

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO  
AUTOMÓVIL TOYOTA YARIS 2008 BASADA EN UN  
AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO  
EN LA REGIÓN DE PUNO 2015”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**KENNETH SAUL CANCINO HUANCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA,  
ELECTRONICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

“DISEÑO DE UNA SUSPENSION PARA UN VEHICULO AUTOMOVIL  
TOYOTA YARIS 2008 BASADA EN UN AMORTIGUADOR MAGNETO  
REOLOGICO EN LA REGION DE PUNO 2015”

TESIS PRESENTADA POR:  
**KENNETH SAUL CANCINO HUANCA**

PARA OPTAR EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



**PRESIDENTE** :   
**M. Sc. MARIO MAMANI PAMPA**

**PRIMER MIEMBRO** :   
**Dr. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON**

**SEGUNDO MIEMBRO** :   
**Mg. LEONIDAS VILCA CALLATA**

**DIRECTOR DE TESIS** :   
**Mg. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA**

Puno – Perú

2017

AREA: Mecánica.

TEMA: Suspensión Semiactiva.

Fecha de Sustentación: 15 – Sep – 2017

## AGRADECIMIENTO

A la primera casa de Estudios superiores "Universidad Nacional del Altiplano de Puno", a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica, a todos los profesores por la formación profesional recibida de ellos en las aulas Universitarias.

Al Director del presente Trabajo de Investigación por su acertado asesoramiento, para encaminar el procesamiento, desarrollo y culminación del presente trabajo de Investigación.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por sus enseñanzas y sus cátedras que fueron dictadas cada día en nuestras aulas mater, hasta la culminación de mis estudios superiores.

A toda mi familia, amigos, que en forma directa o indirecta me brindaron su apoyo a mi objetivo.

*El autor*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mis padres por apoyarme permanentemente y confiar en mí, y especialmente a toda mi familia, ya que gracias a ellos he podido terminar estudios universitarios.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>- 13 -</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>- 14 -</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>- 15 -</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>17</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. <i>PROBLEMA GENERAL</i> .....	18
1.1.2. <i>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</i> .....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	20
1.3.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	20
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.2. SUSTENTO TEÓRICO.....	25
2.2.1. <i>DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN</i> .....	25
2.2.1.1. ORIGEN – EVOLUCION.....	29
2.2.1.2. ELEMENTOS .....	35
2.2.1.3. TIPOS DE AMORTIGUADOR.....	43
2.2.1.4. CLASIFICACIÓN.....	46
2.2.1.5. SEGÚN EL SISTEMA DE CONTROL.....	55
2.2.1.6. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.....	56
2.2.2. <i>AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO</i> .....	58
FUENTE: CABRASUSPENSIONDEVELOPMENT.COM.....	59
2.2.2.1. PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	59
2.2.2.2. PROPIEDADES INTELIGENTES.....	61
2.4.1. <i>HIPÓTESIS GENERAL</i> .....	78
2.4.2. <i>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</i> .....	78
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	78
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>80</b>
<b>DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>80</b>
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	80
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	81
3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	82
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN.....	83
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>84</b>
4.1. INTRODUCCION A SOLIDWORKS.....	84
4.2. DISEÑO MEDIANTE EL PROGRAMA SOLIDWORK.....	85
4.3. INTRODUCCIÓN A LOS ELEMENTOS FINITOS.....	92
4.4. ESTUDIO MEDIANTE ANSYS.....	94
4.5. PREPROCESADOR.....	95

4.6. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA: MODELIZACIÓN .....	97
4.7. MALLADO .....	99
4.8. CONDICIONES DE CONTORNO .....	101
4.9. DESPLAZAMIENTOS .....	107
4.10. TENSIONES .....	113
4.11. COEFICIENTE DE SEGURIDAD .....	117
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>120</b>
<b>SUGERENCIAS.....</b>	<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>A N E X O S.....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: SUSPENSIÓN DEL AUTOMÓVIL .....	26
FIGURA 2: SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN JAGUAR XF.....	27
FIGURA 3: OSCILACIONES PRESENTES EN UN AUTOMÓVIL .....	29
FIGURA 4: AMORTIGUADOR DE FRICCIÓN .....	31
FIGURA 5: AMORTIGUADOR DE FRICCIÓN .....	33
FIGURA 6: AMORTIGUADOR.....	34
FIGURA 7: BALLESTA INSTALADA EN EL EJE TRASERO DE UN HUMER H2 .....	36
FIGURA 8: COJINETES NEUMÁTICOS, EJE POSTERIOR DE UN VEHÍCULO PESADO.....	37
FIGURA 9: DETALLE DE UN AMORTIGUADOR “MONOTUBO” DE UN JAGUAR XF.....	39
FIGURA 10: BRAZO INSTALADO EN UNA SUSPENSIÓN.....	41
FIGURA 11: SUSPENSIÓN TRASERA DEL FORD MUSTANG CON BARRA ESTABILIZADORA Y TRANSVERSAL. ....	42
FIGURA 12: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN AMORTIGUADOR BITUBO .....	43
FIGURA 13: PARTES DE UN AMORTIGUADOR BITUBO DE GAS A BAJA PRESIÓN.....	44
FIGURA 14: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN AMORTIGUADOR MONOTUBO .....	45
FIGURA 15: REPRESENTACIÓN DE UN EJE RÍGIDO .....	47
FIGURA 16: EJE REGIDO INSTALADO EN UN RENAULT ESPACE.....	48
FIGURA 17: SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDA INSTALADA EN UN MAZDA 2 .....	49
FIGURA 18: REPRESENTACIÓN DE UN EJE INDEPENDIENTE .....	50
FIGURA 19: ELEMENTOS DE UNA SUSPENSIÓN DE EJE OSCILANTE .....	51
FIGURA 20: SUSPENSIÓN DE BRAZOS TIRADOS .....	52
FIGURA 21: SUSPENSIÓN TRASERA SEMIRRÍGIDA DE BRAZO TIRADO.....	53
FIGURA 22: ESQUEMA SUSPENSIÓN MCPHERSON EN UN EJE DELANTERO .....	53
FIGURA 23: ESQUEMA DE UNA SUSPENSIÓN DE PARALELO DEFORMABLE .....	54
FIGURA 24: PARTES DE UNA SUSPENSIÓN PARALELOGRAMO DEFORMABLE .....	54
FIGURA 25: ESQUEMA DE UNA SUSPENSIÓN MULTIBRAZO DELANTERO DE UN AUDI A6 ..	55
FIGURA 26: AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO .....	59
FIGURA 27: GRÁFICA ESFUERZO-DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO A VELOCIDAD DE CORTE ELEVADA.....	60
FIGURA 28: VISCOSIDAD DE FLUIDOS MAGNÉTICOS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORTE .....	61
FIGURA 29: UBICACIÓN DE LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA TESIS .....	82
FIGURA 30: AMORTIGUADOR MAGNETO - REOLÓGICO .....	85
FIGURA 31: AMORTIGUADOR MONUTUBO TOYOTA, MODELO B6 .....	86
FIGURA 32: AMORTIGUADOR TOYOTA DESMONTADO.....	87
FIGURA 33: PIEZA INTERIOR.....	87
FIGURA 34: PIEZA MODELIZADA .....	88
FIGURA 35: DETALLE DE LAS INSTALACIONES DEL AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO .....	89
FIGURA 36: PIEZA SUPERIOR .....	90
FIGURA 37: ILUSTRACIÓN DEL TORNILLO PROPUESTO.....	91
FIGURA 38: ROSCA PROPUESTA .....	91
FIGURA 39: MODELIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	92
FIGURA 40: ESTRUCTURA MODELIZADAS EN ANSYS.....	95
FIGURA 41: MODELIZACIÓN DEL ELEMENTO SHELL 63 .....	96
FIGURA 42: VISTA ISOMÉTRICA DE LA GEOMETRÍA .....	99
FIGURA 43: VISTA DE LA ESTRUCTURA MALLADA .....	100
FIGURA 44: DETALLE DE LA ZONA MALLADA NO CUADRADA .....	101

FIGURA 45: COACCIONES IMPUESTAS EN LA PIEZA.....	103
FIGURA 46: DETALLE DE LA POSICIÓN DE LAS FUERZAS EN LOS NODOS .....	104
FIGURA 47: POSICIÓN FUERZA DEL AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO.....	105
FIGURA 48: CONDICIONES DE CONTORNO Y CARGAS .....	106
FIGURA 49: DESPLAZAMIENTO A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN “Z” .....	108
FIGURA 50: DESPLAZAMIENTO A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN “Z” .....	109
FIGURA 51: DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL EJE “Z” .....	109
FIGURA 52: DESPLAZAMIENTOS MÍNIMOS PRODUCIDOS EN EL EJE “X” .....	110
FIGURA 53: DESPLAZAMIENTO MÁXIMO PRODUCIDO EN EL EJE “X”.....	111
FIGURA 54: DESPLAZAMIENTO PRODUCIDO A LO LARGO DEL EJE “X” .....	111
FIGURA 55: DESPLAZAMIENTO MÁXIMO PRODUCIDO EN EL EJE “Y” .....	112
FIGURA 56: DESPLAZAMIENTO MÁXIMO Y MÍNIMO A LO LARGO DEL EJE “Y” .....	112
FIGURA 57: TENSIÓN A LO LARGO DEL EJE “Z” .....	114
FIGURA 58: DETALLE DE LA TENSIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA EN EL “Z” .....	114
FIGURA 59: TENSIÓN MÁXIMA PRODUCIDA EN LA DIRECCIÓN “X” .....	115
FIGURA 60: TENSIÓN MÍNIMA EN EL EJE “X”.....	116
FIGURA 61: TENSIÓN MÁXIMA EN EL EJE “X” .....	116
FIGURA 62: TENSIÓN MÁXIMA PRODUCIDA POR EL EJE “Y” .....	117
FIGURA 63: TENSIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA EN EL “Y” .....	117
FIGURA 64: GRAFICA FUERZA VS VELOCIDAD DEL AMORTIGUADOR RD-8040-1 .....	132
FIGURA 65: MEDIDAS DEL AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO.....	133
FIGURA 66: PLANO PIEZA SUPERIOR.....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS EN LOS 3 EJES COORDENADOS....	107
TABLA 2: VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA TENSIÓN EN LOS 3 EJES .....	113
TABLA 3: COEFICIENTES DE SEGURIDAD .....	118
TABLA 4: CARACTERÍSTICAS DEL AMORTIGUADOR RD-8040-1.....	130
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO .....	134

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANEXO 01: CARACTERÍSTICAS DEL AMORTIGUADOR RD-8040-1 .....	130
ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO.....	134
ANEXO 3: PLANO PIEZA SUPERIOR .....	136

## RESUMEN

El objetivo principal que se persigue con este proyecto de tesis es el estudio de las suspensiones semiactivas adaptando un amortiguador magneto reológico RD-8040-1 en nuestra región de Puno, a partir de una seria histórica de la evolución de la suspensión de los vehículos como son activas, semiactivas, pasivas y el uso de estos por empresas a nivel mundial, así obteniendo una mayor seguridad, confort y mayor durabilidad de piezas mecánicas en el automóvil, con el cual se pretende realizar la adaptación de un amortiguador RD-8040-1 y así obtener una suspensión semiactiva. Para poder realizar la adaptación obtendremos información sobre suspensión del automóvil Toyota Yaris 2008, antecedentes de las suspensiones semiactivas, con dicha información se procederá al modelamiento para comprobar si es posible dicha adaptación y si son necesaria la fabricación de piezas adicionales. Para luego realizar la prueba estructural y así demostrar que las modificaciones realizadas durante la etapa del modelado, a las distintas piezas, no afecten a la integridad estructural de las mismas. El modelamiento se realizó utilizando la plataforma de SOLIDWORK. Por otro lado, la prueba estructural se realizara con el método de elementos finitos usando el software ANSYS.

**Palabras claves:** Suspensión semiactiva, magneto reológicos, amortiguador, adaptación.

## ABSTRACT

The main objective pursued by this thesis project is the study of semi-active suspensions adapting a magneto rheological damper RD-8040-1 in our region of Puno, from a historical series of the evolution of vehicle suspension as They are active, semi-active, passive and using these for companies worldwide, thus obtaining greater safety, comfort and durability of mechanical parts in the car with which it is intended to make the adaptation of a damper RD-8040-1 and obtain a semi-active suspension. To perform the adaptation obtain information on automotive suspension Toyota Yaris 2008, a history of the semi-active suspensions, such information will proceed to modeling to check if possible and if this adaptation manufacturing additional parts are required. And then make the structural test and demonstrate that the changes made during the modeling stage, the different parts do not affect the structural integrity of the same. The modeling was done using Solidwork platform. On the other hand, the structural test is carried out with the finite element method using the ANSYS software.

**Keywords:** Subsector electricity, supply, demand, projection, stage.

## INTRODUCCIÓN

El Toyota Yaris es un automóvil del segmento producido por el fabricante japonés Toyota. Existen generaciones a nivel mundial.

Los amortiguadores son un componente común de la suspensión de los automóviles y otros vehículos, para ayudar a que las ruedas se mantengan pegadas al suelo. Los elementos elásticos metálicos utilizados en la suspensión tienen la tendencia de rebotar. Se han dado casos en pisos bacheados, y debidos a que los movimientos de cada bache se sumaban en los que coches han llegado a despegar. Para evitar este efecto, el que las ruedas se despeguen, los amortiguadores frenan las oscilaciones siguientes al movimiento inicial del bache. Este efecto de rebote se evita en las suspensiones neumáticas como la hidroneumática.

El amortiguador es un dispositivo construido con un eje cromado y dos tubos de acero . . En un extremo, el eje de acero tiene el apoyo que se ancla al vehículo. En el otro extremo se monta un pistón, que siempre se desplaza a lo largo del tubo de compresión, el cual presiona o succiona aceite que fluye a través de válvulas instaladas en el tubo de compresión.

En los últimos años, han cobrado especial interés los sistemas de amortiguación, activos y semiactivos, debido que permiten adaptar la amortiguación a las condiciones de la vía por la que se circula y la forma de conducción.

Las suspensiones activas y semiactivas permiten aumentar el confort de los pasajeros al disminuir el balanceo del vehículo y aumentar la absorción de los esfuerzos transmitidos por los neumáticos. Asimismo, aumentan la seguridad del vehículo al mejorar la estabilidad en todo tipo de circunstancias.

El presente documento se estructura de la siguiente manera:

El Primer Capítulo, esta descrito al planteamiento del problema. En este capítulo se considera la descripción del problema, la justificación que señala el porqué y para qué de la investigación y por último los objetivos de la investigación.

El Segundo capítulo, aborda el marco teórico, dentro del cual está recluido los antecedentes de investigación, luego se desarrolla la teoría que sustenta la tesis, la cual se conoce como el sustento teórico, para ello se recurren a varios autores que fundamentan las variables en estudio, el glosario de términos básicos, la hipótesis de la investigación. Finalizando el capítulo se considera las variables de estudio.

El Tercer Capítulo, representa el diseño metodológico de investigación, aquí se señala el tipo y diseño de investigación, población y la muestra de investigación, ubicación y descripción de la población, el material experimental, técnicas e instrumentos, técnicas e instrumentos para recolección de información, técnicas para el procesamiento y análisis de datos, procedimiento del experimento, plan de tratamiento de los datos. Finalizando el capítulo se considera el diseño estadístico para la prueba de hipótesis o prueba de hipótesis.

El Cuarto Capítulo, contiene el análisis e interpretación de resultados de la investigación.

Siguiendo el esquema de tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después del último capítulo, se considera las conclusiones, las sugerencias, la bibliografía y los anexos.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, han cobrado especial interés sobre el estudio de los sistemas de amortiguación, activos y semiactivos, debido que permiten adaptar la amortiguación a las condiciones de la vía por la que circula y la forma de conducción.

Las vibraciones mecánicas no deseadas son un problema que se presenta en la mayoría de las maquinas. En el sector automotriz las vibraciones producidas tanto por los elementos giratorios del motor como por las irregularidades del camino por el cual circula el automóvil, generando oscilaciones que afectan a la carrocería y a los ocupantes del mismo.

Estas oscilaciones en primera instancia son atenuadas por el sistema de suspensión del automóvil que hace las vibraciones no sean tan bruscas, pero el tiempo en que se mantienen estas oscilaciones no es el deseado y así evitar el desgaste de piezas debido al exceso de vibraciones. Otro problema importante es la estabilidad del vehículo perdiendo adherencia en giros, pérdida de dirección, desgastes de neumáticos anormales o asimétricos.

Teniendo en cuenta en segundo lugar el actual desarrollo en vehículos ya sea pesada o liviana en el ámbito internacional y la evidente necesidad de utilizar la suspensión, sobre todo en aquellos vehículos que son considerados como gama alta, pero en el Perú se tiene vehículos que son de gama media y baja ya que estos son afectados directamente en el confort, y que las suspensiones activas y semiactivas permiten aumentar el confort la absorción de los esfuerzos transmitidos por los neumáticos. Asimismo, aumentan la seguridad de los vehículos al mejorar la estabilidad en todo tipo de circunstancias.

En nuestro país casi no se tiene conocimiento sobre el sistema de suspensión semiactiva y más concretamente sobre los amortiguadores magneto reológicos, y por consiguiente la suspensión magneto reológico.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Será posible la adaptación y/o estudio de un sistema de suspensión semiactiva para un vehículo automóvil basándose en un amortiguador magneto reológico?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- a) ¿Qué nos permitirá diagnosticar las modificaciones realizadas durante la etapa del modelado?

- b) ¿Afectara a la integridad estructural al realizar las modificaciones con el amortiguador magneto reológico?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Durante estos tiempos actuales se da mucha importancia a los vehículos por la primera necesidad de transportarse rápida y cómodamente para la vida cotidiana de cada persona, es necesario analizar el confort, vibraciones, desgaste, ruidos que cada empresa de automóviles tiene y brinda, ya que principalmente lo que uno busca al momento de adquirir un vehículo es el confort lo que conlleva a cada empresa a estudiar las partes de la suspensión y amortiguamiento.

Un amortiguador en mal estado afecta a la estabilidad, perdida de adherencia en giros, perdida de la dirección, también influye al desgaste de piezas debido al exceso de vibraciones, ruidos al pasar un badén, y por ultimo afectan a nuestro confort.

En la región de Puno no se tiene estudios sobre amortiguamiento ni mucho menos aplicaciones del fluido inteligente magneto reológico, el comportamiento de un vehículo viene determinado, en gran medida, por el sistema de suspensión y los elementos elásticos que incorpore, el diseño de un sistema se realiza alcanzando un compromiso entre el confort necesario para los pasajeros, y un control optimo del vehículo.

Actualmente los amortiguadores magneto reológico tienen una gran aplicación, una de ellas son los amortiguadores magneto reológico que estos solo se aplican en autos de gama alta, lo que se pretende en esta investigación es diseñar un prototipo de un amortiguador magneto reológico, y ver el comportamiento de este amortiguador.

### **1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudio de las suspensiones semiactivas, adaptando un amortiguador magneto reológico RD-8040-1 para la suspensión delantera en un vehículo automóvil Toyota Yaris 2008.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Modelado por ordenador usando la herramienta SOLIDWORK, para la comprobación de dicha adaptación y si es necesaria la fabricación de piezas adicionales.
- b) Comprobar las modificaciones realizadas durante la etapa del modelado, a las distintas piezas no afecten a la integridad estructural de las mismas usando el método de elementos finitos, Software Ansys.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

**Guzmán (2007). En su tesis titulada: Diseño y construcción de un prototipo de amortiguador magnetoreológico. Llega a las siguientes conclusiones:**

El objetivo principal como también la conclusión principal de la tesis se detalla a continuación:

#### **Objetivo**

El objetivo general de este trabajo para comenzar con el diseño se debe considerar las diferentes áreas en las cuales se realizara algún cambio en el amortiguador para alcanzar los objetivos planteados de esta tesis, es decir, transformarlo en un amortiguador magneto

reológico. Siendo así, los cambios se harán en la parte mecánica, de fluidos, y por último se adicionara la parte electromecánica (electroimán).

### Conclusiones

- Es posible la manipulación de los nuevos materiales llamados inteligentes y realizar un sinnúmero de aplicaciones industriales o comerciales.
- Un fluido magneto reológico se comporta como un plástico de Bingham, donde se necesita vencer en primer lugar el esfuerzo umbral producido por la alineación de las partículas de hierro con el campo magnético generado por el electroimán. Superado este umbral comienza mayor a la que se tiene sin la presencia del campo magnético.
- Al realizar un agujero a través de embolo del piston del amortiguador se afecta negativamente la resistencia mecánica del mismo ante la aplicación de fuerzas de tracción y compresión que se producen en el funcionamiento del amortiguador, es decir, el área transversal del embolo debe ser mayor para que pueda soportar los mismos esfuerzos para los que fue diseñado con un embolo sin agujero.
- El peso del amortiguador MR obviamente va a ser mayor que los amortiguador convencionales por motivos tales como las partículas de hierro al aceite, el peso de la bobina del electroimán, esto dependerá del número de espiras y el porcentaje de limallas de hierro que tengan el electroimán y el fluido MR respectivamente.

**Hurel, Mandowb y García (2011). En su tesis titulada: Los Sistemas de Suspensión Activa y Semiactiva: Una Revisión.** Llega a las siguientes conclusiones:

- El artículo ha propuesto una revisión general del estado del conocimiento en el modelado y control de los sistemas de suspensión activa y semiactiva. Se han

distinguido las características de los sistemas de suspensión atendiendo a su forma de regulación: pasiva, activa y semiactiva.

- El modelado y simulación de los sistemas de suspensión resulta fundamental para el análisis de la dinámica vehicular y el diseño de controladores. En este sentido, distintos enfoques han sido propuestos para modelar la interacción con el vehículo, representar las no linealidades de los amortiguadores, o representar la cinemática del sistema de suspensión. Con todo, el modelo de un cuarto de vehículo es ampliamente utilizado en la literatura, por lo que se ha ofrecido su desarrollo mediante ecuaciones diferenciales, función de transferencia, y ecuaciones de estado, incluyendo soluciones y simulaciones en Simulink y SimMechanics.
- En cuanto al control, se trata de un problema multi-objetivo y no-lineal para el que se han propuesto tanto metodologías de control convencional basadas en un modelo matemático del sistema. como estrategias de control inteligente. Si bien el principal campo de aplicación de la suspensión activa se encuentra en los automóviles, el artículo también ha repasado otros campos de aplicación en la ingeniería.
- A la vista del estudio, se observan líneas de investigación prometedoras en el desarrollo de modelos más reales que incluyan las no linealidades del neumático en la dinámica vehicular, las aplicaciones del sistema de suspensión activa-semiactiva en entornos naturales, la utilización de procesos de optimización multiobjetivo que incorporen todos los subsistemas (el motor, la dirección, los frenos y la transmisión), los estándares de evaluación para los sistemas de control inteligente y la integración de los sistemas regenerativos de suspensión en los vehículos híbridos.

**Reyes y Lema (2013). En su tesis: Diseño, construcción e implementación de un sistema de control semiactivo de vibraciones usando fluidos magnetoreológicos para**

**el laboratorio de mecanismos y servomecanismos del DECEM. Llegan a las siguientes conclusiones:**

- Las partículas de acero, obtenidas a partir del proceso de rectificación de discos de acero, son ideales para la elaboración del fluido magnetoreológico debido a que muestran una gran inducción magnética al aplicarse un campo magnético.
- El uso de un aceite de baja viscosidad, aproximadamente de 315 cP de viscosidad dinámica, para realizar el fluido magnetoreológico, provoca en el amortiguador un coeficiente de amortiguamiento bajo, que es adecuado para nuestro sistema mecánico que está sometido a cargas pequeñas.
- Es importante analizar al FMR, considerándolo como un fluido con una composición y concentración determinada, que posee características y un comportamiento particular, el cual puede tener una variación en cuanto a su viscosidad; ya que si se analiza desde el punto de vista del aceite, este no podría tener un cambio en su viscosidad, sino en su comportamiento dinámico.
- A medida que aumenta el porcentaje de concentración de partículas de acero, aumenta su viscosidad inicial y existe un mayor rango en su variación. En los ensayos de medición de viscosidad, se puede observar que existe una variación creciente y no lineal en la viscosidad, a medida que se aplica un campo magnético creciente.
- Se pudo determinar en los ensayos del coeficiente de amortiguamiento, que existe un aumento considerable de este coeficiente a medida que se aumenta la concentración de partículas de acero del FMR, a pesar de que no existe una aplicación de campo magnético. Se determinó que a medida que se aplica un campo magnético creciente, el coeficiente de amortiguamiento va aumentando.

