTALACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES EN EL BANCO DE PRUEBAS

Para realizar las pruebas de funcionamiento del amortiguador éste se instaló levemente comprimido para protegerlo, como se puede observar en la siguiente imagen.



Fig.4.3 Amortiguador Instalado

El amortiguador por ser magnetoreológicos también posee su parte electrónica para controlar el fluido y así conseguir un funcionamiento estable a toda circunstancia. En la siguiente imagen se puede observar el módulo electrónico el cual controla los amortiguadores.

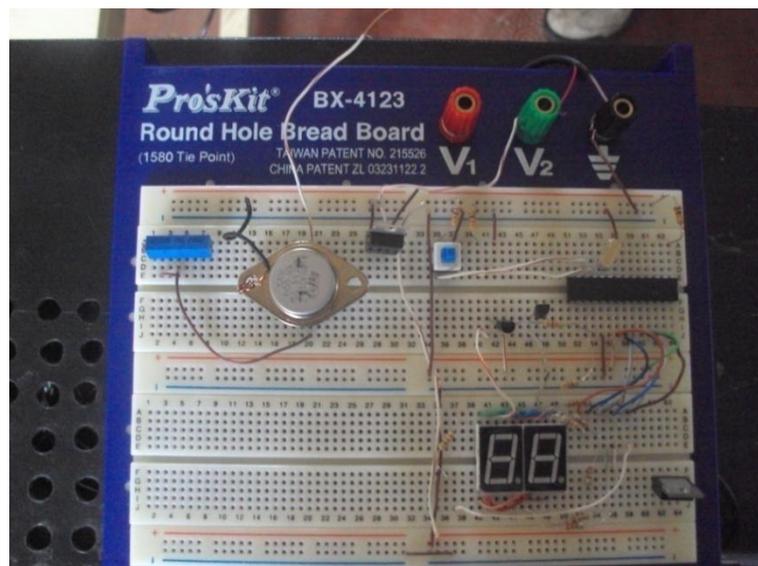


Fig.4.4 Tarjeta de control de Amortiguadores

En la siguiente imagen se puede observar a los amortiguadores armados en el banco de pruebas y funcionando con su control electrónico.



Fig.4.5 Funcionamiento en el Banco de Pruebas

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS AMORTIGUADORES

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del amortiguador en un determinado lapso de tiempo el cual nos recomienda la tesis de **“Diseño y construcción de un banco de pruebas para amortiguadores”** en la parte de recomendaciones pág. 116 y el tiempo recomendado es máximo 20 segundos.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento con diferentes rangos de alimentación al amortiguador para lograr el comportamiento en diferentes circunstancias de camino.

4.3 MEDICIÓN DE DATOS

Se realizaron las pruebas empezando de la dureza mínima que posee el amortiguador hasta llegar al límite máximo que va a soportar el amortiguador en el vehículo con un intervalo de 0.05.

La primera prueba se realizó con 0A para poder observar la mínima resistencia que puede hacer el amortiguador.

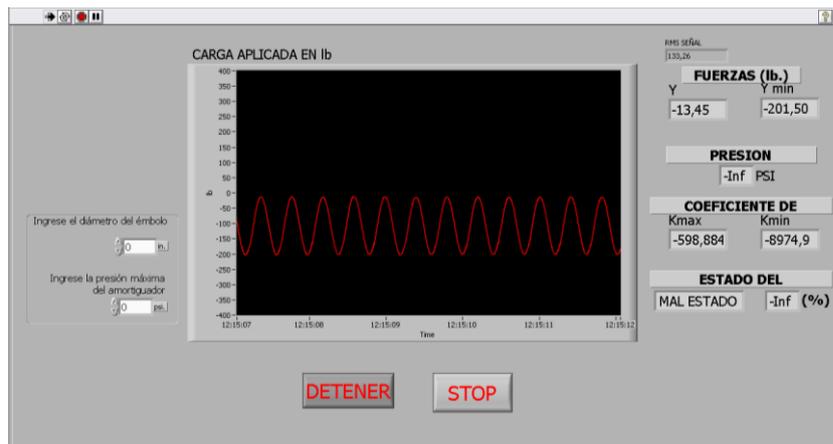


Fig.4.6 Funcionamiento a 0 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 133,26 y el amortiguador tiene una carga que oscila entre -13,45 y -201,50 lb.

