UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

TEMA:

"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LOS SISTEMAS MECÁNICOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN, DEBIDO AL REEMPLAZO DE AROS Y NEUMÁTICOS, EN UN VEHÍCULO NISSAN SENTRA, 1.800 CM^3"

Tesis previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRÍZ

AUTORES:

Álvaro Daniel Rodríguez Cuenca
Santiago Ismael Urgilés Verdugo

DIRECTOR:
Ing. Marco Amaya
Mgst

CUENCA – ECUADOR

2010

RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo de investigación, son de exclusiva responsabilidad del los autores.

(f)_____

Álvaro Daniel Rodríguez Cuenca

CI: 0301762563

(f)_____

Santiago Ismael Urgilés Verdugo

CI: 0301533246

Cuenca, Junio 22 de 2010

DEDICATORIA

- Este trabajo lo dedico a mis padres, que supieron con sus palabras de aliento, mantenerme constante en mis estudios; con su esfuerzo y consejos me han guiado por los senderos correctos, han disculpado mis faltas y han estado presentes en los momentos que más los he necesitado.

- A mis hermanos, por el apoyo brindado para que este trabajo se elabore de la mejor manera, además por ser el ejemplo de cómo se lucha en la vida, porque solo así, se puede conseguir lo que se desea.

- A todos mis amigos que han estado pendientes de este trabajo, aportando con sus comentarios y palabras, han sido un apoyo en todo momento.

- Por último a todas las personas especiales en mi vida, que fueron las que día a día me mantuvieron constante y me dieron las fuerzas para seguir.

MUCHAS GRACIAS A TODOS DE CORAZÓN

Álvaro Rodríguez Cuenca

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo del presente trabajo:

- A mi padre: MARCELO, que significa para mí, un signo de rectitud y constancia, me ha enseñado que todo esfuerzo tiene una gran recompensa y que con firmeza siempre se sale adelante; a mi madre, ZAIDA, por su sensibilidad, consejos acertados, palabras y actitudes, siempre llenó de amor y cariño mi corazón.

- A mi hermana MARCELA, que a más de ser una amiga, ha sido la confidente, gracias por sus consejos y palabras de aliento, que han contribuido a incentivar mi formación personal, te recuerdo con cariño a pesar de la distancia.

- A mi hermano JAVIER, por su alegría y sencillez, gracias por enseñarme que la felicidad se encuentra en lo más sencillo del ser humano.

- A mis amigos y a todas las personas que fueron un incentivo durante mi formación académica y por estar pendientes de la realización de este trabajo.

A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS POR HACER

QUE ESTE SUEÑO SE HAGA REALIDAD.

Santiago Urgilés Verdugo.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por darnos la salud, sabiduría y fortaleza; y por permitirnos la realización de este trabajo.

- A nuestros padres que con su esfuerzo fueron una inspiración y se constituyeron en el pilar fundamental de nuestro esfuerzo y dedicación cotidiana.

- A todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucrados en la realización de este trabajo, de manera especial al Ing. Marco Amaya, Director de tesis, por brindarnos todo su apoyo y dedicación, resolviendo conjuntamente los problemas que se presentaron en el desarrollo del presente trabajo.

- Finalmente, a todas las personas que nos dieron su aliento y apoyo en los buenos y malos momentos de nuestra carrera.

Álvaro Daniel Rodríguez Cuenca
Santiago Ismael Urgilés Verdugo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	**Pág.**
Responsabilidad	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Introducción	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN SOBRE TIPOS DE AROS, NEUMATICOS, SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN.	2
1.1 AROS	2
1.1.1 Tipos de aros.	3
1.1.2 Partes de un aro.	4
1.1.3 Dimensiones de un aro.	5
1.1.4 Aros por desplazamiento y estructura	5
1.2 NEUMÁTICOS	7
1.2.1 Partes de un neumático.	8
1.2.2 Tipos de neumáticos según su construcción.	12
1.2.3 Dimensiones de los neumáticos.	14
1.2.4 Designación de un neumático.	15
1.2.5 Tablas de carga y velocidad de los neumáticos.	16
1.3 LA SUSPENSIÓN DEL AUTOMOVIL	18
1.3.1 Funcionamiento del sistema de suspensión.	19
1.3.2 Elementos de la suspensión.	22
1.3.3 Tipos de suspensión.	32
1.4 SISTEMA DE DIRECCION	40
1.4.1 Características que debe tener el Sistema de Dirección.	40
1.4.2 Sistemas de Dirección.	42
1.4.3 Mecanismos de Dirección.	44
1.4.4 Dirección Asistida.	46
CAPÍTULO 2	55
2.1 FUERZAS EN LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN.	56
2.1.1 Fuerzas, Momentos y Esfuerzos en el Neumático.	56
2.1.2 Distribución de las Fuerzas del Neumático.	57
2.1.3 Comportamiento transversal del neumático.	59
2.1.4 Carga vertical sobre el neumático.	62
2.1.5 Elementos que intervienen en el cálculo de la suspensión:	62
2.1.6 Calculo de Fuerzas en la Suspensión y Dirección de Nissan Sentra, 2003, 1.8cm^3.	75
CAPITULO 3	94
3.1. COMPONENTES MECÁNICOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN.	95
3.1.1 Componentes de suspensión delantera.	95
3.1.2 Descripción de componentes de suspensión posterior.	96
3.1.3 Componentes de Dirección.	97

3.1.4 Pruebas de dureza de materiales utilizados en suspensión y dirección. 99

3.2 DESARROLLO DE SIMULACIÓN DINÁMICA 103
3.2.1 Diseño de elementos mecánicos. 103
3.2.2 Elementos despreciados en análisis dinámico. 104
3.2.3 Diseño de ensamble. 105
3.2.4 Diseño de simulación dinámica. 114
3.2.5 Resultados de simulación dinámica. 115
3.2.6 Conclusiones de resultados. 124

CAPÍTULO 4
CÁLCULO DE ESFUERZOS MEDIANTE SOFTWARE 127
4.1 Análisis de Esfuerzos de Conjuntos de Suspensión y Dirección del Vehículo. 128
4.1.1 Simulación de esfuerzos. 128
4.2 Distribución de Fuerzas en conjunto de Suspensión Delantera. 130
4.2.1 Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de suspensión delantera utilizando el aro 15” y el aro 16”. 130
4.3 Distribución de Fuerzas en conjunto de Suspensión Posterior. 135
4.3.1 Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de suspensión posterior utilizando el aro 15” y el aro 16” 136
4.4 Distribución de esfuerzos en Sistema de Dirección. 139
4.4.1 Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de dirección utilizando el aro 15” y el aro 16” 139

CAPÍTULO 5
VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES 144
5.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES 144
5.1.1 Resultados de suspensión delantera 145
5.1.2 Resultados de suspensión posterior 145
5.1.3 Resultados de dirección. 145
5.2 CONCLUSIONES 146
5.3 RECOMENDACIONES 147
5.4 BIBLIOGRAFÍA 148
5.5 ANEXOS 150
5.5.1 Anexo Fotografías de reconocimiento del Vehículo 151
5.5.2 Anexo Fotografías de desmontaje de Suspensión y Dirección 152
5.5.3 Anexo Fotografías de medición de los elementos mecánicos 154
5.5.4 Anexo Fotografías de de pruebas de ensayo 155
5.5.5 Anexo Fotografías de montaje del vehículo. 156

INTRODUCCIÓN

El presente estudio, ha tratado de analizar la suspensión y dirección de un vehículo Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3. Se estudia los movimientos y esfuerzos que se producen en la suspensión y dirección cuando se reemplaza en un vehículo los aros 15" con neumático 195/60 R15, por el aro 16" con neumático 195/45 R16.

El capítulo 1, describe los tipos de aros, neumáticos, suspensión y dirección, cada una de sus partes y funcionamiento, son analizados con detalle.

El capítulo 2, se estructura de forma matemática, mediante la utilización de diferentes fórmulas de ecuaciones, que explican el cálculo de fuerzas, reacciones, momentos y esfuerzos de cada uno de los elementos mecánicos; los mismos que son complementados con diagramas de cuerpo libre de fuerzas y momentos, de los sistemas de suspensión y dirección.

En el capítulo 3, se analiza las variables físicas como: velocidad, aceleración, fuerzas y momentos que se encuentran presentes en el movimiento del sistema de suspensión y dirección del vehículo. Se realiza un estudio dinámico real del movimiento de la suspensión y dirección. Se utiliza para el efecto, el software AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2010 que posee un módulo de simulación dinámica.

El capítulo 4, analiza los esfuerzos que se producen en los elementos mecánicos de los sistemas de suspensión y dirección cuando se reemplazan los aros 15" por los aros 16". El software de análisis que se utiliza para la simulación de los esfuerzos es ANSYS 12.1 versión 2009, que posee un módulo para el estudio de los esfuerzos, mediante el método del análisis de los elementos finitos.

El capitulo 5, da a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación, después de haber comparado los resultados de la simulación dinámica y los resultados del análisis de los esfuerzos de los elementos mecánicos de la suspensión y dirección; enfatizando aspectos como: el factor de seguridad de diseño, construcción y fatiga de estos elementos.

1

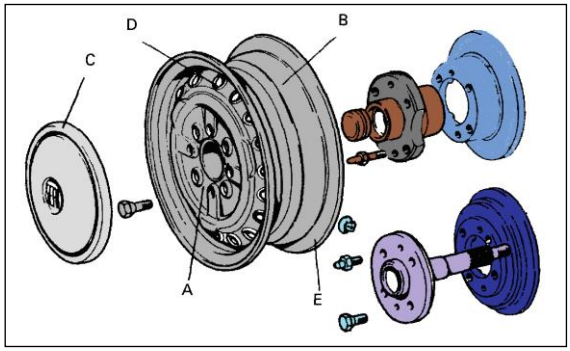
INTRODUCCIÓN SOBRE TIPOS DE AROS, NEUMÁTICOS, SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN

El presente capítulo, nos permite hacer una descripción de los tipos de aros, neumáticos, suspensión y dirección; datos necesarios para disponer de un conocimiento teórico específico de estos elementos indispensables en un automotor, que se constituirán en la base para poder determinar y calcular los esfuerzos en la suspensión y dirección, que los abordaremos en los capítulos posteriores.

1.1 AROS

Los aros son el eje fundamental de las ruedas y del sistema de suspensión y dirección; su función es resistir el peso del vehículo y su carga, soportando esfuerzos de torsión, flexión y los producidos por el motor o el frenado del vehículo.

Como se puede observarse en la Fig. 1.1, las ruedas están formadas por un disco (A), que se une al tambor o disco de freno por medio de tornillos; y una llanta (B) que se une al disco por soldadura y en la que se monta el neumático. Los agujeros para el paso de los tornillos de fijación, presentan un asiento cónico para el centrado de la rueda.



El material del disco de la rueda y del aro es de acero, haciéndolos resistentes a golpes. En su exterior dispone de unos orificios (D), cuyos bordes se doblan ligeramente para aumentar la resistencia de la rueda.

Fig. 1.1 Conjunto Disco y Llanta.
FUENTE: Técnicas del Automóvil, Chasis, J.M.ALONSO.

El disco de rueda tiene una forma ligeramente cónica de manera que pueda tener mayor rigidez y resistencia, aunque esta disposición está condicionada a las exigencias de montaje.

Como se observa en la Fig. 1.2, su cara de apoyo y fijación, se encuentra desviada ligeramente a un lado del eje de simetría de la rueda, llamándose a esta distancia, bombeo o saliente. El conjunto de disco y llanta está protegido contra la corrosión por una capa de laca transparente.

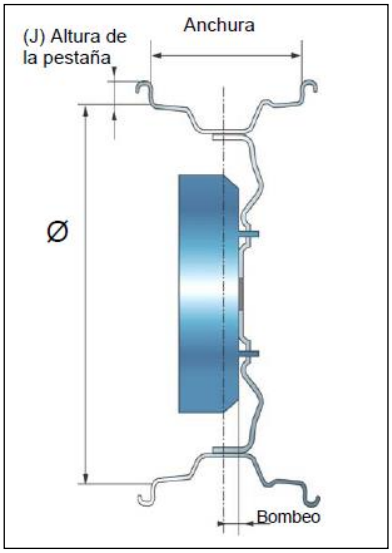


Fig. 1.2 Conjunto Disco y Llanta.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.1.1 **Tipos de aros.**

Son de tres tipos:

1. *Aro Hundido.*

Son fabricados para facilitar el montaje y desmontaje del neumático. La característica fundamental es la forma de su perfil.

2. *Aro Plano.*

Se emplean generalmente en camiones, son diseñados para soportar cargas y esfuerzos mayores, lo que hace que se desgasten con mayor rapidez, por tanto no siempre es posible predecir con exactitud la vida útil de una aro de este tipo, debiendo ser inspeccionado con mayor frecuencia para detectar posibles fallas.

3. *Aros para neumáticos sin cámara (tubeless).*

Son fabricadas de aleación ligera (aluminio y magnesio) son las más utilizadas por su mayor ligereza, aunque su precio es más elevado.

Su constitución es similar a las de acero estampado y disponen unos nervios, formados en el disco asemejando radios cortos y gruesos.

Pueden fabricarse de mayor espesor, aumentando su rigidez y pudiendo ser a la vez más anchas, lo que beneficia con una mayor superficie de contacto de los neumáticos con el suelo.

1.1.2 Partes de un aro.

En la Fig. 1.3 se puede observar las partes de un aro, que a continuación se describen:

1. Pestaña: es el lugar del aro donde se apoya lateralmente el talón de la cubierta del neumático.
2. Asiento de talón: es la zona del aro sobre la que se apoyan los talones de la cubierta.
3. Base: corresponde a la zona de la aro comprendida entre ambos asientos de talón.
4. Agujero de Válvula: es en donde se encuentra el agujero para la válvula de aire.

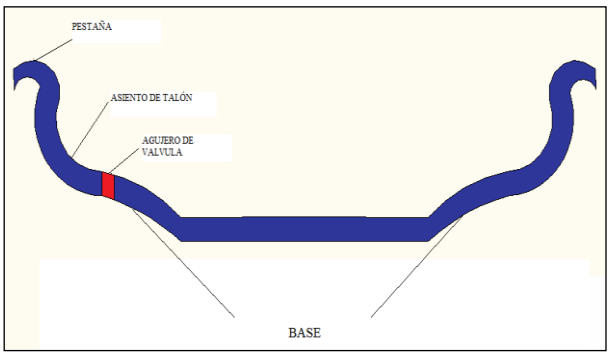


Fig. 1.3 Partes del Aro.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez y Santiago Urgilés

1.1.3 Dimensiones de un aro.

Sus dimensiones vienen grabadas en forma simplificada, con dos números expresados en pulgadas y una letra entre ambos. Como se puede observar en la Fig. l.4, el primer número indicado por la cota (A) es el ancho interior, la segunda cifra indica la cota (C) y es diámetro nominal. La letra (B) indica el perfil del borde del aro.

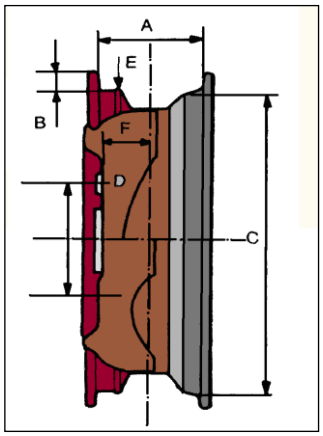


Fig. 1.4 Dimensiones Básicas de una Rueda.
FUENTE: Técnicas del Automóvil, Chasis, J.M.ALONSO.

En otros casos, el grabado de dimensiones del aro es completo, especificándose sus dimensiones y todas sus características, como se puede ver en la Fig. 1.5.

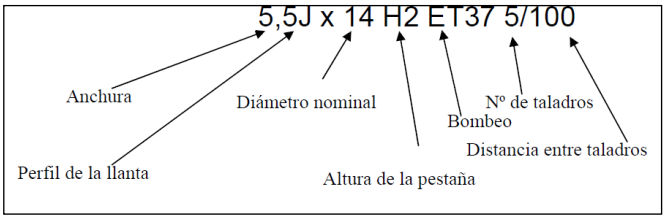


Fig. 1.5 Ejemplo de Designación de Aros.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez y Santiago Urgilés

1.1.4 Aros por Desplazamiento y Estructura

1.1.4.1 *Por desplazamiento.*

Como se puede observar en la Fig. 1.6, los tipos de aros por desplazamiento son:

Positivos.- Su cara de apoyo y fijación, esta situada hacia la derecha del eje de simetría de la rueda.

Negativos.- Su cara de apoyo y fijación, está situada hacia la izquierda del eje de simetría de la rueda.

Cero.- Su cara de apoyo y fijación está situada sobre el eje de simetría de la rueda.

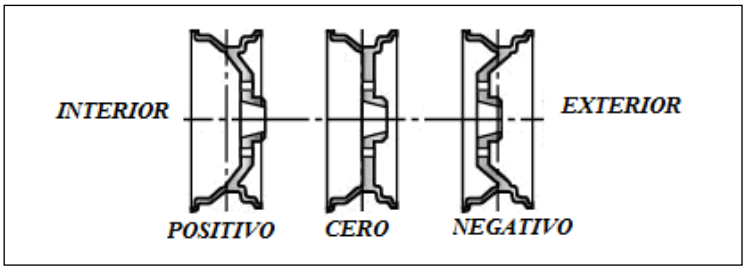


Figura 1.6 Tipos de Aros por Desplazamiento.
FUENTE: www.todoautos.com.pe

1.1.4.2 Tipos de aros por su estructura:

- Aro “Hump” (H)
- Aro “Doble Hump” (H2)
- Aro “Fiat Hump” (FH)
- Aro “Fiat Ledge” (FL)
- Aro “Contra-pendiente” (CP)
- Aro “Combinación” (CH)

En la actualidad se trata de armonizar el diseño del aro con la estética del vehículo como se ve en la Fig. 1.7.

Fig. 1.7 Tipos de Aros según estética del Vehículo.
FUENTE: www.todoautos.com.pe

1.2 NEUMÁTICOS

Un neumático es una pieza toroidal de caucho, que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas; su función principal es permitir un contacto por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía; constituyendo también una gran ayuda para el sistema de suspensión al absorber las desigualdades del terreno.

Están compuestos de caucho y el material de relleno, combinados como para alcanzar diferentes objetivos conforme al uso que se le dará al neumático; el objetivo puede ser optimizar el desempeño, aumentar la tracción en condiciones tanto de suelo seco como de suelo mojado u obtener una resistencia a la rodadura superior.

En general, existen cuatro tipos principales de caucho que se utilizan:

1. Caucho natural,
2. Caucho de butadieno estireno (SBR, sigla en inglés),
3. Caucho polibutadieno (BR, su sigla en ingles) y
4. Caucho isobuteno-isopropeno y caucho de isobuteno-isopropeno halogenado).

Los primeros tres se utilizan principalmente como compuestos de la banda de rodamiento y de la cara, mientras que el caucho isobuteno-isopropeno, y el isobuteno-isopropeno halogenado se utilizan mayormente para el revestimiento interno o la parte interna que mantiene el aire comprimido dentro del neumático.

Los materiales de relleno más comunes son el negro de carbón y el sílice, existiendo varios tipos de cada uno. La elección depende de los requisitos de desempeño, porque son diferentes para la banda de rodamiento, la cara y la cúspide. Otros ingredientes también se utilizan para colaborar en el procesamiento del neumático o funcionan como agentes antioxidantes y antienvejecimiento.

El "paquete de curado" es una combinación de curativos y aceleradores, se utiliza para formar el neumático y otorgarle su elasticidad.

1.2.1 Partes de un neumático.

Como se observa en la Fig. 1.8, el neumático está constituido por:

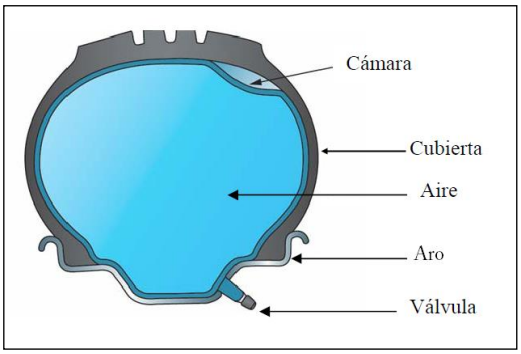


Fig. 1.8 Partes de un Neumático con Cámara.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.2.1.1 La cámara.

Es un anillo de caucho vulcanizado blando (caucho butilo), que se encuentra dentro de la cubierta y gracias a ella puede inflarse a más presión de la que admitiría normalmente. Cuenta con una válvula que asoma al exterior por un orificio ubicado en el aro.

1.2.1.1.1 Tipos de cámaras en los neumáticos.

Según su uso:

- Neumáticos *tubetype*: son aquellos que usan cámara y un aro específico para ello. No pueden montarse sin cámara. Se usan en algunos 4 x 4 y en vehículos agrícolas como se ve en la Fig. 1.8.

- Neumáticos *tubeless* o sin cámara: no emplean cámara. Para evitar la pérdida de aire los flancos de la cubierta se adhieren al aro durante el montaje, por lo que el aro debe ser específico para estos neumáticos. Se emplea prácticamente en todos los vehículos, como se ve en la Fig. 1.9.

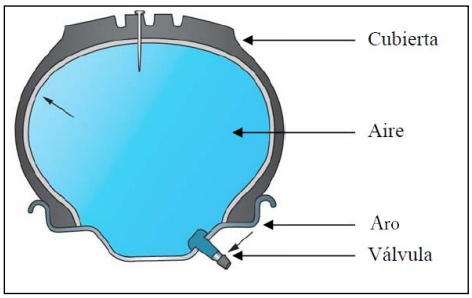


Fig. 1.9 Partes de un Neumático sin Cámara.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.2.1.2 La cubierta.

En la Fig. 1.10, la cubierta, es otra parte importante del neumático, se compone de los siguientes elementos:

1. Carcasa: brinda resistencia a la cubierta soportando la presión de inflado y los esfuerzos exteriores, formada por capas superpuestas de tejidos de cuerdas engomadas, que se extienden de talón a talón, cuyo tamaño y número de capas varía según las dimensiones y tipo de trabajo al que se destine.
2. Banda de rodamiento: constituye la superficie de contacto de la cubierta con el suelo, por lo que es la zona de desgaste, se encuentra situada sobre las capas de rodamiento, está formada por una gruesa capa de goma con una serie de relieves y surcos que dan origen al llamado "labrado o escultura" de la cubierta.

   En su composición debe presentar una elevada resistencia al desgaste y al calor, en general a todos los agentes externos y agresiones, como: cortes, desgarros, etc. El esculpido de la banda de rodamiento es fundamental, porque permite, la suficiente adherencia al terreno e impide el deslizamiento de la cubierta.

3. Capas de rodamiento: son capas interpuestas entre la banda de rodamiento y la carcasa, cuyo fin es absorber los esfuerzos internos generados por los impactos que recibe la cubierta en su funcionamiento.
4. Escultura o labrado: son surcos que se hacen en la banda de rodadura para obtener adherencia variando su forma de acuerdo al terreno.
5. Indicadores de desgaste: son bandas transversales ubicadas en la banda de rodadura, tienen una altura de 1,6 mm, se encuentran en el fondo del labrado.
6. Talones: es la parte de la cubierta que hace contacto con el aro, proporcionando un perfecto anclaje, estanqueidad de la cámara de aire, y transmisión de los esfuerzos en aceleración y frenada.
7. Aros de talones: son hilos de acero de elevada resistencia, que proporcionan la inextensibilidad de los talones.
8. Hombros: son el lazo de unión entre la banda de rodadura y los flancos, evita los roces de la carcasa y choques laterales sufridos por el neumático.
9. Costados: son gomas que se encuentran en la parte lateral de la cubierta desde la banda de rodadura hasta los talones; contiene marcajes de identificación de la cubierta. Deben tener una elevada resistencia para soportar la carga y el esfuerzo de flexión, además de una elevada flexibilidad para complementar la suspensión del vehículo.
10. Cordón de centrado: es un resalte que se encuentra en la parte superior del talón, facilita el centrado de la cubierta respecto del aro.
11. Revestimiento de goma interior: es una capa de goma impermeable al aire, que asegura la estanqueidad en el interior de la cubierta.

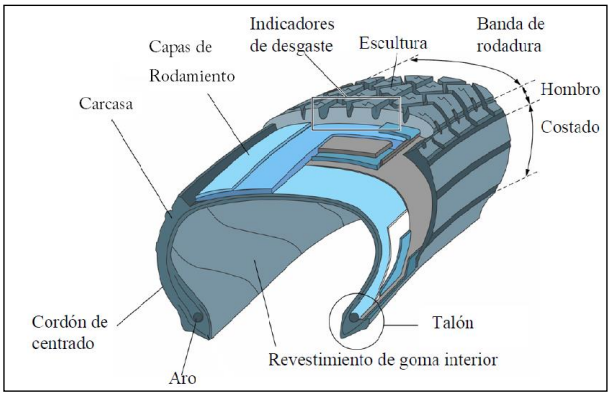


Fig. 1.10 Partes de la Cubierta de un Neumático.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.2.1.2.1 Tipos de Cubiertas.

- Cubiertas para carretera: deben estar construidas de forma que sean capaces de resistir esfuerzos de tracción constantes y presentar una buena adherencia, representada en la Fig. 1.11.

Fig. 1.11 Cubiertas para carretera.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

- Cubiertas lisas: especiales para competición en circuitos con pavimento seco, excelente adherencia y son capaces de soportar esfuerzos de aceleración; por lo contrario tiene muy poca adherencia en agua, este tipo de cubierta se ve en la Fig. 1.12.

Fig. 1.12 Cubiertas lisas.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

- Cubiertas para todo terreno: son las que emplean los vehículos destinados a trabajos mixtos dentro y fuera de carretera, como se observa en la Fig. 1.13.

Fig. 1.13 Cubiertas para todo terreno.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

- Cubiertas para aplicaciones agrícolas: se representa en la Fig. 1.14, deben presentar una gran capacidad de tracción y cierta flotabilidad.

Fig. 1.14 Cubiertas para aplicaciones agrícolas.
FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.2.2 Tipos de neumáticos según su construcción.

Existen dos tipos de neumáticos:

1. *Diagonales.-* En su construcción las distintas capas de material se colocan de forma diagonal, unas sobre otras.

   El armazón está formado por varias capas o lonas de cuerdas textiles impregnadas de caucho. En otros casos estas cuerdas de materia textil se sustituyen por finos cables de acero; lo que confiere una buena resistencia al neumático y adecuada continuidad y precisión en la dirección del vehículo, como se observa en la Fig. 1.15.

   La dirección de las cuerdas forma generalmente un ángulo de entre 30° y 42° paralela al sentido de rotación de la rueda, siendo de menor valor en los neumáticos para grandes velocidades, puesto que se requiere una trayectoria de dirección segura y precisa, a costa de menor comodidad en la conducción del vehículo.

   Hay que destacar que cuanto más cruzadas vayan las cuerdas, se obtiene un neumático de mayor comodidad de conducción, pero de menos estabilidad en la dirección. El número de capas depende del peso que tenga que soportar el

neumático y también de que se empleen cables de acero o cuerdas de materia textil.

Los cables de una capa con los de la siguiente, forman ángulos de entre 60° y 80°, dando lugar a una especie de malla de rombos de elevada resistencia y elasticidad. Los ángulos pequeños determinan en las cubiertas una mayor estabilidad, disminuyendo la comodidad de conducción, por lo que se utilizan en neumáticos destinados a rodar a grandes velocidades.

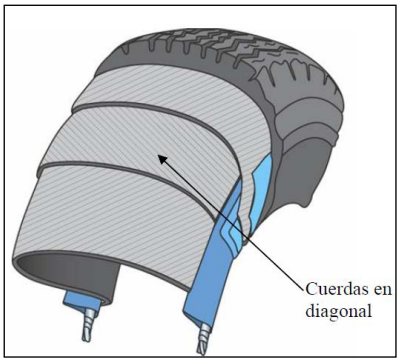


Fig. 1.15. Constitución de una Cubierta del tipo Diagonal.

FUENTE: www.recursos.comforp.net

2. *Radiales.-* En esta construcción las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta, sin sesgo como se observa en la Fig. 1.11. Este sistema permite dotar de mayor estabilidad y resistencia a la cubierta.

El armazón de la cubierta está formado por varias capas de tejido o lonas, cuyas cuerdas van de un talón al otro perpendiculares al sentido de rotación de la rueda, lo que significa una gran comodidad de conducción del vehículo. Para atenuar la escasa estabilidad de la dirección, se disponen varias capas de tejido formando un cinturón por debajo de la banda de rodadura, cuyas cuerdas (recientemente de fibra de vidrio o acero) van como en los neumáticos diagonales; formando un ángulo con respecto a la paralela de alrededor de 20°, como se ve en la Fig. 1.16.

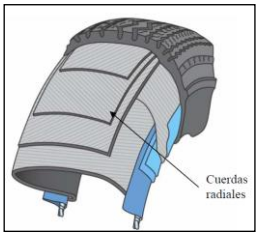


Fig. 1.16 Constitución de una Cubierta del tipo Radial.

FUENTE: www.recursos.comforp.net

1.2.3 **Dimensiones de los neumáticos.**

Como se observa en la Fig. 1.17 las dimensiones en un neumático son:

- Ancho de sección (de pared a pared): de la cubierta, expresado en milímetros.
- Ancho de sección de rodadura: medido desde un extremo a otro de la banda de rodadura.
- Diámetro de la circunferencia: es medido en pulgadas.
- Ancho del aro: medido generalmente en pulgadas.
- Altura de la sección: altura medida desde la banda de rodadura hasta el diámetro del aro.
- Diámetro nominal del aro: se expresa en pulgadas o en milímetros, indica el diámetro que debe tener el aro sobre el que se monta.
- Radio estático con carga: es la distancia medida desde el piso hasta el centro del aro, cuando el neumático está soportando una carga.
- Ancho de sección con carga: medido en milímetro o pulgadas.
- Profundidad de la sección de rodadura: distancia medida en milímetros generalmente.

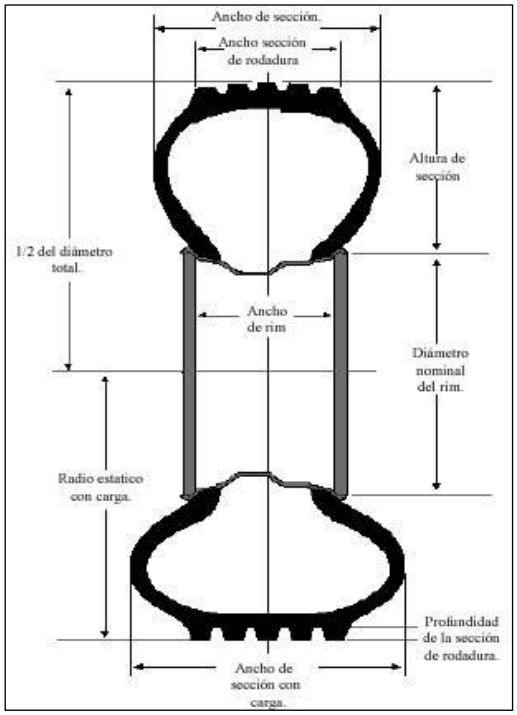


Fig. 1.17 Dimensiones de un Neumático.

FUENTE: http:www.lubricofisanluis.com.ar

1.2.4 Designación de un neumático.

Para la designación de un neumático se utilizan códigos normalizados, que están grabados en un costado, que se describen en la Fig. 1.18, y su significado se detalla a continuación:

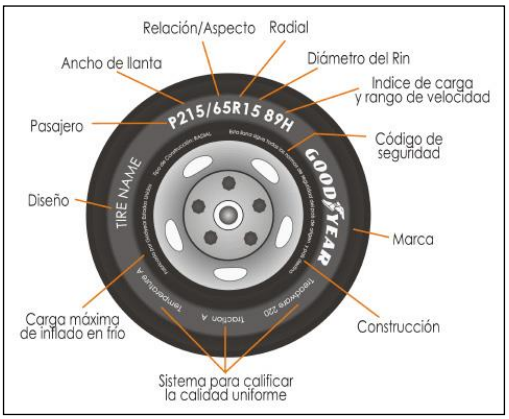


Fig. 1.18 Designación de Neumático.
FUENTE: http://www.circulaseguro.com

- El primer dígito, es una letra pudiendo ser la "P" o ninguna especificación; se trata de neumáticos para uso principal en vehículos de pasajeros. En otro caso figuran las letras "LT", se indica que son neumáticos de construcción reforzada para vehículos de trabajo o pickups.
- El segundo dígito, es el ancho de la sección expresado en milímetros.
- El tercer dígito, es la relación entre la altura de la sección y el ancho de la sección.
- El cuarto dígito, es una letra generalmente la “R”, que indica un neumático de tipo radial.
- El quinto dígito, es el diámetro de la circunferencia interior del neumático en pulgadas, o también el diámetro del aro sobre la que se monta.
- El siguiente número, indica el índice de carga del neumático. Este índice se rige por la Tabla Nº 1, que recoge las equivalencias en Kg. del mismo.
- Finalmente, la última letra indica la velocidad máxima a la que el neumático podrá circular sin romperse o averiarse. Cada letra equivale a una velocidad, como se puede observar en la Tabla Nº 2.

1.2.5 Tablas de carga y velocidad de los neumáticos.

TABLA Nº 1	
Rangos de Carga Máxima	
Código de Carga	***Carga Máxima (kg)***
20	80
30	106
35	121
40	136
45	165
50	190
55	218
60	250
65	290
70	335
75	387
80	450
85	515
90	600
95	690
100	800
105	925
110	1060
115	1215
120	1400

Tabla 1.1 Rangos de Carga Máxima.

FUENTE: Autores Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

TABLA Nº 2	
Rangos de Velocidad	
Símbolo de Rango	***Velocidad (km/h)***
A1	5
A2	10
A3	15
A4	20
A5	25
A6	30
A7	35
A8	40
B	50
C	60
D	65
E	70
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240
W	270
(W)	Más de 270
Y	300
(Y)	Más de 300
ZR	Más de 240

Tabla 1.2. Rangos de Velocidad.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

1.2.5.1 Neumáticos equivalentes.

Dos neumáticos de distinta medida, son equivalentes si se cumplen las siguientes restricciones:

- Índice de capacidad de carga igual o superior al indicado por el fabricante.
- Código de velocidad igual o superior a los tomados en la ficha técnica del vehículo.
- Igual diámetro exterior, con una tolerancia de +-3% con respecto al neumático original.
- Perfil (distancia del rin al piso) en porcentaje del ancho de la llanta.

1.3 LA SUSPENSIÓN DEL AUTOMOVIL

La suspensión de un automóvil representado en la Fig. 1.19, soporta el peso de la carrocería del vehículo, su objetivo es absorber las vibraciones, desigualdades y mantener las ruedas en contacto con el terreno sobre el que se desplaza.

Es de gran importancia porque de este sistema depende el comportamiento del vehículo ante las solicitaciones estáticas, dinámicas y vibraciones o ruidos en el interior del habitáculo.

Cada rueda está unida a la carrocería a través de distintos elementos que permiten un movimiento controlado del vehículo, que puede presentar movimientos horizontales, verticales y rotacionales, originando esfuerzos de compresión, tracción y torsión, debido a las irregularidades del terreno por el que circula el vehículo.

Los sistemas de suspensión de los automóviles se diseñaron para amortiguar las oscilaciones de movimiento más perjudiciales de un vehículo que transita por un terreno irregular, dependiendo del camino y la velocidad, influyendo directamente en el confort del pasajero.

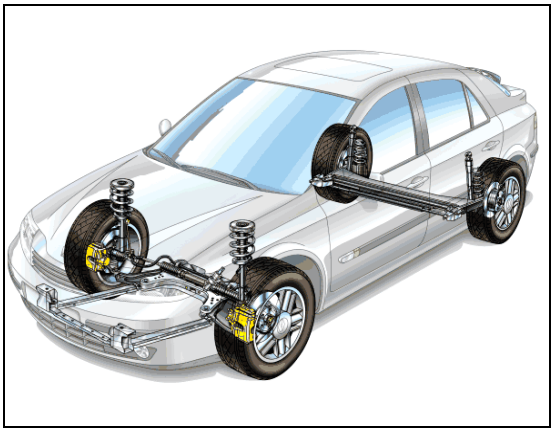


Fig. 1.19 Sistema de suspensión en el vehículo.
FUENTE: www.img76.imageshack.us

1.3.1 Funcionamiento del sistema de suspensión.

El primer elemento de amortiguación y esfuerzo son las ruedas, porque soporta el peso del vehículo; luego los movimientos son transmitidos a los brazos inferiores, a las rótulas, a las manguetas, muelles, ballestas, barras de torsión, brazos superiores, amortiguadores y por ultimo al chasis.

En un sistema de suspensión, un objeto se mantiene suspendido en el aire, apoyado sobre una unión elástica con otro objeto que sirve de apoyo, en este caso sobre el suelo.

Un cuerpo suspendido adquiere movimiento, si sobre él se realiza una fuerza, por tanto la velocidad que adquiere el cuerpo en un tiempo determinado dependerá de la masa del cuerpo y de la fuerza aplicada sobre el mismo como se ve en la Fig. 1.20.

Fig. 1.20 Esquema de Funcionamiento del Sistema de Suspensión.
FUENTE: Autores Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

Si ahora aplicamos una fuerza vertical, de corta duración, al apoyo para levantarlo, tal y como sucede cuando un cuerpo en movimiento encuentra una protuberancia en el camino, el apoyo de poca inercia reacciona con facilidad y se mueve en dirección vertical copiando el perfil de la protuberancia. Pero no pasa lo mismo con el cuerpo pesado, este último ofrece una mayor resistencia al movimiento debido a su elevada inercia, por lo que la subida del apoyo se produce principalmente a expensas de la contracción del resorte, reduciendo notablemente el efecto de subida del cuerpo pesado, no obstante el cuerpo pesado siempre se moverá alguna cantidad. Este elemental esquema mecánico representado en la Fig. 1.21 que constituye la esencia de los sistemas de suspensión.

Fig. 1.21 Esquema de Funcionamiento del Sistema de Suspensión.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

Por lo tanto en condiciones normales en el vehículo, la tensión de los muelles debe ser idéntica al peso suspendido. Durante el paso del vehículo por una irregularidad del camino, las ruedas son empujadas hacia abajo, con una fuerza que es igual a la tensión del muelle, mientras tanto, el peso suspendido continúa con su trayectoria normal debido a la velocidad adquirida con anterioridad.

Luego el peso suspendido comprime el muelle por acción de esta misma fuerza, ocasionando un empuje hacia abajo, en la siguiente etapa la tensión del muelle supera el peso suspendido, produciendo la extensión del mismo, dando origen a un empuje hacia arriba, creando un conjunto de oscilaciones en el peso suspendido. Véase Fig. 1.22.

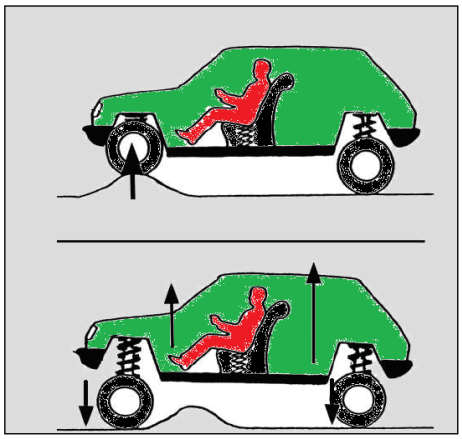


Fig. 1.22 Accionamiento del Sistema de Suspensión.
FUENTE: www.curvasrectas.files.wordpress.com

El diseño de la carrocería debe ser eficaz, de manera que pueda atenuar e incluso impedir el movimiento de la carrocería con relación al piso, para que el vehículo tenga siempre una posición horizontal, tanto en línea recta como en curvas y frenadas.

1.3.1.1 Los movimientos de la carrocería del vehículo.- Se producen en los tres ejes representados en la Fig. 1.23. Sobre los ejes PZ se producen los movimientos de Vaivén, en el eje PX, los movimientos por causa del Balanceo, PY son los producidos por el Cabeceo.

- BALANCEO.- El balanceo de la carrocería se produce en las curvas, se da por la suma de los esfuerzos de la suspensión y el balanceo de los ejes producidos por las deformaciones de los neumáticos. Los muelles son los encargados de reducir sus efectos, al igual que las barras estabilizadoras (cuando los muelles son más rígidos disminuye la inclinación de la carrocería).
- CABECEO.- El cabeceo se produce por los defectos que pueden existir en el asfalto o en una aceleración o frenada brusca.
- VAIVEN.- El vaivén puede ser producido por muchas causas, como son: ráfagas fuertes de viento frontal, giros bruscos a velocidad o defectos en el asfalto, respuestas retardadas del motor al acelerarlo en carretera (en caso de estar en mal estado).

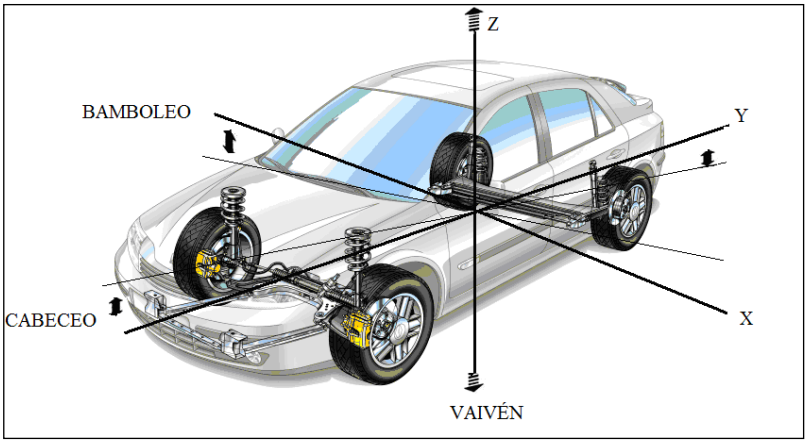


Fig. 1.23 Oscilaciones en el Automóvil.
FUENTE: www.img76.imageshack.us

1.3.2 Elementos de la suspensión.

Los elementos fundamentales en toda suspensión son:

- Muelles.
- Ballestas.
- Amortiguadores.
- Barras de torsión.
- Brazos de suspensión.
- Rótulas.
- Manguetas y bujes.
- Barras estabilizadoras.

1.3.2.1 Muelles.

Los muelles son elementos colocados entre el bastidor y las ruedas, que recogen de forma directa las irregularidades del terreno, absorbiéndolas con la deformación del muelle (Fig. 1.24). Los muelles deben poseer propiedades elásticas adecuadas para poder absorber la energía mecánica producida, evitando deformaciones indefinidas o permanentes.

Fig. 1.24 Muelles.

FUENTE: www.grassrootsgarage.com

Los muelles son arrollamientos helicoidales de acero elástico formado con hilo de diámetro variable, este diámetro varía en función de la carga que tienen que soportar; las últimas espiras del muelle son planas para facilitar el asiento del muelle sobre sus bases de apoyo.

Cuando el vehículo está sometido a cargas o a una deformación en el terreno, el muelle debe deformarse, cuando la acción que produce la deformación ha terminado, el muelle tenderá a oscilar hasta detenerse, originando un balanceo en el vehículo que luego será regulado por acción de los amortiguadores hasta que los muelles vuelvan a adquirir su forma original, como se ve en la Fig. 1.25.

Fig. 1.25 Funcionamiento y deformación del Muelle.

FUNTE: www.gti16.com.

➢ *Características de los muelles.*

- No transmiten esfuerzos laterales, requieren en su montaje, bielas de empuje lateral y transversal para la absorción de las reacciones de la rueda; trabajan a torsión, retorciéndose proporcionalmente al esfuerzo que tienen que soportar, observados en la Fig. 1.26.

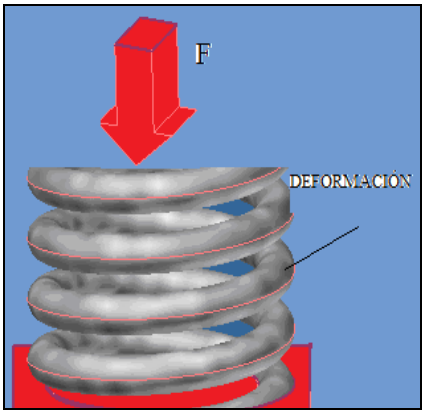


Fig. 1.26 Fuerzas Activas sobre los Muelles.
FUENTE: Autores Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- La flexibilidad de los muelles está en función del: número de espiras, su diámetro, paso entre espiras, espesor o diámetro del hilo y de las características mecánicas del material.

  Se puede conseguir muelles de vehículos con una flexibilidad progresiva, utilizando diferentes diámetros de enrollado por medio de muelles helicoidales cónicos y por muelles con paso entre espiras variables o disponiendo de muelles adicionales que se observan en la Fig. 1.27.

Fig. 1.27 Tipos de Muelles.
FUENTE: www.masoportunidades.com.

1.3.2.2 Ballestas.

Está formada por un conjunto elástico de láminas de acero especial para muelles (aleado con pequeñas proporciones de silicio y manganeso) que se mantienen aplicadas unas contra otras, en su fabricación son sometidas a un tratamiento térmico de temple y revenido. (Fig. 1.28).

Tiene la característica especial de poder deformarse considerablemente bajo la acción de una fuerza externa, regresando a su posición original en cuanto la fuerza que la deforma desaparece.

Las ballestas se mantienen unidas por medio de un tornillo colocado en su parte central, que atraviesa cada una de las hojas, por un orificio que existe en el centro de cada una de ellas.

Fig. 1.28 Ballestas.
FUENTE: www.foro4x4.com

La hoja más larga recibe el nombre de "Hoja Maestra", que une el conjunto a los puntos de fijación del bastidor del vehículo, dispone en sus puntas de extremos doblados en forma de tubo para hacer posible la fijación de las ballestas al bastidor. Véase Fig. 1.29.

Estos extremos curvados reciben el nombre de Ojos. Debemos destacar también la presencia de bridas en U, que cumplen la función de mantener juntas todas las ballestas dentro del mismo plano, de tal manera que no se desalineen en el proceso de trabajo de absorción de golpes que recibe la rueda por causa de las deformaciones del terreno**.**

Fig. 1.29 Ballestas y Componentes.
FUENTE: www.sabelotodo.org

1.3.2.3 Amortiguadores.

Un muelle deformado -cualquiera que sea su tipo- tiende a regresar a su posición inicial luego de haber realizado una serie de oscilaciones de amplitud creciente y decreciente, que se transmite al interior del vehículo, provocando la incomodidad en los pasajeros.
Los amortiguadores son los encargados de controlar el número de oscilaciones de los muelles de la suspensión, evitando que estas oscilaciones se vuelvan peligrosas, fatiguen el material y causen rotura en los muelles.

Existen 2 tipos de amortiguadores: los de fricción y los hidráulicos; los hidráulicos son los más utilizados en la industria automotriz.

- AMORTIGUADORES DE FRICCIÓN.- Fueron los primeros amortiguadores en ser creados, consistían en 2 brazos unidos por un tornillo con un disco de fricción entre ellos, la resistencia se podía ajustar al apretar o aflojar el tornillo, estos amortiguadores no fueron muy duraderos y su rendimiento no fue bueno, ver su representación en la Fig. 1.30.

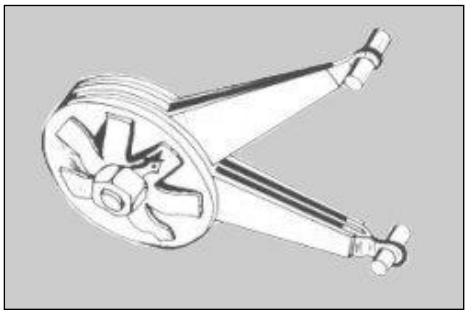


Fig. 1.30 Amortiguador de Fricción.
FUENTE: www.sabelotodo.org

- AMORTIGUADORES HIDRAULICOS TELESCÓPICOS.- Actualmente es el más utilizado en los vehículos, se observa en la Fig. 1.31. El principio de funcionamiento, consiste en la circulación de aceite entre los dispositivos internos, por medio de un conjunto de válvulas que generan una resistencia al paso del mismo entre las cámaras del amortiguador.