- Se determinó que este fluido magnetoreológico necesita de un tiempo de reposo para la reestructuración de las partículas dentro del fluido, por lo que podría compararse con el comportamiento de un fluido tixotrópico, según la clasificación reológica de los fluidos no newtonianos.
- Se determinó que este fluido magnetoreológico, aumenta su viscosidad a medida que se incrementa el campo magnético, por lo que se podría comparar con el comportamiento de un fluido reoespesante (shear-thickening), según la clasificación reológica de los fluidos no newtonianos.
- Se determinó, una vez realizado el ensayo de escalón, que es necesario un tiempo de reposo mayor a 4 min entre cada prueba realizada, para que se recupere la estructura del FMR, debido a que algunas partículas quedan cargadas magnéticamente y no regresan a su condición inicial, provocando una variación en el rango de amplitud inicial y consecuentemente un desfase en las mediciones.
- Se determinó en las pruebas realizadas en la primera y segunda posición, que el sistema permite un valor máximo de reducción de las amplitudes de oscilación, de aproximadamente un 20% y 15% respectivamente, inducido al electroimán de 12 v; y un valor mínimo de 5,4% y 2% correspondiente a cada posición, con un voltaje inducido al electroimán de 8v.

## **2.2.SUSTENTO TEÓRICO**

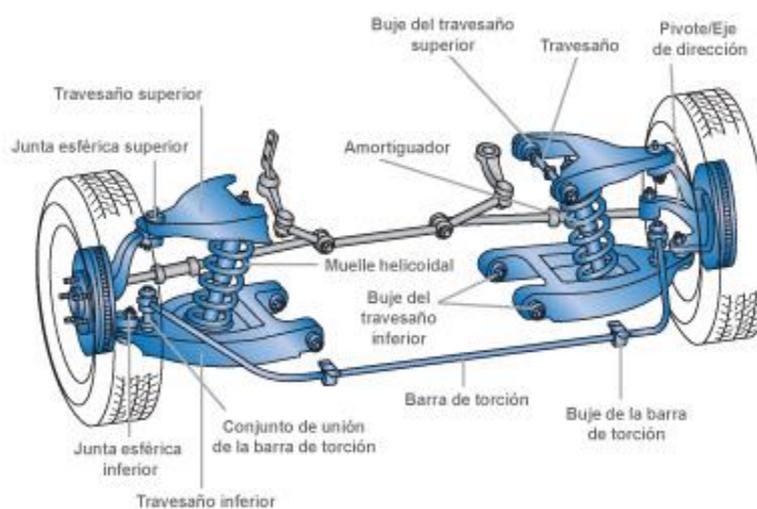
### **2.2.1. DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN**

El objetivo de este sistema es evitar que estas oscilaciones se transmitan a los pasajeros o la carga. Esto se logra a través de un conjunto de uniones elásticas bien elaboradas que constituyen el sistema de suspensión.

El sistema de suspensión comienza en el mismo neumático, capaz de "alisar" las irregularidades más pequeñas del camino, debido a su propia naturaleza elástica, y termina en el asiento, último eslabón de la cadena camino-pasajero. (Sabelotodo, 2017)

La suspensión en un automóvil, camión o motocicleta, es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que se circula para aumentar la comodidad y el control del vehículo. El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas, las cuales reciben de forma directa las irregularidades de la superficie transitada. (YP, 2016).

**Figura 1: Suspensión del automóvil**



**Fuente:** [todomecanicaa.blogspot.pe](http://todomecanicaa.blogspot.pe)

El sistema de suspensión está compuesto por una serie de elementos elásticos que se interponen entre la masa suspendida y la masa no suspendida. La principal diferencia entre ambas masas es:

- **Masa suspendida:** se compone de los mecanismos soportados por el chasis o bastidor del vehículo, grupo moto propulsor, carrocería, elementos auxiliares y de confort, pasajeros, etc.

- **Masa no suspendida:** generalmente consta de los componentes no incluidos en el apartado anterior (disco/tambor de freno, pinzas de freno o zapatas, llantas, neumáticos, palieres, etc.).

En la figura 2 se muestra la distribución de los elementos que conforman la masa no suspendida en un sistema de suspensión de un automóvil, así como su disposición en el propio vehículo.

**Figura 2: Sistema de suspensión de un Jaguar XF**



**Fuente:** jaguar.es

El diseño de un sistema de suspensión se realiza alcanzando un compromiso entre el confort necesario para los pasajeros, suspensión blanda, y un control óptimo del vehículo atenuando o incluso impidiendo cualquier movimiento relativo de la carrocería con relación al suelo, de manera que el vehículo se mantenga durante la marcha en la posición más horizontal posible, suspensión rígida o dura.

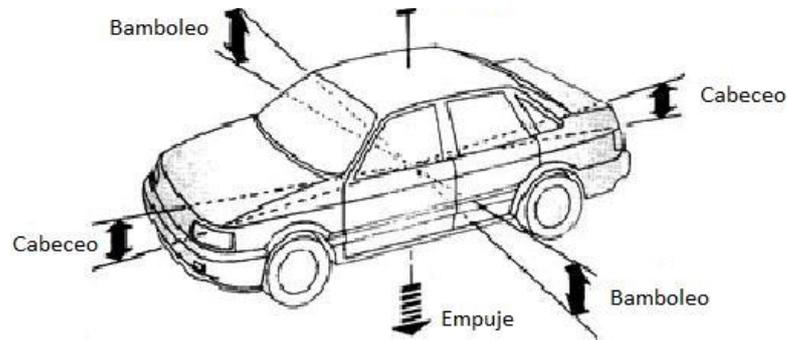
El comportamiento de un vehículo viene determinado, en gran medida, por el sistema de suspensión y los elementos elásticos que incorpore, pudiendo variar el comportamiento del vehículo mediante el reglaje de estos elementos, pasando de un vehículo con una suspensión blanda a una suspensión dura.

Además de las características ya descritas es necesario que el sistema de suspensión cumpla con otras funciones complementarias:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.
- Resistir el par motor y de frenada junto con las aceleraciones producidas en 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 ante el balanceo.

El sistema de suspensión también debe absorber las oscilaciones producidas durante la propia conducción del vehículo, incluyendo las oscilaciones creadas por distribuciones incorrectas de carga. Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del coche y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones que pueden darse en el automóvil son (Figura 3):

- **Empuje:** Son oscilaciones que se producen en torno al eje vertical y se producen al pasar por un terreno ondulado.
- **Cabeceo:** Son oscilaciones producidas a lo largo del eje transversal del vehículo y se producen principalmente en las frenadas y aceleraciones bruscas.
- **Bamboleo o Balanceo:** Son oscilaciones producidas a entorno al eje longitudinal del vehículo y se producen al tomar curvas a alta velocidad.

**Figura 3:** Oscilaciones presentes en un automóvil

**Fuente:** aficionadosalamecanica.net

La elasticidad en un sistema de suspensión depende principalmente del elemento elástico y del peso suspendido. Estos dos parámetros caracterizan en una primera aproximación, la amplitud de las oscilaciones y su frecuencia,  $f$ , que se producen en un vehículo. Estos parámetros se deben tener en cuenta en el diseño de una suspensión porque pueden ser molestas e incluso perjudiciales tanto para los pasajeros como para los distintos órganos mecánicos del vehículo. (Chacón, 2015)

### 2.2.1.1. ORIGEN – EVOLUCION

En los inicios de la industria de la automoción, los sistemas de suspensión fueron apareciendo según las necesidades existentes, considerándose que este aspecto no era fundamental en los primeros automóviles.

En los primeros carruajes los fabricantes ya intentaron hacer más cómodos los vehículos, donde los caminos empedrados de la época deberían ser una tortura para los ocupantes de los antiguos carros de tracción animal, pues cada hoyo o piedra que las ruedas pasaban, creaban un impacto que se transmitía directamente a los ocupantes.

Se hicieron varios intentos para reducir los impactos producidos por los deficitarios caminos de la época, acolchando los asientos o poniendo unos resortes en el

pescante del cochero, pero el problema aún no se resolvía hasta que alguien tuvo la idea de colgar la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal más o menos acerado que venían de los ejes de modo que el “habitáculo” quedaba suspendido por cuatro correas.

El resultado fue que aunque los golpes del rodaje eran parcialmente absorbidos por tal sistema, resultó ser una verdadera coctelera, pues se mecía y bamboleaba sin control, añadiendo al relativo confort los problemas del mareo. Sin embargo, en un estricto sentido, se puede decir, que ahí nació el concepto de suspensión: un medio elástico que además de sostener la carrocería absorbía las irregularidades del camino.

En la medida en que las suspensiones evolucionaron y fueron haciéndose más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se entiende porque las ruedas de gran diámetro limitan el efecto de las irregularidades del camino; las ruedas pequeñas las registraban más debido a que entraban en los hoyos en mayor proporción.

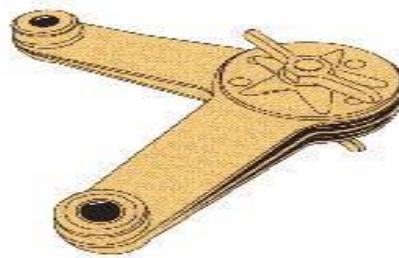
En los primeros sistemas de suspensión los ejes estaban unidos a la carrocería, lo cual provocaba movimientos bruscos en el vehículo. La primera gran evolución fue la incorporación de las ballestas que se separaban los ejes de la carrocería, lo que mejoró algo el confort en el automóvil. El inconveniente de las ballestas es la fuerza que ejercen, ya que ocasionan que el vehículo perdiera estabilidad, esto era debido a que cuando la ballesta se dispersa provocaba vibraciones y fuertes oscilaciones en el automóvil. Para solucionar estos inconvenientes se introdujo en los sistemas de suspensión el resorte helicoidal Espiral y la barra de torsión.

El inconveniente de las ballestas es la fuerza que ejercen, ya que ocasionan que el vehículo perdiera estabilidad, esto era debido a que cuando la ballesta se dispersa provocaba vibraciones y fuertes oscilaciones en el automóvil. Para solucionar estos

inconvenientes se introdujo en los sistemas de suspensión el resorte helicoidal Espiral y la barra de torsión.

Por último, se introdujeron en los automóviles los amortiguadores cuya misión es absorber las vibraciones y oscilaciones provocadas por las ballestas o los muelles helicoidales. El primer amortiguador fabricado para vehículos fue el de fricción con cinta, el cual controlaba solo el movimiento de extensión de la ballesta. Estos amortiguadores eran herederos de los amortiguadores que se montaban en las bicicletas. En la figura 4 se muestra una ilustración de cómo eran este tipo de amortiguadores.

**Figura 4: Amortiguador de fricción**



**Fuente:** sabelotodo.org

Como inconvenientes de este tipo de suspensión se puede nombrar la escasa elasticidad de su funcionamiento y, sobre todo, el enorme desgaste de los elementos que rozan entre sí, junto que su comportamiento es alterado a medida que aumenta el desgaste.

Los amortiguadores de fricción funcionan con la fuerza de fricción de los elementos rozantes, el problema de esta suspensión es que si no se superaba dicha fuerza de fricción, la suspensión permanecía bloqueada. Al superar la fuerza de fricción, la amortiguación disminuye con la velocidad, mientras que lo recomendable es a la inversa, aumentando la amortiguación del vehículo al aumentar la velocidad de desplazamiento de la masa suspendida.

Estos sistemas rudimentarios fueron la base de los sistemas de suspensión actuales. A lo largo de la historia de la automoción se han buscado otros sistemas que se adapte a las características de los modernos automóviles. Mientras los especialistas en suspensión perfeccionan los muelles y amortiguadores hasta conseguir los sistemas que utilizamos hoy en día, algunos fabricantes buscaron otros sistemas de suspensión alternativos.(Chirinos, 2017)

#### **a) AMORTIGUADORES DE FRICCIÓN**

Los primeros amortiguadores eran de fricción o rozamiento, la figura 5 muestra un típico, están constituidas por dos brazos, uno de los cuales se acopla al mecanismo de la rueda, y el otro a la carrocería del vehículo.

Esos brazos terminan en unos discos separados por un material de fricción y apretados por una pieza de acero templado que funciona como resorte de diafragma. Un perno en el centro mantiene el conjunto y sirve además para apretar más o menos el resorte de diafragma y así lograr mayor resistencia por fricción al movimiento relativo de los brazos.

Cuando el vehículo transita por un camino abrupto y las ruedas suben y bajan copiando el perfil del terreno las ruedas se mueven hacia arriba y hacia abajo con respecto al vehículo comprimiendo los muelles de la suspensión, estos brazos ofrecen resistencia al movimiento para amortiguar las posibles oscilaciones libres del sistema y hacer mas confortable el camino.

**Figura 5: Amortiguador de fricción**


Fuente: [mecanicautomotores.blogspot](http://mecanicautomotores.blogspot)

Estos amortiguadores aunque efectivos eran de doble acción, es decir se oponen al movimiento relativo de las ruedas y el vehículo en las dos direcciones, tanto cuando la rueda sube respecto al vehículo como cuando bajan. Este doble efecto es en ocasiones indeseado porque "endurecen" un tanto la suspensión, además su duración no es muy larga ya que el material de fricción está sometido a un severo trabajo de desgaste especialmente en caminos accidentados.

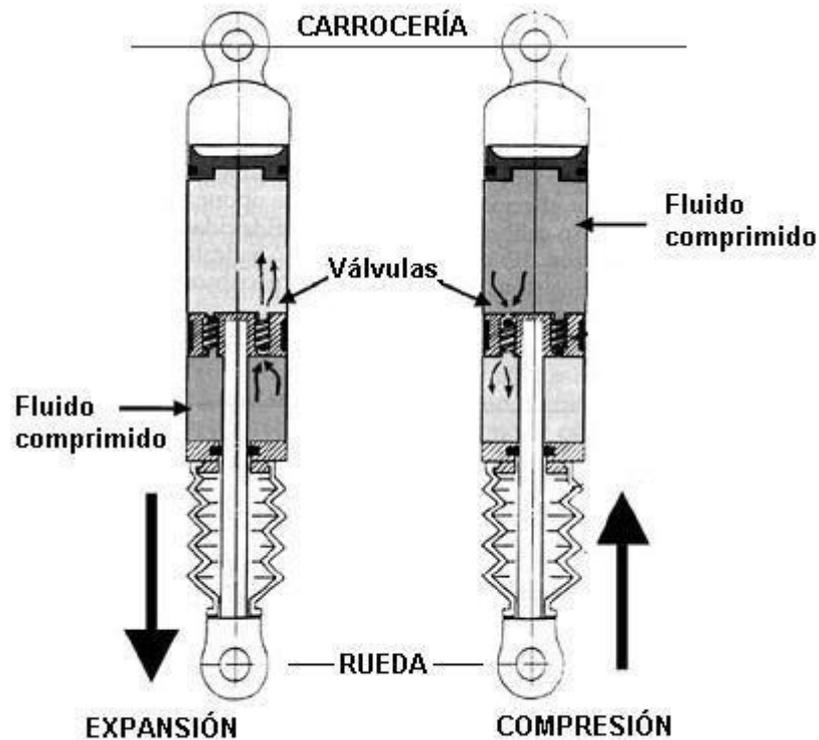
Hoy en día los amortiguadores de fricción para los automóviles han caído en desuso y en su lugar se utilizan los amortiguadores hidráulicos. (Mecánicas de autos, 2013)

## b) AMORTIGUADORES

El amortiguador es un tubo dividido en dos cámaras que es llenado con un fluido que puede ser aceite hidráulico o gas. Este mismo fluido pasa por unas válvulas de paso de un solo sentido ubicadas en interior del tubo. El proceso en resumidas cuentas, es el

siguiente: al recibirse un impacto, la energía que recibe el amortiguador es transformada en energía calórica la cual se disipa al pasar el fluido y permite mantener estable al automóvil.

Figura 6: Amortiguador



Fuente: definiciónabc.com

En palabras más prácticas, debo decirles que esta pieza es un elemento de seguridad tan necesario e imprescindible en los vehículos como los son los airbags o los cinturones. Pero ello es recomendable, periódicamente hacer revisar los amortiguadores para detectar que no estén desgastados por el uso. Si no se revisan: puede perderse la adherencia al piso de los neumáticos, la distancia del frenado se extenderá, los neumáticos se deteriorarán más rápidamente y en los días de lluvia el peligro es mucho mayor. (Definición ABC, 2017)

### 2.2.1.2. ELEMENTOS

#### A) ELEMENTOS ELÁSTICOS

La misión de los elementos elásticos es impedir que las oscilaciones del terreno lleguen a la carrocería en forma de golpes, mejorando el confort y la seguridad del vehículo al asegurar el contacto de las ruedas con el terreno, mejorando la estabilidad y la capacidad para dirigir el vehículo.

- **Neumáticos:** El neumático es considerado uno de los elementos más importantes del automóvil, debido a que tiene que soportar el peso del vehículo, las fuerzas de inercia producidas en las distintas aceleraciones, debe transmitir el par producido por el motor al firme. Todo ello produce grandes esfuerzos tangenciales en la banda de rodadura, y además, es el encargado de mantener la trayectoria del vehículo en las ruedas directrices.

El neumático debe estar en permanente contacto con el suelo. Esto hace que sea el primer elemento que entra en contacto con las irregularidades del terreno, debido a su baja elasticidad sólo absorbe las pequeñas irregularidades del terreno, como por ejemplo las juntas de dilatación de los puentes.

- **Ballestas:** Las ballestas permiten absorber las irregularidades grandes del terreno, evitando que se transmitan a la carrocería. Cuando el vehículo pasa por una irregularidad, la ballesta convierte ese “impacto” en una oscilación. Las ballestas se componen por una serie de hojas de acero elástico, unidas por el centro, formando un conjunto elástico y de gran resistencia a la rotura. En la figura 7 se muestra una ballesta instalada en el eje posterior de un vehículo de tracción integral.

Figura 7: Ballesta instalada en el eje trasero de un Humer H2



Fuente: tuhomologacion.com

**Muelles helicoidales:** Los muelles tienen la misma misión que las ballestas, absorber las irregularidades del terreno. La sustitución de las ballestas por los muelles es debido a que estos presentan la ventaja de poseer una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso excesivo.

Están constituidos por un hilo de acero de un diámetro comprendido generalmente entre 10 y 15 mm arrollado en forma de hélice, cuyas espirales extremas se hacen planas para conseguir un buen asiento tanto en la carrocería como en el amortiguador. La flexibilidad del muelle es función del diámetro del hilo utilizado, número de espirales, ángulo de inclinación de las mismas, diámetro del muelle y calidad del acero utilizado en su construcción. Los muelles helicoidales trabajan por torsión del hilo que lo constituye, bajo el efecto de una carga, las espiras se aproximan entre ellas, conservando intervalos idénticos.

- **Barra de torsión:** Tienen las mismas aplicaciones que el muelle helicoidal y la ballesta. Se basan en el principio de que si una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos se le aplica por el otro un esfuerzo de torsión, esta varilla tendrá a retorcerse, volviendo a su forma inicial debido a su elasticidad cuando cesa el esfuerzo de torsión.

- **Cojines neumáticos:** Los cojines neumáticos, también denominados bolsas de aire, se utilizan como elementos flexibles debido a que cada vez son más resistentes los cauchos y las fibras de refuerzo. En esta suspensión se sustituye el muelle helicoidal por un fuelle o cojín neumático. Estas bolsas de aire proporcionan una suspensión muy suave y suficientemente duradera.

La ventaja principal de las bolsas de aire comparadas con el resto de los muelles es que su presión interior puede ser modificada de acuerdo a la carga y con ello mantener la misma altura con el vehículo cargado, además de proporcionar casi la misma suavidad de marcha con independencia de la carga aprovechando la compresibilidad del aire interior. En la figura 8 puede verse un típico montaje de las bolsas de aire en un camión pesado. Estas bolsas de aire no sostienen el eje en su sitio tal cual lo que hace necesario, igual que en los muelles helicoidales, diversos dispositivos que cumplan con este propósito.(Alberdi, 2010)

Figura 8: cojinetes neumáticos, eje posterior de un vehículo pesado.



**Fuente:** [americansmartrucks.com.mx](http://americansmartrucks.com.mx)

## **B) ELEMENTOS DE AMORTIGUACIÓN**

Los elementos de amortiguación absorben las oscilaciones producidas por los elementos elásticos, evitando que las oscilaciones se transmitan a la carrocería.

Los elementos elásticos tienen excelentes propiedades elásticas pero poca capacidad de absorción de energía mecánica, por lo que es necesario montar un elemento que frene las oscilaciones producidas en su deformación. Debido a este efecto, los resortes se deben montar con un amortiguador de doble efecto para frenar las oscilaciones producidas tanto en la compresión como en la expansión.

- **Los amortiguadores**

El principio del amortiguador se le adjudicó al Ingeniero James Watt, quien creó un dispositivo que regulaba las vibraciones de la máquina a vapor. Al principio, se le conoció como “regulador de bolas” e introdujo los requerimientos básicos de operación que son usados actualmente en el amortiguador.

El amortiguador tiene por finalidad reducir las oscilaciones del elemento flexible, reduciendo de esta manera tanto el número de oscilaciones como la amplitud de las mismas. Evitando la transmisión de las oscilaciones a la carrocería que se produzca el efecto de resonancia en el elemento elástico.

En la figura 9 se muestra una ilustración de un amortiguador hidráulico telescópico. Este tipo de amortiguadores es el más habitual en los automóviles de fabricación en serie.

Figura 9: detalle de un amortiguador “monotubo” de un jaguar XF



Fuente: autorecambiosstore.es

- **Descripción de un amortiguador y su funcionamiento**

Un amortiguador es, básicamente, una bomba de aceite. A un extremo del vástago se conecta un pistón que funciona contra el fluido hidráulico del tubo interior. A medida que la suspensión se desplaza arriba y abajo, el fluido hidráulico es empujado a través de unos orificios calibrados hacia dentro del pistón.

El amortiguador transforma en calor la energía potencial almacenada por el muelle durante el movimiento de compresión. La resistencia que un amortiguador desarrolla depende de la velocidad de la suspensión y del número y tamaño de los orificios del pistón junto con la cantidad y el espesor de los discos de la válvula. Otra característica es que la resistencia es inversa a la velocidad, cuanto más rápido se mueva la suspensión, más resistencia suministra el amortiguador.

- **Función de un amortiguador**

El sistema de suspensión debe diseñarse alcanzando un compromiso entre la comodidad de los ocupantes y la propia estabilidad del vehículo. Con estas condiciones, las funciones principales que debe acometer un amortiguador son las siguientes:

Controlar el movimiento del muelle y de la suspensión, incluyendo los rebotes, oscilaciones (inclinación y balanceo), cabeceo (en la frenada) y hundimientos (en la aceleración).

- Ofrecer una conducción de las ruedas en contacto con la carretera.
- Ayudar a mantener las ruedas en contacto con la carretera.
- Mantener la alineación dinámica de las ruedas.
- Hacer que el desgaste de los neumáticos y los frenos esté equilibrado.
- Reducir el cansancio del conductor.

### C) ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Para que el coche esté suspendido sobre las ruedas y no apoyado en ellas (como, por ejemplo un kart) hace falta, además de un elemento elástico y un amortiguador, unos elementos de unión entre la pieza que soporta la rueda y el bastidor. Estos elementos deben permitir el movimiento relativo entre las ruedas y el bastidor.

