

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO-USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

Modificación de los sistemas de suspensión, dirección y transmisión en un  
Toyota Land Cruiser RJ 70 para uso severo.

Proyecto técnico

**Sebastián Terán Tobar**

Trabajo de Titulación previa a la obtención de título de Licenciado en  
Electromecánica Automotriz.

Quito, 17 de mayo de 2017

# UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO-USFQ

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Modificación de los sistemas de suspensión, dirección y transmisión en un  
Toyota Land Cruiser RJ 70 para uso severo.

**Sebastián Terán Tobar**

Calificación:

Nombre del profesor: Gonzalo Tayupanta, MSc.

Firma del profesor: \_\_\_\_\_

Quito, 17 de mayo de 2017

### **Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Sebastián Terán Tobar

Código: 00069102

Cédula de Identidad: 1712623576

Lugar y fecha: Quito, 17 de mayo de 2017

## RESUMEN

En este trabajo se habla de las modificaciones que han sido necesarias hacer en un Toyota Land Cruiser RJ 70 en los sistemas de suspensión, dirección y transmisión para que se lo pueda someter a uso severo ya sea en competencia o en trabajo forzado.

Este tipo de vehículos por esencia son contruidos de manera robusta, pero existen ciertos mecanismos que deben ser modificados y reforzados para que su uso de alta exigencia se pueda llevar a cabo de manera exitosa. Uno de los factores más importantes a tener en cuenta es que a este vehículo se le ha aumentado aproximadamente 800 libras de peso extra entre herramientas, equipo de recuperación y equipo de rescate por lo que la suspensión debe ser adaptada a esta nueva realidad. Respecto a la dirección, siendo este Toyota Land Cruiser modelo 1989, viene de fábrica con dirección sin ningún tipo de asistencia por lo que la implementación de una asistencia hidráulica al sistema de dirección fue un requisito determinante. Por último las modificaciones en la transmisión eran de suma importancia ya que es realmente necesario que el vehículo tenga máxima tracción y que se le pueda montar llantas de mínimo 35 pulgadas de diámetro.

## **ABSTRACT**

This paper discusses the modifications that have been necessary to make in a Toyota Land Cruiser RJ 70 in suspension, steering and transmission systems so that it can be subjected to severe use whether in competition or forced labor.

These types of vehicles are essentially built robustly but there are certain mechanisms that need to be modified and reinforced so that their high-demand use can be carried out successfully. One of the most important factors to keep in mind is that this vehicle has been increased approximately 800 pounds of extra weight between tools and equipment recovery and rescue so the suspension must be adapted to this new reality. Regarding the steering, being this Toyota Land Cruiser model 1989, comes from factory with direction without any assistance reason why the implementation of a hydraulic assistance to the steering system was a determining requirement. Finally the modifications in the transmission were of paramount importance since it is really necessary that the vehicle has maximum traction and that can be mounted rims of minimum 35 inches in diameter.

## ÍNDICE

<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>11</b>
1.- El sistema de suspensión .....	11
1.1.- Tipos de elementos elásticos en la suspensión. ....	13
1.2.- Tipos de amortiguadores. ....	15
1.3.- Tipos de suspensiones. ....	19
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>24</b>
2.- El sistema de dirección .....	24
2.1.- Componentes del sistema de dirección.....	25
2.2.- Tipos de direcciones.....	27
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>35</b>
3.- Diferencial y grupo cono y corona .....	35
3.1.- El diferencial.....	35
3.2.- Partes del diferencial.....	36
3.3.- Tipos de diferenciales. ....	37
3.4.- Grupo cono y corona.....	40
3.5.- Relación de transmisión. ....	42
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>43</b>
4.- Modificaciones en el sistema de suspensión .....	43
4.1.- Desarmado sistema de suspensión.....	49
4.2.- Características de nuevos elementos de suspensión. ....	50
4.3.- Montaje del sistema de suspensión.....	50
4.4.- Pruebas posteriores. ....	51
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>52</b>
5.- Modificaciones en el sistema de dirección .....	52
5.1.- Desarmado del sistema de dirección. ....	55
5.2.- Características de nuevos elementos de dirección. ....	55
5.3.- Montaje del sistema de dirección. ....	56
5.4.- Pruebas posteriores. ....	56
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>58</b>
6.- Modificaciones en el sistema diferencial y grupo cono y corona .....	58

6.1.- Desarmado de la transmisión posterior. ....	60
6.2.- Características de nuevos elementos de transmisión. ....	61
6.3.- Montaje del sistema de transmisión.....	61
6.4.- Pruebas posteriores. ....	62
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>70</b>

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Elementos elásticos del vehículo, peso suspendido y peso no suspendido.....	8
- Figura 2. Ejes de oscilación del vehículo.....	8
- Figura 3. Suspensión de ballestas.....	9
- Figura 4. Suspensión de muelle helicoidal o espiral.....	10
- Figura 5. Suspensión con barras de torsión.....	10
- Figura 6. Tipos de amortiguadores.....	11
- Figura 7. Amortiguador hidráulico.....	12
- Figura 8. Amortiguador hidráulico.....	12
- Figura 9. Amortiguador regulable en dureza.....	13
- Figura 10. Amortiguador reológico.....	13
- Figura 11. Amortiguador de frecuencia selectiva.....	14
- Figura 12. Amortiguador de doble tubo.....	14
- Figura 13. Suspensión independiente de tipo McPherson.....	16
- Figura 14. Suspensión independiente de eje oscilante.....	16
- Figura 15. Suspensión independiente con mesas superiores e inferiores.....	16
- Figura 16. Suspensión semi independiente .....	17
- Figura 17. Suspensión de eje rígido con muelles helicoidales o espirales.....	18
- Figura 18. Suspensión de eje rígido con ballestas.....	19
- Figura 19. Sistema de dirección.....	20
- Figura 20. Volante y Columna de dirección.....	21
- Figura 21. Caja de dirección y pitman.....	22
- Figura 22. Barra y terminales de suspensión.....	22

- Figura 23. Componentes de una dirección mecánica.....	24
- Figura 24. Componentes de una dirección asistida hidráulicamente.....	26
- Figura 25. Componentes de una dirección asistida de manera electrohidráulica.....	28
- Figura 26. Componentes de una dirección Electroasistida.....	29
- Figura 27. El diferencial.....	30
- Figura 28. Diagrama de radios en una curva.....	31
- Figura 29. Partes del diferencial.....	34
- Figura 30. Diferencial autoblocante por discos de fricción.....	32
- Figura 31. Diferencial torsen.....	34
- Figura 32. Grupo cono y corona.....	35
- Figura 33. Engranaje hipoide.....	36
- Figura 34. Toyota Land Cruiser RJ 70 modelo 1989 antes de ser modificado.....	37
- Figura 35. Suspensión frontal original Toyota Land Cruiser RJ 70.....	38
- Figura 36. Espirales originales vs. Espirales modificados.....	39
- Figura 37. Espirales + 508 m pulgadas instalados.....	39
- Figura 38. Amortiguadores con 101,6 mm más de recorrido ya instalados.....	40
- Figura 39. Amortiguadores adicionales instalados en la suspensión posterior.....	42
- Figura 40. Totalidad de la suspensión modificada ya instalada.....	43
- Figura 41. Bomba de 1600 psi de dirección hidráulica para motor 22R.....	46
- Figura 42. Enfriador del líquido de dirección hidráulica.....	47
- Figura 43. Caja de dirección hidráulica y pitman reforzado.....	48
- Figura 44. Cono de transmisión.....	51
- Figura 45. Diferencial original y dif. con autoblocante del Toyota RJ 70.....	52
- Figura 46. Resultado final modificación RJ 70 en acción.....	55

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo de titulación se tratará y explicará las modificaciones realizadas a un Toyota Land Cruiser RJ 70 modelo 1989 para su perfecto desempeño en condiciones extremas y severas. El tema que se ha escogido para este trabajo nace de la fusión de mi pasión por la mecánica automotriz en conjunto con mi gusto por los vehículos 4x4 y el poder llevarlos a su máximo desempeño en las condiciones más severas de la naturaleza.

Los mecanismos en los que se profundizará en este trabajo son los de suspensión, dirección y transmisión, los cuales son los que mayor cantidad de adaptación y modificación requieren para que un vehículo de este tipo pueda mejorar notablemente su desempeño en condiciones extremas.

Los principales objetivos con las modificaciones hechas son las siguientes; en suspensión, obtener mayor altura del vehículo, poder instalar llantas de labrado todo terreno de un diámetro mayor o igual a 35 pulgadas y poder obtener mayor confort teniendo en cuenta que el vehículo tiene más de 800 libras de peso extra, adicional a los pasajeros, con respecto al peso de fábrica. Respecto al sistema de dirección, siendo esta originalmente de tipo mecánico, se le transformó en una de tipo asistida hidráulicamente para así ganar maniobrabilidad y confort al momento de transitar en caminos sinuosos. En relación al sistema de transmisión, se explicará los cambios y modificaciones hechas para que el vehículo no pierda tracción en el barro y para que tampoco pierda fuerza al momento de instalar llantas de gran sobre medida respecto a las originales.

## CAPITULO I

### 1.- El sistema de suspensión

El sistema de suspensión que poseen los vehículos tiene como objetivo el dar el mayor confort a los ocupantes del mismo y también contribuye en ofrecer mayor estabilidad en todo momento. Para poder cumplir estos objetivos se deberá tener en cuenta dos requisitos importantes: amortiguación que es la que impide el exceso de balanceo y elasticidad que evita que las desigualdades de la calzada se transmitan directamente al habitáculo en forma de golpes secos. (Dominguez, etol.)

Los principales componentes de la suspensión son los neumáticos, las ballestas o espirales y los amortiguadores. Los neumáticos son los primeros que absorben las desigualdades pequeñas y estos eliminan la transmisión de vibraciones hacia la carrocería. Las ballestas o espirales afrontan golpes más fuertes y estos elementos transforman los golpes en oscilaciones; es en este momento cuando entran en juego los amortiguadores con el objetivo de reducir casi en su totalidad las oscilaciones que se produjeron debido al terreno en las ballestas o espirales. (Cascajosa, 2005)

Haciendo relación entre el peso de un vehículo y su sistema de suspensión, podemos denominar a esto como peso suspendido; este peso comprende todos los elementos que están asentados sobre elemento elástico del vehículo tales como chasis, motor, caja de cambios, carrocería, etc. Por otra parte tenemos el peso no suspendido que son los elementos que están adheridos a los sistemas de transmisión los cuales podríamos decir que están por debajo de los elementos elásticos del vehículo; algunos ejemplos de estos pueden ser: ruedas, discos, mordazas etc. El sistema de suspensión enlaza mediante los elementos elásticos al peso suspendido con el peso no suspendido. (Alonso, 2010)

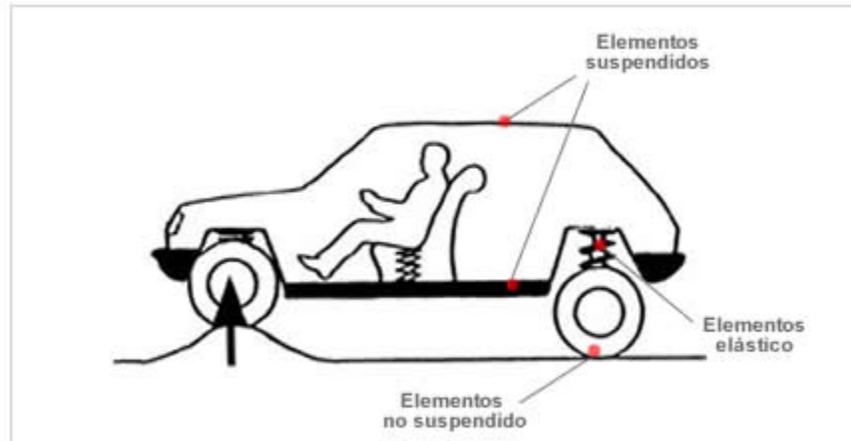


Figura 1. Elementos elásticos del vehículo, peso suspendido y peso no suspendido.