Fig. 1.31 Amortiguador Hidráulico.
FUENTE: www.aircontrol.es

1.3.2.3.1 Funcionamiento del amortiguador.

- **Expansión**.- Para que el amortiguador se pueda expandir, el pistón debe subir, si el aceite que está arriba de él fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuello del pistón y las ranuras que se hacen en el asiento de la válvula de expansión. Además de éstas, también se encuentra el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada, como se ve en la Fig. 1.32. El actuar de estos tres elementos, proporciona las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

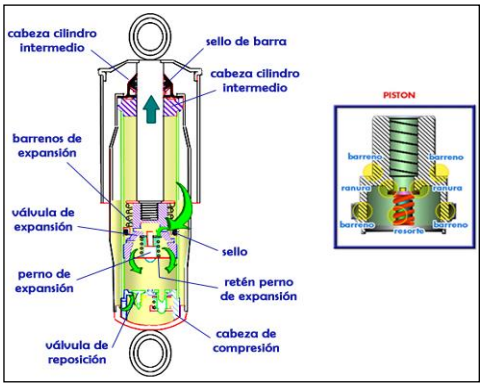


Fig. 1.32 Amortiguador en Expansión.
FUENTE: www.gabriel.com.mx

- **Compresión**.- Para que el amortiguador se cierre, el pistón necesita bajar y esto se da solo si el aceite que está en la parte inferior del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuerpo del pistón y las ranuras que se hacen en la cabeza de compresión donde se ubica la válvula de reposición. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de compresión ubicado en la cabeza de compresión que mantiene la válvula controlada, como se ve en la Fig. 1.33.

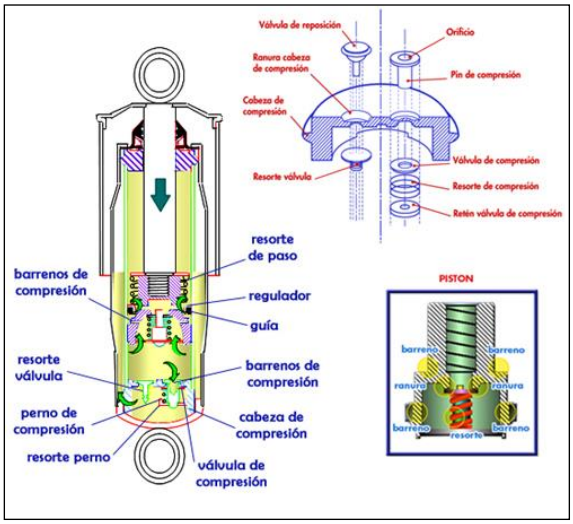


Fig. 1.33 Amortiguador en Comprensión.
FUENTE: www.gabriel.com.mx

1.3.2.4 Barras de torsión.

La barra de torsión está representada en la Fig. 1.34 y es un elemento de soporte de la carga, es también muy utilizada en el sistema suspensión de los vehículos. En este caso la rueda se encuentra montada en un mecanismo oscilante que pivota en algún punto de unión a la carrocería.

Esta pieza pivotante, para poder moverse con respecto a la carrocería, tiene que torcer una barra de acero templado que se encuentra fija en el otro extremo al vehículo, de tal manera que el peso del automóvil mantiene la barra parcialmente torcida, con los aumentos y disminuciones de la carga al transitar por las irregularidades del camino la barra absorbe los movimientos verticales del neumático torciéndose más o menos.

Estas barras de torsión pueden posesionarse transversal o longitudinalmente al vehículo.

Cada rueda en el vehículo está montada en una horquilla que pivota en dos puntos, y está a su vez acoplada al extremo curvo de una barra de torsión; de manera que debe torcer esta barra para poder moverse en sentido vertical. El otro extremo de la barra de torsión está rígidamente sujeto al cuerpo del vehículo.

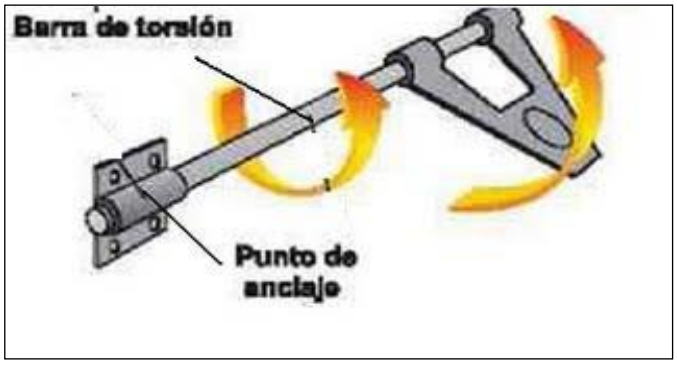


Fig. 1.34 Funcionamiento de Barra de Torsión.
FUENTE: www.mecanicayautomocion.blogspot.com

1.3.2.5 *Brazos de suspensión.*

Conectan la articulación de la dirección del eje de la rueda, con la carrocería o chasis. Los brazos oscilan en ambos extremos, permitiendo movimientos hacia arriba y hacia abajo. Los extremos exteriores permiten acción oscilatoria para la conducción, como se observa en la Fig. 1.35.

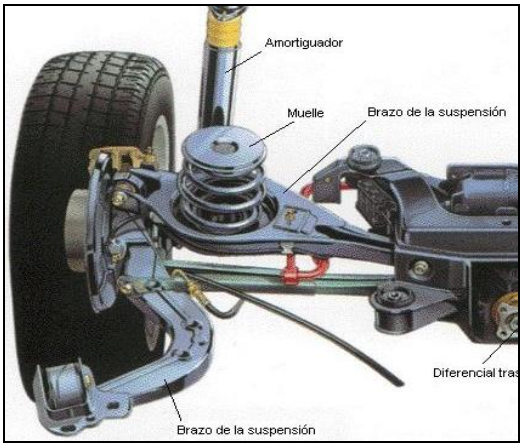


Fig. 1.35 Brazos de suspensión.
FUENTE: www.iescalam.educa.aragon.es

1.3.2.6 Rótulas.

Constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, que permite su pivotamiento y giro manteniendo la geometría de las ruedas, como se observa en la Fig. 1.36

La fijación de las rótulas se realiza mediante tornillos o roscados exteriores o interiores. La función principal es permitir el movimiento de la suspensión hacia arriba y abajo.

Su sustitución debe realizarse, si existe algún daño a causa de algún golpe u holguras.

Fig. 1.36 Rótulas.
FUENTE: www.mecanicavirtual.org

1.3.2.7 *Mangueta y buje.*

La mangueta de la suspensión, es una pieza fabricada con acero o aleaciones que une el buje de la rueda y la rueda a los elementos de la suspensión: tirantes, trapecios, amortiguador…, ver Fig. 1.37. En el interior del buje se montan los rodamientos o cojinetes que garantizan el giro de la rueda.

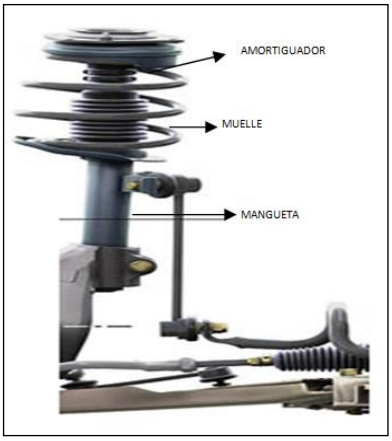


Fig. 1.37 Conjunto Muelle, Amortiguador, Mangueta.
FUENTE: www.blogs.km77.com

1.3.2.8 *Barras estabilizadoras.*

Cuando un vehículo toma una curva, por la acción de la fuerza centrífuga, el peso del vehículo es transferido a las ruedas exteriores, por tanto, la carrocería tiende a inclinarse hacia ese lado con peligro de vuelco y la correspondiente molestia para sus ocupantes.

Para evitar estos inconvenientes, las barras estabilizadoras se montan sobre los ejes delantero y posterior que consisten esencialmente en una barra de acero elástico cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas; de esta forma, al tomar una curva, como una de las ruedas tiende a bajar y la otra a subir, se crea un par de torsión en la barra que absorbe el esfuerzo y se opone a que esto ocurra e impide que la carrocería se incline a un lado, manteniéndola estable, como se ve en la Fig. 1.38.

El mismo efecto se produce cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo en el terreno, creando,al bajar o subir la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga en posición horizontal. En caso de circular en línea recta y en condiciones normales la acción de la barra es nula.

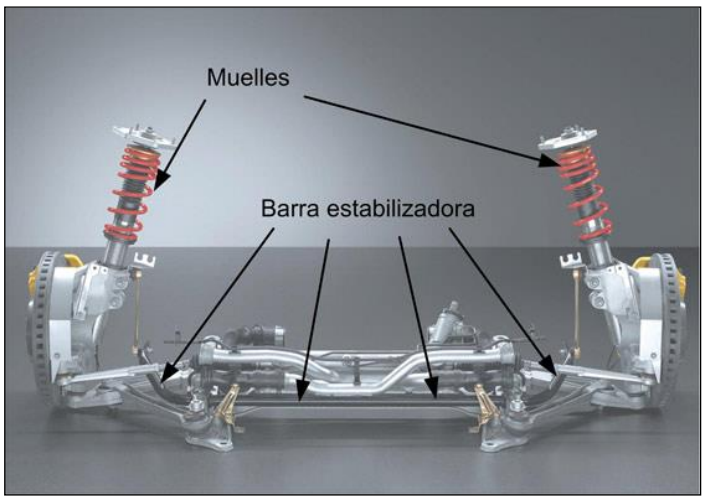


Fig. 1.38 Montaje de la Barra Estabilizadora.
FUENTE: www.km77.com

1.3.3 Tipos de suspensión.

Los tipos de suspensión dependen del tipo de elementos empleados y la forma de montajes de los mismos, existen varios sistemas de suspensión, todos ellos basados en el mismo principio de funcionamiento.

Actualmente existen distintas disposiciones de suspensión cuyo uso depende del tipo de comportamiento que se busca en el vehículo: mayores prestaciones, más comodidad, sencillez y economía.

Las suspensiones mecánicas se pueden clasificar en tres grupos:

1.3.3.1 Suspensiones rígidas.

Las primeras suspensiones estaban formadas por un "eje rígido" observado en la Fig. 1.39, en cuyos extremos se montan las ruedas. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra rueda del mismo eje.

Es decir, que al elevarse una rueda, se transmite su inclinación al eje y de éste a la otra rueda. Como el eje va fijado directamente sobre el bastidor, la inclinación se transmite a todo el vehículo. Es muy resistente y económico de fabricar, sin embargo tiene la desventaja de ser inseguro e incómodo para los pasajeros.

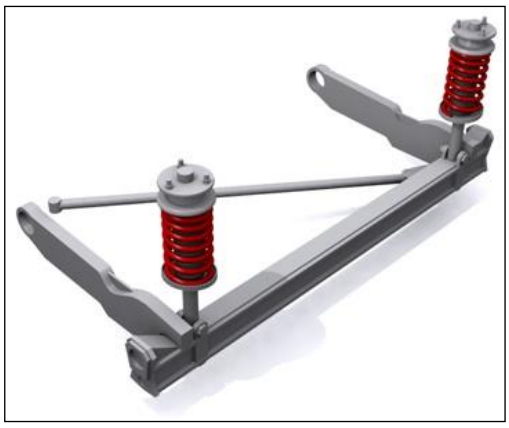


Fig. 1.39 Suspensión Rígida.
FUENTE: www.carbibles.com

1.3.3.2 Suspensión Semi-rígida.

Se trata de una suspensión en la cual las ruedas van unidas mediante soportes articulados al grupo diferencial que es parte de la masa suspendida, es decir, va junto con el bastidor del automóvil.

Bajo este aspecto se transmite el giro a las ruedas a través de dos semiejes como en las suspensiones independientes. A su vez ambas ruedas están unidas entre sí mediante una traviesa o tubo, que las ancla de forma rígida permitiendo a la suspensión deslizamientos longitudinales.

Este sistema tiene la ventaja, frente al eje rígido de que disminuye la masa no suspendida debido al poco peso de la traviesa del eje y al anclaje del grupo diferencial al bastidor y mantiene los parámetros de la rueda prácticamente constantes como los ejes rígidos gracias al anclaje rígido de la traviesa. La suspensión posee además elementos elásticos de tipo muelle helicoidal que suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos longitudinales.

Su diferencia principal con las suspensiones anteriores es que las ruedas están unidas entre si, como en el eje rígido, pero transmitiendo en forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno, como se observa en la Fig. 1.40.

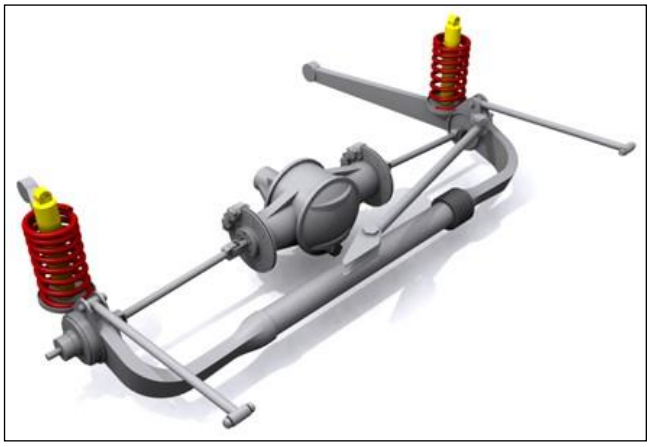


Fig. 1.40 Suspensión Semi- Rígida.
FUENTE: www.carbibles.com

1.3.3.2.1 El eje torsional: es otro tipo de suspensión semirrígida (semi-independiente), utilizada en las suspensiones posteriores, en vehículos que tienen tracción delantera, como se ve en la Fig. 1.41.

La traviesa o tubo que une las dos ruedas tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse hasta cierto ángulo cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo para después, una vez pasado el obstáculo, volver a su posición inicial.

Las ruedas están unidas rígidamente a dos brazos longitudinales por un travesaño que se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo. Esta configuración da lugar, a causa de la torsión del puente, a una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que junto al bajo peso, costo y poco espacio que ocupan, es ideal para instalarla debajo del piso, junto con otros componentes (depósito de combustible, escape, etc.).

Esta configuración ha convertido a estas suspensiones en una de las más empleadas en vehículos de gama media-baja.

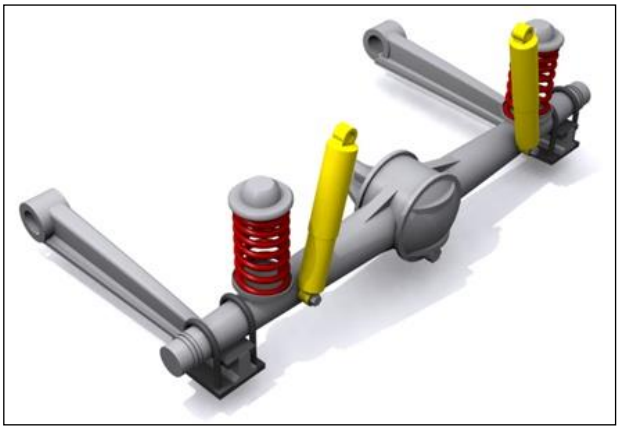


Fig. 1.41 Suspensión de Eje Torsional.
FUENTE: www.carbibles.com

1.3.3.3 *Suspensión independiente*.

Es la más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad, reduce de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento, sin transmitirlas de una rueda a otra del mismo eje.

La principal ventaja de la suspensión independiente, es que tiene menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión, por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud.

El número de modelos de suspensión independiente es amplio y posee numerosas variantes. Los principales tipos de suspensión de tipo independiente son:

1.3.3.3.1 Suspensión McPherson.

Esta suspensión fue desarrollada por Earle S. McPherson, ingeniero de Ford. Este sistema es uno de los más utilizados en el tren delantero, aunque se puede montar igualmente en el trasero. Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.

Este sistema ha tenido mucho éxito en vehículos modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, escaso coste de producción y espacio que ocupa. Se puede apreciar en la Fig. 1.42.

Fig. 1.42 Suspensión McPherson.
FUENTE: www.carbibles.com

- *Partes de Suspensión McPherson.*

La mangueta de la rueda va unida al cubo permitiendo el giro de éste mediante un rodamiento y al bastidor a través de dos elementos característicos de toda suspensión McPherson:

1. El brazo inferior que va unido a la mangueta mediante una unión elástica y al bastidor mediante un casquillo.

2. El amortiguador va anclado de forma fija a la parte superior de la mangueta y el muelle es concéntrico al amortiguador y está sujeto por dos copelas superior e inferior.

   El amortiguador está unido al bastidor por su parte superior mediante un cojinete de agujas y una placa de fijación. En las ruedas delanteras se hace necesaria la existencia de este cojinete axial ya que el amortiguador al ser solidario a la mangueta gira con ésta al actuar la dirección. Ver Fig. 1.43.

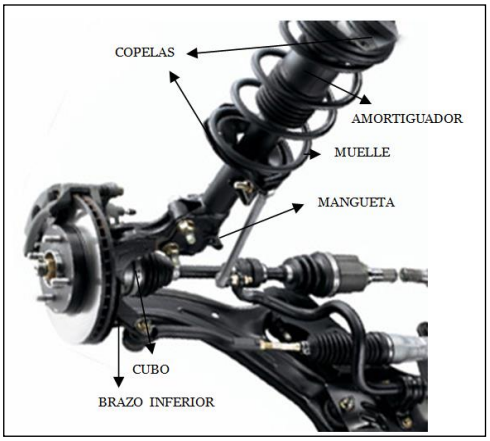


Fig. 1.43 Partes de Suspensión McPherson.
FUENTE: www.nissancr.com

La suspensión McPherson forma un mecanismo de tipo triángulo articulado formado por el brazo inferior, el conjunto muelle, amortiguador y el propio chasis. El lado del triángulo que corresponde al muelle y amortiguador es de compresión libre por lo que sólo tiene un único grado de libertad: la tracción o compresión de los elementos elásticos y amortiguador. Al transmitirse a través del muelle y amortiguador todos los esfuerzos al chasis, es necesario un dimensionado más rígido de la carrocería en la zona de apoyo de la placa de fijación.

1.3.3.3.2 Suspensión de paralelogramo deformable.

La suspensión de paralelogramo deformable representado en la Fig. 1.44, junto con la McPherson son las más utilizadas en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero.

Esta suspensión también se denomina, suspensión por trapecio articulado y suspensión de triángulos superpuestos.

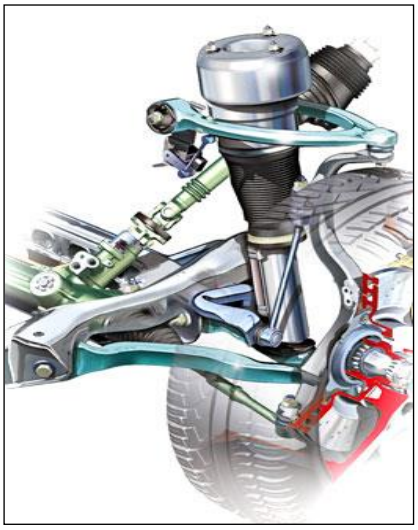


Fig. 1.44 Suspensión de Paralelogramo Deformable.
FUENTE: www.km77.com

El paralelogramo como se observa en la Fig. 1.45, está formado por un brazo superior y otro inferior que están unidos al chasis a través de unos pivotes, cerrando el paralelogramo a un lado el propio chasis y al otro la propia mangueta de la rueda. La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas que permiten la orientación de la rueda.

Los elementos elásticos y amortiguadores coaxiales son de tipo resorte helicoidal e hidráulico telescópico respectivamente y están unidos por su parte inferior, al brazo inferior y por su parte superior, al bastidor. Completan el sistema unos topes que evitan que el brazo inferior suba lo suficiente como para sobrepasar el límite elástico del muelle y un estabilizador lateral que va anclado al brazo inferior.

Con distintas longitudes de los brazos se pueden conseguir distintas geometrías de suspensión, de forma que puede variar la estabilidad y la dirección según sea el diseño de estos tipos de suspensión.

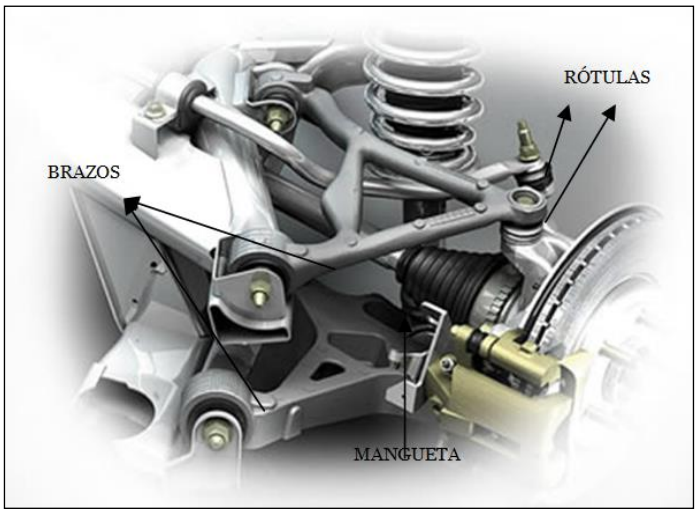


Fig. 1.45 Partes de Suspensión Paralelogramo Deformable.
FUENTE: www.mecanicavirtual.org

La evolución de estos sistemas de suspensión de paralelogramo deformable ha llegado hasta las suspensiones de multibrazo o multilink.

1.3.3.3.3 Suspensiones Multibrazo o Multilink.

Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto básico de la suspensión de paralelogramo deformable, está formado por dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor.

La diferencia fundamental que aportan estas nuevas suspensiones es que los elementos guía de la suspensión multibrazo pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma.

Gracias a esta variante, las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros fundamentales de la rueda como la caída o la convergencia de la forma más apropiada de cara a la estabilidad, en las distintas situaciones de uso del automóvil. Esto significa que las medidas longitudinales y transversales pueden configurarse de forma precisa y prácticamente independiente entre sí, y que puede alcanzarse un grado máximo de estabilidad direccional y confort.

Las suspensiones multibrazo se pueden clasificar en dos grupos fundamentales:

1. Suspensiones multibrazo, que poseen elementos de guía transversales u oblicuos, con funcionamiento similar al de las suspensiones de paralelogramo deformable.
2. Suspensiones multibrazo, que disponen de brazos de guía longitudinal, con un funcionamiento similar a los sistemas de suspensión de ruedas tiradas por brazos longitudinales.

En la Fig. 1.46 se muestra el sistema multibrazo delantero; la suspensión delantera consta de un brazo superior que va unido a una mangueta larga y curvada mediante un buje de articulación, un brazo inferior transversal que va unido a la mangueta por una rótula doble y al bastidor por un casquillo que aísla de las vibraciones.

Esta suspensión dispone además de un tercer brazo que hace de tirante longitudinal y que está unido al bastidor y mangueta de la misma forma que el brazo inferior transversal. La gran altura de la prolongación de la mangueta consigue una disminución de los cambios de convergencia de la rueda y un ángulo de avance negativo.

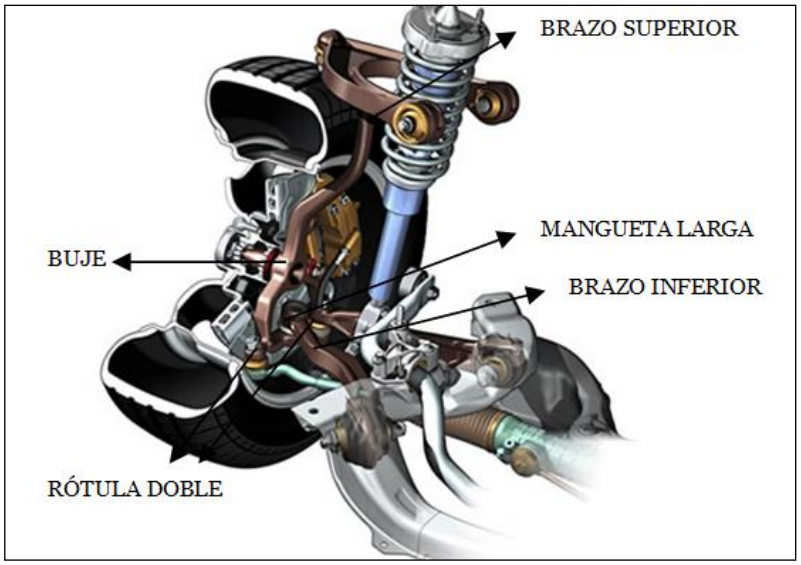


Fig. 1.46 Esquema de Suspensión Multibrazo Delantera.
FUENTE: www.mecanicavirtual.org

1.4 SISTEMA DE DIRECCIÓN

Es un conjunto de mecanismos que tienen la misión de orientar las ruedas delanteras para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor.

El conductor para no realizar demasiado esfuerzo para orientar a las ruedas se vale de un mecanismo desmultiplicador y actualmente de un servomecanismo de asistencia. En la Fig. 1.47 se observan los principales componentes de un sistema de dirección sin asistencia.

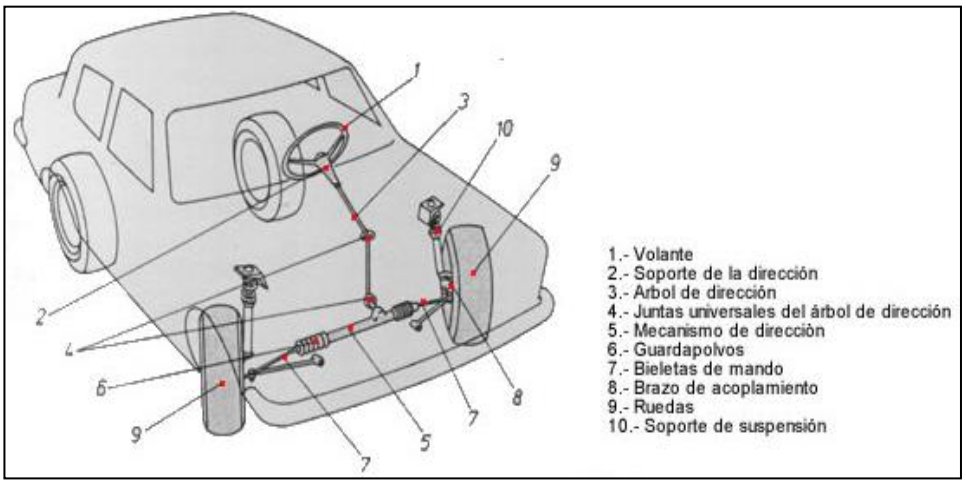


Fig. 1.47 Componentes del Sistema de Dirección.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.1 Características del Sistema de Dirección.

La dirección es uno de los sistemas más importantes del vehículo, debe reunir una serie de características como:

- *Seguridad:* depende de la fiabilidad del mecanismo y de la calidad de los materiales empleados.
- *Suavidad:* se consigue con un montaje preciso, una desmultiplicación adecuada y un perfecto engrase. La dureza en la conducción hace que ésta sea desagradable a veces difícil e incómoda. Puede producirse por colocar neumáticos inadecuados o mal inflados.

- *Precisión:* se consigue haciendo que la dirección no sea muy dura ni muy suave, cualquiera de las dos puede causar molestias al conductor, por una parte si la dirección es muy dura, la conducción se hace fatigosa e imprecisa; por el contrario, si es muy suave, el conductor no siente la dirección y el vehículo sigue una trayectoria imprecisa.

Como las trayectorias a recorrer por las ruedas directrices son distintas en una curva, porque la rueda exterior debe recorrer un mayor espacio por disponer de un mayor radio de giro, para que ambas sigan la trayectoria deseada, debe cumplirse la condición de que todas las ruedas del vehículo, sigan trayectorias curvas de un mismo centro "O" (concéntricas), situado en la prolongación del eje de las ruedas traseras, como se muestra en la Fig. 1.48. Para conseguirlo se disponen los brazos de acoplamiento A y B que mandan la orientación de las ruedas, de manera que en la posición en línea recta, sus prolongaciones se corten en el centro C del puente trasero o muy cerca de este.

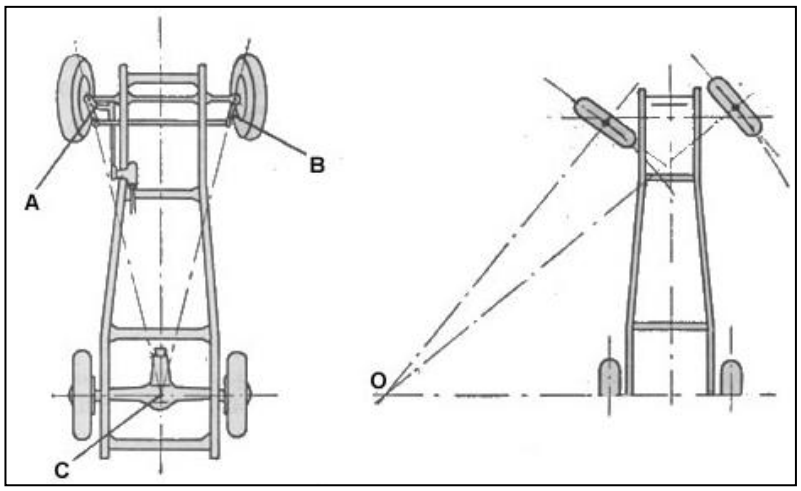


Fig. 1.48. Geometría de la Dirección.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

Esta solución no es totalmente exacta, sino que existe un cierto error. En la práctica se alteran ligeramente las dimensiones y ángulos formados por los brazos de acoplamiento, para conseguir trayectorias lo más exactas posibles. La elasticidad de los neumáticos corrige automáticamente las pequeñas variaciones de trayectoria.

Las ruedas traseras siguen la trayectoria curva, gracias al diferencial (cuando el vehículo tiene tracción trasera), que permite dar a la exterior mayor numero de vueltas que a la interior; pero como estas ruedas no son orientables y para seguir su trayectoria debe

abrirse más la rueda exterior, resulta de ello un cierto resbalamiento en curva, imposible de corregir, que origina una ligera pérdida de adherencia, más pronunciada si el piso está mojado, caso en el que puede producirse el derrape en curvas cerradas tomadas a gran velocidad.

1.4.2 Sistemas de Dirección.

En los sistemas de dirección se pueden distinguir dos casos principales: dirección para el eje delantero rígido y dirección para tren delantero de suspensión independiente. Cada uno de estos casos tiene su propia disposición de mecanismos.

1.4.2.1. El sistema de dirección para eje delantero rígido.

Como se puede ver en la Fig. 1.49, se utiliza una barra de acoplamiento única (4) que va unida a los brazos de la rueda (3) y a la palanca de ataque o palanca de mando (2). Actualmente no es muy utilizada.

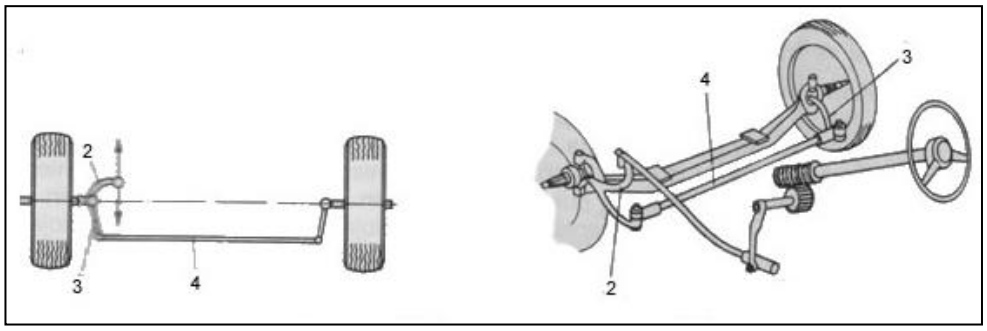


Fig. 1.49. Sistema de Dirección para eje delantero rígido.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.2.2. *El sistema de dirección para tren delantero de suspensión independiente.*

Cuando hay una suspensión independiente para cada rueda delantera, como la separación entre estas varía un poco con las irregularidades de la carretera, se necesita un sistema de dirección que no se vea afectada por estas variaciones y mantenga la dirección de las ruedas siempre en la posición correcta.

1.4.2.2.1 Dirección con barra de acoplamiento dividida en tres partes.

El engranaje (S) hace mover transversalmente el brazo (R) que manda el acoplamiento, a su vez apoyado por la palanca oscilante (O) en la articulación (F) sobre el bastidor, como se observa en la Fig. 1.50.

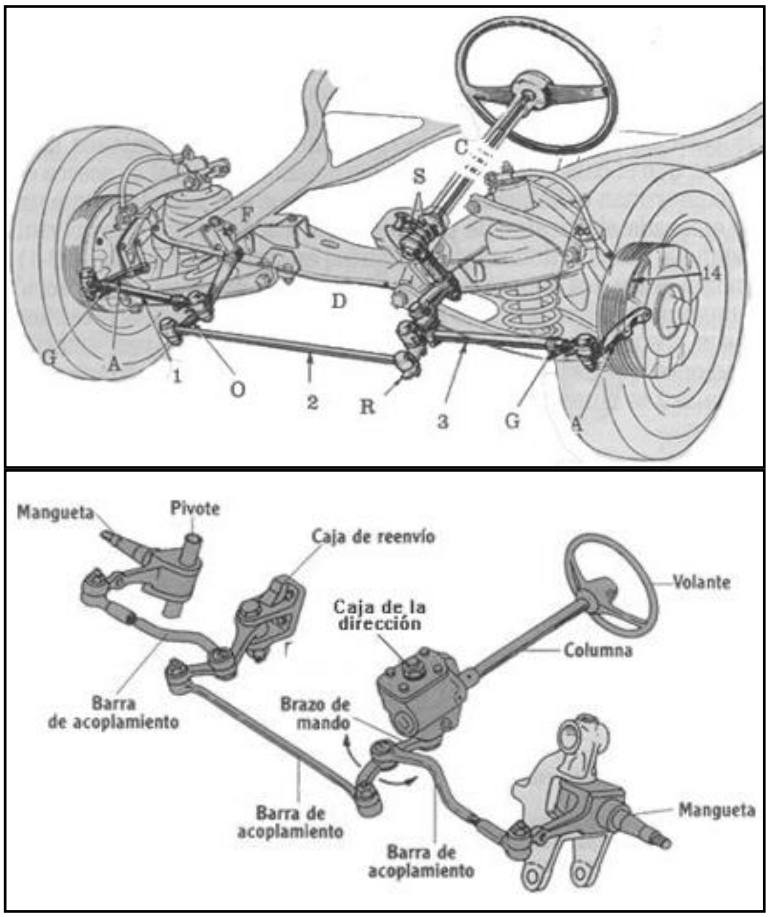


Fig. 1.50. Elementos de la Dirección con barra de acoplamiento dividida en tres partes.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

Para transformar el giro del volante en el movimiento de las ruedas deseadas, se utiliza la caja de dirección, que efectúa una desmultiplicación del giro recibido, de esta manera el conductor tiene que hacer un pequeño esfuerzo en el volante para conseguir el movimiento de las ruedas del vehículo. Se llama relación de desmultiplicación la que existe entre los ángulos de giro del volante y los obtenidos en la orientación de las ruedas. Si en una vuelta completa del volante de la dirección (360º) se consigue una orientación de 20º en las ruedas, se dice que la desmultiplicación es de 360:20 o lo que es igual 18:1. El valor de esta orientación

varía entre 12:1 y 24:1, dependiendo este valor del peso del vehículo que carga sobre las ruedas directrices.

1.4.3 Mecanismos de Dirección.

1.4.3.1. *Dirección de tornillo sinfín.*

El tornillo se une al volante mediante la "columna de dirección", y la rueda lo hace al brazo de mando. Así cuando se gira el volante, las ruedas se mueven un cierto ángulo dependiendo de la reducción o desmultiplicación de la caja, así se obtiene una mayor potencia para orientar las ruedas que la que se aplica en el volante. En la Fig. 1.51 se puede observar un tornillo que engrana constantemente con una rueda dentada.

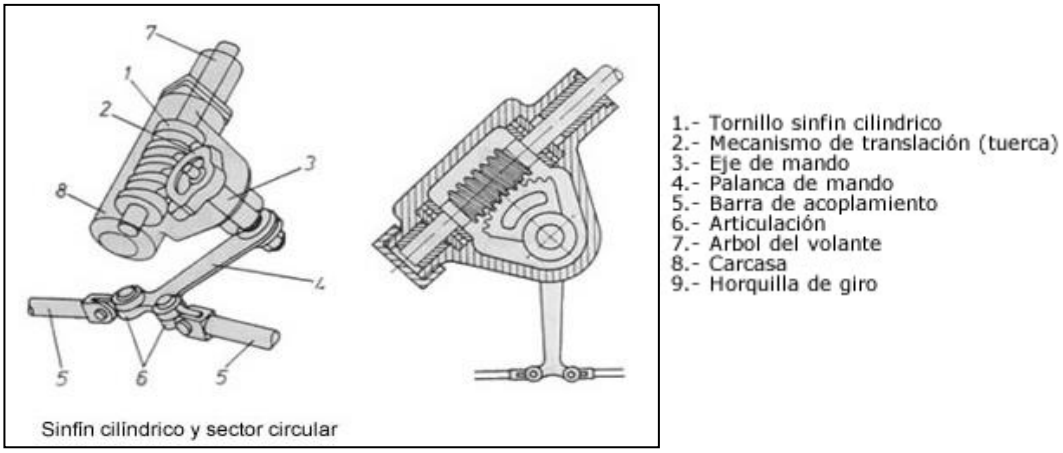


Fig. 1.51. Mecanismo de por Tornillo Sinfín.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.3.2. *Dirección de cremallera.*

Esta dirección es más sencilla y simple en el montaje, aquí se elimina gran parte de los brazos de dirección. Va acoplada directamente sobre los brazos de las ruedas.

Debido a su precisión en el desplazamiento angular de las ruedas, se utiliza mucho en vehículos de turismo, sobre todo en los de motor y tracción delantera, porque disminuye notablemente los esfuerzos en el volante. Proporciona gran suavidad en los giros y tiene rapidez de recuperación, esto hace que la dirección sea muy estable y segura.

El mecanismo está formado por una barra (1) tallada en cremallera que se desplaza lateralmente en la caja de la dirección. Esta barra es accionada por un piñón helicoidal (2) montado en el árbol del volante y que gira engranado a la cremallera. Fig. 1.52.

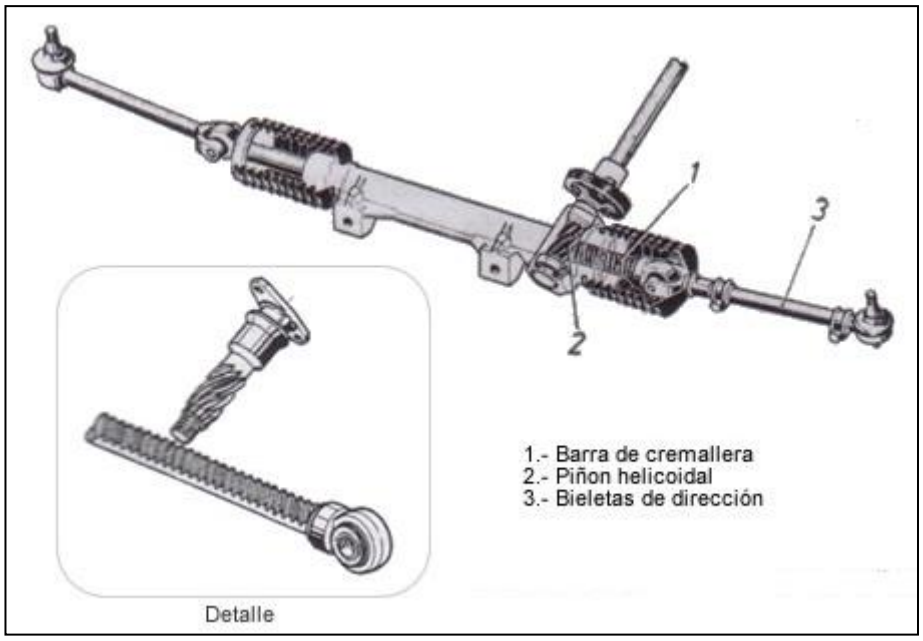


Fig. 1.52. Mecanismo de Direccion por Cremallera.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.3.3. *Columna de la dirección.*

La columna de la dirección suele ir "partida" y unida sus mitades por una junta cardánica, que permite desplazar el volante de la dirección, según la comodidad del conductor. Desde hace muchos años se montan en la columna dispositivos que permiten ceder al volante (como la junta citada) en caso de choque frontal del vehículo, pues en estos casos hay peligro de incrustarse el volante en el pecho del conductor. Es frecuente utilizar uniones que se rompen al ser sometidas a presión y dispositivos telescópicos o articulaciones angulares que impiden que la presión del impacto se transmita en línea recta a lo largo de la columna. Fig. 1.53.

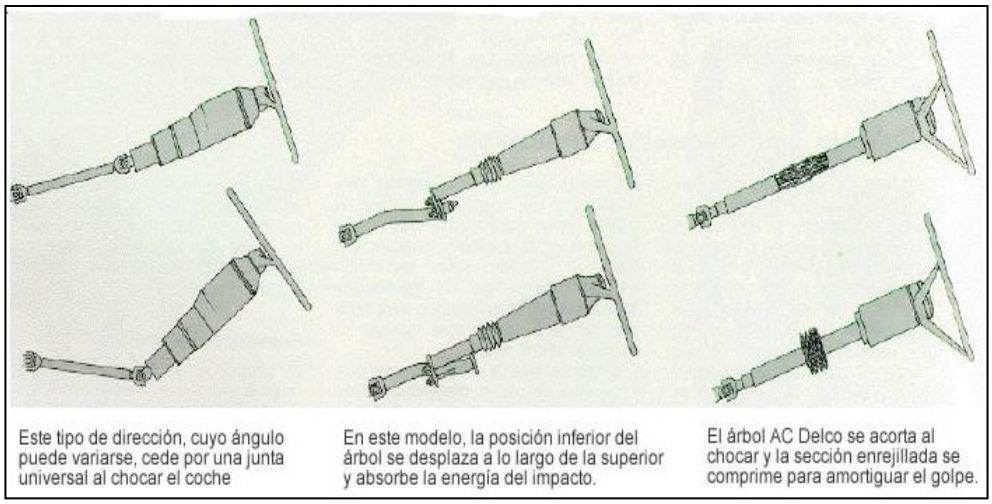


Fig. 1.53. Columnas de direccion que ceden en caso de choque.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

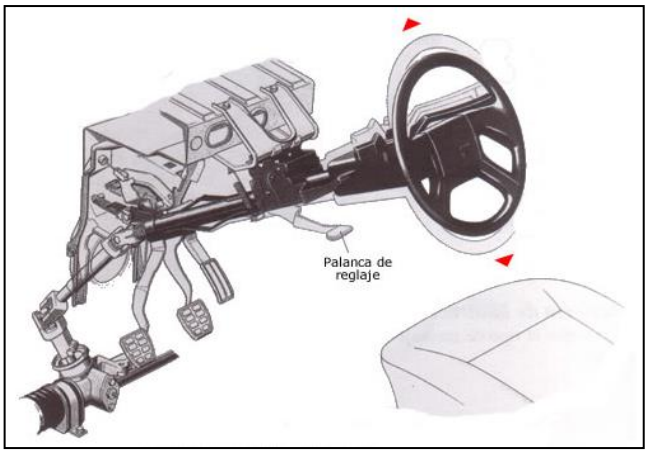


Fig. 1.54. Sistema de dirección regulable en altura.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.4. Dirección Asistida.

Debido al cambio de neumáticos, en la actualidad se ha requerido la ayuda de un sistema que facilite la forma de conducir y maniobrar. El dueño del vehículo reemplaza sus neumáticos por otros y estos a su vez poseen una gran superficie de contacto, la maniobra en el volante de la dirección para orientar las ruedas se hace difícil, sobre todo con el vehículo parado.

Con estos problemas se ha recurrido a la asistencia de la dirección, que proporciona una gran ayuda al conductor en la realización de las maniobras y permite una menor desmultiplicación, ganando al mismo tiempo sensibilidad en el manejo.

Es así que la dirección asistida consiste en acoplar a un mecanismo de dirección simple, un circuito de asistencia llamado servo-mando, pudiendo ser hidráulico, neumático, y eléctrico. Ver Fig. 1.55

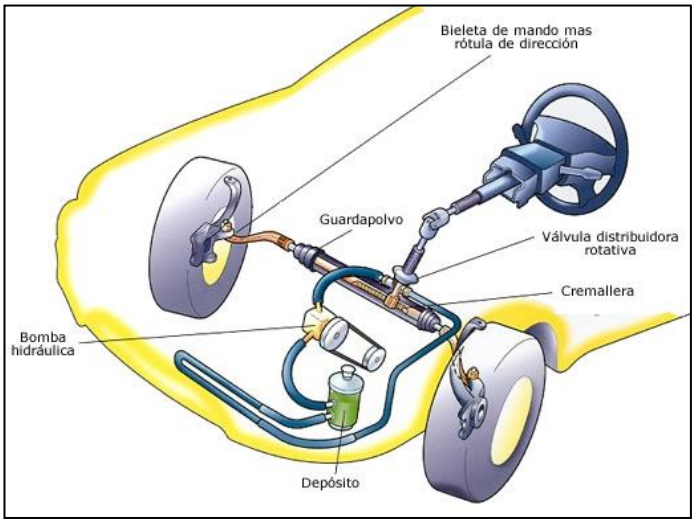


Fig. 1.55. Direccion con Asistencia Hidraulica.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

El más usado hasta ahora, es el mando hidráulico, ver Fig. 1.56. El volante de la dirección acciona un piñón 6, que a su vez mueve una cremallera 7, como en una dirección normal de este tipo; pero unido a esta cremallera se encuentra un pistón alojado en el interior de un cilindro 5, de manera que a una u otra de las caras puede llegar el liquido a presión desde una válvula distribuidora 4, que a su vez lo recibe de un depósito 1, en el que se mantiene almacenado a una presión determinada, que proporciona una bomba 2, y se conserva dentro de sus límites por una válvula de descarga 3.

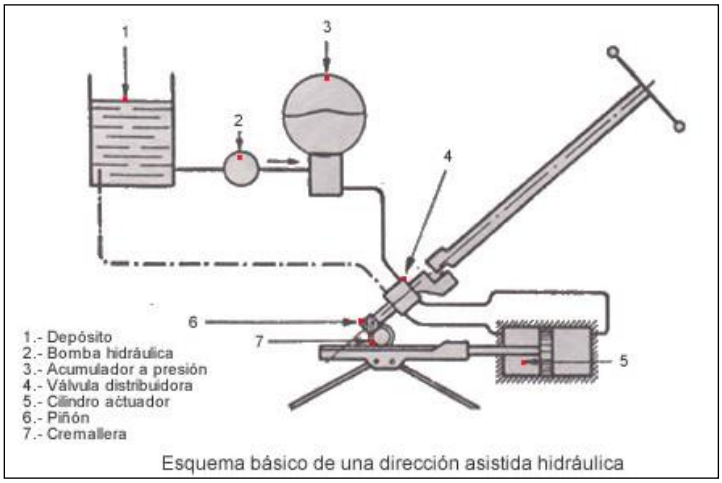


Fig. 1.56. Esquema basico de una Direccion con Asistencia Hidraulica.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.4.1. *Ventajas e inconvenientes de la dirección asistida*

- *Ventajas:*

1. Reduce el esfuerzo en el volante, por lo que resulta menos cansado para el conductor, sobre todo en recorridos largos.
2. Se obtiene una mayor rapidez de giro en las ruedas.
3. En el caso de reventón del neumático, estos mecanismos corrigen instantáneamente la dirección, actuando automáticamente sobre las ruedas en sentido contrario al que el neumático reventado haría girar al vehículo.
4. Su montaje es sencillo, se puede aplicar a cualquier vehículo sin afectar su geometría.
5. Permiten realizar maniobras más delicadas y sensibles que el conductor precise, desde la posición de paro a la máxima velocidad. La capacidad de retorno de las ruedas, al final del viraje, es como la de un vehículo sin servodirección.
6. En caso de avería en el circuito de asistencia, el conductor puede continuar conduciendo en las mismas condiciones que un vehículo sin servodirección, porque las ruedas continúan unidas mecánicamente al volante, aunque naturalmente, tenga que realizar mayor esfuerzo en el mismo.

