



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**Guía para la sustitución de suspensión de ballestas por
neumática en vehículos de carga liviana.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

Autores

EDUARDO GUSTAVO ARTEAGA SÁNCHEZ

DIEGO ESTEBAN ÁLVAREZ CORONEL

Director

FREDDY SANTIAGO PESANTEZ PALOMEQUE

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Paúl y Ximena por el ejemplo, la motivación y todos los recursos entregados para lograr mis metas, a mi esposa Fernanda y mi hijo Gustavo por el apoyo, el tiempo y paciencia que han cedido para que este trabajo haya sido culminado.

Eduardo Arteaga Sánchez.

Dedico este trabajo a mi esposa Ximena por su respaldo incondicional al caminar juntos, a mis padres Diego y Mima por nunca dejar de creer, ser mi apoyo y mi guía en todos los caminos, a mis hijos Juan Diego y Tais motivo de todo sacrificio, a Eduardo y Miriam por su ayuda en diferentes momentos y en especial a Octavio, Inés, Mamina y Talita.

Diego Álvarez Coronel.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad del Azuay, por los conocimientos compartidos hacia nosotros, a sus docentes, en especial al Ing. Freddy Pesantez, quien encaminó nuestro trabajo, al Sr Diego Álvarez Cordero por su apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto. Igualmente al Ing. Edgar Acevedo y el personal Técnico de Consorcio Danton por la apertura y colaboración para la realización de las pruebas en el vehículo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	pag.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN A LA SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO ..	3
1.1 Principios físicos.....	3
1.1.1 Elasticidad.....	3
1.1.1.1 Constante de resorte “k”.....	4
1.1.2 Vibración.....	5
1.1.2.1 Acciones directas.....	5
1.1.2.2 Acciones indirectas.....	6
1.1.3 Amortiguamiento.....	9
1.1.4 Oscilaciones Amortiguadas.....	9
1.1.5 Oscilaciones forzadas.....	10
1.1.6 Resonancia.....	11
1.1.7 La Suspensión en el Vehículo.....	12
1.2 Elementos constructivos de la suspensión.....	16
1.2.1 Elementos elásticos.....	16
1.2.1.1 Los muelles helicoidales.....	16
1.2.1.2 Las ballestas.....	17

1.2.1.3	Las barras de torsión.....	18
1.2.1.4	Los cojines de aire	19
1.2.2	Elementos amortiguadores	20
1.2.2.1	Amortiguadores hidráulicos convencionales.....	20
1.2.2.1.1	Amortiguador mono-tubo.....	21
1.2.2.1.2	Amortiguador bi-tubo.....	22
1.2.2.2	Amortiguadores de frecuencia selectiva.....	22
1.2.2.3	Amortiguador reológico.....	23
1.3	Tipos de suspensión.....	24
1.3.1	Clasificación de las suspensiones según su estructura.....	25
1.3.1.1	Suspensión independiente.....	25
1.3.1.2	Suspensión de eje rígido.....	26
1.3.1.3	Suspensión Semi-Independiente:.....	27
1.3.2	Clasificación de las suspensiones según su funcionamiento.....	28
1.3.2.1	Suspensión pasiva.....	28
1.3.2.2	Suspensión activa	29
1.3.2.3	Suspensión semi-activa	30
1.4	Sistema de Suspensión de ballestas	32
1.4.1	Constitución y funcionamiento del sistema.....	34
1.4.2	Mantenimiento del sistema.....	36
1.5	La suspensión neumática	36
1.5.1	Constitución y funcionamiento del sistema.....	38
1.5.2	Mantenimiento del sistema.....	39

CAPITULO 2: DISEÑO DEL PROYECTO

2.1	Diseño de partes mecánicas.....	41
2.1.1	Requerimientos.....	41
2.1.1.1	Tipo de Vehículo	41
2.1.1.2	Características iniciales del vehículo.....	41
2.1.1.3	Diseño para nuevo sistema de suspensión.....	43
2.1.2	Determinación de cargas	44
2.1.2.1	Diagrama de cuerpo libre (DCL).....	45

2.1.2.2	Colocación de cargas	46
2.1.2.2.1	Determinación del peso y su distribución sobre los ejes	46
2.1.2.2.2	Determinación de fuerza variable	47
2.1.2.3	Determinación de puntos críticos de las piezas del sistema.	51
2.1.3	Cálculo de datos en software.	51
2.1.3.1	Análisis de barra tirante mediante software	52
2.1.3.1.1	Resultados obtenidos de la Barra Tirante	55
2.1.3.2	Análisis de Chasis y conjunto armado.....	57
2.1.3.2.1	Resultados obtenidos del conjunto armado.	58
2.1.3.3	Resultados.....	60
2.1.4	Procesos de Trabajo.....	62
2.2	Diseño neumático	62
2.2.1	Requerimientos	63
2.2.2	Determinación de cargas	64
2.2.3	Criterio para selección de elementos neumáticos.....	64
2.2.3.1	Selección de fuelles neumáticos y compresor	64
2.2.3.2	Selección de válvulas de control	67
2.2.3.3	Selección de cañerías.....	68
2.2.4	Diagrama neumático.....	71
2.3	Diseño eléctrico	72
2.3.1	Diagrama Eléctrico	74
CAPITULO 3: ADAPTACIÓN DEL SISTEMA.....		76
3.1	Desarmado del sistema de ballestas (original).	76
3.2	Ensamble de sistema nuevo	77
3.2.1	Armado de parte mecánica	77
3.2.2	Armado del circuito neumático	78
3.2.3	Armado del circuito eléctrico	79
3.2.4	Comprobación y ajuste	80
3.2.5	Problemas, causas y soluciones	80
3.3	Funcionamiento del sistema.	81
3.3.1	Funcionamiento por primera vez.....	81

3.3.2	Funcionamiento al colocar carga.....	83
3.3.3	Funcionamiento cuando se quita carga.....	83

CAPITULO 4: EVALUACIÓN Y COMPROBACIÓN..... 85

4.1	Descripción de la prueba	86
4.2	Resultados de Pruebas	88
4.2.1	Eje Frontal	88
4.2.2	Eje Posterior	89
4.2.3	Medición de presión en el sistema.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		91
BIBLIOGRAFÍA.....		92
ANEXOS.....		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Frecuencias características de movimientos vibratorios en vehículos y sus efectos.	8
Tabla 1.2: Efecto sobre el suministro de energía en un sistema oscilatorio forzado.	11
Tabla 1.3: Clasificación y características básicas de los amortiguadores.	24
Tabla 1.4: Usos de los amortiguadores según el vehículo.	24
Tabla 1.5: Clasificación y uso de las suspensiones.	27
Tabla 1.6: Clasificación y uso de las suspensiones.	31
Tabla 1.7: Efectos de la carga sobre la suspensión de ballestas en un vehículo.	33
Tabla 1.8: Efectos de la carga sobre la suspensión neumática en un vehículo.	37
Tabla 2.1: Datos iniciales del vehículo.	43
Tabla 2.2: Relaciones de transmisión.	44
Tabla 2.3: Relación de peso entre ejes con vehículo sin carga.	46
Tabla 2.4: Relación de peso entre ejes con vehículo cargado.	46
Tabla 2.5: Distribución de carga por eje.	47
Tabla 2.6: Peso máximo que soporta cada eje.	47
Tabla 2.7: Calculo de fuerza en la rueda.	49
Tabla 2.8: Propiedades mecánicas de materiales.	52
Tabla 2.9: Resultados obtenidos para el elemento Barra Tirante.	56
Tabla 2.10: Resultados obtenidos para el conjunto armado.	60
Tabla 2.11 Tipos de fuelles neumáticos por su geometría.	65
Tabla 2.12 Características de los fuelles neumáticos de lóbulo cilíndrico.	66
Tabla 2.13 Compresores y sus características.	67
Tabla 2.14: Clasificación de los tipos de cañerías neumáticas.	69
Tabla 2.15 Norma DOT1913 para cañerías neumáticas utilizada en la instalación del sistema en este trabajo.	70
Tabla 2.16 Esquemas y funcionamiento del circuito neumático de suspensión.	71
Tabla 2.17 Diagrama eléctrico en fase de carga y descarga.	74
Tabla 3.1 Proceso de desarmado de sistema de suspensión de ballestas.	76
Tabla 3.2 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática – parte mecánica.	77

Tabla 3.3 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática y del sistema de control.	79
Tabla 3.4 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática – parte eléctrica.	79
Tabla 3.5 Cuadro de fallas, causas y soluciones para el sistema de suspensión neumática.	81
Tabla 4.1 Comparativo de resultados obtenidos en el eje frontal con los dos sistemas.	88
Tabla 4.2 Comparativo de resultados obtenidos en el eje posterior con los dos sistemas.	89
Tabla 4.3 Medición de presión del sistema con diferente carga.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Curva Esfuerzo-Deformación.....	4
Figura 1.2: Diagrama de solido libre y relación fuerza deformación.	4
Figura 1.3: Límite de capacidad reducida por fatiga en vibraciones verticales	7
Figura 1.4: Límite de capacidad reducida por fatiga en vibraciones horizontales.....	7
Figura 1.5: Tipos de amortiguamiento.	10
Figura 1.6: Oscilaciones amortiguadas y resonancia.	11
Figura 1.7: Esquema de las masas en un vehículo.	12
Figura 1.8: Modelo de un grado de libertad para representar la suspensión de un cuarto de vehículo.	12
Figura 1.9: Desplazamiento vertical de la masa suspendida $x(t)$, considerando un modelo simple de grado de libertad con $f_n= 1\text{Hz}$ y $\xi=0,30$	13
Figura 1.10: Modelo de cuatro grados de libertad de un sistema de suspensión de eje rígido.	14
Figura 1.11: Recorrido y medidas de muelles helicoidales.....	17
Figura 1.12: Curvas características de compresión de los muelles helicoidales.....	17
Figura 1.13: Disposición de las ballestas en la suspensión posterior de un vehículo.18	18
Figura 1.14: Disposición de la barra de torsión en la suspensión de un vehículo.....	19
Figura 1.15: Fuelle neumático.....	19
Figura 1.16: Cojines neumáticos.....	20
Figura 1.17: Fases de los amortiguadores hidráulicos.	21
Figura 1.18: Amortiguador mono-tubo.	21
Figura: 1.19: Amortiguador bi-tubo.....	22
Figura 1.20: Válvula FSD en el interior de un amortiguador hidráulico.	23
Figura 1.21: Amortiguador de fluido reológico.	23
Figura 1.22: Suspensión Mc. Pherson.....	25
Figura 1.23: Suspensión por trapecio articulado.....	26
Figura 1.24: Suspensión de eje rígido.	26
Figura 1.25 Suspensión de brazos arrastrados.	27
Figura 1.26: Esquema de suspensión pasiva en un cuarto de vehículo.....	28
Figura 1.27: Esquema de control de una suspensión activa en un cuarto de vehículo.	29

Figura 1.28: Esquema de las masas de un vehículo con suspensión activa para un cuarto de vehículo.	30
Figura 1.29: Comportamiento de los sistemas de suspensión pasiva y activa.	32
Figura 1.30: Conformación del grupo de ballestas en el vehículo.	34
Figura 1.31: Elementos constitutivos de un conjunto de ballestas.	35
Figura 1.32: Ensamble del conjunto de ballestas en el vehículo.	35
Figura 1.33: Colocación del paquete en el vehículo.	36
Figura 1.34: Esquema de suspensión neumática en un cuarto de vehículo con un grado de libertad.	37
Figura 1.35: Suspensión neumática, parte mecánica.	38
Figura 1.36: Suspensión neumática, parte neumática.	38
Figura 2.1 Puntos de unión entre balde, bastidor, ballesta.	42
Figura 2.2 Diagrama de transmisión del movimiento.	44
Figura 2.3 Diagrama de cuerpo libre del sistema original.	45
Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del sistema nuevo.	45
Figura 2.5 Ubicación de las cargas en el sistema.	50
Figura 2.6 Ubicación de las cargas en el sistema.	50
Figura 2.7 Geometría de Barra Tirante luego de la importación.	52
Figura 2.8 Mallado de la pieza Barra Tirante.	53
Figura 2.9 Detalle de la malla aplicada en la Barra Tirante.	53
Figura 2.10 Detalle de una carga colocada sobre la pieza Barra Tirante.	54
Figura 2.11 Módulo de resolución de incógnitas.	54
Figura 2.12 Resultado obtenido de esfuerzo cortante.	55
Figura 2.13 Resultado obtenido para deformación total de la pieza.	55
Figura 2.14 Resultado obtenido para esfuerzo de tensión.	56
Figura 2.15 Resultado obtenido para factor de seguridad en la pieza.	56
Figura 2.16 Mallado de conjunto armado Chasis-Suspensión Posterior.	57
Figura 2.17 Detalle del mallado utilizado en el conjunto armado Chasis-Suspensión Posterior.	57
Figura 2.18 Colocación de cargas sobre el conjunto a analizar.	58
Figura 2.19 Resultado obtenido para deformación total.	58
Figura 2.20 Resultado obtenido de esfuerzo cortante.	59
Figura 2.21 Factor de seguridad obtenido para el conjunto completo.	59
Figura 2.22 Factor de seguridad obtenido para el conjunto completo.	60

Figura 2.23 Dibujos de barra tirante para construcción.	61
Figura 2.24 Dibujos de base superior para construcción.	61
Figura 2.25 Esquema básico de un sistema neumático.	63
Figura 2.26 Cañerías disponibles en el mercado local.	69
Figura 2.27: Cañerías utilizada para la instalación del sistema neumático en este trabajo.	70
Figura 2.28 Sensor EMHS.	72
Figura 2.29 Ubicación del sensor e imán para control de altura.	73
Figura 2.30 Esquema de circuito eléctrico y electroválvula.	74
Figura 3.1Caja de sistema de alimentación y control neumático.	78
Figura 3.2 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento de carga del sistema.	82
Figura 3.3 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento en reposo del sistema.	83
Figura 3.4 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento en descarga del sistema.	84
Figura 4.1 Vehículo en el banco de pruebas para suspensión de Consorcio Danton, Línea 3.	85
Figura 4.2 Prueba de suspensión de sistema de ballestas sin carga.	86
Figura 4.3 Preparación para prueba de suspensión de sistema de ballestas con carga.	87
Figura 4.4 Prueba de suspensión de sistema neumático con carga.	87

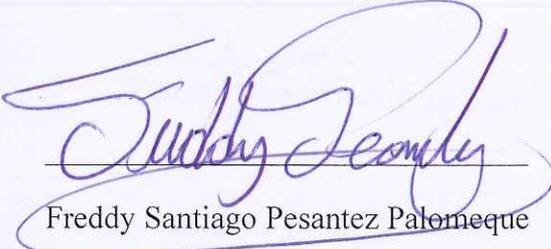
GUÍA PARA LA SUSTITUCIÓN DE SUSPENSIÓN DE BALLESTAS POR NEUMÁTICA EN VEHÍCULOS DE CARGA LIVIANA.

RESUMEN

Se abordan los tipos de suspensiones y generalidades enfatizando en los sistemas de ballestas y neumáticos, se diseñan los elementos necesarios para realizar el cambio de las ballestas por el neumático, dando la posibilidad de adaptación de este último en cualquier vehículo de carga liviana.

Mediante hojas de trabajo se realiza una guía para la construcción e instalación de los componentes en el vehículo, que luego es sometido a pruebas de funcionamiento en un banco de suspensiones, para obtener los datos de eficiencia que se comparan mostrando las ventajas y desventajas entre los dos sistemas.

Palabras Clave: Adaptación – Diseño mecánico – Suspensiones – Ballestas – Fuelles Neumáticos.



Freddy Santiago Pesantez Palomeque

Director de Tesis



Diego Francisco Torres Moscoso

Director de Escuela



Eduardo Gustavo Arteaga Sánchez



Diego Esteban Álvarez Coronel

Autores

GUIDE FOR REPLACING LEAF-SPRING SUSPENSION BY PNEUMATIC SUSPENSION IN LIGHT DUTY VEHICLES

ABSTRACT

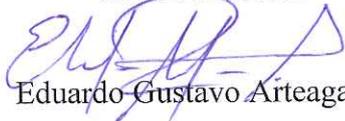
This research paper deals with the types of suspension systems and generalities, giving special emphasis to leaf-spring and pneumatic systems. The elements necessary to make the change from leaf-springs to tires are designed, giving the possibility of its adaptation into any light load vehicle.

Through the use of worksheets, a guide for the construction and installation of the components in the vehicle is performed. Then, this undergoes tests runs in a suspension bench so as to obtain efficiency data that is compared by showing the advantages and disadvantages between the two systems.

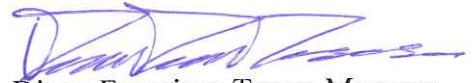
Key Words: Adaptation, Mechanical Design, Suspension Systems, Leaf Springs, Air Springs.



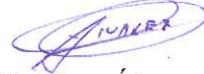
Freddy Santiago Pesantez Palomeque
Thesis Director



Eduardo Gustavo Arteaga Sánchez



Diego Francisco Torres Moscoso
School Director



Diego Esteban Álvarez Coronel

Authors



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Arteaga Sánchez Eduardo Gustavo

Álvarez Coronel Diego Esteban

Trabajo de Graduación

Ing. Freddy Santiago Pesantez Palomeque

Enero, 2016

GUÍA PARA LA SUSTITUCIÓN DE SUSPENSIÓN DE BALLESTAS POR NEUMÁTICA EN VEHÍCULOS DE CARGA LIVIANA

INTRODUCCIÓN

El sistema de suspensión es el encargado de mantener el contacto entre las ruedas y el terreno brindando la estabilidad necesaria y el confort de sus ocupantes, éste debe ser diseñado de tal forma que al realizar su trabajo las oscilaciones del vehículo estén dentro de los parámetros establecidos por la norma ISO 2631 para no provocar efectos negativos sobre el cuerpo humano como mareos o fatiga.

Las suspensiones han evolucionado desde la época de los vehículos con tracción animal (carruajes) hasta la actualidad, incorporando además de elementos amortiguadores, que disipan la energía acumulada, elementos que pueden llegar a controlar y cambiar la configuración de todo el sistema a través del uso de electrónica, neumática e hidráulica.

Los vehículos de carga liviana llevan en su eje posterior un sistema de suspensión no independiente, utilizando como elementos elásticos ballestas acompañadas de los amortiguadores, el sistema está diseñado y configurado para trabajar con carga, pero ante la ausencia de ella el comportamiento es el mismo provocando un menor rendimiento.

A través de diseño y procesos de trabajo se realiza una guía para construir las partes necesarias y realizar el cambio de dicho sistema de ballestas por uno neumático, con el fin de incrementar la eficiencia de la suspensión y mejorar la distribución del peso en el vehículo cuando este se encuentra en estado de carga y sin ella; para comprobarlo se efectúan pruebas en un banco de suspensiones, antes y después del cambio, estableciendo así las ventajas y mejoras.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN A LA SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO.

El sistema de suspensión se encuentra colocado entre la carrocería (masa suspendida) y las ruedas de un vehículo (masa semi-suspendida o no suspendida), éste es el encargado de mantener el contacto entre los neumáticos y el terreno brindando la estabilidad necesaria y al mismo tiempo el confort de sus ocupantes, dicho sistema utiliza elementos elásticos que trabajan conjuntamente con otros, amortiguadores, encargados de absorber y atenuar las oscilaciones generadas durante el funcionamiento de los elementos elásticos.

1.1 Principios físicos.

1.1.1 Elasticidad

La elasticidad es una propiedad física de los materiales que permite que éste vuelva a tomar su configuración original luego de haber sido deformado (Buddynas & Nissbett, 2008) por acción de una fuerza externa; siempre y cuando esta deformación no sobrepase el “límite elástico” del material, punto ubicado en la curva de “esfuerzo – deformación”, ya que en ese caso el material quedaría deformado permanentemente o se rompería si se llegase a superar su resistencia de fluencia. El límite elástico depende de cada material y estará dado por el “Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E)” que se obtiene a través de la “Ley de Hooke”:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [Pa]} \quad [1.1]$$

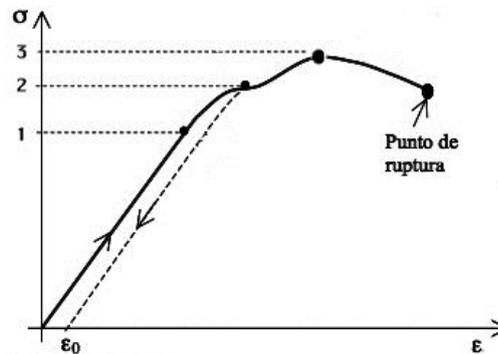
Donde:

E= Módulo de Elasticidad [Pa]

σ = Esfuerzo Normal [Pa]

ε = Deformación Unitaria [m/m]

Dicho módulo (E), define la pendiente de la curva “esfuerzo – deformación” hasta su límite de proporcionalidad, es decir, es una medida de la rigidez de cada material en su rango elástico.



1.- Límite de proporcionalidad / 2.- Límite elástico / 3.- Límite de fluencia

Figura 1.1: Curva Esfuerzo-Deformación.

Fuente: (Buddynas & Nissbett, 2008)

1.1.1.1 Constante de resorte “k”

Un resorte es un elemento mecánico que ejerce una fuerza cuando se deforma, es decir, es capaz de acumular energía. Si tenemos una viga de longitud “ l ” apoyada en sus extremos y ejercemos una fuerza transversal “ F ” que la flexione, ésta deflexión “ y ” es directamente proporcional a la fuerza F aplicada.

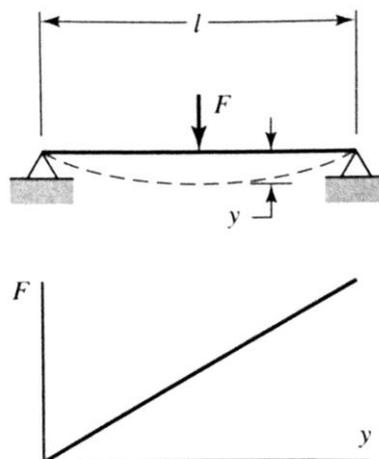


Figura 1.2: Diagrama de sólido libre y relación fuerza deformación.

Fuente: (Buddynas & Nissbett, 2008)

Si la relación general entre la fuerza “F” y la deflexión “y” se designa por la ecuación,

$$F = F(y) \quad [1.2]$$

Entonces la constante de resorte se define como,

$$k(y) = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta y} \right) \quad [1.3]$$

$$k(y) = \frac{dF}{dy} \quad [1.4]$$

Donde “y” debe medirse en la dirección y en el punto de aplicación de “F”.

Para los casos en donde el comportamiento de un resorte es lineal como en el de la figura 1.2, “k” es una constante, también llamada constante del resorte y en consecuencia la ecuación sería,

$$k = \frac{F}{y} \quad [1.5]$$

Esta constante variará dependiendo del material.

1.1.2 Vibración

La vibración es un movimiento repetido, muy corto y rápido alrededor de una posición de equilibrio, por ende tiene una amplitud, frecuencia, aceleración y sentido. En un vehículo se produce por la excitación de dicho movimiento a través de acciones directas o indirectas.

1.1.2.1 Acciones directas

Son generadas por elementos que se encuentran acoplados a la masa suspendida y transmiten la vibración que generan por su funcionamiento a dicha masa, éstas son de carácter periódico y pudiesen generar resonancia.

- Funcionamiento del motor.
- Funcionamiento de la transmisión.

1.1.2.2 Acciones indirectas

Se transmiten hacia la masa suspendida a través de la suspensión del vehículo por una acción sobre las masas semi-suspendidas; éstas son de carácter aleatorio cuando por ejemplo una de las llantas pasa sobre baches o periódicas cuando se generan por desequilibrios en las masas semi-suspendidas rotativas (las ruedas, rodillos, etc.).

El confort es un parámetro subjetivo ya que depende del grado de sensibilidad de cada persona, sin embargo, se han realizado estudios experimentales para determinar los límites de exposición a la vibración.

En 1974 la International Standard Organization (ISO) publicó su norma 2631 (utilizada en la actualidad) para su utilización tanto en transporte como en la industria, ésta constituye una guía general para definir la tolerancia humana a las vibraciones, y en ella se definen tres límites para el conjunto del cuerpo humano, abarcando un intervalo de frecuencias de 1 a 80 Hz. Estos límites son:

- **Límite de exposición:** Referido a valores por encima de los cuales existe riesgo para la salud. No debe ser sobrepasado excepto en casos excepcionales.
- **Límite de capacidad reducida por fatiga:** Expresa la frontera a partir de la cual se produce un decrecimiento de capacidades para la realización eficaz de un trabajo, como conducir un vehículo.
- **Límite de confort reducido:** En vehículos de transporte está relacionado con la posibilidad de realizar funciones como lectura, escritura, comer, etc.

A continuación las gráficas de exposición para límite de capacidad reducida por vibraciones verticales (figura 1.3) y vibraciones horizontales (figura 1.4) según la norma ISO2631.

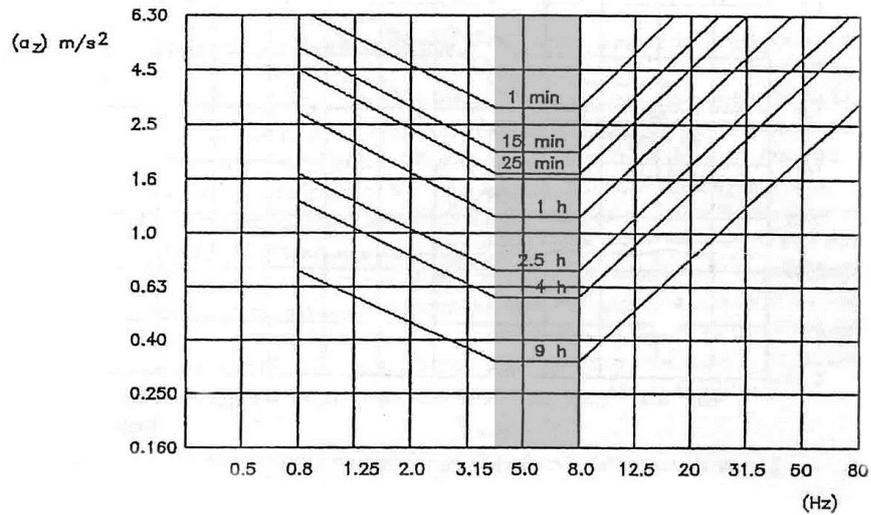


Figura 1.3: Límite de capacidad reducida por fatiga en vibraciones verticales

Fuente: (Norma ISO 2631)

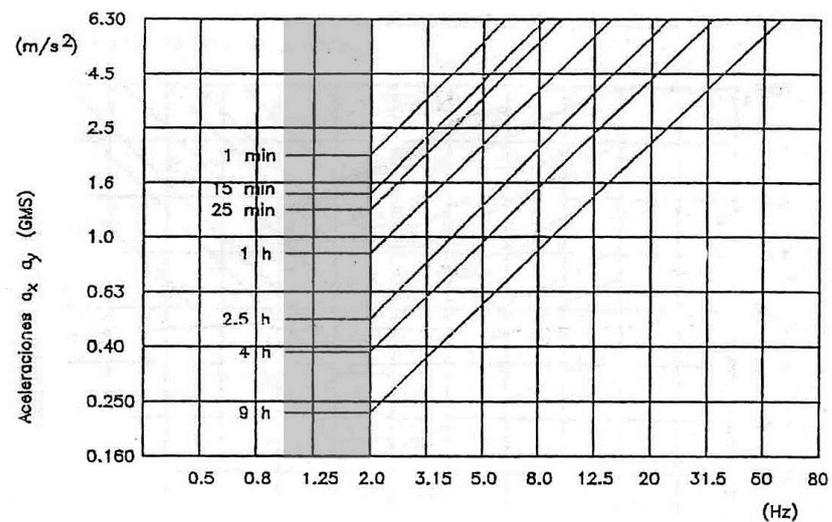


Figura 1.4: Límite de capacidad reducida por fatiga en vibraciones horizontales.