Fuente:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension1.htm>

Existen oscilaciones que los vehículos experimentan por el trabajo realizado por la suspensión cuando la misma enfrenta un obstáculo; estas pueden ser de tres tipos: verticales, laterales o transversales y longitudinales. Podemos entender estas de mejor manera en la figura 2.

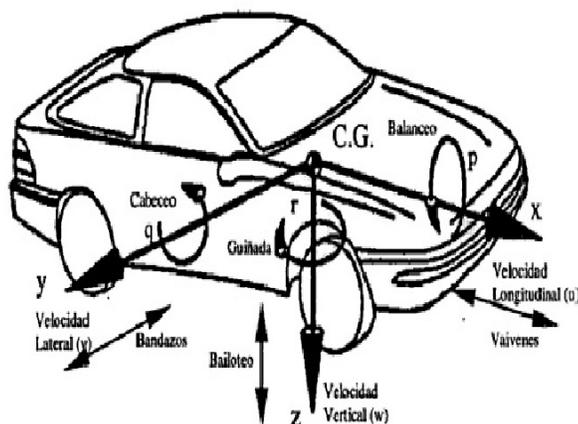


Figura 2. Ejes de oscilación del vehículo.

Fuente: <http://www.google.com.ec/url?url=http://jeroitim.blogspot.com/2012/05/suspensiones-vehiculos-parte-i.html>

### 1.1.- Tipos de elementos elásticos en la suspensión.

- **Ballestas:** Están compuestas por un conjunto de hojas de acero especial para muelles, unidas mediante abrazaderas que permiten que las hojas se deslicen unas con otras cuando estas se deforman debido al peso que soportan. La hoja superior o también denominada maestra va curvada en sus extremos formando dos argollas en donde se empata con los casquillos o colgantes para que se los pueda acoplar al bastidor por medio de bujes y pernos. El número de hojas y su espesor va en función de la cantidad de carga que recibirá el vehículo. Todas las hojas se unen en el centro, atravesadas por un tornillo con tuerca llamado capuchino o mosco. Este tipo de suspensión se monta en vehículos dotados de eje rígido. La ballesta presenta una curvatura que tiende a enderezarse cuando las ruedas suben una grada o desigualdad, aumentando así la longitud de la misma, esta diferencia o alargamiento es compensado por el colgante. (Dominguez, etol.)

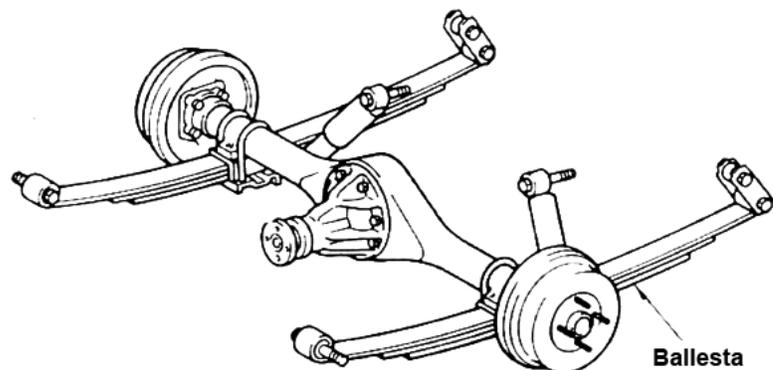


Figura 3. Suspensión de ballestas

Fuente: [http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1103/html/3\\_elementos\\_elsticos.html](http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1103/html/3_elementos_elsticos.html)

- **Muelles helicoidales o espirales:** Están fabricados de varilla de acero de entre 10 a 15 mm de diámetro y están enrollados en forma de un espiral. Sus espiras extremas se van aplanando para que el asentamiento tanto en el eje rígido como en el bastidor sea óptimo. El diámetro del mismo varía dependiendo de la carga que va a soportar. La flexibilidad del muelle depende del diámetro de la varilla que se utilice, del número de espiras o vueltas, del ángulo de inclinación de las mismas y de la calidad del acero empleado.

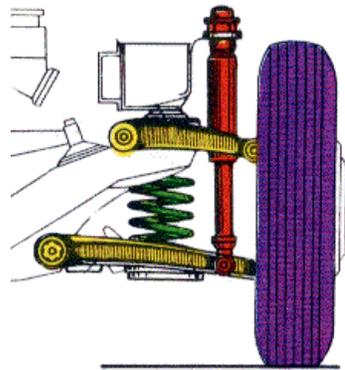


Figura 4. Suspensión de muelle helicoidal o espiral.

Fuente: <http://jeroitim.blogspot.com/2012/06/suspensiones-vehiculos-parte-ii.html>

- **Barras de torsión:** Su funcionamiento se basa en que si una varilla de acero elástico, sujeta por uno de sus extremos, se le aplica por el otro extremo un esfuerzo de torsión, la varilla tenderá a retorcerse, volviendo a su forma inicial debido a su elasticidad.



Figura 5. Suspensión con barras de torsión.

Fuente: <https://www.google.com.ec/url?url=https://motorgiga.com/fotos-de-coches/foto-barra-de-torsion-02-diccionario-chasis-suspensiones/gmx-niv186->

## 1.2.- Tipos de amortiguadores.

Un amortiguador es un elemento que ha sido diseñado para la absorción de energías producidas a partir de impactos o golpes o bien, para que aquellas oscilaciones provocadas por algún movimiento en la ruta o calzada. (Alonso, 2010)

Los amortiguadores son una parte esencial en la suspensión de los vehículos y pueden encontrarse distintos tipos de acuerdo a la necesidad. Algunos de ellos son los que se puede ver en la figura 6.



Figura 6. Tipos de amortiguadores

Fuente: <http://www.starmedia.com/autos/tipos-amortiguadores-para-automovil/>

- **Amortiguadores hidráulicos:** este tipo de amortiguador está compuesto por un pistón que es insertado dentro del cilindro que se ubica en el aceite, por esto se le denomina hidráulico. El pistón, al contar con numerosos agujeros, hace posible que el aceite se traslade de un lado a otro. Algunas ventajas que presentan los pistones hidráulicos son que no precisan mantenimiento, poseen la capacidad de

ejercer mayor amortiguación a medida que la presión se incrementa y, por último, son dispositivos muy sencillos y de larga duración.

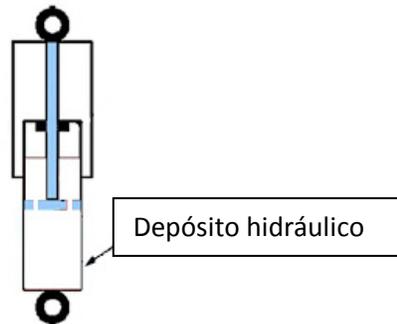


Figura 7. Amortiguador hidráulico.

Fuente:<http://reparaciondeamortiguadores.blogspot.com/2011/05/reparacion-de-amortiguadores.html>

- **Amortiguadores hidráulicos con válvulas:** a diferencia de los anteriores, que presentan orificios para transportar el aceite, estos amortiguadores presentan válvulas, lo que hace que su comportamiento se caracterice por ser más eficaz así como también más suave aunque su costo incrementa por todas estas opciones y ventajas.

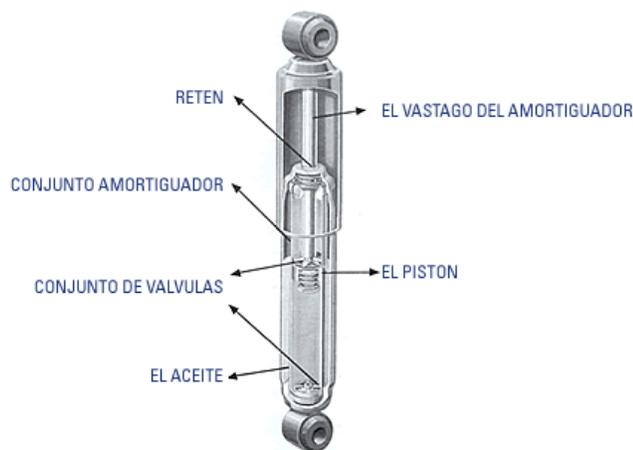


Figura 8. Amortiguador hidráulico

Fuente:<http://blog.atingo.es/diferencias-entre-amortiguadores-de-gas-y-aceite/>

- **Amortiguadores regulables en dureza:** presentan una rosca que permite achicar o agrandar el diámetro del agujero por medio del cual fluye el aceite. Esto lo que permite al usuario es obtener mayor o menor dureza, según sus necesidades o según las condiciones del camino.



Figura 9. Amortiguador regulable en dureza

Fuente:

<http://www.mercadoracing.org/59/430460/se-vende-amortiguadores-regulables.html>

- **Amortiguador reológico:** esta variante presenta partículas metálicas que al recibir corriente magnética, endurece la suspensión ya que se tornan más espesas, lo que dificulta el paso del líquido.

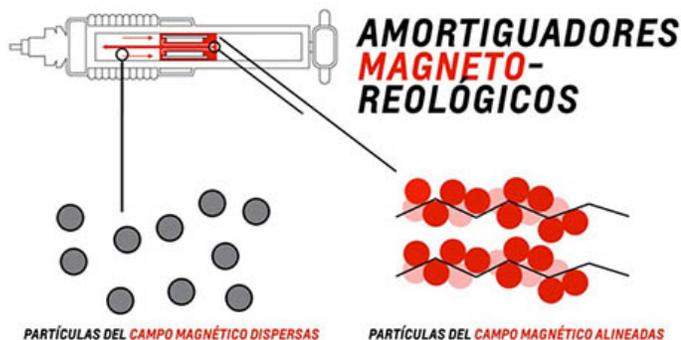


Figura 10. Amortiguador reológico

Fuente:

<http://proauto.com.mx/2014/02/05/que-es-una-suspension-magneto-reologica/>

- **Amortiguador de frecuencia selectiva:** estos presentan un segundo conducto en el interior del pistón el cual se separa gracias a la presencia de una válvula que, cuando recibe presión, se cierra y endurece así la suspensión, muy útil en vehículos 4x4 y para usos diversos en un mismo vehículo.

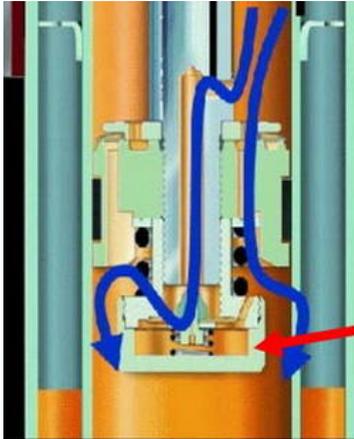


Figura 11. Amortiguador de frecuencia selectiva

Fuente:

<http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/07/20/amortiguacion-de-frecuencia-selectiva-fsd-en-modelos-abarth-laboratorio-tecmovia/>

- **Amortiguador de doble tubo:** actualmente estos dispositivos son los más vendidos en el mercado y se separan en no presurizados, es decir, que presentan agua y aceite. Y presurizados, que sólo cuentan con aceite. En estos amortiguadores el pistón, junto con el cilindro se ubica dentro de una cámara mayor. El aceite puede fluir por el cilindro por medio del pistón o bien, a la segunda cámara, valiéndose de la válvula que se ubica entre las dos. (Vashist, 2010)

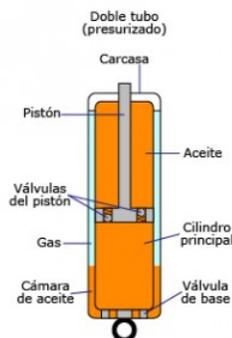


Figura 12. Amortiguador de doble tubo

Fuente:

<http://www.localizadordetalleres.com/blog/tag/amortiguador/>

### **1.3.- Tipos de suspensiones.**

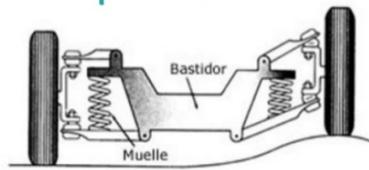
- a) Suspensión independiente que es la que permite que cada rueda asimile ondulaciones y baches del piso sin transferirlas a las otras ruedas.
- b) Suspensión semi independiente, en la cual algunos de los movimientos se traspasan de una rueda la otra.
- c) Suspensión de eje rígido, donde todos los movimientos de una rueda se transmiten a la otra.