- *Inconvenientes:*

Con respecto a las direcciones simples son prácticamente nulos, debido a su simplicidad y robustez no tienen averías. Los únicos inconvenientes a destacar son:

1. Un costo más elevado en las reparaciones, porque requieren mano de obra especializada.

2. El costo es más elevado en este mecanismo y su adaptación inicial en el vehículo.

1.4.4.2. Sistemas de dirección asistida hidráulica.

El circuito hidráulico está formado por un depósito (1) y una bomba que suministran aceite a presión a la válvula distribuidora de mando (2). Esta válvula acoplada a la dirección, es accionada al mover el volante y tiene como misión dar paso al aceite hacia una u otra cara del émbolo del cilindro de doble efecto (3). El cilindro puede ir

acoplado en el cuerpo de válvulas o acoplado directamente al sistema direccional de las ruedas (bieletas) como ocurre en las direcciones de cremallera. Véase Fig. 1.57.

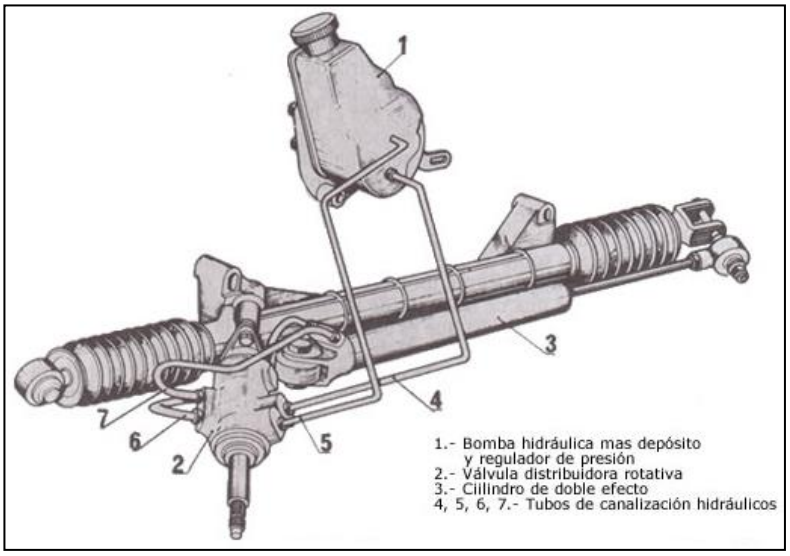


Fig. 1.57. Conjunto de Direccion Hidraulica de Cremallera.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.4.2.1. Dispositivo de mando hidráulico.

La válvula de distribución, situada en el interior del cuerpo central de la dirección asistida, está formada por una caja de válvulas (1), en cuyo interior se desplaza una corredera (2), movida por el árbol de la dirección (3). Esta válvula canaliza, según la maniobra realizada en el volante, el aceite a presión hacia uno u otro lado del émbolo de doble efecto (4), mientras no se actúa sobre el volante; las válvulas se mantienen abiertas por estar situada la corredera en su posición media. Esta posición es mantenida por un dispositivo elástico de regulación por muelles (5), que tienen una tensión inicial apropiada a las características del vehículo. En esta posición el aceite tiene libre paso de entrada y salida por el interior del distribuidor sin que se realice presión alguna sobre las caras del émbolo. Ver Fig. 1.58.

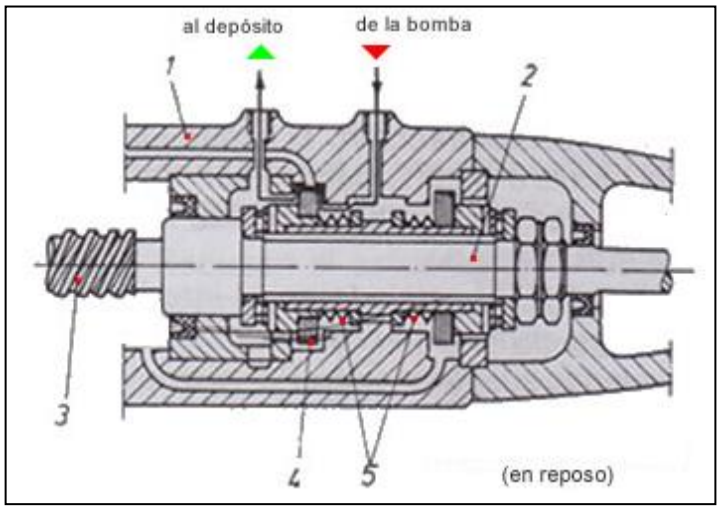


Fig. 1.58. Válvula de Distribución.
FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

Al girar el volante para tomar una curva, es necesario vencer previamente la fuerza de resistencia que realizan los muelles para actuar sobre las válvulas; para maniobras que requieren poco esfuerzo sobre el volante, las válvulas no actúan, por lo que la maniobra debe realizarse con el dispositivo mecánico sin intervención del mecanismo de asistencia.

Vencido ese pequeño esfuerzo, las válvulas actúan desplazándose en uno u otro sentido y dejando el paso de aceite a presión en una de las caras del émbolo. La presión del aceite sobre la otra cara del émbolo ayuda al conductor a realizar la maniobra necesaria. En la Fig. 1.59 se puede ver el funcionamiento y como se desplaza la corredera y los anillos que forman las válvulas, así como el paso del aceite al lado correspondiente del émbolo. El aceite sin presión, desalojado por el émbolo, es expulsado a través de la válvula correspondiente de regreso al depósito.

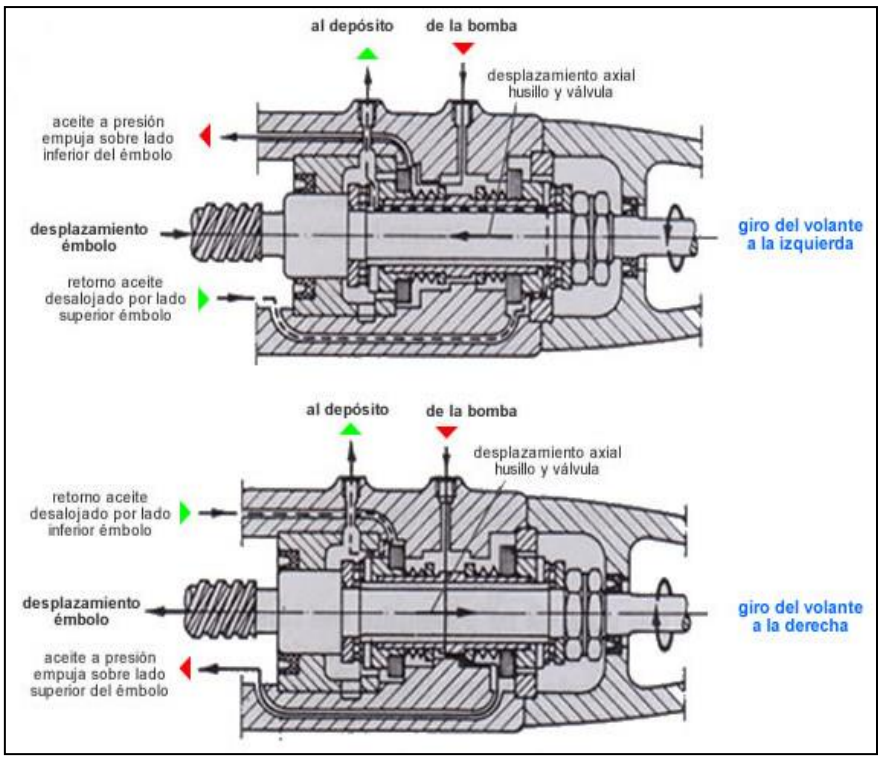


Fig 1.59. Funcionamiento de la Valvula Distribuidora.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

En el interior del cuerpo de las válvulas situadas entre los conductos de entrada y salida de aceite, existe una válvula de seguridad que establece automáticamente la circulación continua de aceite, sin transmitir presión de uno al otro lado del émbolo, en caso de que exista avería en el sistema hidráulico. Con esto se anula el peligro de bloqueo en la dirección y se permite la conducción mecánica sin la ayuda de la dirección asistida. Esta válvula está prevista de forma que, ni por desgaste ni por causa accidental, pueda anularse su funcionamiento.

1.4.4.2.2. Bomba de presión.

El tipo de bomba empleado en estas servodirecciones es el de tipo de paletas que proporciona un caudal progresivo de aceite hasta alcanzar las 1000 r.p.m. y luego se mantiene prácticamente constante a cualquier régimen de funcionamiento por medio de unos limitadores de caudal y de presión situados en el interior de la misma. Véase Fig. 1.60.

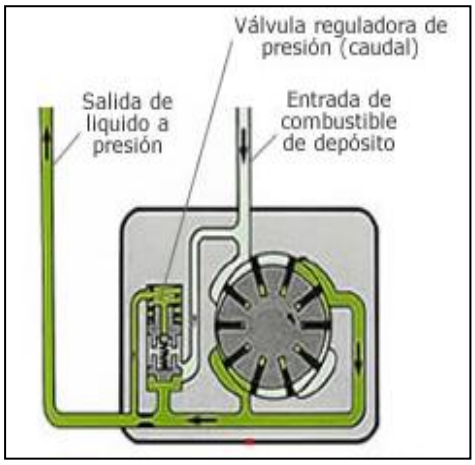


Fig 1.60. Esquema de la bomba de paletas con el regulador de caudal.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.4.2.3. El limitador o regulador de caudal.

Está formado por una válvula de pistón (1) y un resorte tarado (2), intercalados entre la salida de la cámara de presión y el difusor de la bomba que hace retornar el caudal sobrante al circuito de entrada. El limitador de presión está formado por una válvula de asiento cónico o una esfera (3) y un resorte tarado (4), que comunica la salida de aceite con la parte anterior del difusor, como se puede ver en la Fig. 1.61. El accionamiento de la bomba se efectúa por una polea y correas trapeciales acopladas a la transmisión del motor.

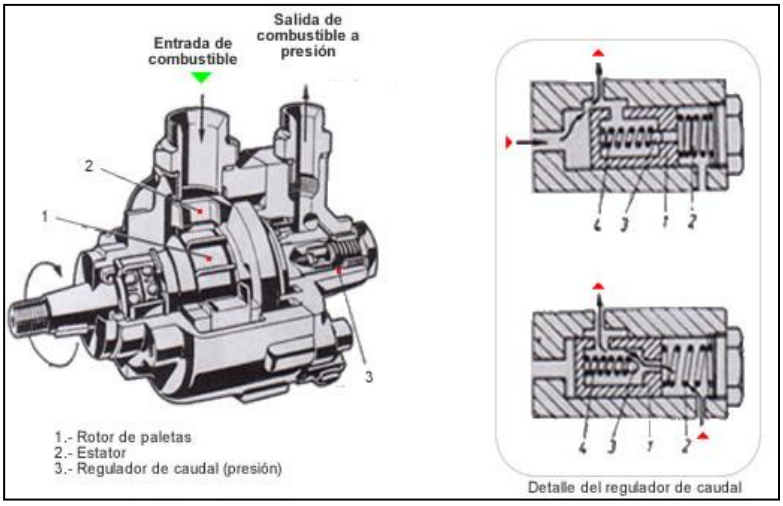


Fig 1.61. Regulador de Caudal.

FUENTE: www.mecanicavirtual.com.

1.4.4.2.4. Funcionamiento del Sistema.

- *Caja en posición neutral*.- Si no se produce el par de dirección a partir del volante, el eje impulsor estará en una posición neutral con relación a la válvula rotativa. En este estado, pasa el aceite entre los orificios, permitiendo que el aceite alimentado a presión por la bomba regrese al depósito sin fluir a las cámaras del cilindro tanto izquierdo como derecho, en los que solo queda presión residual, que no puede circular, por encontrarse la compuerta cerrada. Véase Fig. 1.62.

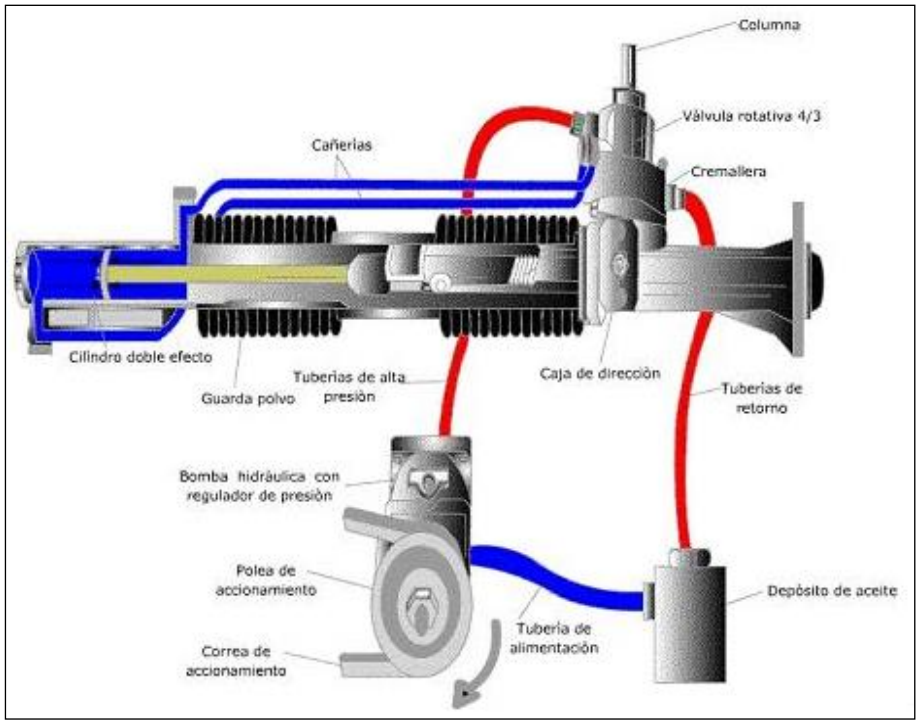


Fig. 1.62. Sistema en posición neutral.
FUENTE: www.freewebs.com.

- *Durante el viraje hacia la derecha*.- Al girar la columna de la dirección, se produce el paso del aceite y se acumula en la cámara izquierda del cilindro. La presión residual del lado derecho se devuelve hacia el depósito de la bomba por encontrarse la compuerta abierta. En consecuencia el pistón recibe empuje hacia la derecha asistiendo al eje transversal en sentido de las agujas del reloj. Esta fuerza se transmite al volante, dando al conductor la sensación de respuesta. Véase Fig. 1.63.

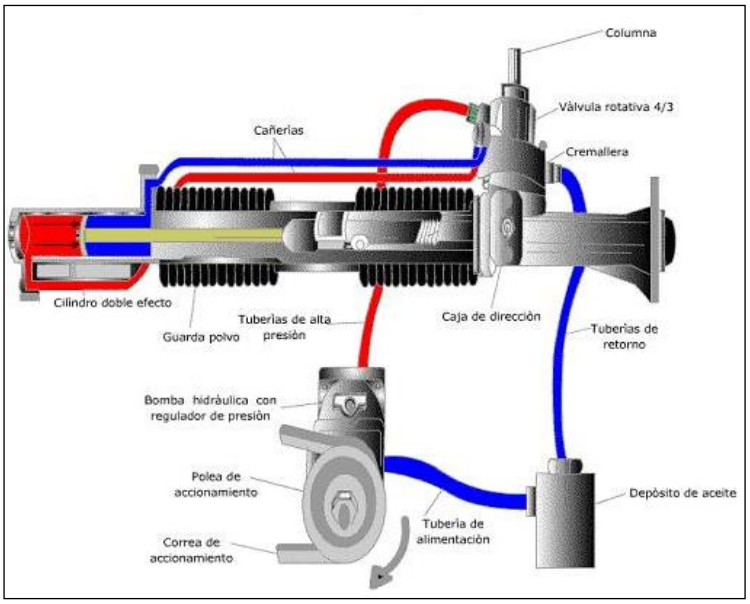


Fig. 1.63. Sistema con giro a la derecha.

FUENTE: www.freewebs.com.

- *Durante el viraje hacia la izquierda*.- Al girar la columna de la dirección se produce el paso del aceite y se acumula en la cámara derecha del cilindro. La presión residual del lado izquierdo se devuelve hacia el depósito de la bomba. En consecuencia el pistón recibe empuje hacia la izquierda asistiendo al eje transversal en sentido contrario de las agujas del reloj. Véase Fig. 1.64.

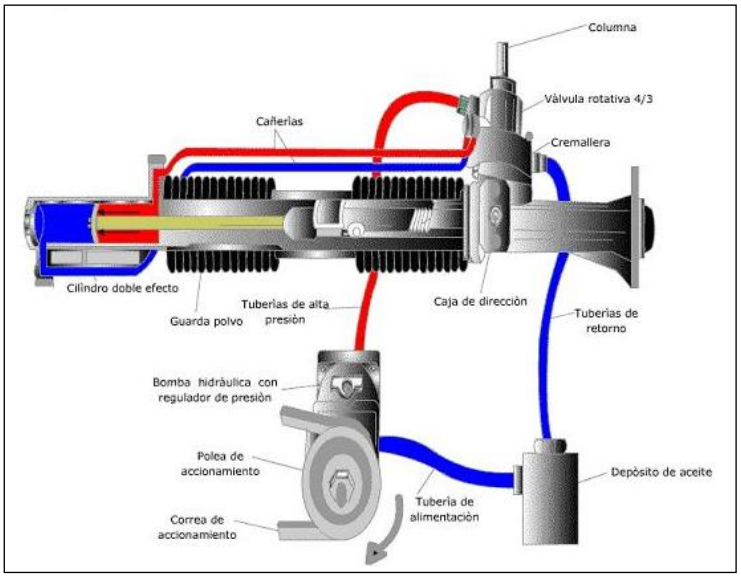


Fig. 1.64. Sistema con giro a la izquierda.

FUENTE: www.freewebs.com.

2

ANÁLISIS DE INFLUENCIA EN ELEMENTOS MECÁNICOS EN LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN CON ARO 15" Y NEUMÁTICO.

En este capítulo se abordan los elementos mecánicos de la suspensión y dirección del vehículo Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3.

Se ha visto la necesidad de utilizar diferentes fórmulas para explicar el cálculo de fuerzas, reacciones, momentos y esfuerzos de los elementos mecánicos; los que se complementan con diagramas de cuerpo libre de fuerzas y momentos de los sistemas de suspensión y dirección.

El cálculo de esfuerzos en los elementos mecánicos de los sistemas de dirección y suspensión del vehículo, están sustentados por leyes físicas como: Ley de Newton, Ley del Paralelogramo, Principio de Transmisibilidad de Fuerzas; cada ley utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI) o el Sistema Ingles de Unidades con su respectiva descripción.

Para el análisis de estos importantes aspectos, se utiliza métodos de cálculo estructural de precisión, como el método análisis de elementos finitos, que tiene la capacidad de analizar un cuerpo con estructura y forma compleja utilizando un software, teniendo precisión en el estudio de los esfuerzos a los cuales se encuentran sometidos los elementos mecánicos que forman la dirección y suspensión del vehículo.

2.1 FUERZAS EN LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN.

2.1.1 <u>Fuerzas, Momentos y Esfuerzos en el Neumático.</u>

El neumático es el elemento de unión entre el vehículo y la calzada, su función es soportar el peso del vehículo; las fuerzas y reacciones que se generan son: longitudinales, transversales y verticales; adicionados con momentos autolineantes.

Para estudiar el comportamiento del neumático, se utilizó la terminología y sistemas de referencia dado por la SAE (SAE J670 *Vehicle Dynamics Terminology*), así:

2.1.1.1 *<u>Sistema de coordenadas.</u>*

Utiliza un sistema de referencia con ejes de coordenadas como se ve en la Fig. 2.1:

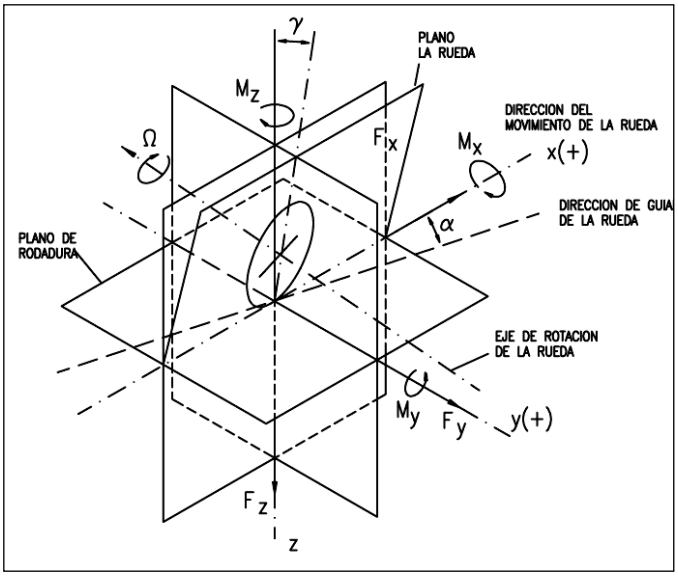


Fig. 2.1. Sistema de Referencia de un Neumático.
FUENTE: www.ocw.uc3m.es.

- **Eje X.-** Es el eje que pasa por la recta de intersección del plano medio de la rueda y el plano de la superficie de rodadura, en sentido positivo coincidente con el de avance del vehículo.
- **Eje Z.-** Es el eje perpendicular al plano de la superficie de rodadura, su sentido es positivo hacia el suelo.

- **Eje Y.-** Es el eje perpendicular a los anteriores, forma con ellos un sistema ortogonal a la derecha.
- **El origen del sistema de referencia**.- coincide con el centro de la huella del contacto.

2.1.2 Distribución de las Fuerzas del Neumático.

Se originan por el peso propio de las masas suspendidas y no suspendidas del vehículo, junto con las fuerzas dinámicas que se producen por la transferencia de carga en el frenado y las fuerzas aerodinámicas.

En el neumático las fuerzas verticales se distribuyen entre la banda de rodadura y la carretera, por lo tanto, en el neumático no existe una presión uniforme. La distribución de las fuerzas depende del diseño del neumático y del modo de operación como: el par de tracción, frenado, velocidad, etc.
En el diseño de la estructura del neumático existen aspectos que determinan el comportamiento del neumático como:

- ***RIGIDEZ RADIAL.-*** Es la variación de la fuerza vertical del neumático en función de la deformación radial del mismo. Está dado por la expresión:

$$K_{zn} = \frac{\delta Fz}{\delta z} \qquad (2.1)$$

K_{zn} : Rigidez radial. (Adimensional)

δFz : Variación de la fuerza vertical del neumático. (N)

δz : Deformación radial del neumático. (mm)

La rigidez radial se puede analizar mediante la Fig. 2.2.

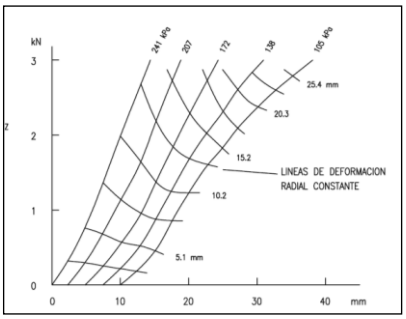


Fig. 2.2. Variación de la deformación radial del neumático con la carga para diferentes presiones de inflado.
FUENTE: www.ocw.uc3m.es.

La presión de inflado en el neumático, es de vital importancia, debido a la influencia del 80% a 90% de la rigidez radial.

- DIÁMETRO DEL NEUMÁTICO.- Afecta muy poco a la rodadura sobre superficies duras, sin embargo, tiene una influencia importante cuando rueda sobre una superficie blanda o deformable, porque al aumentar el diámetro disminuye la penetración del neumático en la calzada, sumado a la pérdida de energía que esto supone.

- *RESISTENCIA A LA RODADURA*.- Es una fuerza horizontal resultante de la oposición del pavimento al movimiento del neumático. Ver Fig. 2.3.

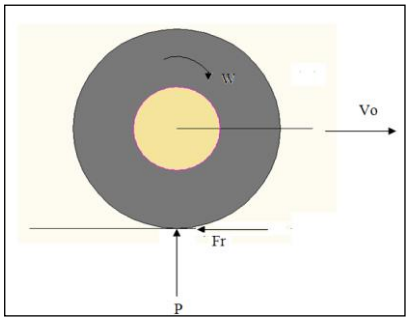


Fig. 2.3. Resistencia a la rodadura.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

La relación entre la fuerza de resistencia a la rodadura y la carga normal a la misma se denomina coeficiente de resistencia a la rodadura.

Entonces:

fr: Coeficiente de resistencia a la rodadura. (Adimensional).
Fr: Fuerza de resistencia a la rodadura. (N).
P: Carga normal a la superficie de rodadura. (N).

$$fr = Fr / P \quad (2.2)$$

Algunos valores aproximados de la resistencia a la rodadura se encuentran en la Tabla 2.1.

Tipo de Vehículo	SUPERFICIE		
	Hormigón o Asfalto	*Dureza Media*	*Arena*
Turismos	0.015	0.08	0.30
Camiones	0.012	0.06	0.25
Tractores	0.02	0.04	0.20

Tabla 2.1Coeficientes de resistencia al avance.

FUENTE: Ingeniería del automóvil, sistemas y comportamiento dinámico, Pablo LUQUE y Daniel ALVAREZ, 2004.

2.1.3 Comportamiento transversal del neumático.

2.1.3.1 La deriva y su relación con la fuerza transversal.

El ángulo de deriva se concibe por la deformación que se produce en la carcasa y en la banda de rodadura del neumático, por efecto de las fuerzas transversales (***Fy***) aplicadas en el eje de la rueda, como se observa en la Fig. 2.4.

Si el ángulo de deriva es pequeño se puede considerar que se produce adherencia en la huella de contacto, depreciándose el deslizamiento.

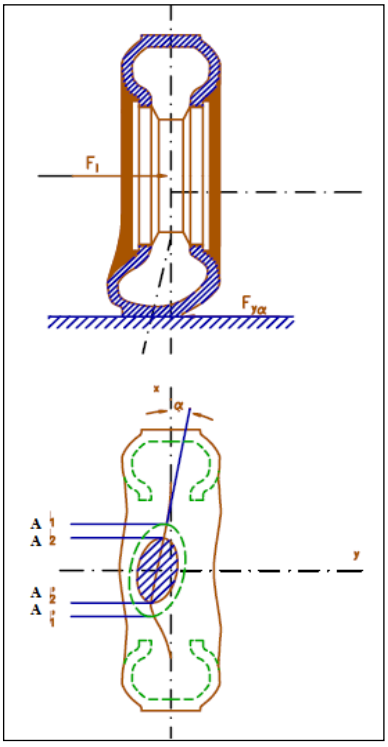


Fig. 2.4. Deformación de un neumático sometido a esfuerzos laterales (Fy).

FUENTE: www.ocw.uc3m.es.

A1 = Deformación en la primera zona de contacto parte superior. (mm)

A2 = Deformación en la segunda zona de contacto parte superior. (mm)

A´1 = Deformación en la primera zona de contacto parte inferior. (mm)

A´2 = Deformación en la segunda zona de contacto parte inferior. (mm)

Al rodar el neumático, a medida que la banda de rodadura se aproxima a la zona de contacto, se va ligeramente desplazando desde su posición indeformada; luego cuando llega a la zona de contacto A1 se deforma hasta la posición A2, deformación que se presenta debido a la carcasa, banda de rodadura y deslizamiento. En ese punto, la presión entre el neumático y el suelo, es suficiente para que no exista deslizamiento.

La fuerza transversal (**Fyα**) que se opone a la influencia de la fuerza (**Fy)** del eje de la rueda, no se encuentra en la misma línea de acción, sino que se encuentra desplazada una cierta distancia que se conoce con el nombre de avance neumático. (**da**), Ver Fig. 2.5.

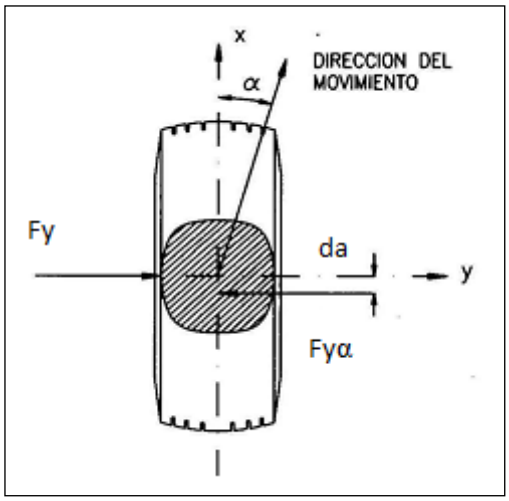


Fig. 2.5. Neumático sometido a esfuerzos laterales (Fy).

FUENTE: www.ftp.frh.utn.edu.ar.

Esta situación se debe a la deformación del neumático, por tanto, la fuerza transversal (**Fyα**), se va incrementando desde la parte delantera de la huella, hasta la posterior, teniendo como punto máximo, en una posición retrasada respecto al eje de la rueda cuando se desplaza en una distancia (**da**).

Esta fuerza no aparece inmediatamente cuando el vehículo toma una curva, sino que el neumático debe tener cierta deformación para que luego aparezca la fuerza transversal. Esta deformación se llama longitud de relajación.

- *MOMENTO AUTOLINEANTE.-* Es el producto de (**da**) por (**Fyα**), que es un par que tiende a alinear el plano de la rueda con la dirección del vehículo, da estabilidad y ayuda a los neumáticos a regresar a su posición de línea recta cuando se termina de tomar una curva. Regresar a ver Fig. 2.5.

- *ANGULO DE CAIDA DE LA RUEDA.-* Es el ángulo formado entre el plano medio de la rueda y la normal al plano de rodadura, como se observa en la Fig. 2.6.

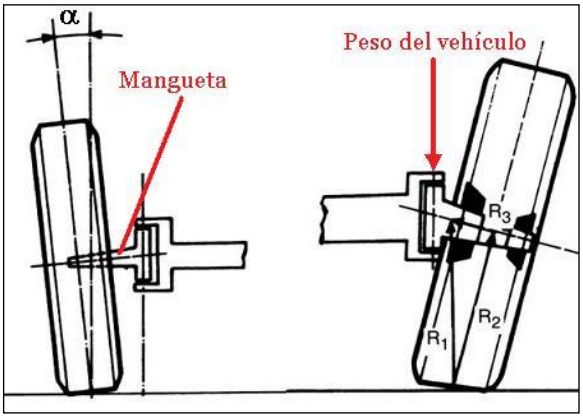


Fig. 2.6. Angulo de Caída.
FUENTE: www.circulaseguro.com

- *PRESION DE INFLADO.-* Incrementa la rigidez de la carcasa, pero se reduce la huella de contacto, esto dependerá del diseño y de su modo de operación.

2.1.3.2 *Factores que influyen en el comportamiento transversal del neumático.-*

La capacidad del neumático de soportar esfuerzos transversales se ve influenciada por:

- Características dimensionales y estructurales del neumático.
- Grado de solicitación vertical y longitudinal.
- Presión de inflado.
- Angulo de caída.
- Estado de la superficie de rodadura.

2.1.4 Carga vertical sobre el neumático.

La capacidad de soportar esfuerzos laterales disminuye cuando se aumenta la carga, tiene una gran influencia en la estabilidad y en el control direccional en curva.

2.1.5. Elementos que intervienen en el cálculo de la suspensión:

2.1.5.1: *Muelles*.

Es un elemento flexible que ejerce una fuerza o un par torsional y al mismo tiempo almacena energía, pudiendo ser la fuerza de manera lineal, de tracción o radial.

La Fig. 2.7 muestra la notación para referirse a los diámetros característicos de los resortes helicoidales de compresión. El diámetro externo (DE), el diámetro interno (DI), y el diámetro del alambre (Dw), se pueden medir con instrumentos estándar de medición.

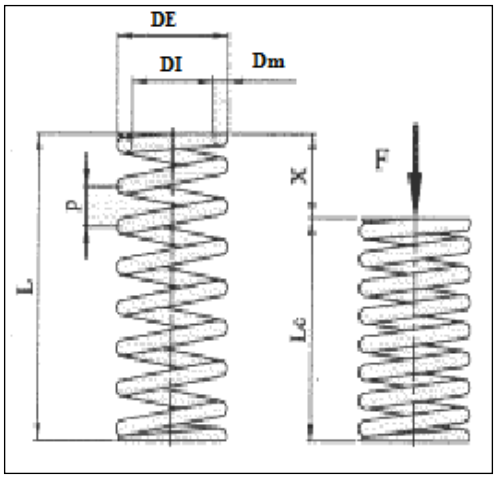


Fig. 2.7. Notación de Diámetros del resorte.
FUENTE: www.resorteslacas.com

Para calcular el esfuerzo y la deflexión de un resorte, se usa el diámetro medio, Dm. Entonces:

$$DE = Dm + Dw \quad (2.3)$$

$$DI = Dm - Dw \quad (2.4)$$

- DE: Diámetro externo. (pulg).
- DI: Diámetro interno. (pulg).
- Dm: Diámetro medio. (pulg).
- Dw: Diámetro del alambre. (pulg).

- *LONGITUDES.-* Es importante comprender la relación entre la longitud del resorte y la fuerza que ejerce. Ver Fig. 2.8.

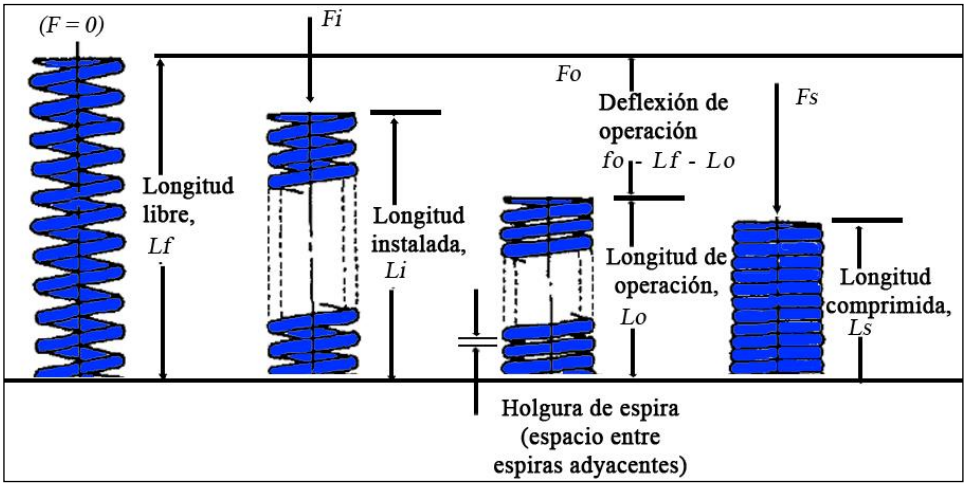


Fig. 2.8. Notación de longitudes y fuerzas.

FUENTE: Diseño de elementos de maquinas, Robert L. MOTT, cuarta edición, 2006.

- La *longitud libre (Lf).- E*s la longitud que tiene el resorte cuando no ejerce fuerza.
- La *longitud comprimida (Ls).- E*s la que tiene el resorte cuando se comprime hasta el punto en que todas sus espiras se tocan.

- *Longitud de operación (Lo).- Es l*a longitud más corta del resorte durante su funcionamiento normal.

En general, el resorte no se comprime hasta su longitud comprimida durante su funcionamiento.

- *FUERZAS.-* Se usa el símbolo *F* para representar las fuerzas que se puede ejercer en un resorte, los diversos subíndices son para especificar la fuerza a considerar. Ver Fig. 2.8.

Fs = Fuerza en longitud comprimida; fuerza máxima a la que se puede someter al resorte. (lb)
Fo = Fuerza en la longitud de operación. (lb)
Fi = Fuerza a la longitud instalada. (lb)
Ff = Fuerza en la longitud libre. (lb)

- *CONSTANTE DEL RESORTE.-* Es la relación entre la fuerza que ejerce un resorte y su deformación en su *constante de resorte o constante de elasticidad K.* Cualquier cambio en la fuerza, dividido entre el cambio correspondiente en la deflexión, se puede usar para calcular la constante de resorte. Entonces:

- K: Constante de elasticidad. (lb/pulg).
- Fo: Fuerza en la longitud de operación. (lb).
- Fi: Fuerza a la longitud instalada. (lb).
- Li: Longitud instalada. (pulg).
- Lo: Longitud operación. (pulg).
- Lf: Longitud Libre. (pulg).

Por lo tanto:

$$\boxed{K = \frac{F_o - F_i}{L_i - L_o}} \qquad (2.5)$$

O puede ser:

$$K = \frac{F_o}{L_f - L_o} \quad (2.6)$$

también:

$$K = \frac{F_i}{L_f - L_i} \quad (2.7)$$

- *ÍNDICE DEL RESORT.- Es* la relación del diámetro medio del resorte, entre el diámetro del alambre, se llama *índice del resorte C,* de donde:

  - C: Índice del resorte. (Adimensional)
  - Dm: Diámetro medio. (pulg)
  - Dw: Diámetro del alambre. (pulg)

$$C = \frac{D_m}{D_w} \quad (2.8)$$

Se recomienda que C sea mayor que 5, los resortes comunes en maquinaria tienen valores de C que van de 5 a 12. Para C menor que 5, es muy difícil dar forma al resorte. Esta deformación puede causar grietas en el alambre. Los esfuerzos y las deflexiones de los resortes dependen de C y una C mayor ayudará a eliminar la tendencia de un resorte a pandearse. Ver Fig. 2.7.

- *NUMERO DE ESPIRAS (n).-* Representa el número total de espiras de un resorte. Pero en cálculos de esfuerzos y deflexiones de un resorte, algunas de las espiras son inactivas, por lo que no se consideran.

  En un resorte con extremos escuadrados y rectificados, cada extremo de espira es inactivo y el número de *espiras activas (Na),* es *N - 2.*
  Para extremos planos, todas las espiras son activas *Na = N.* Para extremos planos y rectificados, *Na = N - 1.*

- *PASO (p).-* Indica la distancia axial de un punto en una espira al punto correspondiente en la siguiente espira. Las relaciones entre paso, longitud libre, diámetro de alambre y número de espiras activas son las siguientes:

  - Lf: Longitud libre. (pulg)
  - p: Paso. (pulg)
  - Na: Numero de espiras. Cantidad adimensional.
  - Dw: Diámetro del alambre. (pulg).

Extremos escuadrados y rectificados: $L_f = pN_a + 2D_w$ (2.9)

Extremos solamente escuadrados: $L_f = pN_a + 3D_w$ (2.10)

Extremos planos y rectificados: $L_f = p(N_a + 1)$ (2.11)

Extremos planos: $L_f = pN_a + D_w$ (2.12)

- *ANGULO DE PASO.-* Mientras mayor es el ángulo de paso, las espiras parecen estar más inclinadas. Se puede observar el ángulo de paso λ, en la Fig. 2.9

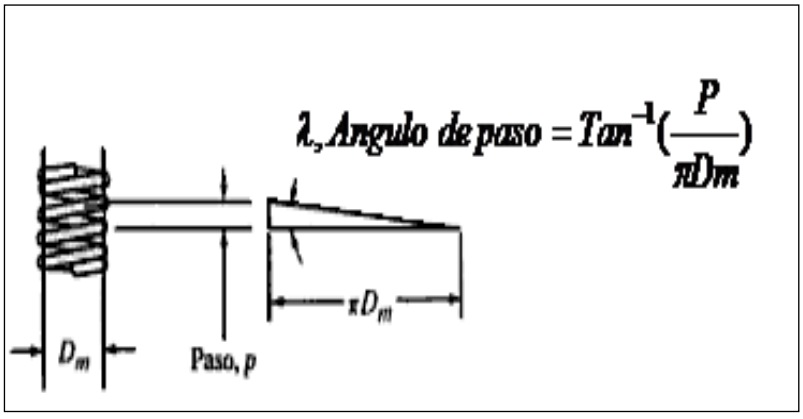


Fig. 2.9. Angulo de paso.
FUENTE: Diseño de elementos de maquinas, Robert L. MOTT, cuarta edición, 2006.

- La mayor parte de resortes tienen un ángulo de paso menor que 12°. Si el ángulo es mayor que 12°, se desarrollan en el alambre esfuerzos de compresión indeseables. Entonces:

λ: Angulo de paso. (°).

p: Paso. (pulg).

Dm: Diámetro medio. (pulg).

$$\lambda = \tan^{-1}\frac{p}{\pi D_m} \qquad (2.13)$$

2.1.5.2. Amortiguador.

2.1.5.2.1. Flujos y fuerzas en un amortiguador hidráulico telescópico.

Los amortiguadores del vehículo Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3, son mixtos (gas e hidráulicos) se utiliza para los cálculos los siguientes parámetros, ver Fig. 2.10.

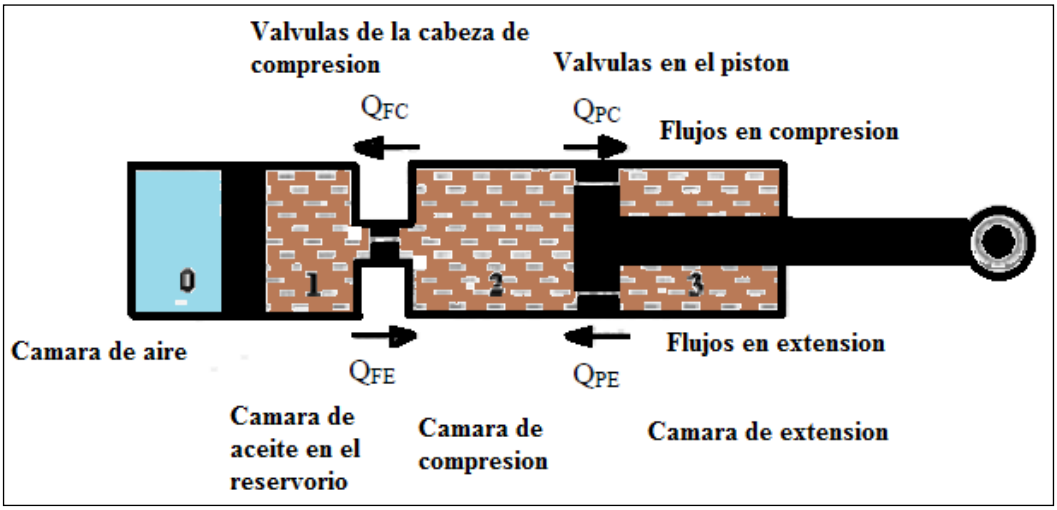


Fig. 2.10. Parámetros del Amortiguador.

FUENTE: www.prof.usb.ve

Q_{FC} = Caudal por la cabeza de compresión en compresión. (m³/s)

Q_{PC} = Caudal por el pistón en compresión. (m³/s)

Q_{FE} = Caudal por la cabeza de compresión en extensión. (m³/s)

Q_{PE} = Caudal por el pistón en extensión. (m³/s)

C = Carrera del pistón. (m)

T= Tipo de aceite del amortiguador SAE 10 con una viscosidad dinámica de 28cst a 40ºC.

- La fuerza axial resultante sobre el pistón durante la compresión es:

$$F_{PC} = P_C \cdot A_P - P_E \cdot (A_P - A_E) \qquad (2.14)$$

P_C Presión en la cámara de compresión. (Pa)

P_E Presión en la cámara de extensión. (Pa)

A_P Área transversal del pistón. (m^2)

A_E Área transversal del eje. (m^2)

- La fuerza axial resultante sobre el pistón durante extensión es:

$$F_{PE} = P_E \cdot (A_P - A_E) - P_C \cdot A_P \qquad (2.15)$$

Si se conocen los cambios de presión generados por los flujos a través de las válvulas, entonces se pueden calcular las presiones de cada cámara en cada caso, por tanto la fuerza generada por el amortiguador.

Se pueden hacer las pruebas de la siguiente manera: pruebas estáticas y dinámicas, que consisten en simular la carga en un amortiguador junto con el muelle, para poder ver su funcionamiento.

Este tipo de amortiguadores necesita una cámara de aire para que el aceite pueda ser desplazado por el volumen del eje que va entrando en el cilindro principal. Si la cámara de aire está cerrada (no tiene salida a la atmósfera), el aire se comprime a medida que el eje entra en el cilindro principal. Este aire comprimido genera una fuerza que intenta expulsar al eje del cilindro. El aire comprimido actúa entonces como si fuera un resorte (no lineal) en paralelo con el amortiguador. Usar aire (ó nitrógeno) precomprimido tiene el beneficio de evitar la cavitación en las válvulas.

2.1.5.2.2. Parámetros básicos de un amortiguador.

Los parámetros básicos que definen el comportamiento de un amortiguador son:

- La curva característica de la gráfica de Fuerza vs. Velocidad,
- El coeficiente de amortiguación promedio

- La relación compresión/extensión.

La Fig. 2.11 muestra la curva característica de un amortiguador para vehículo de carrera. La fuerza positiva se refiere a la fuerza generada por el amortiguador en extensión y la negativa en compresión.

Se pueden observar tres curvas en extensión y compresión porque este amortiguador para vehículo de carrera es ajustable, al cambiarse la configuración en las válvulas, cambia también su comportamiento. La aproximación lineal sirve para estimar la constante de amortiguación. La pendiente de esa recta representa una aproximación de la constante de amortiguación.

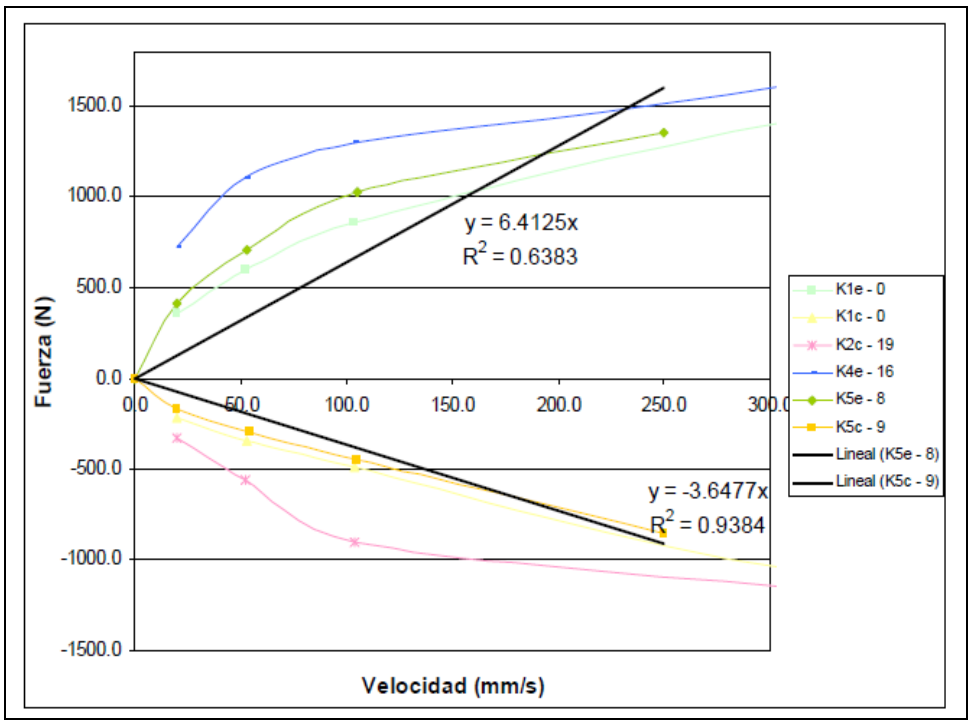


Fig. 211. Curva característica de un amortiguador para un vehículo de carrera.