Los elementos de guiado se encargan de absorber los esfuerzos de tracción del grupo moto propulsor y transmitirlos a la carrocería, así como los esfuerzos del eje directriz y los esfuerzos producidos durante la conducción. En cualquier caso, son la única unión física de los ejes con el bastidor y soportan todos los esfuerzos excepto la carga.

- **Casquillos o silentblock:** Los castillos o silentblock son aislantes de caucho vulcanizado u otro material elastómero que se encargan de amortiguar las reacciones en los apoyos de la suspensión. Su misión es amortiguar los golpes existentes entre

dos elementos en los que existe movimiento relativo. Suelen montarse a presión o atornillados.

- **Brazo de suspensión:** Los brazos de suspensión es un elemento de unión, diseñado para soportar esfuerzos en la dirección del propio brazo (tracción o compresión). Normalmente no están diseñados para soportar esfuerzos laterales (paralelos a los ejes de sus articulaciones). Existen diferentes nombres para los brazos, con significados más o menos específicos según su ubicación y función («bieletas», «tirantes» o «palas»). En la figura 10 puede verse como queda montado en un vehículo un brazo de suspensión inclinado.

**Figura 10: Brazo instalado en una suspensión**



**Fuente:** mufflershop.de

- **Mangueta:** La mangueta de la suspensión es una pieza fabricada con acero o aleaciones que une el buje de la rueda a los elementos de la suspensión, tirantes, trapecios, amortiguador, etc. En el interior del buje se montan los rodamientos o cojinetes que garantizan el giro de la rueda.
- **Rotula:** Las rótulas constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, al permitir el pivota miento y giro manteniendo la geometría de las ruedas.

#### **D) ELEMENTOS DE MEJORA**

En los sistemas de suspensión de los automóviles se puede utilizar otros dos tipos de elementos para mejorar el comportamiento dinámico del vehículo.

- **Barras estabilizadoras:** Consisten en una barra de acero elástico cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas; Al tomar una curva una de las ruedas tiende a bajar y otra a subir, esto crea un par de torsión en la propia barra impidiendo el movimiento y por tanto que la carrocería se incline hacia el exterior de las curvas manteniendo la carrocería estable. El mismo efecto se produce cuando una de las ruedas encuentra un bache u obstáculo, creando, al subir o bajar la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga horizontal.
- **Barras transversales o barra panhard:** Barra transversal al sentido de la marcha y oblicua con relación al eje. Permite un movimiento vertical del bastidor con relación al eje, pero impide el movimiento transversal. En la figura 11 se muestra un sistema de suspensión de un eje trasero rígido en el que se han incorporado la barra estabilizadora y la barra transversal para mejorar la eficiencia del sistema de suspensión.

Figura 11: suspensión trasera del Ford Mustang con barra estabilizadora y transversal.



Fuente: forocoches.com

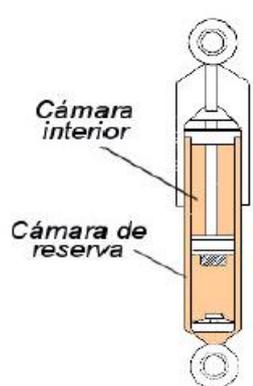
### 2.2.1.3. TIPOS DE AMORTIGUADOR

Actualmente existen dos tipos de amortiguadores en el mercado: los amortiguadores bitubo o de doble tubo y los amortiguadores mono tubo. A continuación se describen las características principales de los amortiguadores bitubo y mono tubo.

#### a) BITUBO

Los amortiguadores bitubo son los más extendidos en la actualidad. Se dividen en presurizados (aceite) y no presurizados (aceite y gas). El pistón y el cilindro se encuentran en el interior de una cámara mayor. El aceite fluye por el cilindro a través del pistón y también a la segunda cámara a través de una válvula situada entre ambas. En la figura 12 se muestra un dibujo simplificado de un amortiguador bitubo, de uso convencional en la industria del automóvil.

Figura 12: Esquema simplificado de un amortiguador bitubo

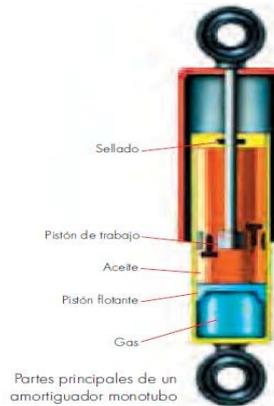


Fuente: slideplayer.es

Hoy en día los amortiguadores bitubo más usados en automoción son los bitubo de gas a baja presión. Esta disposición es similar a un amortiguador convencional, pero con este sistema se consigue mejorar las prestaciones de los amortiguadores de doble tubo convencionales.

La diferencia que presenta el amortiguador de gas a baja presión es la incorporación en el tubo de una cámara con nitrógeno a una presión de 2,5 a 8 bares, figura 13, que es introducido una sola vez en el momento de la fabricación del mismo.

**Figura 13: Partes de un amortiguador bitubo de gas a baja presión**



**Fuente:** autobild.es

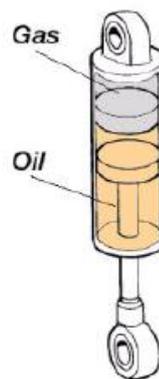
Las ventajas que se obtiene con el amortiguador bitubo de gas a baja presión son:

- Respuesta de la válvula más sensible para pequeñas amplitudes.
- Mejores propiedades de amortiguación en condiciones extremas (grandes baches).
- Reducción de ruido hidráulico.
- Siguen operativos aunque pierdan el gas.
- Los amortiguadores bitubo presurizados tienen la ventaja añadida, respecto a los monotubo, de poseer una menor longitud y fricción para las mismas condiciones de operación.

## b) MONOTUBO

De aparición más tardía que los amortiguadores bitubo, aunque cada vez tienen una mayor implantación, consta de dos cámaras principales, una con aceite y otra con gas (normalmente nitrógeno) que están separados por un pistón flotante. El volumen de la cámara es variable, según la compresión que sobre el gas ejerzan las fuerzas que actúan sobre el pistón. Solamente hay válvulas en el pistón. En la figura 14 se muestra un dibujo simplificado de un amortiguador bitubo, de uso convencional en la industria del automóvil.

Figura 14: esquema simplificado de un amortiguador monotubo



Fuente: slideplayer.es

Actualmente existen una gran variedad de amortiguadores monotubo, debido a la evolución realizada en la industria automovilística. A continuación se comentan las tres evoluciones más importantes que ha sufrido este tipo de amortiguador:

- **Hidráulicos:** Constan de un pistón insertado en un cilindro en el que hay aceite. Distintos orificios permiten el paso del aceite de un lado a otro del pistón. Su ventaja es su sencillez que permite la ausencia de mantenimiento y la capacidad para ejercer mayor amortiguación cuanto mayor es la presión.

- **Hidráulicos con válvulas:** Los agujeros del amortiguador hidráulico son sustituidos por unas válvulas que permiten el paso del aceite bajo una determinada presión. Ofrecen un comportamiento algo más suave y eficaz.
- **Amortiguador de gas de alta presión monotubo:** En el extremo de estos amortiguadores se dispone de una pequeña cantidad de nitrógeno a alta presión (de 25 a 30 bares). El gas se comprime por la acción del fluido hidráulico almacenando la energía. (Cuesta, 2003)

#### 2.2.1.4. CLASIFICACIÓN

Existen muchos criterios para la clasificación de los sistemas de suspensión, debido a que se pueden clasificar según la geometría, del elemento amortiguador, componentes que forman la amortiguación, etc.

En este proyecto se hace referencia a dos tipos de clasificaciones. La primera clasificación atiende a la capacidad que tiene las ruedas opuestas de girar con independencia una de otra, esta clasificación hace referencia al tipo de construcción geométrica o estructural. La segunda clasificación atiende a los diferentes elementos de amortiguación que pueden ser instaladas en las distintas configuraciones geométricas existentes.

La clasificación de las suspensiones no está exenta de problemas, por ejemplo, estructuralmente se puede hablar de «suspensiones multibrazo», pero no hay una convención sobre cuántos brazos son necesarios para ser «multi», y ni siquiera sobre lo que es un «brazo». Hay distintos tipos de suspensiones que se podrían llamar «multibrazo» y que funcionalmente son muy distintas.

#### A) SEGÚN LA GEOMETRÍA

En la clasificación según la geometría, engloban a tres grupos de suspensión principales: suspensiones de eje rígido, semirrigidas e independientes. En este apartado se procede a comentar las principales características de los tres tipos de suspensiones.

- **Suspensiones de eje rígido**

La suspensión de eje rígido también es denominada “sistema dependiente”. En esta configuración las ruedas del mismo eje están conectadas mediante un elemento rígido, normalmente una barra. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra del mismo eje.

En la figura 15 podemos ver como al elevarse una rueda, se extiende su inclinación al eje y de este a la otra rueda. Como el eje va fijado directamente sobre el bastidor, la inclinación se transmite a todo el vehículo.

Figura 15: Representación de un eje rígido



Fuente: [taringa.net](http://taringa.net)

Como principales ventajas de los ejes rígidos destacan por la sencillez de diseño, un menor coste de diseño y fabricación, no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. Resulta muy robusto para conducción off road y para soportar grandes cargas. Esto hace que esta configuración, actualmente, se utilice en ejes traseros de todo terreno, pick up, y camiones de bajo y gran tonelaje.

Por el contrario, las suspensiones de eje rígido presenta el inconveniente de que al estar unidas ambas ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje, el peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera. Esto hace que sean poco cómodas para los pasajeros y presentar una menor seguridad. En la figura 16 se puede ver una representación esquemática de un sistema de suspensión rígida perteneciente el eje trasero de un vehículo con tracción delantera.

**Figura 16:** Eje regido instalado en un Renault Espace



**Fuente:** forocoches.com

- **Suspensión semirrígida**

Las suspensiones semirrígidas se diferencian de las suspensiones rígidas en que transmiten de forma parcial las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida totalmente, tampoco es independiente.

El "eje torsional" es un tipo de suspensión semirrígida muy utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos de tracción delantera, tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse elásticamente un cierto ángulo cuando una de las ruedas sobrepasa un obstáculo. Este sistema mediante la torsión del puente permite, una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan la hacen ideal para instalarla junto con otros componentes debajo del piso. En la figura 17 se muestra una suspensión semirrígida, con muelles y amortiguadores, montada en el eje posterior de un vehículo de tracción delantera.

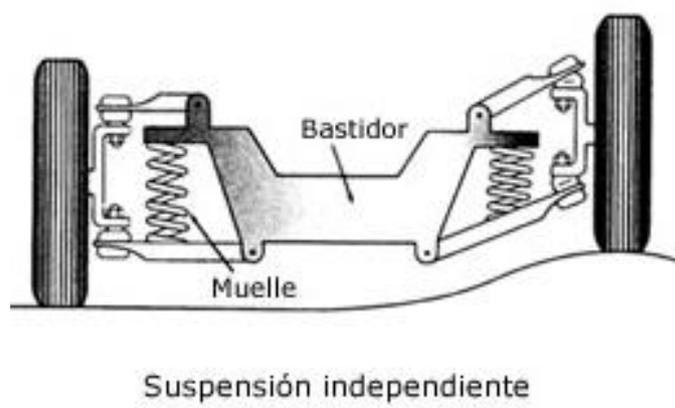
**Figura 17:** Suspensión semirrígida instalada en un Mazda 2



**Fuente:** taringa.net

- **Suspensión independiente**

En la configuración de suspensión independiente las ruedas están conectadas al cuerpo del vehículo mediante un sistema articulado que les permite desplazarse verticalmente sin afectar a la rueda opuesta, ver figura 18. Esto genera mayor estabilidad, adherencia al suelo y confort.

**Figura 18:** Representación de un eje independiente

**Fuente:** taringa.net

Actualmente la suspensión independiente es la única que se utiliza en el eje directriz de vehículos turismos y también en el eje propulsión. También se utiliza cada vez más en el eje posterior (en vehículos de tracción delantera) al presentar la ventaja de ser la más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje. Otra ventaja añadida de la suspensión independiente es que posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud.

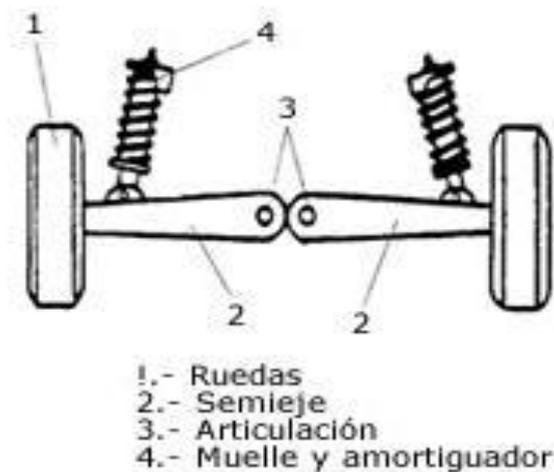
Por contra las suspensiones independientes tienen la desventaja de tener un mayor coste, presentar una mayor complejidad del sistema y para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas.

A pesar de los inconvenientes que presenta esta suspensión, cada vez tiene una mayor implantación en los vehículos automóviles, por ellos a continuación se describen

las características más relevantes de los principales tipos de suspensión independientes así como sus características frente al resto de suspensiones:

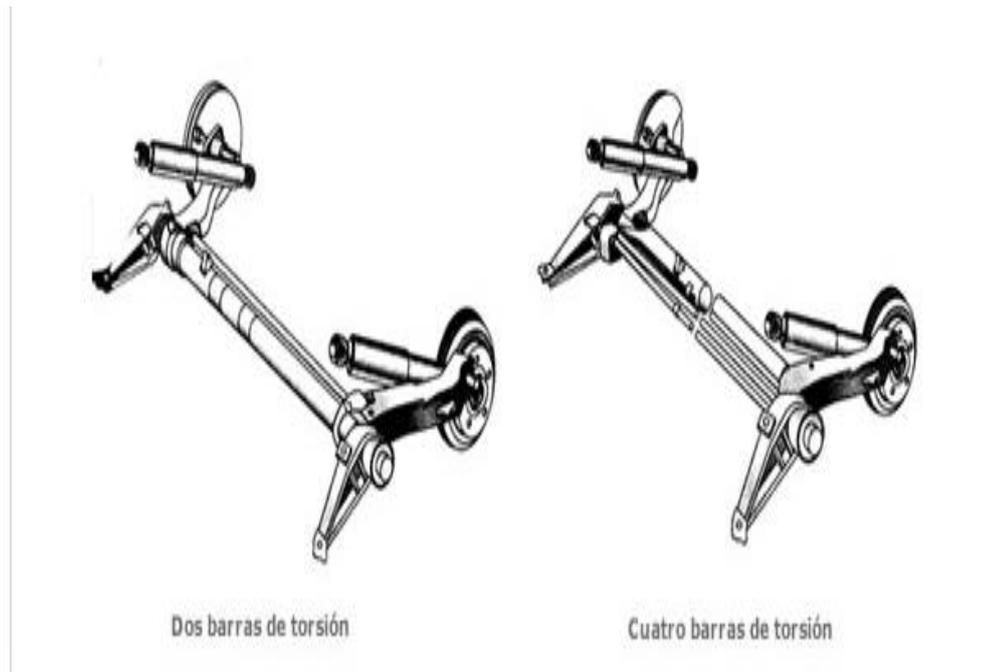
- a) **Suspensión de eje oscilante:** La peculiaridad de la suspensión mediante eje oscilante se encuentra en que el elemento de rodadura y el semieje son solidarios (salvo el giro de la rueda), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación próxima al plano medio longitudinal del vehículo, ver figura 19. Este tipo de suspensión no se puede usar como eje directriz puesto que en el movimiento oscilatorio de los semiejes altera notablemente la caída de las ruedas en las curvas.

Figura 19: Elementos de una suspensión de eje oscilante



Fuente: [aficionadosalamecanica.net](http://aficionadosalamecanica.net)

- b) **Suspensión de brazos tirados o arrastrados:** La suspensión de brazos tirados (figura 20) realiza la unión de la rueda y el bastidor mediante una articulación por delante del eje, mediante un brazo que en su parte anterior está unido al bastidor y en la posterior a la rueda. En cualquier caso, las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la carrocería.

**Figura 20:** Suspensión de brazos tirados

**Fuente:** aficionadosalamecanica.net

El elemento de unión puede ser más complejo que un brazo, bien un triángulo (dos puntos de unión al bastidor en lugar de uno) o bien varios brazos independientes. También puede haber diferencias en el sistema elástico utilizado.

En la figura 21 se muestra una figura que ilustra una suspensión de "brazos semiarrastrados" y tiene la ventaja de que no precisa estabilizadores longitudinales debido a la componente longitudinal que tiene el propio brazo o soporte.

**Figura 21:** Suspensión trasera semirrígida de brazo tirado

**Fuente:** motor.es

**Suspensión McPherson:** La suspensión McPherson fue desarrollada por Earle S. McPherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. La suspensión McPherson es el sistema más compacto y liviano. Actualmente es el sistema de suspensión más utilizado en el eje delantero de los automóviles, permite un menor consumo de gasolina, un menor número de componentes en el sistema logrando así ahorro de espacio del motor, por último, permite un sistema de tracción delantera más sencillo.

En la figura 22 se muestra la disposición habitual de los elementos en los sistemas de suspensión McPherson.

**Figura 22:** Esquema suspensión McPherson en un eje delantero

**Fuente:** actualidadmotor.com

c) **Suspensión de paralelogramo deformable:** La suspensión de paralelogramo deformable junto con la McPherson (Figura 23) es la más utilizada en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero. Esta suspensión también se denomina: suspensión por trapecio articulado o suspensión de triángulos superpuestos.

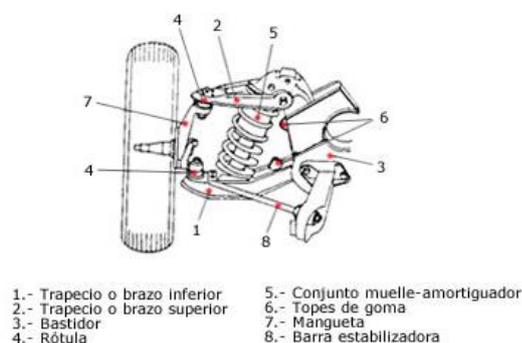
**Figura 23:** Esquema de una suspensión de paralelo deformable



**Fuente:** aficionadosalamecanica.net

En la figura 24 puede verse una figura donde se muestra una suspensión convencional paralelogramos deformables del tren posterior de un vehículo.

**Figura 24:** Partes de una suspensión paralelogramo deformable



**Fuente:** aficionadosalamecanica.net

d) **Suspensiones multibrazo o multilink:** Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto básico que sus precursoras las suspensiones de paralelogramo

deformable, es decir, el paralelogramo está formado por dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor. La diferencia fundamental que aportan estas nuevas suspensiones es que los elementos guía pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Gracias a esta variante, las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros de la rueda, (la caída o la convergencia), de la forma más apropiada de cara a la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil.

Se pueden clasificar en dos grupos: con elementos guía transversales u oblicuos (figura 25), con funcionamiento similar a los de paralelogramo deformable, y de brazos de guía longitudinal, cuyo montaje recuerda a la suspensión de brazos arrastrados longitudinalmente.(Chirinos, 2017, p. 10 – 13)

**Figura 25:** Esquema de una suspensión multibrazo delantero de un Audi A6



**Fuente:** aficionadosalamecanica.net

#### 2.2.1.5. SEGÚN EL SISTEMA DE CONTROL

Actualmente en la industria de la automoción existen tres suspensiones diferentes según su comportamiento frente a las irregularidades del terreno, estas son las

suspensiones pasivas, activas y las semi-activas. A continuación se explican las diferencias entre los tres modelos existentes

#### **a) SUSPENSIÓN PASIVA**

En la suspensión pasiva tiene cabida todos los sistemas de suspensiones convencionales o tradicionales. La característica principal de estos sistemas es que, una vez que están instalados en el vehículo, los parámetros de la suspensión (resistencia, altura,...) no se pueden controlar desde fuera.

Todos los muelles y amortiguadores tradicionales se consideran suspensiones pasivas. En la figura se muestra el esquema de una suspensión pasiva.

A día de hoy, este tipo de suspensiones son las más comunes es los vehículos debido principalmente a su menor coste, pero presentan inconvenientes, El principal inconveniente es el de lograr el compromiso necesario entre el confort para los ocupantes del vehículo y la estabilidad necesaria para obtener una conducción segura.

#### **b) SUSPENSIÓN ACTIVA**

La suspensión activa surge como una respuesta a la necesidad para desarrollar vehículos seguros y capaces de combinar grandes niveles de confort, control y maniobrabilidad. La capacidad de controlar el reparto de carga entre el eje delantero y trasero permite una mejor maniobrabilidad del vehículo.(Chirinos, 2017, p. 14 – 17)

### **2.2.1.6. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**

#### **a) MODELADO (ANSYS)**

ANSYS es uno de los programas de simulación con más fama mundialmente (si no el que más). Fue creado en los años 70 por especialistas en cálculos de elementos

finitos y dinámica de fluidos. Fue el primer programa en calcular un mecanismo con un millón de grados de libertad, así como el que fue usado durante la investigación del ataque terrorista del 11-S para simular las condiciones que propiciaron el colapso del World Trade Center. (Luque, Álvarez y Vera, 2004)

#### **b) MALLADO (SOLIDWORK)**

El análisis de elementos finitos (FEA) proporciona una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico. Luego, el programa subdivide el modelo en partes pequeñas de formas sencillas llamadas elementos, que están conectadas en puntos comunes llamados nodos. El proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se llama mallado. Los programas de análisis de elementos finitos consideran al modelo como una red de elementos interconectados.

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El software crea automáticamente una malla combinada de elementos sólidos, de vaciado y de viga. La malla sólida es adecuada para los modelos voluminosos o complejos en 3D. Los elementos de vaciado son adecuados para las piezas delgadas (como las chapas metálicas). Los elementos de viga son adecuados para miembros estructurales.

La precisión de la solución depende de la calidad de la malla. En general, cuanto más delgada es la malla mayor es la precisión. La malla generada depende de los siguientes factores:

- Geometría creada.
- Active opciones de malla.

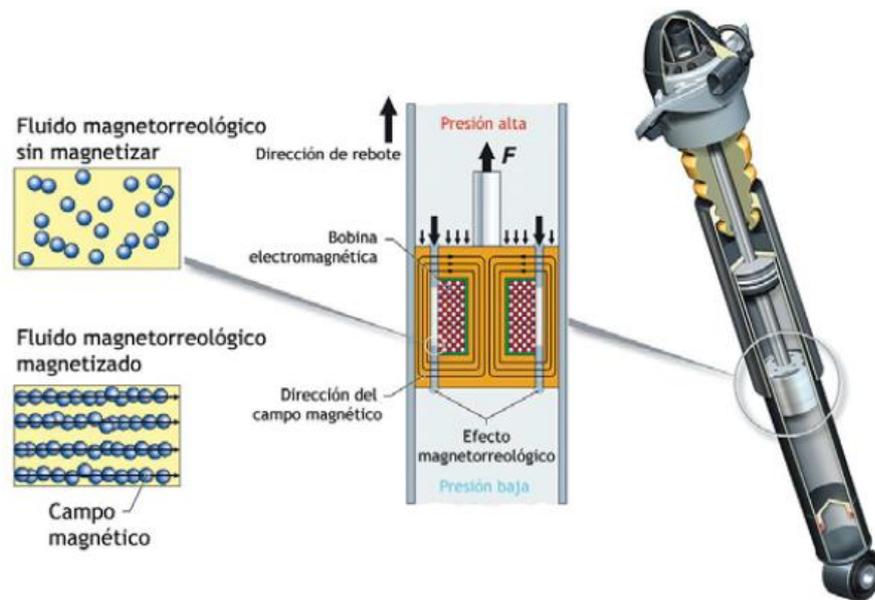
- Control de malla.
- Condiciones de contacto.

