

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN
INDEPENDIENTE PARA UN VEHÍCULO DE CHASIS TUBULAR TIPO
BUGGY.**

Autores

Cristian Stevens Foronda Sánchez

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MECANICA Y AFINES
TECNOLOGIA MECANICA AUTOMOTRIZ
MEDELLIN
2013**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN
INDEPENDIENTE PARA UN VEHÍCULO DE CHASIS TUBULAR TIPO
BUGGY.**

AUTORES

CRISTIAN STEVENS FORONDA SÁNCHEZ

ASESOR

LUIS CARLOS OLMOS VILLALBA

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MECANICA Y AFINES
TECNOLOGIA MECANICA AUTOMOTRIZ
MEDELLIN
2013**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN
INDEPENDIENTE PARA UN VEHÍCULO DE CHASIS TUBULAR TIPO
BUGGY.**

ASESOR

JURADO

MEDELLIN, 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi familia, en especial a mis padres por brindarme su apoyo incondicional en todo el proceso, por creer en mí en todo momento..

A la Institución Universitaria Pascual Bravo, por la enseñanza, sus buenos docentes y demás profesionales que ayudaron ó fueron testigos de mi proceso, grandes profesionales y grandes personas.

Al señor asesor del proyecto, por estar a disposición y presente en la búsqueda de soluciones y demás desarrollos.

A todo el grupo de laboratoristas del área de mecánica, Jhon David Arroyabe, Rubén Duque, Juan David Zapata, al señor Javier Mejía por dar a mi disposición sus conocimientos y sus sabios consejos. Con todos y cada uno estaré eternamente agradecido.

A las demás personas, amigos y conocidos, que colaboraron de una o de otra manera a llevar a cabo este trabajo, al señor Jaime Esparza, Hernán Carvajal y Adolfo Carvajal de la familia de amortiguadores GABRIEL DE COLOMBIA, a todos ellos gracias por su grandiosa ayuda y colaboración.

Contenido

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 GENERALES	4
3.2 ESPECÍFICOS	4
4. REFERENTES TEORICOS	5
4.1 LA SUSPENSIÓN.....	5
4.1.1 Clasificación de las suspensiones.	5
4.1.2 Tipos de suspensión independiente.....	6
4.2 CONCEPTOS BÁSICOS.....	9
4.2.1 Maniobrabilidad y control.	9
4.2.2 Confort y seguridad.....	9
4.2.3 Masas suspendidas y no suspendidas.	9
4.2.4 Oscilaciones.....	10
4.2.5 Centro de gravedad (cg).	11
4.3 ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA SUSPENSIÓN.....	12
4.3.1 Elementos elásticos.	12
4.3.2 Amortiguadores.....	13
4.3.3 Porta mangueta.	15
4.3.4 Articulaciones.....	16
4.3.5 Ruedas.	18
4.4 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA SUSPENSIÓN [21].....	22
4.4.1 Alineación.	22
4.4.2 Ángulos de las ruedas.	22
4.4.3 Parámetros de viraje.....	25
4.4.4 Centro instantáneo de rotación (C.I.R).	27
4.5 FACTORES DINAMICOS.....	27
4.5.1 Centro de balanceo.....	27
4.5.2 Transferencia de pesos.	28
5. METODOLOGIA	30
5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE SUSPENSIÓN	30

5.1.2 Estudio de las alternativas.....	30
5.2 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS BÁSICOS PARA DAR FORMA.....	31
5.2.1 Dimensiones de rodadura.....	31
5.2.2 Ángulos de las ruedas.....	32
5.3 PUNTOS DE INFLUENCIA DINÁMICA.....	33
5.3.1 Localización del centro de gravedad.....	33
5.3.2 Distribución de pesos.....	34
5.3.3 Localización del (C.I.R).....	35
5.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES GEOMÉTRICAS.....	36
5.4.1 Análisis geométrico de la suspensión delantera.....	36
5.4.2 Análisis geométrico de la suspensión trasera.....	37
5.4.3 Análisis geométrico de la dirección.....	37
5.5 ANÁLISIS DE AMORTIGUACIÓN.....	39
5.5.1 Cálculos para la amortiguación.....	40
5.5.2 Selección del amortiguador.....	44
5.6 MODIFICACION DEL CHASIS.....	45
6. RESULTADOS.....	47
6.1 Centro de gravedad y distribución de pesos.....	47
6.2 Análisis comparativo de alternativas de suspensión.....	48
6.3 Configuración geométrica de las suspensiones delanteras y traseras.....	50
6.6 Calculo de porcentaje de anti cabeceo.....	55
6.7 Calculo de amortiguación.....	55
6.8 Especificaciones de modelos y componentes.....	58
7. CONCLUSIONES.....	70
8. RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	72
ANEXOS.....	75

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. CHASIS.....	2
FIGURA 2. BUGGY CON SUSPENSIÓN DE VOLKSWAGEN BEETLE. [4]	2
FIGURA 3. SUSPENSIÓN McPHERSON. [7].....	7
FIGURA 4. SUSPENSIÓN DE PARALELOGRAMO DEFORMABLE. [7].....	7
FIGURA 5. SUSPENSIÓN DE BRAZOS TIRADOS Ó ARRASTRADOS. [7].....	8
FIGURA 6. SUSPENSIÓN DE EJE OSCILANTE. [7].....	8
FIGURA 7. MASAS SUSPENDIDAS Y NO SUSPENDIDAS. [10].....	10
FIGURA 8. OSCILACIONES DEL VEHÍCULO. [10].....	11
FIGURA 9. CENTRO DE GRAVEDAD DE UN VEHÍCULO. [11].....	11
FIGURA 10. TIPOS DE ELEMENTOS ELÁSTICOS EN UN VEHÍCULO. (ADAPTADO DE)[12].....	13
FIGURA 11. AMORTIGUADOR HIDRÁULICO CONVENCIONAL. (ADAPTADO DE) [12].....	14
FIGURA 12. AMORTIGUADORES CON GAS A BAJA Y ALTA PRESIÓN. (ADAPTADO DE) [12].....	14
FIGURA 13. AMORTIGUADOR CON DEPÓSITO EXTERNO. [12].....	15
FIGURA 14. PORTA MANGUETAS. (ADAPTADO DE) [13].....	15
FIGURA 15. ARTICULACIONES ELÁSTICAS. [14]	16
FIGURA 16. TERMINAL ESFÉRICA. [15]	17
FIGURA 17. ROTULA. [14].....	17
FIGURA 18. ROD ENDS. [16].....	18
FIGURA 19. UNIBALL. [17]	18
FIGURA 20. OFFSET DEL RIM. [19]	20
FIGURA 21. DIMENSIONES DEL RIM. (ADAPTADO DE)[19]	20
FIGURA 22. NOMENCLATURA DEL NEUMÁTICO. [20].....	21
FIGURA 23. ANGULO DE SALIDA. [21].....	23
FIGURA 24. ANGULO DE CAÍDA. [21]	24
FIGURA 25. ANGULO DE CONVERGENCIA. [21]	24
FIGURA 26. ANGULO CASTER. [21].....	25
FIGURA 27. VIRAJE. [22]	26
FIGURA 28. CUADRILÁTERO DE JEANTAUD. [22].....	27
FIGURA 29. CENTRO INSTANTÁNEO DE ROTACIÓN Y CENTRO DE BALANCEO. [23].....	27
FIGURA 30. EJE DE ROTACIÓN DEL VEHÍCULO. [23].....	28
FIGURA 31. ANTI CABECEO. [23]	29
FIGURA 32. DIMENSIONES DE RODADURA.....	31
FIGURA 33. TROCHA PROMEDIO.....	32
FIGURA 34. DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA DE ANTI-CABECEO.	36
FIGURA 35. ESQUEMA DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA EN REPOSO.	36
FIGURA 36. ESQUEMA DE LA SUSPENSIÓN TRASERA EN REPOSO.....	37
FIGURA 37. EFECTO ACKERMAN.	38
FIGURA 38. CUADRILÁTERO DE JEANTAUD.	38

