



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
DINÁMICO DE AMORTIGUADORES MACPHERSON EN EL  
BANCO DE PRUEBAS SOFT-ENGINE SHOCK 3.0"**

**AUTOR: ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA**

**DIRECTOR: ING. VÍCTOR DANILO ZAMBRANO**

**LATACUNGA**

**2016**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Certificó que el trabajo de titulación, "**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE AMORTIGUADORES MACPHERSON EN EL BANCO DE PRUEBAS SOFT-ENGINE SHOCK 3.0**", realizado por el señor **ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de diciembre de 2016

---

Ing. VICTOR DANILO ZAMBRANO  
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA**, con cédula de identidad N° 1803909322, declaro que este trabajo de titulación "**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE AMORTIGUADORES MACPHERSON EN EL BANCO DE PRUEBAS SOFT-ENGINE SHOCK 3.0**", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 19 de diciembre de 2016

**ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA**

C.C.: 1803909322



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORIZACIÓN

Yo, ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE AMORTIGUADORES MACPHERSON EN EL BANCO DE PRUEBAS SOFT-ENGINE SHOCK 3.0", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 19 de diciembre de 2016

ANGEL POLIVIO BALSECA PUCHA

C.C.: 1803909322

## DEDICATORIA

Dedico este gran paso a mi dios en primera parte y a mis padres que me apoyaron siempre en este gran paso de mi vida.

Además de esto va dedicado para mis hermanos y familiares que estuvieron en las buenas y malas de este camino, que con su apoyo pude pasar muchas barreras que se presentaron, así también va dedicado para las personas especiales que me apoyaron en esta etapa de mi vida, va para todos ustedes.

Ángel. B. P

## AGRADECIMIENTO

Inicio agradeciendo a mi dios por darme vida y salud para que todos mis sueños se hicieran realidad luego de mucho esfuerzo, ya que siempre él me dio la sabiduría necesaria para tomar las decisiones más acertadas y culminar con mi fase de estudio., ya que con su cuidado y porque siempre me acompañó día y noche durante toda mi vida y seguirá haciéndolo con mucho amor.

A mis padres, que fueron mis confidentes e instructores en los valores más principales de un ser humano, por ser siempre mi apoyo y el pilar de mi vida, por el día a día que estuvieron en todas las situaciones difíciles, alegres, llantos, tristezas, derrotas y triunfos logrados, ya que si tropezaba muchas veces ellos con su amor me levantaban y seguía luchando en la vida. A mis hermanos y hermanas que siempre estuvieron presentes con sus ocurrencias y hacían que mi vida sea alegre y no solitaria, como también sea llena de amor y paz y seamos la familia unida y apoyándonos siempre en el calor de hogar.

A todas las personas que apoyaron de diferentes maneras en todo este tiempo para poder culminar mi carrera universitaria, a los maestros que con sus enseñanzas académicas y personales me han formado como un profesional para brindar apoyo a la sociedad de la manera correcta, además termino agradeciendo a mi director de carrera y colaboradores por su dirección, ayuda y conocimientos brindado para culminar correctamente mi proyecto.

El autor

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
PRESENTACIÓN .....	XVII

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del problema.....	3
1.3.	Descripción resumida del proyecto.....	5
1.4.	Argumento e importancia.....	6
1.5.	Objetivos del proyecto .....	7
1.5.1.	Objetivo general .....	7
1.5.2.	Objetivos específicos .....	7
1.6.	Metas.....	8
1.7.	Hipótesis.....	9
1.8.	Variables de la investigación.....	9
1.8.1.	Variables independientes.....	9
1.8.2.	Variable Dependiente.....	10

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	Sistema de suspensión .....	11
2.1.1.	Función del sistema de suspensión .....	12
2.1.2.	Componentes del sistema de suspensión .....	13
2.2.	Suspensión MacPherson .....	13
2.3.	Amortiguadores .....	15
2.3.1.	Componentes del amortiguador .....	16
2.3.2.	Funcionamiento.....	16
2.4.	Tipos de amortiguadores .....	18

2.4.1.	Amortiguador de doble tubo .....	19
2.4.2.	Amortiguadores no presurizados .....	21
2.4.3.	Amortiguadores presurizados .....	21
2.4.4.	Amortiguadores mono tubo.....	23
2.5.	Modelos matemáticos .....	24
2.5.1.	Modelo de Reybrouck K. ....	24
2.5.2.	Modelo de Duym .....	28
2.5.3.	Modelo de Rhoades.....	29
2.5.4.	Comportamiento dinámico .....	30
2.5.5.	Comportamiento errático.....	30
2.5.6.	Corrientes y fuerzas en un amortiguador.....	30
2.5.7.	Parámetros principales del amortiguador.....	31

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES

3.1.	Rangos de funcionamiento del amortiguador .....	34
3.1.1.	Desplazamiento máximo .....	35
3.1.2.	Velocidad máxima .....	36
3.1.3.	Fuerza de amortiguamiento .....	37
3.1.4.	Coeficientes de amortiguamiento .....	37
3.1.5.	Gráfico fuerza – posición .....	39
3.1.6.	Gráfico fuerza – velocidad .....	41
3.2.	Diseño y modelación del utillaje para amortiguadores en suspensión MacPherson. ....	42
3.2.1.	Necesidad de diseño.....	42
3.2.2.	Cumplimiento de las fases del diseño .....	42
3.2.3.	Diseño utillaje .....	43
3.2.4.	Simulación utillaje .....	43
3.2.5.	Construcción y mecanizado del utillaje para los ensayos en el banco de pruebas. ....	46

## CAPÍTULO IV

### PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	Banco de prueba de amortiguadores Dyno shock 11 .....	54
4.1.1.	El Modelo – ficha técnica.....	55
4.1.2.	Captador de fuerza .....	56
4.1.3.	Las Pruebas.....	57
4.2.	Objetivos .....	59
4.3.	Selección de los amortiguadores para ensayos comparativos.....	59
4.4.	Metodología de ensayo.....	62
4.4.1	Preparación de la muestra .....	64
4.4.2.	Procedimiento .....	65
4.4.3.	Informe .....	65
4.4.4.	Diagramas o curvas características de los amortiguadores/muestras ensayadas. ....	65
4.4.5.	Parámetros generales de pruebas.....	66



4.5.	Resultados y análisis de las pruebas. ....	67
4.5.1.	Ensayo 1. Prueba a velocidad fija .....	68
4.5.2.	Ensayo 2. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	75
4.5.3.	Ensayo 3. Prueba a velocidad variable con step fijo.....	77
4.5.4.	Ensayo 4. Prueba a velocidad fija .....	79
4.5.5.	Ensayo 5. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	81
4.5.6.	Ensayo 6. Prueba a velocidad variable con step fijo.....	83
4.5.7.	Ensayo 7. Prueba a velocidad fija .....	85
4.5.8.	Ensayo 8. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	87
4.5.9.	Ensayo 9. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	89
4.5.10.	Ensayo 10. Prueba a velocidad fija .....	91
4.5.11.	Ensayo 11. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	93
4.5.12.	Ensayo 12. Prueba a velocidad variable con step variable. ....	95
4.6.	Resultados y análisis de las comparaciones de los ensayos.....	97
4.6.1.	Análisis de los ensayos de la prueba a velocidad fija. ....	98
4.6.2.	Análisis de la prueba a velocidad variable con un step variable. ....	101
4.6.3.	Análisis de la prueba a velocidad variable con un step fijo. ....	105
4.6.4.	Análisis de la prueba a velocidad variable con un step fijo. ....	109

## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

5.1.	Recursos generales .....	114
5.1.1.	Factor humano. ....	114
5.1.2.	Factores tecnológicos. ....	114
5.2.	Gastos del proyecto. ....	116
5.3.	Cronograma. ....	117
5.4.	Propuesta del trabajo investigativo .....	118
	Estrategias financieras .....	118

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones. ....	121
6.2.	Recomendaciones. ....	123

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
---------------------------------	-----

ANEXOS.....	132
-------------	-----

CERTIFICACIÓN.....	129
--------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de Problemas.....	4
Figura 2	Suspensión delantera y trasera.....	11
Figura 3	Diferentes oscilaciones en un vehículo.....	12
Figura 4	Componentes del sistema de suspensión.....	13
Figura 5	Composición de la suspensión MacPherson.....	14
Figura 6	Composición del amortiguador.....	15
Figura 7	Componentes del amortiguador.....	16
Figura 8	Función del amortiguador.....	16
Figura 9	Amortiguador en Expansión.....	17
Figura 10	Amortiguador en Compresión.....	18
Figura 11	Amortiguador mono tubo y bitubo.....	19
Figura 12	Amortiguador doble tubo.....	19
Figura 13	Funcionamiento de los amortiguadores presurizados y no presurizados.....	22
Figura 14	Amortiguador mono tubo.....	23
Figura 15	Representación de las fuerzas en el interior del amortiguador.....	26
Figura 16	Restricciones debidas a las válvulas.....	26
Figura 17	Esquema de un amortiguador bitubo y forma de la válvula interna.....	29
Figura 18	Configuración general de un amortiguador.....	30
Figura 19	Curva característica de un amortiguador.....	32
Figura 20	Diagrama fuerza/velocidad.....	34
Figura 21	Desplazamiento máximo.....	35
Figura 22	Esquema de caída libre del vehículo para la determinación de la velocidad máxima a tracción.....	36
Figura 23	Evolución temporal en función del tiempo.....	36
Figura 24	Representación del coeficiente de amortiguamiento en función de la velocidad para un amortiguador.....	38
Figura 25	Diagrama Fuerza/desplazamiento, prueba a velocidad constante (1 ciclo).....	39
Figura 26	Diagrama Fuerza/desplazamiento, prueba a velocidad variable (1 ciclo por cada frecuencia o velocidad).....	39
Figura 27	Diagrama Fuerza/Velocidad, prueba a velocidad constante (1 ciclo).....	41
Figura 28	Diseño de los soportes conjuntamente con el amortiguador.....	43
Figura 29	Diseño y mallado de los soportes y el amortiguador.....	43
Figura 30	Fuerzas aplicadas al soporte inferior.....	44
Figura 31	Análisis estático estructural.....	44
Figura 32	Factor de seguridad.....	45

Figura 33	Análisis del factor de seguridad.....	46
Figura 34	Tubo cuadrado.....	48
Figura 35	Tubo rectangular.....	48
Figura 36	Eje de transmisión.....	49
Figura 37	Ensamblado, agujeros y soldadura.....	49
Figura 38	Centrar el soporte.....	49
Figura 39	Nivelar el soporte con amortiguador.....	50
Figura 40	Soporte inferior completo.....	50
Figura 41	Tubo rectangular.....	51
Figura 42	Tuerca hierro dulce.....	51
Figura 43	Centrar y soldar.....	51
Figura 44	Nivelar soporte superior.....	52
Figura 45	Soporte superior terminado.....	52
Figura 46	Soportes superior e inferior.....	52
Figura 47	Soportes y amortiguador fijados en el banco.....	53
Figura 48	Banco prueba Dyno shock 11.....	55
Figura 49	Captador de fuerza.....	57
Figura 50	Amortiguadores muestras (4).....	62
Figura 51	Cámara termo grafica FLIR.....	63
Figura 52	Fuerza – desplazamiento muestra 1;E1.....	68
Figura 53	Fuerza-velocidad, muestra 1;E1.....	69
Figura 54	Fuerza-velocidad absoluta, muestra 1;E1.....	69
Figura 55	Fuerza absoluta - velocidad absoluta, muestra 1;E1.....	70
Figura 56	Fuerza mediana - velocidad absoluta, muestra 1;E1.....	70
Figura 57	Fuerza mediana absoluta - velocidad absoluta, muestra 1;E1.....	71
Figura 58	Temperatura - tiempo, muestra 1;E1.....	71
Figura 59	Fuerza y desplazamiento - tiempo, muestra 1;E1.....	72
Figura 60	Fuerza y velocidad - tiempo, muestra 1;E1.....	72
Figura 61	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1;E1.....	73
Figura 62	Datos resultantes ensayo muestra 1;E1.....	74
Figura 63	Fuerza – desplazamiento muestra 1;E2.....	75
Figura 64	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1;E2.....	76
Figura 65	Datos resultantes ensayo muestra 1;E2.....	76
Figura 66	Fuerza – desplazamiento, muestra 1;E3.....	77
Figura 67	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1;E3.....	78
Figura 68	Datos resultantes ensayo muestra 1;E3.....	78
Figura 69	Fuerza – desplazamiento, muestra 2;E4.....	79

Figura 70	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 2;E4.....	80
Figura 71	Datos resultantes ensayo muestra 2;E4.....	80
Figura 72	Fuerza – desplazamiento, muestra 2;E5.....	81
Figura 73	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 2;E5.....	82
Figura 74	Datos resultantes ensayo muestra 2;E5.....	82
Figura 75	Fuerza – desplazamiento, muestra 2;E6.....	83
Figura 76	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo,muestra2;E6.....	84
Figura 77	Datos resultantes ensayo muestra 2;E6.....	84
Figura 78	Fuerza – desplazamiento, muestra 3;E7.....	85
Figura 79	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3;E7.....	86
Figura 80	Datos resultantes ensayo muestra 3;E7.....	86
Figura 81	Fuerza – desplazamiento, muestra 3;E8.....	87
Figura 82	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3;E8.....	88
Figura 83	Datos resultantes ensayo muestra 3;E8.....	88
Figura 84	Fuerza – desplazamiento, muestra 3;E9.....	89
Figura 85	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3;E9.....	90
Figura 86	Datos resultantes ensayo muestra 3;E9.....	90
Figura 87	Fuerza – desplazamiento, muestra 4;E10.....	91
Figura 88	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4;E10.....	91
Figura 89	Datos resultantes ensayo muestra 4;E10.....	92
Figura 90	Fuerza – desplazamiento, muestra 4;E11.....	93
Figura 91	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4;E11.....	94
Figura 92	Datos resultantes ensayo muestra 4;E11.....	94
Figura 93	Fuerza – desplazamiento, muestra 4;E12.....	95
Figura 94	Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4;E12.....	96
Figura 95	Datos resultantes ensayo muestra 4;E12.....	97
Figura 96	Fuerza – desplazamiento, muestra 1, 2, 3 y 4.....	98
Figura 97	Comparación amortiguadores, muestra 1, 2, 3 y 4.....	100
Figura 98	Fuerza – desplazamiento, muestras 1, 2, 3 y 4.....	101
Figura 99	Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 1, 2, 3 y 4.....	103
Figura 100	Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 1, 2, 3 y 4.....	103

Figura 101	Comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 1, 2,3 y 4.....	104
Figura 102	Fuerza – desplazamiento, muestra 1 y 3.....	105
Figura 103	Fuerza – velocidad, muestra 1 y 3.....	106
Figura 104	Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 1 y 3.....	107
Figura 105	Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 1 y 3.....	108
Figura 106	Comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 1 y 3.....	108
Figura 107	Fuerza – desplazamiento, muestra 2 y 4.....	109
Figura 108	Fuerza – velocidad, muestra 2 y 4.....	110
Figura 109	Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 2 y 4.....	112
Figura 110	Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 2 y 4.....	112
Figura 111	Comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 2 y 4.....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Actuación de la variable independiente.....	9
Tabla 2	Actuación de la variable dependiente.....	10
Tabla 3	Parámetros generales de un amortiguador.....	31
Tabla 4	Características de los materiales.....	47
Tabla 5	Parámetros técnicos del banco y sus complementos.....	55
Tabla 6	Modelos de vehículos con mayor demanda de componentes.....	60
Tabla 7	Amortiguadores seleccionados.....	61
Tabla 8	Equipos e instrumentos.....	62
Tabla 9	Capturas de cambios de temperatura mediante la cámara Flir en los ensayos de los amortiguadores.....	64
Tabla 10	Datos de todas las velocidades.....	66
Tabla 11	Datos de todas las temperaturas medianas.....	67
Tabla 12	Resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.....	99
Tabla 13	Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.....	102
Tabla 14	Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.....	107
Tabla 15	Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.....	111
Tabla 16	Detalle de egresos del proyecto.....	116
Tabla 17	Conteo general de gastos.....	116

## **RESUMEN**

El desarrollo del presente estudio se efectuó en las instalaciones del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, entidad adjunta al Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, donde se realizó los ensayos de amortiguadores utilizados en suspensión MacPherson, permitiendo comparar experimentalmente el comportamiento dinámico del mismo bajo diferentes condiciones de ciclos de fatiga en el banco de pruebas Dyno Schock, para determinar las curvas características: fuerza/desplazamiento, fuerza/velocidad, fuerza/velocidad absoluta, fuerza media /velocidad absoluta, fuerza /picos de velocidad, temperatura/tiempo, que se realizaron en muestras originales vs muestras alternas, estos resultados obtenidos por el banco nos ayudaran a determinar cuál se comporta de mejor manera en condiciones críticas de funcionamiento y poder seleccionar cual amortiguador es el idóneo para el servicio que se requiera; como también direccionar estas pruebas al control de calidad de la producción nacional en el sector automotriz.

### **PALABRAS CLAVE**

- **AUTOMÓVILES - AMORTIGUADORES**
- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE SUSPENSIÓN**
- **SUSPENSIÓN MACPHERSON**

## **ABSTRACT**

The development of the present study was carried out in the facilities of the Carrocero Metalmechanical Productive Development Center, attached to the Tungurahua Provincial Honorary Government, where the tests of shock absorbers used in MacPherson suspension were carried out, allowing the experimental comparison of the dynamics behavior under different conditions Of fatigue cycles on the Dyno Schock test bench to determine the characteristic curves: force / displacement, force / velocity, absolute force / velocity, mean force / absolute velocity, force / velocity peaks, temperature / time, which were performed In original samples vs alternate samples, these results obtained by the bank will help us to determine which one behaves in the best way under critical operating conditions and to be able to select which shock absorber is suitable for the service that is required; As well as to direct these tests to the quality control of the national production in the automotive sector..

## **KEYWORDS**

- **AUTOMOBILE - SHOCK ABSORBERS**
- **AUTOMOBILES - SUSPENSION SYSTEM**
- **MACPHERSON - SUSPENSION**



## PRESENTACIÓN

Este trabajo se realiza para apoyar a la industria automotriz que fabrican amortiguadores y al sector que comercializan este elemento, que forma parte esencial del sistema de suspensión de los vehículos, la investigación aportará con resultados fiables para los fabricantes, así como para los investigadores que desarrollan nuevos prototipos de amortiguadores con mejores características de comportamiento dinámico, para realizar esta investigación se utilizará el banco de pruebas Dyno-Shock que se encuentra en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, mediante esta prueba se podrá certificar muestras de lotes por modelos de amortiguadores y así contribuir a la calidad de los mismos como también generar valor agregado al producto nacional.

La utilidad del banco es diseñar nuevos modelos de amortiguadores partiendo desde los existentes, a través de ensayos que nos brindarán resultados para su posterior análisis, como también garantizar parámetros característicos técnicos de amortiguadores importados en sus diferentes gamas.

Con esto damos una alternativa de mejora y control, así como también de innovación tecnológica alterna al sistema de suspensión en el campo automotriz.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN.

#### 1.1. Antecedentes.

La tarea de un sistema de suspensión es mantener en cada condición de marcha, el contacto de las ruedas con la calzada y de minimizar la transmisión de movimientos vibratorios a la carrocería del vehículo; por lo que hablamos de confort para vehículos particulares y para vehículos de competición hablamos de tracción y estabilidad en condiciones críticas. (Baez, 13-12-2016)

El sistema de suspensión MacPherson, es uno de los más importantes en los vehículos; en la actualidad existen muchos sistemas de suspensiones, tanto en la parte delantera, como en la parte posterior; éste tipo de suspensión es muy utilizado en vehículos, por sus beneficios, entre los que podemos destacar su simplicidad, aplicación y efectividad, por lo tanto, esto también se refleja en un menor costo de producción. (Gabriel S. A, 1963)

En el sistema de suspensión MacPherson, los neumáticos están controlados por una barra oscilante, que está debajo del centro de gravedad de la rueda; también lleva un montante de suspensión y una varilla de guía. (Gabriel S. A, 1963)

En este desarrollo, uno de los principales retos por parte de los fabricantes de amortiguadores, es mejorar las características de los sistemas de suspensión en los vehículos, sin embargo, es necesario realizar trabajos e investigaciones basadas a la simulación computacional de la dinámica vehicular del vehículo, posibilitando la concepción de bancos de ensayos para suspensión, que parten de métodos experimentales y caracterización

de amortiguadores, para conocer y mejorar las características y calidad de los amortiguadores en la fabricación local y nacional.

La presente propuesta de investigación, está centrada en realizar un marco referencial que permita la verificación de las características técnicas de fabricación; validarlas a través de ensayos en bancos de pruebas de amortiguadores y proponer mejoras sobre la gama existente en el mercado. De esta manera, se brindan soluciones para satisfacer mejores prestaciones frente a la seguridad y confort de los ocupantes

La metodología consiste en trabajar con muestras conformadas por amortiguadores de tipo original y alternos, para realizar una inter-comparación de resultados obtenidos en el banco de pruebas, que garantiza la simulación bajo las mismas condiciones de trabajo; de esta manera, se identificará las curvas características a velocidad constante y variable, coeficiente de amortiguamiento y relación compresión – extensión y otras que sean identificadas durante el desarrollo experimental.

Otra variante para la realización del procedimiento de ensayo, que se propondrá, será someter a los amortiguadores a diferentes ciclos de fatiga que pueden ser configurados en un banco de amortiguadores, de esta manera, se podrá determinar qué tipo de amortiguador tiene mejores prestaciones en operación para el servicio a prestar.

De los resultados obtenidos, se podrá analizar las condiciones actuales de funcionamiento del amortiguador comparando originales y alternos; es necesario destacar que no existen en el país, análisis comparativos de amortiguadores para suspensión MacPherson, en bancos de ensayos, lo cual constituye una barrera para fomentar la producción nacional con un valor agregado en la industria.

Realizando un análisis del ámbito legal y normativo del Ecuador, no se dispone de normas que regulan la fabricación y calidad de amortiguadores que conforman parte de la suspensión de los vehículos, convirtiéndose esta investigación en un instrumento para generar una propuesta de normativa de acuerdo a las necesidades locales. Como

ejemplo de lo expuesto, existe una propuesta del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE. UNEN 034 (IR) “Elementos mínimos de seguridad para vehículos automotores”, el cual aplica a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean estos de origen importados o ensamblados en el país, y en el numeral 4.6, el cual está enfocado a la suspensión, que puntualiza lo siguiente: “Los vehículos automotores deben disponer de un sistema de suspensión en todos sus ejes o ruedas, respetando los diseños originales del fabricante y de acuerdo con el uso aplicable.”. Por lo tanto, esta investigación nos permite aportar al cumplimiento de este requisito obligatorio a los amortiguadores como un componente principal de la suspensión, así como certificar el cumplimiento del mismo, con el desarrollo de la propuesta.

## **1.2. Planteamiento del problema.**

La investigación se origina por el análisis del comportamiento dinámico del amortiguador y la simulación en un banco de ensayo de amortiguadores, mediante el cual nos permite obtener resultados de diferentes parámetros de carga en distintas condiciones de ciclos de fatiga determinados en el procedimiento de ensayo, todos estos parámetros serán validados con repeticiones para comprobar la precisión de los resultados de esta metodología.

Se desarrollará un marco referencial, tanto de caracterización y procedimientos de verificación, con el fin de incrementar el conocimiento sobre la normativa referencial para la fabricación de amortiguadores, lo que hace que se pueda verificar de manera óptima estos elementos como principal elemento en la suspensión MacPherson.

Se reducirá el alto costo de mantenimiento de componentes automotrices, así como la exportación de productos de baja calidad por medio de las recomendaciones, producto del desarrollo de esta investigación, que analizará en su patrón de muestra cierta variedad de marcas presentes en el mercado. Por tanto, se aporta al reglamento técnico vigente RTE INEN 034 (Vásconez, 2008) acerca del control documental y experimental que se debería tener para verificación y validación de los requisitos mínimos de seguridad.

Principalmente, la investigación plantea la aplicación de nuevas técnicas para validar ensayos de los amortiguadores en el país, que se conviertan en la base para generar avance tecnológico en el sector autopartista, reduciendo la complejidad del acceso a este tipo de conocimiento a los investigadores, entusiastas y nuevos emprendedores a través de la transferencia de tecnología.



**Figura 1**    **Árbol de Problemas**

### **1.3. Descripción resumida del proyecto.**

El presente proyecto de investigación "Análisis Comparativo del Comportamiento Dinámico de Amortiguadores MacPherson en el Banco de Pruebas Soft-Engine Shock 3.0", considerará los siguientes pasos:

Se recopilará información adecuada según su procedencia, considerando las fuentes necesarias y veraces en este tema, ya que pueden ser encontradas en libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones reguladas nacionalmente o internacionales según sea conveniente para el desarrollo del tema.

El ensayo de comparación experimental se desarrollará en el Centro de Fomento Productivo Carrocero Metalmecánico del Gobierno Provincial de Tungurahua; las muestras se someterán a diferentes ciclos de fatiga que se requiera para la correcta comparación.

Se realizará las diferentes pruebas en el banco Dyno shock-11 para determinar los parámetros característicos (curvas fuerza/desplazamiento, fuerza/velocidad, fuerza/velocidad absoluta, fuerza media /velocidad absoluta, fuerza /picos de velocidad, temperatura/tiempo y todas las magnitudes graficadas en el tiempo a diferentes velocidades o frecuencias). Todas las pruebas y mediciones se llevarán a cabo en condición normal y crítica de funcionamiento del amortiguador.

Se tabulará los datos obtenidos en los ensayos experimentales para obtener un registro de resultados para sus cálculos; para proceder a analizar su comportamiento tomando en cuenta las diferentes condiciones a las que estarán sometidas las muestras.

Mediante el uso de software Soft-Engine y simulación especializada se podrá comparar datos característicos de los amortiguadores y trabajarlos en condiciones diferentes y bajo diferentes ciclos de fatiga o conducción.

#### **1.4. Argumento e importancia.**

Considerando que el sector automotriz en el país está formado por una producción de autos, los datos estadísticos en los años 2011-2014 alcanzó 41.103 unidades, 8% menos que en el mismo periodo del año 2013. Los vehículos producidos son: 27.713 automóviles, 12.315 camionetas, 695 camperos, 200 furgonetas y 180 chasis de camioneta. (CINAE, 2014).

La exportación de vehículos en este periodo 2011-2014 alcanzó la cantidad de 5.434 unidades, registrándose el 6% menos respecto al mismo periodo del año 2013. El vehículo de mayor exportación fue el automóvil con 3.720 unidades, seguido por las camionetas con 1.514 unidades, y 200 furgonetas, (CINAE, 2014).

En periodo 2011-2014 se importaron 29.908 vehículos, 10% menos en relación con el mismo periodo del año 2013. Los vehículos importados son: 18.247 automóviles, 5.214 camiones, 1.981 camionetas, 1.721 camperos, 1.138 furgonetas, 516 tracto camiones, 352 chasis de bus, 411 buses, 264 automóviles híbridos, 1 camionetas hibridas y 63 vehículos especiales, (CINAE, 2014).

La oferta total de vehículos en este periodo, fue de 65.577 unidades, 9.08% menos respecto al mismo periodo del año 2013; la cual indica de una demanda de amortiguadores en el mercado nacional por lo expuesto anteriormente, por lo tanto, la investigación y desarrollo del proyecto ayudará al sustento técnico para solventar los requisitos de la normativa legal vigente y control de los amortiguadores en los sistemas de suspensión. (CINAE, 2014).

El avance tecnológico en el campo automotriz hace que se esté a la par con las nuevas tecnologías; y brindar alternativas para mejorar las prestaciones del amortiguador en el sistema de suspensión MacPherson, creando fuentes de investigación que utilicen equipos de pruebas sofisticados que simulen experimentalmente el funcionamiento del amortiguador en diferentes condiciones de conducción.

El apoyo de este trabajo investigativo permitirá obtener parámetros o datos validados en el banco de ensayos, que generan curvas características del amortiguador en las diferentes condiciones.

La utilidad teórica – práctica radica en un estudio que servirá como documento bibliográfico y práctico como guía para la realización del ensayo e implantación de un ente de certificación en amortiguadores para fabricantes nacionales.

Los beneficiarios de la investigación vienen a ser directamente los estudiantes y docentes de la Facultad de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero y el Sector Automotriz de la zona 3.

## **1.5. Objetivos del proyecto**

### **1.5.1. Objetivo general**

Realizar el análisis comparativo del comportamiento dinámico de amortiguadores MacPherson en el banco de pruebas para certificar y validar los resultados del ensayo, cumpliendo la normativa vigente legal y controlar la producción nacional de este producto.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Recolectar la información bibliográfica correspondiente a manuales y datos técnicos que permitan un manejo adecuado del banco de ensayos de amortiguadores Dyno Shock -11.
- Estudiar el amortiguador como uno de los componentes utilizado en un sistema de suspensión MacPherson.
- Describir y comparar el comportamiento dinámico de amortiguadores en condiciones críticas de funcionamiento.
- Programar el software para realizar el ensayo en el banco de pruebas de acuerdo a las especificaciones del manual de fabricante.
- Realizar las pruebas en el banco de ensayos de amortiguadores



Dyno shock-11 para determinar los parámetros característicos (curvas fuerza/desplazamiento, fuerza/velocidad, fuerza/velocidad absoluta, fuerza media /velocidad absoluta, fuerza /picos de velocidad, temperatura/tiempo y todas las magnitudes graficadas en el tiempo a diferentes velocidades o frecuencias) de las muestras tomadas del mercado.

- Registrar los datos obtenidos en los ensayos, para generar un cuadro comparativo entre las muestras de los amortiguadores que se tomaron para el ensayo.
- Proponer un procedimiento de ensayo de amortiguadores con el respectivo alcance del banco.

#### **1.6. Metas.**

- Diseñar y construir el utillaje para colocar los amortiguadores utilizados en la suspensión MacPherson en un mes.
- Programar y controlar el sistema electrónico para la realización de los ensayos en un mes.
- Proponer el procedimiento de ensayo según lineamientos de la Norma INEN 17025 en un mes.
- Evaluar en el banco durante todo el proceso de operación, las condiciones y parámetros de ingreso para la realización de del ensayo, así como también consolidar todo lo referente al manual y software del banco, en el momento del desarrollo de la práctica del mismo, definiendo un instructivo básico general para maniobrabilidad del banco en un mes.
- Realizar los ensayos de comparación de los pares de amortiguadores en una semana.
- Analizar los resultados comparativos de los ensayos realizados a los amortiguadores en un tiempo de 30 días para culminar este capítulo, permitiendo a continuación el desarrollo de redacción de las conclusiones y recomendaciones adecuadas.

## 1.7. Hipótesis.

El análisis comparativo de amortiguadores en suspensión MacPherson permitirá mejorar los parámetros característicos del amortiguador y saber el estado del mismo para su correcto uso, como también controlar la calidad de producción.

## 1.8. Variables de la investigación.

### 1.8.1. Variables independientes.

Amortiguadores de suspensión MacPherson.