Tamaño global del elemento y tolerancia de malla. El software recomienda un tamaño de elemento y una tolerancia globales. El tamaño global del elemento se refiere a una longitud promedio de una arista del elemento. La cantidad de elementos aumenta rápidamente al utilizar un tamaño global del elemento más pequeño.(Bassault Systemes, 2011)

### **2.2.2. AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO**

El fabricante de componentes para la automoción Delphi fue el primero en desarrollar un sistema de amortiguación basado en amortiguadores reológicos para un automóvil. Este sistema de suspensión fue presentado en sociedad en el salón de Fráncfort en 1999. El sistema desarrollado por Delphi consistía en una suspensión semiactiva con amortiguador de fluido magneto-reológico llamado “Magnetic Ride”. La diferencia respecto a otros sistemas de suspensión se encuentra en su interior, el líquido que circula dentro del vástago contiene aproximadamente un 40% de partículas metálicas en suspensión. El sistema Magnetic Ride, está compuesto por el fluido magnético-reológico (figura 26), bobinas electromagnéticas, sensores que detectan tanto el desplazamiento de la suspensión como la aceleración transversal y longitudinal y por una unidad de mando.(López, et al, 2003, Fundación de EROSKI, 2007, (Lord, 2007)

Figura 26: Amortiguador magneto reológico



Fuente: cabrasuspensiondevelopment.com

La consistencia de la suspensión depende en gran medida de la intensidad del campo magnético que se aplique. El modo de funcionamiento del sistema Magnetic Ride, es de la siguiente manera: los sensores de desplazamiento de la amortiguación mandan señales a la unidad de mando la cual aplica una intensidad de corriente a cada amortiguador dependiendo de la señal que previamente ha recibido de la unidad de mando.

Esta intensidad de corriente la recibe la bobina electromagnética del amortiguador, variando el campo magnético en relación con la intensidad recibida y por lo tanto variando la densidad y viscosidad del fluido MR. (Domínguez, et al, 2012)

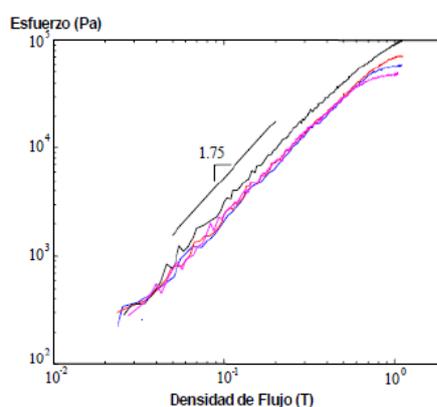
### 2.2.2.1. PROPIEDADES REOLÓGICAS

Las propiedades reológicas de los fluidos dependen de la concentración y de la densidad de las partículas, de su distribución y tamaño, de las propiedades del fluido

portador, de la presencia de aditivos adicionales, de la intensidad del campo aplicado y de la temperatura de trabajo.

Las relaciones que guían la interdependencia de estos factores son altamente complejas a la par que importantes, ya que de ellas depende la optimización del desarrollo de estos fluidos para aplicaciones importantes. De esta manera, en la figura 27 se muestra el esfuerzo de corte en un fluido en función de la densidad de flujo magnético a una velocidad de corte elevada (el orden ascendente de los registros corresponde a un incremento en la fracción de volumen de hierro).(Cupich y Elioano, 1998)

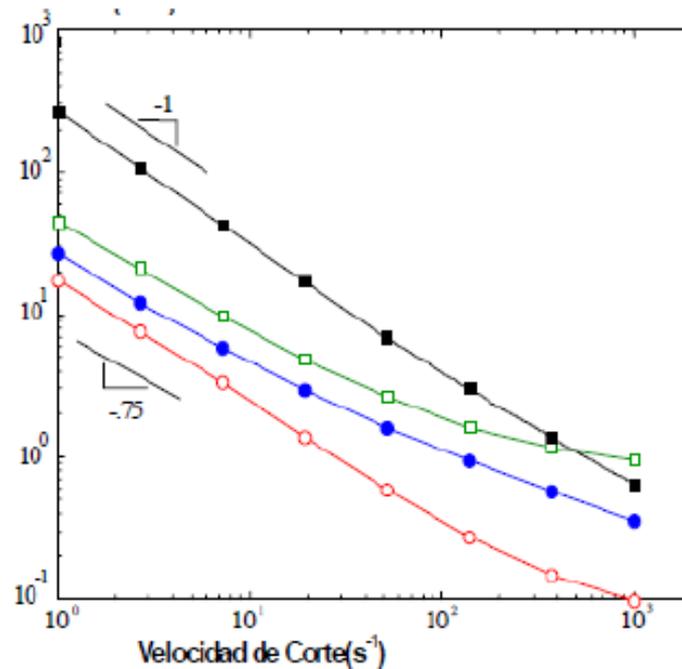
**Figura 27:** Gráfica esfuerzo-densidad de flujo magnético a velocidad de corte elevada



**Fuente:** [slideshare.net/aitorbar/mecanizado-de-alta-velocidad](https://www.slideshare.net/aitorbar/mecanizado-de-alta-velocidad)

Es importante destacar que la viscosidad del fluido en ausencia de un campo magnético es más significativa la aportación del aceite portador, de los agentes de suspensión y de la carga de partículas. La figura 28 muestra la viscosidad de cuatro fluidos magneto-reológicos en función del esfuerzo de corte al que se encuentran sometidos. Puede observarse que dicha viscosidad no es proporcional a la carga de metal presente.(Bregni, 2010)

Figura 28: Viscosidad de fluidos magnéticos en función de la velocidad de corte



Fuente: [slideshare.net/aitorbar/mecanizado-de-alta-velocidad](https://www.slideshare.net/aitorbar/mecanizado-de-alta-velocidad)

#### 2.2.2.2. PROPIEDADES INTELIGENTES

En la actualidad, el vocablo “inteligente” se ha adoptado como un modo correcto para calificar y describir a una clase de materiales que presentan la capacidad de cambiar sus propiedades físicas tales como la rigidez, la viscosidad, la forma, el color, etc. en presencia de un estímulo concreto.

Hoy en día, no existe un criterio para aplicar este término a cualquier material, pero sí que consta un acuerdo en los criterios que deben presentar dichos materiales. Estos criterios o condiciones son las siguientes:

- Presentan sensores de reconocimiento y medida de la intensidad del estímulo ante el que reaccionará el material para obtener datos y poder decidir cuándo y cuánto estimular el fluido.

- A su vez presentan “actuadores”, embebidos o intrínsecos, que responden ante dicho estímulo.
- Para controlar la respuesta, que debe tener un tiempo muy pequeño, presentan mecanismos de control y selección de la misma.
- El sistema regresa a su estado original en cuanto cesa el estímulo.

Así se puede definir un sistema inteligente como un “sistema o material que presenta sensores, “actuadores” y mecanismos de control, intrínsecos o embebidos, por los cuales es capaz de sentir un estímulo, de responder ante él de una forma predeterminada en un tiempo apropiado y de volver a su estado original tan pronto como el estímulo cesa”.

A continuación se describen los materiales inteligentes usados más comúnmente en la industria.

#### **a) MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA**

Materiales que reaccionan bajo cambios físicos o químicos, variaciones de campos magnéticos o eléctricos, y que al volver a las condiciones iniciales recuperan su forma original, capaces de repetir este proceso infinidad de veces sin deteriorarse.

Son los materiales con memoria de forma, capaces de auto diagnosticarse y repararse, gracias a su capacidad de cambio. A estos materiales se les asigna una forma inicial, y después de ser sometidos al campo físico o reacción química correspondiente, se ajusta su forma, de manera que se consigue que, en la presencia de dicho campo o reacción el material varíe entre las dos formas deseadas.

En la imagen de arriba del todo vemos un fluido que al caer al plato, el cual esta sometido a un campo eléctrico, cristaliza inmediatamente. En las imágenes superiores vemos como un muelle de metal, tras ser estirado mas allá de su límite (ya que como se ve, no se puede recoger solo), al ser sometido al calor de, por ejemplo, una llama, es capaz de auto-regenerarse, recuperando tanto su forma inicial como su elasticidad

Esta clase de materiales tienen infinidad de aplicaciones, por ejemplo sustituyendo a las válvulas de los motores o a rodamientos, ya que se podría aprovechar la capacidad de auto-regeneración para no tener que cambiarlos si se degradan, sino con someterlos al campo adecuado estaría solucionado el problema.(Phoemix, 2006)

## **b) MATERIALES PIEZO ELÉCTRICO Y ELÉCTRICO**

Los materiales piezoeléctricos pueden convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. El cuarzo es un ejemplo de un cristal piezoeléctrico natural. Los cristales de cuarzo están hechos de átomos de silicio y oxígeno en un patrón repetitivo. En el cuarzo, los átomos de silicio tienen una carga positiva y los átomos de oxígeno tienen una carga negativa. Normalmente, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal.

Pero cuando el cuarzo se estira o exprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las cargas positivas se acumulen en el lado opuesto. Cuando haces un circuito que conecta un extremo del cristal con el otro, puedes utilizar esta diferencia potencial para producir corriente. Entre más aprietas el cristal más fuerte será la corriente eléctrica. Por el contrario, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma.(Nano day, 2013)

Los materiales eléctricos se deben a los rápidos avances en electrónica de la segunda mitad del siglo XX, que se explican con la retroalimentación mutua entre la investigación de materiales y su aplicación práctica, en diferentes áreas como la ingeniería, la medicina, la construcción, las telecomunicaciones o la informática. Los avances de la física y la aparición de la electrónica combinada con los progresos de la ciencia de los materiales, han dado lugar a circuitos eléctricos y electrónicos muy reducidos, que son capaces de controlar señales eléctricas de muy baja intensidad. (Rodríguez, 2013)

El efecto piezoeléctrico, es un fenómeno físico que presentan algunos cristales debido al cual, aparece una diferencia de potencial eléctrico (voltaje) entre ciertas caras del cristal cuando éste se somete a una deformación mecánica y se denomina efecto piezo-eléctrico directo.

Este efecto funciona también a la inversa: cuando se aplica un campo eléctrico a ciertas caras de una formación cristalina, esta experimenta distorsiones mecánicas (efecto piezo-eléctrico inverso). Pierre Curie y su hermano Jacques descubrieron este fenómeno en el cuarzo y la sal de Rochelle en 1880 y lo denominaron “efecto piezoeléctrico” (del griego piezein, “presionar”).

Cuando se comprime el cristal, los átomos ionizados (cargados) presentes en la estructura de cada celda de formación del cristal se desplazan, provocando la polarización eléctrica de ella.

Debido a la regularidad de la estructura cristalina, y como los efectos de deformación de la celda suceden en todas las celdas del cuerpo del cristal, estas cargas se suman y se produce una acumulación de la carga eléctrica, produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre determinadas caras del cristal que puede ser de muchos voltios.

En el caso contrario, cuando se somete a determinadas caras del cristal a un campo eléctrico externo, los iones de cada celda son desplazados por las fuerzas electrostáticas, produciéndose una deformación mecánica.

Dada su capacidad de convertir la deformación mecánica en voltaje eléctrico, y el voltaje eléctrico aplicado en deformación mecánica, los cristales piezoeléctricos encuentran un vasto campo de aplicaciones en:

1. Transductores de presión.
2. Agujas para los reproductores de discos de vinilo.
3. Micrófonos.
4. Cristales resonadores para los relojes y en osciladores electrónicos de alta frecuencia.
5. Generadores de chispas en encendedores.
6. Otros.(Sabelotodo, 2017).

### c) **MATERIALES CROMOACTIVOS Y FOTOACTIVOS**

Los materiales cromoactivos son aquellos en los que se producen cambios de color como consecuencia de algún fenómeno externo como puede ser la corriente eléctrica, radiación UV o temperatura.

Los materiales cromoactivos son: fotocromáticos, termocromáticos y electrocromáticos.(Barreto, 2015)

Los materiales fotoactivos son aquellos en los que se producen cambios de diferente naturaleza como consecuencia de la acción de la luz o que son capaces de emitir

luz como consecuencia de algún fenómeno externo. Materiales fotoactivos son: electroluminiscentes, fluorescentes y fosforescentes. ((Barreto, 2015)

#### **d) MATERIALES ELECTRO REOLOGICOS Y MAGNETO REOLOGICOS.**

Estos dos tipos de fluidos se basan en los mismos principios. La diferencia estriba en el estímulo que los somete a respuesta. Los fluidos electro - reológicos y magneto - reológicos son aquellos que varían sus propiedades ante la presencia de un campo eléctrico y un campo magnético, respectivamente.

El motivo es la formación de estructuras dentro del fluido como consecuencia de los estímulos aplicados. Los fluidos magneto - reológicos son suspensiones acuosas de microesferas súper - paramagnéticas con gránulos de magnetita dispersos en una matriz polimérica. Las partículas no tienen remanencia ni histéresis magnética. En el caso de los fluidos magneto - reológicos, bajo la acción del campo magnético, las partículas adquieren un momento dipolar que genera una interacción dipolar entre ellas. Por ello, produce la agregación de partículas en forma de collares de cuentas alineados con el campo magnético.

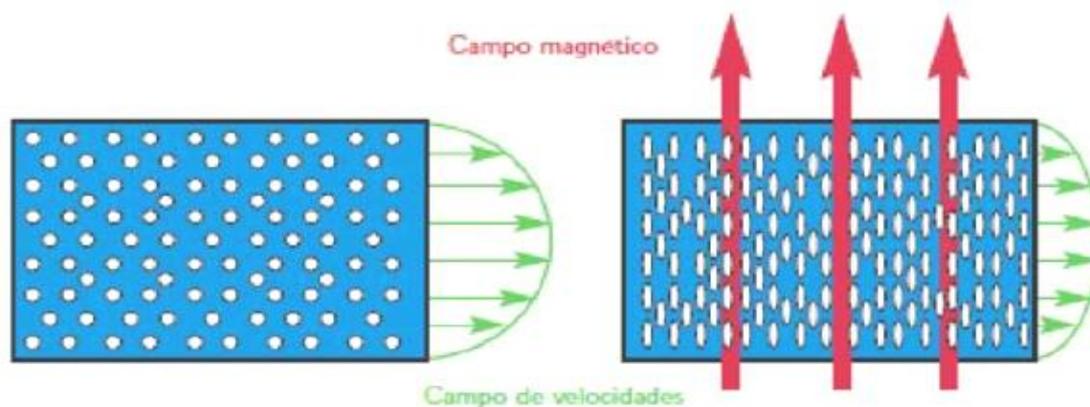
Esta formación cambia completa e instantáneamente las propiedades mecánicas y ópticas. Hoy en día se encuentran dos tipos de fluidos, unos formados por partículas dispersas y otro por fluidos homogéneos. Los formados por partículas dispersas reaccionan debido a la agregación de las partículas en suspensión provocada por la polarización de los materiales. Sin embargo, los fluidos homogéneos permiten mayores miniaturizaciones porque carecen de éstas, por lo que son perfectas para aplicaciones en

microtecnología. Las partículas dispersas de los fluidos magneto - reológicos poseen unas dimensiones de entre 0,05 y 8  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Estas estructuras restringen la movilidad del fluido, volviéndose una estructura rígida como consecuencia del aumento de la viscosidad.

Cuanto mayor sea el campo magnético, mayor será la energía mecánica necesaria para romper dichas estructuras. En la figura 29 se puede observar el efecto comentado sobre el campo velocidades del fluido. Cuando el campo magnético se aplica perpendicularmente al campo velocidad, se forman cadenas y éstas son las que se oponen al movimiento mediante la aparición de esfuerzos. Ante los esfuerzos inferiores al de fluencia, el fluido reológico responde como un sólido viscoelástico. Por todo esto, se puede concluir que para conseguir una velocidad de deformación determinada es necesario un esfuerzo viscosos superior al que correspondería en caso de un fluido newtoniano. Este esfuerzo se puede controlar mediante la intensidad de campo aplicado.(Rodríguez, 2012, p. 41 - 42)

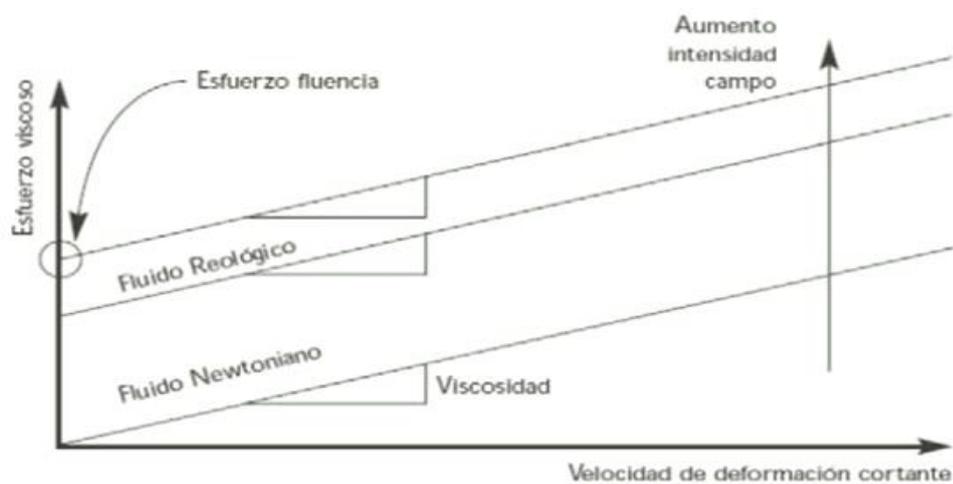
**Figura 29:** Campo de velocidades en un fluido magnético



**Fuente:** [fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz](http://fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz)

En la figura 30 se puede observar como el esfuerzo no viscoso se debe a que el esfuerzo de fluencia crece al aumentar la intensidad de campo aplicado. Figura 3.5: Relación del esfuerzo viscoso y la velocidad de deformación Para diseñar un fluido magneto - reológico, se debe tener en cuenta el aceite base de la solución, la naturaleza del material en suspensión, los aditivos necesarios y verificar la estabilidad del fluido ante la agregación de partículas, con el objeto de que el fluido responda eficientemente ante el campo magnético.(López, 2010 y Alberdi, 2003)

**Figura 30:** Relación del esfuerzo viscoso y la velocidad de deformación



**Fuente:** es.slideshare.net/valeryareyesvilchez/reologa-de-liquidos-viscosos

Las propiedades más en comunes en los fluidos magneto - reológicos se enuncian en la tabla 1.

**Tabla 1:** Propiedades de un fluido magneto reologico común.

Propiedad	Magnitud
Máximo esfuerzo cortante	50-100kpa
Máximo campo magnético admisible	≈ 250 kA/m
Viscosidad aparente	0.1 – 10 Pa.s
Rango de temperatura de operación	40-150 °C
Estabilidad	Insensible a impurezas
Densidad	3-4 g/ cm <sup>3</sup>

**Fuente:** scribd.com/document/215044295/Practica-Karen-q

## APLICACIONES

Las aplicaciones en las que se usan estos materiales inteligentes en la actualidad abarcan diversos campos y aplicaciones industriales, la mayoría de ellas usadas en sensores o actuadores. Los sensores se fabrican con este tipo de materiales empleando como señal de entrada distintos campos y, en base a ellos, los materiales responden con señales de salida fácilmente medibles que suelen ir ligado a campos eléctricos, ya sea por diferencia de potencial o por campos que indiquen corriente eléctrica.

Los actuadores emplean como señales de entrada campos eléctricos, térmicos o magnéticos y mediante las propiedades del material activo son transformadas en una señal de salida mecánica, tal como un campo de desplazamientos, deformaciones o esfuerzos. Dicha generación de fuerza puede ser utilizada para realizar un cierto trabajo. Si destaca algún material inteligente sobre otro, se puede decir que son los piezoeléctricos y electrostrictivos los más versátiles, puesto que pueden operar como sensor y actuador indistintamente. Sin embargo, las aleaciones de forma sólo pueden emplearse como actuadores y no como sensores.

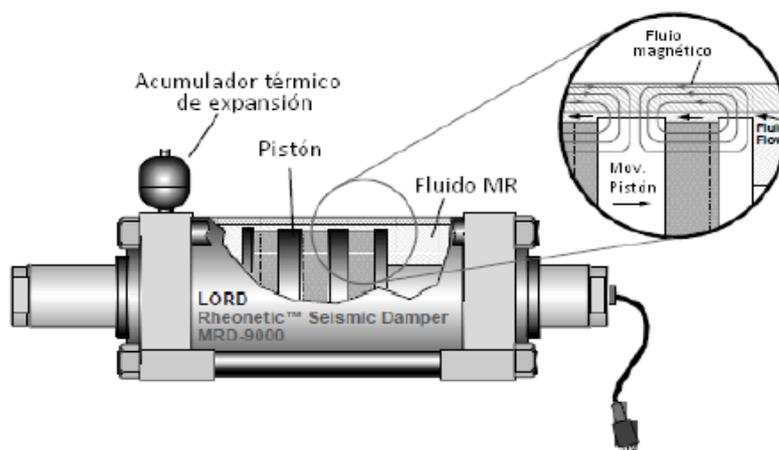
Por otra parte, los fluidos reológicos se emplean principalmente en aplicaciones muy específicas relacionadas con el amortiguamiento activo, frenado, protección antisísmica y protección de operadores de maquinaria generadora de vibraciones. Además, destaca también su uso en la medicina ortopédica. Las aplicaciones más importantes en las que los fluidos magneto - reológicos están presentes se explican en los siguientes apartados. (López et al, 2004)

### a) CONTROL DE VIBRACIONES

La tecnología actual de dispositivos magneto - reológicos se adapta a tantos campos de aplicación que ha permitido diseñar amortiguadores válidos para estructuras civiles con una fuerza máxima de amortiguamiento de 200 kN. Estos dispositivos son usados, sobre todo, en países con gran actividad sísmica como los situados en el círculo de fuego del Océano Pacífico.

En la figura 31 se puede observar el modelo de un amortiguador magneto - reológico utilizado en estructuras. Figura 3.6: Amortiguador magneto - reológico para estructuras civiles.(López, 2013)

**Figura 31:** Amortiguador Magneto – reológico para estructuras civiles



**Fuente:** document/304931413/Amortiguador

### b) SUSPENSIÓN DE ASIENTOS

Una suspensión de asiento de vehículo que comprende: una base; una plataforma de soporte de asiento; un bastidor de suspensión de asiento que incluye una carcasa transportada por una de entre la plataforma y la base, con la carcasa de bastidor de suspensión de asiento dispuesta entre la plataforma y la base; un brazo pivotante que se

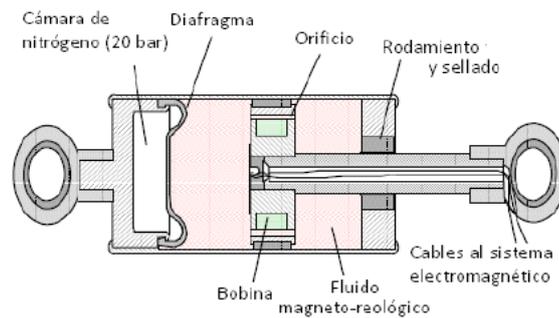
extiende hacia fuera desde la carcasa de bastidor de suspensión de asiento entre la plataforma y la base ; un elemento de empuje que es transportado.

Una suspensión de asiento de vehículo para un asiento de vehículo, que comprende: (a) una base que tiene un montante que se extiende generalmente hacia arriba; (b) un bastidor de asiento que se superpone sobre la base; (c) una disposición de articulación de suspensión de asiento conectada operativamente al bastidor de asiento y a la base; (d) un muelle neumático portado por la base, y caracterizada por: (e) un sillín que es desplazable por el muelle neumático.