Fuente: (Norma ISO 2631)

Como se observa en las gráficas la tolerancia humana a las vibraciones depende de la dirección de éstas con respecto al cuerpo; en sentido vertical la mayor sensibilidad se presenta entre frecuencias de 4 a 8 Hz mientras que en dirección horizontal éste límite se reduce a frecuencias entre 1 y 2 Hz. A continuación se presenta una tabla con las frecuencias características de movimientos vibratorios en el vehículo y sus efectos (V. De Buen, 1980); (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001) .

Tabla 1.1: Frecuencias características de movimientos vibratorios en vehículos y sus efectos.

Frecuencias en Hz.		EFECTOS PRODUCIDOS			
		Sobre Personas		Sobre el Automóvil	
Muy Bajas	<0,5		Sensación de mareo con grandes amplitudes.	-	
Bajas 0,5 a 4	1 a 3	1,2 a 2	Frecuencia del movimiento vertical del paso humano.	Modos de baja frecuencia en la Masa Suspendida y del conjunto: movimiento vertical, cabeceo, balanceo y guiñada.	
		1 a 2	Resonancia de la cabeza en movimientos horizontales.		
		1 a 3	Umbral mínimo de ICV en movimientos horizontales.		
Medias 4 a 20	4 a 8	4 a 6	Resonancia del cuerpo en movimientos verticales y horizontales.	Frecuencia de rotación de ruedas en circulación a baja velocidad.	
		4 a 8	Mínimo umbral de incomodidad en movimientos verticales		
	10 a 20	10 a 20		-	- Frecuencia natural de masas semi-suspendidas y frecuencias medias del conjunto masa suspendida-masa semi-suspendida. - Frecuencia de rotación de ruedas en circulación a velocidad media o alta. - Oscilaciones localizadas en zonas de la carrocería y otros sistemas o de deformación del bastidor a flexión o torsión.
			11 a 15	Poca resonancia en el cuerpo ante movimientos verticales.	-
			15 a 20	Resonancia de la cabeza con vibraciones verticales.	-
Altas >20	20 a 200	20 a 200	-	Vibraciones provocadas por acciones directas.	
		60 a 90	Resonancia del globo ocular.	-	
		80 a 95	-	Vibraciones propias de neumáticos radiales.	
		100 a 200	Resonancia en mandíbulas.	-	
		170 a 200	-	Vibraciones propias de neumáticos diagonales.	

Fuente: (V. de Buen, 1980)

El control de estos movimientos vibratorios en un vehículo se realiza a través del sistema de suspensión, éste reduce las vibraciones generadas en la zona de alta frecuencia (masa no suspendida) a la zona de baja frecuencia (la masa suspendida – cabina), mejorando así el confort y evitando las consecuencias de la exposición de los ocupantes a valores elevados de vibración.

Hay que tener en cuenta que la rigidez de los resortes en la suspensión es la que influencia en el valor de la frecuencia natural de vibración, mientras que, en lo que respecta a la amplitud y duración de dicha vibración están directamente vinculados los amortiguadores.

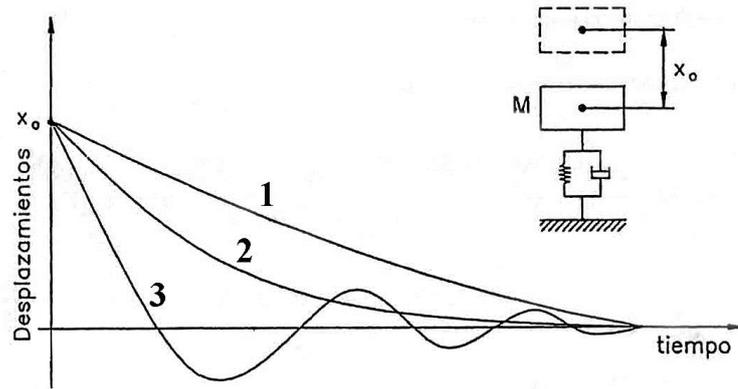
1.1.3 Amortiguamiento

Es la disminución progresiva en el tiempo de la intensidad de un fenómeno periódico, dicho de otra forma, es la capacidad de disipar la energía cinética de un sistema que oscila (Fundación Wikimedia, Inc., 2015), este puede ser:

- **Amortiguamiento por fricción de un fluido**, cuando se produce por la resistencia de un fluido al movimiento de un sólido, siendo este viscoso o turbulento.
- **Amortiguamiento por fricción molecular**, ocasionado por la fricción interna molecular o histéresis al deformarse un cuerpo sólido.
- **Amortiguamiento por fricción seca**, cuando se realiza por la fricción cinética entre superficies deslizantes secas.

1.1.4 Oscilaciones Amortiguadas

Cuando un muelle oscila libremente, éste al final siempre se detiene, debido a la disipación de la energía mecánica, por factores del medio y las fuerzas de rozamiento, el tiempo en que lo haga dependerá de las condiciones en las que se encuentre oscilando, a este fenómeno se lo denomina movimiento amortiguado (Mosca, 2006).



1.- Movimiento sobreamortiguado / 2.- Amortiguamiento crítico / 3.- Movimiento subamortiguado

Figura 1.5: Tipos de amortiguamiento.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

- Si la disipación de energía se realiza rápidamente, es decir el muelle no avanza a realizar ni una oscilación completa sino solo alcanza a retornar a su posición de equilibrio con una velocidad aproximándose a cero, el movimiento se denomina sobre-amortiguado.
- Cuando el amortiguamiento es débil de modo que la amplitud de la oscilación va reduciendo lentamente con respecto al tiempo, entonces, al movimiento resultante se lo denomina sub-amortiguado.
- Al límite de amortiguamiento entre los dos movimientos se lo conoce como amortiguamiento crítico, cualquier valor menor de amortiguamiento provocará un movimiento sobre-amortiguado.

1.1.5 Oscilaciones forzadas

Para mantener en marcha un sistema amortiguado se debe suministrar energía, al hacerlo se dice que es un oscilador forzado; si la cantidad de energía introducida es igual a la cantidad disipada por amortiguamiento el sistema estará en estado estacionario.

Tabla 1.2: Efecto sobre el suministro de energía en un sistema oscilatorio forzado.

Suministro de energía.	Efecto en el sistema.
Más energía que la que se disipa.	Incremento de la amplitud del movimiento.
Igual cantidad de energía que la que se disipa.	Amplitud del movimiento constante.

1.1.6 Resonancia

La resonancia es el fenómeno físico en el cual la frecuencia impulsora es aproximadamente igual a la frecuencia natural del oscilador (frecuencia que el oscilador tendría si no hubiese amortiguamiento ni un sistema impulsor); como se indicó anteriormente cuando un sistema se encuentra en estado estacionario la energía suministrada en un ciclo es disipada en el siguiente por lo que la amplitud se mantiene constante, pero cuando existe resonancia, el oscilador tendrá mucha más amplitud que si el sistema impulsor oscilara con frecuencias mayores o menores, ya que la energía absorbida por el oscilador en cada ciclo será máxima debido a la suma de las frecuencias. Este fenómeno debe evitarse y deberá ser tomado en cuenta para el diseño de sistemas mecánicos ya que si este entrase en resonancia esto podría producir su destrucción.

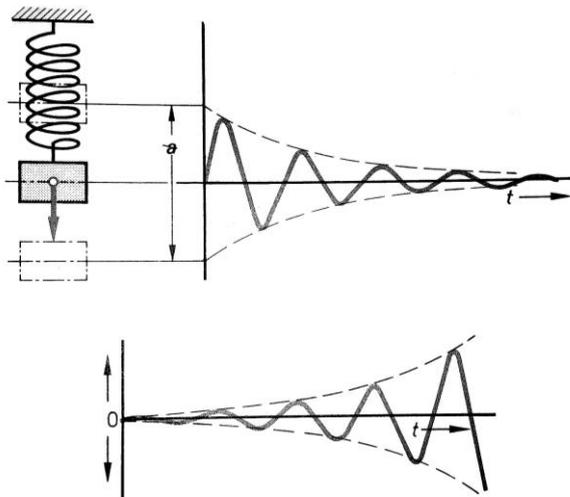
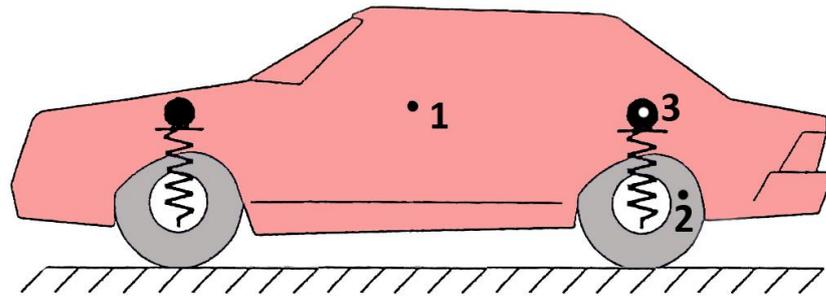


Figura 1.6: Oscilaciones amortiguadas y resonancia.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

1.1.7 La Suspensión en el Vehículo

Una vez determinados los principios físicos que rigen en la dinámica de un vehículo e indicados los efectos que tienen éstos sobre el ser humano se analizará cómo está conformado el sistema de suspensión del vehículo para cumplir sus objetivos, hay que distinguir como se encuentran ubicados los conjuntos de masas suspendida, y no suspendida, esquema que podemos observar a continuación:



1.- Elementos suspendidos / 2.- Elementos no suspendidos / 3.- Elementos elásticos

Figura 1.7: Esquema de las masas en un vehículo.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

En definitiva las masas de un vehículo se encuentran unidas entre sí a través de la suspensión, hecho que se grafica esquemáticamente de la siguiente forma.

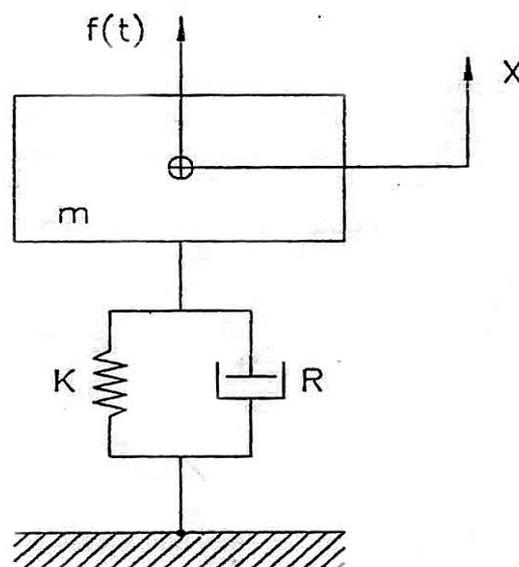


Figura 1.8: Modelo de un grado de libertad para representar la suspensión de un cuarto de vehículo.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

Donde,

F(t): fuerza variable en el tiempo.

M: la masa suspendida.

K: elemento elástico de rigidez “K”

R: elemento amortiguador con coeficiente “R”.

La ecuación que gobierna el movimiento para este sistema es:

$$M\ddot{x} + R\dot{x} + Kx = F(t) \quad [1.6]$$

Y su resolución mostrará el comportamiento de la suspensión a distintos tipos de excitaciones producto de irregularidades del terreno, no hay que olvidar que la frecuencia del sistema amortiguado deberá tener un valor de 1 Hz y los valores del coeficiente de amortiguación estarán entre 0,25 a 0,30.

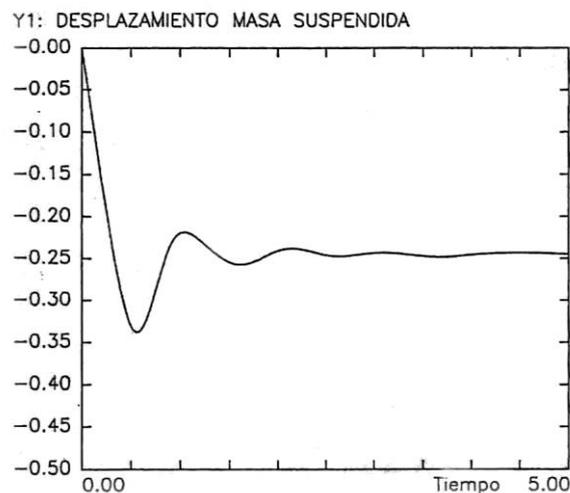


Figura 1.9: Desplazamiento vertical de la masa suspendida $x(t)$, considerando un modelo simple de grado de libertad con $f_n=1\text{Hz}$ y $\xi=0,30$.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001).

Existen dos fases durante el funcionamiento del sistema ante una excitación, una transitoria y otra permanente:

- La fase transitoria es corta y en ella se da mucho movimiento en consecuencia de la caída de la masa.
- La permanente es larga y el desplazamiento es casi imperceptible y permanece casi constante debido a la deformación plástica de la suspensión por acción del peso suspendido sobre ella.

Existirán diferencias entre los distintos tipos de suspensiones, éstas básicamente serán por la frecuencia del sistema de la que se ha hablado anteriormente, siendo en vehículos de pasajeros cercana a 1 Hz mientras que en vehículos de carga podría llegar hasta 2 Hz.

Durante el funcionamiento de la suspensión en un vehículo tenemos muchos factores que pueden influir y al realizar un diseño de suspensión se deben analizar todos ellos, el comportamiento transversal de los vehículos con eje rígido se ve resumido en la figura 1.10, esquema en donde se ha tomado en cuenta los movimientos para 4 grados de libertad del sistema, donde:

- El desplazamiento vertical del eje x (x_1).
- El ángulo de balanceo del eje (θ_1).
- El desplazamiento vertical de la carrocería o masa suspendida (x_2).
- El ángulo de balanceo de la carrocería o masa suspendida (θ_2).

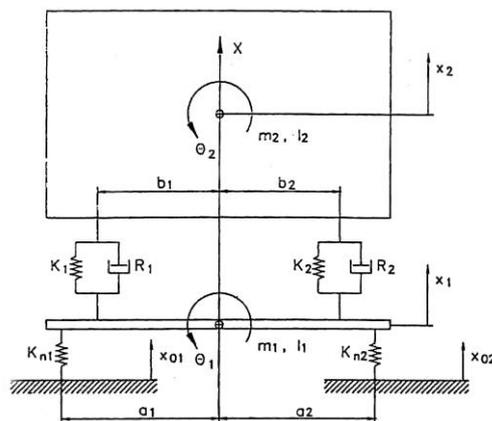


Figura 1.10: Modelo de cuatro grados de libertad de un sistema de suspensión de eje rígido.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

Este modelo permite:

- Considerar la diferencia que puede existir entre la vía del eje ($a_1 + a_2$) y la distancia entre las suspensiones ($b_1 + b_2$).
- La masa del eje o masa no suspendida se designa con (m_1).
- El momento de inercia del eje o masa no suspendida se designa con (I_1).
- La masa de la carrocería o masa suspendida se designa con (m_2).
- El momento de inercia de la carrocería o masa suspendida se designa con (I_2).

El sistema de ecuaciones en forma matricial está dado por:

$$[M] \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + [R] \cdot \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + [K] \cdot \begin{Bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \{e\} = 0 \quad [1.7]$$

Siendo:

$$[M] \cdot \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 \end{bmatrix}$$

$$[R] \cdot \begin{bmatrix} (R_1 + R_2) & -(b_1 \cdot R_1 - b_2 \cdot R_2) & -(-b_1 \cdot R_1 + b_2 \cdot R_2) & -(R_1 + R_2) \\ -(b_1 \cdot R_1 - b_2 \cdot R_2) & (b_1^2 \cdot R_1 + b_2^2 \cdot R_2) & -(b_1^2 \cdot R_1 + b_2^2 \cdot R_2) & -(-b_1 \cdot R_1 + b_2 \cdot R_2) \\ -(-b_1 \cdot R_1 + b_2 \cdot R_2) & -(b_1^2 \cdot R_1 + b_2^2 \cdot R_2) & (b_1^2 \cdot R_1 + b_2^2 \cdot R_2) & -(b_1 \cdot R_1 - b_2 \cdot R_2) \\ -(R_1 + R_2) & -(-b_1 \cdot R_1 + b_2 \cdot R_2) & -(b_1 \cdot R_1 - b_2 \cdot R_2) & (R_1 + R_2) \end{bmatrix}$$

$$\{e\} = \begin{bmatrix} -x_{01} \cdot K_{n1} - x_{02} \cdot K_{n2} + m_1 \cdot g \\ a_1 \cdot x_{01} \cdot K_{n1} - a_2 \cdot s_{02} \cdot K_{n2} \\ 0 \\ m_2 \cdot g \end{bmatrix}$$

1.2 Elementos constructivos de la suspensión

El sistema de suspensión cuenta una serie de elementos que en conjunto logran cumplir los objetivos funcionales en el vehículo, teniendo:

- Elementos elásticos.
- Elementos amortiguadores.
- Elementos estabilizadores.

1.2.1 Elementos elásticos

Son los encargados de absorber las irregularidades u obstáculos que puedan existir durante el trayecto del vehículo por un trazado, intentando que la rueda se acople siempre al entorno en el que circula; dependiendo del vehículo y el uso que se le vaya a dar éstos pueden ser de distintos tipos pero su función siempre es la misma.

1.2.1.1 Los muelles helicoidales

Éste tipo de elemento está formado por una varilla de acero de aleaciones especiales, enrollada en forma de espiral.

Trabajan a torsión, no pueden transmitir esfuerzos laterales y no sirven como elemento de sujeción entre la masa suspendida y el eje de rueda, por lo que requieren de elementos mecánicos a través de los cuales se limitan los movimientos relativos horizontales, transmitiendo únicamente los movimientos verticales de la llanta, garantizando así que, rueda y vehículo estén unidos rígidamente durante frenadas o irregularidades de terreno.

Son muy elásticos, de tamaño reducido y están diseñados para soportar una carga que podría decirse constante, o sea, donde el peso no varía en rangos notables entre vehículo cargado o sin carga. Son utilizados en vehículos livianos con suspensiones independientes o semi-independientes, así como en el eje delantero de vehículos de carga liviana. Su capacidad y flexibilidad dependerán del diámetro y el material de la varilla con la que están construidos, del paso entre las espiras y el número.

Su distancia de compresión es proporcional a la carga, es decir, si colocamos una carga doble, su recorrido será la mitad y viceversa.

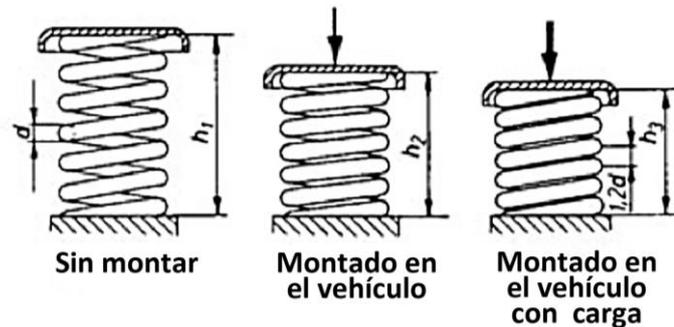


Figura 1.11: Recorrido y medidas de muelles helicoidales.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/muelle-posiciones.jpg>)

Si utilizamos muelles helicoidales cónicos, con paso variable o intercalando muelles de distinta medida podemos conseguir que sean de flexibilidad progresiva a diferencia de los normales que tienen una flexibilidad lineal.

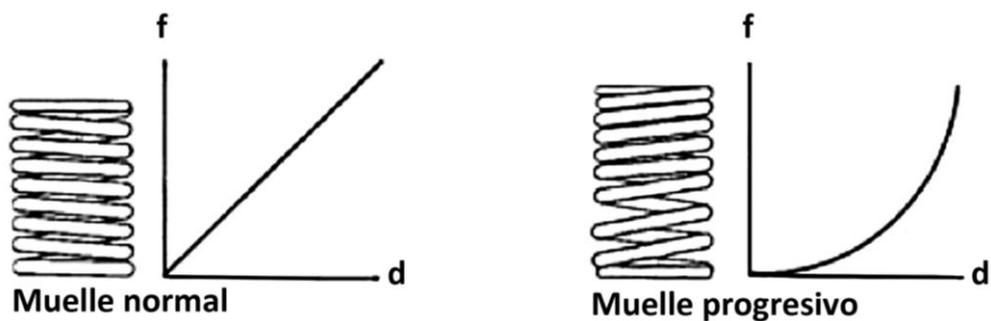
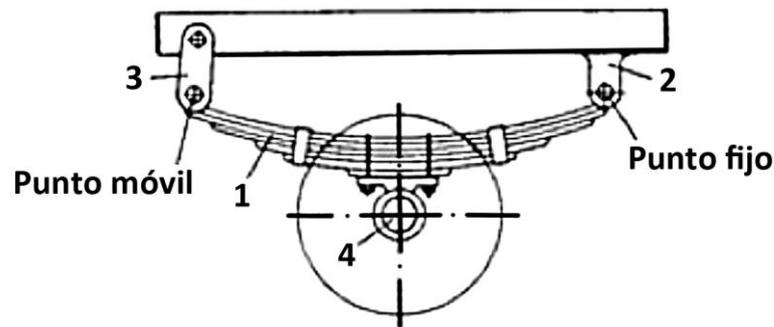


Figura 1.12: Curvas características de compresión de los muelles helicoidales.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/muelles-tipos.jpg>)

1.2.1.2 Las ballestas

Las Ballestas o muelles de hojas superpuestas, son resortes conformados por láminas de acero de material especial, estos elementos trabajan a flexión y sirven como elemento de unión entre el eje y el bastidor.



1.- Ballestas / 2.- Soporte / 3.- Grillete / 4.- Eje

Figura 1.13: Disposición de las ballestas en la suspensión posterior de un vehículo.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/ballesta-colocacion.jpg>)

Las ballestas son elementos de suspensión mucho más resistentes que los muelles helicoidales y por la fricción entre sus láminas incluso tienen un efecto amortiguador, sin embargo, son menos confortables para los ocupantes en especial cuando éstos se encuentran sin carga, por lo que en la actualidad son utilizados para suspensiones de vehículos pesados y en los ejes posteriores de vehículos livianos de carga.

1.2.1.3 Las barras de torsión

Es un elemento, utilizado en vehículos de carga liviana y pesada, formado por una barra de acero que va sujeta en uno de sus lados a un punto fijo en el bastidor mientras que el otro extremo es móvil; ésta como su nombre lo dice trabaja a torsión y es una solución económica para dotar de suspensión a un vehículo, ya que no se trata de un elemento de compleja fabricación y que ocupa poco espacio, los automotores que cuentan con este tipo de suspensión son menos confortables pero su estabilidad mejora en cierta cantidad por la rigidez de estos elementos.

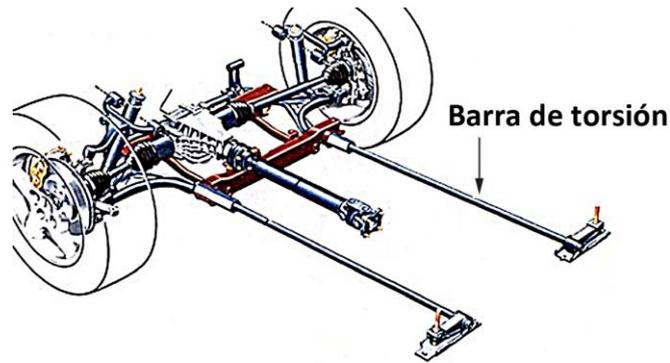


Figura 1.14: Disposición de la barra de torsión en la suspensión de un vehículo.

Fuente: (<http://www.sabelotodo.org/automovil/imagenes/suspension/barra.jpg>)

1.2.1.4 Los cojines de aire

Los cojinetes aire o fuelles neumáticos son elementos de hule y tela reforzados que pueden almacenar aire en su interior cambiando su rigidez y altura dependiendo de la cantidad de este recurso.

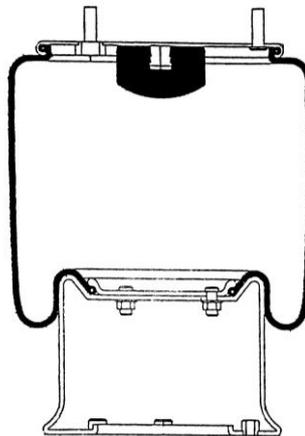


Figura 1.15: Fuelle neumático.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

El volumen y la presión vienen definidos por el fabricante dependiendo de la capacidad de carga que éstos vayan a soportar en el vehículo, pueden tener distintas formas, tamaños y funcionar como apoyo a un sistema de ballestas o incluso trabajar independientemente sin otro elemento elástico.



Figura 1.16: Cojines neumáticos.

Fuente: (http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/cilindro-neumatico-doble-efecto-fuelle-40276-6725885.jpg)

Son utilizados en vehículos de carga pesada para nivelar cargas y por el confort que pueden proveer son colocados en las suspensiones de vehículos de pasajeros.

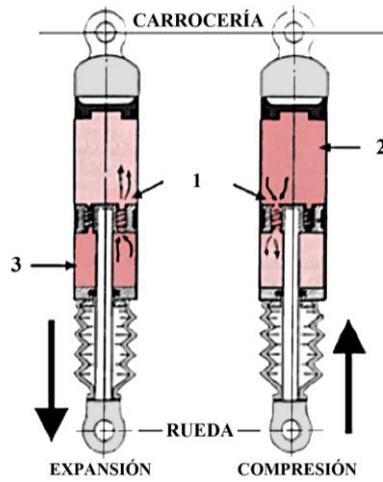
1.2.2 Elementos amortiguadores

Son los encargados de absorber la energía mecánica generada en los elementos elásticos de la suspensión durante su funcionamiento y transformarla en energía calorífica, que se disipará al medio ambiente, cumplen también con la función de elementos de unión entre el eje o la rueda y el chasis del vehículo, básicamente son émbolos compuestos por dos o más cámaras que contienen un fluido que presenta resistencia al pasar de un lado a otro a través de agujeros calibrados o válvulas cuando existe movimiento longitudinal en el vástago.

En la actualidad hay distintos tipos:

1.2.2.1 Amortiguadores hidráulicos convencionales

Son los más comunes y según su construcción interna pueden ser mono-tubo o bi-tubo que pueden ser, no presurizados cuando en sus cámaras llevan como fluido solo aceite o presurizados cuando llevan aceite y un gas a baja presión (generalmente nitrógeno), todos en su construcción general están constituidos por un pistón insertado en un cilindro en el que se encuentra un fluido; el pistón cuenta con orificios calibrados o válvulas que permiten el paso del aceite entre las cámaras que tiene interiormente el cilindro.



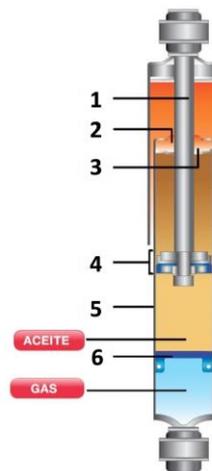
1.- Válvulas de pistón / 2.- Fluido comprimido / 3.- Fluido comprimido

Figura 1.17: Fases de los amortiguadores hidráulicos.

Fuente: (<https://silvesterfly.files.wordpress.com/2011/11/amortiguador.jpg>)

1.2.2.1.1 Amortiguador mono-tubo.

Consta de dos cámaras, una con aceite y otra con gas, entre las cuales hay un pistón flotante separándolas, por ende el volumen de la cámara será variable según la compresión que las fuerzas que actúan sobre el pistón ejerzan sobre el gas.



1.-Vástago / 2.-Reten / 3.-Guía del vástago / 4.-Pistón con válvulas / 5.-Cilindro exterior / 6.-Pistón flotante

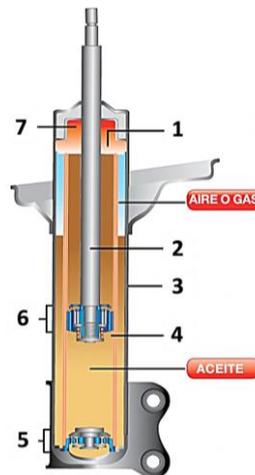
Figura 1.18: Amortiguador mono-tubo.