**Tabla 1**

### Actuación de la variable independiente

Descripción	Categoría	Variables	Unidades	Sistema	Equipos
Son datos de entrada para las diferentes pruebas y control según especificaciones del fabricante del tipo de amortiguador que será sometido al experimento.	Datos termopar	temperatura	°C	programación	Soft-Engine Shock 3.0
	Datos amortiguador	Carrera, tipo, modelo y características técnicas.	mm	Medición, visualización y programación	Soft-Engine Shock 3.0, físico datos técnicos y metrología.
	Datos paramétricos del software.	Velocidad, frecuencia, fuerza roce, tiempo ciclos y comportamiento dinámico.	mm/s, Hertz, Kg y s.	Programación.	Soft-Engine Shock 3.0

## 1.8.2. Variable Dependiente

Parámetros característicos

**Tabla 2**

**Actuación de la variable dependiente.**

Descripción	Categoría	variables	unidades	Sistema	Equipos
Son los indicadores del desempeño del amortiguador, así como los resultados evidenciados en el experimento calculados por el banco de pruebas	Gráficos de Curvas características	Fuerza / desplazamiento	N/mm	Medición	Dynoshock -11
		Fuerza/velocidad	N/mm/s	Medición	Dynoshock -11
		Fuerza / velocidad absoluta	N/mm/s	Medición	Dynoshock -11
		Fuerza mediana/ velocidad absoluta	N/mm/s	Medición	Dynoshock -11
		Fuerza amortiguador/ picos de velocidad	N/mm/s	Medición	Dynoshock -11
		Fuerza gas/ ángulo de manivela.	N/Grados	Medición	Dynoshock -11
		Temperatura / tiempo	°C/s	Medición	Dynoshock -11
		Todos / tiempo	s	Medición	Dynoshock -11
	Control de calidad y verificación de datos técnicos según fabricantes.	Comparación y validación	N/A	Visualización y cálculos	Normas, reglamentos y literatura.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Sistema de suspensión

El sistema de suspensión de un vehículo tiene como función principal "absorber" las irregularidades del suelo sobre el que se desplaza, y mantener el contacto del neumático con la calzada, proporcionando a los pasajeros el adecuado confort y seguridad pasiva, además protegiendo los demás sistemas del automóvil. (Urbietal, 2003). El peso muerto vehicular se descompone en dos partes denominadas: masa suspendida, la integrada por todos los elementos cuyo peso es soportado por el bastidor o chasis, y masa no suspendida, constituida por el resto de los componentes. (Urbietal, 2003)

El sistema está compuesto por un elemento flexible (muelle de ballesta o helicoidal, barra de torsión, estabilizador, muelle de goma, gas o aire), y un elemento de amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al adaptarse a las irregularidades del terreno. (Manuel, enero 2012); En la figura 2 se puede observarse la disposición del conjunto de la suspensión delantera y trasera de un vehículo. (Floren, 2005)



**Figura 2** Suspensión parte delantera y trasera.

**Fuente:** (Floren, 2005).

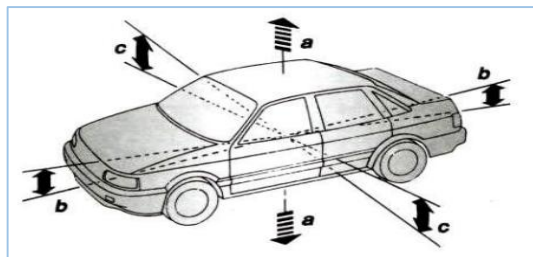
### 2.1.1. Función del sistema de suspensión

El propósito de la suspensión es permitir tener el control del vehículo en cualquier camino, con el correcto contacto del neumático con el suelo, proporcionando seguridad y la estabilidad en cualquier circunstancia de la trayectoria, otra también es garantizar el confort de los ocupantes. (Murillo, 2009), así cumplir otras funciones detalladas a continuación:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el chasis.
- Soportar los efectos de vuelco en las curvas.
- Mantener los ángulos de la dirección en toda la trayectoria
- Proteger el paralelismo entre los ejes y la perpendicular del chasis

Este sistema también ayuda a producir la menor cantidad de oscilaciones para que no se transmitan a los ejes cuando son expuestos los neumáticos a baches o irregularidades del camino, todos estos movimientos se generan por la mala conducción y se centralizan en el centro de gravedad del vehículo, desplazándose en diferentes direcciones. (Rakheja, 1996)

Las oscilaciones que se dan en el vehículo lo podemos observar en la figura 3, y son: Arrastre: que se produce al pasar por camino irregular en forma ondulado (a) Balanceo: que se produce por frenadas de acciones inmediatas (b) Cabeceo: que se generan al tomar curvas pronunciadas a altas velocidades (c) (Fernández, 2011)

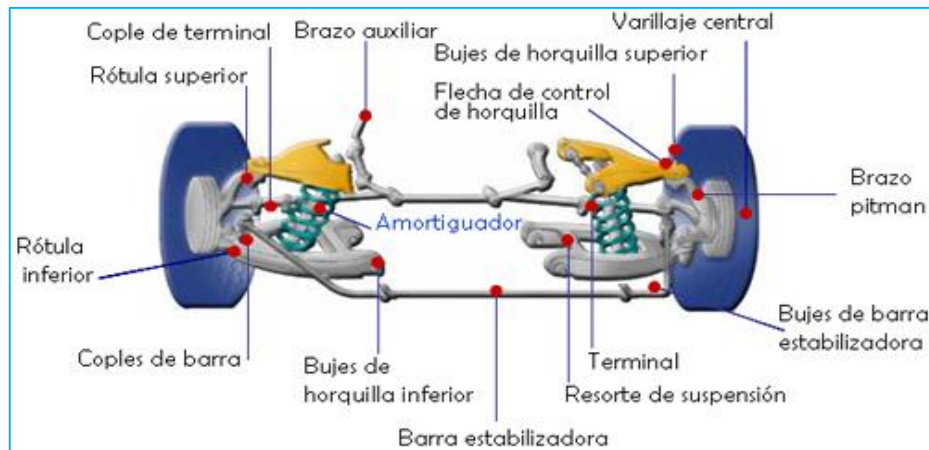


**Figura 3** Oscilaciones generadas en un vehículo.

**Fuente:** (Urbietal, 2003)

### 2.1.2. Componentes del sistema de suspensión

Los elementos del sistema de suspensión son aquellos que están interpuestos entre las masas suspendidas y las masas no suspendidas. Por su construcción deben ser elásticos y deformables para poder absorber las irregularidades de la superficie donde el vehículo se mueva, y el intervalo definido de la amplitud de estas deformaciones generadas (Barrera, 2012)



**Figura 4 Componentes del sistema de suspensión.**

**Fuente:** (Suspension automotriz 1993, 2016)

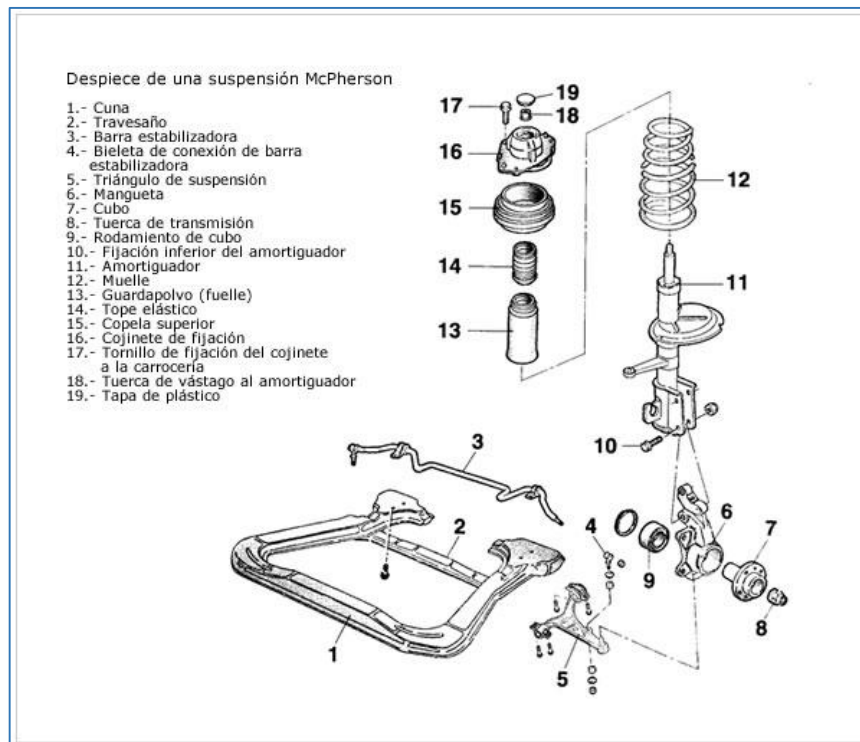
### 2.2. Suspensión MacPherson

Esta suspensión está constituida básicamente con muelles y amortiguadores, siendo un sistema importante en los vehículos; existen diferentes tipos de suspensiones, como delantero y trasero; la suspensión MacPherson es la más utilizada en la actualidad en la mayoría de autos (Undes, 2016)

MacPherson proviene de Earl S. MacPherson, fue quien ideó este tipo de suspensión en el año 1951. El primer modelo en equipar este tipo de suspensión fue la compañía Ford Cónsul (Undes, 2016)

La suspensión de eje delantero ofrece un punto de apoyo a la dirección y como eje de giro de los neumáticos. (Virtual, 2012)

La suspensión MacPherson tiene beneficios como: simplicidad, bajo costo de producción y fácil acceso en el mercado; pero también tiene algunas desventajas como, no contar con grado de libertad vertical en las ruedas, esto sucede ya desde el diseño de la suspensión la rueda no se puede mover de forma vertical, modificándose varios grados el ángulo vertical durante las oscilaciones. (Meganeboy., 2014)



**Figura 5 Estructura de la suspensión MacPherson.**

**Fuente:** (Meganeboy., 2014)

En esta suspensión, los neumáticos están controlados por un brazo oscilante, que está debajo del centro de gravedad del neumático; también lleva una barra de guía montante en la suspensión; y los brazos oscilantes, que se encuentran fijos al sub chasis. (Meganeboy., 2014)

La separación funcional de las fuerzas longitudinales en el soporte delantero, laterales y en el soporte posterior, permite obtener una gran agilidad de marcha, así también la seguridad y un confort interior adecuado para el ocupante. (Arizmendi, 2009)

### 2.3. Amortiguadores

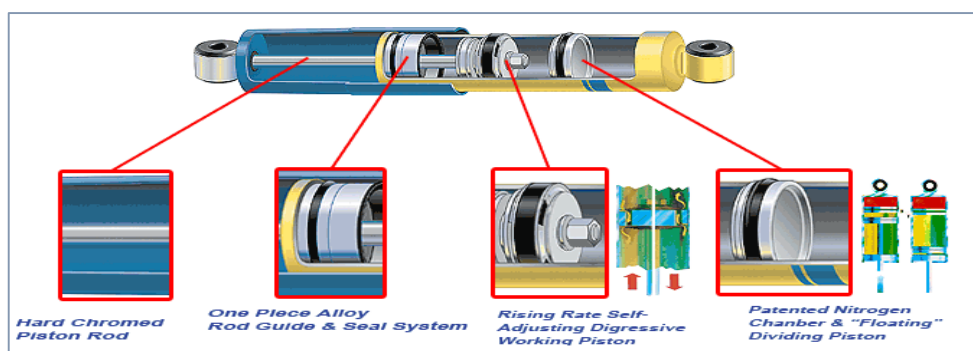
El objetivo de los amortiguadores es amortiguar cualquier imperfección o irregularidad del camino; la importancia del mismo es mantener el control del vehículo en curvas pronunciadas y trayectos desfavorables, como también evitar desgastar otras piezas de vital importancia durante su funcionamiento (Quintal, mayo 2005)

La función es disminuir una oscilación o movimiento no deseado que aparece en un sistema mecánico; en particular, el amortiguador en el ámbito automotriz, debe atenuar movimientos inesperados de forma. (Media, 2000)

Para bajar la velocidad de una masa se tiene que hacer una fuerza opuesta a la velocidad, una fuerza opuesta podría ser la fricción entre dos superficies, en este principio se basa el funcionamiento de los amortiguadores utilizados. (Remy, 1974)

Existen tres tipos de fricción que son: la fricción de Coulomb (que es el contacto relativo entre partes solidas), la fricción del movimiento de un fluido viscoso y la fricción turbulenta que aparece de la disipación energética de calor como consecuencia del movimiento del fluido. (Oettinghaus, 1991)

En los amortiguadores se busca la fricción del movimiento con el fluido, entre otras variables, encontramos la velocidad del fluido, a este tipo de amortiguadores se los conoce como amortiguadores hidráulicos. (Sáez, 2012)

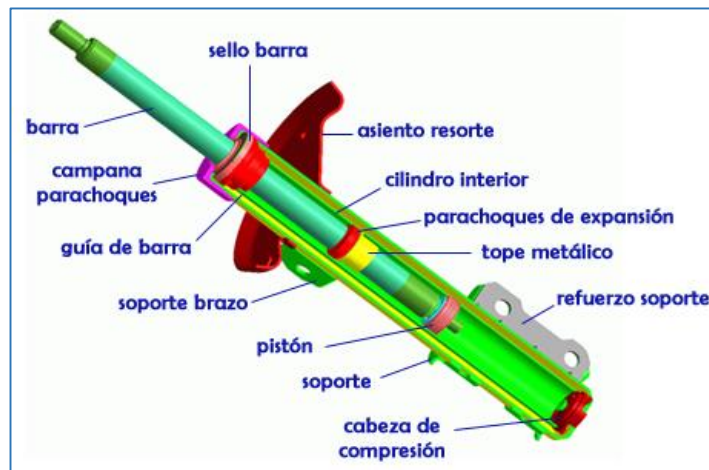


**Figura 6 Composición del amortiguador.**

**Fuente:** (Meganeboy., 2014)



### 2.3.1. Componentes del amortiguador

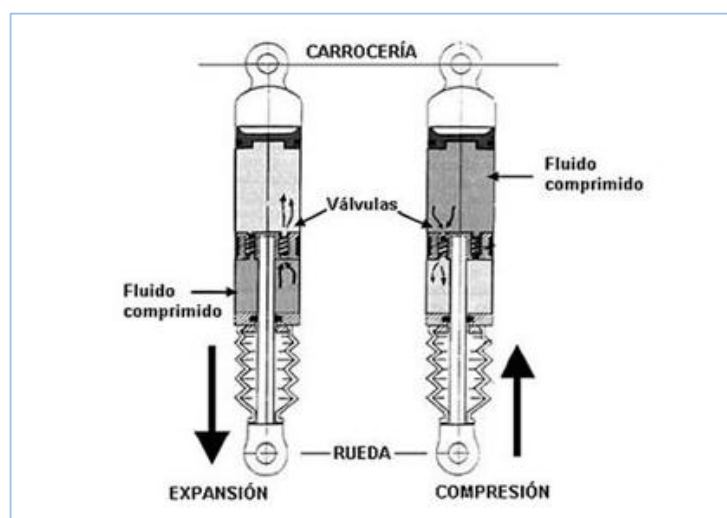


**Figura 7 Componentes del amortiguador.**

**Fuente:** (Arizmendi, 2009)

### 2.3.2. Funcionamiento

El funcionamiento de este componente se basa principalmente en la circulación de aceite/fluido entre los componentes internos a través de un conjunto de válvulas que generan oposición al paso del mismo entre las cámaras; de esta forma se controlan las oscilaciones de la suspensión durante las fases de expansión y compresión del amortiguador. (Fernández, 2011)

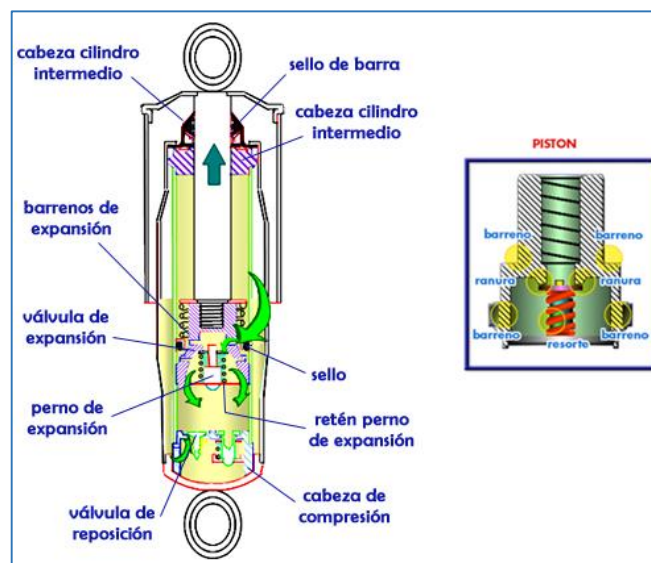


**Figura 8 Función del amortiguador**

**Fuente:** (Fernandez, 2011)

a. Expansión

En esta etapa el amortiguador abre el pistón para subir y solo se logra si el aceite que está arriba del pistón pase a través del mismo a la parte inferior; para controlar el paso del aceite, están los conductos ubicados en el cuello del pistón y las ranuras que se hacen en el asiento de la válvula de expansión, como también se encuentra el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada. La función de estos componentes es generar fuerzas llamadas resistencias hidráulicas, (Báez, 13-12-2016).



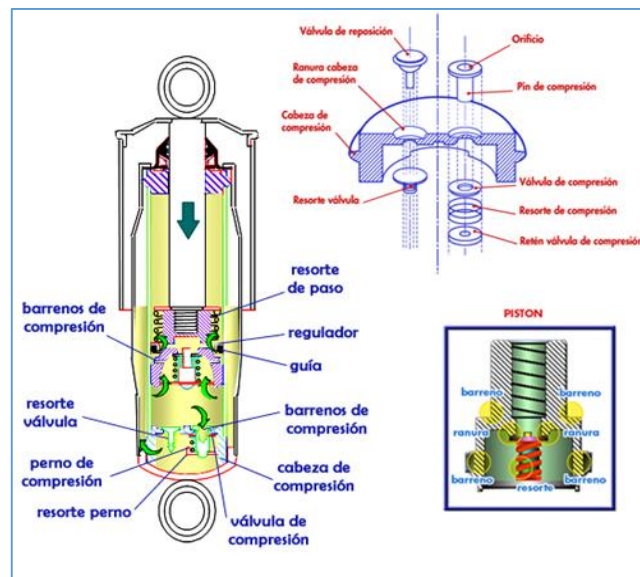
**Figura 9 Amortiguador en Expansión.**

**Fuente:** (Calvo J. S., 2005)

b. Compresión

En esta fase, el pistón necesita bajar y esto solo se logra si el aceite que está en la parte inferior pase a través de este a la parte superior. Para controlar el paso del aceite, están los conductos ubicados en el cuerpo del pistón y las ranuras que hacen en la cabeza de compresión donde se ubica la válvula de reposición, como también el resorte de compresión ubicado en la cabeza de compresión que mantiene la válvula controlada. (Báez, 13-12-2016)

Al igual que la expansión, el trabajo de estos componentes, generan fuerzas llamadas resistencias hidráulicas. (Gabriel S. A, 1963)



**Figura 10 Amortiguador en Compresión.**

**Fuente:** (Calvo J. S., 2005)

## 2.4. Tipos de amortiguadores

Un amortiguador es aquel dispositivo que ha sido diseñado para la absorción de energías producidas a partir de impactos o golpes o bien, para que aquellas oscilaciones provocadas por algún movimiento periódico disminuyan.

Los amortiguadores son una pieza esencial en la suspensión de los automóviles y pueden encontrarse distintas variantes de acuerdo a sus funciones, (Murillo, 2009).

Los amortiguadores se clasifican en diferentes tipos:

a) Por su sentido de trabajo:

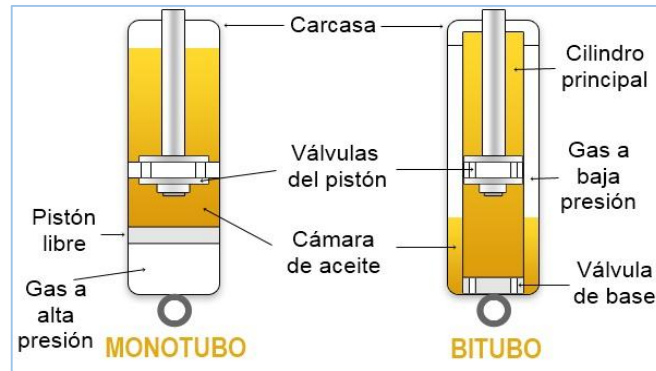
1. Amortiguadores de simple efecto: utilizados en un solo sentido
2. Amortiguadores de doble efecto: para extensión y compresión.

b) Según el tipo de fluido de amortiguación:

1. A gas.

## 2. Hidráulicos

La clasificación más comúnmente utilizada en los amortiguadores surge del modo en que se absorbe la variación del volumen. En concreto, se distinguen dos tipos de amortiguadores: el de doble tubo y el mono tubo. (Murillo, 2009)

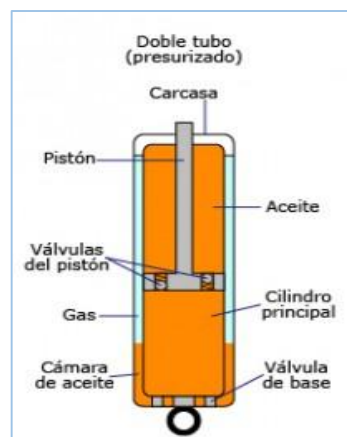


**Figura 11 Amortiguador mono tubo y bitubo.**

**Fuente:** (Calvo J. S., 2005)

### 2.4.1. Amortiguador de doble tubo

Son los más utilizados en la actualidad, existiendo los no presurizados (aceite) y presurizados (con aceite y gas), que constan de dos cámaras una llamada interior y otra de reserva, donde hay válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada estas de pie. (Urbietal, 2003). Entre los elementos de los amortiguadores doble tubo se identifican lo siguiente:



**Figura 12 Amortiguador doble tubo.**

**Fuente** (Calvo J. S.-P., 2008)

**El retén.**

A través de este elemento se desliza el vástago en ascenso y descenso en el amortiguador, la característica importante de este es la de retener el aceite en el interior del amortiguador y mantener fuera los agentes contaminantes exteriores. (Murillo, 2009)

**Cuerpo del amortiguador.**

Está constituido de dos tubos de acero concéntricos, de los cuales el tubo principal es el de trabajo y es perfectamente cilíndrico, y estos se comunican entre sí a través de su válvula ubicada en su parte inferior. (Murillo, 2009)

**Conjunto de válvulas.**

Este conjunto de válvulas cuya función es abrir y cerrar los conductos de dimensiones, por los cuales pasa el aceite a presión; como son de acero inoxidable mantienen sus características principales durante más de 20 millones de ciclos. (Murillo, 2009)

**El aceite.**

El aceite es primordial en el funcionamiento de los amortiguadores, sin el cual no tendría utilidad alguna. Tiene un índice de viscosidad que permite que el amortiguador tenga un rendimiento constante entre  $-40^{\circ}$  C y  $120^{\circ}$  C. El aceite también lubrica y enfría los componentes sometidos a fricción, mejorando la vida útil de los elementos que conforman el amortiguador. (Murillo, 2009)

**El vástago del pistón.**

Este está diseñado para soportar esfuerzos mecánicos y su estado superficial es de gran importancia en el funcionamiento. Este elemento está fabricado de acero templado y cromado, ya que debe ser lo más liso posible para evitar rugosidades y afectar al retén de aceite. (Murillo, 2009)

## **El pistón.**

Este elemento se desliza dentro del cilindro de forma alternativa para interactuar con el fluido y generar trabajo de compresión como de extensión, y el aceite pasa a través de las válvulas tanto para la parte superior e inferior para el correcto amortiguamiento en las irregularidades del camino. Este elemento está constituido de metal sinterizado que consiste en piezas fabricadas a partir de un polvo metálico que se comprime a alta presión dentro de moldes a altas temperaturas. (Murillo, 2009)

### **2.4.2. Amortiguadores no presurizados**

En estos amortiguadores se puede formar burbujas de aire bajo las siguientes condiciones:

Cuando el amortiguador se traslada de forma horizontal antes de ser ubicado en el sistema.

Cuando la columna de aceite de la cámara cae por gravedad cuando el automóvil permanece parado durante mucho tiempo.

Cuando el aceite se contrae por enfriamiento brusco y pierde las propiedades de la viscosidad del mismo.

En consecuencia, de todo lo mencionado los cambios bruscos de temperatura afecta algunos amortiguadores que pueden padecer lo que se llama "enfermedad matinal". (Báez, 13-12-2016)

### **2.4.3. Amortiguadores presurizados**

Estos son los más empleados hoy en día por sus excelentes prestaciones y el aceite utilizado en estos amortiguadores contiene partículas de aire.

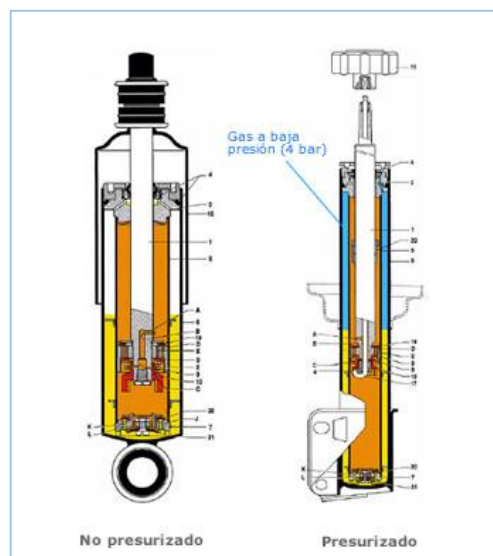
Los amortiguadores presurizados poseen un tipo de configuración de diseño utilizada en vehículos de gama alta cuando se busca mejorar las prestaciones de los amortiguadores de doble tubo convencionales. (Baez, 13-12-2016)

La fuerza de extensión realizada por este amortiguador en su posición nominal es baja; esto permite utilizar esta solución en suspensiones MacPherson se requieren diámetros de amortiguador más elevados.

Las ventajas respecto de los amortiguadores no presurizados son los siguientes:

- Mejor respuesta de la válvula.
- Mejor confort de marcha en irregularidades del camino
- Mejores propiedades de amortiguación en ciclos de fatiga extremas.
- Reducción del nivel de ruido hidráulico durante su funcionamiento.

Con respecto a los amortiguadores mono tubo, los de doble tubo presurizados tiene la ventaja de tener una mejor longitud y fricción para las mismas condiciones de operación en las diferentes irregularidades de la calzada. (Jhony, 2014)



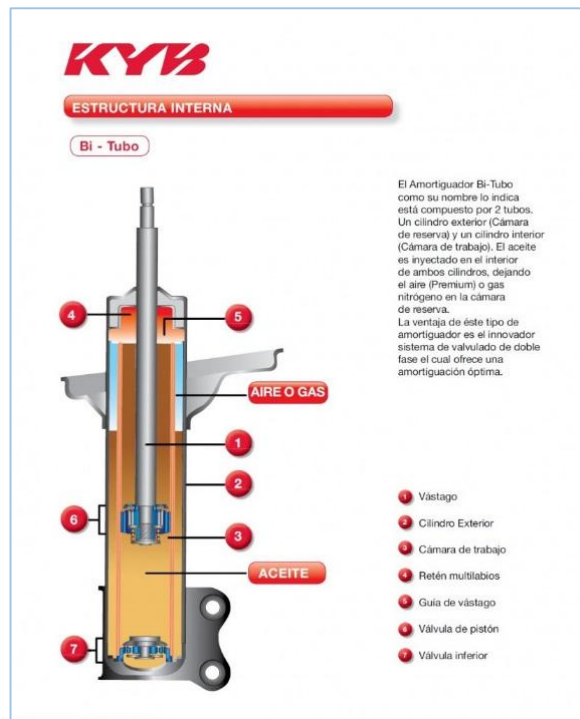
**Figura 13 Funcionamiento de los amortiguadores presurizados y no presurizados.**

**Fuente** (Calvo J. S.-P., 2008)

#### 2.4.4. Amortiguadores mono tubo.

Estos están conformados por dos cámaras principales, la una contiene el aceite y el otro gas a presión (gas nitrógeno) que se encuentran separadas por un pistón flotante. (Jhony, 2014)

Los componentes principales de los amortiguadores mono tubo se encuentran:



**Figura 14 Amortiguador mono tubo.**

**Fuente (Jhony, 2014)**

1. Vástago del cilindro
2. Sistema de sellado.
3. Aceite de alta viscosidad y calidad
4. Pistón flotante de material sintético
5. Escudo metálico
6. Guía de aluminio auto-lubricante para el vástago con una excelente resistencia al desgaste.
7. El pistón autoajustable



## 8. Gas nitrógeno comprimido (Jhony, 2014)

### **Funcionamiento**

Primer ciclo: Cuando se estira lentamente el amortiguador, el pistón y su vástago se mueven hacia arriba y hace de forzar al aceite desde la cámara superior a la cámara inferior por medio de la válvula del pistón. El aceite pasa progresivamente por los agujeros del pistón y los conductos ubicados en el fondo del pistón. Debido al tamaño de estos conductos, la resistencia al flujo del aceite aumenta con rapidez al elevarse la velocidad del pistón, por sus dimensiones pequeñas, ya que a menor tamaño mayor resistencia de flujo.

Segundo ciclo: Cuando se incrementa la velocidad del pistón, la presión tiene la fuerza suficiente para subir los elementos hacia la parte superior, por lo tanto, a través de este ciclo se adquiere características lineales de comportamiento. (Murillo, 2009).

Tercer ciclo: Cuando el pistón alcanza altas velocidades dentro del cilindro, es decir existirá un aumento inmediato de la fuerza de amortiguación. En este momento, los discos están completamente abiertos, pero al tener una capacidad de apertura limitada, se consigue aumentar la resistencia al flujo del aceite efectivamente. (Murillo, 2009)

### **2.5. Modelos matemáticos**

#### **2.5.1. Modelo de Reybrouck K.**

Reybrouck trabaja para Monroe lo que aporta rigor al modelo que se va a describir a continuación; consiste en un modelo matemático de amortiguadores mono tubo conciso, esto es, bastante sencillo, pero a la vez eficiente, riguroso y fiable. (Calvo J. S., 2005)

En el modelo se tiene en cuenta la influencia de la temperatura, el desplazamiento e incluso la aceleración, permitiendo hacer simulaciones dinámicas; sin embargo, no es un método de respuesta en frecuencia.

El modelo deriva de otros que se basan en cálculos hidráulicos mucho más elaborados de flujos y presiones. Sin embargo, Reybrouck considera el flujo de aceite en el interior del amortiguador permanentemente turbulento, lo que limita la precisión del modelo a velocidades de excitación muy bajas, a la vez que lo simplifica, evitando que los cálculos lleven demasiado tiempo.

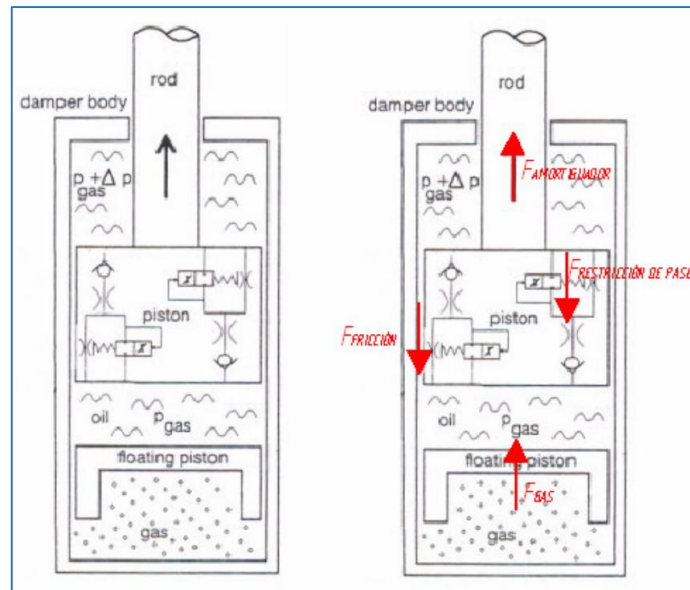
De todos modos, se asegura la fiabilidad del modelo para el rango de señales comprendidas desde 0,5 Hz hasta 30 Hz; con lo cual queda dentro de las exigencias de la mayoría. (Calvo J. S., 2005)

#### **a. Consideraciones físicas del modelo**

Para el análisis de los resultados se consideran positivas las fuerzas y velocidades cuando el amortiguador está trabajando en extensión; teniendo en cuenta esta consideración, si tiramos del vástago hacia fuera, se producen tres fuerzas en el interior del amortiguador cuya suma se corresponde a la que hay que hacer para sacar el vástago, esto es, la fuerza que produce el propio amortiguador. Obviamente, en la carrera de compresión, las fuerzas adoptarán signo contrario, exceptuando la fuerza que ejerce el gas que mantendrá el signo (que no la magnitud). (Calvo J. S.-P., 2008)

De esta forma se distinguen cuatro fuerzas diferentes:

- $F_{\text{dámper/amortiguador}}(N)$ : la producida por el amortiguador.
- $F_{\text{damping/restricción de paso}}(N)$ : la fuerza de amortiguamiento que proporcionan las válvulas del pistón al restringir el paso del aceite.
- $F_{\text{gas}}(N)$ : la fuerza fruto de la presión a la que está sometido el nitrógeno.
- $F_{\text{fricción}}(N)$ : la producida por el rozamiento entre el pistón y las paredes de la cámara. (Calvo J. S.-P., 2008)



**Figura 15 Representación de las fuerzas en el interior del amortiguador.**

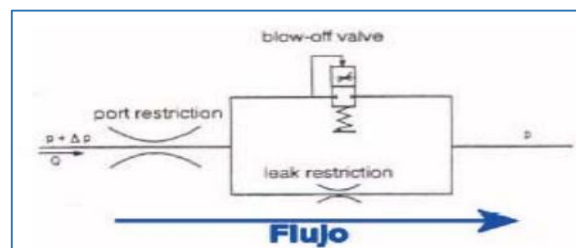
**Fuente:** (Calvo J. S.-P., 2008)

De esta forma, la fuerza del amortiguador es:

$$F (\text{amortiguador}) = F(\text{gas}) - F(\text{restriccionde paso}) - F(\text{friccion}) \quad (1)$$

$F$  damping (N)

Como ya se explicó en la primera parte, las válvulas del pistón pueden funcionar por áreas o por diferencias de presión, según cómo se abran y permitan el paso del flujo. (Báez, 13-12-2016)



**Figura 16 Restricciones debidas a las válvulas.**

**Fuente:** (Calvo J. S., 2005)

Las restricciones denominadas port (puertos) y leak (fuga) corresponden a las válvulas de apertura por área (orificios grandes y orificios pequeños respectivamente); mientras que la denominada blow (golpe)-off

corresponde a las diferencias de presión. Se observa el detalle de que el orificio pequeño se encuentra en paralelo con la válvula de apertura por presión, mientras que el flujo ha de pasar obligatoriamente por el orificio grande. (Rakheja., 1996)

Las fuerzas generadas en las tres restricciones que propone Reybrouck son las siguientes:

$$(F_{leak}) = K_{leak} \cdot u^{0.25} \cdot \dot{y}^{1.75} - K_{hys} \cdot \ddot{y} \quad (\text{N}) \quad (2)$$

$$(F_{port}) = K_{port} \cdot u^{0.25} \cdot \dot{y}^{1.75} - K_{hys} \cdot \ddot{y} \quad (\text{N}) \quad (3)$$

$$(F_{blow-off}) = K_{preload} + K_{spring} \cdot \dot{y} \quad (\text{N}) \quad (4)$$

Dónde:

- $K_{leak}$ ,  $K_{port}$ ,  $K_{hys}$  y  $K_{spring}$  son respectivamente los parámetros que representan la restricción del orificio pequeño, la del orificio grande, la histéresis producida por el agujero pequeño y la rigidez del muelle de la válvula de apertura por presión. (Calvo J. S., 2005)
- $u$  (Pa\*s). Representa la viscosidad cinemática del aceite.
- $\dot{y}$  (m/s) e  $\ddot{y}$  (m/s<sup>2</sup>), corresponden a la velocidad y aceleración del vástago respectivamente.
- $F_{pre\ load}$  (N), simboliza la fuerza mínima que hay que ejercer para abrir la válvula de apertura por presión.

Se obtiene una relación empírica que liga estas tres fuerzas bajo la premisa de que, según se va alcanzando un determinado valor de presión el flujo evoluciona de pasar únicamente por los orificios a ir fluyendo parte de él por la válvula de apertura por presión; la cual va abriéndose hasta que la mayoría del flujo transcurre por ella. (Calvo J. S.-P., 2008)

$$F(damping) = \frac{F_{leak} \cdot F_{blow-off}}{k_{tr} \sqrt{F_{leak}^{K_{tr}} + F_{blow-off}^{K_{tr}}}} + F_{port} ; (N) \quad (5)$$

Siendo  $K_{tr}$  un nuevo parámetro que determina el modo en que se produce la transición del flujo de una válvula a otra.