FIGURA 39. REPRESENTACIÓN DE FUERZAS DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA.	40
FIGURA 40. REPRESENTACIÓN DE FUERZAS DE LA SUSPENSIÓN TRASERA.	41
FIGURA 41. RADIOS DE AMORTIGUAMIENTO. [24]	42
FIGURA 42. CONDICIONES DEL CHASIS.	45
FIGURA 43. UBICACIÓN DEL CIR Y CB DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA.	50
FIGURA 44. UBICACIÓN DEL CB DE LA SUSPENSIÓN TRASERA.	51
FIGURA 45. EJE DE ROTACIÓN DEL CHASIS.	51
FIGURA 46. PRUEBAS DIMENSIONALES DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA.	52
FIGURA 47. PRUEBAS DIMENSIONALES DE LA SUSPENSIÓN TRASERA.	52
FIGURA 48. RADIO Y LONGITUD DEL PIVOTE DE DIRECCIÓN.	54
FIGURA 49. DIMENSIONES DEL AMORTIGUADOR SELECCIONADO.	58
FIGURA 50. TRAPÉCIOS DELANTEROS DESDE LA VISTA FRONTAL.	75
FIGURA 51. TRAPÉCIOS DELANTEROS DESDE LA VISTA ISOMÉTRICA.	75
FIGURA 52. ENSAMBLE DE CONJUNTO DE SUSPENSIÓN DELANTERA VISTA ISOMÉTRICA.	76
FIGURA 53. ENSAMBLE DE CONJUNTO DE SUSPENSIÓN DELANTERA VISTA SUPERIOR.	76
FIGURA 54. TRAPÉCIO DERECHO DE LA SUSPENSIÓN TRASERA.	77
FIGURA 55. SUSPENSIÓN TRASERA DERECHA.	77
FIGURA 56. SUSPENSIÓN TRASERA IZQUIERDA EN DETALLE.	78
FIGURA 57. CONJUNTO DE SUSPENSIÓN TRASERA Y DELANTERA.	78
FIGURA 58. EJE DE BALANCEO.	79
FIGURA 59. RESULTADO FINAL DEL DISEÑO.	79
FIGURA 60. PORTA MANGUETA TRASERO EN PROCESO.	80
FIGURA 61. PROCESO DE REVENIDO.	80
FIGURA 62. PLATINA, BASE DE PORTA MANGUETA DELANTERO.	81
FIGURA 63. ENSAYO DE LA PLATINA DE PORTA MANGUETA EN EL DISCO DE FRENO.	81
FIGURA 64. PORTA MANGUETAS DELANTEROS ANTES DE SOLDARSE Y PULIRSE.	82
FIGURA 65. ADAPTACIÓN DEL BRAZO PIVOTE DE DIRECCIÓN AL PORTA MANGUETA.	82
FIGURA 66. CHASIS ANTES DE MODIFICARSE.	83
FIGURA 67. CHASIS CORTADO, LISTO PARA EMPEZAR A MODIFICARSE.	83
FIGURA 68. MATRIZ PAR ENSAMBLE DE LA PARTE TRASERA DEL CHASIS.	84
FIGURA 69. MATRIZ DE ENSAMBLE PARA LA JAULA TRASERA DEL CHASIS.	84
FIGURA 70. MATRIZ DE ENSAMBLE PARA EL TRAPÉCIO TRASERO.	85
FIGURA 71. MATRIZ DE ENSAMBLE PARA EL TRAPÉCIO INFERIOR DELANTERO.	85
FIGURA 72. ENSAMBLE DE LOS SOPORTES DE TRAPÉCIOS INFERIORES AL CHASIS.	86
FIGURA 73. MATRIZ DE ENSAMBLE DE LOS SOPORTES DE TRAPÉCIOS AL CHASIS.	86
FIGURA 74. ENSAMBLE DE LOS SOPORTES DE TRAPÉCIOS INFERIORES.	87
FIGURA 75. ENSAMBLE DE LAS SOPORTES DE TRAPÉCIOS SUPERIORES DELANTEROS AL CHASIS.	87
FIGURA 76. ENSAMBLE DE LOS SOPORTES DE TRAPÉCIOS TRASEROS AL CHASIS.	88
FIGURA 77. KIT DE COIL OVERS.	88

<i>FIGURA 78. PRUEBAS DE ENSAMBLE DE TRAPECIOS DELANTEROS.....</i>	<i>89</i>
<i>FIGURA 79. ENSAMBLE DE SUSPENSIÓN DELANTERA.....</i>	<i>89</i>
<i>FIGURA 80. ENSAMBLE DE SUSPENSIÓN DELANTERA.</i>	<i>90</i>
<i>FIGURA 81. RESULTADO DEL PROTOTIPO.</i>	<i>90</i>

Listado de tablas

<i>TABLA 1. PESO DE LOS COMPONENTES DEL VEHÍCULO.....</i>	<i>33</i>
<i>TABLA 2. ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA ESTRUCTURAL.....</i>	<i>45</i>
<i>TABLA 3. CENTRO DE GRAVEDAD.....</i>	<i>47</i>
<i>TABLA 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTES PARA LAS RUEDAS DELANTERAS.....</i>	<i>48</i>
<i>TABLA 5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTES PARA LAS RUEDAS TRASERAS.....</i>	<i>49</i>
<i>TABLA 6. DATOS RESULTANTES A PRUEBAS CON BOCETOS.....</i>	<i>53</i>
<i>TABLA 7. ÁNGULOS DE LAS RUEDAS.....</i>	<i>53</i>
<i>TABLA 8. SELECCIÓN DEL AMORTIGUADOR.....</i>	<i>57</i>
<i>TABLA 9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ROD END IMPLEMENTADOS.....</i>	<i>59</i>
<i>TABLA 10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RÓTULA IMPLEMENTADA.....</i>	<i>60</i>
<i>TABLA 11. PIEZAS ADICIONALES DE LA SUSPENSIÓN.....</i>	<i>60</i>
<i>TABLA 12. PORTA MANGUETAS.....</i>	<i>62</i>
<i>TABLA 13. RESULTADOS DE CHASIS, TRAPECIOS DE SUSPENSIÓN DELANTERA Y TRASERA.....</i>	<i>64</i>
<i>TABLA 14. DESPIECE DEL CONJUNTO DE AMORTIGUADOR.....</i>	<i>68</i>

Listado de anexos

<i>ANEXO 1. DISEÑO Y MODELACIÓN DE LOS COMPONENTES.</i>	<i>75</i>
<i>ANEXO 2. PASO A PASO DE IMPLEMENTACIÓN.</i>	<i>80</i>

Resumen

Se diseñó y fabricó un sistema de suspensión independiente para las ruedas traseras y delanteras de un vehículo buggy de chasis tubular. El diseño original del chasis del vehículo, fue planteado inicialmente para la adaptación del sistema de suspensión de un Volkswagen Beetle (Escarabajo). La investigación inicia a fin de adaptar un sistema de suspensión óptimo para todo tipo de terreno y que mejorara las falencias que posee el sistema de Volkswagen.

Se estudiaron a profundidad los sistemas de suspensión existentes y mediante tablas de comparación se seleccionó el sistema de suspensión más apropiado para ser adaptados en las ruedas traseras y delanteras, luego se realizaron simulaciones básicas de comportamiento para determinar las configuraciones geométricas y dimensionales. Se realizaron los cálculos y análisis pertinentes para garantizar la seguridad y la funcionalidad de todo el conjunto.

Se logró diseñar, construir e implementar un sistema de suspensión con mecanismos de regulación de los ángulos y geometría del vehículo, como también la altura del vehículo, logrando reunir las características suficientes para la adaptación a todo tipo de terreno.

Abstract

It was designed and fabricated an independent suspension system for front and rear wheels of a vehicle buggy tube chassis. The original design made for the vehicle body; initially it was proposed to adapt the suspension system of a Volkswagen (Beetle). The main objective of the research is adapting an optimal suspension system for all types of terrain and improves the weakness in the Volkswagen system.

Initially, it studied extensively suspension systems, then it create charts to compare the methods and select the appropriate be adapted in front and rear wheels, after that it made basic simulations of performance for elect the dimensional and geometric configurations. Finally, The calculations and analyzes required to verify the safety and functionality of the whole.

They were design, build and implement inside a suspension system with mechanisms of regulation of the angles, geometry of the vehicle, and vehicle height; all those elements together made possible a vehicle buggy tube chassis adapt to all kinds of terrain.

INTRODUCCIÓN

El transporte se ha convertido en una de las principales necesidades de la sociedad y transportarse cada vez de la manera más cómoda posible es una de las preferencias de la gente.