La segunda prueba se realizó con 0.1A

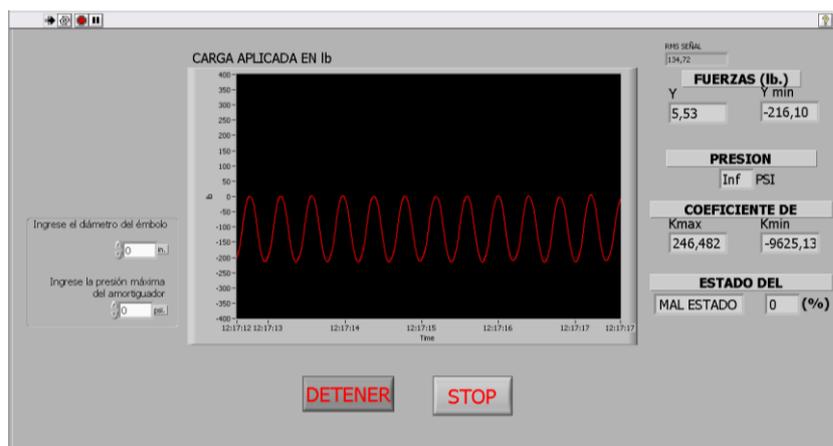


Fig.4.7 Funcionamiento a 0.1 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 134,72 y el amortiguador tiene una carga aplicada oscila entre 5,53 y -216,10 lb.

La tercera prueba se realizó con 0.15A.

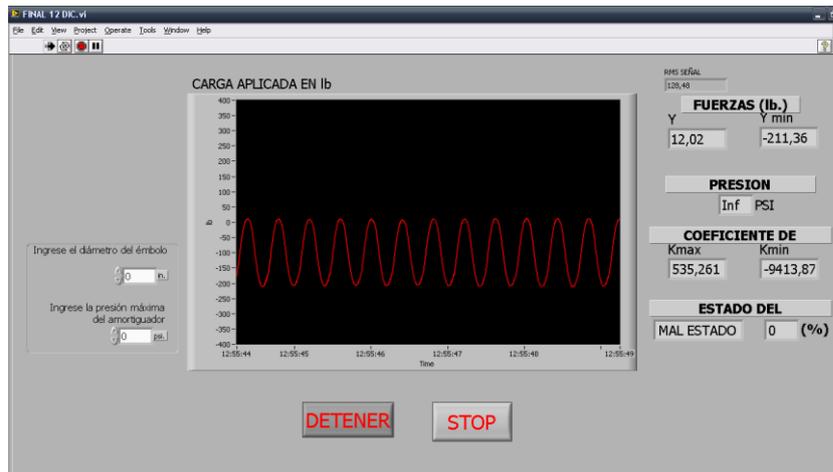


Fig. 4.8 Funcionamiento a 0.15 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 128,48 y el amortiguador tiene una carga aplicada está entre 12,02 y -211.36lb.

La cuarta prueba se realizo con 0.2A

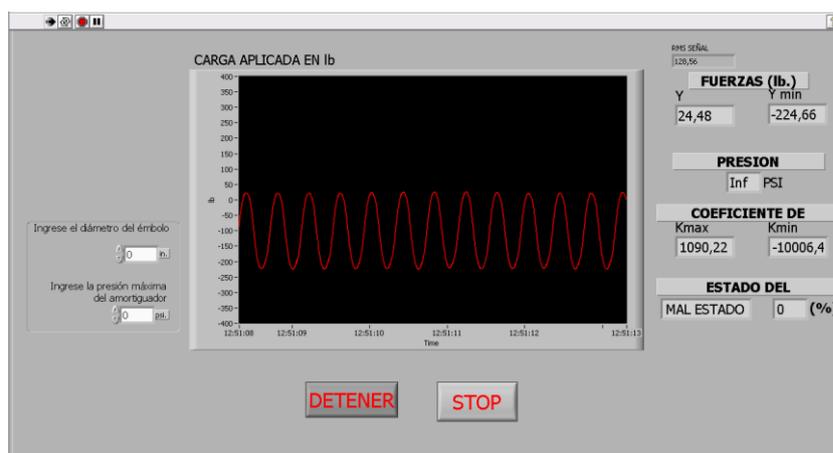


Fig.4.9 Funcionamiento a 0.20 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 128,56 y el amortiguador tiene una carga aplicada entre 24,48 y -224,66 lb.