Fuente: (<http://www.kyb.com.pa/sp/wp-content/uploads/2012/11/AMORTIGUADOR-MONO-TUBO-830x1024.jpg>)

1.2.2.1.2 Amortiguador bi-tubo.

Pueden ser presurizados cuando el fluido en su interior es solo aceite y no presurizados cuando cuentan con aceite y gas.

Para éstos el pistón y el cilindro se encuentran en el interior de una cámara mayor, el aceite fluye por el cilindro a través del pistón y también a la segunda cámara a través de una válvula situada entre ambas.



1.-Guía de vástago / 2.- Vástago / 3.-Cilindro exterior / 4.-Cámara de trabajo / 5.-Válvula inferior / 6.-Válvula de pistón / 7.-Retén

Figura: 1.19: Amortiguador bi-tubo.

Fuente: (<http://www.kyb.com.pa/sp/wp-content/uploads/2012/11/AMORTIGUADOR-BI-TUBO-828x1024.jpg>)

1.2.2.2 Amortiguadores de frecuencia selectiva.

Añade un segundo conducto dentro del mismo pistón separado por una válvula (figura 1,20) llamada FSD (Frequency Selective Dumping) que se cierra al recibir más presión, endureciendo la suspensión en los instantes necesarios, cuando la FSD está sometida a bajas frecuencias, la fuerza de amortiguación viene determinada por el flujo principal (1) pero si el entorno genera altas frecuencias, éstas abren la válvula FSD que libera el paso de aceite produciendo un flujo paralelo (2) que reduce los ajustes de calibración del amortiguador.

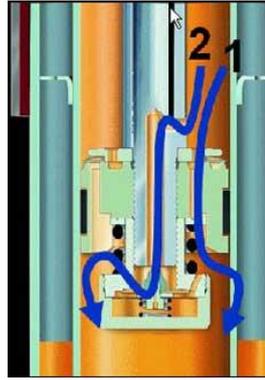


Figura 1.20: Válvula FSD en el interior de un amortiguador hidráulico.

Fuente: (http://estaticos03.marcamotor.com/imagenes/2012/07/22/abarth/1342789006_extras_ladillos_1_0.jpg)

1.2.2.3 Amortiguador reológico.

El aceite con el que trabaja este tipo de amortiguador contiene partículas metálicas y al aplicarle una corriente magnética, este fluido puede cambiar su densidad endureciendo o ablandando la suspensión. Es la fusión entre sistemas mecánicos y electrónicos y para su funcionamiento requiere de sensores que detecten las necesidades de amortiguación en cada momento y una centralilla que procese la información para enviar las órdenes a los actuadores.

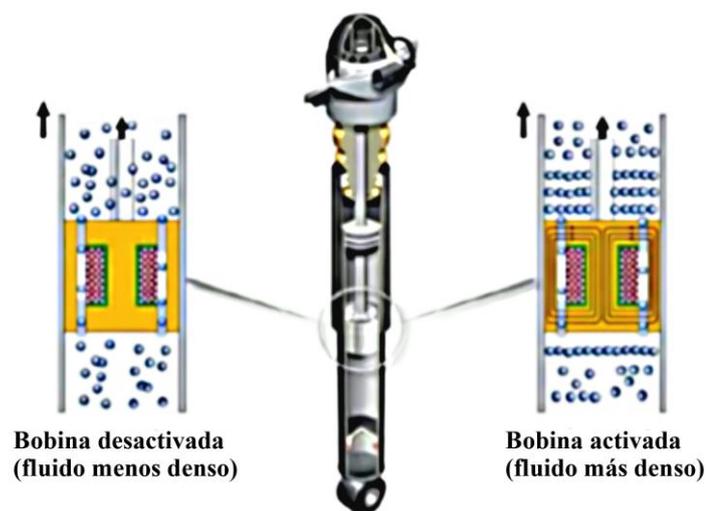


Figura 1.21: Amortiguador de fluido reológico.

Fuente: (<https://i1.ytimg.com/vi/bgxqJXR03rM/hqdefault.jpg>)

Tabla 1.3: Clasificación y características básicas de los amortiguadores.

Clasificación y características básicas de los amortiguadores.		
Fluido de amortiguamiento	Aceite	SAE 20,30,40
	Aceite y gas	SAE 20, 30,40 + Nitrógeno.
	Fluido Reológico	Fluido sintético + % partículas magneto reológicas.
Construcción	Mono-tubo	Una cámara dividida por un pistón flotante.
	Bi-tubo	Dos cámaras, una interior y una de reserva.
Funcionamiento	Mecánicos	El pistón cuenta con orificios o válvulas calibradas (por el fabricante).
	Frecuencia Variable	El pistón cuenta con una válvula auto calibrable de acuerdo a la vibración.
	Electrónicos	La regulación se realiza a través de un E.C.U.

Tabla 1.4: Usos de los amortiguadores según el vehículo.

Usos de los amortiguadores según el vehículo.					
Características del amortiguador		Tipo de vehículo			
Construcción	Fluido	AUTO	CAMIONETA	SUV	CAMION
Bi-Tubo	Aceite	X	X	X	X
	Aceite y Gas	X	X	X	X
Mono-Tubo	Aceite y Gas	X		X	
	Fluido Reológico	X			

1.3 Tipos de suspensión.

Como se ha indicado el sistema de suspensión está conformado por ciertos elementos que se elegirán dependiendo del vehículo y las prestaciones que se requieran, por ello se clasificará a los sistemas de suspensión de dos formas:

- Según la disposición de sus elementos
- Según el funcionamiento del sistema.

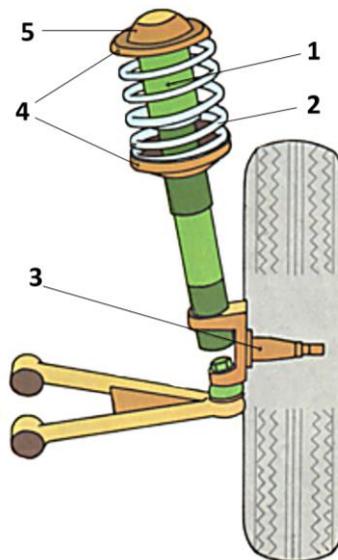
1.3.1 Clasificación de las suspensiones según su estructura.

Los elementos del sistema de suspensión estarán conectados entre puntos estructurales y puntos móviles del vehículo, según esto se puede clasificar a los distintos sistemas, independientemente de cómo funcione cada uno, en:

- Suspensión Independiente.
- Suspensión de eje rígido.
- Suspensión Semi-Independiente.

1.3.1.1 Suspensión independiente.

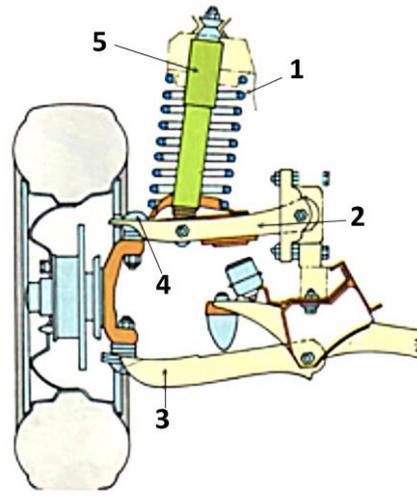
Consiste en que cada rueda está conectada al automóvil de forma separada e independiente de las otras ruedas, lo cual permite que cada rueda se mueva hacia arriba y hacia abajo sin afectar a la rueda del lado opuesto. La suspensión independiente se puede utilizar en las cuatro ruedas (Fascículos – Conozca su Automóvil).



1.- Amortiguador / 2.- Mangueta de rueda / 3.- Muelle / 4.- Cazoletas de sugción de muelle / 5.-Union entre soporte y carrocería

Figura 1.22: Suspensión Mc. Pherson.

Fuente: (Fascículos – “Conozca su Automóvil)



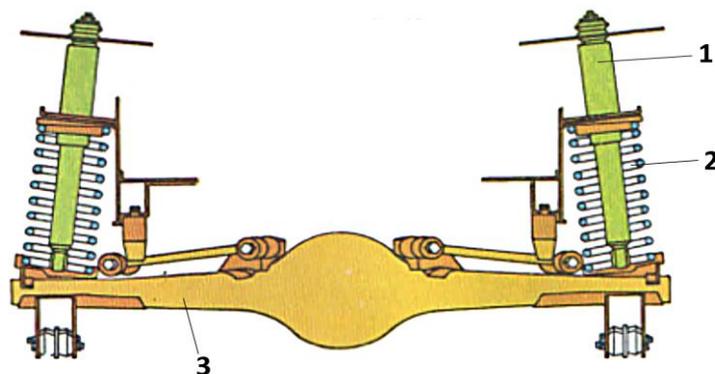
1.- Muelle helicoidal / 2.- Brazo superior / 3.- Brazo inferior / 4.- Rótula / 5.- Amortiguador

Figura 1.23: Suspensión por trapecio articulado.

Fuente: (Fascículos – “Conozca su Automóvil”)

1.3.1.2 Suspensión de eje rígido.

Las ruedas izquierda y derecha están conectadas a un eje sólido común. Cuando una rueda se mueve hacia arriba o hacia abajo, la rueda del lado opuesto realizará el movimiento contrario. Puede ser utilizada tanto en la parte frontal como posterior del vehículo pero por lo general se utiliza en la parte posterior de vehículos a propulsión (<http://www.monografias.com/trabajo22/sistema-suspension/sistema-suspension.shtml>).



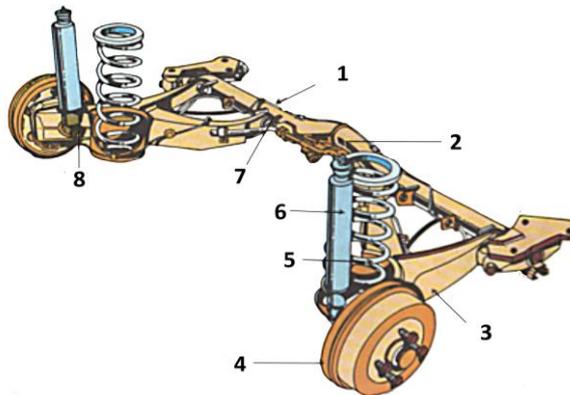
1.- Amortiguador / 2.- Muelle helicoidal / 3.- Eje rígido

Figura 1.24: Suspensión de eje rígido.

Fuente: (Fascículos – “Conozca su Automóvil”)

1.3.1.3 Suspensión Semi-Independiente:

Es utilizada en automóviles de tracción, lo cual permite un movimiento independiente limitado de cada rueda al transmitir una acción de torsión al eje solido de conexión (<http://www.monografias.com/trabajo22/sistema-suspension/sistema-suspension.shtml>), el sistema más conocido de este tipo es la suspensión de brazos arrastrados.



1.- Cañería de freno / 2.- Barra estabilizadora / 3.- Brazo de suspensión / 4.- Tambor de freno / 5.- Muelle helicoidal / 6.- Amortiguador / 7.- Anclaje articulado / 8.- Anclaje articulado

Figura 1.25 Suspensión de brazos arrastrados.

Fuente: (Fascículos – “Conozca su Automóvil)

Tabla 1.5: Clasificación y uso de las suspensiones.

Suspensión Delantera	Suspensión Independiente	Resorte helicoidal y trapecio articulado Barra de torsión Mc. Pherson Muelles neumáticos
	Suspensión de Eje Rígido	Ballestas Muelles helicoidales
Suspensión Posterior	Suspensión Independiente	Brazos guías y muelle helicoidal Mc. Pherson Barra de torsión transversal Ballestas
	Suspensión de Eje Rígido	Brazos guías y muelle helicoidal Ballestas Puente y muelle helicoidal
	Suspensión Semi-Rígida	Muelles helicoidales Barra de torsión

1.3.2 Clasificación de las suspensiones según su funcionamiento.

Esta clasificación tiene por objeto indicar los tres grupos de sistemas de suspensión independientemente de cómo éstos estén alojados en el vehículo, tomando en cuenta su funcionamiento como sistema en conjunto:

- Suspensión Pasiva.
- Suspensión Activa.
- Suspensión Semi-activa.

1.3.2.1 Suspensión pasiva

Este tipo de suspensión es la más común en los vehículos comerciales de hoy en día, se las denomina pasivas ya que no requieren de una fuente de energía que abastezca al sistema para su funcionamiento, la disposición de sus elementos puede ser la de suspensiones independientes, de eje rígido o semi-independientes.

Generalmente usan como elementos elásticos los muelles helicoidales, ballestas o barras de torsión y como elementos para amortiguación a los amortiguadores hidráulicos convencionales, son sistemas fiables y que no requieren de mucho mantenimiento, sin embargo, son menos confortables ya que están prediseñados por el fabricante y no se puede cambiar sus condiciones de diseño iniciales.



Figura 1.26: Esquema de suspensión pasiva en un cuarto de vehículo.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/suspension-pasiva.jpg>)

1.3.2.2 Suspensión activa

Utilizada en vehículos de competencia de alto rendimiento y en algunos autos de lujo, se trata de un sistema que requiere paralelamente de un sistema electrónico que censa las condiciones de manejo y de terreno en las que se mueve el vehículo. Estos dos sistemas activamente cambian las configuraciones de altura y dureza de la suspensión según se requiera mejorando el rendimiento del vehículo.

Este tipo de sistema siempre acompañará a una suspensión independiente con distintas configuraciones de elementos elásticos, pudiendo ser muelles helicoidales o cojines de aire y como elementos de amortiguación amortiguadores reológicos o calibrables, requiere de cuidados y mantenimiento especiales, además, el costo de sus componentes es muy elevado.

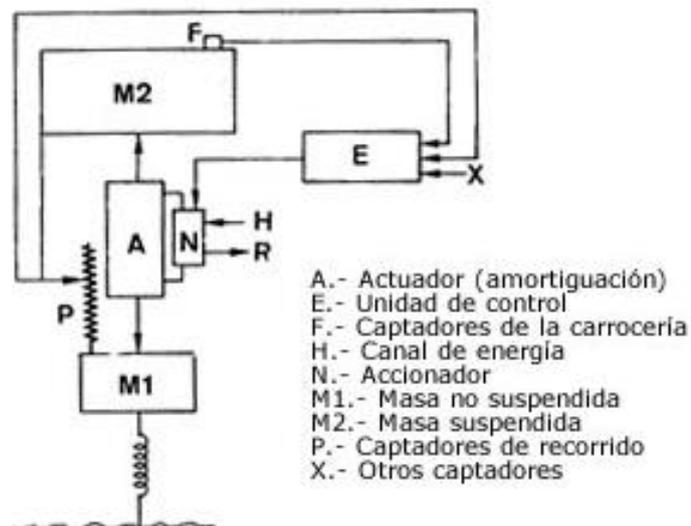


Figura 1.27: Esquema de control de una suspensión activa en un cuarto de vehículo.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/suspen-activa.jpg>)

1.3.2.3 Suspensión semi-activa

Estos se encuentran en un segmento intermedio de los dos sistemas anteriores y lo que buscan es mejorar las prestaciones del sistema de suspensión pasiva con algunas propiedades de los sistemas activos, añadiendo algunos componentes que permitan cambiar las características prediseñadas por el fabricante para distintas situaciones sin llegar a los automatismos de un sistema activo, y por ende con un precio mucho menor, para este fin, estos sistemas pueden usar la disposición de una suspensión independiente, de eje rígido o semi-rígido, pero sus elementos elásticos y amortiguadores deberán ser aquellos que permitan cambiar sus configuraciones de fábrica, como los cojines de aire.

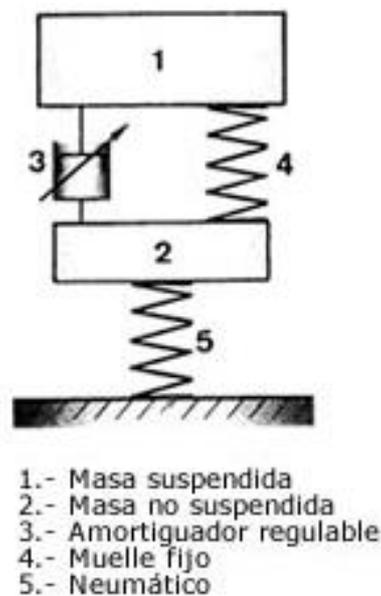


Figura 1.28: Esquema de las masas de un vehículo con suspensión activa para un cuarto de vehículo.

Fuente: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/images-suspension-curso/suspension-semiactiva.jpg>)

Tabla 1.6: Clasificación y uso de las suspensiones.

Tipo	Características	Aplicación	Tipo de Vehículo				
			C o m p e t e n c i a	A u t o s	S U V 's	C a r g a l i v i a n a	C a r g a P e s a d a
Suspensión Pasiva	No requiere de una fuente de energía externa para poder realizar el trabajo.	Suspensión Independiente					
	Mantenimiento no complicado y de bajo coste.	Suspensión de Eje Rígido		X	X	X	X
	Fiable y durable.	Suspensión Semi-Independiente					
Suspensión Activa	Requiere de un sistema electrónico para trabajar.	Suspensión Independiente					
	Mantenimiento especializado y coste elevado.		X	X			
	Delicada.						
Suspensión Semi-Activa	Mantiene características de un sistema pasivo pero incluye elementos que pueden cambiar la configuración de la suspensión.	Suspensión Independiente					
	Intentan alcanzar las comodidades de un sistema activo aprovechando la sencillez de un sistema pasivo.	Suspensión Semi-Independiente	X	X	X	X	X
	Mantenimiento y coste moderados.	Suspensión de Eje Rígido					
	Fiable.						

Las diferencias entre estos sistemas es notoria durante la conducción del vehículo y más aún si se compara entre un sistema pasivo y uno activo, ya que la suspensión se comportará de manera distinta en la recta y su configuración se ajustará durante una curva, con ello la tracción y estabilidad mejorarán, en consecuencia el performance y la seguridad también, esto se puede observar en la figura 1,29 donde se esquematiza el comportamiento del vehículo durante una recta y dos niveles de curva.

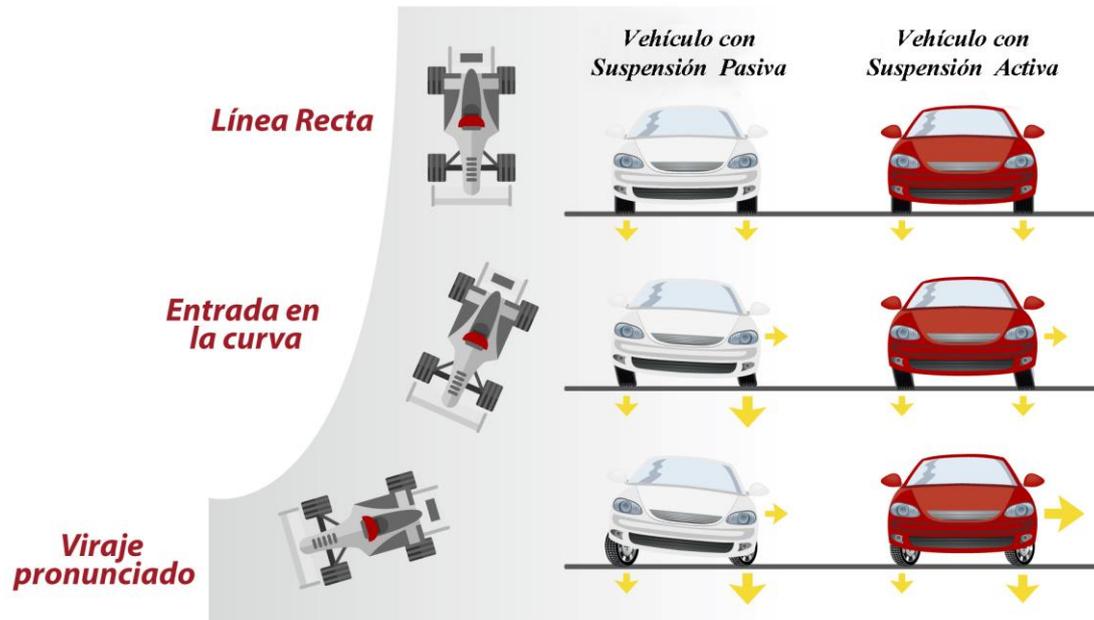


Figura 1.29: Comportamiento de los sistemas de suspensión pasiva y activa.

Fuente: (http://repositorio.co/app/repositorios/93810015/contenido/objetos_de_aprendizaje/OPE-CON-OBJ-001-EJE/oa.pdf)

1.4 Sistema de Suspensión de ballestas

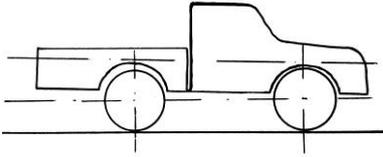
Aunque puede ser usado en el eje frontal y posterior, en la actualidad este sistema es muy utilizado en el o los ejes posteriores de vehículos de carga, como camionetas, camiones y tracto camiones, debido a que puede soportar mayores cargas que los otros sistemas (citados anteriormente).

En el caso particular de los modelos de camionetas existentes en el mercado se tiene una configuración de suspensión independiente en el frente y en la parte posterior suspensión de eje rígido con ballestas, es por ello que este documento se centrará en vehículos de carga liviana (camionetas) por ser un segmento de vehículos muy utilizado por la sociedad y que en la mayoría de las ocasiones es utilizado como medio de transporte sin carga, estos vehículos están diseñados para transportar cargas promedio de 1 tonelada (20 quintales) por lo que su comportamiento cuando son conducidos con carga o sin ella es distinto.

Sin carga, la suspensión se encuentra en una posición de reposo, en su altura máxima, soportando la carrocería (que sería el único peso que estaría actuando), teniendo en cuenta que el peso va a estar en su mayor parte en el frente, esta diferencia de peso provoca que el vehículo no tenga mayor fricción en su parte posterior pudiendo incluso llegar a derrapar en una curva o durante irregularidades de un camino complicado.

Con carga, la suspensión se encuentra en posición de trabajo, su altura dependerá de la carga que se le ha colocado al vehículo, en esta ocasión el peso mayor estará atrás, por lo que la parte frontal de la carrocería tenderá a levantarse, con ello se perderá fricción en las ruedas frontales y en caso de colocar más peso del recomendado esa situación podría tornarse peligrosa por la pérdida de eficiencia en el sistema de dirección.

Tabla 1.7: Efectos de la carga sobre la suspensión de ballestas en un vehículo.

Estado	Efectos	Gráfico
Sin Carga	Elementos elásticos en reposo.	
	Suspensión con recorrido máximo.	
	Carrocería nivelada, levemente levantada en la parte posterior.	
	Peso mayor en las ruedas frontales.	
	Posible pérdida de tracción por distribución del peso.	
Con Carga	Elementos elásticos con carga.	
	Recorrido de suspensión mínimo.	
	Carrocería desnivelada, elevada en el frente y baja en la parte posterior.	
	Peso mayor en las ruedas posteriores.	
	Pérdida de eficiencia en el sistema de dirección por distribución del peso.	

1.4.1 Constitución y funcionamiento del sistema

Se habló anteriormente que los elementos elásticos y amortiguadores que conforman este tipo de suspensión además de funcionar como suspensión son los encargados de unir la masa suspendida y no suspendida, en otras palabras, la carrocería y chasis con los ejes, por ello requieren de algunas piezas adicionales.

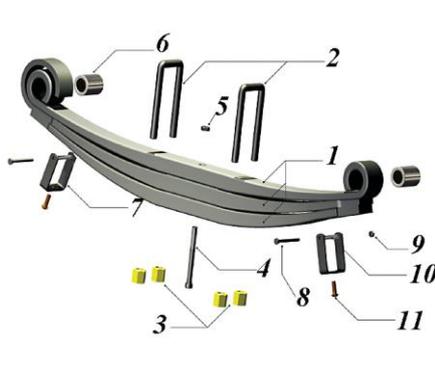
La capacidad de carga para la que ha sido diseñado un vehículo, dependerá de la cantidad de ballestas y de sus dimensiones, dichos elementos formarán un conjunto fijado por abrazaderas, desde 2 láminas en adelante.



Figura 1.30: Conformación del grupo de ballestas en el vehículo.

Fuente: (http://mlv-s1-p.mlstatic.com/ballesta-para-ford-150-fortaleza-42-y-44-rfzm-22195-MLV20225161933_012015-O.jpg)

La primera ballesta se denomina maestra y es la que cuenta con los agujeros que servirán para su unión con el bastidor, las otras láminas elásticas son secundarias y variarán su tamaño descendientemente; en algunas ocasiones se puede encontrar una segunda lámina casi igual a la principal, ésta se usaría como seguridad en caso de que la maestra falle, todas las ballestas tienen un agujero en la mitad, por el cual pasará un perno guía, su función será la de mantenerlas centradas y evitar el movimiento axial y longitudinal de las mismas, a través de abrazaderas se agrupan a todas las láminas de tal manera que se elimina la posibilidad de que éstas giren sobre el perno guía, conformándose entonces el conjunto de ballestas.

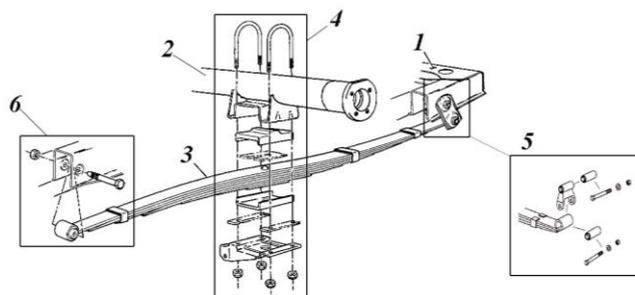


- 1.- Ballestas.
- 2.- Abrazaderas para unión del paquete al eje.
- 3.- Tuercas para fijación de abrazaderas.
- 4.- Perno guía.
- 5.- Tuerca de perno guía.
- 6.- Bujes
- 7.- Abrazaderas.
- 8.- Tornillo de abrazadera.
- 9.- Tuerca de abrazadera.
- 10.- Buje separador.
- 11.- Remache.

Figura 1.31: Elementos constitutivos de un conjunto de ballestas.

Fuente: (<http://www.organizacionhercules.com/asistencia.php>)

El conjunto de ballestas estará anclado por medio de bridas y tuercas al eje rígido del vehículo mientras que el agujero frontal de la ballesta se unirá al chasis en un punto fijo y el agujero posterior también será sujetado al bastidor pero a través de una brida móvil que permitirá que la ballesta maestra pueda desplazarse longitudinalmente cuando las ballestas son flexionadas hacia arriba o hacia abajo, motivo por el cual su longitud variará.



- 1.- Chasis.
- 2.- Eje rígido posterior.
- 3.- Paquete de ballestas.
- 4.- Elementos de unión de eje - ballestas.
- 5.- Elementos de unión de ballestas con el punto móvil en el chasis.
- 6.- Elementos de unión de ballestas con el punto fijo en el chasis.

Figura 1.32: Ensamble del conjunto de ballestas en el vehículo.

Fuente: (<http://www.automecanico.com/auto2042/diagdirec013.jpg>)

En cuanto a los amortiguadores, éstos estarán alojados en sentido contrapuesto directamente entre el eje y el chasis, serán además los encargados de limitar el recorrido de la suspensión cuando la llanta se mueve hacia abajo como cuando entra en un agujero, mientras que el limitante del recorrido cuando una llanta va hacia

arriba será un tope de hule colocado en el eje del vehículo, en la figura 1.33 se muestra el sistema completo con todos sus elementos.



Figura 1.33: Colocación del paquete en el vehículo.

Fuente: (<http://www.automecanico.com/auto2028/suspenc4.jpg>)

1.4.2 Mantenimiento del sistema

Este sistema no requiere de un mantenimiento complejo, pero como en todos los sistemas siempre se requiere de la realización de chequeos periódicos para detectar cualquier posible falla:

- Revisión visual de posibles fisuras y deformación de las ballestas.
- Ajuste de los pernos de las bridas de unión de las ballestas con el eje.
- Ajuste del perno guía.
- Engrase de los puntos móviles.
- Chequeo de holgura en los bujes de estos puntos.