El sistema de carrocería y demás subsistemas de los primeros vehículos fueron copiados casi que por completo de los modelos de carruajes de tracción animal, mecanismos sencillos, fabricados artesanalmente, estos vehículos además de ser lentos, también contaban con sistemas de suspensión incapaces de absorber eficazmente los impactos producidos por las irregularidades del camino.

Al pasar los años, a medida que la industria se fortalecía y consigo aumentaba la necesidad de mejorar los problemas de movilidad y transporte, surgían vehículos con personalidad propia, dirigidos a tipos personas en específico, satisfaciendo las necesidades y los gustos personales de la gente, vehículos cada vez más veloces, potentes, con más capacidad de carga y variedad de estilos, cada uno requiriendo de un tipo de suspensión especial, capaz de realizar su función de manera eficiente. [1]

Los primeros sistemas se basaban en un eje rígido y a sus extremos se ubican las ruedas y éste fijado al chasis mediante resortes de ballestas. Posteriormente surge el sistema de suspensión independiente a cada rueda, brindaba un mejor manejo y control sobre el vehículo, proporcionando mayor seguridad y confort.

Los vehículos buggy cuentan con un sistema de suspensión que varían en una gran cantidad de tipos y estilos, predominando el sistema semi-independiente del Volkswagen Beetle, básicamente su mecanismo, el elemento elástico son unas barras de torsión que se deforman para absorber los impactos y regresan a su estado inicial cuando finaliza su trabajo. Las suspensiones de los buggies también han evolucionado y actualmente se implementan mecanismos con distintos materiales y geometrías, mejorando los resultados en la dinámica de sus comportamientos. [2]

La tecnología de los sistemas de suspensión actuales se encuentra en un nivel increíble, con la implementación de la electrónica, sistemas capaces de regular de manera programada las condiciones de trabajo mediante mediciones constantes de variables, como velocidad, estado del terreno y el peso de carga. [3]

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Originalmente el chasis del vehículo buggy fue diseñado para la adaptación del conjunto de suspensión y ruedas del modelo de Volkswagen Beetle o Sedan, comúnmente conocido como “Escarabajo”, las características de comportamiento de esta suspensión como: la inestabilidad, poca maniobrabilidad, corto recorrido de los elementos oscilantes, entre otros aspectos, dan motivo para diseñar un sistema de suspensión con mejores características adaptables en todo tipo de terreno.



Figura 1. Chasis

En la figura 1, se observa el estado del chasis, con las terminaciones de la parte delantera casi listas para adaptar la suspensión de Volkswagen.



Figura 2. Buggy con suspensión de Volkswagen Beetle. [4]

En la figura 2, se aprecia un chasis semejante al de la figura 1, cuenta con el sistema de suspensión y demás sistemas de transmisión y potencia de Volkswagen Beetle.

2. JUSTIFICACIÓN

El sistema de suspensión que se implementó cuenta con las características necesarias para desempeñarse de manera óptima y confiable, en terrenos adversos como en asfálticos, con la particularidad de contar con mecanismos que permiten la regulación de los ángulos de las ruedas de forma fácil, precisa y confiable, proporcionando la geometría más adecuada para el trabajo que se requiera.

Localmente existe una buena cantidad de estos vehículos, que cuentan el tipo de suspensión del Volkswagen Beetle, la idea es que con esta nueva propuesta, los propietarios y fabricantes de estos vehículos se animen implementar en ellos éste tipo de suspensiones.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERALES

Diseñar y fabricar un sistema de suspensión independiente para las ruedas delanteras y traseras de un vehículo de chasis tubular tipo buggy.

3.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de suspensión independiente con el conocimiento previo acerca de la funcionalidad de todos los sistemas de suspensión convencionales, aplicando mejoras con el fin de adaptarse a las necesidades del proyecto.
- Fabricar cada una de las partes bajo los parámetros de diseño, bajo los procesos y materiales más adecuados.
- Evaluar el estado final y así poder comparar resultados experimentales con los propuestos en el diseño.

4. REFERENTES TEORICOS

4.1 LA SUSPENSIÓN

Se refiere al conjunto de elementos dispuestos en un vehículo para absorber los impactos producidos por las irregularidades del terreno. La finalidad del sistema de suspensión es la de permitir la estabilidad del vehículo asegurando el contacto de las ruedas con el suelo en todas las circunstancias, también la de garantizar la comodidad y seguridad de los ocupantes y objetos transportados en su interior.

El sistema de suspensión se ubica como mecanismo de soporte entre el chasis y las ruedas, cuando el vehículo pasa por un resalto, se produce un impacto sobre la rueda que se transmite por todo el conjunto hasta el chasis, como consecuencia de esto el vehículo tiende a levantarse y realizar movimientos no deseados, el trabajo consiste en contrarrestar en lo posible estos efectos generando por el contrario un movimiento oscilatorio de la rueda y todo el conjunto. Existen además otros elementos que de cierta manera realizan funciones de amortiguación y disipación de vibración ocasionadas por baches y resaltos, como son los neumáticos y los asientos del vehículo, pero que en el estudio, estos valores no se estiman. [5]

4.1.1 Clasificación de las suspensiones.

Según el tipo de elementos empleados y la forma de montajes de los mismos, existen varios sistemas de suspensión, todos ellos basados bajo el mismo principio de funcionamiento. Constan de un sistema elástico, amortiguación y barra estabilizadora independientes para cada uno de los ejes del vehículo. [6]

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

Las suspensiones se pueden clasificar mecánicas en tres grupos:

- **Suspensiones rígidas:** la suspensión de una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido, se transmiten las vibraciones de una rueda a la otra.
- **Suspensiones semirrígidas:** similares a las suspensiones rígidas pero con menor peso no suspendido.
- **Suspensiones independientes:** en esta disposición, las ruedas tienen una suspensión independiente para cada una de ellas, por lo tanto no se transmiten las oscilaciones de unas ruedas a otras.

4.1.2 Tipos de suspensión independiente.

La suspensión independiente consiste en la separación de los mecanismos del sistema por cada rueda, de esta manera los baches de afrontados por sólo una rueda, no deberían por qué ser percibidos en los mecanismos de las demás ruedas.

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

- **Suspensión McPherson:** Es el sistema de suspensión independiente es el más utilizado en automóviles, por ser económico, de fácil fabricación, montaje, mantenimiento y un aceptable comportamiento.

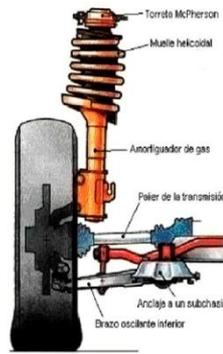


Figura 3. Suspensión McPherson.[7]

- **Suspensión de paralelogramo deformable:** se compone básicamente de dos estructuras rígidas en forma de triángulos, ubicados uno sobre el otro, sujetado por la parte externa al conjunto de rueda y del mismo modo sujetándose por la parte interna al chasis. Éste sistema recibe infinidad de nombres y casi todos describen acertadamente la esencia del conjunto, algunos de los más conocidos son: paralelogramo deformable, Doble AA, trapecios articulados, triángulos superpuestos entre otros. Este sistema junto con el sistema McPherson son los más utilizados en la industria automotriz, con la particularidad que el sistema de trapecios deformables es implementado en una gama más amplia de vehículos como, camperos, camiones, cuatrimotos.

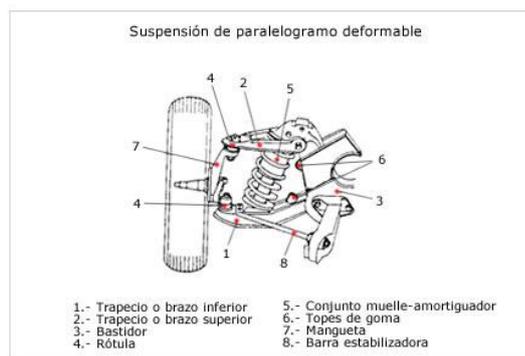


Figura 4. Suspensión de paralelogramo deformable. [7]

- **Suspensión de brazos tirados o arrastrados:** Su principal característica es que posee un sólo elemento de soporte que se sujeta por un lado al chasis y por el otro a las manguetas de las ruedas, y su configuración varía según la aplicación, como por ejemplo el sentido del pivote, que es la trayectoria que toma la rueda en el movimiento oscilatorio de trabajo, así como el elemento elástico que también suele variar.