La quinta prueba se realizo con 0.25A

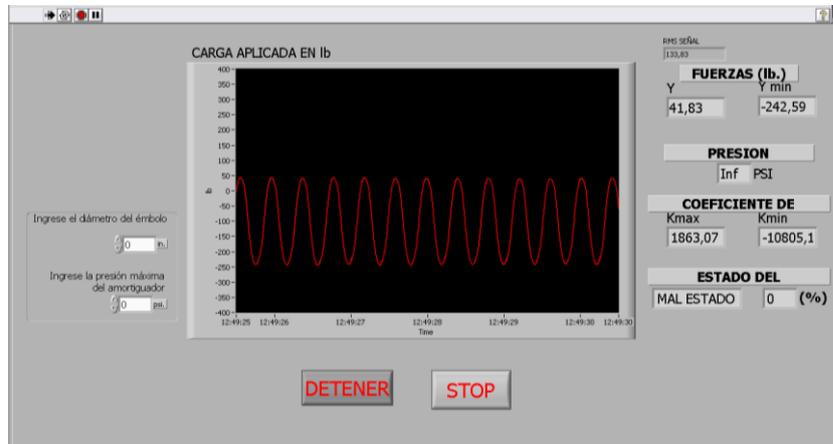


Fig.4.10 Funcionamiento a 0.25 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 133,83 el amortiguador tiene una carga aplicada oscila entre 41,83 y -242,56 lb.

La sexta prueba se realizó con 0,30A

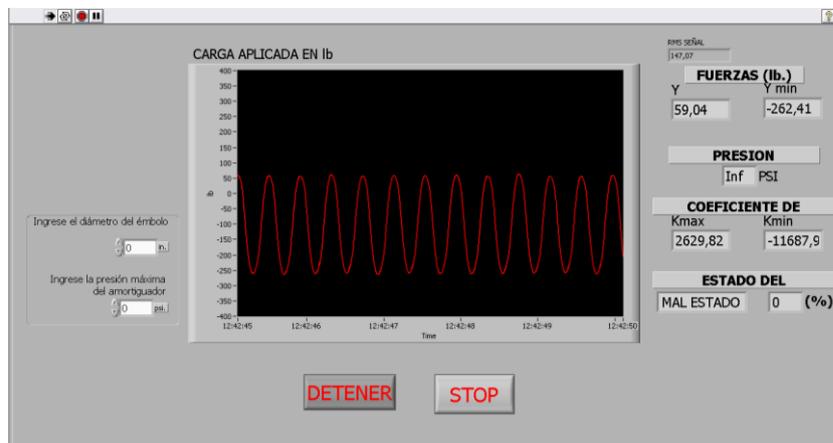


Fig.4.11 Funcionamiento a 0.30 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 147,07 el amortiguador tiene una carga aplicada oscila entre 59,04 y -262,41 lb.

Séptima prueba se realizo a 0,35A

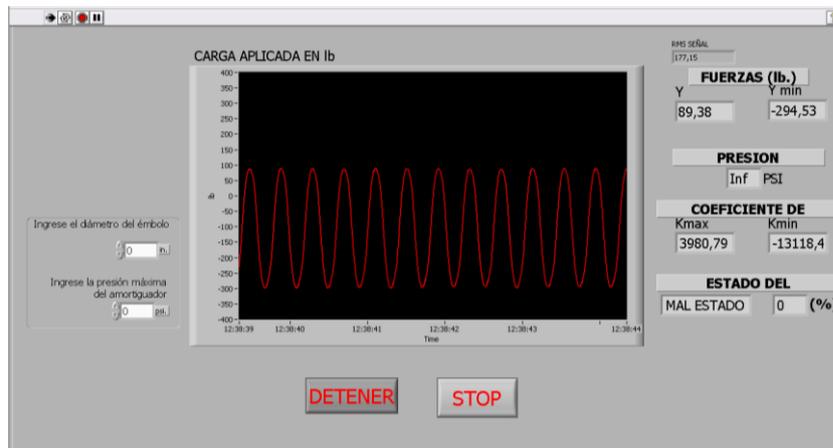


Fig.4.12 Funcionamiento a 0.35 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 177,15 el amortiguador tiene una carga aplicada oscila entre 89,38 y -294,53 lb.