1.5 La suspensión neumática

Un sistema de suspensión neumática se diferencia del sistema de ballestas en que los elementos elásticos que se utilizan son los cojines de aire o fuelles neumáticos en lugar de las ballestas, para el funcionamiento de éstos se requiere del suministro de aire para llenarlos, es por esto que el sistema incorpora un compresor que puede ser eléctrico o por accionamiento mecánico por una polea que recibe la potencia requerida desde el motor del vehículo, en algunos casos se tendrá un depósito de aire comprimido y válvulas de control de presión, todo dependerá del sistema.

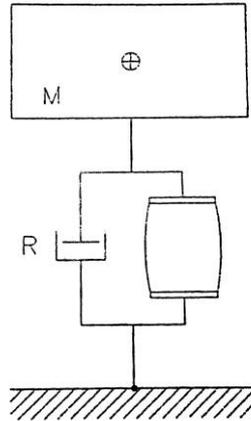


Figura 1.34: Esquema de suspensión neumática en un cuarto de vehículo con un grado de libertad.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

Este tipo de suspensión generalmente es utilizado en vehículos de transporte pesado en conjunto con el sistema de ballestas, esto debido a que es un sistema que puede variar la altura y dureza según las necesidades de la suspensión, mejorando el confort y seguridad, a diferencia de un sistema mecánico, entonces:

- Con el vehículo descargado, se baja la presión de aire en los cojines, consiguiendo que el vehículo esté nivelado y la dureza de la suspensión posterior estará en un nivel en el cual se mejore el confort y la adherencia con el suelo.
- Con el vehículo cargado, se aumenta la presión de aire en los cojines (dependiendo de la carga), entonces se compensa la altura nivelando el vehículo, adicionalmente se incrementa la dureza debido a la carga.

Tabla 1.8: Efectos de la carga sobre la suspensión neumática en un vehículo.

Estado	Efectos	Gráfico
Sin Carga	Fuelles con baja presión.	
	Recorrido de suspensión máximo.	
	Carrocería nivelada.	
Con Carga	Fuelles con presión (depende de la carga).	
	Recorrido de suspensión máximo.	
	Carrocería nivelada	

1.5.1 Constitución y funcionamiento del sistema

Este sistema tiene dos partes, una mecánica y el circuito de aire comprimido, la parte mecánica consta de todos los elementos dispuestos para la fijación del sistema: amortiguadores, brazos de sujeción, barra estabilizadora y barra contra desplazamientos laterales; éstos son los componentes que unen la masa suspendida con el eje de rueda. (Maeso & Rodríguez García, 2002)

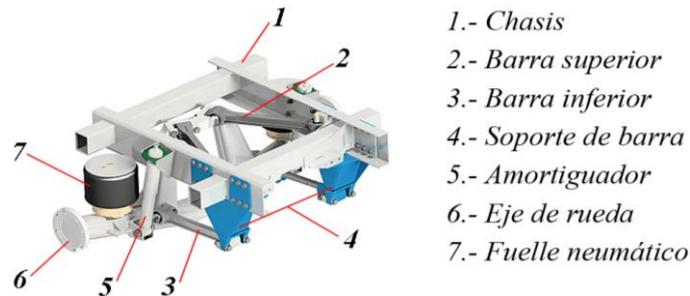


Figura 1.35: Suspensión neumática, parte mecánica.

Fuente: (http://www.suspensys.com.br/Uploads/product/28072011-152512_pneumaticoonibus.jpg)

El circuito neumático consta del filtro de aire, compresor, depósito de aire comprimido, cañerías de presión, válvulas de control, sensores, elementos que se encargarán de proveer y controlar la presión (según la carga), para los cojines de aire, que son los elementos elásticos de este sistema.

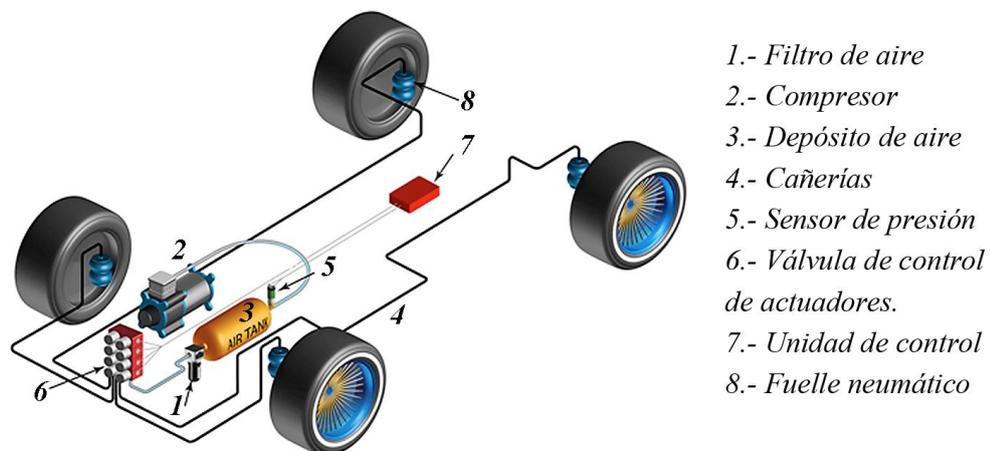


Figura 1.36: Suspensión neumática, parte neumática.

Fuente: (http://www.ascovalve.com/Common/Images/AirSuspension_diagram.jpg)

Al poner en marcha el motor el compresor empezará a generar presión de aire en el sistema llenando los fuelles neumáticos (en el caso de disponer de un depósito el tiempo de llenado de los fuelles será menor ya que éste mantendrá el sistema con presión cuando el vehículo está apagado) hasta que el vehículo se nivela y la válvula de control de altura desactiva el compresor cortando el suministro de aire.

Durante la conducción del vehículo, las irregularidades de la vía se transmiten mediante la rueda al émbolo (fuelle neumático) variando la altura del mismo, obteniendo así diferentes presiones en su interior, por ende, la fuerza de reacción está en función del desplazamiento del émbolo y de la presión interna, que permiten conseguir un resorte de flexibilidad variable progresiva con una frecuencia de oscilación inferior a 1Hz/s ((Gonzalez Bautista, del Río Gomez, Tena Sánchez, & Torres Vega, 2008).

Cuando se coloca carga en el vehículo los fuelles se comprimen reduciendo la distancia entre el bastidor y las ruedas, entonces la válvula de control de altura registra esta variación y acciona el compresor que incrementa la presión de aire en el sistema, aumentando la altura de los fuelles hasta llegar al punto de funcionamiento, producto de esto se incrementa la distancia entre el bastidor y las ruedas, manteniendo la altura del vehículo.

1.5.2 Mantenimiento del sistema

El sistema de suspensión neumática debe ser revisado periódicamente para detectar posibles fugas de aire en acoples, cañerías y fuelles ya que la pérdida de presión provocaría mal funcionamiento e ineficiencia, otros puntos a tener en cuenta son:

- Comprobación del nivel de aceite del compresor.
- Sustitución de aceite del compresor.
- Limpieza o sustitución del filtro de aire.
- Comprobación de la presión en el sistema (100PSI).

- Comprobación de la altura del vehículo para determinar el correcto funcionamiento del sensor de altura y la válvula de control.
- Comprobación de alturas entre el lado izquierdo y derecho del vehículo.
- Comprobación de funcionamiento del sistema con el vehículo cargado y sin carga (variación de alturas).

Para un óptimo resultado estas comprobaciones y ajustes deberán ser realizadas con el vehículo estacionado sobre un terreno horizontal y siguiendo los procesos establecidos por el fabricante del sistema.

Adicionalmente del sistema neumático hay que asistir a la parte mecánica con:

- Engrase de los puntos móviles (sujetos a engrase).
- Chequeo del holguras y estado físico de bujes y barras de sujeción.
- Ajuste de pernos.
- Estado de amortiguadores.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL PROYECTO

2.1 Diseño de partes mecánicas.

2.1.1 Requerimientos

2.1.1.1 Tipo de Vehículo

Según la Resolución N° **032-DIR-2012-ANT** del REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE COMERCIAL DE CARGA LIVIANA Y MIXTA DEL ECUADOR expedido por EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA NACIONAL DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL TRANSPORTE TERRESTRE, TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL en su “CAPÍTULO II, ARTICULO **2 define, como transporte de carga liviana y mixta** al servicio que se presta a terceras personas a cambio de una contraprestación económica, siempre que no sea servicio de transporte público, mediante el uso de camionetas de cabina sencilla y camiones livianos con capacidad de carga menor a 3,5 Toneladas...”, por ende las camionetas con capacidad de carga menor a 3500Kg se encuentran dentro del segmento “CARGA LIVIANA”.

2.1.1.2 Características iniciales del vehículo

El espacio dispuesto para carga está ubicado en la parte posterior y es denominado balde o paila que variará en sus medidas dependiendo de la marca y modelo, en el caso de este trabajo se dispone de un área = 2.72 m^2 .

La paila está anclada al chasis por pernos y tuercas en 6 puntos dispuestos simétricamente sobre los largueros (3 a cada lado), como se indica en la figura 2.1.

En la parte inferior de los largueros estarán ubicados los puntos de fijación para el sistema de ballestas, a través de los cuales se unen la masa suspendida y el eje posterior.

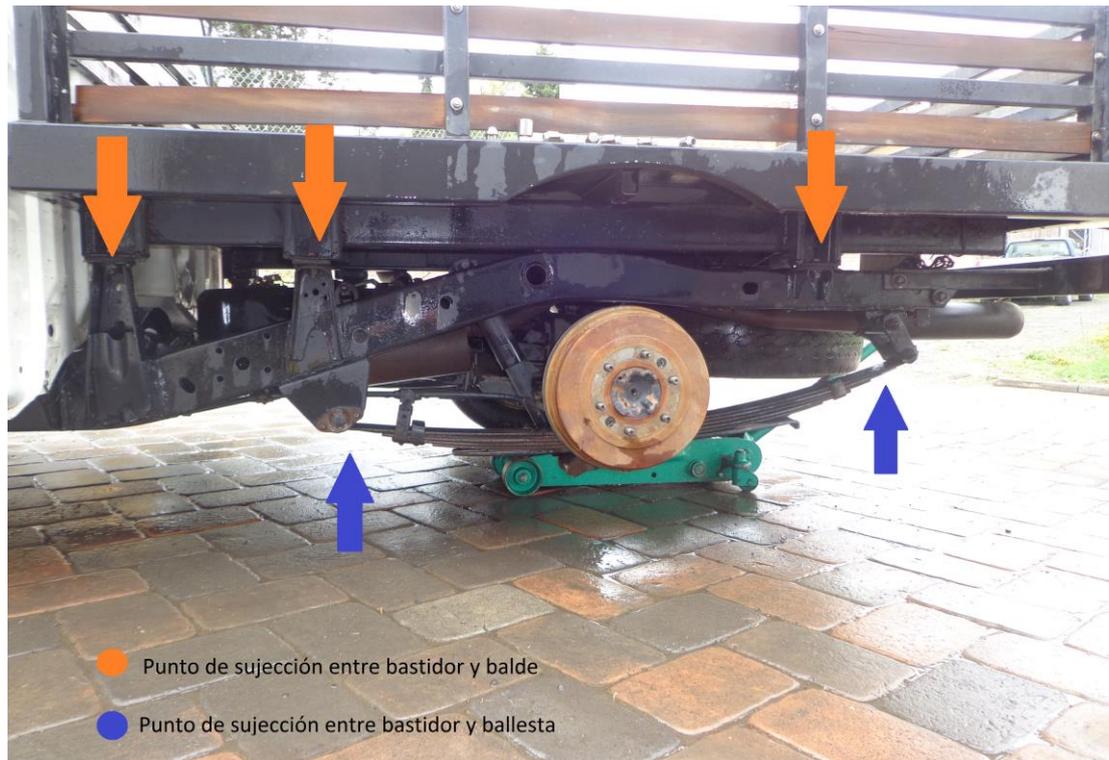


Figura 2.1 Puntos de unión entre balde, bastidor, ballesta.

El bastidor está diseñado de tal manera que el peso total del vehículo sea repartido a lo largo del mismo, la relación de distribución de peso entre la parte frontal y posterior variará dependiendo del tipo de vehículo, que en el caso de camionetas es 60% en la parte frontal y 40% en la parte posterior aproximadamente, con el fin de nivelar el peso cuando se coloque carga en el balde.

Según el manual de usuario la camioneta Mazda B2200 está diseñada para transportar una carga de 1000 Kg (adicional al peso del vehículo) la misma que deberá ser distribuida uniformemente en el área de carga, así mismo se indica que, el eje posterior está diseñado para una carga máxima de 1860 Kg (peso de la carga más el peso del vehículo); condensando la información en la tabla 2.1, se tiene:

Tabla 2.1: Datos iniciales del vehículo.

Vehículo	
Marca	Mazda
Modelo	B2200
Tipo	Camioneta Cabina Sencilla
Motor	2200 cm ³
Potencia Nominal	82 KW
Revoluciones	4500 rpm
Peso Neto	1232 Kg
Capacidad de carga	1000 Kg
Peso Total	2232 Kg
Área de Carga	2,72 m ²
Carga máxima sobre el eje frontal	1170 Kg
Carga máxima sobre el eje posterior	1860 Kg

Fuente: (Manual técnico de la Camioneta Mazda B2200)

2.1.1.3 Diseño para nuevo sistema de suspensión

Se necesitan nuevas piezas para la sustitución de las ballestas por los elementos mecánicos y neumáticos que corresponden al sistema de suspensión neumática, para ello se requiere diseñar:

- Las bases de unión entre el eje y el fuelle, éstas estarán unidas al eje por los pernos y tuercas de las abrazaderas “U” (usadas en el sistema de ballestas) y al fuelle por pernos, estos elementos trabajan a flexión.
- Las barras tirantes, que mantienen al eje alineado y evitan que éste gire por efecto de la torsión en las ruedas, estarán trabajando a tracción y compresión dependiendo de si el vehículo acelera o frena.

Y seleccionar:

- Elementos de unión permanente (soldadura) entre las barras tirantes y las bases de soporte de fuelles neumáticos que trabajarán a cortante.
- Elementos de unión no permanente (pernos) entre el fuelle neumático y las bases que trabajarán a cortante.

2.1.2 Determinación de cargas

Para encontrar el valor de las fuerzas que van a actuar sobre los elementos a diseñar se requiere conocer algunos datos que permitan determinarlas:

- Potencia máxima del motor.
- Relaciones de transmisión de la caja de cambios.
- Relación de transmisión del grupo diferencial.
- Peso máximo de carga sobre cada eje.

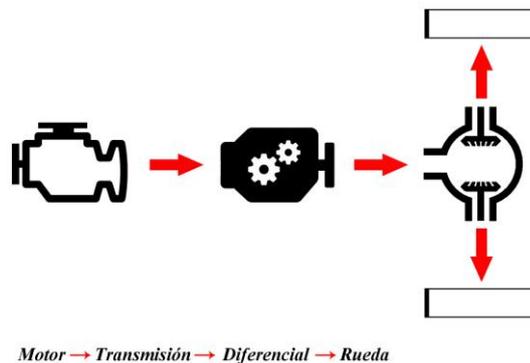


Figura 2.2 Diagrama de transmisión del movimiento.

Tabla 2.2: Relaciones de transmisión.

Marcha	Relación de transmisión
1ra	3,307 : 1
2da	1,833 : 1
3ra	1,233 : 1
4ta	0,914 : 1
5ta	0,717 : 1
Reversa	3,166 : 1
Grupo cónico	4,105 : 1

Fuente: (Technical data of engine Mazda F2, pg. 30-23)

Teniendo en cuenta como se transmite el movimiento desde el motor hasta las ruedas y sabiendo las desmultiplicaciones entre las distintas etapas se procede de la siguiente forma,

1. Dibujo de diagrama de cuerpo libre (DCL).
2. Determinar y colocar cargas en el DCL.
3. Determinar puntos críticos del sistema.
4. Con los datos de fuerzas que actúan en cada punto realizar el diseño de cada una de las partes críticas del sistema.

2.1.2.1 Diagrama de cuerpo libre (DCL)

Es un dibujo esquemático del cuerpo en estudio que cuenta con la geometría exacta, en éste se indican las dimensiones geométricas y fuerzas que actúan, para poder determinar los puntos críticos del sistema.

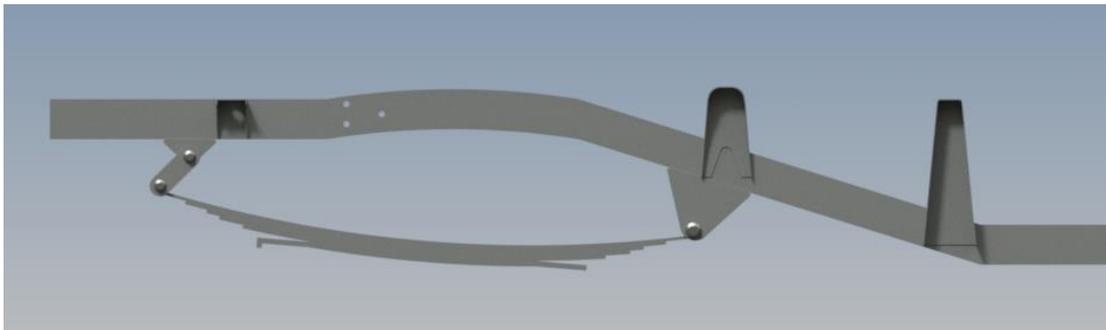


Figura 2.3 Diagrama de cuerpo libre del sistema original.

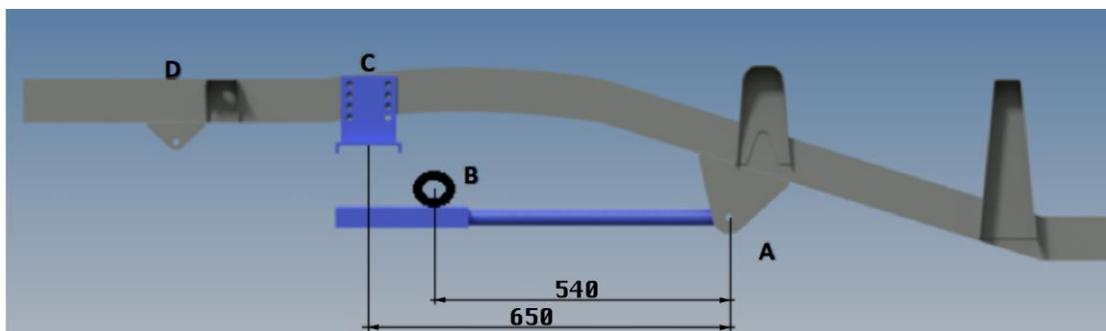


Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del sistema nuevo.

2.1.2.2 Colocación de cargas

En el sistema se van a tener 2 tipos de cargas, el peso (vehículo + carga + ocupantes) y la fuerza debido a la tracción del vehículo cuando éste acelera o frena, esta última fluctuará entre 0 y un valor máximo (por determinar) dependiendo del torque generado por el vehículo en diferentes instancias.

2.1.2.2.1 Determinación del peso y su distribución sobre los ejes

Como se indicó en la tabla 2.1, la capacidad de carga máxima viene dada por el fabricante, sin embargo, se realiza el tarado individual de cada eje con el vehículo vacío con el objetivo de encontrar la relación estandar de peso entre ejes y así luego poder utilizar esa relación para cualquier condición del vehículo.

Tabla 2.3: Relación de peso entre ejes con vehículo sin carga.

Eje delantero	733 Kg	Vehículo sin carga	
Eje posterior	599 Kg	Relación peso = $(PE / PT) \times 100$	
Peso total	1332 Kg	Eje Delantero 55%	Eje Posterior 45%

PE= Peso del eje / PT= Peso Total

Fuente: (Valores obtenidos en equipos de Danton S.A.)

Se repite el tarado pero con vehículo cargado,

Tabla 2.4: Relación de peso entre ejes con vehículo cargado.

Eje delantero	731 Kg	Vehículo con carga de 325 Kg	
Eje posterior	924 Kg	Relación peso = $(PE / PT) \times 100$	
Peso total	1655 Kg	Eje delantero 44%	Eje posterior 56%

PE= Peso del eje / PT= Peso Total

Fuente: (Valores obtenidos en equipos de Danton S.A.)

Entonces, se observa que a medida que se aumenta peso al vehículo, la relación de peso entre ejes cambia, dando como resultado final que:

Tabla 2.5: Distribución de carga por eje.

	Eje delantero	Eje posterior
Sin carga	55 %	45 %
Con carga	44 %	56 %

Fuente: (Valores obtenidos en equipos de Danton S.A.)

Tomando los valores de la tabla 2.5 se puede calcular la cantidad de peso máximo a la que los ejes estarán expuestos,

Tabla 2.6: Peso máximo que soporta cada eje.

Peso del vehículo	1290 Kg	Con estos datos se obtiene:	
Carga máxima	1000 Kg		
Peso adicional	180 Kg	Peso eje delantero (40%)	916,2 Kg
Total	2470 Kg	Peso eje posterior (60%)	1553,7 Kg

Fuente: (Valores obtenidos en equipos de Danton S.A.)

Con una distribución homogénea sobre las ruedas posteriores se tiene que cada una soportará la mitad del peso que actúa sobre el eje, entonces: 776,85 Kg

$$P_r = P_{ep}/2 \quad [2.1]$$

$$P_r = 1553,7/2$$

$$P_r = 776,85 \text{ Kg}$$

Por lo tanto:

$$F_p = m \cdot g \quad [N] \quad [2.2]$$

$$F_p = 776,85 \text{ Kg} (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_p = 7.613,13 \text{ N}$$

2.1.2.2.2 Determinación de fuerza variable

Para determinar la fuerza producida cuando el vehículo acelera, la misma que producirá tracción sobre el eje tirante, se debe trabajar con las revoluciones y potencia máxima del motor, la relación de transmisión de la caja de cambios, la relación de transmisión del grupo diferencial y el diámetro de la rueda del vehículo

se debe tener en cuenta que la potencia generada por el motor será la misma para todo el sistema y las variantes se darán en las revoluciones y el torque en cada una de las fases donde exista una relación de transmisión, para este particular se debe utilizar la siguiente expresión:

$$T = \frac{P.K}{w} \quad [2.3]$$

Donde:

T= Torque [N.m]

P= Potencia [w]

W= Velocidad angular [rpm]

K= Constante (K=9,55 para Sistema Internacional y K=63000 para Sistema Ingles)

Teniendo en cuenta esta información y los datos del vehículo se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 2.7: Calculo de fuerza en la rueda.

Datos del motor	
$P=82 \text{ KW}$ $W=4500 \text{ rpm}$ $T=P.K / W$ $T=82E3 * 9,55 / 4500$ $T=174 \text{ N.m}$	
$T=174 \text{ N.m}$ $W=4500 \text{ rpm}$	
Transmisión	
1ra velocidad	Reversa
$RT_1= 3,307$ $W_1= W/RT_1$ $W_1=4500/3,307$ $W_1= 1359 \text{ rpm}$ $T_1=P.K / W_1$ $T_1=82E3*9,55 / 1359$ $T_1=576,23 \text{ N.m}$	$RT_r= 3,166$ $W_R= W/RT_r$ $W_R=4500/3,166$ $W_R= 1422 \text{ rpm}$ $T_R=P. K / W_r$ $T_R=82E3*9,55 / 1422$ $T_R=550,70 \text{ N.m}$
$T_1=576,23 \text{ N.m}$ $W_1= 1359 \text{ rpm}$	$T_R=550,70 \text{ N.m}$ $W_R= 1422 \text{ rpm}$
Grupo cónico	
1ra velocidad	Reversa
$RT_d = 4,105$ $WD_1=W_1 / RT_d$ $WD_1=1359 / 4,105$ $WD_1=331,60 \text{ rpm}$ $TD_1=P. K / WD_1$ $TD_1=82E3*9,55 / 331,60$ $TD_1=2361,58 \text{ N.m}$	$RT_d= 4,105$ $WD_R=W_R / RT_d$ $WD_R =1422 / 4,105$ $WD_R =346,97 \text{ rpm}$ $TD_R=P. WD_R / k$ $TD_R=82E3*9,55 / 346,97$ $TD_R=2256,97 \text{ N.m}$
$TD_1=2361,58 \text{ N.m}$ $WD_1=331,60 \text{ rpm}$	$TD_R=2256,97 \text{ N.m}$ $WD_R=346,97 \text{ rpm}$
Ruedas	
1ra velocidad	Reversa
$TD_1=2361,58 \text{ N.m}$ $F_1=TD_1 / d$ $F_1=2361,58 / 0,31$ $F_1=7618,00 \text{ N}$	$TD_R=2256,97 \text{ N.m}$ $F_R=TD_R / d$ $F_R =2256,97 / 0,31$ $F_R =7280,54 \text{ N}$
$TF_1=2361,58 \text{ N.m}$	$TF_R=2256,97 \text{ N.m}$
$WF_1=331,60 \text{ rpm}$	$WF_R=346,97 \text{ rpm}$
$F_1=7618,00 \text{ N}$	$F_R =7280,54 \text{ N}$

Una vez obtenido el dato de fuerza hacia delante F_1 y hacia atrás F_R se compara y se utiliza la fuerza mayor ya que será la que produzca un esfuerzo mayor cuando actúe sobre el tirante, siendo $F_1 > F_R$.

$F_1 = 7.618,00 \text{ N}$

Obtenidas las fuerzas se tiene:

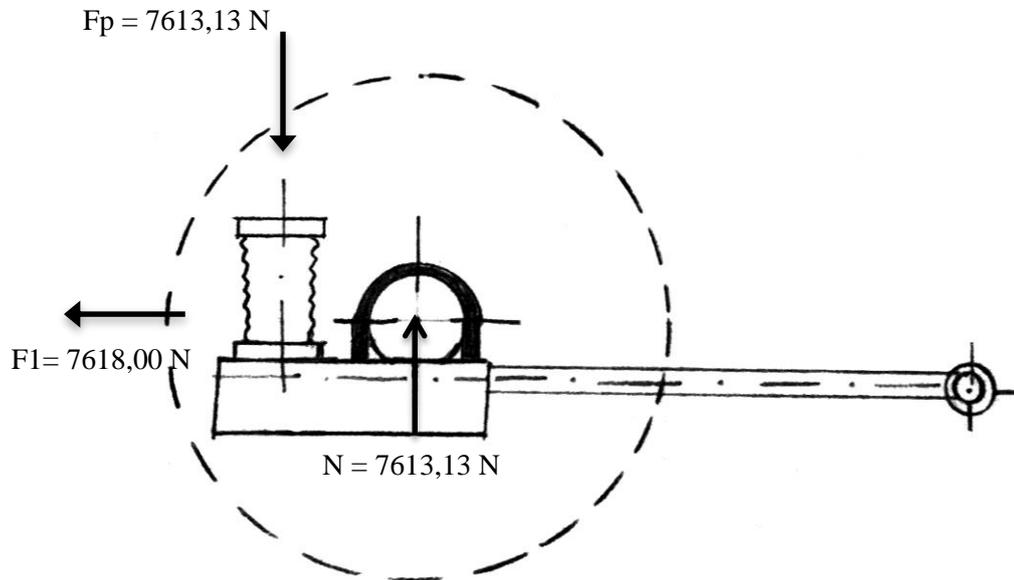


Figura 2.5 Ubicación de las cargas en el sistema.