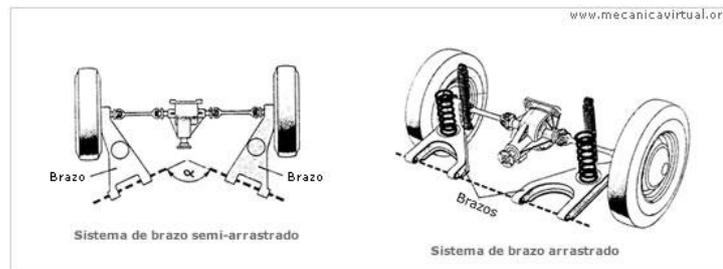


Figura 5. Suspensión de brazos tirados ó arrastrados. [7]

- **Suspensión de eje oscilante.** éste se caracteriza porque la rueda (1) y el elemento estructural (2) que la soporta, en términos de trabajo conformarían un mismo cuerpo pivotando desde una misma articulación (3), que va a estar sujeta al chasis, (véase la figura 6). Esto quiere decir que sin importar que haya un mecanismo de sujeción entre este elemento estructural y la rueda, éste no va a ceder ante los movimientos oscilatorios, dando como resultado que los ángulos de la rueda va a ser proporcional a los momentos de giros de la reacción del pivotaje producidos por los desniveles del suelo. Aunque existen en este conjunto variedad de estilos, todos se asemejan bajo el mismo principio de funcionamiento.

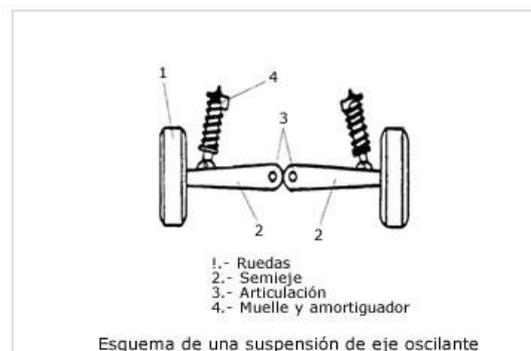


Figura 6. Suspensión de eje oscilante. [7]

4.2 CONCEPTOS BÁSICOS

4.2.1 Maniobrabilidad y control.

La maniobrabilidad es la virtud que posee un vehículo para brindar una fácil conducción. Varios puntos de vista son los que definen éste término, unos lo ven desde el estado de la suspensión, la potencia en las curvas, la respuesta de auto, los pilotos profesionales lo evalúan mediante la medición en sus cronómetros, otros no tan expertos lo juzgan desde el buen agarre en las curvas, el equilibrio de la dirección y la estabilidad. A modo personal estos términos y puntos de vista conducen a tres factores esenciales para concluir esta definición como son: el diseño de la suspensión, el respectivo estado y ajuste de todos los componentes y a la conexión que haya entre el conductor y su vehículo, puesto que los autos en general cuentan con diversos grados de maniobrabilidad basados en su configuración y uso. [8]

4.2.2 Confort y seguridad.

El concepto de seguridad en vehículos se divide en dos grupos, seguridad activa y seguridad pasiva. El primero se basa en mecanismos incorporados en los sistemas que actúan normalmente en el funcionamiento del vehículo para incrementar la seguridad en el desplazamiento, la seguridad pasiva se refiere a todos los componentes encargados de proteger a los ocupantes del vehículo en caso de accidente. El sistema de suspensión se considera como uno de los principales actores de la seguridad activa y de confortabilidad, porque además de mantener las ruedas en contacto con el suelo para garantizar el pleno control de la velocidad y dirección, también se encarga de contrarrestar las oscilaciones de la carrocería producidas por las irregularidades del terreno para comodidad del conductor y los ocupantes.[9]

4.2.3 Masas suspendidas y no suspendidas.

Las masas suspendidas se compone del chasis y los demás elementos que se sujetan a éste, que van soportados por los elementos elásticos de la suspensión, entre estos se pueden destacar: el motor, la caja de velocidades, el depósito de combustible, etc. Mientras que las masas no

suspendidas la conforman los elementos que los soporta directamente las ruedas como: los frenos, pernos y las mismas ruedas.

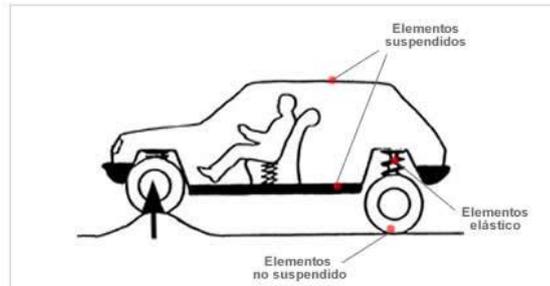


Figura 7. Masas suspendidas y no suspendidas. [10]

4.2.4 Oscilaciones.

Se define, como los movimientos o reacciones de rebote que se transmite al vehículo desde las ruedas, bien sea por las irregularidades del terreno o por las acciones bruscas de frenada, aceleración o de viraje. Estos movimientos se propagan desde el centro de gravedad del vehículo en una dirección. Las oscilaciones se clasifican en tres tipos:

- **Oscilaciones de empuje:** se producen al pasar por un terreno ondulado.
- **Oscilaciones de cabeceo:** producto las aceleraciones y frenadas bruscas.
- **Oscilaciones de bamboleo:** se generan al pasar por una curva a altas velocidades.

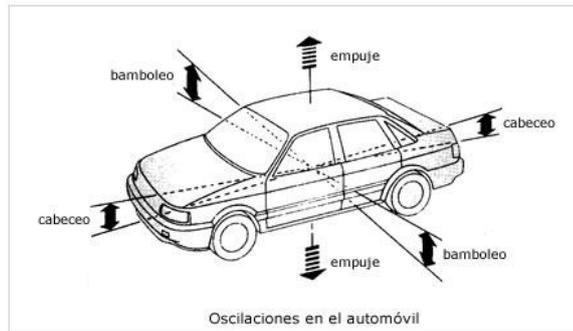


Figura 8. Oscilaciones del vehículo. [10]

4.2.5 Centro de gravedad (cg).

Se entiende como centro de gravedad o centro de masas al punto donde se concentran la suma de los valores de peso de todos los elementos que componen al vehículo. El centro de gravedad es un punto imaginario en el que se podría suspender el vehículo y este se mantendría en equilibrio.

La ubicación de este punto es de suma importancia e influye enormemente en el desempeño y estabilidad del vehículo.

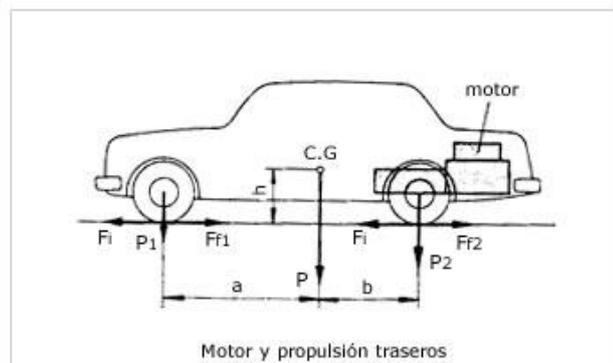


Figura 9. Centro de gravedad de un vehículo. [11]

4.3 ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA SUSPENSIÓN

4.3.1 Elementos elásticos.

Un elemento elástico es todo dispositivo que al ejercerse una fuerza sobre él almacena energía potencial, que le permite retornar a su estado inicial luego de realizar su trabajo, para que el efecto de deformación se cumpla se debe aplicar una fuerza capaz de vencer su estado original. En los sistemas de suspensión de los vehículos, estos elementos son los encargados de sostener el pesos de las masas suspendidas y tanto el peso, las magnitudes de las fuerzas al igual que las frecuencias de aplicación son muy variables, es por esto que existen diferentes tipos de elementos elásticos, diseñados cada uno en función de cada tipo de requerimiento.[12]

- **Muelles de ballestas:** se componen de una o varias hojas de acero, sujetadas entre sí por abrazaderas y comúnmente sujetadas de sus extremos al chasis y por la parte media de la concavidad a los ejes rígidos que aseguran las ruedas. (ver figura 10A)
- **Resortes helicoidales:** son los que más se utilizan en los vehículos actualmente, están formados por arrollamientos helicoidales, su rigidez varía en función de los requerimientos, para conseguirlo se estima, el tipo de los material, el diámetro del alambre y del arrollamiento, al igual que el número de espiras y distancia entre espiras (paso). (ver figura 10B)
- **Barras de torsión:** se constituyen básicamente de un cuerpo cilíndrico macizo de acero elástico, que al sujetarse de sus extremos y al aplicarse una fuerza torsional sobre uno de ellos, tiende a deformarse y volver a su estado inicial una vez se retire dicha fuerza. Este elemento se puede disponer de maneraparalela o transversal al eje central del vehículo, ubicándose a uno de sus extremos el miembro oscilante de la suspensión y del otro un mecanismo que garantice la fijación al chasis. (figura 10C).