#### **- Suspensión independiente:**

Actualmente la suspensión independiente a las cuatro ruedas es cada vez más utilizada debido a que es la más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitirlas de una rueda a otra del mismo eje. La principal ventaja añadida de la suspensión independiente es que posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud. El diseño de este tipo de suspensión deberá garantizar que las variaciones de caída de rueda y ancho de ruedas en las ruedas directrices deberán ser pequeñas para conseguir una dirección segura del vehículo. Por el contrario, para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas. Actualmente éste tipo de suspensión es el único que se utiliza para las ruedas directrices.

La gama de modelos de suspensión independiente es muy amplia y además poseen numerosas variantes de acuerdo a cada una de las marcas e inclusive para cada uno de los diferentes modelos creados a lo largo del tiempo. A continuación podemos ver algunos ejemplos de suspensiones independientes:

## Suspensión Independiente y Tipo McPherson

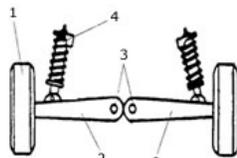


Suspensión independiente

Figura 13. Suspensión independiente de tipo McPherson

Fuente:

<https://es.slideshare.net/zexaralvaradosegueda/suspension-y-direccin-pres>



- 1.- Ruedas
- 2.- Semieje
- 3.- Articulación
- 4.- Muelle y amortiguador

Esquema de una suspensión de eje oscilante

Figura 14. Suspensión independiente de eje oscilante

Fuente:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>

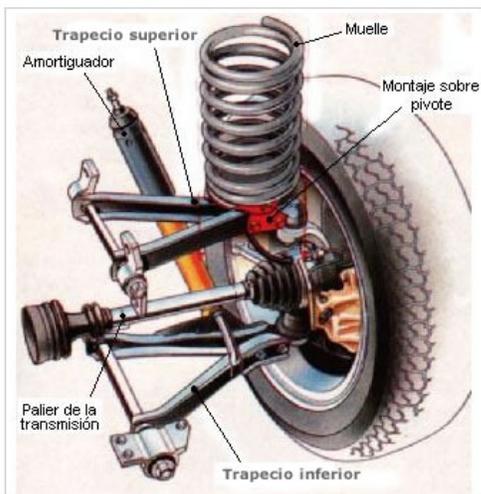


Figura 15. Suspensión independiente con mesas superiores e inferiores

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/16153368/Suspension-1era-parte.html>

- **Suspensión semi independiente:**

Esta es una suspensión que hoy en día prácticamente ya no se la utiliza, Estas suspensiones son muy parecidas a las suspensiones independientes, su diferencia principal es que las ruedas están unidas entre sí como en el eje rígido pero transmitiendo de una forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida total tampoco es independiente. La función motriz se separa de la función de suspensión ya que esto se utiliza únicamente en vehículos de tracción delantera. El beneficio de este tipo de suspensión es que es de bajo costo tanto en materiales como en costo de investigación para las marcas y la parte negativa es que las dos ruedas posteriores unidas por este tipo de suspensión, no son completamente independientes por lo que los movimientos de la una, en gran parte si se transmiten a la otra. (Alonso, 2010)

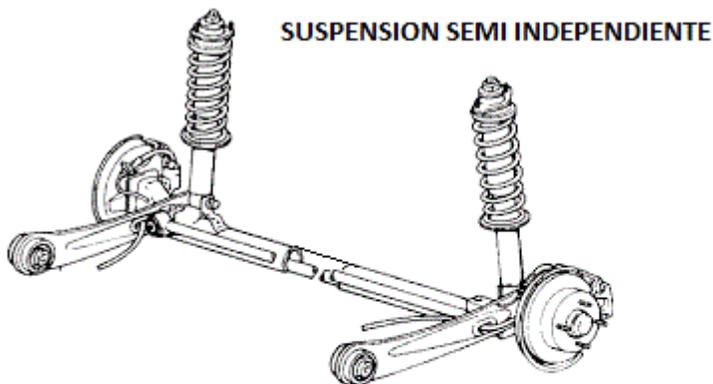


Figura 16. Suspensión semi independiente

Fuente:

<http://suspensiondelanteraytracera.blogspot.com/>

### - Suspensión de eje rígido:

Esta suspensión tiene unidas las ruedas mediante un eje rígido formando un conjunto. Presenta el inconveniente de que al estar unidas ambas ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje. Además el peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera. En estos últimos el grupo cónico sube y baja en las oscilaciones como un parte integradora del eje rígido. Como principal ventaja, los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses, camiones y vehículos todo terreno. Los principales tipos de suspensión de eje rígido son dos; la que utiliza muelles helicoidales o espirales y la que usa ballestas.

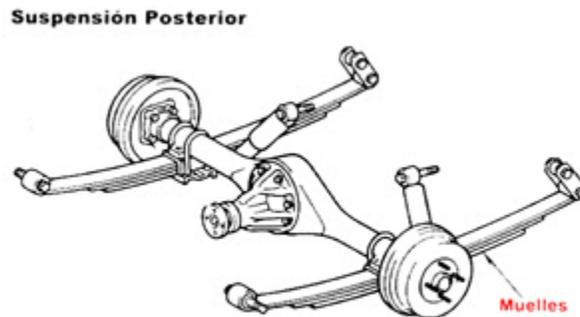
En el caso de la suspensión con espirales o muelles helicoidales, esta requiere brazos o tijeras para el control longitudinal del eje y se utiliza la barra panhard para el control transversal del mismo.



Figura 17.  
Suspensión de eje  
rígido con muelles  
helicoidales o  
espirales

Fuente:  
[http://www.fabtec  
hmotorsports.com](http://www.fabtec<br/>hmotorsports.com)

Para la suspensión de eje rígido con ballestas, ya sea para una transmisión delantera o posterior, las propias ballestas son las que se encargan de controlar el desplazamiento longitudinal del eje gracias al capuchino o mosco. Al igual que en el caso anterior, la barra panhard es la que controla el movimiento transversal; movimiento que por la configuración misma de la suspensión no es perfectamente perpendicular al eje horizontal.



**Configuración de la Suspensión del Tipo de Muelles**

Figura 18. Suspensión de eje rígido con ballestas.

Fuente:

<http://elauladelprofesorgutierrez.blogspot.com/2012/04/suspension-rigida.html#!/2012/04/suspension-rigida.html>

## CAPITULO II

### 2.- El sistema de dirección

El conjunto de mecanismos que componen el sistema de dirección tienen como objetivo orientar las ruedas delanteras para que el vehículo siga la trayectoria indicada por el conductor. Para que el conductor no tenga que realizar esfuerzo en la orientación de las ruedas (a las ruedas delanteras se las denomina "directrices"), el vehículo dispone de un mecanismo desmultiplicador, en los casos simples o de vehículos antiguos, o de servomecanismo de asistencia en vehículos modernos. (Domínguez, 2010)

En la figura a continuación se puede ver el ensamblaje de un sistema de dirección sobre un eje delantero. Al movimiento de giro del volante 1, se lo transforma en la caja de dirección 5 en otro tipo de movimiento de vaivén 6, que mediante la biela de empuje 7 lo transmite a la palanca de reenvío 8, que a través de la biela 4 y los brazos de acoplamiento 3 y 9, se transmite a su vez a los brazos de mando 2 los cuales producirán la orientación de las ruedas directrices.

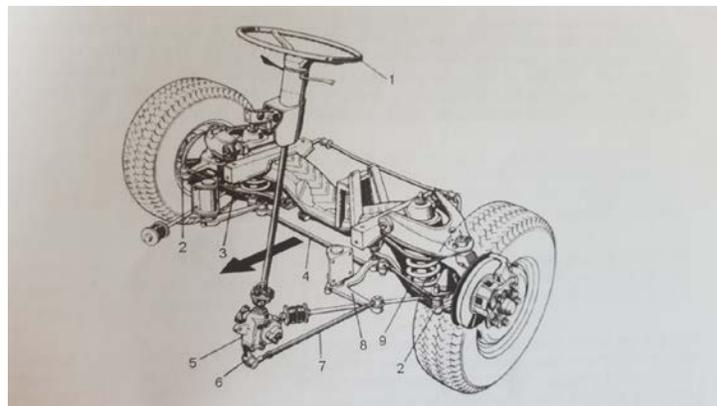


Figura 19. Sistema de dirección.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sistemade direccion.html>

## 2.1.- Componentes del sistema de dirección.

- **Volante:** El volante se encuentra de donde la cabina y es el mando donde se posan las manos del conductor para dirigir la trayectoria del vehículo.
- **Columna de dirección:** Une el volante con la caja de dirección, antiguamente era de una sola pieza, y en la actualidad y como mecanismo de protección para el conductor en caso de colisión está compuesta por partes pequeñas, que se doblan para evitar lesiones.

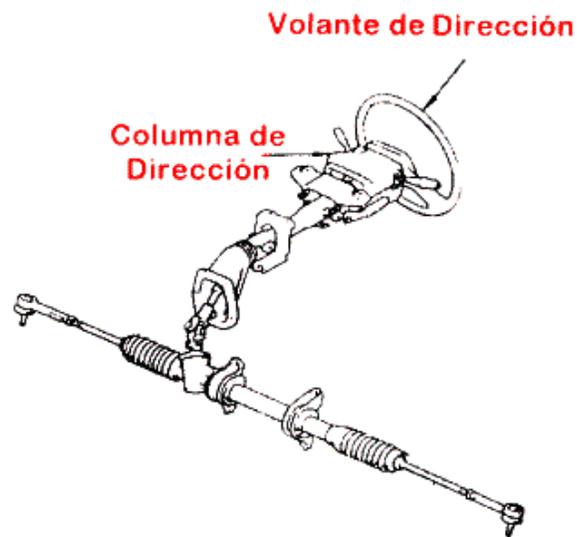


Figura 20. Volante y Columna de dirección.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos95/sistema-suspension-direccion-y-frenos/sistema-suspension-direccion-y-frenos2.shtml>

- **Caja de dirección:** Recibe el movimiento del volante a través de la columna y lo reparte a las ruedas mediante movimientos realizados por engranajes. Puede ser de tipo bolas recirculantes, o de cremallera.

- **Pitman:** Pieza en forma de cuerno ubicada a la salida de la caja de dirección, que se encarga de unir la caja de dirección con la barra de dirección. Es una parte exclusiva de las direcciones de bolas recirculantes.

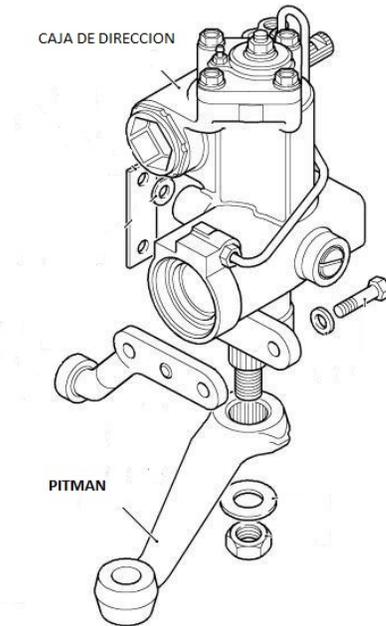


Figura 21. Caja de dirección y pitman.