## F Gas (N)

Mide el empuje estático que el gas presurizado ejerce sobre el pistón. Se define la posición estática del amortiguador como aquella en la cual el desplazamiento es nulo. Basándose en la ley de los gases ideales se deduce que el comportamiento de un amortiguador en un banco de ensayos, contenido de gas se puede representar matemáticamente mediante la ecuación siguiente. (Calvo J. S.-P., 2008)

$$P_{gas\ static} \cdot V_{gas\ static} = m \cdot R_i \cdot T$$

$$F_{gas\ static} = \frac{m \cdot R_i \cdot A_{rod} \cdot T}{V_{gas\ static}} \quad (6)$$

Dónde:

m: es la masa del gas (Kg)

$R_i$ : la constante de los gases (adimensional)

$A_{rod}$ : el área del pistón (m<sup>2</sup>)

T: la temperatura (°C)

## F. fricción

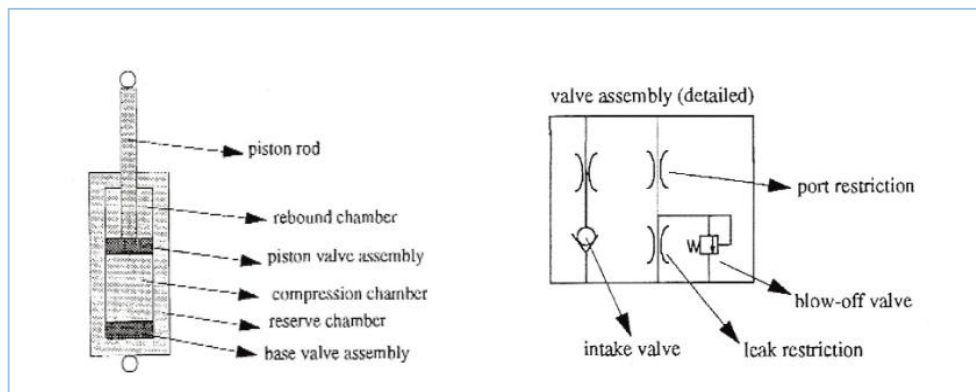
El rozamiento se incluye como una fuerza constante que no depende ni de la posición ni de la velocidad del amortiguador, denominada F offset ya que generalmente la fricción únicamente suele ser relativamente importante a muy bajas velocidades. (Calvo J. S.-P., 2008)

### 2.5.2. Modelo de Duym

Stefan Duym, Randy Stiens y Koenraad Reybrouck, presentan dos modelos que son capaces de extraer los parámetros internos de las válvulas

del amortiguador de datos en los que se elimina el efecto de la histéresis. El objetivo principal es evaluar los métodos alternativos en que la fuerza está en función de la velocidad y la aceleración. Bien sabido es que la viscosidad del aceite es un factor que determina las características de amortiguamiento; estando altamente influenciada por la temperatura del aceite, la cual es debida a la disipación de la energía cinética en forma de calor a lo largo del tiempo. (León, 1981)

Para simplificar el estudio de los distintos modelos, la dependencia de la temperatura no se tiene en cuenta. Es de resaltar que los modelos propuestos son válidos para amortiguadores bitubo (figura). La valvulería interna del mismo se muestra en la figura 17. (Dixon., SAE 2001)



**Figura 17 Esquema de un amortiguador bitubo y forma de la válvula interna.**

**Fuente:** (Calvo J. S., 2005)

### 2.5.3. Modelo de Rhoades

Con este modelo se pueden crear apropiadamente las gráficas Fuerza- Velocidad y Fuerza- Desplazamiento para su posterior análisis. Para lo cual, Rhoades hizo uso de una diagramadora para comprobar la correcta correlación de los datos teóricos con los experimentales. (Milliken, SAE 1995)

El principal objetivo de la investigación de Rhoades era crear y validar un modelo paramétrico para su uso como herramienta de diseño; el cual requiere parámetros como son las dimensiones del amortiguador, las

características del fluido hidráulico y la presión interna del gas. El segundo objetivo era comprender mejor el fenómeno de histéresis que aparece reflejada en las gráficas Fuerza- Velocidad; debido a que es el primer paso para intentar minimizar el citado efecto. (Milliken, SAE 1995)

#### 2.5.4. Comportamiento dinámico

Los amortiguadores para suspensión MacPherson ensayado deben presentar en la curva característica un comportamiento errático, evidenciado por la presencia de retardo o demora tanto en la etapa de compresión como de expansión, para una carga de prueba establecida previa antes del ensayo según el modelo de Rhoades.

#### 2.5.5. Comportamiento errático

Es toda aquella discontinuidad pico, concavidad o convexidad que se observe en la curva característica del amortiguador MacPherson, que se observara en los resultados del ensayo.

#### 2.5.6. Corrientes y fuerzas en un amortiguador

Los primeros amortiguadores funcionaron con fricción seca, para luego descubrir la fricción dinámica con fluidos, apareciendo diferentes configuraciones de diseño, como la telescópica, que es una de las más utilizadas por su simplicidad y bajo costo.

A continuación, se observa la configuración de un amortiguador telescópico.

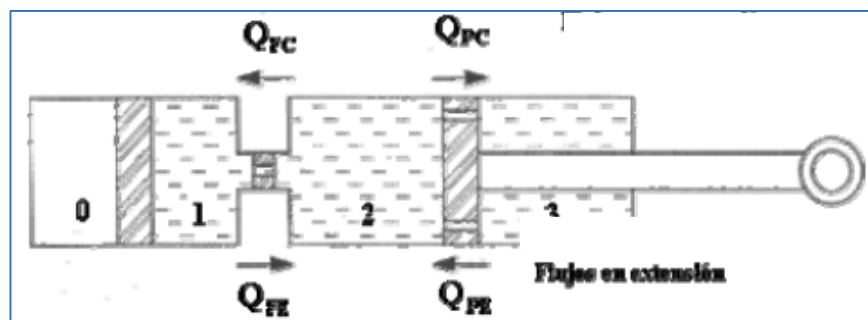


Figura 18 Configuración de un amortiguador telescópico

Fuente: (Calvo J. S., 2005)

Dónde:

**Tabla 3**

**Parámetros generales de un amortiguador.**

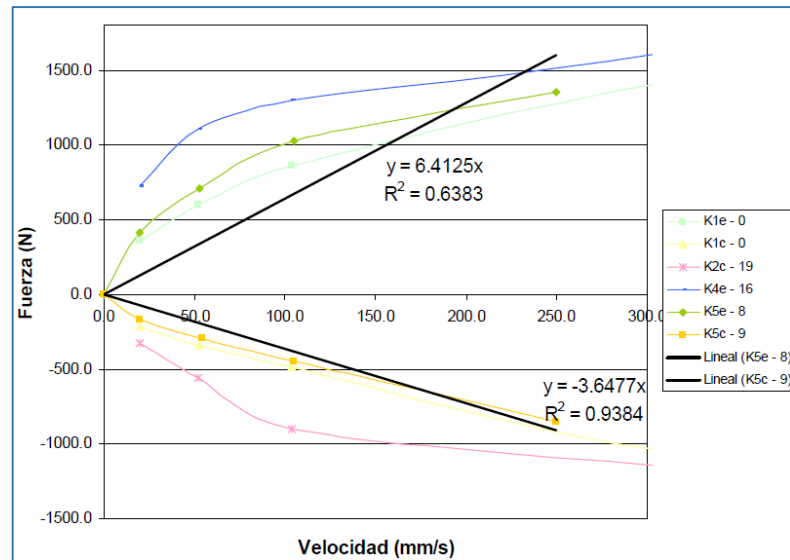
QFC	Caudal por la cabeza de compresión en compresión
QPC	Caudal por el pistón en compresión
QFE	Caudal por la cabeza de compresión en extensión
QPE	Caudal por el pistón en extensión
La fuerza axial resultante sobre el pistón durante en compresión es:	$F(PC) = PC * AC - PE * (AP - AE).$
PC	Presión en la cámara de compresión
PE	Presión en la cámara de extensión
AP	Área transversal del pistón
AE	Área transversal del eje
La fuerza axial resultante sobre el pistón durante extensión es	$F(PE) = PE * (AP - AE) - PC * AP$

**2.5.7. Parámetros principales del amortiguador.**

Estos definen el comportamiento dinámico de un amortiguador que son: La curva Fuerza Vs. Velocidad, el factor de amortiguación y la relación compresión/extensión. A continuación, en la Figura 19 se muestra la curva característica de un amortiguador para vehículos livianos, dándonos cuenta; que la fuerza positiva se refiere a la fuerza de extensión y la fuerza negativa a la de compresión en un amortiguador.

Existe una aproximación lineal presentada que se usa para estimar el factor de amortiguación y la pendiente de esa recta representa una aproximación de la constante de amortiguación.





**Figura 19 Curva característica del amortiguador.**

**Fuente:** (Calvo J. S.-P., 2008)

Esto se utiliza para realizar análisis dinámicos, en los cuales es de mucha utilidad realizar aproximaciones para amortiguadores relativamente lineales con la curva característica fuerza - velocidad.

Antes de efectuar el ensayo comparativo. En base a la carrera del amortiguador, se calculan las frecuencias de ensayo, para ello se debe aplicar la fórmula.

$$f = \frac{V}{\pi c} \quad (7)$$

f: Frecuencia del ensayo (Hz)

V: Velocidad de ensayo (mm/s)

c: Carrera (mm)

Se cargan los valores de frecuencia obtenidos en el software de la máquina, una vez realizado este proceso, se obtiene el diagrama de comportamiento correspondiente.

Sin embargo, los amortiguadores generalmente trabajan con diferente intensidad para extensión y compresión. Luego, el coeficiente promedio de amortiguación es:

$$C_a = \frac{1}{2}(C_c + C_e) \quad (8)$$

Dónde:

$C_c$ : Coeficiente de amortiguación a compresión. (N•s/m)

$C_e$ : Coeficiente de amortiguación a extensión (N•s/m)

La relación compresión/extensión es:

$$R_{ce} = \frac{C_c}{C_e} \quad (9)$$

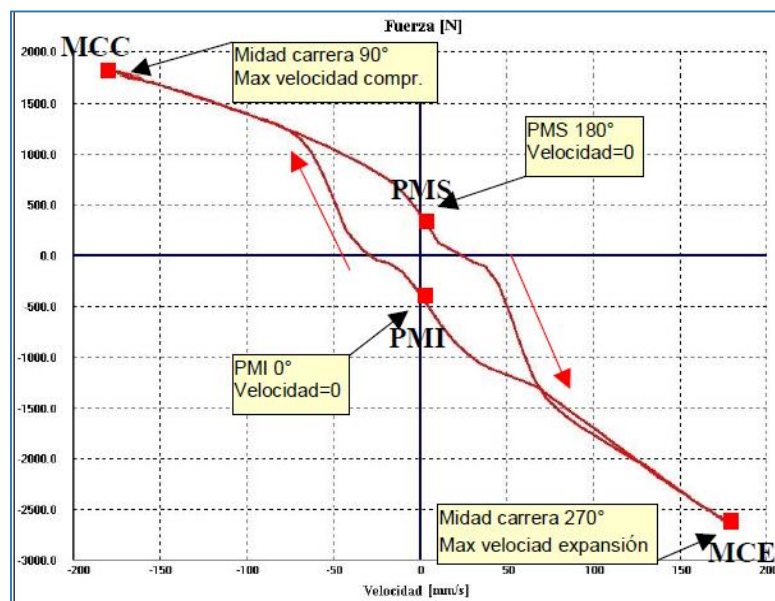
En los vehículos comerciales esta relación está entre 20/80 y 30/70, ya que lo que buscamos es confort, y en los vehículos de competencia esta relación está alrededor de 40/60, ya que nos interesa la maniobrabilidad y estabilidad del vehículo.

## CAPÍTULO III

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES

Para poder determinar el rango de actuación de los amortiguadores y seleccionar los métodos que se suelen describir estas características, se debe tomar en cuenta las variables principales que influyen en el desempeño del amortiguador y que se expondrá a continuación, a lo que se denominará caracterización de los amortiguadores. (Silva, 2007)

El primer recurso que se utilizará para caracterizar un amortiguador es la curva Fuerza- Velocidad; es conveniente resaltar que los signos adoptado por Rhoades; en éste método, toma las velocidades positivas cuando el amortiguador trabaja en extensión y negativas en caso contrario (al igual que el modelo de Reybrouck); mientras que las fuerzas las considera positivas en la carrera de compresión y negativas en la de extensión. (Sáez, 2012)



**Figura 20 Diagrama fuerza/velocidad.**

**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)

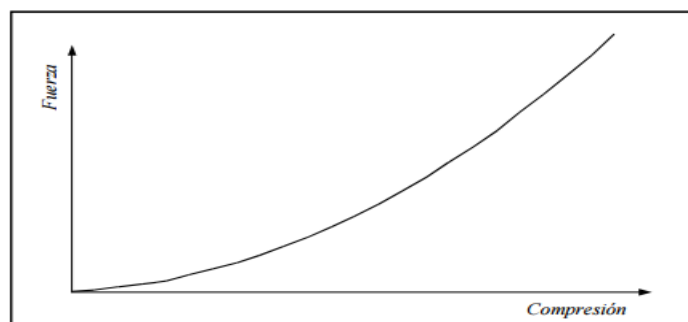
#### 3.1. Rangos de funcionamiento del amortiguador

Normalmente el amortiguador opera dentro de rangos determinados tanto de desplazamiento como de velocidad, estos se determinan a partir de

los experimentos en el banco de pruebas; es decir conocer los límites de actuación del amortiguador, sobre todo se refiere al apartado experimental, se podría trabajar en un régimen demasiado elevado o bajo, con lo que podría tener como consecuencias resultados incoherentes y en el peor de los casos la rotura del material utilizado y otros componentes, se interpreta por rangos de actuación a los desplazamientos y velocidades máximas a las que se encuentra sometido los amortiguadores en condiciones normales de funcionamiento, cuyos valores no necesariamente deberían ser sometidos a condiciones máximas de funcionamiento de un amortiguador. (Sáez, 2012)

### 3.1.1. Desplazamiento máximo

El rango de actuación del amortiguador se refiere al desplazamiento, se lo puede apreciar en cambios bruscos a altas velocidades o pronunciadas irregularidades en el camino, en estos casos la suspensión puede trabajar al límite de su carrera tanto para compresión y extensión; los mecanismo de suspensión, tienen unos topes de caucho o goma elástica tales que, a medida que son comprimidos, aumentan su resistencia de forma exponencial tal como se muestra en la figura 21, generando como resultado un elevado incremento de fuerza en la carrera de compresión y a su vez comportándose de forma progresiva, (Milliken, SAE 1995).



**Figura 21 Desplazamiento máximo.**

**Fuente:** (Milliken, SAE 1995)

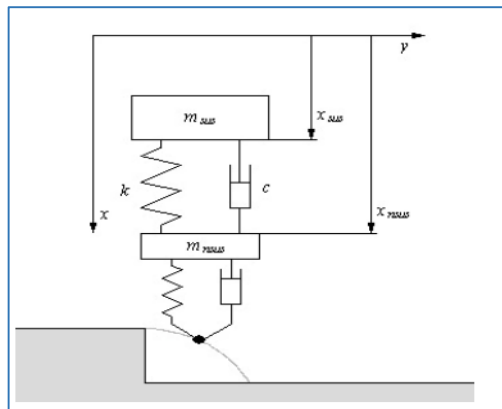
Y para la carrera de extensión es el propio amortiguador el que internamente se encuentra dotado de un tope de plástico semielástico, el cual está situado concéntricamente al vástago enlazado a un tope interno,

cuya función es la de evitar contacto entre parte sólidas y también frenar de forma progresiva. (Milliken, SAE 1995)

### 3.1.2. Velocidad máxima

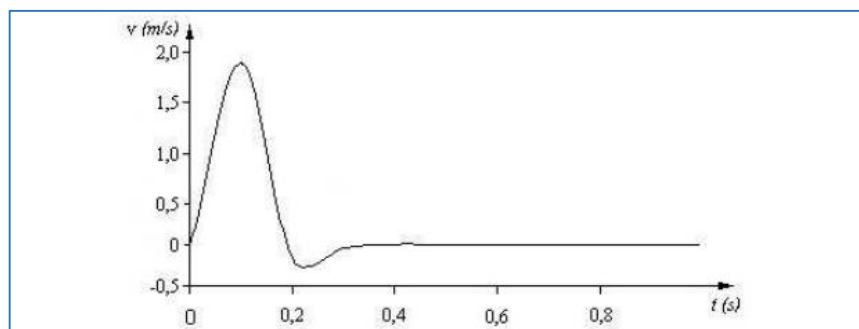
Así también es importante acotar el margen de actuación del amortiguador en lo que se refiere a la velocidad.

En la carrera de extensión, la velocidad máxima aparecerá cuando se someta al amortiguador en contacto con lo que se produzca la caída libre del vehículo (o parte de él); en la figura 22 se observará el bosquejo de la situación descrita basado en el modelo de un cuarto de vehículo. (Báez, 13-12-2016)



**Figura 22** Bosquejo de caída libre del vehículo para la determinación de la velocidad máxima.

**Fuente:** (Manuel, ENERO 2012)



**Figura 23** Evolución temporal en función del tiempo.

**Fuente:** (Quintial, Mayo 2005)

Como ejemplo podemos ver la velocidad máxima a la que se encuentra sometido un amortiguador en la carrera de extensión es de 2m/s. El proceso de disminución de esta velocidad para la carrera de compresión de deducción de la velocidad máxima a compresión es diferente a la de extensión ya que, en extensión el muelle es el responsable de separar las masas suspendidas de la no suspendida, mientras que en compresión son elementos externos a través del neumático los responsables de comprimirlo. (Milliken, SAE 1995).

Dentro de tal situación, el caso más desfavorable se produce cuando la ondulación de la vía coincide con la frecuencia propia del sistema, es decir, cuando la frecuencia excitatriz se encuentra alrededor de 1Hz. (Molina, 2011):

$$v_{\max} = Aw = 2A\pi f \quad (10)$$

Dónde:

v máx.: es la velocidad máxima (m/s)

A: es la amplitud de onda (m)

w: es la frecuencia circular (rad/s)

f: es la frecuencia lineal (Hz)

### 3.1.3. Fuerza de amortiguamiento

Existen tres formas diferentes de caracterizar el comportamiento del amortiguador. La primera consiste en dar a saber el coeficiente de amortiguamiento, la segunda en graficar la fuerza generada con respecto a la posición y la tercera consiste en presentar la fuerza con la velocidad relativa de sus partes en el amortiguador. (Báez, 13-12-2016)

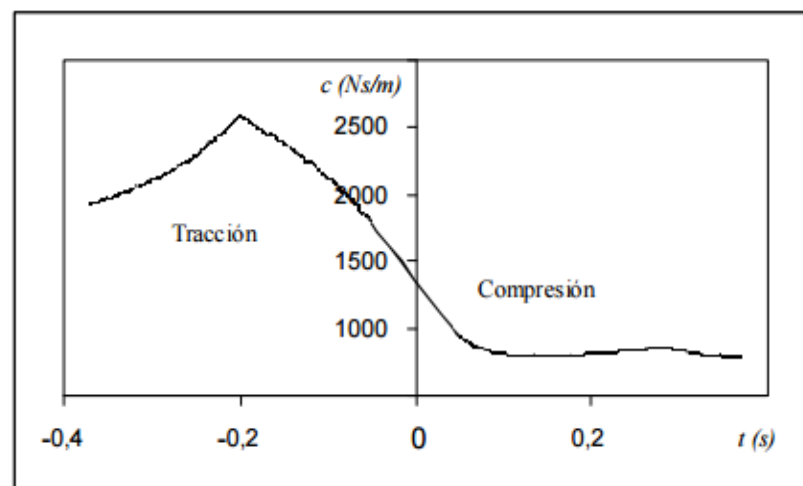
### 3.1.4. Coeficientes de amortiguamiento

Este parámetro es una constante proporcional entre la fuerza y la velocidad. En este caso ocurre cuando únicamente se da a conocer el

coeficiente de amortiguamiento promedio, pudiendo distinguir entre dos valores distintos, una para la etapa de compresión y para el de extensión. (Milliken, SAE 1995)

La ventaja de esta metodología es su sencillez, permitiendo realizar un estudio simple del comportamiento del vehículo utilizando la teoría de la vibración. La desventaja es porque se asume que la relación entre la fuerza y la velocidad es lineal, nos da un error ya que dicha relación suele ser compleja, perdiendo características del comportamiento como pueden ser la cantidad de histéresis, la presión de apertura de las válvulas y la aceleración. (Tixi Gusqui & Torres Ramos, 2016).

El objetivo de este método es hallar el coeficiente de amortiguamiento definido como la relación entre la fuerza y la velocidad. Cuyo resultado se puede presentar en forma gráfica, tal y como se muestra en la figura 24, o mediante un ajuste de la curva obtenida, en el cual se utiliza como variable independiente la velocidad, siendo opcional el uso de la posición, dependiendo de lo que se requiera. (Milliken, SAE 1995)

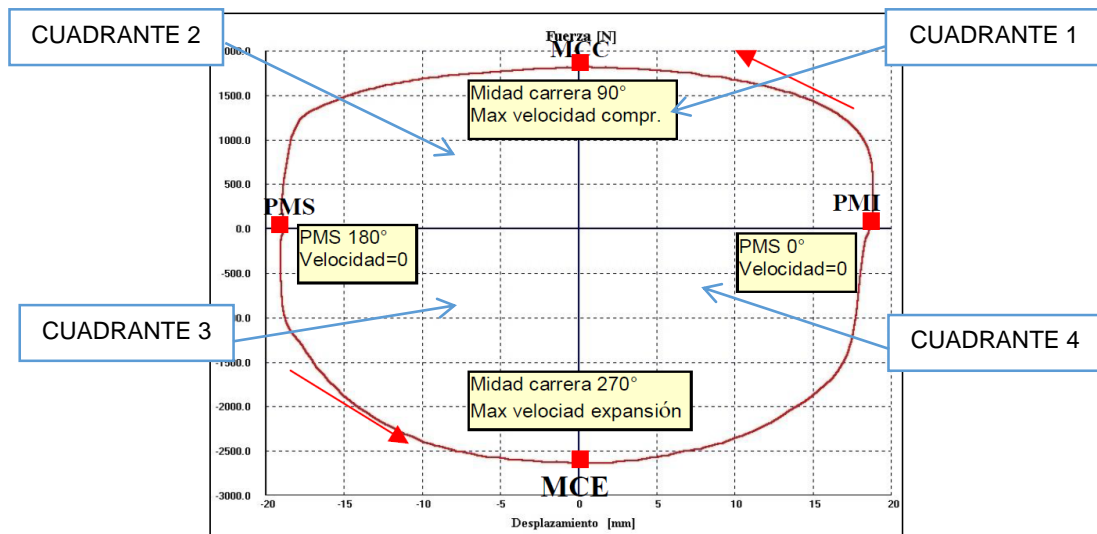


**Figura 24 Representación del coeficiente de amortiguamiento en función de la velocidad.**

**Fuente:** (Milliken, SAE 1995)

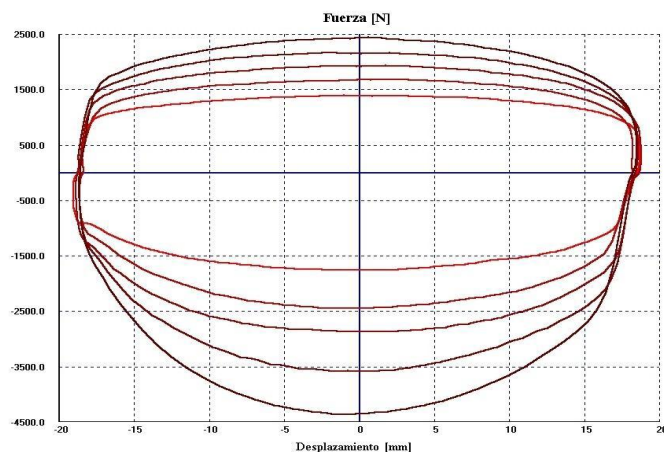
### 3.1.5. Gráfico fuerza – posición

Una de las formas de caracterizar un amortiguador proviene de la representación gráfica de las fuerzas del amortiguamiento en función de la posición del pistón de trabajo, una vez encendido y seleccionado una frecuencia. Es posible contemplar un solo ciclo (figura 25) o más ciclos (figura 26) a frecuencia constante o variable. (Tixi Gusqui & Torres Ramos, 2016)



**Figura 25 Diagrama Fuerza/desplazamiento, prueba a velocidad constante (1 ciclo).**

**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)



**Figura 26 Diagrama Fuerza/desplazamiento, prueba a velocidad variable (1 ciclo por cada frecuencia o velocidad).**

**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)



Dónde:

PMI: punto muerto inferior, donde inicia la compresión.

MCC: mitad de la carrera de compresión, aquí alcanza la máxima velocidad.

PMS: punto muerto superior, donde inicia la expansión.

MCE: mitad de la carrera de expansión, aquí alcanza la máxima velocidad.

**PMI** del primer cuadrante: corresponde al inicio de la etapa de tracción (en esta posición su compresión es máxima); a partir de este punto empiezan a trabajar las válvulas de baja velocidad hasta el punto en que la presión es suficiente para abrir las válvulas limitadoras. (Engine-Soft, 2015)

**MCC**: en este punto se alcanza la velocidad máxima del amortiguador para la etapa de tracción, la característica de actuación está comandada por el conjunto de válvulas de alta y baja velocidad. En el segundo cuadrante se produce también el cierre total de las válvulas limitadoras a tracción, los conductos de baja velocidad determinan la fuerza de amortiguamiento. (Engine-Soft, 2015)

**PMS** del tercer cuadrante: aquí el amortiguador encuentra su máxima extensión y comienza la etapa de compresión. En esta zona la fuerza de amortiguamiento está comandada por las válvulas de baja velocidad a compresión, hasta que las válvulas limitadoras entren a funcionar. (Engine-Soft, 2015)

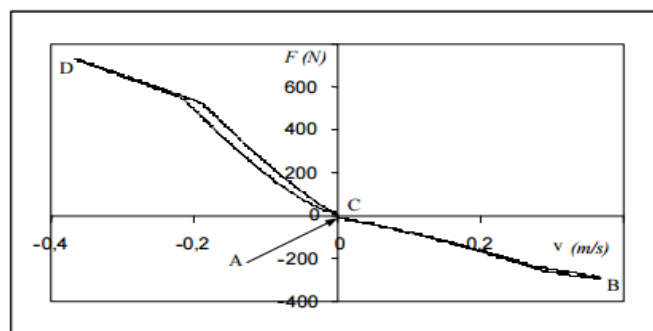
**MCE**: en este punto se da la máxima velocidad de compresión y las válvulas de baja como de alta velocidad definen el comportamiento del amortiguador, así también sucede en algún momento del cuarto cuadrante, que las válvulas limitadoras a compresión cierran y el comportamiento se define por las válvulas de baja velocidad. (Engine-Soft, 2015)

La ventaja del gráfico posición-fuerza en comparación al coeficiente de amortiguamiento es que permite la determinación directa de la fuerza de amortiguamiento a la vez que permite observar los momentos de apertura y de cierre de las válvulas limitadoras, pero este método presenta un inconveniente que es el de no mostrar dicha variable de forma explícita, si

bien es deducible a partir de la frecuencia a la que se han obtenido los resultados. (Tixi Gusqui & Torres Ramos, 2016)

### 3.1.6. Gráfico fuerza – velocidad

El método es el más empleado para caracterizar el amortiguador debido a las ventajas que consiste en la representación gráfica de la fuerza de amortiguamiento en función de la velocidad de trabajo. Se muestra un ejemplo en la figura 27, donde se han representado los puntos A, B, C y D obtenidos anteriormente en el gráfico de fuerza-posición. (Báez, 13-12-2016)



**Figura 27 Diagrama Fuerza/Velocidad, prueba a velocidad constante (1 ciclo)**

**Fuente:** (Fernandez, 2011)

La representación de la fuerza de amortiguamiento en función de la velocidad nos permite visualizar de una forma directa la linealidad del amortiguador. Los fabricantes de automóviles tratan de que la fuerza de amortiguamiento dependa de forma lineal con la velocidad, hecho que, como se puede observar, está lejos de la funcionalidad de los amortiguadores reales. (Báez, 13-12-2016)

Así también otra de las ventajas del gráfico es la de permitir observar de forma clara la cantidad de histéresis presente en el amortiguador. Por último, cabe mencionar que un gráfico de este tipo, del mismo modo que lo hacía el gráfico de fuerza posición, permite ver los momentos de apertura y cierre de las válvulas limitadoras, lo cual facilita la regulación si es de ajustarse. (Milliken, SAE 1995)

## **3.2. Diseño y modelación del utillaje para amortiguadores en suspensión MacPherson.**

### **3.2.1. Necesidad de diseño**

Para poder realizar la experimentación del proyecto de investigación, se requiere diseñar unos soportes de acople a las sujeciones y apoyos del banco, de tal manera que se pueda adaptar un amortiguador en el banco para el ensayo predeterminado, esto con la finalidad de someter al amortiguador a diferentes pruebas y tener datos confiables de los resultados

### **3.2.2. Cumplimiento de las fases del diseño**

#### **- Definición estratégica**

Normalmente en el banco no existe manera de adaptar el amortiguador usado en la suspensión MacPherson directamente, lo cual complica realizar ensayos, y lo que afectaría gravemente los resultados emitidos por este, además el banco sufriría una desviación en su funcionamiento, ocasionando el deterioro inmediato y el mantenimiento correctivo a diferentes componentes del banco.

#### **- Diseño de concepto**

Principalmente en esta etapa debemos observar y conocer las características y funcionamiento del amortiguador, así como del banco para plantear y definir el diseño óptimo que cumpla las características técnicas y específicas para realizar el ensayo.

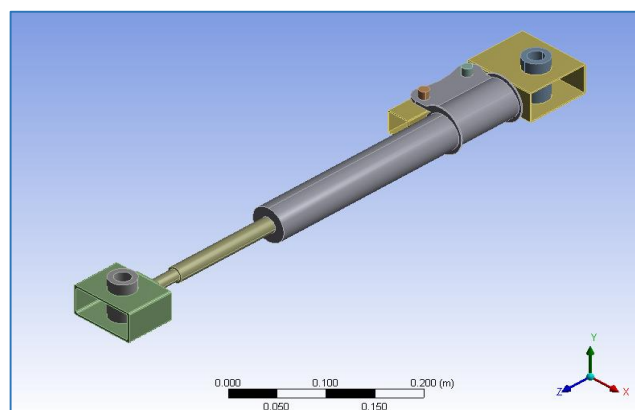
Inicialmente al no poder modificar o adaptar el amortiguador en las mordazas de fábrica, se procede a buscar un mecanismo de adaptación.

Con las características anteriores ya revisadas y analizadas se ve necesario usar materiales resistentes a razón de que el amortiguador estará sometido bajo diferentes condiciones de funcionamiento, cuya finalidad de este trabajo es someter al amortiguador a condiciones normales y extremas de uso, para así diagnosticar su correcto funcionamiento.

### 3.2.3. Diseño utillaje

Los materiales a utilizar y sus características se encuentra en la tabla 4, los cuales fueron seleccionados por sus características mecánicas y fácil proceso de construcción, que nos dará como resultado los soportes superior e inferior.

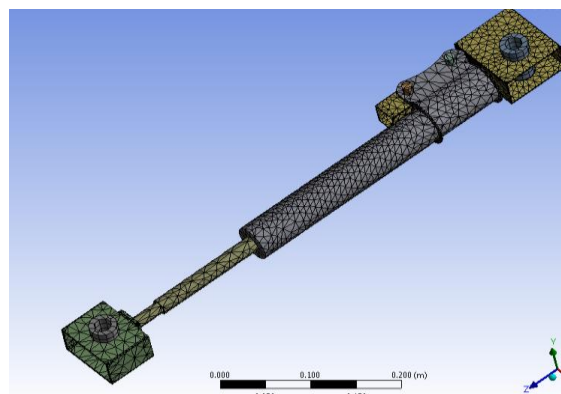
Este diseño deberá realizarse para garantizar la fiabilidad de los resultados en todos los ensayos de las muestras seleccionadas, que se mostrara a continuación.



**Figura 28** Diseño de los soportes conjuntamente con el amortiguador.

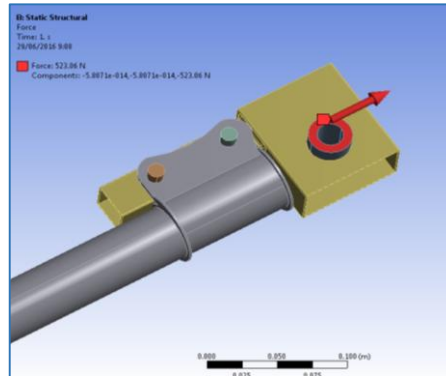
### 3.2.4. Simulación utillaje

El amortiguador debe ser montado en el banco para que se realice el ensayo y sus variedades de pruebas.



**Figura 29** Diseño y mallado de los soportes y el amortiguador.

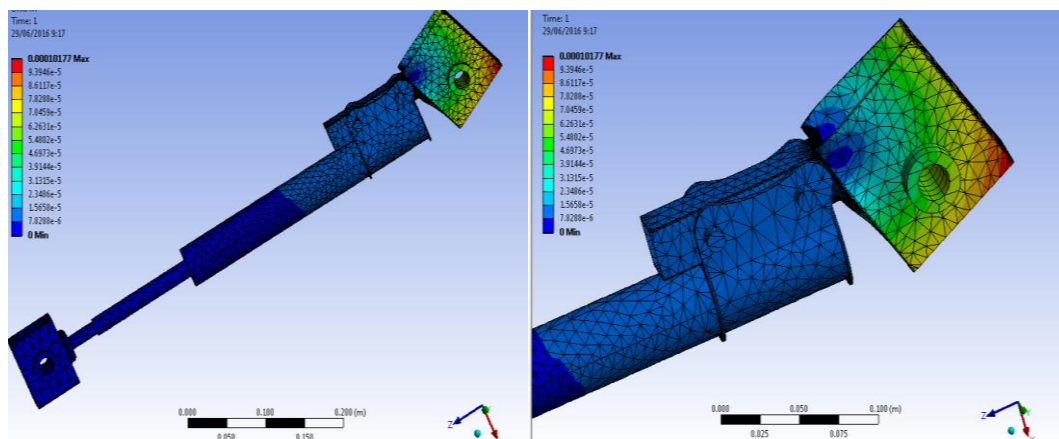
En la figura 29 se realizó un mallado normal tanto a los soportes superiores e inferior y a un amortiguador que se acopla a los mismos, ya que de este paso depende la simulación y del tiempo en realizarlo, para lo cual se tomó en cuenta los materiales y dimensiones adecuadas para la correcta simulación.



