



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL Y DEL PROCESO DE MANUFACTURA, DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 125cc, 4 TIEMPOS”**

**LABRE TARCO WILMER JAVIER  
VILLENA MERA VÍCTOR BOLÍVAR**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-01-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**LABRE TARCO WILMER JAVIER**  
**VILLENA MERA VÍCTOR BOLÍVAR**

Titulado:

**“ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL Y DEL PROCESO DE MANUFACTURA,**  
**DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 125cc, 4**  
**TIEMPOS”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. César Morales Villacrés  
**DIRECTOR**

---

Ing. Julio Carrasco Santillán  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LABRE TARCO WILMER JAVIER

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL Y DEL PROCESO DE MANUFACTURA, DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 125cc, 4 TIEMPOS”

**Fecha de Examinación:** 2016-03-18

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Carlos Álvarez Pacheco <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Morales Villacrés <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Julio Carrasco Santillán <b>ASESOR</b>			

\* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Alvares Pacheco  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VILLENA MERA VICTOR BOLIVAR

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL Y DEL PROCESO DE MANUFACTURA, DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 125cc, 4 TIEMPOS”

Fecha de Examinación: 2016-03-18

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Álvarez Pacheco <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Morales Villacrés <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Julio Carrasco Santillán <b>ASESOR</b>			

\* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Alvares Pacheco  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Labre Tarco Wilmer Javier**

---

**Villena Mera Víctor Bolívar**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Labre Tarco Wilmer Javier y Villena Mera Víctor Bolívar, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

---

**Labre Tarco Wilmer Javier**  
Cedula de Identidad: 180451293-5

---

**Villena Mera Víctor Bolívar**  
Cedula de Identidad: 060402351-5

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha permitido terminar mi formación profesional, a mis padres por haberme dado la vida, la fortaleza y por su compañía incondicional a través de todo este tiempo a pesar de mis faltas. A mis dos hermanas que con el ejemplo han influido en mí.

A mi tía Fabiola, a quien le considero una segunda madre, por su gran corazón generoso dispuesto ayudar. A mis dos abuelitas por preocuparse por mí y estar conmigo la una físicamente y la otra desde el cielo llenándome de bendiciones.

De igual manera al resto de mi familia pilar fundamental para haber logrado esta meta, a todos ellos un infinito Dios les pague.

**Wilmer Javier Labre Tarco**

Dedico este proyecto a Dios por estar conmigo en todo momento cobijándome de su infinita bondad y amor, a mis padres Víctor y Tránsito por ser mi apoyo absoluto, por sus valores y consejos, pero más que nada por su eterno cariño. A mi hermana Viviana, por ser el mejor ejemplo de quien aprendí la lección más grande de mi vida.

A mi novia Guissella por ser un apoyo incondicional. A mis abuelos Rosa, Flor, Segundo que desde el cielo guían mi camino y a mi abuelo Bolívar de quien aún gozo de su presencia.

A mi familia y amigos quienes jamás me abandonaron en aquellos momentos difíciles.  
¡Dios los bendiga!

**Víctor Bolívar Villena Mera**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por acompañarme durante mi carrera, por iluminar mi camino, levantarme cuando he caído y guiar mis decisiones que han permitido culminar un gran sueño.

Mi perpetua gratitud a los maestros que han compartido sus conocimientos y enseñanzas con generosidad, a los que más que maestros han sido amigos brindándome la oportunidad de sobrepasar mis límites. A la ESPOCH, un segundo hogar de donde nacieron recuerdos insuperables que me llevaré a la eternidad, por la dedicación en mi formación enfocada a la integridad profesional.

A la vez hago extensivo mi agradecimiento a mis hermanas, familia y en especial a mi tía que me ha brindado su apoyo incondicional. A todos ellos gracias por haber formado parte de esta etapa de mi vida.

**Wilmer Javier Labre Tarco**

Quiero exaltar mi profunda gratitud a Dios por darme vida y salud para poder cumplir con mis metas y propósitos. Gratifico a mis padres, a mi hermana, a mi novia por alentarme siempre a ser mejor cada día y a mi familia por su incondicional apoyo.

Mi eterna gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por aportar tan valiosos conocimientos y experiencias, pilar fundamental para mi formación profesional.

Retribuyo a todos los amigos, compañeros y personas que directa o indirectamente me apoyaron para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

**Víctor Bolívar Villena Mera**

# CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos.</i> .....	2
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	La suspensión .....	3
2.2	Principio de funcionamiento del sistema de suspensión de la motocicleta.....	3
2.2.1	<i>Suspensión delantera.</i> .....	4
2.2.1.1	<i>Horquilla telescópica</i> .....	5
2.2.2	<i>Suspensión posterior</i> .....	6
2.2.2.1	<i>El basculante</i> .....	7
2.2.2.2	<i>El Amortiguador.</i> .....	8
2.2.2.3	<i>Los Resortes</i> .....	9
2.3	Razón de instalación de una suspensión .....	13
2.4	Geometría básica de la motocicleta.....	13
2.4.1	<i>Distancia entre ejes</i> .....	14
2.4.2	<i>Avance</i> .....	15
2.4.3	<i>Avance mecánico</i> .....	15
2.4.3.1	<i>Avance de rueda posterior</i> .....	16
2.4.4	<i>Lanzamiento</i> .....	16
2.4.5	<i>Centro de masas</i> .....	16
2.5	Especificaciones Técnicas.....	17
2.6	Mecánica de fluido .....	18
2.6.1	<i>Características del aceite</i> .....	18
2.6.2	<i>Ecuación de Bernoulli</i> .....	19
2.7	Materiales .....	19
2.7.1	<i>Propiedades de los metales</i> .....	20
2.7.2	<i>Aceros Aleados</i> .....	20
2.7.3	<i>Aceros resistentes a la corrosión</i> .....	21
2.7.4	<i>Materiales no ferrosos</i> .....	21
2.8	<i>Procesos de manufactura</i> .....	22
2.8.1	<i>Fundición</i> .....	22
2.8.2	<i>Proceso de metalurgia de polvos</i> .....	22
2.8.3	<i>Procesos de trabajo en caliente.</i> .....	22
2.8.3.1	<i>Laminado en caliente</i> .....	22
2.8.3.2	<i>Extrusión</i> .....	22
2.8.3.3	<i>Forjado</i> .....	22
2.8.4	<i>Procesos de trabajo en frio</i> .....	22
2.8.4.1	<i>Laminado en frio y el estirado en frio.</i> .....	23
2.8.5	<i>Estampado</i> .....	23
2.8.6	<i>Recocido</i> .....	23
2.8.7	<i>Templado</i> .....	23

2.8.8	<i>Revenido</i> .....	23
2.8.9	<i>Soldadura</i> .....	23
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE LA SUSPENSIÓN</b>	
3.1	Estudio micrográfico de los elementos de la suspensión delantera .....	24
3.1.1	<i>Caracterización de la botella o tubo exterior</i> .....	24
3.1.2	<i>Caracterización del tubo pistón</i> .....	25
3.1.3	<i>Caracterizaciones de resortes</i> .....	26
3.1.4	<i>Caracterización de la barra de suspensión</i> .....	27
3.1.5	<i>Caracterización de materiales de metalurgia de polvo</i> .....	28
3.1.6	<i>Caracterización del tapón roscado</i> .....	29
3.1.7	<i>Caracterización del casquillo de compresión</i> .....	30
3.2	Estudio micrográfico de los elementos de la suspensión posterior .....	31
3.2.1	<i>Caracterización del anclaje superior</i> .....	31
3.2.2	<i>Caracterización de resortes</i> .....	32
3.2.3	<i>Caracterización del vástago</i> .....	33
3.2.4	<i>Caracterización de materiales de metalurgia de polvo</i> .....	34
3.2.5	<i>Caracterización de resortes de disco</i> .....	35
3.2.6	<i>Caracterización del anclaje inferior</i> .....	36
3.2.7	<i>Caracterización de materiales de bajo carbono</i> .....	38
3.2.8	<i>Caracterización de los cilindros del amortiguador</i> .....	40
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE LA MOTOCICLETA</b>	
4.1	Cálculo del centro de masa.....	43
4.1.1	<i>Verificación con software CAD</i> .....	44
4.2	Cálculo del centro de masa para la condición de dos personas.....	45
4.3	Análisis de cargas en reposo .....	46
4.3.1	<i>Fuerza aplicada en la horquilla</i> .....	47
4.3.2	<i>Fuerza aplicada en el amortiguador</i> .....	47
4.4	Análisis de cargas en reposo con dos personas .....	48
4.5	Análisis de cargas en movimiento.....	50
4.5.1	<i>Aceleración máxima sin perder adherencia</i> .....	51
4.5.2	<i>Análisis de cargas en fase de frenado</i> .....	52
4.5.3	<i>Análisis de cargas al pasar un obstáculo</i> .....	54
4.5.4	<i>Análisis de cargas al precipitarse a un escalón</i> .....	55
4.6	Presión del fluido .....	58
4.6.1	<i>Presión en la horquilla</i> .....	58
4.6.1.1	<i>Fase de compresión</i> .....	58
4.6.1.2	<i>Fase de extensión</i> .....	60
4.6.2	<i>Presión en el amortiguador</i> .....	61
4.6.2.1	<i>Fase de compresión</i> .....	61
4.6.2.2	<i>Fase de extensión</i> .....	63
4.6.2.3	<i>Fuerza de amortiguamiento</i> .....	65
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN</b>	
5.1	Diseño de los elementos que constituyen la horquilla de suspensión .....	66
5.1.1	<i>Resorte</i> .....	66
5.1.1.1	<i>Diseño estático del resorte</i> .....	67
5.1.1.2	<i>Diseño a fatiga del resorte</i> .....	68
5.1.1.3	<i>Diseño por software del resorte</i> .....	71

5.1.2	<i>Casquillo de compresión</i> .....	72
5.1.3	<i>Diseño del tubo pistón</i> .....	73
5.1.3.1	<i>Deformaciones fase de compresión</i> .....	73
5.1.3.2	<i>Deformación en fase de extensión</i> .....	74
5.1.4	<i>Válvula</i> .....	75
5.1.4.1	<i>Análisis del flujo de aceite</i> .....	76
5.1.5	<i>Diseño del resorte inferior</i> .....	77
5.1.5.1	<i>Análisis por software del resorte</i> .....	79
5.1.6	<i>Diseño del resorte de disco</i> .....	80
5.1.7	<i>Diseño de la botella de suspensión</i> .....	81
5.1.8	<i>Diseño de la barra y la botella aplicando fuerzas externas</i> .....	82
5.2	<i>Diseño de los elemento que constituyen el amortiguador</i> .....	83
5.2.1	<i>Diseño del resorte de compresión</i> .....	83
5.2.1.1	<i>Diseño estático</i> .....	84
5.2.1.2	<i>Diseño a fatiga</i> .....	85
5.2.1.3	<i>Diseño por software</i> .....	88
5.2.2	<i>Diseño del anclaje superior</i> .....	90
5.2.3	<i>Diseño del vástago</i> .....	91
5.2.4	<i>Diseño del Pistón</i> .....	92
5.2.5	<i>Diseño del regulador y tope de muelle</i> .....	93
5.2.6	<i>Diseño de los apoyos</i> .....	94
5.2.7	<i>Diseño del tubo de presión y obturador</i> .....	95
5.2.8	<i>Diseño de muelles de disco</i> .....	96
5.2.8.1	<i>Análisis de flujo de aceite</i> .....	97
<b>6.</b>	<b>PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA SUSPENSIÓN</b>	
6.1	<i>Botella de suspensión y anclaje del amortiguador</i> .....	98
6.1.1	<i>Fundición e inyección</i> .....	98
6.1.2	<i>Botella de suspensión</i> .....	99
6.1.2.1	<i>Mandrinado</i> .....	99
6.1.2.2	<i>Taladrado</i> .....	100
6.1.2.3	<i>Roscado con macho</i> .....	102
6.1.2.4	<i>Recubrimiento de pintura</i> .....	102
6.1.3	<i>Anclaje superior</i> .....	103
6.2	<i>Tubos sin costura utilizados en la suspensión</i> .....	103
6.2.1	<i>Fundición y extrusión</i> .....	104
6.2.2	<i>Laminado y estirado en frío</i> .....	104
6.2.3	<i>Tubo pistón</i> .....	105
6.2.3.1	<i>Forjado</i> .....	105
6.2.3.2	<i>Mecanizado</i> .....	105
6.2.4	<i>Barra de suspensión</i> .....	106
6.2.4.1	<i>Mecanizado</i> .....	106
6.2.4.2	<i>Recubrimiento superficial</i> .....	107
6.2.5	<i>Casquillo de compresión</i> .....	109
6.2.6	<i>Cilindro interior y exterior del amortiguador</i> .....	109
6.3	<i>Resortes de compresión</i> .....	110
6.3.1	<i>Trefilado</i> .....	110
6.3.2	<i>Tratamiento Térmico</i> .....	110
6.3.3	<i>Bobinado</i> .....	111
6.3.4	<i>Rectificado de resorte</i> .....	111

6.3.5	<i>Resorte exterior</i> .....	112
6.4	Resortes de disco .....	113
6.4.1	<i>Tratamiento térmico</i> .....	113
6.4.2	<i>Troquelado</i> .....	114
6.5	Elementos sinterizados .....	114
6.5.1	<i>Dosificación de la mezcla</i> .....	115
6.5.2	<i>Compactación</i> .....	115
6.5.3	<i>Sintetización</i> .....	115
6.6	Vástago del pistón .....	116
6.7	Elementos de bajo contenido de carbono .....	117
6.7.1	<i>Tapa del muelle</i> .....	117
6.7.2	<i>Tope de muelle</i> .....	118
6.7.3	<i>Regulador</i> .....	118
6.8	Anclaje inferior del amortiguador .....	118
6.9	Tapón roscado .....	119
6.9.1	<i>Forjado</i> .....	119
6.9.2	<i>Mecanizado</i> .....	119
6.9.3	<i>Recubrimiento superficial (cromado)</i> .....	119
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones .....	121
7.2	Recomendaciones .....	122

**BIBLIOGRAFÍA**  
**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Especificaciones técnicas de la motocicleta GN 125cc H..... 18
2	Aceite para horquilla SAE 10 W marca CASTROL ..... 18
3	Aceite para amortiguador SAE 5 W marca CASTROL ..... 18
4	Efectos del cambio porcentual de materiales comunes en aceros aleados ..... 21
5	Metales no ferrosos..... 21
6	Reporte espectométrico de la botella de suspensión ..... 24
7	Reporte espectométrico del tubo pistón..... 25
8	Reporte espectométrico de la barra de suspensión ..... 27
9	Reporte espectométrico del tapón roscado ..... 29
10	Reporte espectométrico del casquillo de compresión..... 30
11	Reporte espectométrico del anclaje superior del amortiguador..... 32
12	Reporte espectométrico del resorte exterior ..... 33
13	Reporte espectométrico del anclaje inferior ..... 37
14	Ensayo de dureza de elementos de bajo contenido de carbono ..... 39
15	Reporte espectométrico del regulador ..... 39
16	Reporte espectométrico la tapa del muelle ..... 39
17	Reporte espectométrico el tope del muelle..... 39
18	Ensayo de microdureza de elementos de bajo contenido de carbono..... 41
19	Reporte espectométrico del cilindro interior ..... 41
20	Reporte espectométrico del cilindro exterior..... 41
21	Materiales de los elementos de la suspensión ..... 42
22	Resultados de la simulación del centro de masa..... 45
23	Datos del centro de masas (conductor-pasajero) ..... 45
24	Resultados del análisis de cargas ..... 65
25	Precarga del resorte ..... 85
26	Especificaciones técnicas de cilindros hidráulicos para amortiguadores. .... 107
27	Temperatura de sintetización..... 115

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1	Comportamiento de la motocicleta sin suspensión..... 3
2	Comportamiento de la motocicleta con suspensión (muelle-amortiguador) ..... 4
3	Horquilla telescópica Marzocchi ..... 5
4	Despiece de la horquilla telescópica..... 6
5	Sistema de doble amortiguador con brazo basculante..... 7
6	El amortiguador ..... 8
7	Comportamiento de los diferentes tipos de diseño de resortes..... 10
8	Precarga de un resorte..... 12
9	Ángulo de giro ..... 14
10	Ángulo de giro de la rueda posterior ..... 14
11	Parámetros geométricos de la dirección ..... 15
12	Avance mecánico..... 15
13	Avance mecánico posterior. .... 16
14	Micrografía de la botella de suspensión (keller, 100x)..... 24
15	Micrografía aluminio AISI7Cu3Mg ..... 24
16	Micrografía tubo pistón (Nital, 200x)..... 25
17	Micrografía acero 1008 ..... 25
18	Micrografía sección longitudinal de resortes (nital, 100x)..... 26
19	Micrografía acero 1070 ..... 26
20	Sección transversal barra de suspensión (nital, 500x) ..... 27
21	Micrografía acero 1045 ..... 27
22	Micrografía pieza de bloqueo (100x) ..... 28
23	Micrografía válvula de horquilla (100x) ..... 28
24	Micrografía MPIF FC-0205..... 28
25	Micrografía sección transversal tapón roscado (nital, 200x)..... 29
26	Micrografía de doble fase acero 1020 (nital, 250x)..... 29
27	Micrografía casquillo sección transversal (nital, 500x)..... 30
28	Micrografía acero AISI 1513 (500x) ..... 30
29	Micrografía anclaje superior sección transversal (keller, 100x)..... 31
30	Micrografía Al-Si9 (100x)..... 31
31	Micrografía resorte exterior (nital, 100x) ..... 32
32	Micrografía resorte interior (nital, 100x)..... 32
33	Micrografía acero 1070 (100x)..... 33
34	Micrografía vástago sección transversal (nital, 500x)..... 33
35	Micrografía acero 1045 ..... 34
36	Micrografía del pistón (100x)..... 34
37	Micrografía del porta pistón (100x)..... 34
38	Micrografía MPIF FC-0205..... 35
39	Micrografía del resorte de orificios (nital, 500x) ..... 35
40	Micrografía resorte llano (nital, 500x) ..... 36
41	Micrografía acero inoxidable templado..... 36
42	Micrografía anclaje inferior sección transversal (nital, 500x)..... 37
43	Micrografía acero 1010 ..... 37
44	Micrografía del regulador (nital, 100x) ..... 38
45	Micrografía de la tapa del resorte (nital, 100x) ..... 38

46	Micrografía del tope de resorte (nital, 100x).....	38
47	Micrografía acero 1006 (nial, 100x).....	39
48	Micrografía cilindro interior (nital, 200x).....	40
49	Micrografía cilindro exterior (nital, 100x).....	40
50	Micrografía acero normalizado 1020 (200x).....	40
51	Simulación CAD centro de masa.....	44
52	Simulación del centro de masa (conductor-pasajero).....	45
53	Cargas en estado estacionario.....	46
54	Fuerza en la horquilla.....	47
55	Ubicación de la razón de instalación y aplicación de cargas.....	47
56	Fuerza en el amortiguador.....	48
57	Cargas en estado estacionario (2 personas).....	49
58	Cargas en movimiento.....	50
59	Cargas en fase de frenado.....	52
60	Representación gráfica de un reductor de velocidad.....	54
61	Precipitación a un escalón.....	56
62	Diagrama de transferencia de carga.....	56
63	Análisis de deformación del resorte.....	71
64	Análisis de tensión del resorte.....	72
65	Deformación del casquillo de compresión.....	72
66	Tensiones en el casquillo de compresión.....	73
67	Deformación del tubo pistón en fase de compresión.....	73
68	Esfuerzos en fase de compresión del tubo pistón.....	74
69	Deformación en fase de extensión del tubo pistón.....	74
70	Esfuerzos en fase de extensión del tubo pistón.....	75
71	Análisis de deformación de la válvula.....	75
72	Análisis de tensiones en la válvula.....	76
73	Análisis de flujo de aceite en fase de compresión.....	76
74	Análisis del flujo de aceite en fase de extensión.....	77
75	Análisis de deformación del resorte inferior.....	79
76	Análisis de esfuerzos del resorte inferior.....	80
77	Análisis de deformación del muelle de disco.....	80
78	Análisis de esfuerzos en la válvula de disco.....	81
79	Deformación de la botella de suspensión.....	81
80	Esfuerzos de la botella de suspensión.....	82
81	Deformación en el conjunto barra-botella.....	82
82	Esfuerzos en el conjunto barra-botella.....	83
83	Análisis de deformación del resorte exterior.....	89
84	Análisis de esfuerzos del resorte exterior.....	89
85	Análisis de deformación del anclaje superior del amortiguador.....	90
86	Análisis de esfuerzos del anclaje superior del amortiguador.....	90
87	Análisis de deformación del vástago.....	91
88	Análisis de esfuerzos en el vástago del amortiguador.....	91
89	Análisis de deformación del pistón.....	92
90	Análisis de tensiones de Von Mises del pistón.....	92
91	Análisis de deformación del conjunto tope y regulador del resorte.....	93
92	Análisis de tensiones de Von Mises del tope y regulador del resorte.....	93
93	Análisis de deformación de los apoyos.....	94
94	Análisis de tensiones de Vom Mises en los apoyos.....	94
95	Análisis de deformación del tubo de presión y obturador.....	95

96	Esfuerzo de Von Mises del cilindro de presión y del obturador .....	95
97	Análisis de deformación de los muelles de disco .....	96
98	Análisis de esfuerzos de Vom Mises en los muelles de disco .....	96
99	Análisis de flujo en fase de compresión .....	97
100	Análisis de flujo en fase de extensión .....	97
101	Máquina de inyección por cámara fría .....	98
102	Ciclo de eyección.....	99
103	Mecanizado interior .....	99
104	Taladro bidiametral con chafan .....	100
105	Taladrado de agujeros cruzado .....	101
106	Roscado con macho .....	102
107	Botella de suspensión .....	102
108	Anclaje superior.....	103
109	Proceso de extrusión .....	104
110	Proceso de estirado .....	105
111	Torneado exterior .....	105
112	Tubo pistón.....	106
113	Proceso de cromado Stelmi .....	108
114	Barra cromada de suspensión .....	109
115	Casquillo de compresión .....	109
116	Proceso de trefilado .....	110
117	Bobinado.....	111
118	Rectificadora de resortes .....	112
119	Resortes de paso variable y constante .....	112
120	Resorte exterior de amortiguadores .....	113
121	Troquelado de resortes de disco .....	114
122	Elementos sinterizados de una suspensión .....	116
123	Vástago del amortiguador.....	116
124	Proceso de embutición.....	117
125	Anclaje inferior del amortiguador .....	118
126	Tapón roscado.....	119
127	Elementos cromados.....	120

## SIMBOLOGÍA

$a_0$	Aceleración	$m/s^2$
A	Área	$mm^2$
C	Índice del resorte	-
d	Diámetro del alambre	mm
D	Diámetro de la espira	mm
e	Factor rugosidad superficial típica	m
E	Modulo de elasticidad	GPa
f	Factor de fricción	-
$f_r$	Frecuencia del Resorte	Hz
F	Fuerza	N
G	Módulo de rigidez	GPa
I	Inercia	$kgm^2$
k	Índice de rigidez	N
$K_B$	Factor de corrección cortante directo como efecto de curvatura	-
m	Masa del neumático	kg
M	Masa de la motocicleta	kg
P	Presión	MPa
q	Presión dinámica	MPa
$\tau$	Esfuerzo cortante	MPa
V	Velocidad	m/s
W	Peso	N
$\Delta y$	Variación de desplazamiento	mm
$\rho$	Densidad	$kg/m^3$
$\gamma$	Peso específico	$N/m^3$

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
AISI	Instituto Americano del hierro y acero
ASTM	Sociedad Americana para pruebas y materiales
MPIF	Federación de la Industria de metal en polvo

## **RESUMEN**

El principal propósito de este estudio tiene como objetivo presentar los parámetros necesarios para la posible fabricación de un sistema de suspensión de la motocicleta de 125cc, aportando al desarrollo de la matriz productiva del país.

La metodología que se utilizó para obtener los datos del análisis se basó en la aplicación de procedimientos requeridos en la ingeniería inversa, por medio de la indagación del estado de arte se determinó el funcionamiento y la interacción de cada componente que conforma el conjunto de suspensión.

Se efectuó un análisis de los materiales empleados en cada elemento del sistema para posteriormente a través del rediseño y la verificación por software determinar los esfuerzos máximos a los cuales pueden ser sometidos. De tal manera, con los resultados obtenidos e indagando los principales procesos de manufactura que se requieran, nos permitirá conocer la factibilidad de una producción nacional.

Se concluye que los materiales interpuestos están al alcance de nuestro medio y a la vez pueden ser remplazados, sin embargo existe una desventaja en los procesos de manufactura requeridos en ciertas piezas.

Finalmente se demuestra que la fabricación del sistema de suspensión es viable en nuestro medio, con la aplicación de lo establecido en esta investigación.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this study is to present the necessary parameters in order to create a suspension system for the 125cc motorcycle, and contribute to the development of the productive matrix of the country.

The methodology used for collecting the data coming from the analysis, was based on the application of procedures required in reverse engineering, by inquiring for the state of art it will be determined the operation and interaction of each component that makes up the suspension assembly.

An analysis of the materials used in each element of the system in order to determine the maximum effort they may be subjected through a subsequent redesign and software verification were conducted. In such a way, with the findings and the enquiry of the main manufacturing procedures required, it will enable to know the feasibility of a national production.

It is concluded that the interposed materials are accessible, or they can be replaced. However; there is a disadvantage in the manufacturing processes required to certain pieces.

Finally it is shown that the manufacture of the suspension system is feasible in our environment, with the application of the methods set out in this research.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Desde que se construyeron las primeras motocicletas a principios del siglo XX se ha ido desarrollando sistemas de suspensión capaces de absorber las imperfecciones de las superficies por las que se desplazan, generando confort y seguridad a sus ocupantes. Las oscilaciones que se generan son contrarrestadas por todos los elementos que conforman dicho sistema.

Todos los elementos que conforman el sistema de suspensión entre ellos muelles y amortiguadores, tienen la capacidad de deformarse y volver a su estado original, esto se debe a los distintos materiales utilizados, procesos de fabricación y diseño de cada componente.

El material ideal para la fabricación debe deformarse elásticamente bajo carga sin sufrir ninguna deformación plástica y poseer una elevada resistencia al esfuerzo, Un buen diseño complementa estas características dando como resultado un sistema de suspensión apto y confiable.

El presente proyecto marca diseños y los materiales utilizados en la fabricación del sistema de suspensión, para la desagregación tecnológica de la motocicleta.

### 1.2 Justificación

Transformar la matriz productiva es una de las metas que pretende alcanzar nuestro país, para ello la investigación es un paso importante en el proceso. Por lo mencionado anteriormente es relevante la caracterización y diseño de moto-partes.

El proyecto de tesis busca caracterizar y diseñar el sistema de suspensión de una motocicleta de 4 tiempos de 125cc., aplicando el estado de arte sobre los procesos de investigación. Para sustentar el estudio se utilizó herramientas de diseño CAD y CAE.

La investigación es factible porque contamos con los conocimientos necesarios, estamos aptos y capaces para poder realizar con seguridad el proyecto, de igual forma con la guía de profesionales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y los recursos necesarios tanto materiales y económicos que nos permitirán cumplir con nuestros objetivos.

Al caracterizar y diseñar un sistema de suspensión dotaremos de conocimientos que serán el principio de nuevos estudios. Al finalizar este presente trabajo los resultados servirán de base para investigaciones futuras que contribuyan al desarrollo tecnológico del país.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1       Objetivo general.** Analizar la microestructura, el proceso de manufactura y diseñar la suspensión para una motocicleta de 125cc, 4 tiempos.

**1.3.2       Objetivos específicos.**

- Determinar los distintos elementos que conforman el sistema de suspensión de la motocicleta de 125cc, 4 tiempos.
- Analizar la composición microestructural de los distintos elementos del sistema de suspensión.
- Diseñar los principales elementos de la suspensión.
- Analizar el diseño por medio de software CAE.
- Generar la planimetría completa de la suspensión.
- Analizar los procesos de manufactura del sistema de suspensión.

## CAPÍTULO II

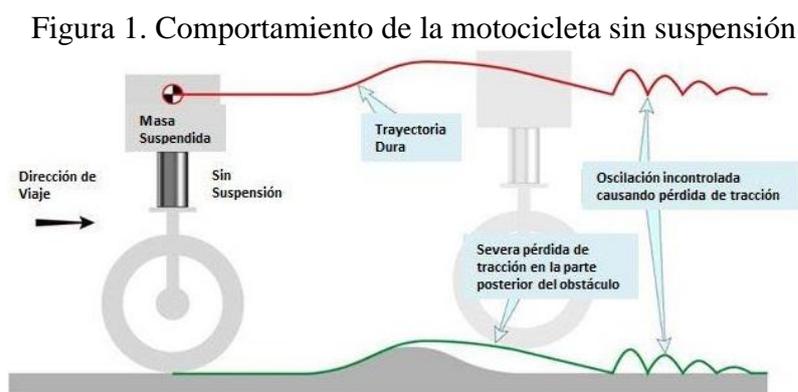
### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 La suspensión

La suspensión es un conjunto de elementos relacionados entre sí que tienen como función primaria absorber las irregularidades del terreno separando al piloto del cuerpo principal de la moto y de la carretera, de esta forma se logra el confort, seguridad y estabilidad en un trayecto. Es fundamental que las ruedas tengan un agarre adecuado en la carretera y control sobre la misma, el correcto comportamiento de la suspensión depende de cuatro parámetros fundamentales; el muelle, amortiguador, bastidor y por último las características del neumático (FOALE, 2003, págs. 6-1 y 6-21).

#### 2.2 Principio de funcionamiento del sistema de suspensión de la motocicleta

La suspensión se encarga de mantener la altura correcta de la motocicleta, reducir las fuerzas de impacto, mantener la tracción correcta de las ruedas, soportar la masa suspendida dando a la motocicleta un equilibrio dinámico compensando y ajustando los elementos según las condiciones de conducción. Sin la suspensión la motocicleta tendría una trayectoria severa en la carretera además de perder tracción en la rueda.

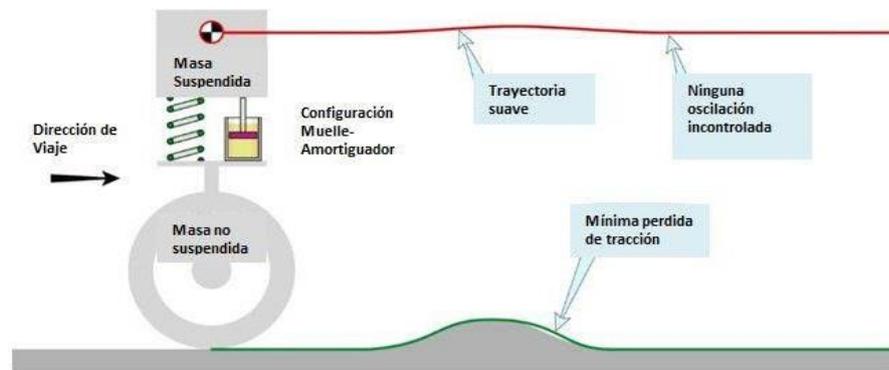


Fuente: (PARKS, 2010, pág. 6)

Si la motocicleta no dispone de una suspensión (Fig. 1), al oponerse a un obstáculo perdería adherencia a la calzada provocando oscilaciones que afectan a la estabilidad y al confort del conductor.

La inercia de los resortes y el movimiento por oscilaciones de extensión y compresión pueden ser un problema para cumplir con un funcionamiento adecuado, para evitar este exceso de movimientos mientras la motocicleta circula se coloca conjuntamente al muelle un amortiguador (Fig. 2). El amortiguador se endurece cuando aumenta la velocidad de desplazamiento, esto es importante porque separa la regulación de ambos sistemas si el problema es causado por la fuerza que provoca el movimiento (topes o falta de recorrido en la suspensión), es el muelle el factor a considerar. Si por el contrario es la velocidad de trabajo (oscilaciones, rebotes, movimientos), es el hidráulico el elemento a regular. (PARKS, 2010, págs. 6-7)

Figura 2. Comportamiento de la motocicleta con suspensión (muelle-amortiguador)



Fuente: (PARKS, 2010, pág. 7)

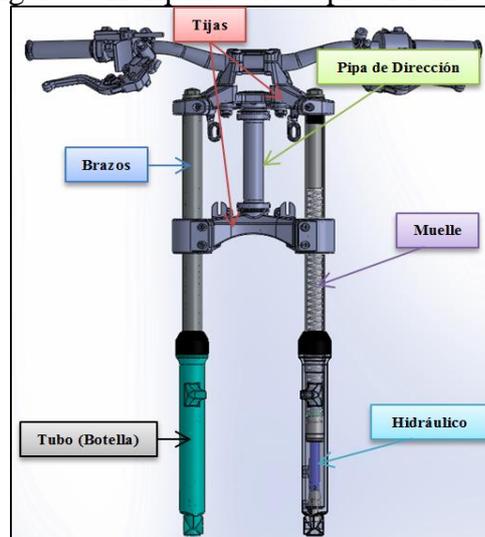
El muelle helicoidal y el hidráulico trabajan conjuntamente para neutralizar las alteraciones del camino, la suspensión delantera como posterior cumplen el mismo objetivo pero la diferencia está en la disposición de cada elemento, pese a esto existen oscilaciones que generan una mínima pérdida de tracción.

**2.2.1 Suspensión delantera.** Se compone de una horquilla telescópica dentro de la cual se añaden dos tubos y un vástago que lleva una válvula de retención en su extremo inferior y estos tubos se llenan con una cantidad conveniente de fluido hidráulico. (CROCCOLO & AGOSTINIS, 2013, pág. 63)

La horquilla telescópica alcanzó gran popularidad a través de los años no solo por su costo sino también por su versatilidad como diseño, en los últimos años han aparecido diferentes diseños que mejoran el comportamiento y la conducción, pero no se han popularizado porque significaría un cambio en el aspecto del tren delantero tomando el riesgo de no ser aceptado por la comunidad motociclista.

**2.2.1.1 Horquilla telescópica.** Es la solución más empleada por los productores de motocicleta gracias a su sencillez y ventajas que obtenemos por su composición, con el paso del tiempo el sistema ha ido evolucionando, incorporando sistemas hidráulicos, componentes y materiales de mejor calidad, pero el esquema básico sigue siendo el mismo como el que se presentó en sus primeros años.

Figura 3. Horquilla telescópica Marzocchi



Fuente: Autores

La horquilla está formada por dos brazos que unen la pipa de dirección a la rueda. Cada brazo está formado por un tubo denominado “barra” que va introducido en otro de mayor tamaño “botella”. En las horquillas convencionales la barra está anclada a las tijas mediante abrazaderas mientras que la botella al eje de la rueda delantera, soportando el resto de elementos del eje delantero (masa no suspendida), entre los dos brazos de la horquilla se coloca el puente de horquilla que da rigidez al conjunto. La barra cromada reduce la fricción que debe soportar al deslizarse dentro de la botella. En horquillas más complejas, el cromado se sustituye o se complementa con tratamientos distintos para reducir en lo posible esta fricción. (ARIAS-PAZ, 2003, págs. 565-567)

El sistema empleado para que este mecanismo realice tareas de suspensión es introducir un muelle en su interior, de manera que cada brazo tienda siempre a estirarse al máximo, y a volver a esta posición tras comprimirse por el paso sobre un obstáculo. Para frenar las oscilaciones, la parte inferior se rellena de aceite hidráulico. Para no aumentar excesivamente la longitud del muelle y por tanto su peso se suele emplear un casquillo de compresión en parte de la longitud de la barra.

Figura 4. Despiece de la horquilla telescópica.

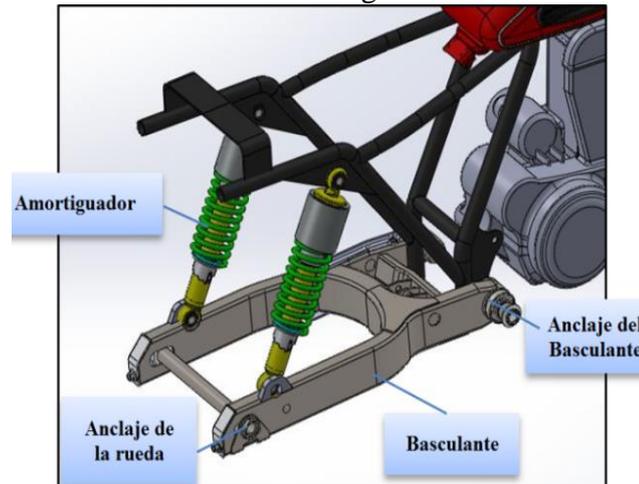


Fuente: Autores

El muelle debe fijarse a los dos extremos de la horquilla. Para acceder a él hay un tapón roscado en la parte superior de la barra. El sistema hidráulico por su parte puede situarse en el espacio que deja el muelle en su interior, o hacerlo debajo, construyendo de forma adecuada el soporte del muelle, de esta manera se gana espacio y calidad. Este sistema hidráulico está formado por un pequeño pistón que se desplaza sobre la parte inferior de la botella, que esta rellena de líquido hidráulico. Para que este fluido no pueda salir al exterior en la zona de contacto de la barra y la botella, se intercala un retén de goma que ejerce las funciones de tapón intermedio. Este tipo de suspensión (horquilla) no dispone de regulación de ningún tipo, la resistencia a la compresión y la capacidad de extensión vienen dadas por el muelle instalado y por su compresión inicial, mientras que el freno hidráulico depende del tamaño de los orificios del tubo pistón y de la densidad del fluido hidráulico. (ARIAS-PAZ, 2003, págs. 565-567)

**2.2.2** *Suspensión posterior.* Tiene como objetivo mantener la rueda adherida al suelo para transmitir correctamente el par motor como también el par de frenada. La suspensión une al chasis con el basculante, el extremo libre de este basculante está ocupado por el anclaje de la rueda de este modo tiene un desplazamiento circular tomando como centro el anclaje del basculante al chasis. El sistema de análisis es el de dos amortiguadores cada elemento se une a un muelle para forman un conjunto muelle-amortiguador. Los extremos superiores están al bastidor en pivotes y los extremos inferiores están fijados a los dos brazos del basculante. (ARIAS-PAZ, 2003, pág. 580)

Figura 5. Sistema de doble amortiguador con brazo basculante.