Fuente:

<http://www.rec4x4.com/spa/item/DIR-STC2845E.html>

- **Barra de dirección:** Recibe el movimiento de la caja de dirección y lo transmite a los terminales de dirección.
- **Terminales de dirección:** Son uniones (tipo rótula) con cierta elasticidad para absorber las irregularidades del suelo, y tiene como función principal unirse con cada una de las ruedas directrices. (Cascajosa, 2005)



Figura 22. Barra y terminales de suspensión

Fuente:

<https://www.enriquerequena.com/es/ofertas-novedades/393-barras-y-rotulas-de-direccion-scania.html>

## 2.2.- Tipos de direcciones.

Hay algunos factores que intervienen en la resistencia al giro del volante, una de estas es la presión de inflado de las llantas, por ende, el área de contacto con el suelo, el tipo de llanta, el tipo de suelo, la velocidad de desplazamiento, entre otros. Sin embargo, el factor más determinante es el propio peso del vehículo.

Una de las metas más importantes en el desarrollo de la industria automotriz ha sido el disminuir el esfuerzo requerido para girar el volante de un vehículo en función de la comodidad y seguridad del conductor. En el pasado se consiguió este objetivo pero por el uso de engranajes de relaciones altas se requería dar muchas vueltas al volante para lograr que el vehículo de un pequeño giro, lo que dificultaba el dar un giro en U o el estacionarse. En un determinado momento de la historia se resolvió este problema con la invención de la dirección con "asistencia hidráulica" y mal llamada "dirección hidráulica" ya que su principio de funcionamiento sigue siendo mecánico pero posee una asistencia con un sistema hidráulico.

Los sistemas y asistencias en direcciones siguen evolucionando día a día hasta lo que encontramos ahora que son direcciones asistidas electrónicamente donde inclusive se puede controlar el nivel de asistencia en función de la necesidad o comodidad del conductor.

La mal llamada dirección hidráulica es uno de los avances tecnológicos más importantes que han ocurrido en la historia automotriz, su principal beneficio es que el conductor no debe realizar una fuerza exagerada sobre el volante, lo que permite reaccionar frente a imprevistos y efectuar con facilidad maniobras a bajas velocidades. (Vashist, 2010)

El sistema de dirección hidráulica funciona a través de una bomba, que presuriza un fluido líquido y es enviado por tubos y mangueras a la caja de dirección. En su interior, se ubican sellos que al recibir esta presión, impulsan a las varillas de acoplamiento que unen la caja de dirección con las ruedas. Todo esto se activa únicamente cuando el motor del automóvil está encendido. (Cascajosa, 2005)

Las direcciones hidráulicas comunes poseen mejor control a la hora de estacionarse ya que no demandan esfuerzo alguno, en cambio a altas velocidades requiere un control mayor del volante.

### **2.2.1.- Dirección Mecánica.**

La dirección mecánica fue la primera construida en la historia y se la inventó con el fin de poder direccionar a los vehículos. Estas no tenía ningún tipo de asistencia ni ayuda ya que de por sí, el cumplir con su propia función, ya llenaba de satisfacción a sus constructores. Lógicamente esta tenía varias desventajas como la dureza sobre todo al momento de estacionar y la falta de reacción inmediata también era una de sus características. Los golpes y reacciones bruscas de los volantes en las irregularidades también eran parte del día a día de las direcciones mecánicas.

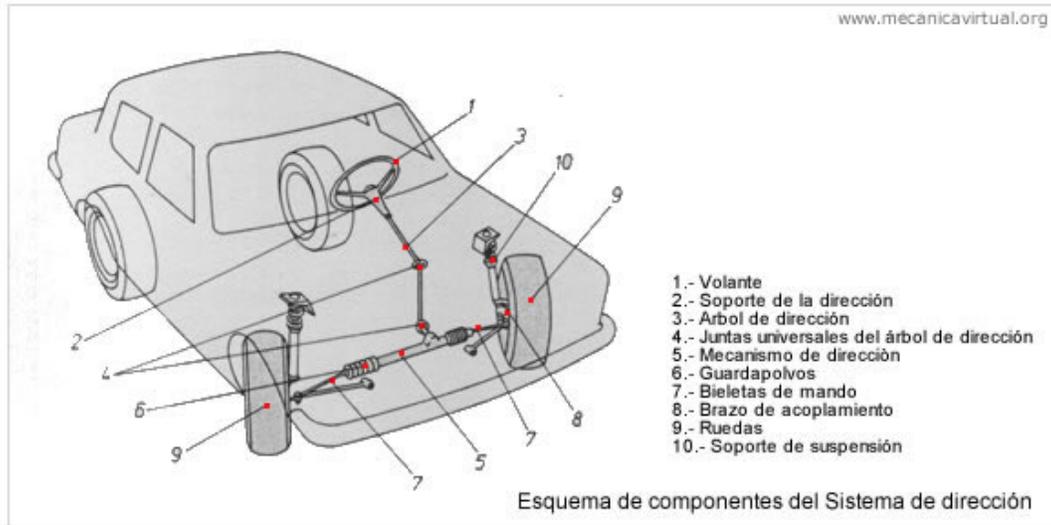


Figura 23. Componentes de una dirección mecánica

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion.htm>

### 2.2.2.- Dirección Hidráulica.

Las direcciones hidráulicas fueron de los primeros modelos de dirección asistida que se utilizaron junto con las de vacío. Pero las primeras, o sea las hidráulicas terminaron por imponerse sobre las de vacío. Son las más habituales en toda clase de vehículos aunque están siendo sustituidas por las electro-hidráulicas y eléctricas.

La dirección hidráulica utiliza energía hidráulica para generar la asistencia. Para ello utiliza una bomba hidráulica conectada al motor. Lo habitual es que esté acoplada directamente mediante una correa o polea.

El funcionamiento puede variar dependiendo del fabricante, pero el modelo más general aprovecha la propia cremallera como pistón o impulsador hidráulico para generar la asistencia. De esta forma, cuando el conductor gira el volante el sensor hidráulico permite el paso del fluido hacia uno de los lados del pistón, aumentando la presión en ese lado y haciendo que la cremallera se desplace axialmente hacia el lado al que el conductor gira el

volante. Una vez que el conductor deja de girar el volante la presión se iguala y la cremallera vuelve a su posición original.

El sistema de dirección hidráulica gracias a una bomba que presuriza el fluido líquido el cual es enviado por tubos y mangueras a la caja de dirección, es de esta manera que se consigue que la caja de dirección haga su trabajo pero sin hacer un gran esfuerzo por parte del conductor en el volante. El resto del sistema como son volante, columna, barras terminales entre otros, no difieren entre una dirección mecánica y una hidráulicamente asistida. A continuación en la figura 24 podemos observar todos los elementos que participan en este gran invento de la evolución del sistema de dirección en los vehículos el cual además no deja de evolucionar y sorprender año tras año.

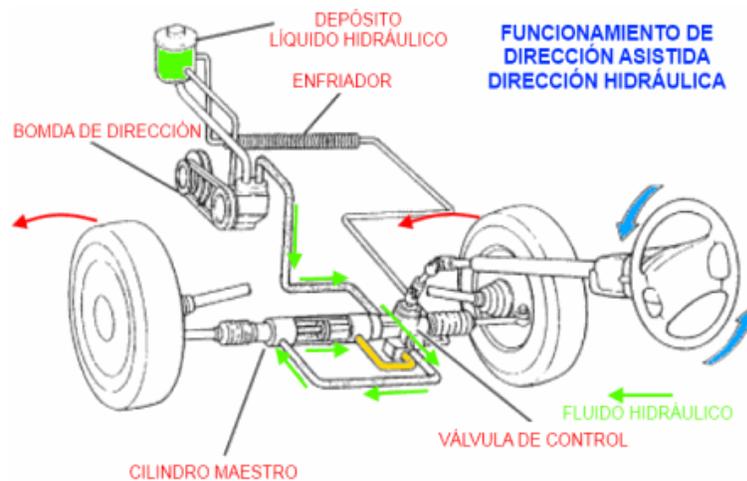


Figura 24. Componentes de una dirección asistida hidráulicamente

Fuente: <http://www.autodaewoospark.com/direccion-asistida-hidraulica.php>

### 2.2.3.- Dirección Electrohidráulica

La electro-hidráulica es el sistema electrizado con aceite; detenidamente. Para esto es necesario aceite y no agua; si se usa agua no sería electro-hidráulica.

La dirección electro-hidráulica o EHPS (Electro-Hydraulic Powered Steering) es una evolución de la dirección hidráulica. En vez de utilizar una bomba hidráulica conectada al motor utiliza un motor eléctrico para mover la bomba hidráulica.

Su principal ventaja es que al no estar conectada al motor del vehículo evita los problemas mecánicos asociados a la transmisión por correa. Además reduce el consumo de combustible. En este caso la bomba hidráulica sólo funciona cuando y al ritmo que se necesita para operar la dirección. La alimentación del motor que mueve la bomba se hace a través de la batería. Estas ventajas frente a las hidráulicas ha hecho que las direcciones electro-hidráulicas hayan ido sustituyendo a las hidráulicas progresivamente y van ganando terreno en casi todas las grandes marcas. (Denton)

La dirección electrohidráulica está compuesta por tres grupos de elementos: electrónicos, mecánicos e hidráulicos. Los únicos componentes electrónicos son la electrobomba y el sensor de dirección asistida el cual cumple con la misión de dosificar la asistencia requerida por el conductor según sea necesario. El resto de partes son los ya conocidos en un sistema de dirección convencional.

El funcionamiento de una dirección electro-hidráulica es similar al de una hidráulica, el hecho es que difiere en la fuente o en el recurso a través del cual se asiste o impulsa el trabajo que necesita recibir la caja de dirección para poder girar.

La dirección asistida electrohidráulica o también llamada EPHS es una tecnología que le podemos llamar de paso porque va en camino de transformarse en netamente eléctrica o EPS. El sistema electrohidráulico viene de fábrica en muchos modelos de vehículos por razones económicas y de consumo de combustible. La presión hidráulica es

generada por una unidad compacta de motor-bomba que combina los siguientes elementos: un motor conmutado sin escobillas, una bomba hidráulica de engranajes con un sensor de movimiento, un tanque de líquido hidráulico y una unidad de control electrónico (ECU).

Este sistema no necesita una correa dentada para hacer funcionar la bomba de dirección, no tiene polea ni contacto directo de ningún tipo con el motor del vehículo. El pequeño motor eléctrico de la unidad funciona con un circuito eléctrico de 12 voltios. La bomba funciona de manera permanentemente a baja velocidad. La velocidad aumenta o disminuye en relación directa al giro del volante que realice el conductor; esto además permite ahorrar combustible y reducir las emisiones de gases al medio ambiente.

A continuación en la figura 25 podemos ver los elementos que intervienen en un sistema de dirección electrohidráulica

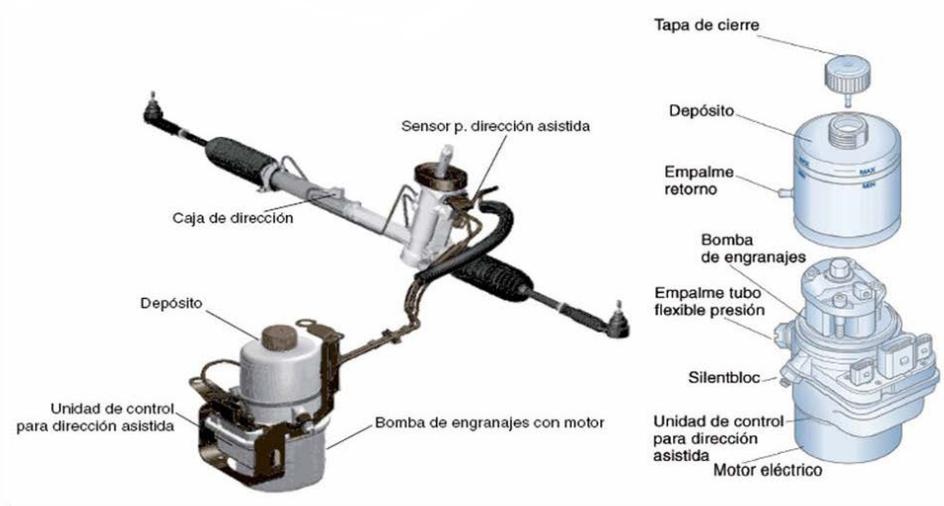


Figura 25. Componentes de una dirección asistida de manera electrohidráulica.