Octava prueba a 0,43 amperios

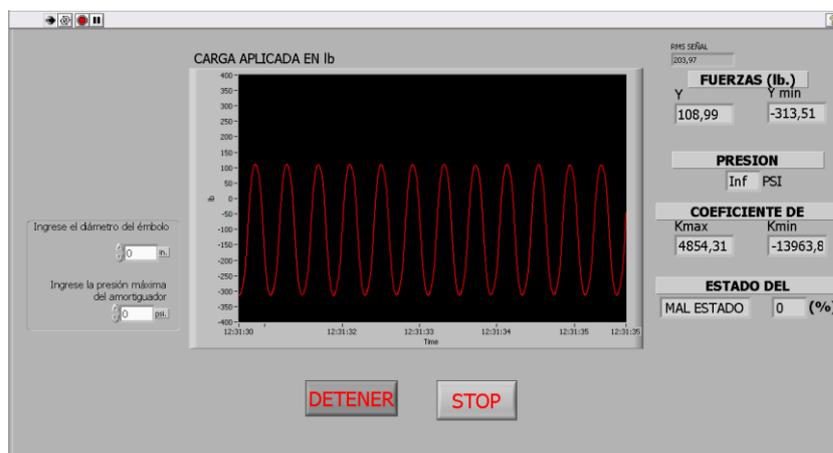


Fig.4.13 Funcionamiento a 0.43 amperios

Se puede observar que el valor RMS es de 203,97 el amortiguador tiene una carga aplicada oscila entre 108,99 y -313,51lb.

4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En las pruebas realizadas a los amortiguadores se puede observar que es directamente proporcional la corriente inducida a las bobinas del amortiguador con la dureza del amortiguador.

En la siguiente tabla se puede observar el comportamiento del amortiguador a diferentes circunstancias.

**TABLA. 4.1 COMPORTAMIENTO DE AMORTIGUADOR
MAGNETOREOLÓGICOS**

Amperaje (A)	Fuerza (lb-f)
0	-13,45
0,1	5,53
0,15	12,02
0,20	24,48
0,25	41,83
0,30	59,04
0,35	89,38
0,43	108,99

Los datos obtenidos de la en la tabla 4.1 nos muestran la fuerza que recibe la galga extensiométrica durante cada giro del motor del banco de pruebas, mientras el amortiguador varia su dureza dependiendo de los incrementos de intensidad de corriente. Llegando a concluir, entre mayor sea la dureza del amortiguador la fuerza de impacto también será mayor.

Esto aplicado al vehículo Buggy podemos decir que al equiparar las fuerzas de transmisión de masa delantera por efectos de frenado brusco con la dureza que transmite el amortiguador, estas fuerzas de acción y reacción se llegan a neutralizan evitando así los efectos de cabeceo al momento de frenar.

Según el dato obtenido en la ec 3.2:

$$F_{final} \text{ aplicada al amortiguador} = 1300N = 292lb - f$$

Este valor al compararlo con la tabla 4.1, muestra que llega a 108.99 (lb-f) a una intensidad de 0.43 amperios, nos indica que fácilmente llegara a equiparar las fuerzas acción y reacción a una carga de 1 amperio cuando se encuentre montado en el Buggy ya que el valor es aproximadamente el doble al que requerimos.

Este análisis se compara de la misma manera para efectos como el bamboleo en curvas muy cerradas, hasta los efectos de empuje vertical por motivos de baches o irregularidades del camino.