Una suspensión de asiento de vehículo para un asiento de vehículo que comprende: (a) una base; (b) un bastidor del asiento; (c) una disposición de la suspensión del asiento impulsada por fluido en cooperación operativa con el bastidor del asiento y la base, en donde la disposición de la suspensión impulsada por fluido comprende un actuador impulsado por fluido, un asiento de ballesta que es desplazable por el actuador impulsado por fluido, y una articulación del brazo de muelle pivotable que comprende brazos de palanca de muelle , en la que el asiento de ballesta comprende los brazos del asiento de ballesta.(Patentados (2016)

Se usan sistemas de suspensión en este tipo de vehículos para el control en tiempo real de la posición óptima para la conducción. Esto se consigue con una unidad de control que modifica la intensidad del campo magnético en función del peso del conductor, niveles de choque y vibraciones debidas al terreno por el que vehículo pesado circula. La figura 32 ilustra un amortiguador de fluido magneto - reológico diseñado para utilizarse en la suspensión semiactiva de un asiento de un vehículo de larga travesía. Así, se reduce la fatiga del conductor y, en consecuencia, también el riesgo de accidente. (Web de Lord Corporation, 2014)

**Figura 32:** Relación del esfuerzo viscoso y la velocidad de deformación

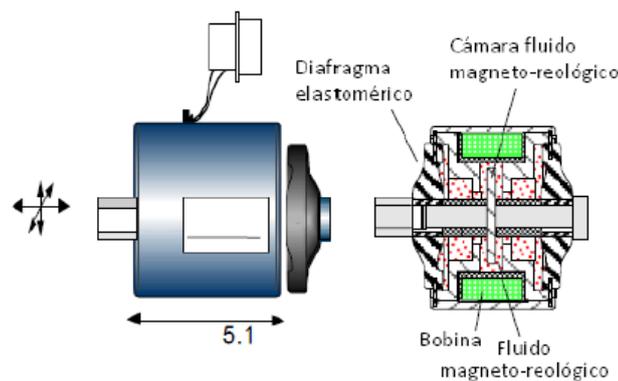


**Fuente:** reologiadelosalimentos.wordpress.com

### c) AMORTIGUACIÓN DE VIBRACIONES

Dada la naturaleza de las vibraciones así como las molestias que pueden causar y los daños estructurales que pueden producir, resulta importante el empleo de dispositivos para evitar, en la medida de lo posible sus consecuencias. Los amortiguadores de fluido viscoso aprovechan las propiedades del fluido para proveer una fuerza que contrarreste los efectos de la vibración. La figura 33 muestra un amortiguador magneto-reológico utilizado en control activo de vibraciones en aplicaciones industriales.

**Figura 33:** Amortiguador de vibraciones tipo Rheonetic



**Fuente:** es.slideshare.net/Mjolinir/fluidos-magnticos

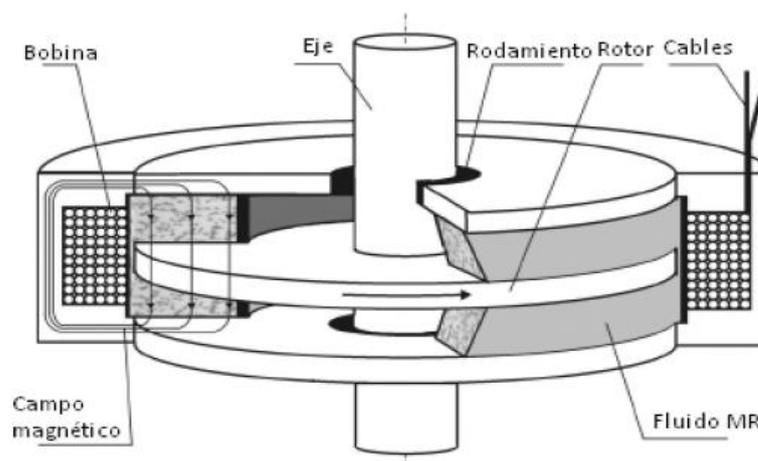
### d) FRENOS MAGNETO REOLÓGICOS

Los frenos magneto-reológicos de tipo rotativo permiten un control continuo del par de torsión ya que cuando la corriente en las espiras es cero, no hay campo magnético

y, por lo tanto, el par de torsión es mínimo a causa del cierre hermético y la viscosidad del fluido portador. Al crear un campo magnético, se produce en consecuencia un par de torsión donde el valor máximo depende de la limitación de la máxima corriente que pueda soportar el freno. Se trata de dispositivos de fácil manejo y de diseño simple. En la figura 3.8 se puede observar un esquema simplificado de los distintos elementos que conforman un freno magneto-reológico. (López, 2013)

Este tipo de frenos permiten un control continuo del par de torsión porque la corriente en las espiras es cero, no hay campo magnético, por lo que el par de torsión es mínimo a causa del cierre hermético y la viscosidad del fluido. Al crear un campo magnético se produce un par de torsión cuyo valor máximo depende de la máxima corriente que pueda soportar el freno. En general, son de diseño simple y fácil manejo. Los elementos que lo componen se ilustran en la figura 34. (Chacón, 2009)

**Figura 34:** Esquema de un freno magneto reológico



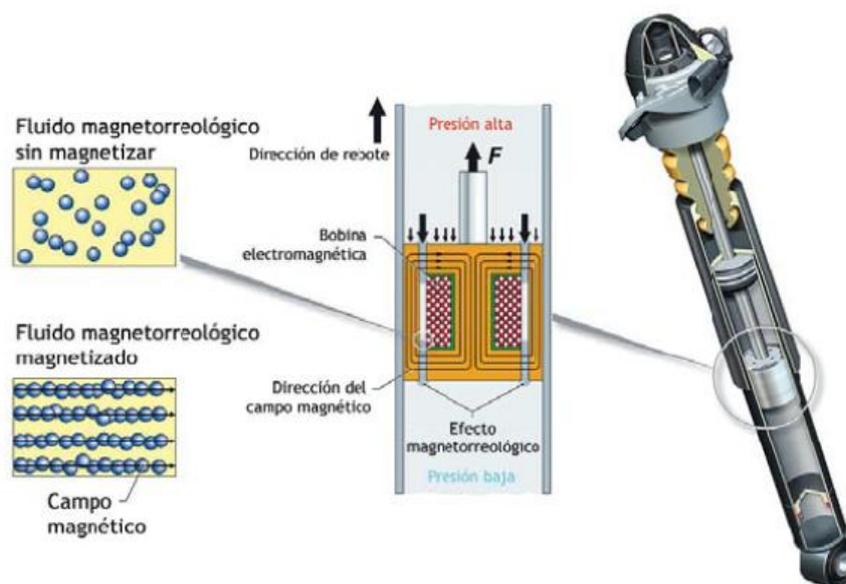
Fuente: [interempresas.net/MetalMecanica](http://interempresas.net/MetalMecanica)

### e) DESCRIPCIÓN DEL AMORTIGUADOR MAGNETO REOLOGICO

El fabricante de componentes para la automoción Delphi fue el primero en desarrollar un sistema de amortiguación basado en amortiguadores reológicos para un automóvil. Este sistema de suspensión fue presentado en sociedad en el salón de Fráncfort

en 1999. El sistema desarrollado por Delphi consistía en una suspensión semiactiva con amortiguador de fluido magneto-reológico llamado “Magnetic Ride”. La diferencia respecto a otros sistemas de suspensión se encuentra en su interior, el líquido que circula dentro del vástago contiene aproximadamente un 40% de partículas metálicas en suspensión. El sistema Magnetic Ride, está compuesto por el fluido magnético-reológico (figura 35), bobinas electromagnéticas, sensores que detectan tanto el desplazamiento de la suspensión como la aceleración transversal y longitudinal y por una unidad de mando. (López et al, 2003, Fundación de EROSKI, 2007 y Lord. Rd-1005-3, 007).

**Figura 35:** Estructura de un amortiguador Magnetic-Ride de Delphi



**Fuente:** [foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes](https://foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes)

La consistencia de la suspensión depende en gran medida de la intensidad del campo magnético que se aplique. El modo de funcionamiento del sistema Magnetic Ride, es de la siguiente manera: los sensores de desplazamiento de la amortiguación mandan señales a la unidad de mando la cual aplica una intensidad de corriente a cada amortiguador dependiendo de la señal que previamente ha recibido de la unidad de mando. Esta intensidad de corriente la recibe la bobina electromagnética del

amortiguador, variando el campo magnético en relación con la intensidad recibida y por lo tanto variando la densidad y viscosidad del fluido MR.

Los valores de la consistencia del fluido MR y por lo tanto de la suspensión, dependiendo de la conducción, cambian unas 1000 veces por segundo, lo que hace ajustar inmediatamente la suspensión a las necesidades de la conducción. No solamente se adapta a las necesidades de la conducción dependiendo del firme ya que su sensor de aceleración hace que se adapte a las aceleraciones, frenadas y a los movimientos oscilatorios de la carrocería. En el caso de una frenada brusca eleva la dureza mediante el campo magnético, de la suspensión delantera aumentando así la estabilidad.

En el caso de que se produzca una aceleración aumenta la dureza de la suspensión trasera del vehículo evitando el hundimiento de esta parte y también evita el balanceo producido al pasar por una curva aumentando la dureza de los amortiguadores que van por el exterior de la curva.

Actualmente, este tipo de suspensión la utilizan vehículos de altas prestaciones y de lujo, como ejemplos de estos vehículos utilizan esta suspensión podemos destacar: Chevrolet Corvette, Audi y R8 TT (se muestra en la figura 36), Cadillac Seville ó Ferrari 599 GTB y California. Figura 37 Audi R8. Incorpora Magnetic Ride Entre las ventajas de este sistema de amortiguación destacan que es diez veces más rápido que el amortiguador convencional, que los sensores pueden modificar la viscosidad del líquido hasta mil veces por segundo, que no requiere grandes mantenimientos, la posibilidad de control independiente en cada una de las cuatro ruedas del vehículo y su simplicidad mecánica al no disponer de válvulas ni de electroválvulas. En contrapartida se tiene el sobrecoste que implica la adquisición de una tecnología que aún no está totalmente implantada y desarrollada, el alto coste de los dispositivos electrónicos que la gobiernan

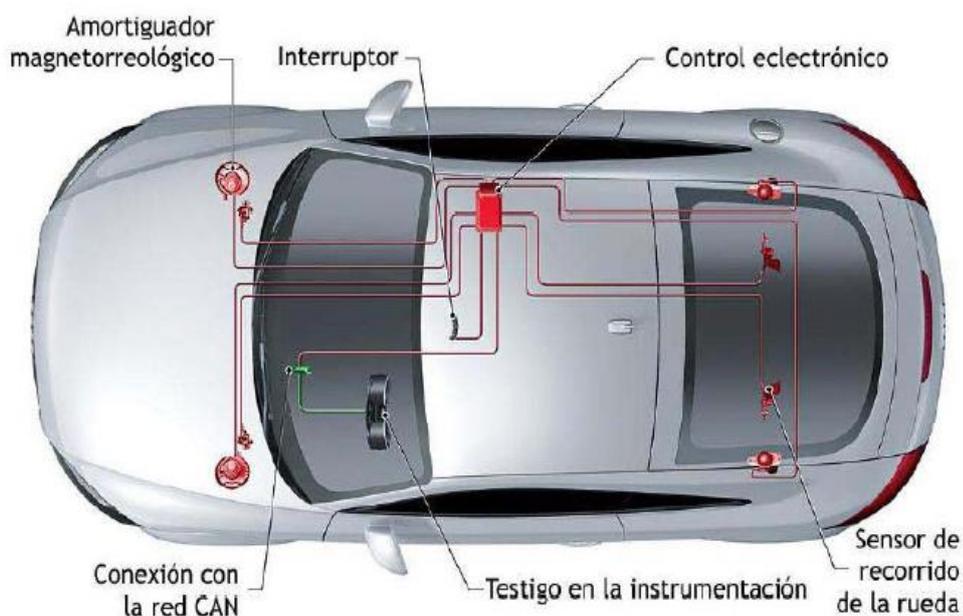
y que es necesario un aporte energético (20 voltios) frente a los amortiguadores convencionales, que no necesitan una fuente externa para su funcionamiento.(Coronel, 2010 y López, 2010)

**Figura 36:** Sistema de suspensión Magnetic Ride en el Audi R8



**Fuente:** [foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes](https://foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes)

**Figura 37:** Esquema electrónico del sistema de suspensión del Audi R8



**Fuente:** [foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes](https://foros.3dgames.com.ar/threads/774265-amortiguacion-pensada-sistemas-inteligentes)

### 2.3. GLOSARIOS DE TÉRMINOS

**Fluido magneto reológico:** Los fluidos magneto reológicos (FMR) son fluidos cuyas propiedades reológicas se ven alteradas por la presencia de un campo magnético. Su viscosidad al aplicar un campo magnético se puede regular desde un fluido poco viscoso hasta un estado similar a una masilla o lodo muy espeso, sin modificar ni su forma ni su volumen.

**Amortiguador:** Los amortiguadores son componentes comunes de la suspensión de automóviles y de otros vehículos como motocicletas, bicicletas, aviones (en este caso con diferente tecnología). La función del amortiguador es controlar los movimientos de la suspensión, los muelles y/o resortes. El movimiento de la suspensión genera energía cinética, que se convierte en energía térmica o calorífica. Esta energía se disipa a través del aceite.

**Vibración:** Se denomina vibración a la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo (o posición de equilibrio).

**Suspensión:** La suspensión en un automóvil, camión o motocicleta, es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que se circula para aumentar la comodidad y el control del vehículo. El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas, las cuales reciben de forma directa las irregularidades de la superficie transitada.

**Ansys:** Es un programa que utiliza el método de los elementos finitos, siendo una herramienta potentísima en el campo de cualquier ingeniería (Caminos, Industrial, Aeronáutica, Naval, etc).

**Solidworks:** Es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible.

## 2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Es posible la adaptación del amortiguador magneto reológico de la empresa LORD CORPORATION al sistema de suspensión del vehículo, creando un vehículo con una suspensión semiactiva.

### 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- a) No se tendrá cambio en la integridad estructural al realizar las modificaciones ya que se analizara con el método de elementos finitos, Ansys.
- b) La etapa del modelado nos permitirá decidir si es posible o no la adaptación, y si es posible la fabricación de piezas adicionales para poder adaptar el amortiguador al sistema de suspensión del vehículo.

## 2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE "DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN	• Origen - evolución	• Amortiguadores de fricción
	• Elementos	• Amortiguadores
		• Elementos elásticos
		• Elementos de amortiguación
		• Elementos de mejora
		• Elementos constructivos
	• Tipos de amortiguador	• Monotubo
	• Clasificación	• Bitubo
• Según la geometría		
	• Según el sistema de control	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suspensión activa</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Según el sistema de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suspensión pasiva</li> <li>• Suspensión activa</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelado (ANSYS)</li> <li>• Mallado (SOLIDWORK)</li> </ul>
<b>DEPENDIENTE AMORTIGUADOR MAGNETO REOLÓGICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades reologicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de las partículas</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribuciones de forma</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de las partículas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales inteligentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales con memoria de forma</li> <li>• Materiales piezo eléctrico y electrico</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales cromoaactivos y fotoactivos</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales electro reologicos y magneto reologicos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de vibraciones</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suspensión de asientos</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortiguación de vibraciones</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frenos magneto reologicos</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción del amortiguador magneto reologico</li> </ul>

**Elaboración:** Propia

# CAPÍTULO III

## DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### TIPO

La presente investigación se considera Descriptiva, ya que según lo explica Danhke, (1989), “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis”, (citado por Hernández y Otros, 2003.). Según este autor, el objetivo de este tipo de investigación es el de medir o recoger información sobre la variable estudiada, por lo que “La investigación descriptiva: Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice”.

#### DISEÑO

Según Hernández y Otros (2003), es un “Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación” (Hernández y Otros, 2003). De esta manera la estrategia desarrollada para llevar a cabo la presente investigación es

no manipular directamente la variable en cuestión, por lo que la intención es no variar en forma intencional dicha variable., si no estudiarla tal cual ocurre en el lugar donde se presenta. Por esta razón se puede afirmar que el diseño de esta investigación es No Experimental. Según Hernández y Otros La Investigación No Experimental, son aquellos “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de las variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (Hernández y Otros, 2003.). Al respecto, agrega Arias Fidias, (2006), la investigación consiste en recolectar datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular o controlar variables, por lo que se obtiene la información sin alterar las condiciones de tales variables, de allí su carácter de investigación no experimental.

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN**

#### **POBLACIÓN**

Se establece a todos los usuarios finales y empresas actualmente involucradas a la venta de automóviles, a partir del conocimiento de sus características y propiedades particulares de cada empresa. En vista que en la Región Puno el número de empresas vinculadas a la venta de automóviles es media, se consideró solo una marca, para el presente diseño (modelado y análisis estructural), donde se extraerá la información requerida para esta investigación. Arias (1999), señala que la población “es el conjunto de elementos con características comunes que son objetos de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación”.

#### **MUESTRA**

La población seleccionada corresponde a una muestra no probabilístico Opinático o Intencional, por lo cual está integrada en el vehículo de marca Toyota modelo Yaris en la Región Puno. Para Balestrini (1997), La muestra “es obtenida con el fin de investigar,

a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población”. Para Hurtado (1998), consiste: “en las poblaciones pequeñas o finitas no se selecciona muestra alguna para no afectar la validez de los resultados”.

### 3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

#### UBICACIÓN

Para la ubicación, se hace necesario determinar cuál es el universo poblacional; Éste según Parra Javier (2003) “Es el conjunto conformado por todos los elementos, seres u objetos que contienen las características y mediciones u observaciones que se requieren en una investigación dada”.

Figura 29: Ubicación de lugar donde se desarrolló la tesis



Fuente: Google maps

#### DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Para la presente investigación, el Universo de la investigación está conformado por la Región de Puno, el cual es un departamento del Perú situado en el sureste del país. Ocupa 67 mil km<sup>2</sup> de territorio conformado por la mitad occidental de la Meseta del Collao, al oeste del lago Titicaca, y las yungas amazónicas al norte. Limita al este con territorio boliviano, al suroeste con los departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, al oeste con el del Cuzco y al norte con Madre de Dios.

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Las técnicas de recolección de datos, son definidas por Tamayo (1999), como la expresión operativa del diseño de investigación y que especifica concretamente como se hizo la investigación. Así mismo Joseph Edward Shigley y Charles R. Mishke (1989) “diseño es formular un plan para satisfacer una necesidad humana”

La técnica a utilizar en esta investigación es la de la observación directa del fenómeno del estudio, con ella se puede obtenerse información aun cuando no exista el deseo de proporcionarla y es independiente de la capacidad y veracidad de las personas a estudiar.

# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. INTRODUCCION A SOLIDWORKS

SolidWork es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno basado en Microsoft, Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de SolidWork una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblés y dibujo, SolidWork incluye herramientas de productividad, de Gestion de Proyectos de Presentación y de

análisis y simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

SolidWork se caracteriza por su entorno intuitivo y por disponer de herramientas de diseño fáciles de utilizar. Todo integrado en un único programa de diseño con más de 45 aplicaciones complementarias para facilitar el desarrollo de sus proyectos.

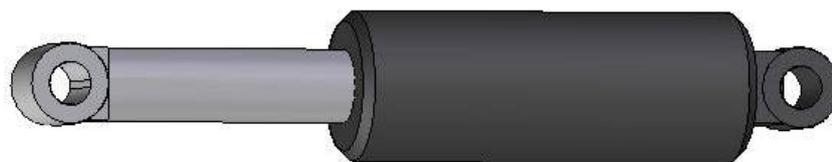
La característica que hace que SolidWork sea una herramienta competitiva, agil y versátil es su capacidad de ser paramétrico, variacional y asociativo, además de usar las funciones geométricas inteligentes y emplear un gestor de diseño que permite visualizar, editar, eliminar y actualizar cualquier operación realizada en una pieza de forma bidireccional entre todos los documentos asociados.(Mar combo, 2012)

#### **4.2. DISEÑO MEDIANTE EL PROGRAMA SOLIDWORK**

Una de las herramientas de software utilizadas para la modelización del sistema de suspensión ha sido el programa SolidWork, el cual es un programa que apareció en el mercado en 1995, diseños de piezas en 3D.

El amortiguador que se pretende adaptar, ver figura, a la suspensión de un vehículo real, es un amortiguador magneto-reologico RD-8040-1 comercializado por la empresa Lord Corporation. Dicho amortiguador está desarrollado bajo la denominación de la tecnología “reologica magnética”.

**Figura 30: Amortiguador Magneto - reológico**



**Elaboración:** Propia

El amortiguador magneto- reologico puede ser alimentado con una corriente cuyo valor está comprendido entre 0 y 2A. La resistencia de la bobina es de  $5 \Omega$  y la máxima longitud del amortiguador extendido es de 208 mm con un diámetro de 41,4mm.

Para poder modelizar el amortiguador magneto-reologico se ha recurrido a las dimensiones que ofrece el fabricante del amortiguador así como a la toma de medidas directamente sobre el propio amortiguador.

**Figura 31: Amortiguador monutubo toyota, modelo B6**



**Elaboración:** Propia

Para poder instalar el amortiguador magneto-reologico en el vehículo, Toyota Yaris 2008 se han utilizado un amortiguador de la marca Toyota modelo B6, figura 42. Este amortiguador es el que el fabricante recomienda para el vehículo utilizado.

Este amortiguador, al ser un amortiguador monotubo, está construido en dos piezas principales, figura 40, una es la estructura externa del amortiguador. Imagen izquierda que corresponde a la carcasa exterior del amortiguador, y la otra imagen de la derecha corresponde con el sistema interno del amortiguador (válvulas, fluido, cámara de gas a presión). Para la adaptación del amortiguador magneto reologico al vehículo

disponible es el laboratorio únicamente se ha utilizado la parte externa del amortiguador Toyota.

La estructura utilizada se modeliza con el programa SolidWork se muestra en la figura 32, 33, para poder realizar la modelización se han tomado las medidas directamente de la pieza mediante un pie de rey o calibre. Igualmente se han tomado las medidas necesarias en el propio vehículo para comprobar las dimensiones y espacios disponibles para poder realizar una solución satisfactoria.

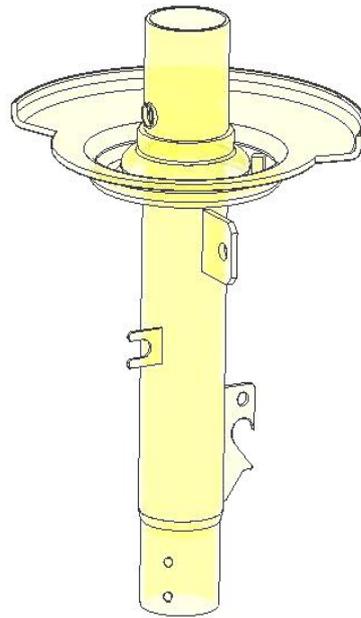
**Figura 33: Pieza interior**



**Figura 32: Amortiguador Toyota desmontado**



**Elaboración:** Propia

**Figura 34: Pieza modelizada****Elaboración:** Propia

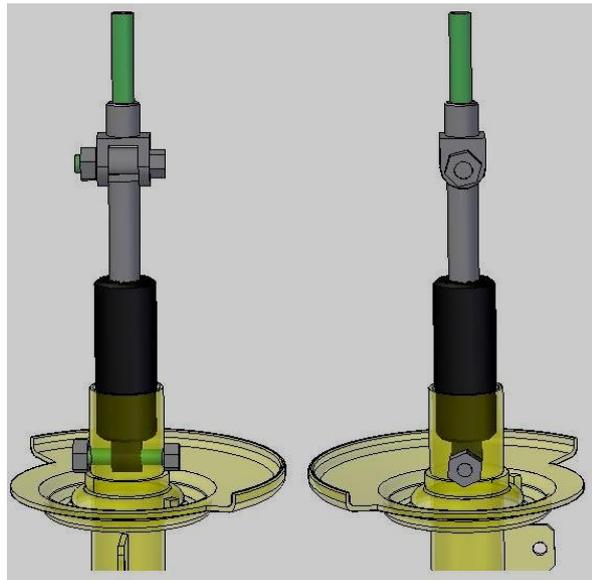
La utilización de la estructura del amortiguador Toyota ha permitido simplificar el diseño de la adaptación del amortiguador magneto-reologico, reduciendo el número de piezas necesarias.