Fuente: Autores

Después del motor, la suspensión es el sistema más caro de una motocicleta. Debido a esto, la suspensión posterior rara vez es modificada.

El diseño de la suspensión posterior depende del peso del conductor, la disposición del sistema y el correcto funcionamiento del amortiguador, para lograr que una suspensión se ajuste acorde a su trayectoria debemos tomar en cuenta tres factores importantes la fuerza vertical en la rueda, el desplazamiento del amortiguador y la progresividad.

**2.2.2.1** *El basculante.* También conocido como brazo oscilante es un elemento estructural de la motocicleta que trabaja directamente con la suspensión posterior. El basculante debe proporcionar un giro circular a la rueda trasera siendo su eje el punto de anclaje del brazo con el chasis, una característica importante es que este elemento debe ser robusto ya que debe soportar todos los esfuerzos a los que la rueda trasera está sometida además debe mantenerla alineada en todo momento. La articulación para el elemento de muelle-amortiguador es diseñado para proporcionar aumento progresivo de la relación de suspensión. (Eberharda, Mavroudakisa, & Peter, 2007, pág. 680)

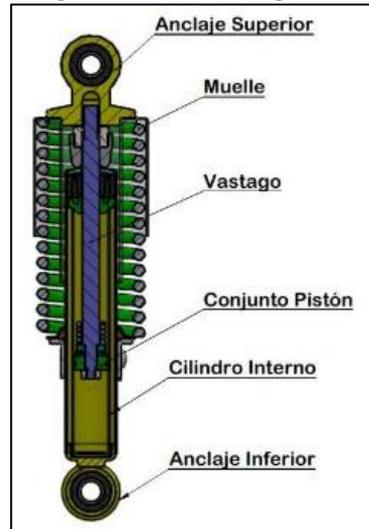
- Basculante con tubos de acero soldados

Este tipo de bazo articulado es uno de los tipos de basculantes que cumple con las condiciones constructivas y funcionales, uno de los aspectos por acotar es que se puede soldar con facilidad y permite una buena mecanización en máquinas herramientas, además de obtener una buena rigidez con poco peso. Un tipo de material a utilizar es el

acero. Este es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1 % en peso de la composición, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2 % y el 0,3 %. Tiene una densidad de  $7\,800\text{ kg/m}^3$ . (PINTO, 2014)

**2.2.2.2 El Amortiguador.** Los elementos elásticos del tren posterior constituyen a la configuración de un freno hidráulico y un resorte denominado amortiguador.

Figura 6. El amortiguador



Fuente: Autores

Los amortiguadores están formando por una estructura cilíndrica cerrada en cuyo interior actúa un pistón dotado de válvulas con orificios o de láminas, el pistón está unido al vástago de manera que el cilindro se ancla a un extremo del amortiguador, y el vástago al otro formando un mecanismo telescópico. (ARIAS-PAZ, 2003, pág. 584)

- **Funcionamiento**

El amortiguador está formado por un cilindro lleno de aceite en él se encuentra un pistón impulsado por el vástago. La cámara se divide en dos secciones por el embolo. El aceite que se encuentra en la cámara superior por ascenso del pistón se ve obligado a pasar por los conductos de transferencia ocupando el espacio de la cámara inferior frenando el sistema. El tiempo de desplazamiento es indirectamente proporcional a la resistencia del paso de aceite por los conductos de transferencia, la resistencia es mayor cuanto mayor es la velocidad con que tenga que pasar el aceite, cuando mayor sea la viscosidad y cuanto menor sea el diámetro del conducto. (CASTRO, 2001, pág. 22)

El efecto del amortiguador puede variarse de forma sencilla disponiendo una válvula en el conducto de unión de las cámaras que permita variar el paso del líquido en mayor o menor cantidad. También se puede ubicar un amortiguador que al moverse en un sentido ofrezca mayor resistencia que al moverse en sentido opuesto. Para ello bastara disponer dos conductos de comunicación, uno que permita el paso con mayor facilidad que el otro y dotado de válvulas que se abran o cierran al cambiar el sentido del movimiento. (CASTRO, 2001, pág. 24)

**2.2.2.3** *Los Resortes.* El resorte es un elemento elástico, su objetivo es recuperarse y recobrar su forma primitiva. La mayoría de los resortes son helicoidales, es decir; que tienen forma de hélice, y son básicamente del mismo tipo pero de diferentes tamaños. El buen comportamiento del sistema depende en mayor medida de la buena elección del resorte, es por eso que las características de un resorte desde el punto de vista de la suspensión son incluso más importantes que las características del amortiguador hidráulico. (CASTRO, 2001, pág. 13)

- Fuerzas del resorte

El resorte correcto depende del índice de rigidez y la precarga, estos son los principales parámetros a tomar en cuenta. Es importante conocer que la fuerza de resorte depende de lo mucho que se comprima, esto se conoce como desplazamiento. Por ejemplo, si se toma 10 kg de fuerza para comprimir 1 mm de resorte, el valor sería de 10 kg por milímetro. El aire atrapado en el interior de los tubos de la horquilla actúa como unos resortes adicionales. Cuando la horquilla delantera se comprime la presión del aire en el interior aumenta, incluso si no se usó la presión de aire inicial en la horquilla. Cuanto mayor sea la compresión, mayor es la progresividad del resorte de aire. Básicamente las horquillas frontales tienen la fuerza mecánica, y la fuerza del aire. (PARKS, 2010)

- Índice de rigidez

Los resortes se miden con mayor frecuencia comprimiéndolo en incrementos de desplazamiento y la medición de la carga adicional.

El índice de rigidez se calcula dividiendo la fuerza por el desplazamiento del resorte.

La expresión para determinar el índice de rigidez es:

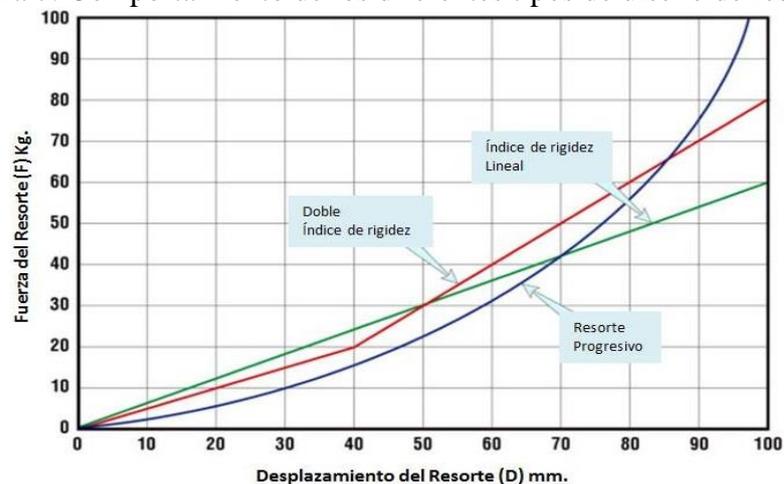
$$k = \frac{F}{\Delta y} \quad (1)$$

Hay tres tipos básicos de resorte: de constante recta, constante doble, y progresivos. El resorte de constante recta mantiene una velocidad uniforme a lo largo de su recorrido y es muy común en aplicaciones de carreras, por el contrario en un resorte progresivo el índice de rigidez cambia según el desplazamiento.

Un resorte progresivo de constante doble comúnmente tiene dos espaciamientos helicoidales diferentes a lo largo de su longitud uno está más cerca, mientras que el otro extremo tiene las bobinas más espaciadas. A medida que se comprime el resorte, todas las espiras se comprimen al mismo tiempo, las que se encuentran espaciadas más cerca se quedan sin desplazamiento, bloqueándose entre sí y haciéndole rígido al resorte. Este mismo resultado podemos obtener al colocar dos muelles diferentes uno con otro convirtiéndole en un muelle de doble constante.

Un verdadero resorte progresivo tiene espiras que empiezan juntas, y luego están espaciados progresivamente con cada espira. La fuerza cambia una pequeña cantidad con el cambio incremental del desplazamiento, como el resorte se comprime, las espiras se bloquean paulatinamente, por lo que su cambio de velocidad es gradual. Una velocidad progresiva también se puede lograr mediante el uso de alambre cónico, pero a un costo mucho más alto. (PARKS, 2010, pág. 10)

Figura 7. Comportamiento de los diferentes tipos de diseño de resortes



Fuente: (PARKS, 2010, pág. 11)

Los resortes progresivos incrementan paulatinamente la fuerza a través de su desplazamiento, mientras el resorte de doble índice tiene un cambio notable en el cruce de los diferentes índices de rigidez. Un resorte de distinción recta (lineal) tiene una pendiente constante. Una constante de resorte excesivamente progresiva causará que la suspensión se comprima fácilmente al iniciar la conducción, causando una sensación blanda. Adicionalmente, como la suspensión continúa comprimiéndose se hace rígida en poco tiempo y se siente brusca.

La combinación entre un resorte helicoidal y un resorte de aire ejercen dos fuerzas progresivas ofreciendo la mejor combinación en suspensiones frontales. Lo mismo sucede cuando se añade aceite en el tubo de la horquilla, el espacio se reduce y la relación de compresión se incrementa. El resorte de aire dentro del tubo funciona en paralelo con los resortes mecánicos, y por lo tanto el nivel de aceite tiene una relación directa a la rigidez total. Los cambios en el nivel de aceite afectan a la fuerza total del resorte, debido a la naturaleza progresiva del mismo. (PARKS, 2010, pág. 14)

- Constante de los resortes

La constante de un resorte es la forma de determinar, de una manera precisa, la mayor o menor dureza de un resorte. Por ello, cuando el resorte tiene un gradiente de 12 kg/cm se considera muy blando, mientras que cuando existe un gradiente de 20 kg/cm es un resorte duro. La constante de un resorte se puede calcular por la fórmula deducida por Keith, Richard G. Budynas y J. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley:

$$k = \frac{G \times d^4}{8 \times N_a \times D^3} \quad (2)$$

En donde:

k = Constante de resorte [N/mm]

d = Diámetro del alambre [mm]

D = Diámetro de la bobina o espiral [mm]

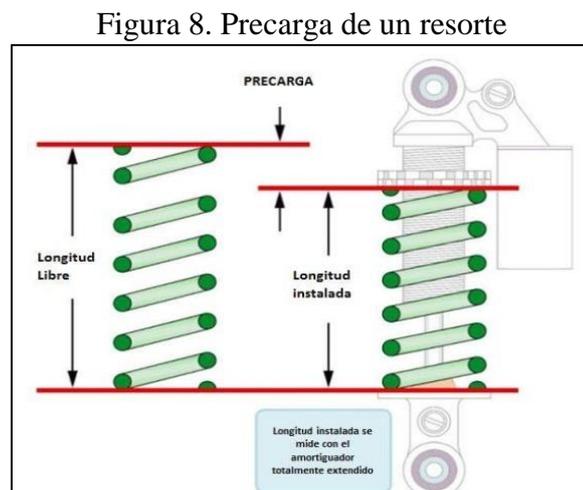
G = Módulo de rigidez = 8,102 kg/mm<sup>2</sup> (acero al silicio cromo)

N<sub>a</sub> = Número de espiras activas (vueltas del arrollamiento)

El diámetro del alambre (d) está en el numerador así deducimos que aumentando el diámetro del alambre podemos incrementar el índice de rigidez obteniendo un muelle más rígido. El número de espiras activas (Na) está en el denominador, esto significa que entre más espiras activas, más suave es. La desventaja de pequeños diámetros del alambre es que se requiere un material de alta calidad. El material es otro punto importante ya que un resorte que pesa más ocupa más volumen y por ende mayor relación de compresión. (PARKS, 2010, pág. 14)

- Precarga del resorte

Cuando un resorte está instalado en la suspensión delantera o posterior, se comprime una pequeña cantidad, la longitud que se comprime el resorte se conoce como precarga. Específicamente se define como la distancia del resorte que se comprime desde su longitud libre a su longitud de instalación con la suspensión completamente extendida.



- Fuerza de precarga

Fuerza de precarga es la fuerza inicial que el muelle ejerce sobre el extremo del tubo de la horquilla o los anclajes de resorte de un amortiguador trasero con la suspensión completamente extendida.

Esta fuerza de precarga se calcula:

$$F = k \cdot \Delta y \quad (3)$$

A medida que aumenta la precarga, se necesita más fuerza para hacer que la suspensión se comience a comprimir. Cuando se disminuye la fuerza de precarga, se requiere menos fuerza para provocar el movimiento. Una consecuencia de excesiva precarga del resorte es que la suspensión resulta ser demasiado extendida por lo que no habrá suficiente recorrido disponible, esto puede hacer que los neumáticos pierdan tracción, ya que se saltan las depresiones en el camino. Poca precarga derrocha la distancia al suelo en las curvas y causa que la suspensión se comprima totalmente y pierda amortiguación. (PARKS, 2010)

### **2.3 Razón de instalación de una suspensión**

La relación 1:1 del recorrido que existe entre el amortiguador y el neumático se denomina suspensión lineal, 10 mm de recorrido de la rueda significa 10 mm de recorrido del amortiguador cuya analogía esta empleada en las horquillas telescópicas. Cuando se emplean brazos oscilantes la relación no siempre es 1:1, un brazo oscilante actúa como una palanca y la razón de instalación se obtiene de la longitud del brazo medido desde la articulación hasta el eje del neumático, dividido para la longitud medida desde la articulación hasta el terminal de anclaje del amortiguador. Si la distancia entre el eje de rueda y la articulación es el doble que la distancia entre la articulación y el terminal de anclaje del amortiguador tendremos una razón de 2:1, esto significa que 20 mm de recorrido de la rueda implicaran 10 mm de recorrido en el amortiguador. Con una razón de instalación de 1:1 se conseguirá menor deflexión, carreras relativamente elevadas y movimientos relativamente rápidos del pistón logrado un conjunto más compacto sometido a menos tensiones.

### **2.4 Geometría básica de la motocicleta**

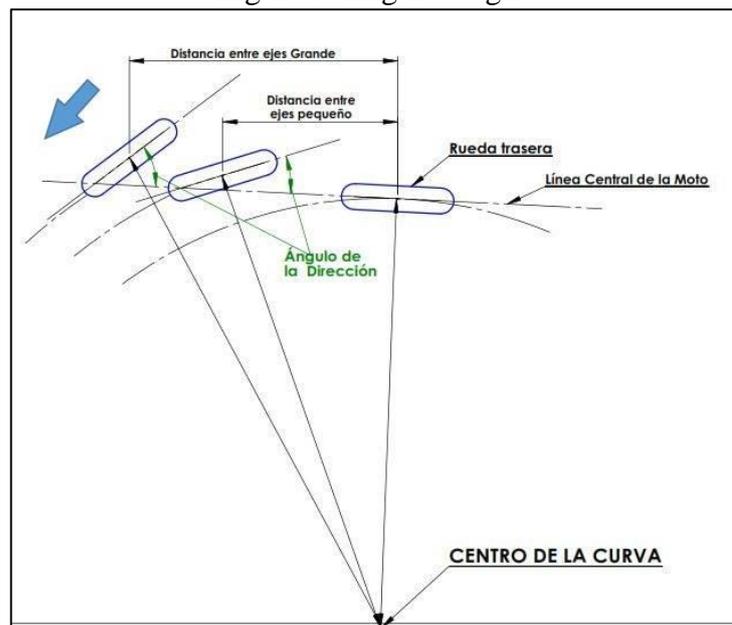
- Consideraciones geométricas

El sistema de suspensión de la motocicleta tiene diferente comportamiento tanto en una trayectoria recta como al tomar una curva, para optimizar y lograr un adecuado funcionamiento se encuentra un punto de equilibrio entre estabilidad y control. Mediante las consideraciones geométricas determinaremos la mejor disposición entre los parámetros mencionados.

**2.4.1** *Distancia entre ejes.* A mayor distancia tenemos mayor estabilidad direccional pero requerimos de un mayor esfuerzo para mantener la dirección estable en las curvas. Las razones que intervienen en este comportamiento son:

Ángulo de giro requerido. Una moto con una distancia entre ejes sumamente grande necesita que la rueda delantera gire con mayor ángulo hacia el interior de la curva, necesariamente aplicaremos un mayor esfuerzo para desplazarnos.

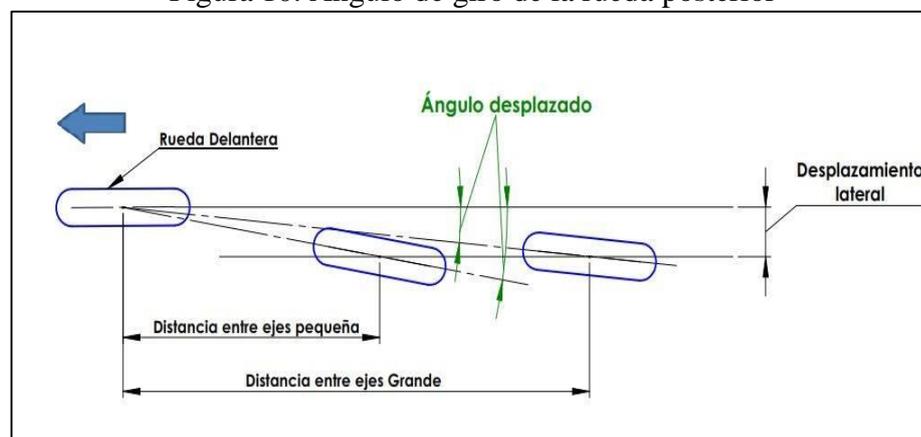
Figura 9. Ángulo de giro



Fuente: (FOALE, 2003, págs. 3-14 a 3-15)

Ángulo de la rueda trasera. Al tener una distancia grande de ejes el ángulo entre la dirección y la rueda trasera es menor obteniendo una buena estabilidad direccional.

Figura 10. Ángulo de giro de la rueda posterior



Fuente: (FOALE, 2003, págs. 3-14 a 3-15)

Efectos de inercia. En la aceleración y frenada de la motocicleta al tener una mayor distancia entre ejes la transferencia de peso se minimiza pero los momentos de inercia de los planos de cabeceo y guiñada aumentan obteniendo una motocicleta más estable. (FOALE, 2003, págs. 3-14 a 3-15).

**2.4.2** *Avance.* Al dejar que el neumático delantero toque el suelo por detrás del punto donde el eje de dirección lo toca, se provoca un efecto de auto centrado. La distancia que existe entre los dos ejes se lo denomina avance. (FOALE, 2003, págs. 3-3)

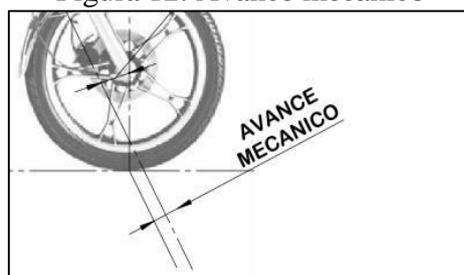
Figura 11. Parámetros geométricos de la dirección



Fuente: Autores

**2.4.3** *Avance mecánico.* Si medimos la distancia que existe entre la huella de contacto del neumático y el eje de dirección a un ángulo recto cualquier fuerza que se genere en el neumático nos va a dar un momento con respecto al eje de dirección. Es así como se podría decir que obtenemos dos avances un avance en el suelo y un avance mecánico. El avance mecánico es aproximadamente el 90 % del avance del suelo. (FOALE, 2003, págs. 3-2)

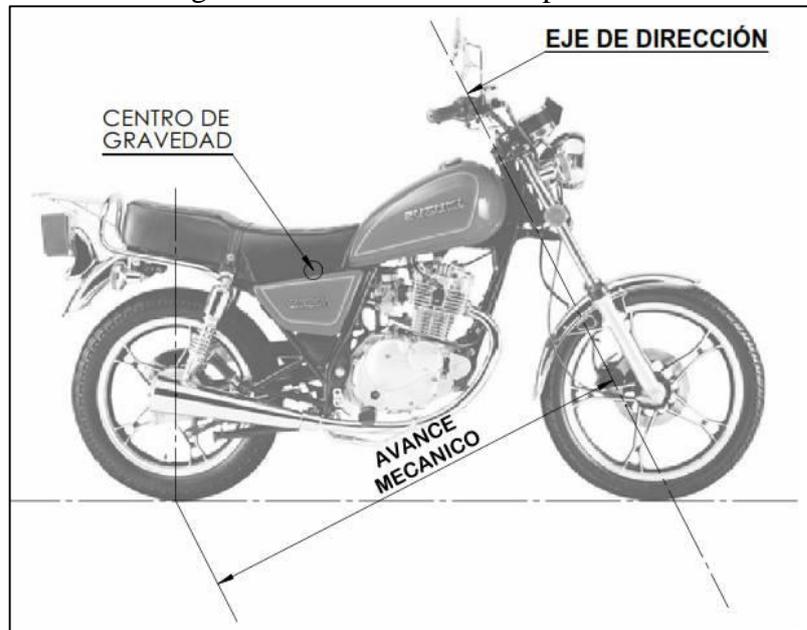
Figura 12. Avance mecánico



Fuente: Autores

**2.4.3.1** *Avance de rueda posterior.* Es la distancia perpendicular desde el eje de dirección al centro de la superficie de contacto de la rueda posterior.

Figura 13. Avance mecánico posterior.



Fuente: Autores

**2.4.4** *Lanzamiento.* Se considera como el ángulo hacia atrás del eje de dirección con respecto a la vertical, este ángulo determina la cantidad de avance de una motocicleta, mientras mayor sea el ángulo mayor estabilidad encontraremos a su vez considerando que para agilidad debe ser menor. Para valores de lanzamiento se considera  $27^\circ$ . (FOALE, 2003, págs. 3-5).

Al frenar la horquilla se hunde ocasionando que el lanzamiento disminuya con el avance, de esta manera la moto es ágil y maniobrable, por efecto de la deflación de la distancia entre ejes. En aceleración la horquilla delantera se extiende y la dirección se torna dura, incrementa el lanzamiento y consecuentemente el avance; esto permite mayor distancia entre ejes, menor maniobrabilidad y aumento de estabilidad.

**2.4.5** *Centro de masas.* El centro de masa (CdM) es el punto de un cuerpo donde se puede considerar que se concentra todo su peso, en una motocicleta debe localizarse lo más bajo permisible, la ubicación horizontal debe ser ajustada de tal forma que el reparto de pesos en las dos ruedas sea tolerable ya que este parámetro afecta directamente reacciones de subviraje y sobreviraje según la posición del centro de masa.

Es esencial que el centro de masas se ubique donde se concentraría todo el peso de la motocicleta para optimizar el comportamiento dinámico de la misma. Para el cálculo, debemos considerar que la moto esta equilibrada y no existe ningún momento debido a la fuerza de gravedad. (FOALE, 2003, págs. 12-6 a 12-8 y A7-1 a A7-3)

Para ello utilizaremos las siguientes formulas:

$$X_{CdM} = \frac{W_t \times L}{W} \quad (4)$$

De donde:

$X_{CdM}$  = Ubicación horizontal del centro de masa desde la rueda delantera [mm].

$W_t$  = Masa que soporta la rueda posterior [kg].

$L$  = Distancia entre ejes [mm].

$W$  = Masa total [kg].

Para la medición de la altura del centro de masas podemos calcular de acuerdo a:

$$H_{CdM} = \frac{L(W_t - W_{t1})}{W \times \tan \theta} + R_m \quad (5)$$

De donde:

$H_{CdM}$  = Altura del centro de masas [mm].

$W_{t1}$  = Masa que soporta la rueda trasera cuando esta elevada en un bloque [kg].

$\theta$  = Ángulo que forma la moto cuando esta elevada.

$R_m$  = Radio medio de las ruedas [mm].

## 2.5 Especificaciones Técnicas

De acuerdo a la normativa del código INEN 136 “MOTOCICLETAS” respetando las condiciones para preservar la seguridad de los ocupantes tomaremos como referencia una motocicleta de 125cc. En la tabla 1 se muestra la ficha técnica de dicha motocicleta estableciendo todos los valores de los elementos más relevantes, los mismos que servirán para dar las primeras pautas de diseño.

Tabla 1 Especificaciones técnicas de la motocicleta GN 125cc H

Motor	4 tiempos, 1 cilindro, motor refrigerado por aire, SOHC, 2 válvulas
Cilindrada	125cc
Longitud total	1,945 mm
Altura total	1,110 mm
Distancia entre ejes	1,280 mm
Peso seco	105 kg
Peso neto	113 kg
Suspensión delantera	Telescópica, amortiguada por aceite
Suspensión posterior	Oscilante, 2 amortiguadores regulación (5)
Rueda delantera	2,75-18 4PR
Rueda posterior	3,50-16 4PR

Fuente: <http://www.suzuki.com.co/motocicletas/gn-125-326>

## 2.6 Mecánica de fluido

**2.6.1** *Características del aceite.* Los aceites en los amortiguadores son generalmente minerales ligeros. A continuación, las tablas 2 y 3 detallan las propiedades más relevantes de un aceite común para horquillas y amortiguadores.

Tabla 2. Aceite para horquilla SAE 10 W marca CASTROL

Características	Aceite CASTROL 10 W
Densidad	0,88 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad a 100 °C	6,3 mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad a 40 °C	32 mm <sup>2</sup> /s
Índice de viscosidad	150
Punto de fluidez	-48 °C
Punto de inflamabilidad	160 °C

Fuente: <http://www.salube.co.za/downloads/tds/fork-oil-10w.pdf>

Tabla 3. Aceite para amortiguador SAE 5 W marca CASTROL

Características	Aceite CASTROL 10 W
Densidad	0,82 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad a 100 °C	5,7 mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad a 40 °C	28,1 mm <sup>2</sup> /s
Índice de viscosidad	150
Punto de fluidez	-54 °C
Punto de inflamabilidad	190 °C

Fuente: [http://msdspds.castrol.com/bpplis/FusionPDS.nsf/Files/12293DA3152C493180257B8D00352452/\\$File/BPXE-98RPD5.pdf](http://msdspds.castrol.com/bpplis/FusionPDS.nsf/Files/12293DA3152C493180257B8D00352452/$File/BPXE-98RPD5.pdf)

**2.6.2 Ecuación de Bernoulli.** La ecuación de Bernoulli da una relación entre la presión estática y la velocidad de flujo. Considerando el flujo desde un depósito (es decir, una región de cero o de la velocidad insignificante) a un punto donde hay una ( $u$ ) velocidad dos, entonces, despreciando las pérdidas. (DIXON, 2007)

$$u = \sqrt{\frac{2(P_{max}-P_{prec})}{\rho}} \quad (6)$$

Las propiedades de flujo de fluido en las tuberías circulares simples han sido ampliamente estudiados, y esto proporciona una guía sobre el comportamiento de flujo en los pasajes de fluencia más complejas. El criterio para esto es el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u_1 D}{\mu} \quad (7)$$

Para una sección circular o aproximadamente circular,  $Re < 2\,000$  laminar,  $Re > 4\,000$  el flujo es turbulento.

Presión dinámica:

$$q = K \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (8)$$

Donde K es el coeficiente de pérdida de presión. El factor de fricción ( $f$ ), tubería está relacionado con la pérdida de presión coeficiente K por lo tanto:

$$K = f \frac{r}{D} \quad (9)$$

$$f = 0,0055 \sqrt[3]{1 + (20\,000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re})} \quad (10)$$

## 2.7 Materiales

La ingeniería de los materiales conlleva a la investigación de varios factores dentro del sistema de suspensión de la motocicleta además del esfuerzo y la deformación que pueden condicionar el diseño.

**2.7.1** *Propiedades de los metales.* Entre las principales propiedades de los materiales tenemos los siguientes:

Elasticidad. Es la capacidad de reacción ante la presencia de una fuerza que tiene un material para deformarse de forma reversible recuperando su estado original.

Ductilidad. Esencial para el diseño ya que indica el grado en que la estructura podrá deformarse antes de producirse la rotura, así como el grado de deformación que puede permitirse durante las operaciones de conformación.

Resiliencia. Es la capacidad de un material para absorber energía elástica cuando se ha deformado y ceder esta energía cuando se deja de aplicar.

Forjabilidad. Es la propiedad que permite que un material pueda modificarse a través de la temperatura.

Tenacidad. Es la capacidad de un material para absorber energía antes de la fractura.

Soldabilidad. Es la propiedad que permite unir dos piezas formando un solo cuerpo. La soldabilidad se aplica solo en algunos metales.

Dureza. Es la resistencia de un material a la formación plástica localizada.

Oxidación. Los metales al estar en contacto con la atmosfera se oxidan ya que en el aire se encuentra una gran cantidad de oxígeno. En metales como el cobre, aluminio, plomo, estaño y zinc, etc. Se forma una pequeña capa de óxido o carbonato que protege al resto del metal, a estos materiales se les denomina impermeables. En metales como el hierro la oxidación penetra el metal destruyéndolo y ocasionando grave daño al elemento que lo dispone. (CALLISTER, 2007, pág. 122)

**2.7.2** *Aceros Aleados.* Un acero al carbono simple es una aleación de hierro y carbono con pequeñas cantidades de manganeso, azufre, silicio y fosforo.

En un acero aleado uno o más de sus elementos a parte del carbono son introducidos en ciertas cantidades para cambiar sus propiedades físicas.

Tabla 4. Efectos del cambio porcentual de materiales comunes en aceros aleados

<b>Materia</b>	<b>Causas al incrementar su porcentaje en una aleación</b>
Cromo	Resistencia al desgaste y Dureza.
Níquel	Mayor tenacidad
	Mayor ductilidad
Manganeso	Funciona como Desoxidante
	Desulfurizante
	Mayor de 1% se denomina una aleación de manganeso ideal para templados en aceite
Silicio	Desoxidante
	En aceros de bajo carbono se produce un material frágil y una alta permeabilidad magnética
	Se utiliza con otros elementos (manganeso, cromo y vanadio) para estabilizar los carburos

Fuente: (KEITH, 2012, págs. 49-50)

**2.7.3** *Aceros resistentes a la corrosión.* Las aleaciones de hierro con un 12% de cromo se les denomina aceros inoxidable, estos aceros son exentos a la mayoría de factores corrosivos. Podemos encontrar dos tipos más relevantes de estos aceros: Cromo Férricos que contienen un porcentaje de Cromo que va desde el 12 – 27 % y el Cromo-Níquel, este acero inoxidable no es susceptible a tratamientos térmicos, para mejorar su resistencia se lo hace mediante el trabajo en frío. (KEITH, 2012, pág. 50)

**2.7.4** *Materiales no ferrosos.* Los materiales no ferrosos tienen aplicación importante debido a sus propiedades. Las aleaciones no ferrosas conllevan un amplio rango de propiedades mecánicas, físicas y eléctricas, buena resistencia a la corrosión y aplicaciones a altas temperaturas.

Tabla 5. Metales no ferrosos

<b>Material</b>	<b>Propiedad</b>
Aluminio	Tiene una buena relación resistencia-peso
	Alta resistencia a la corrosión
	Alta conductividad térmica
	Su costo y resistencia lo hace óptimo para su utilización en la industria
	Se lo puede soldar de forma directa al bronce y estaño
Magnesio	La densidad es aproximadamente 2/3 del aluminio y 1/4 de la del acero
	Se lo puede encontrar en la industria aeronáutica y automotriz
	Se emplea en aplicaciones donde la resistencia no sea importante
	EL magnesio no soporta temperaturas elevadas

Fuente: (KEITH, 2012, págs. 52-55).

## **2.8 Procesos de manufactura**

**2.8.1** *Fundición.* La Fundición es muy utilizada en el proceso de fabricación. El metal previamente fundido es vaciado en moldes en la cual se encuentra la forma deseada determinada como cavidad, las fundiciones de acero son complicadas de producir porque el material alcanza una alta temperatura de fusión.

**2.8.2** *Proceso de metalurgia de polvos.* Es un proceso de producción en masa donde se manejan polvos de un solo metal, o una mezcla de metales y no metales. Consiste en la mezcla mecánica de los polvos, que se compactan en matrices de altas presiones que llegan a una temperatura menor al punto de fusión del metal principal, las partículas se unen y forman una parte fuerte individual. La estructura es diferente de la que se puede obtener si se funden los mismos metales.

**2.8.3** *Procesos de trabajo en caliente.* Procesos a temperaturas elevadas.

**2.8.3.1** *Laminado en caliente.* Se aplica para crear barras de materiales de forma y dimensiones particulares disponibles en muchos tamaños y materiales diferentes. Los materiales más comunes son las aleaciones de acero, aluminio, magnesio y cobre. Los tubos pueden fabricarse mediante el laminado de tiras o placas. Los bordes de la tira se laminan juntos y perforando con un mandril una barra sólida calentada.

**2.8.3.2** *Extrusión.* Este proceso aplica una gran presión a una palanca o pieza bruta de metal calentado, lo cual obliga a esta a fluir a través de un orificio reducido. Este proceso es más común con materiales de bajo punto de fusión.

**2.8.3.3** *Forjado.* Es uno de los métodos más importantes de la fabricación de elementos de alto rendimiento, implica cambiar la forma de una pieza de material ejerciendo vigor en la misma. Los métodos de aplicación de presión incluyen la prensa mecánica, prensa hidráulica y la caída de martillo.

**2.8.4** *Procesos de trabajo en frío.* El trabajo en frío es el formado de metal en temperaturas bajas por lo general a temperatura ambiente. Los elementos experimentan un acabado nuevo brillante, pero poseen la particularidad de ser más exactas y requieren menos maquinado.

**2.8.4.1** *Laminado en frio y el estirado en frio.* Un porcentaje alto de productos se elaboran mediante el laminado en frio y el estirado en frio. El laminado en frio se utiliza para producir tiras y láminas, en el proceso de estirado, las barras laminadas en frio primero se limpian de escamas y luego se estiran jalándolas a través de un dado que reduce el tamaño. El laminado y el estirado en frio no cambian el tamaño de grano sino que únicamente lo distorsiona. El trabajo en frio aumenta la resistencia a la fluencia, la resistencia última, la dureza y disminuye la ductilidad.

**2.8.5** *Estampado.* El estampado es el término que se usa para describir las operaciones de prensa de troquelado tales como siluetado, acuñado, conformado y embutido poco profundo.

**2.8.6** *Recocido.* El material se calienta a una temperatura por encima de la temperatura crítica manteniéndole durante el tiempo suficiente para que el carbono se disuelva y se difunda a través del material, luego se permite que el objeto se enfríe lentamente. Si la transformación es completa, entonces se tiene un recocido completo. El recocido se utiliza para suavizar un material y hacerlo más dúctil, además de refinar la estructura del grano.

**2.8.7** *Templado.* La ausencia del recocido completo indica una rapidez de enfriamiento más acelerada, dicha rapidez es el factor que determina la dureza. La rapidez de enfriamiento controlado se llama templado. El templado en aceite es lento pero impide grietas. El templado en agua es común para aceros al carbono y para aceros al medio carbono de baja aleación.

**2.8.8** *Revenido.* Posteriormente que un elemento se ha endurecido completamente al templarse por encima de la temperatura crítica, se recalienta hasta cierta temperatura menor que la crítica durante un tiempo y luego se permite enfriar. Esto libera el carbono que contiene la martensita, con lo cual se forman cristales de carburo. La estructura que se obtiene se conoce como martensita revenida.

**2.8.9** *Soldadura.* Proceso de unión de dos materiales de forma permanente a través de la coalescencia, lo que implica una combinación de condiciones de presión y de superficie. (SHORTT, 2003, págs. 235-238)

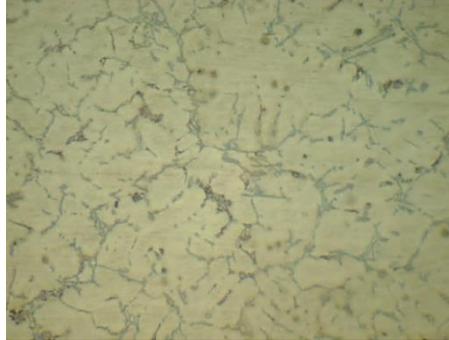
## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE LA SUSPENSIÓN

#### 3.1 Estudio micrográfico de los elementos de la suspensión delantera

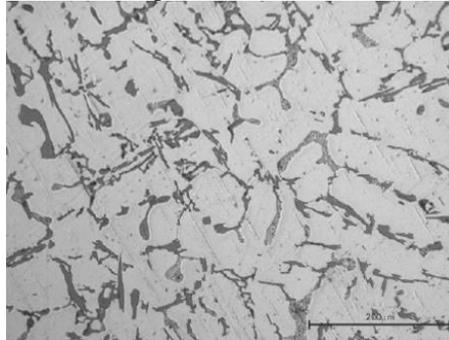
3.1.1 *Caracterización de la botella o tubo exterior.* La probeta extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 14. Micrografía de la botella de suspensión (keller, 100x)



Fuente: Autores

Figura 15. Micrografía aluminio AlSi7Cu3Mg



Fuente:

[http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/Img05d\\_AlSi7Cu3Mg.png](http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/Img05d_AlSi7Cu3Mg.png)

Las microestructuras presentan una mezcla casi eutéctica en aleaciones de silicio eutéctico, se componen de cristales facetados dispersos por la matriz de aluminio, con granos grandes formados por un enfriamiento lento. La dureza es de 45,9 HB a 612 N.

Tabla 6. Reporte espectrométrico de la botella de suspensión

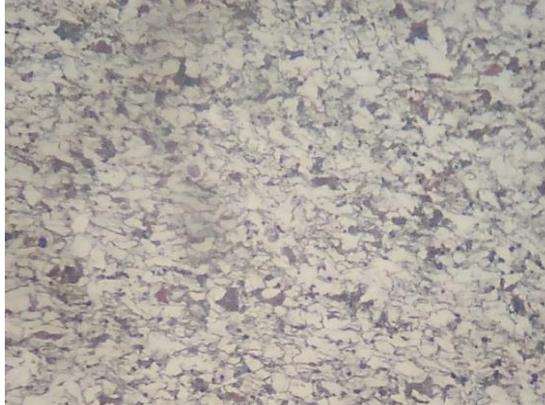
Si [%]	Fe[%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Al [%]
6,174	0,372	2,289	0,110	0,194	0,028	0,21	90,51

Fuente: Autores

Conclusión: La presencia de silicio fortalece al aluminio además de aumentar su fluidez en la colada y su resistencia a la corrosión. Según la micrografía presente y el reporte espectométrico se caracteriza como un aluminio AISI7Cu3Mg.