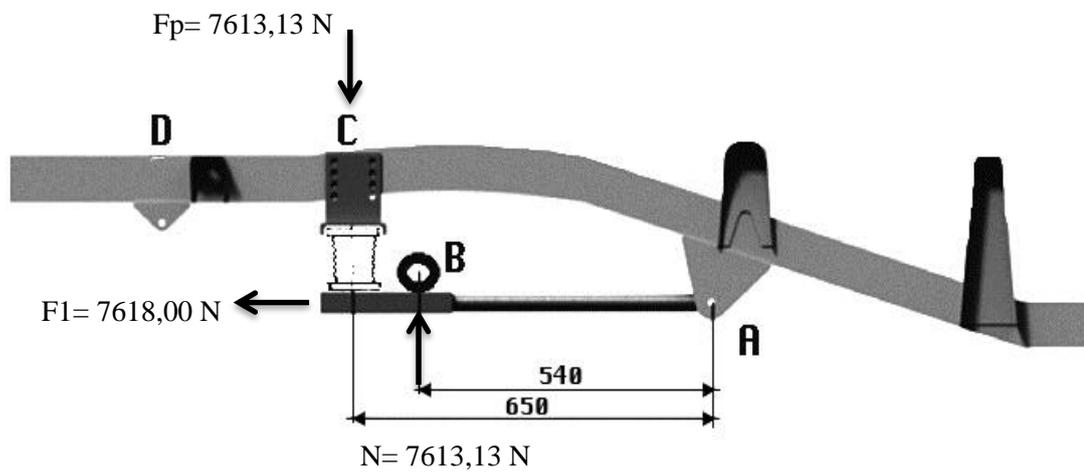


Figura 2.6 Ubicación de las cargas en el sistema.

2.1.2.3 Determinación de puntos críticos de las piezas del sistema.

Los puntos críticos en un sistema mecánico son concentradores de esfuerzos donde puede producirse una falla (deformación o fractura) éstos se ubican principalmente en los cambios de sección, agujeros, ranuras, aristas expuestas y lugares de la pieza donde el material varía en su geometría; se puede observar que los puntos críticos a tomar en cuenta para el diseño de las piezas serán:

- Diámetro de la barra tirante.
- Espesor de las placas de soporte de los fuelles neumáticos
- Selección de pernos para unión de las distintas partes.
- Selección de soldadura para unión permanente de piezas.

2.1.3 Cálculo de datos en software.

Para realizar el cálculo de resistencia de las piezas se debe modelar éstas previamente en un software que permita realizar este trabajo para luego exportar los dibujos a un software de análisis estructural por medio del que se determinarán las medidas de diseño óptimas previo a la construcción.

Las medidas de los materiales que se utilizaron durante el diseño se extrajeron del listado de productos que se oferta en el mercado nacional, además se tomó como referencia las medidas de las piezas originales del vehículo (espesor de placas, pasadores, pernos) ya que no se va a variar la capacidad del vehículo, sino solo un cambio de sistema de la suspensión posterior:

- Para el diseño de las bases se utilizó plancha de Acero AISI 1018 (plancha negra) de 6mm.
- Para el diseño de ejes, bujes y pasadores se utilizó Acero AISI 1045 estirado en frío, debido a sus características mecánicas. Como se puede ver en el anexo 3 la resistencia última del acero 1018 es mucho menor que la del 1045 por lo que hubiese sido necesario un diámetro mayor para soportar la misma carga.

Los diámetros disponibles localmente para el eje de acero AISI 1045 son 25mm, 30mm, 34mm y 39mm.

2.1.3.1 Análisis de barra tirante mediante software

Para realizar el cálculo en Ansys se debe seguir los siguientes pasos:

- Importar la geometría de la pieza o sistema a analizar, debe estar en formato .sat para poder trabajar.

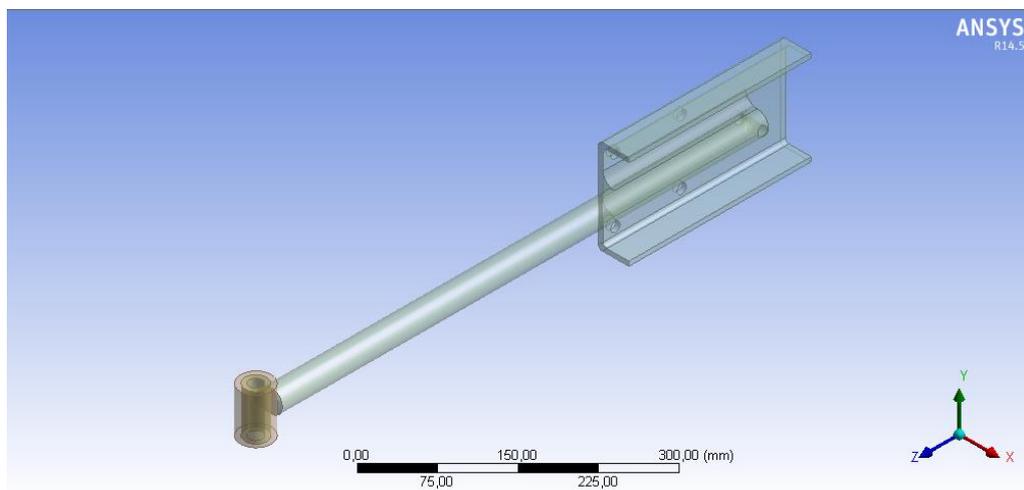


Figura 2.7 Geometría de Barra Tirante luego de la importación.

Fuente: (Software ANSYS)

- Ingreso de las propiedades mecánicas del material con el que la pieza será construida.

Tabla 2.8: Propiedades mecánicas de materiales.

Propiedad	Valor
Modulo de Young	2 E+5 MPa
Relación de Poisson	0,29
Esfuerzo a la Tensión permisible	310 Mpa
Esfuerzo a compresión permisible	310 MPa

Fuente: (Buddynas & Nissbett, 2008)

- Selección de la malla, según la geometría de la pieza se debe elegir la malla que más convenga para un mejor análisis y simulación, ésta deberá ser más densa en los puntos considerados críticos (cambios de sección, agujeros y soldaduras), en donde se usa el mallado tetraédrico (Δ) para una mejor cobertura, así el software puede generar mayor número de ecuaciones en estos puntos, el hexaédrico (\square) se utiliza en superficies lisas o de forma regular. Los criterios de convergencia son controlados automáticamente por el programa, lo que constituye una ventaja en su utilización.

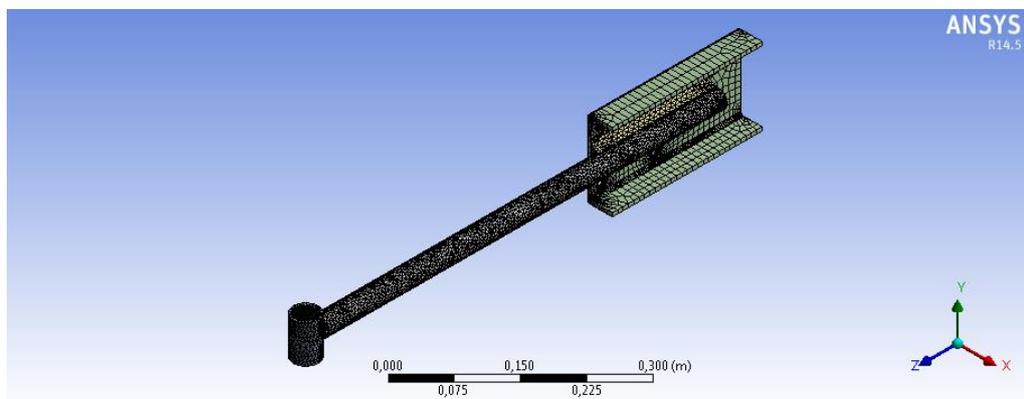


Figura 2.8 Mallado de la pieza Barra Tirante.

Fuente: (Software ANSYS)

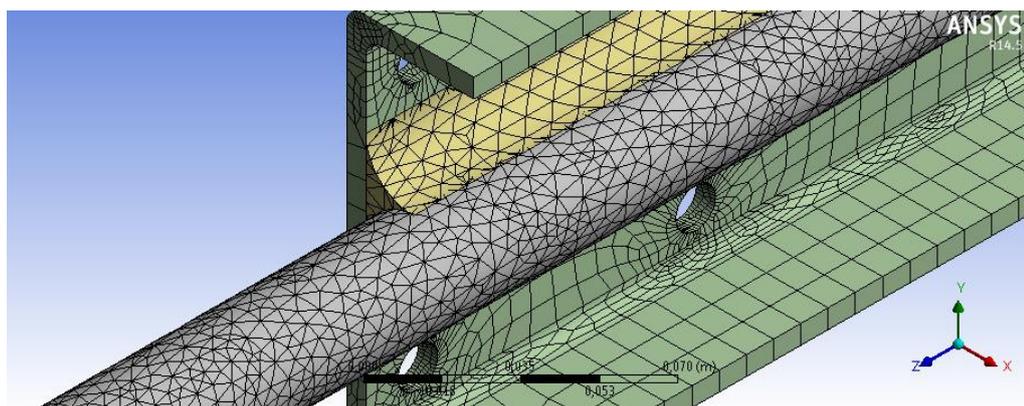


Figura 2.9 Detalle de la malla aplicada en la Barra Tirante.

Fuente: (Software ANSYS)

- Colocación de cargas calculadas anteriormente en los puntos donde se aplican.

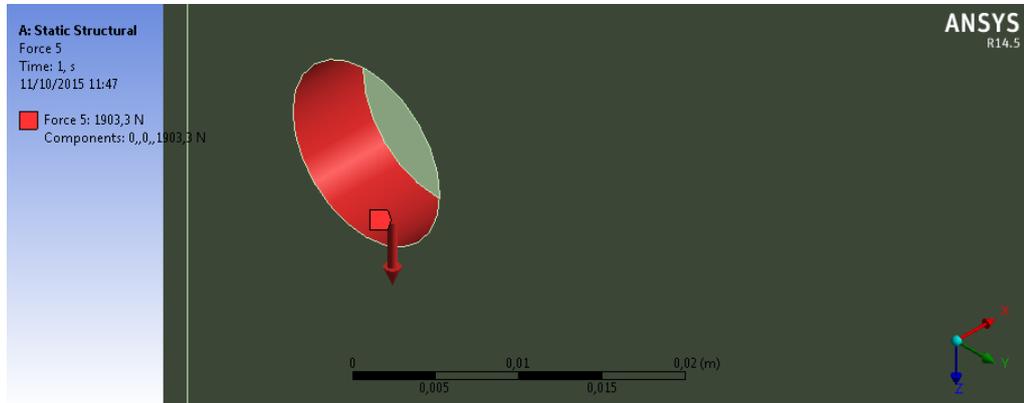


Figura 2.10 Detalle de una carga colocada sobre la pieza Barra Tirante.

Fuente: (Software ANSYS)

- Se seleccionan los criterios a calcular y se ordena al programa resolver las incógnitas.

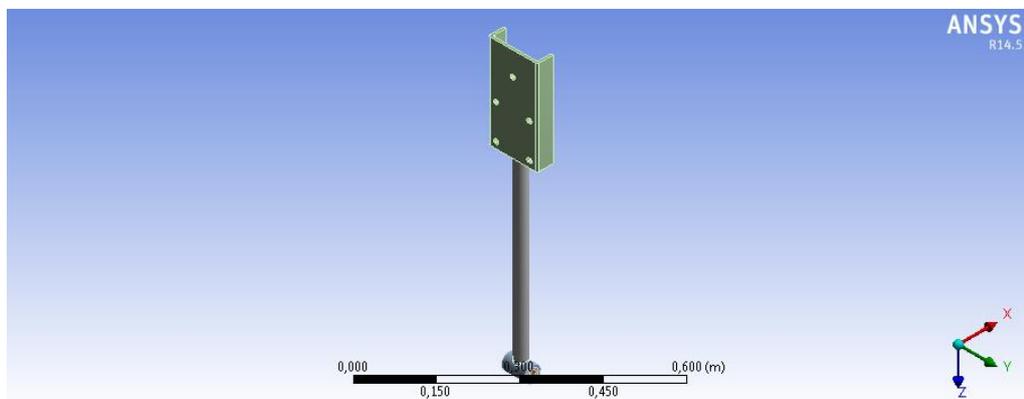


Figura 2.11 Módulo de resolución de incógnitas.

Fuente: (Software ANSYS)

Para analizar este elemento se restringió el desplazamiento en el eje 'Z', en el buje inferior de sujeción, la figura 2.11 ubica este punto en la parte inferior de la barra tirante. Una vez determinadas las condiciones de frontera requeridas, se da el inicio al análisis por parte del programa, el tiempo empleado para la solución fue de 1h25m aproximadamente.

2.1.3.1.1 Resultados obtenidos de la Barra Tirante

- Esfuerzo Cortante.

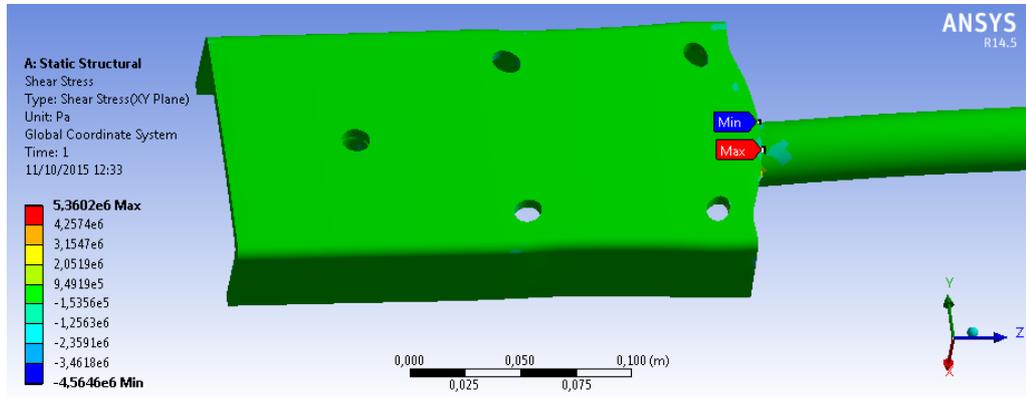


Figura 2.12 Resultado obtenido de esfuerzo cortante.

Fuente: (Software ANSYS)

- Deformación total.

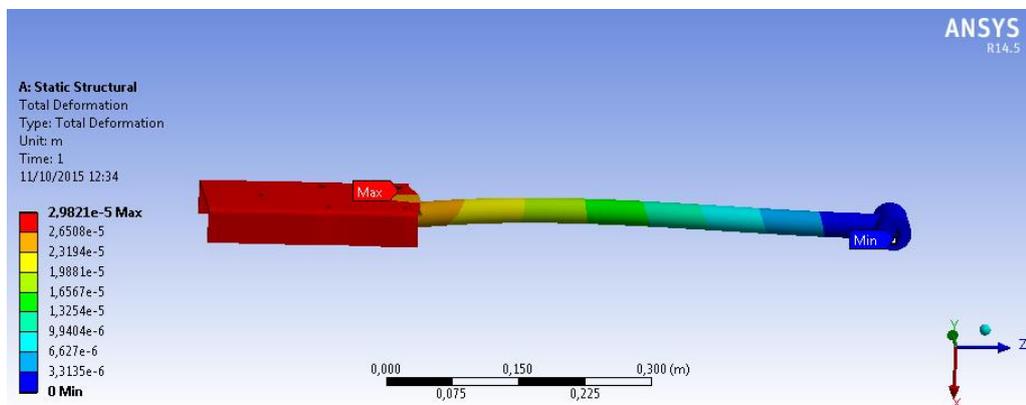


Figura 2.13 Resultado obtenido para deformación total de la pieza.

Fuente: (Software ANSYS)

- Esfuerzo de Tensión.

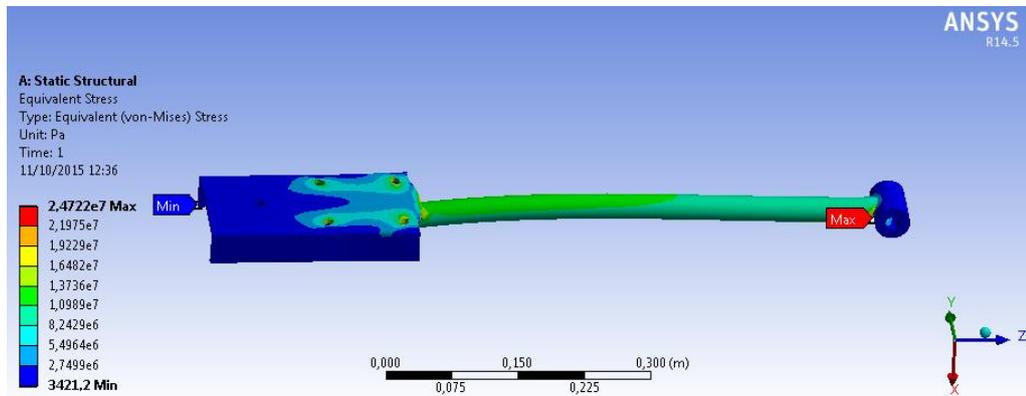


Figura 2.14 Resultado obtenido para esfuerzo de tensión.

Fuente: (Software ANSYS)

- Factor de Seguridad.

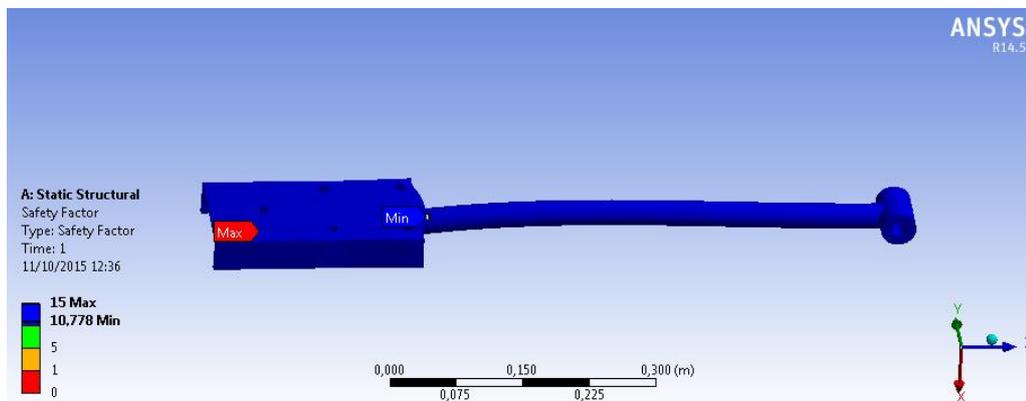


Figura 2.15 Resultado obtenido para factor de seguridad en la pieza.

Fuente: (Software ANSYS)

Tabla 2.9:Resultados obtenidos para el elemento Barra Tirante.

	Descripción	Mínimo	Máximo
1	Esfuerzo cortante	-4,51E+06 Pa	5,36E+06 Pa
2	Deformación total	0 m	2,98E-05 m
3	Esfuerzo tensión	3421 Pa	2,47E+07 Pa
4	Factor de seguridad	10,78	15

2.1.3.2 Análisis de Chasis y conjunto armado

Previamente al igual que en el caso anterior se realiza la importación de la geometría y el ingreso de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman el sistema.

- Selección de la malla, se cumplen los mismos criterios que se utilizaron en el análisis del elemento anterior, como se trata de un conjunto de partes se debe determinar los elementos sólidos y los superficiales para facilitar el análisis al software y optimizar los costos computacionales.

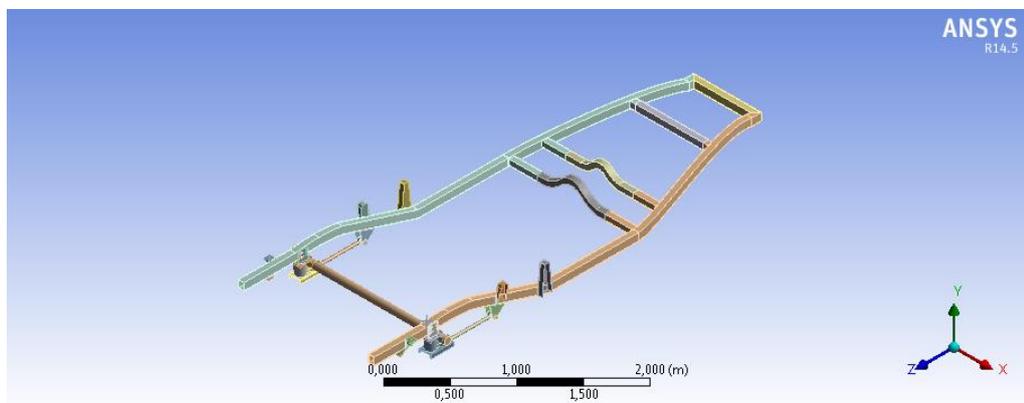


Figura 2.16 Mallado de conjunto armado Chasis-Suspensión Posterior.

Fuente: (Software ANSYS)

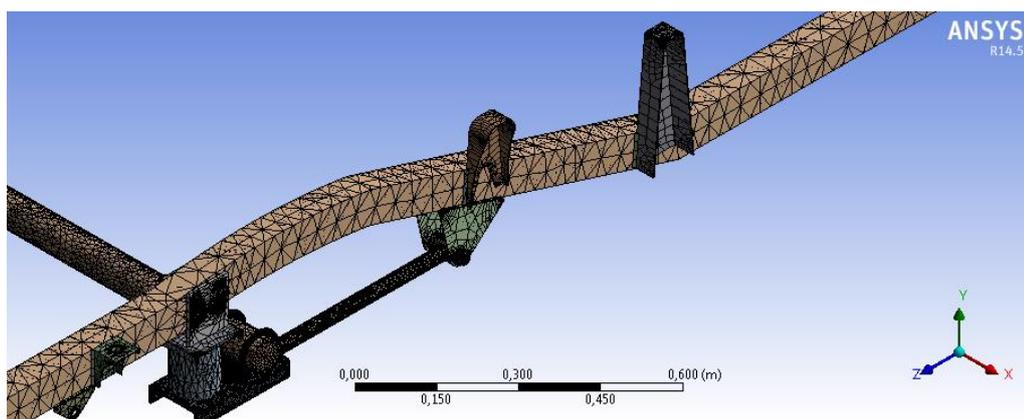


Figura 2.17 Detalle del mallado utilizado en el conjunto armado Chasis-Suspensión Posterior.

Fuente: (Software ANSYS)

En la figura 2.17 se muestra la superficie sólida con mallado tetraédrico en color marrón y un elemento superficial con mallado hexaédrico en color gris.

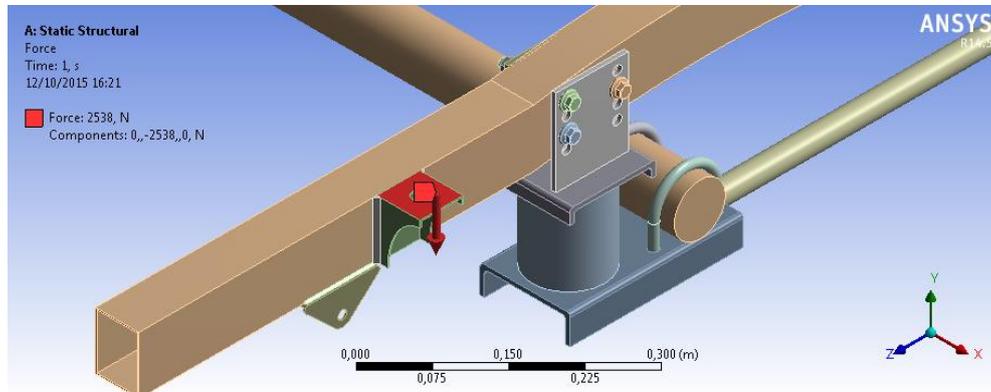


Figura 2.18 Colocación de cargas sobre el conjunto a analizar.

Fuente: (Software ANSYS)

Para analizar este conjunto mecánico, se restringió la parte delantera del elemento chasis, en la figura 2.16 se encuentra ubicado este punto en la parte derecha del gráfico y de color amarillo. Determinadas las condiciones de frontera, se da inicio al análisis en el software, este proceso le tomó al programa 6h30m, debido a la cantidad de particulares.

2.1.3.2.1 Resultados obtenidos del conjunto armado.

- Deformación Total.

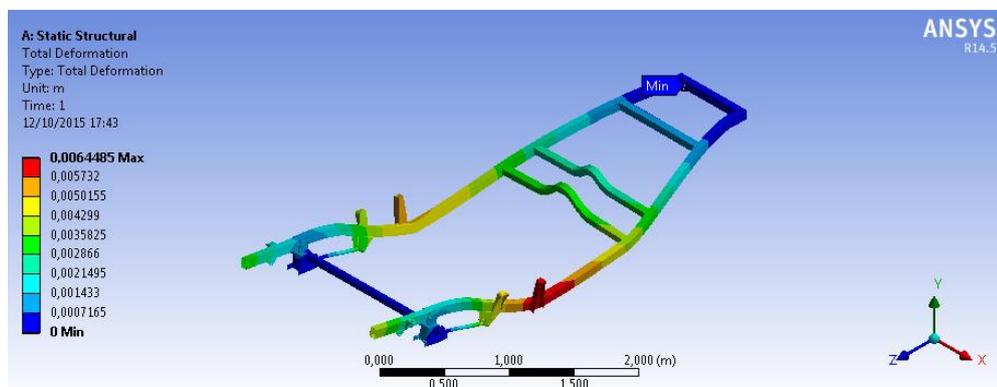


Figura 2.19 Resultado obtenido para deformación total.

Fuente: (Software ANSYS)

- Esfuerzo cortante.

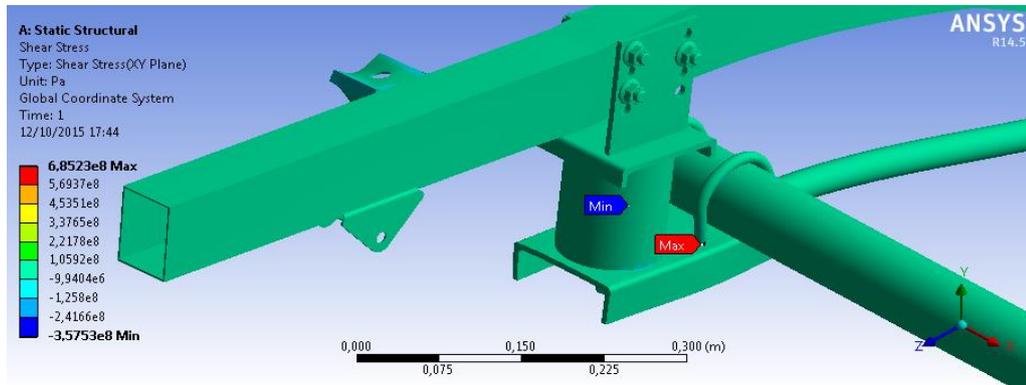


Figura 2.20 Resultado obtenido de esfuerzo cortante.

Fuente: (Software ANSYS)

- Factor de Seguridad.

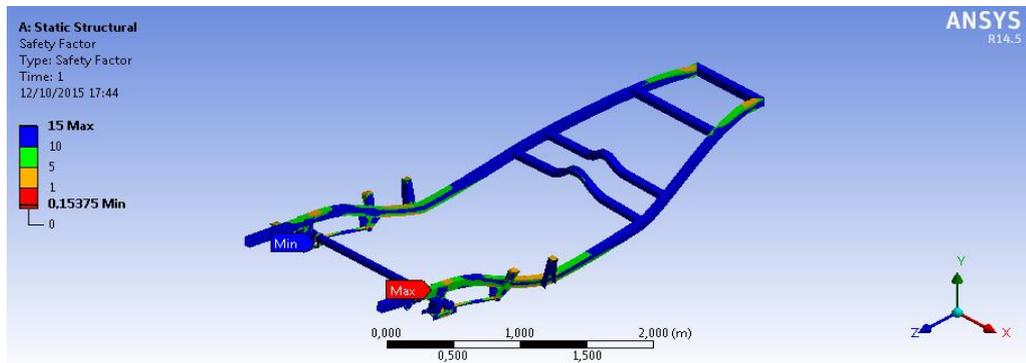


Figura 2.21 Factor de seguridad obtenido para el conjunto completo.