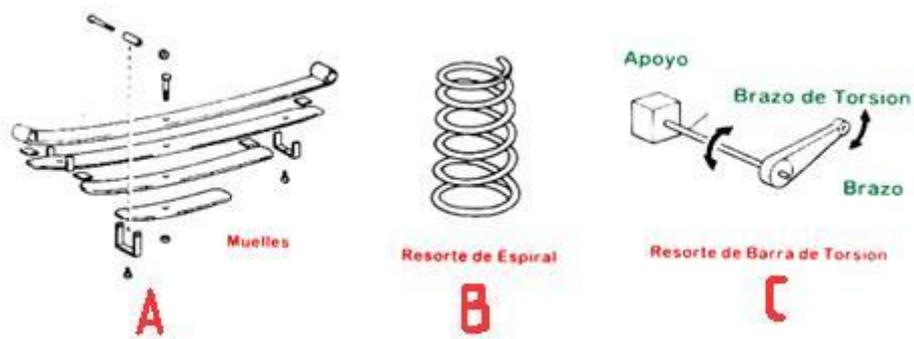


Figura 10. Tipos de elementos elásticos en un vehículo. (Adaptado de)[12]

4.3.2 Amortiguadores.

Son los encargados de eliminar las oscilaciones excesivas generadas por los elementos elásticos. Al ejercerse una fuerza sobre los elementos elásticos, ya sea desde las ruedas por las irregularidades del terreno o desde el interior del vehículo, hará que en cada compresión acumule una cantidad de energía que liberara de manera agresiva, éste fenómeno resulta ser molesto y peligroso a su vez y requiere del mecanismo apropiado para disipar la energía producida y mantenerla controlada. En el hablar popular se suele asignar las funciones del elemento elástico al amortiguador, siendo esta una idea totalmente equivocada, pues la misión del amortiguador no es más que la anteriormente descrita.

Tipos de amortiguadores:

- **Amortiguadores hidráulicos:** son los más comunes en vehículos, el control de los movimientos oscilatorios se consigue forzando el paso de un fluido de una cámara a otra, tanto en el ciclo de compresión como de extensión. Lo que permite que este trabajo se realice de manera precisa son una serie de válvulas calibradas cada una para cada ciclo y para cada necesidad, de este modo se logra transformar la energía cinética en energía térmica, que luego es disipada en la atmosfera en forma de calor.

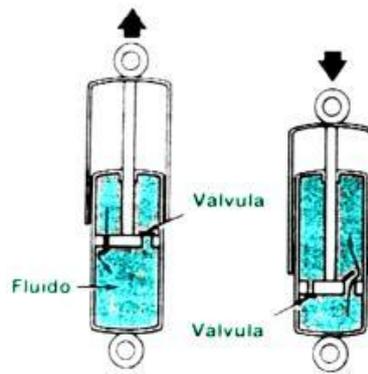


Figura 11. Amortiguador hidráulico convencional. (Adaptado de) [12]

- Amortiguadores cargados con gas:** estos funcionan bajo el mismo principio de los hidráulicos, pero se diferencian por poseer unas cámaras especiales aisladas con gas nitrógeno. Una de las ventajas que posee éste sistema es la rápida respuesta, ya que al comprimirse el gas hace que su diferencia de volumen reaccione rápidamente y obligue a los líquidos a fluir de manera más fácil y silenciosa de una cámara a otra. Éste sistema se subdivide en dos tipos, con cámara de baja presión de gas (sistema bitubo) (figura 12A) y alta presión de gas (sistema monotubo) (figura 12B).

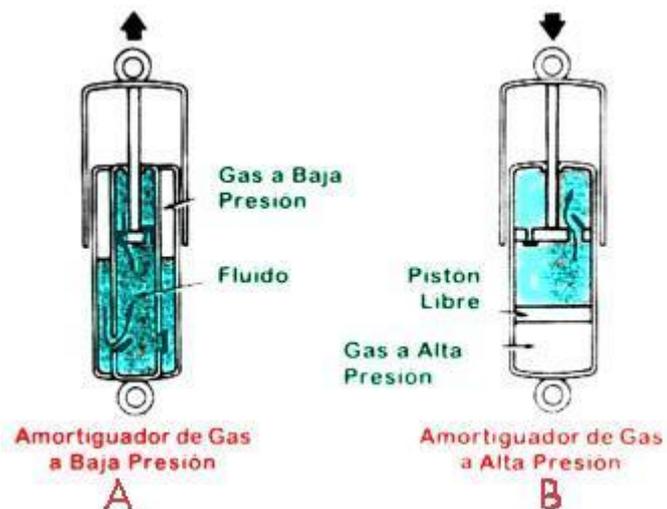


Figura 12. Amortiguadores con gas a baja y alta presión. (Adaptado de) [12]

- Con depósito externo:** reúne las características de los sistemas anteriores y además cuenta con un depósito externo con gas

presurizado que permite una mejor disipación del calor producido en el ciclo de trabajo.

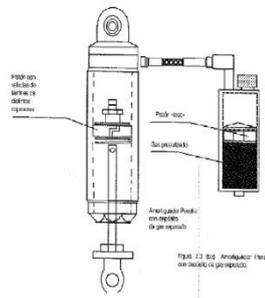


Figura 13. Amortiguador con depósito externo. [12]

4.3.3 Porta mangueta.

Es una pieza altamente resistente que se encarga de soportar por la parte externa a la mangueta que sujeta la rueda, y por la parte interna al conjunto de la suspensión y dirección, su forma, materiales y puntos de anclaje varían en infinidad de tipos y estilos de acuerdo al tipo y diseño de suspensión, al uso habitual de destino y al diseño en conjunto con los demás sistemas de frenos y dirección.

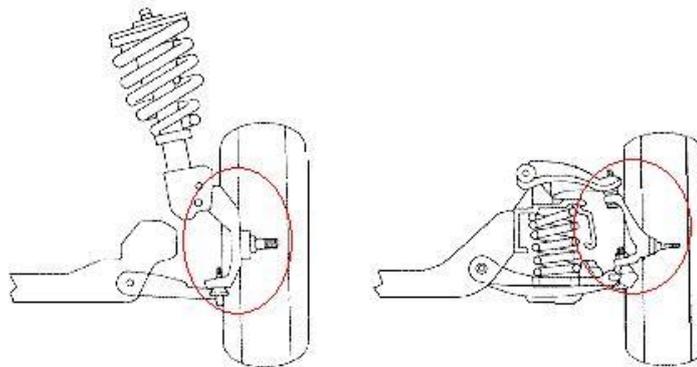


Figura 14. Porta manguetas. (Adaptado de) [13]

Como se puede apreciar en la figura 14, el porta manguetas enmarcado en círculos de color rojo, varía en función de una serie de parámetros, de los cuales el que más se destaca es el diseño y tipo de suspensión al que debe ajustarse, allí se pueden apreciar dos tipos de suspensión diferentes, ubicados cada uno a extremos de la figura.

4.3.4 Articulaciones.

En vehículos se entiende como, los elementos que sirven de unión entre dos piezas móviles, permitiendo que actúen de manera solidaria y garantizando la correcta sujeción de ambas partes. En los sistemas de suspensión su labor es de gran importancia localizándose en los puntos claves de tendencias a giros o desalineamientos angulares normales de funcionamiento.