La estructura se sujeta por la zona a la mangueta del propio vehículo, permitiendo simplificar el diseño en la parte inferior, al aprovechar los soportes del propio amortiguador, y también permite utilizar los soportes instalados en el propio tubo exterior para la sujeción de los componentes pertenecientes al sistema de frenado del vehículo, como el manguito del freno y el soporte del captador del ABS.

El extremo superior se introduce el amortiguador magneto-reologico debido a que el diámetro exterior del amortiguador magneto-reologico es igual al diámetro interno de la estructura.

En la figura 35 se muestra en detalle dos vistas de la solución propuesta para la adaptación del amortiguador magneto-reologico. En estas vistas se aprecia como es introducido el amortiguador magneto-reologico dentro del tubo exterior del amortiguador, sujetándolo mediante un tornillo pasante y este a su vez esta roscado para poder sujetar todo el conjunto con una rosca.

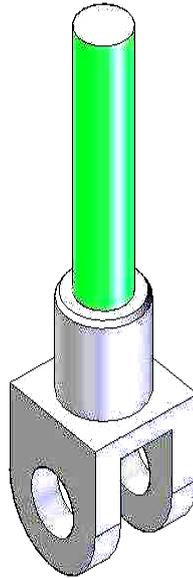
**Figura 35: Detalle de las instalaciones del amortiguador magneto reológico**



**Elaboración:** Propia

La función del tornillo es transmitir los refuerzos axiales del amortiguador magneto reologico a la estructura y también viceversa. El resto de refuerzos se deberán transmitir directamente por el contacto existente entre el amortiguador y la estructura.

El amortiguador magneto reologico, por la zona superior, se sujeta a la copela de suspensión del propio vehículo. Para ello ha sido necesario diseñar una pieza que cumpla este cometido, figura 36. Para el diseño de esta pieza, se ha tenido en el vehículo y las piezas disponibles en el propio vehículo. De esta forma se disminuye el coste que tendría el desarrollo de este proyecto así como los inconvenientes técnicos que pudieran originarse.

**Figura 36: Pieza superior****Elaboración:** Propia

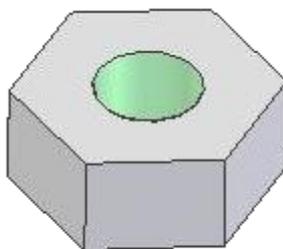
En la solución propuesta en este proyecto fin de carrera, a parte del diseño de la pieza superior, es necesario la utilización de dos tornillos pasantes de 12mm de diámetro, con sus respectivas tuercas, para poder sujetar el amortiguador magneto reologico, tanto a la estructura externa del amortiguador como a la pieza superior, los tornillos no tienen que cumplir ningún requisito específico pudiendo utilizar cualquier tornillo estándar que cumpla con las dimensiones especificadas.

En la figura 37 se muestra el tornillo propuesto de cabeza hexagonal con una métrica M12, impuesto por las dimensiones del amortiguador. El tornillo superior tiene una longitud de 45mm mientras que la longitud del tornillo inferior debe ser de 60mm.

**Figura 37: Ilustración del tornillo propuesto**

**Elaboración:** Propia

Las roscas propuestas, figura 38, en esta solución tampoco deben cumplir unas características determinadas, esto hace que la única condición que deberán cumplir es que tienen que tener una métrica compatible con los tornillos, métrica M12.

**Figura 38: Rosca propuesta**

**Elaboración:** Propia

En la figura 39 se muestra la solución propuesta en este proyecto. Se aprecia como queda el amortiguador magneto reológico junto con el resto de componentes (muelles, tornillos, roscas, estructura del amortiguador y la pieza superior), imitando una suspensión del tipo McPherson. Esta solución permite tanto los componentes como el espacio utilizado no presente una gran variación respecto al sistema de suspensión inicial del vehículo.



La idea general del método de los elementos finitos es la división de un “solido” sometido a un sistema de cargas y coaccionado por unas ligaduras, en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. De manera que se supone que, el campo de desplazamientos en el interior de cada elemento, puede expresarse en función de los desplazamientos que sufren los nodos del elemento (desplazamientos nodales).

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el caso tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre si los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema.

El sistema, debido a las condiciones de contorno: empotramiento, fuerza puntual y temperatura, evoluciona hasta un estado final. En este estado final, conocidos los valores de los grados de libertad de los nodos del sistema se puede determinar cualquier otra incógnita deseada: tensiones, deformaciones.

Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a fórmulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, que realizan la interpolación del valor de la variable nodal dentro del elemento.

Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión; es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el método de elementos finitos, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo de las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de los ordenadores. Entre éstas, además de permitir la descentralización de los programas de elementos finitos, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño, y las técnicas de fabricación.

#### **4.4. ESTUDIO MEDIANTE ANSYS**

Mediante el programa de elementos finitos Ansys se realiza un análisis estático modal de la estructura modelizada que ha sido explicada en el punto anterior. Para evitar los problemas que se puedan generar debido a la importación de geometrías entre los diferentes programas, se decide volver a modelizar en el programa Ansys la estructura, pero de una forma simplificada, permitiendo, también, realizar un mallado más sencillo junto con una mayor rapidez en los cálculos.

La modelización se ha centrado en las zonas de interés desde el punto de vista estructural, así, los elementos simplificados se corresponden a las sujeciones auxiliares necesarias para acoplar los elementos pertenecientes al sistema de frenado del vehículo, como por ejemplo, el manguito de freno, soporte del captador del ABS, etc.

En los siguientes subapartados se describe el proceso realizado para la modelización de la geometría en el programa Ansys. Para ello, se ha partido de la geometría simplificada mostrada en la figura 40.

Figura 40: Estructura modelizadas en Ansys



Elaboración: Propia

#### 4.5. PREPROCESADOR

El primer paso que se realiza en Ansys es la definición de las propiedades físicas del material de la estructura.

La estructura que se modeliza en Ansys, está fabricada en acero con un espesor de 2mm. Dado que es un espesor muy pequeño comparado con su longitud (330 mm) se decide realizar la modelización de la estructura como una estructura sólida de tipo placa (Shell 63).

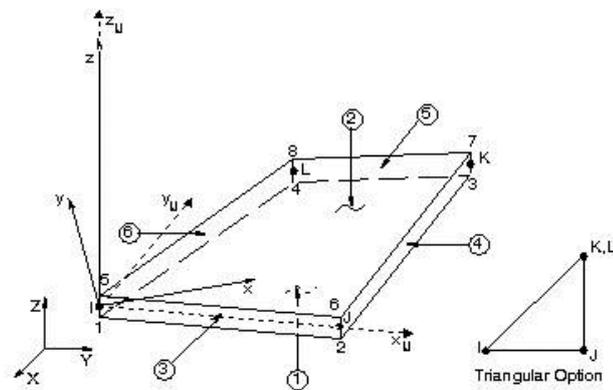
Ansys es un programa que no utiliza unidades, es decir, dependiendo de las unidades utilizadas para definir la geometría y de las unidades utilizadas en la definición de las propiedades del material, se obtendrán unos resultados, cuyas unidades serán en función de las unidades introducidas previamente.

Para poder obtener unos resultados con unas unidades coherentes y dado que se modeliza una pieza de un tamaño pequeño, tanto las unidades geométricas como las propiedades del material se introducen en milímetros.

Todo ello va a hacer que las unidades de los desplazamientos se obtengan en milímetros y las tensiones se obtengan en MegaPascales o bien en N/mm<sup>2</sup>. Las propiedades introducidas en Ansys son las siguientes:

Tipo de elemento: Shell (elastic 4 nodes 63), ver figura

**Figura 41: Modelización del elemento shell 63**



**Fuente:** mingaonline.uach.cl

Constantes reales:

Tipo: Shell 63

Espesor del material: 2mm en los nodos I, J, K, L.

Densidad:  $7,85 \cdot 10^{-9} \text{Tn/mm}^3$

Propiedades del material:

Isotrópico elástico.

Modulo de elasticidad:  $210.000 \text{ Mpa} = 210.000 \text{ N/mm}^2$

Coeficiente de poisson: 0.3

#### 4.6. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA: MODELIZACIÓN

Para la modelización de la estructura se utilizan keypoints, líneas, áreas y volúmenes. El problema que presenta esta estructura es que para obtener la geometría final, la estructura no puede ser modelizada directamente mediante el elemento tipo placa. Para resolver este problema se crea la geometría mediante volúmenes, se realizan las operaciones necesarias para obtenerla geometría y posteriormente, se borran todos los volúmenes, así como las áreas no deseadas.

Al realizar este procedimiento cuando se termine la modelización de la estructura quedará modelizada de forma “tipo placa”. A continuación se muestra el procedimiento, más sencillo, para la modelización de la estructura:

- **Creación de la estructura y del apoyo del muelle helicoidal**

El primer elemento en la modelización es la creación de la estructura, figura 51, para ello los pasos necesarios para su realización en el programa Ansys son los siguientes:

- Modelling -> Create ->Volumen -> Solid Cilindre Radio 24 mm y longitud 330 mm.
- Mover el WP -> al punto [0,0,262].
- Modelling -> Create ->Volumen -> Solid Cilindre Radio 27 mm y longitud 2 mm.
- Modelling -> Operate ->Booleans ->Add ->Volumen.
- **Creación de agujero pasante**

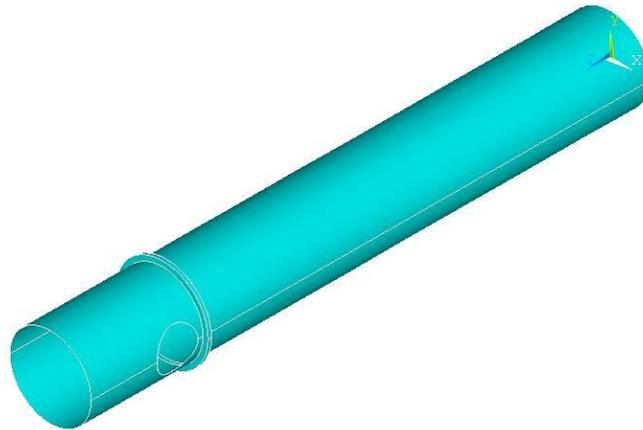
El agujero pasante se crea restando dos volúmenes; el volumen de la estructura y el de un cilindro cuyo volumen comprende el del agujero:

- Mover el WP -> al punto [24, 0, 279] y girar 90° respecto al eje “y”.
- Modelling -> Create -> Volumen -> Solid Cilindre de radio 6 mm y longitud 48mm.
- Modelling -> Operate -> Booleans -> Subtract -> Volumens.
- **Borrar todos los volúmenes y áreas generados**

Para tener únicamente placas en la modelización, ya que se ha elegido el modelo tipo Shell, es necesario que la geometría esté definida, únicamente, mediante áreas para ello, se borran los volúmenes creados, así como las áreas no necesarias creadas durante el proceso de modelizado:

- Delete -> Volumens Only -> Señalar estructura
- Delete -> Áreas Only -> Señalar tapas estructura, el cilindro pasante –dos áreas.

Una vez realizadas todas las operaciones indicadas anteriormente, se obtiene la geometría modelizada mediante el programa de elementos finitos mostrada en la figura 42. Nótese que la construcción se ha realizado a lo largo del eje “z”. Esto favorece el convenio de signos internacional en que una tensión negativa indica una sollicitación a compresión.

**Figura 42: Vista isométrica de la geometría**

**Elaboración:** propia

#### **4.7. MALLADO**

Cuando se realiza el modelado de la geometría se añade el cilindro que constituye el apoyo del muelle en la estructura. Esto hace que la propia estructura quede dividida en dos: una parte inferior y otra superior.

Esta división se aprovecha para mallar con dos tamaños diferentes la estructura, para conseguir un óptimo resultado entre el tiempo invertido por Ansys en calcular el resultado y el error que se comete en el mallado. Se ha elegido que se malle automáticamente con una forma de malla cuadrada (seleccionada la opción de mallar áreas Shape Quad Free).

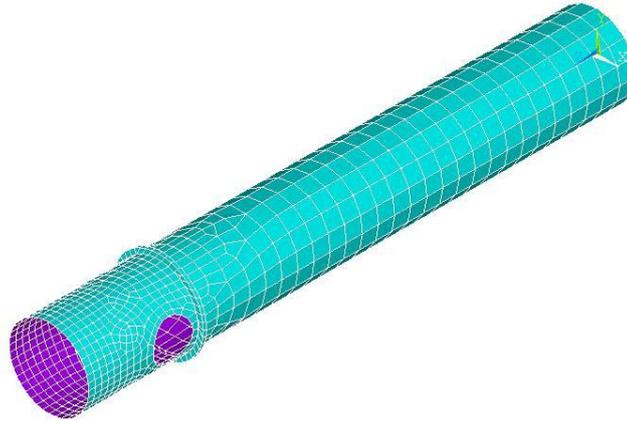
El tamaño de la malla en la parte inferior es de 10 mm. En un principio esta parte solo debe tener cargas axiales en dirección z por lo que se utiliza un tamaño de malla relativamente grande para reducir los tiempos de cálculo.

En cambio la parte superior junto con las superficies donde se apoya el muelle son los lugares donde se aplican las cargas, y además, la geometría de la pieza es más

compleja, todo ello hace que para conseguir una mayor precisión en los cálculos realizados se utilice un tamaño de malla de 4 mm.

En la figura 43 se muestra la estructura modelizada una vez que se ha realizado todo el proceso de mallado.

**Figura 43: Vista de la estructura mallada**

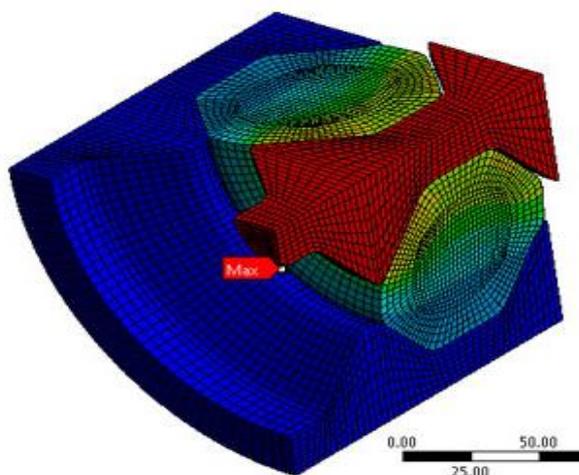


**Elaboración:** propia

Con esta forma de mallado, se consigue que solo 43 de 1233 elementos de la malla tengan que cambiar la geometría indicada al programa. Esto supone un error de un 3,487%, que se considera aceptable en este tipo de análisis mediante elementos finitos.

En la figura 44 se muestra un detalle de la zona donde no se ha podido utilizar una malla cuadrada debido a la geometría de la pieza.

Figura 44: Detalle de la zona mallada no cuadrada



Elaboración: propia

#### 4.8. CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno son las variables conocidas del problema y que condicionan al mismo. Estas variables pueden ser: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc. Dichas variables permiten evolucionar al sistema hasta un estado final.

En este estado final, conocidos los valores de los grados de libertad de los nodos del sistema, se puede determinar cualquier otra incógnita deseada: tensiones, deformaciones, etc. También es posible obtener la evolución temporal de cualquiera de los grados de libertad.

Antes de obtener la solución al sistema de ecuaciones planteado es necesario imponer las condiciones de desplazamientos nodales que sean conocidas. El sistema resultante se puede subdividir en dos términos: uno que contenga los desplazamientos impuestos y otro las incógnitas. Resolviendo este sistema se tiene la solución.

En los programas de elementos finitos es tanto igual de importante, una vez decididas las condiciones de contorno, estudiar la forma de aplicar las mismas, para que se representen las condiciones reales del problema.

Todo ello hace que la imposición de las condiciones de contorno apropiadas sea una de las decisiones más complejas a la hora de realizar este tipo de análisis mediante elementos finitos.

- **Desplazamientos**

Al estudiar la funcionalidad de la pieza, se puede comprobar que el extremo inferior no tiene ningún tipo de movimiento, al estar sujeta en la maneta de la rueda. Esto hace que se pueda considerar que la pieza está empotrada en dicho extremo.

En el extremo opuesto, parte superior de la estructura, el amortiguador magnetoreológico es introducido dentro de la propia estructura, lo que impide el desplazamiento en las direcciones “x” e “y”.

En Ansys, hay que definir en qué elemento se aplica la condición de contorno. Como se trabaja con elementos tipo placa, la condición de contorno se debe aplicar en la línea donde se quiere restringir el movimiento.

Los pasos para crear el empotramiento y las restricciones de movimiento en los ejes.

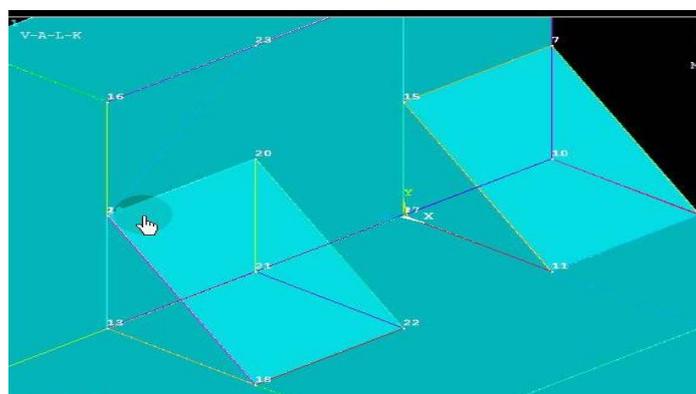
“x” e “y” se expresan a continuación:

Define load -> Apply -> Structural -> Displacement -> ON line -> Señalar las líneas -> señalar la coacción deseada.

Para realizar el empotramiento se debe elegir la opción “ALL DOF”, mientras que para impedir los desplazamientos hay que escoger las opciones “UX” y “UY”, estas opciones impiden el desplazamiento en el eje “x” y en el eje “y”, respectivamente.

En la figura 45 se muestra las condiciones de contorno impuestas a la pieza. En el lado izquierdo se muestra las coacciones impuestas en la parte superior y en el lado derecho se muestra el empotramiento impuesto en la parte inferior de la pieza.

**Figura 45:** Coacciones impuestas en la pieza



**Elaboración:** propia

- **Fuerzas y cargas**

Al estudiar las cargas que se producen en el prototipo, se observan dos cargas totalmente distintas. Por un lado, está la fuerza ejercida por el amortiguador magnetoreológico, esta fuerza es transmitida por el tornillo inferior del conjunto a la estructura que se está estudiando.

La carga ejercida por el tornillo pasante se modeliza con una fuerza sobre los nodos 641 y 692, ver figura 46, teniendo en cuenta que las fuerzas se definen positivas cuando van en la misma dirección de los ejes coordenados.

**Figura 55:** Detalle de la posición de las fuerzas en los nodos

**Figura 46: Detalle de la posición de las fuerzas en los nodos**

**Elaboración:** propia

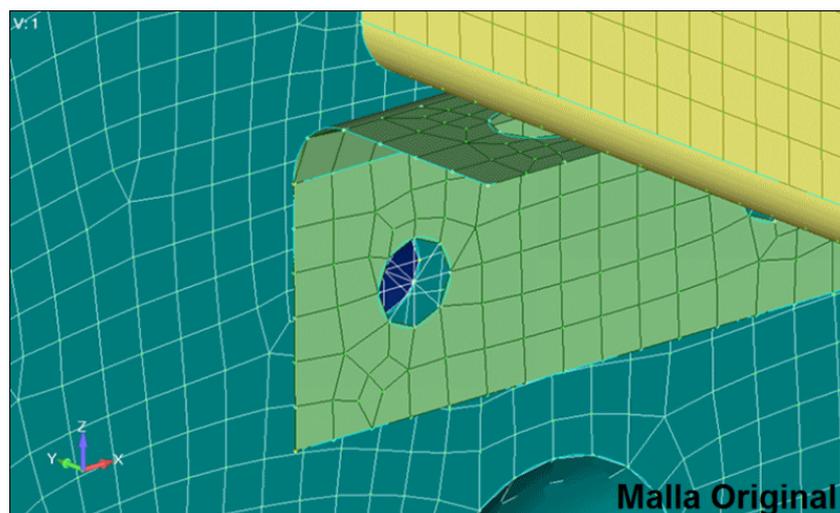
Para introducir las cargas en la estructura hay que seguir los pasos siguientes:

Define load -> Apply -> Structural -> Force/momento -> Nodos -> introducir valor de la carga

El valor de las cargas que se han introducido son dos, con un valor de 1100 N, con sentido apuesto a la dirección del eje “z”, dicho valor se corresponde con la mitad de la máxima fuerza que puede ejercer el amortiguador magneto-reológico debido a que el tornillo apoya en dos puntos de manera simétrica y a su vez, se ha considerado un coeficiente de seguridad de un 10 %.

En la figura 47 se muestra como han sido colocadas las fuerzas ejercidas por el amortiguador magneto-reológico a través del tornillo pasante inferior sobre la pieza modelizada.

**Figura 47: Posición fuerza del amortiguador magneto reológico**



**Elaboración:** propia

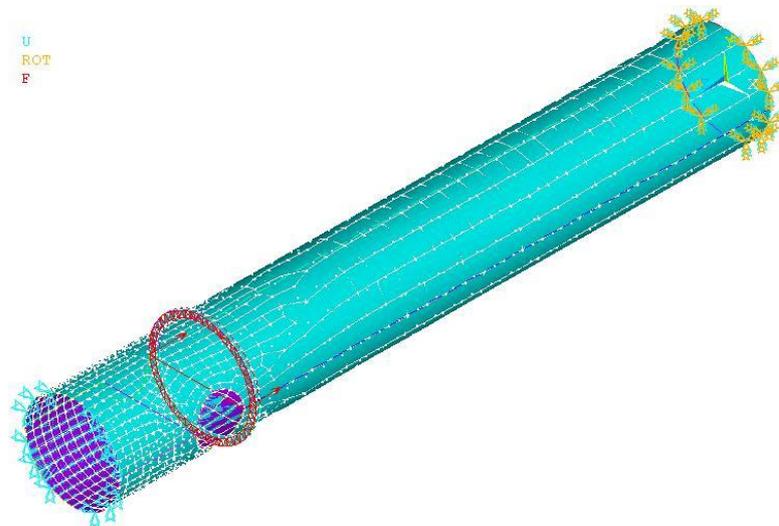
La otra fuerza considerada es la generada por el muelle helicoidal presente en el sistema de suspensión. Para la modelización de la carga producida por el muelle helicoidal, se utiliza una presión aplicada sobre una superficie. Al igual que ocurre con la fuerza, la presión también se definen de manera positiva cuando va en dirección de los ejes coordenadas.

Define load -> Apply -> Structural -> Structural Pressure -> On Areas -> valor de la presión.

El valor de la presión introducida es de  $5,54 \text{ N/mm}^2$  con sentido opuesto a la dirección del eje "z". Para hallar este valor se ha considerado que los muelles helicoidales tienen un valor de la constante de rigidez de  $1,6 \text{ KN/m}$ . Así mismo, se ha considerado que la máxima deflexión que puede tener el amortiguador viene determinada por el máximo desplazamiento del amortiguador magneto reológico, que es de  $208 \text{ mm}$ . El valor del coeficiente de seguridad utilizado en esta carga es 2, dado que solo se está modelizando cargas estáticas y no se tiene en cuenta las cargas dinámicas que afectarán al sistema de amortiguación.

En la figura 48, se muestra como queda modelizada la pieza una vez introducida las condiciones de contorno y las distintas cargas aplicadas en la estructura. En la leyenda de colores mostrada en la figura se indican los diferentes condiciones de contorno introducidas, U se corresponde el impedimento del desplazamiento en los tres ejes. ROT se corresponde con el impedimento del giro en los tres ejes y por último F representa la carga aplicada en la pieza.