**3.1.2** *Caracterización del tubo pistón.* La probeta de tubo pistón extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 16. Micrografía tubo pistón (Nital, 200x)



Fuente: Autores

Figura 17. Micrografía acero 1008



Fuente: (MEHL, 1973)

Las imágenes 16 y 17 muestran una matriz ferrítica lo que nos indica bajo contenido de carbono, estos aceros tienen Mn que va desde el 0,20 al 0,60%, son frágiles y tienen una superficie rugosa y microdureza 169 HV a 0,2 kg con un tamaño de grano de 10 ASTM.

Tabla 7. Reporte espectométrico del tubo pistón

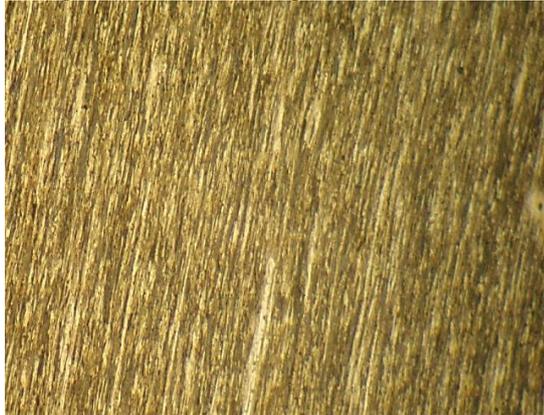
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Fe [%]
0,053	0,203	0,444	0,010	<0,010	0,085	0,063	99,08

Fuente: Autores

Conclusión: El manganeso también promueve la solidez de las piezas fundidas al acero a través de su acción de desoxidación en acero líquido. Según la micrografía presente y el reporte espectrométrico se caracteriza como acero AISI 1008.

**3.1.3** *Caracterizaciones de resortes.* Las probetas de los resortes de la suspensión delantera exponen la micrografía siguiente:

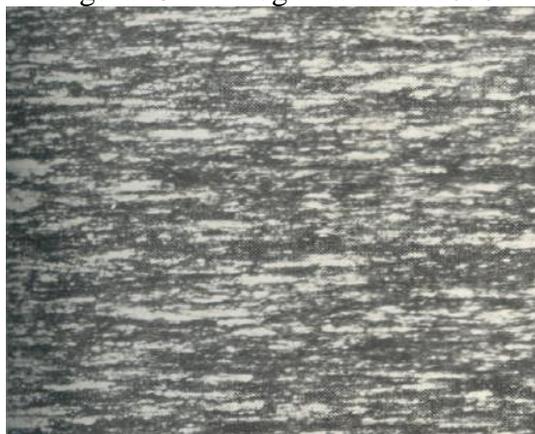
Figura 18. Micrografía sección longitudinal de resortes (nital, 100x)



Fuente: Autores

La sección longitudinal muestra un acero duro trefilado de alambre para válvulas - resortes. La resistencia a la tracción se obtuvo mediante la reducción de la estructura. La microestructura presenta perlita deformada. Se presenta una dureza de 36 RHC.

Figura 19. Micrografía acero 1070

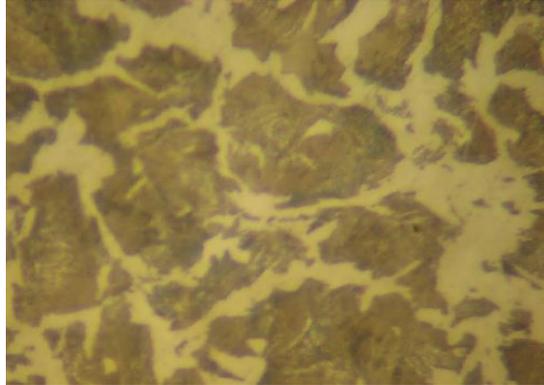


Fuente: (MEHL, 1973)

Conclusión: No se pudo especificar un análisis espectrométrico ya que las medidas de los resortes no cumplen las condiciones para su ejecución. Según el análisis micrográfico entre las figuras 18 y 19 se caracteriza como un acero trefilado AISI 1070.

**3.1.4** *Caracterización de la barra de suspensión.* La probeta extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 20. Sección transversal barra de suspensión (nital, 500x)



Fuente: Autores

Figura 21. Micrografía acero 1045



Fuente: (MEHL, 1973)

En las muestras se presenta una microestructura formada por granos de ferrita y perlita, con una dureza de 229 HB a 1 839 N con un tamaño de grano 9 ASTM. La perlita representada por los granos de color oscuro y la ferrita por la parte blanca (Figs. 20-21).

Tabla 8. Reporte espectométrico de la barra de suspensión

<b>C [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,457	0,252	0,494	<0,01	<0,010	0,054	0,007 8	98,70

Fuente: Autores

**Conclusión:** El análisis expone un acero cuyo contenido de carbono es medio. El carbono y manganeso son variables y dependen de una serie de factores, como las propiedades mecánicas que se requiera. Según la micrografía presente y el reporte espectométrico se caracteriza como un acero AISI 1045 extruido.

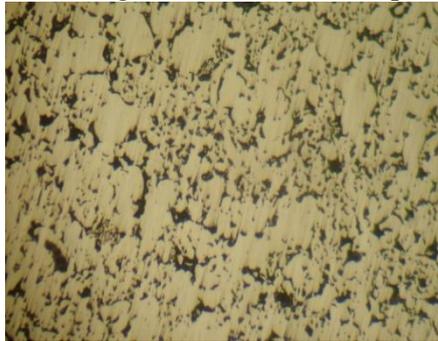
**3.1.5** *Caracterización de materiales de metalurgia de polvo.* Las probetas de bloqueo de aceite y válvulas de horquilla presentan las micrografías siguientes:

Figura 22. Micrografía pieza de bloqueo (100x)



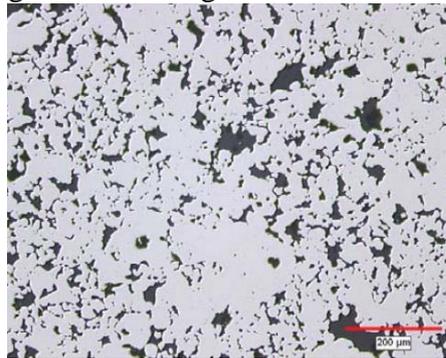
Fuente: Autores

Figura 23. Micrografía válvula de horquilla (100x)



Fuente: Autores

Figura 24. Micrografía MPIF FC-0205



Fuente:

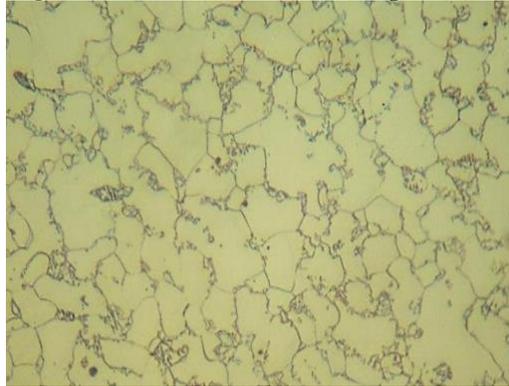
<http://www.gkn.com/hoeganaes/media/Tech%20Library/197.%20Metallographic%20Analysis%20of%20PM%20Fracture%20Surfaces.pdf>

Se reconoció una matriz ferrítica (Figs. 22-23), los poros grandes en cada imagen son el resultado de las partículas de cobre y grafito en forma nodular, esto podría tener una influencia positiva en propiedades mecánicas y en particular en la fatiga de la pieza.

Conclusión: No se pudo especificar un análisis espectrométrico debido al tamaño de los elementos. Según la micrografía (Fig. 24), las probetas se caracterizan como elementos conformados por sintetización de C-Fe-Cu designándolo como MPIF FC-0205.

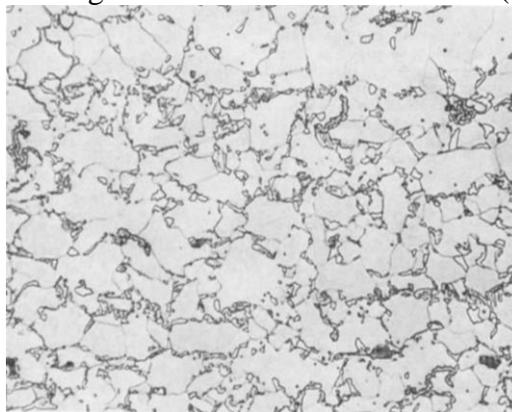
**3.1.6** *Caracterización del tapón roscado.* La probeta extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 25. Micrografía sección transversal tapón roscado (nital, 200x)



Fuente: Autores

Figura 26. Micrografía de doble fase acero 1020 (nital, 250x)



Fuente: [http://www.asminternational.org/documents/10192/1850176/06542G\\_Sample.pdf/dede6563-0f07-473e-9e19-82e29371c5ae](http://www.asminternational.org/documents/10192/1850176/06542G_Sample.pdf/dede6563-0f07-473e-9e19-82e29371c5ae)

Observamos un acero que contiene martensita en una matriz de ferrita (Figs. 25-26), en la microestructura existe un límite de grano notable. La dureza es de 129 HB a 1 838 N con un tamaño de grano de 9 ASTM.

Tabla 9. Reporte espectrométrico del tapón roscado

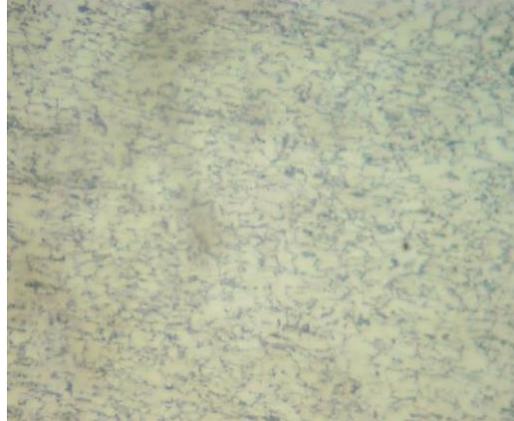
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Fe [%]
0,201	0,203	0,472	<0,010	<0,010	0,168	0,037	98,83

Fuente: Autores

Conclusión: Según el análisis micrográfico la figura 30 es similar con las probetas, el reporte espectrométrico expone 20 % C. Se caracteriza como acero AISI 1020 recocido.

**3.1.7** *Caracterización del casquillo de compresión.* La probeta de la botella de suspensión extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

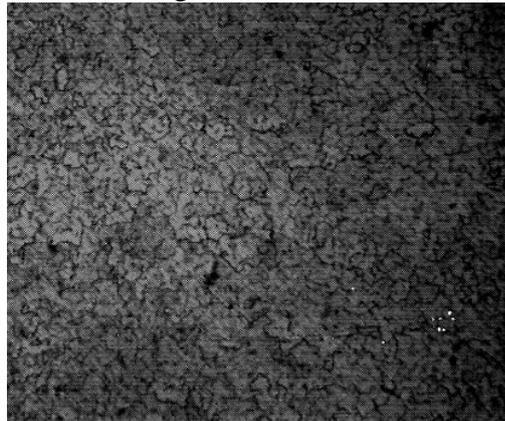
Figura 27. Micrografía casquillo sección transversal (nital, 500x)



Fuente: Autores

La figura 27 presenta una estructura equilibrada de placas martensíticas con perlitas de temple en el contorno de grano. En contraste, la estructura se presenta con un tamaño de grano muy fino.

Figura 28. Micrografía acero AISI 1513 (500x)



Fuente: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/633/644>)

Tabla 10. Reporte espectrométrico del casquillo de compresión

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Al [%]	Fe [%]
0,120	<0,010	1,127	<0,010	<0,010	0,048	0,037	98,62

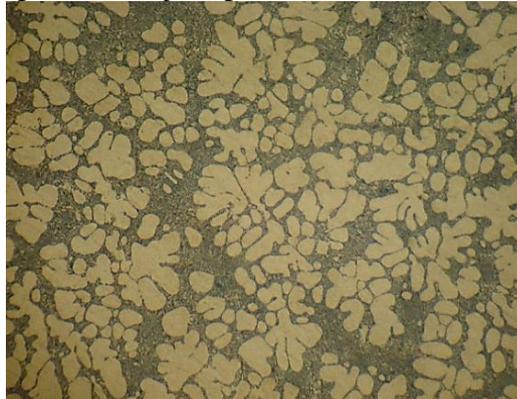
Fuente: Autores

Conclusión: Con el análisis de las micrografías y el reporte espectométrico, presenta un 0,12 % de C y 1,127 % Mn, microdureza 164 HV a 0,2 kg y tamaño de grano 13 ASTM. Se caracteriza como acero AISI 1513.

### 3.2 Estudio micrográfico de los elementos de la suspensión posterior

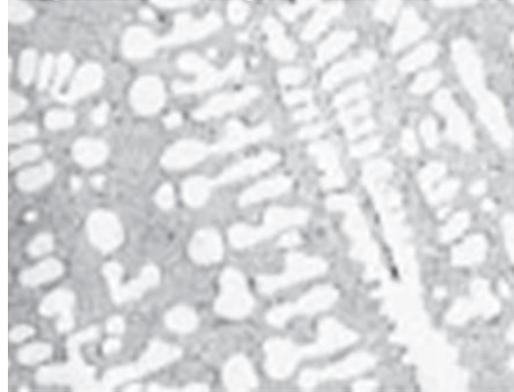
3.2.1 *Caracterización del anclaje superior.* La probeta extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 29. Micrografía anclaje superior sección transversal (keller, 100x)



Fuente: Autores

Figura 30. Micrografía Al-Si9 (100x)



Fuente:[http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/M15\\_S11\\_I1c.png](http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/M15_S11_I1c.png)

Las estructuras de las figuras 29 y 30 se encuentran constituidas por zonas ricas en aluminio, la zona eutéctica contiene microconstituyentes cuya cantidad aumenta a medida que crece el contenido de Silicio. La forma de grano es ondulado, su dureza de 58,4 HB a 0,2 kg y esta modificado mediante la adición de afinadores (Na-Sr), la estructura se redujo significativamente redondeando los granos con uniformidad, esto tiene un efecto positivo en la elongación.

Tabla 11. Reporte espectométrico del anclaje superior del amortiguador

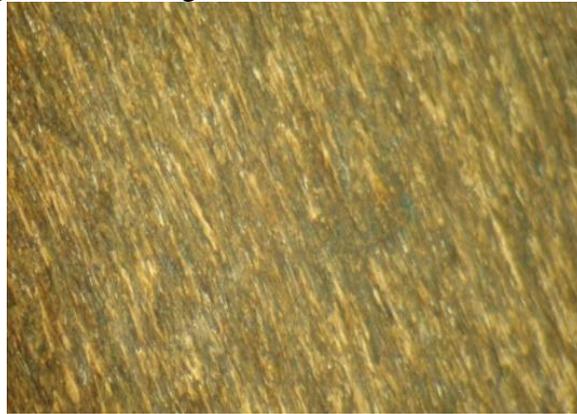
Si [%]	Fe[%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Ti [%]	Zn [%]	Al [%]
9,521	0,475	0,101	0,060	0,050	0,134	0,145	89,42

Fuente: Autores

Conclusión: Según el análisis micrográfico la zona eutéctica se encuentra redistribuida con cristales pequeños permitiendo aumentar la resistencia, el reporte espectométrico, presenta 9,5 % de Silicio. Se caracteriza como aluminio Al-Si9.

**3.2.2** *Caracterización de resortes.* Las probetas extraídas y preparadas para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 31. Micrografía resorte exterior (nital, 100x)



Fuente: Autores

Figura 32. Micrografía resorte interior (nital, 100x)



Fuente: Autores

Las estructuras de las figuras (31-32) expone perlita deformada, la sección longitudinal muestra un acero duro trefilado de alambre para resortes. La resistencia a la tracción se obtuvo mediante la reducción de la estructura. La microdureza es de 36 HRC.

Figura 33. Micrografía acero 1070 (100x)



Fuente: (MEHL, 1973)

Tabla 12. Reporte espectrométrico del resorte exterior

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Fe [%]
0,653	0,240	0,918	0,081	0,024	0,189	0,064	97,71

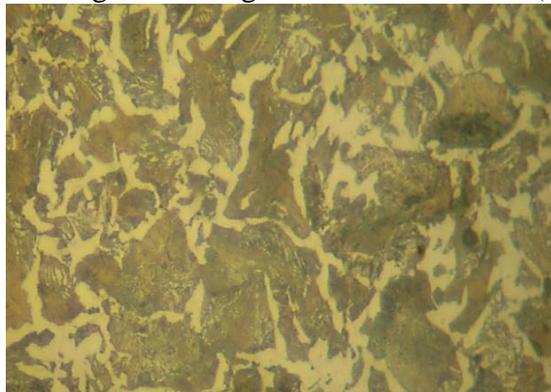
Fuente: Autores

Conclusión: Según la comparación de las microestructuras (Figs. 31-32) con la microestructura de la figura 33 y el reporte espectrométrico se puede notar que el índice de carbono es de 0,65 % caracterizándose como un alambre de acero AISI 1070.

**3.2.3** *Caracterización del vástago.* Para el análisis del vástago del amortiguador no especificará un análisis espectrométrico debido a que el elemento no cumple con las medidas para su ejecución, para lo cual se efectuará el proceso metalográfico cuya probeta previamente preparada se atacara químicamente con Nital visualizada con el microscopio a 500x.

La probeta extraída y preparada para el análisis expone la siguiente metalografía:

Figura 34. Micrografía vástago sección transversal (nital, 500x)



Fuente: Autores

Figura 35. Micrografía acero 1045



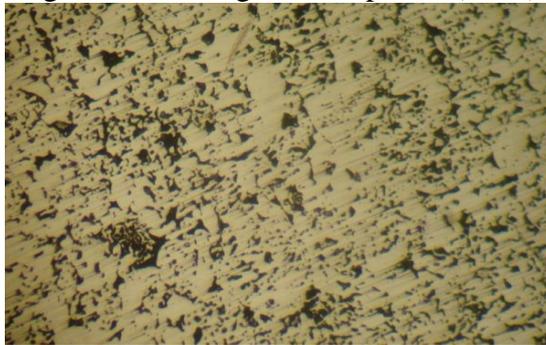
Fuente: (MEHL, 1973)

La microestructura (Fig. 34) presenta ferrita y perlita, con un tamaño de grano 9 ASTM y dureza de 280 HB

Conclusión. Al comparar las microestructuras ( Figs.34-35), según el tamaño de grano se llegó a concluir como un acero AISI 1045.

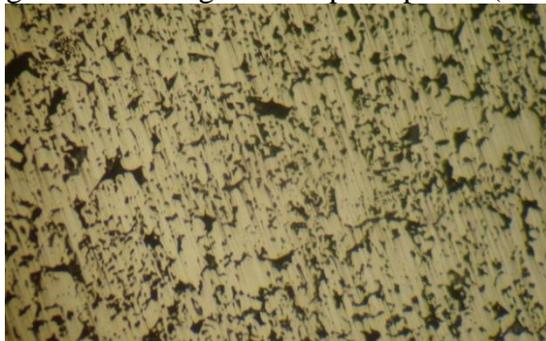
**3.2.4** *Caracterización de materiales de metalurgia de polvo.* Las probetas (pistón, porta-pistón y sello del amortiguador) exponen la micrografía siguiente:

Figura 36. Micrografía del pistón (100x)



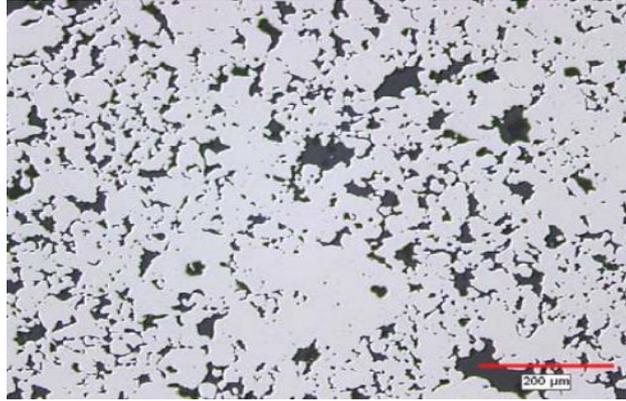
Fuente: Autores

Figura 37. Micrografía del porta pistón (100x)



Fuente: Autores

Figura 38. Micrografía MPIF FC-0205



Fuente:

<http://www.gkn.com/hoeganaes/media/Tech%20Library/197.%20Metallographic%20Analysis%20of%20PM%20Fracture%20Surfaces.pdf>

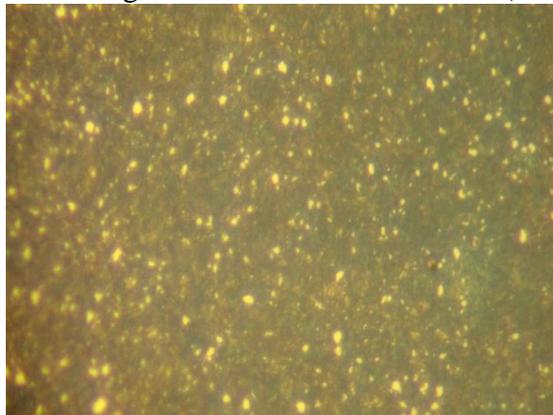
Se reconoció una matriz ferrítica (Figs. 36-37), los poros grandes en cada imagen son el resultado de las partículas de cobre y grafito en forma nodular, esto podría tener una influencia positiva en propiedades mecánicas y en particular en la fatiga de la pieza.

Las dimensiones y el diseño de estos elementos no permitieron preparar las probetas necesarias para el análisis por espectrometría.

Conclusión. Según el análisis micrográfico al relacionar micrografía de la figura 38 se caracteriza como elementos conformados por sintetización de C-Fe-Cu designándolo como MPIF FC-0205.

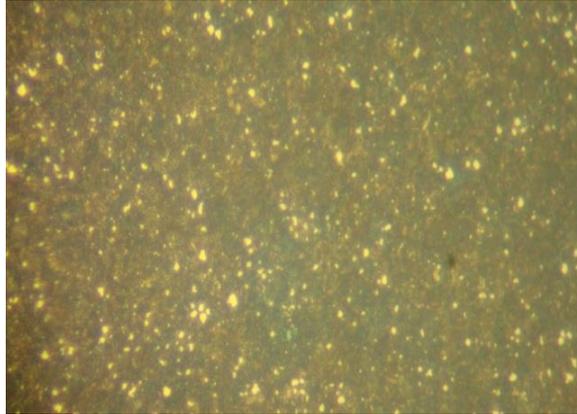
**3.2.5** *Caracterización de resortes de disco.* Las probetas extraídas y preparadas para el análisis exponen la micrografía siguiente:

Figura 39. Micrografía del resorte de orificios (nital, 500x)



Fuente: Autores

Figura 40. Micrografía resorte llano (nital, 500x)



Fuente: Autores

Figura 41. Micrografía acero inoxidable templado



Fuente:<http://es.slideshare.net/auladetecnologias/constituyentes-de-los-aceros-2481664>

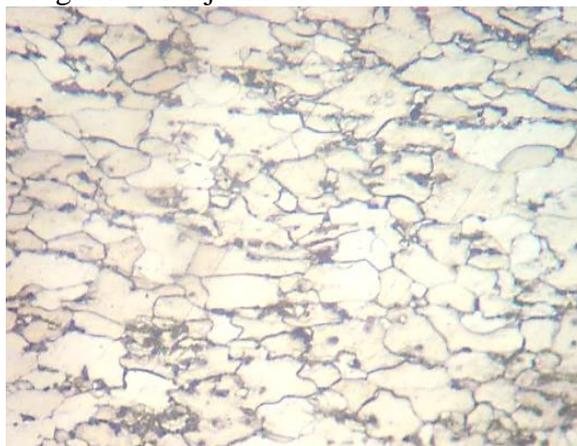
Al analizar la micrografía se ha observado que existe martensita revenida producto de un tratamiento térmico (temple y revenido) acompañado de finos carburos esferoidizados (Figs. 39-40).

Conclusión. Mediante la investigación, al analizar el material se deduce que se trata de un acero inoxidable (magnético).

Los principales aceros inoxidables para muelles de platillo son AISI 301 (Austenítico), AISI 631 e Inconel 718 (no magnético). Por cuanto se concluye que se trata de un acero inoxidable AISI 631.

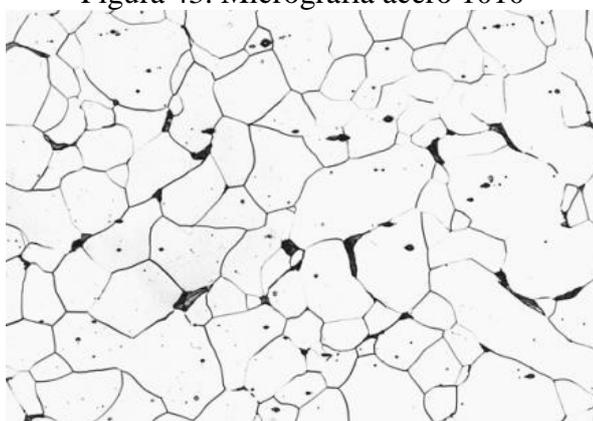
**3.2.6** *Caracterización del anclaje inferior.* El anclaje inferior presenta dos elementos soldados entre sí mediante el estudio se determinó que se tratan de materiales iguales la probeta extraída y preparada para el análisis expone la micrografía siguiente:

Figura 42. Micrografía anclaje inferior sección transversal (nital, 500x)



Fuente: Autores

Figura 43. Micrografía acero 1010



Fuente: (BENSCOTER & O., 2002, pág. 4)

La figura 42 muestra un nivel de carbono bajo, se evidencia perlita en una matriz ferrítica, estos aceros tienen Mn que va desde el 0,20 al 0,60 %. La dureza de 167 HB a 1 839 N con un tamaño de grano 11 ASTM. Estos tipos de aceros contienen un alto contenido de hierro.

Tabla 13. Reporte espectrométrico del anclaje inferior

C [%]	Cr [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Cu [%]	Fe [%]
0,119	0,068	0,359	<0,01	<0,01	0,216	0,01	99,19

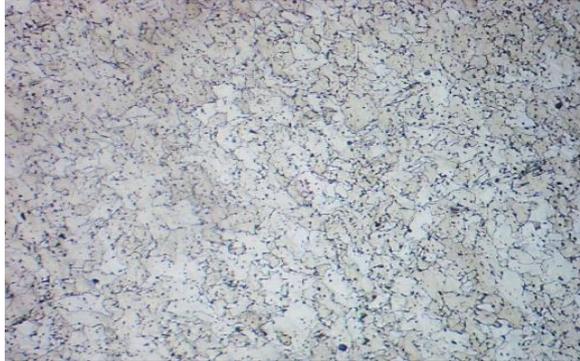
Fuente: Autores

Conclusión: Según la espectrometría el contenido de carbono es 0,119 %, seguido de un 0,35 % de Mn comúnmente encontrado con este tipo de porcentajes en aceros de bajo carbono, mediante la micrografía de matriz ferrítica (Fig. 43) y el rango de valores se caracteriza como un acero AISI 1010.

**3.2.7** *Caracterización de materiales de bajo carbono.* Los elementos de la suspensión como son; el regulador, tapa de muelle, tope de muelles son elementos que no presentan un alto contenido de carbono debido a su función y utilización en el sistema de suspensión posterior (amortiguador). Sin embargo el análisis microestructural y la espectrometría determinarán las características de los mismos.

Las probetas extraídas y preparadas para el análisis exponen las micrográficas siguientes:

Figura 44. Micrografía del regulador (nital, 100x)



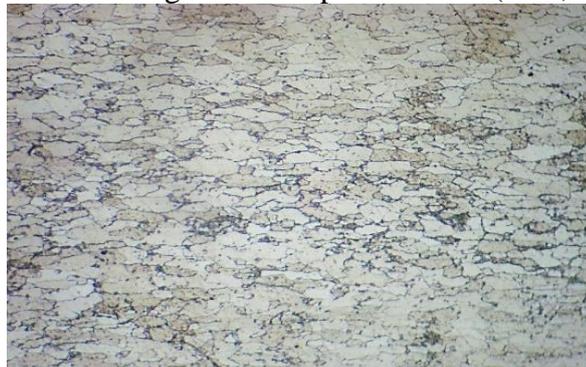
Fuente: Autores

Figura 45. Micrografía de la tapa del resorte (nital, 100x)



Fuente: Autores

Figura 46. Micrografía del tope de resorte (nital, 100x)



Fuente: Autores

Figura 47. Micrografía acero 1006 (nial, 100x)



Fuente: (MEHL, 1973)

Los resultados del análisis metalográfico realizado a los tres aceros presentados (Figs. 44-45-56) revelaron una microestructura de matriz ferrítica con granos alargados como consecuencia del proceso de laminado. Sin embargo, se hace evidente la diferencia en las dimensiones de los granos de cada una de las figuras que coincide con el contenido de elementos refinadores de grano esto se evidencia en la espectrometría de cada muestra.

Tabla 14. Ensayo de dureza de elementos de bajo contenido de carbono

<b>Designación</b>	<b>Regulador</b>	<b>Tapa del resorte</b>	<b>Tope del resorte</b>
Dureza/Microdureza	152 HB 1839 N	141 HV 0,2 kg	145 HV 0,2 kg
Tamaño de grano	11 ASTM	11 ASTM	11 ASTM

Fuente: Autores

Tabla 15. Reporte espectrométrico del regulador

<b>C [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,031	0,053	0,131	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	99,72

Fuente: Autores

Tabla 16. Reporte espectrométrico la tapa del muelle

<b>C [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,026	0,070	0,163	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	99,60

Fuente: Autores

Tabla 17. Reporte espectrométrico el tope del muelle

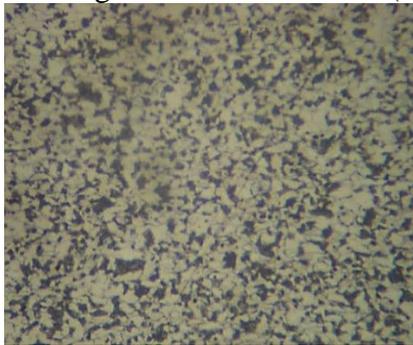
<b>C [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,053	0,060	0,232	<0,01	<0,01	<0,01	0,031	99,51

Fuente: Autores

Conclusión: Los porcentajes de carbono del regulador, la tapa del muelle y el tope de muelle poseen contenidos no superiores a 0,05 %, al ser analizado con la figura 47 y además de los parámetros mencionados anteriormente se establece como un AISI 1006, este acero es utilizado en elementos donde su resistencia a la tracción sea de menor importancia o donde se requiere un doblado y buena soldabilidad.

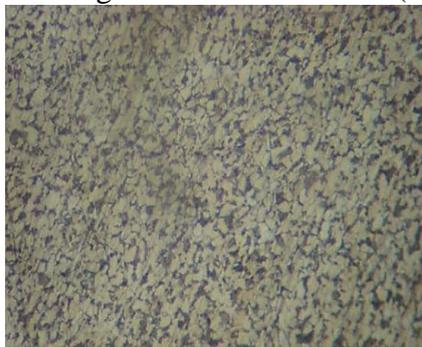
**3.2.8** *Caracterización de los cilindros del amortiguador.* Las probetas extraídas y preparadas para el análisis exponen la micrografía siguiente:

Figura 48. Micrografía cilindro interior (nital, 200x)



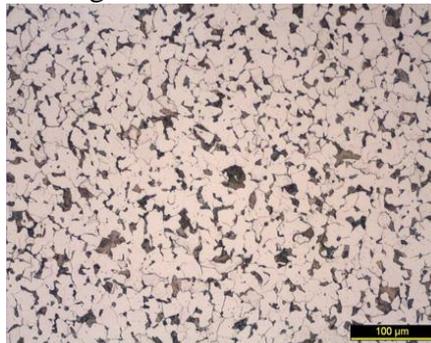
Fuente: Autores

Figura 49. Micrografía cilindro exterior (nital, 100x)



Fuente: Autores

Figura 50. Micrografía acero normalizado 1020 (200x)



Fuente: [http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/Fig\\_3\\_39\\_C20.jpg](http://search.totalmateria.com/Content/static/Metallography/Fig_3_39_C20.jpg)

El análisis metalográfico reveló que, el material presenta una microestructura laminada, constituida por granos de ferrita y perlita (Fig. 48-49). Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas de mediana resistencia varía de acuerdo al proceso de laminado. El tamaño de grano y dureza se expresa en la tabla 18.

Tabla 18. Ensayo de microdureza de elementos de bajo contenido de carbono

<b>Cilindro interior</b>	<b>Cilindro exterior</b>	<b>Tamaño de grano</b>
187 HV 0,2 kg	195 HV 0,2 kg	12 ASTM

Fuente: Autores

Tabla 19. Reporte espectrométrico del cilindro interior

<b>C [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,194	0,131	0,377	<0,01	<0,01	0,255	0,007	98,94

Fuente: Autores

Tabla 20. Reporte espectrométrico del cilindro exterior

<b>C [%]</b>	<b>Cr [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Fe [%]</b>
0,220	0,083	0,372	<0,01	<0,01	0,239	0,009	99,04

Fuente: Autores

Conclusión: Basándonos en la comparación microestructural de la figura 50 y el porcentaje de carbono deducimos que se presenta un acero AISI 1020 sus aplicaciones son extensas en la industria automotriz donde la resistencia al desgaste es importante. Se puede utilizar en secciones muy delgadas.

El examen microscópico proporciona información importante sobre la constitución del metal o aleación, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño, y distribución de grano, inclusiones y micro estructura metalografía en general.

La microestructura puede reflejar la historia completa del tratamiento mecánico o térmico que ha sufrido el metal de esta manera se puede establecer los procesos con los que fueron conformados cada elemento.

En la tabla 21 se expone un resumen de los materiales de cada componente con sus especificaciones.

Tabla 21. Materiales de los elementos de la suspensión

Resumen de materiales						
Elemento	Material	Módulo elástico [GPa]	Límite elástico [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	
<b>Suspensión delantera</b>						
1	Botella	AISI7Cu3	72,6	100,0	180,0	2,7
2	Tubo pistón	AISI 1008	200,0	285,0	340,0	7,87
3	Resorte	AISI 1070	200,0	689,7	1467,6	7,87
4	Barra	AISI 1045	206,0	405,0	675,0	7,85
5	Bloqueo de Aceite	MPIF FC-0205-40	120,7	310,0	345,0	6,7
6	Válvula de Aceite	MPIF FC-0205-40	120,7	310,0	345,0	6,7
7	Tapón Roscado	AISI 1020	186,0	330,0	450,0	7,87
8	Casquillo	AISI 1513	200,0	415,0	520,0	7,85
<b>Suspensión posterior</b>						
1	Anclaje Superior	(Al-Si9)	74,0	120,0	230,0	2,67
2	Resorte Exterior	AISI 1070	200,0	385,0	703,0	7,87
4	Vástago	AISI 1045	206,0	405,0	675,0	7,85
5	Pistón	MPIF FC-0205-40	120,7	310,0	345,0	6,7
6	Tope del Pistón	MPIF FC-0205-40	120,7	310,0	345,0	6,7
7	Sello Amortigua	MPIF FC-0205-40	120,7	310,0	345,0	6,7
8	Resorte de Disco	AISI 631	193,0	700,0	1 000,0	7,9
9	Anclaje Inferior	AISI 1010	205,0	305,0	365,0	7,87
10	Regulador	AISI 1006	206,0	210,0	330,0	7,872
11	Tope del Resorte	AISI 1006	206,0	210,0	330,0	7,872
12	Obturador Cilindro	AISI 1006	206,0	210,0	330,0	7,872
13	Cilindro Interior	AISI 1020	186,0	330,0	450,0	7,87
14	Cilindro Exterior	AISI 1020	186,0	330,0	450,0	7,87

Fuente: <http://www.matweb.com/errorUser.aspx?msgid=2&ckck=nocheck>

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE LA MOTOCICLETA

En este capítulo se expondrán los principales esfuerzos a los que la suspensión está sometida. Las distintas condiciones que se presentan muestran los instantes de máximo esfuerzo durante el desempeño de la motocicleta.

Los cálculos de estos datos son valiosos para el diseño tanto el teórico como para el análisis por elementos finitos, el cual establecerá la optimización del diseño.

El análisis se inicia estableciendo previamente una serie de parámetros en cuanto a peso y geometría: El peso total de la motocicleta sin ocupantes como la distancia entre ejes, radio de neumático, ángulo de lanzamiento y geometría de la suspensión trasera y demás dimensiones serán referenciadas de una motocicleta de 125cc. La información requerida se expone en la tabla 1.

#### 4.1 Cálculo del centro de masa

Para el siguiente cálculo se estableció los pesos que soporta cada rueda de la motocicleta de esta forma se halla el porcentaje que soporta cada componente constatando que la distribución es de 50-50 que concuerda con lo fundado en el capítulo 2 apartado 2.4.5 de la ubicación del centro de masa.