**Figura 30** Fuerzas aplicadas al soporte inferior.

Se procede a aplicar una fuerza contraria a la célula de carga ( $F = 2500$  Kg), ya que en la parte inferior es la más crítica por el acople del mecanismo biela manivela.

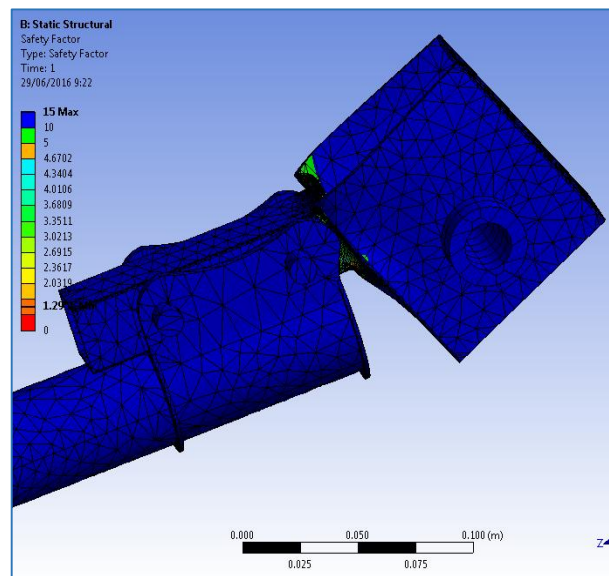
Este punto fue tomado en consideración, ya que el diseño de este utillaje tiene que soportar la carga del conjunto y debe ser el adecuado para que no existan variaciones en los resultados finales del experimento.



**Figura 31** Análisis estático estructural.

Se procede a realizar un análisis estático y la deformación al componente como se muestra en la figura 31, dándonos como deformación total máximo un valor de 0.00010177 del componente, ya que estará sometido a esfuerzos cíclicos durante la prueba seleccionada.

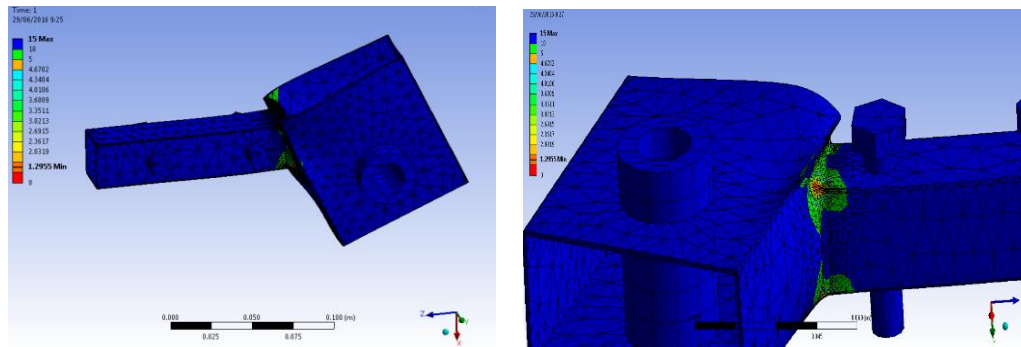
### **Factor de seguridad del diseño.**



**Figura 32 Factor de Seguridad.**

Otro parámetro importante para el diseño de un elemento es el factor de seguridad, que es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

En este caso el requerimiento es para un estudio de investigación y que no es el punto de estudio, pero si como conocimiento y herramienta para el trabajo de investigación.



**Figuran 33 Análisis del factor de seguridad.**

Se procede a verificar el factor de seguridad a través de un análisis estático del componente, los valores usados como factores de seguridad, provienen de la experiencia empírica o práctica del técnico, o bien se aplican según la experiencia personal del diseñador. En general, para el mismo tipo de elemento dependerán del tipo de uso o servicio que se le piense dar y de la posibilidad de riesgo derivada para usuarios y terceras personas.

La razón para evaluar el amortiguador es la de verificar las características técnicas de los mismos para su producción y su funcionamiento adecuado, para lo cual antes de realizar el ensayo se debe construir un mecanismo para adaptarle al sistema mecánico del banco o de soporte de los amortiguadores para que no existan fallas que puedan afectar el resultado de los ensayos de las muestras.

En el caso de realizar rediseños o implementaciones de nuevos sistemas mecánicos de sujeción de las muestras, previamente construidos y adaptados al banco, resulta apropiado realizar una verificación del cambio que se quiere hacer, cuidando las propiedades internas y externas de los amortiguadores, y estas no afecten en el correcto funcionamiento del mismo.

### **3.2.5. Construcción y mecanizado del utillaje para los ensayos en el banco de pruebas.**

Para la construcción de estos elementos que se colocarán en el banco conjuntamente con el amortiguador se deberá tomar en cuenta los parámetros descritos en la fase de diseño, los cuales limitan a esta parte del

trabajo a usar materiales adecuados para el correcto desarrollo de los experimentos, ya que estarán sometidos a ciclos de fatiga y a la humedad.

**Tabla 4**

**Características de los materiales.**

Descripción	Material	Dimensiones
1 tubo cuadrado	Astm A36	30*30*118.8mm
2 tubo rectangular	Astm A36	(40.7*80*89); (40*80*60)mm
2 eje de transmisión	Sae 1018	32*70 mm
2 pernos	Hierro dulce	M8.8 12*62.4 mm
2 tuercas	Hierro dulce	S8 12 mm
1 juego de machuelos	acero	M20*1.50
1 spray de pintura negra	N/A	40ml

**Actividades de construcción.**

a. Mecanizado del soporte inferior

1. Se cortó un tubo cuadrado de 30\*30 mm, un pedazo de 118.8 mm de longitud.
2. En los extremos, se perforó unos agujeros de 12 mm, de diámetro y en su parte medular también se perforó con una broca de 12 mm en un taladro de pedestal, como se muestra en la figura 37.
4. Se cortó un tubo rectangular de 40.7\*80 mm, un pedazo de 90 mm de longitud.
5. En los extremos, se perforó unos agujeros de 32 mm, de diámetro y en su parte medular también se perforó con una broca de 32 mm en un taladro de pedestal, como se muestra en la figura 37.



6. Se cortó un eje de transmisión de diámetro de 32 mm con una longitud de 70 mm.

7. Se realizó un roscado al eje completo con un paso de 1.5 mm utilizando un juego de machuelos .M20\*1.50.

8. Se procedió a soldar los tubos cuadrado y rectangular, así también se apuntala en el banco el eje cilíndrico en el tubo rectangular nivelando al eje del banco, luego se procede a resoldar los tres componentes como se muestra en la figura 39.

9. Por último se procedió a verificar el conjunto nuevamente montando este soporte en el banco, para luego de su efectividad proceder a pintar con un Spray color negro como se muestra en la figura 40



**Figura 34** Tubo cuadrado



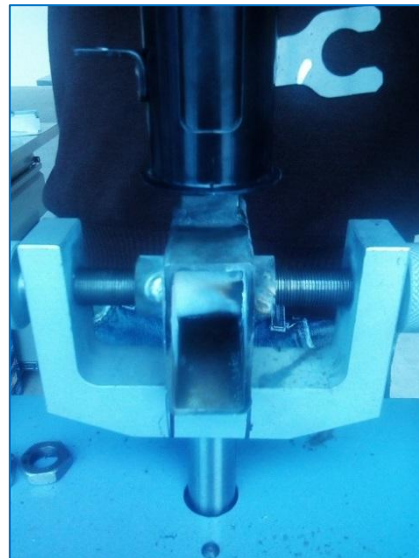
**Figura 35** Tubo rectangular



**Figura 36 Eje de transmisión**



**Figura 37 Ensamblado, agujeros y soldadura**



**Figura 38 Centrar el soporte**



**Figura 39 Nivelar el soporte con amortiguador**



**Figura 40 Soporte inferior completo.**

- b. Mecanizado del soporte superior.
1. Se cortó un tubo rectangular de 40.7\*80 mm, un pedazo de 60 mm de longitud.
  2. Se perforó un agujero en la parte central del tubo de diámetro de 32 mm con una broca de 32 mm en un taladro de pedestal.
  3. Se cortó un eje de transmisión de diámetro de 32 mm con una longitud de 70mm.
  4. Se realizó un roscado al eje completo con un paso de 1.5mm utilizando un juego de machuelos .M20\*1.50.

5. Se procedió a soldar y adaptar al tubo una tuerca soldada a un tubo cuadrado de 30\*30mm para que enrosque al tope del vástago.
6. Se adaptó y niveló el soporte al banco para apuntalar y proceder a resoldar los componentes, como se muestra en la figura 44.
7. Se verificó nuevamente la pieza completa al banco, para luego proceder a pintar el soporte con spray de color negro igual que el superior.



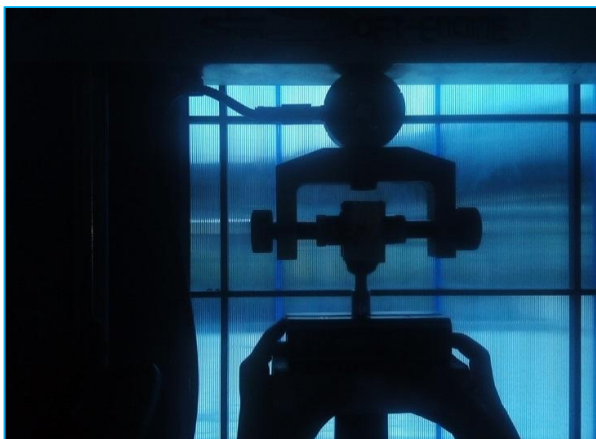
**Figura 41**      **Tubo rectangular**



**Figura 42**      **Tuerca hierro dulce**



**Figura 43**      **Centrar y soldar.**



**Figura 44 Nivelar soporte superior**



**Figura 45 Soporte superior terminado**



**Figura 46 Soportes superior e inferior**



**Figura 47 Soportes y amortiguador fijados en el banco**

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para elaborar la propuesta en este trabajo de investigación es necesario determinar ciertos parámetros mediante ensayos de caracterización; dada la inexistencia de un proceso o protocolo unificado para dicho fin, se ha desarrollado un procedimiento y trazado pasos a seguir según el manual de operaciones de la máquina para realizar los ensayos.

El propósito de comparación de estos ensayos es la toma de medidas que permitan caracterizar el estudio de la influencia del envejecimiento y la temperatura de funcionamiento, en los amortiguadores que se citan a continuación.

Asimismo, se determinarán las variaciones de la respuesta del amortiguador mediante la variación de frecuencias del mismo a un número alto de ciclos. Este procedimiento es aplicable a amortiguadores de tipo mono tubo utilizados en suspensión MacPherson, destinados a automóviles; y en el ensayo se medirán los distintos valores que toman tanto la fuerza, como la velocidad y el desplazamiento del amortiguador sometido a una entrada de amplitud y frecuencia conocida.

#### **4.1. Banco de prueba de amortiguadores Dyno shock 11**

Es un banco de propósito dedicado al estudio de amortiguadores utilizados en el sistema de suspensión de un vehículo, posteriores de motos y en general en las aplicaciones automovilísticas.

Su funcionamiento se basa en la posibilidad de aparentar el trabajo hidráulico del amortiguador, desvinculándolo de la geometría del sistema, para estudiar como contesta a los varios apremios impartidos por el banco, bajo formas de ciclo de fatiga que recrean el comportamiento dinámico del vehículo.



**Figura 48 Banco prueba Dyno shock 11**

**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)

#### 4.1.1. El Modelo – ficha técnica

**Tabla 5**

#### **Parámetros Técnicos del Banco y sus complementos.**

<b>MODELO "DYNO-SHOCK 11"</b>	
<b>- Mecánico banco:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excursión con sistema manivela con "Scotch Yoke" oscilante hasta 150 mm. Excursión variable manualmente con step de 1 mm;</li> <li>- Velocidad sin carga: 2000 mm/s;</li> <li>- Velocidad con carga: 1500 mm/s;</li> <li>- Motor eléctrico con potencia de 11 KW (15 HP); 220 V trifásico 50/60 Hz.</li> <li>- Chapas de cobertura de acero.</li> </ul>
<b>Electrónica / Sensores:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de adquisición a alta resolución;</li> <li>- Captador de fuerza hasta 2500 Kg por medida fuerza;</li> <li>- Invertir según la potencia del motor eléctrico;</li> <li>- Transductor de posición;</li> <li>- Sensor de temperatura.</li> </ul>
<b>- Software: Shock 3.0</b>	<p>Software de adquisición datos, pruebas y tabulados y gráficos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuerza su Desplazamiento, Velocidad, tiempo;</li> <li>- Fuerza su Velocidad; Fuerza su Velocidad absoluta;</li> <li>- Fuerza absoluta su Velocidad absoluta;</li> <li>- Fuerza medida su Velocidad absoluta;</li> <li>- Fuerza de punta su Velocidad absoluta;</li> <li>- Fuerza gas su ángulo motor eléctrico;</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuerza, Desplazamiento y Velocidad su tiempo de adquisición;</li> <li>- Temperatura su Tiempo de adquisición.</li> </ul>
<b>- Tipologías de prueba:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba a velocidad constante</li> <li>Prueba a velocidad variable</li> <li>Prueba rápida</li> <li>Warm-up</li> <li>Gas test</li> <li>Prueba a fuerza limitada</li> </ul>
<b>- Seguridad:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobertura de las partes un movimiento;</li> <li>- Pulsante de emergencia;</li> </ul>

#### 4.1.2. Captador de fuerza

Un captador de fuerza es un instrumento de medida de la fuerza; el principio de funcionamiento se basa en la deflexión de un cuerpo a paralelogramo bajo la carga sobrepuesta a las bases; tal flexión es notada por un interruptor piezoeléctrico que provee una salida en tensión proporcional a la entidad de la fuerza con que es solicitada la celda. Con una adecuada correlación entre deflexión del paralelogramo con respecto del eje neutral de medida y salida en tensión se remonta al valor de la fuerza sobrepuesta al sistema que se quiere medir.

Existen varios tipos de celdas de carga con base en el valor de la máxima fuerza mensurable, el tipo de esfuerzo de medida; Soft-Engine ha elegido el captador de fuerza de **2500 Kg** compatible con el trabajo a tracción y compresión que interesan en las pruebas de los amortiguadores en el campo de medida prefijado.



**Figura 49** Captador de fuerza

**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)

#### 4.1.3. Las Pruebas

He aquí los tipos de prueba que el banco amortiguador puede efectuar:

a. Prueba a velocidad fijada:

Permite la adquisición de datos por uno ciclo a velocidad programada (velocidad en Hz o frecuencia de oscilación en m/s) y constante.

Es una prueba útil para valorar el calibrado del amortiguador en función de una carrera máxima a cierta velocidad, de modo que valorar correctamente el funcionamiento de la fontanería del amortiguador y notar eventuales anomalías, con base en el curso de la gráfica Fuerza / Desplazamiento (que tiene que normalmente ser de forma elíptica).

b. Prueba a velocidad variable:

Con esta prueba es posible probar el amortiguador imponiendo una progresión de frecuencias, selecciones por el software: se realizan uno o más ciclos de trabajo a velocidad y frecuencia de oscilación, variable: se impone una velocidad o frecuencia mínima, una velocidad o frecuencia máxima y un paso (que puede ser constante o variable): durante la prueba, la frecuencia de oscilación varía y será posible valorar el comportamiento del amortiguador en diferentes ciclos de fatiga.

c. Prueba de Oscilación Libre (Averigua Rápida)

Con esta prueba se puede hacer oscilar libremente el amortiguador para verificar particulares condiciones de esfuerzo, o la correcta medición de los sensores.

También son posibles de las pruebas preliminares, de efectuar por lo tanto antes del lanzamiento real:

d. Warm-up:

Prueba para hacerse al aceite del amortiguador para que alcance la temperatura de trabajo óptima antes de iniciar la prueba.

Normalmente, durante su funcionamiento real, el amortiguador padece cierta calefacción: con esta prueba, es posible aparentar este acontecimiento sobre banco y probar la fontanería del amortiguador a cierta temperatura, que se puede programar en el software; alternativamente, es posible programar un cierto tiempo de pre-calefacción.

e. Gas test:

Sirve para valorar los efectos del gas del amortiguador: a una velocidad reducida, el captador de fuerza medida, que dependerá de la inercia del gas. La velocidad del gas prueba es baja, pero puede ser ligeramente aumentada o menguada.

f. Seal drag test (prueba roce tenido):

Es una prueba semilla-estática para valorar los efectos del roce en el cuerpo del amortiguador a causa del trabajo del pistón.

Sirve para valorar la influencia del roce de la primera separación del pistón del amortiguador. Esta prueba es ejecutada automáticamente durante el gas test. La fuerza medida será la suma de la influencia dada por el gas con la contribución roce + hidráulica.

g. Prueba a fuerza limitada ("suela interferencia"):

Es una prueba que puede ser sea preliminar que actuar durante la prueba real. Se impone por fuerza un valor (= la fuerza limitada) y una velocidad. Si durante la prueba preliminar, o durante la prueba, el amortiguador desarrolla una fuerza mayor de aquél programado, el software interrumpe la prueba. Es útil para evitar roturas indeseadas del amortiguador durante sesiones de pruebas particularmente intensivas.

h. Prueba "suela test":

Idéntico a la prueba "Suela de interferencia", pero el control del umbral ocurre durante la prueba real, a la misma velocidad, frecuencia, programada por la prueba principal.

#### **4.2. Objetivos**

- Conocer la estructura y las funciones de los amortiguadores en suspensión MacPherson de aplicación real, realizados en un banco de pruebas de amortiguadores.
- Investigar el comportamiento dinámico de un amortiguador de aplicación real tanto en original vs alterno.
- Comparar experimentalmente las curvas características de un amortiguador.
- Analizar la influencia del envejecimiento, temperaturas y fuerzas de compresión, como la de extensión de los amortiguadores en sus curvas de respuesta generadas en los ensayos comparativos de amortiguadores originales vs alternos.

#### **4.3. Selección de los amortiguadores para ensayos comparativos.**

Para el estudio de investigación y los ensayos comparativos se procedió a seleccionar los amortiguadores según el Boletín Estadístico N°. 08 – 2014 de la Cámara de Industria Automotriz Ecuatoriana CINAIE, en la cual se consideró:

## Comportamiento de la oferta de vehículos en los meses de enero a agosto de 2014

La producción de vehículos en los meses de enero a agosto de este año alcanzó 41.103 unidades, 8% menos que en el mismo periodo del año 2013. Los vehículos producidos son: 27.713 automóviles, 12.315 camionetas, 695 camperos, 200 furgonetas y 180 chasis de camioneta. (CINAE, 2014)

La exportación de vehículos en este periodo alcanzó la cantidad de 5.434 unidades, registrándose el 6% menos respecto al mismo periodo del año 2013. El vehículo de mayor exportación fue el automóvil con 3.720 unidades, seguido por las camionetas con 1.514 unidades, y 200 furgonetas. (CINAE, 2014)

En este periodo se importaron 29.908 vehículos, 10% menos en relación con el mismo periodo del año 2013. Los vehículos importados son: 18.247 automóviles, 5.214 camiones, 1.981 camionetas, 1.721 camperos, 1.138 furgonetas, 516 tracto camiones, 352 chasis de bus, 411 buses, 264 automóviles híbridos, 1 camionetas híbridas y 63 vehículos especiales. (CINAE, 2014)

La oferta total de vehículos en este periodo, fue de 65.577 unidades, 9.08% menos respecto al mismo periodo del año anterior. (CINAE, 2014)

Tomando de la lista de la producción más alta nacional la siguiente marca con sus modelos.

**Tabla 6**

### Modelos de vehículos con mayor demanda de componentes.

DESCRIPCIÓN			Total 2013	Total 2014
MARCA	PARTIDA	MODELO		
Kia	8703229090	Rio LS 1.5 A/C	3.930	1.780
	8703239090	Cerato 1.6 AT A/C	320	56
		Cerato 1.6 AT ABS A/C	40	40
		Cerato 1.6 MT A/C	1.314	1.480
		Sportage 2.0 LX	3.600	2.430
		Sportage 2.0 LX AT	600	1.100

		Cerato 1.6 MT ABS A/C	-	40
		BT-50 4X2 Std. 2.2 C/S	400	365
		BT-50 4X4 Action 2.6 C/D	444	320
		BT-50 4X4 Std. 2.2 C/S	180	240
		BT-50 4X4 Std. 2.6 C/D	348	-
		BT-50 4X4 Std. 2.2 C/D	-	365
			4.586	3.577
<b>Chevrolet</b>	8703229090	Aveo 4P. Family 4X2 Std.1.5 TM	743	2.242
		<b>Aveo 4P. Family 4X2 Std.1.5 TM A/C</b>	<b>1.575</b>	<b>3.923</b>
		Aveo 4P. Family A/C 1.5	2.823	-
		Aveo 4P. Family Std.1.5	1.332	-
		Aveo 4P. Taxi A/C 1.5	105	-
		Aveo 4P. Taxi Std.1.5	12	-
		<b>Sail 4P. A/C 1.4</b>	<b>5.321</b>	<b>4.676</b>
		Luv D-Max 4X4 3,0 Diesel C/D TM Full	227	2.414

**Fuente:** (CINAE, 2014)

De lo mostrado en la tabla 6 anterior se consideró los señalados, que son producidos más en el país, obviamente el amortiguador es un componente de gran demanda en el mercado.

Por lo que se procedió a obtener 2 pares de amortiguadores, 2 originales y 2 alternos utilizados en estos dos modelos y en suspensión MacPherson, que se detallan a continuación:

**Tabla 7**

**Amortiguadores seleccionados.**

Ítem	Descripción	Marca	Código	Carrera
1	Amortiguador original	Record	96586885	164 mm
2	Amortiguador original	Record	96586886	164 mm
3	Amortiguador alternativo	Mando	n/e	168 mm
4	Amortiguador alternativo	Mando	n/e	168 mm



**Figura 50 Amortiguadores muestras (4)**

#### 4.4. Metodología de ensayo.

Como metodología para esta investigación se utilizará el método del comportamiento dinámico para las pruebas a realizarse; como también se utilizará el equipo e instrumentos siguientes:

**Tabla 8**

#### **Equipos e instrumentos**

<b>Equipo e Instrumento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Software Shock 3.0</b>	Permite ingresar los datos y nos da como resultados las curvas características del amortiguador.
<b>Scotch Yoke oscilante</b>	Permita regular la excursión manual en el banco para el ensayo.
<b>Captador de fuerza</b>	hasta 2500 Kg por medida fuerza
<b>Inversor</b>	según la potencia del motor eléctrico
<b>Transductor de posición</b>	Este nos emite la señal digital de la posición del amortiguador.
<b>Sensor de temperatura</b>	Permite obtener la variación de la temperatura del amortiguador.
<b>Seguridad</b>	Componentes de seguridad para la realización de ensayos.

**a. Cámara termografía FLIR A300**

Esta es una cámara de infrarrojos que mide y toma imágenes de la radiación infrarroja emitida por un objeto que se visualiza en una pantalla, a través de isotermas con distintos colores según la variación de temperaturas. El hecho de que la radiación sea una función de la temperatura de la superficie del objeto permite a la cámara calcular y visualizar dicha temperatura.

Para medir la temperatura con precisión, es necesario compensar los efectos de diversas fuentes de radiación distintas. Este proceso lo realiza automáticamente la cámara. No obstante, es necesario proporcionar los siguientes parámetros del objeto de la cámara.

- La emisividad del objeto
- La temperatura aparente reflejada
- La distancia entre el objeto y la cámara
- La humedad relativa
- La temperatura de la atmósfera.



**Figura 51 Cámara termo gráfica FLIR**

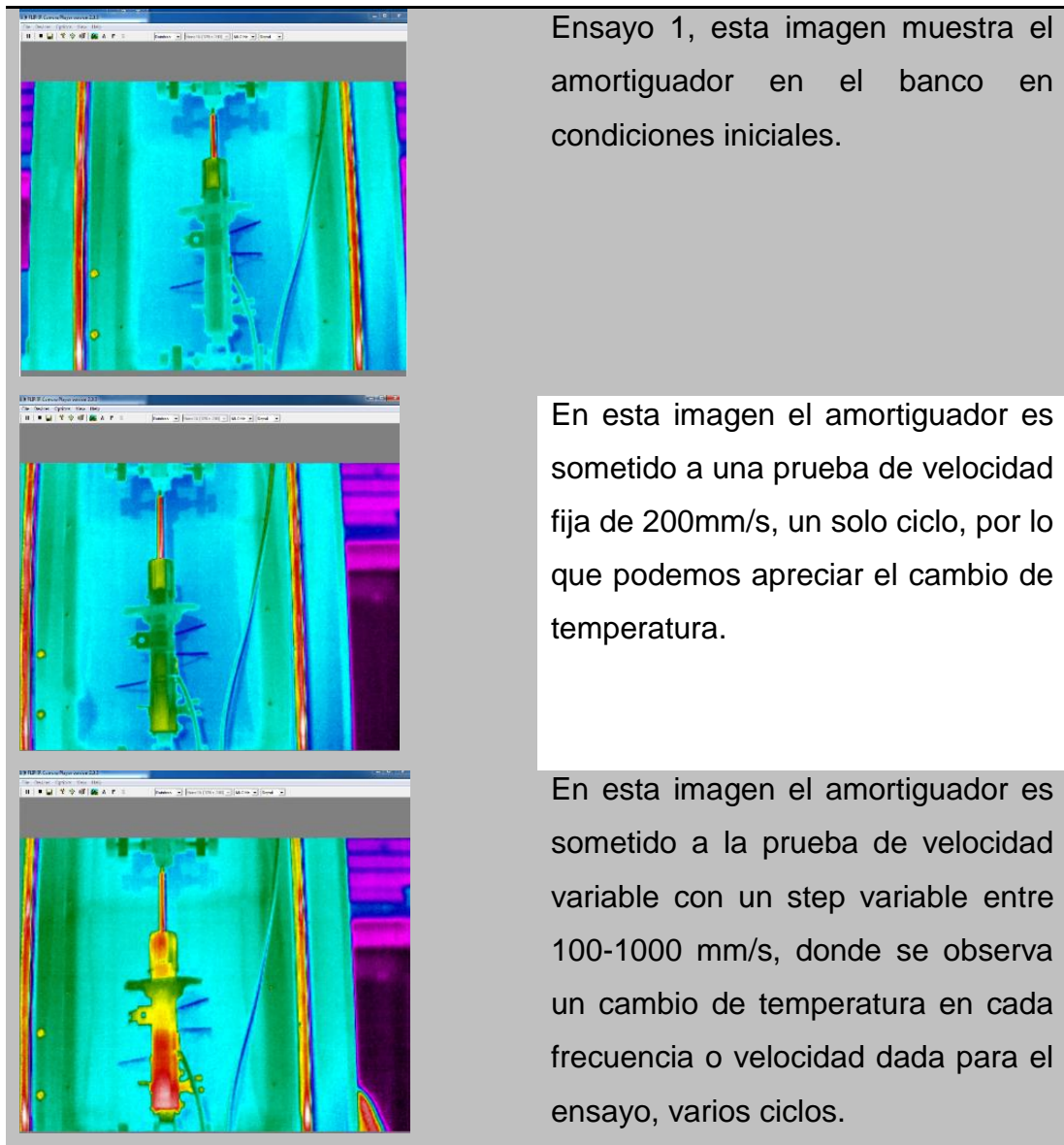
**Fuente:** (Engine-Soft, 2015)

En este proyecto de investigación se utilizó la cámara termo gráfica T559637, como valor agregado, la cual nos permitió ver durante los experimentos las variaciones de temperatura que sufrían los amortiguadores en operación bajo condiciones de ciclos de fatiga, como así también sometidos a altas velocidades en su simulación, las cuales se observará en las gráficas capturadas con esta cámara en su perspectiva real.



Tabla 9

### Capturas de cambios de temperatura mediante la cámara Flir en los ensayos de los amortiguadores.



Ensayo 1, esta imagen muestra el amortiguador en el banco en condiciones iniciales.

En esta imagen el amortiguador es sometido a una prueba de velocidad fija de 200mm/s, un solo ciclo, por lo que podemos apreciar el cambio de temperatura.

En esta imagen el amortiguador es sometido a la prueba de velocidad variable con un step variable entre 100-1000 mm/s, donde se observa un cambio de temperatura en cada frecuencia o velocidad dada para el ensayo, varios ciclos.

#### 4.4.1 Preparación de la muestra

La muestra a ensayar consiste en un amortiguador para suspensión tipo MacPherson, en total se ensayarán 4 muestras, una por una consecutivamente.

#### **4.4.2. Procedimiento**

El procedimiento propuesto se detalla en el anexo 2.

En el manual de instrucciones del banco de prueba amortiguadores se describe todos los pasos tanto en montaje, calibración, ajustes mecánicos y uso específico del software para las diferentes pruebas del banco, los mismos que se enuncian a continuación y se encuentran digitalmente en el ordenador del banco, para uso implícito del técnico responsable:

- 1-Introducción al empleo de los bancos prueba amortiguadores
- 2-Partes de repuesto
- 3-Los miembros del banco: partes mecánicas y sensores
- 4-Principio de funcionamiento y tipos de prueba
- 5-Manutención
- 6-Predisposiciones eléctricas
- 7-Esquema eléctrico
- 8-Ordenador: requisados mínimos
- 9-Manual de empleo del software
- 10-La prueba, en resumen
- 11-Procedimiento de instalación
- 12-Normas de seguridad
- 13-Aparados de seguridad
- 14-Como efectuar una prueba típica

#### **4.4.3. Informe**

El informe se emitirá luego del ensayo; con su correspondiente análisis, y será de manejo interno del laboratorio.

#### **4.4.4. Diagramas o curvas características de los amortiguadores/muestras ensayadas.**

**Diagrama fuerza –desplazamiento:**

Esta curva cerrada o diagrama es el más común en los ensayos de las máquinas actuales; es propio de las máquinas de sistema o mecanismo biela-excéntrica.

Se produce por las reacciones o fuerzas que opone el amortiguador, frente a un ciclo sinusoidal de variación de las velocidades que le impone la máquina.

Dicho movimiento tiene una amplitud de desplazamientos que es la mitad del recorrido o carrera del amortiguador, y que corresponde a la excentricidad o radio de manivela o excéntrica.

#### 4.4.5. Parámetros generales de pruebas

Son los parámetros de entrada tomados en cuenta para los 12 ensayos a realizar, que se detallan a continuación:

1. La carrera es la misma para todas las pruebas (50 mm).
2. Velocidades

**Tabla 10**

#### Datos de todas las velocidades

	Ensayo 1	200	mm/s
Muestra 1 alterno	Ensayo 2	100, 200, 250, 300, 350, 500, 500, 800, 800, 1000	mm/s
	Ensayo 3	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800	mm/s
	Ensayo 4	200	mm/s
Muestra 2 alterno	Ensayo 5	100, 200, 250, 300, 350, 500, 500, 800, 800, 1000	mm/s
	Ensayo 6	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800	mm/s
	Ensayo 7	200	mm/s
Muestra 3 original	Ensayo 8	100, 200, 250, 300, 300, 500, 500, 800, 800, 1000	mm/s
	Ensayo 9	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800	mm/s
	Ensayo 10	200	mm/s
Muestra 4 original	Ensayo 11	100, 200, 250, 300, 300, 500, 500, 800, 800, 1000	mm/s
	Ensayo 12	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800	mm/s

### 3. Temperaturas medianas

**Tabla 11**

**Datos de todas las temperaturas medianas.**

	<b>Ensayo 1</b>	<b>25.77</b>	<b>°C</b>
<b>Muestra 1</b> <b>alterno</b>	<b>Ensayo 2</b>	26.17, 26.25, 26.31, 26.81, 27.13, 27.49, 27.94, 30.28, 34.10, 45.24	°C
	<b>Ensayo 3</b>	41.63, 41.32, 41.31, 42.06, 43.36, 45.65, 59.02	°C
	<b>Ensayo 4</b>	25.29	°C
<b>Muestra 2</b> <b>alterno</b>	<b>Ensayo 5</b>	26.36, 26.67, 27.32, 28.13, 29.08, 30.78, 33.46, 33.91, 46.06, 56.45	°C
	<b>Ensayo 6</b>	57.2, 57.05, 57.59, 58.61, 60.38, 63.19, 67.21	°C
	<b>Ensayo 7</b>	25.03	°C
<b>Muestra 3</b> <b>original</b>	<b>Ensayo 8</b>	26.64, 26.66, 26.69, 27.13, 27.17, 27.91, 30.28, 33.94, 39.69, 48.5	°C
	<b>Ensayo 9</b>	46.15, 45.79, 44.98, 44.45, 45.39, 49.13, 56.47	°C
	<b>Ensayo 10</b>	25.54	°C
<b>Muestra 4</b> <b>original</b>	<b>Ensayo 11</b>	26.6, 26.91, 27.14, 27.89, 28.39, 29.05, 30.74, 34.17, 40.53, 54.15	°C
	<b>Ensayo 12</b>	59.75, 58.5, 58.35, 59.96, 64.65, 70.17, 72.83	°C

#### 4.5. Resultados y análisis de las pruebas.

El objetivo de los 12 ensayos en los amortiguadores es determinar y observar las curvas características de un amortiguador original en comparación con un alterno, y poder decir cual tiene mejores características de funcionamiento en el vehículo.