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/19298656/El-sistema-de-direccion-automotriz-tips-de-cuidado.html>

#### **2.2.4.- Dirección Eléctrica.**

Las direcciones eléctricas o EPS (Electrical Powered Steering) son el tipo más reciente de dirección asistida. Su nombre se debe a que utilizan un motor eléctrico para generar la asistencia en la dirección.

La EPS o dirección asistida eléctricamente tiene como componentes principales los siguientes: un sensor de par montado en la barra de dirección, un motor eléctrico acoplado al eje de dirección y un computador que monitorea el funcionamiento y acciona el motor eléctrico. En el momento que se gira el volante, el sensor capta el torque del giro o la fuerza que se le aplica y esta información es enviada al computador de la dirección, este acciona el motor eléctrico que es el que ayuda a girar el eje de la cremallera, es en este momento cuando la dirección ya recibió asistencia netamente eléctrica.

Su ventaja frente a las hidráulicas y electro-hidráulicas es que, al no utilizar energía hidráulica son más ligeras y simples al eliminar la instalación y bomba hidráulica. Otra ventaja muy importante es que al ser un componente que funciona completamente independiente del motor, reduce el consumo de combustible por lo que la tendencia a utilizar este tipo de dirección es cada vez mayor en todas las marcas de vehículos a nivel mundial.

Una desventaja que ya se ha encontrado en algunos modelos que usan este sistema es el recalentamiento del motor eléctrico sobre todo cuando de alguna manera se fuerza la dirección en caminos de barro con huellas profundas o en ríos con piedras grandes; es este el motivo por el cual los vehículos 4x4 aún no están utilizando este innovador sistema

aunque existe mucha expectativa de corregir este recalentamiento en los motores eléctricos para así poder montar estos sistemas en vehículos todo terreno.

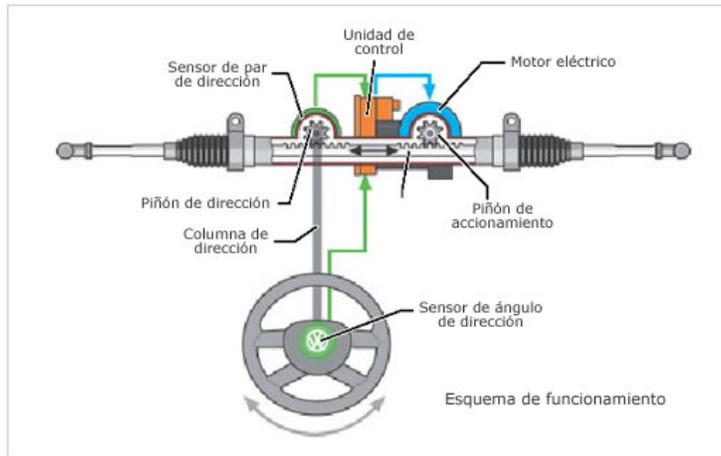


Figura 26. Componentes de una dirección Electroasistida

Fuente:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion-asistida-electr.htm>

## CAPITULO III

### 3.- Diferencial y grupo cono y corona

#### 3.1.- El diferencial.

En la transmisión, es indispensable instalar entre el motor y las ruedas motrices una reducción fija para ajustar el radio de curva de cada una de las ruedas, estando el motor a máxima aceleración y sin intervención de la caja de cambios. Esto suena un reto muy difícil de cumplir, pues las investigaciones y pruebas realizadas antes de lograr construir un elemento que cumpla con estas características fueron infinitas. Finalmente y luego de muchos años, se consiguió el elemento en cuestión llamado diferencial.

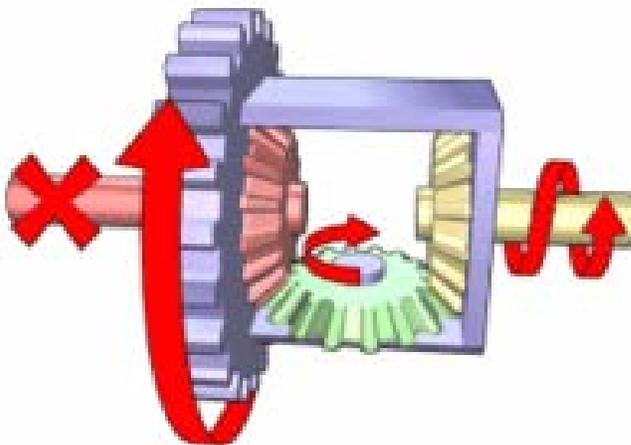


Figura 27. El diferencial.

Fuente:

<http://www.agroterra.com/foro/foros/maquinaria-agricola-f13/diferencial-de-camion-para-desbrozadora-t15194.html>

El diferencial de un vehículo tiene principalmente dos funciones. La primera es el transmitir el movimiento proveniente de la caja de cambios y cardán hacia los ejes. Y la segunda función el permitir que las ruedas derecha e izquierda giren a diferentes velocidades para que el vehículo pueda curvar sin dificultad; esto es necesario porque cuando un vehículo toma una curva, el radio de giro de la llanta derecha y de la izquierda no es el mismo y por ende las dos ruedas no recorren la misma distancia en cada una de las

curvas y giros dados. A continuación la figura 28 nos va a ayudar a entender de mejor manera este hecho.

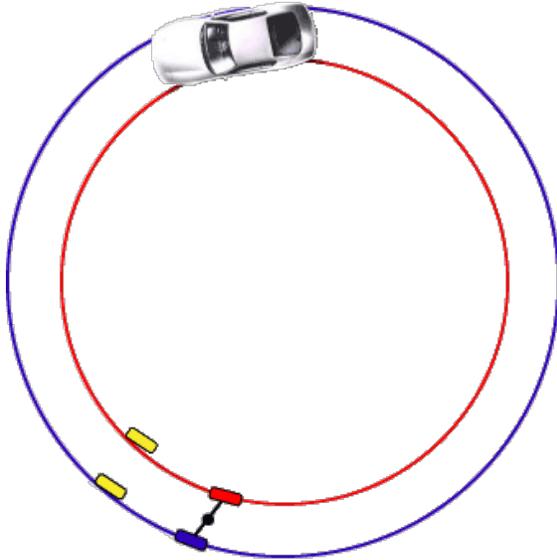


Figura 28. Diagrama de radios en una curva.

Fuente:

<http://www.racesimonline.com/articulos/EIDiferencial.php>

Antiguamente en los vehículos las ruedas estaban ensambladas de manera fija sobre el eje lo que significa que las dos ruedas giraban el mismo número de vueltas y al girar, una de las dos no lo hacía libremente y esto desestabilizaba el vehículo. Gracias al diferencial se consigue que cada una de las ruedas pueda girar correcta y libremente en el trayecto de una curva, manteniendo una excelente tracción mientras el motor puede actuar a máxima potencia.

### 3.2.- Partes del diferencial.

Existen algunos tipos de diferenciales pero la generalidad vienen ensamblados a partir de una carcasa de acero donde están dos tipos de piñones dentados; los satélites que están en la parte superior e inferior y los planetarios, conectados en forma de circuito cerrado, que se encuentran en los lados, a continuación y engranando con los ejes. También

encontramos pasadores y vinchas que ayudan a ensamblar el sistema diferencial. (Riley, 2005)

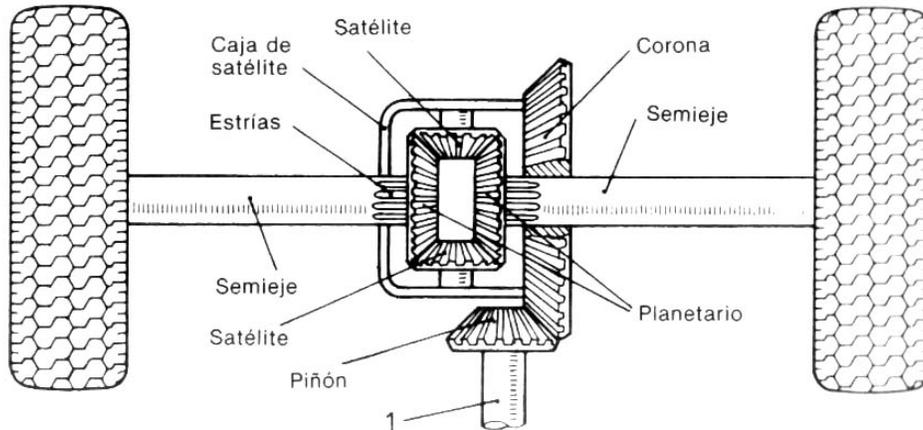


Figura 29. Partes del diferencial.

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15307728/El-Diferencial.html>

### 3.3.- Tipos de diferenciales.

- **Diferencial tradicional:** Existen varios tipos de diferenciales para los cuales están diseñados para diferentes usos. Por lo general los vehículos de serie traen un diferencial común el cual no tiene ningún tipo de bloqueo por lo que las dos ruedas del eje se logran independizar al 100%.

- **Limitador de patinaje:** También existen diferenciales a los que se los llama limitadores de patinaje los cuales como su nombre lo indica, son sensibles al deslizamiento excesivo de una rueda y cuando esto sucede, limitan la tracción o el patinaje de la misma. Estos funcionan por lo general gracias a un conjunto de discos los cuales trabajan por fricción, cuando la fricción entre ellos llega a un punto determinado, estos se acoplan o se

traban y empiezan a trabajar para poder contralar la tracción del vehículo. Este tipo de diferenciales es muy susceptible a la viscosidad del aceite que se usa en el mismo por lo que siempre debemos tener en cuenta cual es el que el fabricante recomienda. Adicionalmente, es muy importante hacer el cambio de este lubricante siempre a tiempo para evitar desgastes innecesarios.



Figura 30. Diferencial autoblocante por discos de fricción.

Fuente:

<http://noticias.coches.com/consejos/tipos-de-diferenciales/149144>

- **Diferencial bloqueado:** También existen diferenciales que llegan a bloquearse, al 100% los cuales son netamente para competencia los cuales trabajan de dos maneras; estos pueden bloquearse a través de un compresor de aire el cual se encarga de presurizar el sistema y trabajar el conjunto de satélites y planetarios; y también existe uno en el cual el bloqueo es mecánico y se lo realiza mediante una palanca a través de un cable.

- **Diferencial Torsen:** El diferencial torsen es un tipo de diferencial autoblocante. Este es el único sistema capaz de repartir el deslizamiento de forma independiente a la velocidad de giro de los semiejes. Funciona mediante la combinación de tres pares de ruedas helicoidales que engranan a través de dientes rectos situados en sus extremos. La retención o el aumento de la fricción se produce porque las ruedas helicoidales actúan como un mecanismo de tornillo sin fin: el punto de contacto entre los dientes se desplaza sobre una línea recta a lo largo del propio diente, lo que significa la unión del movimiento de giro de las ruedas con el movimiento de deslizamiento que supone fricción. El grado de resistencia se determina precisamente por el ángulo de la hélice de estas ruedas helicoidales.