- **Articulaciones elásticas:** en los sistemas de suspensión estos elementos son los encargados de permitir las oscilaciones de los elementos móviles, ubicándose en las terminales que conectan al conjunto con los soportes del chasis, son los más utilizados para ésta función en vehículos comerciales por su bajo costo, poco mantenimiento y por soportar y amortiguar de cierta manera vibraciones e impactos producidos radialmente gracias a su estructura en goma.[14]



Figura 15. Articulaciones elásticas. [14]

- **Terminales esféricas:** en vehículos convencionales se utilizan principalmente en los mecanismos de la dirección, como elementos de sujeción entre piezas, estas hacen que en todo momento o estado de la suspensión, convertir los desplazamientos longitudinales de la cremallera, en movimientos de giros de las ruedas directrices.



Figura 16. Terminal esférica. [15]

- **Rotulas:** son los elementos encargados de unir a los porta manguetas con el conjunto de la suspensión, ubicándose como puntos determinadores de giro de las ruedas directrices. Aunque varían en su forma y tipos de sujeción, todas se asemejan bajo un mismo principio básico funcionamiento.



Figura 17. Rotula. [14]

- **Terminales esféricas tipo (rodends):** bajo el mismo principio de las terminales esféricas, los rod ends son las articulaciones más utilizadas en los vehículos de competencia, por su resistencia, capacidad de desalinamiento y precisión del control de ajuste necesario para una puesta punto rápida y efectiva. Son utilizados principalmente en las terminales pivotantes de la suspensión, en terminales de dirección, en uniones para selectoras de velocidades y gran cantidad de usos adicionales.



Figura 18. Rod Ends. [16]

- **Rotulas tipo (uniballs):** realmente reciben el nombre de uniballs al conjunto que integra (la rótula y la copa), siendo ésta rotula una pieza en esencia, similar a la anteriormente descrita, pero con características especiales de forma y desempeño, comúnmente utilizadas en vehículos con suspensiones que requieren de gran capacidad de desalineamientos angulares. La copa es el elemento fabricado para contener a la rótula y ésta a su vez fijándose por soldadura a otro elemento rígido.



Figura 19. Uniball. [17]

4.3.5 Ruedas.

El término, se refiere al conjunto conformado por el neumático y rim, ambos cuentan con gran cantidad de aspectos técnicos y dimensionales, de gran importancia y que obligatoriamente deben ser considerados previamente para las fases de diseño de vehículos.

RIM ÓLLANTA: es el elemento estructural, encargado de proporcionar la firmeza y rigidez necesaria para soportar las eventuales fuerzas producidas en las dinámicas, a las que es sometido el vehículo. Equivocadamente se le suele llamar Llanta al (Neumático), o Rin en vez de Rim (en inglés).

Existen varios tipos de rines, que varían en materiales, formas y procesos de fabricación. Resumidamente se pueden organizar en los siguientes dos grupos: [18]

En aleación (Alloy): se fabrican a base de aluminio, formando un compuesto altamente confiable, que posee una serie de características de las que se destacan: bajo peso, alta resistencia, mejoran el rendimiento del vehículo, permiten mayor espacio para la refrigeración de los frenos, son más estéticos, su costo es relativamente elevado y los diseños específicos son difíciles de conseguir.

En acero (convencionales): algunas características de llantas fabricadas en acero son: son más asequibles debido a su bajo costo, su apariencia puede ser mejorada por medio de tapas, son bastante pesados y disminuyen el desempeño del vehículo.

Consideraciones dimensionales: se manejan gran cantidad de parámetros para el diseño y fabricación de llantas, pero los que van directamente ligados al sistema de suspensión son: el offset, el ancho, diámetro y altura. [19]

Offset: es la distancia que se mide desde la línea de centro de la llanta y la superficie de la parte interna de donde se sujeta al vehículo.

Existen tres tipos de offset:

- Neutro ó cero: cuando la cara o superficie de sujeción de la llanta coincide con su línea de centro.
- Positivo: cuando esta distancia se halla alejada del centro hacia la parte exterior del vehículo, muy común en automóviles.
- Negativo: cuando la distancia se aleja hacia el interior del vehículo, usualmente implementado en vehículos livianos todo terreno de tracción en las cuatro ruedas.

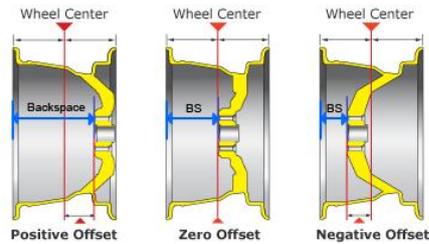


Figura 20. Offset del Rim. [19]

Ancho: se entiende como la medida que existe entre las pestañas por la parte interior del Rim donde se alojan los talones del neumático lateralmente.

Diámetro: esta medida es tomada en las bases donde se aloja el talón del neumático radialmente.

Altura: es el diámetro tomado incluyendo las pestañas de Rim.

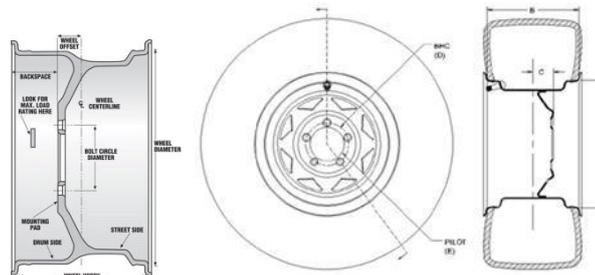


Figura 21. Dimensiones del Rim. (Adaptado de)[19]

- **NEUMÁTICO:** son los elementos que están en constante contacto con el suelo, sus dimensiones, materiales y forma varían, estas finalmente determinan el correcto desempeño para cada tipo de uso, por esto es tan importante seleccionar los neumáticos con las características apropiadas.

En el mercado existe gran variedad de fabricantes que ofrecen neumáticos para toda clase de vehículos, sin embargo si se ignoran los factores fundamentales para elegir un neumático adecuado, se pueden cometer errores que atentarían en contra de la seguridad y la economía.

La nomenclatura son las letras y símbolos grabados a los costados de los neumáticos y contienen la información de carácter técnico como: dimensiones, índices de carga, rango de velocidad, presión de inflado.



Figura 22. Nomenclatura del neumático. [20]

El tipo de neumático define el uso apropiado. Por ejemplo en la figura 22, la “P” que se muestra significa que es para un vehículo de pasajero. Si el neumático tiene las siglas “LT”, sería para un camión ligero.

El ancho de sección es la distancia medida en milímetros que existe de un costado a otro.

Relación aspecto ó comúnmente llamado “Perfil” es la relación de altura de sección entre el ancho de sección, como se aprecia en la figura 22, el 65 significa que la altura es igual al 65% del ancho de sección.

El Tipo de Construcción representa la forma en que las capas están constituidas. La “R” significa que es de construcción radial, es decir que las capas van en ángulos de 90°. La “B” significa construcción convencional (bias) es decir que las capas están de forma diagonal.

Diámetro exterior: es la distancia que existe entre talones, que también corresponde al diámetro del rim. El índice de carga indica la carga máxima en libras ó kilogramos que un sólo neumático puede soportar cuando está inflado de manera adecuada. El Rango de Velocidad establece la velocidad máxima. La “H” significa que una llanta tiene un rango de velocidad máxima de 210 km/hr. [20]

4.4 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA SUSPENSIÓN [21]

4.4.1 Alineación.

A menudo se confunden los conceptos de alineación y la verificación de los ángulos de las ruedas, mientras que los ángulos de las ruedas son los que garantizan el contacto del neumático sobre el piso, la alineación es la que establece la posición de los centros de las ruedas con relación al eje de simetría y configuración del vehículo.

Un vehículo está perfectamente alineado cuando los valores de distancia entre ejes y trocha coinciden con los fijados por el constructor. Cuando las trochas delanteras y traseras son iguales forman un rectángulo, mientras que si son distintas es un trapecio isósceles.

- **Distancia entre ejes (batalla):** es la distancia que hay entre los ejes de centro entre las ruedas traseras y delanteras es una de las dimensiones más conocidas, que define gran parte de la conducta del auto, fundamentalmente influye en la estabilidad direccional y en el confort, el que mejora al aumentar esta distancia.
- **Trocha (vía):** es la distancia entre los centros de las ruedas, del lado derecho al izquierdo, por lo que muchas veces es práctico medir desde el lado interno de una rueda al lado externo de la otra.

La trocha tiene mucha influencia sobre la transferencia de pesos, podemos decir que cuanto mayor es la trocha, menos posibilidades tiene de volcar.