FUENTE: www.prof.usb.ve.

Para análisis dinámicos del vehículo, es muy útil aproximar amortiguadores relativamente lineales con una curva característica con la fuerza proporcional a la velocidad. Sin embargo, los amortiguadores generalmente trabajan con diferente intensidad para extensión y compresión. El coeficiente promedio de amortiguación es:

$$C_a = \frac{1}{2} \cdot (C_c - C_e) \qquad (2.16)$$

Donde:

C_c = Coeficiente de amortiguación a compresión (Adimensional).

C_e = Coeficiente de amortiguación a extensión. (Adimensional).

- La relación compresión/extensión es:

$$R_{ce} = \frac{C_c}{C_e} \qquad (2.17)$$

2.1.5.3. Rodamientos.

Los rodamientos son elementos que soportan las cargas y transportan movimiento entre 2 elementos de una maquina o mecanismo.

2.1.5.3.1. Rodamientos de bolas a rótula*:*

Los rodamientos de bolas a rótula tienen dos hileras de bolas que apoyan sobre un camino de rodadura esférico en el aro exterior, permitiendo desalineaciones angulares del eje respecto al soporte. Son utilizados en aplicaciones en donde pueden producirse desalineaciones considerables. Ver Fig. 2.12.

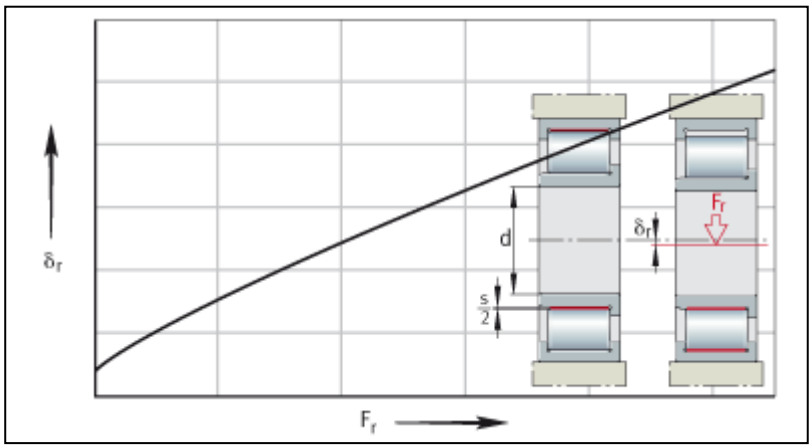


Fig. 2.12. Rodamiento de bolas a rótula.

FUENTE: www.wikipedia.org.

Este tipo de rodamientos tienen menor fricción que otros tipos de rodamientos, por lo que se calientan menos en las mismas condiciones de carga y velocidad, siendo aptos para mayores velocidades.

- Carga por fatiga.
- Fricción.
- Calentamiento.
- Resistencia a la corrosión.
- Problemas cinemáticos.
- Propiedades de los materiales.
- Lubricación.
- Tolerancias al maquinado.
- Ensamble.
- Uso y costo.

2.1.5.3.2. Partes de un cojinete de rodamientos:

Los cojinetes rodantes, se fabrican para soportar cargas puramente radiales, cargas de empuje axial puro o una combinación de ambas cargas. La nomenclatura de un cojinete tipo bolas se muestra en la Fig. 2.13:

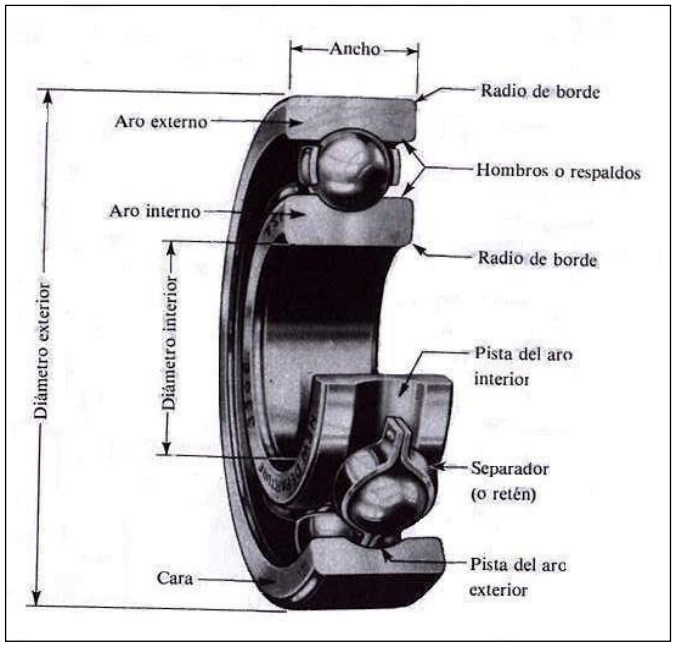


Fig. 2.13. Nomenclatura de un cojinete.

FUENTE: www.wikipedia.org.

2.1.5.3.3. Cálculos en el rodamiento**.**

1. Vida Nominal (**L_{10}**): Indica la probabilidad de que el rodamiento seleccionado soporte el 90% de carga dinámica nominal, durante el número específico de horas de diseño. Teniendo una probabilidad de 10% de que tenga una duración menor. Entonces:

   L_{10}: Es la vida estimada en millones de revoluciones.

   C: Es la capacidad de carga dinámica. (lb).

   P: Es la carga equivalente sobre el rodamiento, se calcula en función de las cargas radiales y axiales que afectan al rodamiento, su fórmula depende del tipo de rodamiento a utilizar. (lb).

   p: Es 3 para los rodamientos de bolas y 10/3 para los rodamientos de rodillos. Cantidad adimensional.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{p} \tag{2.18}$$

   La vida nominal puede expresarse en otras unidades más adecuadas al problema que se analiza, así:

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60 \cdot n}\right) \cdot L_{10} \tag{2.19}$$

   Donde:

   L_{10h}: Es la vida estimada en horas de funcionamiento.

   n: Es la velocidad del eje en r.p.m.

$$L_{10s} = \left(\frac{\mathrm{p} \cdot \mathrm{D}}{1000}\right) \tag{2.20}$$

Donde:

L_{10s}: Es la vida estimada en millones kilómetros recorridos.

D: Es el diámetro de las ruedas en metros.

2. Relación de carga y duración.-

- L_2 = Duración del rodamiento (rev).
- L_1 = Duración del rodamiento de diseño (rev).
- P_1 = Capacidad de carga dinámica. (lb)
- P_2 = Carga a ser sometido. (lb)

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \tag{2.21}$$

3. Capacidad de carga dinámica básica (c).-

- P_d = Carga de diseño. (lb)
- L_d = Duración de diseño.
- K = *3.00 para rodamientos de bolas*
- *3.33* = *para rodamientos de rodillos*

$$C = P_d \left(L_d / 10^6\right)^{1/k} \tag{2.22}$$

4. Duración de diseño.-

$$L_d = \left(C / P_d\right)^k (10^6) \tag{2.23}$$

2.1.5.4. Rótulas.

Las rótulas en nuestro cálculo serán analizadas como un apoyo móvil, consideradas como una reacción e incógnita, ver imagen de la Fig. 2.14.

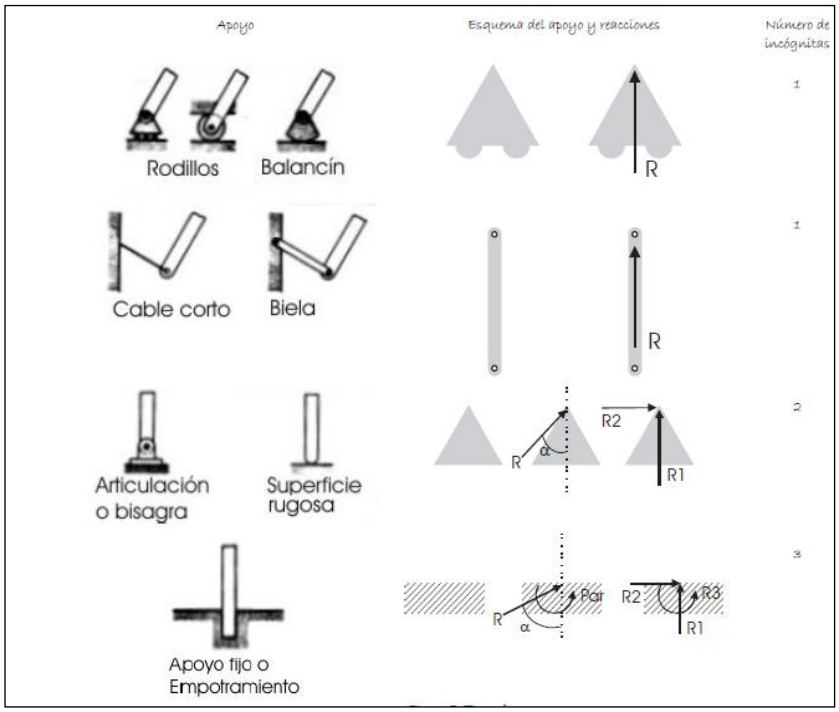


Fig. 2.14 Tipos de apoyos.
FUENTE: www.webdelprofesor.ula.ve.

2.1.6. Calculo de Fuerzas en la Suspensión y Dirección de Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3

2.1.6.1. CARACTERÍSTICAS DE NISSAN SENTRA B15, MODELO 2003, 1.800CM^3.-

Specifications Especificaciones

Dimensions, weight & performance

Grade			1.8	1.8S
Overall length		mm	4,508	
Overall width		mm	1,710	
Overall height		mm	1,410	
Wheelbase		mm	2,535	
Tread	Front	mm	1,480	
	Rear	mm	1,460	
Curb weight	M/T ( )=without catalytic converter	kg	1,142.5 (1,125.7)	1,166.1
	A/T	kg	1,165.4 (1,148.7)	1,189.2
Seating capacity		persons	5	
Min. turning radius		m	5.28	
Fuel tank capacity		L	50	
Tires			195/60R15	
Wheels			6JJ-15 Steel	6JJ-15 Alloy

Mechanical features

Engine	Model	QG18DE	
	Type	DOHC 16-valve	
	Bore x stroke mm	80.0 x 80.0	
	Displacement cc	1,769	
	Max. power kW(ps)/rpm	92(125) / 5,600	
	Max. torque Nm(kg-m)/rpm	161(16.4) / 4,400	
	Compression ratio	9.5 : 1	
Fuel system		ECCS, multi-point electric fuel injection control	
Transmission gear ratio	Type	5-speed M/T	4-speed A/T
	1st	3.333	2.861
	2nd	1.955	1.562
	3rd	1.286	1.000
	4th	0.926	0.698
	5th	0.756	–
	rev.	3.214	2.310
Final gear ratio (hypoid final gear)		4.176	4.072
Steering		Power assisted rack & pinion gear / Collapsible shaft	
Suspension	Front	Independent by MacPherson struts & coil springs with transverse links	
	Rear	Multi-link beam suspension	
Brakes	System	Diagonal split dual circuit / Service brake with tandem master cylinder	
	Front	Ventilated discs	
	Rear	Drums with automatic adjuster	

Nissan Motor Co., Ltd. reserves the right to make any changes without notice concerning colors, equipment or specifications detailed in this brochure, or to discontinue individual models. The colors of vehicles delivered may differ slightly from those in this brochure. The specifications vary for different countries depending on local market conditions. Please consult your local dealer to ensure that the vehicle delivered accords with your expectations.

Dimensiones, peso y rendimiento

Versión			1.8	1.8S
Longitud total		mm	4.508	
Anchura total		mm	1.710	
Altura total		mm	1.410	
Distancia entre ejes		mm	2.535	
Ancho de vía	Delantero	mm	1.480	
	Trasero	mm	1.460	
Peso en orden de marcha	T/M ( )= Sin convertidor catalítico	kg	1.142,5 (1.125,7)	1.166,1
	T/A	kg	1.165,4 (1.148,7)	1.189,2
Plazas		Personas	5	
Radio mínimo de viraje		m	5,28	
Capacidad del tanque de combustible		L	50	
Neumáticos			195/60R15	
Llantas			6JJ-15 Acero	6JJ-15 Aluminio

Características mecánicas

Motor	Modelo	QG18DE	
	Tipo	DOHC, 16 válvulas	
	Diámetro x carrera mm	80,0 x 80,0	
	Cilindrada cc	1.769	
	Potencia máxima kW(ps)/rpm	92(125) / 5.600	
	Par máx. de torsión Nm(kgm)/rpm	161(16,4) / 4.400	
	Relación de compresión	9,5 : 1	
Sistema de alimentación de combustible		ECCS, control de inyección electrónica de combustible en múltiples puntos	
Relación de engranajes de la transmisión	Tipo	T/M de 5 velocidades	T/A de 4 velocidades
	1.ª	3,333	2,861
	2.ª	1,955	1,562
	3.ª	1,286	1,000
	4.ª	0,926	0,698
	5.ª	0,756	–
	Marcha atrás	3.214	2,310
Desmultiplicación final (engranaje final hipoidal)		4,176	4,072
Dirección		Servoasistida, engrane de cremallera y piñón / eje plegable	
Suspensión	Delantera	Independiente con montantes McPherson y resortes helicoidades con varillas transversales	
	Trasera	Barra de articulaciones múltiples	
Frenos	Sistema	Circuito doble separado en diagonal/Freno de servicio con cilindro maestro en tándem	
	Delanteros	Discos ventilados	
	Traseros	Tambores con ajustador automático	

Nissan Motor Co. Ltd. se reserva el derecho de efectuar cualquier modificación sin previo aviso con respecto a colores, equipos o especificaciones detallados en este folleto, o discontinuar la producción de un modelo determinado. Los colores de los vehículos entregados podrían diferir ligeramente de los que figuran en este folleto. Las especificaciones varían en distintos países, según las condiciones de cada mercado. Sírvase consultar a su distribuidor local para asegurarse de que el vehículo entregado está de acuerdo con sus expectativas.

Tabla 2.2. Datos característicos y construcción del Nissan Sentra 1.8 cm3, modelo 2003.

FUENTE: www.nissan.com

- ***Fuerzas y cargas.-***

Para el cálculo de fuerzas generadas en el sistema de suspensión del vehículo estudiado, se considera la ¨Tabla 5.1· DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA EN EL EJE, VALORES PROMEDIADOS"[1], o tabla 2.3; en la cual se aborda una distribución del peso del vehículo de 61% en la parte delantera y 39% en la parte posterior, con el vehículo vacio, perteneciente al grupo de vehículos con tracción y motor delantero.

CARGA	**Tracción delantera**		**Tracción trasera Motor delantero**		**Tracción trasera Motor trasero**	
	Eje anterior	Eje posterior	Eje anterior	Eje posterior	Eje anterior	Eje posterior
Vacio	61	39	50	50	40	60
2 pasajeros	60	40	50	50	42	58
4 pasajeros	55	45	47	53	40	60
5 pasajeros y equipaje	49	51	44	56	41	59

Tabla 2.3. Distribución en % de carga en el eje.
FUENTE: INGENIERIA DEL AUTOMOVIL, SISTEMAS DE COMPRTAMIENTO DINAMICO, Pablo Luque, Daniel Álvarez,

2.1.6.2. CÁLCULO DE PESOS DEL NISSAN SENTRA B15, MODELO 2003, 1.800Cm^3

Se usa la letra W para representar el peso del vehículo, los diferentes subíndices representan el peso en los ejes del vehículo.

Entonces:

1) W_T = Peso del Vehículo. (Kg)
2) W_d = Peso delantero de vehículo. (Kg)

[1] Luque, P, Álvarez, D. INGENIERÍA DEL AUTOMOVIL, SISTEMAS DE COMPRTAMIENTO DINÁMICO. Thompson, Madrid. España 2004. Pag. 298

3) W_t = Peso posterior del vehículo. (Kg)

- PESO TOTAL NISSAN SENTRA 1.8 MODELO 2003

  $W_T = 1142.5\text{Kg.}$ (Ver tabla 2.2)

- *PESO DELANTERO DEL VEHÍCULO:*

  $W_d = W_T * 61\%$

  $W_d = W_T * 0.61$

  $W_d = 1142.5\,\text{Kg} * 0.61$

  W_d **= 696.925 Kg**

- *PESO POSTERIOR DEL VEHÍCULO:*

  $W_d = W_T * 39\%$

  $W_d = W_T * 0.39$

  $W_t = 1142.5\text{Kg} * 0.39$

  W_t **= 445.575 Kg**

2.1.6.2.1. *<u>Centro de gravedad.</u>*

Se utiliza la letra L para representar la distancia entre ejes del vehículo, los diferentes subíndices identifican las distancias al centro de gravedad desde la parte delantera y posterior del mismo. Ver Fig. 2.13

Entonces:

- L = Distancia entre ejes (Batalla) (m)
- L_1 = Longitud al centro de Gravedad desde el eje delantero. (m)
- L_2 = Longitud al centro de Gravedad desde el eje posterior. (m)
- W_t = Peso del eje posterior. (Kg)
- W_d = Peso del eje delantero. (Kg)
- W = Peso total del vehículo. (Kg)

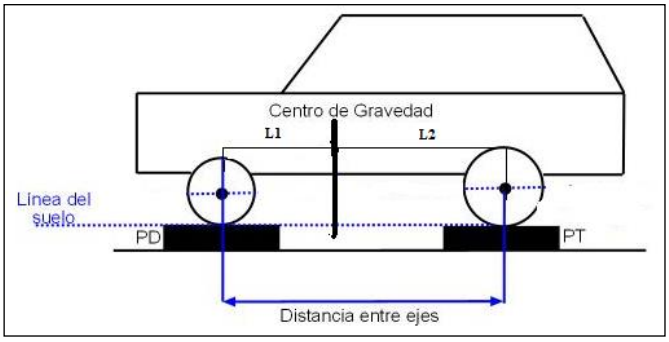


Fig. 2.13. Centro de gravedad.

FUENTE: www.zonagravedad.com.

- **DISTANCIA ENTRE EJES:**

L= 2535mm

W_t = 445.575 Kg

W_d = 696.925 Kg

- **LONGITUD AL CENTRO DE GRAVEDAD DESDE EL EJE DELANTERO:**

$$L_1 = \frac{W_t \times L}{W}$$

$$L_1 = \frac{445.575Kg \times 2535mm}{1142.5Kg} = 988mm = 0.988m \quad (2.24)$$

- **LONGITUD AL CENTRO DE GRAVEDAD DESDE EL EJE POSTERIOR:**

$$L_2 = \frac{W_d \times L}{W}$$

$$L_2 = \frac{696.925\,\text{Kg} \times 2535\text{mm}}{1142.5Kg} = 1546mm = 1.546m \quad (2.25)$$

2.1.6.3. Fuerzas en la Suspensión.

Los neumáticos son los elementos que soportan el peso del vehículo, las primeras reacciones se producirán sobre los mismos, por el contacto que tienen con la calzada, posteriormente las reacciones y los esfuerzos se distribuirán hacia los componentes mecánicos de la suspensión.

Por medio de los teoremas de transmisibilidad de fuerzas, se descompone la fuerza del peso del vehículo en 2 reacciones que actúan en sentido perpendicular al plano de la rueda.

2.1.6.3.1. Cálculos en la suspensión delantera.

En el sistema de suspensión delantero se realiza el estudio del conjunto formado por: neumático, aro, disco de freno, muñón de dirección y suspensión, rótulas, amortiguador, muelle, bases superiores de amortiguador, pernos, pasadores y chasis de vehículo.

Para el abordaje de los cálculos se analiza en un solo conjunto, puesto que los dos delanteros son similares; la estructura y configuración de suspensión son de tipo independiente MacPherson, es ahí en donde se presentan las fuerzas y reacciones.

Entonces:

P= Peso del Vehículo. (N).

Fx1= Componente de Fuerza (P) en el eje X, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador. (N).

Fy1= Componente de Fuerza (P) en el eje Y, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador. (N).

RN= Reacción en el neumático debido al peso de los elementos suspendidos no suspendidos del vehículo. (N).

Rx= Reacción en muñón de suspensión en el eje X, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Ry= Reacción en muñón de suspensión en el eje Y, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

F2= Fuerza ejercida por carrocería aparece en el pasador solo cuando el vehículo se desplaza. (N).

Fx2= Componente de F2 en el eje X. (N).

Fy2= Componente de F2 en el eje Y. (N).

Rx1= Componente de Fuerza de Reacción contraria a F2 por el peso de carrocería, aparece en el pasador solo cuando el vehículo se desplaza, ubicada en el eje X. (N).

Ry1= Componente de Fuerza de Reacción contraria a F2 por el peso de carrocería, aparece en el pasador solo cuando el vehículo se desplaza, ubicada en el eje Y. (N).

Rx2= Componente de Fuerza de Reacción contraria a F2 por el peso de carrocería, aparece en el pasador solo cuando el vehículo se desplaza, ubicada en el eje X. (N).

Ry2= Componente de Fuerza de Reacción contraria a F2 por el peso de carrocería, aparece en el pasador solo cuando el vehículo se desplaza, ubicada en el eje Y. (N).

a= Distancia medida desde el punto A, hacia el pasador del brazo de suspensión. (mm).

b= Altura medida desde el punto A, hacia el pasador del brazo de suspensión. (mm).

c= Altura medida desde el punto A hacia el centro de la rueda y centro muñón de dirección y suspensión. (mm).

d= Altura medida desde el punto A hacia la base del amortiguador. (mm).

e= Altura medida desde el punto A, hacia la parte superior del amortiguador. (mm).

f= Distancia medida desde la parte superior del amortiguador al pasador del brazo de suspensión. (mm).

g= Distancia medida desde la parte superior del amortiguador, hacia el punto A. (mm).

h= Distancia medida desde el punto A, hacia la base del amortiguador. (mm).

α= Angulo entre amortiguador se suspensión y el plano de referencia de la rueda. (º)

2.1.6.3.1.1 *Diagramas de Cuerpo libre de fuerzas y reacciones.-* Ver Fig.2.14

- **Sistema de Referencia.-** Se ubica en puntos convenientes del conjunto mecánico, con el fin de facilitar el análisis matemático; para posteriormente trasladarse a distintos puntos del conjunto.
- **Fuerzas y Reacciones**.- Serán determinadas a partir del peso del vehículo, para formar las respectivas ecuaciones matemáticas.
- **Momentos.-** Serán ubicados en puntos convenientes del conjunto mecánico, y servirán para determinar las ecuaciones de fuerzas y reacciones.

2.1.6.3.1.1.1. Diagrama de Fuerzas: Carrocería – Amortiguador.

- **Sistema de Referencia.-** Ubicado en la base del amortiguador.
- **Fuerzas y Reacciones**.- Se realiza el análisis matemático, comenzando por el peso del vehículo, que ejerce una fuerza sobre el amortiguador, formando un ángulo de 14.43°, comprendido entre el amortiguador y el eje Y del sistema de referencia. Ver Fig. 2.14

Entonces:

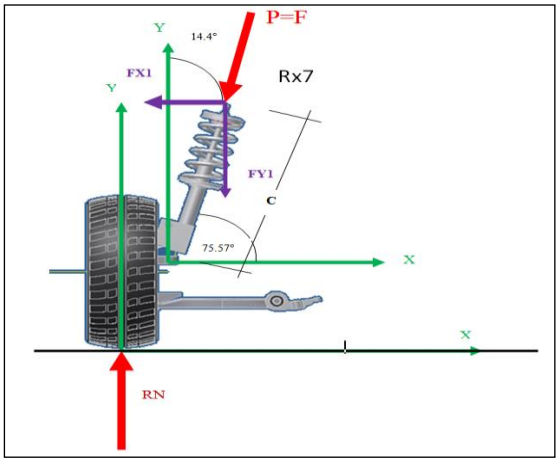


Fig. 2.14. Fuerzas y reacciones, Carrocería- Amortiguador.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

2.1.6.3.1.1.2 Diagrama de Fuerzas: Amortiguador – Muñón de suspensión y dirección.

- **Sistema de Referencia.-** Ubicado en la base del amortiguador.
- **Fuerzas y Reacciones**.- Reacciones RX y RY se producen por el peso del vehículo, que se encuentran en la parte inferior del Amortiguador y el Muñón de Dirección. Ver Fig. 2.15

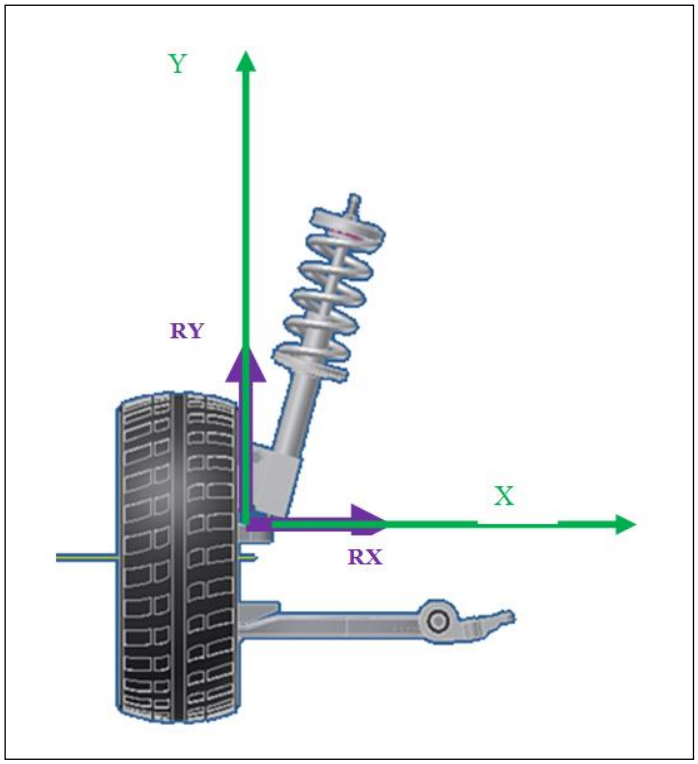


Fig. 2.15. Fuerzas y reacciones, Amortiguador – Muñón de suspensión y dirección.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

2.1.6.3.1.1.3 Calculo de Amortiguador y Resorte.

Entonces:

$$\boxed{\begin{aligned} F &= L - L_O \\ F &= \frac{(8.Na..F..D^3)}{(G.\ d^4)} \end{aligned}} \qquad (2.26)$$

- F =Fuerza aplicada en el amortiguador.(N)
- D =Diámetro medio del muelle.(m)
- D =Diámetro del alambre.(m)

- K =Rigidez del muelle. (Adimensional)
- G =Módulo a Cizalladura. (80 000 N/mm2 para aceros).
- N =N° total de espiras.

$$K = F/f$$

$$K = \frac{(G.\ d^4)}{(8.Na..D^3)} \qquad (2.27)$$

- Na=N° de espiras activas.

    1) Na=N-2, si los extremos son cerrados.
    2) Na=N-2, si los extremos son cerrados y lijados.
    3) Na=N-1.5, si los extremos son planos y lijados.
    4) Na=N-1.5, si los extremos son planos.

2.1.6.3.1.1.4 Diagrama de Fuerzas: Plato de suspensión, pasadores.

- **Sistema de Referencia.-** Ubicado en el extremo fijo del plato de suspensión.
- **Fuerzas y Reacciones**.- Las fuerzas FX2 y FY2, aparecen solamente cuando el vehículo se encuentra en movimiento. Cuando el vehículo se encuentra estático, no existen fuerzas porque en ese punto se encuentra un perno o un pasador que cumple la función de sostener el plato y fijar el conjunto de amortiguación.

  Cuando el vehículo se encuentra en movimiento, los esfuerzos son absorbidos por los pasadores o los pernos según el caso, convirtiéndose en esfuerzos cortantes; por tanto aparecen reacciones RX1 y RY1 en el mismo punto. Ver Fig. 2.16.

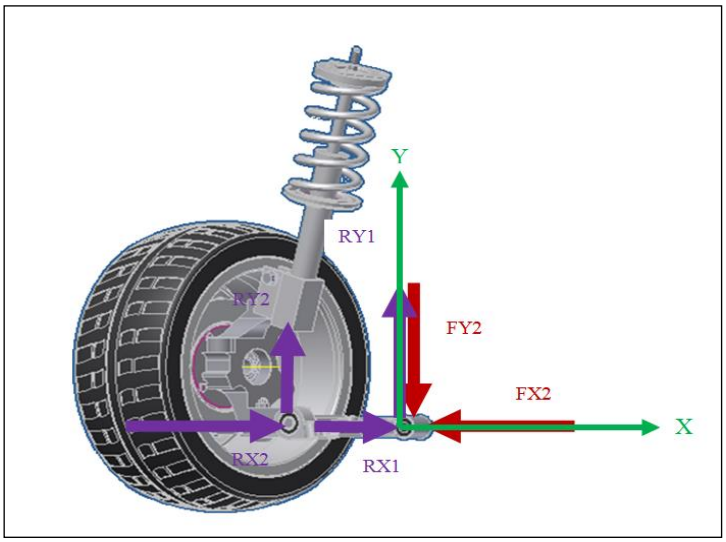


Fig. 2.16. Fuerzas y reacciones, Plato de suspensión, pasadores.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

2.1.6.3.1.1.5 Diagrama de Distancias. (Fig. 2.17):

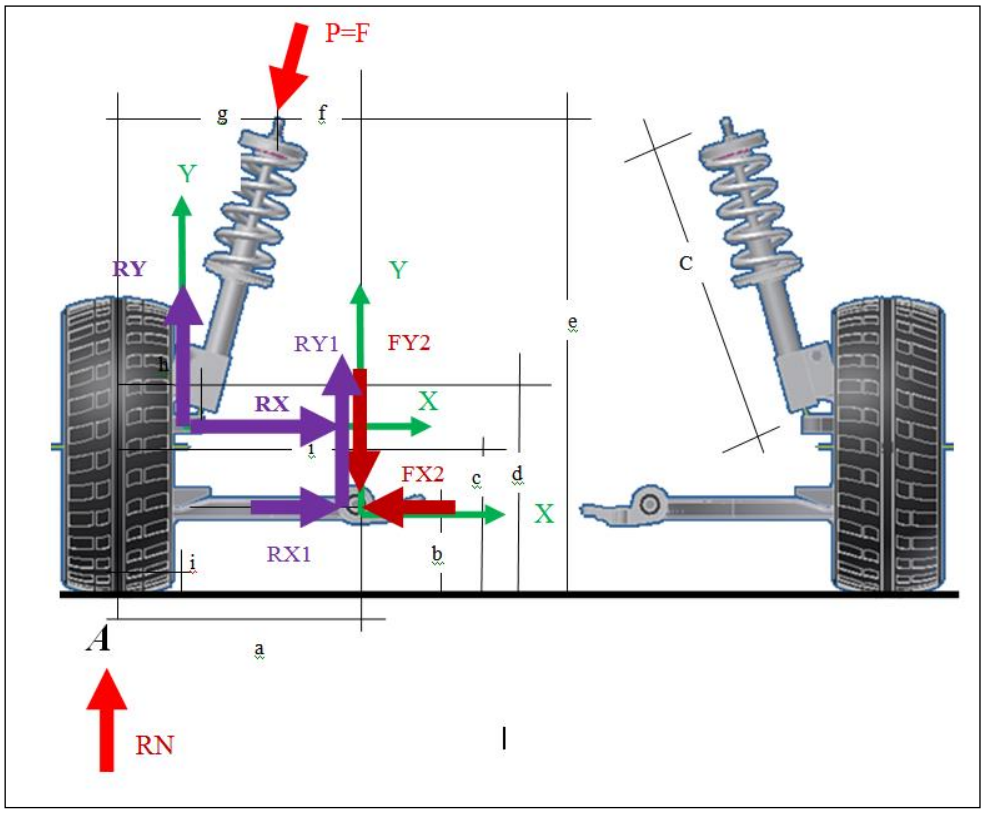


Fig. 2.17. Fuerzas y reacciones, Diagrama de Distancias.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Sumatoria de fuerzas.-*

$$\boxed{\sum Fy = -Fy_1 - Fy_2 + RN + Ry_1 + Ry + Ry_2 = 0} \quad (1)$$
$$\sum Fy = -Psen(14.43°) - Fy_2 + RN + Ry_1 + Ry + Ry_2 = 0$$

$$\boxed{\sum Fx = -Fx - Fx_2 + Rx + Rx_1 + Rx_2 = 0} \quad (2)$$
$$\sum Fx = -P\cos(14.43°) - Fx_2 + Rx + Rx_1 + Rx_2 = 0$$

$$\boxed{\begin{array}{l}\sum M_A = -Fx(e) + Rx(d) + Rx_1(b) - Fx_1(b) - Fy(g) - Fy_1(a) + Ry_1(a) \\ + Ry(a - f) + Rx_2(b) + Ry_2(i) = 0\end{array}} \quad (3)$$

En el diagrama de cuerpo libre se encuentran expresadas todas las fuerzas, reacciones y momentos que se dan en todo el sistema de suspensión posterior. Existen reacciones que se trasladan a diferentes puntos para el análisis, si su análisis se realiza en el mismo punto donde se producen las fuerzas y reacciones estas se anularían.

2.1.6.3.2. Suspensión posterior.-

En el sistema de suspensión posterior, se realiza el estudio de un solo conjunto formado por: neumático, aro, tambores de freno, amortiguadores, muelles, articulación lateral, barra de control, barra de torsión, brazos de barra de torsión, pernos, pasadores, bases superiores de amortiguador, y carrocería del vehículo, siendo esta de tipo suspensión *semirrígida (semi-independiente) con eje torsional*.

Por objeto de cálculos, se analiza todo el conjunto de suspensión posterior, considerando las fuerzas y reacciones en un solo diagrama.

Entonces:

P= Peso del Vehículo

Fx= Componente de Fuerza (P) en el eje X, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador derecho. (N).

Fy= Componente de Fuerza (P) en el eje Y, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador derecho. (N).

Fx1= Componente de Fuerza (P) en el eje X, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador izquierdo. (N).

Fy1= Componente de Fuerza (P) en el eje Y, situada en la parte superior de amortiguador de Amortiguador izquierdo. (N).

R= Reacción en el neumático izquierdo, debido al peso de los elementos suspendidos y no suspendidos del vehículo. (N).

R2= Reacción en el neumático derecho, debido al peso de los elementos suspendidos y no suspendidos del vehículo. (N).

PR= Fuerza de balanceo, aparece en el momento en que la carrocería tiene un movimiento de cabeceo, vaivén, o cabeceo. (N).

Rx3= Componente de reacción producida en barra de control en el eje X. (N).

Ry3= Componente de reacción producida en barra de control en el eje Y. (N).

Rx4= Componente de reacción producida en articulación lateral, en el eje X. (N).

Ry4= Componente de reacción producida en articulación lateral, en el eje Y. (N).

Rx5= Componente de reacción en asiento de amortiguador derecho en el eje X, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Ry5= Componente de reacción en asiento de amortiguador derecho en el eje Y, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Rx6= Componente de reacción producida en perno de unión entre barra de control con articulación lateral, en el eje X. (N).

Ry6= Componente de reacción producida en perno de unión entre barra de control con articulación lateral, en el eje Y. (N).

Rx7= Componente de reacción y trasladada a la barra de torsión producida por peso el eje X, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Ry7= Componente de reacción y trasladada a la barra de torsión producida por peso el eje Y, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Rx8= Componente de reacción en asiento de amortiguador izquierdo en el eje X, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

Ry8= Componente de reacción en asiento de amortiguador izquierdo en el eje Y, producida por peso de carrocería del vehículo. (N).

j= Distancia medida desde el punto B, la base del amortiguador de suspensión. (mm).

k= Distancia medida desde el punto la base del amortiguador de suspensión, hacia el brazo de la barra de torsión. (mm).

l= Distancia medida desde el brazo de la barra de torsión hacia la unión de la barra de torsión con la articulación lateral (mm).

m= Distancia medida desde el extremo de la articulación lateral hacia el punto de unión entre la barra de control y la articulación lateral. (mm).

n= Distancia medida desde la unión entre la articulación lateral y la barra de control. (mm)

o= Distancia medida desde la unión entre la articulación lateral y la barra de torsión. (mm)

p= Distancia medida desde la unión de la barra de torsión con la articulación lateral hacia la barra de torsión. (mm).

s= Distancia medida desde de la barra de torsión hacia la base del amortiguador de suspensión. (mm).

t= Distancia desde el punto B hacia el punto C.

∞= Angulo entre amortiguador se suspensión y el plano de referencia de la rueda con valor de 14.47°.

B= Angulo entre amortiguador se suspensión y la barra de torsión con valor de 15 °.

2.1.6.3.2.*1 Diagrama de cuerpo libre de la suspensión posterior.*

Se analiza las reacciones y fuerzas desde la rueda, se utiliza el método de traslación de fuerzas para poder formar las ecuaciones. Ver Fig. 2.18.

- **Sistema de Referencia.-** Ubicado en la base del amortiguador.

- **Fuerzas y Reacciones**.- Reacciones RX y RY debido al peso del vehículo, trasladadas a la parte inferior del Amortiguador y el Muñón de Dirección, utilizando el principio de traslación de fuerzas y reacciones.

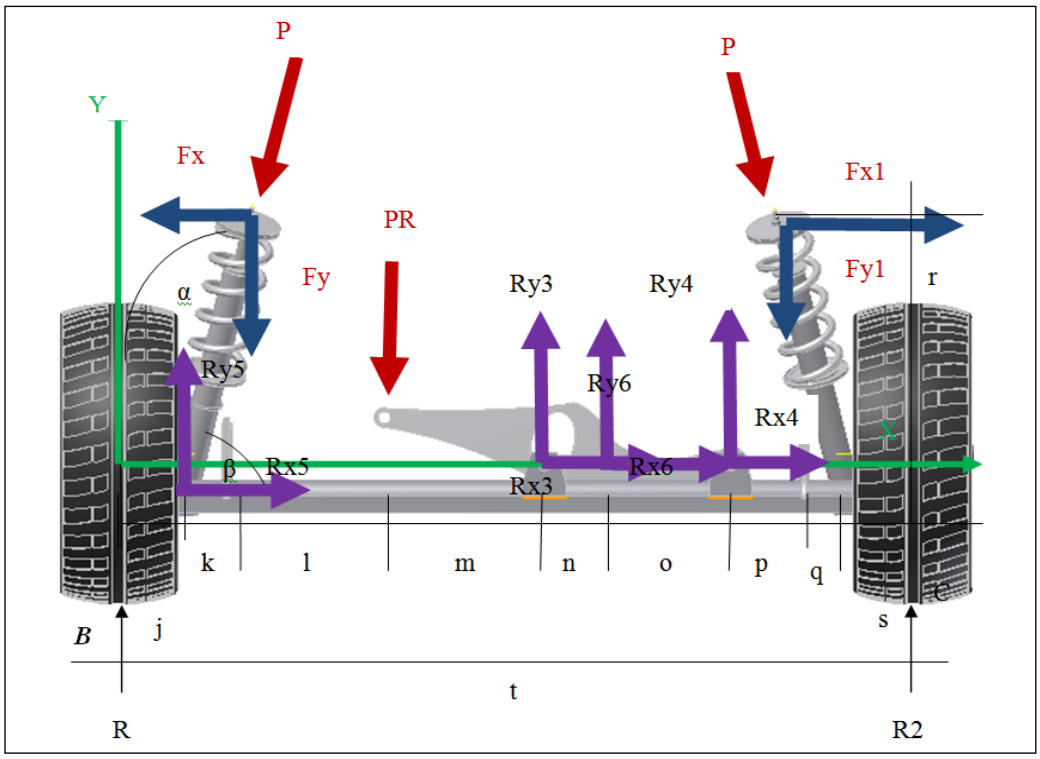


Fig. 2.18. Fuerzas y reacciones. Diagrama de fuerzas de la suspensión posterior.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

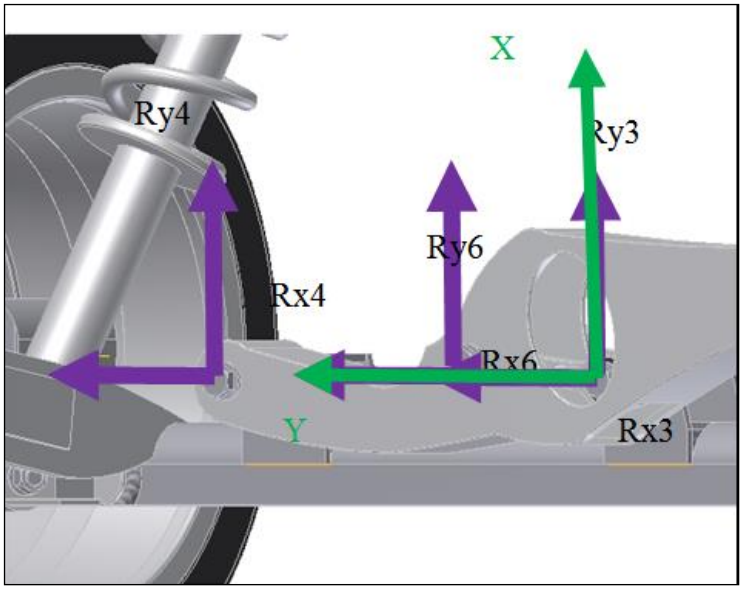


Fig. 2.19. Fuerzas y reacciones. Base de amortiguador, brazo estabilizador.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

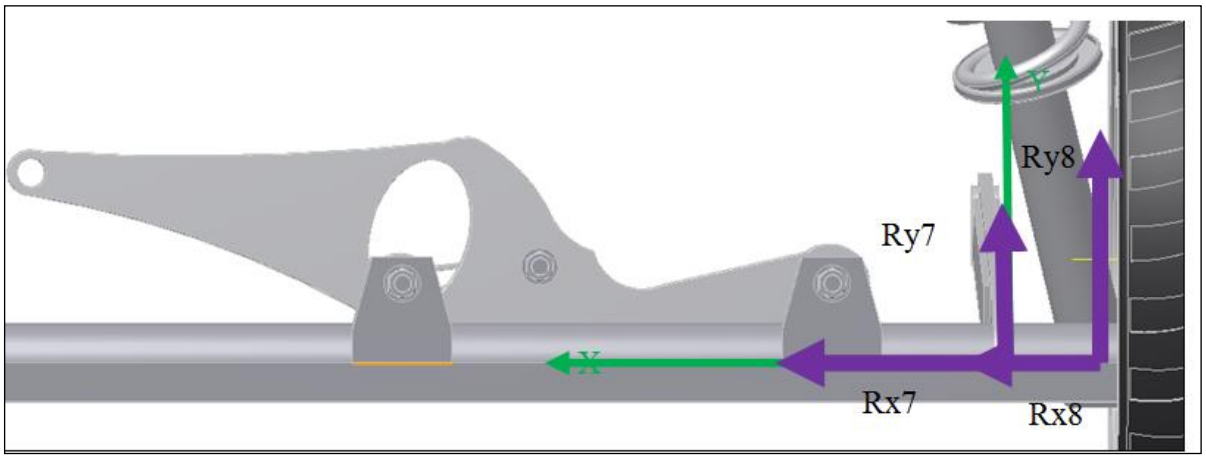


Fig. 2.20. Fuerzas y reacciones en la suspensión posterior.
FUENTE: Autodesk Inventor.

- *Sumatoria de fuerzas.-*

$$\sum Fx = -Fx + Fx_1 + Rx_3 + Rx_4 + Rx_5 + Rx_6 - Rx_7 - Rx_8 = 0 \quad (4)$$

$$\sum Fy = -Fy - PR + Ry_3 + Ry_4 + Ry_5 + Ry_6 - Ry_7 - Ry_8 + R2 + R = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_A = -Fx(r) - Fx1(r) - Fy(k+j) - PR(j+k+l) + Ry_3(j+k+l+m) + Ry_4(j+k+l+m+n+o) - Fy_1(t-s-q) + Ry_6(j+k+l+m+n) - Ry_7(t-s-q) + R2(t) - Ry_8(t-s) \quad (6)$$

En el diagrama de cuerpo libre se encuentran expresados todas las fuerzas, reacciones y momentos que se dan en todo el sistema de suspensión posterior. Existen reacciones que se trasladan a diferentes puntos para el análisis, si éste se realiza en el mismo punto donde se producen las fuerzas y reacciones, se anula.

2.1.6.4. FUERZAS EN LA DIRECCION.

El sistema de dirección, es el encargado de guiar al vehículo. El análisis de esfuerzos de dirección traslada las fuerzas, reacciones y esfuerzos a diferentes puntos convenientes para especificar el estudio.

2.1.6.4.1. Cálculos en la Dirección.

Por medio de los teoremas de transmisibilidad de fuerzas, se descompone las distintas fuerzas, reacciones y esfuerzos, en la dirección y sus elementos mecánicos como: Volante, conjunto de columna de barra de dirección, barras de ajuste, tubos de mecanismo de dirección y rótulas.

El sistema de dirección es: *servoasistida hidráulica de configuración piñón-cremallera.*

Entonces:

Fx3= Fuerza de empuje para giro de llantas hacia la izquierda en el eje X. (N).

Fx4= Fuerza de empuje para giro de llantas hacia la derecha en el eje X. (N).

Rx9= Reacción en rótula y muñón de suspensión en el eje X, por giro de ruedas, su sentido depende del giro de las llantas. (N).

Ry9= Reacción en rótula y muñón de suspensión en el eje Y, por giro de ruedas, su sentido depende del giro de las llantas. (N).

Rx10= Reacción en rótula y muñón de suspensión en el eje X, por giro de ruedas, su sentido depende del giro de las llantas. (N).

Ry10= Reacción en rótula y muñón de suspensión en el eje Y, por giro de ruedas, su sentido depende del giro de las llantas. (N).

Mc= Momento debido al giro del volante hacia la derecha (Nm).

Md= Momento debido al giro del volante hacia la derecha. (Nm).

Mf= Momento debido al giro del volante hacia la derecha. (Nm).

Mc1= Momento debido al giro del volante hacia la izquierda. (Nm).

Md1= Momento debido al giro del volante hacia la izquierda. (Nm).

Mf1= Momento debido al giro del volante hacia la izquierda. (Nm).

a= Distancia de rótula derecha hacia el punto D. (mm)

b= Distancia medida desde la rótula izquierda hacia el punto D. (mm).