Si lo comparamos con un diferencial convencional, en un Torsen se sustituyen los satélites convencionales por tres pares de engranajes helicoidales, engranados dos a dos por piñones de dientes rectos en sus extremos. Los planetarios en este caso son tornillos sin fin, con los cuales engrana cada uno de los engranajes helicoidales. (Wikipedia, 2015)

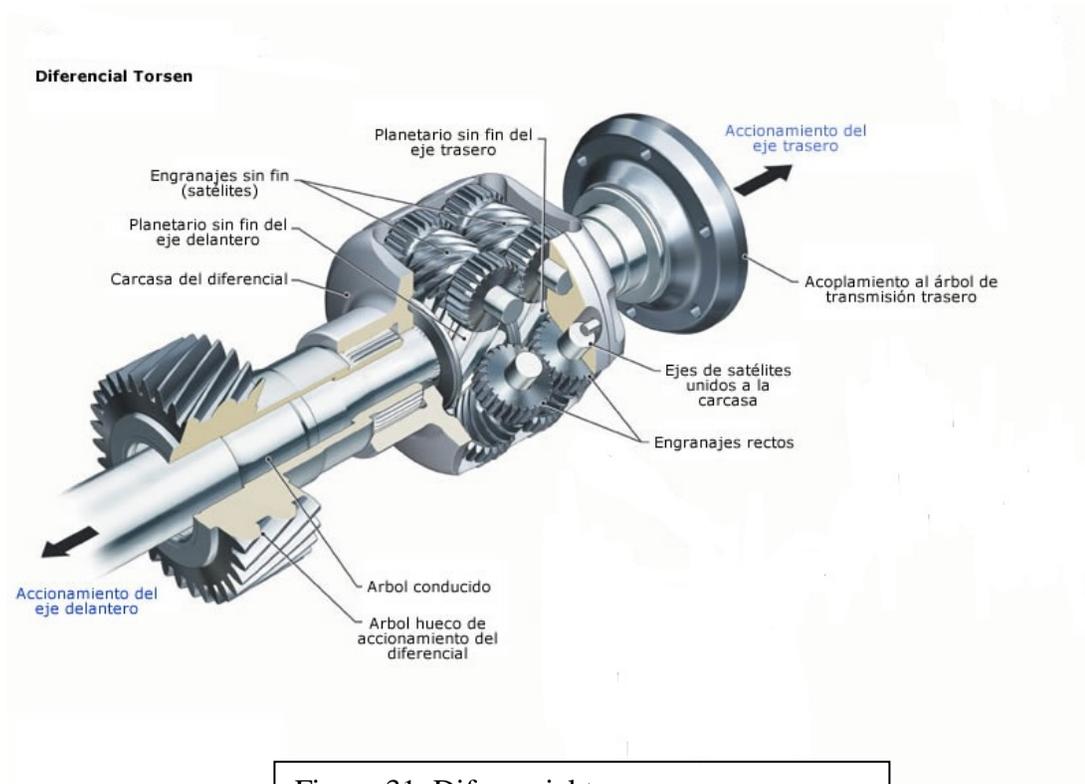


Figura 31. Diferencial torsen

Fuente: <https://goo.gl/images/dQU2u5>

### 3.4.- Grupo cono y corona.

El motor de un vehículo envía el movimiento a través de la caja de cambios y posteriormente mediante el árbol de transmisión o cardán. Este movimiento va de adelante hacia atrás y necesitamos que de un giro de  $90^\circ$  para que este llegue a los ejes y por ende a las ruedas. El justo en el cono y corona el mecanismo por el cual el movimiento cambia de sentido y logramos que las ruedas giren. El cono dentado que está sujetado a la funda, aun recibe el movimiento con el mismo sentido que el árbol o cardán (Hibbeler, 2004)



Figura 32. Grupo cono y corona

Fuente:

[http://www.tecnerife.com/mecanismos/mecanismos\\_teoría.html](http://www.tecnerife.com/mecanismos/mecanismos_teoría.html)

Por otra parte está la corona la cual está empernada al florero del diferencial y cuando empatan los dientes de estos dos elementos es cuando se transforma el sentido del movimiento.

La manera en que se asientan o se acoplan el cono y la corona puede variar. A uno de estos tipos de acople se le denomina engranaje hipoide y en este, tanto el cono como la corona disponen de un dentado helicoidal, atacando el primero a la segunda un poco por debajo de su centro. Y presenta la ventaja de que resulta más adecuada a las carrocerías de piso bajo que se utilizan en los vehículos actuales, ganando en estabilidad del mismo. Por otra parte, con esta disposición existe un mayor número de dientes del cono en contacto con la corona aumentando su diámetro con respecto a ella, lo que supone una mayor robustez para uso severo de vehículos 4x4. (Todo Mecánica 2005)

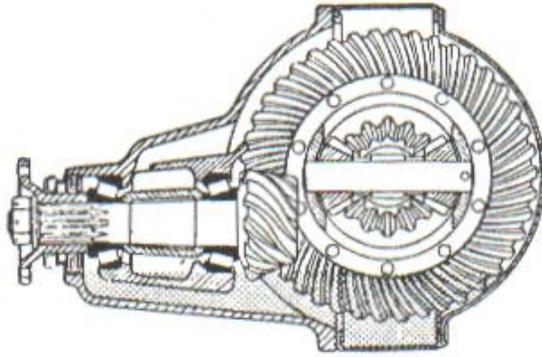


Figura 33. Engranaje hipoides

Fuente:

<http://www.todomecanica.com/blog/3-4-puente-trasero-y-diferencial.html>

### 3.5.- Relación de transmisión.

Es importante indicar que todo vehículo multiplica o desmultiplica el número de vueltas que salen del motor a través de cada una de las marchas de la caja de cambios, posteriormente en la caja de transferencia para los vehículos doble tracción y finalmente en el conjunto cono y corona. Los vehículos son ensamblados en las fábricas con diferentes relaciones de transmisión según el uso que se les vaya a dar a los mismos. A estas se les denomina transmisiones de costa o transmisiones de montaña. Las de costa tienen como característica ser más largas para poder alcanzar mayores velocidades y las de montaña sobresalen por tener mayor fuerza para poder vencer las pendientes que la geografía presenta. (Budynas, 2012)

La manera de expresar una relación de transmisión es dividiendo el número de dientes de la corona para el número de dientes del cono. Por ejemplo, si tenemos una corona con 41 dientes y un cono con 9 dientes, la relación de transmisión sería de 4,55:1.

## CAPITULO IV

### 4.- Modificaciones en el sistema de suspensión



Figura 34. Toyota Land Cruiser RJ 70 modelo 1989 antes de ser modificado

Fuente: Propia del autor.

El sistema original de suspensión del Toyota Land Cruiser RJ 70 en la parte frontal se compone de dos espirales, dos tensores longitudinales o tijeras inferiores y una barra transversal llamada panhard que es la que evita las oscilaciones laterales; además tenemos dos amortiguadores hidráulicos y una barra estabilizadora. Adicionalmente también están todos los componentes de goma, bujes metálicos y accesorios de sujeción que son los que permiten el ensamblaje de la suspensión, alineación de ruedas y acople con el sistema de dirección. A continuación podemos ver en la figura 35 la suspensión original del RJ 70 para entender de

donde partimos.

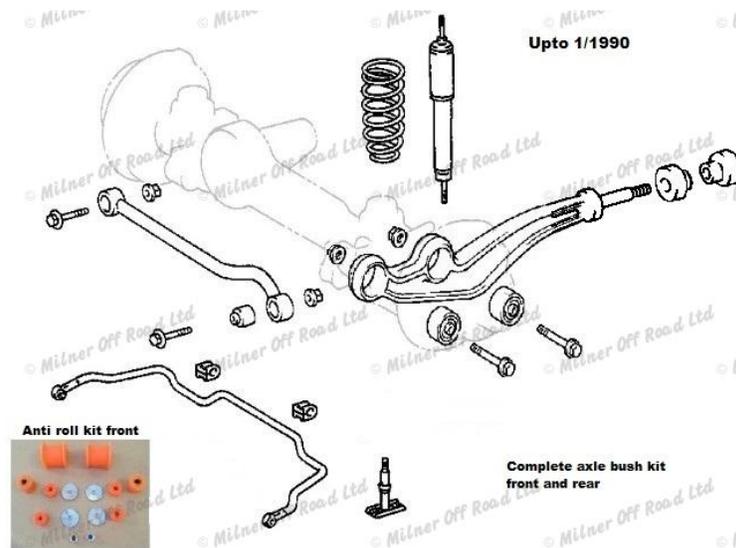


Figura 35. Suspensión frontal original Toyota Land Cruiser RJ 70

Fuente: <http://www.milneroffroad.com/toyota-uk/land-cruiser/lj70-1988-51993-2-4td-2dr/lj70->

Esta suspensión originalmente es eficiente y confortable pero al momento de querer darle un uso extremo tiene ciertas limitaciones tales como el corto recorrido del espiral y por ende del amortiguador. Por otra parte la baja resistencia y compresión que presentan los mismos son otra limitación ya que estos no soportan el peso de todos los accesorios de rescate montados en el vehículo.

Para contrarrestar todas estas limitaciones y que la nueva suspensión tenga las prestaciones necesarias para que el vehículo se desempeñe de la mejor manera tanto en vías de segundo orden como en rutas 4x4 se han hecho las siguientes modificaciones en la suspensión delantera:

Se reemplazó los espirales originales que tenían 7 vueltas y un diámetro de 12 mm por unos de 8 vueltas y 14 mm de diámetro lo que nos permite que el vehículo tenga mayor altura, con este cambio ganamos 508 mm de altura lo cual nos permite instalar llantas de mayor diámetro para aumentar la distancia entre algunos conjuntos de elementos importantes del vehículo tales como: motor, caja de cambios, caja de transferencia, eje cardán, la coraza de la transmisión con el terreno. Los espirales instalados también son de mayor resistencia, aumentando el diámetro de la varilla de la que está hecho.



Figura 36. Espirales originales vs. Espirales modificados

Fuente: Propia del autor.

Adicionalmente estos espirales son de tipo progresivo lo que significa que actúan en dos tiempos dentro de un mismo periodo de trabajo con el objetivo de tener mejor reacción y por ende mayor confort.



Figura 37. Espirales + 508 mm instalados

Fuente: Propia del autor.

Los amortiguadores utilizados en esta modificación son componentes tecnológicamente sofisticados ya que utilizan nitrógeno y gas para su alto rendimiento en todo tipo de condiciones extremas. El recorrido de los mismos es de 101,6 mm mayor que los originales de fábrica para alcanzar mayor descuelgue y por ende mayor fijación de todas la ruedas al piso.



Figura 38. Amortiguadores con 101,6 mm más de recorrido ya instalados.

Fuente: Propia del autor.

Además para que los espirales y los amortiguadores trabajen en correcta alineación y armonía fue necesario modificar las bases de los espirales y amortiguadores; en el caso de los espirales se modificó las guías inferiores y superiores donde se aloja el espiral para evitar que estos se muevan y salgan despedidos al momento que se libera la presión sobre los mismos. Se montó también unos seguros en los espirales para mayor fijación y seguridad.

En las bases de los amortiguadores fue necesario instalar bases de mayor longitud ya que los amortiguadores son sobredimensionados.

Respecto a la ingeniería de la posición del eje, esta se vio afectada ya que la altura conseguida modifica los ángulos originales de la geometría del sistema de dirección por lo que fue necesario instalar correctores de camber y caster (bujes de geometría excéntrica) en los tensores longitudinales inferiores.

La barra estabilizadora también se vio afectada por la nueva altura lograda por lo que se le modificó adaptándole brazos link (bioletas de suspensión) de mayor longitud para que realicen su trabajo ya que dicha barra cumple la función de no permitir el desplazamiento excesivo de un lado u otro de eje. Para eliminar esta limitación se instalaron soportes de sujeción de accesos rápido para su fácil accesibilidad y por ende desconexión.