4.4.2 Ángulos de las ruedas.

Las ruedas de los automóviles no son del todo verticales, ni paralelas al eje de trayecto del vehículo, como tampoco las ruedas de la dirección giran alrededor de un eje vertical, sino que lo hacen en torno a un eje inclinado. Los ángulos que las ruedas y los ejes de pivote forman con los planos horizontales y verticales sirven para mejorar las condiciones de conducción, la estabilidad, la auto-alineación

de la dirección, así como también, evitar el arrastre y el excesivo desgaste de los neumáticos.

- **Salida / inclinación del Perno (King pin Axis):** Es el ángulo que forma el eje, donde gira la dirección con el plano de la rueda. Su misión es la de disminuir la distancia entre el punto de contacto del neumático con el suelo y aquel en que la prolongación del eje de giro corte el suelo. Cuanto mayor sea esta distancia más dura resulta la dirección del vehículo debido al efecto de palanca que se origina. El ángulo de salida contrarresta los golpes que se originan por las irregularidades del camino, disminuyendo las reacciones a la cabrilla de dirección.

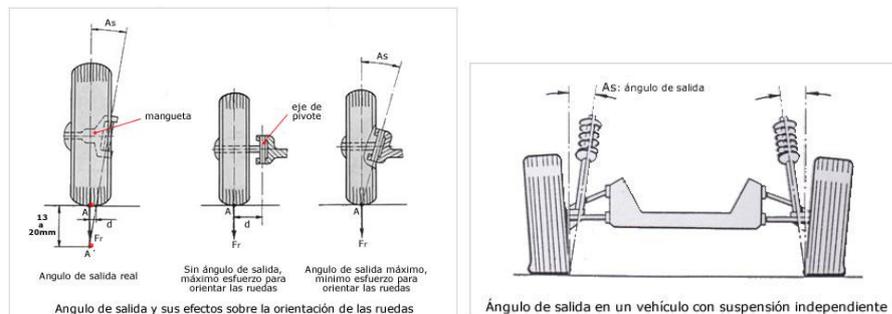


Figura 23. Ángulo de salida. [21]

En algunos vehículos modernos esta distancia llega hacerse cero y en los casos este punto pasa la línea media de la rueda para ubicarse en el otro lado, dando lo que se llama radio de rodaje negativo (esto se hace posible en las suspensiones tipo McPherson).

- **Caída ó Camber:** Es el ángulo que forma el plano de la rueda con respecto al plano del suelo, Se considera “Camber negativo” cuando las ruedas se cierran en su parte superior y “Camber positivo” cuando se abren. Este ángulo se mide en grados.

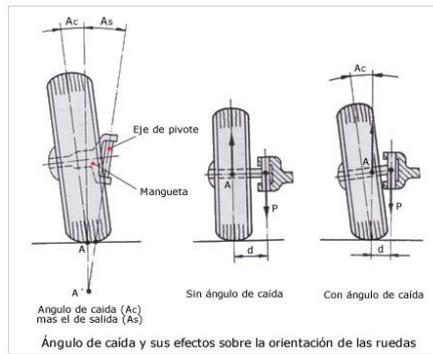


Figura 24. Ángulo de caída. [21]

- Convergencia (Toe-in / Toe-out):** Es el ángulo que forma el plano de la rueda con el eje longitudinal del vehículo desde una vista superior. El ángulo de convergencia se mide en grados o comúnmente con la diferencia de distancias entre los extremos delanteros y traseros de los neumáticos.

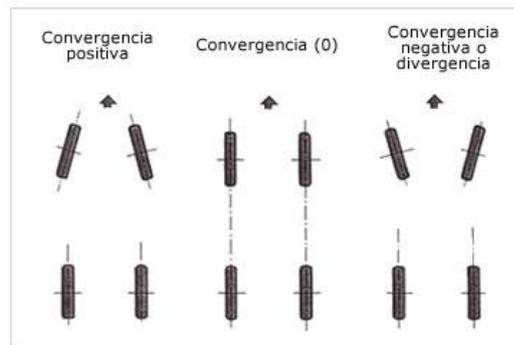


Figura 25. Ángulo de convergencia. [21]

- Avance (Caster):** Es el ángulo que forma el pivote de la rueda con la vertical en una vista lateral. Su fundamento es lograr que la prolongación del mismo corte al pavimento por delante del punto de contacto del neumático. Con este se consigue un efecto de auto retorno de la dirección a la trayectoria de línea recta del vehículo ó efecto que tiende a alinearla nuevamente.

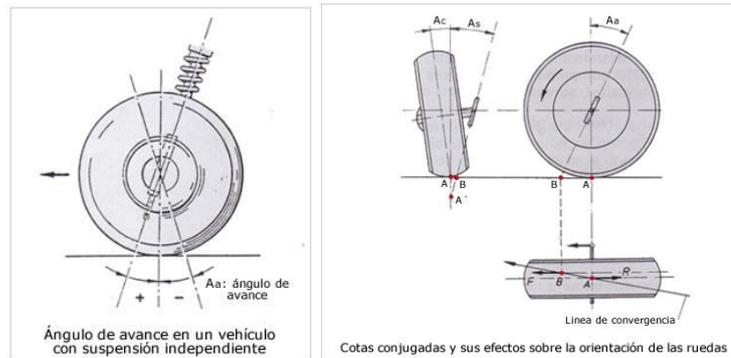


Figura 26. Ángulo Caster. [21]

4.4.3 Parámetros de viraje.

La misión del sistema de dirección es la de orientar a las ruedas y trazar la trayectoria deseada por el conductor. El mecanismo aparenta ser simple pero en verdad oculta complejidad y cantidad de variables a tener en cuenta. El sistema de dirección debe reunir las siguientes características:

- **Seguridad:** es de gran importancia el diseño de los mecanismos, emplear los materiales convenientes y realizar el respectivo mantenimiento.
- **Fácil manejo:** ubicar el volante de la dirección de tal forma que el conductor pueda accionar desde una postura cómoda.
- **Suavidad:** la dirección se puede tornar difícil de accionar si la ruedas se encuentran desalineadas, si no se ha realizado un correcto mantenimiento y el error más común que es el de mantener una presión equivocada de los neumáticos.
- **Estabilidad:** está estrechamente ligada al estado de la suspensión, puesto que el vehículo debe mantener una trayectoria recta sin intervención del conductor y al momento de salir de una curva el volante debe retornar en posición de línea recta. Todos estos dependen completamente de un buen diseño y ajuste del sistema de suspensión.

- **Condición de ackerman:** si se analiza el estado de las ruedas al afrontar una curva se observa que las ruedas directrices deben disponerse solidariamente de modo tal que la trayectoria de ambas forme un radio de giro representativo, no obstante, la disposición angular de cada una de las ruedas debe ser independiente, es decir, en el radio de giro del vehículo la rueda ubicada al exterior de la curva deberá recorrer una distancia mayor a la opuesta, por esta condición, el parámetro condicional consiste en garantizar que la rueda de la parte exterior, se ubique en un Angulo menor, para realizar un radio de giro mayor que la interior.(véase figura 27).[22].

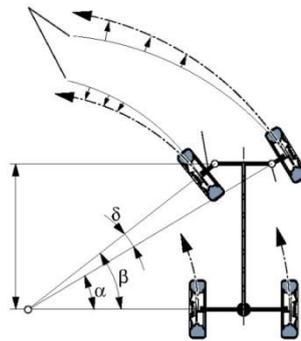


Figura 27. Viraje. [22]

Cumpliendo lo anterior descrito en el efecto ackerman, Charles Jeantaud ingeniero francés, desarrolló un mecanismo capaz de realizar los movimientos exactos requeridos y consiste en unir los pivotes de las ruedas directrices, mediante la prolongación de unos brazos que parten desde el punto de incidencia de giro de la mangueta, apuntando al centro de eje de las ruedas posteriores. (Véase figura 28).

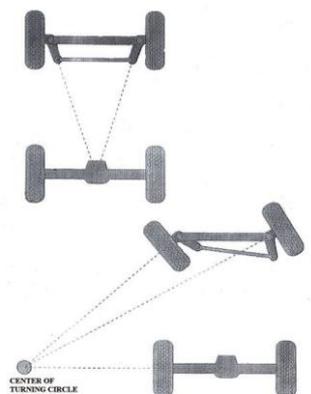


Figura 28. Cuadrilátero de Jeantaud. [22]

4.4.4 Centro instantáneo de rotación (C.I.R).

Es el punto desde el cual gira la rueda y todo el conjunto de suspensión en los movimientos de compresión y extensión, visto frontalmente, en un sistema de suspensión de cuadrilátero deformable el centro instantáneo de rotación se localiza en el punto de concurrencia entre las proyecciones de los cuadriláteros, (véase figura 29).