2.1.6.4.1.1 *Diagrama de cuerpo libre y descomposición de fuerzas en Sistema de Dirección.*

- **Sistema de Referencia.-** Ubicado en el extremo de la rótula izquierda.
- **Fuerzas y Reacciones**.- Se realiza el análisis matemático, comenzando por la fuerza que se ejerce en el volante, tomando en cuenta los esfuerzos que se produce en la transmisión del movimiento, desde el volante hacia la cremallera. Ver Fig. 2.21

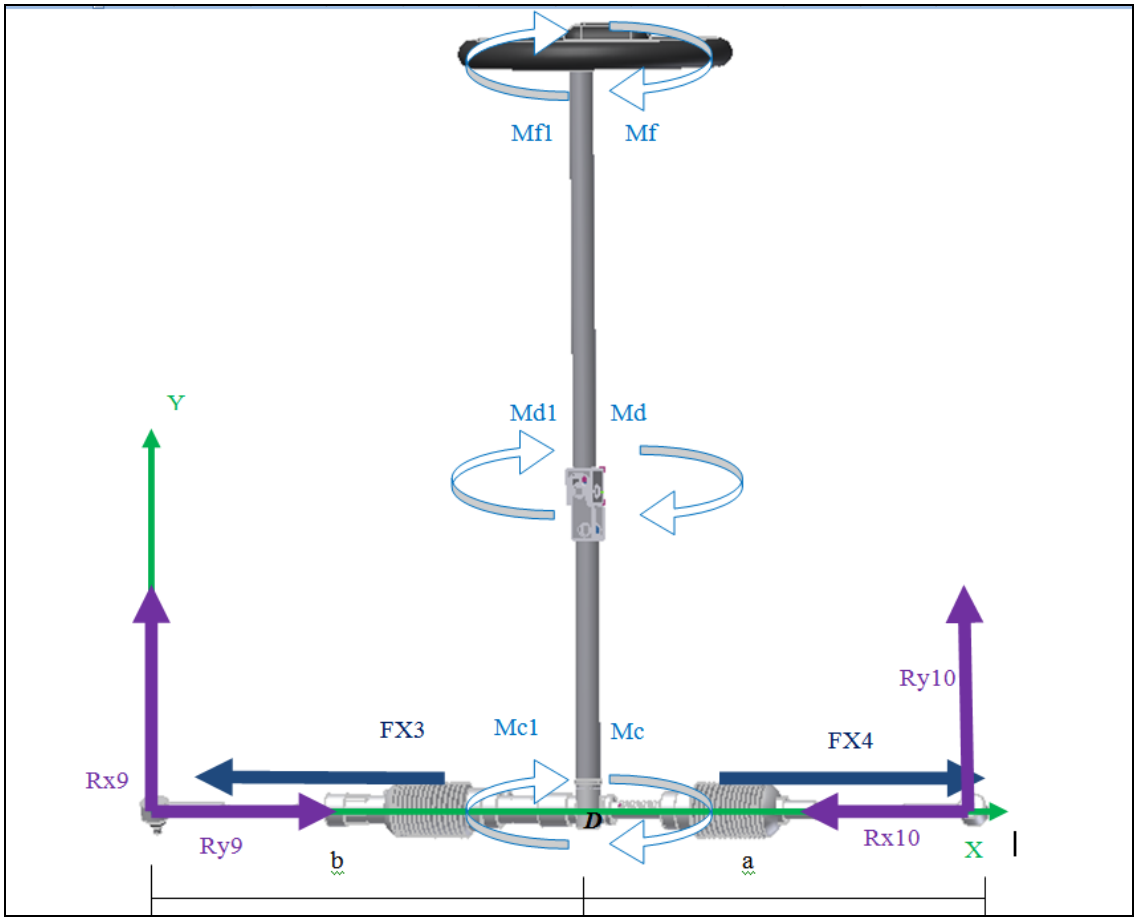


Fig. 2.21. Fuerzas y reacciones en la dirección.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Sumatoria de fuerzas.-*

1er caso Giro Derecha:

$$\sum Fx = Fx_3 + Ry_{10} + Ry_9 = 0$$

$$\sum Fy = Ry_{10} + Ry_9 = 0$$

$$\sum M_A = -Mc + Ry_{10}(a) + Ry_9(b) - Md - Mf = 0$$

2do caso Giro Izquierda:

$$\sum Fx = Fy_4 - Ry_{10} - Ry_9 = 0$$

$$\sum Fy = -Ry_{10} - Ry_9 = 0$$

$$\sum M_A = Mc - Ry_{10}(a) - Ry_9(b) + Md + Mf = 0$$

- *Calculo de presión de la bomba hidráulica.-*

Presión de la bomba= 8.728 Kpas. (Tomado del manual Nissan Sentra B15)

P = 8.728 KPa = 8728 Pa.

Ø embolo = 41 mm = 0.041 m.

- *Área del pistón.-*

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

En donde:

- A= Área del Pistón.(m^2)
- π = 3.1416 (Adimensional)
- D = Diámetro del Pistón.(m)

Entonces:

$$A = \frac{\pi \cdot (0.041m)^2}{4} \qquad (2.28)$$

$$A = 0.00132 m^2$$

- *Fuerza producida por la bomba.-*

$$\boxed{P = \frac{F}{A}} \qquad (2.29)$$

En donde:

- *P=* *Presión de la bomba(N/m^2, Pas)*
- *F=* *Fuerza ejercida sobre el área del pistón de la bomba.(N)*
- *A=Área del pistón de la bomba(m^2)*

Entonces:

$$F = P \cdot A$$

$$F = 8728 \frac{N}{m^2} \cdot 0.00132 m^2$$

$$F = 11.52 N$$

3

ANÁLISIS DINÁMICO DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN CON ARO 16" Y NEUMÁTICO

En este capítulo se analiza variables físicas como: velocidad, aceleración, fuerzas y momentos que se encuentran presentes en el movimiento del sistema de suspensión y dirección del vehículo NISSAN SENTRA 1.8cc. MODELO B15, 2003.

El análisis se basa en el peso del vehículo como magnitud principal del modelado dinámico real, junto con la reacción que produce en los neumáticos del vehículo asentados en el pavimento.

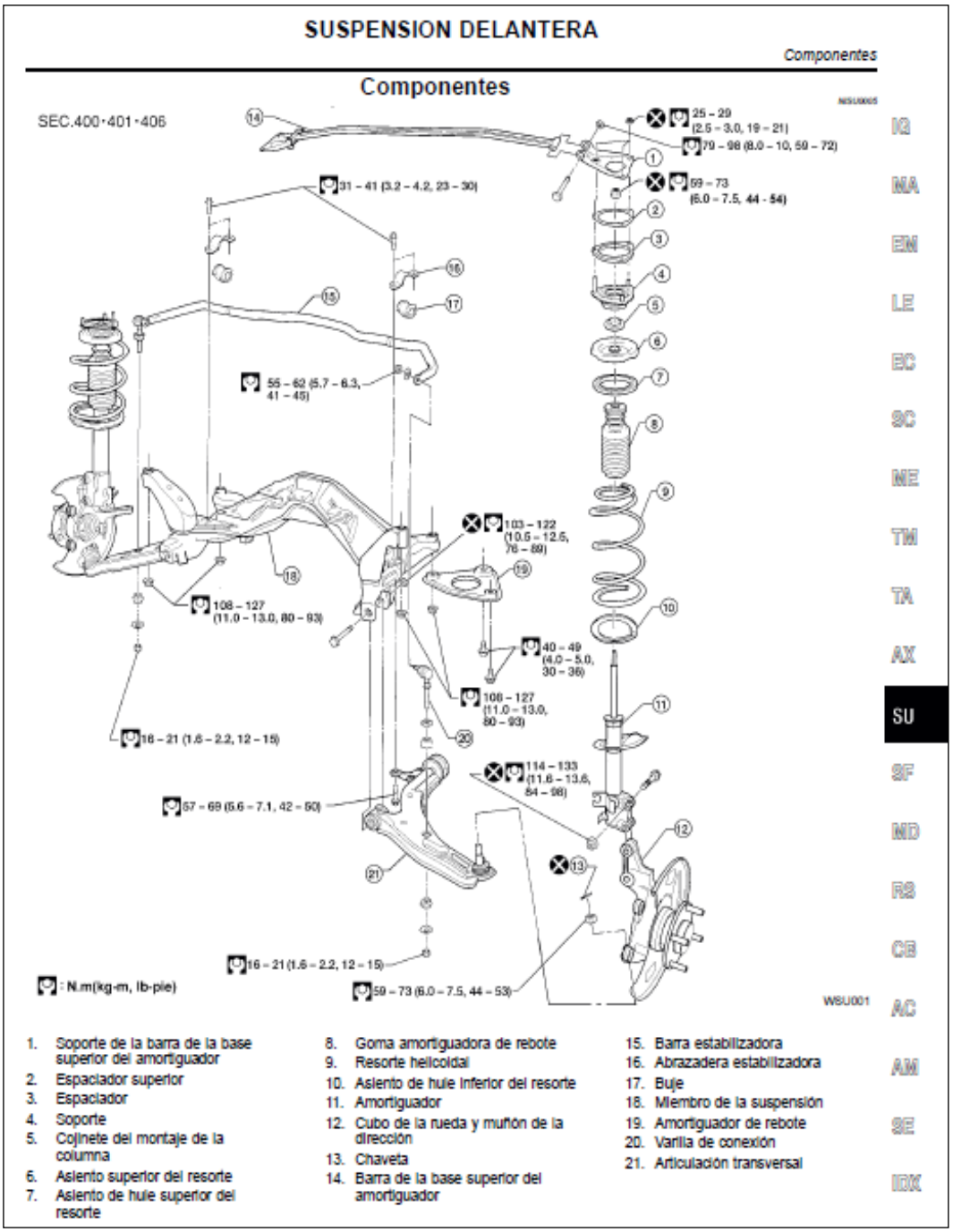
Se utiliza el software AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2010 que posee un módulo de simulación dinámica.

Se realizan pruebas de dureza a los elementos mecánicos de los sistemas de suspensión y dirección y de los resultados de las pruebas; posteriormente se comparan las durezas con el manual de los aceros, con el fin de aproximar y definir los tipos de aceros con los cuales se forman los elementos del estudio.

Se estudia los resultados obtenidos en la simulación dinámica y se realiza una comparación entre las magnitudes que se obtienen de los conjuntos de suspensión y dirección con aros 15", con neumático 195/60 R15; frente a los conjuntos de suspensión y dirección formados con aros 16" con neumático 195/45 R16.

3.1. COMPONENTES MECÁNICOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN.

3.1.1. Componentes de suspensión delantera.- Fig. 3.1.



1. Soporte de la barra de la base superior del amortiguador
2. Espaciador superior
3. Espaciador
4. Soporte
5. Cojinete del montaje de la columna
6. Asiento superior del resorte
7. Asiento de hule superior del resorte
8. Goma amortiguadora de rebote
9. Resorte helicoidal
10. Asiento de hule inferior del resorte
11. Amortiguador
12. Cubo de la rueda y muñón de la dirección
13. Chaveta
14. Barra de la base superior del amortiguador
15. Barra estabilizadora
16. Abrazadera estabilizadora
17. Buje
18. Miembro de la suspensión
19. Amortiguador de rebote
20. Varilla de conexión
21. Articulación transversal

Fig. 3.1 Elementos de Suspensión Delantera de Nissan Sentra B15, 2003.
FUENTE: Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

3.1.2 **Descripción de componentes de suspensión posterior**.- Fig. 3.2.

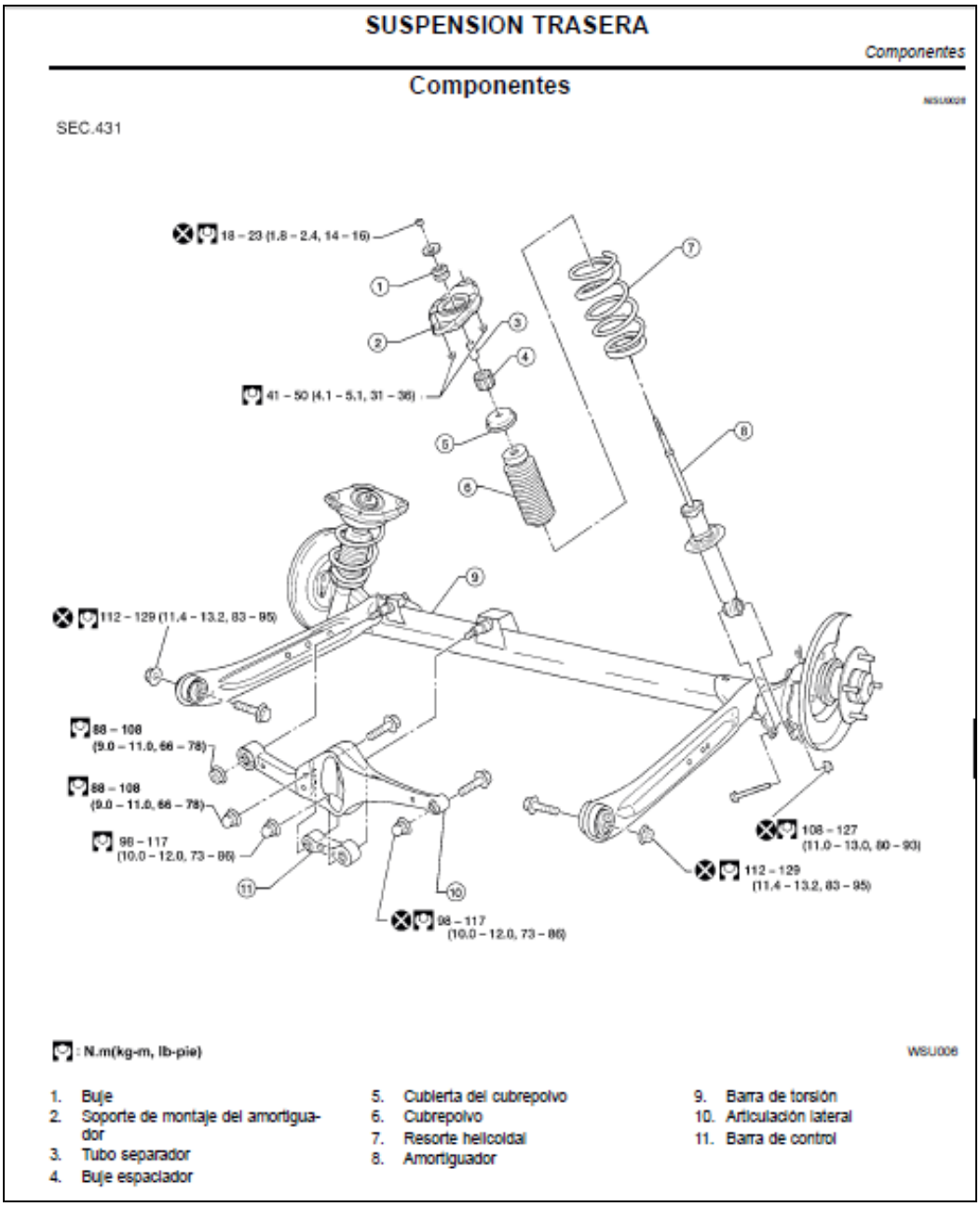


Fig. 3.2 Elementos de Suspensión Posterior de Nissan Sentra B15, 2003.

FUENTE: Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

3.1.3 <u>Componentes de Dirección</u>.- Figuras 3.3, 3.4 y 3.5.

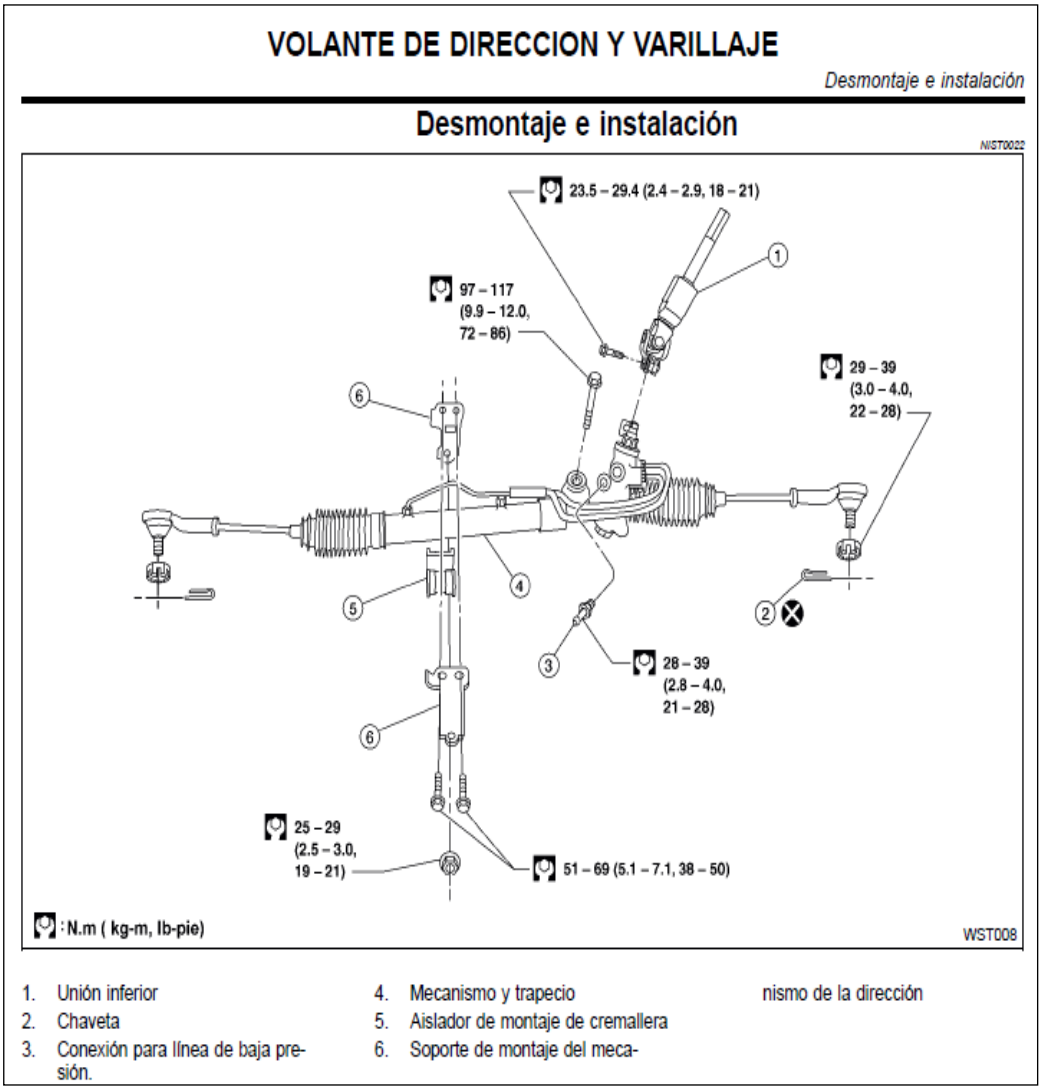


Fig. 3.3 Elementos de Dirección de Nissan Sentra B15, 2003.

FUENTE: Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

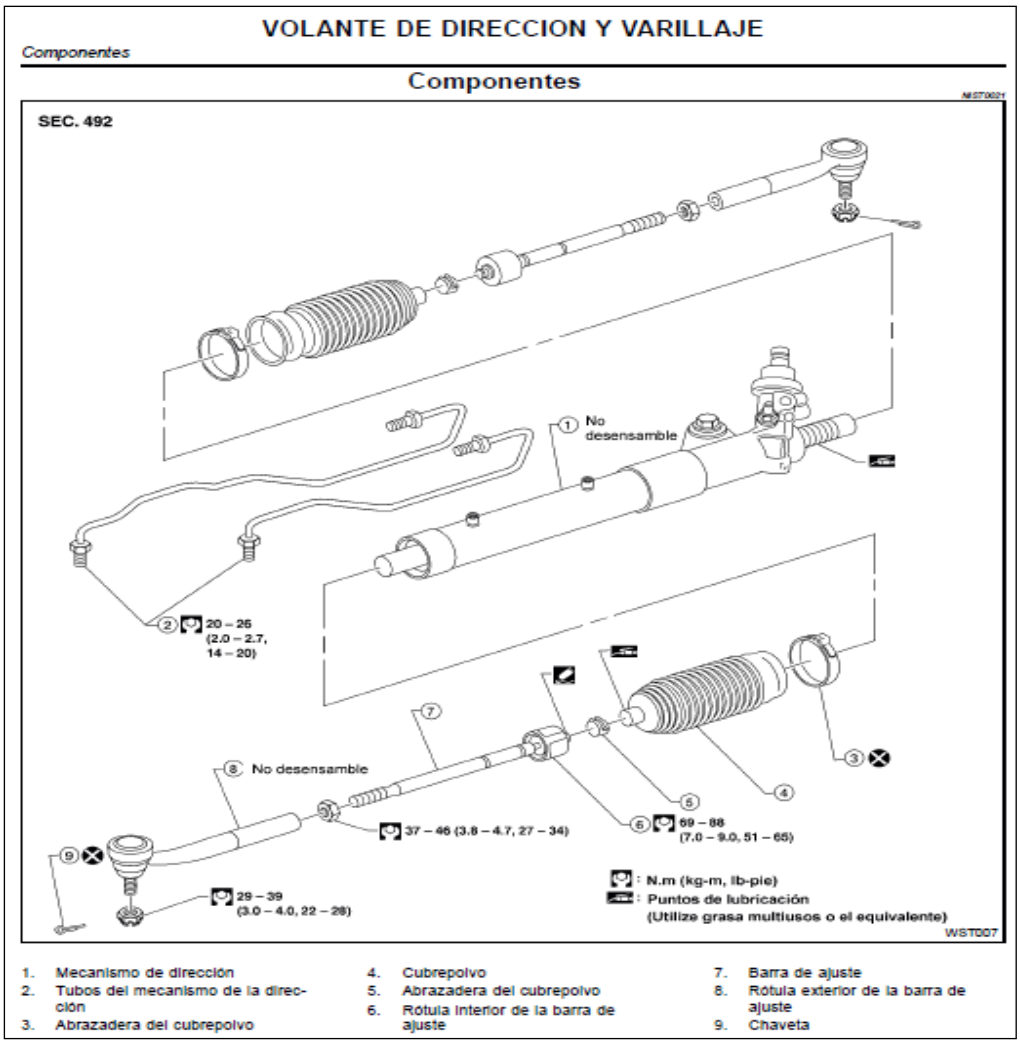


Fig. 3.4 Elementos de Dirección de Nissan Sentra B15, 2003.

FUENTE: Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

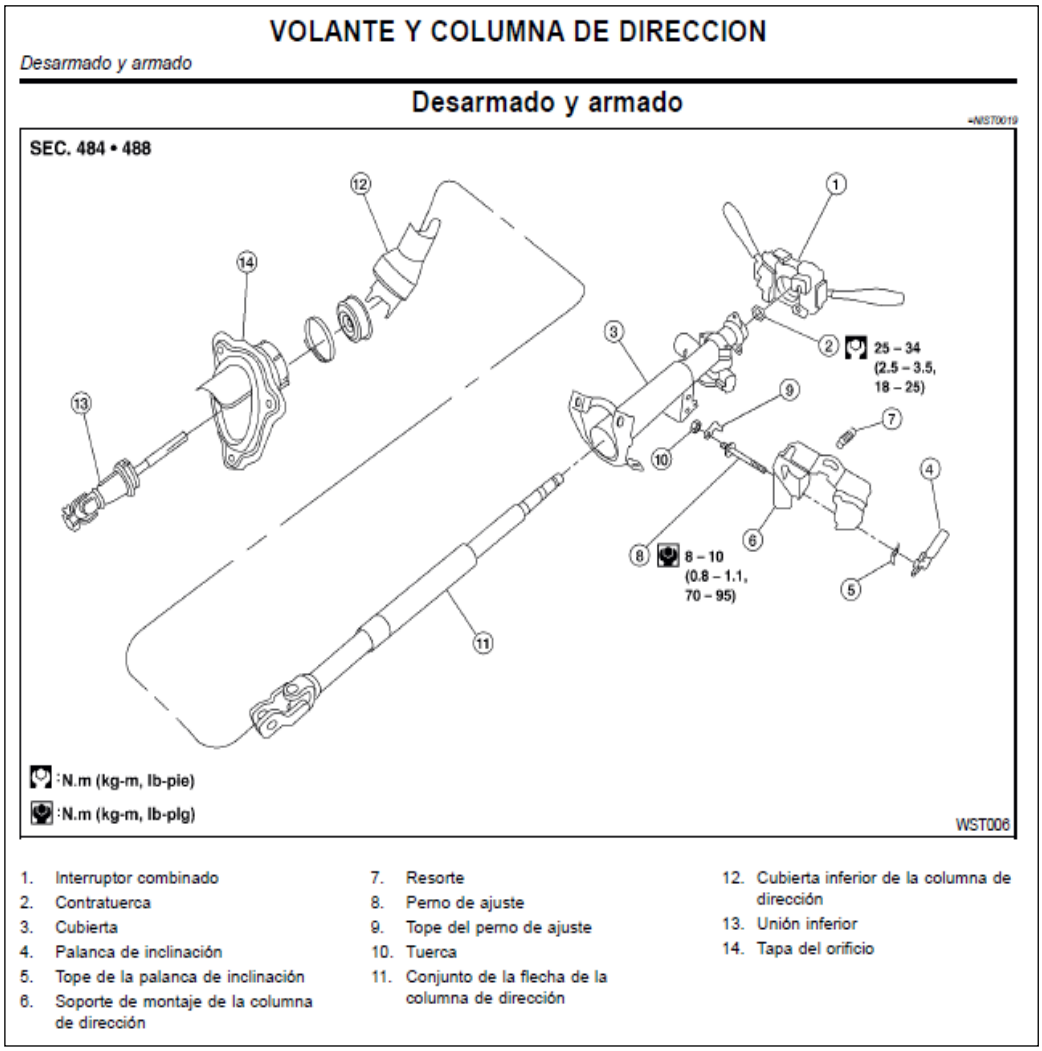


Fig. 3.5 Elementos de Dirección de Nissan Sentra B15, 2003.

FUENTE: Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

3.1.4 Pruebas de dureza de materiales utilizados en suspensión y dirección.

La dureza, es la resistencia que un material opone al ser rayado por otro. Se trata, por tanto, de una propiedad mecánica de los materiales. También se habla de dureza respecto a la penetrabilidad de una superficie para hacer referencia a la posibilidad de realizar marcas con una punta.

Las pruebas de dureza de los elementos mecánicos de los sistemas de suspensión y dirección se realizan en el "Laboratorio de Ensayos", de la CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA de la "Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador con sede en la ciudad de Cuenca".

3.1.4.1 *Método de prueba de dureza brinell.*

Hace referencia a la medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, que mide la penetración de un objeto en el material a estudiar.

3.1.4.2 *Aparatos y equipo.*

- MÁQUINA DE PRUEBA: sostiene la probeta y aplica una carga predeterminada sobre un balín o penetrador que se encuentra en contacto con la probeta. Ver Fig. 3.6.

Fig. 3.6. Durómetro Universal.
FUENTE: www.wolpertprueftechnik.com.

- PENETRADOR: el balín estándar para la prueba de dureza Brinell debe ser de 10 mm de diámetro con una desviación no mayor de 0.005mm en el diámetro para materiales comunes; o, un balín formado de carburo de tungsteno en materiales con una dureza no mayor de 630 DB. Fig. 3.6.

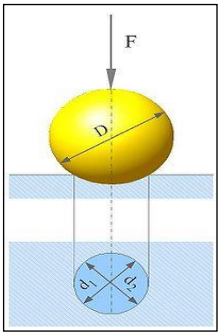


Fig. 3.6. Penetrador en prueba de dureza de un Material.
FUENTE: www.wikipedia.org.

- MICROSCOPIO DE MEDICION.

Se usa para medir el diámetro de la huella, permite una medición directa en décimas de milímetro con una aproximación de hasta 0.02 mm.

- ESPESOR DE PROBETA-.

El espesor de la probeta debe ser cuando menos, 10 veces más, a la profundidad de una huella.

- ACABADO DE PROBETA.

La superficie sobre la cual se aplica la carga, debe tener un buen tratamiento superficial, de manera que permita la medición del diámetro, con exactitud especificada.

3.1.4.2.1 Procedimiento:

- **Magnitud de la carga de prueba**: la carga para la prueba de dureza Brinell estándar, es de 3000kgf, 1500kgf o 500kgf. La magnitud de la carga de prueba debe corresponder al diámetro de la huella que oscile entre 2.5 a 6.00 mm. En los materiales más blandos se puede utilizar cargas de 250kgf, 125kgf o 100kgf.
- **Espaciamiento de las huellas:** la distancia del centro de la huella a la orilla de la probeta o a la orilla de otra huella, debe tener como mínimo tres veces más que el diámetro de la misma.
- **Aplicación de la carga de prueba**: la carga de prueba debe aplicarse a la probeta lenta y uniformemente.
- **Medición de la huella:**

  a. **Diámetro**: debe medirse dos diámetros de la huella perpendiculares entre sí; su valor promedio se utiliza como la base para calcular el número de dureza Brinell, estas mediciones comúnmente son tomadas con un microscopio portátil.

- ***ECUACIÓN DE DUREZA BRINELL*:**

Para determinar el valor de la dureza Brinell se emplea la siguiente ecuación. Ver 3.1:

$$\mathrm{HB} = \frac{2P}{\pi D^2}\left(\frac{1}{1-\sqrt{1-\frac{d^2}{D^2}}}\right) \quad (3.1)$$

En donde:

P: Carga a utilizar medida en kilopondio. [Kp].

D: Diámetro de la bola (indentador). [mm].

d: Diámetro de la huella en superficie. [mm].

3.1.4.3 *Resultados de pruebas de dureza (hbw-hrc) en los sistemas de suspensión y de dirección.*

Mediante las pruebas realizadas se pudo obtener la dureza de los elementos de la suspensión y dirección, los mismos se describen en la tabla 3.1

TABLA DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE DUREZA			
CONJUNTO	***ELEMENTO***	***ACERO***	***DUREZA***
SUSPENSIÓN DELANTERA Y POSTERIOR	Amortiguador	HIEROASTM	90 HRC
	Muñón de la Dirección	ANSI1045	190 HBW
	Cubo Delantero	ANSI 4320	285HBW
	Miembro de la Suspensión	HIEROASTM	90 HRC
	Articulación Transversal	HIEROASTM	90 HRC
	Cubo Posterior	ANSI 4340	285HBW
	Acople de brazo de suspensión	ANSI 1045	190 HBW
	Bujes	ANSI 1045	230HBW
	Barra de torsión	Hierro ASTM	90 HRC
	Articulación Lateral	Hierro ASTM	90 HRC
	Barra de Control	ALUMINIO	70HBW
DIRECCIÓN	Rótula interior de la barra de ajuste	ANSI 4320	285HBW
	Union Inferior	ANSI 1045.	210HBW
	Barra de ajuste	ANSI 4320	187 HBW
	Eje de Cremallera	ANSI 1045	54 HRC
	Piñón de dirección	ANSI 1045	54 HRC

TABLA 3.1. Dureza de los elementos de la suspensión y dirección.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.1.4.4 *Aceros de partes de suspensión y dirección***.**

Las características principales los materiales de la suspensión y dirección se pueden observar en la tabla 3.2.

ACEROS DE PARTES DE SUSPENSION Y DIRECCION DE NISSAN SENTRA 1800cm^3				
CARACTERISTICAS	***ACERO 4320***	***ACERO AISI 1045***	***HIERRO ASTM***	***ACERO ASTM GRADO 345***
ESFUERZO MAX. TENSION	579.2 Mpa	565 Mpa	345Mpa	450Mpa
ESFUERZO MAX. FLUENCIA	609.5 Mpa	310 Mpa	230Mpa	345Mpa
MODULO DE ELASTICIDAD	190-210 Gpa	200 Gpa	170Gpa	200Gpa
MODULO DE YOUNG	200 Gpa	343Gpa	65Gpa	72,2Gpa
RADIO DE POISON	0.29	0.29	0,27	0,29
DENSIDAD	7700Kg/m^3	7870K/m^3	7400 K g/m^3	7800Kg/ m^3
DUREZA	285-311HBW	160-210HBW	90 HBW	120 HRC

TABLA 3.2. Características principales de los aceros de suspensión y dirección.
FUENTE: BOHLER; SPECIAL STEEL MANUAL. Kapfenberg – Austria. Edición 2000.

3.2 DESARROLLO DE SIMULACIÓN DINÁMICA

Se utiliza el módulo de simulación dinámica de AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2010.

3.2.1.- Diseño de elementos mecánicos.

Los elementos mecánicos de la suspensión y de la dirección, se dibujan a escala real, con todos los detalles que posee la figura.

Estos se grafican tomando en cuenta 4 condiciones:

1. Tipo de mecanismo o máquina.
2. Orden de ensamble, sub-ensambles de acuerdo al funcionamiento.
3. Tipo de análisis estático o dinámico a realizar.
4. Tipo y orden de soldado de piezas (welding group).

3.2.2.- **Elementos despreciados en análisis dinámico.**

En la presente investigación, algunos elementos fueron excluidos de las pruebas de dureza, por su baja resistencia y fragilidad, así:

Los elementos despreciados en suspensión:

- Espaciador Superior.
- Espaciador Soporte.
- Cojinete de Montaje de Columna.
- Asiento Superior del Resorte.
- Asiento de Hule Superior del Resorte.
- Goma Amortiguadora del Rebote.
- Asiento Interior del Resorte.
- Chaveta.
- Barra de la Base Superior del Amortiguador.
- Abrazadera de la Estabilizadora.
- Miembro de la Suspensión.
- Amortiguador de Rebote.
- Varilla de conexión.

En la dirección:

- Tubos de Mecanismo de Dirección.
- Abrazadera del cubrepolvo.
- Cubrepolvo.
- Abrazadera del Cubrepolvo.
- Chaveta.
- Aislador de Montaje de Cremallera.
- Soporte de Montaje de Mecanismo de Dirección.
- Conexión para linea de baja Presión.
- Aislador de Montaje de Cremallera.
- Soporte de Montaje de Mecanismo de Direccion.

3.2.3.- Diseño de ensamble.

El ensamble de un conjunto de piezas, es el aspecto más importante, porque los elementos a ensamblar se unen unos a otros por medio de restricciones que se encuentran en el programa AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2010.

El tipo de ensamble, es el factor que determina la restricción necesaria para que los elementos se ensamblen de manera adecuada; ayudando a la simulación dinámica posterior.

3.2.3.1 Ensamble de elementos mecánicos de suspensión delantera.

Los elementos de la suspensión delantera se pueden apreciar en las figuras 3.8a, 3.8b, 3.9a, 3.9b, 3.10a, 3.10b.

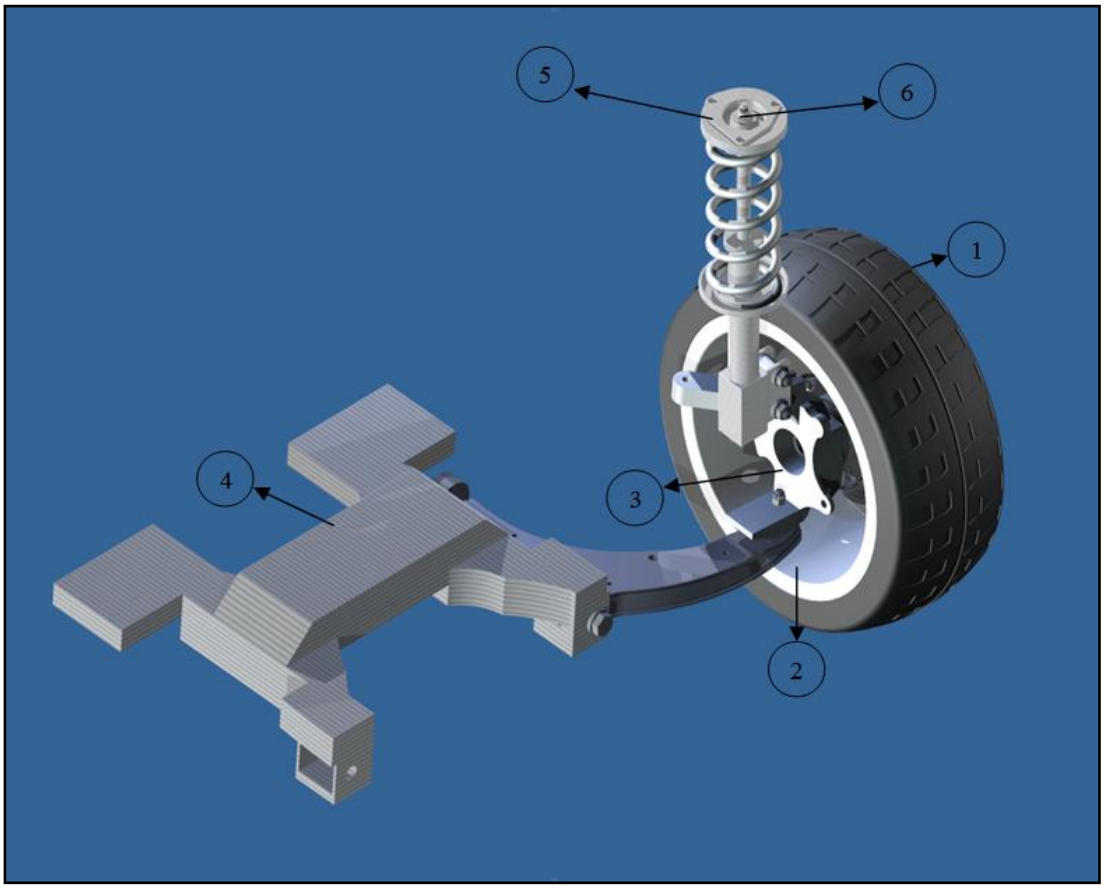


Fig. 3.8a. Suspensión Delantera Vista Isométrica Superior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
1	Neumático
2	Aro
3	Muñón de Suspensión y Dirección
4	Puente Delantero
5	Bases Superiores de Amortiguador
6	Pernos de Bases Superiores

Fig. 3.8b. Suspensión Delantera Vista Isométrica Superior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

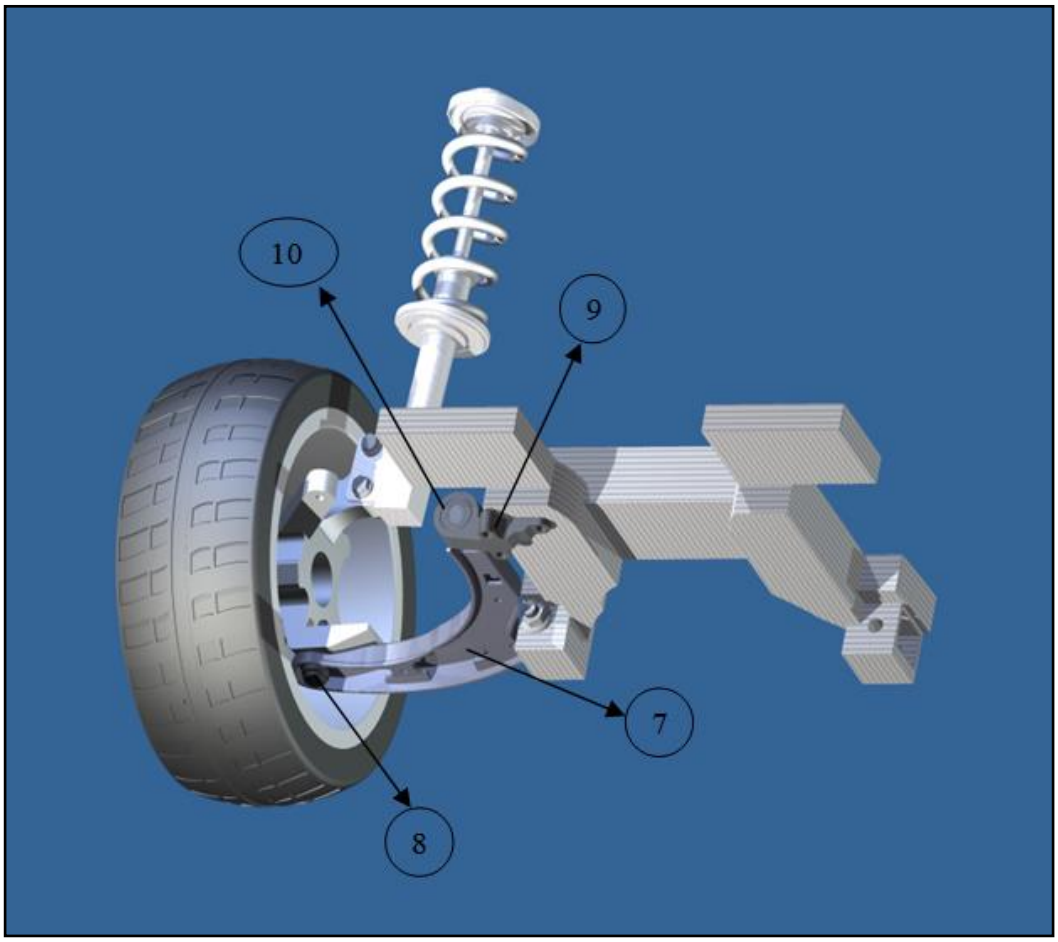


Fig. 3.9a. Suspensión Delantera Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
7	Brazo de Suspensión
8	Rótula de Suspensión
9	Acople de Brazo de Suspensión
10	Bujes

Fig. 3.9b. Suspensión Delantera Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

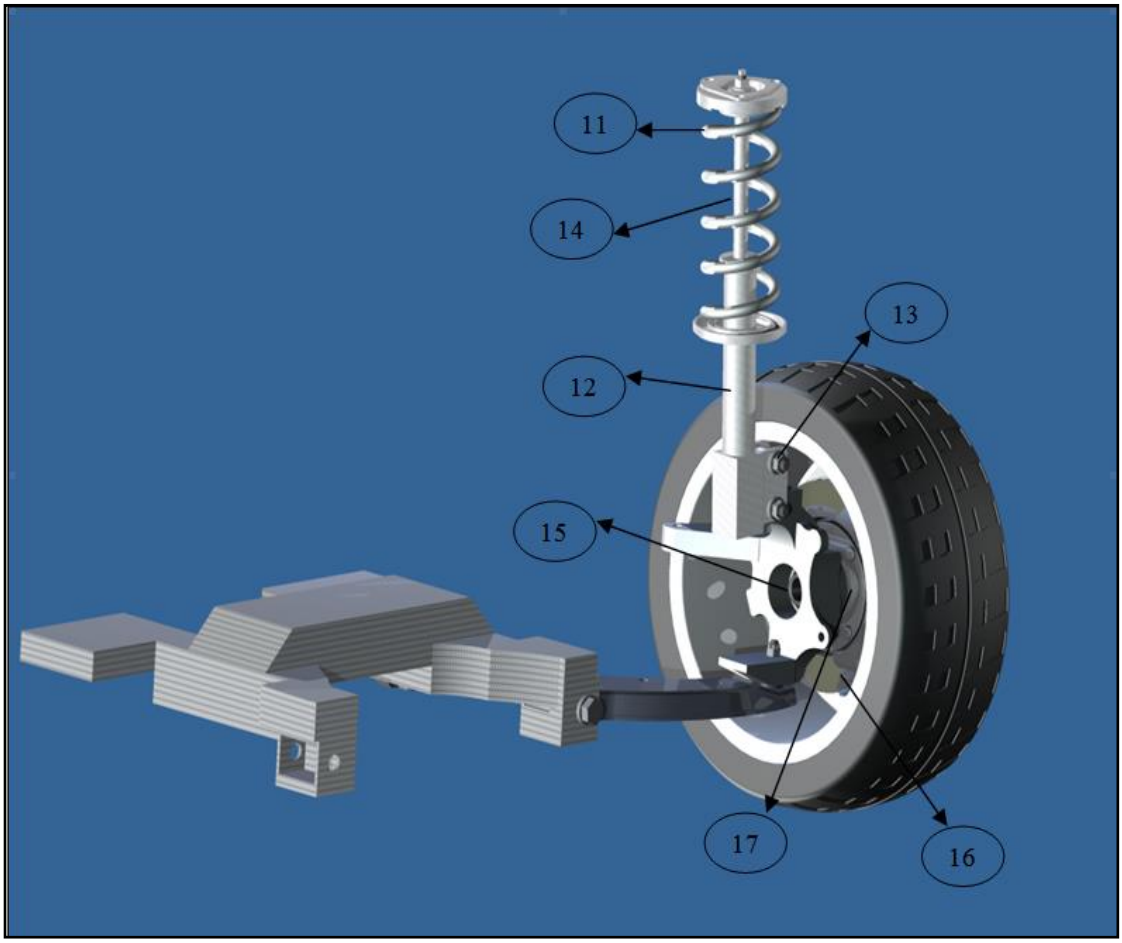


Fig. 3.10a. Suspensión Delantera Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
11	Muelle
12	Amortiguador
13	Pernos de Amortiguador
14	Pistón de Amortiguador
15	Rodamientos
16	Disco de Freno
17	Cubo

Fig. 3.10b. Suspensión Delantera Vista Isométrica Frontal.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.2.3.2 Ensamble de elementos mecánicos de suspensión posterior.

Los elementos de la suspensión posterior se pueden apreciar en las figuras 3.11a, 3.11b, 3.12a, 3.12b y 3.13a, 3.13b.