**Figura 48: Condiciones de contorno y cargas**



**Elaboración:** propia

## **RESOLUCIÓN**

Una vez realizados todos los pasos anteriores se puede indicar al programa que resuelva el problema, para ello se deben seguir los pasos siguientes:

Solution -> Solve -> Currentes LS -> OK.

Una vez realizados los cálculos por el programa se podrán ver los valores obtenidos por el programa en la simulación.

Una vez que el programa de elementos finitos, Ansys, ha calculado la solución, se puede visualizar los resultados. Dado que la finalidad de este estudio, es comprobar que las modificaciones efectuadas no afectan a la integridad estructural de la pieza ni del vehículo, los resultados que se han tenido en cuenta en este proyecto son los desplazamientos y las tensiones producidas.

Todos los valores obtenidos están referidos a los ejes globales de coordenadas.

#### 4.9. DESPLAZAMIENTOS

En este apartado, se muestran los máximos desplazamientos sufridos por los nodos, tras las condiciones de contorno impuestas. En la tabla 1 se muestran los desplazamientos máximos junto con el nodo donde se producen en los tres ejes coordenados.

**Tabla 1: Máximos desplazamientos producidos en los 3 ejes coordenados.**

	NODE	VALOR [mm]
Eje "x"	641	$4.9519 \cdot 10^{-3}$
Eje "y"	1002	$5.3745 \cdot 10^{-3}$
Eje "z"	641	$-3.6606 \cdot 10^{-2}$

**Elaboración:** propia

De la tabla 5 se comprueba, como era de esperar, que los desplazamientos en los ejes "x" e "y" son poco significativos frente al producido en el eje "z" debido a que tienen una magnitud 10 veces menor.

El desplazamiento en el eje “z” tiene un valor negativo indicando que la pieza se contrae, esto es coherente con la aplicación de las cargas efectuada.

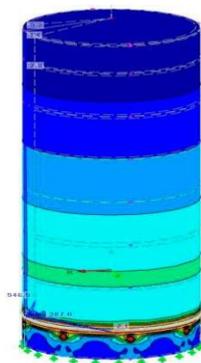
En los siguientes puntos, se muestran cómo se distribuyen los desplazamientos producidos a lo largo de la pieza. Dado que en el eje “z” se produce los mayores desplazamientos se presta más atención a este eje que a los otros dos.

### **Desplazamiento en el eje “z”**

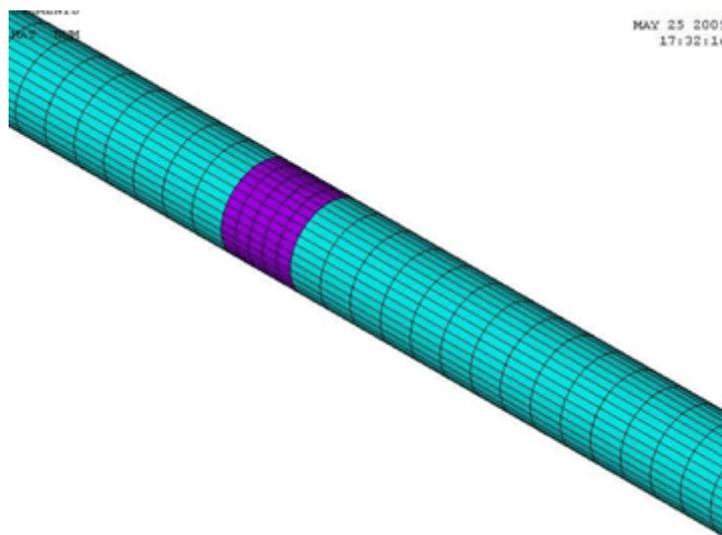
En las figuras 49 y 50 se muestran las vistas lateral e isométrica de la pieza respectivamente, con los desplazamientos producidos a lo largo del eje “z”. Como era de esperar en la zona del empotramiento no se produce ningún desplazamiento debido a la restricción del movimiento.

Así, el desplazamiento producido en los nodos va aumentando progresivamente hasta donde se aplican las cargas donde se producen los desplazamientos máximos.

**Figura 49: Desplazamiento a lo largo de la dirección “z”**

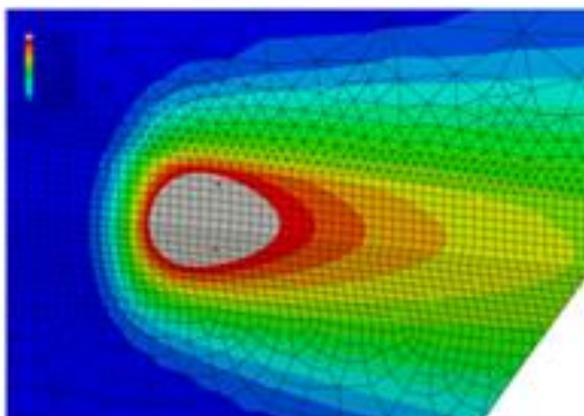


**Elaboración:** propia

**Figura 50: Desplazamiento a lo largo de la dirección “z”**

**Elaboración:** propia

En la figura 51 se muestra donde se produce el desplazamiento mínimo (MN) – lado izquierdo de la figura- y máximo (MX)- lado derecho de la figura- de la pieza a lo largo del eje “z”.

**Figura 51: Desplazamientos máximos y mínimos en el eje “z”**

**Elaboración:** propia

El desplazamiento mínimo tiene un valor negativo de  $3,6606 \cdot 10^{-2}$ , ver figura 58, que indica que la pieza se comprime.

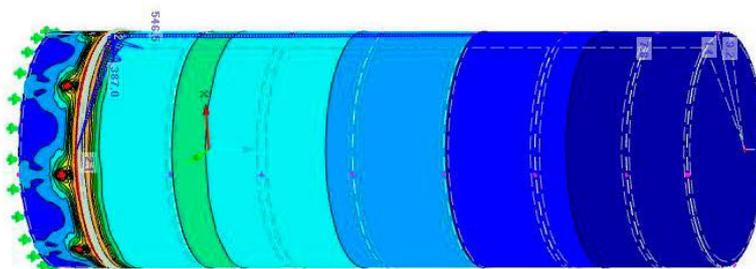
En cambio, el desplazamiento máximo, es decir positivo, se produce en la zona del empotramiento de la pieza, cuyo valor, como también se ve en la figura 6-2, es de cero debido a las condiciones de contorno.

- **Desplazamiento en el eje “x” vista isométrica**

En las figuras 52 y 53 se muestran los desplazamientos mínimos y máximos, respectivamente a lo largo de la dirección “x”. Según se aprecia en la leyenda de colores, la mayoría de los nodos tienen un desplazamiento de  $4,6 \cdot 10^{-4}$  mm en sentido opuesto a la dirección del eje “x”.

Así en la figura 52, se muestra como se distribuye los desplazamientos mínimos en el lateral de la pieza.

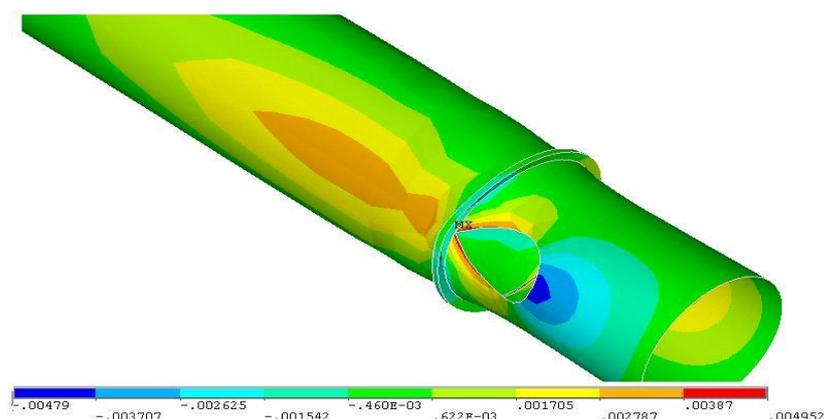
**Figura 52: Desplazamientos mínimos producidos en el eje “x”**



**Elaboración:** propia

En cambio en la figura 53 se muestra como se distribuyen los desplazamientos máximos.

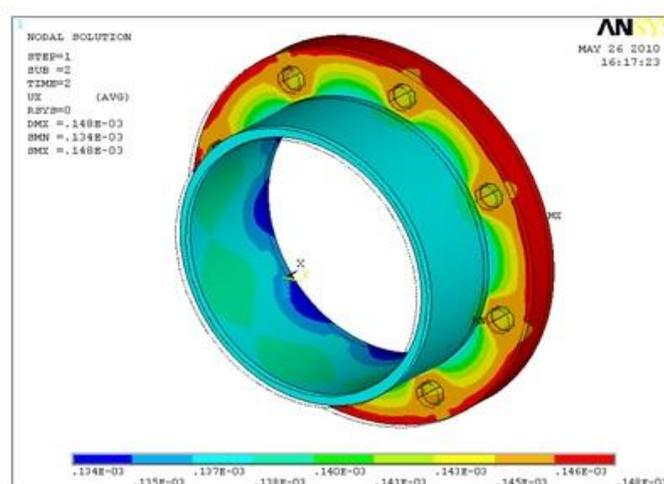
Figura 53: Desplazamiento máximo producido en el eje “x”



Elaboración: propia

En la figura 54 se muestra en detalle los puntos donde se producen los desplazamientos máximos y mínimos a lo largo del eje “x”. Estos desplazamientos se producen en los nodos donde se pusieron las cargas debido a la fuerza del amortiguador magneto-reológico, estos son los nodos 641, desplazamiento máximo, y 692, desplazamiento.

Figura 54: Desplazamiento producido a lo largo del eje “x”

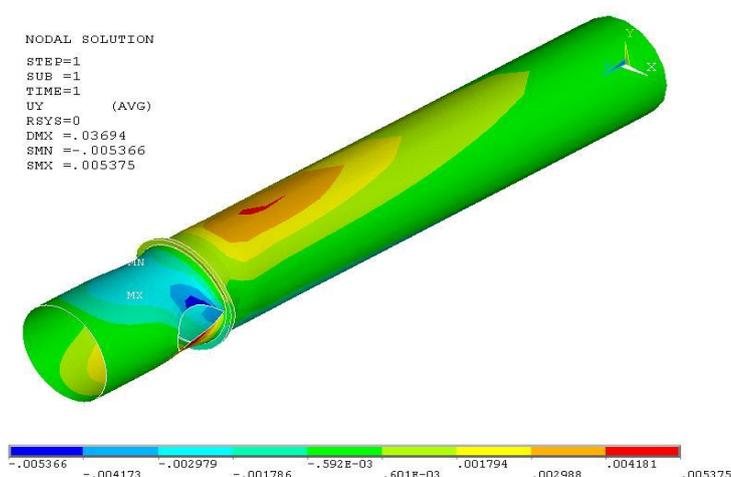


Elaboración: propia

- **Desplazamiento en el eje “Y”**

En la figura 55 se muestra una vista en isométrico de la pieza donde se observa el desplazamiento producido en la dirección “y”. Al igual que ocurre en la dirección “x”, la mayoría de los nodos tienen un desplazamiento de  $5,92 \cdot 10^{-4}$  mm en sentido opuesto a la dirección del eje “y”.

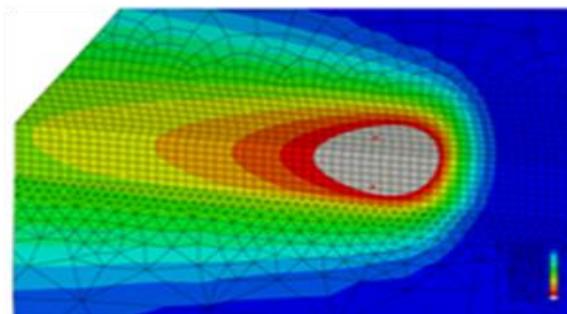
**Figura 55: Desplazamiento máximo producido en el eje “Y”**



**Elaboración:** propia

En la figura 56 se muestran la zona donde se producen los desplazamientos máximos y mínimos a lo largo del eje “y”.

**Figura 56: Desplazamiento máximo y mínimo a lo largo del eje “Y”**



**Elaboración:** propia

#### 4.10. TENSIONES

En el presente apartado se estudian las tensiones máximas y mínimas producidas en la pieza. En la tabla 2 se muestran los valores máximos (MX) y mínimos (MN) de tensión, en MPa, junto con el nodo donde se producen.

**Tabla 2: valores mínimos y máximos de la tensión en los 3 ejes**

		SX	SY	SZ
<b>MINIMUM VALUES (MN)</b>	<b>NODE</b>	48	692	601
	<b>VALUE [MPa]</b>	-238.12	-199.28	-295.18
<b>MAXIMUM VALUES (MX)</b>	<b>NODE</b>	3	600	24
	<b>VALUE [MPa]</b>	222.17	275.39	178.64

**Elaboración:** propia

De la tabla 2 se extrae que las tensiones en los tres ejes coordenados tienen unas tensiones del mismo orden de magnitud. Produciéndose la mínima tensión -valor negativo- en el eje “z”, mientras que la tensión máxima -valor positivo- se produce en el eje “y”.

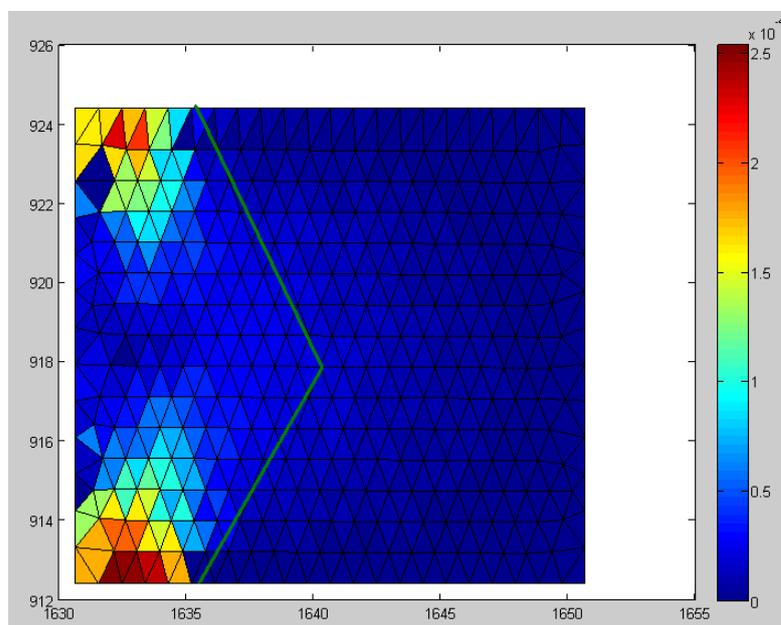
En los siguientes puntos se muestran cómo se distribuyen las tensiones producidas a lo largo de la pieza.

- **Tensión en el eje “Z” vista lateral e isométrica**

En la figura 57 se aprecia las tensiones producidas a lo largo del eje “z”. En esta figura, se observa claramente que las tensiones se encuentran localizadas en torno a los nodos donde se produce la fuerza creada por el amortiguador magneto-reológico junto

con la presión producida por el muelle. El resto de la pieza permanece con una tensión 31.946 MPa a compresión.

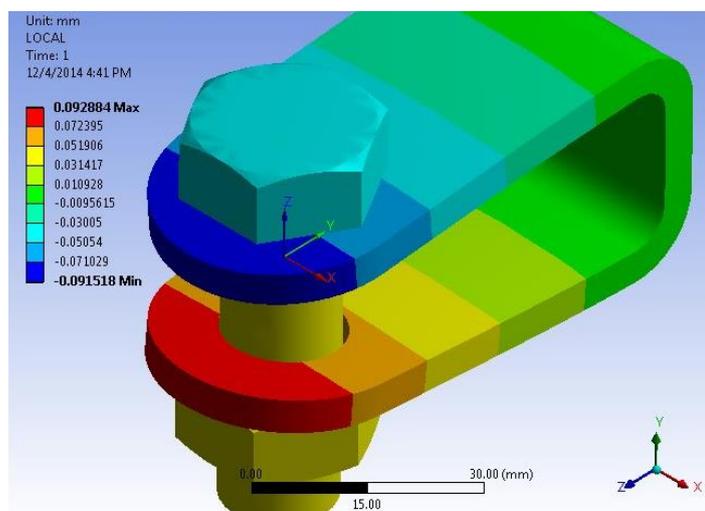
**Figura 57: Tensión a lo largo del eje “Z”**



**Elaboración:** propia

En la figura 58, se muestra la zona donde se producen la tensión máximas y mínima en el eje “z”. Esta zona se encuentra próxima al nodo 641, donde se produce la fuerza debido al amortiguador magneto-reológico.

**Figura 58: Detalle de la tensión máxima y mínima en el “Z”**

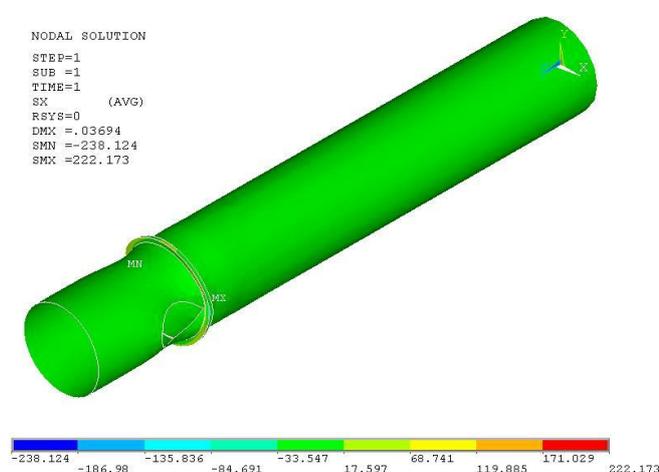


**Elaboración:** propia

- **Tensión eje “X”**

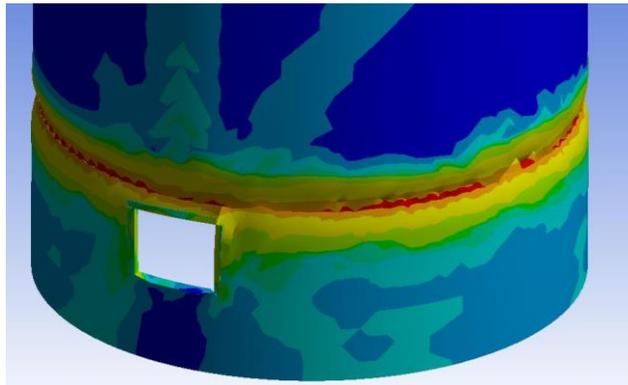
En la figura 59, se muestra una vista en isométrico de la pieza con las tensiones producidas a lo largo del eje “x”. La práctica totalidad de la estructura está sometida a una tensión de compresión de 33.547 MPa, siendo la zona donde se apoya el muelle el lugar donde se producen las tensiones máximas y mínimas.

Figura 59: Tensión máxima producida en la dirección “X”

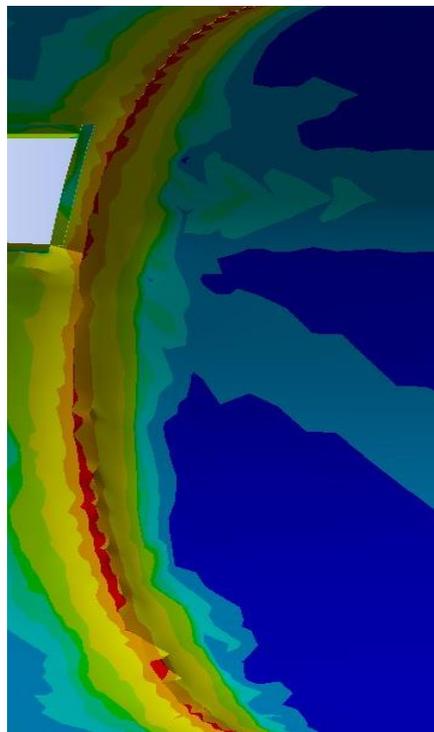


**Elaboración:** propia

En las figuras 60 y 61 se muestran, en detalle, donde se produce las tensiones mínimas y máximas respectivamente. Estos puntos se producen en la zona donde se apoya el muelle magneto-reológico.

**Figura 60: Tensión mínima en el eje “X”**

**Elaboración:** propia

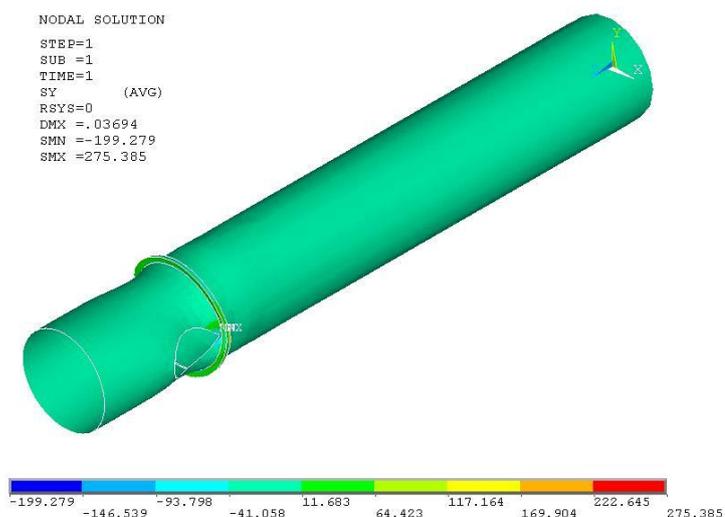
**Figura 61: Tensión máxima en el eje “X”**

**Elaboración:** propia

- **Tensión eje “Y”**

La figura 62 muestra las tensiones producidas a lo largo del eje “y”. Al igual que ocurre con las tensiones a lo largo del eje “x”, la prácticamente totalidad de la pieza tiene un tensión de compresión de un valor de 41.058 MPa.

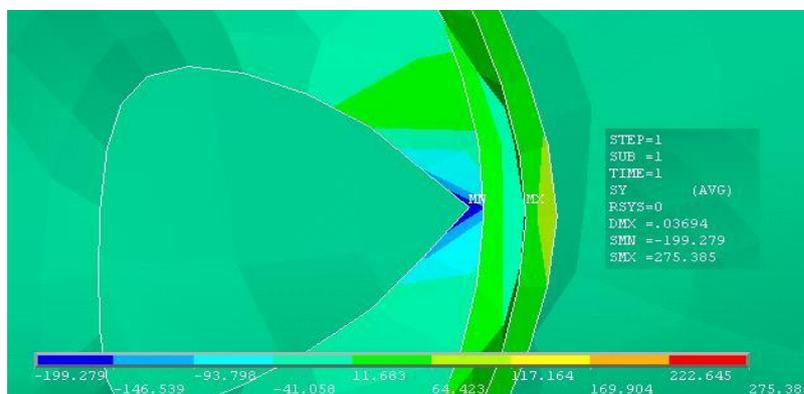
**Figura 62: Tensión máxima producida por el eje “Y”**



**Elaboración:** propia

En la figura 63 se muestra una zona ampliada de donde se producen las tensiones máximas y mínimas a lo largo del eje “y”.

**Figura 63: Tensión máxima y mínima en el “y”**



**Elaboración:** propia

#### 4.11. COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Una vez obtenidas las tensiones máximas y mínimas que se producen en la estructura debido a las sollicitaciones a las que está sometida, se procede a comprobar que, en ninguno de los tres ejes, se sobrepase el límite elástico del material, de esta forma se asegura, que en todo momento, se trabaja en su régimen elástico.

El módulo de elasticidad (E) considerado para el análisis en Ansys es el de un acero estructural de 210.000 MPa y la deformación máxima (α) en régimen elástico del acero es de un 0,2 %. Con estos dos valores y aplicando la ley de Hook se puede calcular la máxima tensión del acero en régimen elástico, es decir, su límite elástico:

$$\sigma_{max} = E\alpha^o \quad \dots \dots \dots (Ec. 1)$$

$$\sigma_{max} = 210.000x \frac{0.2}{100} = 420 \text{ Mpa} \quad \dots \dots \dots (Ec. 2)$$

La curva de tensión deformación del acero es igual tanto a compresión como a tracción, por lo que la tensión máxima en ambos casos es igual en modulo y con signo opuesto.