Fuente: (Software ANSYS)

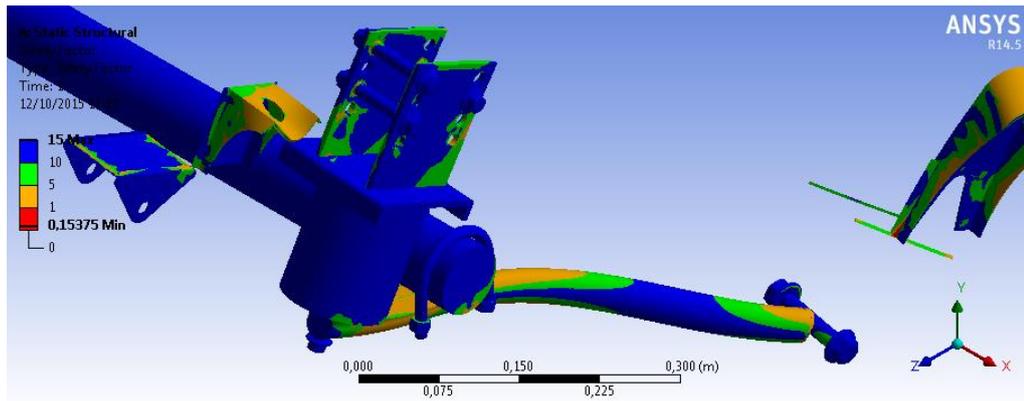


Figura 2.22 Factor de seguridad obtenido para el conjunto completo.

Fuente: (Software ANSYS)

Tabla 2.10: Resultados obtenidos para el conjunto armado

	Descripción	Mínimo	Máximo
1	Esfuerzo cortante	-3,57E+08 Pa	6,85E+08 Pa
2	Deformación total	0 m	0,0064 m
3	Factor de seguridad	0,15	15

2.1.3.3 Resultados

Como se observa en las tablas y figuras anteriores, el programa nos entrega un factor de seguridad de 15 para la barra tirante y en el caso del sistema armado este valor fluctúa entre 0,15 y 15 dependiendo del lugar.

En cuanto a la deformación máxima se obtiene un valor de 0,006485m que es un valor pequeño y está ubicado en el chasis del vehículo, punto que no se ha modificado.

Con estos resultados se puede proceder a la construcción de las piezas.

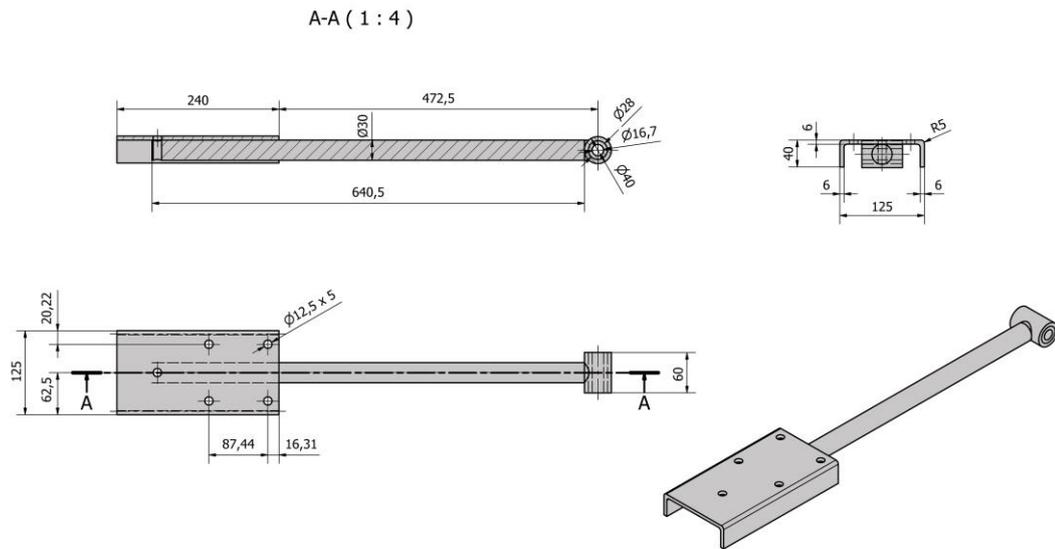


Figura 2.23 Dibujos de barra tirante para construcción.

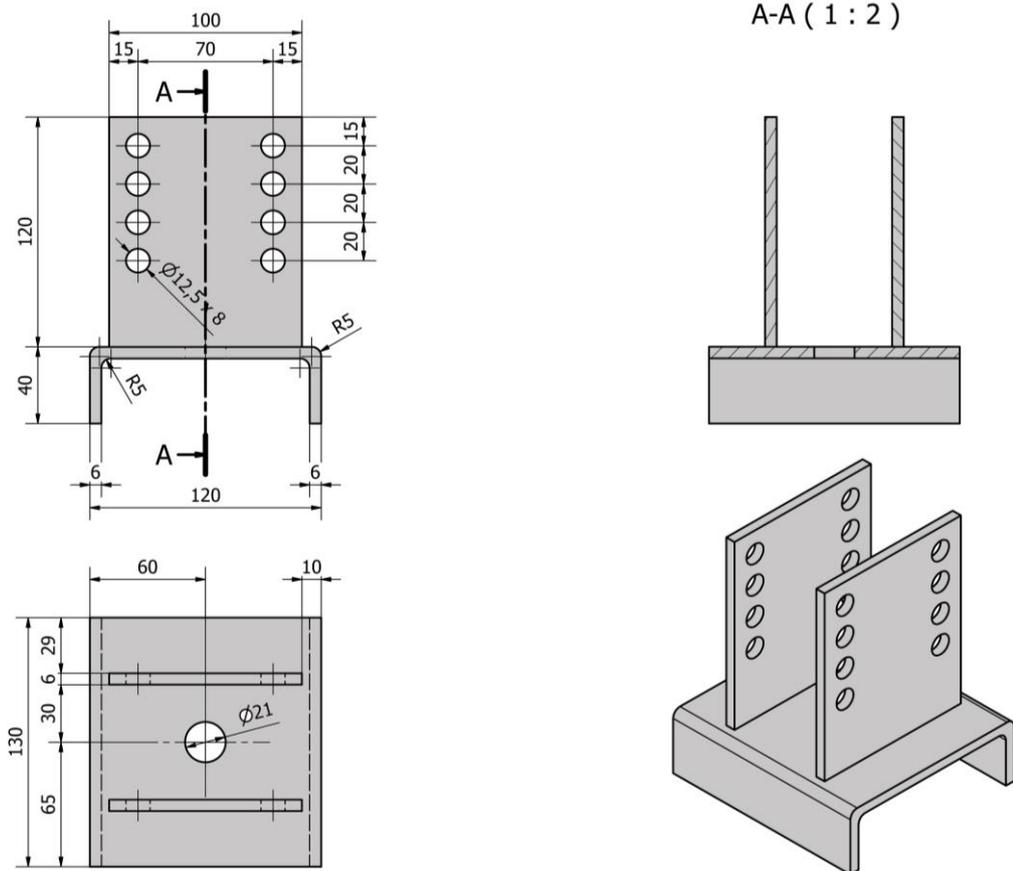


Figura 2.24 Dibujos de base superior para construcción.

2.1.4 Procesos de Trabajo

Para la construcción de las piezas indicadas en las figuras 2.23 y 2.24 se debe seguir las hojas de proceso, en éstas se indican los pasos a seguir para la mecanización. La base superior irá unida mediante pernos al chasis del vehículo y trabajará como el soporte superior del fuelle neumático, anexo 1, mientras que la barra tirante (anexo 2) tendrá una doble función:

- Será el elemento de unión entre el eje posterior y el chasis.
- Servirá de base inferior del fuelle neumático, elemento que estará unido al chasis por la base superior y será el punto en el que el sistema oscile cuando existan irregularidades en la calzada.

2.2 Diseño neumático

Los sistemas neumáticos utilizan las propiedades y características que brinda el aire comprimido, las mismas han aportado una gran gama de aplicaciones en diversos campos, como en la industria, desarrollos tecnológicos, sistemas automotrices, etc. Se pueden describir algunas ventajas del aire comprimido (Maeso & Rodríguez García, 2002):

- Es un recurso ilimitado y se lo encuentra de manera gratuita, además luego de la utilización retorna al ambiente sin necesidad de realizar procesos de tratamientos de purificación.
- Es antideflagrante, está a pruebas de explosiones, no genera chispas, es apto para utilizarlo en entornos húmedos pues no genera electricidad estática.
- Su almacenamiento no genera inconvenientes, se utilizan depósitos que soporten la presión interna y en caso de existir fugas, éstas no son contaminantes.
- La separación de la humedad (agua), se realiza mediante gravedad o por centrifugación, que son procesos simples y económicos.
- Las partes constitutivas son sencillas, livianas, lo que permite obtener grandes velocidades de funcionamiento.

- Su control tanto de fuerza como de velocidad tampoco genera problemas y si existiesen problemas de parada del equipo o herramienta, no se generan problemas de recalentamiento ni sobrecarga.

Su utilización también genera inconvenientes o desventajas, como:

- El ruido, los compresores generan altos niveles de ruido, y también las descargas durante el trabajo.
- Su compresibilidad no permite la obtención de velocidades uniformes de trabajo.
- Tiene una limitante en la fuerza obtenida (con presión de trabajo de 7 kg/cm² solo se genera de 2000 a 3000 kg).

El aire tiene un peso unitario de 1.293 kg/m³ a 1 atm (atmósfera) de presión y 0 °C. y es una mezcla de varios gases presentes en nuestra atmósfera, estos son:

- 78% de nitrógeno
- 20% de oxígeno
- 1.3% de argón
- 0.05 de helio, hidrógeno, dióxido de carbono y otros gases.

2.2.1 Requerimientos

Un sistema neumático requiere ciertos elementos para su funcionamiento, y a partir de éstos y dependiendo de la complejidad, precisión, o fuerza, se complementa con elementos como válvulas, sensores, actuadores, etc; el comando del sistema también varía de acuerdo a las necesidades, tenemos entonces que pueden ser de accionamiento manual, neumático, eléctrico-electrónico o hidráulico.



Figura 2.25 Esquema básico de un sistema neumático.

Por lo tanto, cualquier diseño se debe realizar a partir de éstos requerimientos básicos.

2.2.2 Determinación de cargas

En una suspensión neumática, los encargados de soportar toda la carga sobre el vehículo (peso propio, ocupantes, carga adicional) son los fuelles, esta carga fue calculada y la información obtenida se encuentra en la tabla 2.6.

2.2.3 Criterio para selección de elementos neumáticos

En base a la carga determinada se deben seleccionar los elementos para la suspensión:

- Fuelles neumáticos.
- Compresor.

2.2.3.1 Selección de fuelles neumáticos y compresor

Por tratarse de elementos normalizados, los fuelles neumáticos y compresores se los consigue en una amplia gama, donde los criterios de selección están dados por:

- Capacidad de carga.- Es el valor máximo de fuerza que se le puede aplicar.
- Presión máxima.- Es el valor de la presión del sistema, debe ir de acuerdo con la presión proporcionada por el compresor y con la válvula de seguridad.
- Dimensiones.- De acuerdo al espacio disponible se debe considerar el diámetro del fuelle y su altura.

Se puede realizar una clasificación según la forma de los fuelles neumáticos, para de ésta manera poder seleccionar el más idóneo para el trabajo requerido, incluso su nombre nos sirve de guía para hacer una correcta selección, por ejemplo, el fuelle para asientos, es el diseñado para satisfacer las necesidades de los conductores de vehículos pesados y proporcionarles confort durante la conducción, mientras que, los del tipo americano, son utilizados en suspensiones en el ámbito automotriz.

La siguiente tabla muestra ésta clasificación, pero se debe tener en cuenta que hay otras soluciones, pues, la combinación de los modelos aquí presentados nos da otras opciones para satisfacer necesidades particulares.

Tabla 2.11 Tipos de fuelles neumáticos por su geometría.

		
Fuelle de lóbulo cilíndrico	Fuelle con partes metálicas	Fuelle tipo americano
		
Fuelle reforzado	Fuelle tipo amortiguador	Fuelle para asientos

Fuente: (<http://www.airspringsbook.com/en-US/Product/Groups>)

Los fuelles recomendados para suspensiones son los de tipo de lóbulo cilíndrico, dependiendo de las necesidades de cada vehículo se tienen entre otras, las siguientes opciones:

Tabla 2.12 Características de los fuelles neumáticos de lóbulo cilíndrico.

	Dimensiones: 178 x 178 x 150mm Capacidad carga: 2 Ton Max Presión: 150 psi		Dimensiones: 115 x 90 x 250mm Capacidad carga: 1 Ton Max Presión: 100 psi
	Dimensiones: 200 x 200 x 140mm Capacidad carga: 2 Ton Max Presión: 150 psi		Dimensiones: 115 x 90 x 200mm Capacidad carga: 1 Ton Max Presión: 100 psi
	Dimensiones: 200 x 200 x 140mm Capacidad carga: 1.5 Ton Max Presión: 100 psi		Dimensiones: 115 x 90 x 150mm Capacidad carga: 1 Ton Max Presión: 100 psi
	Dimensiones: 127 x 127 x 152mm Capacidad carga: 1.5 Ton Max Presión: 100 psi		Dimensiones: 102 x 102mm Capacidad carga: 0.5 Ton Max Presión: 5 - 35 psi

Fuente: (<https://www.airliftcompany.com/shop/by-category/parts-and-pieces/air-springs>)

En el caso de los compresores, se puede encontrar en el mercado eléctricos o accionados mecánicamente por una de las poleas del motor, estos últimos con el inconveniente que quitan potencia al motor endotérmico y para colocarlos se requiere de un procedimiento de acople complicado en los soportes.

Los compresores eléctricos que existen en el mercado trabajan a 12V y están diseñados para proveer aire comprimido a razón de hasta 0.0849 m³/min (3 CFM) y alcanzar presiones máximas de hasta 1,378Mpa (200 PSI), no requieren largos periodos de funcionamiento ya que solo se encienden cuando el sistema lo requiere, además son de peso y tamaño reducido.

Tabla 2.13 Compresores y sus características.

	<p>12V 100 PSI 1,03CFM</p>		<p>12V 200 PSI 1,76CFM</p>
	<p>12V 130PSI 0,6 CFM</p>		<p>12V 200 PSI 1,76CFM</p>
	<p>12V 150PSI 1,38CFM</p>		<p>12V 200 PSI 2,6 CFM</p>
	<p>12V 150 PSI 2,54 CFM</p>		<p>12V 200 PSI 3 CFM</p>

Fuente: (<https://www.airliftcompany.com/shop/by-category/parts-and-pieces/air-compressors/>)

2.2.3.2 Selección de válvulas de control

Existen varias maneras o elementos que permiten controlar la presión dentro de un sistema neumático, se las puede clasificar según su modo de accionamiento, siendo las principales:

- **Mecánicas:** Su accionamiento se da por palancas, barras u otros elementos mecánicos que son accionados manualmente por el hombre.

- Eléctricas: También pueden ser electrónicas dependiendo del circuito que se utilice para comandarlas; la apertura o cierre de las mismas se da por la acción de un impulso eléctrico (voltaje).
- Neumáticas: El comando se da por la acción de aire comprimido.
- Automáticas: Utilizadas como válvulas de seguridad, no requieren de un accionamiento ya que permanecen cerradas y en reposo, su funcionamiento se basa en la acción de un muelle tarado que controla la presión del sistema, si ésta excede la fuerza del muelle, la válvula se abre produciendo un desfogue del exceso de aire, protegiendo al sistema de una sobrecarga.

Para protección del sistema en este proyecto se utilizará una válvula de seguridad de 0.7584 MPa (110 PSI) que estará ubicada directamente en la línea de alimentación de los fuelles.

Al tratarse de un sistema automático de control se tiene un elemento eléctrico encargado de censar la altura entre el eje y el chasis del vehículo, el mismo que envía una señal de voltaje a una electro válvula del circuito neumático que controlará si el sistema debe cargarse o descargarse regulando la altura antes mencionada.

2.2.3.3 Selección de cañerías

Las cañerías son conductos que permiten transportar y distribuir el aire comprimido generado por el compresor hasta los elementos de trabajo, pueden ser rígidas o flexibles, los materiales utilizados en su construcción son tan variados como sus aplicaciones, no solo son utilizadas en sistemas neumáticos, otro gran campo de aplicación es la hidráulica, por esto es importante realizar una buena selección, pues si no se tiene los datos técnicos o usos recomendados por el fabricante se puede incurrir en errores que provocan desde mal funcionamiento del sistema hasta accidentes que ponen en riesgo la salud. En la figura 2.26 se observan los tipos de cañerías disponibles en el mercado local, teniendo en cuenta que existen otras para usos muy específicos que se pueden conseguir bajo pedido.



Figura 2.26 Cañerías disponibles en el mercado local.

Tabla 2.14: Clasificación de los tipos de cañerías neumáticas.

Tubería rígida	Cobre	<ul style="list-style-type: none"> - Son construidas con cobre rojo. - Resistentes a la oxidación por humedad del aire. - Costo elevado de material y de instalación.
	Hierro galvanizado	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización en sistemas industriales. - Propensos a oxidación interna por humedad del aire. - Mayor peso, pues la pared es más gruesa.
Tubería flexible	Caucho reforzado	<ul style="list-style-type: none"> - Resisten altas presiones, desde 1,38MPa (200 PSI). - Reforzadas con fibras, hilos ó alambre de acero. - Resisten corrosión y soportan vibraciones. - Fácil aplicación en espacios reducidos.
	Nylon	<ul style="list-style-type: none"> - Resisten hasta 1,04 MPa (150 PSI). - Utilizadas en máquinas de precisión. - Permiten conectores de acoplamiento rápido. - Resistentes a la corrosión. - Aplicación en el campo automotriz: frenos, suspensiones.

Las cañerías están certificadas por normas SAE (Sociedad Americana de Ingenieros, por sus siglas en inglés) y de acuerdo a las necesidades de este proyecto se seleccionó la cañería de la figura 2.27 ya que cumple con los requerimientos (tabla 2.15), el fabricante de los fuelles neumáticos también recomienda su utilización, por lo que se debe tener en consideración este aspecto al momento de realizar la selección. La norma viene escrita en la misma cañería, lo que facilita su identificación.

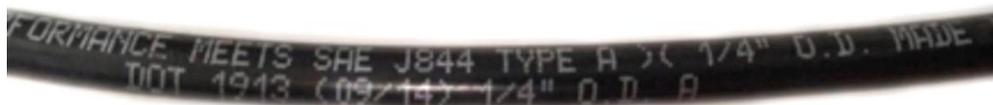


Figura 2.27: Cañerías utilizada para la instalación del sistema neumático en este trabajo.

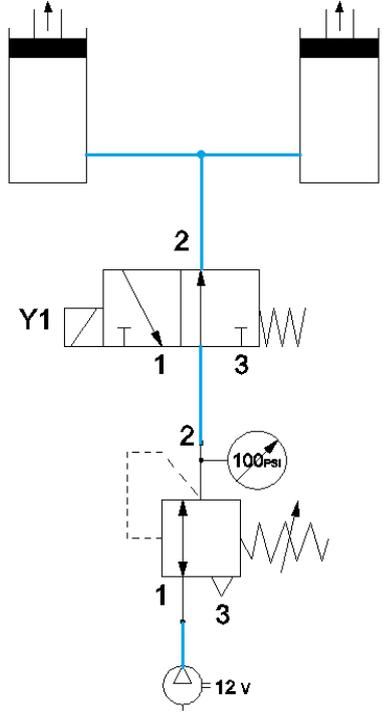
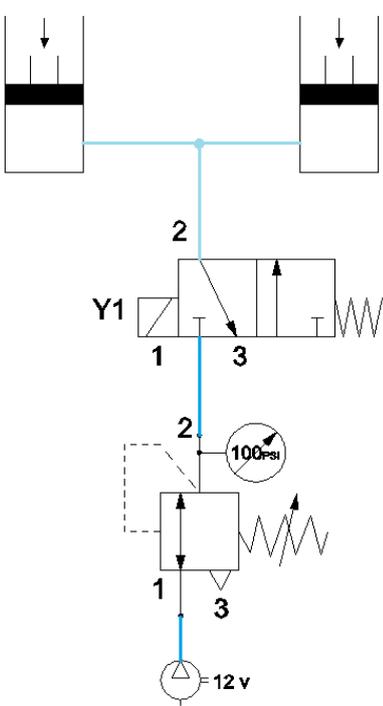
Tabla 2.15 Norma DOT1913 para cañerías neumáticas utilizada en la instalación del sistema en este trabajo.

Norma: DOT 1913 SAE J844 Tipo A		
Diámetro	mm	pulg.
Diámetro exterior	3,2 - 19,1	0,125 - 0,750
Diámetro interior	2,0 - 14,4	0,079 - 0,566
Radio mínimo	9,4 - 76,2	0,37 - 3
Presión	MPa	PSI
Presión máxima de trabajo	1,04	150
Presión mínima de rotura	5,51 - 9,65	800 - 1400
Temperatura	Celsius	Fahrenheit
Temperatura mínima	-40	-40
Temperatura máxima	93	200
Campo de aplicación	Aeronáutica	
	Sistemas de frenos	
	Electromecánica	

Fuente: (<http://ph.parker.com/us/17573/en/transportation-airbrake-tubing>)

2.2.4 Diagrama neumático

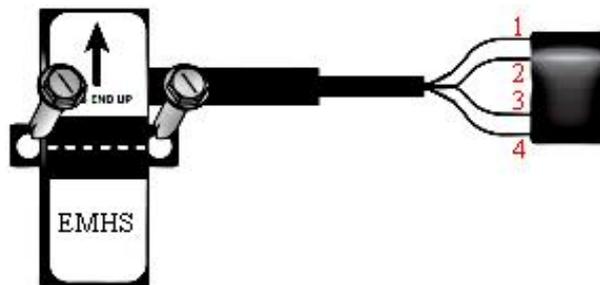
Tabla 2.16 Esquemas y funcionamiento del circuito neumático de suspensión.

	<p>Sistema en carga</p> <p>El compresor genera el aire para el sistema, a través de la cañería pasa por la válvula de seguridad y luego por la válvula de control, ésta deja pasar el aire directamente hacia los fuelles neumáticos hasta que el sensor de posición llegue a su posición de nivel, entonces se suspende el suministro de aire y el sistema queda presurizado.</p> <p>1= Entrada 2= Salida 3= Salida a la atmósfera</p>
	<p>Sistema en descarga</p> <p>Al colocar carga, el sensor de nivel se desplaza hacia abajo, por lo que envía señal a la válvula de control para que ésta se abra.</p> <p>La válvula se abre y deja salir el aire de los fuelles a la atmósfera hasta que el sensor llegue a su posición de nivel, entonces, la válvula se cierra y el sistema queda nuevamente presurizado con el vehículo nivelado.</p> <p>1= Entrada 2= Salida 3= Salida a la atmósfera</p>

2.3 Diseño eléctrico

El control del sistema neumático lo realiza un circuito eléctrico, pues la regulación de la altura se debe realizar de forma automática para que al momento de colocar peso en el vehículo no se requiera de la intervención del conductor para regular las condiciones de la suspensión.

Se estudió la manera de conseguir un elemento que nos permita determinar la altura del chasis del vehículo con respecto al eje de las ruedas, pues la misma es variable y dependiente de la carga, se determinó la utilización de un sensor EMHS (Electronic Magnetic High Sensor, por sus siglas en inglés), se define como un sensor magnético inductivo, el mismo que consta de dos bobinados dispuestos verticalmente, con un espacio de separación o punto muerto, todo esto en un solo cuerpo, que se alimenta con una tensión de 12V.



- 1.- Conexión a tierra / 2.- Conexión relé (borne 86) / 3.- Conexión electro válvula /
4.- Conexión 12V (interruptor de encendido)

Figura 2.28 Sensor EMHS.

Fuente: (Manual AirLift Kit)

Cada bobinado genera una tensión de salida igual gracias a un circuito electrónico de asistencia, por ello se tienen dos señales de salida, las mismas que sirven para comandar por un lado al compresor y por otro a la electro-válvula.

El sensor va integrado al chasis (figura 2.30) y mediante una base metálica anclada al eje de rueda se dispone un imán que se desplaza a lo largo de la cara frontal del sensor para indicarle la altura y poder dar la señal requerida para la regulación; entre

el sensor y el imán debe existir una separación de 25 – 28 mm (holgura establecida por el fabricante).

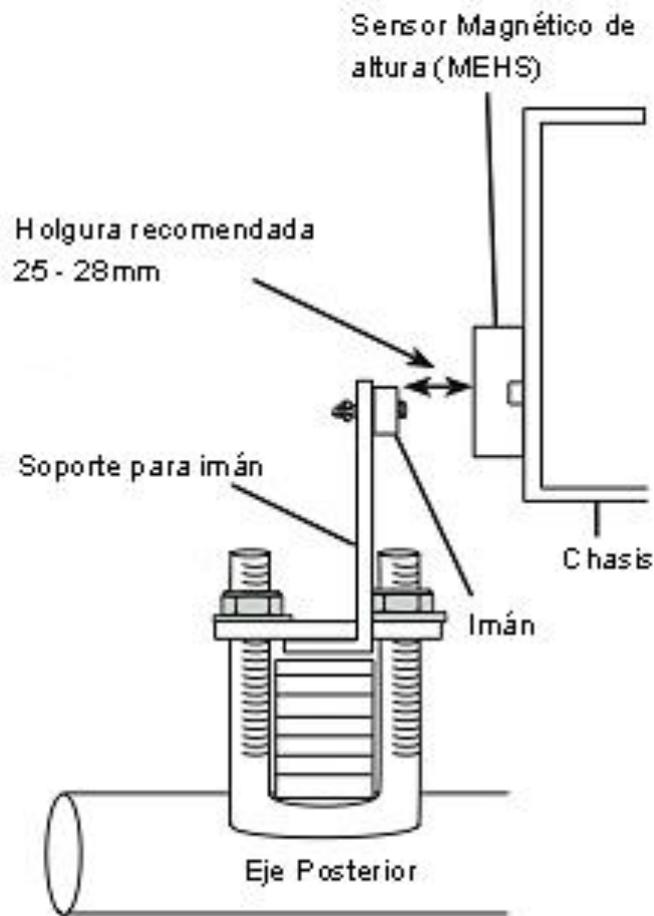


Figura 2.29 Ubicación del sensor e imán para control de altura.

Fuente: (Catalogo AirLift Kits)

Como protección al encendido del compresor, se instala un relé normalmente abierto, se requiere de una señal o comando para activar el paso de la corriente, la misma viene del sensor EMHS, la energía para el compresor se toma directamente de la batería del vehículo, a través del relé, mientras que la energía para el sensor se toma desde el interruptor de encendido desde la posición ON.

2.3.1 Diagrama Eléctrico

En la figura 2.30 se presenta el circuito eléctrico, deben tomarse en cuenta los códigos normalizados de los elementos para evitar cortocircuitos al momento de energizar el sistema.