El peso que soporta la rueda posterior es de 56,5 kg por tanto para simplificar el cálculo del peso de la rueda trasera elevada se construyó un banco de cerca 1/3 de la distancia entre ejes siendo la altura equivalente a 426,6 mm así se obtuvo el valor de 56,39 kg. (FOALE, 2003, págs. A7-4)

Los radios de las ruedas traseras se obtuvieron del catálogo IRC Tire siendo de 308,5 mm para la rueda delantera y de 296 mm para la posterior. (TIRE, 2015)

Tomando la ecuación (4) y (5) que establece que el centro de masas es:

$$X_{CdM} = \frac{W_t \times L}{W}$$

$$X_{CdM} = \frac{56,5 \text{ kg} \times 1\,280 \text{ mm}}{113 \text{ kg}}$$

$$X_{CdM} = 640 \text{ mm.}$$

$$H_{CdM} = \frac{L(W_t - W_{t1})}{W \times \tan \theta} + R_m$$

$$R_m = 302,25 \text{ mm}$$

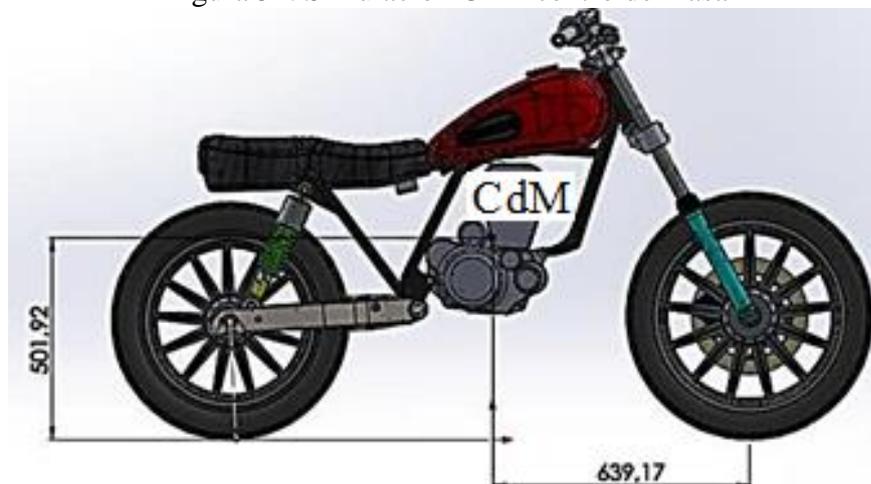
$$\theta = \frac{426,6 \text{ mm}}{1\,280 \text{ mm}} = 0,333$$

$$H_{CdM} = \frac{1\,280 \text{ mm} (56,5 \text{ kg} - 56,39 \text{ kg})}{113 \text{ kg} \times \tan 0,333} + 302,25 \text{ mm}$$

$$H_{CdM} = 516,6 \text{ mm}$$

**4.1.1 Verificación con software CAD.** La verificación de resultados se ejecutó por medio de Software CAD, las dimensiones de la motocicleta del chasis basculante y demás elementos se fundó en base a valores reales de la motocicleta que se mencionó anteriormente como una de las referencias del estudio señalado.

Figura 51. Simulación CAD centro de masa



Fuente: Autores

La imagen 51 muestra datos de la simulación cuyo contenido se expone en la tabla 22

Tabla 22. Resultados de la simulación del centro de masa

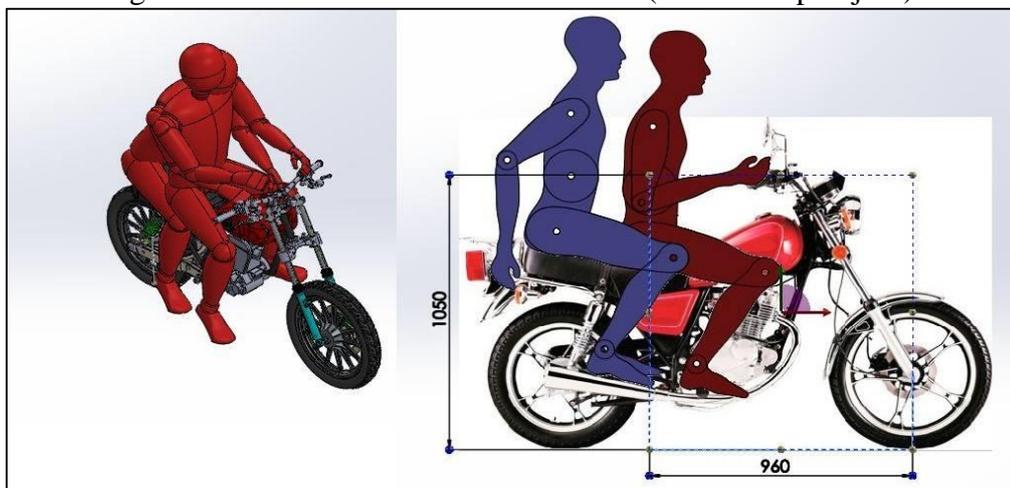
	Datos por software [mm]	Datos calculados [mm]	Promedio [mm]
Altura	501,92	516,60	509,26
Distancia	639,17	640,00	639,58

Fuente: Autores

#### 4.2 Cálculo del centro de masa para la condición de dos personas

Para este ítem se estableció diferentes posiciones para el pasajero y de esa manera tratar de realizar un análisis más real, esta condición es la que posteriormente se analizará exhaustivamente para otro tipo de parámetros ya que es una situación común y conlleva a circunstancias donde más interviene la suspensión tanto delantera como posterior. Se concordo realizar este estudio por medio de un software CAD ya que anteriormente se comprobó su efectividad en la obtención de resultados.

Figura 52. Simulación del centro de masa (conductor-pasajero)



Fuente: Autores

Tabla 23. Datos del centro de masas (conductor-pasajero)

Posición del pasajero	Altura centro de masa [mm]	Distancia desde el eje de la rueda delantera [mm]
Manos en la cintura del conductor (inclinado)	1 029,52	927,57
Manos en la cintura del conductor (ángulo recto)	1 065,49	993,98
Manos en soportes posteriores de la moto	1 055,36	958,72
Promedio	1 050,12	960,09

Fuente: Autores

### 4.3 Análisis de cargas en reposo

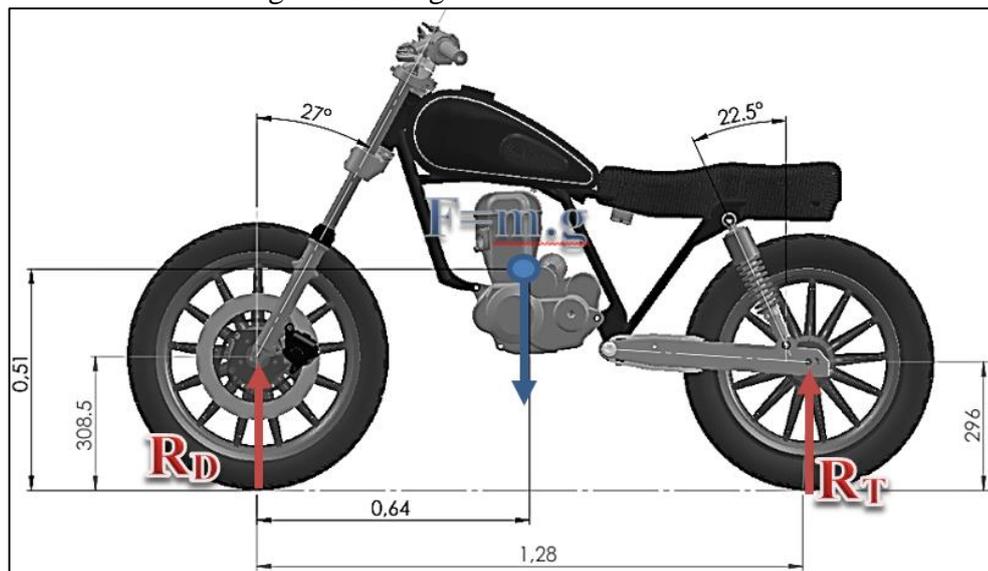
A continuación hallaremos las fuerzas  $F_{HI}$ ,  $F_{AI}$  que representan las cargas que deben soportar una horquilla y un amortiguador respectivamente cuando la motocicleta permanece en equilibrio sobre una superficie horizontal.

Cada una de estas fuerzas son las que se aplican directamente en cada elemento.

Al colocarse el amortiguador en un punto más cercano al eje de pivote del basculante deducimos la razón de instalación previamente examinado de este modo se aproxima el resultado lo más real posible.

Un punto importante es el peso neto de la moto de 113 kg y el valor de la gravedad que para nuestro proceso es de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Figura 53. Cargas en estado estacionario



Fuente: Autores

$$\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_D + R_T = 1,11 \text{ kN}$$

$$\curvearrowright \Sigma M_D = 0$$

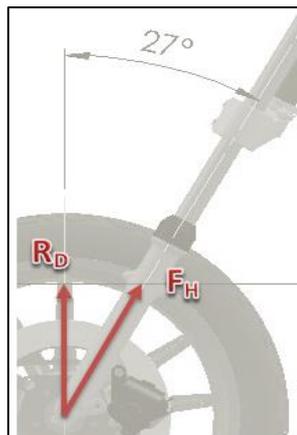
$$0,64 \text{ m} \times 1,11 \text{ kN} - 1,28 \text{ m} \times R_T = 0$$

$$R_T = 555 \text{ N}$$

$$R_D = 555 \text{ N}$$

**4.3.1** *Fuerza aplicada en la horquilla.* La fuerza aplicada en la horquilla se denomina  $F_H$  para hallar la fuerza en una sola barra dividimos la fuerza total entre las dos barras que conforman el conjunto.

Figura 54. Fuerza en la horquilla



Fuente: Autores

$$\cos 27^\circ = \frac{R_D}{2F_{H1}}$$

$$F_{H1} = 311,5 \text{ N}$$

**4.3.2** *Fuerza aplicada en el amortiguador.* La razón de instalación del amortiguador es de 1,119 ( Razon de instalación  $\approx$  1:1) con este valor se obtiene la fuerza vertical ejercida en el amortiguador.

Figura 55. Ubicación de la razón de instalación y aplicación de cargas

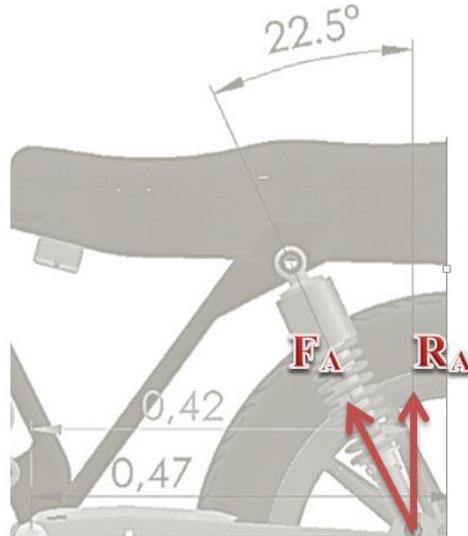


Fuente: Autores

$$R_A = R_T \times (0,47 \div 0,42)$$

$$R_A = 621 \text{ N}$$

Figura 56. Fuerza en el amortiguador



Fuente: Autores

$$\cos 22,5^\circ = \frac{R_A}{F_A}$$

$$F_A = 672,165 \text{ N}$$

Fuerza aplicada en un amortiguador:

$$F_{A1} = 336 \text{ N}$$

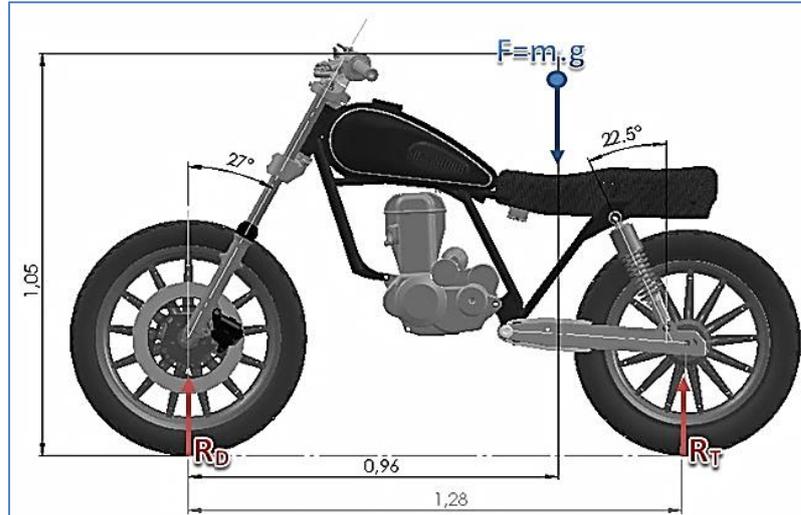
#### 4.4 Análisis de cargas en reposo con dos personas

Las cargas máximas que soporta cada mecanismo de la suspensión están dadas por esta situación es por ello que el resto de cálculos se centran en esta única condición.

El peso de una persona de 1,80 m se convino de 75 kg al ser dos personas el peso adicional es de 150 kg. Mas el peso neto de la moto de 113 kg.

Fundamos un peso bruto de 263 kg. Los cálculos restantes se detallaron en el ítem anterior y de la misma forma se procedió para los nuevos resultados.

Figura 57. Cargas en estado estacionario (2 personas)



Fuente: Autores

$$R_D + R_T = 2,58 \text{ kN}$$

$$0,96 \text{ m} \times 2,58 \text{ kN} - 1,28 \text{ m} \times R_T = 0$$

$$R_T = 1,935 \text{ kN}$$

$$R_D = 0,645 \text{ kN}$$

$$\cos 27^\circ = \frac{R_D}{2F_{H1}}$$

$$\cos 27^\circ = \frac{0,645 \text{ kN}}{2F_{H1}}$$

$$F_{H1} = 362 \text{ N}$$

$$R_A = R_T \times (1,119)$$

$$R_A = 2,165 \text{ kN}$$

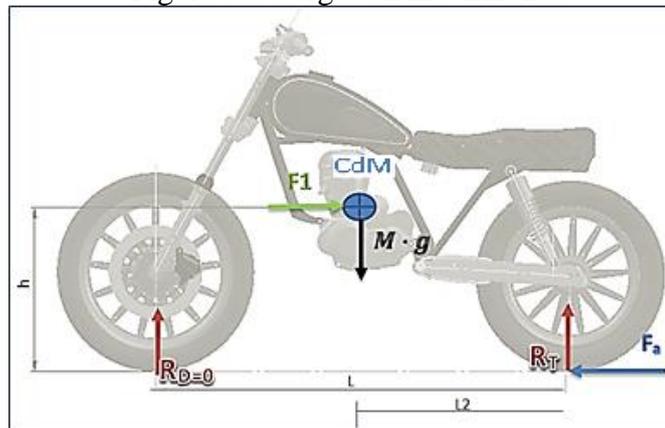
$$\cos 22,5^\circ = \frac{R_A}{2F_{A1}}$$

$$F_{A1} = 1,172 \text{ kN}$$

#### 4.5 Análisis de cargas en movimiento

Si consideramos que en aceleración máxima la rueda delantera perdería adherencia en el caso más desfavorable, anulando las cargas en la rueda de este modo y aplicando las leyes de newton obtenemos el siguiente esquema.

Figura 58. Cargas en movimiento.



Fuente: Autores

$$\rightarrow_{+} \Sigma F_x = 0$$

$$F_1 = F_a$$

$$\uparrow_{+} \Sigma F_y = 0$$

$$R_T - M \times g = 0$$

$$\overset{\sim}{\Sigma} M_{CdG} = 0$$

$$F_a \times h - R_T \times L_2 = 0$$

Para el caso de que se encuentre dos ocupantes en la motocicleta el valor de  $R_T$  es:

$$R_T = 2,58 \text{ kN}$$

$$F_a = 2,58 \text{ kN} \times (0,32 \text{ m}/1,05 \text{ m})$$

$$F_a = 0,786 \text{ kN}$$

El valor de la fuerza  $F_a$  en nuestro caso no perturba al amortiguador ya que la fuerza se aplica directamente entre la carretera y el neumático.

La fuerza que actúa en el amortiguador posterior es:

$$R_A = R_T \times (1,119)$$

$$R_A = 2,58 \text{ kN} \times (1,119)$$

$$R_A = 2,887 \text{ kN}$$

$$\cos 22,5^\circ = \frac{R_A}{2F_{A1}}$$

$$F_{A1} = 1,562 \text{ kN}$$

**4.5.1** *Aceleración máxima sin perder adherencia.* Para determinar la aceleración máxima que puede dar el conductor sin perder adherencia se tomaran en cuenta los siguientes datos:

Coefficiente de rozamiento  $\mu = 0,8$ , masa de la motocicleta dos ocupantes  $M = 263 \text{ kg}$ , masa del neumático  $m = 15 \text{ kg}$ , altura al centro de masa  $h = 0,742 \text{ m}$  respecto al eje de rueda, distancia  $L_1 = 0,96 \text{ m}$ ,  $L_2 = 0,32 \text{ m}$ , radio del neumático  $R = 0,308 \text{ m}$ .

Para determinar la inercia del neumático se consideró un cilindro hueco que gira entorno a un eje,  $I = 1,024 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ .

$$a_0 \leq \frac{\mu_f g (L_2 m + L_1 (M + m))}{(L_1 + L_2) \left( M + 2m + \frac{I}{R^2} \right) - HM\mu_f}$$

$$a_0 \leq \frac{0,8 \times 9,8 (0,32 \times 15 + 0,96 (263 + 15))}{(0,96 + 0,32) \left( 263 + 30 + \frac{1,024}{0,308^2} \right) - 0,742 \times 263 \times 0,8}$$

$$a_0 \leq 9,14 \text{ m/s}^2$$

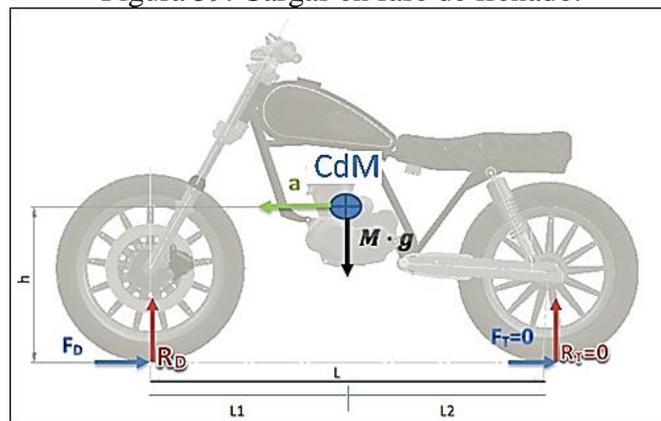
- Fuerzas presentes en aceleración máxima

$$F_{ay} = \frac{M(gL_2 - a_0H)}{L_1 + L_2} = \frac{263(9,8 \times 0,32 - 9,14 \times 0,741)}{0,96 + 0,32} = 747,23 \text{ N}$$

$$F_{ax} = \left(m + \frac{I}{R^2}\right) a_0 = \left(15 + \frac{1,024}{(0,31)^2}\right) 9,14 = 234,49 \text{ N}$$

**4.5.2** *Análisis de cargas en fase de frenado.* En el instante de la desaceleración la carga de un neumático se reduce, creciendo en el neumático opuesto. Se asume que solo se frena con la rueda delantera ya que ocurrirán las cargas más extremas, en el caso más desfavorable la carga de la rueda trasera llegaría a ser cero anulando la carga estática y la fuerza de frenado en dicha rueda.

Figura 59. Cargas en fase de frenado.



Fuente: Autores

$$\rightarrow_+ \Sigma F_x = m \cdot a$$

$$F_D = M \cdot a$$

$$\uparrow_+ \Sigma F_y = 0$$

$$R_D - M \cdot g = 0$$

$$\curvearrowright \Sigma M_{CdM} = 0$$

$$-F_D \cdot h + R_D \cdot L1 = 0$$

De lo expuesto anteriormente tenemos que la carga dinámica  $R_D$  es:

$$R_D = 2,58 \text{ kN}$$

$$R_D = 2,58 \text{ kN} \frac{0,96 \text{ m}}{1,05 \text{ m}}$$

$$R_D = 2,359 \text{ kN}$$

Para la horquilla se deduce:

$$\cos 27^\circ = \frac{R_D}{2F_{H1}}$$

$$\cos 27^\circ = \frac{2,359 \text{ kN}}{2F_{H1}}$$

$$F_{H1} = 1,448 \text{ kN}$$

Al instante de frenar el peso de la moto se desplaza hacia la rueda delantera dándonos las mayores fuerzas verticales, debemos tener en cuenta que así se logra fuerzas longitudinales de agarre más altas.

El caso limitante de una frenada lo da el momento de vuelco. En ese caso, la fuerza longitudinal de frenada consigue que toda la fuerza vertical sobre el neumático delantero sea el propio peso de la moto.

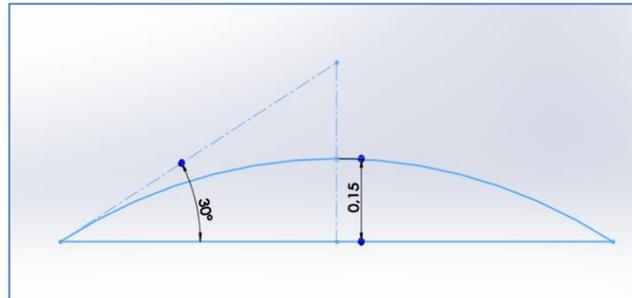
Si el piloto frenara más, el siguiente paso sería el vuelco. Para evitar lo estipulado anteriormente el conductor utiliza el freno posterior y en velocidades extremas el frenado puede ser progresivo, con el objetivo de concebir un análisis cercano a la realidad el valor calculado multiplicaremos por un factor de corrección  $F_c = 0,3$ , por lo tanto el valor de la nueva resultante  $F_{H1}$  es:

$$F_{H1} = 1,448 \text{ kN} \times 0,3$$

$$F_{H1} = 434,4 \text{ N}$$

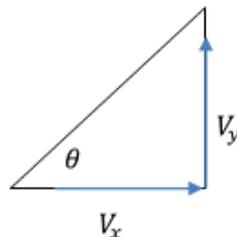
**4.5.3** *Análisis de cargas al pasar un obstáculo.* En la carretera se presenta obstáculos como reductores de velocidad, piedras o escalones por donde la motocicleta debe circular, para representar cualquiera de estos casos consideraremos un obstáculo de una altura máxima de 15 cm (0,15 m) como se muestra en la figura 60, tomaremos como referencia una velocidad de 10 km/h (2,78 m/s) en el momento de pasar el reductor de velocidad. Suponiendo que el conductor mantiene una velocidad constante la fuerza actuante se aplicara para las dos ruedas.

Figura 60. Representación gráfica de un reductor de velocidad



Fuente: Autores

Del ítem inicial sabemos que las cargas que soporta cada rueda con dos ocupantes es de  $R_T = 1,935 \text{ kN}$ ;  $R_D = 0,645 \text{ kN}$ . Si el peso neto de la moto es  $2,58 \text{ kN}$ , la rueda delantera soporta el 25 % de la masa de la moto y la posterior el 75 % entonces tendríamos que las masas aplicadas en cada rueda son;  $65,75 \text{ kg}$  y  $197,25 \text{ kg}$  respectivamente.



$$V_y = \tan 30^\circ \times V_x$$

$$V_y = 1,60 \text{ m/s}$$

$$V_y^2 = 2a_y \cdot h$$

$$a_y = \frac{V_y^2}{2 \cdot h}$$

$$a_y = 8,59 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a_y$$

Donde m es la masa que soporta cada rueda, para hallar las fuerzas tenemos:

$$F_D = 564,79 \text{ N}$$

$$F_A = 1\,694,38 \text{ N}$$

Las fuerzas que absorbe cada suspensión son:

$$\cos 27^\circ = \frac{F_D}{2F_{H1}}$$

$$\cos 27^\circ = \frac{564,79 \text{ N}}{2F_{H1}}$$

$$F_{H1} = 316,94 \text{ N}$$

$$R_A = F_A \times (1,119)$$

$$R_A = 1,896 \text{ kN}$$

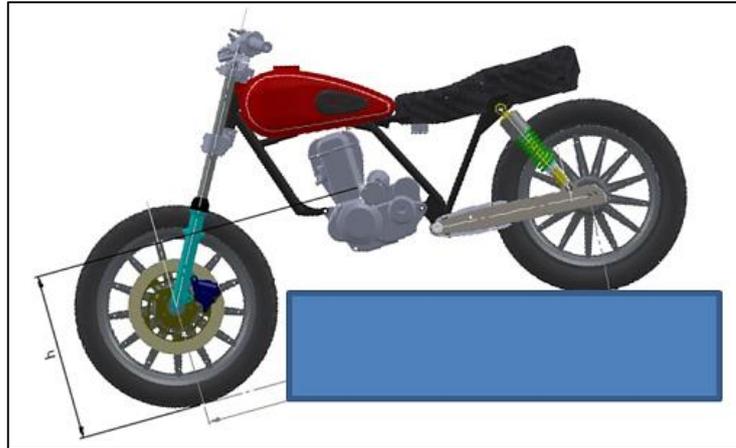
$$\cos 22,5^\circ = \frac{R_A}{2F_{A1}}$$

$$\cos 22,5^\circ = \frac{1,896 \text{ kN}}{2F_{A1}}$$

$$F_{A1} = 1,026 \text{ kN}$$

**4.5.4** *Análisis de cargas al precipitarse a un escalón.* Al pasar por un peldaño la transferencia de cargas forzará a incrementar la carga en la rueda delantera y disminuir en la posterior, para hallar la nueva carga en la rueda delantera estudiaremos el comportamiento en el instante donde el neumático toca el suelo.

Figura 61. Precipitación a un escalón

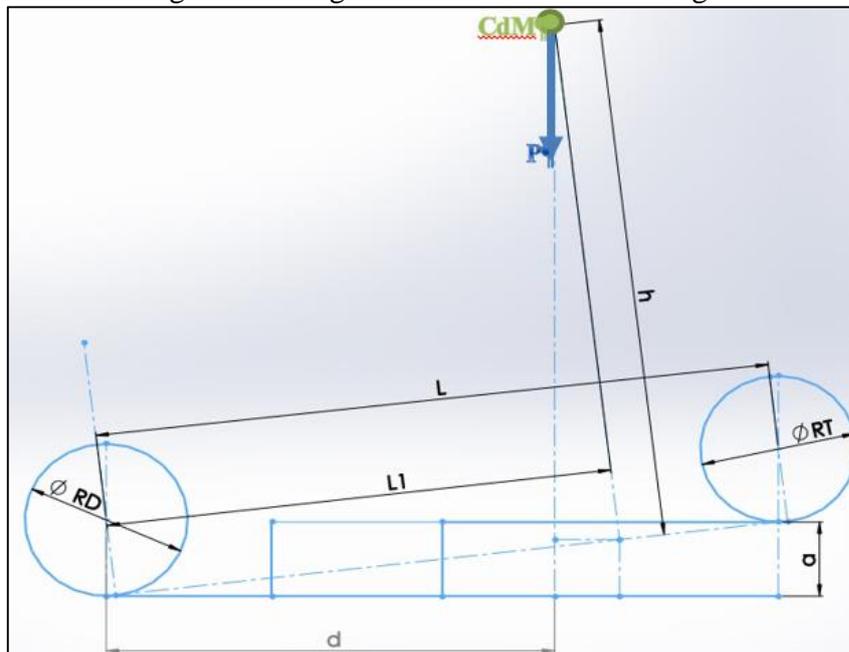


Fuente: Autores

Al suponer que la motocicleta viaja a una velocidad constante en el momento de caer se establece como un tiro horizontal, y fundamos que para el eje de las X la velocidad es constante por tanto la aceleración es cero mientras que para el eje de las Y la aceleración es igual a la constante de gravedad.

Como se instauró anteriormente el escenario menos favorable es cuando en la motocicleta se encuentran dos ocupantes además que la altura de la grada (a) se presume de 15 cm como máximo y las cargas que soporta cada rueda son:  $R_T = 1,935 \text{ kN}$ ;  $R_D = 0,645 \text{ kN}$  respectivamente, de esta forma determinamos el siguiente diagrama.

Figura 62. Diagrama de trasferencia de carga



Fuente: Autores

De donde:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{a}{L}$$

$$\alpha = 6,73^\circ$$

Por trigonometría hallamos la distancia horizontal del centro de masa desde la rueda delantera (d) y obtenemos que:

$$d = r_D \times \text{Sen } \alpha + L_1 \times \cos \alpha - h \times \text{Sen } \alpha$$

$$d = 0,848 \text{ m}$$

Realizamos sumatoria de momentos en el punto de contacto de la rueda delantera:

$$P \times d - L \times R_T' = 0$$

$$R_T' = 1,71 \text{ kN}$$

Por la transferencia de carga tenemos que  $R_T' = R_T - \Delta W$  donde:

$R_T' =$  Carga en el momento de caer del escalón

$R_T =$  Carga en estado estacionario

$\Delta W =$  Transferencia de carga

$$\Delta W = R_T - R_T'$$

$$\Delta W = 0,226 \text{ kN}$$

Para la rueda delantera:

$$R_D' = R_D + \Delta W = 0,871 \text{ kN}$$

$$F_{H1} = \frac{R_D'}{2 \times \cos 27^\circ}$$

$$F_{H1} = \frac{0,871 \text{ kN}}{2 \times \cos 27^\circ}$$

$$F_{H1} = 0,489 \text{ kN}$$

La carga del amortiguador disminuye por lo que se desprecia este cálculo, se consideró los casos en que la suspensión delantera como posterior soportan cargas máximas.

## 4.6 Presión del fluido

**4.6.1 Presión en la horquilla.** La presión estática es la presión que en realidad experimenta el aceite, los datos a utilizar se han obtenido mediante el análisis de cargas así como las dimensiones encontradas en el anexo de planos.

**4.6.1.1 Fase de compresión.** Para determinar la presión estática inicial se utilizará como primera instancia la precarga determinada por el muelle, así como la presión estática cuando se aplica una fuerza máxima.

Para datos de cálculo el área relacionada estará determinada por el diámetro interior de la botella y el diámetro interior de la válvula de control de aceite considerando también aquellas áreas por donde circula el fluido.

$$P_{prec} = \frac{F_{prec}}{\pi \frac{(D_{iB}^2 - D_{iV}^2)}{4} - A_F} = \frac{127 \text{ N}}{\pi \frac{(32)^2 - (15,6)^2}{4} - 97,68 \text{ mm}^2} = 0,246 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = \frac{F_{max}}{\pi \frac{(D_{iB}^2 - D_{iV}^2)}{4} - A_F} = \frac{489 \text{ N}}{\pi \frac{(32)^2 - (15,6)^2}{4} - 97,68 \text{ mm}^2} = 0,949 \text{ MPa}$$

La ecuación de Bernoulli relaciona la presión estática y la velocidad de flujo, la velocidad inicial es despreciable, la densidad del aceite 10W es de;  $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$ , despreciando las pérdidas con la ecuación (6) la velocidad del fluido es:

$$u_1 = \sqrt{\frac{2(P_{max} - P_{prec})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(0,949 \times 10^6 - 0,246 \times 10^6)}{880 \text{ kg/m}^3}} = 39,971 \text{ m/s}$$

Partiendo de la viscosidad cinemática y de la densidad del fluido expuesta en la tabla 2, la viscosidad dinámica por tanto es:

$$\mu = \nu\rho = 3,2 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \times \frac{880 \text{ kg}}{m^3} = 0,028 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Para un número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u_1 D}{\mu} = \frac{\frac{880 \text{ kg}}{m^3} \cdot 39,971 \frac{m}{s} \cdot 0,032 \text{ m}}{0,028 \frac{kg}{m \cdot s}} = 40\,199,40$$

El flujo según el número de Reynolds es superior a 4 000 por tanto se considera un flujo turbulento.

Factor de fricción  $f$  para flujo turbulento:

$$f = 0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20\,000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re})} \right] =$$

$$0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20\,000 \frac{1,5 \times 10^{-6}}{32} + \frac{10^6}{40\,199,4})} \right] =$$

$$f = 0,0215$$

Factor de corrección:

$$K = f \frac{r}{D} = 0,0215 \frac{150,35 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,101$$

Presión dinámica:

$$q = K \frac{1}{2} \rho u_1^2 = 0,101 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{880 \text{ kg}}{m^3} \cdot (39,971 \text{ m/s})^2 = 71\,141,53 \text{ Pa} \cong 0,07114 \text{ MPa}$$

Presión total:

$$P_T = P_S + q = 0,949 \text{ MPa} + 0,071 \text{ 14 MPa} = 1,020 \text{ MPa}$$

**4.6.1.2 Fase de extensión.** El área a considerar en esta fase es la relación entre el diámetro interno de la barra y el diámetro externo del pistón. En este caso se omite las áreas de flujo del fluido ya que la válvula de paso se encuentra cerrada y en todo caso si hubiese flujo es despreciable.

$$P_{prec} = \frac{F_{prec}}{\pi \frac{(D_{ib}^2 - D_{ep}^2)}{4}} = \frac{127 \text{ N}}{\pi \frac{(26)^2 - (15)^2 \text{ mm}^2}{4}} = 0,359 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = \frac{F_{max}}{\pi \frac{(D_{ib}^2 - D_{ep}^2)}{4}} = \frac{489 \text{ N}}{\pi \frac{((26)^2 - (15)^2) \text{ mm}^2}{4}} = 1,381 \text{ MPa}$$

Velocidad de flujo:

$$u_2 = \sqrt{\frac{2(P_{max} - P_{prec})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(1,381 \times 10^6 - 0,359 \times 10^6)}{880 \text{ kg/m}^3}} = 48,194 \text{ m/s}$$

La viscosidad dinámica por tanto es;  $\mu = 0,028 \text{ kg/m.s}$ , para un número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u_2 D}{\mu} = \frac{880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 48,194 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,026 \text{ m}}{0,028 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 39 \text{ 381,38}$$

El flujo según el número de Reynolds es superior a 4 000 por tanto se considera un flujo turbulento.

Factor de fricción  $f$  para flujo turbulento:

$$f = 0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20 \text{ 000} \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re})} \right] =$$

$$0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20\,000 \frac{1,5 \times 10^{-6}}{32} + \frac{10^6}{39\,381,38})} \right] =$$

$$f = 0,0216$$

Factor de corrección:

$$K = f \frac{L}{D} = 0,0216 \frac{150,35 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0,102$$

El factor de corrección K en base al factor de fricción se considera idóneo.

Presión dinámica:

$$q = K \frac{1}{2} \rho u_2^2 = 0,102 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{880 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot (48,194 \text{ m/s})^2 = 10\,393,53 \text{ Pa} \cong 0,1039 \text{ MPa}$$

Presión total;

$$P_T = P_S + q = 1,381 \text{ MPa} + 0,1039 \text{ MPa} = 1,485 \text{ MPa}$$

#### 4.6.2 Presión en el amortiguador.

**4.6.2.1 Fase de compresión.** Para determinar la presión estática inicial se utilizará como primera instancia la precarga determinada por el muelle en su última posición cuando el resorte ha recorrido 25,8 mm, así como la presión estática cuando se aplica una fuerza máxima tomando en cuenta que el recorrido que experimenta el pistón es una distancia de 67,16 mm.

$$F_{prec} = yk = (25,8) \times 16,70 = 430 \text{ N}$$

$$F_{max} = yk = (64,02 + 25,8)16,70 = 1\,500 \text{ N}$$

Para datos de cálculo el área relacionada estará determinada por el diámetro del pistón y los diámetros de los 6 orificios.

$$P_{prec} = \frac{F_{prec}}{\pi \frac{(D_P^2 - D_o^2)}{4}} = \frac{430 \text{ N}}{\pi \left( \frac{(20)^2}{4} - \frac{(1,50)^2}{4} \right) \text{ mm}^2} = 1,416 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = \frac{F_{max}}{\pi \frac{(D_P^2 - D_o^2)}{4}} = \frac{1\,500 \text{ N}}{\pi \left( \frac{(20)^2}{4} - \frac{(1,50)^2}{4} \right) \text{ mm}^2} = 4,94 \text{ MPa}$$

Al utilizar la ecuación de Bernoulli cuya fórmula relaciona la presión estática y la velocidad de flujo se considera que la velocidad inicial es nula o insignificante, y por ende despreciamos las pérdidas.

La velocidad del fluido para un amortiguador varía de una horquilla por la densidad.

Densidad de un aceite 5W,  $\rho = 826 \text{ kg/m}^3$ . La velocidad del fluido es:

$$u = \sqrt{\frac{2(P_{max} - P_{prec})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(4,94 \times 10^6 - 1,41 \times 10^6)}{826 \text{ kg/m}^3}} = 92,45 \text{ m/s}$$

Partiendo de la viscosidad cinemática y de la densidad del fluido expuesta en la tabla 3, la viscosidad dinámica por tanto es:

$$\mu = \nu \rho = 2,81 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot \frac{826 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 0,023 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

Para un número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{\frac{826 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 92,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,020 \text{ m}}{0,023 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 65\,830$$

El flujo según el número de Reynolds es superior a 4 000 por tanto se considera un flujo turbulento. Factor de fricción  $f$  para flujo turbulento:

$$f = 0,0055 \sqrt[3]{1 + \left( 20\,000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)}$$

$$= 0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20\,000 \frac{1,5 \times 10^{-6}}{20} + \frac{10^6}{65\,830})} \right] =$$

$$f = 0,019$$

Factor de corrección:

$$K = f \frac{L}{D} = 0,019 \frac{63,45 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 0,060$$

Presión dinámica:

$$q = K \frac{1}{2} \rho u^2 = 0,060 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{826 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot (92,45 \text{ m/s})^2 = 212\,500,70 \text{ Pa} \cong 0,212 \text{ MPa}$$

Presión total:

$$P_T = P_S + q = 4,94 \text{ MPa} + 0,212 \text{ MPa} = 5,152 \text{ MPa}$$

**4.6.2.2 Fase de extensión.** Para datos de cálculo el área relacionada estará determinada por el diámetro del pistón y el diámetro del vástago.

$$P_{prec} = \frac{F_{prec}}{\pi \frac{(D_P^2 - D_v^2)}{4}} = \frac{430 \text{ N}}{\pi \left( \frac{20^2 - 10^2}{4} \right) \text{ mm}^2} = 1,825 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = \frac{F_{max}}{\pi \frac{(D_P^2 - D_v^2)}{4}} = \frac{1\,500 \text{ N}}{\pi \left( \frac{20^2 - 10^2}{4} \right) \text{ mm}^2} = 6,36 \text{ MPa}$$

Al utilizar la ecuación de Bernoulli cuya fórmula relaciona la presión estática y la velocidad de flujo teniendo en cuenta que la velocidad inicial es nula o insignificante, y por ende despreciando las pérdidas se tiene que la velocidad del fluido es:

$$u = \sqrt{\frac{2(P_{max} - P_{prec})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(6,36 \times 10^6 - 1,82 \times 10^6)}{826 \text{ kg/m}^3}} = 104,84 \text{ m/s}$$

Viscosidad dinámica por tanto es:

$$\mu = 0,023 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Para un número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{\frac{826 kg}{m^3} \cdot 104,84 \frac{m}{s} \cdot 0,020 m}{0,0232 \frac{kg}{m \cdot s}} = 74\ 653$$

El flujo según el número de Reynolds es superior a 4 000 por tanto se considera un flujo turbulento. Factor de fricción  $f$  para flujo turbulento:

$$f = 0,0055 \sqrt[3]{1 + (20\ 000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re})}$$
$$= 0,0055 \left[ 1 + \sqrt[3]{(20\ 000 \frac{1,5 \times 10^{-6}}{20} + \frac{10^6}{74\ 653})} \right] =$$
$$f = 0,017$$

Factor de corrección:

$$K = f \frac{r}{D} = 0,017 \frac{77 mm}{20 mm} = 0,065$$

Presión dinámica:

$$q = K \frac{1}{2} \rho u^2 = 0,065 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{826 kg}{m^3} \cdot (104,84 m/s)^2 = 295\ 064,82 Pa \cong 0,295 MPa$$

Presión total:

$$P_T = P_S + q = 6,36 MPa + 0,295 MPa = 6,657 MPa$$

**4.6.2.3 Fuerza de amortiguamiento.** Considerando que  $P_1$  y  $P_2$  son presiones en la cámara de tracción y compresión de los amortiguadores posteriores de la motocicleta , la fuerza de amortiguamiento para este caso está dada por:

$$F_A = P_2 \left( \pi \frac{D_p^2 - D_v^2}{4} \right) - P_1 \left( \pi \frac{D_p^2}{4} \right) \pm F_f$$

$$= 5,16 \text{ MPa} \left( \pi \frac{(20 \text{ mm})^2 - (10 \text{ mm})^2}{4} \right) - 6,65 \text{ MPa} \left( \pi \frac{(20 \text{ mm})^2}{4} \right) - 25 \text{ N}$$

$$F_A = -898,36 \text{ N}$$

Nota. La fuerza de fricción  $F_f$  se consideró de (BÁEZ, pág. 108) Para un amortiguador nanotubo de motocicleta.