Gráfica del comportamiento del amortiguador:

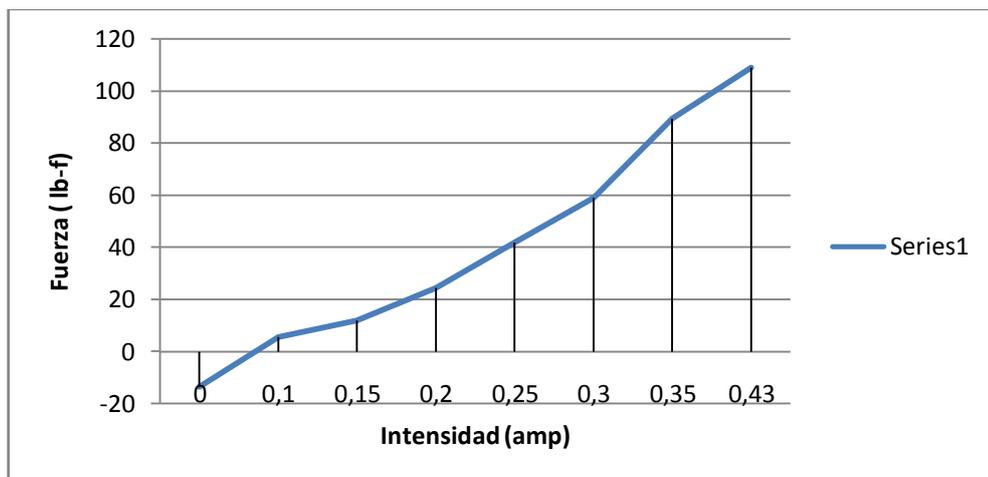


Fig.4.14 Gráfica Fuerza-Amperaje

El valor negativo de la fuerza a 0 (amp) se produce porque el amortiguador absorbe toda la fuerza impulsora, sin dejar que la galga reciba ningún tipo de señal positiva. Esto nos indica que no realiza ningún tipo de restricción durante el trabajo, por lo que en el vehículo dejaría oscilar libremente a la espiral a comparación, cuando se le aplica la carga eléctrica a la las bobinas del amortiguador

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA SUSPENSIÓN MAGNETOREOLÓGICA

5.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Se seleccionó los componentes según su diseño en el capítulo 3 y las modificaciones de ciertos componentes del sistema de suspensión se rectificó para la mejora al momento del manejo de Buggy formula FAU.

5.1.1 AMORTIGUADORES

En el sistema de suspensión anterior incluía amortiguadores de motor a gas con espiral incluida cuyo funcionamiento no cumplía con absorber en su totalidad las vibraciones producidas en el vehículo.



Fig.4.15 Amortiguadores a Gas (anteriores)

Los amortiguadores seleccionados fueron los Amortiguadores magnetoreológicos Lord RD-8041-1 que poseen fluido magnético y controlado de una manera electrónica según el amperaje aplicado. Las

medidas son las adecuadas para la instalación en el vehículo y puede soportar cargas superiores a las que van a ser sometidos por lo que cumple los requisitos mecánicos para ser implementados para esta suspensión.



Fig.4.16 Amortiguadores Magnetoreológicos RD-8041-1

Los amortiguadores con sus respectivos componentes mecánicos y electrónicos lograrán un excelente control de las vibraciones sin depender del camino que se encuentre ya que el amortiguador varía de acuerdo con éste.

Con esto obtenemos un mayor beneficio de de la suspensión y mejorará notablemente el manejo en toda circunstancia.

5.1.2 RESORTES

Los resortes seleccionados cumplen con los requerimientos para soportar la carga de instalación y funcionamiento de la suspensión en casos extremos. Las longitudes del resorte coinciden con las realizadas en el diseño para cumplir con lo propuesto inicialmente.



Fig. 4.17 Resortes

5.2 ADAPTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ANCLAJE DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Para adaptar los componentes de la nueva suspensión se necesitó modificar tanto las bases de anclaje de los amortiguadores de los resortes al chasis y a las mesas. Otra modificación fueron las mesas superiores para cambiar los ángulos de alineamiento y lograr una mejora completa para el sistema de suspensión.

5.2.1 ANCLAJE SUPERIOR

Las modificaciones de los puntos de anclaje superior van al chasis del vehículo lo cual se aprecia en la siguiente figura donde va a ir asentado el amortiguador y el espiral.