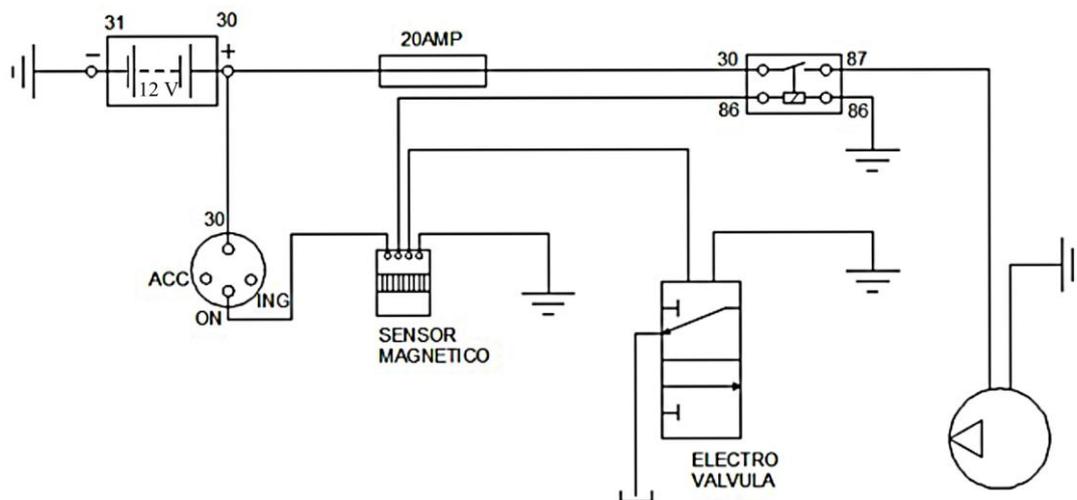
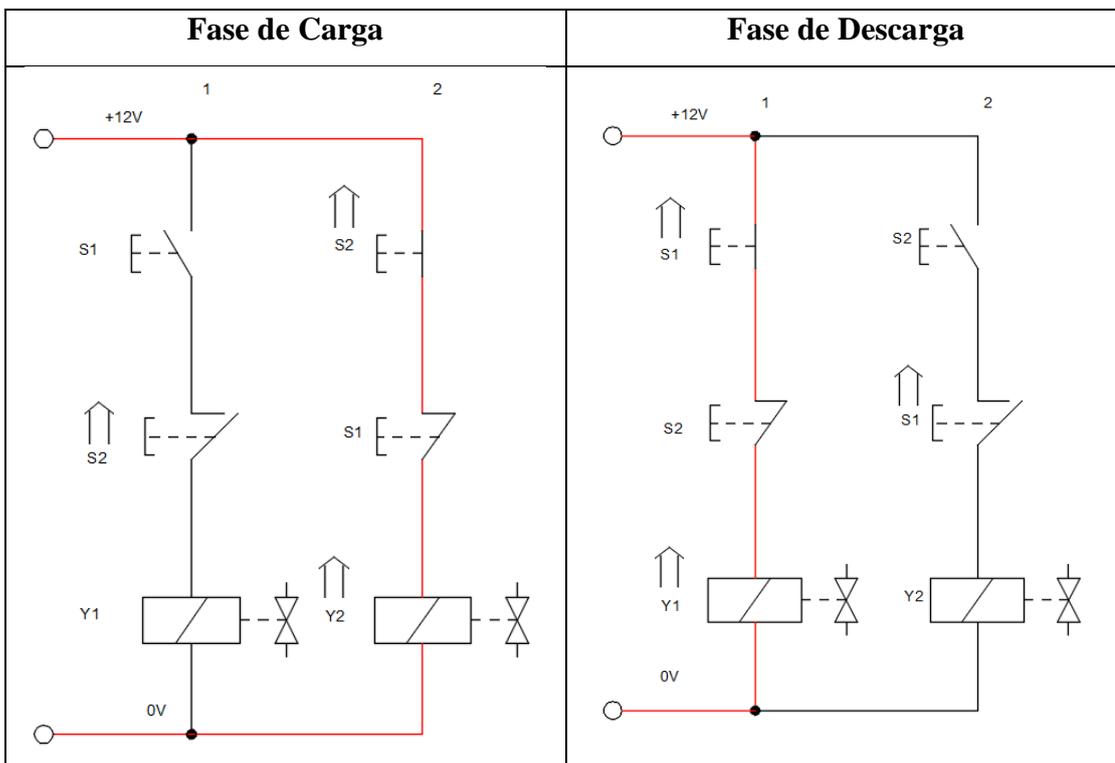


Figura 2.30 Esquema de circuito eléctrico y electroválvula.

Tabla 2.17 Diagrama eléctrico en fase de carga y descarga.



CAPITULO 3

Adaptación del sistema

Luego de la construcción de las piezas, siguiendo los procesos de trabajo, se puede iniciar la instalación del sistema en el vehículo y para ello se requiere de un lugar adecuado, que cuente con las herramientas y equipo necesario para la realización del trabajo.

3.1 Desarmado del sistema de ballestas (original).

Tabla 3.1 Proceso de desarmado de sistema de suspensión de ballestas.

Proceso	Imagen
Embanicar el vehículo y desmontar las ruedas posteriores.	
Extraer los pernos de los pasadores del punto fijo de las ballestas.	
Extraer los pernos de los pasadores del punto móvil (grillete).	

<p>Extraer los pernos de las bridas “U” del paquete.</p>	
<p>Desmontar los pasadores de los puntos de giro.</p>	
<p>Desmontar el conjunto de ballestas.</p>	

3.2 Ensamble de sistema nuevo

3.2.1 Armado de parte mecánica

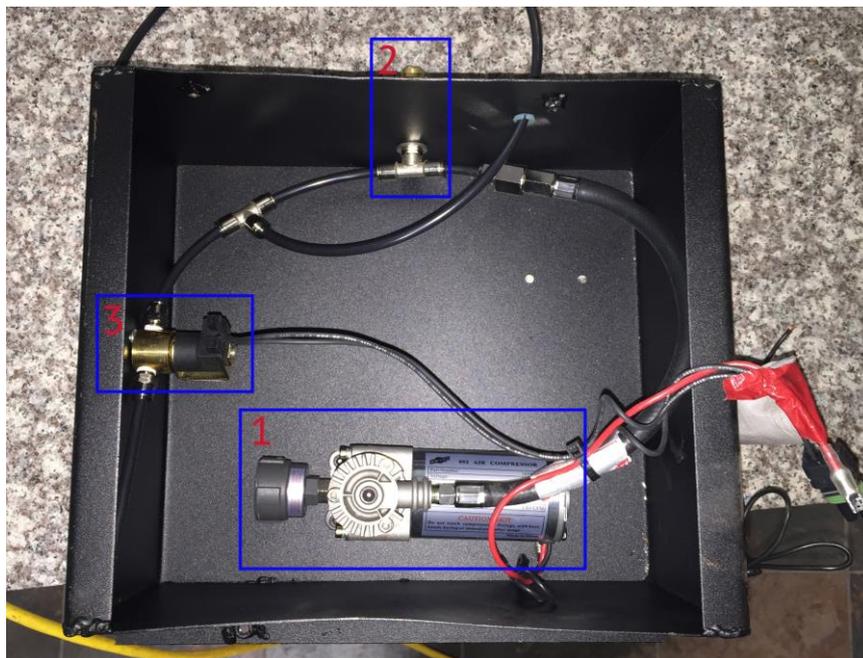
Tabla 3.2 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática – parte mecánica.

Proceso	Imagen
<p>Colocación de base inferior de la barra tirante con la carcasa de los semi ejes, esta unión se realiza por medio de las bridas “U”, ésta va fija por medio de cuatro tuercas que deben ser ajustadas.</p>	
<p>Colocación del pasador en el otro extremo de la barra tirante en el punto móvil, este punto será el apoyo frontal de la barra, donde ésta tendrá un movimiento hacia arriba o hacia abajo dependiendo del terreno por donde se circule.</p>	

<p>Colocación de la base superior contra el chasis, en caso que el chasis no tenga los agujeros para la colocación de la base se debe taladrar, como sugerencia este proceso se debería hacer con la base colocada como guía, en el caso de este trabajo, el chasis contaba con dos de los tres puntos (parte interna).</p>	
<p>Colocación del fuelle neumático entre la base superior e inferior (tener en cuenta la perpendicularidad del fuelle), para la base superior el par requerido es de 17,8 N (4lb.pie) y en la base inferior 66,7N (15lb.pie).</p>	

3.2.2 Armado del circuito neumático

Armado del sistema de alimentación y control del circuito, para ello se dispuso de una caja metálica donde se ubicaron al compresor, la válvula de seguridad de máxima presión y electro válvula de control, todos estos elementos con sus respectivas conexiones, para lo que se utilizó cañería neumática flexible de 6mm de diámetro con acoples rápidos.



1.- Compresor, 2.- Válvula de máxima presión, 3.- Electroválvula de control.

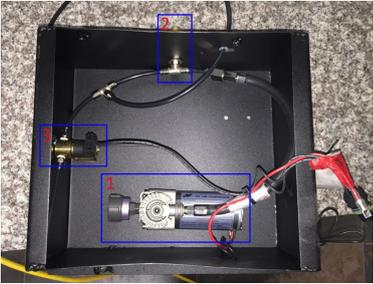
Figura 3.1Caja de sistema de alimentación y control neumático

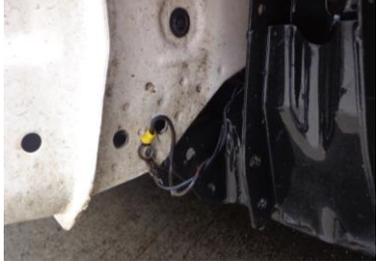
Tabla 3.3 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática y del sistema de control.

Proceso	Imagen
<p>Colocación de la caja del sistema de alimentación y control en el vehículo, se la ubicó en la parte baja del balde al lado izquierdo del vehículo.</p>	
<p>Tendido de cañería neumática de 6mm para alimentación de los fuelles en la parte posterior, la cañería se colocó apartada del escape y previendo que no pueda ser expuesta a golpes, torceduras o aplastamientos.</p>	
	

3.2.3 Armado del circuito eléctrico

Tabla 3.4 Proceso de armado de sistema de suspensión neumática – parte eléctrica.

Proceso	Imagen
<p>Conexión del compresor (1), la electroválvula de control (3), el sensor de posición ubicado en la parte posterior del vehículo y alimentación del compresor.</p>	

<p>Colocación y conexión del sensor de altura en la parte posterior del vehículo.</p>	
<p>Tendido de los cables desde la caja del sistema de alimentación y control neumático hacia los puntos de conexión para alimentación del circuito eléctrico (relé y fusible), interruptor de encendido y batería +12V.</p>	
<p>Instalación de un punto a tierra para cerrar el circuito eléctrico.</p>	

3.2.4 Comprobación y ajuste

- Revisión y ajuste de los elementos de unión fijos (pernos, tuercas y abrazaderas) y móviles (pasadores).
- Encender el vehículo y comprobar funcionamiento del compresor y abastecimiento de aire a los fuelles neumáticos.
- Chequeo de fugas de aire.
- Calibración de sensor de altura.

3.2.5 Problemas, causas y soluciones

En la tabla 3.1 se realiza un análisis para determinar el problema, causas y soluciones en caso de ocurrir un fallo en alguno de los elementos del sistema eléctrico o neumático para control de la suspensión.

Tabla 3.5 Cuadro de fallas, causas y soluciones para el sistema de suspensión neumática.

Problema	Causa	Solución
Compresor no funciona	Batería en mal estado.	Reemplazar batería.
	Conexiones flojas.	Cambiar terminales.
	Fusible quemado.	Cambiar fusible 20A.
	Relé quemado.	Cambiar relé 12V.
	Batería defectuosa.	Recargar batería o reemplazar.
	EMHS dañado.	Reemplazar EMHS.
	Compresor defectuoso.	Cambiar compresor.
Electroválvula de control no funciona.	Conexiones flojas	Cambiar terminales.
	Fusible quemado	Cambiar fusible 20A.
	Relé quemado	Cambiar relé 12V.
	EMHS dañado.	Reemplazar EMHS.
Compresor no se apaga	Falla del sistema, revisar el relé y el EMHS.	Reemplazar el relé o el EMHS.
El vehículo no se auto regula	Falla de la electro-válvula o del EMHS.	Reemplazar el relé o el EMHS.
Los fuelles pierden presión	Cañería deteriorada.	Cambiar cañería.
	Conexiones flojas.	Revisar los acoples rápidos de las cañerías y reemplazar si se requiere.
	Fuelles perforados.	Reemplazar el fuelle.

3.3 Funcionamiento del sistema.

3.3.1 Funcionamiento por primera vez.

Al mover el interruptor de encendido a la posición “ON” se energiza el sensor de altura (en ese momento el imán se encuentra en la parte superior del sensor), éste envía la señal a la bobina del relé (borne 85), el relé acciona el compresor que se enciende para alimentar por primera vez el sistema, el aire pasa a través del regulador de presión y seguido por la válvula de control (que se encuentra abierta) para llenar los fuelles que elevan el chasis del vehículo (figura 3.2).

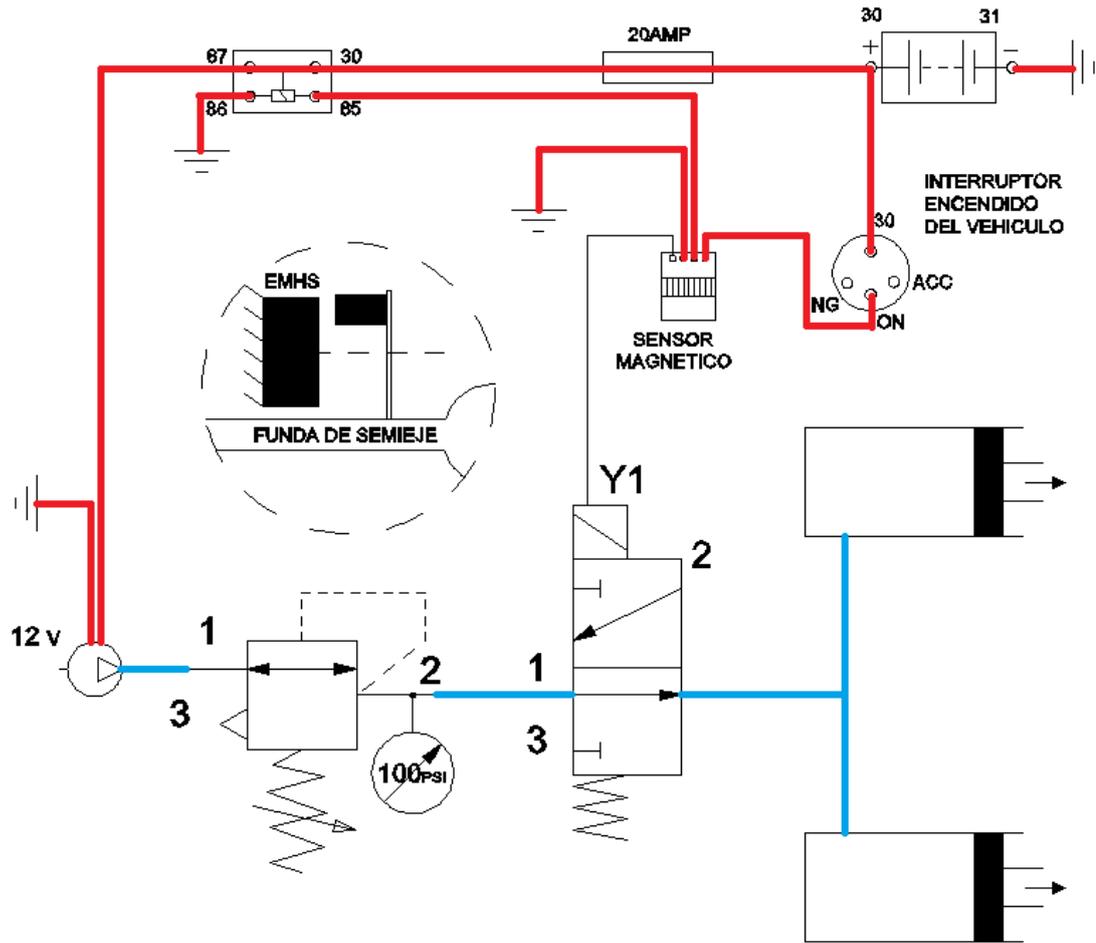


Figura 3.2 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento de carga del sistema.

Una vez que se alcanza la altura (figura 3.3), el imán de la corredera se ubica en el punto muerto del sensor (centro), por lo que éste corta la señal de alimentación del compresor y el suministro de aire se detiene, quedando el sistema estanco y en reposo.

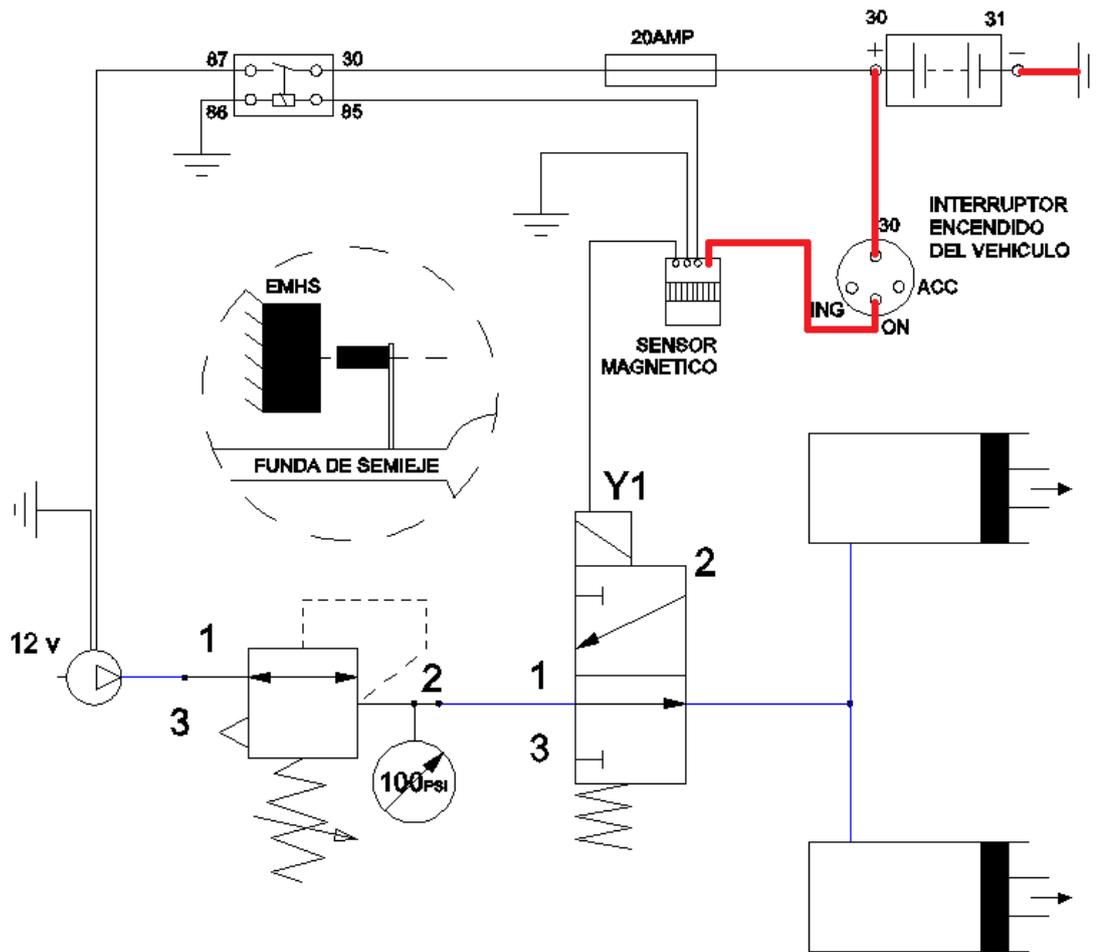


Figura 3.3 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento en reposo del sistema.

3.3.2 Funcionamiento al colocar carga

Al colocar carga en el vehículo (ya sea en el balde o en la cabina), el chasis baja disminuyendo la distancia entre éste y la funda del semi eje, por lo que existe un desplazamiento del sensor con respecto al imán (el imán se encuentra en la parte superior del sensor, figura 3.2) entonces, el sensor envía la señal al compresor (a través del relé) y éste se enciende alimentando nuevamente al sistema, los fuelles reciben más aire y elevan el chasis hasta llegar a la posición de equilibrio (figura 3.3).

3.3.3 Funcionamiento cuando se quita carga

Al retirar la carga del vehículo se produce un estiramiento de los fuelles debido a la presión interna existente en ellos, por lo que el chasis aumenta su altura con respecto a la funda del semi eje, nuevamente existe un desplazamiento del sensor con respecto

al imán (el imán se encuentra en la parte inferior del sensor, figura 3.4) entonces, en esta ocasión el sensor envía la señal a la electro válvula de control que se abre evacuando el aire a la atmósfera hasta que el sensor y el imán queden en posición central, quedando nuevamente el sistema estanco y en reposo (figura 3.3).

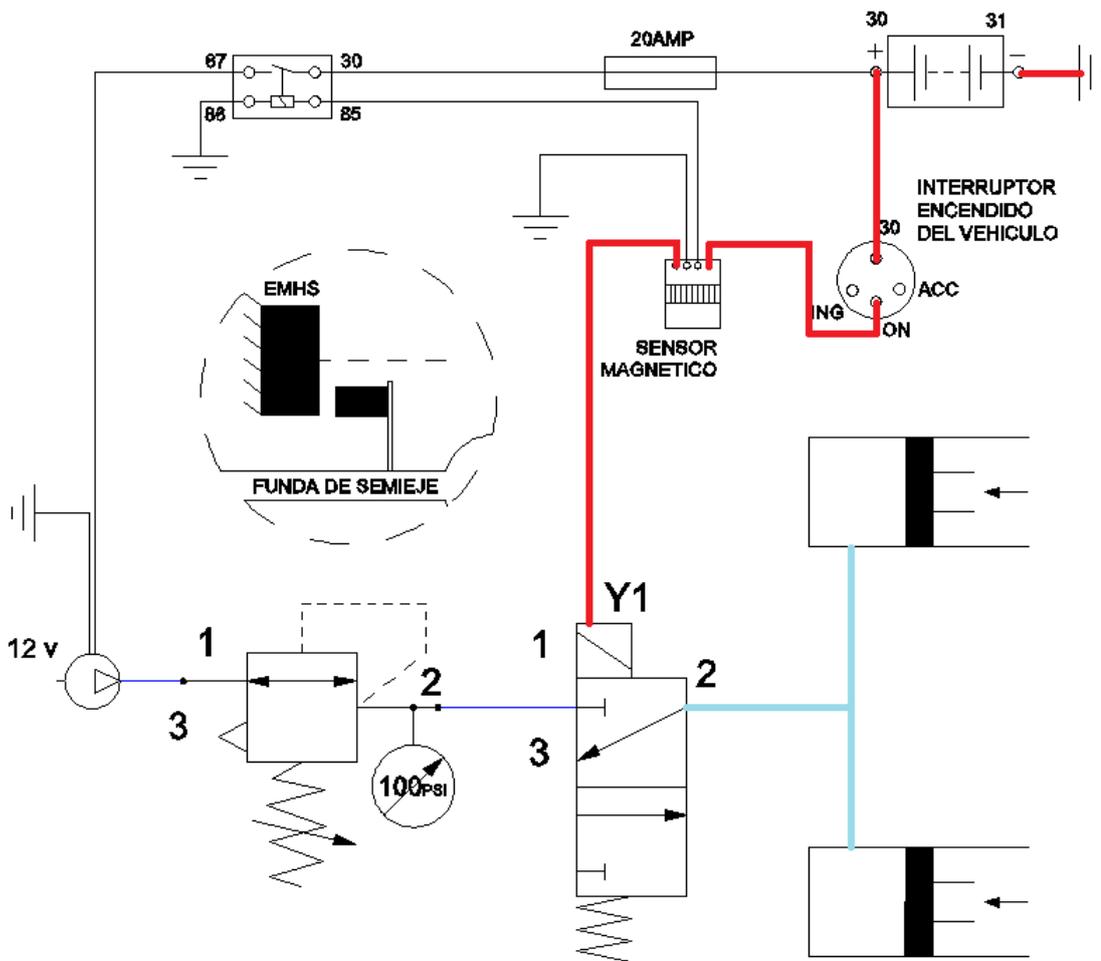


Figura 3.4 Diagrama eléctrico - neumático de funcionamiento en descarga del sistema.

CAPITULO 4

Evaluación y comprobación

Para la comprobación del sistema se requiere de un banco de pruebas para suspensión, el mismo que dispone el Consorcio Danton en la Ciudad de Cuenca.

“Este equipo simula el paso del vehículo por terreno irregular o una calzada ondeada sometiéndolo a una oscilación vertical. Esta acción se consigue mediante una excéntrica giratoria. Y en una gama de frecuencias de 3 a 25 Hz, con un periodo de oscilación de 0,33 a 0,04 segundos, por medio de las plataformas en las que se asientan las ruedas, que incorporan un captador o sensor de fuerza. Este elemento permite conocer tanto la carga o peso estático o reposo como la carga o peso dinámico por rueda, es decir, el que gravita sobre la rueda durante el ensayo” (Álvarez Coello, 2010).



Figura 4.1 Vehículo en el banco de pruebas para suspensión de Consorcio Danton, Línea 3.

Se solicitó la utilización de este equipo a esta empresa, la misma que brindó las facilidades correspondientes, pero por tratarse de una prueba puntual no pudieron entregar un documento de resultados, por ello solo se tiene un registro fotográfico de estos resultados.

4.1 Descripción de la prueba

Para poder tener datos comparativos fue necesario realizar 4 pruebas en el equipo de Consorcio Danton, las pruebas realizadas fueron:

- Vehículo vacío con sistema de ballestas.
- Vehículo cargado con sistema de ballestas.
- Vehículo vacío con sistema neumático.
- Vehículo cargado con sistema neumático.

El equipo entrega al finalizar la prueba un valor de eficiencia de la suspensión entre la rueda izquierda y derecha de cada eje, si el valor de eficiencia es menor al 10% o tiene una diferencia entre ruedas, mayor al 10% la suspensión no pasa la prueba.

Para las dos primeras pruebas se cargó al vehículo hasta el máximo permitido de la máquina, el dato que se entregó por parte de la empresa fue de un máximo de 950Kg por eje.



Figura 4.2 Prueba de suspensión de sistema de ballestas sin carga.



Figura 4.3 Preparación para prueba de suspensión de sistema de ballestas con carga.



Figura 4.4 Prueba de suspensión de sistema neumático con carga.

4.2 Resultados de Pruebas

4.2.1 Eje Frontal

Para el eje frontal se obtuvieron los datos indicados en la tabla 4.1:

Tabla 4.1 Comparativo de resultados obtenidos en el eje frontal con los dos sistemas.

	Sin Carga	Con Carga
Suspensión Ballestas		
Suspensión Neumática		

Fuente: (Equipos de Consorcio Danton, Mayancela, línea de pruebas 1)

Según los resultados obtenidos del equipo se tiene que:

- No existe un cambio de la eficiencia de la suspensión frontal (los valores son similares con y sin carga entre los dos sistemas).
- El peso sobre el eje frontal con vehículo cargado en el sistema neumático cambia ya que existe una mejor transferencia o distribución del peso, esto muestra una ventaja para este sistema ya que las ruedas delanteras tendrán mejor contacto con la calzada (en el caso de la suspensión de ballestas se observa que el peso en el eje disminuye cuando el vehículo está cargado).

4.2.2 Eje Posterior

Para el eje posterior se obtuvieron los datos indicados en la tabla 4.2:

Tabla 4.2 Comparativo de resultados obtenidos en el eje posterior con los dos sistemas.

	Sin carga	Con carga
Suspensión Ballestas		
Suspensión Neumática		

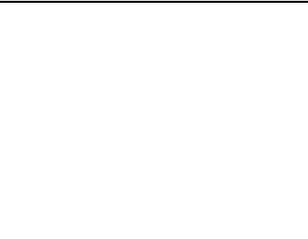
Fuente: (Equipos de Consorcio Danton, Mayancela, línea de pruebas 1)

Según los resultados obtenidos del equipo se tiene que:

- En la prueba sin carga la suspensión neumática muestra un aumento de eficiencia de la suspensión de 12% en la rueda izquierda y 21% en la rueda derecha con respecto a los valores de eficiencia del sistema de ballestas.
- En la prueba con carga la suspensión neumática muestra un aumento de eficiencia de 28% en la rueda izquierda y 25% en la rueda derecha con respecto a los valores de eficiencia del sistema de ballestas.
- El peso del vehículo se ve reducido en 48Kg ya que el peso de los dos paquetes de ballestas es elevado y al prescindir de estos se consigue un aligeramiento.

4.2.3 Medición de presión en el sistema

Tabla 4.3 Medición de presión del sistema con diferente carga.