En la tabla 24 se expone los resultados obtenidos.

Tabla 24. Resultados del análisis de cargas

<b>Resultados obtenidos</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Horquilla [N]</b>	<b>Amortiguador [N]</b>
Análisis en reposo	312,000	336,000
Análisis en reposo con 2 ocupantes	362,000	1 172,000
Aceleración máxima con 2 ocupantes	-	1 562,000
Máximo frenado con la rueda delantera y 2 ocupantes	434,000	-
Paso por un obstáculo con 2 personas	317,000	1 026,000
Análisis en caída con 2 personas	489,000	1 172,000
<b>Análisis de presión [MPa]</b>		
Presión de compresión (precarga)	0,317	1,416
Presión de compresión máxima	1,020	5,152
Presión de extensión (precarga)	0,463	1,825
Presión de extensión máxima	1,485	6,657

Fuente: Autores

## CAPITULO V

### 5. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN

#### 5.1 Diseño de los elementos que constituyen la horquilla de suspensión

**5.1.1 Resorte.** Para el diseño de los resortes se utilizará los siguientes datos preliminares: Material determinado por el análisis micrográfico, el alambre utilizado es de un acero AISI 1070 templado y revenido, módulo de rigidez  $G = 80 \text{ GPa}$ , módulo de elasticidad  $E = 200 \text{ GPa}$ . Tratamiento; Sin martillar y en sus extremos a escuadra y esmerilado. Además las consideraciones expuestas a continuación:

$$F_{\max} = 489 \text{ N}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

$$d = 3,50 \text{ mm}$$

$$l_o = 395,31 \text{ mm}$$

$$l_s = 210 \text{ mm}$$

$$N_a = 58$$

$$N_t = 60$$

$$N_e = 2$$

Considerando los datos anteriores la razón de resorte se manifiesta como:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} = \frac{(3,50 \text{ mm})^4 \times 80 \text{ GPa} \times 1000}{8 \times (20 \text{ mm})^3 \times 58} = 3,23 \text{ N/mm}$$

Cálculo del paso:

$$p = \frac{l_o - 3d}{N_a} = \frac{395 \text{ mm} - 2(3,50 \text{ mm})}{58} = 6,69 \text{ mm}$$

Índice de resorte:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{20 \text{ mm}}{3,50 \text{ mm}} = 5,71$$

Factor de corrección  $K_B$  tanto para el cortante directo como efecto de curvatura:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4(5,71) + 2}{4(5,71) - 3} = 1,25$$

Para efecto de cálculo se toma valores de alambres de acero templado y revenido de la tabla 10-4 expuesta por (KEITH, 2012, pág. 507), se tiene que las constantes  $A = 1\ 855$ ,  $m = 0,187$  con un diámetro de alambre de 3,50 mm. Por lo tanto:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{1\ 855}{3,5\ mm^{0,187}} = 1\ 467,58\ MPa$$

**5.1.1.1** *Diseño estático del resorte.* Para el diseño de este apartado se considera como primera parte el módulo de fluencia:

$$S_{sy} = 0,50S_{ut} = 0,50 \times (1\ 467,58\ MPa) = 733,79\ MPa$$

$$F = \frac{\pi d^3 S_{ssy}}{8k_B D} = \frac{\pi(3,5\ mm)^3 \times 733,79\ MPa}{8(1,25)20\ mm} = 494\ N$$

$$y = \frac{F}{k} = \frac{494\ N}{3,23\ N/mm} = 152,94\ mm$$

La componente del esfuerzo cortante:

$$\tau = K_B \frac{8FD}{\pi d^3} = 1,25 \frac{8 \times 494\ N \times 20\ mm}{\pi(3,5\ mm)^3} = 733,50\ MPa$$

Factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{733,79\ MPa}{733,50\ MPa} = 1$$

El resorte no falla al aplicar una fuerza de 494 N, por lo que se considerando la fuerza máxima determinada en el capítulo de cargas se efectúa el análisis para  $F = 489\ N$  dando como resultado:

$$\tau = K_B \frac{8FD}{\pi d^3} = 1,25 \frac{8 \times 489 \text{ N} \times 20 \text{ mm}}{\pi (3,5 \text{ mm})^3} = 726,08 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{733,79 \text{ MPa}}{726,08 \text{ MPa}} = 1,01$$

**5.1.1.2** *Diseño a fatiga del resorte.* Para este diseño se considera los siguientes datos:

Fmax = 400 N

Fmin = 125 N (Precarga)

Módulo de ruptura por torsión:

$$S_{su} = 0,67S_{ut} = 0,67(1\ 467,58 \text{ MPa}) = 983,27 \text{ MPa}$$

Debido a que el resorte de compresión tiene un tratamiento sin martillar se utilizara como referencia los siguientes datos:

$$S_{sa} = 35 \text{ kpsi} (241 \text{ MPa}) \quad S_{sm} = 55 \text{ kpsi} (379 \text{ MPa})$$

La intersección constructiva de la ordenada  $S_{se}$  del criterio de falla de Goodman

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - \left(\frac{S_{sm}}{S_{su}}\right)} = \frac{241 \text{ MPa}}{1 - \left(\frac{379 \text{ MPa}}{983,27 \text{ MPa}}\right)} = 392,15 \text{ MPa}$$

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = \frac{400 \text{ N} - 125 \text{ N}}{2} = 137,5 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{400 \text{ N} + 125 \text{ N}}{2} = 262,5 \text{ N}$$

Para el análisis se considera las fuerzas; alternante y media en función de las fuerzas máxima de 400 N y una fuerza minima de 125 N, dichos parametros son los que determinan un componente alternante del esfuerzo cortante de:

$$\tau_a = K_B \frac{8F_a D}{\pi d^3} = 1,25 \frac{8 \times 137,5 \text{ N} \times 20 \text{ mm}}{\pi (3,5 \text{ mm})^3} = 204,458 \text{ MPa}$$

Componente media del esfuerzo cortante:

$$\tau_m = K_B \frac{8F_m D}{\pi d^3} = 1,25 \frac{8 \times 262,5 \text{ N} \times 20 \text{ mm}}{\pi (3,5 \text{ mm})^3} = 390,328 \text{ MPa}$$

Pendiente de la recta de carga:

$$r = \frac{\tau_a}{\tau_m} = \frac{204,458 \text{ MPa}}{390,328 \text{ MPa}} = 0,52$$

Componente de amplitud de la resistencia  $S_{sa}$  del criterio de Goodman:

$$S_{sa} = \frac{r S_{se} S_{su}}{r S_{su} + S_{se}} = \frac{0,52 (392,15 \text{ MPa}) 983,27 \text{ MPa}}{0,52 (983,27 \text{ MPa}) + 392,15 \text{ MPa}} = 222,64 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad según el criterio de Goodman:

$$n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{222,64 \text{ MPa}}{204,458 \text{ MPa}} = 1,08$$

Factor de seguridad según el criterio de Sines:

$$n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{241 \text{ MPa}}{204,458 \text{ MPa}} = 1,18$$

Estableciendo parámetros esenciales con la ayuda de software tenemos valores como; masa del resorte  $m = 0,29 \text{ kg}$ , volumen  $V = 3,71 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , para determinar el peso específico,  $\gamma = m \cdot g / V = 7,71 \times 10^5 \text{ N/m}^3$ .

El peso de la parte activa del resorte es:

$$w = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4} = \frac{\pi^2 \left(\frac{3,50}{1000} \text{ m}\right)^2 \cdot \frac{20}{1000} \text{ m} \times 58 \times 7,71 \times 10^5 \text{ N/m}^3}{4} = 2,70 \text{ N}$$

El resorte en sus extremos actúa en contacto con placas por tanto la frecuencia de onda fundamental está dada por:

$$f_r = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Kg}{W}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3,23 \text{ N/m} (1\ 000) \ 9,81 \text{ m/s}^2}{2,70 \text{ N}}} = 27 \text{ Hz}$$

Si la masa suspendida expone un valor de  $M = 36,36 \text{ kg}$  según (FOALE, 2003, págs. 6-23) la frecuencia de trabajo es:

$$f_t = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3\ 230 \text{ N/m}}{36,36 \text{ kg}}} = 1,5 \text{ Hz}$$

Si se divide la frecuencia del resorte para la frecuencia de trabajo se tiene:

$$\frac{f_r}{f_t} = \frac{27 \text{ Hz}}{1,5 \text{ Hz}} = 18$$

La frecuencia del resorte debe ser de 15 a 20 veces la frecuencia de operación al comparar los resultados el muelle diseñado cumple con la condición evitando la resonancia armónica

Condición de estabilidad, constante  $\alpha$  tomado de la tabla 10-2 (KEITH, 2012, pág. 504)  
 $\alpha=0,5$

$$l_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \left[ \frac{2(E - G)}{2G + E} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$l_0 < \frac{\pi \times 20 \text{ mm}}{0,5} \left[ \frac{2(200\ 000 \text{ N/mm}^2 - 80\ 000 \text{ N/mm}^2)}{2(80\ 000 \text{ N/mm}^2) + 200\ 000 \text{ N/mm}^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

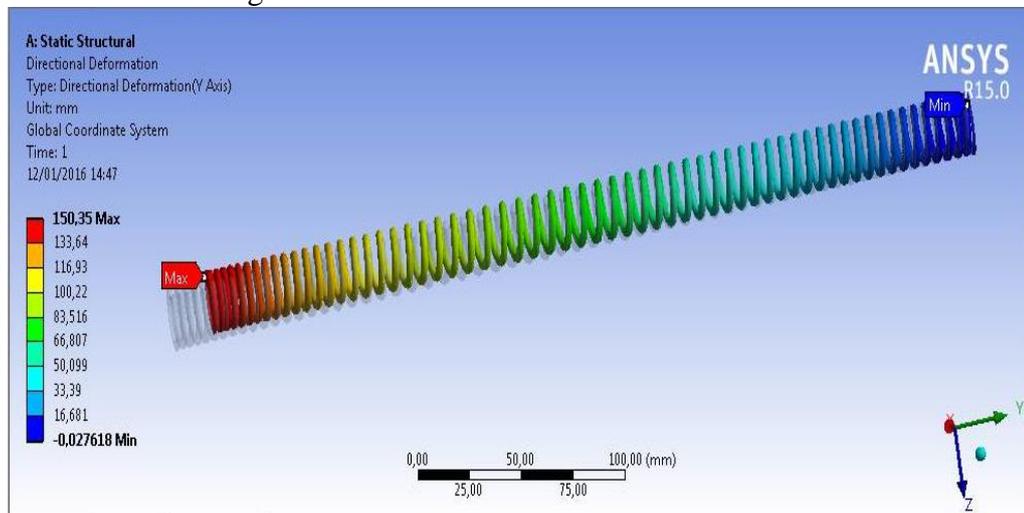
$$595,31 \text{ mm} < 102,60 \text{ mm}$$

El resorte al observar el análisis, no cumple con la condición de estabilidad por tal razón se instala en el interior de la barra de suspensión lo que permite corregir el problema de pandeo.

**5.1.1.3** *Diseño por software del resorte.* Como el resorte es un elemento que se estudia en el conjunto de la suspensión, se obtienen las fuerzas mediante un análisis estático. Para estudiar las demás piezas que compone la horquilla se analiza en equilibrio estático. Las conexiones que este método escoja para analizar la pieza están determinadas por el mecanismo (conjunto de suspensión). De esta manera las tensiones que se obtienen se aproximan a las tensiones reales que se presentan. Posteriormente, el muelle y demás elementos de la horquilla serán verificados siguiendo una serie de pasos adecuados para conseguir los resultados más puntuales por medio del software aplicado. En los planos se pueden ver todas las dimensiones finales que constituyen al conjunto de la horquilla telescópica.

El material elegido se fundó en el capítulo 3, partiendo de este análisis en la tabla 21 mostramos las principales características físicas y mecánicas para rápidamente establecerlas en el software conjuntamente el análisis de elementos finitos se realiza en la condición más desfavorable (tabla 24) , donde la fuerza mayor aplicada al resorte es de 489 N. La deformación máxima se muestra en la siguiente imagen.

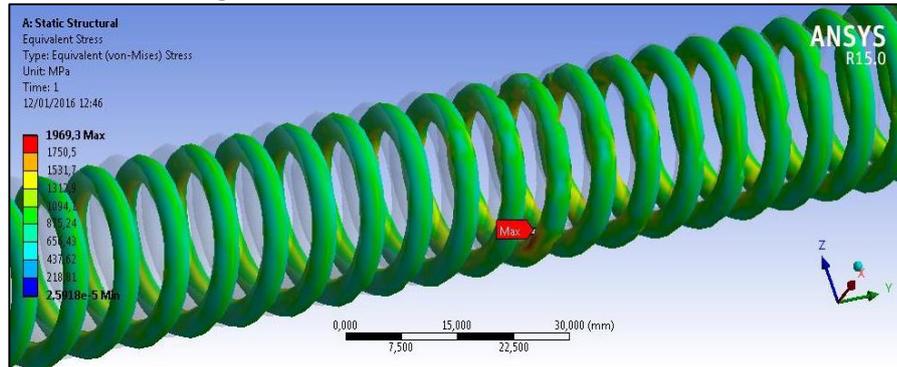
Figura 63. Análisis de deformación del resorte



Fuente: Autores

Como se puede ver, al aplicar la fuerza de 489 N el recorrido del resorte llega a un valor máximo de 150,35 mm situado en el eje Y. La deformación presentada en el resorte es aceptable ya que al estar sometido a dicha fuerza este no alcanza su longitud sólida por cuanto las espiras no se unen completamente entre sí evitando el contacto entre partes sólidas de la suspensión.

Figura 64. Análisis de tensión del resorte.



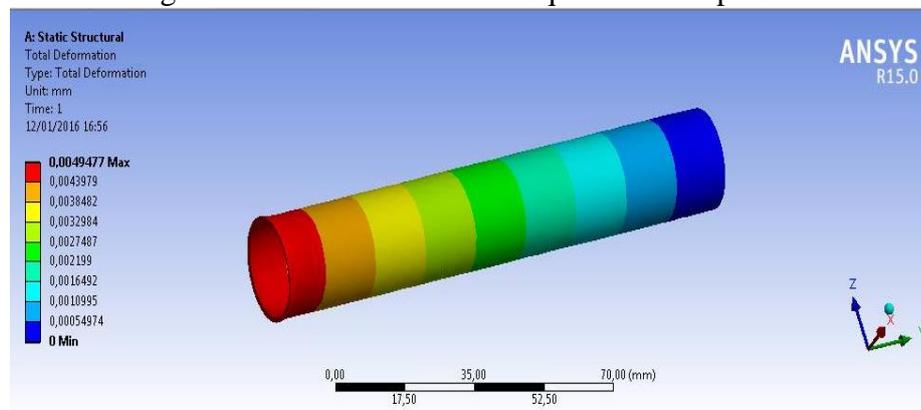
Fuente: Autores

Las zonas de concentración de tensiones se encuentran en valores medios, viéndose claramente que el elemento está coloreado de celeste y verde, indicando tensiones de rangos entre 654,43 MPa a 1 094,2 MPa, porque estos valores son menores a la resistencia de tracción o tensión (1 467,58 MPa).

Existen zonas en donde las tensiones quedan por encima de la resistencia a la fluencia y por tanto, se supone que el muelle no cumple las propiedades mecánicas del acero y no es idóneo. Sin embargo, no es así, ya que todas las cargas están por debajo del límite de fluencia. Por cuanto el resorte no falla.

**5.1.2 Casquillo de compresión.** El casquillo de compresión es un elemento cuyo objetivo es evitar fabricar e incorporar un resorte grande en la suspensión por lo que al estar en contacto con el resorte para efectos de análisis se aplicará una fuerza de 489 N.

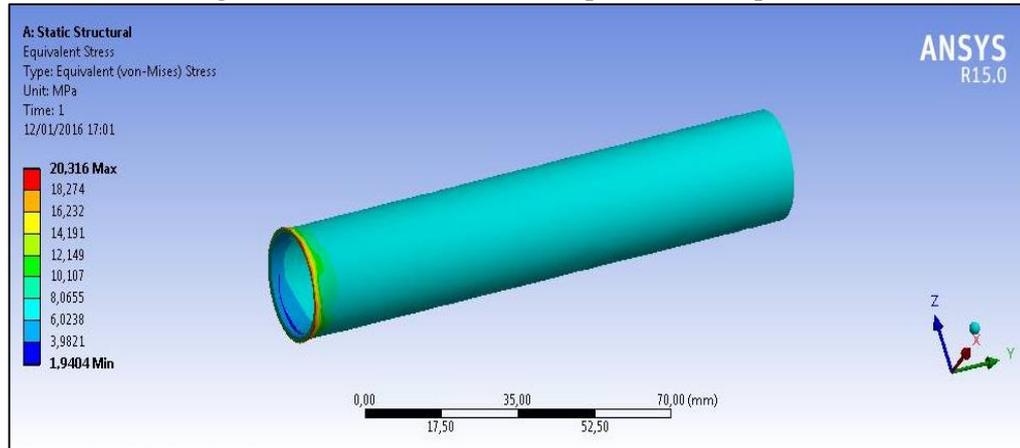
Figura 65. Deformación del casquillo de compresión



Fuente: Autores

El análisis indica una deformación menor a 5 milésimas de milímetro.

Figura 66. Tensiones en el casquillo de compresión



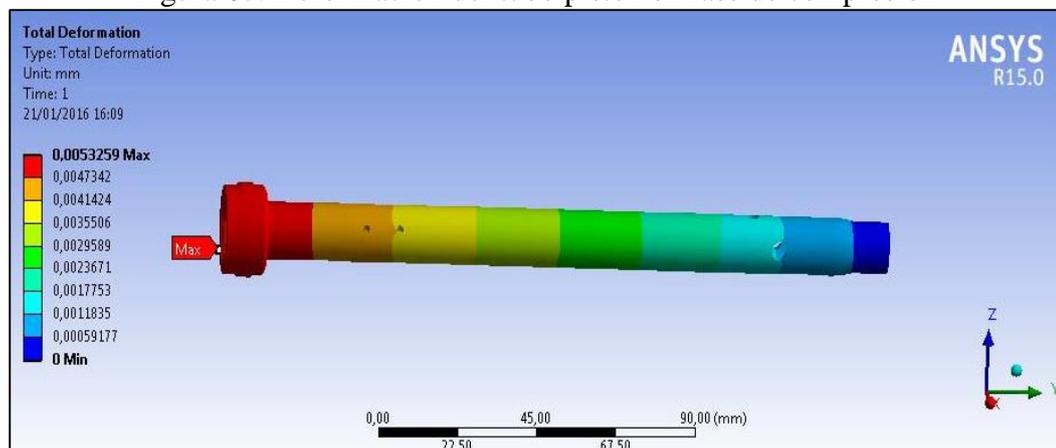
Fuente: Autores

Mediante el análisis de tensiones se observa que el elemento estudiado presenta un color celeste en su totalidad, los valores de las tensiones son bajos sin embargo las máximas tensiones representadas por colores diferentes como rojo, tomate y amarillo no sobrepasan las características del material. Considerando que son puntos idealizados el diseño es idóneo.

**5.1.3** *Diseño del tubo pistón.* Al efectuar el diseño del tubo pistón se establecen las dos fases (compresión y extensión) a las cuales está sometido.

**5.1.3.1** *Deformaciones fase de compresión.* Para el análisis de compresión se ha tomado en cuenta una fuerza paralela que actúa en la cabeza del tubo pistón así como la presión de compresión por la parte externa y en su interior la presión de precarga considerando también así la presión dinámica.

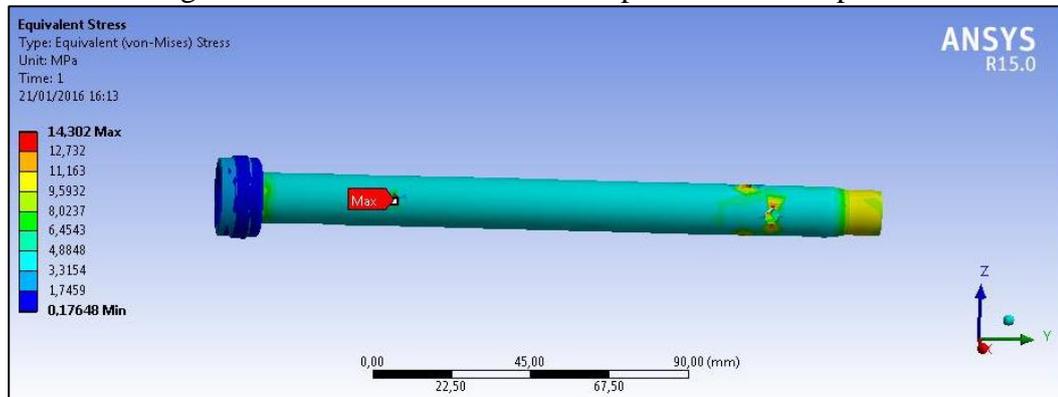
Figura 67. Deformación del tubo pistón en fase de compresión



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos revelan que los valores de deformación son menores a 5 milésimas de milímetro que valida el diseño (Fig. 67).

Figura 68. Esfuerzos en fase de compresión del tubo pistón

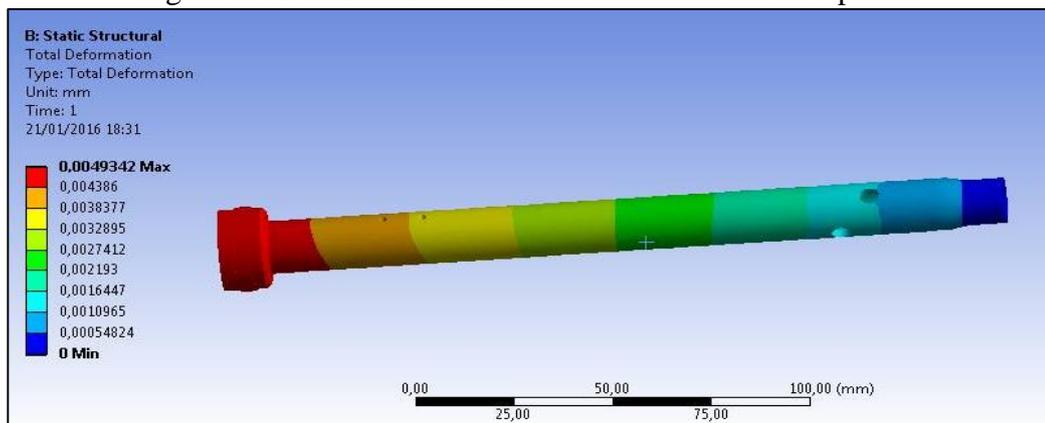


Fuente: Autores

Como se puede ver el análisis, el elemento expone un color celeste así como permite visualizar la variación de tensiones en la parte inferior y explícitamente en los agujeros de transferencia en donde existen zonas de color rojo, los resultados de tensiones son menores al límite de fluencia del material y mucho más al valor de la resistencia a la tracción.

**5.1.3.2** *Deformación en fase de extensión.* El efecto de extensión ocurre cuando el resorte retorna a su posición original recuperando su estado posterior a la compresión.

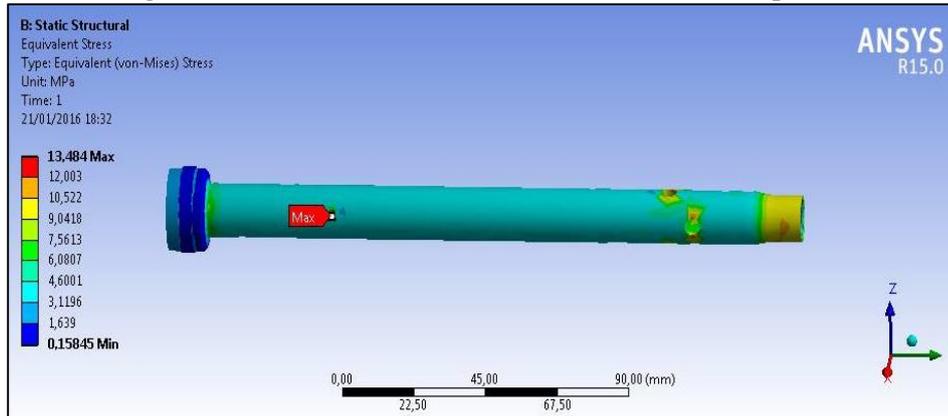
Figura 69. Deformación en fase de extensión del tubo pistón



Fuente: Autores

Al igual que el estudio de deformación de compresión se puede notar que la deformación no varía considerablemente presentando valores de milésima de milímetro.

Figura 70. Esfuerzos en fase de extensión del tubo pistón



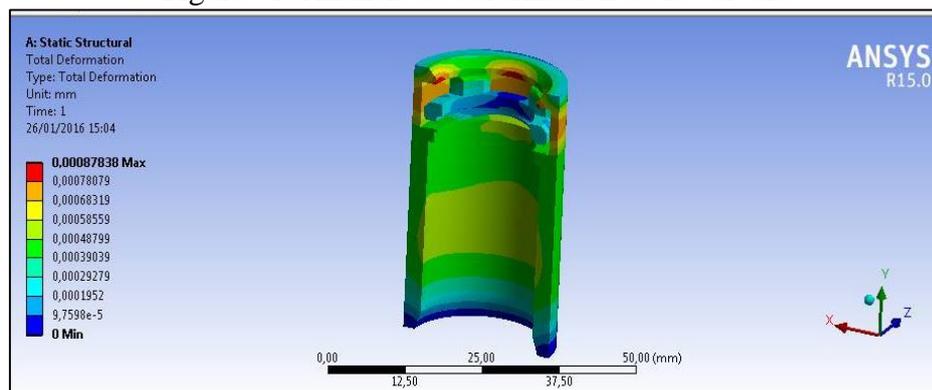
Fuente: Autores

Al analizar el elemento en la fase de extensión se puede notar que las tensiones disminuyen al igual que la deformación comparada con el análisis en fase de compresión pese a que la presión de aceite es mayor.

Considerando los valores obtenidos y relacionándolos con las características del material se deduce que el elemento es válido.

**5.1.4** *Válvula.* La válvula limita el flujo de aceite actuando de manera directa en la fase de compresión y extensión produciendo la amortiguación.

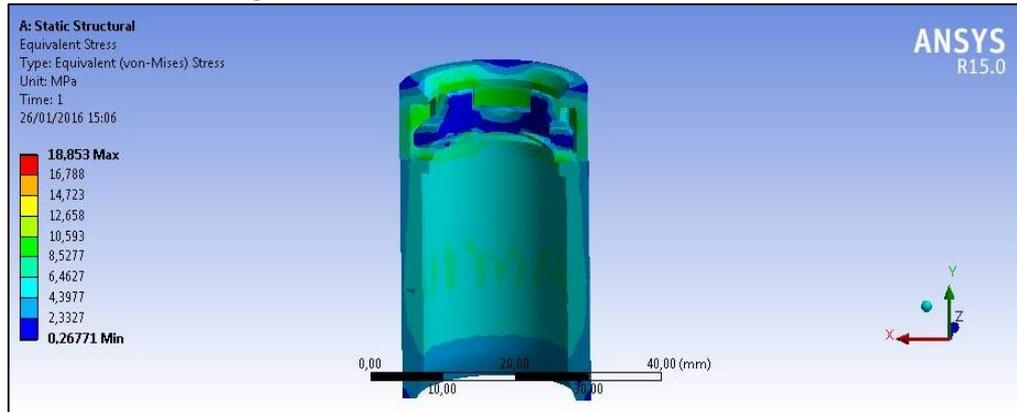
Figura 71. Análisis de deformación de la válvula



Fuente: Autores

El análisis correspondiente al elemento muestra una deflexión mínima situada por debajo de la milésima de milímetro a pesar de las presiones elevadas a la que la válvula está sometida en sus diferentes superficies, este elemento es fundamental en el funcionamiento de la horquilla lo que requiere que el elemento no falle en el peor de las condiciones así lo demuestra el análisis establecido.

Figura 72. Análisis de tensiones en la válvula

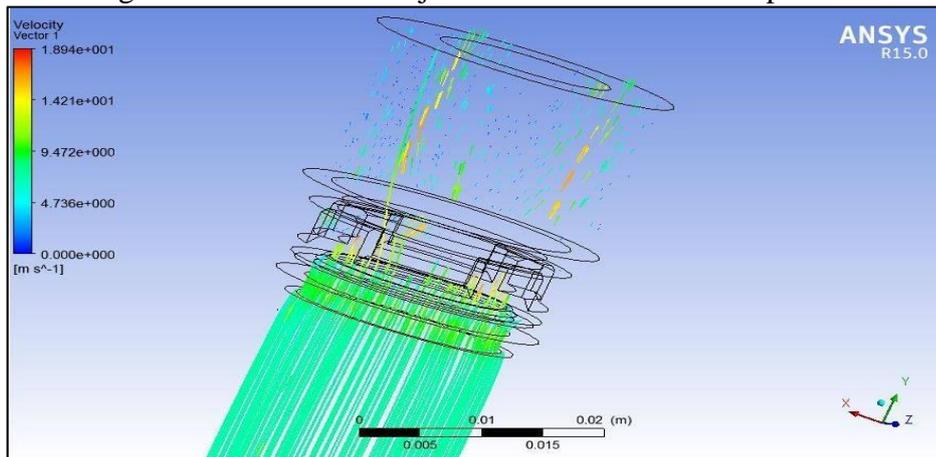


Fuente: Autores

El material señalado nos da un límite de fluencia de 310 MPa de igual manera la resistencia a la tracción de 345 MPa los valores que se muestra en la imagen 72, establece que la válvula esta por muy debajo de estos valores lo que nos indica que tanto las dimensiones como el material escogido son adecuados para las condiciones de trabajo en la que se emplea el elemento.

**5.1.4.1** *Análisis del flujo de aceite.* Durante el funcionamiento de la suspensión se producen dos fases de compresión y extensión, la velocidad con la que se comprime o extiende el conjunto está determinado por el flujo que transita a través de la válvula.

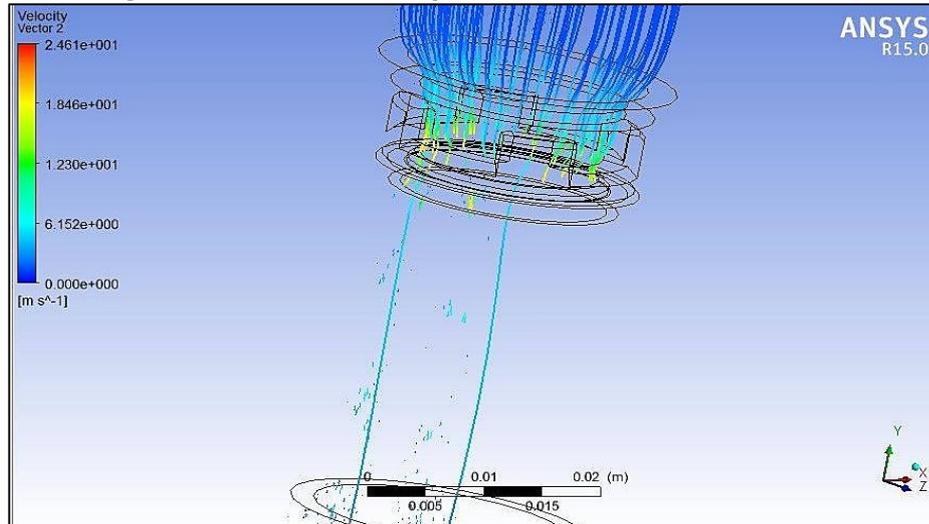
Figura 73. Análisis de flujo de aceite en fase de compresión



Fuente: Autores

En la fase de compresión la válvula se encuentra abierta (Fig. 73), el flujo de aceite se direcciona a través de la corona provocando diversas salidas, la velocidad percibida en la entrada es baja y conforme fluye por la válvula aumenta y se reduce a la salida.

Figura 74. Análisis del flujo de aceite en fase de extensión



Fuente: Autores

Cuando la barra cromada retorna a su posición, el flujo se ve interrumpido por el cierre de la válvula (Fig. 74). Existe un mínimo paso de flujo causado por el juego que hay entre el tubo pistón y la corona de la válvula. La velocidad en esta fase disminuye por causa del área mínima que existe en la fase.

**5.1.5** *Diseño del resorte inferior.* Material: Según el análisis micrográfico el alambre utilizado es de un acero AISI 1070 templado y revenido. Módulo de rigidez del material  $G = 80 \text{ GPa}$ , módulo de elasticidad  $E = 200 \text{ GPa}$ . Tratamiento: Sin martillar y en sus extremos a escuadra y esmerilado.

$$F_{\max} = 320 \text{ N}$$

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$L_0 = 30 \text{ mm}$$

$$l_s = 15 \text{ mm}$$

$$N_a = 3$$

$$N_e = 1$$

Considerando los datos anteriores la razón de resorte se manifiesta como:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} = \frac{(3 \text{ mm})^4 \times 80 \text{ GPa} \times 1000}{8 \times (20 \text{ mm})^3 \times 3} = 33,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Cálculo del paso:

$$p = \frac{l_o - 3d}{N_a} = \frac{30 \text{ mm} - 2(3 \text{ mm})}{3} = 8 \text{ mm}$$

Índice de resorte:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{20 \text{ mm}}{3 \text{ mm}} = 6,66$$

Factor de corrección  $K_B$ :

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4(6,66) + 2}{4(6,66) - 3} = 1,21$$

Para este cálculo se toma valores de alambres de acero templado y revenido de la tabla 10-4 expuesta por (KEITH, 2012, pág. 507), se tiene la constante  $A = 1\ 855$ ,  $m = 0,187$  con un diámetro de alambre de 3,50 mm. Por lo tanto;

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{1\ 855}{3,5 \text{ mm}^{0,187}} = 1\ 467,58 \text{ MPa}$$

Módulo de fluencia:

$$S_{sy} = 0,50S_{ut} = 0,50(1\ 467,58 \text{ MPa}) = 733,58 \text{ MPa}$$

La fuerza es:

$$F = \frac{\pi d^3 S_{ssy}}{8k_B D} = \frac{\pi(3)^3 \times 733,58 \text{ MPa}}{8(1,21)20} = 321 \text{ N}$$

Para el recorrido del resorte se aplica el módulo de rigidez  $k = 33,75 \text{ N/mm}$ .

Desplazamiento:

$$y = \frac{F}{k} = \frac{321 \text{ N}}{33,75 \text{ N/mm}} = 9,51 \text{ mm}$$

Considerando  $\varepsilon = 0,15$  por tanto  $F_s$  es:

$$F_s = (1 + \varepsilon)F = (1 + 0,15)321 N = 369,15 N$$

La componente del esfuerzo cortante:

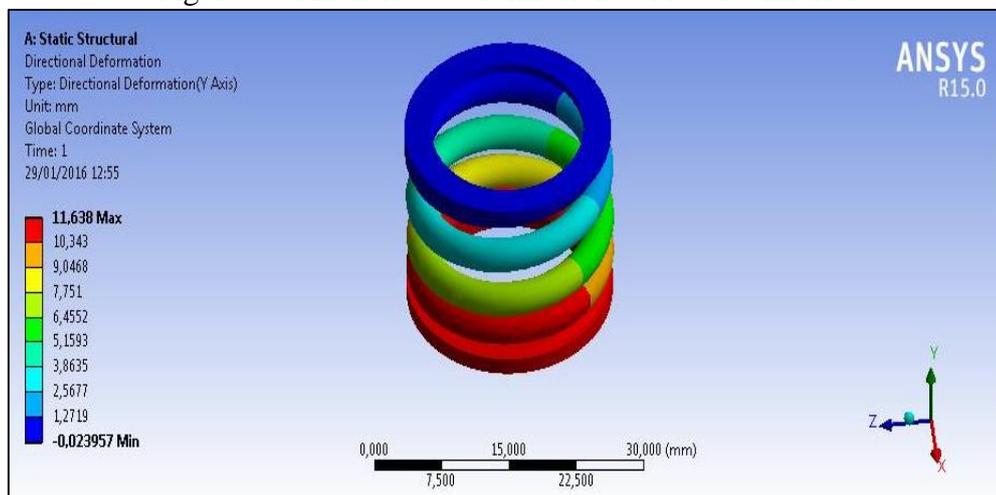
$$\tau_s = K_B \frac{8F_s D}{\pi d^3} = 1,25 \frac{8 \times 369 N \times 20 mm}{\pi (3 mm)^3} = 696,03 MPa$$

Factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau_m} = \frac{733,58 MPa}{696,03 MPa} = 1,05$$

**5.1.5.1** *Análisis por software del resorte.* El resorte inferior es el encargado de disminuir el impacto de la horquilla cuando la barra se extiende por completo en el caso de presentarse un bache en la carretera, si este resorte no existiera la cabeza del pistón se colisionaría con la válvula provocando daños en estos dos elementos.