Por su parte la barra panhard tuvo que ser modificada en su extensión ya que esta es la que le da la posición al eje con relación a la geometría del chasis ya que se vio afectada por la altura ganada entre el chasis y el eje de transmisión.

Las partes de goma tuvieron que ser reemplazadas por nuevas de polímeros de mayor resistencia como poliuretanos, uretanos entre otros.

En la suspensión posterior también se reemplazó los espirales, en este caso los originales tenían 6 vueltas y los nuevos tienen 7 vueltas y 16 mm de diámetro con lo que se ganó mayor resistencia y también 101,6 mm de altura extra. Adicionalmente y en función de todo el peso y de los caminos a los que será sometido el vehículo, se instalaron dos amortiguadores adicionales de nitro gas para evitar que la suspensión

llegue al fondo y existan daños en todo el sistema, estos también de nitro gas para que el funcionamiento sea uniforme. Para instalar estos amortiguadores adicionales se tuvo que probar y medir ángulos y longitudes para poder soldar las nuevas bases perfectamente bien ubicadas como podemos ver que quedaron en la figura 39.



Figura 39. Amortiguadores adicionales instalados en la suspensión posterior.

Fuente: Propia del autor.

Con todas las modificaciones hechas en el sistema de suspensión delantera y posterior del RJ 70 se consiguió mejorar el confort al manejarlo en todo tipo de terreno teniendo en cuenta que ahora el vehículo carga más de 800 libras adicionales de peso en herramientas, accesorios de rescate y recuperación. El descuelgue en la suspensión posterior, medida desde el centro del eje hasta el guarda fango aumentó de 656 mm a 889 mm. Esto quiere decir un incremento del 35 %. En la parte frontal el desgonce aumentó

de 586 mm a 738 mm lo que se traduce en un aumento del 26 %. Este incremento tanto en medidas como en comportamiento de la suspensión del vehículo lo podemos evidenciar en la figura 40.



Figura 40. Totalidad de la suspensión modificada ya instalada.

Fuente: Propia del autor.

#### **4.1.- Desarmado sistema de suspensión.**

- Desmontaje de ruedas.
- Desmontaje de amortiguadores.
- Desmontaje de barra estabilizadora.
- Desmontaje de las 4 tijeras.
- Extracción de espirales.

- Desconexión de cañerías de freno.
- Desmontaje de bujes originales de las tijeras una vez que las mismas ya están afuera.

#### **4.2.- Características de nuevos elementos de suspensión.**

Los nuevos elementos son principalmente tres: Muelles helicoidales, amortiguadores y bujes excéntricos.

- **Muelles helicoidales:** Los nuevos muelles helicoidales instalados son de tipo progresivo lo que significa que actúan de diferente manera en cada una de las secciones del mismo. En la parte frontal estos tienen 8 vueltas y 14,1 mm de diámetro y en la parte posterior tiene 7 vueltas y 16,2 mm de diámetro.

- **Amortiguadores:** Se instalarán 6 amortiguadores nuevos; dos en la parte delantera y 4 en la parte posterior, todos estos de nitro-gas que son amortiguadores de alto desempeño para uso severo y competencia. El largo de los amortiguadores posteriores es de mm 618 y de los frontales es de mm 615.

- **Bujes excéntricos:** Estos son 4 bujes, van uno en cada tijera y tienen el orificio del perno desviado del centro; estos son hechos de polímeros altamente resistentes.

#### **4.3.- Montaje del sistema de suspensión.**

- Se soldó las nuevas bases superiores e inferiores para los nuevos amortiguadores posteriores.
- Se insertó los nuevos bujes excéntricos en las tijeras.
- Se montó los espirales.

- Se armó los amortiguadores.
- Se reconectó las cañerías de frenos.
- Se sangró frenos.
- Se montó llantas-
- Se alineó.

#### **4.4.- Pruebas posteriores.**

En la prueba de ruta al momento de probar las modificaciones de suspensión, el cambio fue radical, se siente la firmeza del vehículo lo cual da un excelente comportamiento tanto en ciudad como en caminos de segundo y tercer orden.

Adicionalmente en la prueba de descuelgue posterior pudimos ver la medida desde el centro del eje hasta el guarda fango aumentó de 656 mm a 889 mm. Esto indica un incremento del 35 %. En la parte frontal el desgonce aumentó de 586 mm a 738 mm lo que se traduce en un aumento del 26 %. Figura 39.

Finalmente, con respecto a los bujes excéntricos, la manera de comprobar el funcionamiento de los mismos fue con la alineación, la cual al momento de realizarla indicó que tanto camber, caster, convergencia y divergencia se encuentran dentro de rango.

## CAPITULO V

### 5.- Modificaciones en el sistema de dirección

La dirección original del Toyota Land Cruiser RJ 70 se compone de un volante de dirección, caña o columna de dirección, una caja sinfín de dirección mecánica, barra de dirección, amortiguador de dirección, brazo auxiliar o pitman, brazuelos de dirección y terminales.

Este sistema de dirección de composición básica se ve limitado ya que su trabajo no es eficaz al momento de someterlo a trabajo forzado y de ágil reacción por lo que en función de la dirección requerida para el uso extremo de 4x4 se lo modificó de la siguiente manera.

Se cambió las crucetas de la columna de dirección instalando nuevas de mayor resistencia y sin desgaste ya que las anteriores ya tenían muchos años y mucho uso. Se cambió la caja sinfín mecánica por una hidráulicamente original de Land Cruiser y se instaló una bomba hidráulica de dirección de 1600 psi de presión con acople específico para motor 22R de tal manera que no haya que hacer adaptaciones. Esta bomba nos permite que el trabajo con la nueva caja de dirección y con todos los componentes sea armónico logrando así un desempeño extraordinario de la dirección en las condiciones más severas.



Figura 41. Bomba de 1600 psi de dirección hidráulica para motor 22R y reservorio de líquido de dirección.

Fuente: Propia del autor.

Debido al trabajo excesivamente forzado al que se someten los componentes del sistema de dirección de los vehículos 4x4, se encontró la necesidad de enfriar el fluido hidráulico con el que trabajan dichos componentes por lo que se instaló un sistema de enfriamiento del fluido hidráulico aprovechando el flujo de aire. Dicho sistema se compone de un radiador de aceite, dos manguera de alta presión (2200 psi), un recipiente acumulador de fluido de alta temperatura (aluminio), manguera de retorno, acoples y abrazaderas.

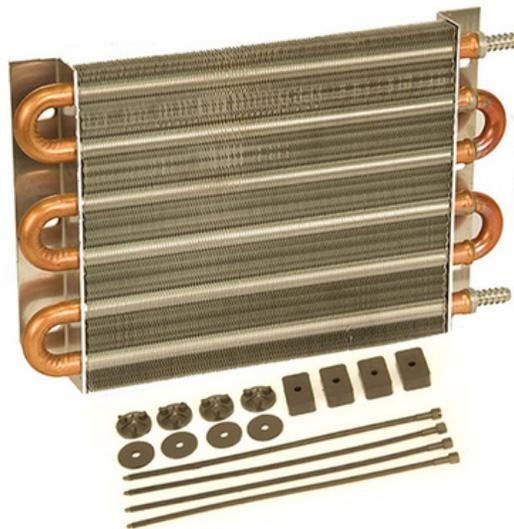


Figura 42. Enfriador del líquido de dirección hidráulica.

Fuente: [www.trailgear.com/sterringcoolingfluid.html](http://www.trailgear.com/sterringcoolingfluid.html)

El brazo auxiliar o pitman debido a la alta fuerza recibida de acción y reacción fue reemplazado por otro de mayor resistencia y reforzado, además de que este nuevo tiene un pequeño ángulo para compensar las modificaciones en suspensión. Los terminales de dirección de igual manera fueron reemplazados por unos nuevos y reforzados para evitar desgaste o posibles rupturas.



Figura 43. Caja de dirección hidráulica y pitman reforzado.

Fuente: Propia del autor.

En la barra de dirección también hubo la necesidad de realizar cambios, se la reemplazó por otra de mayor envergadura (pared de tubo de 3 mm).

La posición original del amortiguador de dirección, se encuentra por delante del eje de transmisión por lo que está extremadamente expuesto a sufrir golpes de todo tipo por lo que fue indispensable proceder a reubicarla. Este fue reinstalado en la parte posterior del eje de transmisión donde cumple el mismo propósito pero está protegido de todo peligro.

Con todas las modificaciones realizadas en el sistema de dirección se consiguió mejorar el confort lo cual es básico en caminos de difícil acceso y de larga duración,

además el tiempo de acción y reacción disminuyó en un 60% lo cual volvió al vehículo mucho más versátil, maniobrable, manejable y seguro.

### **5.1.- Desarmado del sistema de dirección.**

- Se desmontó el volante de dirección.
- Se desmontó la columna de dirección.
- Se sacaron las crucetas de la columna de dirección.
- Se desconectó el brazo pitman de la barra de dirección y de la caja de dirección.
- Se extrajo la caja de dirección mecánica.
- Se extrajo la barra de dirección.
- Se sacaron los terminales de dirección.

### **5.2.- Características de nuevos elementos de dirección.**

- Volante nuevo, de tipo deportivo; de menor diámetro, acorde a la nueva dirección instalada.
- Crucetas de barra de dirección nuevas por desgaste.
- Caja de dirección hidráulica de tuercas y bolas recirculantes, semi nueva, importada del exterior, específica para Land Cruiser RJ 70.
- Pitman modificado con ángulo y reforzado.
- Barra de dirección reforzada con pared de 3 mm, de mayor envergadura.
- Terminales nuevos de dirección.

- Bomba de dirección Trail Gear de 1.600 PSI de presión con acople para motor 22R y banda. Figura 41.
- Reservorio de líquido hidráulico. Figura 41.
- Radiador de aceite instalado de manera adicional para enfriar el líquido de dirección. Figura 41.

### **5.3.- Montaje del sistema de dirección.**

- Se montó el nuevo volante.
- Se montó las nuevas crucetas en la barra de dirección.
- Se montó la barra de dirección ya con los nuevos terminales.
- Se montó la nueva caja de dirección y se acopló el pitman.
- Se instaló la base para la bomba de dirección y la base para el reservorio de líquido hidráulico.
- Se instaló la nueva bomba de dirección y se acoplaron las cañerías de alta presión.
- Se llenó el circuito con líquido hidráulico.
- Se alineó el vehículo.

### **5.4.- Pruebas posteriores.**

Esta comprobación se la pudo realizar principalmente con una prueba de ruta en diferentes condiciones. El resultado de la modificación hecha es muy bueno, se probó el vehículo en ciudad, en carretera, en caminos de tierra, en barro, e inclusive en piedras y se

puede decir que la dirección quedó extremadamente suave lo que ofrece gran confort para el conductor en todas las condiciones de manejo.

Por otra parte, luego de todas las pruebas, se verificó el circuito, se confirmó que no haya fugas y que el nivel del líquido hidráulico sea el correcto.

## CAPITULO VI

### 6.- Modificaciones en el sistema diferencial y grupo cono y corona

Al momento de aumentar el diámetro de las llantas del vehículo, la relación final de transmisión también se ve afectada por lo que es necesario compensar esta pérdida de torque y la única manera que tenemos de hacerla es modificando la relación de cono y corona. Esta relación original del RJ 70 es de 4.55:1 (41 dientes en la corona y 9 en el cono) y la mayor relación conseguida en el mercado es de 5.29:1, esta es la que se instaló, consiguiendo una reducción del 16.26% en el cálculo final.

Calculo:

$$4.55 = 100\% \quad \& \quad 5.29 = x$$

$$x = (5.29 * 100) / 4.55$$

$$x = 116.26$$

Resultado: incremento del 16,26 %



Figura 44. Cono de transmisión.

Fuente: Propia del autor.

Adicionalmente, este tipo de elementos fabricados para uso extremo son hechos de aleaciones muy bien logradas, inclusive con garantía de por vida.