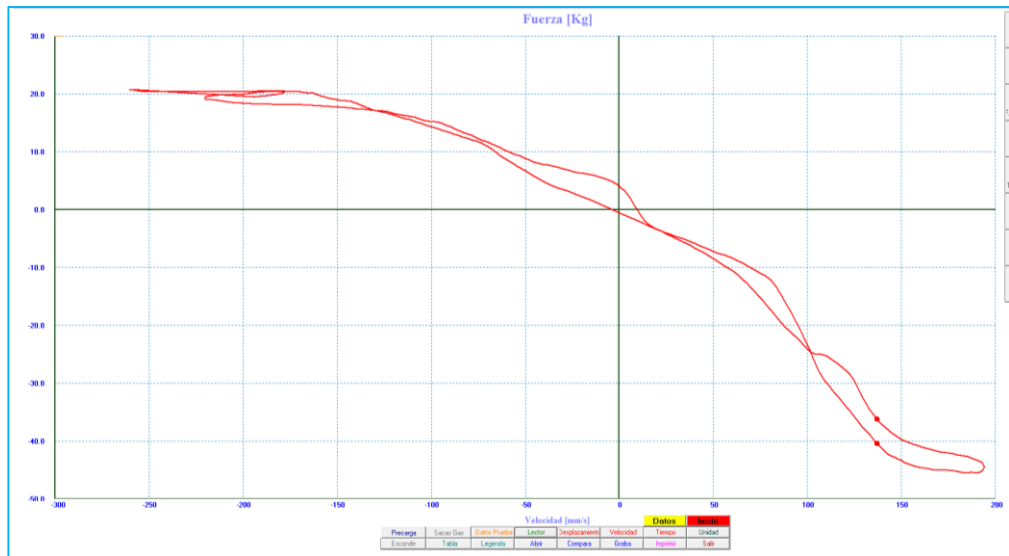
#### 4.5.1. Ensayo 1. Prueba a velocidad fija



**Figura 52 Fuerza – desplazamiento muestra 1; E1.**

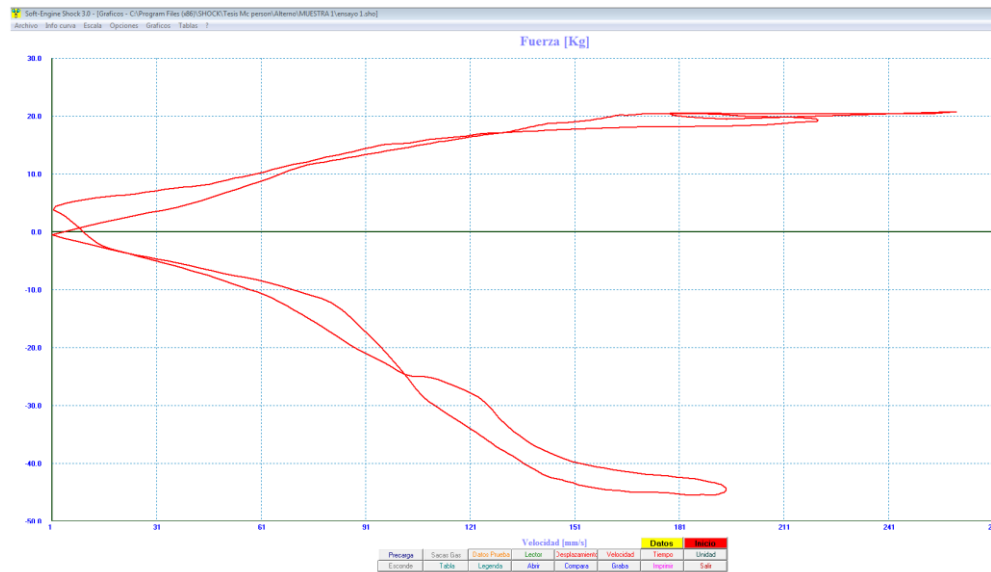
La figura 52 representa el trabajo del amortiguador sometido a un ciclo de fatiga, el cual se desplaza en compresión como en expansión; el área superior encerrada representa la fuerza de compresión en función del desplazamiento, mientras que la parte inferior encerrada es el trabajo de expansión de la fuerza.

Se evidencia que no presenta mayor problema, solo se observa una cavitación (vaporización del fluido) existentes en las válvulas reguladoras producidas por cambio brusco de la velocidad del fluido, así como también una pérdida de fuerza en la mitad de la carrera de compresión.



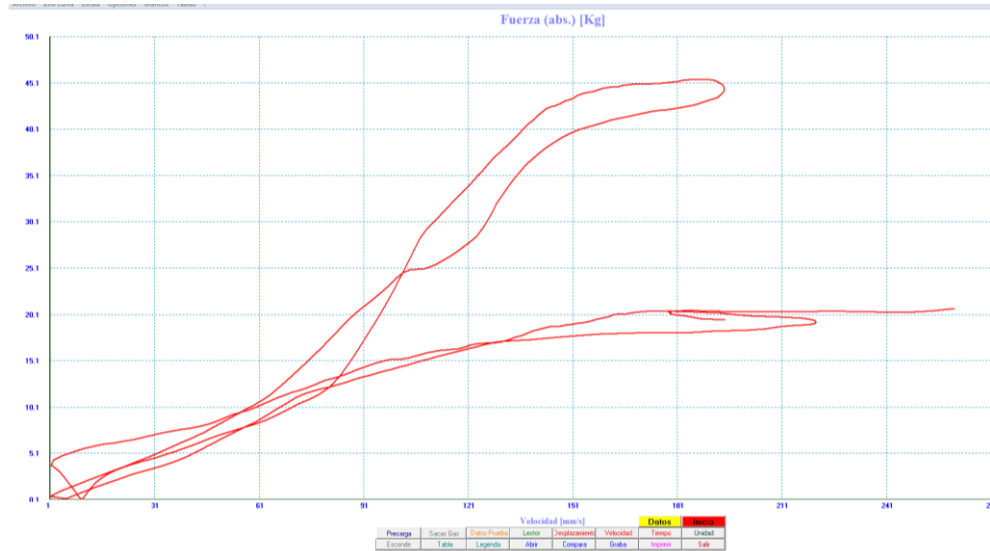
**Figura 53 Fuerza-velocidad, muestra 1; E1.**

La figura 53 representa el comportamiento la fuerza aplicada a un amortiguador en función de la velocidad, donde se observa el área de compresión y extensión del amortiguador.



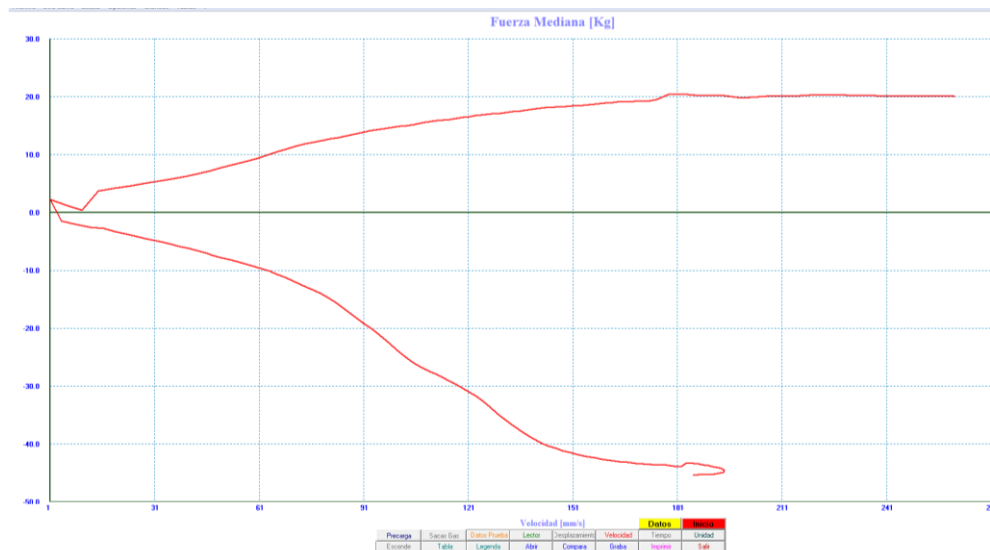
**Figura 54 Fuerza-velocidad absoluta, muestra 1; E1.**

La figura 54 representa la fuerza aplicada a un amortiguador en función de la velocidad, la cual nos permite calcular la velocidad de un punto tomando como referencia la velocidad de otro punto.



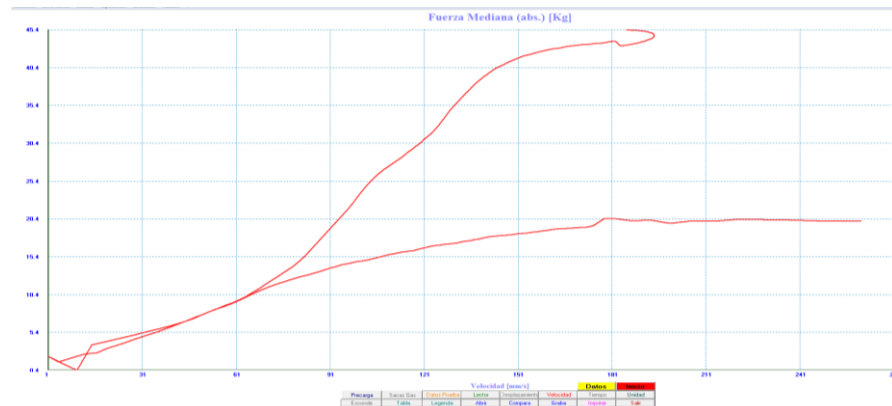
**Figura 55 Fuerza absoluta - velocidad absoluta, muestra 1; E1.**

La figura 55 representa la fuerza absoluta del amortiguador en función de la velocidad absoluta, que establece el potencial máximo de un elemento para producir fuerza, en base a las características de fabricación; esta se manifiesta en situaciones críticas de funcionamiento aplicada sobre un amortiguador.



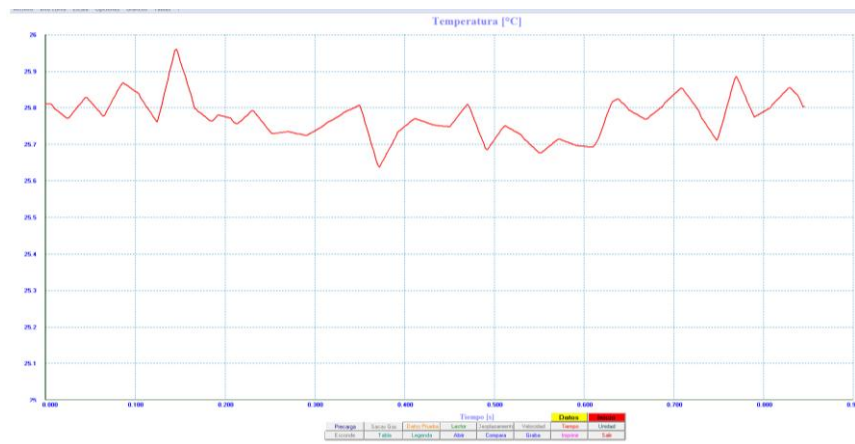
**Figura 56 Fuerza mediana - velocidad absoluta, muestra 1; E1.**

En la figura 56 se representa la fuerza mediana del amortiguador en función de la velocidad absoluta, que establece el promedio de la fuerza aplicada en un lapso de tiempo, tanto en compresión y extensión.



**Figura 57 Fuerza mediana absoluta - velocidad absoluta, muestra 1; E1.**

En la figura 57 se representa la fuerza mediana absoluta del amortiguador en función de la velocidad absoluta, que es el promedio de la fuerza aplicada en un lapso de tiempo, tomando en cuenta el punto siguiente o anterior de referencia.



**Figura 58 Temperatura - tiempo, muestra 1; E1.**

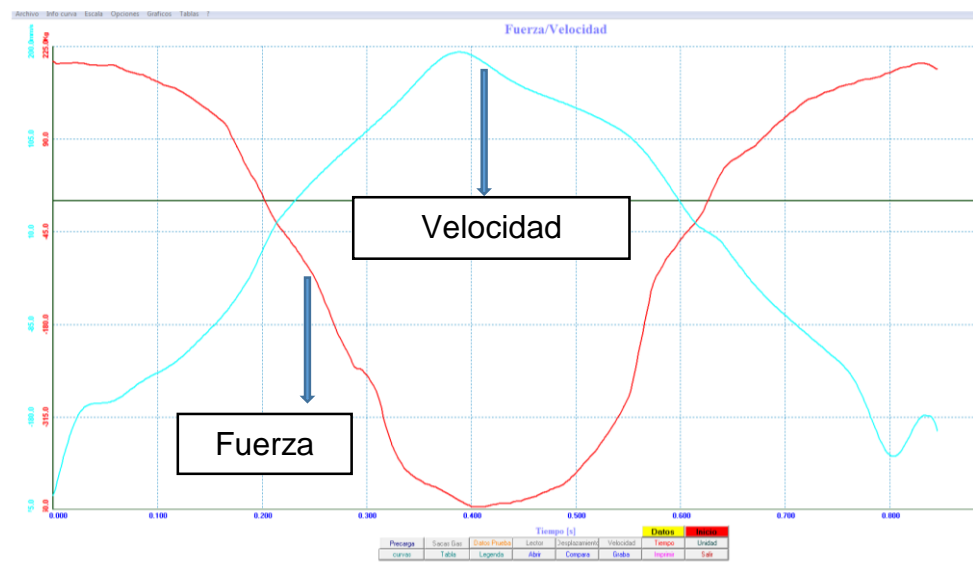
En la figura 58 se representa la variación instantánea de la temperatura del aceite o gas del amortiguador en las dos etapas de funcionamiento del amortiguador, que nos permite determinar la temperatura de funcionamiento en uno o varios ciclos de trabajo.





**Figura 59** Fuerza y desplazamiento - tiempo, muestra 1; E1.

En la figura 59 se representa la fuerza y el desplazamiento del amortiguador en función del tiempo, en un determinado ciclo de trabajo, así como aporta a la caracterización del amortiguador.



**Figura 60** Fuerza y velocidad - tiempo, muestra 1; E1.

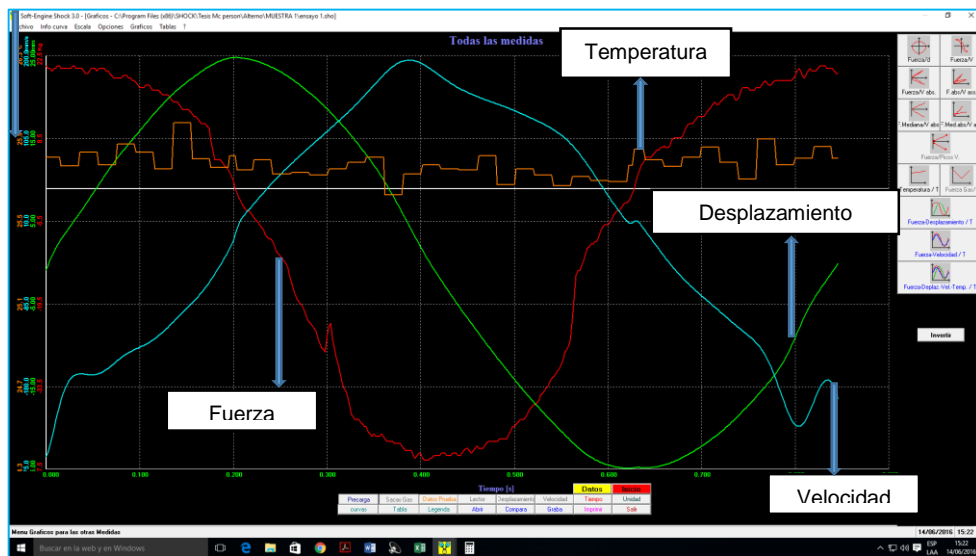
En la figura 60 se representa la fuerza y velocidad del amortiguador en función del tiempo, la misma q nos permite observar el comportamiento en operación del mismo.

A continuación, se describe el análisis del ensayo desarrollado:

La prueba se realizó a velocidad fija para un ciclo, la cual permite adquirir datos del mismo a velocidad (mm/s) o frecuencia (Hz) programada, adicionalmente se ingresó un warm up como condición inicial de ensayo.

Con esta prueba se valorará el calibrado del amortiguador en función de una carrera máxima a determinada velocidad, de modo que será notable el correcto funcionamiento de la fontanería del amortiguador y se observara eventuales anomalías, basándose en la curva característica Fuerza/Desplazamiento (que tiene que normalmente ser de forma elíptica).

Para el ensayo se tiene en cuenta la temperatura real de funcionamiento, ya que el software permite agregar y sincronizar este parámetro.



**Figura 61** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1. ; E1.

En la figura 61 se observa las curvas características del amortiguador en función del tiempo, esto nos permite valorar los rangos de funcionamiento

de este elemento en una sola panorámica, como también los datos de las variables dependientes reales del experimento.

The screenshot shows a software window titled "Datos prueba" with a close button (X) in the top right corner. At the top, there are two input fields: "Prueba" with the value "1" and "Run" with the value "1", each followed by a "Next" button. Below these are four rows of test parameters, each with a yellow background:

Excursión [mm]	50,3
Precarga [Kg]	1,22
Roce Despego [Kg]	0
Velocidad Nom. [mm/s]	200,0

Below these are two columns of results. The first column has a cyan background, and the second column has a blue background. The headers are "Fuerza [Kg]" and "Velocidad [mm/s]".

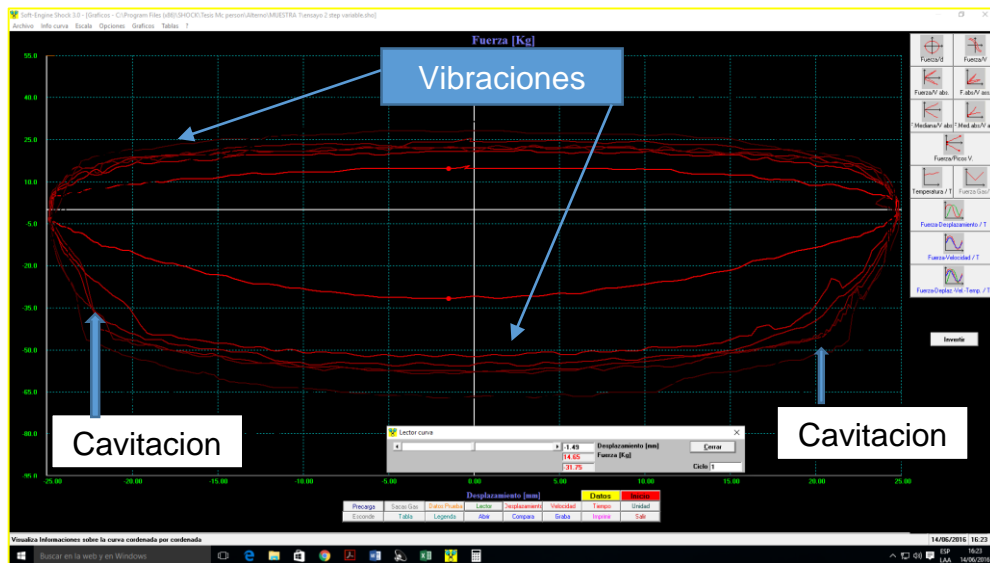
	Fuerza [Kg]	Velocidad [mm/s]
Pk.Compress.	20,76	-194,23
Pk.Estens.	-45,99	195,07

At the bottom, there is a red row for "Temp.Mediana" with the value "25,77". A "CIERRAS" button is located at the very bottom of the window.

**Figura 62 Datos resultantes ensayo muestra 1. ; E1.**

En la figura 62 tenemos los resultados de fuerzas máximas, como de temperatura mediana para un ciclo determinado, los cuales serán de gran importancia para comparar resultados, en la que podemos determinar cuál de estas muestras es la más idónea y con mejores características de funcionamiento.

#### 4.5.2. Ensayo 2. Prueba a velocidad variable con step variable.

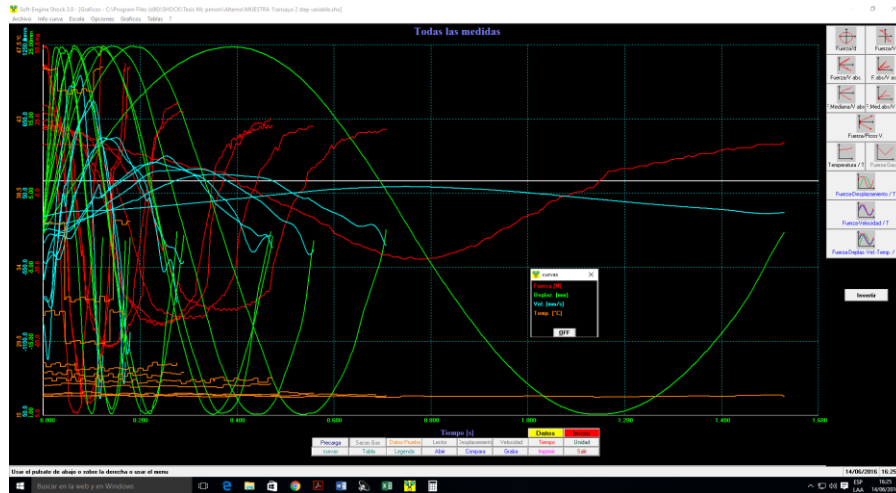


**Figura 63 Fuerza – desplazamiento muestra 1; E2.**

Con esta prueba es posible probar el amortiguador imponiendo una progresión de frecuencias o velocidad de oscilación variable: donde se realizan varios ciclos para poner al amortiguador en condiciones críticas de funcionamiento, con lo que se obtendrá futuros pronósticos para mantenimiento y para determinar la vida útil del mismo, se impone una velocidad mínima, una velocidad media y una máxima con un paso (que puede ser constante o variable), donde se pudo observar el comportamiento del amortiguador en correspondencia a muchas frecuencias de oscilación, así también la afectación de la temperatura al aceite durante estos ensayos.

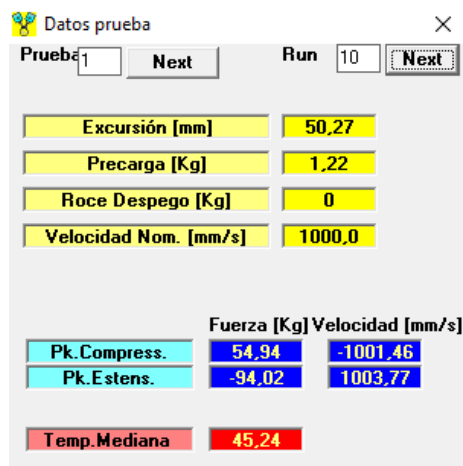
Las curvas presentan cavitaciones determinadas como burbujas de aire en la etapa de extensión, como también vibraciones generadas por factores externos, pero no hay mayor problema porque es un amortiguador nuevo alterno.

Adicionalmente el lector de curvas nos permite recorrer cualquier ciclo, calculando automáticamente los valores de fuerza de compresión y extensión en ese punto.



**Figura 64** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1.; E2.

En la figura 64 se observa detalladamente todas las curvas resultantes en función del tiempo durante el ensayo y prioritarias para un análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, con lo que este estudio ayudara a seleccionar el amortiguador más idóneo para el servicio según el requerimiento del cliente.

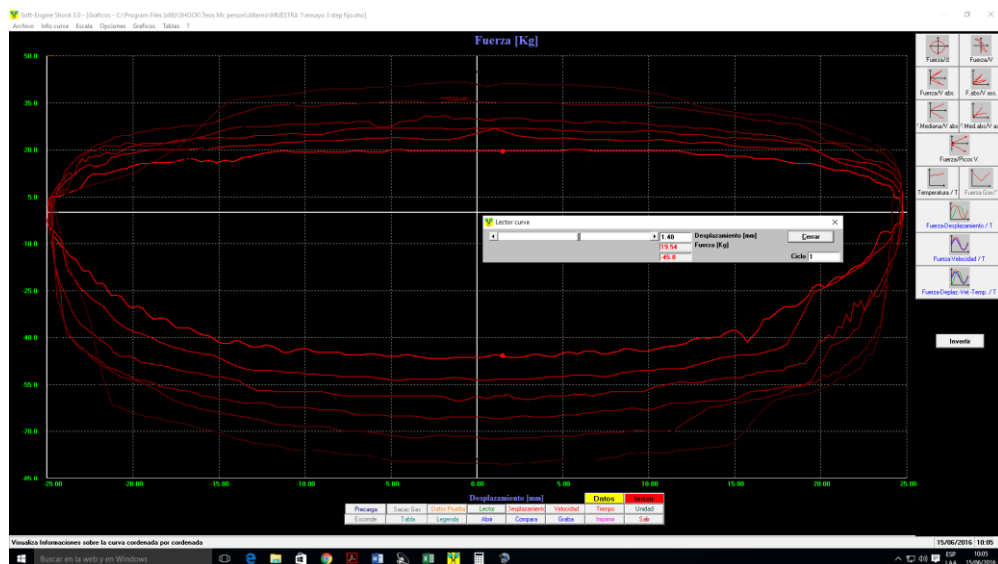


**Figura 65** Datos resultantes ensayo muestra 1; E2.

Los resultados de la figura 65 han sido tomados del ciclo 10, como también nos permite tomar de cualquier otro ciclo según el requerimiento de análisis de las curvas, como también su temperatura mediana de ensayo.

Cabe mencionar que sube la fuerza en función de la velocidad y temperatura que adquieren durante el experimento, en este caso los datos de entrada se encuentran en las tablas 10 y 11 de parámetros generales de ensayo.

#### 4.5.3. Ensayo 3. Prueba a velocidad variable con step fijo.



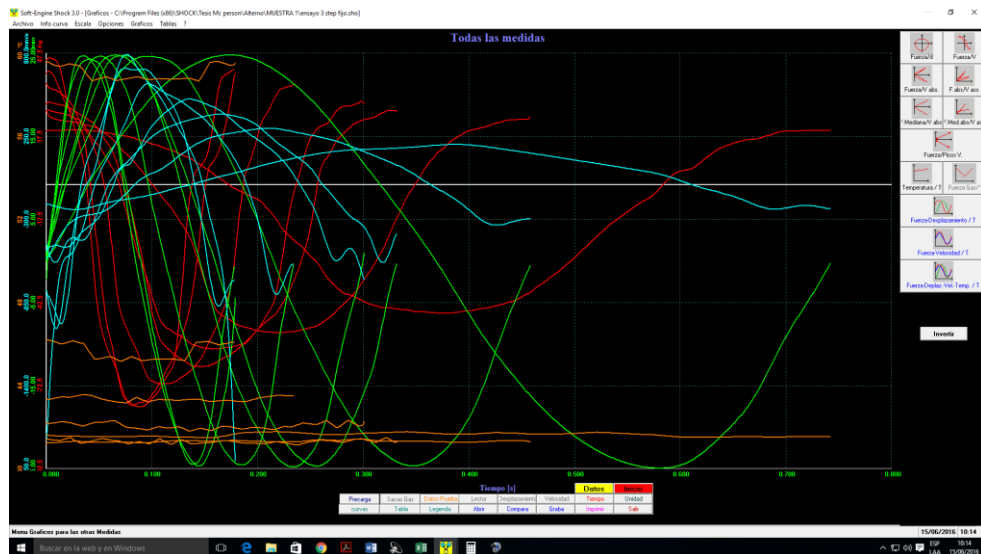
**Figura 66 Fuerza – desplazamiento, muestra 1; E3.**

Con esta prueba es posible probar el amortiguador, imponiendo una progresión de velocidades de oscilación variable: en esta se realizan varios ciclos para poner al amortiguador en condiciones críticas de funcionamiento, con lo cual se obtendrá futuros pronósticos ya sea de mantenimiento o vida útil del mismo.

Se impone una velocidad mínima, una media y una máxima con un paso (que puede ser constante o variable): durante la prueba, la frecuencia de oscilación varía y es posible observar el comportamiento del amortiguador en correspondencia a muchas velocidades de oscilación, como también la afectación de la temperatura al aceite durante estos ensayos.

Se observa que las curvas presentan cavitaciones, por falta de aceite o la formación de burbujas de aire en la etapa de extensión, como también

existen vibraciones generadas por factores externos en las dos etapas, por lo que no hay mayor problema en el amortiguador nuevo alterno.



**Figura 67** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 1; E3.

En la figura 67 se observa detalladamente todas las curvas resultantes en función del tiempo durante el ensayo con step fijo, donde se toman las curvas prioritarias para un análisis posterior de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo.

También cabe mencionar que se pueden obtener otras curvas específicas del software.

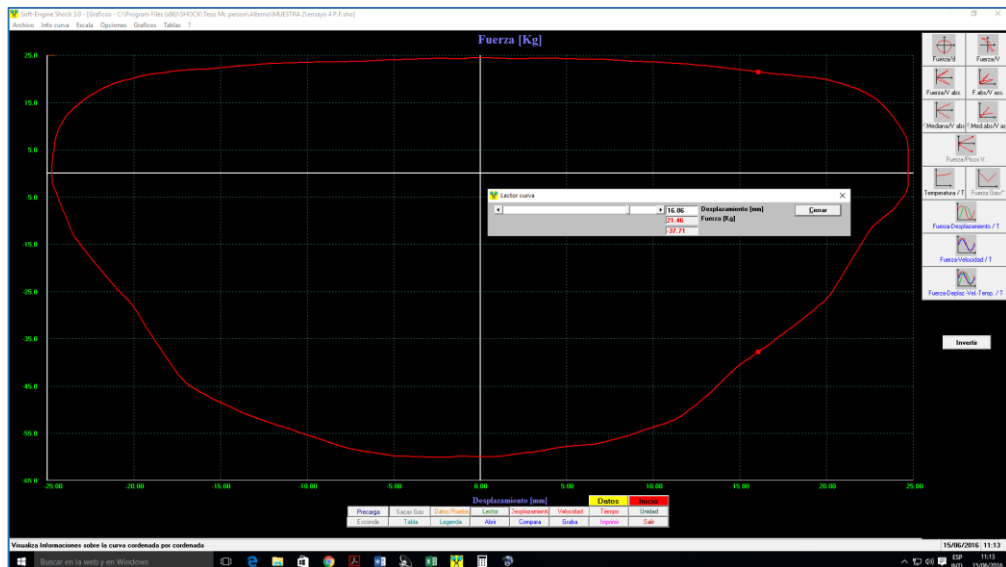
Datos prueba	
Prueba	1
Run	7
Excursión [mm]	50,27
Precarga [Kg]	1,22
Roce Despego [Kg]	0
Velocidad Nom. [mm/s]	800,0
Fuerza [Kg] Velocidad [mm/s]	
Pk.Compres.	47,21 -803,55
Pk.Estens.	-80,59 804,61
Temp.Mediana	59,02

**Figura 68** Datos resultantes ensayo muestra 1; E3.

Los resultados de la figura 68 han sido tomados del ciclo 7, como también nos permite tomar de cualquier otro ciclo según el requerimiento de análisis de las curvas, como también su temperatura mediana de ensayo.

Adicionalmente se diría que sube la fuerza en función de la velocidad y temperatura que adquieren durante el ensayo.

#### 4.5.4. Ensayo 4. Prueba a velocidad fija

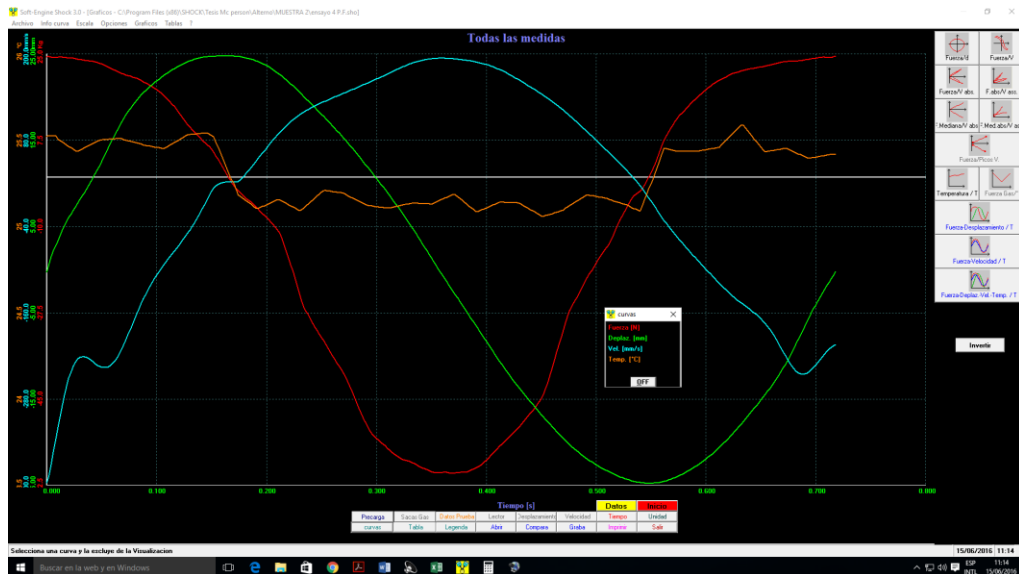


**Figura 69 Fuerza – desplazamiento, muestra 2; E4.**

Se evidencia que no presenta mayor problema, solo se produjo una cavitación mínima en el cuadrante cuatro donde es el cierre de la válvula limitadora en la carrera de extensión del amortiguador.

Para el ensayo se recomienda tener al amortiguador en la temperatura real de funcionamiento, además que el software me permite agregar y sincronizar este parámetro.





**Figura 70** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 2; E4.

En la figura 70 se puede apreciar todas las curvas del amortiguador en función del tiempo, con lo cual nos permite valorar los rangos en una sola panorámica, como también todos los datos de las variables dependientes reales del ensayo que nos ayudaran a caracterizar el amortiguador.

Datos prueba		
Prueba	1	Next
Run	1	Next
Excursión [mm]	50,3	
Precarga [Kg]	0,0	
Roce Despego [Kg]	0	
Velocidad Nom. [mm/s]	200,0	
	Fuerza [Kg]	Velocidad [mm/s]
Pk.Compress.	24,42	-204,53
Pk.Estens.	-61,05	194,17
Temp. Mediana	25,29	

**Figura 71** Datos resultantes ensayo muestra 2; E4.

En la figura 71 tenemos los resultados de fuerzas máximas, como de temperatura mediana para un ciclo determinado, los cuales serán de gran importancia para comparar resultados de la hipótesis a cumplir, en la que podemos determinar cuál de estas muestras es la más idónea y con mejores características de funcionamiento.