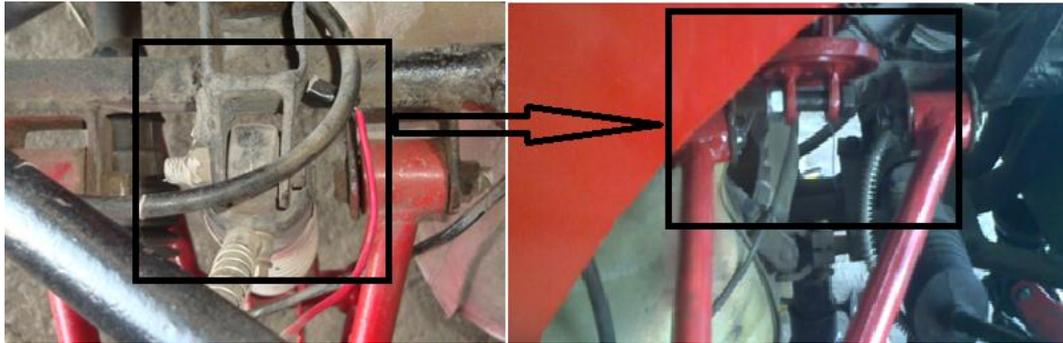


Fig.4.18 Anclaje superior al chasis

5.2.2 ANCLAJE INFERIOR

En la parte inferior los puntos de anclaje van a la mesa. Las modificaciones constaron en adaptar las bases a las mesas dándoles la orientación adecuada a las bases superiores.

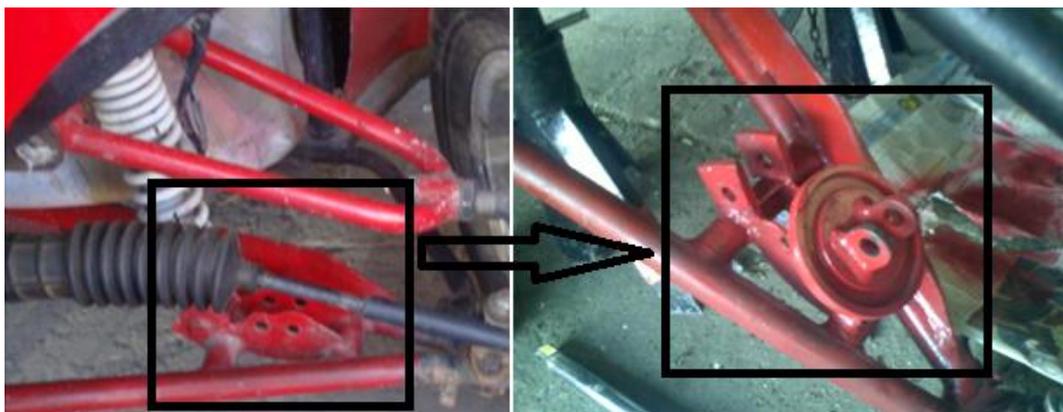


Fig.4.19 Anclaje inferior a la mesa

5.2.3 MODIFICACIÓN DE MESAS

Las modificaciones realizadas a las mesas fueron realizadas para mejorar las condiciones de manejo y estabilidad en el vehículo. Los ángulos de alineación camber y caster fueron los principalmente modificados. Estas modificaciones a pesar de mejorar la dirección del vehículo también nos ayudan para disminuir vibraciones producidas por condiciones de camino.

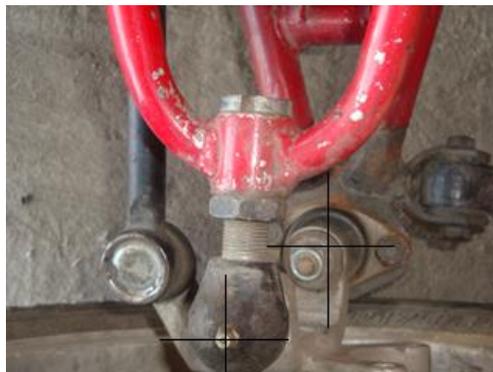


Fig. 4.20 Mesa superior con respecto a la mesa inferior Original-Modificado

Las Modificaciones a las mesas fueron de una forma simétrica original a una rectangular a cada lado respectivamente. Llegando con esto lograr un ángulo de caster positivo (aprox. de 3 grados). El caster positivo, al proyectar hacia adelante el eje geométrico de giro y establecer el punto de carga adelante del punto de contacto de la rueda sobre el pavimento, imparte a las ruedas la tendencia a mantenerse orientadas con la fuerza direccional del vehículo, aproximadamente hacia adelante.