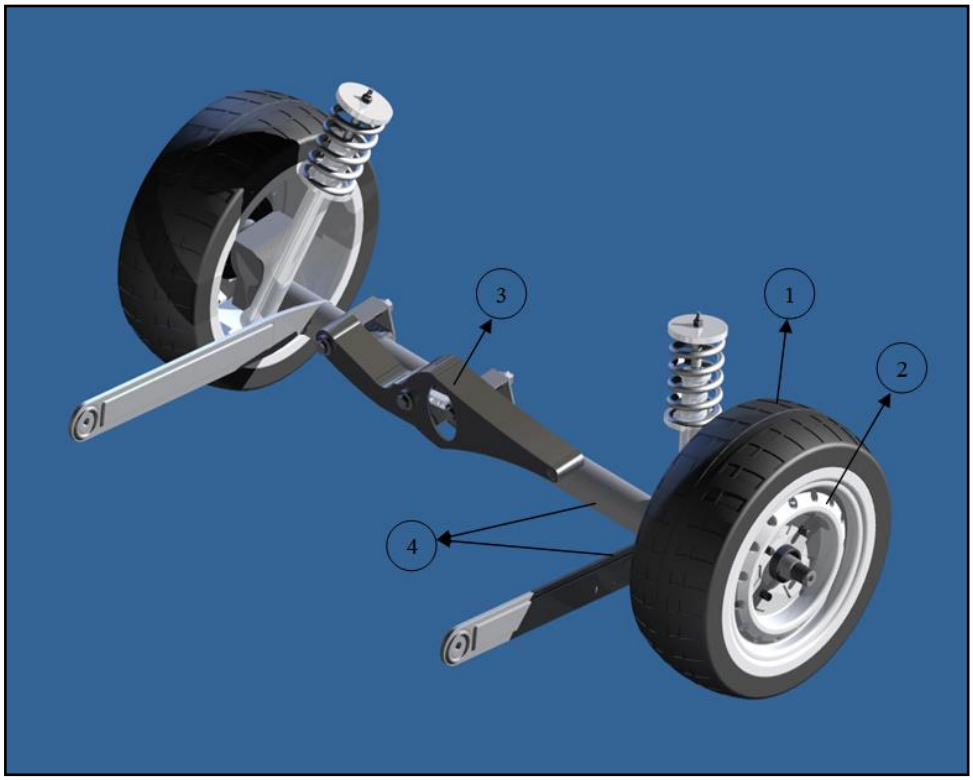


Fig. 3.11a Suspensión Posterior Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
1	Neumático
2	Aro
3	Articulación Lateral
4	Eje Posterior

Fig. 3.11b Suspensión Posterior Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

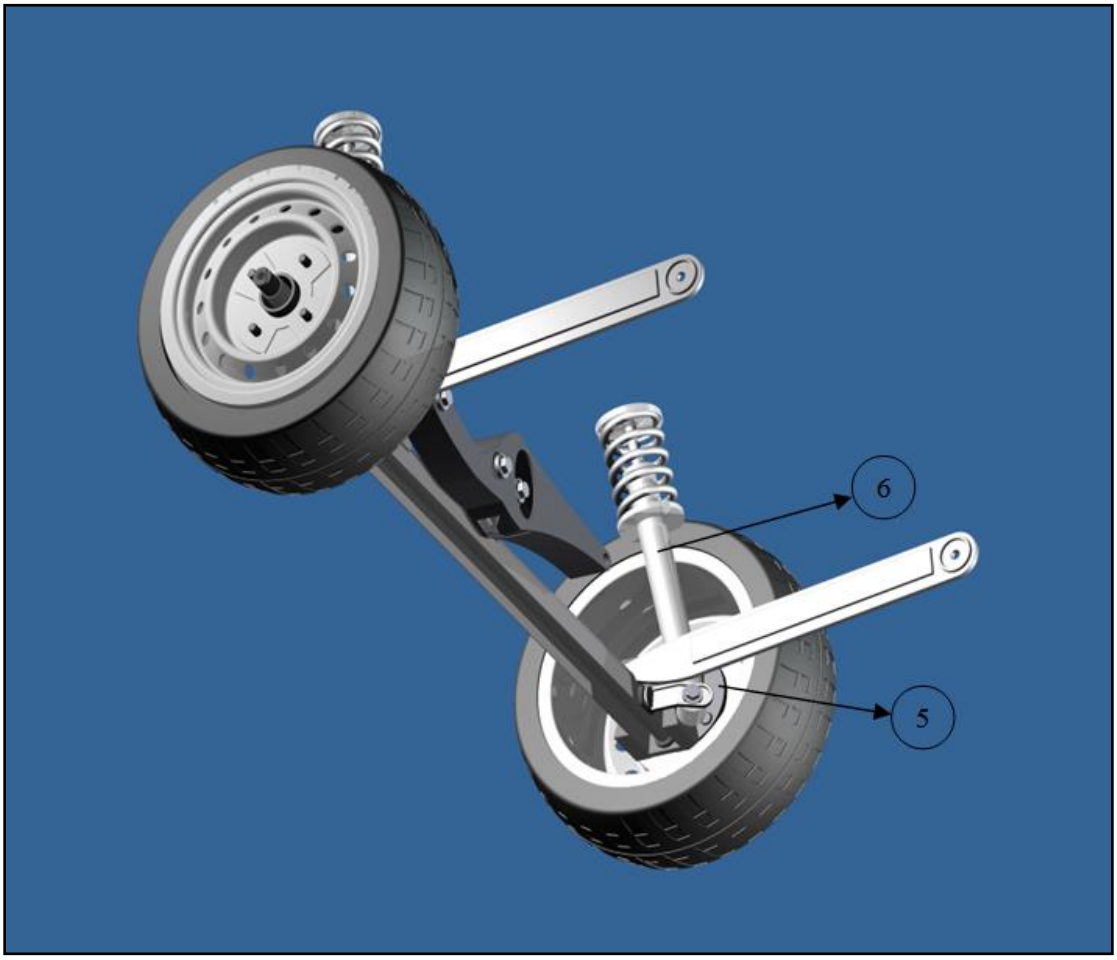


Fig. 3.12a. Suspensión Posterior Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N°	**Elemento**
5	Cubo Posterior
6	Amortiguador

Fig. 3.12b. Suspensión Posterior Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

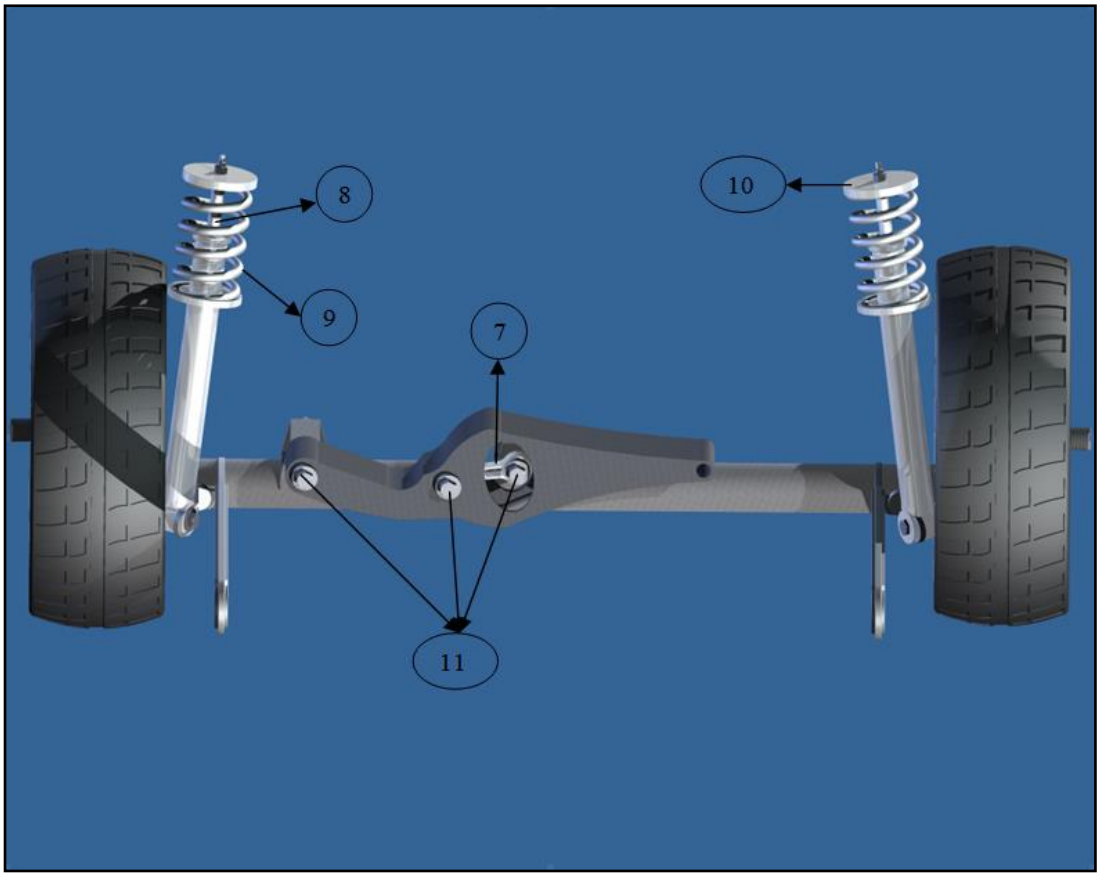


Fig. 3.13a. Suspensión Posterior Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
7	Barra de Control
8	Pistón de Amortiguador
9	Muelle
10	Soporte de Montaje del Amortiguador
11	Pernos

Fig. 3.13b. Suspensión Posterior Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.2.3.3 <u>Ensamble de elementos mecánicos de la dirección</u>.

Los elementos de la dirección se pueden apreciar en las figuras 3.14a, 3.14b, 3.15a, 3.15b y 3.16a, 3.16b.

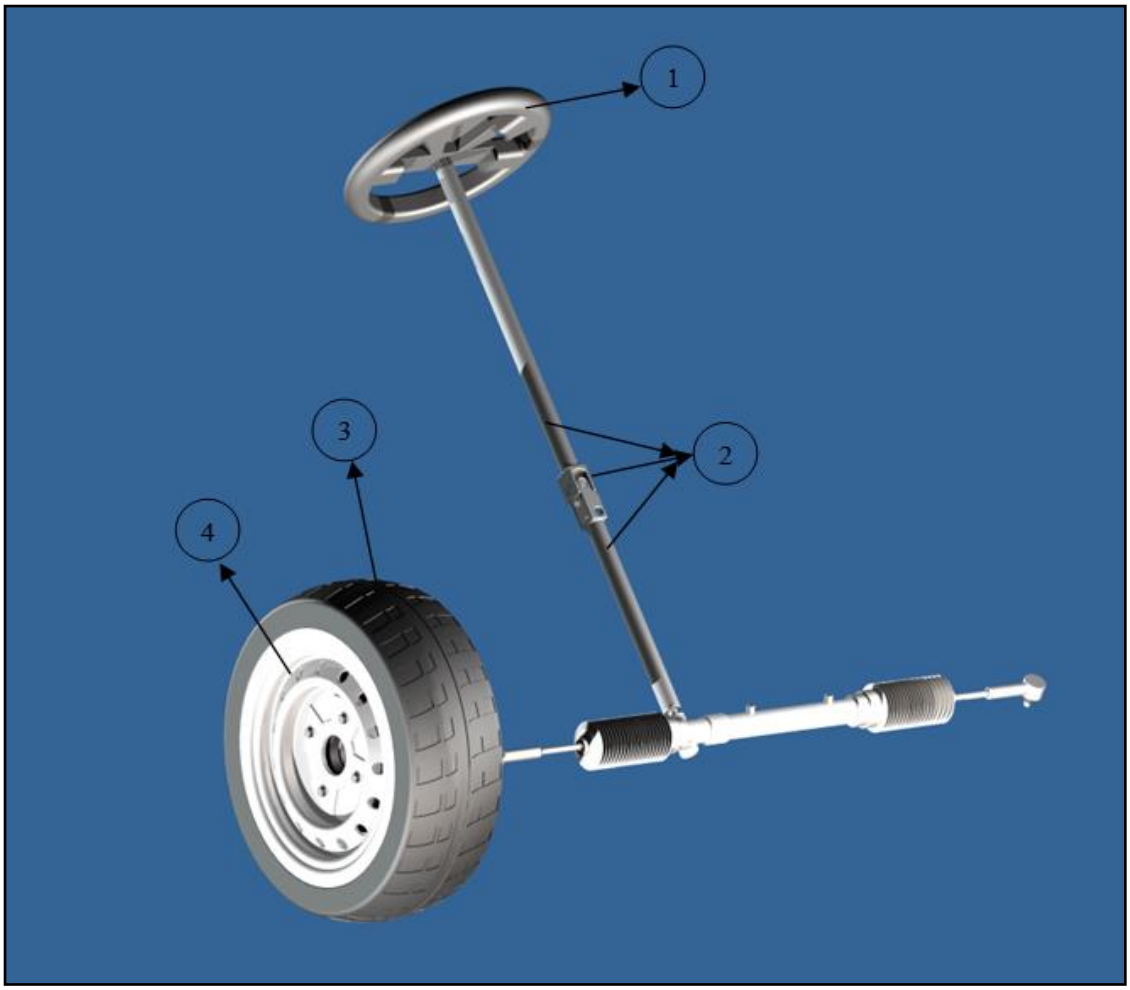


Fig. 3.14a. Dirección Vista Isométrica Superior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N°	**Elemento**
1	Volante
2	Juntas de Cardan y Cruceta
3	Neumático
4	Aro

Fig. 3.14b. Dirección Vista Isométrica Superior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

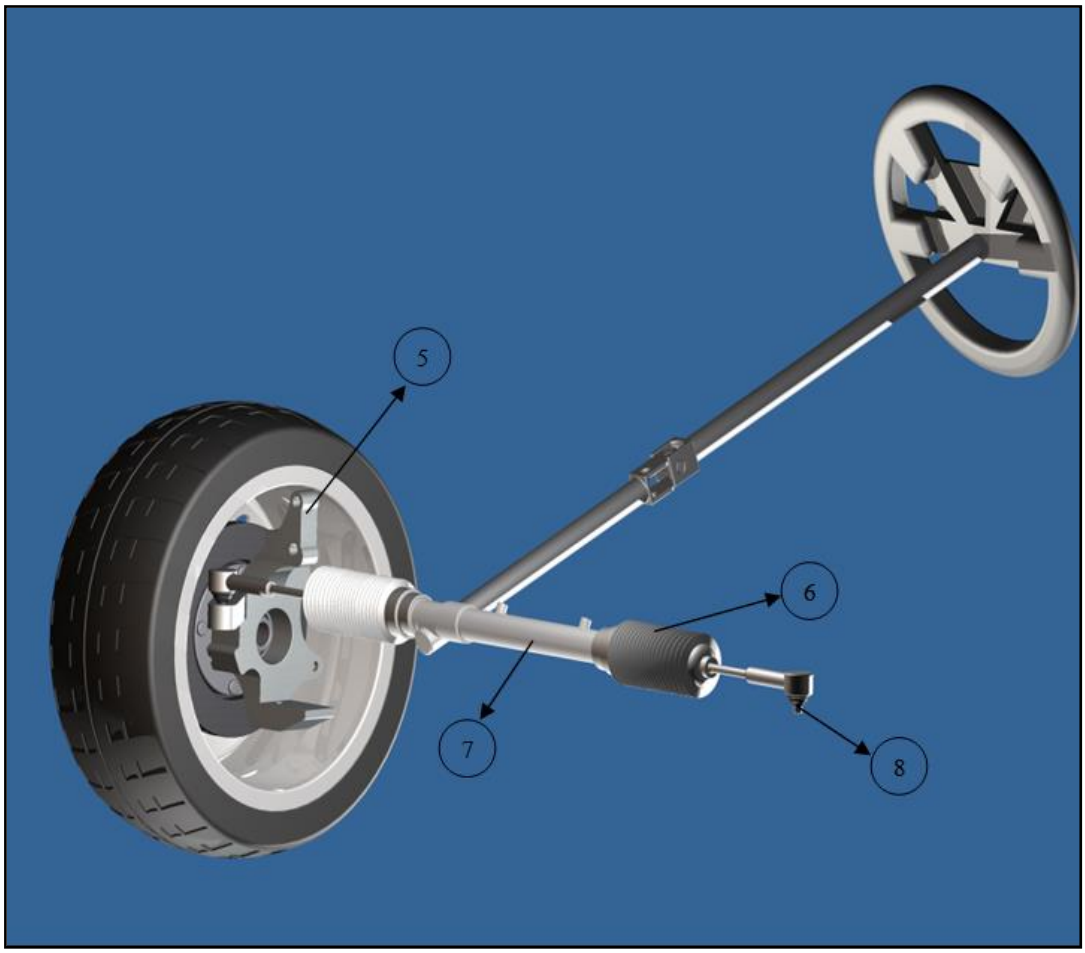


Fig. 3.15a. Dirección Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
5	Muñón de Suspensión y Dirección
6	Cubrepolvo
7	Mecanismo de Dirección
8	Rótula de Dirección

Fig. 3.15b. Dirección Vista Isométrica Frontal.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

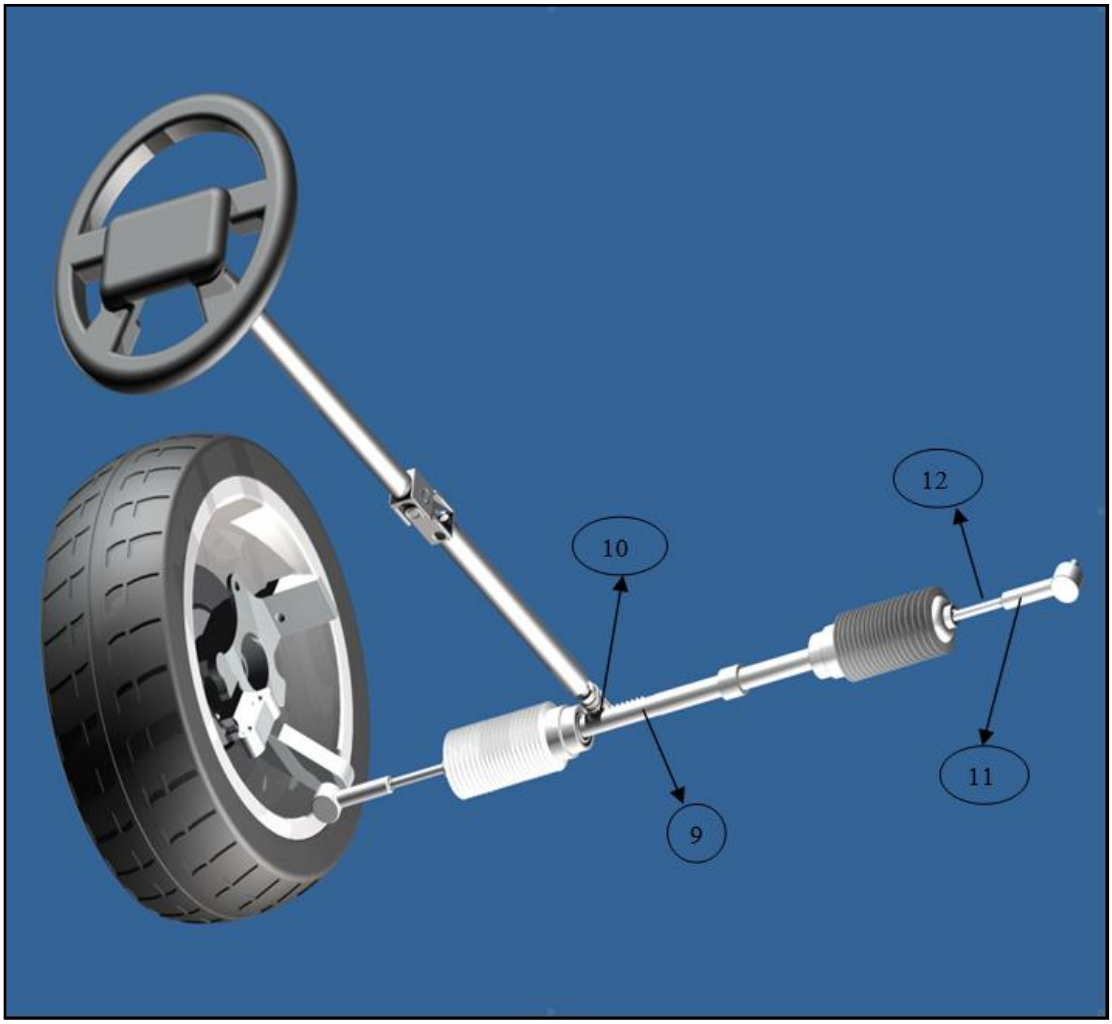


Fig. 3.16a. Dirección Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

N◦	**Elemento**
9	Cremallera de Dirección
10	Piñón de Dirección
11	Rótula Exterior de Barra de Ajuste
12	Barra de Ajuste

Fig. 3.16b. Dirección Vista Isométrica Inferior.
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.2.4.- Diseño de simulación dinámica.

Es el aspecto más importante, porque necesita un análisis dinámico del conjunto de suspensión delantera, posterior y dirección.

3.2.4.1 *Procedimiento para simulación dinámica.*

1. Observar el movimiento real del elemento.
2. Crear las juntas manualmente o convertir las restricciones del ensamble.
   Las juntas se pueden crear de manera manual, para lo cual se debe analizar los ejes cartesianos (X,Y,Z) y colocar la dirección adecuada, hasta que coincidan los ejes de los 2 elementos que se moverán.
   Se puede crear las juntas de manera automática, transformando las restricciones de ensambles, que serán observados y analizados según el tipo de junta y el resultado que se obtendrá con la misma.
3. Colocar valores de posición, velocidad y aceleración en cada restricción, de los elementos involucrados en el movimiento deseado, en caso de ser necesario.
4. Colocar el valor de la reacción originada por el peso del vehículo en el ensamble y ejecutar el simulador dinámico de AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2010.
   - Se coloca en el neumático, la reacción con la dirección del eje Y, el resultado es el movimiento deseado de los elementos mecánicos.
5. Analizar y comparar la tabla de valores de posiciones, velocidades, aceleraciones y fuerzas.
   - Se puede escoger un valor en el tiempo para el análisis de las diferentes curvas resultantes del movimiento.

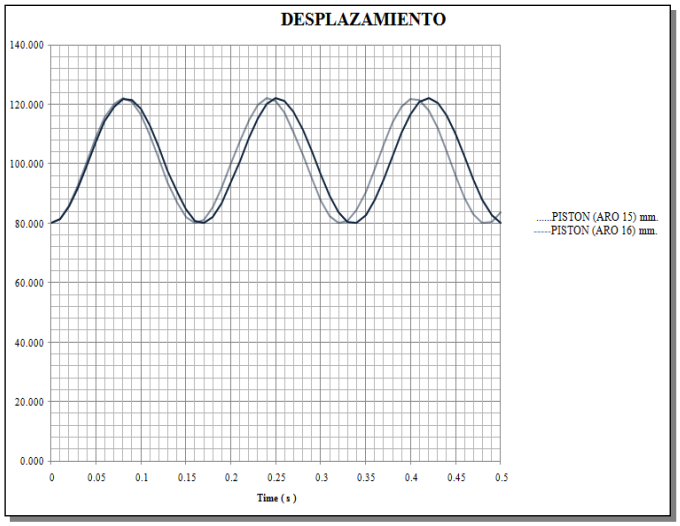
3.2.5 Resultados de simulación dinámica.

El intervalo de tiempo en el que se analiza la simulación dinámica es de 0 seg. a 5 seg. Un intervalo mayor de tiempo de análisis, requiere de más capacidad en la memoria de disco duro y en la RAM de la computadora.

3.2.5.1 *Comparación de resultados suspensión delantera aro 15" vs. Aro 16":*

FIGURAS

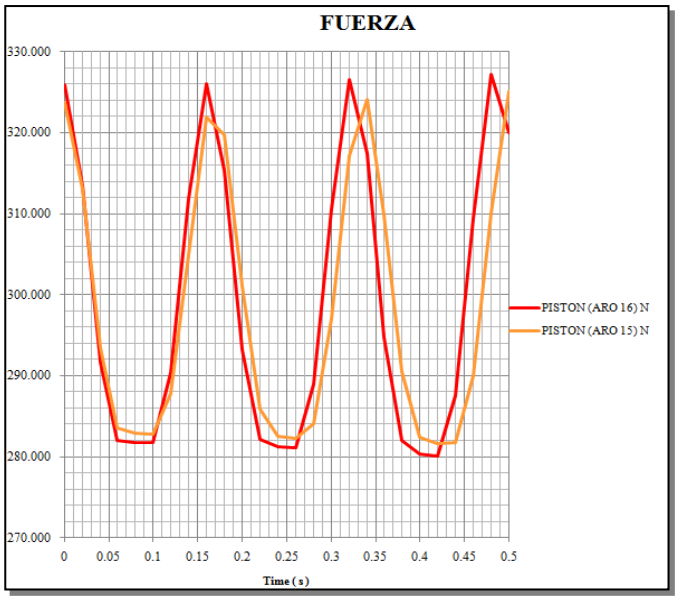
1. PISTÓN DE AMORTIGUADOR:



	Time (s)	PISTON (ARC	PISTON (ARO 16) mm
2	0.00000	80.00000	80.00000
3	0.02000	86.05761	85.61860
4	0.04000	100.75100	99.48070
5	0.06000	115.62400	114.18800
6	0.08000	122.10000	121.87600
7	0.10000	116.44000	118.42900
8	0.12000	101.91200	105.69300
9	0.14000	86.89530	90.48210
10	0.16000	80.03240	80.92080
11	0.18000	85.26540	82.10580
12	0.20000	99.58870	93.40580
13	0.22000	114.76100	108.79500
14	0.24000	122.03500	120.05000
15	0.26000	117.21100	121.14900
16	0.28000	103.07500	111.50296
17	0.30000	87.78040	96.27530
18	0.32000	80.12990	83.60510
19	0.34000	84.51741	80.25020
20	0.36000	98.42320	87.99675
21	0.38000	113.84900	102.71700
22	0.40000	121.90400	116.55300
23	0.42000	117.93800	122.10600
24	0.44000	104.24200	116.40300
25	0.46000	88.71590	102.49700
26	0.48000	80.29440	87.82620
27	0.50000	83.81300	80.21930

GRAFICO 1. Comparación de las curvas del desplazamiento en el piston de suspension delantera de Aro 15" vs. Aro 16" (mm).

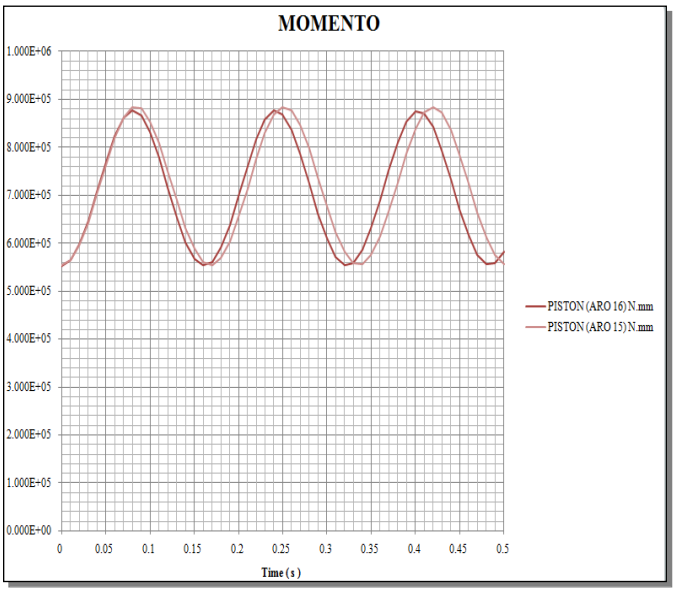
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	PISTON (ARO 16) N	PISTON (ARO 15) N
2	0.00000	325.93500	323.70300
3	0.02000	313.45900	312.99900
4	0.04000	291.69300	293.48300
5	0.06000	282.02300	283.59800
6	0.08000	281.71500	282.89900
7	0.10000	281.71000	282.72400
8	0.12000	290.33300	287.78300
9	0.14000	311.89700	304.98400
10	0.16000	326.08000	321.98200
11	0.18000	315.29100	319.78400
12	0.20000	293.15600	301.06700
13	0.22000	282.09000	285.92300
14	0.24000	281.24700	282.48300
15	0.26000	281.08700	282.28894
16	0.28000	288.99400	284.03200
17	0.30000	310.55500	297.00700
18	0.32000	326.51400	317.13600
19	0.34000	317.44300	324.10000
20	0.36000	294.80300	309.79483
21	0.38000	281.97900	290.55600
22	0.40000	280.31300	282.35083
23	0.42000	280.08700	281.56000
24	0.44000	287.59300	281.70300
25	0.46000	309.37900	290.02000
26	0.48000	327.23400	310.01700
27	0.50000	319.96400	325.07600

GRAFICO 2. Comparación de las curvas de la fuerza en el pistón de suspensión delantera de Aro 15" vs. Aro 16" (N).

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

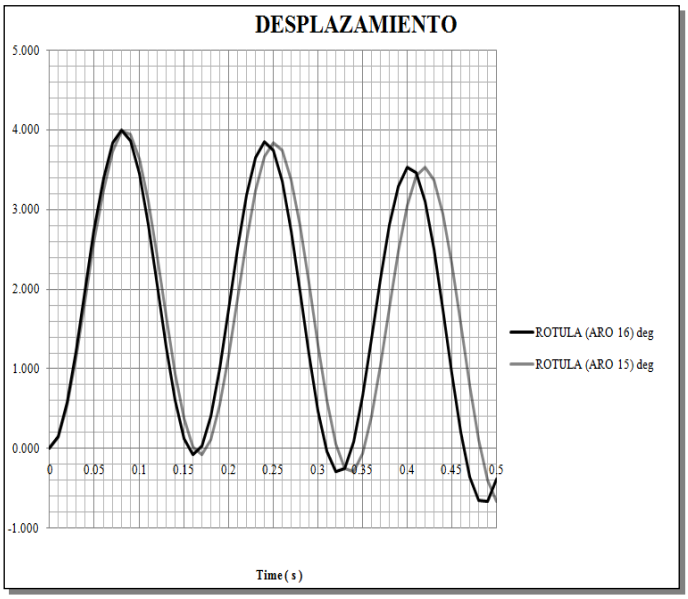


	Time (s)	PISTON (ARO 16) N.mm	PISTON (ARO 15) N.mm
2	0.00000	552942.00000	554508.00000
3	0.02000	596515.00000	595938.00000
4	0.04000	706762.00000	701870.00000
5	0.06000	824457.00000	819645.00000
6	0.08000	877452.00000	883231.00000
7	0.10000	831018.00000	854513.00000
8	0.12000	715669.00000	750900.00000
9	0.14000	602632.00000	632492.00000
10	0.16000	553277.00000	561305.00000
11	0.18000	590902.00000	570065.00000
12	0.20000	697897.00000	654924.00000
13	0.22000	817406.00000	775845.00000
14	0.24000	876720.00000	867881.00000
15	0.26000	837075.00000	876928.00000
16	0.28000	724599.00000	797516.00000
17	0.30000	609241.00000	676866.00000
18	0.32000	554284.00000	581221.00000
19	0.34000	585806.00000	556772.00000
20	0.36000	689092.00000	614137.00000
21	0.38000	809872.00000	727418.00000
22	0.40000	875248.00000	838758.00000
23	0.42000	842608.00000	884570.00000
24	0.44000	733538.00000	837224.00000
25	0.46000	616344.00000	725348.00000
26	0.48000	555977.00000	612830.00000
27	0.50000	581248.00000	556990.00000

GRAFICO 3. Comparación de las curvas del momento en el pistón de suspensión delantera de Aro 15" vs. Aro 16" (N.mm).

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

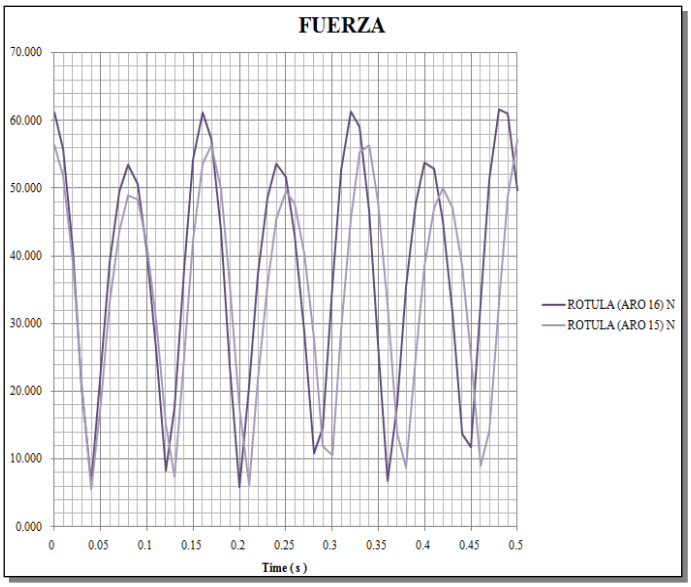
2. RÓTULA DE SUSPENSIÓN:



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) deg	ROTULA (ARO 15) deg
2	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.02000	0.57658	0.53433
4	0.04000	1.97594	1.85336
5	0.06000	3.39206	3.25270
6	0.08000	4.00355	3.98010
7	0.10000	3.45144	3.64077
8	0.12000	2.04955	2.41184
9	0.14000	0.60047	0.94605
10	0.16000	-0.07173	0.01835
11	0.18000	0.40719	0.11262
12	0.20000	1.75190	1.16895
13	0.22000	3.17731	2.61481
14	0.24000	3.84606	3.66517
15	0.26000	3.35513	3.74290
16	0.28000	1.97200	2.79158
17	0.30000	0.47767	1.30623
18	0.32000	-0.28861	0.06439
19	0.34000	0.09005	-0.29164
20	0.36000	1.37463	0.40726
21	0.38000	2.80390	1.76969
22	0.40000	3.52739	3.04736
23	0.42000	3.09914	3.53239
24	0.44000	1.73902	2.93978
25	0.46000	0.20356	1.56245
26	0.48000	-0.65575	0.11166
27	0.50000	-0.38053	-0.66752

GRAFICO 4. Comparacion de las curvas del desplazamiento en la rótula de suspension delantera de Aro 15” vs. Aro 16” (deg).

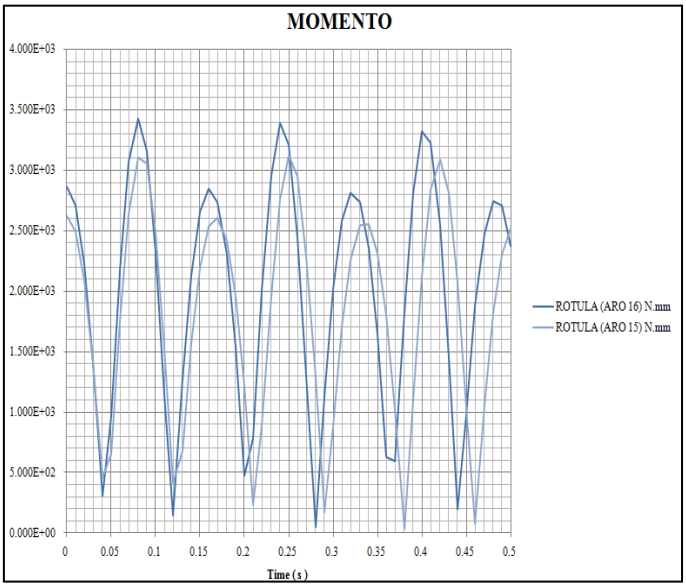
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) N	ROTULA (ARO 15) N
2	0.00000	61.10390	56.39290
3	0.02000	40.86450	39.02240
4	0.04000	6.46457	5.54057
5	0.06000	39.16800	33.16340
6	0.08000	53.52980	48.96825
7	0.10000	41.07280	41.99670
8	0.12000	8.29964	15.13960
9	0.14000	38.22270	25.14740
10	0.16000	61.15831	53.56052
11	0.18000	43.60660	49.91160
12	0.20000	5.84013	17.49900
13	0.22000	37.33297	21.71610
14	0.24000	53.59490	45.41550
15	0.26000	43.07130	47.74520
16	0.28000	10.78520	27.85900
17	0.30000	35.62880	10.50730
18	0.32000	61.32523	45.44520
19	0.34000	46.51020	56.28250
20	0.36000	6.82491	32.59240
21	0.38000	35.54920	8.71151
22	0.40000	53.74580	38.52590
23	0.42000	45.20010	50.06900
24	0.44000	13.66175	38.58420
25	0.46000	33.03400	9.05295
26	0.48000	61.61300	33.10700
27	0.50000	49.64750	57.12310

GRAFICO 5. Comparacion de las curvas de la fuerza en la rótula de suspension delantera de Aro 15” vs. Aro 16” (N).

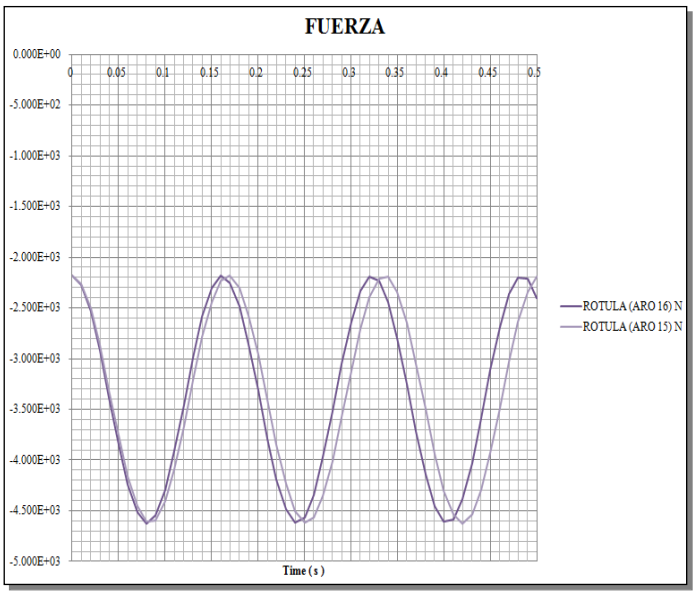
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) N.mm	ROTULA (ARO 15) N.mm
2	0.00000	2865.38000	2623.08000
3	0.02000	2228.03000	2088.43000
4	0.04000	310.35400	460.65900
5	0.06000	2177.56000	1755.02000
6	0.08000	3428.90000	3110.69000
7	0.10000	2323.50000	2481.40000
8	0.12000	145.26500	409.57300
9	0.14000	2132.28000	1569.21000
10	0.16000	2852.10000	2533.44000
11	0.18000	2302.27000	2418.09000
12	0.20000	473.11900	1217.24000
13	0.22000	2011.16000	884.88300
14	0.24000	3395.13000	2762.20000
15	0.26000	2446.41000	2951.82000
16	0.28000	47.80730	1289.55000
17	0.30000	2017.02000	880.45929
18	0.32000	2812.18000	2264.65000
19	0.34000	2352.90000	2557.95000
20	0.36000	628.75000	1801.69000
21	0.38000	1826.77000	35.53180
22	0.40000	3327.34000	2124.12000
23	0.42000	2543.51000	3090.33000
24	0.44000	198.99200	2068.53000
25	0.46000	1884.13000	79.91320
26	0.48000	2745.36000	1820.34000
27	0.50000	2377.58000	2516.75000

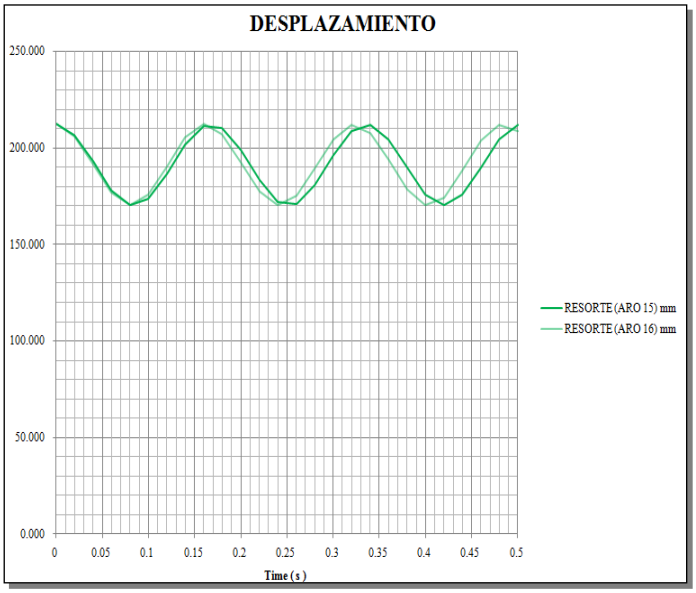
GRAFICO 6. Comparacion de las curvas del momento en la rótula de suspension delantera de Aro 15” vs. Aro 16” (N.mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3. RESORTE:



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) N	ROTULA (ARO 15) N
2	0.00000	-2180.80000	-2180.80000
3	0.02000	-2532.14000	-2506.68000
4	0.04000	-3384.35000	-3310.68000
5	0.06000	-4246.99000	-4163.71000
6	0.08000	-4622.60000	-4609.62000
7	0.10000	-4294.33000	-4409.70000
8	0.12000	-3451.71000	-3671.00000
9	0.14000	-2580.73000	-2788.76000
10	0.16000	-2182.68000	-2234.20000
11	0.18000	-2486.19000	-2302.94000
12	0.20000	-3316.94000	-2958.34000
13	0.22000	-4196.95000	-3850.90000
14	0.24000	-4618.83000	-4503.72000
15	0.26000	-4339.05000	-4567.44000
16	0.28000	-3519.16000	-4007.97000
17	0.30000	-2632.06000	-3124.77000
18	0.32000	-2188.34000	-2389.90000
19	0.34000	-2442.81000	-2195.31000
20	0.36000	-3249.34000	-2644.61000
21	0.38000	-4144.06000	-3498.39000
22	0.40000	-4611.23000	-4300.90000
23	0.42000	-4381.23000	-4622.95000
24	0.44000	-3586.86000	-4292.16000
25	0.46000	-2686.32000	-3485.64000
26	0.48000	-2197.88000	-2634.72000
27	0.50000	-2401.96000	-2193.52000

GRAFICO 7. Comparacion de las curvas de la fuerza en el resorte de suspension delantera de Aro 15” vs. Aro 16” (N).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



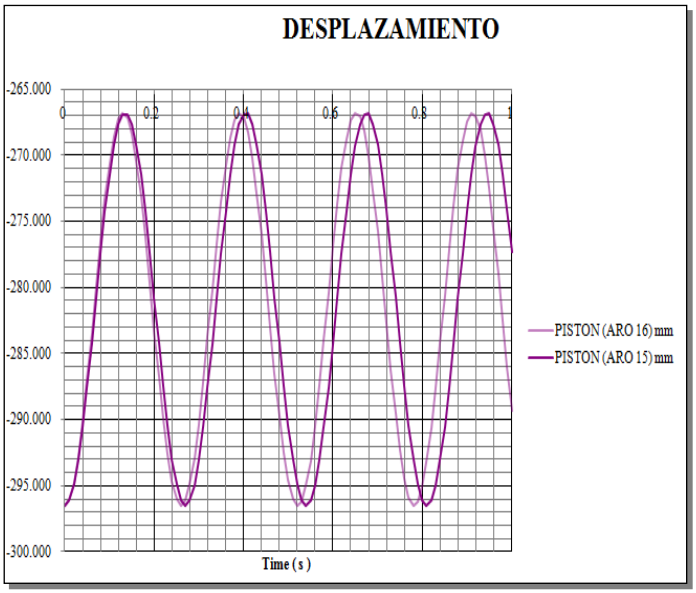
	Time (s)	RESORTE (ARO 16) mm	RESORTE (ARO 15) mm
2	0.00000	212.40000	212.40000
3	0.02000	206.34200	206.78100
4	0.04000	191.64900	192.91900
5	0.06000	176.77600	178.21200
6	0.08000	170.30000	170.52400
7	0.10000	175.96000	173.97100
8	0.12000	190.48800	186.70700
9	0.14000	205.50500	201.91800
10	0.16000	212.36800	211.47900
11	0.18000	207.13500	210.29400
12	0.20000	192.81100	198.99400
13	0.22000	177.63900	183.60500
14	0.24000	170.36499	172.35000
15	0.26000	175.18900	171.25100
16	0.28000	189.32500	180.89700
17	0.30000	204.62000	196.12500
18	0.32000	212.27000	208.79500
19	0.34000	207.88300	212.14978
20	0.36000	193.97700	204.40300
21	0.38000	178.55100	189.68300
22	0.40000	170.49600	175.84700
23	0.42000	174.46200	170.29400
24	0.44000	188.15800	175.99700
25	0.46000	203.68400	189.90274
26	0.48000	212.10556	204.57400
27	0.50000	208.58700	212.18100

GRAFICO 8. Comparacion de las curvas del desplazamiento en el resorte de suspension delantera de Aro 15" vs. Aro 16" (mm).