El diferencial original del RJ 70 es básicamente un sistema común de diferencial compuesto de satélites y planetarios los cuales hacen el trabajo de diferenciar el radio de giro de la una rueda con la otra al momento de realizar giros.

Esta diferenciación deja de ser un beneficio y se transforma en un perjuicio cuando el vehículo se encuentra en condiciones difíciles de terreno ya que se pierde tracción en la rueda que recibe menos resistencia en dicho momento. Es por esto que se decidió instalar un sistema con autoblocante; se procede a sacar el florero original y se lo reemplaza por uno nuevo sistema de diferencial con autoblocante el cual se activa cuando el terreno lo requiere.



Figura 45. Diferencial original y diferencial con autoblocante del Toyota RJ 70

Fuente: Propia del autor.

Dicho autoblocante que lógicamente debe ser comprado para el modelo específico de vehículo para que cuadre el número de estrías de los ejes, la corona y todo lo que se debe acoplar, también requiere un aceite especial para diferenciales bloqueados llamado LSD, este permite el buen funcionamiento y acoplamiento entre los discos que se encuentran al interior del diferencial.

### **6.1.- Desarmado de la transmisión posterior.**

- Desmontaje ruedas.
- Desmontaje eje cardán posterior.
- Drenado del aceite del diferencial posterior.
- Desmontaje eje cardán frontal.
- Drenado del aceite del diferencial frontal.
- Desarmado de candados.
- Desmontaje de ejes.
- Desacoplamiento del tercer miembro que contiene la tapa del diferencial, diferencial, cono y corona tanto delantero como posterior.
- Desacoplamiento del cono de la corona delantero.
- Desacoplamiento del cono de la corona posterior.
- Desacoplamiento de la corona del diferencial delantero.
- Desacoplamiento de la corona del diferencial posterior.

**6.2.- Características de nuevos elementos de transmisión.**

- Los conos y coronas nuevos, tanto delantero como posterior lógicamente, tienen una relación de 5:29 a 1. Son de marca Yukon la cual ofrece garantía de por vida gracias a los metales de alta calidad con la que funden sus productos.
- El diferencial posterior va a ser reemplazado por uno con autoblocante, este es de marca Detroit Locker y funciona como un bloqueo al diferencial al 99% de tal manera que en contadas situaciones o circunstancias permite el desacople del mismo.

**6.3.- Montaje del sistema de transmisión.**

- Se acopló el diferencial frontal a la nueva corona.
- Se acopló el nuevo autoblocante posterior a la nueva corona.
- Se acoplaron y asentaron cono y corona posterior.
- Se acoplaron y asentaron cono y corona frontal.
- Se acopló el grupo cono y corona a la transmisión o funda frontal.
- Se acopló el grupo cono y corona a la transmisión o funda posterior.
- Se conectó eje cardán frontal
- Se conectó eje cardán posterior.
- Se insertaron y acoplaron los ejes posteriores.
- Se insertaron y acoplaron los ejes frontales.
- Se engrasó los candados.

- Se armaron los candados.
- Se puso aceite W90 en la transmisión frontal.
- Se puso aceite LSD para diferenciales bloqueados en la transmisión posterior.
- Se instaló nueva manguera de mayor longitud para respiradero en la transmisión posterior.
- Se instaló nueva manguera de mayor longitud para respiradero en la transmisión frontal.
- Se montaron las ruedas.

#### **6.4.- Pruebas posteriores.**

Para probar el autoblocante primeramente se elevó la transmisión posterior con una gata, en ese momento automáticamente ya se percibe que el comportamiento ya no es el de un diferencial común y corriente; pues si giramos la una llanta hacia adelante, lo habitual sería que la otra gire hacia atrás pero en este caso no es así. Esto ya nos indica que el autoblocante está funcionando. Como prueba práctica adicional, se hizo girar el vehículo en círculos de diámetro cerrado sobre una superficie tipo pavimento y pues esto le costó mucho. Esto también nos indica que el diferencial está bloqueado y por ende que hemos conseguido el objetivo.

En lo que respecta al cono y corona, la reducción que se hizo del 16 % se las sitió en todo tipo de subidas al momento de hacer la prueba de ruta. La caja de cambios se volvió más corta, por ende el vehículo se hizo más fuerte y se pudo compensar en gran parte el aumento de diámetro de la rueda que se está utilizando.

A continuación en la figura 46 podemos apreciar al Toyota RJ 70 modelo 1989 en una prueba de ruta a campo traviesa una vez terminadas todas las modificaciones planificadas.



Figura 46. Resultado final modificación RJ 70 en acción.

Fuente: Propia del autor.

## CONCLUSIONES

- Tanto el trabajo previo como el propiamente hecho en el vehículo me ha traído gran satisfacción y en conclusión puedo decir que se ha logrado el objetivo inicialmente planteado. En este momento y tras todas las modificaciones y trabajos realizados, se tiene un Toyota Land Cruiser RJ 70 modelo 1989 listo para vencer cualquier reto que se le ponga al frente. El vehículo está listo y preparado de pies a cabeza tanto para uso en la ciudad como para llevarle a las condiciones más extremas ya sea dentro o fuera de las fronteras del Ecuador.
- Respecto a las modificaciones hechas en la suspensión, considero que aunque el vehículo es firme ahora y se lo podría considerar hasta cierto punto duro, es justamente esta la característica que hace que la suspensión se desempeñe bien en todas las condiciones y en todo tipo de camino. Esto teniendo en cuenta todo el equipo y carga que puede transportar el vehículo sin que esto afecte ni influya en el comportamiento de la suspensión.
- En relación a las modificaciones hechas en el sistema de dirección y a lo conseguido, concluyo que esta parte fue determinante, el tener un vehículo como quedó ahora el RJ 70 y sin dirección hidráulica no tendría sentido. Creo que el trabajo realizado en dirección fue perfectamente estudiado y se logró exactamente lo que se estaba buscando; ahora la dirección funciona con suavidad y en armonía con el resto del vehículo.
- Un vehículo que se quiere que esté presto para las situaciones más severas, tiene que tener la suficiente fuerza para mover llantas de sobre medida y debe tener por lo menos un autoblocante en la parte posterior. Es por esto que el trabajo realizado en

las transmisiones era fundamental hacerlo; teniendo en cuenta que no se instaló un bloqueo al diferencial en la parte frontal el cual a futuro sería muy conveniente instalarlo.

- El realizar este tipo de modificaciones a un vehículo como el RJ 70 toma tiempo y es costoso pero la recompensa se la recibe al momento de probar los resultados y darnos cuenta que hemos conseguido un vehículo que supera prácticamente cualquier tipo de obstáculo sin ayuda y que al mismo tiempo es casi indestructible.
- En conclusión hemos creado un vehículo que no solo en la teoría sino en la práctica y en la realidad es un Todo Terreno.

## RECOMENDACIONES

- El realizar un proyecto como el que se llevó a cabo en este trabajo de titulación requiere de mucho compromiso y decisión. Luego de haber concluido exitosamente la modificación del Toyota RJ 70 yo recomiendo a todos los profesionales y aficionados a la mecánica automotriz, ante todo el orden, cuando se tiene un proyecto se lo debe llevar como tal, primeramente se debe escribir el plan que se va a seguir.
- En segundo lugar se debe hacer un presupuesto detallado y realista, teniendo en cuenta todos los imprevistos que irán saliendo a la luz en el camino para así no tener inconvenientes en el transcurso del desarrollo del proyecto.
- Otra recomendación muy importante y la cual a veces es difícil de cumplir, es que se debe intentar tener todos los repuestos y accesorios listos y comprados, antes de empezar a desarmar el vehículo del proyecto. Si hacemos caso omiso a esta recomendación solamente conseguiremos el que se nos pierdan muchas partes y piezas y que a futuro, el momento de armar, no sepamos el real estado de cada uno de los mecanismos.
- La limpieza es otro punto muy importante e indispensable en el transcurso de armado y desarmado de los mecanismos y motor del vehículo, esto a parte de permitirnos trabajar de mejor manera, es el reflejo de la persona que lleva a cabo el proyecto.

- Las medidas, me parece indispensable recomendar a los futuros dueños de proyectos automotrices que no se cansen de tomar medidas, medidas de todo antes de desarmar y modificar; siempre será mejor que nos sobren medidas a que nos falten y que no sepamos una de ellas porque desarmamos al apuro.
  
- Y por último, el entusiasmo y la pasión, no pierdan nunca estos dos elementos que son los motores del alma, son los que nos llevan a conocer, a aprender y aventurarnos en nuevos proyectos que son los que nos llenan el alma, y nos dan la sonrisa cada día a los que amamos los autos.

## GLOSARIO

- **Amortiguación:** Conjunto de piezas y mecanismos de un automóvil que sirven para que el peso de la carrocería sea transmitido a los ejes con mayor suavidad y elasticidad, para de esa manera amortiguar las irregularidades de la calzada.
- **Camber:** Es un ángulo tomado por las ruedas de un vehículo; específicamente es el ángulo entre el eje vertical de las ruedas utilizadas para la dirección y el eje vertical del vehículo visto desde el frente o la parte trasera.
- **Caster:** Es la inclinación o hacia atrás del eje de la suspensión de un vehículo con respecto a la vertical, viendo la rueda delantera de lado; existe positivo, negativo y nulo.
- **Elasticidad:** Propiedad de un cuerpo sólido para recuperar su forma cuando cesa la fuerza que la altera.
- **Equipo de recuperación:** Herramientas y suplementos que se utiliza cuando un vehículo se atasca en la naturaleza.
- **Oscilación:** Espacio recorrido por un cuerpo oscilante, entre sus dos posiciones extremas.
- **Peso suspendido:** En un vehículo con suspensión, es la porción de la masa total que es soportada por el sistema de suspensión.
- **Peso no suspendido:** En un vehículo con suspensión, es la masa de las ruedas, y los componentes que están conectadas a ellas, sin estar soportadas por el sistema de suspensión.

- **Relación de transmisión:** Es una relación entre las velocidades de rotación de los engranajes de caja de cambios, caja de transferencia y conjunto cono y corona y diámetro de las ruedas en un vehículo.
- **Fricción:** Es el rozamiento entre dos cuerpos en contacto, uno de los cuales por lo general está inmóvil.
- **Helicoidales:** Es un movimiento o forma rototraslatoria, que resulta de combinar un movimiento de rotación en torno a un eje dado, con un movimiento de traslación a lo largo de ese mismo eje.
- **22R:** Modelo de un motor original de Toyota producidos entre 1986 y 1996.

## REFERENCIAS

- Alonso, J. (2010). Técnicas de automóvil CHASIS. Madrid: Paraninfo.
- Budynas y Nisbett. (2012). Diseño en ingeniería mecánica. Mc Grawhill.
- Cascajosa, M. (2005). Ingeniería de vehículos. México: Alfaomega.
- CRUZ DOMINGUEZ, L. R., LOPEZ CHAVEZ, C. M., & QUINTANA PEREZ, D. I. (2009). *MANUFACTURA Y ENSAMBLE DEL BASTIDOR Y SISTEMA DE SUSPENSION DE UN PROTOTIPO OFF ROAD MINI BAJA SAE SERIES PARA LA COMPETENCIA* (Doctoral dissertation).
- Denton, Tom. (s.f.) Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil. Marcombo
- Hibbeler, R. (2004). Mecanica para ingenieros. México: Pearson
- Riley, W. (2005). Ingeniería mecánica: Dinámica. Barcelona: Reverté
- Vashist, D. (2010). Mechanical engineering fundamentals. Faridabad
- S.N. (2015). Wikipedia. Torsen. En línea: <https://es.wikipedia.org/wiki/Torsen>
- S.N. (2005) Todo Mecánica. Puente trasero y diferencial. En línea: <http://www.todomecanica.com/blog/34-puente-trasero-y-diferencial.html>