#### 4.5.5. Ensayo 5. Prueba a velocidad variable con step variable.

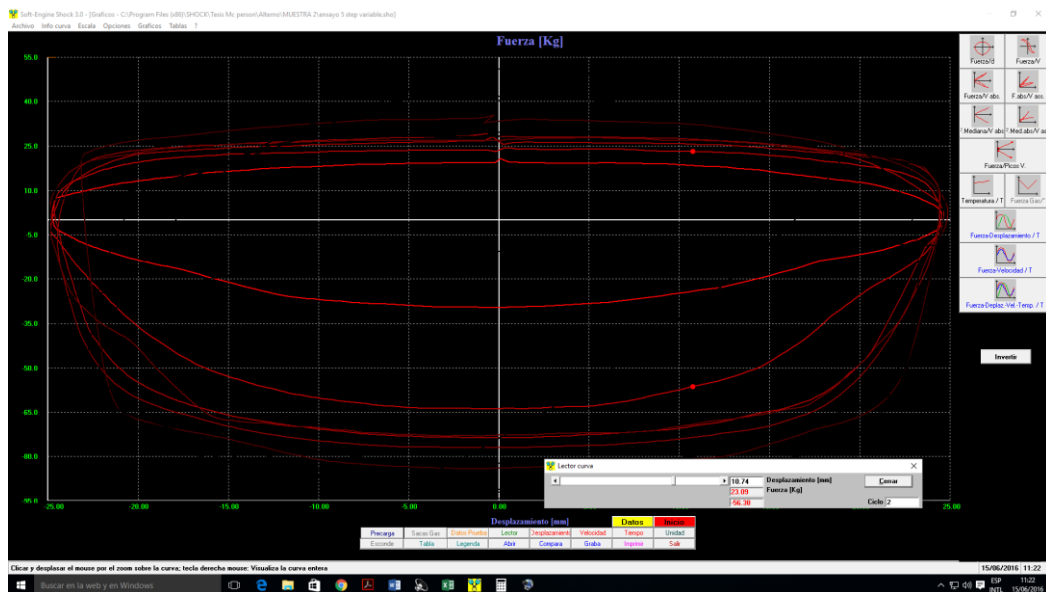


Figura 72 Fuerza – desplazamiento, muestra 2; E5.

Esta prueba se realizó con un step variable para diferentes velocidades en orden ascendente, lo cual nos permite ver los ciclos bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaría un amortiguador en la suspensión del vehículo.

Se evidenció que las curvas presentan cavitaciones normales, pero en cada ciclo hay diferencias de formas elípticas, lo que quiere decir que para sus diferentes velocidades también hay variaciones de fuerzas en las dos etapas, tomando en cuenta que siempre influye la temperatura.



**Figura 73** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 2; E5.

En la figura 73 se observa detalladamente las curvas resultantes en función del tiempo durante el ensayo y prioritarias para un análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, con lo que este estudio ayudara a seleccionar el amortiguador más idóneo para ese servicio o para el requerimiento por el cliente.

Datos prueba	
Prueba	1
Run	1
Excursión [mm]	50,3
Precarga [Kg]	0,0
Roce Despego [Kg]	0
Velocidad Nom. [mm/s]	100,0
	Fuerza [Kg] Velocidad [mm/s]
Pk.Compress.	20,76 -101,89
Pk.Estens.	-30,12 102,65
Temp.Mediana	26,36

**Figura 74** Datos resultantes ensayo muestra 2; E5.

En este ensayo se tomó los datos resultantes del ciclo 1, lo cual también podemos tomar de cualquier otro ciclo, cabe mencionar que los datos varían según sus velocidades y frecuencias dadas, en este caso la

curva es ideal y los datos tanto en fuerzas como en temperaturas mantienen una buena relación tanto en compresión como en extensión.

#### 4.5.6. Ensayo 6. Prueba a velocidad variable con step fijo.

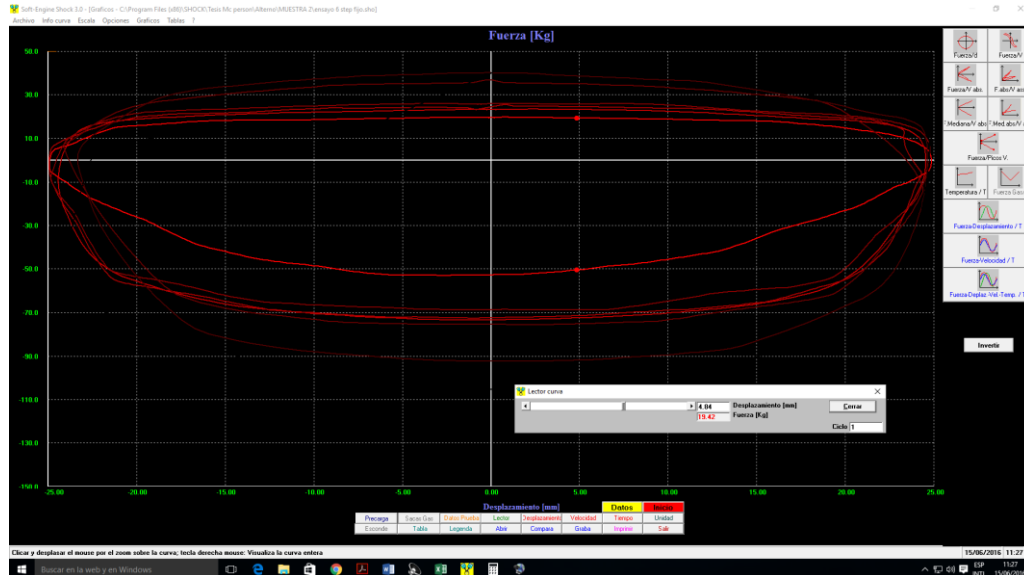
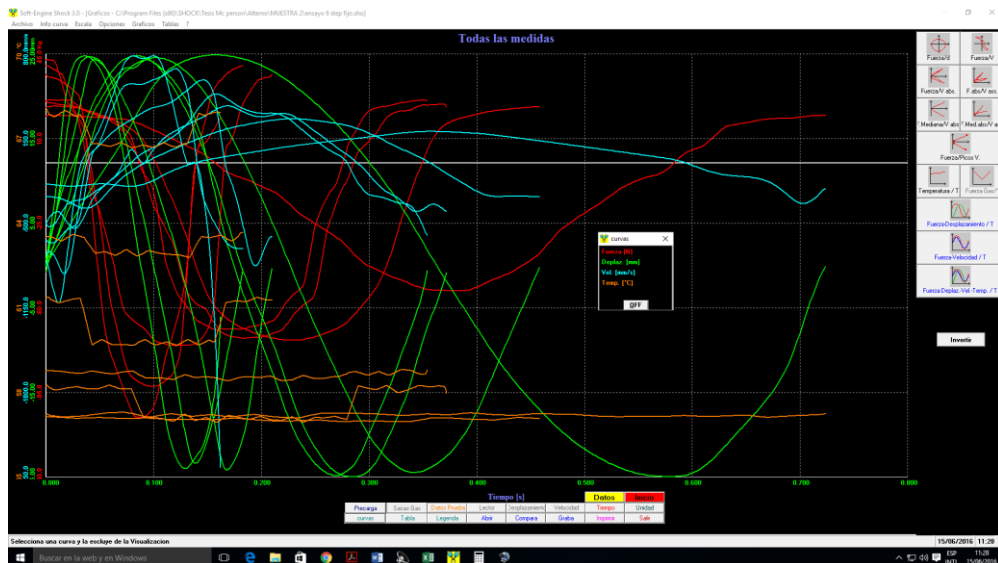


Figura 75 Fuerza – desplazamiento, muestra 2; E6.

Esta prueba se realizó con un step fijo de 100 mm/s para 7 ciclos diferentes dentro de un rango de velocidades en orden ascendente, lo cual nos permite ver los ciclos, bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaría un amortiguador, y tomando en cuenta su calentamiento global en cada uno de sus ciclos.

Se observa que las curvas presentan cavitaciones normales en la etapa de extensión y poca fuerza en la etapa de compresión, pero no hay mayor problema porque es un amortiguador nuevo alterno.



**Figura 76** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 2; E6.

En la figura 76 se observa detalladamente todas las curvas resultantes del amortiguador en función del tiempo, pero con step fijo, aquí son tomadas las curvas prioritarias para un análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, mediante el cual ayudara a seleccionar el amortiguador más idóneo para ese servicio o para el requerimiento por el cliente.

Datos prueba	
Prueba	1
Run	7
Excursión [mm]	50,38
Precarga [Kg]	2,44
Roce Despego [Kg]	0
Velocidad Nom. [mm/s]	800,0
Fuerza [Kg] Velocidad [mm/s]	
Pk.Compress.	43,14
Pk.Estens.	-105,82
Temp.Mediana	67,21

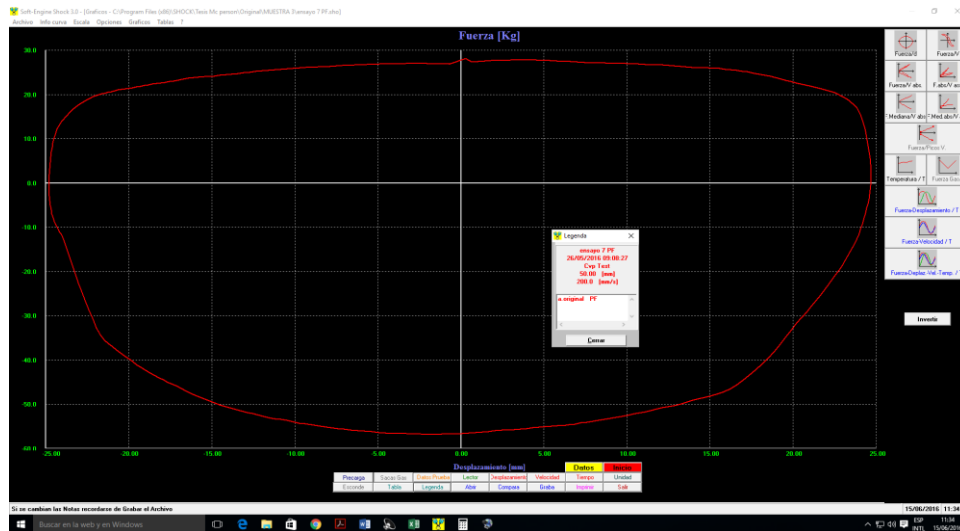
**Figura 77** Datos resultantes ensayo muestra 2; E6.

Los resultados de la figura 77 han sido tomados del ciclo 7, donde se observa los valores de fuerzas y temperaturas para el ciclo seleccionado.

Se evidencia que la fuerza sube en función de la velocidad y temperatura que adquieren durante el ensayo.

Con este resultado validamos que hay mayor fuerza de extensión, superior a la muestra 1, tomando en cuenta que son de la misma marca y con las mismas características.

#### 4.5.7. Ensayo 7. Prueba a velocidad fija



**Figura 78 Fuerza – desplazamiento, muestra 3; E7.**

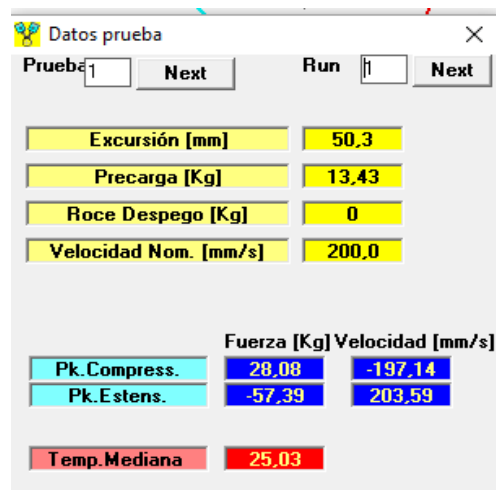
Se observa que no presenta mayor problema, ya que es una elíptica bien formada, ya que se lo realiza con un ensayo nuevo original para este tipo de suspensión.

Para el ensayo se recomienda tener al amortiguador en la temperatura real de funcionamiento, además que el software me permite agregar y sincronizar este parámetro.



**Figura 79** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3; E7.

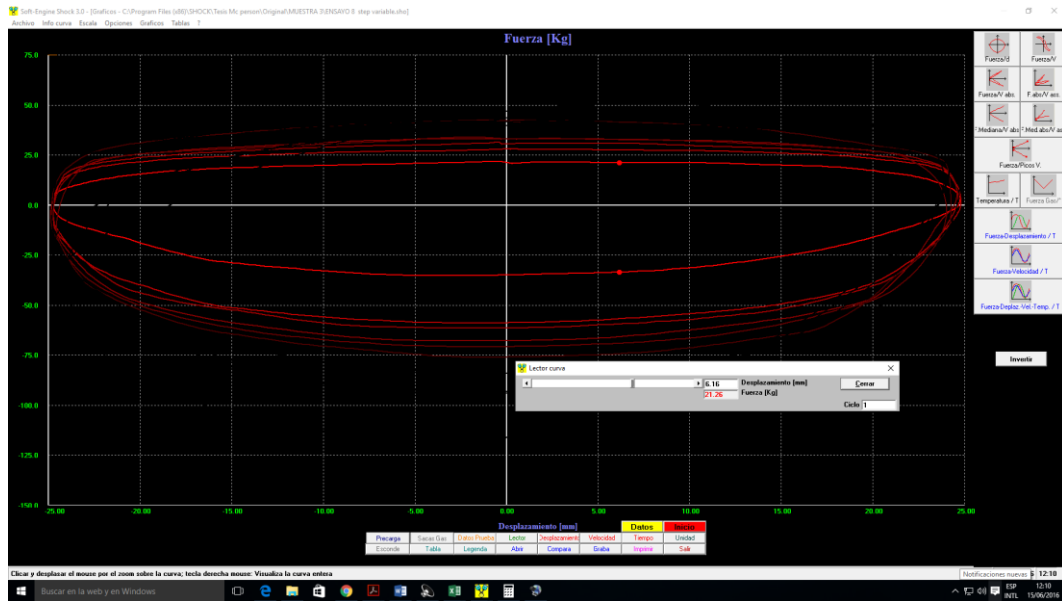
En la figura 79 se puede apreciar las diferentes curvas, todas en función del tiempo, con lo cual nos permite valorar los rangos en una sola panorámica, así también todos los datos de las variables dependientes reales del experimento y que nos ayudaran a caracterizar al amortiguador.



**Figura 80** Datos resultantes ensayo muestra 3; E7.

En la figura 80 tenemos los resultados tanto de fuerzas máximas, como de temperatura mediana para un ciclo determinado, los cuales serán de gran importancia para comparar resultados.

#### 4.5.8. Ensayo 8. Prueba a velocidad variable con step variable.



**Figura 81 Fuerza – desplazamiento, muestra 3; E8.**

Esta prueba se realizó con un step variable para diferentes velocidades en orden ascendente, lo cual permite ver los ciclos bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, y así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaría un amortiguador.

Se observa que las curvas presentan cavitaciones normales, pero en cada ciclo hay diferencias de formas elípticas, lo que indica que para sus diferentes velocidades también existen vibraciones en los diferentes ciclos generadas por factores externos, hay variaciones de fuerzas en las dos etapas, tomando en cuenta que siempre influye la temperatura en el funcionamiento del mismo.





**Figura 82** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3; E8.

En la figura 82 se observa detalladamente todas las curvas características resultantes en función del tiempo del amortiguador que son prioritarias para un análisis posterior o para valorar una muestra de lote mínimo, donde se valora el funcionamiento del amortiguador en un ciclo de trabajo.

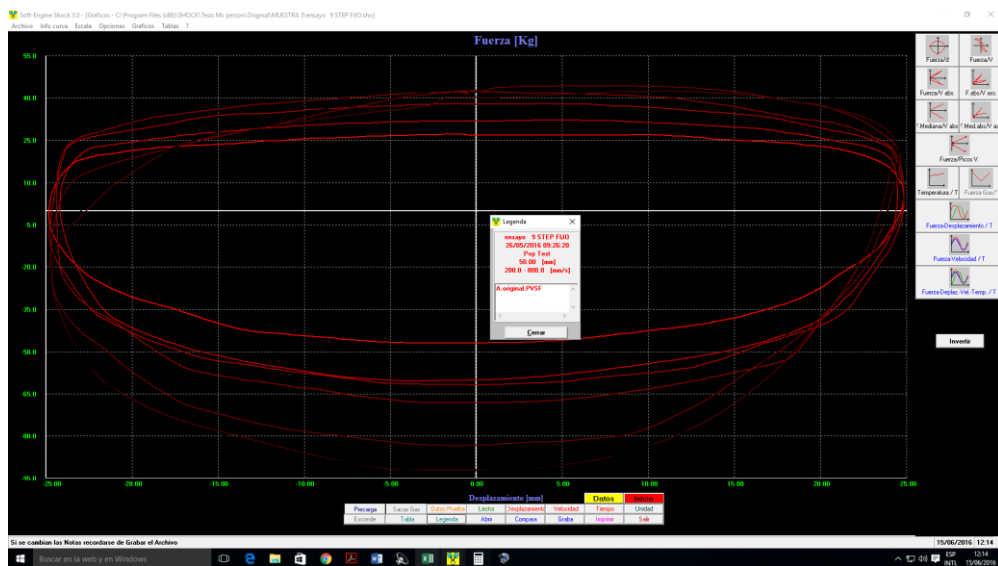
Datos prueba		
Prueba	Next	Run
Excursión [mm]	50,34	
Precarga [Kg]	13,43	
Roce Despego [Kg]	0	
Velocidad Nom. [mm/s]	100,0	
	Fuerza [Kg]	Velocidad [mm/s]
Pk.Compress.	21,98	-95,64
Pk.Estens.	-35,41	94,6
Temp.Mediana	26,64	

**Figura 83** Datos resultantes ensayo muestra 3; E8.

Los resultados de la figura 83 han sido tomados del ciclo 1, donde se observa los valores de fuerzas de compresión y extensión, así como la temperatura real de salida del ensayo.

Se puede evidenciar que existe una buena relación de amortiguamiento mediante la relación de fuerzas resultantes del ensayo, aproximándose a una amortiguación para vehículos de carrera.

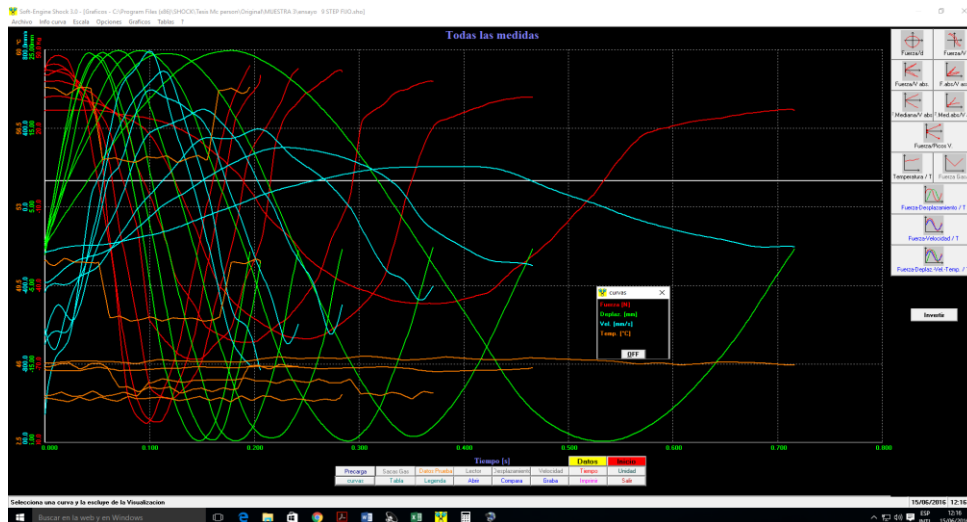
#### 4.5.9. Ensayo 9. Prueba a velocidad variable con step variable.



**Figura 84 Fuerza – desplazamiento, muestra 3; E9.**

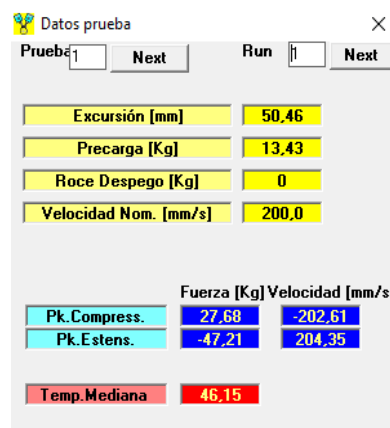
Esta prueba se realizó con un step fijo con una velocidad de 200mm/s a 800mm/s, para ciclos diferentes dentro de este rango de velocidades en orden ascendente, lo cual nos permite ver diferentes ciclos, bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaría un amortiguador, y tomando en cuenta su calentamiento global en cada uno de sus ciclos.

Las curvas presentan cavitaciones normales, como también vibraciones generadas por factores externos en las dos etapas.



**Figura 85** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 3; E9.

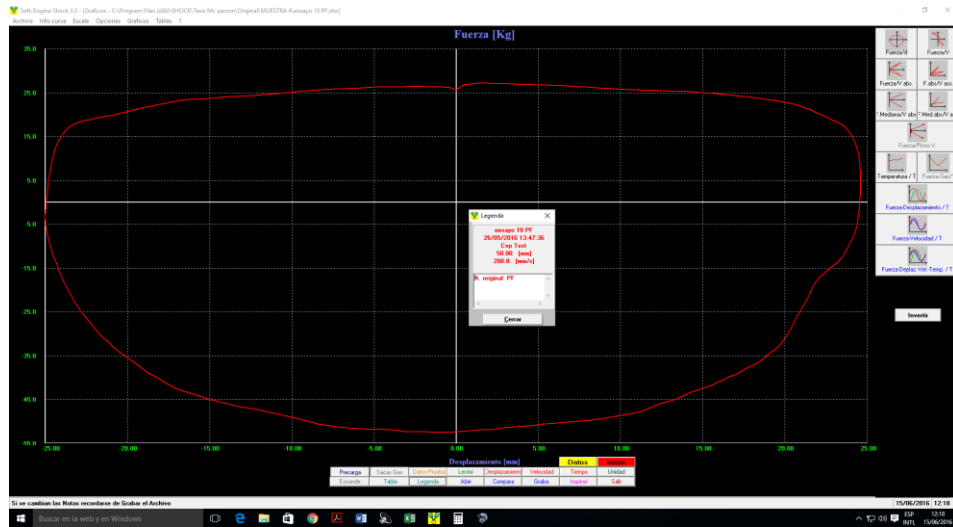
En la figura 86 se muestra detalladamente todas las curvas resultantes en función del tiempo durante el ensayo, pero con step fijo, aquí son tomadas las curvas prioritarias para un análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, mediante el cual ayudará a seleccionar el amortiguador más idóneo según requerimiento del cliente.



**Figura 86** Datos resultantes ensayo muestra 3; E9.

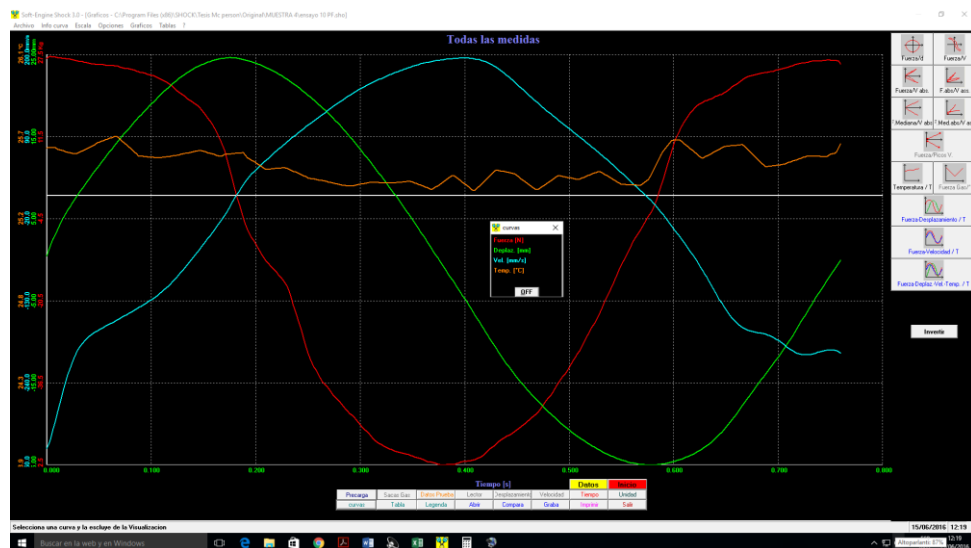
Los resultados de la figura 86 han sido tomados del ciclo 1, donde se observa los valores de fuerzas de compresión y extensión, como también de temperatura reales del ensayo realizado.

### 4.5.10. Ensayo 10. Prueba a velocidad fija



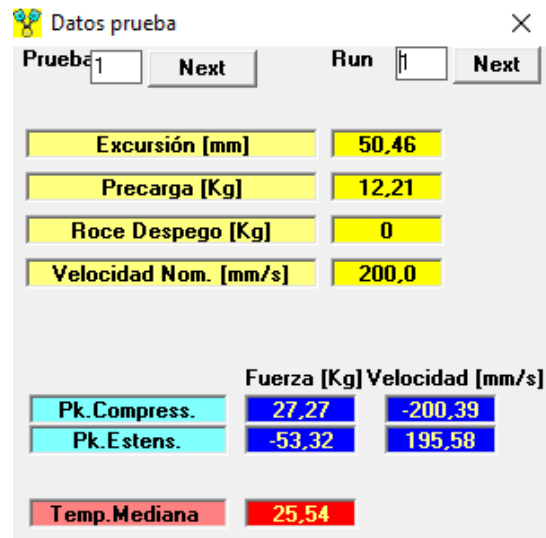
**Figura 87 Fuerza – desplazamiento, muestra 4; E10.**

En la figura 87 se observa una mayor fuerza en la etapa de extensión, así también presenta una cavitación en el cuarto cuadrante justo en el cierre de la válvula limitadora en la carrera de extensión, pero es una elíptica bien formada, ya que en este caso es un ensayo con un amortiguador original nuevo para este tipo de suspensión.



**Figura 88 Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4; E10.**

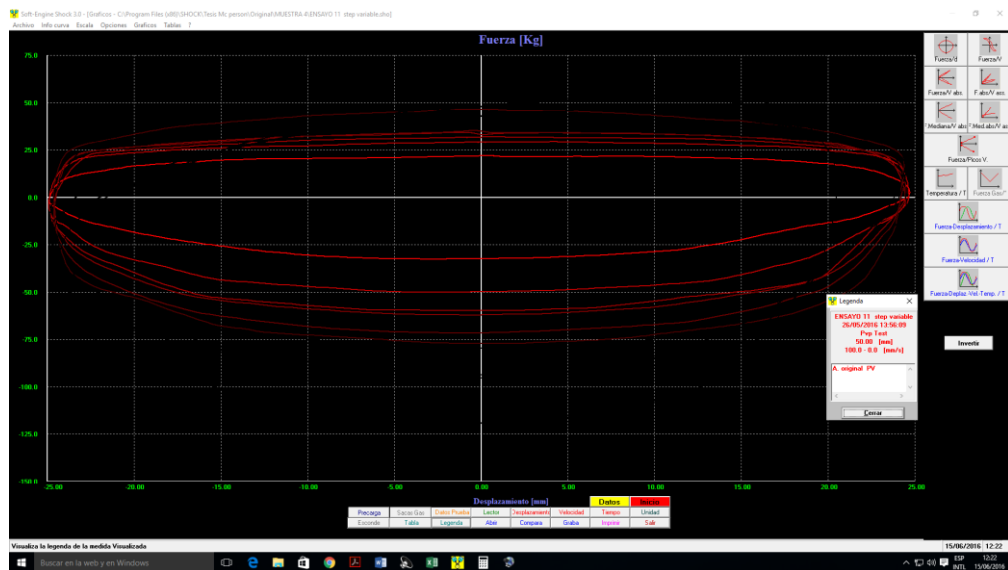
En la figura 88 se aprecia todas las curvas características de funcionamiento del amortiguador en función del tiempo, que nos permite valorar los rangos en una sola panorámica, así también todos los datos de las variables dependientes reales del experimento y que nos ayudaran a caracterizar al amortiguador, como también a compararse estas frente a otras muestras, así también se visualiza las ondas sinodales que contribuyen a un estudio de un sistema de suspensión.



**Figura 89 Datos resultantes ensayo muestra 4; E10.**

En la figura 89 se observa los resultados de fuerzas máximas, como de temperatura mediana para un ciclo determinado, los cuales serán de gran importancia para comparar resultados de la hipótesis a cumplir, en la que podemos determinar cuál de estas muestras es la más idónea y con mejores características de funcionamiento.

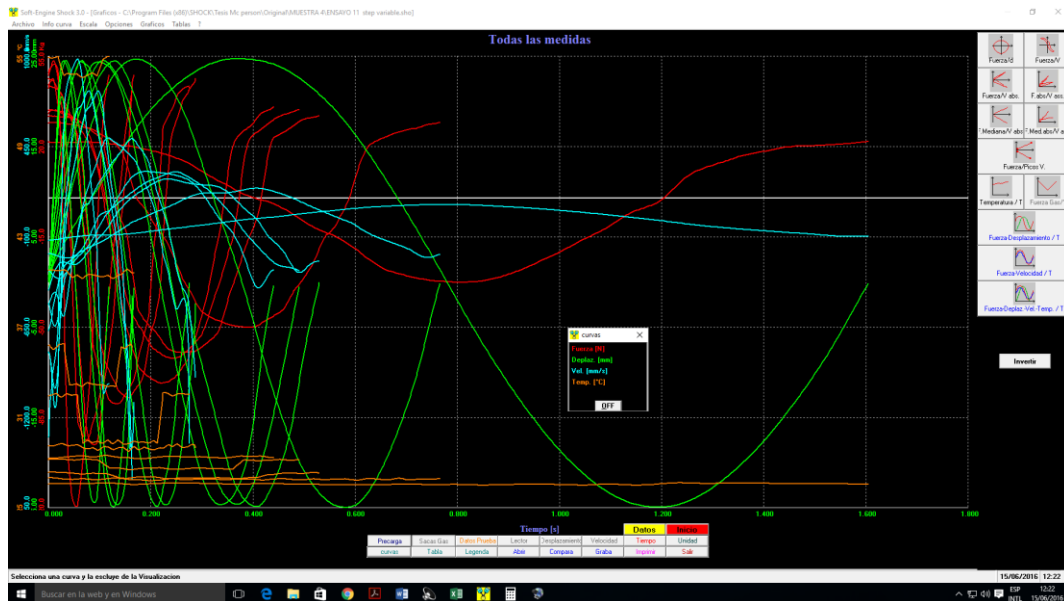
#### 4.5.11. Ensayo 11. Prueba a velocidad variable con step variable.



**Figura 90 Fuerza – desplazamiento, muestra 4; E11.**

Esta prueba se realizó con un step variable de 10 velocidades en orden ascendente, lo cual nos permite ver ciclos bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, y así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaría un amortiguador, y tomando en cuenta su calentamiento global en cada uno de sus ciclos.

Podemos apreciar que casi en todos los ciclos existe una cavitación en la carrera de extensión en el cuarto cuadrante, todo varía en función de la temperatura y velocidad.



**Figura 91** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4; E11.

En la figura 91 se muestra las curvas características de funcionamiento del amortiguador en función del tiempo, que permitirá un posterior análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, con lo que este estudio ayudará a seleccionar el amortiguador más idóneo para ese servicio o para el requerimiento por el cliente.

Datos prueba	
Prueba 1	Next
Run 1	Next
Excursión [mm]	50,46
Precarga [Kg]	10,99
Roce Despego [Kg]	0
Velocidad Nom. [mm/s]	100,0
Fuerza [Kg] Velocidad [mm/s]	
Pk.Compress.	22,38 -94,75
Pk.Estens.	-32,97 97,4
Temp. Mediana	26,6

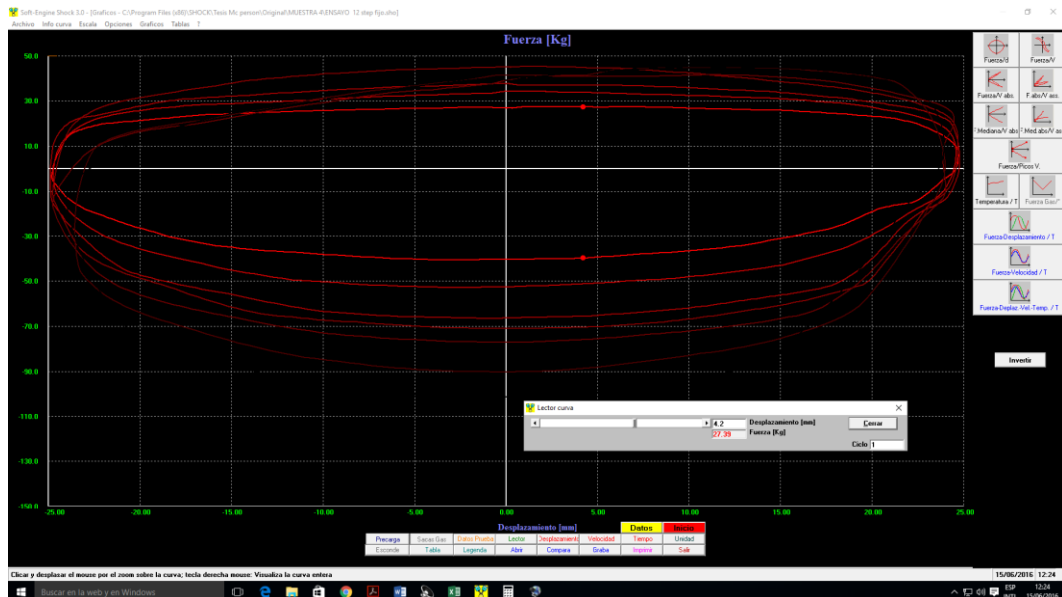
**Figura 92** Datos resultantes ensayo muestra 4; E11.