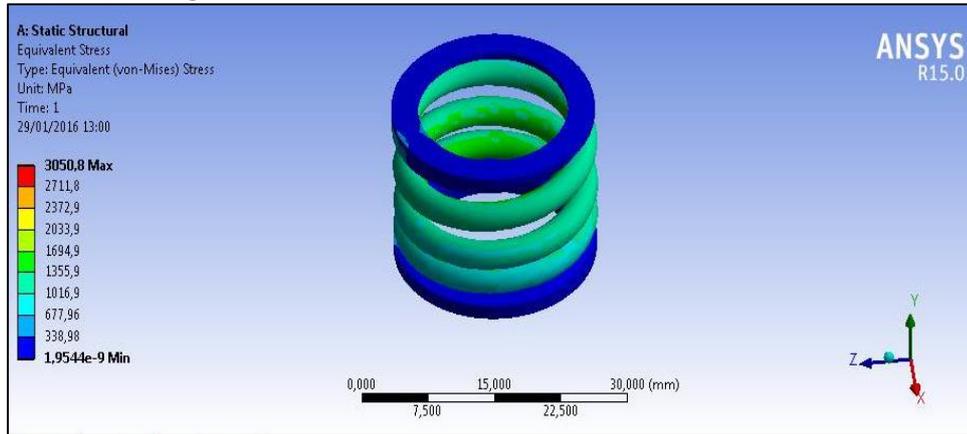
Figura 75. Análisis de deformación del resorte inferior



Fuente: Autores

La deformación presentada en el resorte mediante el análisis es aceptable, al ser aplicada una fuerza de 321 N dicho elemento no alcanza su longitud sólida de este modo las espiras no se unen completamente entre sí evitando el contacto entre la cabeza del tubo pistón y la válvula de flujo de aceite.

Figura 76. Análisis de esfuerzos del resorte inferior

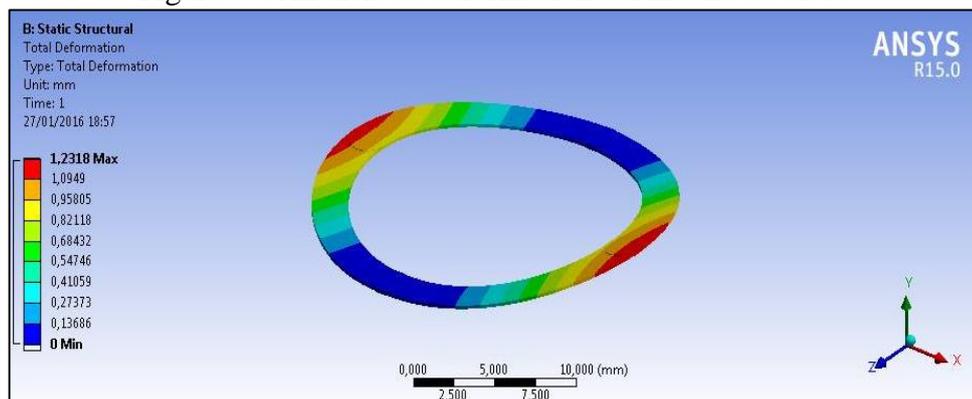


Fuente: Autores

Las zonas de concentración de tensiones indican rangos entre 677,96 MPa a valores de 1 016,2 MPa, por lo que estos valores son menores a la resistencia de tracción o tensión (1 467,58 MPa). Como se puede observar, hay zonas donde las tensiones quedan por encima de la resistencia a la fluencia, sin embargo todas las cargas están por debajo del límite de fluencia.

**5.1.6** *Diseño del resorte de disco.* El resorte de disco es el encargado de mantener la válvula abierta cuando lo requiere, está constantemente sometida a esfuerzos fluctuantes.

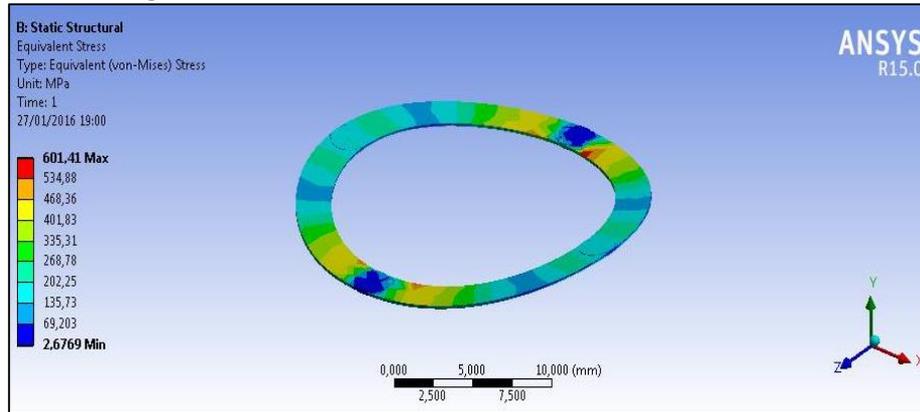
Figura 77. Análisis de deformación del muelle de disco



Fuente: Autores

El resorte de disco es el encargado de mantener la válvula abierta cuando lo requiere, está constantemente sometida a esfuerzos fluctuantes como se muestra en el análisis, los esfuerzos están por debajo de los establecidos del material demostrando que el resorte puede actuar retomando su posición original luego que la presión disminuya en el conjunto funcionamiento.

Figura 78. Análisis de esfuerzos en la válvula de disco



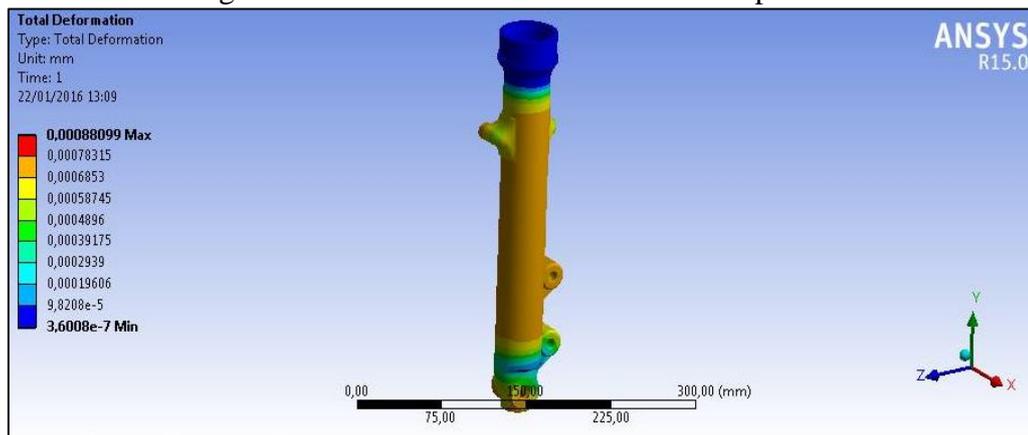
Fuente: Autores

El muelle de disco es un elemento que debe tener un alto grado de elasticidad para recuperar su forma cuando la presión en la válvula ceda, para que cumpla con esta función su capacidad máxima de absorber energía debe encontrarse en la zona elástica.

En la (fig. 78) se observa como los esfuerzos máximos del resorte están dentro de la zona elástica del material escogido.

**5.1.7** *Diseño de la botella de suspensión.* La botella es una pieza de aluminio que aloja la barra cromada además de ser donde se sujeta el eje de la rueda.

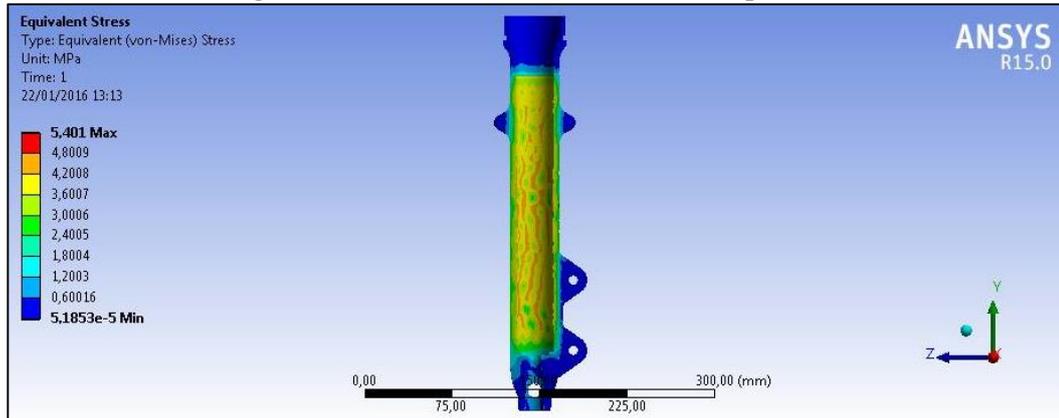
Figura 79. Deformación de la botella de suspensión



Fuente: Autores

Al apreciar la deformación mediante el análisis expuesto podemos observar que los valores dados se sitúan por debajo de la milésima de milímetro en realidad los datos no son reales ya que únicamente para este análisis se tomó en cuenta la fuerza paralela a la botella y la presión en su interior (Fig. 79).

Figura 80. Esfuerzos de la botella de suspensión



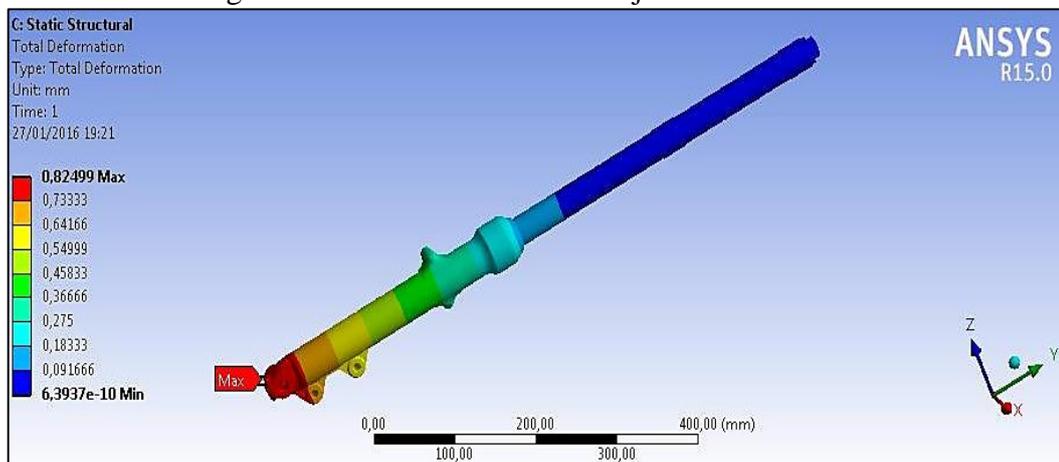
Fuente: Autores

Los resultados demuestran que las tensiones de Von Mises al igual que la deformación exponen valores muy por debajo de las características del material por cuanto se considera el elemento como válido. En tal virtud para un análisis más concreto en lo posterior se tomara en cuenta fuerzas externas que actúan en la suspensión.

**5.1.8** *Diseño de la barra y la botella aplicando fuerzas externas.* Es importante saber que la horquilla de suspensión a pesar de estar sometida a una carga paralela máxima, también soporta cargas externas. Considerando las fuerzas que intervienen en la horquilla, al aplicar dichas fuerzas y tomando en cuenta que la aceleración en ese instante es la máxima que el conductor puede dar sin perder adherencia.

Las figuras 81 y 82 revelan el análisis de deformación y tensión respectivamente para este caso.

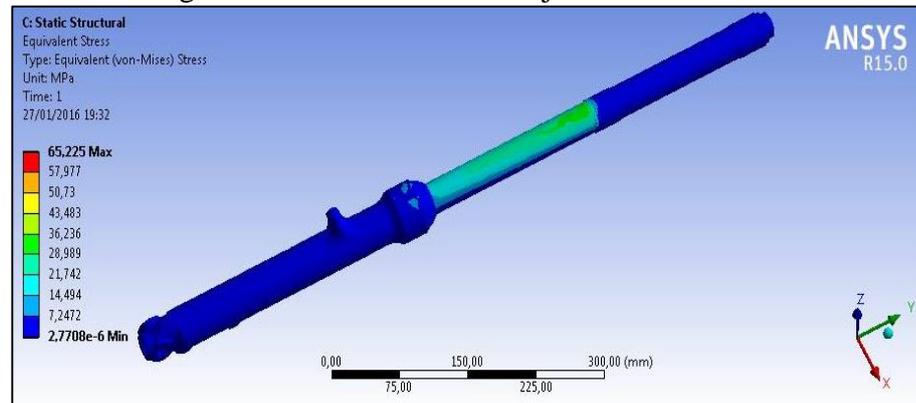
Figura 81. Deformación en el conjunto barra-botella



Fuente: Autores

Los valores representados en la figura 81 revelan la deformación máxima cuando se efectúa un análisis con fuerzas que no son paralelas a la horquilla sin embargo en el instante en que la aceleración es máxima, la deformación en la horquilla no sobrepasa las 8 décimas de milímetro por lo que no genera grandes desplazamientos.

Figura 82. Esfuerzos en el conjunto barra-botella



Fuente: Autores

Al observar la figura 82 se puede notar que el conjunto de la horquilla por las fuerzas aplicadas muestra el mayor esfuerzo en la parte inferior de la barra en donde se encuentra acoplado con la botella, pero los valores expuestos de los esfuerzos producido se encuentra por debajo del límite elástico del acero AISI 1045, lo que hace referencia que el esfuerzo no provoca daño en el conjunto.

## 5.2 Diseño de los elemento que constituyen el amortiguador

**5.2.1** *Diseño del resorte de compresión.* Material: Según el análisis micrográfico el alambre utilizado es un acero AISI 1070 templado y revenido. Un módulo de rigidez de  $G = 80 \text{ GPa}$ , módulo de elasticidad  $E = 200 \text{ GPa}$ . Martillado a escuadra y esmerilado.

$$F_{\max} = 1\,562 \text{ N}$$

$$D = 41 \text{ mm}$$

$$D = 7 \text{ mm}$$

$$L_o = 200 \text{ mm}$$

$$l_s = 105 \text{ mm}$$

$$N_a = 13$$

$$N_t = 15$$

Considerando los datos anteriores la razón de resorte se manifiesta como:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} = \frac{(7 \text{ mm})^4 \times 80 \text{ GPa} \times 1000}{8 \times (48 \text{ mm})^3 \times 10} = 16,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Cálculo del paso:

$$p = \frac{l_{o-3d}}{N_a} = \frac{200 \text{ mm} - 2(7 \text{ mm})}{13} = 14,30 \text{ mm}$$

Índice de resorte:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{48 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} = 6,85$$

Factor de corrección  $K_B$  tanto para el cortante directo como efecto de curvatura:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4(6,85) + 2}{4(6,85) - 3} = 1,20$$

Para efecto de cálculo se toma valores de alambres de acero templado y revenido de la tabla 10-4 expuesta por (KEITH, 2012, pág. 507), se tiene que las constantes:

$A = 1855$ ,  $m = 0,187$  con un diámetro de alambre de 3,50 mm. Por lo tanto el límite de resistencia de tracción o tensión se expresa como:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{1855}{3,5 \text{ mm}^{0,187}} = 1467,58 \text{ MPa}$$

**5.2.1.1** *Diseño estático.* Para el diseño de esta apartado se considera como primera parte el módulo de fluencia:

$$S_{sy} = 0,50S_{ut} = 0,50 \times (1467,58 \text{ MPa}) = 733,79 \text{ MPa}$$

La fuerza es:

$$L_s = dN_t = 7 \times 15 = 105 \text{ mm}$$

$$y = L_o - L_s = 200 - 105 = 95 \text{ mm}$$

$$F = yk = 95 \text{ mm} \times 16,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 1 586,5 \text{ N}$$

La componente del esfuerzo cortante:

$$\tau = K_B \frac{8FD}{\pi d^3} = 1,20 \frac{8 \times 1 586,5 \text{ N} \times 48 \text{ mm}}{\pi (7 \text{ mm})^3} = 678,43 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau_s} = \frac{733,58 \text{ MPa}}{678,43 \text{ MPa}} = 1,08$$

**5.2.1.2** *Diseño a fatiga.* La medida que nos indica la precarga de la suspensión con el conductor se denomina SAG, esta dimensión nos permite modificar el recorrido de la suspensión y de esta forma mejorar la conducción.

La precarga de las suspensiones puede variar de un usuario a otro, dependiendo de su peso o incluso si lleva una carga adicional. El SAG marca la diferencia entre lo que miden las suspensiones extendidas libres de peso y lo que miden una vez sometidas al peso de la moto y su piloto. Esa diferencia variará dependiendo del muelle de la suspensión y de su precarga, por lo que debemos actuar sobre la precarga para conseguir unas cifras determinadas dependiendo del tipo de conducción que vayamos a realizar, ya sea normal o de confort, como puede ser en un viaje, o para negocio. Tomando esto en cuenta al amortiguador se le establece los siguientes reglajes para adoptar el más adecuado según las necesidades del conductor (Tabla 25).

Tabla 25. Precarga del resorte

<b>Precarga [N]</b>	<b>Desplazamiento [mm]</b>
184	11,02
245	14,7
304	18,3
368	22,02
430	25,8

Fuente: Autores

Para este diseño se considera la fuerza máxima aplicada al amortiguador y la precarga cuando el resorte está regulado en la última posición;

$$F_{max} = 1\,586,5 \text{ N}$$

$$F_{min} = 430 \text{ N (Precarga)}$$

Módulo de ruptura por torsión:

$$S_{su} = 0,67S_{ut} = 0,67(1\,467,58 \text{ MPa}) = 983,27 \text{ MPa}$$

Debido a que el resorte de compresión tiene un tratamiento martillado se utilizara como referencia los siguientes datos:

$$S_{sa} = 57,5 \text{ kpsi (398 MPa)} \quad S_{sm} = 77,5 \text{ kpsi (534 MPa)}$$

La intersección constructiva de la ordenada  $S_{se}$  del criterio de falla de Goodman

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - \left(\frac{S_{sm}}{S_{su}}\right)} = \frac{398 \text{ MPa}}{1 - \left(\frac{534 \text{ MPa}}{983,27 \text{ MPa}}\right)} = 871,06 \text{ MPa}$$

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = \frac{1\,586,5 \text{ N} - 430 \text{ N}}{2} = 578 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{1\,586,5 \text{ N} + 430 \text{ N}}{2} = 1\,008 \text{ N}$$

La componente alternante del esfuerzo cortante:

$$\tau_a = K_B \frac{8F_a D}{\pi d^3} = 1,20 \frac{8 \times 578 \text{ N} \times 48 \text{ mm}}{\pi (7 \text{ mm})^3} = 248,13 \text{ MPa}$$

Componente media del esfuerzo cortante:

$$\tau_m = K_B \frac{8F_m D}{\pi d^3} = 1,20 \frac{8(1\,008 \text{ N})48 \text{ mm}}{\pi (7 \text{ mm})^3} = 432,73 \text{ MPa}$$

Pendiente de la recta de carga:

$$r = \frac{\tau_a}{\tau_m} = \frac{248,13 \text{ MPa}}{432,73 \text{ MPa}} = 0,57$$

Componente de amplitud de la resistencia  $S_{sa}$  del criterio de Goodman.

$$S_{sa} = \frac{rS_{se}S_{su}}{rS_{su} + S_{se}} = \frac{0,57 (871,06 \text{ MPa}) 983,27 \text{ MPa}}{0,57 (983,27 \text{ MPa}) + 871,06 \text{ MPa}} = 342,27 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad según el criterio de Goodman:

$$n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{342,27 \text{ MPa}}{248,13 \text{ MPa}} = 1,38$$

Factor de seguridad según el criterio de Sines:

$$n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{398 \text{ MPa}}{261,55 \text{ MPa}} = 1.60$$

Estableciendo parámetros esenciales con la ayuda de software tenemos valores como:

Masa del resorte  $m = 0,67 \text{ kg}$ , volumen  $V = 8,49 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , para determinar el peso específico;  $\gamma = mg/V = 7,71 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ .

El peso de la parte activa del resorte es:

$$w = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4} = \frac{\pi^2 \cdot \left(\frac{7}{1000} \text{ m}\right)^2 \cdot \frac{48}{1000} \text{ m} \times 13 \times 7,71 \times 10^4 \text{ N/m}^3}{4} = 5,82 \text{ N}$$

El resorte en sus extremos actúa en contacto con placas, por tanto la frecuencia de onda fundamental está dada por:

$$f_r = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Kg}{W}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{16,70 \text{ N/m} (1000) \times 9,81 \text{ m/s}^2}{5,82 \text{ N}}} = 41,93 \text{ Hz}$$

Si la masa suspendida expone un valor de  $M = 106 \text{ kg}$  según (FOALE, 2003, págs. 6-23) la frecuencia de trabajo es:

$$f_t = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{16,70 \times 1\,000 \text{ N/m}}{106 \text{ kg}}} = 2 \text{ Hz}$$

Si se divide la frecuencia del resorte para la frecuencia de trabajo se tiene:

$$\frac{f_r}{f_t} = \frac{41,93 \text{ Hz}}{2 \text{ Hz}} = 20,96$$

La frecuencia del resorte debe ser 20 veces la frecuencia de operación, el muelle diseñado cumple con la condición evitando la resonancia armónica

Condición de estabilidad, constante  $\alpha$  tomado de la tabla 10-2 (KEITH, 2012, pág. 504)  
 $\alpha=0,5$

$$l_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \left[ \frac{2(E - G)}{2G + E} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$l_0 < \frac{\pi 48 \text{ mm}}{0,5} \left[ \frac{2(200\,000 \text{ N/mm}^2 - 80\,000 \text{ N/mm}^2)}{2(80\,000 \text{ N/mm}^2) + 200\,000 \text{ N/mm}^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

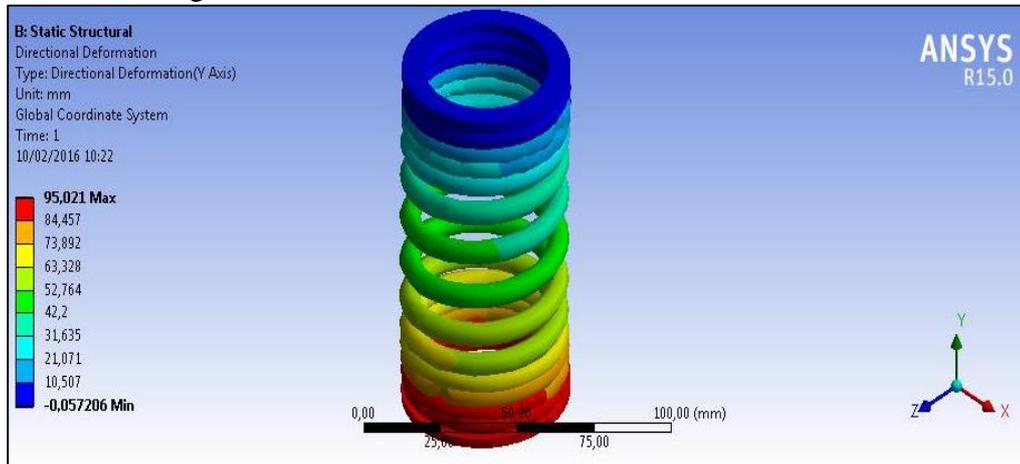
$$200 \text{ mm} < 246,25 \text{ mm}$$

El resorte cumple con la condición de estabilidad por lo que no requiere de un elemento externo o interno.

**5.2.1.3 Diseño por software.** Como el resorte es un elemento que se estudia en el conjunto de la suspensión, se obtienen las fuerzas mediante un análisis estático. De esta manera las tensiones que se obtienen se aproximan a las tensiones reales que se presentan, el muelle será verificados siguiendo una serie de pasos adecuados para conseguir los resultados más puntuales por medio del software aplicado. El material elegido se fundó en el capítulo 3, partiendo de este análisis en la tabla 21 mostramos las principales características físicas y mecánicas para rápidamente establecerlas en el software. La

deformación máxima y los esfuerzos de resorte exterior se muestran cuando se ha aplicado la fuerza máxima en el amortiguador cuya representación se expone en la siguiente imagen.

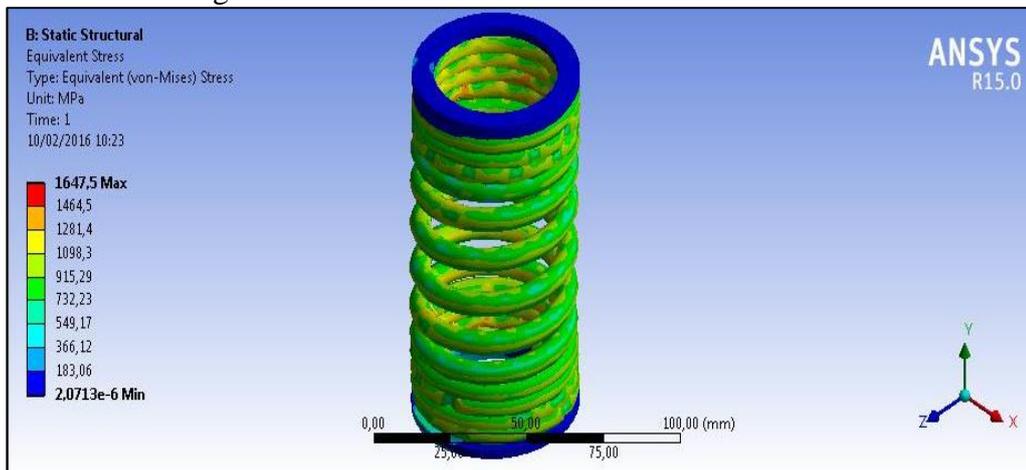
Figura 83. Análisis de deformación del resorte exterior



Fuente: Autores

Al aplicar la fuerza de 1586 N el recorrido del resorte llega a un valor máximo de 95 mm situado en el eje Y, tomando en cuenta que alcanzó su longitud sólida no presenta deformación considerable.

Figura 84. Análisis de esfuerzos del resorte exterior

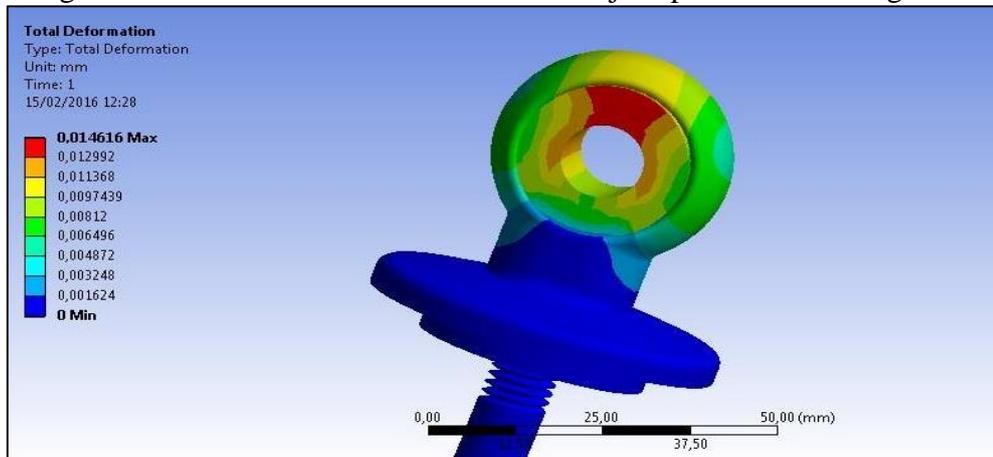


Fuente: Autores

La zona de concentración de esfuerzos encontrados mediante el análisis de Von Mises establece que los valores se sitúan por debajo del límite de fluencia del material y aún más del límite de resistencia a la tensión, por tanto el diseño del resorte se considera como válido cumpliendo con las condiciones para su aplicación.

**5.2.2** *Diseño del anclaje superior.* El modelo del amortiguador consta de un anclaje superior que une el amortiguador con el chasis.

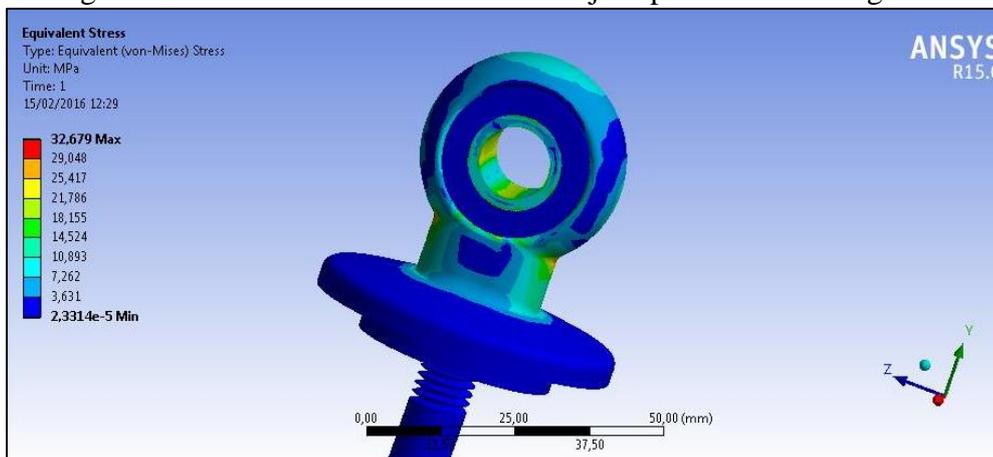
Figura 85. Análisis de deformación del anclaje superior del amortiguador



Fuente: Autores

El desplazamiento producido a lo largo del eje Y Figura 85 muestra que los valores máximos determinados se encuentran por la centésima de milímetro por cuanto no es considerada como una deformación desfavorable.

Figura 86. Análisis de esfuerzos del anclaje superior del amortiguador

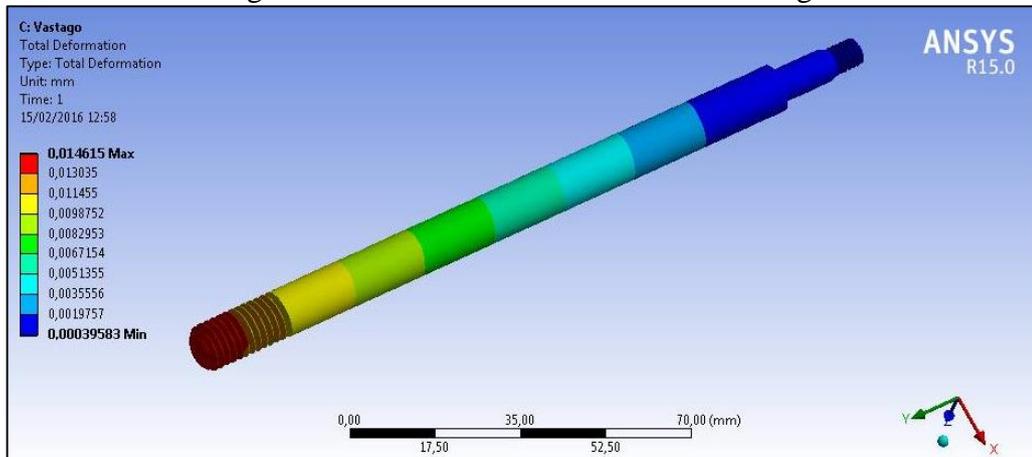


Fuente: Autores

La tensión máxima apreciada en la figura 86 indica que el mayor esfuerzo del elemento está localizado en el interior del buje al igual que en las zonas en donde se presentan colores como; amarillo, tomate y rojo, tomando en cuenta que el valor encontrado es menor a las características del material seleccionado, el elemento cumple con las exigencias requeridas para su aplicación.

**5.2.3** *Diseño del vástago.* La fuerza de amortiguación es el parámetro a considerar en este análisis ya que es la fuerza que actúa directamente sobre el vástago.

Figura 87. Análisis de deformación del vástago

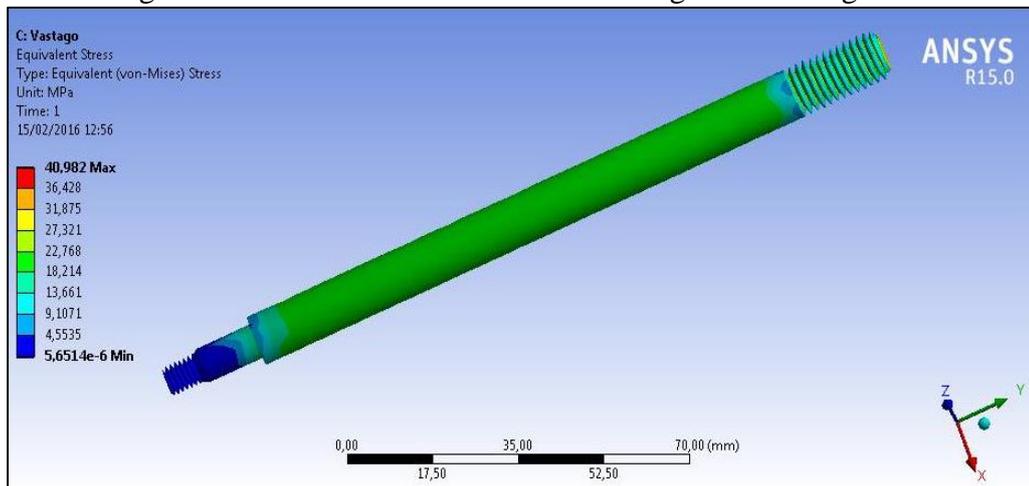


Fuente: Autores

Al evaluar con dicha fuerza se puede evidenciar que su deformación esta por la centésima de milímetro (Fig. 87).

El vástago no experimenta grandes deformaciones.

Figura 88. Análisis de esfuerzos en el vástago del amortiguador

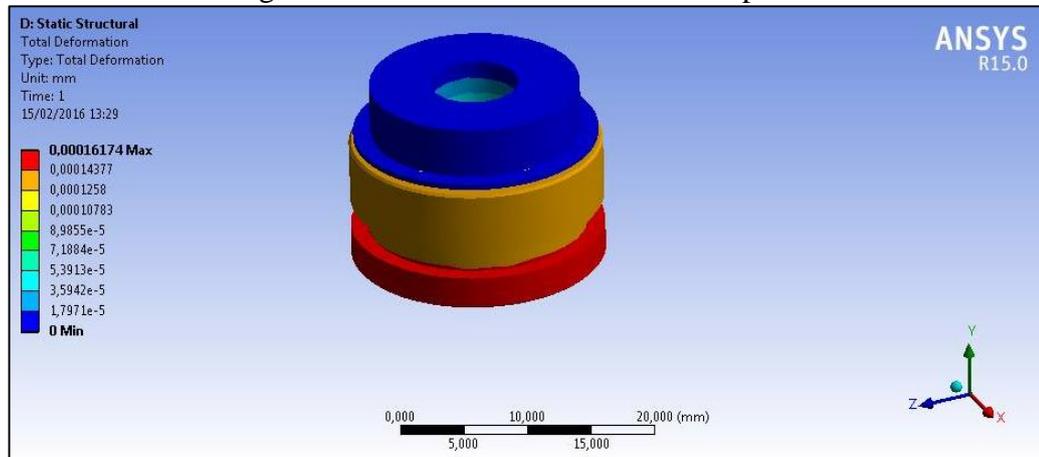


Fuente: Autores

De acuerdo al análisis, la concentración de tensiones o esfuerzos de Vom Mises se puede establecer que el elemento alcanza una tensión máxima de 41 MPa, dato que no sobrepasa las características del material seleccionado y por tanto no presenta zonas críticas, el elemento es idóneo.

**5.2.4** *Diseño del Pistón.* Al igual que el vástago, para el análisis del pistón del amortiguador está directamente relacionado con la fuerza de amortiguación

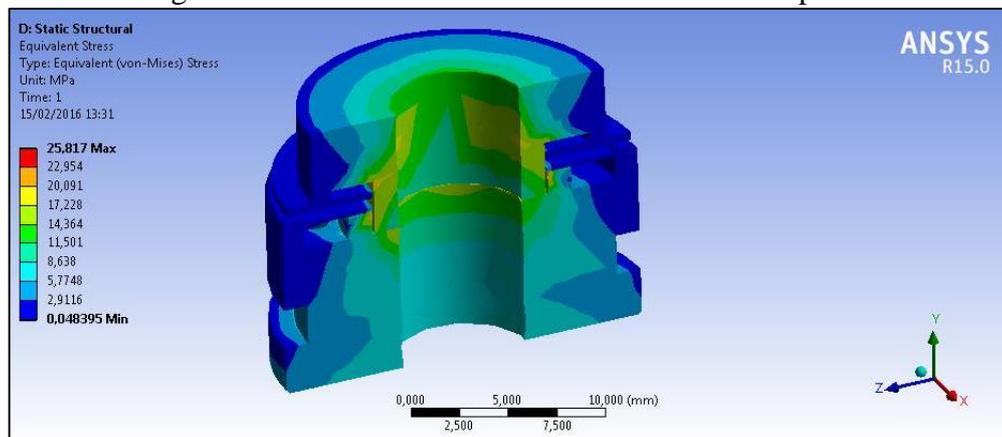
Figura 89. Análisis de deformación del pistón



Fuente: Autores

Los datos extraídos del análisis demuestran que al estar en contacto con el aceite su deformación es menor a una milésima de milímetro a lo largo del eje Y por cuanto el elemento no falla. (Fig. 89).