En la tabla 3 se muestran respecto con qué coeficiente de seguridad, n, se está trabajando para las máximas tensiones a compresión y tracción de cada uno de los ejes:

$$\eta = \frac{|\sigma|}{\sigma_{max}} x 100 \quad \dots \dots \dots (Ec. 3)$$

**Tabla 3: Coeficientes de seguridad**

	Eje	σ [MPa]	n [%]
<b>Tensión a compresión</b>	Eje "x"	-238.12	56,695
	Eje "y"	-199.28	47,448
	Eje "z"	-295.18	70,281
<b>Tensión a tracción</b>	Eje "x"	222.17	52,898
	Eje "y"	275.39	65,569
	Eje "z"	178.64	42,533

**Elaboración:** propia

De la tabla 4 se observa que el valor que está más cerca del límite elástico es la tensión a compresión en el eje “z” en el que la tensión es un 70 % de la tensión máxima admisible. El resto de valores se sitúan entre el 42 % y el 56 % de la tensión máxima admisible.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO** : Se ha alcanzado el objetivo propuesto de adaptar el amortiguador magneto-reológico al sistema de suspensión de un automóvil turismo. Para conseguir la adaptación únicamente ha sido necesario diseñar, mediante el programa SolidWork, la pieza superior (ver Anexo) que permite sujetar el amortiguador magneto- reológico a la copela de suspensión del vehículo.

**SEGUNDO** : Los desplazamientos y tensiones mediante el programa de elementos finitos Ansys, se aprecia que las tensiones máximas, tanto a compresión como a tracción, sufridas por la estructura no superan el límite elástico del material.

**TERCERO** : Permite que sea factible la adaptación del amortiguador magneto-reológico al sistema de suspensión del vehículo, creando un vehículo con una suspensión semiactiva.

## SUGERENCIAS

**PRIMERO** : Este proyecto trata de ser una primera aproximación para la adaptación de una suspensión semiactiva en un vehículo turismo. Se ha intentado abrir el camino, proponiendo una solución para que el amortiguador funcione en el sistema de suspensión del automóvil. Las opciones de continuación que presenta el presente Proyecto Fin de Carrera.

**SEGUNDO** : Continuar el presente proyecto, optimizando la solución propuesta en este proyecto para la adaptación del amortiguador magneto-reológico al vehículo, o bien, buscar otra solución para la adaptación de amortiguador.

**TERCERO** : Hacer una propuesta de solución para adaptar la suspensión trasera a los amortiguadores magneto-reológicos. Desarrollo de la instalación eléctrica necesaria en el automóvil para el funcionamiento de los cuatro amortiguadores magneto-reológicos.

**CUARTO** : Estudio de la correcta disposición propuesta en este proyecto para el amortiguador magneto-reológico. Una vez que se adapten los amortiguadores magneto-reológicos se podrá realizar un estudio de la variación del comportamiento dinámico del vehículo con los amortiguadores magneto-reológicos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alberdi U., J. (2003). *Manual de amortiguadores y suspensión*. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Navarra. 2003. Recuperado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)
- Alberdi U., J. N. (2010). Amortiguadores y suspensión. Manuales de automoción. Tecnun. Recuperado de [http://www.academia.edu/7621315/ESCUELAPOLITECNICASUPERIORDELAUNIVERSIDAD\\_Autor\\_V%C3%ADctorChac%C3%B3nHernando](http://www.academia.edu/7621315/ESCUELAPOLITECNICASUPERIORDELAUNIVERSIDAD_Autor_V%C3%ADctorChac%C3%B3nHernando)
- Barreto P. I. (2015). *Materiales compuestos inteligentes*. Viernes, 3 de abril. Recuperado de <http://compuestosinteligentes.blogspot.pe/>
- Bassault Systemes (2011). *Ayuda de Solidworks*. Recuperado de <http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Fundamentals/Meshing.htm>
- Bregni, C. (2010). *Reología (cap. 3.1). Reología. Departamento de Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia y Bioquímica*. Universidad de Buenos Aires. Año 2010. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>
- Chacón H., V. (2009). *Diseño de una suspensión para un vehículo automóvil basada en amortiguadores magneto - reológicos*". Dirección: Beatriz López Boada. Universidad Carlos III de Madrid.
- Chacón H., V. (2015). *Diseño de una suspensión para un vehículo automóvil basada en amortiguadores magneto- reológicos*. Recuperado de

<http://www.academia.edu/6145262/ESCUELAPOLITECNICASUPERIOREDELA>  
UNIVERSIDAD\_Autor\_V%C3%ADctorChac%C3%B3nHernando

Chirinos L., E. A. (2017). *Informe 2: Mantenimiento del Sistema de suspensión*. Escuela profesional de Ingeniería mecánica eléctrica y mecatrónica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/344427040/TECNO-1-2>

Chirinos L., E. A. (2017). *Informe 2: Mantenimiento del Sistema de suspensión*. Escuela profesional de Ingeniería mecánica eléctrica y mecatrónica. P. 10 – 13. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/344427040/TECNO-1-2>

Chirinos L., E. A. (2017). *Informe 2: Mantenimiento del Sistema de suspensión*. Escuela profesional de Ingeniería mecánica eléctrica y mecatrónica. P. 14 - 17. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/344427040/TECNO-1-2>

Coronel B., D. (2010). *Montaje y estudio de un amortiguador magneto - reológico en la suspensión de un vehículo automóvil*. Dirección: M<sup>a</sup> Jesús López Boada. Universidad Carlos III de Madrid. 2010. Recuperado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)

Cuesta F., G. (2003). *Camiones y vehículos pesados. Reparación y mantenimiento*. Edición 2003. Ed. CULTURAL, S.A. Recuperado de

<http://www.academia.edu/7621315/ESCUELAPOLITECNICASUPERIOREDELA>  
UNIVERSIDAD\_Autor\_V%C3%ADctorChac%C3%B3nHernando

Cupich R., M. y Eliazano G., F. J (1998). *Amortiguadores MR\_Descripcion ..*  
*Amortiguadores magneto-reol3gicos.* Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Danhke, (1989). *Metodolog3a de la investigaci3n.* Recuperado de  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lad/pinera\\_e\\_rd/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/pinera_e_rd/capitulo3.pdf)

Definici3n ABC (2017) *Definici3n de amortiguaci3n.* Recuperado de  
<https://www.definicionabc.com/motor/amortiguador.php>

Dom3nguez G., P, P., J. M, Melle, S. y Rubio, M. A. (2012). *Estructura fluidos MR*  
*Microestructura de una suspensi3n magneto-reol3gica depositada.* Laboratorio de  
Sistemas Complejos. Dpto. F3sica Fundamental. Facultad de Ciencias UNED.  
Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Fundaci3n de EROSKI, (2007). *Versi3n online de la revista Consumer Eroski. El*  
*amortiguador reol3gico.* A3o 2007. Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Fundaci3n de EROSKI. (2007). *El amortiguador reol3gico.* Versi3n *online* de la revista  
*Consumer Eroski.* A3o 2007. . Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Guzm3n M., C. P. (2007). *Dise3o y construcci3n de un prototipo de amortiguador*  
*magnetoreol3gico.* Cuenca Ecuador. Recuperado de  
<https://es.scribd.com/document/162529162/tesis-amortiguadores>

- Hurel E. J., Mandowb, A. y García C., A. (2011). *Los Sistemas de Suspensión Activa y Semiactiva: Una Revisión*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Hurel/publication/235779582\\_Los\\_Sistemas\\_de\\_Suspension\\_Activa\\_y\\_SemiactivaUna\\_Revision/links/09e4151370d9254d2e000000/Los-Sistemas-de-Suspension-Activa-y-SemiactivaUna-Revision.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Hurel/publication/235779582_Los_Sistemas_de_Suspension_Activa_y_SemiactivaUna_Revision/links/09e4151370d9254d2e000000/Los-Sistemas-de-Suspension-Activa-y-SemiactivaUna-Revision.pdf)
- López F., D. (2010). *Montaje y estudio de un amortiguador magneto - reológico RD 1005.3 en la suspensión de un vehículo automóvil*. Dirección: M<sup>a</sup> Jesús López Boada. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)
- López F., D. (2013). *Montaje y estudio de un amortiguador magnetoreológico RD 1005.3 en la suspensión de un vehículo automóvil*. Recuperado de
- López F., D. (2013). *Montaje y estudio de un amortiguador magnetoreológico RD 1005.3 en la suspensión de un vehículo automóvil*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>
- López F., D.(2010). *Montaje y estudio de un amortiguador magneto - reológico RD 1005.3 en la suspensión de un vehículo automóvil*. Dirección: M<sup>a</sup> Jesús López Boada. Universidad Carlos III de Madrid. 2010. Recuperado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)
- López G., O., Carnicero L., A. y Ruiz P., R. (2003). Mat Int I y II: *Materiales inteligentes I/II. 1<sup>a</sup> parte: Introducción a los materiales del siglo XXI. Anales de mecánica y*

*electricidad.* Año 2003. Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

López G., O., Carnicero L., A., Ruiz P., R. (2004). *Materiales inteligentes (II): Aplicaciones tecnológicas de mecánica y electricidad* Recuperado de Recuperado de  
[https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)

López G., Oscar, Carnicero L., Alberto, RUIZ P. Rosa. (2003). Mat Int I y II: Materiales inteligentes I/II. 1ª parte: Introducción a los materiales del siglo XXI. Anales de mecánica y electricidad. Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Lord. (2007). *Rd-1005-3 damper. Technical report.* Año 2007. Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Lord. Rd-1005-3. (2007). *Damper. Technical report.* Año 2007. . Recuperado de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30043735.pdf>

Luque, P., Álvarez, D. y Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil: Sistemas y Comportamiento Dinámico*, (Madrid, España: Thomson Editores Spain).  
Recuperado de  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97047/Memoria\\_TFG\\_Rafael\\_Mocholi\\_Carlos\\_Martin.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97047/Memoria_TFG_Rafael_Mocholi_Carlos_Martin.pdf)

Mecánicas de autos (2013). *Amortiguador de fricción.* Mayo. Recuperado de  
<http://mecanicaautomotores.blogspot.pe/2013/05/amortiguadores-de-friccion.html>

- Nano day (2013). *Efecto piezoeléctrico*. Recuperado de [http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsq\\_ueeze\\_images\\_13nov13\\_sp.pdf](http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsq_ueeze_images_13nov13_sp.pdf)
- Patentados (2016). *Dispositivos de suspensión de los asientos*. Recuperado de <https://patentados.com/patentes/B60N2/50.html>
- Phoemix (2006). *Materiales con memoria de forma*. 9 de enero. Recuperado de <https://www.xatakaciencia.com/tecnologia/materiales-con-memoria-de-forma>
- Reyes C., M. A. y Lema P., L.S. (2013). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de control semiactivo de vibraciones usando fluidos magnetoreológicos para el laboratorio de mecanismos y servomecanismos del DECEM*. 25 de setiembre. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7430/1/T-ESPE-047427.pdf>
- Rodríguez C. R. (2012). *Modelado de un amortiguador magneto-reológico mediante EcosimPro*. Junio. P. 42. Recuperado [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)
- Rodríguez, A. (2013). *Nuevos Materiales eléctricos*. Recuperado de <http://www.materialesde.com/nuevos-materiales-electricos/>
- Sabelotodo (2017). *Efecto piezo – eléctrico*. Recuperado de <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/piezoelctrico.html>
- Sabelotodo (2017). *Suspensión del automóvil*. Recuperado de <http://www.sabelotodo.org/automovil/suspension.html>

Web de Lord Corporation. (2014) *MR Products & Solutions*. Recuperado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC\\_Ruben\\_Rodriguez\\_Cadenas.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15250/PFC_Ruben_Rodriguez_Cadenas.pdf)

YP, J. (2016). *Sistema de suspensión*. 13 de diciembre. Recuperado de [http://todomecanicaa.blogspot.pe/p/blog-page\\_5285.html](http://todomecanicaa.blogspot.pe/p/blog-page_5285.html)

# ANEXOS

**ANEXO 1: ANEXO 01: CARACTERÍSTICAS DEL AMORTIGUADOR RD-8040-1**

El RD-8040-1 es un amortiguador compacto con fluido magneto-reológico, fabricado por la empresa alemana “LORD Corporation”. Cuando un campo magnético es aplicado al fluido magneto-reológico en el interior de monotubo, donde se aloja el fluido se aumentan las características de amortiguamiento del fluido, con gran precisión y con un tiempo de respuesta de aproximadamente 25 ms. Diseño de control liso, simple diseño y silencioso funcionamiento, este amortiguador magneto-reológico es especialmente apropiado para aplicaciones de suspensiones.

**Tabla 4:** Características del amortiguador RD-8040-1

Longitud en compresión	6,1 pulgadas (155 mm)
Longitud en extensión	8,2 pulgadas (255 mm)
Diámetro del amortiguador	1,63 pulgadas (41,4 mm)
Diámetro vástago Shaft	0,39 pulgadas (10 mm)
Peso	1,8 libras (800 g)
Para la instalación del Pin	0,47 pulgadas (12 mm)
Características eléctricas	Máximo 2 amperios
• Amperios de salida	12 V DC
• Voltaje de salida	5 ohm
• Resistencia Temperatura ambiente	7 ohm
• Resistencia (a 160°F 71° C)	
Fuerza del amortiguador (peak to peak)	>500 libras (2224 N)

Continua ....

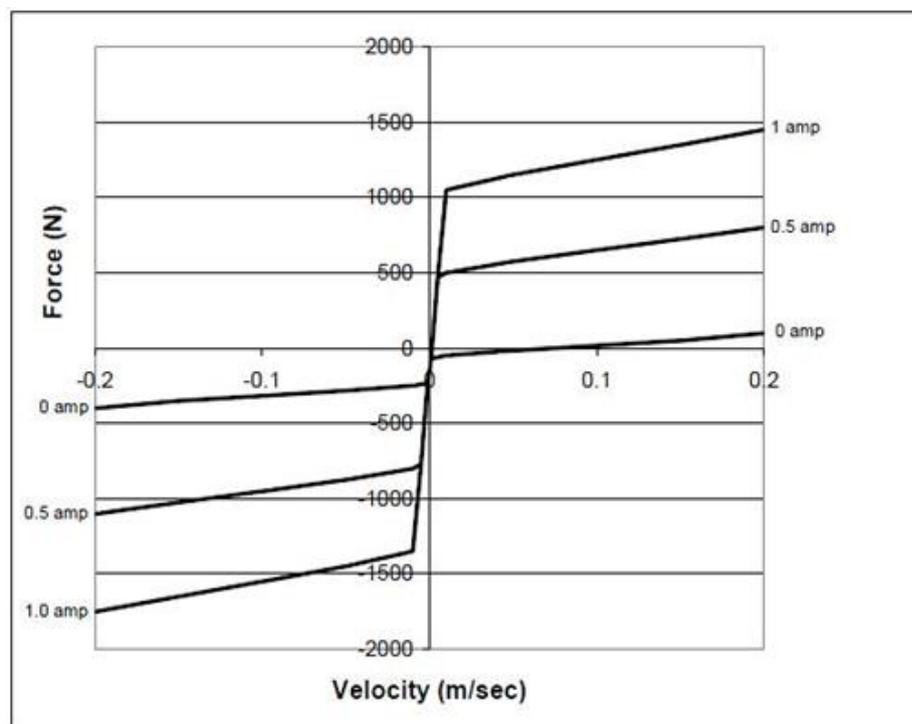
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 pulgadas/segundos 1 amperio</li> <li>• 8 pulgadas/segundo 0 amperio</li> </ul>	<150 libras (667 N)
<p>Características mecánicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima Fuerza de tensión -</li> </ul> <p>Tensile Strength-</p>	1000 libras (4448 N)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo rango de operación</li> <li>• Temperaturas limite de Al-</li> </ul> <p>macenamiento –Storage-</p>	<p>160°F (71 °C)</p> <p>212°F a -40°F (100 °C a 40 °C)</p>
Durabilidad	2 millones de ciclos +/- 0,5 pulgadas (+/- 13mm), 2 hercios con salida de corriente variable entre 0 y 0,8 amperios.
Tiempo de respuesta	< 25 ms – tiempo para alcanzar el 90% del máximo niveles desde 0 a 1 amperio con pasos de 2 pulgadas/segundo (51 mm/s)
Conector amortiguador (2 pin)	<p>Cuerpo: Modelo 03-06-2023</p> <p>Pins: Modelo 02-06-2103</p>
Conector de unión (2pin)	<p>Cuerpo: Modelo 03-06-1023</p> <p>Pins: Modelo 02-06-1103</p>

**Fuente:** amortiguador RD-8040-1 LORD CORPORATION

En la figura 75 se muestra una gráfica donde se observa el comportamiento del amortiguador cuando al atravesar una corriente eléctrica por sus bobinas. En la gráfica se

observa claramente como con la máxima intensidad de corriente, 1 Amperio, el amortiguador magneto- reológico produce su máxima fuerza amortiguadora.

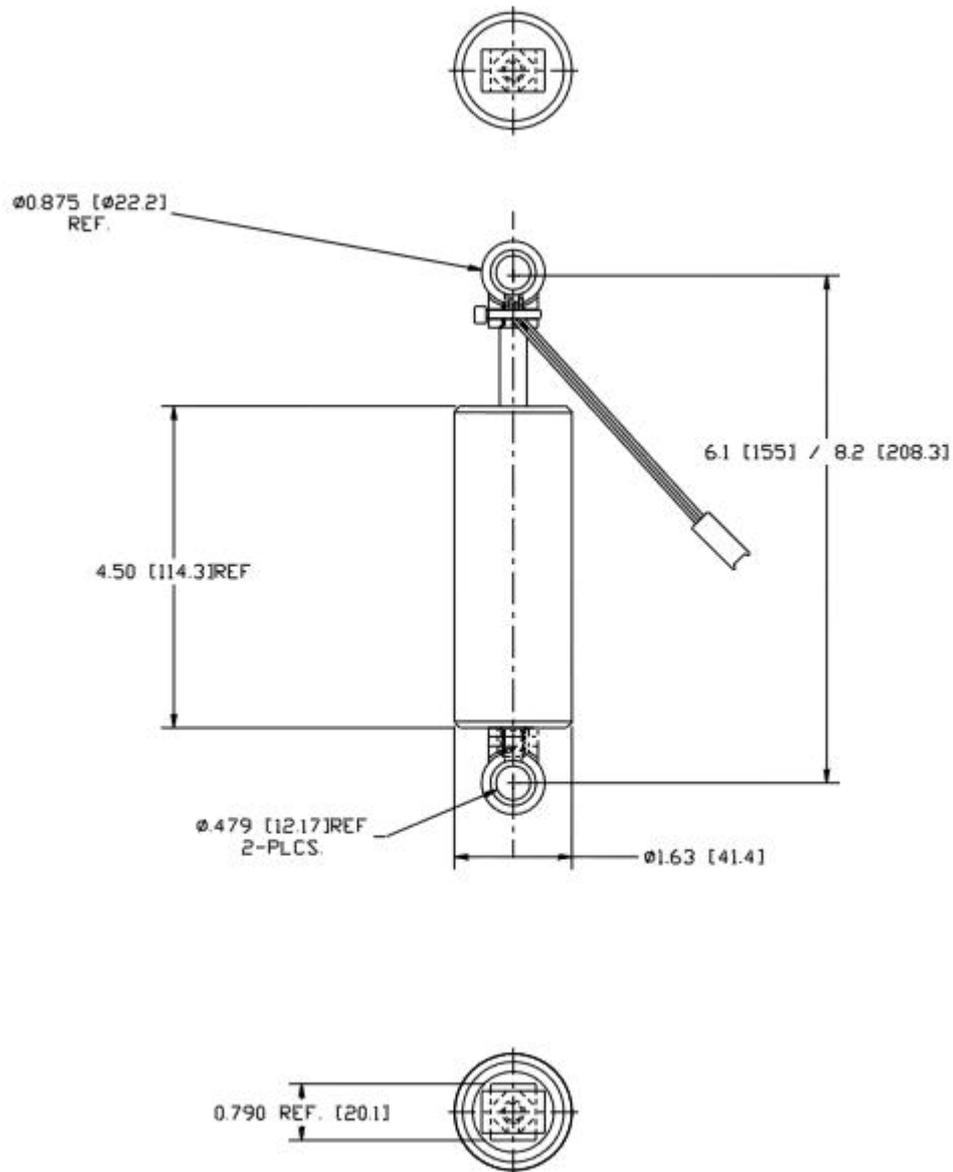
**Figura 64:** Grafica fuerza vs velocidad del amortiguador RD-8040-1



**Fuente:** amortiguador RD-8040-1 LORD CORPORATION

En las figura 72, se muestran las medias del amortiguador magneto reológico, el primer número está en pulgadas mientras que el número entre corchetes esta expresado en unidades de milímetros.

Figura 65: Medidas del amortiguador magneto reológico



Fuente: amortiguador RD-8040-1 LORD CORPORATION

**ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO**

En la tabla 5 se muestra las características más importantes del Toyota Yaris 2008, vehículo donde se va a instalar los amortiguadores magneto-reológicos.

**Tabla 5: Características del vehículo**

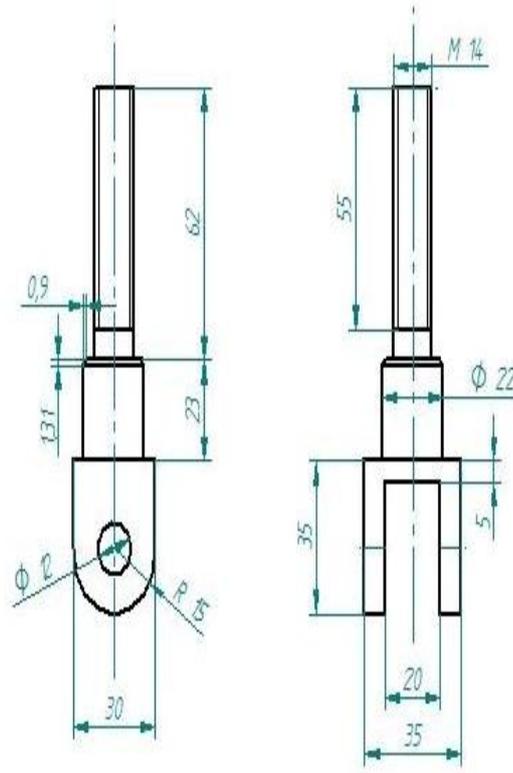
<b>Dimensiones, peso, capacidades</b>	
Largo / ancho / alto (mm)	4310 / 1700 / 1470
Batalla / vía delantera - trasera (mm)	2540 / 1475 - 1466
Peso (kg)	2581
<b>Motor</b>	
Combustible	Gasóleo
Potencia máxima CV - kW / rpm	107 / 6000
Par máximo Nm / rpm	139 / 4200
Situación	delantero transversal
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1496
<b>Chasis</b>	
Suspensión delantera	Independiente. Tipo Toyota Resorte helicoidal. Barra estabilizadora.
Suspensión trasera	Semi-independiente. Brazo tirado. Eje transversal de torsión. Resorte helicoidal.
Frenos delanteros (diámetro mm)	disco ventilado (266 mm)
Frenos traseros (diámetro mm)	disco (249 mm)
Tipo de dirección	de cremallera

Diámetro de giro entre bordillos / pares (m)	10,4 / 10,8
Neumáticos	175/65 R14

**Fuente:** amortiguador RD-8040-1 LORD CORPORATION

**ANEXO 3: PLANO PIEZA SUPERIOR**

**Figura 66: Plano pieza superior**



**Fuente:** amortiguador RD-8040-1 LORD CORPORATION