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

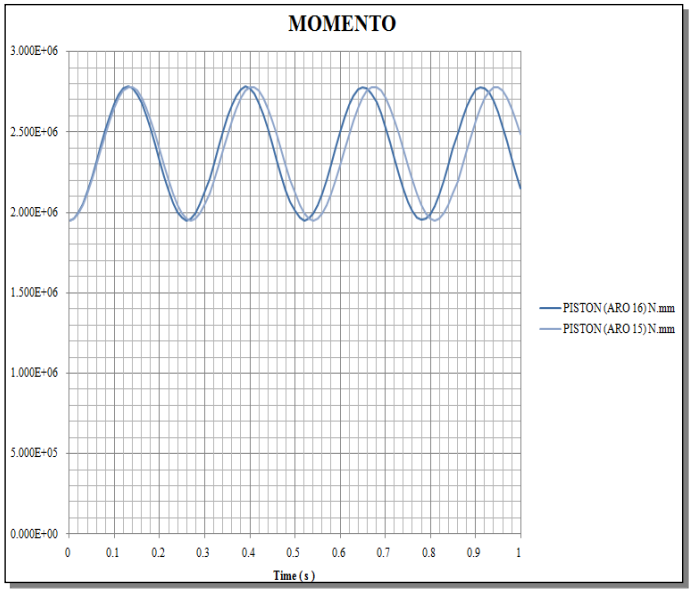
3.2.5.2 Comparación de resultados suspensión posterior aro 15" vs. Aro 16"

1. PISTÓN DE AMORTIGUADOR:



	Time (s)	PISTON (ARO 16) mm	PISTON (ARO 15) mm
2	0.00000	-296.50000	-296.50000
3	0.02000	-294.80700	-294.92000
4	0.04000	-290.11261	-290.51700
5	0.06000	-283.48800	-284.22700
6	0.08000	-276.44300	-277.38700
7	0.10000	-270.58300	-271.45200
8	0.12000	-267.24400	-267.68500
9	0.14000	-267.18800	-266.88500
10	0.16000	-270.42700	-269.22500
11	0.18000	-276.22200	-274.20500
12	0.20000	-283.25300	-280.76700
13	0.22000	-289.91748	-287.51500
14	0.24000	-294.69500	-293.01500
15	0.26000	-296.49800	-296.09600
16	0.28000	-294.91449	-296.10300
17	0.30000	-290.30600	-293.03600
18	0.32000	-283.72200	-287.54600
19	0.34000	-276.66500	-280.80014
20	0.36000	-270.74200	-274.23400
21	0.38000	-267.30423	-269.24300
22	0.40000	-267.13500	-266.88900
23	0.42000	-270.27300	-267.67300
24	0.44000	-276.00300	-271.42800
25	0.46000	-283.01800	-277.35500
26	0.48000	-289.72000	-284.19400
27	0.50000	-294.58100	-290.49000

GRAFICO 9. Comparacion de las curvas del desplazamiento en el piston de suspension posterior de Aro 15” vs. Aro 16” (mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	PISTON (ARO 16) N.mm	PISTON (ARO 15) N.mm
2	0.00000	1951270.00000	1950210.00000
3	0.02000	1998020.00000	1993840.00000
4	0.04000	2128040.00000	2115860.00000
5	0.06000	2312470.00000	2291020.00000
6	0.08000	2509550.00000	2482390.00000
7	0.10000	2674070.00000	2649050.00000
8	0.12000	2768000.00000	2755090.00000
9	0.14000	2769590.00000	2777600.00000
10	0.16000	2678460.00000	2711720.00000
11	0.18000	2515740.00000	2571680.00000
12	0.20000	2319020.00000	2387710.00000
13	0.22000	2133460.00000	2199340.00000
14	0.24000	2001090.00000	2046580.00000
15	0.26000	1951320.00000	1961370.00000
16	0.28000	1995040.00000	1961150.00000
17	0.30000	2122680.00000	2045990.00000
18	0.32000	2305930.00000	2198480.00000
19	0.34000	2503330.00000	2386780.00000
20	0.36000	2669590.00000	2570870.00000
21	0.38000	2766310.00000	2711200.00000
22	0.40000	2771070.00000	2777490.00000
23	0.42000	2682780.00000	2755410.00000
24	0.44000	2521880.00000	2649730.00000
25	0.46000	2325580.00000	2483290.00000
26	0.48000	2138930.00000	2291940.00000
27	0.50000	2004250.00000	2116610.00000

GRAFICO 10. Comparacion de las curvas del momento en el piston de suspension posterior de Aro 15” vs. Aro 16” (N.mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

2. RESORTE:

	Time (s)	RESORTE (ARO 16) N	RESORTE (ARO 15) N
2	0.00000	-3475.00000	-3475.00000
3	0.02000	-3559.67000	-3553.99000
4	0.04000	-3794.37000	-3774.15000
5	0.06000	-4125.60000	-4088.67000
6	0.08000	-4477.87000	-4430.67000
7	0.10000	-4770.86000	-4727.40000
8	0.12000	-4937.79000	-4915.77000
9	0.14000	-4940.61000	-4955.73000
10	0.16000	-4778.67000	-4838.76000
11	0.18000	-4488.90000	-4589.76000
12	0.20000	-4137.33000	-4261.66000
13	0.22000	-3804.13000	-3924.25000
14	0.24000	-3565.23000	-3649.27000
15	0.26000	-3475.09000	-3495.21000
16	0.28000	-3554.28000	-3494.83000
17	0.30000	-3784.72000	-3648.20000
18	0.32000	-4113.90000	-3922.71000
19	0.34000	-4466.77000	-4259.99000
20	0.36000	-4762.90000	-4588.31000
21	0.38000	-4934.79000	-4837.85000
22	0.40000	-4943.25000	-4955.53000
23	0.42000	-4786.35000	-4916.34000
24	0.44000	-4499.86000	-4728.61000
25	0.46000	-4149.08000	-4432.26000
26	0.48000	-3813.99000	-4090.32000
27	0.50000	-3570.95000	-3775.49000

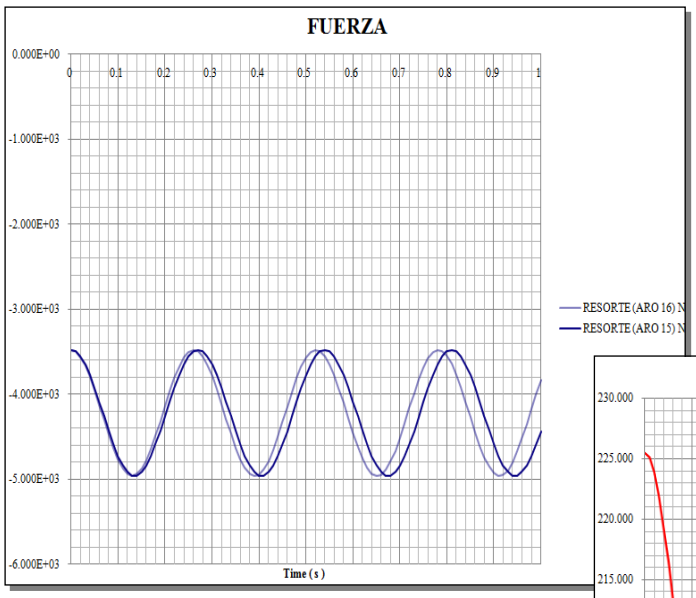
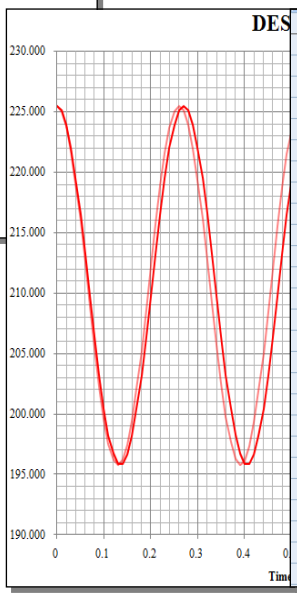


GRAFICO 11. Comparacion de las curvas de la fuerza en el resorte de suspension posterior de Aro 15" vs. Aro 16" (N). FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



1	Time (s)	RESORTE (ARO 15) mm	RESORTE (ARO 16) mm
2	0.00000	225.50000	225.50000
3	0.02000	223.92000	223.80700
4	0.04000	219.51700	219.11261
5	0.06000	213.22700	212.48790
6	0.08000	206.38700	205.44300
7	0.10000	200.45200	199.58300
8	0.12000	196.68500	196.24400
9	0.14000	195.88500	196.18800
10	0.16000	198.22500	199.42700
11	0.18000	203.20500	205.22200
12	0.20000	209.76700	212.25300
13	0.22000	216.51500	218.91748
14	0.24000	222.01500	223.69500
15	0.26000	225.09600	225.49800
16	0.28000	225.10350	223.91400
17	0.30000	222.03600	219.30600
18	0.32000	216.54600	212.72200
19	0.34000	209.80000	205.66500
20	0.36000	203.23400	199.74200
21	0.38000	198.24300	196.30423
22	0.40000	195.88900	196.13500
23	0.42000	196.67300	199.27300
24	0.44000	200.42800	205.00300
25	0.46000	206.35500	212.01800
26	0.48000	213.19400	218.72000
27	0.50000	219.49000	223.58100

GRAFICO 12. Comparacion de las curvas del desplazamiento en el resorte de suspension posterior de Aro 15" vs. Aro 16" (N). FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.2.5.3 Comparación de resultados dirección aro 15" vs. Aro 16"

1. CONJUNTO DE DIRECCIÓN

1	Time (s)	CONJUNTO DIRECCION (ARO 16) mm	CONJUNTO DIRECCION (ARO 15) mm
2	0.00000	-79.60520	-79.60520
3	0.02000	-79.70870	-79.70015
4	0.04000	-80.01950	-79.98520
5	0.06000	-80.53770	-80.46050
6	0.08000	-81.26410	-81.12660
7	0.10000	-82.19930	-81.98410
8	0.12000	-83.34440	-83.03400
9	0.14000	-84.70070	-84.27720
10	0.16000	-86.26970	-85.71500
11	0.18000	-88.05310	-87.34890
12	0.20000	-90.05300	-89.18050
13	0.22000	-92.27160	-91.21180
14	0.24000	-94.71140	-93.44490
15	0.26000	-97.37550	-95.88210
16	0.28000	-100.26700	-98.52620
17	0.30000	-103.38900	-101.37989
18	0.32000	-106.74600	-104.44600
19	0.34000	-110.34200	-107.72900
20	0.36000	-114.18100	-111.23200
21	0.38000	-118.26800	-114.95916
22	0.40000	-122.60900	-118.91500
23	0.42000	-127.21000	-123.10400
24	0.44000	-132.07700	-127.53100
25	0.46000	-137.21700	-132.20253
26	0.48000	-142.63600	-137.12400
27	0.50000	-148.34346	-142.30200

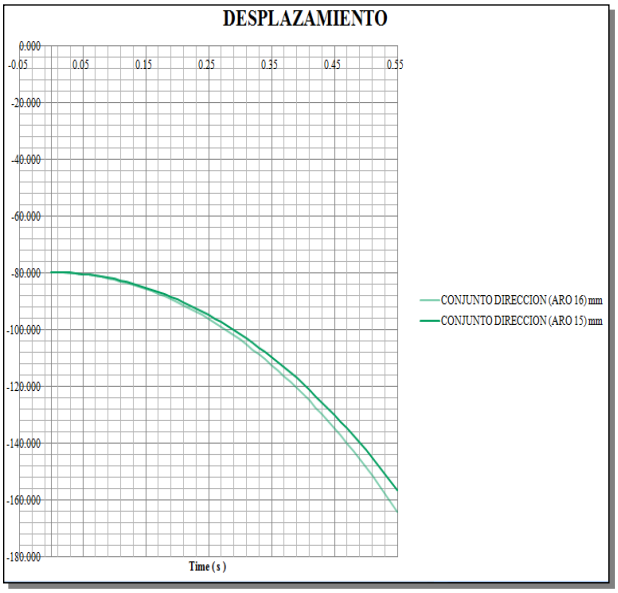


GRAFICO 13. Comparacion de las curvas del desplazamiento en el conjunto de direccion de Aro 15" vs. Aro 16" (mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

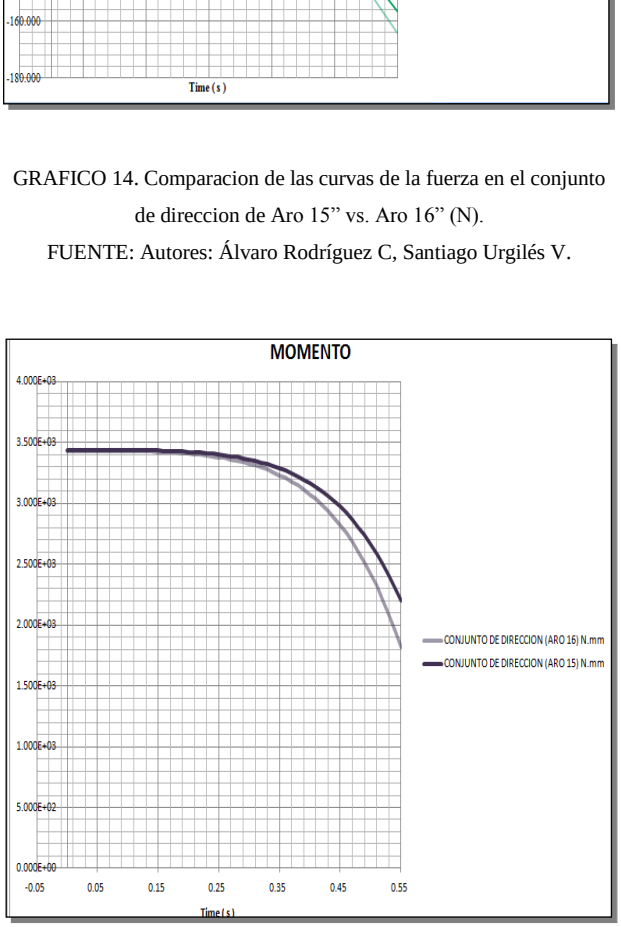
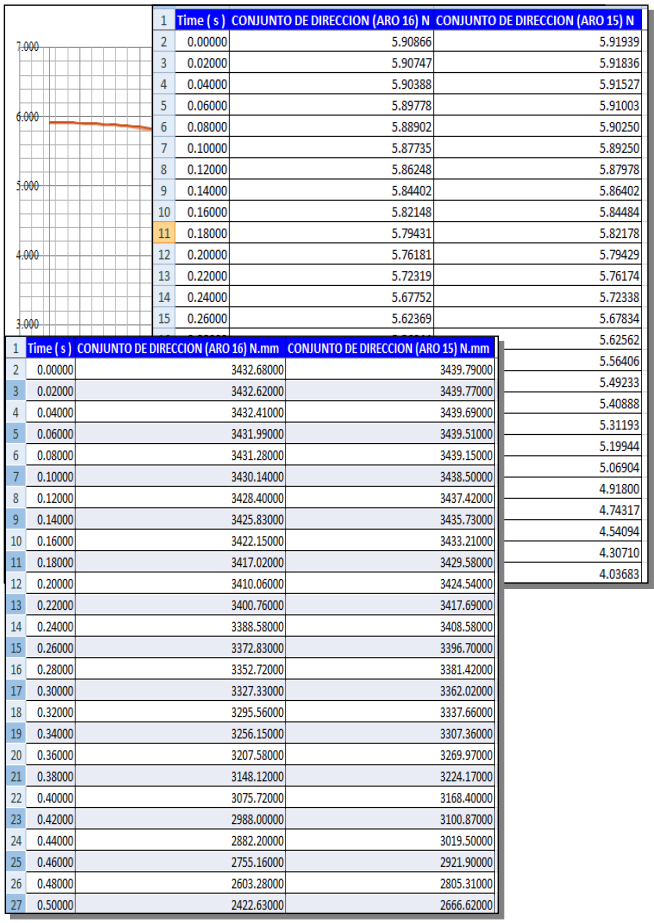


GRAFICO 14. Comparacion de las curvas de la fuerza en el conjunto de direccion de Aro 15" vs. Aro 16" (N).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

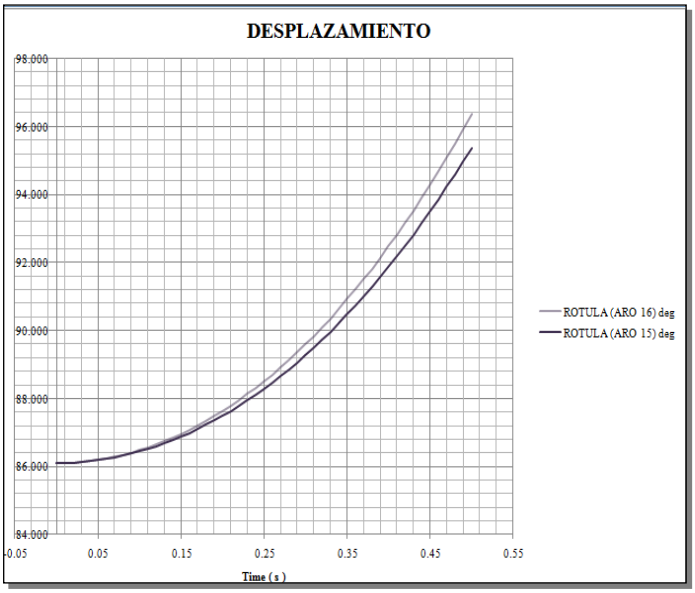


	Time (s)	CONJUNTO DE DIRECCION (ARO 16) N	CONJUNTO DE DIRECCION (ARO 15) N
2	0.00000	5.90866	5.91939
3	0.02000	5.90747	5.91836
4	0.04000	5.90388	5.91527
5	0.06000	5.89778	5.91003
6	0.08000	5.88902	5.90250
7	0.10000	5.87735	5.89250
8	0.12000	5.86248	5.87978
9	0.14000	5.84402	5.86402
10	0.16000	5.82148	5.84484
11	0.18000	5.79431	5.82178
12	0.20000	5.76181	5.79429
13	0.22000	5.72319	5.76174
14	0.24000	5.67752	5.72338
15	0.26000	5.62369	5.67834
			5.62562
			5.56406
			5.49233
			5.40888
			5.31193
			5.19944
			5.06904
			4.91800
			4.74317
			4.54094
			4.30710
			4.03683

	Time (s)	CONJUNTO DE DIRECCION (ARO 16) N.mm	CONJUNTO DE DIRECCION (ARO 15) N.mm
2	0.00000	3432.68000	3439.79000
3	0.02000	3432.62000	3439.77000
4	0.04000	3432.41000	3439.69000
5	0.06000	3431.99000	3439.51000
6	0.08000	3431.28000	3439.15000
7	0.10000	3430.14000	3438.50000
8	0.12000	3428.40000	3437.42000
9	0.14000	3425.83000	3435.73000
10	0.16000	3422.15000	3433.21000
11	0.18000	3417.02000	3429.58000
12	0.20000	3410.06000	3424.54000
13	0.22000	3400.76000	3417.69000
14	0.24000	3388.58000	3408.58000
15	0.26000	3372.83000	3396.70000
16	0.28000	3352.72000	3381.42000
17	0.30000	3327.33000	3362.02000
18	0.32000	3295.56000	3337.66000
19	0.34000	3256.15000	3307.36000
20	0.36000	3207.58000	3269.97000
21	0.38000	3148.12000	3224.17000
22	0.40000	3075.72000	3168.40000
23	0.42000	2988.00000	3100.87000
24	0.44000	2882.20000	3019.50000
25	0.46000	2755.16000	2921.90000
26	0.48000	2603.28000	2805.31000
27	0.50000	2422.63000	2666.62000

GRAFICO 15. Comparacion de las curvas del momento en el conjunto de direccion de Aro 15" vs. Aro 16" (N.mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

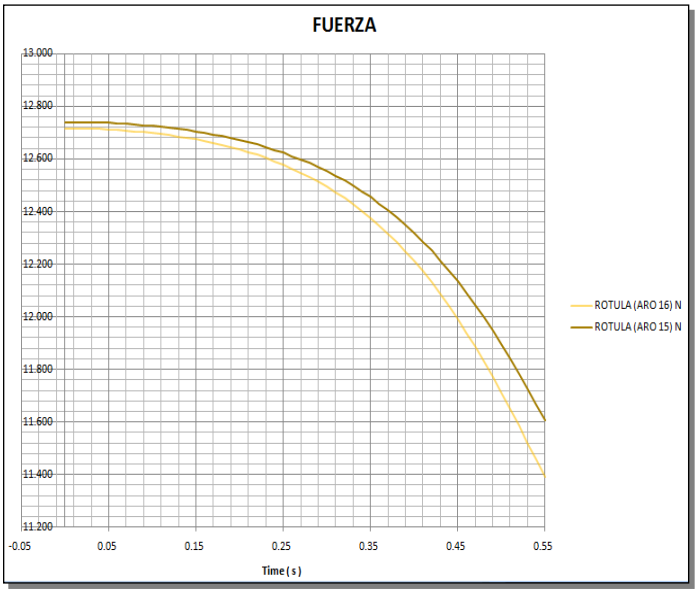
2. RÓTULA DE DIRECCIÓN:



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) deg	ROTULA (ARO 15) deg
2	0.00000	86.10100	86.10100
3	0.01000	86.10470	86.10440
4	0.02000	86.11610	86.11470
5	0.03000	86.13490	86.13190
6	0.04000	86.16140	86.15596
7	0.05000	86.19540	86.18690
8	0.06000	86.23700	86.22480
9	0.07000	86.28620	86.26950
10	0.08000	86.34300	86.32122
11	0.09000	86.40740	86.37986
12	0.10000	86.47960	86.44550
13	0.11000	86.55940	86.51810
14	0.12000	86.64690	86.59770
15	0.13000	86.74220	86.68430
16	0.14000	86.84530	86.77810
17	0.15000	86.95620	86.87890
18	0.16000	87.07500	86.98690
19	0.17000	87.20170	87.10210
20	0.18000	87.33640	87.22440
21	0.19000	87.47910	87.35410
22	0.20000	87.62990	87.49110
23	0.21000	87.78890	87.63540
24	0.22000	87.95610	87.78717
25	0.23000	88.13150	87.94640
26	0.24000	88.31530	88.11320
27	0.25000	88.50750	88.28750

GRAFICO 16. Comparacion de las curvas del desplazamiento en la rótula de direccion de Aro 15” vs. Aro 16” (deg).

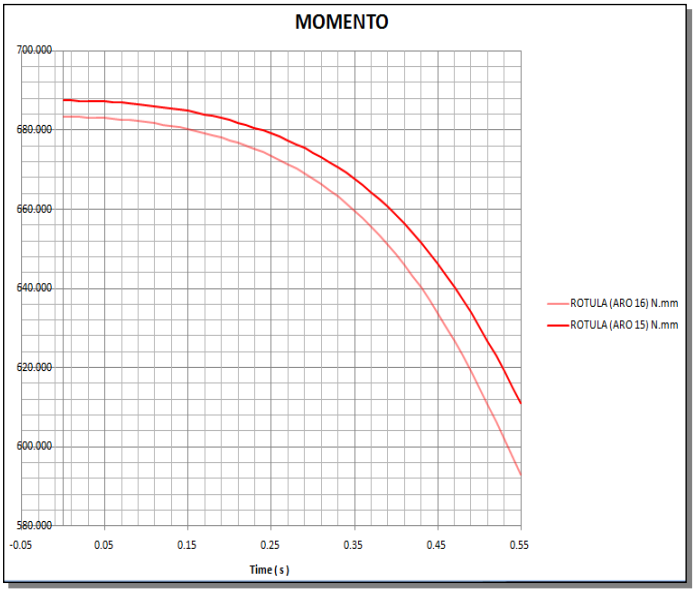
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) N	ROTULA (ARO 15) N
2	0.00000	12.71640	12.74040
3	0.02000	12.71570	12.73980
4	0.04000	12.71360	12.73810
5	0.06000	12.71020	12.73510
6	0.08000	12.70530	12.73090
7	0.10000	12.69871	12.72530
8	0.12000	12.69040	12.71820
9	0.14000	12.68020	12.70956
10	0.16000	12.66790	12.69910
11	0.18000	12.65320	12.68660
12	0.20000	12.63580	12.67190
13	0.22000	12.61540	12.65470
14	0.24000	12.59150	12.63460
15	0.26000	12.56380	12.61130
16	0.28000	12.53170	12.58440
17	0.30000	12.49460	12.55350
18	0.32000	12.45200	12.51800
19	0.34000	12.40320	12.47730
20	0.36000	12.34750	12.43100
21	0.38000	12.28410	12.37830
22	0.40000	12.21240	12.31860
23	0.42000	12.13160	12.25130
24	0.44000	12.04119	12.17580
25	0.46000	11.94090	12.09150
26	0.48000	11.83090	11.99810
27	0.50000	11.71190	11.89560

GRAFICO 17. Comparacion de las curvas de la fuerza en la rótula de direccion de Aro 15” vs. Aro 16” (N).

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



	Time (s)	ROTULA (ARO 16) N.mm	ROTULA (ARO 15) N.mm
2	0.00000	683.29400	687.43200
3	0.02000	683.24400	687.38900
4	0.04000	683.09300	687.26000
5	0.06000	682.83700	687.04200
6	0.08000	682.47200	686.73175
7	0.10000	681.99200	686.32400
8	0.12000	681.38800	685.81000
9	0.14000	680.64700	685.18300
10	0.16000	679.75900	684.43100
11	0.18000	678.70500	683.54200
12	0.20000	677.46800	682.50000
13	0.22000	676.02600	681.28800
14	0.24000	674.35500	679.88600
15	0.26000	672.42600	678.27200
16	0.28000	670.20697	676.42000
17	0.30000	667.66400	674.30200
18	0.32000	664.75600	671.88700
19	0.34000	661.44200	669.13800
20	0.36000	657.67500	666.02000
21	0.38000	653.40700	662.49000
22	0.40000	648.58900	658.50800
23	0.42000	643.17300	654.02800
24	0.44000	637.11900	649.01000
25	0.46000	630.39700	643.41600
26	0.48000	623.00200	637.21800
27	0.50000	614.96300	630.40500

GRAFICO 18. Comparacion de las curvas del momento en la rótula de direccion de Aro 15” vs. Aro 16” (N.mm).
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

3.2.6 Conclusiones de resultados:

En la suspensión delantera, posterior y dirección se analizan 3 tipos de gráficos; desplazamiento, fuerzas y momentos; en cada grafico se aprecia las curvas obtenidas en el estudio de los aros 15” y 16” con sus respectivos neumáticos.

- **SUSPENSIÓN DELANTERA**

- En el análisis dinámico comparativo del conjunto de suspensión delantera utilizando el aro 15” y aro 16” con sus neumáticos respectivos; se observa en las curvas respectivas un desfase en el eje del tiempo, por tanto a medida que el tiempo avanza se puede apreciar que las curvas de el aro 16” tienen un mayor número de oscilaciones que las curvas del aro 15”. Esto quiere decir que cuando se reemplaza el aro 15” por el aro 16” existirá una mayor fatiga en los elementos de la suspensión delantera, al transcurrir el tiempo.

- Las rótulas son los elementos que más se encuentran sometidos a la fatiga, por ser el nexo de unión entre los brazos de suspensión y los muñones de dirección. Los gráficos nos demuestran que a más del desfase en las curvas de los momentos y fuerzas, se aprecia que los valores máximos aumentan cuando se utiliza el aro 16" en comparación con el aro 15".

- El análisis dinámico nos permite determinar, que al sustituir en el ensamble el aro 15" por el aro 16", se afecta en pequeñas magnitudes la rótula de la suspensión, con un incremento en la fuerza de aproximadamente 4N. Es necesario indicar que el factor de seguridad de 8 utilizado en el diseño y construcción de los elementos mecánicos del vehículo, es un aspecto importante para que las variaciones en la suspensión delantera no tengan incidencias instantáneas en el mecanismo, sino que se puedan observar con el transcurso del tiempo.

- En el pistón y en el resorte, empleando el aro 15" y el aro 16", las fuerzas, momentos y desplazamientos llegan hasta los mismos puntos máximos y mínimos de valores; por lo tanto en estos elementos no existe mayor variación.

➢ **SUSPENSIÓN POSTERIOR**

- En el conjunto de suspensión posterior, todos los gráficos de desplazamientos, fuerzas, momentos pertenecientes al aro 15" y al aro 16", son coincidentes en los mismos valores máximos y mínimos de su amplitud de onda; existe un desfase cuando se presenta en un mismo tiempo en la curva del aro 16" que tiene mayor numero de oscilaciones, comparado con la curva de aro 15"; se concluye, que al utilizar un aro 16" por largo tiempo, se producirá una mayor fatiga, aunque las variaciones no se puedan observar inmediatamente debido al factor de seguridad que poseen los elementos mecánicos.

➢ **DIRECCIÓN**

- Los desplazamientos, fuerzas y momentos en las curvas de aro 15" y aro 16" tienen su origen en un mismo punto, sin embargo cuando se trata del punto

final se da una variación; entonces los valores de las magnitudes anteriores varían, siendo menores en el aro 16” en comparación con el aro 15”; esto se debe a lo siguiente:

En la Fig. 3.17, se observa el conjunto de dirección (A), el diámetro del neumático (D1) y la distancia del conjunto de dirección (X1) pertenecientes al aro 15”, es así como se compara y observa que la variación de la distancia del conjunto de dirección (X2) con el diámetro del neumático (D2) y la aparición del ángulo (θ) cuando se emplea el aro 16” observada en la Fig. 3.18., crea variaciones en las rótulas y en el conjunto de dirección.

La situación mencionada origina la variación de la posición del conjunto de dirección; por lo que X2<X1; hace que las magnitudes de desplazamiento, fuerza y momento, disminuyan en el aro 16” debido al ángulo θ, que descompone las fuerzas en el plano X y Y, respectivamente.

La variación que se observa en el conjunto de dirección no produce efectos inmediatos de fatiga en los elementos, debido al factor de seguridad de construcción y diseño de los elementos mecánicos.

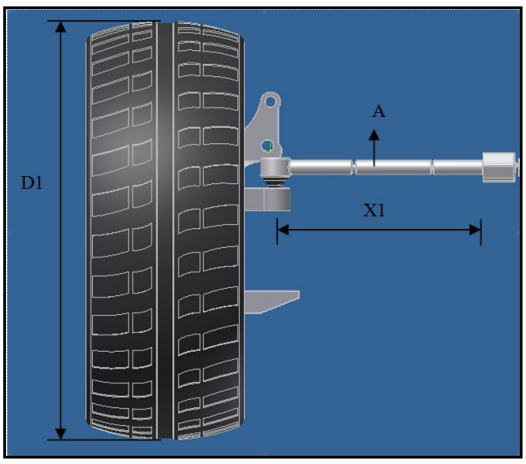


Fig. 3.17. Dirección Aro 15”.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

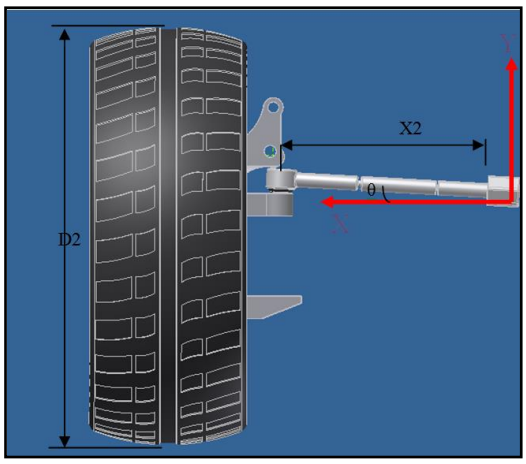
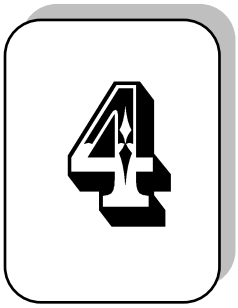


Fig. 3.18. Dirección Aro 16”.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



CÁLCULO DE ESFUERZOS MEDIANTE SOFTWARE

El presente capítulo analiza los esfuerzos que se producen en los elementos mecánicos de los sistemas de suspensión y dirección cuando se encuentran en funcionamiento; este análisis se fundamenta en las condiciones, fórmulas y cálculos que se trataron en el capítulo 2.

Para este análisis, la referencia de base será el peso total del vehículo, el cual se distribuye de la siguiente manera: 61% del peso del vehículo en la parte delantera, y el 39% en la parte posterior, de acuerdo a la ¨Tabla 2.1 de DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA EN EL EJE, VALORES PROMEDIADOS". Esta tabla se constituye en la base para distribuir las fuerzas y reacciones de los sistemas de suspensión y dirección para obtener de esta manera el cálculo adecuado de los esfuerzos que se producen en los elementos mecánicos.

El software de análisis que se utiliza para la simulación de los esfuerzos es ANSYS 12.1 versión 2009, que posee un modulo para el estudio de los esfuerzos, por medio del método del análisis de los elementos finitos.

El presente capítulo analiza los esfuerzos que se producen en los elementos mecánicos de los sistemas de suspensión y dirección cuando se encuentran en funcionamiento; este análisis se fundamenta en las condiciones, fórmulas y cálculos que se trataron en el capítulo 2.

El software de análisis que se utiliza para la simulación de los esfuerzos es ANSYS 12.1 versión 2009, que posee un modulo para el estudio de los esfuerzos, por medio del método del análisis de los elementos finitos.

4.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN DEL VEHÍCULO.

Se utiliza el módulo de simulación de esfuerzos de STATIC STRUCTURAL en ANSYS 12.1 versión 2009.

4.1.1.- *Simulación de Esfuerzos.*

El proceso para el cálculo de suspensión y dirección es el siguiente:

- Los ensambles de la suspensión y de la dirección que se encuentran almacenados en INVENTOR AUTODESK 2010, utilizados para la simulación dinámica del capítulo 3, se exportan al módulo de STATIC STRUCTURAL en ANSYS 12.1 versión 2009, para la realización del análisis de los esfuerzos en los elementos.
- En la biblioteca de materiales de ANSYS 12.1 se introducen los materiales con sus características y propiedades; que se encuentran detalladas en el capítulo 3.
- Se definen los puntos fijos (FIXED SUPPORT), junto con las fuerzas (LOAD) que van a actuar en el sistema que se realiza el estudio.
- Se introduce el valor de la fuerza o reacción (N), que se calculó en el capítulo 2.
- Se realiza el mallado teniendo en cuenta: tipo, forma y dimensiones que se desea utilizar para el cálculo del conjunto de suspensión o dirección, analizado.
- Se resuelve el conjunto y se obtiene los resultados de deformaciones y esfuerzos máximos.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS EN CONJUNTO DE SUSPENSIÓN DELANTERA.

La fuerza se aplica sobre el aro 15" y el aro 16, con dirección perpendicular al plano de rodadura, asignando un valor de 3414,93(N). En el estudio de los esfuerzos se desprecia el neumático, pues está formado por varios elementos y materiales; por la dificultad del software utilizado no se pudo simular la forma y estructura del neumático debido a su gran complejidad.

Si existen variaciones en los esfuerzos de los elementos mecánicos cuando se aplica una fuerza en el aro 15" o en el aro 16" también existirán variaciones cuando los neumáticos sean considerados, debido que al aumentar el diámetro del neumático disminuye la penetración del mismo en la calzada.

Cuando utilizamos un neumático 195/60 R15, el alto de la cámara es mayor por el contenido de aire almacenado, lo que hace que la capacidad de amortiguación sea mayor a la de un neumático 195/45 R16, que tiene una altura de cámara con un volumen de aire menor. Ver Fig. 4.1.

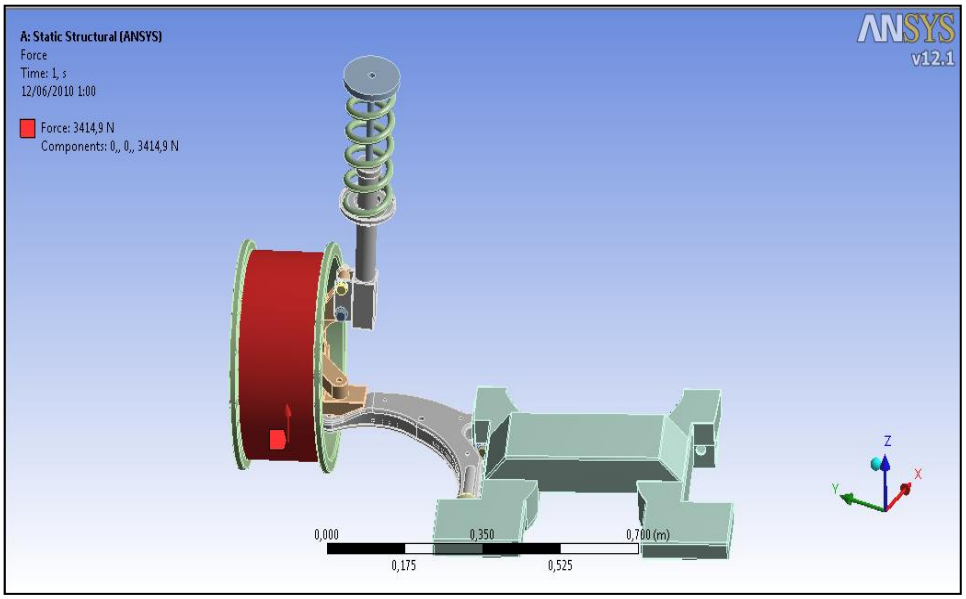


Fig. 4.1. Fuerzas y Soportes de suspensión Delantera.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.2.1 Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de suspensión delantera utilizando el aro 15" y el aro 16".

4.1.2.1 Deformación.- Las figuras 4.2 y 4.3, muestran la deformación máxima en los elementos de la suspensión delantera, las que se comparan utilizando el aro 15" con el aro 16", observándose una variación que se debe a que los elementos mecánicos tienen una mayor deformación cuando se utiliza el aro 16".

A pesar de que esta variación no es grande, por el funcionamiento del mecanismo y considerando que el factor de seguridad de diseño y fabricación de los elementos mecánicos de un vehículo es de 8, la deformación no se podrá observar de manera inmediata sino en el transcurso del tiempo.

Es necesario anotar que las deformaciones se analizan en un intervalo de tiempo de 1 seg, lo cual facilita el cálculo en la computadora, porque para el análisis en intervalos de tiempos más prolongados es necesario una mayor capacidad en la memoria y velocidad de la computadora.

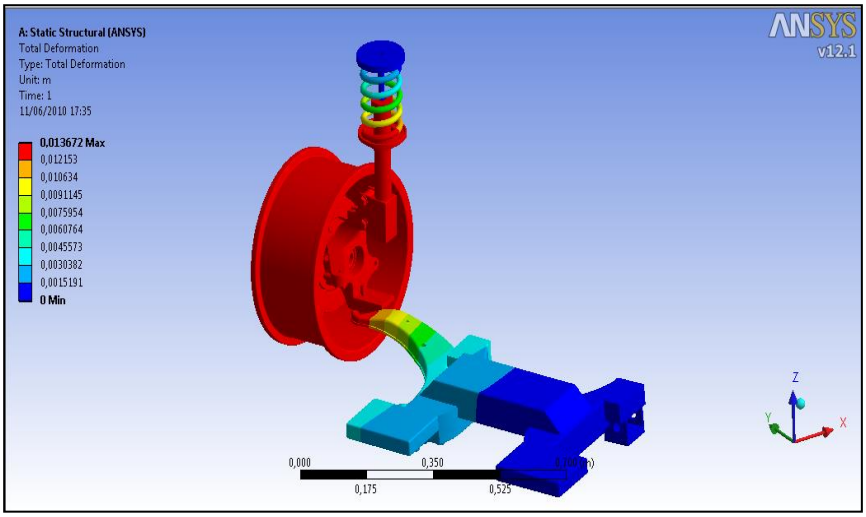


Fig. 4.2. Deformación de suspensión Delantera utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

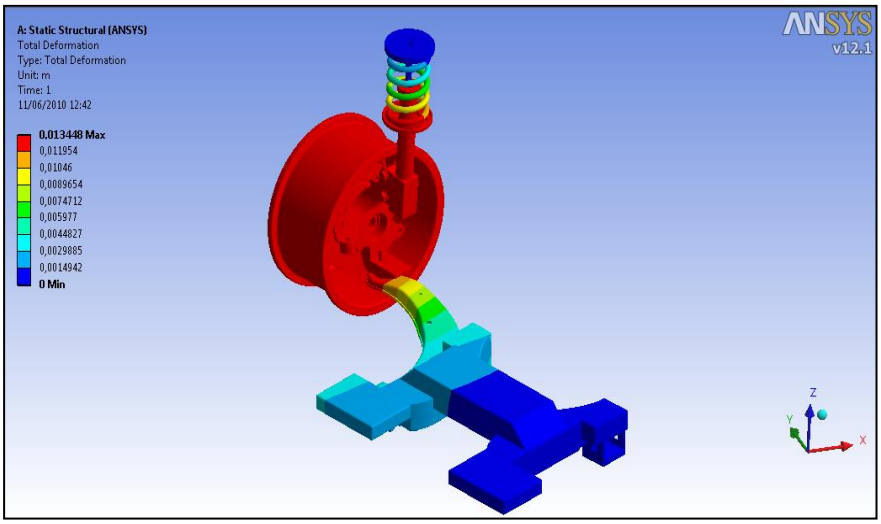


Fig. 4.3. Deformación de Suspensión Delantera utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.1.2.2 Esfuerzo Máximo.- Las figuras 4.4 y 4.5, muestran que el esfuerzo máximo se da cuando se utiliza el aro 16", comparado con la utilización del aro 15"; los elementos que se encuentran sometidos a mayores esfuerzos son: el plato de la suspensión, muñón de la dirección, miembro de la suspensión, rótulas, aro y cubo de la dirección; debido a que el diámetro aumenta cuando se usa el aro 16", situación que genera un ángulo (θ) de variación, respecto a su posición original con el aro 15".

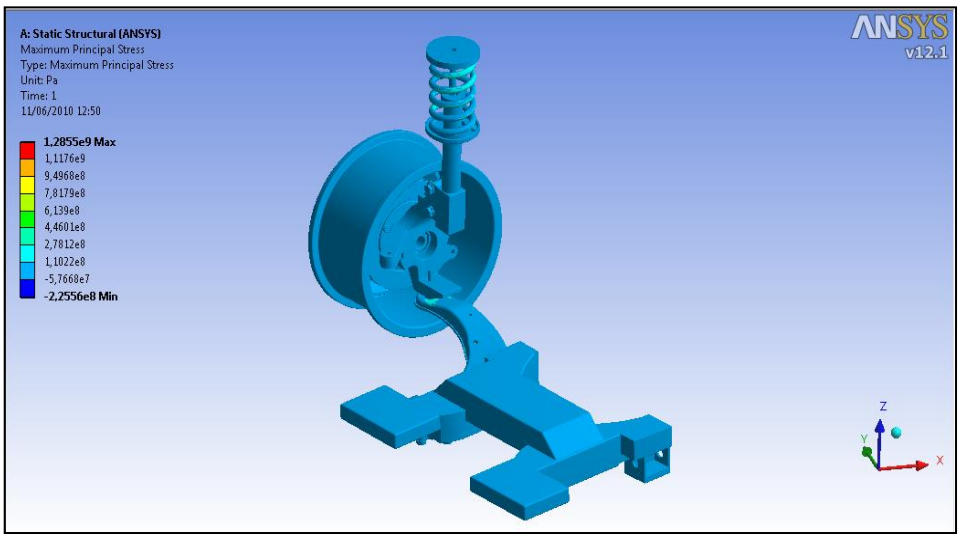


Fig. 4.4. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

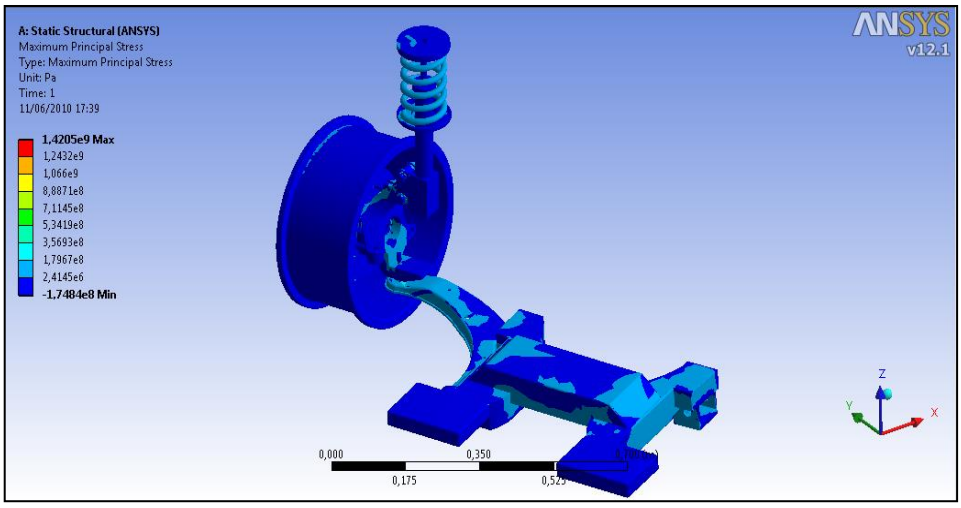


Fig. 4.5. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Plato de Suspensión.-* Debido a que el aro aumenta su diámetro, el brazo de suspensión está sometido a más esfuerzo en la mayor parte de sus superficies. Ver Fig. 4.6 y Fig. 4.7.
- *Rótula de Suspensión.-* Es el lugar donde se produce un mayor esfuerzo; es un cuerpo diseñado para trasmitir un movimiento esférico con 6 grados de libertad. Cuando se reemplaza sus aros, se le somete a una mayor fricción y estiramiento debido al aumento en el diámetro del aro. Ver Fig. 4.7.

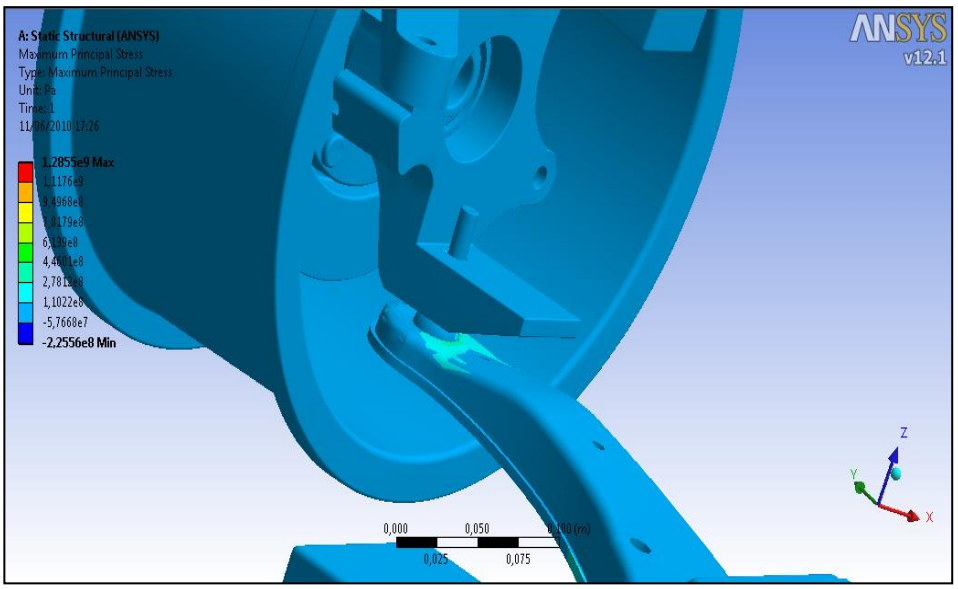


Fig. 4.6. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

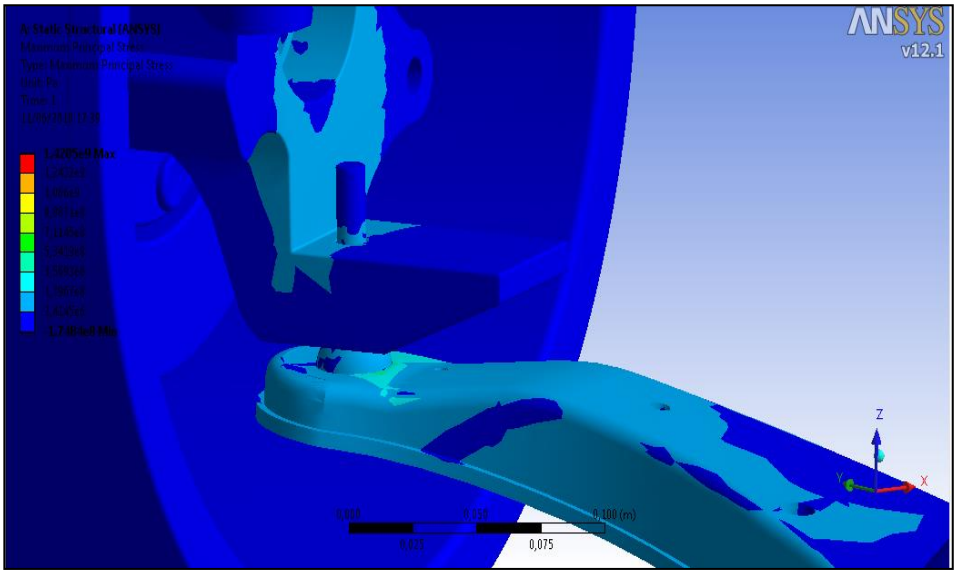


Fig. 4.7. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Muñón de la Dirección.-* Es el encargado de sujetar a la rótula en el lado contrario del plato de suspensión, se encuentra sometido a una mayor tensión y rozamiento; ocasionado por el aro 16", como se observa en la Fig. 4.6 comparada con la Fig. 4.7.

- *Miembro de la Suspensión.-* En esta zona se produce un mayor esfuerzo, debido a la tensión que se presenta en los elementos que forman la suspensión, cuando se sustituye el aro 15" por el aro 16". Ver Fig. 4.8 y 4.9.

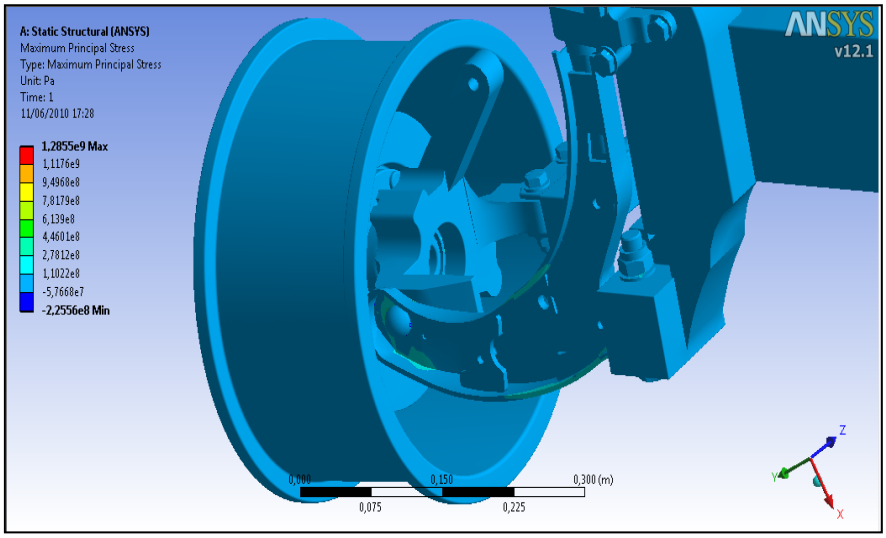


Fig. 4.8. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

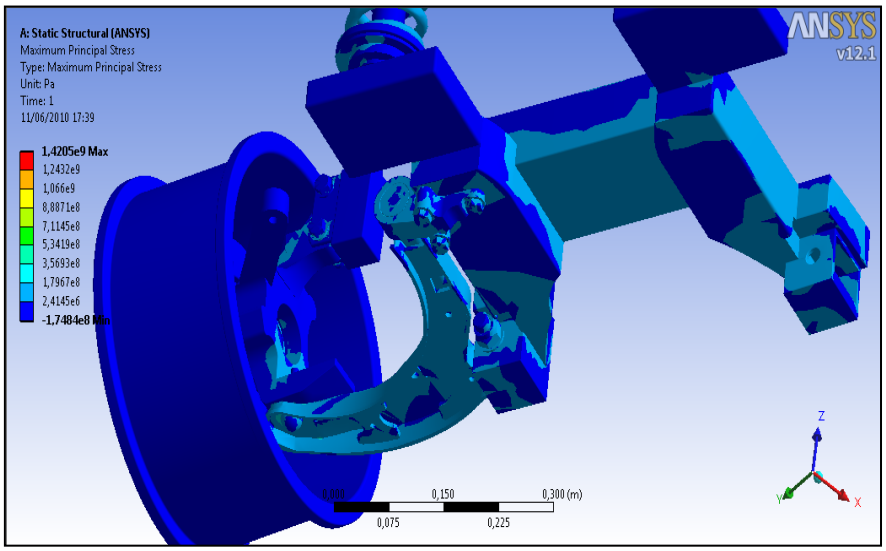


Fig. 4.9. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Pernos.-* Están sujetos a una mayor tensión, como consecuencia de las tensiones de los otros elementos y al aumento de diámetro del aro.
- *Muelles.-* Se someten a mayores esfuerzos cuando se utiliza el aro 16", debido a que la distancia de compresión del muelle es mayor por el incremento del diámetro del aro. Ver Fig. 4.10 y 4.11

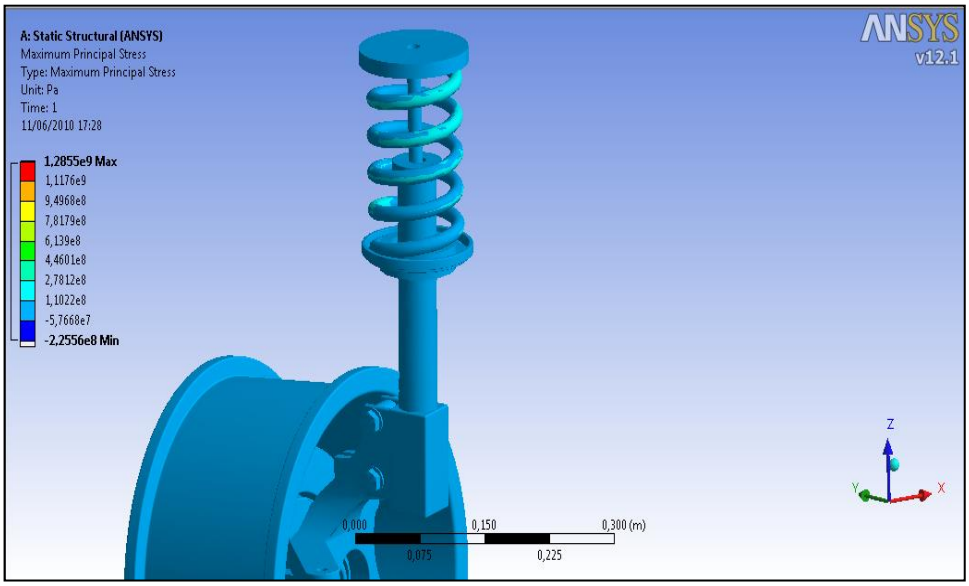


Fig. 4.10. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

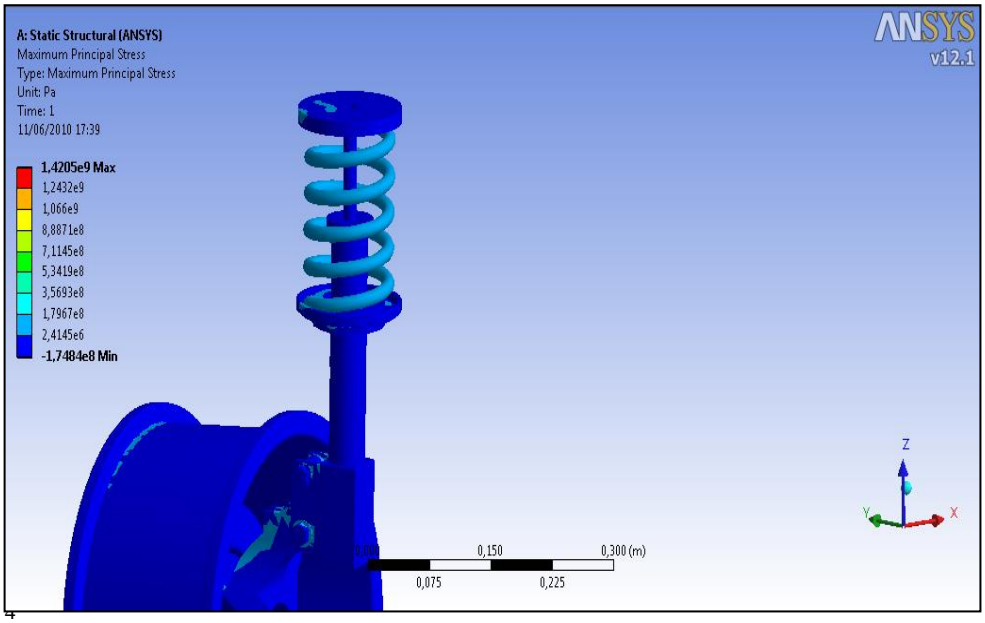


Fig. 4.11. Esfuerzo Máximo de Suspensión Delantera utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.3 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS EN CONJUNTO DE SUSPENSIÓN POSTERIOR.