Fig. 4.21 Modificación de las mesas superiores

5.3 MONTAJE DE LOS AMORTIGUADORES MAGNETOREOLÓGICOS

Se instaló los amortiguadores de manera inclinada para que la sección inferior del amortiguador esté lo más cerca posible del punto de impacto que se produce entre las irregularidades del camino y los neumáticos. Con esto se logrará mayor eficiencia en todo el sistema de suspensión ya que la fuerza aplicada al amortiguador en un impacto será mínima.

A continuación se puede observar a los amortiguadores instalados el vehículo con todos sus acoples.



Fig.4.22 Amortiguadores instalados.

Con esta modificación el sistema de suspensión absorbe de mejor manera los impactos producidos por irregularidades del camino y a la vez se mantiene el neumático más tiempo asentado al suelo.

5.4 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SUSPENSIÓN.

El sistema de control de la suspensión está ubicado en el panel de control del vehículo, con esto el usuario tendrá la posibilidad de controlar la suspensión y dependiendo del camino a transitar modificar la dureza de

la suspensión. Esto se lo realizó para que el usuario tenga control manual de los amortiguadores para poder realizar pruebas de funcionamiento con el vehículo en condiciones controladas y seguras.

Para el montaje se conectó el control electrónico a los amortiguadores en la parte delantera del Buggy y a la batería por medio de cables a lo largo de todo el vehículo. En la siguiente imagen Fig.4.23 Se puede observar la parte interna del control electrónico de la suspensión.

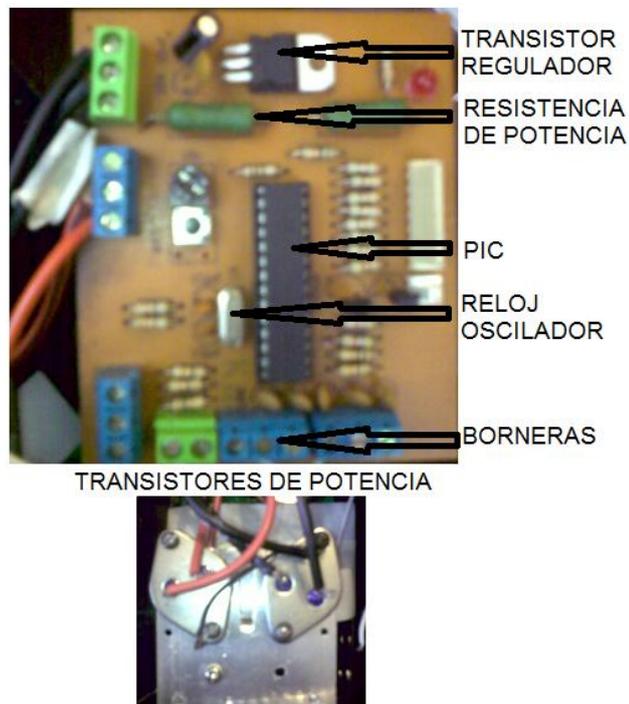


Fig. 4.23 Control electrónico de la suspensión

5.5 CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO

La calibración del sistema de la suspensión se debe hacer en la parte electrónica como en la parte mecánica, en la parte electrónica se debe calibrar para que en cualquier circunstancia no se genere señales erróneas y peor aún sobre voltajes.

La parte electrónica se calibra el control para valores de 0 amperios hasta un tope máximo de 1 amperio para el trabajo de ambos amortiguadores, el trabajo realizado será de 20 segundos máximo por protección al recalentamiento de los componentes tanto electrónicos como mecánicos.

En la parte mecánica debemos calibrar adecuadamente los puntos máximos que se estira el amortiguador y la máxima compresión que produce la suspensión, para evitar daños en estas situaciones debemos colocar topes de manera estratégica.