Los resultados de la figura 92 han sido tomados del ciclo 1, donde se observa los valores de las fuerzas de compresión y extensión, así también la temperatura mediana reales de funcionamiento en el desarrollo de la prueba.

Cabe mencionar que su la fuerza sube en función de la velocidad y temperatura que adquieren durante el experimento, en este caso los datos de entrada se encuentran en la tabla de parámetros generales de ensayo.

Se evidencia que existe una buena relación de amortiguamiento mediante la relación de fuerzas resultantes del ensayo.

#### 4.5.12. Ensayo 12. Prueba a velocidad variable con step variable.

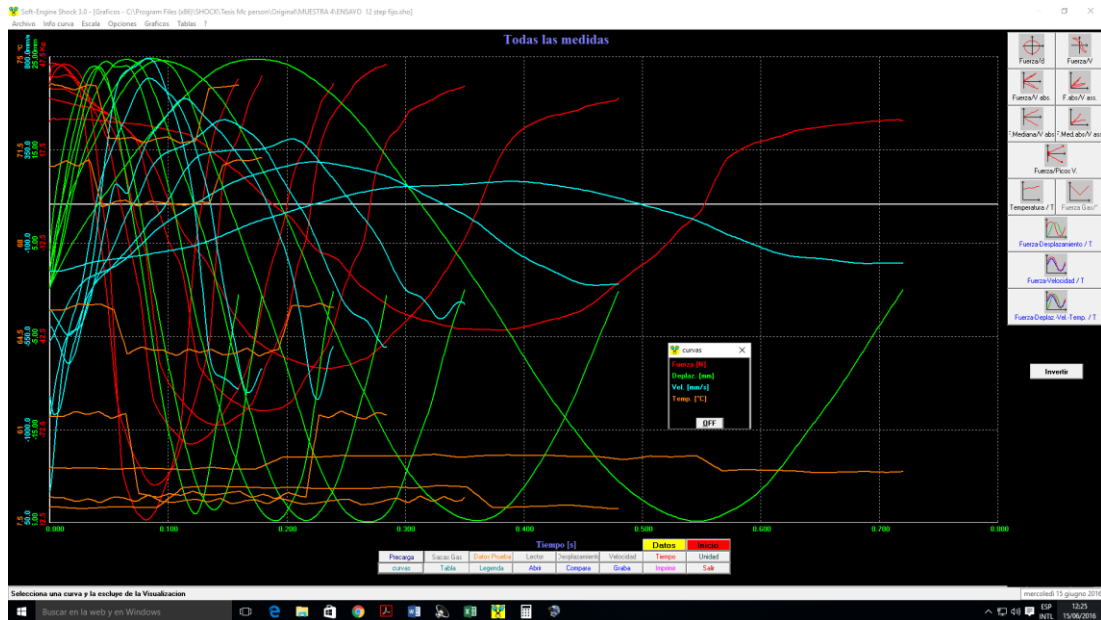


**Figura 93 Fuerza – desplazamiento, muestra 4; E12.**

Esta prueba se realizó con un step fijo una velocidad de 200mm/s hasta 800mm/s, para el cálculo de 7 ciclos diferentes dentro de este rango de velocidades, lo cual nos permite ver diferentes comportamientos, bajo diferentes frecuencias de funcionamiento, así poder determinar la velocidad más óptima en la que funcionaria un amortiguador, y tomando en cuenta su calentamiento global en cada uno de sus ciclos.



Las curvas presentan cavitaciones en el cierre de la válvula limitadora de extensión, pero no hay mayor problema porque es un amortiguador nuevo original.



**Figura 94** Fuerza, velocidad, desplazamiento y temperatura en función del tiempo, muestra 4; E12.

En la figura 94 se observa detalladamente las curvas características de funcionamiento del amortiguador en función del tiempo durante el ensayo con step fijo, donde son tomadas las curvas prioritarias para un posterior análisis de un prototipo de amortiguador o para valorar una muestra de lote mínimo, mediante el cual ayudara a seleccionar el amortiguador más idóneo para ese servicio o para el requerimiento por el cliente.

Datos prueba		
Prueba	1	Next
Run	1	Next
Excursión [mm]	50,3	
Precarga [Kg]	12,21	
Roce Despego [Kg]	0	
Velocidad Nom. [mm/s]	200,0	
	Fuerza [Kg]	Velocidad [mm/s]
Pk.Compress.	28,08	-197,89
Pk.Estens.	-41,11	198,38
Temp.Mediana	59,75	

**Figura 95 Datos resultantes ensayo muestra 4; E12.**

Los resultados de la figura 95 han sido tomados del ciclo 1, como también nos permite tomar de cualquier otro ciclo según el requerimiento de análisis de las curvas, como también su temperatura mediana de ensayo.

Cabe mencionar que sube la fuerza en función de la velocidad y temperatura que adquieren durante el experimento, en este caso los datos de entrada se encuentran en la tabla de parámetros generales de ensayo.

Este ensayo se realizó seguido de los dos primeros, por lo cual es notable la variación de resultados en las fuerzas y en la temperatura.

#### **4.6. Resultados y análisis de las comparaciones de los ensayos.**

Es posible realizar la siguiente comparación:

Los ensayos 1 - 4 - 7 - 10 (misma velocidad y misma temperatura mediana)

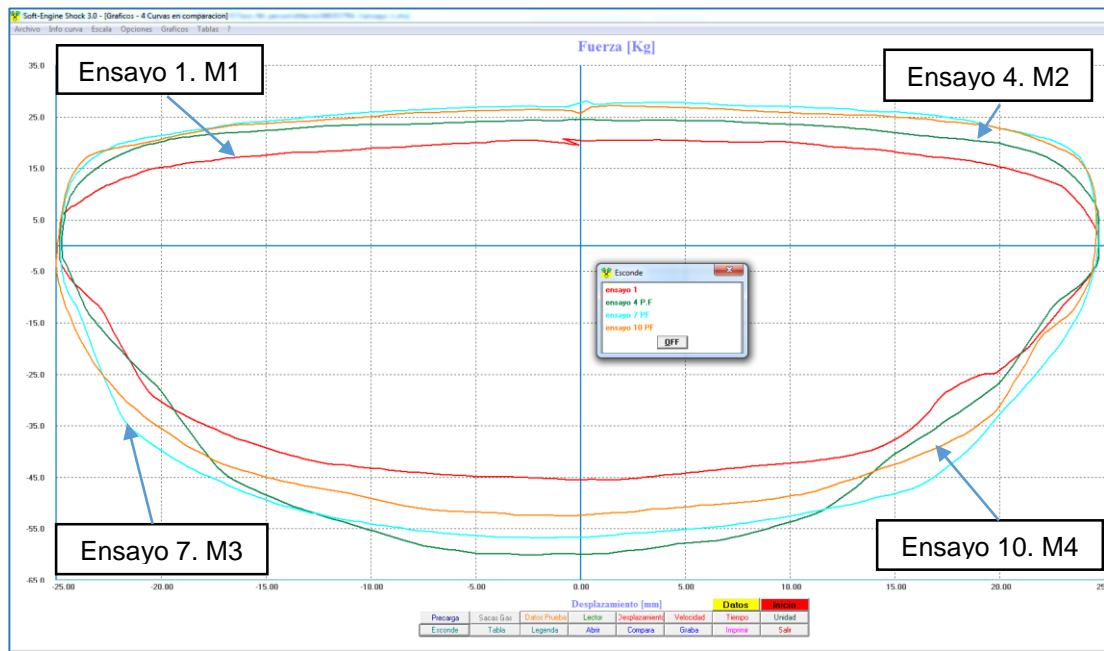
Los ensayos 2 - 5 - 8 - 11 (mismas velocidades y mismas temperaturas medianas)

El ensayo 3 - 9 (misma velocidad y misma temperatura mediana, a partir de 40°C acerca)

El ensayo 6 - 12 (misma velocidad y misma temperatura mediana, a partir de 55°C acerca)

#### 4.6.1. Análisis de los ensayos de la prueba a velocidad fija.

A continuación, se compara las 4 muestras de amortiguadores originales y alternos, para un solo ciclo de trabajo; siendo M1 y M2 los amortiguadores alternos, como así el M3 Y M4 los amortiguadores originales.



**Figura 96 Fuerza – desplazamiento, muestra 1, 2, 3 y 4**

La diferencia entre los valores obtenidos de un amortiguador nuevo original comparado con uno nuevo alternativo, lo podemos ver claramente en la figura 96, donde observamos por parte de los amortiguadores alternos la disminución en los valores a soportar la tracción a bajas velocidades como también existen cavitaciones más pronunciadas en la etapa de extensión.

Cuando se habla de cavitación, se dice que aparece básicamente en la cámara de tracción, pues podrían aparecer en dos instantes como se observa, una cavitación más pronunciada en los amortiguadores alternos, frente a los originales que se comportan más adecuadamente en esta prueba.

La primera

Es una cavitación mínima en la parte cercana a velocidad cero, porque a caudales bajos las válvulas no generan una caída de presión significativa como para impedir que la presión del fluido alcance la presión de gas.

La segunda

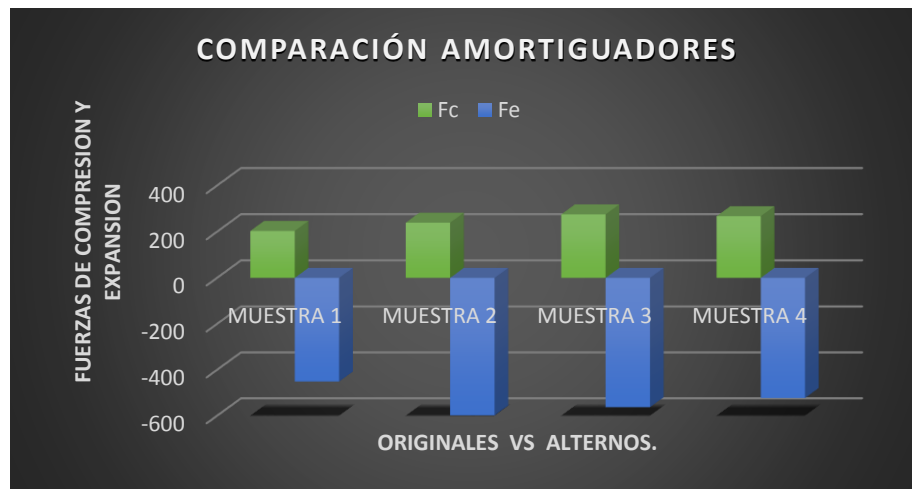
Esta sucede en altas velocidades, ya que los caudales son generosos y generan pérdidas de cargas elevadas, por lo que la válvula de la base no es suficientemente restrictiva como para aumentar la presión en la cámara de compresión, evitando así que la cámara de tracción alcance la presión de gas.

Existe también una caída de presión en la zona de compresión del amortiguador en la muestra 1 alterno, visible que se produce cuando el amortiguador se comprime rápidamente pero el flujo de aceite dentro de la cámara de presión es insuficiente para llenar el espacio que queda, entonces se crea un vacío y el aceite comienza a hervir.

**Tabla 12**

**Resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.**

Items		Pk (kg)		Velocidad (mm/s)		Fuerza (N)		T.Medi ana
# MUESTRA	# ENSAYO	Pk c	Pk e	V.c	V.e	Fc	Fe	T ° C
MUESTRA 1	1	20,76	-45,99	-194,23	195,07	203,448	-450,702	25,77
MUESTRA 2	4	24,42	-61,05	-204,53	194,17	239,316	-598,29	25,29
MUESTRA 3	7	28,08	-57,39	-197,14	203,59	275,184	-562,422	25,03
MUESTRA 4	10	27,27	-53,32	-200,39	195,58	267,246	-522,536	25,54



**Figura 97 Comparación amortiguadores, muestra 1, 2, 3 y 4**

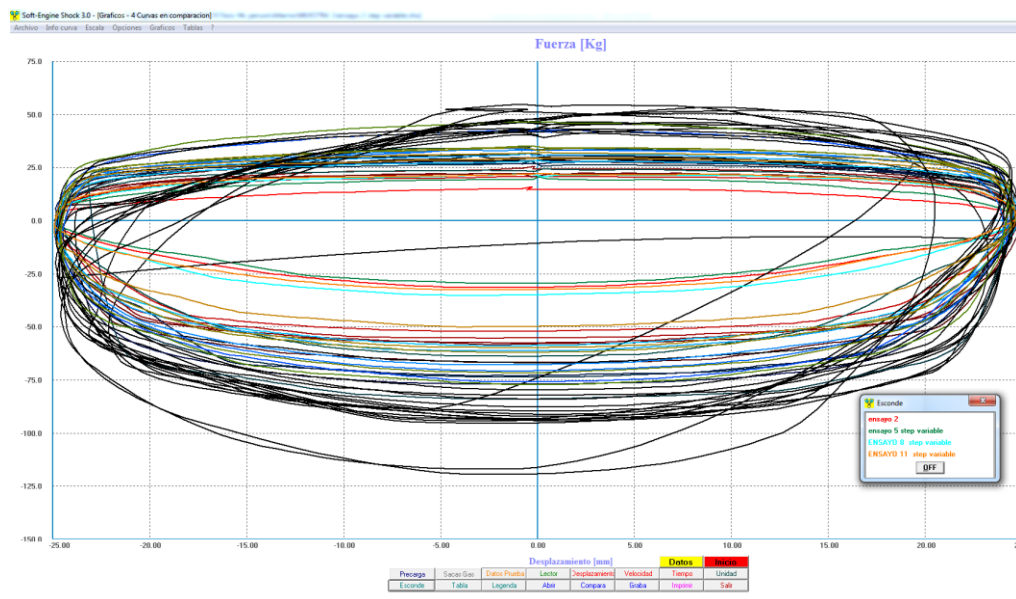
Mediante la tabla 12 y la gráfica 97 siguiente se puede observar y analizar la influencia de la fuerza de funcionamiento tanto de compresión como de expansión en las curvas características de los amortiguadores y la comparación de resultados obtenidos en los experimentos realizados a las 4 muestras.

En este caso no influye la temperatura ya que esta prueba es realizada a un ciclo y a una determinada velocidad nominal.

Como podemos ver en la tabla 12 las muestras originales tienen mayor fuerza de reacción y de funcionamiento en las etapas de compresión y en la de extensión el alterno tiene mayor fuerza, como también se comportan en un rango normal de temperatura.

Sin embargo, al saber que la fuerza es proporcional a la velocidad, se simplifica muchos modelos dinámicos que se pueden hacer sobre el vehículo para predecir su comportamiento, siendo ampliamente utilizada en la actualidad.

#### 4.6.2. Análisis de la prueba a velocidad variable con un step variable.



**Figura 98 Fuerza – desplazamiento, muestras 1, 2, 3 y 4**

Como podemos observar es una prueba en la cual hay muchos ciclos de las cuatro muestras con diferentes comportamientos y variaciones por la influencia de temperaturas y la variación de velocidades.

A mayor velocidad de ciclos existe un mayor caudal circulante a través de las válvulas del amortiguador, lo que produce una disipación energética elevada en forma de calor, lo cual resulta que todas las partes del amortiguador también se calentaran.

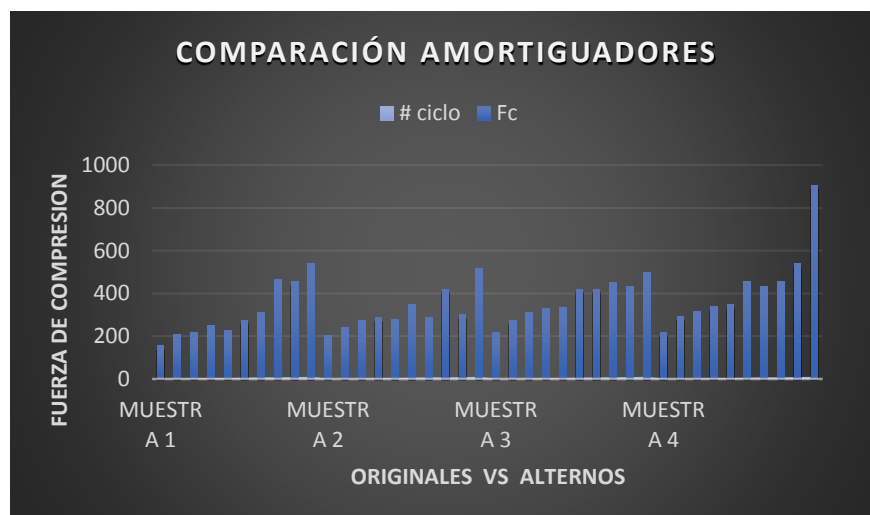
El amortiguador pierde sus características cuando el aceite empieza a calentarse y puede producir la cavitación en los diferentes ciclos donde se evidencia la diferencia de comportamiento de los originales comparado a los alternos, lo que podemos ver claramente en la figura 98.

Tabla 13

**Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.**

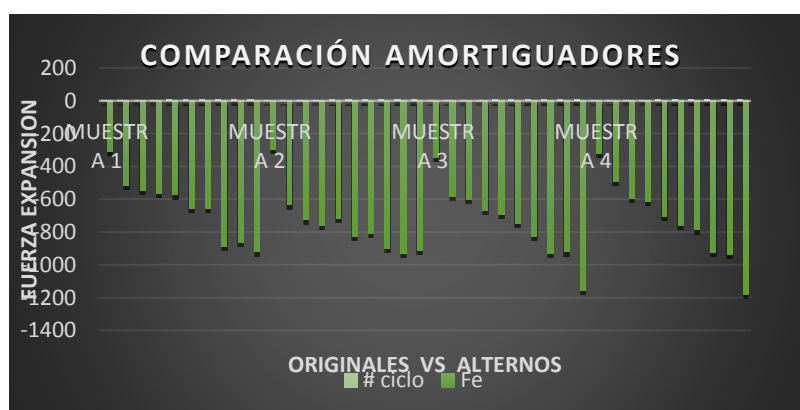
Items		Pk (kg)		Velocidad (mm/s)		Fuerza (N)		T. Media	
# MUESTRA	# E N	# ciclo	Pk c	Pk e	V.c	V.e	Fc	Fe	T ° C
MUESTRA 1	2	1	15,87	-31,75	-104,53	103,53	155,526	-311,15	26,17
		2	21,16	-52,5	-205,39	202,58	207,368	-514,5	26,25
		3	22,38	-55,76	-252,08	245,26	219,324	-546,448	26,31
		4	25,64	-57,79	-296,04	302,09	251,272	-566,342	26,81
		5	23,2	-58,61	-353,8	351,12	227,36	-574,378	27,13
		6	28,08	-67,16	-497,4	500,05	275,184	-658,168	27,49
		7	31,75	-67,16	-492,2	499,9	311,15	-658,168	27,94
		8	47,62	-90,35	-799,37	794,26	466,676	-885,43	30,28
		9	46,4	-88,32	-797,44	797,11	454,72	-865,536	34,1
		10	54,94	-94,02	-1001,46	1003,77	538,412	-921,396	45,24
MUESTRA 2	5	1	20,75	-30,12	-101,89	102,65	203,35	-295,176	26,36
		2	24,42	-64,71	-199,98	207,05	235611,6	-634,158	26,67
		3	28,08	-74,07	-250,2	249,41	275,184	-725,886	27,32
		4	29,3	-77,33	-295,99	298,65	287,14	-757,834	28,13
		5	28,49	-73,26	-349,97	354,17	279,202	-717,948	29,08
		6	35,41	-84,25	-495,46	503,89	347,018	-825,65	30,78
		7	29,3	-82,62	-500,65	494,24	287,14	-809,676	33,46
		8	42,74	-91,97	-794,83	783,62	418,852	-901,306	33,91
		9	30,53	-94,83	-810,72	792,67	299,194	-929,334	46,06
		10	52,5	-92,8	-1002,52	1010,1	514,5	-909,44	56,45
MUESTRA 3	8	1	21,98	-35,41	-95,54	94,6	215,404	-347,018	26,64
		2	28,08	-59,42	-194,6	200,31	275,184	-582,316	26,66
		3	31,75	-61,06	-253,53	247,82	311,15	-598,388	26,69
		4	33,78	-68,38	-295,35	303,41	331,044	-670,124	27,13
		5	34,19	-70,82	-299,44	299,24	335,062	-694,036	27,17
		6	42,74	-76,11	-503,05	493,9	418,852	-745,878	27,91
		7	42,74	-84,25	-502,34	494,71	418,852	-825,65	30,28
		8	45,99	-94,83	-797,18	794,66	450,702	-929,334	33,94
		9	43,96	-94,02	-797,19	794,2	430,808	-921,396	39,69
		10	50,88	-118,03	-1005,48	1003,2	498,624	-1156,694	48,5
MUESTRA 4	11	1	22,38	-32,97	-94,75	97,4	219,324	-323,106	26,6
		2	29,71	-50,06	-201,17	196,4	291,158	-490,588	26,91
		3	32,15	-60,64	-249,69	253,94	315,07	-594,272	27,14
		4	34,6	-62,68	-304,66	297,41	339,08	-614,264	27,89
		5	35,41	-72,04	-298,29	298,65	347,018	-705,992	28,39

6	46,4	-77,33	-504,97	500,88	454,72	-757,834	29,05
7	43,96	-80,18	-906,28	505	430,808	-785,764	30,74
8	46,8	-94,42	-800,77	799,21	458,64	-925,316	34,17
9	54,94	-95,65	-799,93	800,07	538,412	-937,37	40,53
10	92,5	-120,47	-994,69	996,2	906,5	-1180,606	54,15



**Figura 99** Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 1, 2, 3 y 4

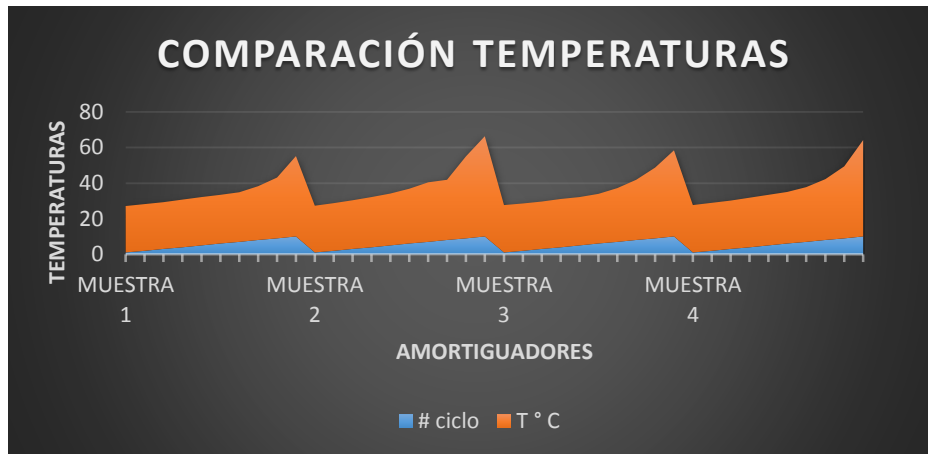
En la figura 99 se observa que el amortiguador original (muestra 4), tiene mayor fuerza de compresión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que al resto de muestras (muestras 1, 2 y 3), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 100** Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 1, 2, 3 y 4.



En la figura 100 se puede observar que el amortiguador original (muestra 4), tiene mayor fuerza de extensión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que al resto de muestras (muestras 1, 2 y 3), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 101 Gráfica comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 1, 2,3 y 4**

En la figura 101 se observa la variación de la temperatura en el funcionamiento del amortiguador sometido a diferentes ciclos.

Mediante la tabla 13 siguiente se podrá analizar la influencia de la temperatura de funcionamiento en las curvas características de los amortiguadores y la comparación de resultados de fuerzas, velocidades y temperaturas medianas obtenidas en los experimentos realizados a las 4 muestras en este tipo de prueba.

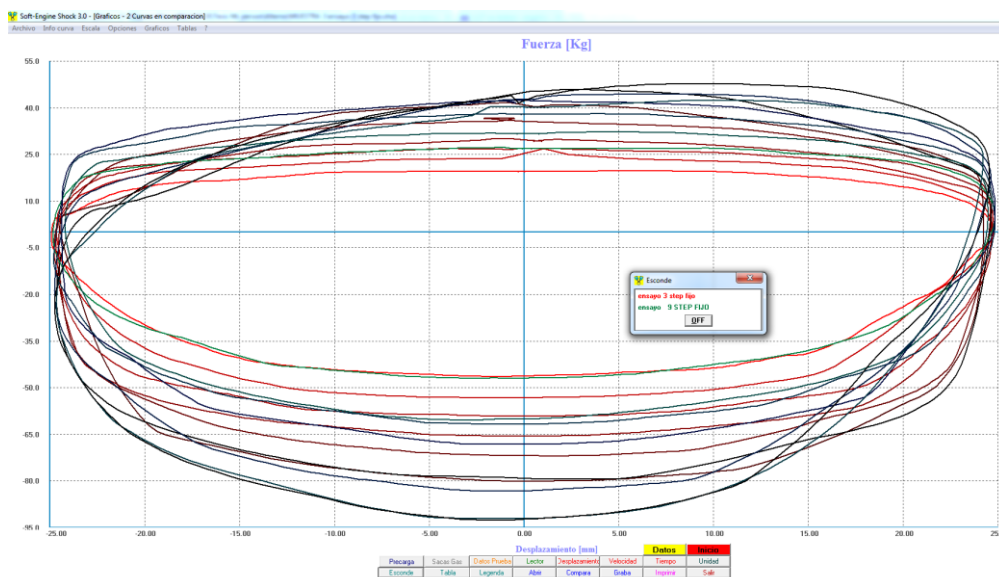
En este caso los amortiguadores originales frente a los alternos tienen mayor fuerza en compresión y extensión, cabe mencionar que los alternos no están muy debajo de los parámetros de los originales.

Como también existe una normal relación de fuerzas tanto de compresión como de extensión, lo cual me puede acercarme a decir que existe una buena relación de amortiguación en estos amortiguadores, ya que la fuerza está en función de la velocidad y el desplazamiento.

En los dos casos se puede ver la relación equivalente a utilizarse para vehículos comerciales, mas no para carrera ya que estos están sometidos a mayores demandas de funcionamiento como también de amortiguación.

#### 4.6.3. Análisis de la prueba a velocidad variable con un step fijo.

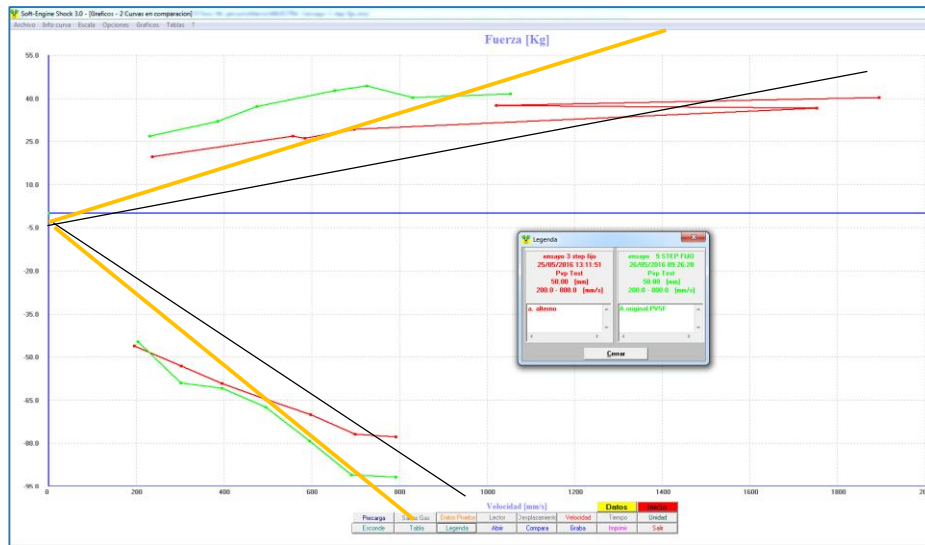
Esta prueba de comparación se la realiza debido a que la muestra 1 y 3 tienen las mismas velocidades y temperaturas, según recomendación del fabricante.



**Figura 102 Fuerza – desplazamiento, muestra 1 y 3.**

En la figura 102 se observa que la mayoría de curvas se comportan de manera normal, pero se evidencia que existen cavitaciones producidas por falta de la temperatura ideal en las diferentes etapas de funcionamiento del amortiguador.

Se notó que la muestra original se comporta de mejor manera que la muestra alterna, lo que quiere decir que el amortiguador original se caracteriza por tener mejor comportamiento a pesar de la influencia de temperaturas y la capacidad de estar sometido a ciclos de fatiga.



**Figura 103 Fuerza – velocidad, muestra 1 y 3.**

En la figura 103 se observa el comportamiento del amortiguador, donde la caracterización depende del coeficiente de amortiguación y de su relación, con esto permite estudiar nuevos prototipos de amortiguadores ya sean para las diferentes gamas que existen.

En la figura 103 podemos ver que el amortiguador original que es la curva de color verde tiene un mejor comportamiento lineal vs el alterno que es la curva de color roja, la cual tiene un comportamiento lineal disperso.

Se concluyó que el original es mejor en características técnicas como de fabricación para su uso en diferentes ámbitos, pero también decir que con este grafico podemos aproximar a una amortiguación lineal especifica requerida por el cliente según el prototipo a investigar.

Se ha trazado dos líneas, lo cual consiste en aproximar estas curvas a una línea que pase por el origen, cuya pendiente represente el coeficiente buscado.

Tabla 14

Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados.

Items		Pk (kg)		Velocidad (mm/s)		Fuerza (N)		T. Mediana	
# MUESTRA	# # ciclo	Pk c	Pk e	V.c	V.e	Fc	Fe	T ° C	
MUESTRA 1	3	1	19,34	-46,81	-198,27	196,18	189,532	-458,738	41,63
		2	26,86	-53,76	-297,61	304,28	263,228	-526,848	41,32
		3	26,86	-60,24	-394,37	396,68	263,228	-590,352	41,31
		4	30,93	-65,93	-501,47	498,2	303,114	-646,114	42,06
		5	36,63	-72,45	-594,81	603,8	358,974	-710,01	43,36
		6	41,51	-80,59	-703,28	705,8	406,798	-789,782	45,65
		7	47,21	-80,59	-803,55	804,61	462,658	-789,782	59,02
MUESTRA 3	9	1	27,68	-47,21	-202,61	204,39	271,264	-462,658	46,15
		2	32,97	-61,05	-298,43	303	323,106	-598,29	45,79
		3	38,67	-62,27	-404,06	397,92	378,966	-610,246	44,98
		4	42,74	-68,38	-497,41	498,76	418,852	-670,124	44,45
		5	44,77	-83,84	-597,38	600,34	438,746	-821,632	45,39
		6	42,74	-92,8	-696,97	697,29	418,852	-909,44	49,13
		7	48,43	-93,61	-801,44	802,6	474,614	-917,378	56,47

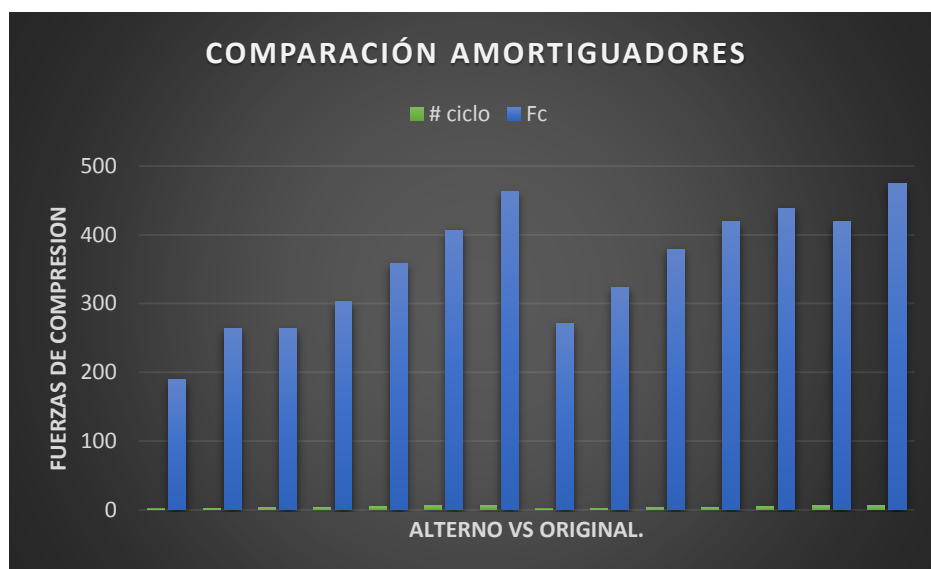
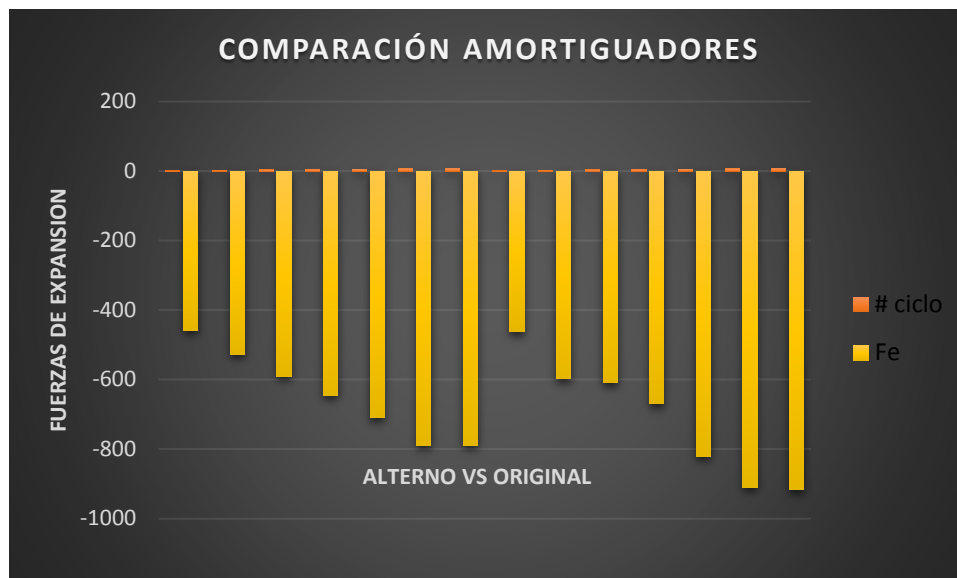


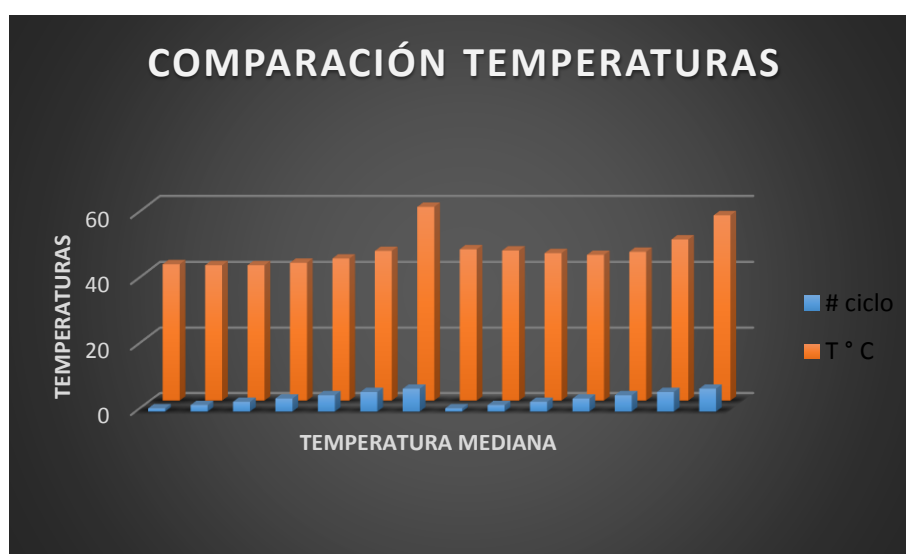
Figura 104 Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 1 y 3.