Figura 90. Análisis de tensiones de Von Mises del pistón

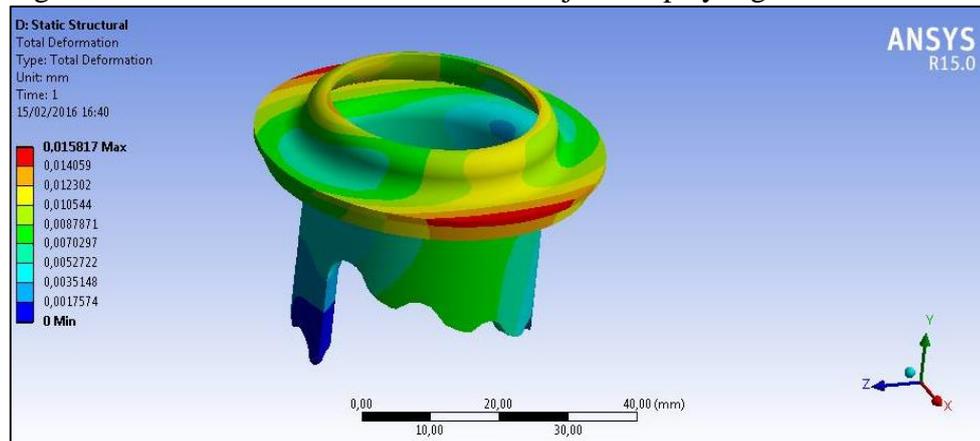


Fuente: Autores

Al igual que en el análisis de deformación las zonas de concentración de esfuerzos máximos de Vom Mises se sitúan por debajo del límite de fluencia y de la resistencia a la tracción del material escogido. Se puede notar en la figura 90 que la concentración de esfuerzos se encuentra representadas por las zonas de color verde y amarillo. Las características del pistón del amortiguador satisfacen plenamente el diseño cumpliendo con la aplicación a la que se ha asignado

**5.2.5** *Diseño del regulador y tope de muelle.* Según el peso del conductor o las condiciones de trabajo de la motocicleta se puede modificar al amortiguador haciéndolo más rígido, para lograr esto se puede comprimir al amortiguador utilizando el regulador el cual consta de 4 posiciones que comprimen un determinado régimen al muelle.

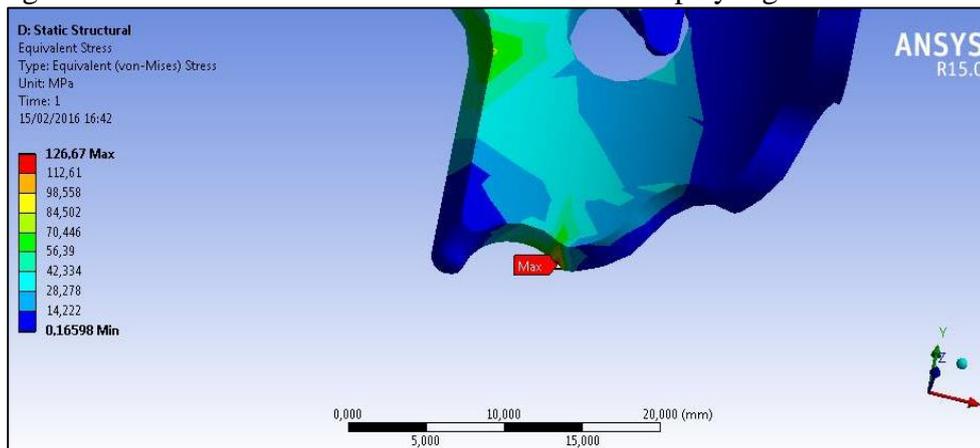
Figura 91. Análisis de deformación del conjunto tope y regulador del resorte



Fuente: Autores

En la figura 91 se puede evidenciar que la máxima deformación se presenta en la unión del regulador y el tope del resorte. Considerando que este análisis se efectuó en la última regulación y a una fuerza máxima, los datos obtenidos no sobrepasan la centésima de milímetro por cuanto no existe demasiada deformación.

Figura 92. Análisis de tensiones de Von Mises del tope y regulador del resorte

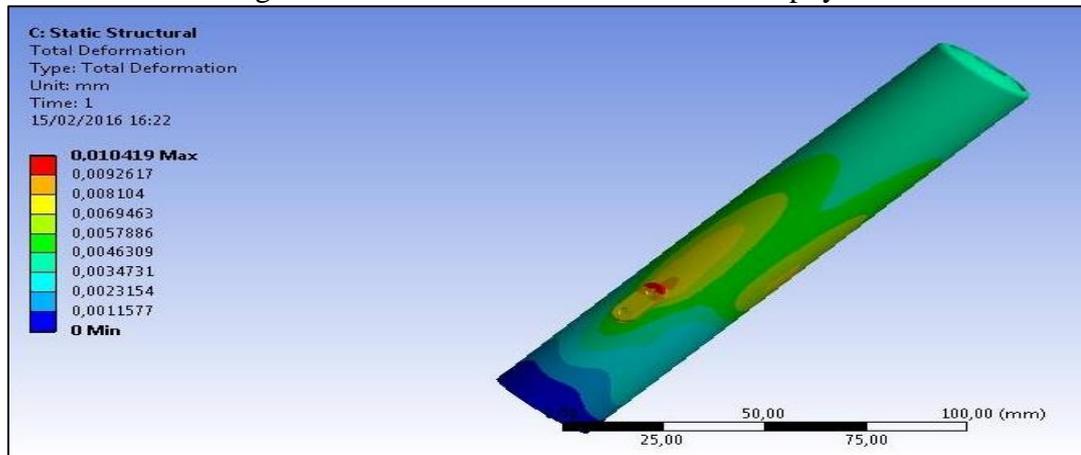


Fuente: Autores

Como el análisis se efectuó en la última regulación del muelle a diferencia del análisis de deformación, las tensiones máximas se sitúan en la cresta que actúa con el pasador y dicho valor no sobrepasa las características del material.

**5.2.6** *Diseño de los apoyos.* Los apoyos de la regulación son elementos que permiten graduar la precarga del resorte.

Figura 93. Análisis de deformación de los apoyos

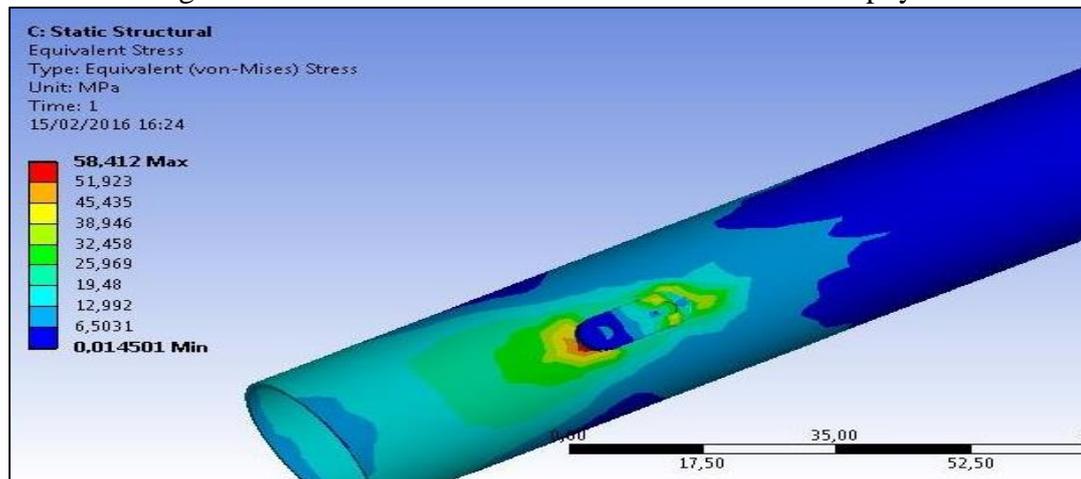


Fuente: Autores

En el análisis expuesto se puede apreciar la deformación del apoyo y parte del cilindro cuando se aplica una fuerza en el resorte de 1 586 N.

El valor expuesto no excede la centésima de milímetro por lo que se considera válido.

Figura 94. Análisis de tensiones de Vom Mises en los apoyos

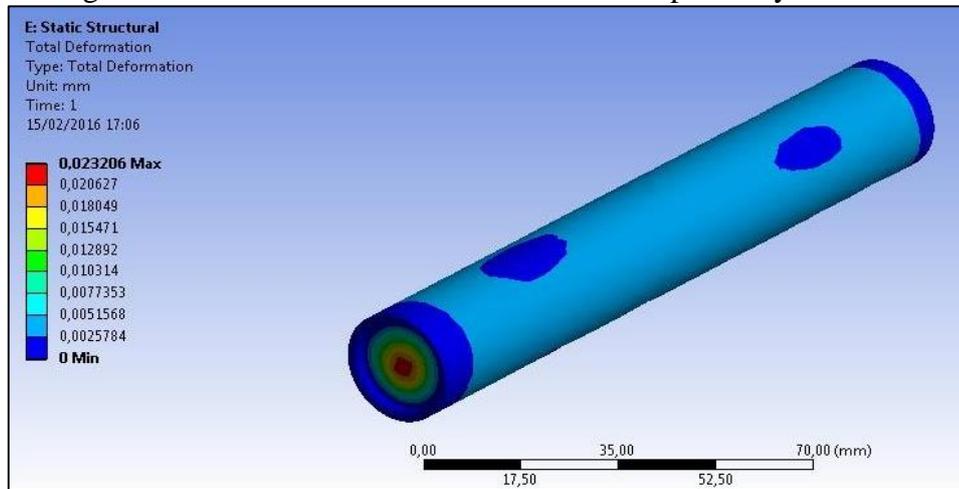


Fuente: Autores

Los apoyos de la regulación exponen concentraciones de esfuerzos compartidos con el cilindro exterior, los valores no perturban el funcionamiento del sistema ya que se encuentran por debajo de las características del acero AISI 1020. Se puede notar que las zonas de color rojo determinadas como el esfuerzo máximo no superan los 60 MPa.

**5.2.7** *Diseño del tubo de presión y obturador.* El obturador al igual que el cilindro es sometido a grandes esfuerzos producidos por las fases de amortiguación.

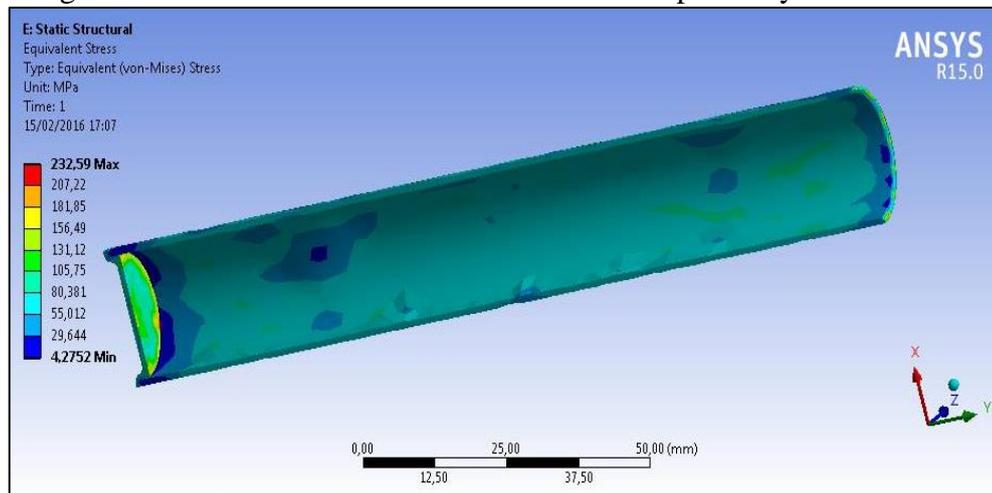
Figura 95. Análisis de deformación del tubo de presión y obturador



Fuente: Autores

Para efectos de análisis se ha considerado la presión máxima 6,656 MPa en la fase de extensión dando como resultado una deformación localizada en el obturador (Fig. 95) la cual no es desfavorable encontrándose en un valor no superior a 0,023 mm.

Figura 96. Esfuerzo de Von Mises del cilindro de presión y del obturador

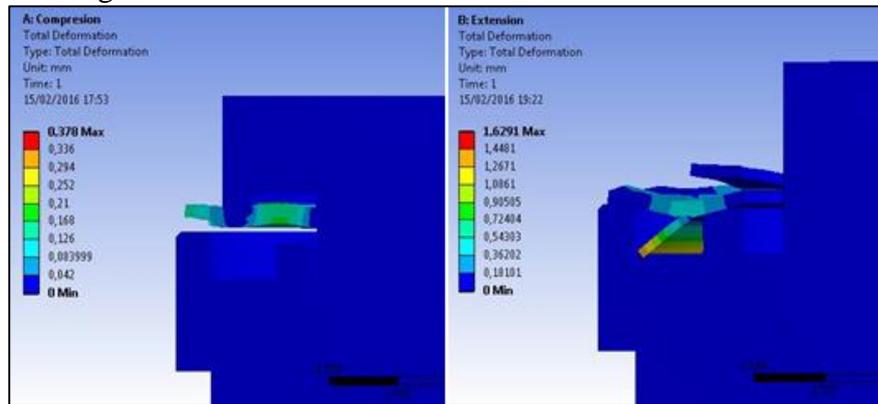


Fuente: Autores

Al igual que el análisis de deformación las zonas de concentración de esfuerzos se localizan en gran parte en el obturador, mientras que en el cilindro de presión son menores. Estudiando el material seleccionado para dichos elementos y comparando los valores expuestos, estos no superan los límites de fluencia y tensión.

**5.2.8** *Diseño de muelles de disco.* Los muelles de la válvula del amortiguador controlan el paso de flujo del hidráulico y la velocidad de compresión o extensión

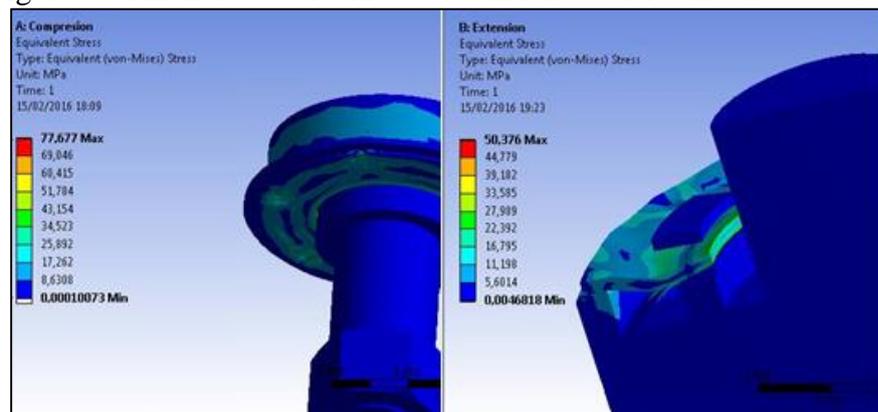
Figura 97. Análisis de deformación de los muelles de disco



Fuente: Autores

La deformación mediante el análisis entre la fase de compresión y extensión son diferentes, figura 97. Cuando se produce la fase de compresión los resortes de disco se deforman 0,37 mm lo cual permite que el aceite fluya con menos resistencia, mientras que en la fase de extensión la deformación alcanza un valor de 1,62 mm. Debido al incremento en la deformación se entendería que el flujo del aceite es mayor en la fase de extensión lo cual no es verdad ya que la configuración y la posición de los resortes de disco permiten mayor deformación pero menor flujo de aceite.

Figura 98. Análisis de esfuerzos de Vom Mises en los muelles de disco

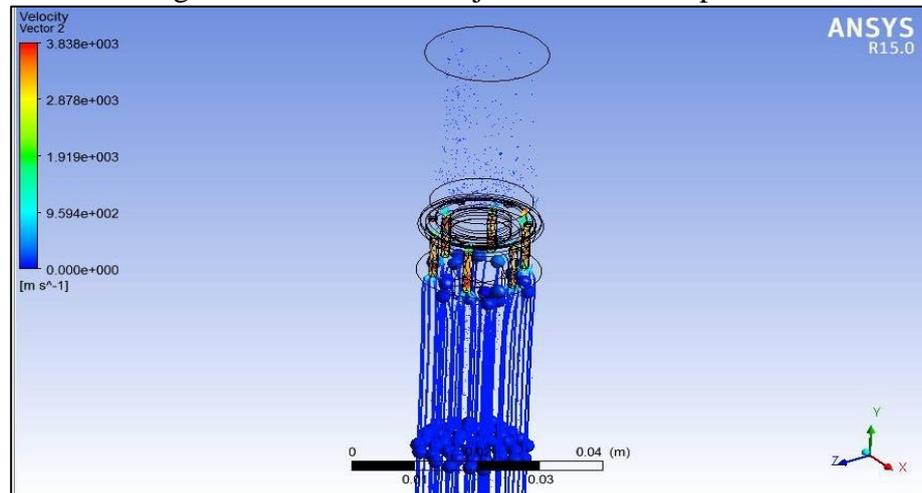


Fuente: Autores

Las zonas de concentración de esfuerzos en la fase de compresión difiere de la fase de extensión al igual que el analisis de deformaciones debido al recorrido que presenta al paso de aceite. Los valores máximos de esfuerzos en las dos fases no superan las características del material (limite de fluencia y resistencia a la tensión).

**5.2.8.1** *Análisis de flujo de aceite.* Cuando el pistón desciende el aceite es obligado a pasar por los conductos de transferencia de este modo por medio de la presión los muelles de disco se desplazan permitiendo el paso de flujo desde la cámara de compresión hacia la cámara de extensión (Fig. 99).

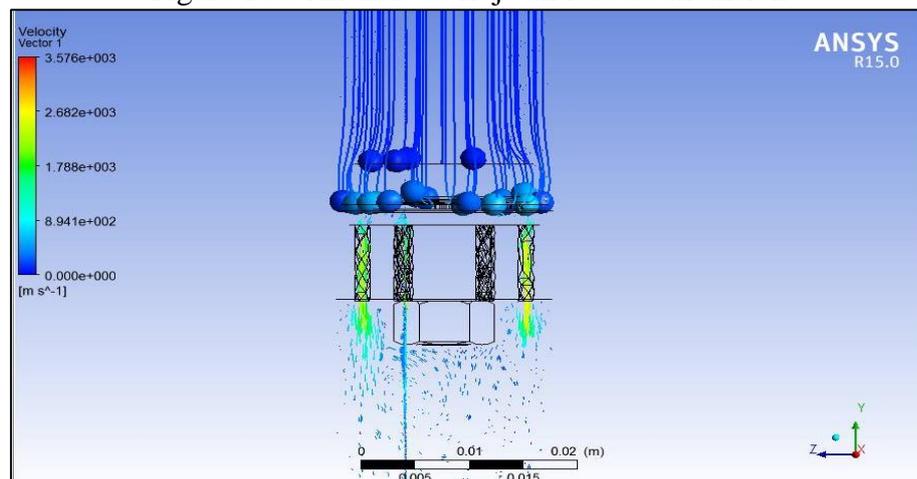
Figura 99. Análisis de flujo en fase de compresión



Fuente: Autores

Cuando se analiza el flujo de aceite en fase de compresión la velocidad de paso es mayor en los conductos de transferencia liberándose en la cámara superior.

Figura 100. Análisis de flujo en fase de extensión



Fuente: Autores.

Cuando el pistón retorna a su posición, el flujo se ve interrumpido por los resortes de disco (Fig. 100), por tal motivo el paso de flujo disminuye por el desplazamiento que hay entre el resorte de disco de orificios y el resorte plano. La velocidad en esta fase es menor por la interacción limitante de los resortes.

## CAPITULO VI

### 6. PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA SUSPENSION

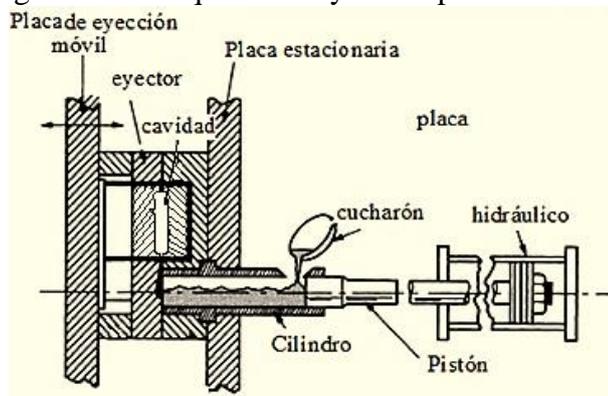
La fabricación de moto partes requiere una extensa dualidad de procesos de manufactura, la elaboración de cada elemento conlleva más de un método.

#### 6.1 Botella de suspensión y anclaje del amortiguador

**6.1.1 Fundición e inyección.** El aluminio y sus aleaciones son fundidos a una temperatura de 600 a 700 °C y posteriormente es vertido en la tolva de alimentación para llenar la cavidad de la matriz comúnmente de acero templado.

Cuando el émbolo es accionado hidráulicamente, inyecta el material fundido a una presión que oscila 7 a 140 MPa para llenar la cavidad.

Figura 101. Máquina de inyección por cámara fría



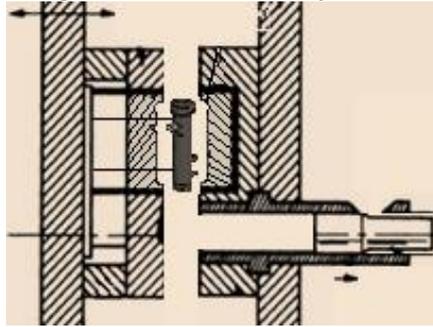
Fuente: [https://www.scribd.com/fullscreen/112942760?access\\_key=key-1dhr6ixauuwghl7hd0gg?keepThis=true&TB\\_iframe=true&height=500&width=800](https://www.scribd.com/fullscreen/112942760?access_key=key-1dhr6ixauuwghl7hd0gg?keepThis=true&TB_iframe=true&height=500&width=800)

Durante 3 a 20 s a presión constante la aleación se enfría y se solidifica dando lugar a la geometría y espesor de la botella de suspensión y del anclaje superior.

Después del enfriamiento y la solidificación, la matriz se abre, los expulsores de espigas despiden con una pequeña fuerza el elemento de la cavidad y el émbolo vuelve a su posición original.

La matriz es lubricada y cerrada para la próxima inyección.

Figura 102. Ciclo de eyección



Fuente: [https://www.scribd.com/fullscreen/112942760?access\\_key=key-1dhr6ixauuwghl7hd0gg?keepThis=true&TB\\_iframe=true&height=500&width=800](https://www.scribd.com/fullscreen/112942760?access_key=key-1dhr6ixauuwghl7hd0gg?keepThis=true&TB_iframe=true&height=500&width=800)

Las tasas de inyección lenta y presiones altas de compresión durante la solidificación son requeridas para el conformado de piezas por moldeo, los valores estimados de inyección a baja velocidad y presiones altas son de 0,2 m/s a 0,5 m/s y 100-150 MPa respectivamente. (CTIF, 2012)

**6.1.2** *Botella de suspensión.* A continuación de detalla el mecanizado de la botella.

**6.1.2.1** *Mandrinado.* La botella de suspensión presenta un 40 a 60 % de dificultad para ser mecanizado debido a que es un elemento de fundición de aluminio aleado.

La maquinabilidad de este elemento tiene un control de viruta relativamente fácil, la fuerza de corte está comprendida entre 350 -700 N/mm<sup>2</sup> y se puede obtener velocidades de corte altas. El ángulo de posición para mandrinado de precisión debe ser, como mínimo, de 90° para minimizar las fuerzas de corte radiales y evitar la vibración.

Figura 103. Mecanizado interior



Fuente: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/boring/initial-considerations/the-hole/pages/default.aspx>

Con el uso de herramientas de interior configuradas y personalizadas específicamente para la botella de suspensión (Fig. 103), se realiza el desbaste del agujero creado previamente de la fundición ajustando los diferentes diámetros requeridos y ranuras internas.

Para este proceso se considera tolerancias IT9 o superiores de agujeros para su posterior acabado. Los datos recomendados para velocidades de corte en desbaste son 200 m/min (656 pies/min), (COROMANT, Sandvik Coromant).

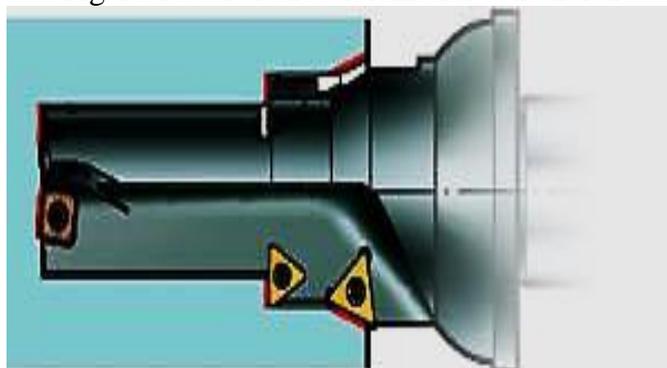
Para obtener un acabado de gran calidad el mecanizado se realiza con profundidades de corte reducidas, por lo general inferiores a 0,5 mm (0,020 pulg) cuando se precisa una tolerancia comprendida entre IT4 a IT8.

Los datos recomendados para velocidad de corte para acabado son de 240 m/min (790 pies/min) con el fin de garantizar la correcta evacuación de la viruta.

La evacuación de la viruta, la refrigeración y la lubricación entre la herramienta y el material de la pieza son funciones principales del refrigerante, para aluminio se puede utilizar refrigerante pulverizado o una lubricación mínima. (COROMANT, Sandvik Coromant)

**6.1.2.2 Taladrado.** Los agujeros realizados con el método de taladrado son requeridos para el proceso de mecanizado de la botella de suspensión, muchos de ellos son creados para acoplar elementos de funciones propias del amortiguador como el tubo pistón y otro para sujetar elementos de diferente función como mordazas de freno, ejes de rueda, etc.

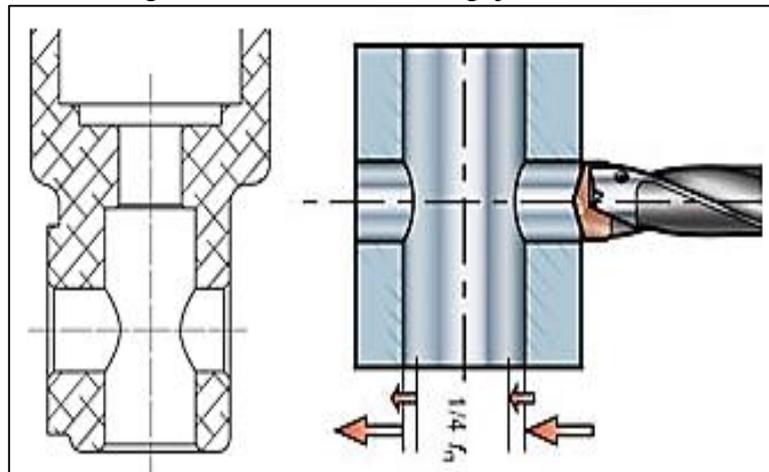
Figura 104. Taladro bidiametral con chafan



Fuente: [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application\\_overview/step\\_and\\_chamfer\\_drilling/step\\_or\\_step\\_and\\_chamfer](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application_overview/step_and_chamfer_drilling/step_or_step_and_chamfer)

El agujero que sirve para acoplar el tubo pistón a la botella es creado por una broca bidiametral especial conformada por placas de desbaste. El primer mecanizado de agujero profundo consta de un taladrado de la botella desde la parte superior hacia la inferior con un método escalonado efecto que se realiza con herramientas anti vibratorias debido a la profundidad (Fig. 104). La base mecanizada requiere una superficie plana capas de coincidir con la zona transversal del tubo pistón y de la pieza de bloqueo de aceite. (COROMANTO)

Figura 105. Taladrado de agujeros cruzado



Fuente: [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application\\_overview/general\\_drilling/irregular\\_surfaces\\_crosshole\\_drilling/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application_overview/general_drilling/irregular_surfaces_crosshole_drilling/pages/default.aspx)

El segundo mecanizado requiere un taladrado de agujeros cruzados (Fig. 105), el de mayor diámetro se mecaniza con un taladrado bidiametral desde la parte inferior, esta es una aplicación en donde es necesario ocultar la cabeza del perno que ajusta el tubo pistón. Posterior a este se efectúa un segundo agujero cuyo diámetro es menor considerando necesariamente reducir el avance a 1/4 de la velocidad normal debido a que la broca cruza el agujero existente.

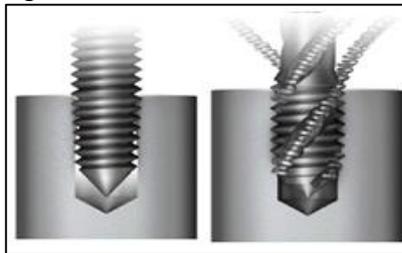
Los agujeros pasantes para la sujeción de la mordaza son efectuados con un taladrado general. (COROMANTO)

Se puede considerar tolerancias para los agujeros comprendidos entre IT6/IT10 con un suministro de refrigerante continuo comúnmente aceite soluble a presiones de 145 psi o  $\geq 10$  bar (1 MPa).

**6.1.2.3** *Roscado con macho.* Cuando se ha realizado previamente los agujeros en la botella de suspensión, se utiliza el método de roscado con macho para realizar las roscas que servirán para ajustar el guardabarros delantero, el tipo de rosca es M8 x 1,25 con una tolerancia DIN (6H).

El refrigerante comúnmente de emulsión estable resulta fundamental para mejorar el rendimiento al roscar influyendo sobre la evacuación de la viruta, vida útil de la herramienta y calidad de rosca.

Figura 106. Roscado con macho



Fuente: [http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/threading/tapping/choice\\_of\\_tools/corotap\\_family/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/threading/tapping/choice_of_tools/corotap_family/pages/default.aspx)

**6.1.2.4** *Recubrimiento de pintura.* Debido a que la producción de suspensiones de motocicletas es alta se implementan procedimientos automáticos que aprovechan de mejor manera el proceso de pintado.

Se utilizan aplicaciones comunes como por ejemplo: pulverizado mediante bomba de alta presión y pistola con distintas boquillas que permiten ajustar el surtidor y pulverizado electrostático con pistolas especiales en donde las partículas de pintura cargadas eléctricamente son atraídas por la pieza conectada a tierra.

Figura 107. Botella de suspensión



Fuente: Autores

**6.1.3** *Anclaje superior.* El anclaje superior presenta características de mecanizado similar a la botella de suspensión debido a que es un elemento que está conformado por aluminio-silicio.

A diferencia de la botella de suspensión el anclaje superior únicamente pasa por dos procesos de mecanizado, uno de ellos es refrentar la base para actuar conjuntamente con el muelle exterior así como el roscado central interno que aloja el vástago del pistón.

El acabado superficial proveniente de la fundición cumple con las condiciones necesarias por lo que no requiere otro proceso.

Figura 108. Anclaje superior



Fuente: Autores

## **6.2 Tubos sin costura utilizados en la suspensión**

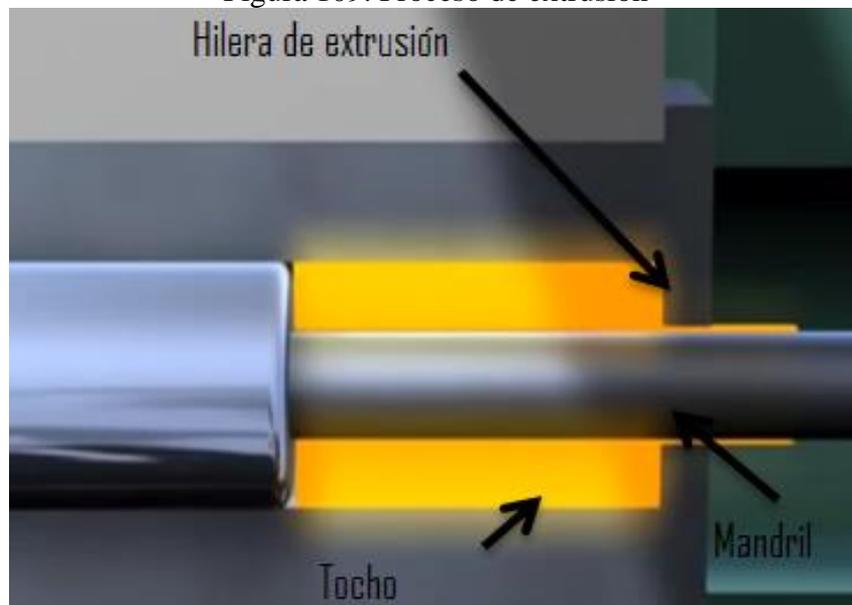
La suspensión de una motocicleta utiliza tubos de diferente dimensión para su funcionamiento ya sea para el control de la transferencia de aceite (tubo pistón), deslizamiento de horquilla (barra cromada), tubos de presión interior y exterior de amortiguadores, como para contrarrestar el exceso de longitud del muelle (casquillos de compresión).

Dichos componentes cumplen con un principio de fabricación similar desde la fundición del acero hasta la conformación del tubo, posterior a eso cada elemento adopta la estructura necesaria para su aplicación y función específica.

**6.2.1** *Fundición y extrusión.* El acero fundido a 1 650 °C por medio del aporte de energía eléctrica e inyección de oxígeno y metano alimenta la máquina de colada continua vertiéndolo en un distribuidor para solidificarlo en forma de barras macizas redondas denominadas tochos.

El acero es cortado a las dimensiones necesarias, perforado en su longitud y lubricando en la parte interna y externa utilizando polvo de vidrio. El mandril se inserta en el orificio del tocho y la extrusión empieza forzando el acero entre la hilera y el mandril definiendo el diámetro exterior e interior, proceso a temperatura aproximada de 1 200 °C a un enfriamiento lento generalmente en aire. (TECHNOLOGY, 2013)

Figura 109. Proceso de extrusión

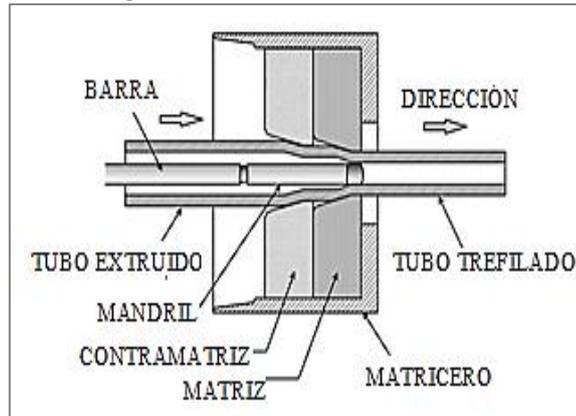


Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=7ITgMXtuMv0>

**6.2.2** *Laminado y estirado en frío.* Los tubos provenientes de la extrusión pasan por rodillos laminadores reduciendo progresivamente el espesor de la pared, posterior a la laminación el estirado en frío calibra el diámetro mediante la reducción de un dado o matriz mejorando de este modo el acabado superficial y la precisión dimensional, proceso que se logra a temperatura ambiente.

Para la elaboración de un tubo de acero AISI 1045 se debe considerar ciertos parámetros para efectuar de forma correcta el proceso, uno de ellos es que el acero no debe ser deformado en frío extensivamente sin realizar recocidos intermedios.

Figura 110. Proceso de estirado



Fuente: <http://es.slideshare.net/solorzano700/diapositivas-41654748>

**6.2.3** *Tubo pistón.* Los procesos de fabricación para un tubo pistón son.

**6.2.3.1** *Forjado.* Cuando se obtiene las dimensiones correctas, el tubo de bajo contenido de carbono AISI 1008 se coloca en una matriz a una temperatura aproximada de 1 100 °C para crear la importante apertura hexagonal. La herramienta de forja moldea la forma necesaria para obtener la cabeza del pistón.

**6.2.3.2** *Mecanizado.* La cabeza del tubo pistón presenta dificultades de rotura de la viruta y tendencia al empastamiento debido a que es elaborada de un acero de bajo contenido de carbono. Sin embargo el proceso de forjado permite menor tamaño de grano y una estructura más uniforme creando menos problemas al mecanizar, la fuerza de corte de este material se estima entre 1 180 a 1 750 N/mm<sup>2</sup> Se puede utilizar altas velocidades de corte, con cara de desprendimiento positiva de este modo es posible reducir la tendencia al empastamiento. Se recomienda que la profundidad de corte se mantenga próxima o superior al radio de punta para mejorar la rotura de la viruta. (COROMANT, Sandvik Coromant)

Figura 111. Torneado exterior



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge>

La zona transversal del tubo pistón tanto en sus extremos superior como inferior son refrentados debido a que entran en contacto con el muelle progresivo y con la base mecanizada de la botella respectivamente. La zona longitudinal de la cabeza se ranura para el control de aceite con un retenedor.

Utilizando un macho de rosca cuya medida es M10 x 1 con tolerancia DIN (6H) se realiza la rosca interna del tubo. Los orificios de transferencia cuyos diámetros son de distinta medida no poseen tolerancia ya que sirven para la circulación de aceite y no requieren de ajuste.

Figura 112. Tubo pistón



Fuente: Autores

**6.2.4** *Barra de suspensión.* Conformada por tres procesos posteriores.

**6.2.4.1** *Mecanizado.* La barra de acero AISI 1045 tiene una maquinabilidad del 57% siendo fácil de trabajar.

Se estima la fuerza de corte de 1 700 a 1 950 N/mm<sup>2</sup> y controles de viruta estable. Se puede utilizar procesos de avances con valores de 0,18 a 0,75 mm/rev y velocidades de 20 a 40 m/min evitando influir negativamente en la superficie (COROMANT, Sandvik Coromant).

Para tener un concepto más profundo de las barras de suspensión para horquillas es necesario citar las características que estas presentan como; rectitud, redondez, cilíndricidad, dureza superficial, espesores de cromado, etc. Los principales fabricantes de horquillas de suspensión exhiben especificaciones técnicas para la fabricación de barras cromadas las cuales hemos expuesto a continuación:

Tabla 26. Especificaciones técnicas de cilindros hidráulicos para amortiguadores.