Fig.4.24 Calibración del control electrónico

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se estudio los fluidos magnetoreológicos enfocados a la implementación de nuevas tecnologías en el área automotriz ,llegando a diseñar e instalar amortiguadores magnetoreológicos en la suspensión del Buggy formula FAU
- La creación del fluido fue una experiencia muy importante ya que se debe controlar la parte magnética para modificar la parte reológica de fluido y con ello lograr una sustancia controlada.
- Se realizó el análisis de la suspensión original del prototipo tipo Buggy y se mejoro la geometría de la suspensión para mejorar sus propiedades de manejo y control del vehículo.
- Con la aplicación del líquido magnético al campo automotriz se mejoró notablemente el comportamiento de la suspensión para situaciones de cabeceo, bamboleo y empuje.
- Con el programa SolidWorks se pudo simular condiciones reales de funcionamiento y así mejora los puntos críticos de la suspensión.
- Con el banco de pruebas de amortiguadores se pudo observar de manera más visible la variación del comportamiento del amortiguador dependiendo de la corriente inducida a las bobinas del amortiguador
- Se evaluó de una manera teórica-practica las virtudes de utilizar un fluido de características variables con elementos sencillos de control.

6.2 RECOMENDACIONES

- Antes de experimentar con elementos químicos, investigar acerca de sus propiedades y reacciones químicas para evitar ocasionar algún tipo de accidente
- Tener cuidado al realizar las pruebas con el líquido magnetoreológico se debe estabilizar para poder obtener datos reales de su comportamiento.
- Se debe tener un conocimiento muy claro de lo que es la parte de diseño para poder interpretar cada dato obtenido de análisis.
- Es recomendable la selección de elementos que protejan los equipos de mayor cuidado, en cada una de las pruebas y posteriormente en la instalación.
- En vista del poco mantenimiento del vehículo, realizarle chequeos preventivos antes de realizarle cualquier adaptación o modificación.
- Podría realizarse un estudio para implementar al sistema sensores de posición de freno y velocidad del vehículo para controlar los amortiguadores magnetoreológicos de una manera automática en diferentes situaciones de manejo o camino.
- Estudiar posibles aplicaciones de este fluido magnetoreológico para mejorar sistemas de frenos o utilizarlos en embragues.
- Las pruebas de campo se deberán realizar de una manera ordenada y tomando en consideración todas las medidas de seguridad para el conductor como los observadores.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- H. Kindler – H. Kynast Matemática aplicada para la técnica del automóvil GTZ
- Juan Alberdi Urbieta “Manuales de Automoción”
- Guillermo Iglesias “Estabilidad de Suspensiones magnéticas concentradas” , “Lubricantes Magneto viscosos”
- Miguel Cupich-Fernando Elizondo “Amortiguadores Magnetoreológicos”
- F. Donado, C.Y. Mendoza, R. Valencia y J.A. Santiago-García *Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería-CIAI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca 42090, Pachuca, México “Estudio experimental de la viscosidad de un fluido magnetoreológico a base de magnetita mineral”.*
- Fawwaz Tulaby. “Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo”
- L.A. García-Cerda, O.S. Rodríguez-Fernández, R. Betancourt-Galindo, R. Saldívar-Guerrero *Centro de Investigación en Química Aplicada M.A. Torres-Torres Instituto Tecnológico de Saltillo, Depto. de Metal – Mecánica “Síntesis y propiedades de ferro fluidos de Magnetita”*
- Ing. Esteban Ibarrola “Introducción a los fluidos No Newtonianos”
- Stephen J Chapman. “Maquinas eléctricas”
- Javier Sanz Fieto. “Maquinas eléctricas”
- Leander W. Matsch. “Maquinas electromagnéticas y electromecánicas.”

- Víctor Serrano Domínguez, Graciela García, Carlos Gutiérrez. “Electricidad y electromagnetismo”
- Syed A.Nasamortir. “Maquinas Eléctricas y Electrónicas”
- Hidalgo Medina. “Laboratorio de física”
- MOTT, Robert. “Diseño de Elementos de Máquinas”. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. Segunda Edición. 1992.
- Ingeniería Industrial “Vibraciones”, Ing. Lab. Mario Jaureguiberry
- Manual de SolidWorks

Páginas de Internet consultadas

- <http://www.mimecanicapopular.com>
- <http://www.yummatir.com.ar/suspension.php>
- <http://www.autocosmos.cl/noticias/expand.asp?id=7435>
- <http://www.tecnun.es>
- <http://www.lord.com>
- <http://es.wikilingue.com>
- <http://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/>
- <http://www.gaiker.es>
- www.tecnun.es/automocion
- www.astroseti.org
- www.inovacaotecnologica.com.br/fluidos