En la figura 104 se observa que el amortiguador original (muestra 3), tiene mayor fuerza de compresión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que el alterno (muestras 1), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 105 Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 1 y 3.**

En la figura 105 se observa que el amortiguador original (muestra 3), tiene mayor fuerza de extensión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que el alterno (muestras 1), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 106 Comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 1 y 3.**

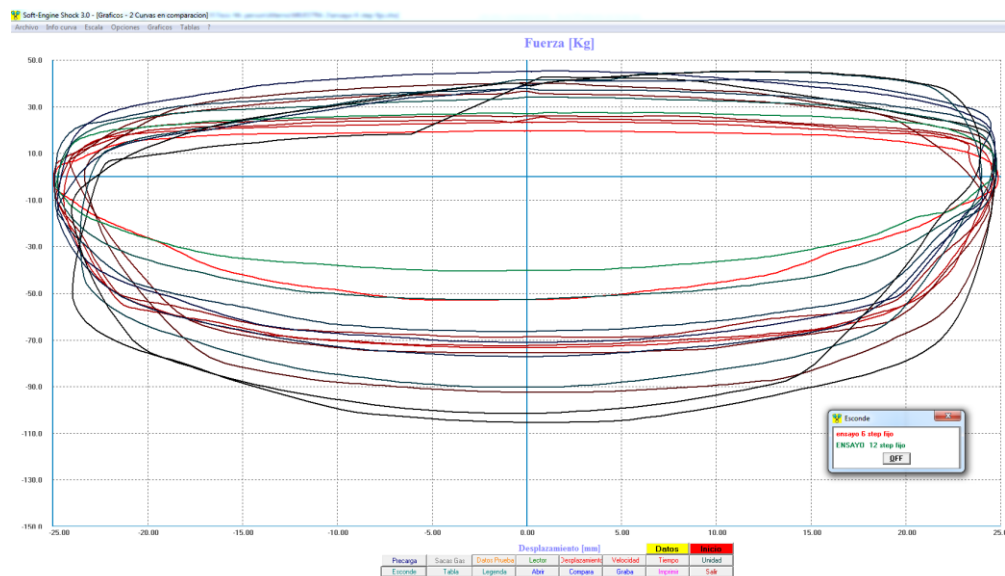
En la figura 106 se observa la variación de la temperatura en el funcionamiento del amortiguador sometido a diferentes ciclos.

En la tabla 14 podemos ver los resultados obtenidos de los experimentos comparándose un par de muestras original y alterno, en el cual diferenciamos y comparamos todos los parámetros críticos del funcionamiento del amortiguador en sus dos etapas.

Se concluye que el amortiguador alterno (muestra 1), se comporta mejor durante su funcionamiento, frente al original (muestra 3), en lo respecto a temperatura mediana de prueba.

#### 4.6.4. Análisis de la prueba a velocidad variable con un step fijo.

Esta prueba de comparación se la realiza debido a que la muestra 2 y 4 tienen las mismas velocidades y temperaturas, según recomendación del fabricante.

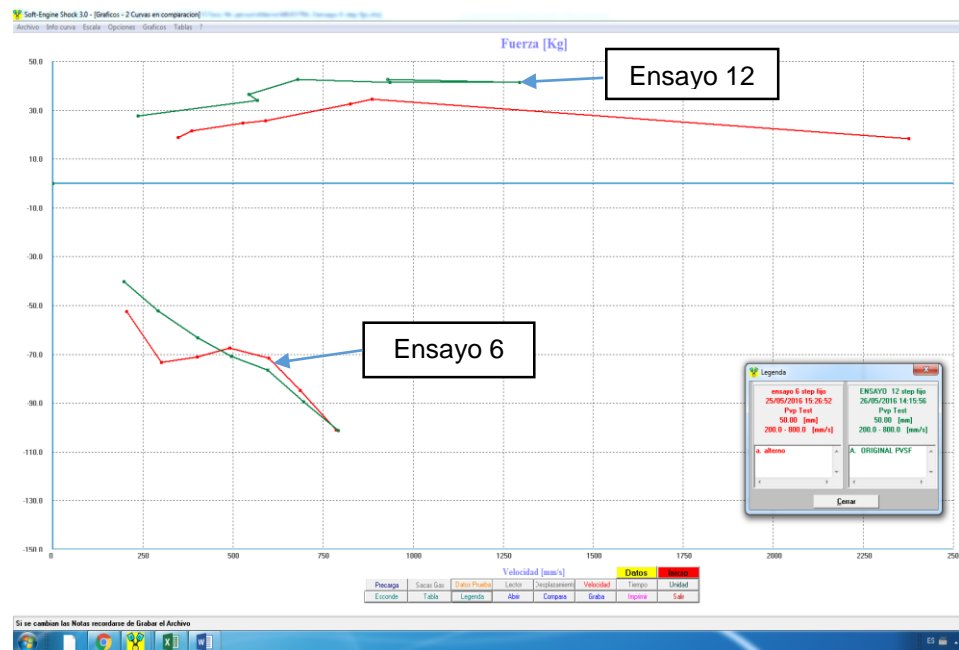


**Figura 107 Fuerza – desplazamiento, muestra 2 y 4.**

En la figura 107 se observa que la mayoría de curvas se comportan de manera normal, a más que existen cavitaciones producidas por falta de la

temperatura ideal en las diferentes etapas de funcionamiento del amortiguador.

Se evidencia que la muestra original se comporta de mejor manera que la muestra alterna, lo que quiere decir que el amortiguador original se caracteriza por tener mejor comportamiento a pesar de la influencia de temperaturas y la capacidad de estar sometido a ciclos de fatiga.



**Figura 108 Fuerza – velocidad, muestra 2 y 4.**

En la figura 108 se observa que el comportamiento del amortiguador depende también del coeficiente de amortiguación y de su relación, con esto nos permite estudiar nuevos prototipos de amortiguadores ya sean para las diferentes gamas que existen.

En la figura 108 podemos ver el amortiguador original que es la curva de color verde tiene un mejor comportamiento lineal vs el alterno que es la curva de color roja, la cual tiene un comportamiento lineal disperso.

Con esto se evidencia que el original es mejor en características técnicas como de fabricación para su uso en diferentes aplicaciones, pero también se identifica que se puede aproximar a una amortiguación lineal específica requerida por el cliente según el prototipo a investigar.

Se ha trazado dos líneas, lo cual consiste en aproximar estas curvas a una línea que pase por el origen, cuya pendiente represente el coeficiente buscado.

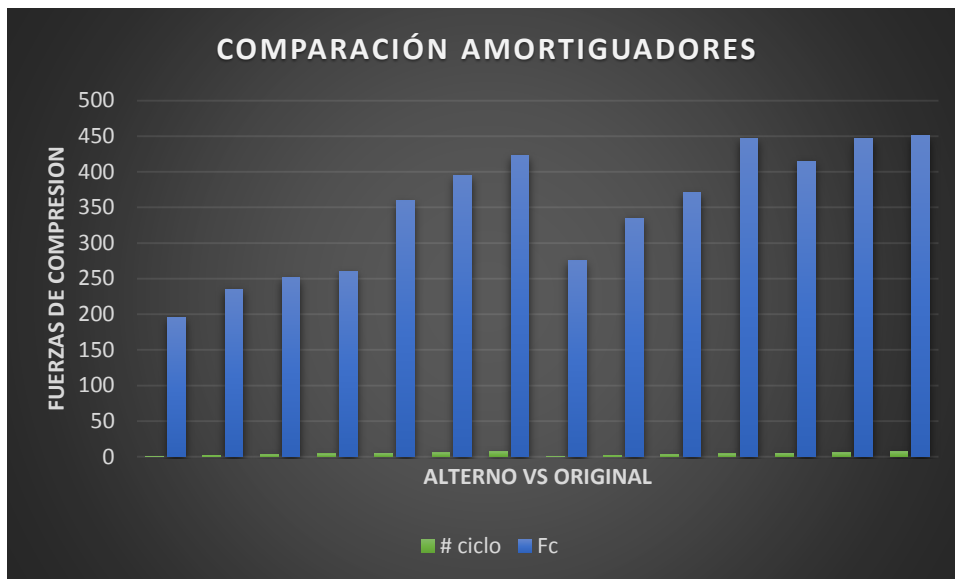
Sin embargo, al saber que la fuerza es proporcional a la velocidad, se simplifica muchos modelos dinámicos, si en este caso se quisiera encontrar un coeficiente mejor que la de las muestras experimentadas, cabe mencionar que en este caso estamos realizando la comparación de las muestras y su ponderación real de funcionamiento en el mercado, así como también cual es el de mejor en características técnicas para los vehículos comerciales con más demanda en la actualidad.

**Tabla 15**

**Cálculos de los resultados de las comparaciones de los experimentos realizados**

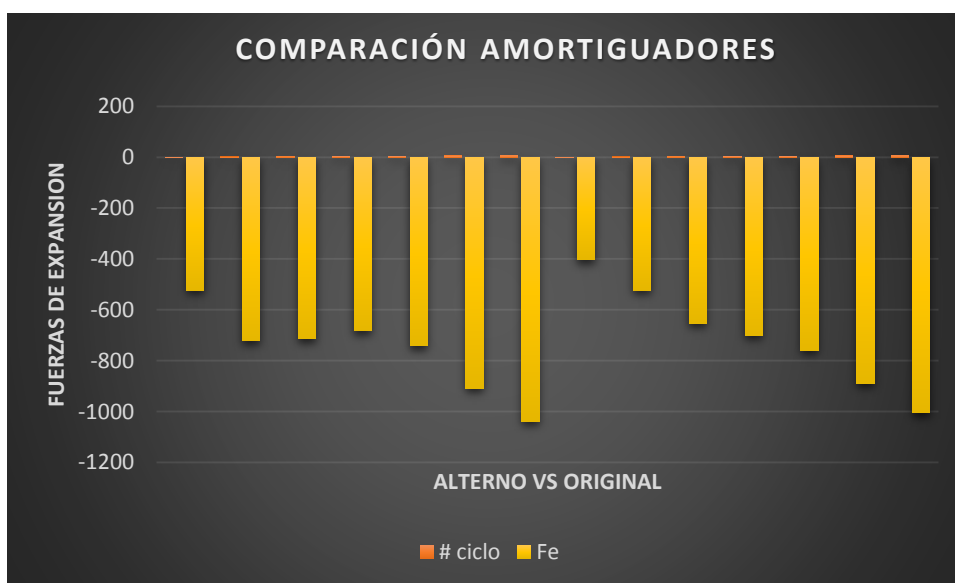
Items		Pk (kg)		Velocidad (mm/s)		Fuerza (N)		T.Mediana	
#	#	#	Pk c	Pk e	V.c	V.e	Fc	Fe	T ° C
MUESTRA	EN	ciclo							
MUESTRA 2	6	1	19,94	-53,32	-200,1	204,87	195,412	-522,536	57,2
		2	24,01	-73,67	-295,78	302,95	235,298	-721,966	57,05
		3	25,64	-72,85	-407,17	402,92	251,272	-713,93	57,59
		4	26,45	-69,6	-496,81	495,96	259,21	-682,08	58,61
		5	36,63	-75,7	-600,39	607,74	358,974	-741,86	60,38
		6	40,29	-92,8	-695,16	698,1	394,842	-909,44	63,19
		7	43,14	-105,82	-796,8	795,72	422,772	-1037,036	67,21
MUESTRA 4	12	1	28,08	-41,11	-197,89	198,38	275,184	-402,878	59,75
		2	34,19	-53,32	-297,5	293,62	335,062	-522,536	45,79
		3	37,85	-66,75	-395,87	405,24	370,93	-654,15	58,35
		4	45,58	-71,63	-500,3	497,89	446,684	-701,974	59,96
		5	42,33	-77,33	-597,37	602,68	414,834	-757,834	64,65
		6	45,58	-90,76	-703,41	702,42	446,684	-889,448	70,17
		7	45,99	-102,56	-805,29	800,33	450,702	-1005,088	72,83





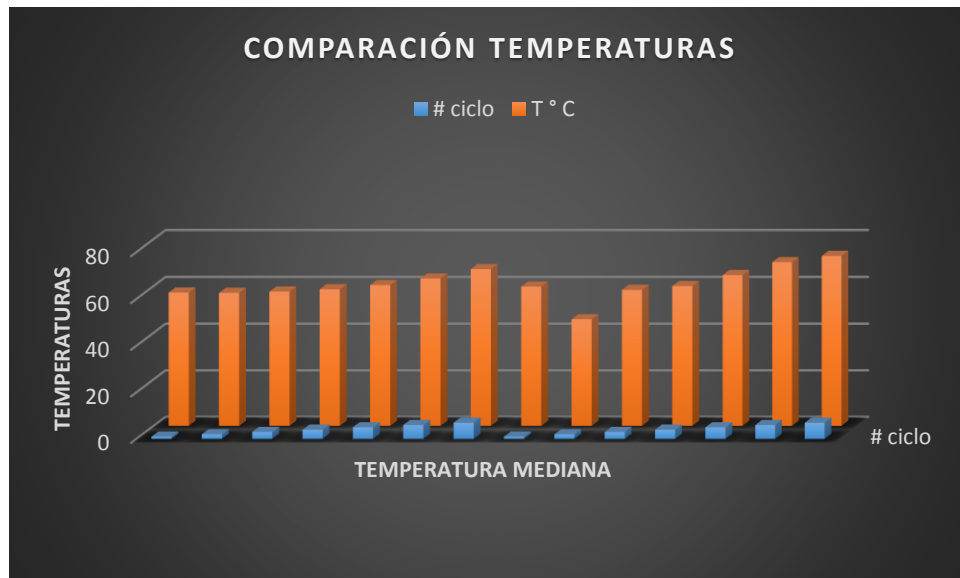
**Figura 109 Comparación amortiguadores, en compresión, muestra 2 y 4.**

En la figura 109 sé que el amortiguador original (muestra 4), tiene mayor fuerza de compresión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que el alterno (muestras 2), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 110 Comparación amortiguadores, en expansión, muestra 2 y 4.**

En la figura 110 se observa que el amortiguador original (muestra 4), tiene mayor fuerza de extensión en la secuencia de ciclos durante su funcionamiento, que el alterno (muestras 2), debido a que tiene mejor comportamiento cuando es sometido a varios ciclos de fatiga.



**Figura 111 Comparación amortiguadores, temperaturas, muestra 2 y 4.**

En la figura 111 se observa la variación de la temperatura en el funcionamiento del amortiguador sometido a diferentes ciclos.

En la tabla 15 podemos ver los resultados obtenidos de los ensayos comparándose un par de muestra uno original y otro alterno, en el cual diferenciamos y comparamos todos los parámetros críticos del funcionamiento del amortiguador en sus dos etapas.

Se concluye que tanto en fuerza y desempeño a diferentes frecuencias el original es mejor que el alterno, para la utilización del mismo en el modelo que se seleccionó para el estudio.

## CAPÍTULO V

### 5. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1. Recursos generales

##### 5.1.1. Factor humano.

En lo que se refiere a este factor es uno de los más primordiales porque permitirá llevar a realizar este trabajo de investigación, en la cual existen personas especialistas que asesoraran con su talento y conocimientos en las diferentes etapas de desarrollo.

Angel Balseca	Investigación y elaboración del proyecto
Ing. Danilo Zambrano	Tutoría y asesoría general.
Ing. Maurizio Naldini	Technical Office Tutoría directa de Soft-Engine, bancos de pruebas y Software.
Ing. Esteban López	Asesoría específica en sistemas de suspensión y caracterización de amortiguadores.
Ing. Jorge Sánchez	Financista del proyecto.
CFPMC	Laboratorio facilitador para el desarrollo del proyecto de investigación.

##### 5.1.2. Factores tecnológicos.

Son importante las herramientas computarizadas ya que nos facilita la realización en todas las etapas de este trabajo de investigación siendo estos, ordenador y software para el desarrollo del experimento y para la inserción de datos resultantes del ensayo.

Los avances tecnológicos nos permiten ahorrar el tiempo de realización del trabajo, cumpliendo con los objetivos propuestos y obtener resultados confiables.

Las herramientas tecnológicas usadas se enuncian a continuación:

Solid Works	<i>Modelado 3D/Simulación.</i>
Ansys Mechanical 16.0	<i>Modelado 3D/Simulación.</i>
Software Dyno-Shock 3.0	Software de adquisición gráfica y datos.

### **Factor material.**

En el presente trabajo el factor material es todo el equipamiento físico utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación.

Se describe el material utilizado priorizando la intervención de los siguientes

- Herramientas manuales (llaves, alliens etc.)
- Banco de pruebas Soft Engine (Experimentos en amortiguadores)
- Llave hardware (USB tipo A)
- Equipos de oficina (computadora)
- Kit de amortiguadores (4)
- Material para utillaje (soportes inferior y superior)
- Soldadora tic (uniones soldadas)

## 5.2. Gastos del proyecto.

**Tabla 16**

### Detalle de egresos del proyecto.

<i>Experimento amortiguadores.</i>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<i>Banco de pruebas Soft Engine (ordenador, software, accesorios).CFPMC</i>	1	21000	21000
<i>Amortiguadores</i>	4	80	320
<i>Cámara termográfica CFPMC</i>	1	12000	12000
<i>Utillaje (soportes superior e inferior)</i>	2	54	108
	Subtotal		33428
<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>	<b># pruebas</b>	<b>Costos unitario</b>	<b>Costo total</b>
<i>Ensayo muestras amortiguadores en el banco</i>	12	80	960
<i>Ensayo muestras cámara termográfica</i>	4	40	160
	Subtotal		1120
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<i>Tinta para impresora (pack de 4 colores)</i>	1	35,00	35,00
<i>Hojas (resma)</i>	4	3,75	15,00
<i>Elementos de oficina</i>	1	17,30	17,30
<i>Alimentación (durante las pruebas)</i>	1	57,00	57,00
<i>Comunicación</i>	1	30,00	30,00
	Subtotal		221,30

**Tabla 17**

### Conteo general de gastos.

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
<i>Experimento amortiguadores</i>	33.428
<i>Pruebas realizadas</i>	1.120
<i>Gastos Administrativos</i>	221,30
<b>TOTAL DE GASTOS</b>	<b>34.769.30</b>

**5.3. Cronograma.**

Ítems	Actividades	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE									
		SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS									
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
1	DISEÑO Y LEVANTAMIENTO DE LA LINEA BASE PARA LA INVESTIGACION DEL PROYECTO	■	■	■	■																										
2	REVISIÓN DE LA LITERATURA					■	■																								
3	ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BANCO DE ENSAYO DE AMORTIGUADORES							■	■																						
4	CAPACITACIÓN EN EL USO DEL EQUIPO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO INICIAL CON PRUEBA PILOTO.									■	■																				
5	IDENTIFICAR CARACTERÍSTICAS DE UTILLAJE PARA EL MONTAJE DE LOS AMORTIGUADORES EN EL BANCO.											■	■																		
6	DISEÑO DE HIPÓTESIS, VARIABLES E													■																	
7	ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS														■	■															
8	APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS																■	■													
9	ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN DE DATOS																	■	■												
10	ELABORACIÓN DE RESULTADOS																		■	■											
11	ELABORACIÓN DE ANEXOS, GRAFICAS, OTROS.																			■	■										
12	REVISIÓN Y CORRECCIONES PARA EL ORIGINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION, ASÍ COMO SU APROBACIÓN PARA LA DEFENSA.																								■	■					
13	ELABORACIÓN DEL REPORTE FINAL.																									■	■				

## **5.4. Propuesta del trabajo investigativo**

### **Estrategias financieras**

- Realizar un diagnóstico para tener una estimación del alcance de este ensayo y su acogida que tendrá este servicio en el mercado automovilístico ecuatoriano y a los fabricantes de amortiguadores a nivel nacional, con miras a poder certificar el producto y validarlo con una norma que se proponga para el control de los mismos, así también mejorando la calidad de este producto.

### **Estrategias de mercado**

- Analizar la producción de los amortiguadores fabricados a nivel nacional, y su aplicación a los diferentes modelos de vehículos y su participación como componente principal en sistemas de suspensión MacPherson.
- La aplicación de este componente ya sea tanto en originales y alternos, el cual nos permitirá investigar y generar nuestro propio producto para el consumo interno del mercado ecuatoriano, a más que apoyará a la nueva matriz productiva con un valor agregado que apuntala al uso de recursos y mano de obra ecuatoriana.

### **Políticos:**

Restricción a las importaciones: todas las leyes arancelarias implantadas a los productos importados en nuestro país, restringen el surgimiento de empresas con propuestas innovadoras debido a que se necesita la aplicación de tecnologías y equipos que no podemos encontrar en nuestro país.

### **Económicos:**

Impuestos: El gobierno ha creado medidas arancelarias que afectan al sector productivo e importador del Ecuador, la escasa producción de

productos restringe a todo empresario a abastecerse de elementos de elaboración extranjera y en el caso de este trabajo, es necesario la utilización de equipos que ya existen, pero la legislación no favorece al sector.

Desarrollo económico: la iniciativa del gobierno en apoyar a diferentes sectores en el país se diverge con las limitaciones que existen al momento de producir y en el caso del proyecto, el impuesto que se aplicaría es del 45 % al ser considerado componente como repuesto vehicular para los sistemas de suspensión.

### **Social:**

El precio del servicio dependería del estrato social al que se quiere llegar con el producto tomando en cuenta las características y beneficios que el proyecto aplica al sector automotriz.

### **Tecnológicos:**

TICS: Mediante las nuevas herramientas tecnológicas resulta menos complicado importar directamente este componente descartando la posibilidad de ir hasta el lugar de fabricación

### **Compradores**

Los directos beneficiarios de este servicio en el mercado son los fabricantes de amortiguadores, ventas y repuestos y diseñadores de este componente.

### **Nuevas empresas**

Al momento no existe laboratorios o empresas que certifiquen este producto, antes de su venta y producción en serie, ya que este equipo existe en otros lugares, a más que la normativa legal vigente no exige que se realice estas buenas prácticas.



### FODA (Industria Automotriz - Venta de repuestos/accesorios)

#### **Fortalezas**

- Pioneros en el mercado nacional al ser un servicio nuevo ofertado en la industria automotriz del país Sistema probado y garantía de resultados

#### **Debilidades**

- Desconocimiento de laboratorios existentes en el país equipados con este equipo.
- Falta de normativa a cumplir a la producción nacional.

#### **Oportunidades**

- Nuevas necesidades de generar nuevos modelos y prototipos para nuevas aplicaciones.
- Crecimiento del parque automotor, específicamente en la producción de este producto.

#### **Amenazas**

- Importaciones limitadas por los altos aranceles.
- Falta de conocimiento de la existencia de este laboratorio.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1. Conclusiones.

- Mediante la investigación se realizó un análisis comparativo del comportamiento dinámico en muestras de amortiguadores de diferentes marcas utilizados en sistemas de suspensión MacPherson, con lo cual se validará prototipos o patrones de producción masiva nacional.
- Se experimentó mediante un banco de pruebas de amortiguadores, así también se programó el software Dyno Shock 3.0 para realizar estos ensayos y se obtuvo parámetros característicos resultantes como; curvas fuerza/desplazamiento, fuerza/velocidad, fuerza/velocidad absoluta, fuerza media /velocidad absoluta, fuerza /picos de velocidad, temperatura/tiempo y todas las magnitudes graficadas en el tiempo a diferentes velocidades o frecuencias) de las muestras seleccionadas. Se diseñó un procedimiento adecuado para la realización del ensayo de amortiguadores, el mismo que tiene parámetros importantes según lineamientos a la Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006
- Se seleccionó dos tipos de amortiguadores utilizados en suspensión MacPherson, que tienen mucha demanda en el mercado nacional, existiendo también fabricación nacional del mismo, en este caso fueron un par de amortiguadores originales marca Record y un par de amortiguadores alternos marca Mando, los dos con las mismas características físicas y técnicas de funcionamiento.
- Es importante destacar que para el desarrollo experimental se realizó el diseño y construcción de los soportes tanto superior como inferior, a los cuales fueron adaptados los amortiguadores con el banco de pruebas, existiendo vibraciones tolerables en los resultados de los ensayos.

- Referente a la cavitación, esta aparece en la cámara de tracción ya que aquí alcanza valores bajos de presión, pero básicamente existen dos instantes en los que puede aparecer:
  - la primera condición es en la zona cercana a la velocidad cero, ya que a caudales bajos las válvulas no generan una caída de presión significativa como para impedir que la presión del fluido alcance la presión de vapor.
  - la segunda condición es a altas velocidades, cuando los caudales son generosos y generan pérdidas de carga elevadas, la válvula de la base no es lo suficientemente restrictiva como para aumentar suficientemente la presión en la cámara de compresión evitando así que la cámara de tracción alcance la presión de vapor.
- Por lo tanto, las válvulas de tracción no son iguales que las de compresión, lo cual se puede observar perfectamente por el diferente comportamiento en tracción y compresión, así como el crecimiento de los esfuerzos cuando se incrementa la velocidad.
- En el presente estudio, el ensayo se realizó con una carrera de 50 mm para las cuatro muestras, así también se realizó variaciones en las velocidades dependiendo de la prueba que se ensayó, lo cual nos arrojó valores diferentes de cada muestra tanto en fuerzas de compresión, fuerza extensión y de temperatura mediana.
- En el caso de las vibraciones se identificó que son generadas por agentes externos, como las producidas en el acople de las mordazas del banco con los soportes adaptados para estos, debido a que no son mordazas originales para amortiguadores MacPherson.
- En la comparación de muestras se puede observar que las curvas tienen sus similitudes, pero el amortiguador original presenta mejor desempeño que el alterno, no solo por la forma elíptica más idónea, como también en la capacidad de fuerzas en sus dos etapas.

- Podemos concluir que los amortiguadores originales tienen mejores características de operación que los amortiguadores alternos según las gráficas y los datos obtenidos de los experimentos, el envejecimiento de estas curvas y su degradación puede causar una variación en el comportamiento dinámico del vehículo. Por lo que un amortiguador en mal estado puede reducir el contacto neumático-calzada. De igual forma, la estabilidad lateral puede verse comprometida debido a movimientos de balanceo incontrolados y por último afectaría el confort de los ocupantes debido al exceso de vibraciones.

## **6.2. Recomendaciones.**

Al finalizar este trabajo de investigación, se describe las siguientes recomendaciones, con sus respectivas propuestas para mejorar y realizar trabajos futuros para el sector automotriz.

- Para la obtención de resultados confiables es necesario contar con certificados de calibración del equipo, así como del software, lo cual permitirá emitir certificaciones o informes confiables a quien requiera este servicio.
- Se aconseja a los investigadores contar con patrones de referencia para realizar validaciones ya sea de producción o de prototipos para el sector automotriz, y estos sean trazables a normas nacionales e internacionales según el estudio deseado.
- Es posible proponer una propuesta de control mediante este estudio para los fabricantes de amortiguadores y para el producto importado al país, con lo que estaríamos contribuyendo con el valor agregado y la valoración del producto nacional producido.
- Se deberá proponer futuros estudios que permitan facilitar mejores desarrollos de amortiguadores conjuntamente con este equipo que

brinden más confiabilidad seguridad y confort a los ocupantes de los vehículos, ya sean para competencia o comerciales, también se le podría incluir a investigar otros tipos de amortiguadores no solo hidráulicos sino también a gas.

- Se debería identificar diseños de soportes adaptables a este banco tanto superior como inferior para otras gamas de amortiguadores existentes en el mercado, que son de gran demanda en la actualidad, ya sea de vehículos, bicicletas, motocicletas u otros.
- Otro motivo del estudio es que mediante estos resultados podemos mejorar características del mismo y alargar la vida útil de este componente que es uno de los más importantes utilizados en la suspensión del vehículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Suspension automotriz 1993*. (mayo de 2016). Obtenido de <http://suspensionautomotriz1993.blogspot.com/2012/09/tipos-de-suspension.html>.

Arizmendi, C. G. (21 de Mayo de 2009). *Autocosmos.com*. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de <http://noticias.autocosmos.com.mx/2009/05/21/que-es-la-suspension-mcpherson>

Baez, M. A. (13-12-2016). *Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos automoviles tipo turismo*. TERRESSA, Catala: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Màquines i Motors Tèrmics.

Barrera, N. A. (11 de septiembre de 2012). *Mecanica Automotriz*. Recuperado el 17 de 01 de 2016, de <Http://suspensionautomotriz1993.blogspot.com>

Calvo, J. S. (2005). *Establishing inspection criteria to verify the dynamic behavior of the vehicle suspension system*. MADRID.

Calvo, J. S.-P. (2008). *Influence of the shock absorber wearing on vehicle brake performance*. International Journal of Automotive Technology.

CINAE. (2014). *Boletín Estadístico N°\_ 08*. Quito.

Dixon., J. J. (SAE 2001). *The shock absorber handbook*.

Engine-Soft. (2015). *Manual de Empleo Dinoshock 11*. Italia, Francia: FALCONARA M.

Fernandez, D. M. (2011). *Simulación de una suspensión mac pherson en entorno VLRM*. Febrero.

- Floren. (2005). *Manual de Camiones y Vehiculos Pesados*. Madrid, España: Pans.
- Gabriel S. A. (1963). *Amortiguadores y Struts*. Recuperado el 21 de 02 de 2016, de <http://www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Elementosdelamortiguador.aspx>
- Jhony, M. P. (2014). *Diseño y Construcción de un Banco Didáctico para Amortiguadores con Programación En Labview*. RIOBAMBA: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- León, R. R. (1981). *Vibraciones Mecánicas*. LIMUSA.
- Manuel, G. G. (ENERO 2012). *Diseño y construccion del sistema de suspension para un vehiculo tipo formula student*. LATACUNGA, COTOPAXI, ECUADOR.
- Media., M. N. (2000). *Feuvert*. Obtenido de <http://www.feuert.es/informacion/amortiguadores-funcion-amortiguadores-9-25.html>
- Meganeboy., D. (2014). *Aficionados a la Mecanica*. Recuperado el 23 de 01 de 2016, de <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>
- Milliken, W. F. (SAE 1995). *Race car vehicle dynamics*.
- Molina, B. A. (11 de Marzo de 2011). *Slide Share*. (Universidad de los Andes) Recuperado el 12 de 10 de 2015, de <http://es.slideshare.net/antoniomolina282/teora-de-vibraciones>
- Murillo, A. F. (ENERO de 2009). *Diseño y Construcción de un Banco Banco de Pruebas para Amortiguadores*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Oettinghaus, R. C. (Octubre de 1991). *Mi Mecanica Popular*, 44. Recuperado el 10 de 02 de 2016, de <http://www.mimecanicapopular.com/verautos.php?n=188>
- Quintial, J. C. (Mayo 2005). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Amortiguadores para un Vehículo Fórmula Sae*. SARTENEJAS.
- Rakheja, W. S. (1996). *Spring Characteristics of Racing Car Suspension Dampers*. Recuperado el 20 de 12 de 2015, de <http://www.rapid-racer.com/suspension-tuning.php>
- Rakheja., B. W. (1996). *An analytical and experimental investigation of friction and gas spring characteristics of racing car suspension dampers*.
- Remy, D. (1974). *Acdelco*. Recuperado el 2016, de <http://www.acdelco.com.ar/productos-amortiguadores.html>
- Saez, L. M. (2012). Amortiguadores. En *Sistemas y Componentes del Chasis*. Madrid, España: INSIA.
- Silva, C. (2007). *Vibration Damping, control, and design*. Vancouver. Canada.
- Tixi Gusqui, D. J., & Torres Ramos, A. D. (2016). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para amortiguadores de vehículos*. Riobamba, Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Undes. (2016). Suspension MacPerson. *wikipedia*.
- Urbietal, J. A. (2003). *Amortiguadores y Suspension*. Navarra .
- Vásconez, A. E. (2008). *Elementos mínimos de seguridad en automotores*. (Vol. 3). (S. E. Normalización, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador: Inen.
- Virtual, T. (25 de julio de 2012). La Suspension MacPherson. *Actualidad Motor*.



# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por Angel Polivio Balseca Pucha bajo mi supervisión.



---

**ING. VÍCTOR DANILO ZAMBRANO**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**



---

**ING. DANILO ZAMBRANO**  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**



---

**DR. JUAN CARLOS DÍAZ**

**SECRETARIO ACADÉMICO**