La aplicación de la fuerza se realiza sobre el aro 15" y al aro 16" con dirección perpendicular a la calzada, con un valor de 2183,32 (N). Ver Fig. 4.12.

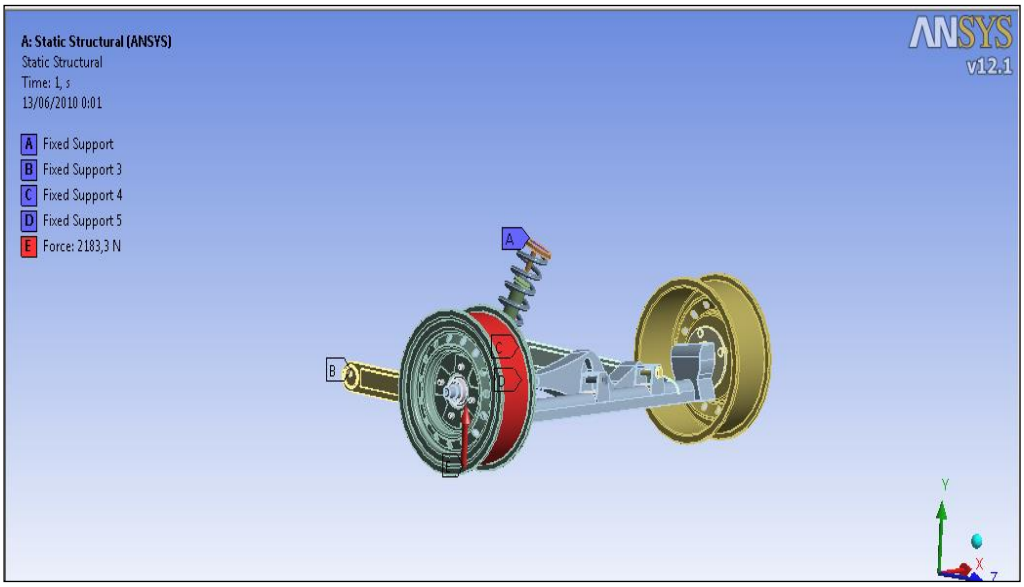


Fig. 4.12 Fuerzas y Soportes de Suspensión Posterior".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.3.1 **Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de suspensión posterior utilizando el aro 15" y el aro 16"**

4.3.1.1 *Deformación.-* Como se observa en las figuras 4.13 y 4.14, la deformación máxima tiene una variación en los elementos cuando se compara el sistema de suspensión posterior utilizando el aro 15" y el aro 16"; esto se debe al factor de seguridad de diseño y construcción de los elementos mecánicos que componen la suspensión posterior que es de 8, estas deformaciones serán visibles con el transcurso del tiempo y no de manera inmediata. Las deformaciones también se analizan en un intervalo de 1seg de tiempo, para facilitar el cálculo computadorizado.

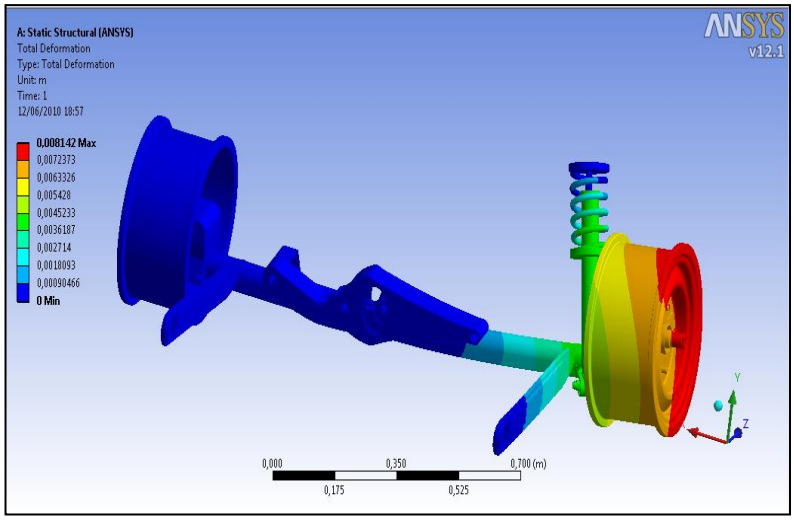


Fig. 4.13. Deformación Máxima de Suspensión Posterior utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

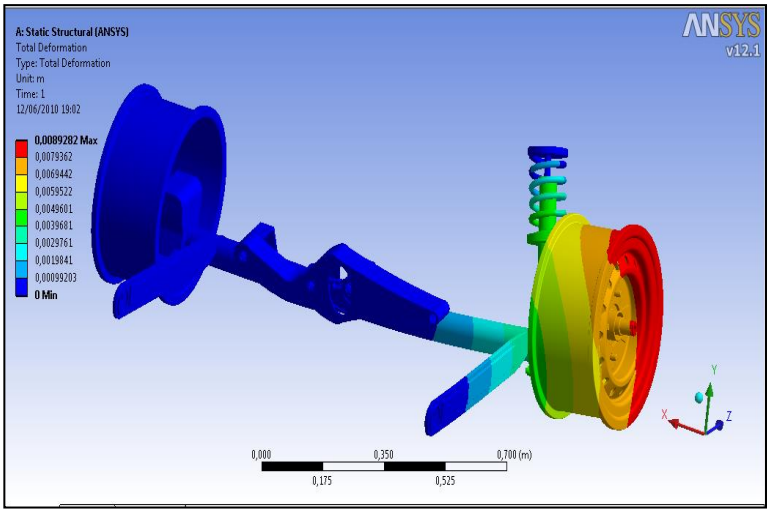


Fig. 4.14. Deformación Máxima de Suspensión Posterior utilizado el aro 16".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.3.1.2 <u>Esfuerzo Máximo</u>.- Cuando se compara las figuras 4.15 y 4.16, se aprecia que existe una variación en los esfuerzos máximos; es decir los esfuerzos aumentan cuando se utiliza el aro 16". Aunque la variación de los esfuerzos no corresponde a un valor de gran magnitud se puede deducir que esta pequeña variación influye en los elementos de la suspensión posterior con el paso del tiempo, pues estos esfuerzos aumentan con los ciclos de trabajo, debido a la fatiga de sus materiales y a la menor resistencia de sus propiedades

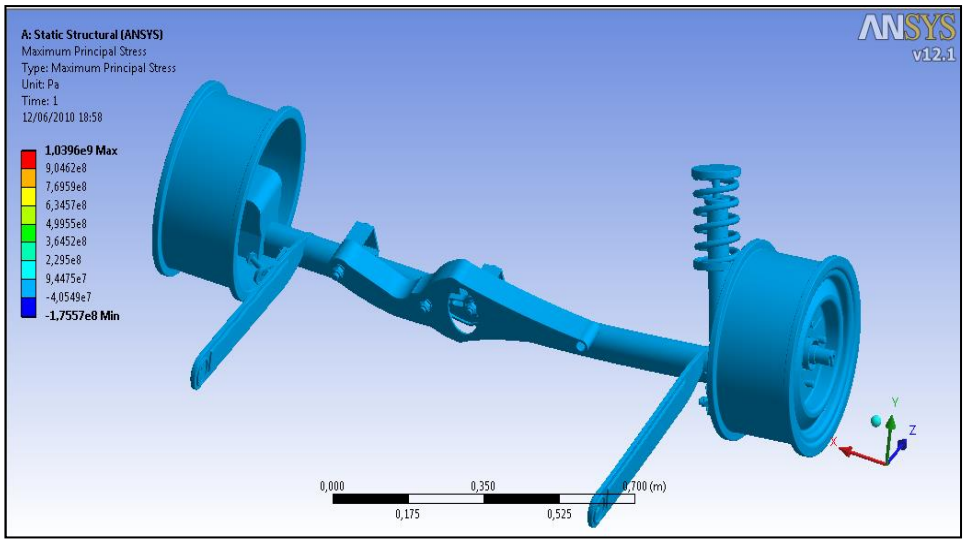


Fig. 4.15. Esfuerzo Máximo de Suspensión Posterior utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

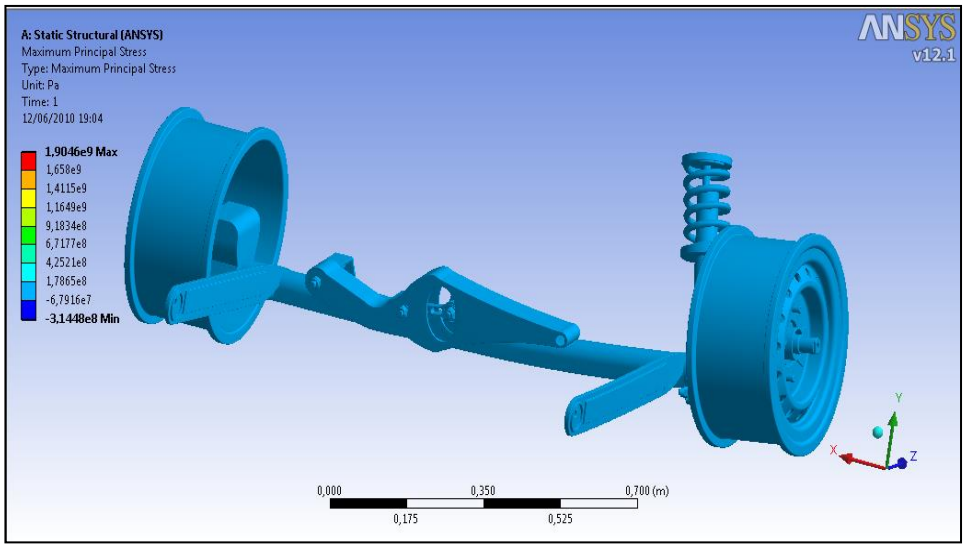


Fig. 4.16. Esfuerzo Máximo de Suspensión Posterior utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

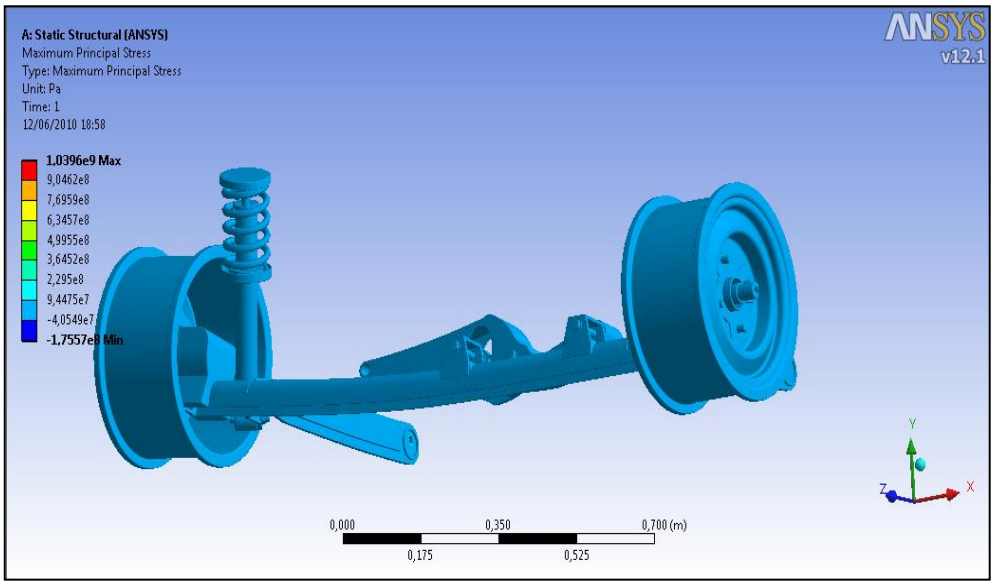


Fig. 4.17. Esfuerzo Máximo de Suspensión Posterior utilizado el aro 15".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

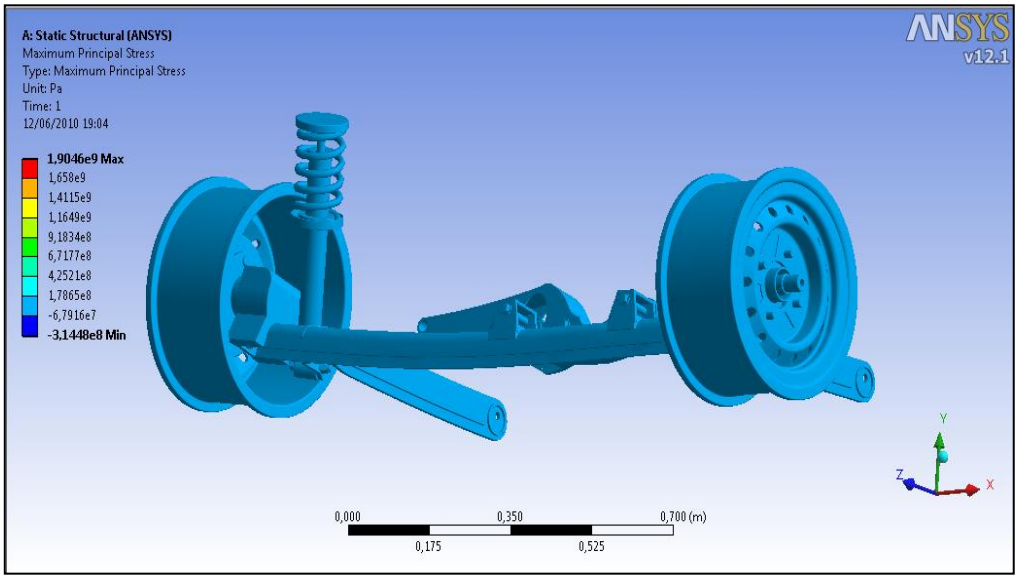


Fig. 4.18. Esfuerzo Máximo de Suspensión Posterior utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.4 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN SISTEMA DE DIRECCIÓN.

La fuerza se aplica sobre la cremallera para hacer girar las ruedas, su valor es de 11,52 (N). Al hacer el análisis de esfuerzos se desprecia las pérdidas de presión que existe, debido al fluido hidráulico y a sus conductos. Ver Fig. 4.19.

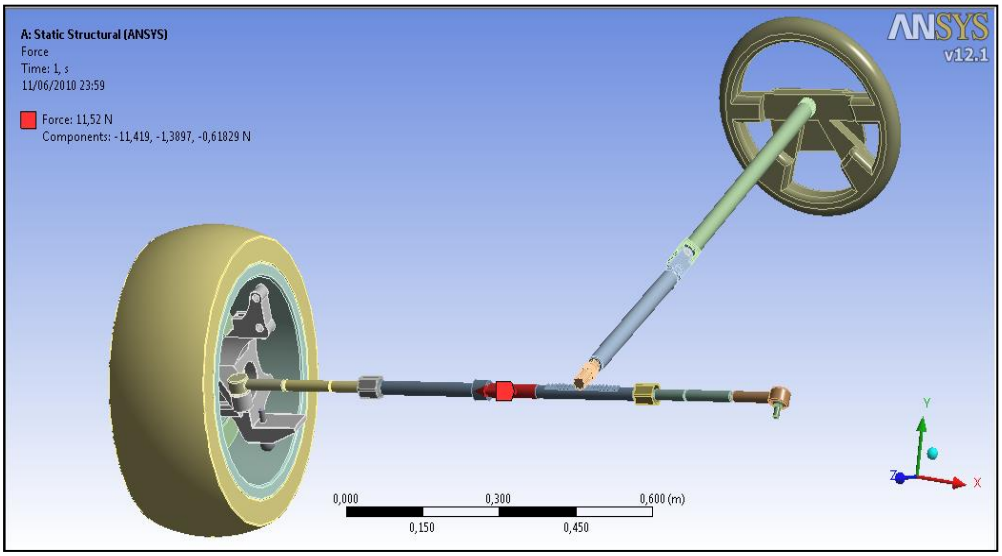


Fig. 4.19. Fuerzas y Soportes de Dirección".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.4.1 <u>Comparación y análisis de deformaciones y esfuerzos máximos, en el conjunto de dirección utilizando el aro 15" y el aro 16"</u>

4.4.1.1 <u>*Deformación.-*</u> Al comparar las figuras 4.20 y 4.21, obtenida utilizando el aro 15" y el aro 16", se puede observar que existe una variación de la deformación máxima debido a que el conjunto de dirección tiende a pandearse por causa del aumento del dímetro del aro, el cual origina la aparición de un ángulo (β).

Las deformaciones al igual que en la suspensión se analizan en un intervalo de 1seg de tiempo, con la finalidad de facilitar el cálculo computarizado, debido a que un aumento en el intervalo del tiempo de análisis, requiere una mayor de memoria y velocidad de la máquina.

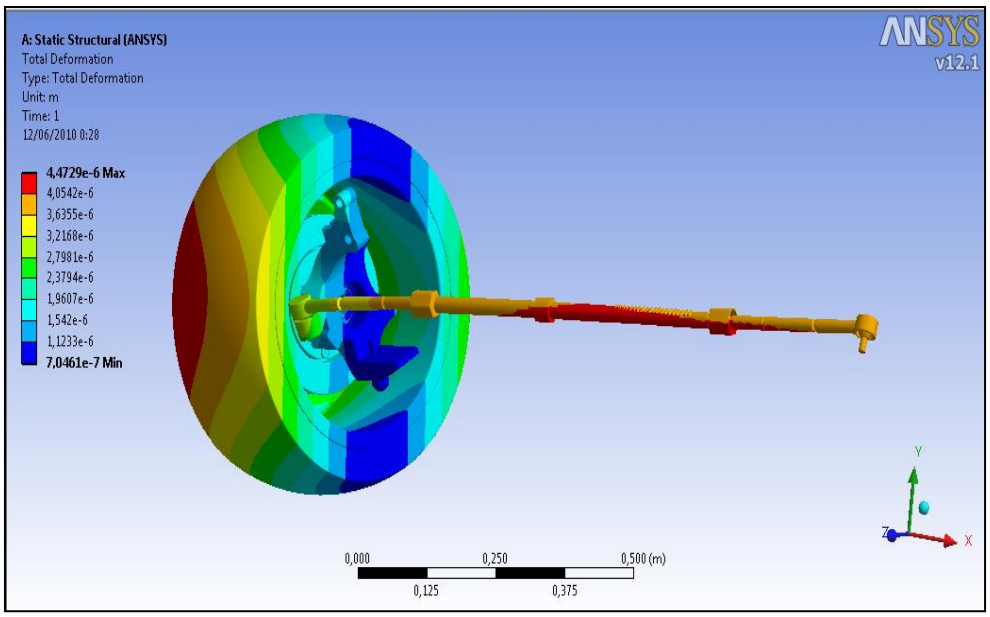
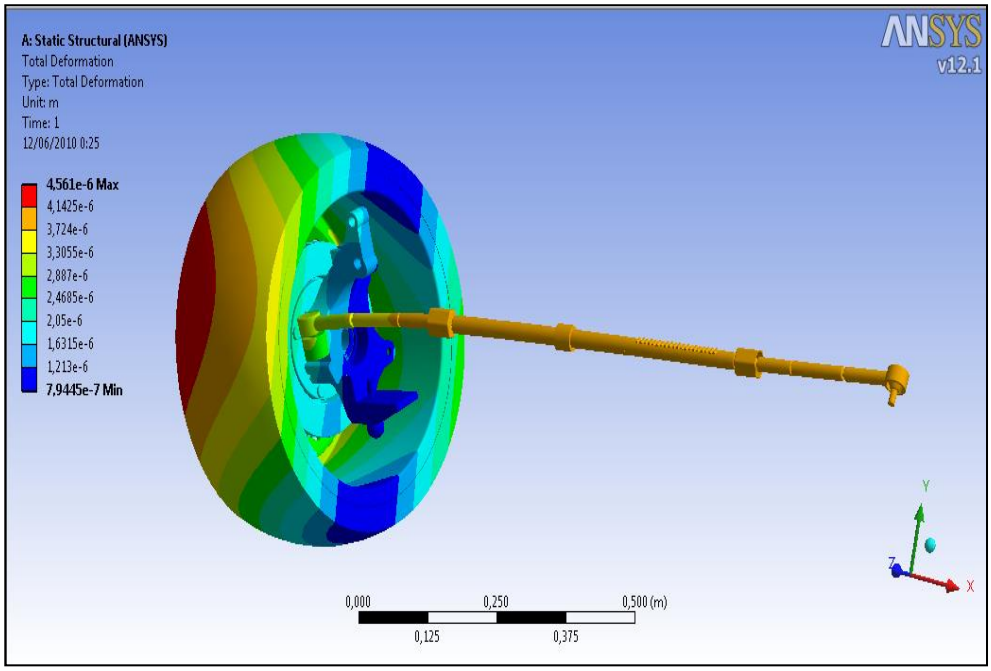


Fig. 4.20. Deformación Máximo de Dirección utilizado el aro 15".

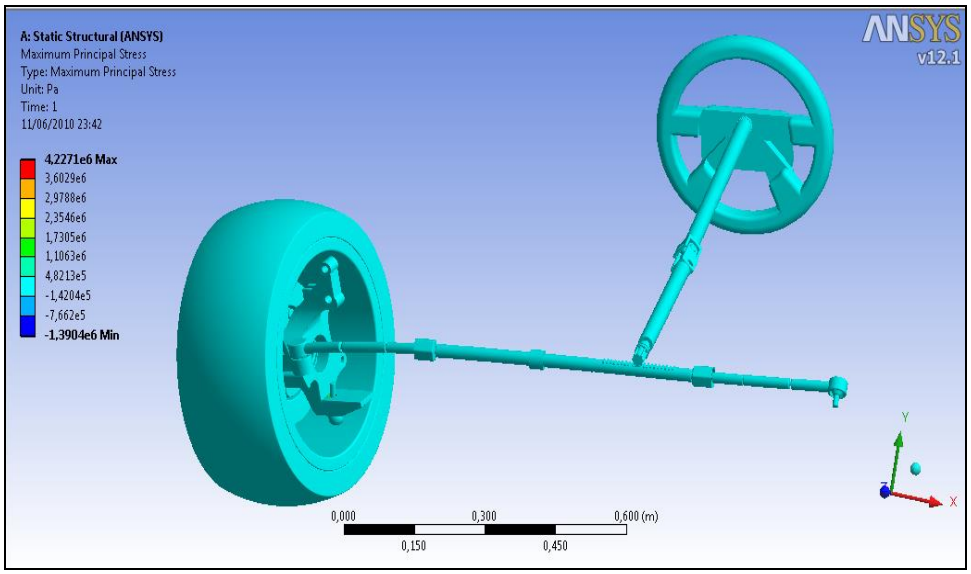
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



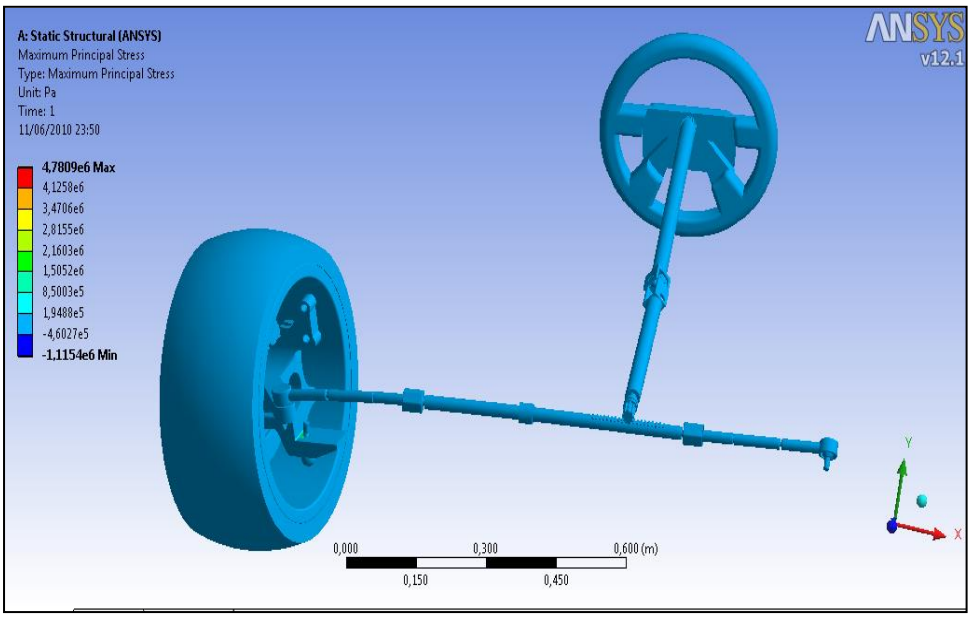
4.21. Deformación Máximo de Dirección utilizado el aro 16".

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

4.4.1.2. *Esfuerzo Máximo*.- En las figuras 4.22 y 4.23, se observa que el esfuerzo máximo aumenta cuando se utiliza el aro 16"; pues al igual que en las deformaciones y esfuerzos obtenidos en la suspensión delantera y posterior; en la dirección los esfuerzos mayores son ocasionados por el aumento del diámetro del aro. Por lo tanto los elementos mecánicos de la dirección que se encuentran sujetos a esfuerzos mayores son las Rótulas de Dirección y Suspensión.



4.22. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 15".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.



4.23. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 16".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *<u>Rótulas de Suspensión Delantera.-</u>* Si comparamos las Fig. 4.24 y 4.25, se observa que existe un incremento de esfuerzos cuando se reemplaza el aro 15" por el aro 16"en el análisis de la dirección; es decir que en las rótulas de suspensión se suman los esfuerzos producidos en la suspensión delantera junto con los esfuerzos producidos en la dirección.
-

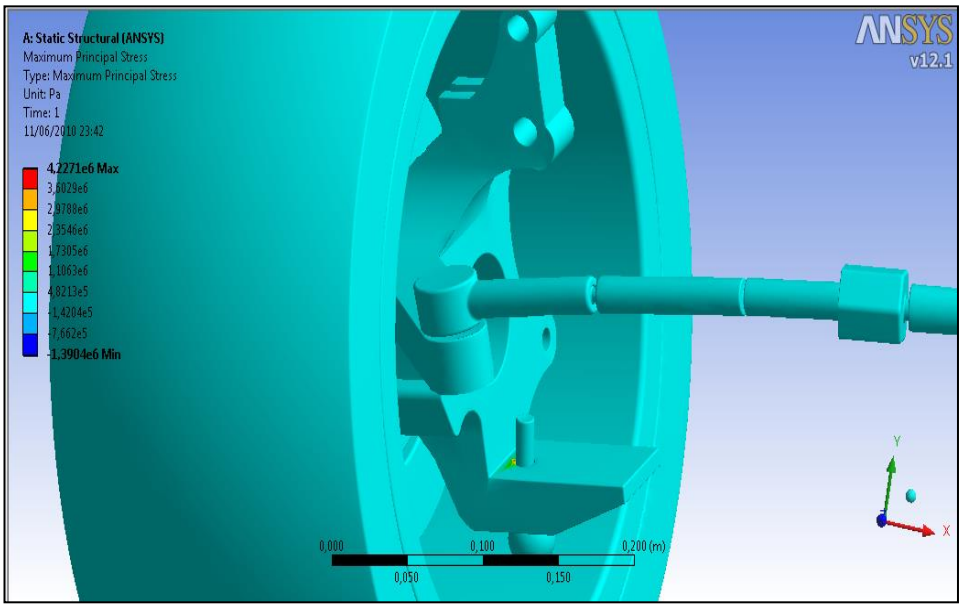


Fig. 4.24. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 15".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

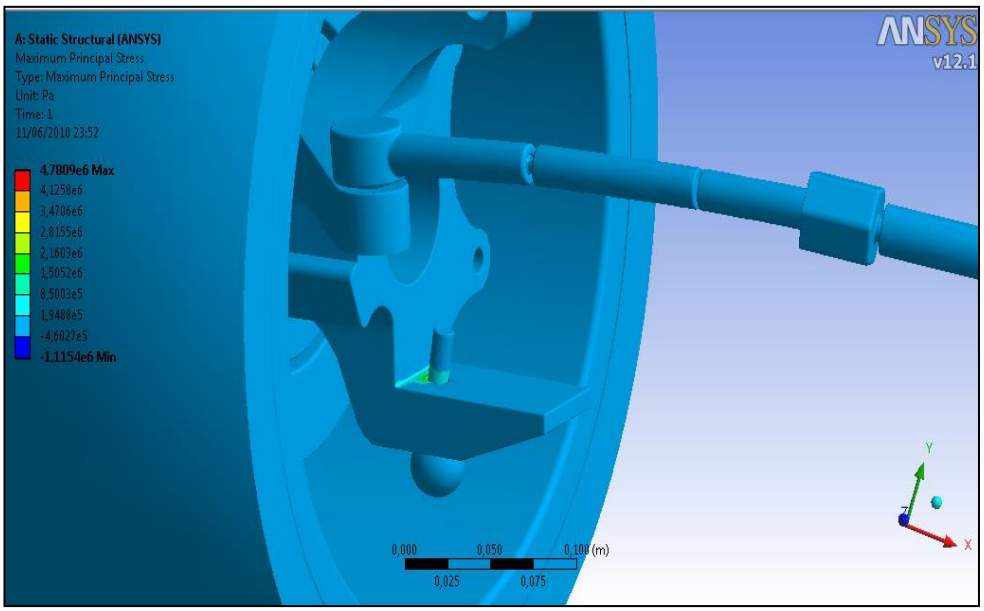


Fig. 4.25. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 16”.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

- *Rótulas de Dirección.-* Este elemento es afectado de manera directa puesto que se somete a una mayor tensión y rozamiento cuando se utiliza el aro 16”. Ver Fig. 4.26 y 4.27.

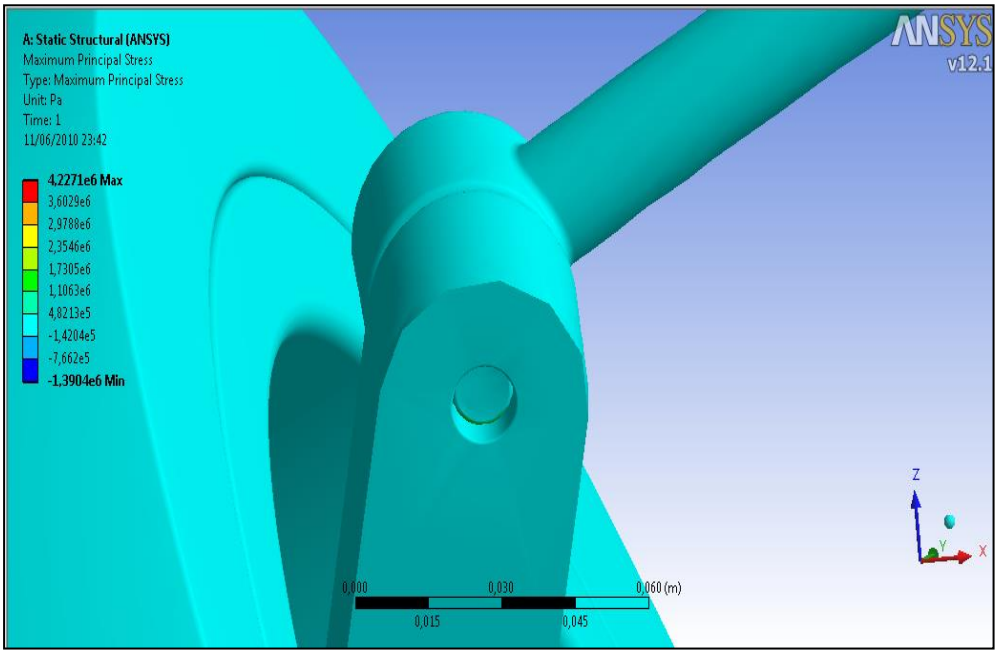


Fig. 4.26. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 15”.

FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

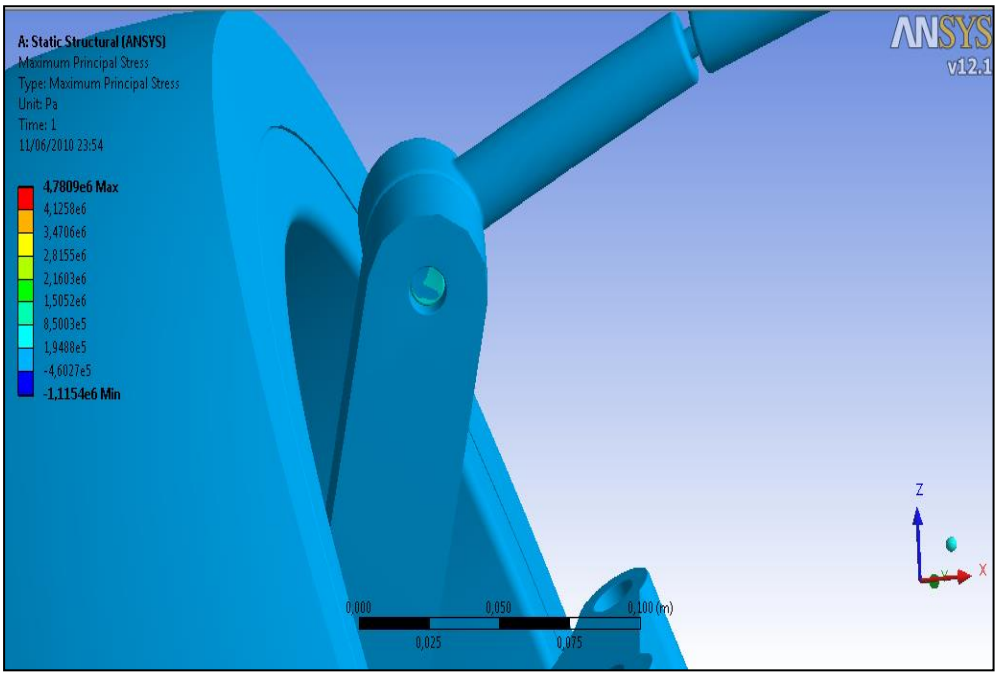


Fig. 4.27. Esfuerzo Máximo de Dirección utilizado el aro 16".
FUENTE: Autores: Álvaro Rodríguez C, Santiago Urgilés V.

5

VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

5.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Cuando se compara los esfuerzos máximos producidos por el aro 15" y el aro 16" respectivamente; se obtienen esfuerzos mayores cuando se utiliza el aro 16", produciendo una fatiga mayor en los elementos mecánicos de suspensión y dirección; aunque los efectos perjudiciales no se pueden observar de manera inmediata, sino con el transcurso del tiempo.

- El factor de seguridad es un aspecto importante para que los cambios en las deformaciones y los esfuerzos no se puedan notar instantáneamente al reemplazar el aro 15" por el aro 16", debido a que el factor de seguridad de diseño y construcción de los elementos mecánicos de un vehículo es de 8, razón por la cual los efectos perjudiciales se observarán con el paso del tiempo.

- Al reemplazar el aro 15" por el aro 16", disminuye la vida útil de los elementos mecánicos que componen la dirección y la suspensión del vehículo, debido a la fatiga en los materiales, en los que se observan daños en los elementos mecánicos con el transcurso del tiempo.

- Existe una variación de esfuerzos muy grande en los elementos, cuando se compara el aro 15" con el aro 16", así:
  a. Suspensión Delantera: plato de suspensión, muñón de suspensión, rótulas de suspensión, muelles, miembro de la suspensión, bujes y pernos.
  b. Suspensión Posterior: muelles, barra de torsión.

c. Dirección: rótulas de dirección, rótula exterior de la barra de ajuste y barra de ajuste.

5.1.1. Resultados de Suspensión Delantera

- Al reemplazar el aro 15” por el aro 16”, aparece un ángulo (θ) en la suspensión y un ángulo (β) en la dirección, que origina que la alineación de los elementos mecánicos varíen su alineación y posición original, debido al incremento del diámetro del aro. Esto ocasiona una mayor deformación y genera esfuerzos mayores en los elementos mecánicos.

5.1.2. Resultados de Suspensión Posterior

- Cuando se reemplaza el aro 15” por el aro 16”, se observa un incremento de esfuerzos en el aro 16” haciendo que aumente la fatiga en los materiales, y ocasionando la disminución de la vida útil de los elementos mecánicos con el transcurso del tiempo.

5.1.3. Resultados de Dirección.

- Los elementos mecánicos que componen la dirección están sometidos a un cambio de alineación de los elementos por la aparición del ángulo (θ), esto ocurre cuando se incrementa el diámetro del aro 15” al del aro 16”; que genera esfuerzos mayores, los mismos que no son notorios de manera inmediata debido al factor de seguridad de los elementos, sin embargo con el trascurso del tiempo se podrán observar.

5.2 CONCLUSIONES

- Este estudio nos brinda el conocimiento del diseño de la suspensión y dirección del vehículo Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3; y nos permite admirar la tecnología e ingeniería que los fabricantes de vehículos poseen para poder diseñar los elementos de suspensión y dirección de un vehículo.
- La simulación dinámica de los sistemas de suspensión y dirección del vehículo Nissan Sentra B15, modelo 2003, 1.800cm^3, crea fatiga en los elementos mecánicos cuando se reemplaza el aro 15" por el aro 16".
- El análisis de esfuerzos en la suspensión y dirección, nos permitió obtener los valores exactos de los esfuerzos que se dan cuando utilizamos el aro 15" y el aro 16", comparándolos entre si; y de de esta manera se pudo comprobar el incremento de esfuerzos en la suspensión y dirección cuando se reemplaza el aro 15" por el aro 16".
- En el estudio de los esfuerzos se despreciaron algunos elementos que componen la suspensión y dirección, porque son elementos que poseen una estructura y forma compleja, además no producen cambios en los resultados en el cálculo de esfuerzos que se mencionan en el capítulo 3.
- La simulación dinámica en el software INVENTOR AUTODESK 2010, junto con el cálculo de esfuerzos de los sistemas de suspensión y dirección en el software Ansys 12.1, tuvo un nivel de dificultad alto, porque para obtener las condiciones adecuadas para el funcionamiento y movimiento adecuado de los mecanismos se necesita realizar pruebas de los movimientos y verificar que los mismos den resultados lógicos en el software.
- El desarrollo del estudio fue muy interesante y complejo, demandó de mucho tiempo para delinear los elementos mecánicos, ensamblarlos y luego comprobarlos por medio de fórmulas matemáticas, que nos permitió emitir y analizar los resultados de simulación dinámica y estática.

- El estudio en la parte de software se realizó en una computadora con procesador Intel (R) Core (TM)2 Duo T6500@2.10GH, capacidad de disco de 300GB, con memoria de 4GB, sistema operativo de 64 bits.

5.3 RECOMENDACIONES

- A la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA:

    - Fomentar la realización y estudio de proyectos de simulación mediante software para el análisis de los diferentes sistemas que posee un vehículo, independientemente de la marca y modelo.

    - Especializar a sus egresados en el manejo de software de diseño automotriz.

    - Financiar, mediante becas proyectos que puedan simular las condiciones reales de funcionamiento de los sistemas del vehículo y su comprobación mediante software.

5.4 BIBLIOGRAFÍA

- *LIBROS:*

[1] ALONSO, José Manuel, *Técnicas del Automóvil/Chasis*, 10ma. Edición, Editorial Thompson Paraninfo, Madrid, 2002.

[2] APARICIO, Francisco, *Teoría de los Vehículos Automóviles*, Edición copias, Editorial Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid. 2001.

[3] FERDINAND BEER, Jonhston, *Resistencia de Materiales*, Editorial Mcgrawn Hill, Bogotá, 1981.

[4] LUQUE, Pablo, *Ingeniería del Automóvil/Sistemas y Comportamiento Dinámico*, Edición copias, Editorial Thompson Paraninfo, España, 2004.

[5] FERDINAND, Singer, *Resistencia de Materiales*, 2da. Edición, Editorial Tierra Firme, México, 1982.

[6] TIMOSHENKO, Stephen, *Elementos de Materiales*, Barcelona, 1979.

[7] MOTT, Robert L, *Diseño de Elementos de Maquinas*, 4ta. Edición, Editorial Pearson Educación, México, 2006.

[8] GONZALEZ, Tomas, *Circuito de Fluidos. Suspension y Direccion.* 7ma. Edición, Editorial Editex S. A.,

[9] Manual de Reparación de Nissan Sentra B15.

- *WEB:*

[1] http://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico.

[2]http://www.hondanation.com.mx/foro/viewtopic.php?f=28&t=291.

[3] http://www.circulaseguro.com/2007/09/26-como-leer-un-neumatico.

[4]http://www.todoautos.com.pe/f20/cambiar-offset-negativo-positivo-16032/index2.html

[5] http://curvasrectas.com/2007/10/31/el-sistema-de-suspension-2/

[6] http://www.sabelotodo.org/automovil/suspension.html

[7]http://www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamientodelamortiguador.aspx

[8] http://iescalam.educa.aragon.es/Tecnolog/Gimeno/pagina_de_suspension.htm

[9] http://www.mecanicavirtual.org/suspension1.htm

[10] http://www.km77.com/tecnica/bastidor/clasificacion-suspension/g01.asp

[11] http://www.carbibles.com/suspension_bible.html

[12] http://www.freewebs.com/ingeniero1948/informacinacadmica.htm

[13] http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento

[14] http://prof.usb.ve/ecasanov/descargas/MC2415/Practica_amortiguador.pdf

[15]http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-detecnologiasiv/material-didactico/neumaticos.pdf

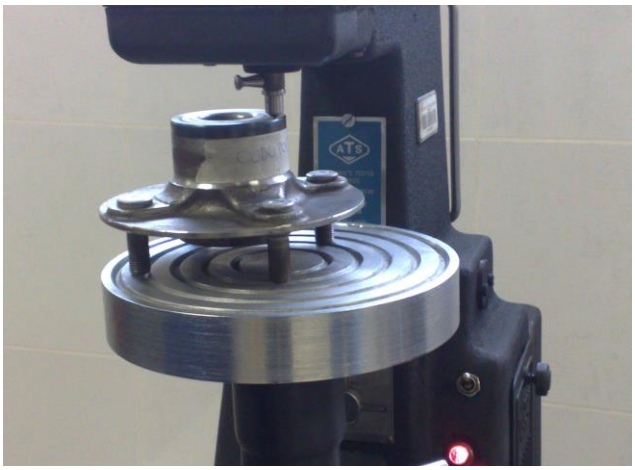
5.5 ANEXOS

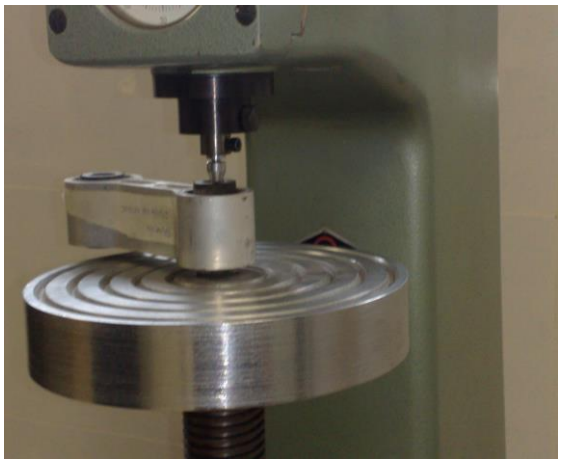
ANEXO 5.5.1: RECONOCIMIENTO DEL VEHÍCULO

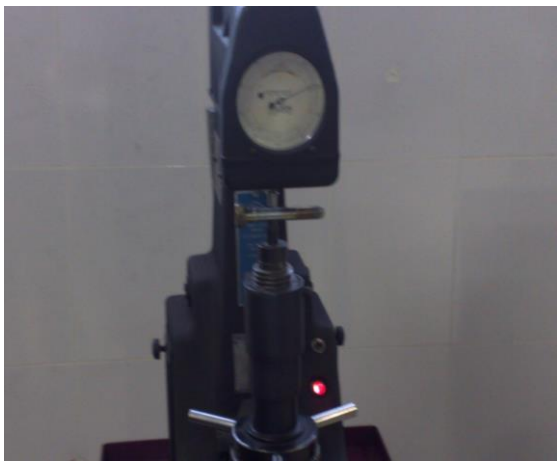
ANEXO 5.5.2: DESMONTAJE DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN

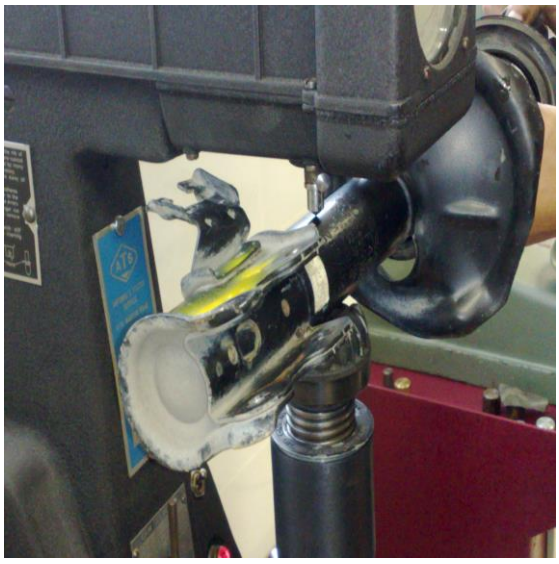
ANEXO 5.5.3: MEDICIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

ANEXO 5.5.4: PRUEBAS DE ENSAYO









ANEXO 5.5.5: MONTAJE DEL VEHÍCULO