Estado de Carga del Vehículo	Presión del Sistema	Fotos	
		Manómetro	Carga
Sin Carga	50 PSI		
77,5 Kg	55 PSI		
155 Kg	60 PSI		
232,5 Kg	70 PSI		
387,5 Kg	85 PSI		
620 Kg (Carga Máxima)	100 PSI		

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una vez realizado el trabajo, realizadas las pruebas y comparado los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- El sistema neumático muestra grandes ventajas frente a un sistema de ballestas por las siguientes razones:
 - Reducción del peso del vehículo debido a que los elementos que conforman el sistema de suspensión neumática son más livianos.
 - Incremento de eficiencia de la suspensión en vacío.
 - Incremento de eficiencia de la suspensión con carga.
 - Mejor distribución de peso del vehículo con carga, el vehículo siempre mantiene una altura constante, por lo que mejoran sus condiciones de conducción y por ende la seguridad de los ocupantes.

- Es viable la instalación de este tipo de sistema en vehículos de nuestro medio puesto que la construcción de las piezas no es compleja y se ha demostrado que éstas resisten con un factor de seguridad elevado y deformación mínima, garantizando su funcionamiento.

- Los elementos neumáticos existen en el mercado, su instalación no es complicada y su mantenimiento es reducido.

- El costo de construcción e instalación no es elevado aunque se depende de partes importadas cuyo valor es sujeto al cobro de impuestos, para este proyecto se usaron 51,86% de recursos nacionales y 48,14% importados, los valores pueden consultarse en el anexo 6 de este documento.

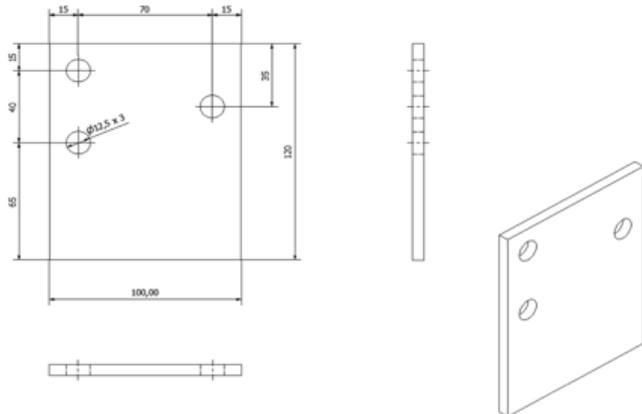
- En relación costo – beneficio es recomendable utilizar este tipo de sistema por las mejoras que presenta versus un sistema mecánico de ballestas las mismas que han sido demostradas en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

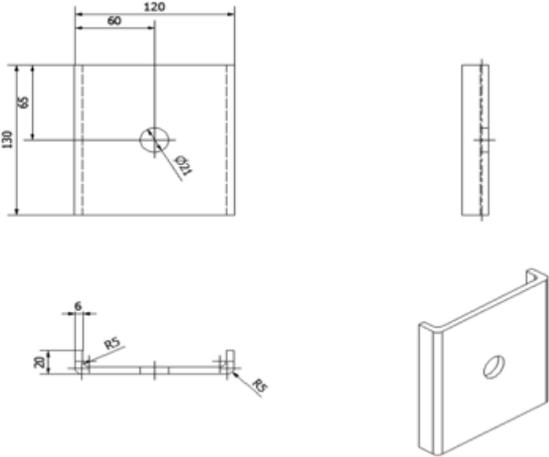
- Álvarez Coello, G. (2010). Diagnóstico y análisis de los procedimientos utilizados en la revisión técnica vehicular y su impacto en la ciudad de Cuenca. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Aparicio Izquierdo, F., Vera Alvarez, C., & Díaz López, V. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid, España: Servicio de Publicaciones de la ETSII de la UPM.
- Buddynas, R. G., & Nissbett, K. J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (8va edición ed., Vol. 1). (R. A. Del Bosque Alayón, Ed., J. E. Murrieta Murrieta, & E. Alatorre Miguel, Trads.) México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Fundación Wikimedia, Inc. (13 de 05 de 2015). *Fundación Wikimedia, Inc.* Recuperado el 20 de 07 de 2015, de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Amortiguamiento>
- Gonzalez Bautista, T., del Río Gomez, G., Tena Sánchez, J., & Torres Vega, B. (2008). *Circuitos de Fluidos*. Madrid, España: EDITEX S.A.
- González Bautista, T., Tena Sánchez, J., Torres Vega, B., & Río Gómez, G. d. (2008). *Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección*. (C. Rodríguez, & F. Antón , Edits.) Madrid, España: EDITEX S.A.
- Irwin, J., & Grader. (1979). *Industrial noise and vibration control*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Maeso, M. C., & Rodriguez García, F. (2002). *Manual de Mecánica Industrial - Neumática e Hidráulica* (Vol. 2). Madrid, España: CULTURAL, S.A.
- Mosca, T. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología*. (Vol. 1). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

ANEXOS

ANEXO 1: Hojas de trabajo para la construcción de “Base Superior”

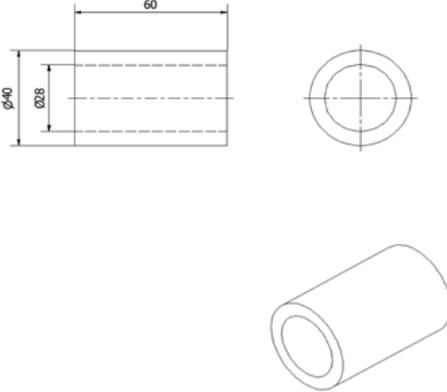
	<p align="center">UNIVERSIDAD DEL AZUAY</p>		<p align="center">ANEXO 1</p>		
	<p align="center">FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA</p>				
	<p align="center">ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</p>				
<p align="center">BASE SUPERIOR</p>			<p>Denominación: Placa Lateral</p>	<p>Material: AISI 1018</p>	
			<p>Cantidad: 4</p>	<p>Nº: 1 / 2</p>	
					
Fase	Oper	Designación	Croquis	Herramientas	Datos Técnicos
1		Verificación de medidas			
	1.1	Medida en bruto 122 x 102 x 6.		Calibrador	
	1.2	Material.		Marcador	
	1.3	Señalización de caras.			
2		Planeado			
	2.1	Sujeción por las caras 1 y 2.		Reloj comparador	RPM 345
	2.2	Alineamiento de la pieza en la entenalla.		Calibrador	VC 20
	2.3	Cálculos.		Mandril porta cuchillas	Av 0.08 mm/min
	2.4	Sujeción de la herramienta en el mandril porta cuchillas.		Cuchilla	T aprox 3h
	2.5	Mecanizado de la superficie 3 desbaste 1mm.		Escuadra de filo.	
	2.6	Desmontaje de la pieza.		Escuadra de espaldón.	
	2.7	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 4, <u>11</u> cara 3 a 120mm.			
	2.8	Desmontaje de la pieza.			

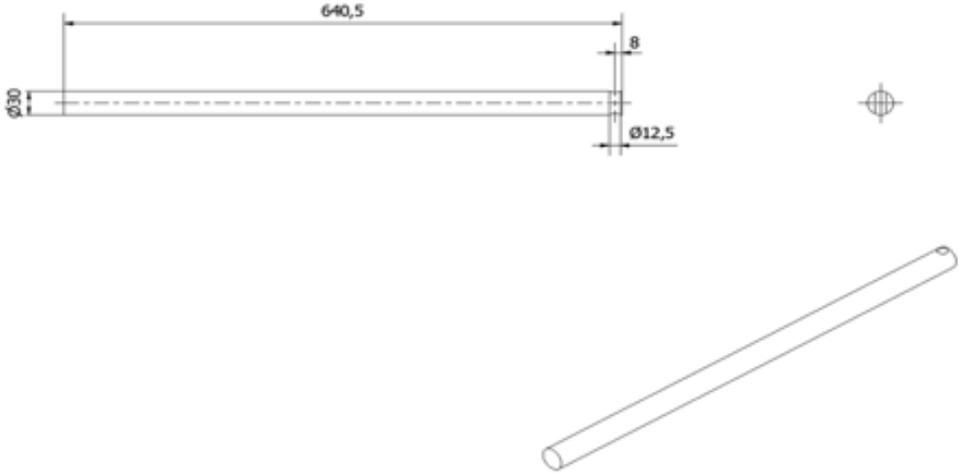
	2.9	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 5, <u>I</u> cara 3 desbaste de 1mm aprox.			
	2.10	Desmontaje de la pieza			
	2.11	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 6, <u>II</u> cara de banco y sujetar 5 a 100mm.			
3		Trazado			
	3.1	Trazado y marcado de centros para los agujeros según el plano.		Rayador	
				Regla	
				Granete	
4		Taladrado			
	4.1	Colocar la pieza en el taladro.		Taladro banco	RPM 200-680
	4.2	Cálculos.		Broca de centro	
	4.3	Taladrado de agujeros.		Brocas \varnothing 6 – 10 – 12,5 mm.	
5		Doblado			
	5.1	Trazado de la línea guía para realizar el doblado.		Rayador	
	5.2	Reglaje de máquina dobladora para plancha de 6mm.		Escuadra	
	5.3	Doblado de pieza en cara 1 hasta lograr la forma requerida.		Dobladora	
6		Soldadura			
	6.1	Trazado de la línea guía para ubicación de piezas N° 1 sobre pieza o elemento N° 2, las piezas deben tener perpendicularidad y paralelismo.		Soldadora MIG	
7		Pintura			
	7.1	Limpieza de elemento por arenado, para suavizar superficies y retirar impurezas.		Pulverizador	Temp 200°C
	7.2	Impregnación de pintura electrostática.		Aplicador	
	7.3	Proceso de secado de pintura en horno a 200°C.		Horno de curado.	
	7.4	Enfriado al ambiente			

		UNIVERSIDAD DEL AZUAY		ANEXO 1	
		FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
		ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
BASE SUPERIOR				Denominación:	Material:
				Placa Inferior	AlSi 1018
				Cantidad: 2	Nº: 2 / 2
					
Fase	Oper	Designación	Croquis	Herramientas	Datos Técnicos
1		Verificación de medidas			
	1.1	Medida en bruto 122 x 102 x 6 mm.		Calibrador	
	1.2	Material.		Marcador	
	1.3	Señalización de caras.			
2		Planeado		Fresadora	
	2.1	Sujeción por las caras 1 y 2.		Reloj comparador	RPM 345
	2.2	Alineamiento de la pieza en la entenalla.		Calibrador	VC 20
	2.3	Cálculos.		Mandril porta-	Av 0.08 mm/min
	2.4	Sujeción de la herramienta en el mandril porta cuchillas.		Cuchillas	T aprox 3h
	2.5	Mecanizado de la superficie 3, desbaste de 1mm.		Escuadra de espaldón.	
	2.6	Desmontaje de la pieza.			
	2.7	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 4, II cara 3 a 120mm.			
	2.8	Desmontaje de la pieza.			
	2.9	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 5, I cara 3 desbaste de 1mm aprox.			
	2.10	Desmontaje de la pieza			
	2.11	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 6, II cara 5 a 100mm.			

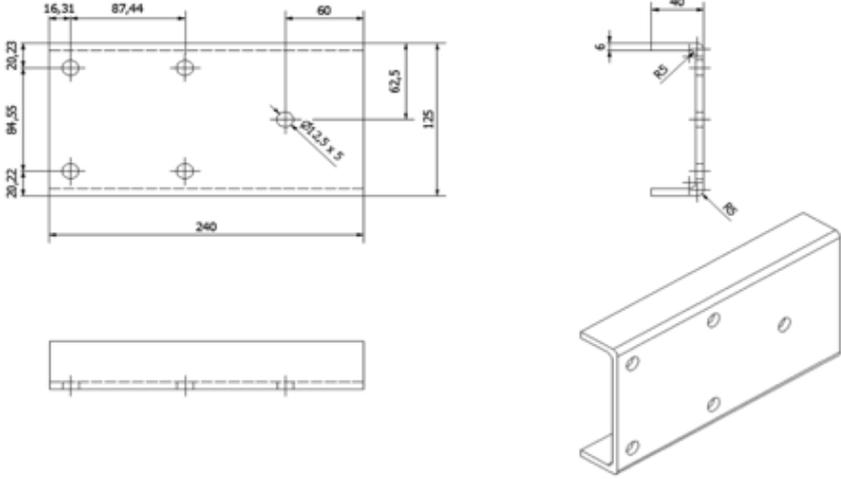
3		Trazado			
	3.1	Se traza los centros para los agujeros según el plano y se marcan los centros.		Rayador	
				Regla	
				Granete	
4		Taladrado			
	4.1	Colocar la pieza en el taladro de banco y sujetar.		Taladro banco	RPM 200 - 680
	4.2	Cálculos.		Broca de centro	
	4.3	Taladrado de agujeros.		Brocas Ø 6 - 10 - 16 - 22 mm	
5		Doblado			
	5.1	Trazado de la línea guía para realizar el doblado.		Rayador	
	5.2	Reglaje de máquina dobladora para plancha de 6mm		Escuadra	
	5.3	Doblado de pieza en cara 1 hasta lograr la forma requerida		Dobladora	
6		Soldadura			
	6.1	Trazado de la línea guía para ubicación de piezas Nº 1 sobre pieza o elemento Nº 2, las piezas deben tener perpendicularidad y paralelismo.		Soldadora MIG	
7		Pintura			
	7.1	Limpieza de elemento Arenado, para suavizar superficies y retirar impurezas.		Pulverizador	Temp 200°C
	7.2	Impregnación de pintura electrostática.		Aplicador	
	7.3	Proceso de secado de pintura en horno a 200°C		Horno de Curado	
	7.4	Enfriado al ambiente			

ANEXO 2: Hojas de trabajo para la construcción de “Barra tirante”

UNIVERSIDAD DEL AZUAY		ANEXO 2				
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA						
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ						
BARRA TIRANTE		Denominación:	Material:			
		Buje pasador	ASI 1045			
		Cantidad: 2	Nº: 1 / 3			
						
Fase	Oper	Designación	Croquis	Herramientas	Datos Técnicos	
1		Verificación de medidas				
	1.1	Medida en bruto $\varnothing 40 \times 62\text{mm}$.		Calibrador		
	1.2	Material Acero AISI 1030		Marcador		
	1.3	Señalización de caras.				
2		Refrentado				
	2.1	Sujeción en mandril de 3 muelas.		Calibrador	RPM 400	
	2.2	Voladizo de 20mm.		Torno	VC 20	
	2.3	Cálculos		Cuchilla	T aprox 0,5h	
	2.4	Sujeción de la herramienta en la base porta cuchillas.		Contrapunto		
	2.5	Mecanizado de la superficie 1, desbaste de 1mm.				
	2.6	Desmontaje de la pieza.				
	2.7	Sujeción en mandril de 3 muelas.				
	2.8	Voladizo de 20mm.				
	2.9	Mecanizado de la superficie 2 desbaste de 1mm.				
	2,10	Medida final de 60mm.				
	2.11	Desmontaje de la pieza				
3		Cilindrado				
	3,1	Sujeción en mandril de 3 muelas.			Calibrador	RPM 400
	3,2	Voladizo de 30mm.			Torno	VC 20
	3,3	Cálculos.	Cuchilla		T aprox 1h	
	3,4	Sujeción de la herramienta en la base porta cuchillas.	Contrapunto			
	3,5	Mecanizado de la superficie interior, desbaste 4mm, medida interior 28mm.				
	3,6	Desmontaje de la pieza				

UNIVERSIDAD DEL AZUAY		ANEXO 2			
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA					
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ					
BARRA TIRANTE		Denominación: Eje Tirante	Material: AISI 1045		
		Cantidad: 2	Nº: 2 / 3		
					
Fase	Op.	Designación	Croquis	Herramientas	Datos Técnicos
1		Verificación de medidas			
	1.1	Medida en bruto Ø30 x 642,5mm.		Calibrador	
	1.2	Material Acero 760.		Marcador	
	1.3	Señalización de caras.			
2		Refrentado			
	2.1	Sujeción en mandril de 3 muelas.		Calibrador	RPM 400
	2.2	Voladizo de 20mm		Torno	VC 20
	2.3	Cálculos.		Cuchilla	T aprox 0,5h
	2.4	Sujeción de la herramienta en la base porta cuchillas.		Contrapunto	
	2.5	Mecanizado de la superficie 1, desbaste de 1mm.			
	2.6	Desmontaje de la pieza.			
	2.7	Sujeción en mandril de 3 muelas.			
	2.8	Voladizo de 20mm.			
	2.9	Mecanizado de la superficie 2, desbaste de 1mm.			
	2,10	Medida final de 645mm.			
	2.11	Desmontaje de la pieza.			
3		Soldadura			
	3,1	Colocar pieza Nº4 centrada en extremo de pieza Nº5, de manera perpendicular y realizar un cordón homogéneo de soldadura a lo largo de todo el diámetro del elemento Nº5, en el otro extremo colocar la pieza Nº3 y soldar, conforme el plano indicado		Calibrador	RPM 400
				Torno	VC 20
				Cuchilla	T aprox 0,5h
				Contrapunto	

4		Pintura			
	4,1	Limpieza de elemento mediante arenado para suavizar superficies y retirar impurezas.		Pulverizador	Temp 200°C aprox
	4,2	Impregnación de pintura electrostática.		Aplicador	
	4,3	Proceso de secado de pintura en horno a 200°C.		Horno de curado.	
	4,4	Enfriado al ambiente			

		UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ		ANEXO 2	
BARRA TIRANTE				Denominación: Base Inferior	Material: AISI 1018
				Cantidad: 2	Nº: 3 / 3
					
Fase	Op.	Designación	Croquis	Herramientas	Datos Técnicos
1		Verificación de medidas			
	1.1	Medida en bruto 122 x 102 x 6mm.		Calibrador	
	1.2	Material.		Marcador	
	1.3	Señalización de caras.			
2		Planeado			
	2.1	Sujeción por las caras 1 y 2.		Reloj comparador	RPM 345
	2.2	Alineamiento de la pieza en la entenalla.		Calibrador	VC 20
	2.3	Cálculos.		Mandril porta cuchillas	Av 0.08 mm/min
	2.4	Sujeción de la herramienta en el mandril porta cuchillas.		Cuchillas	T aprox 3h
	2.5	Mecanizado de la superficie 3 desbaste de 1mm.		Escuadra de filo	
	2.6	Desmontaje de la pieza.		Escuadra de espaldón	
	2.7	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 4, <u>II</u> cara 3 a 120mm.			
	2.8	Desmontaje de la pieza.			
	2.9	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 5, <u>I</u> cara 3 desbaste de 1mm.			
	2.10	Desmontaje de la pieza			
	2.11	Sujeción por las caras 1 y 2 para mecanizar cara 6, <u>II</u> cara 5 a 100mm.			

3		Trazado			
	3.1	Se traza los centros para los agujeros según el plano y se marcan los centros.		Rayador	
				Regla	
				Granete	
4		Taladrado			
	4.1	Colocar la pieza en el taladro de banco y sujetar.		Taladro banco	RPM 200 - 680
	4.2	Cálculos		Broca de centro	
	4.3	Taladrado de agujeros.		Brocas \varnothing 6 - 10 - 12,5mm.	
5		Doblado			
	5.1	Trazado de la línea guía para realizar el doblado.		Rayador	
	5.2	Reglaje de máquina dobladora para plancha de 6mm.		Escuadra	
	5.3	Doblado de pieza en cara 1 hasta lograr la forma requerida.		Dobladora	
6		Soldadura			
	6.1	Trazado de la línea guía para ubicar eje \varnothing 30mm de acero 760, L=645mm traslapado 20cm con cordón continuo por ambos lados del eje.		Soldadora MIG	
7		Pintura			
	7.1	Limpieza de elemento mediante arenado, para suavizar superficies y retirar impurezas.		Pulverizador	Temp 200°C aprox
	7.2	Impregnación de pintura electrostática.		Aplicador	
	7.3	Proceso de secado de pintura en horno a 200°C.		Horno de curado	
	7.4	Enfriado al ambiente.			

Anexo 3: Tabla de propiedades mecánicas de aceros

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESA- MIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

Fuente: (Diseño en ingeniería mecánica de Shigley)

Anexo 4: Tabla de materiales disponibles en el comercio local

760=AISI 1045
Acero al carbono para maquinaria



GENERALIDADES: Acero al carbono sin alear de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.

APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado	800 - 1050 °C
Normalizado	830 - 850 °C
Temple (agua)	770 - 810 °C
Temple (aceite)	790 - 830 °C
Revenido (herramientas de corte)	100 - 3000 °C
Revenido de bonificación	550 - 650 °C

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9
32	6,3
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
60	22,2
70	30,2
80	39,5
90	49,9
100	61,7
105	68,0
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
140	120,8
150	138,7
165	167,9
170	178,2
180	199,8
200	246,6
230	326,1
250	385,3
300	554,9
310	592,5
320	631,3
350	755,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 60	4,7
10 x 150	11,8
12 x 40	3,8
12 x 60	5,7
12 x 120	11,3
15 x 100	11,8
15 x 150	17,7
20 x 100	15,7
20 x 120	18,8
20 x 130	20,4
20 x 150	23,6
20 x 200	31,4
20 x 300	47,1
20 x 50	7,9
20 x 80	12,6
20 x 90	14,1
25 x 50	9,8
25 x 80	15,7
25 x 250	49,1
30 x 50	11,8
30 x 90	21,2
30 x 300	70,7
40 x 100	31,4
60 x 100	47,1

CUADRADO

Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)
6 x 6	0,3
8 x 8	0,5
10 x 10	0,8
12 x 12	1,1
16 x 16	2,0
20 x 20	3,1
25 x 25	4,9
30 x 30	7,1
32 x 32	8,0
35 x 35	9,6
40 x 40	12,6
45 x 45	15,9
50 x 50	19,6
60 x 60	28,3
70 x 70	38,5
80 x 80	50,2
90 x 90	63,6
130 x 130	132,7

SAE 1018**Eje de transmisión - tolerancias h10-h11****GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.**APLICACIONES**

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK:**REDONDO**

Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
1/4	0,2
5/16	0,4
3/8	0,6
1/2	1,0
5/8	1,6
3/4	2,2
7/8	3,0
1	4,0
1 1/8	5,0
1 1/4	6,2
1 3/8	7,5
1 1/2	8,9
1 3/4	12,2
2	15,9
2 1/4	20,1
2 1/2	24,9
2 3/4	30,1
3	35,8
3 1/4	42,0
3 1/2	48,7
4	63,6
4 1/2	80,5
5	99,4
5 1/2	120,3
6	143,2
7	194,9
8	254,6
9	322,2
10	397,8



ARNE=DF2=AISI 01
Acero para trabajo en frío

GENERALIDADES: Acero al manganeso-cromo-tungsteno, templable en aceite para uso general. Apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frío. Buena maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple y revenido. Suministrado a 190 HB aproximadamente.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	Cr	W	V
ASSAB DF2	0.90	--	1.20	0.50	0.50	0.10
AISI/SAE 01	0.85-0.95	0.20-0.40	1.00-1.30	0.40-0.60	0.40-0.60	0.20

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	01
DIN	100MnCrW4
W.Nr	1.2510
UNE	F-5220
UDDEHOLM	ARNE

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 62 HRC

	20	200	400
Temperatura °C			
Densidad kg/m³	7800	7750	7700
Módulo de elasticidad N/mm²	190000	185000	170000
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11.7x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
12,7	1,0
14	1,2
16	1,6
18	2,0
20	2,5
22	3,0
25,4	4,0
28	4,8
30	5,5
32	6,3
35	7,6
38	8,9
41	10,4
45	12,5
50,8	15,9
55	18,7
60	22,2
63,5	24,9
70	30,2
76,2	35,8
80	39,5

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
85	44,5
90	49,9
95	55,6
102	64,1
108	71,9
115	81,5
120	88,8
127	99,4
135	112,4
140	120,8
150	138,7
153	144,3
160	157,8
170	178,2
180	199,8
203	254,1
225	312,1
230	326,1
250	385,3
280	483,4
305	573,5

SVERKER 3 = XW-5 = AISI D6
Acero para trabajo en frío



GENERALIDADES: Acero para utillajes con alto contenido en carbono y cromo, aleado con tungsteno. Gran resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión, elevada dureza después de temple con muy buena estabilidad dimensional. Adecuado para utillajes que necesiten excepcional resistencia al desgaste y larga vida, lo que implica bajos costos en reparación y mantenimiento. Dureza de suministro 240 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	Cr	W
ASSAB XW-5	2.05	0.30	0.80	12.5	1.3
AISI/SAE D6	2.05	0.30	0.40	11.5	0.70

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	D6
DIN	X210CrW12
W.Nr	1.2436
BOFORS	RT 60
UDDEHOLM	SVERKER 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 62 HRC

	20	200	400
Temperatura °C			
Densidad kg/m³	7700	7650	7600
Módulo de elasticidad N/mm²	194000	189000	173000
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11.0x10 ⁻⁶	10.8x10 ⁻⁶

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
20	2,5
25,4	4,0
28	4,8
38	8,9
43	11,4
50	15,4
63,5	24,9
70	30,2
76,2	35,8
90	49,9
100	61,7
115	81,5
125	96,3
140	120,8
150	138,7
170	178,2
200	246,6
225	312,1
250	385,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (kg/m)
15 x 133	15,7
22 x 45	7,8
22 x 69	11,9
22 x 108	18,7
22 x 210	36,3
22 x 260	44,9
28 x 82	18,0
28 x 108	23,7
28 x 133	29,2
28 x 158	34,7
28 x 210	46,2
28 x 260	57,1
35 x 57	15,7
35 x 133	36,5
35 x 158	43,4
35 x 210	57,7
35 x 260	71,4
41 x 108	34,8
41 x 210	67,6
41 x 260	83,7
50,8 x 305	121,6

Anexo 5: Láminas técnicas de elementos del sistema

Anexo 6: Tabla de costos de construcción e instalación.

ITEM #	DESCRIPCION	CANT	COSTO UNIT	Costo Total		
				Nacional	Importado	
1	Plancha de hierro 6mm x 100mm x 120 mm	4	\$ 3,50	\$ 14,00	\$ -	
2	Plancha de hierro 6mm x 120mm x 120mm	2	\$ 4,00	\$ 8,00	\$ -	
3	Plancha de hierro 6mm x 120mm x 240mm	2	\$ 8,00	\$ 16,00	\$ -	
4	Eje de acero perforado D 40 X 20 - 32cm	1	\$ 16,07	\$ 16,07	\$ -	
5	Bronce fosfórico D 25mm x 20 cm	1	\$ 16,00	\$ 16,00	\$ -	
6	Eje de acero 740 D 30mm- 130cm	1	\$ 28,00	\$ 28,00	\$ -	
7	Tubo (3/4") celula 4mm - 90 cm	1	\$ 9,00	\$ 9,00	\$ -	
8	Pernos M10 X 110mm con tuerca	6	\$ 0,40	\$ 2,40	\$ -	
9	Pernos 5/8 X 4" con tuerca	2	\$ 0,80	\$ 1,60	\$ -	
10	Pernos varios	1	\$ 12,00	\$ 12,00	\$ -	
11	Muelles neumáticos	2	\$ 86,00	\$ -	\$ 172,00	
12	Kit de compresor (valvulas, cañerías, sensor, cableado)	1	\$ 320,00	\$ -	\$ 320,00	
13	Caja metálica de compresor	1	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ -	
14	Construcción de bases (superior e inferior)	1	\$ 80,00	\$ 80,00	\$ -	
15	Construcción de bujes	4	\$ 8,00	\$ 32,00	\$ -	
16	Doblado de planchas	1	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ -	
17	Pintura electrostática	1	\$ 80,00	\$ 80,00	\$ -	
18	Construcción de barra estabilizadora	1	\$ 30,00	\$ 30,00	\$ -	
19	Gastos varios	1	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ -	
20	Alineación	1	\$ 30,00	\$ 30,00	\$ -	
			Total	\$ 530,07	\$ 492,00	\$ 1.022,07

	(C.NA / Tot)*100	(C.IM / Tot)*100
	(530,07/1022,07)*100	(492/1022,07)*100
Porcentaje de gastos entre nacional e importado	51,86%	48,14%