<b>Especificación</b>	<b>Característica</b>
Material	AISI 1045
Rectitud	$\leq 0,2$ mm/m
Redondez	0,01
Cilindricidad	0,02
Precisión de mecanizado	ISO 2768-1-f
Tolerancia exterior	ISO f7
Dureza superficial	850-1150HV (vickers 100g)
Espesor de cromado	5 a 40 $\mu$ m
Rugosidad de superficie	Ra 0,1 y Rz 0,2-0,4 $\mu$ m
Dureza del eje	HB 220-280

Fuente: [http://www.alibaba.com/product-detail/shock-absorber-piston-rod-hard-chrome\\_1824630063.html](http://www.alibaba.com/product-detail/shock-absorber-piston-rod-hard-chrome_1824630063.html)

Utilizando una herramienta de cilindrar y roscar se mecaniza el extremo superior interior de la barra, se puede utilizar una tolerancia IT12 o superior al igual que una rosca M26 x 1 con tolerancia DIN (6H) respectivamente, posteriormente una herramienta de corte remueve el borde filoso esculpiendo un bisel para que el deslizamiento del tapón sea fácil, el extremo inferior es comprimido para acoplar en la base de la botella. Se recomienda usar líquido de corte y herramientas con suministro de refrigerante para optimizar el control y la evacuación de la viruta.

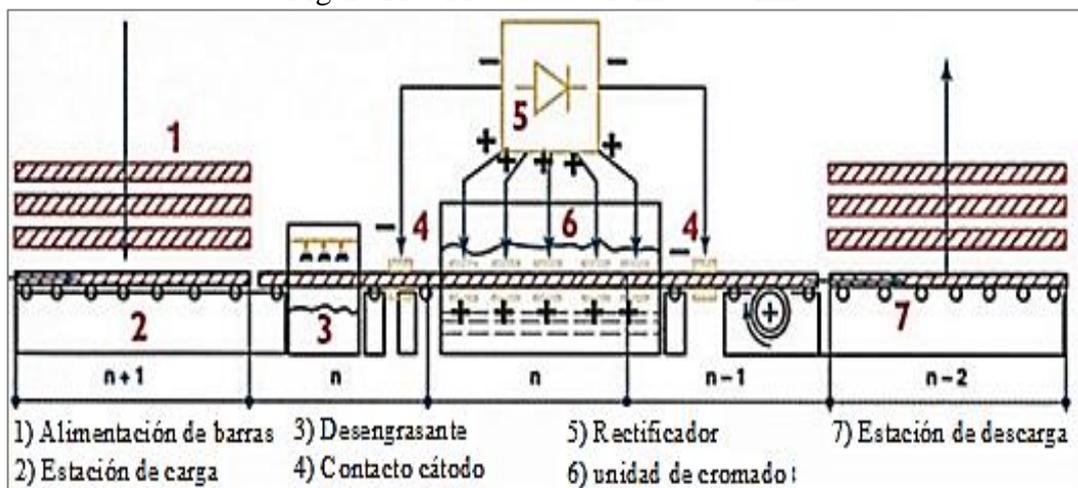
**6.2.4.2** *Recubrimiento superficial.* La operación de cromado duro es un recubrimiento superficial electrolítico de una película fina y dura de cromo obtenida a baja temperatura (no excedente a los 60 °C).

El proceso de recubrimiento convencional utiliza barras fijas colgadas horizontalmente en un marco o bastidor grande. Las barras de acero se fijan en este bastidor, sumergido en un tanque eléctricamente energizado, etapa en la cual existe deficiencia de recubrimiento de cromo en ciertas áreas principalmente en los extremos. “Para obtener capas más gruesas y de mayor eficiencia ideales para el cromado duro, se invierten tiempos de 2 a 60 horas. El tiempo incide radicalmente en el nivel de dureza superficial del metal o del elemento receptor, produciendo que una pieza con 38 Rc alcance los 65 Rc” (CRUZ), comenta el gerente de Galvatén, Carlos Germán Olaya L.

El último paso es el enjuague de las barras, que consiste en lavados con agua fría seguidos de otros en una cuba de neutralización alcalina a la que se agrega una solución diluida de carbono sódico para complementar la limpieza de la capa. Finalmente, se procede a lavarla en una cuba con agua caliente y luego secarla. (CRUZ)

A diferencia de los procesos convencionales los innovadores sistemas de manejo automatizado han mejorado las técnicas de cromado, las barras de acero (Fig. 113), son expuestas a cargas eléctricas apropiadas alimentando las máquinas de recubrimiento, avanzan y giran impulsadas a través de ánodos circulares sumergidos en la solución de cromo, el proceso es más uniforme de extremo a extremo logrando recubrimientos de cromado puro, productos de mejor calidad, controles ambientales superiores, así como menor cantidad de cromo y un tercio menos de energía que los métodos tradicionales.

Figura 113. Proceso de cromado Stelmi



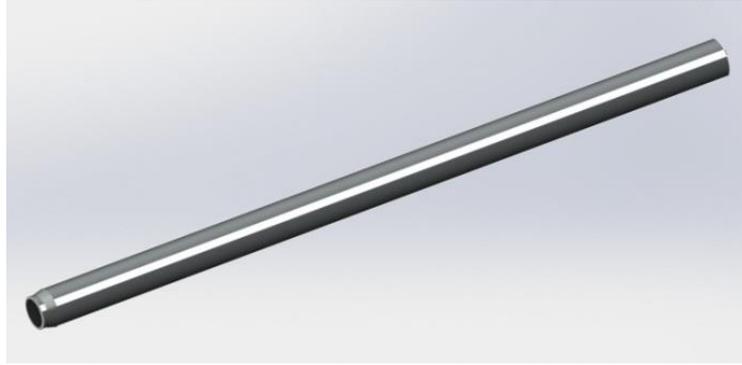
Fuente: <http://www.alro.com/datapdf/metals/stelmichromeplatedbar.pdf>

Posterior al cromado se establece ensayos de corrosión para evaluar el comportamiento de las barras ante el pulverizado de una solución salina al 5 % (cloruro de sodio – NaCl) en una cámara con temperatura controlada.

Las barras de suspensión húmedas y sujetas a la corrosión constantemente, alcanzan 48 horas a 500 horas de resistencia.

A través de los años, se han agregados nuevos cambios para mejorar las condiciones ambientales especiales, sin embargo el proceso más común es el ensayo descrito en la norma ASTM B 117. (ILZRO, 2007)

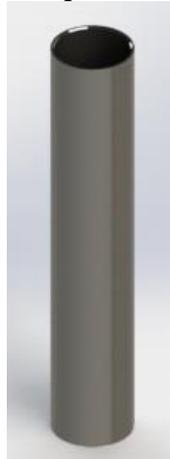
Figura 114. Barra cromada de suspensión



Fuente: Autores

**6.2.5** *Casquillo de compresión.* Los tubos de acero AISI 1513 proveniente de los procesos de extrusión y estirado son cortados y refrentados en sus extremos de acorde a las medidas necesarias, de esta forma se produce un casquillo de compresión cuya función es actuar conjuntamente con el muelle, evitando que en la suspensión se incorpore un resorte de mayor longitud.

Figura 115. Casquillo de compresión



Fuente: Autores

**6.2.6** *Cilindro interior y exterior del amortiguador.* Los tubos calibrados de acero AISI 1020 cortados específicamente con dimensiones apropiadas forman cilindros interiores de presión y cilindros exteriores constituyendo un amortiguador.

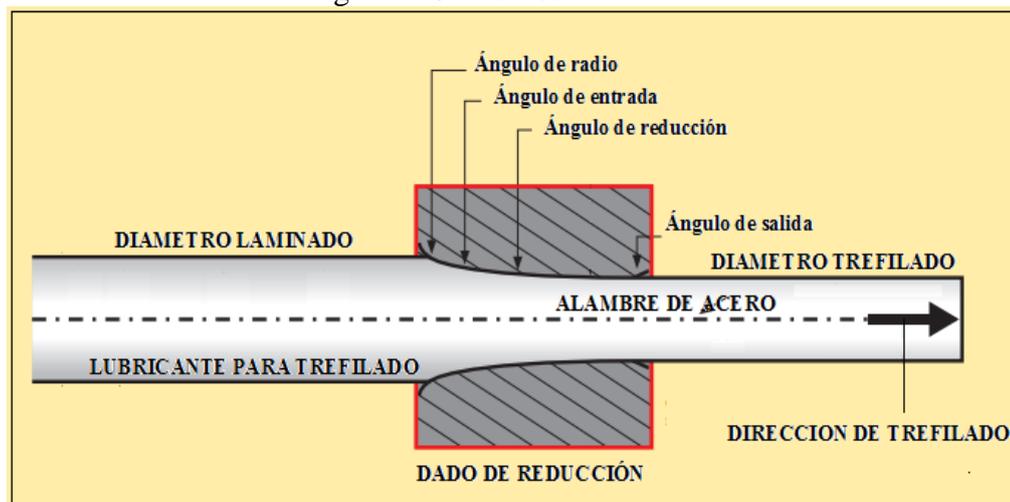
El cilindro exterior aloja al cilindro de presión en cuyo extremo inferior coexiste un orificio que sirve para el control del paso de aire, este tipo de cilindro no tiene un tratamiento superficial. A diferencia de los cilindros interiores de presión, los cilindros externos adquieren tratamientos superficiales de apariencia (cromado).

## 6.3 Resortes de compresión

**6.3.1 Trefilado.** Para fabricar los resortes de compresión de horquillas se utilizan bobinas de alambre de aceros altos en carbono, aceros AISI 1070 es uno de las más utilizados en el medio.

Proporcionando un adecuado revestimiento de lubricante en la superficie de las bobinas se efectúa la operación de afilado cuyo objetivo es ajustar el tamaño de alambre para su tracción, posteriormente el alambre de acero es decapado por medios químicos o mecánicos garantizando la eliminación de contaminantes. Mediante la conformación en frío (temperatura ambiente) se reduce el área transversal del alambre de acero utilizando una fuerza de tiro a través de una hilera o dado generalmente de carburo de tungsteno o diamante. Las matrices o dados geoméricamente presentan un ángulo de reducción de  $6^\circ$  para aceros. (COMPANY, 2015)

Figura 116. Proceso de trefilado



Fuente: <http://www.precisionkidd.com/pdf/DrawingProcess.pdf>

**6.3.2 Tratamiento Térmico.** Un alambre templado en aceite adquiere sus propiedades mecánicas a partir de un tratamiento térmico posterior al trefilado que le da su tamaño final.

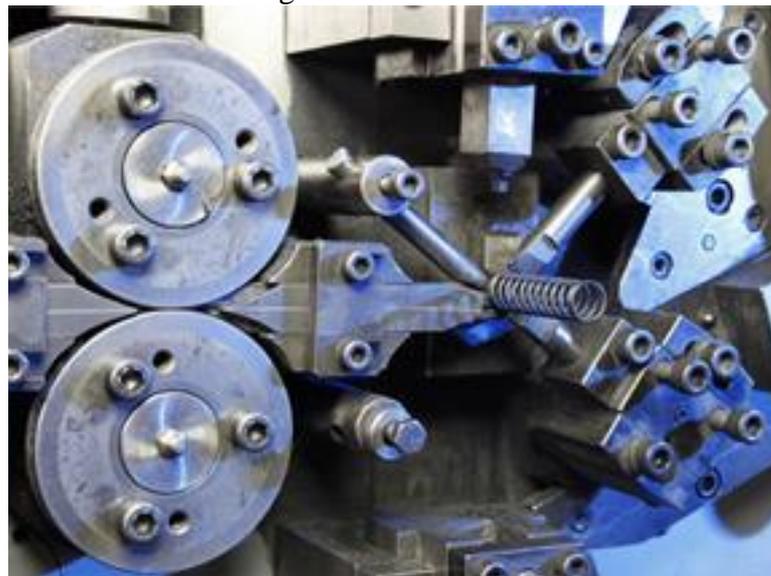
Los tratamientos como temple y revenido son necesarios para modificar las propiedades del material, el proceso de templado se obtiene mediante el calentamiento del acero a una temperatura comprendida entre  $800$  a  $850^\circ\text{C}$  y enfriando rápidamente en aceite.

Para conseguir elasticidad, luego del templado, hay que efectuar el proceso de revenido, la temperatura empleada fluctúa entre 300 a 600 °C dependiendo de la masa a calentar, cuando se extrae el acero del horno se enfría sin forzar logrando disminuir la dureza.

**6.3.3** *Bobinado.* Rodillos alimentadores de alambre situados en la parte delantera de las máquinas automáticas de ordenador (CNC), empujan el cable a través de la guía hacia el punto de enrollado (cabeceras) para luego girar rápidamente obligando a adoptar una forma helicoidal en espiral.

Los resortes progresivos se pueden ajustar en base a herramientas de separación, movimiento del bloque de la cabeza y el soporte cambiando de este modo la velocidad de bobinado, controlando el diámetro, la separación de paso y la longitud libre. Cuando se completa el bobinado, una herramienta corta el resorte.

Figura 117. Bobinado

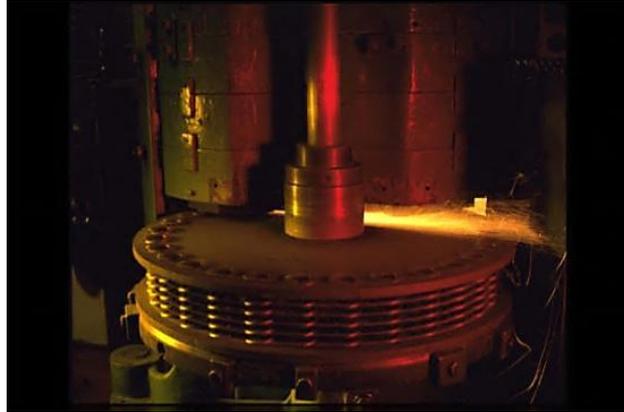


Fuente: <http://www.diamondwire.com/about-springs/spring-manufacturing-process.html>

**6.3.4** *Rectificado de resorte.* La rectificación de los extremos de un resorte proporcionan un mayor control sobre la perpendicularidad, la fuerza axial producida por el muelle no debe afectar la superficie cilíndrica interna de la barra de suspensión.

El resorte se coloca en una plantilla para asegurar la orientación correcta durante la molienda, y se mantiene contra una muela abrasiva giratoria hasta que se obtiene el grado deseado de planeidad (grado de planeidad comercial  $\pm 3^\circ$ ).

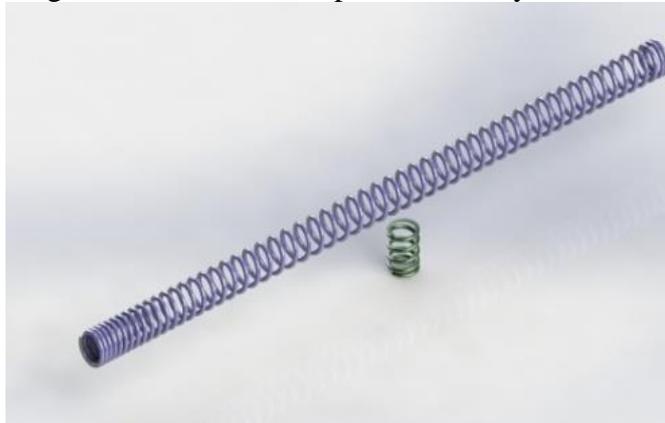
Figura 118. Rectificadora de resortes



Fuente: <http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/hanson-springs/hanson-springs5.html>

Al utilizar equipos altamente automatizados, el resorte se mantiene en un manguito, moliendo los dos extremos simultáneamente, primero por ruedas gruesas y luego por ruedas más finas. El lubricante apropiado (agua o una sustancia a base de aceite) se pueden utilizar para enfriar los resortes, lubricar la muela abrasiva, y eliminar partículas no deseadas durante el proceso.

Figura 119. Resortes de paso variable y constante



Fuente: Autores

**6.3.5** *Resorte exterior.* Posterior al proceso de bobinado los resortes exteriores de los amortiguadores son tratados superficialmente.

El granallado es una técnica de tratamiento superficial en la cual las partículas abrasivas (granalla) impactan la superficie del resorte a alta velocidad (65 -110 m/s) logrando un excelente grado de limpieza y a la vez un correcto acabado, se genera mediante un compresor de aire, bombas de alta presión o turbinas.

Figura 120. Resorte exterior de amortiguadores



Fuente: Autores

## 6.4 Resortes de disco

La fabricación de los resortes de disco generalmente se realiza con láminas de acero de alto contenido de carbono o con láminas de acero inoxidable. La aleación AISI 631 es una de las combinaciones más adecuadas para la fabricación de resortes de disco.

La obtención de dicha aleación se logra mediante la fundición y refinación, posteriormente el acero líquido es guiado por unos rodillos formando grandes planchones.

Los planchones de acero se cortan en barras de menor longitud para ser laminadas en caliente y de este modo formar rollos. El proceso termina con el molino de laminación en frío, recocido y limpieza.

**6.4.1 Tratamiento térmico.** El tratamiento térmico utilizado para los resortes de disco radica en el endurecimiento por precipitación con el fin de obtener un aumento en las propiedades de resistencia del material.

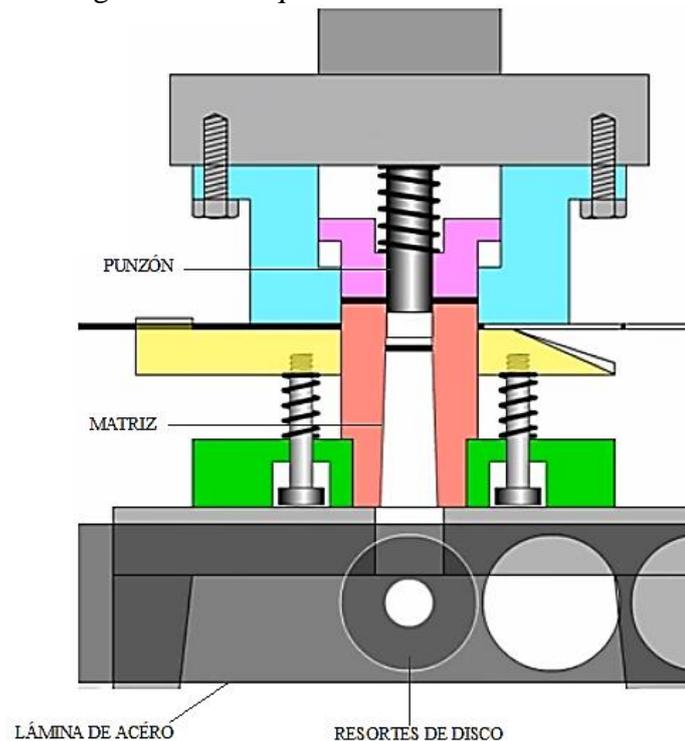
La solución sólida es homogeneizada a una temperatura de solubilización de (1 040-1 070 °C) y enfriada en aire hasta temperatura ambiente.

Posterior a la solubilización se efectúa el tratamiento térmico de temple enfriándola rápidamente en aceite y revenido para luego envejecerlo de forma artificial a una temperatura de (480-590 °C).

**6.4.2 Troquelado.** Las láminas de acero avanzan a la posición de corte para ser perforadas por medios de un punzón oscilante que se mueve dentro y fuera de un troquel, las perforaciones se realizan de forma repetitiva recorriendo una trayectoria de corte precisa.

La fabricación de resortes de disco tanto para las suspensiones delanteras como para amortiguadores utiliza sistemas de control numérico optimizando la producción.

Figura 121. Troquelado de resortes de disco



Fuente: <http://www.mekanizmalar.com/compound-dies.html>

## 6.5 Elementos sinterizados

Los elementos tales como; válvulas, pistones, porta pistones, sellos y piezas de bloqueo de aceite, son producto del conjunto de una mezcla de polvos metálicos en proporciones adecuadas cuya forma, dimensión y propiedades mecánicas se logra prensándolos a alta presión y calentándolos después a temperaturas justo por debajo del punto de fusión del metal principal durante el tiempo suficiente para que se enlacen las partículas de los diferentes polvos. La sinterización se caracteriza como un proceso eficiente de alta productividad permitiendo reducir el desperdicio de materiales, mezclar combinaciones poco comunes, y controlar grados de porosidad y permeabilidad.

**6.5.1** *Dosificación de la mezcla.* Los elementos sinterizados de una suspensión son fabricados a base de una mezcla de polvos de hierro, cobre y carbono, generalmente para obtener las características requeridas es necesario mezclar polvos de tamaños diferentes, se pueden añadir aditivos que actúen como lubricantes o aglutinantes (estearato de zinc) cuya función es incrementar la resistencia del compactado crudo.

**6.5.2** *Compactación.* La mezcla es introducida en un molde de acero o carburo rígido comprimido mediante prensas hidráulicas a 100 a 800 toneladas a temperatura ambiente dando lugar a la geometría y forma de las piezas.

Nota. Es posible realizar la compactación en caliente, esto producirá mayor exactitud incrementando la densidad de la mezcla y la resistencia del metal sinterizado.

**6.5.3** *Sintetización.* Las piezas se introducen en un horno a temperatura controlada que no excede el punto de fundición del metal base (entre el 60 y 90 por ciento antes de la fusión), con esto se logra la difusión atómica del material y la unión entre los diferentes polvos, lograda durante el proceso de compactación, y se fortalecen los enlaces metalúrgicos para formar una pieza uniforme con propiedades especiales. (VILLAR)

En la tabla 27 se exponen rangos de temperaturas de sintetización de los metales más comunes.

Tabla 27. Temperatura de sintetización

<b>Material</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
Hierro / Acero	1100 – 1300
Aleaciones de Aluminio	590 – 620
Acero inoxidable	1000 – 1200
Cobre	750 – 1000
Latón	850 – 950
Bronce	740 – 780
Metales Duros	1200 – 1600
Carburo de tungsteno	1480

Fuente: (VILLAR, pág. 7)

Existen diversas temperaturas de sintetización es por ello que para optimizar el proceso es necesario conocer qué tipo de mezcla de polvos se va a emplear.

Figura 122. Elementos sinterizados de una suspensión



Fuente: Autores

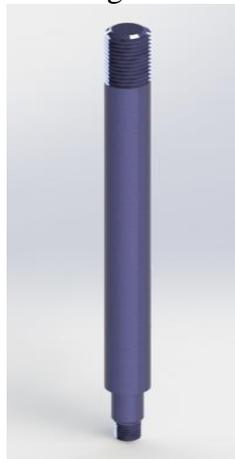
## 6.6 Vástago del pistón

Los vástagos de amortiguadores posteriores son elaborados de barras de acero AISI 1045. De acuerdo a las necesidades requeridas, las barras macizas son laminadas y estiradas en frío calibrando el diámetro. Posterior a esta operación se corta la longitud apropiada para formar el vástago, por un extremo el diámetro es reducido aún más para permitir el ensamblaje del pistón, porta pistón y los muelles de disco.

Para crear las roscas los extremos del vástago pasan entre las ruedas acanaladas de una maquina fileteadora.

Las características técnicas y el tratamiento superficial de los vástagos son idénticos a las barras de suspensión delantera expuestas en la tabla 26

Figura 123. Vástago del amortiguador



Fuente: Autores

## 6.7 Elementos de bajo contenido de carbono

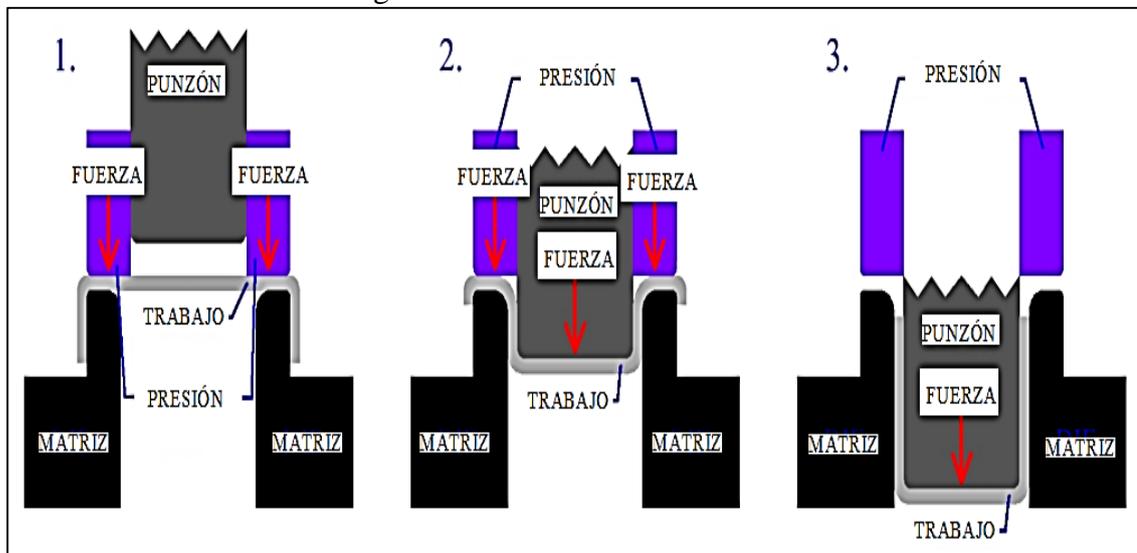
**6.7.1 Tapa del muelle.** Las láminas de acero 1006 troqueladas en forma de discos son colocadas sobre la abertura de una matriz.

El punzón de acero de hierro se desplaza hacia abajo y aplica una fuerza generando presión a toda la superficie de la pieza obligando al metal a formar un cuerpo hueco tridimensional (Fig. 124).

Los factores importantes en la embutición es el radio de la esquina de la matriz así como la cantidad de espacio libre que causa el punzón para sacar la tapa del resorte sin cortarlo.

Es importante efectuar la embutición con lubricación para dar mayor fluidez al material y proteger las partes contra el rozamiento.

Figura 124. Proceso de embutición



Fuente: [http://www.thelibraryofmanufacturing.com/deep\\_drawing.html](http://www.thelibraryofmanufacturing.com/deep_drawing.html)

El radio adicional en un borde es primordial ya que cambia la distribución de la fuerza y logra que el metal fluya en la cavidad de la matriz. Es inevitable tener reducciones de láminas de metal durante el proceso de embutición, sin embargo es aceptable el 25% de adelgazamiento en el espesor de algunas áreas.

Las piezas se fabrican generalmente a una velocidad de 0,101 a 0,305 m/s.

**6.7.2** *Tope de muelle.* Cuando las láminas de acero pasan a través de un alimentador, una prensa hidráulica troquea el tope de muelle creando la forma y dimensión correcta. Dicho proceso se logra a temperatura ambiente. Posterior a eso el tope de muelle es tratado superficialmente con baños electrolíticos de zinc.

**6.7.3** *Regulador.* El regulador proveniente de una embutición es llevado a una máquina de troquel la cual corta las diferentes fases de regulación.

En el extremo se realiza un orificio para insertar un pequeño cilindro, de este modo se podrá ajustar la compresión del muelle. El regulador ya en su forma final pasa por un proceso de recubrimiento superficial decorativo (baños electrolíticos de zinc).

## **6.8 Anclaje inferior del amortiguador**

Las planchas de acero AISI 1010 son cortadas en forma de disco, los mismos que al pasar por una prensa hidráulica adoptan la forma inferior del anclaje proceso que se efectúa a temperatura ambiente. Para la parte superior se cortan barras rectangulares a medida para luego ser dobladas por rodillo creando el importante anillo que fijara el amortiguador al chasis de la moto. La parte inferior del anclaje y el anillo de sujeción son colocadas una sobre otra encima del electrodo inferior, el electrodo superior descende y aprieta los dos elementos quedando sometidos a una presión para ser unidas utilizando como fuente calorífica una corriente eléctrica, de este modo la presión aumenta y se produce el calentamiento de las zonas en contacto con los electrodos. La operación final del proceso se produce cuando la presión disminuye sobre las piezas soldadas permitiendo la retirada de la máquina.

Figura 125. Anclaje inferior del amortiguador



Fuente: Autores

## 6.9 Tapón roscado

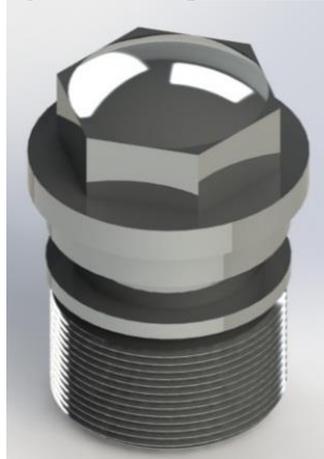
**6.9.1 Forjado.** Las barras de acero AISI 1020 cortadas en pequeñas longitudes son calentadas a una temperatura aproximada de 1 100 °C e insertadas en una matriz. Una prensa hidráulica forja el material creando el cuerpo y la cabeza hexagonal del tapón.

**6.9.2 Mecanizado.** El tapón presenta un mecanizado relativamente fácil debido a que proviene de un proceso de forja y tiene una microestructura uniforme.

La fuerza de corte estimada entre 1 180 a 1 750 N/mm<sup>2</sup>, se puede utilizar altas velocidades de corte. Los pasos a seguir son principalmente el cilindrado y roscado de la parte longitudinal, lugar en donde interactúa con la barra de suspensión.

Ranurado para crear el alojamiento del empaque de aceite y refrentado para formar la planeidad idónea para el contacto con el casquillo de compresión.

Figura 126. Tapón roscado



Fuente: Autores

**6.9.3 Recubrimiento superficial (cromado).** Los elementos como; el anclaje inferior, la tapa de resorte, el tubo exterior del amortiguador y el tapón roscado son tratados superficialmente con baños de cromo decorativos.

Los elementos son introducidos en una solución galvánica, para la que se disuelve ácido crómico en agua, en una proporción de 300 gramos por litro y añadiéndose dos gramos por litro de ácido sulfúrico. Dicha mezcla se lleva luego a las cubas o tinas electroquímicas. En dichas cubas o tinas electroquímicas, se introducen ánodos fabricados

en plomo o aleación de plomo-antimonio, así como la corriente y el voltaje para hacer posible la reacción electroquímica.

Al ánodo y cátodo se les proporciona una corriente continua que hace reaccionar la solución con la pieza a cromar (cátodo), es decir, provoca que el ácido crómico se descomponga en cromo metálico situándose en el cátodo y el hidrógeno desprendido en el ánodo. La acción permite que el cromo se adhiera al elemento a tratar de manera eficiente.

El voltaje de la corriente está determinado por la configuración de la cuba y los electrodos, en general está por debajo de los 7 voltios. Los expertos recomiendan que la relación de área entre los conductores, ánodo a cátodo, sea de 3 a 1 como mínimo, para así evitar perjudicar el proceso químico y genera piezas malogradas. (CRUZ)

Figura 127. Elementos cromados



Fuente: Autores

## CAPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

El resultado de la desagregación tecnológica mostró esquemas empíricos de los elementos que componen el sistema de suspensión de la motocicleta de 125cc 4 tiempos, gran parte de los componentes se encuentra al alcance de una producción nacional.

Las microestructuras presentan aceros de bajo, medio y de alto contenido de carbono, sin embargo el casquillo en la horquilla muestra una aleación de Manganeso. La botella y el anclaje superior presentan aleaciones de aluminio y existe un 20 % elementos constituidos de polvos metálicos (Fe-Cu-C), al relacionar los materiales expuestos con el medio, se establece que el 80 % de estos se encuentra en el mercado nacional o puede ser reemplazado con un análisis adecuado.

Las dimensiones y el material empleado en los muelles o resorte satisfacen las operaciones de funcionamiento impuestas en el estudio, el diseño y la verificación demuestra que su resistencia es mayor sin embargo el esfuerzo permisible máximo queda limitado por la geometría de la suspensión. Para los elementos secundarios los resultados del software comprobaron su correcto funcionamiento.

El análisis por Software demostró que todos los componentes pueden llegar a soportar esfuerzos mayores a los establecidos en el estudio. Fundar la carga máxima de resistencia implica un estudio más profundo que defina las ventajas y debilidades del diseño impuestos por el fabricante.

La planimetría es fundamental en una viable fabricación, la documentación realizada presenta las correctas dimensiones expuestas por el fabricante del sistema de suspensión, así como el proceso de ensamble y las tolerancias adecuadas para cada uno de los componentes.

Para el proceso de manufactura se ha establecido los indicios para cada elemento, señalando ciertos métodos que ya se dominan en nuestro medio. Sin embargo no se debe

exceptuar los métodos que no se han podido implantar tales como: la elaboración de tubos sin costura, inyecciones de aluminio y sinterización.

## **7.2 Recomendaciones**

Se recomienda respetar el esquema de cada componente ya que la modificación conlleva un análisis profundo y sobre todo que respalde los posibles cambios que influirán en la interacción del conjunto.

Aplicar los materiales usados en este documento como base para futuros diseños. Sin embargo en el caso de mejorar el material considerar que todo cambio implica un costo, a excepción de otro de menores características que requiere un estudio para respaldar su utilización.

Establecer un análisis para un posible rediseño en resortes de compresión utilizado alambre de piano común dentro del país.

A pesar de haber cumplido con los objetivos planteados estuvo limitado por el tiempo, por cuanto se debe considerar un análisis exhaustivo de los elementos secundarios de una suspensión.

Analizar la factibilidad de importación de elementos de la suspensión cuya fabricación no es posible en el país debido a que la maquinaria necesaria especializada para estos procesos incurriría en un costo mayor y una producción a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS-PAZ, Manuel. (2003).** *Motocicletas*. Madrid (España): DOSSAT 2000 S. L. Recuperado el 15 de marzo de 2015
- BÁEZ, Marco. Alonso. (s.f.).** *Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos automóviles tipo turismo*. Recuperado el 25 de abril de 2015, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6687/01Mab01de01.pdf?sequence=1>
- BENSCOTER, Bruce. L., & O., B. I. (2002).** *Metallographe´s Guide. Practices and procedures for Irons and steels*. USA. Recuperado el 25 de julio de 2015
- CALLISTER, William. .. (2007).** *Introduccion a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. ESPAÑA: REVERTÉ S.A. Recuperado el 3 de mayo de 2015
- CASTRO, Miguel. (2001).** *Biblioteca Técnica y Práctica de la Motocicleta*. España: CEAC S.A. Recuperado el 4 de abril de 2015
- COMPANY, P. K. (12 de Octubre de 2015).** *The Cold Drawing*. Recuperado el 12 de noviembre de 2015, de <http://www.precisionkidd.com/pdf/DrawingProcess.pdf>
- COROMANT, S. (s.f.).** *Sandvik Coromant*. Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de Materiales: [http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/workpiece\\_materials/iso\\_p\\_steel/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx)
- COROMANT, S. (s.f.).** *Sandvik Coromant*. Recuperado el 20 de octubre de 2015, de Mandrinado: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/boring/initial-considerations/pages/default.aspx>
- COROMANTO, S. (s.f.).** *Sandvik Coromanto*. Recuperado el 27 de octubre de 2015, de Taladrado: [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application\\_overview/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/drilling/application_overview/pages/default.aspx)
- CROCCOLO, Dario., & AGOSTINIS, M. (2013).** *The front suspensión*. SPRINGER SCIENCE, 55-105. Recuperado el 10 de marzo de 2015, de [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5149-4\\_4](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5149-4_4)
- CRUZ, María. C. (s.f.).** Tratamientos -cromado. *Metal Actual*. Recuperado el 6 de noviembre de 2015, de <http://www.metalactual.com/revista/7/tratamientos.pdf>
- CTIF, C. T. (25 de Enero de 2012).** *My Little Blog Fonferie*. Recuperado el 1 de octubre de 2015, de Centre Technique Industriel Fonderie CTIF: <http://souspression.canalblog.com/archives/2012/01/25/8620187.html>
- DIXON, John. C. (2007).** *The Shock Absorber Handbook*. England. Recuperado el 26 de abril de 2015, de The Shock Absorber Handbook.
- EBERHARDA, Mavroudakisa, B., & Peter. (2007).** *Analysis of alternative front suspension systems for motorcycles*. Taylor & Francis, 679-689. Recuperado el 20 de marzo de 2015, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00423110600883447>

**FOALE, Tony. (2003).** *Motorcycle Handling and chasis desing the art and science.* España: TONY FOALE DESIGNS. Recuperado el 30 de marzo de 2015

**ILZRO, T. I. (Enero de 2007).** *Ensayo de Niebla Salina.* Recuperado el 15 de noviembre de 2015, de [http://latiza.com/archivos\\_publicar/galvinfo/GalvInfoNote3\\_4.pdf](http://latiza.com/archivos_publicar/galvinfo/GalvInfoNote3_4.pdf)

**JODAR, Xavier. A. (2009).** *UCLM.* Recuperado el 20 de septiembre de 2015, de <https://www.uclm.es/profesorado/xaguado/ASIGNATURAS/BTD/4-Apuntes/Tema4/comparativa.pdf>

**KEITH, Richard. G. (2012).** *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.* México: Mc Graw-Hill. Recuperado el 2 de septiembre de 2015

**MEHL, Robert. (1973).** *Metals handbook.* USA: AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Recuperado el 20 de agosto de 2015

**PARKS, Paul. (2010).** *Race Tech´s Motorcycle Suspension Bible.* Minneapolis. Recuperado el 18 de marzo de 2015

**PINTO, Andony. J. (17 de Octubre de 2014).** *Suspensión trasera regulable de una moto de competición.* Recuperado el 25 de marzo de 2015, de ADDI: Repositorio Institucional de la Universidad del País Vasco >: <http://hdl.handle.net/10810/13381>

**SHORTT, Christopher. M. (2003).** *Engineering Design Process.* USA: CENGAGE LEARNING. Recuperado el 20 de septiembre de 2015

**TECHNOLOGY, M. (Dirección). (2013).** *Integrated tube production at Sandvik* [Película]. Recuperado el 30 de octubre de 2015, de [www.youtube.com/watch?v=7ITgMXtuMv0](http://www.youtube.com/watch?v=7ITgMXtuMv0)

**TIRE, I. (2015).** *Motorcycle Tyre Site.* Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de <http://www.irc-tire.com/en/mc/products/moped/standard/#wrap>

**VILLAR, Camilo. M. (s.f.).** *Pulvimetalurgia.* Metal Actual, 4-9. Recuperado el 20 de diciembre de 2015, de <http://www.metalactual.com/revista/14/Pulvimetalurgia.pdf>

# PLANOS