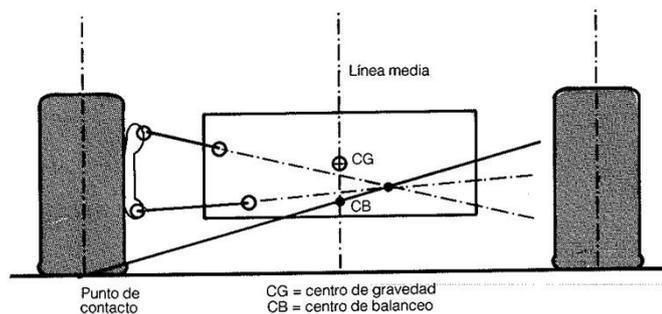


Figura 29. Centro instantáneo de rotación y centro de balanceo. [23]

4.5 FACTORES DINAMICOS

4.5.1 Centro de balanceo.

El centro de balanceo es el punto desde el cual el chasis tiende a rotar analizado desde una de sus suspensiones, ya sea trasera o delantera independientemente. Basándose en el plano de localización del C.I.R, (figura 29) se proyecta una línea desde ese punto al centro de la rueda opuesta en el área de contacto con el suelo, dada esta condición, el centro de balanceo se localiza en la intersección resultante de esta línea con la vertical del centro de gravedad.

El eje de balanceo o de rotación total del vehículo se representa uniendo los centros de balanceo de las suspensiones delanteras y traseras, (Véase figura 30).

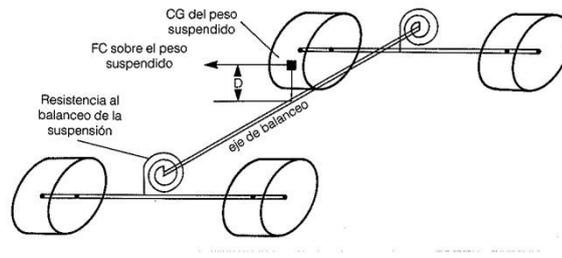


Figura 30. Eje de rotación del vehículo. [23]

4.5.2 Transferencia de pesos.

Son las que se manifiestan en el cambio de algún tipo de aceleración, estas son fáciles de percibir, es básicamente la inercia que se produce al frenar o al afrontar una curva, ambas analizadas estrictamente en los diseños de las suspensiones para contrarrestar sus efectos, que actúan directamente en el factor de adherencia de los neumáticos con el suelo.[23]

Transferencia longitudinal. Este efecto ocurre al acelerar o frenar, los pesos suspendidos tienden a trasladarse hacia adelante o hacia atrás, provocando hundimientos ó estiramientos de los mecanismos de la suspensión.

$$translon = A * P \frac{Hcg}{Dejes} \quad (1)$$

Siendo:

A Aceleración ya sea negativa: frenada ó positiva: en aumento

P Peso total del vehículo

Hcg Altura del centro de gravedad del vehículo

$Dejes$ La distancia entre ejes delanteros y traseros

El cabeceo es el movimiento repetitivo que se ocasiona al momento de acelerar o frenar, estos además de ser molestos ocasionan perdidas de efectividad en dichas operaciones, los fabricantes trabajan arduamente en reducir éste efecto en sus diseños de las suspensiones. El concepto se basa en lograr una resistencia al cabeceo permisible a las características funcionales del vehículo, dotando a los anclajes de la suspensión en el chasis con cierta inclinación, se consigue aumentar o reducir los efectos. [23]

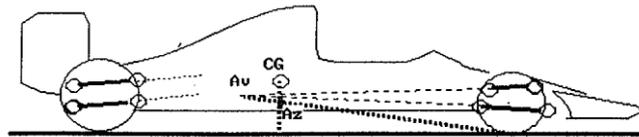


Figura 31. Anti cabeceo. [23]

- **Transferencia transversal de pesos.** Se interpreta mediante la acción causa del cambio de la trayectoria inicial del vehículo en una curva ó en cualquier cambio, esta actúa como una fuerza centrífuga que desplaza los pesos concentrándolos en las ruedas de parte externa a la curva, comúnmente llamado efecto bisagra. Para contrarrestar estos efectos existen mecanismos clasificados en sistemas activos, y sistemas pasivos. Ambos trabajando a fin de mantener los márgenes seguros de balanceo.[23]

$$transtransversal = Ag * P \frac{Hcg}{via} \quad (2)$$

Siendo:

Ag La aceleración en proporción a la gravedad

P El peso total del vehículo

Hcg La altura del centro de gravedad del vehículo

Via La trocha en promedio de entre la delantera y trasera a la altura del centro de gravedad

5. METODOLOGIA

5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE SUSPENSIÓN

La selección consta en valorar en porcentajes equivalentes a la importancia que tiene cada parámetro en la selección, y en segunda medida se puntuará cada sistema con valores de 0 a 10 donde 10 será el máximo calificativo.

5.1.2 Estudio de las alternativas.

El primer parámetro será la facilidad para adaptarse al espacio disponible, en especial para las ruedas traseras, ya que el motor se ubicará en la parte trasera y cuya configuración es de posición transversal, por este motivo reduce sustancialmente el espacio para la ubicación de cualquier suspensión, será de un valor de 40% para las ruedas traseras y un 10% para las delanteras.

El segundo es la capacidad de ser un tren directriz, éste parámetro aplica sólo para las ruedas delanteras y tiene un valor de 20%.

El tercero consiste en la capacidad para mantener en lo posible los ángulos originales de las ruedas frente a sus movimientos oscilatorios. Los valores son: para las ruedas delanteras de un 20 % y las traseras de un 10%.

El cuarto es la capacidad de asumir grandes recorridos de oscilación, aunque el trabajo en asfalto estos recorridos no será mayor, por lo contrario en terrenos adversos si se requiere un buen recorrido, por esto los valores tanto para las ruedas delanteras como para las traseras será de un 20%.

El quinto pertenece a la posibilidad de adaptación de mecanismos de regulación de los ángulos de las ruedas en una puesta a punto, comprende valores de 15 % para ambas.

El sexto y último se debe a la estética y presentación, esté también tiene un valor de 15% para ambas.

5.2 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS BÁSICOS PARA DAR FORMA

5.2.1 Dimensiones de rodadura.

Se establecen dimensiones como:

- La distancia entre ejes: de 2340 milímetros.
- La trocha delantera: 1480 milímetros.
- Trocha trasera: 1680 milímetros.
- Dimensiones de las ruedas: de la rueda con 641 milímetros y el ancho de la banda de rodadura que es 205 milímetros.
- Vértice de acotación: de 660 milímetros comprende la distancia que hay entre el eje trasero y el origen referente de acotación.

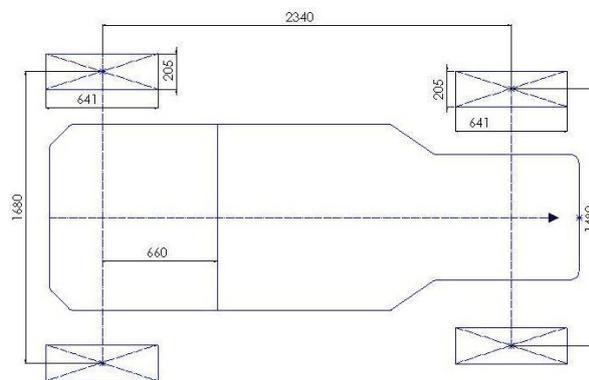


Figura 32. Dimensiones de rodadura.

La trocha común se define como la distancia que hay entre centros de las ruedas desde una vista frontal, pero en éste caso como estas distancias son distintas en las ruedas delanteras y traseras, por ser un caso particular, se habla de trocha promedio, esta dimensión se establece de la siguiente manera: se trazan dos líneas, ambas partiendo desde los centros de las ruedas traseras hacia los centros de las ruedas delanteras, cada una por su lado respectivo, seguidamente se traza una línea que corte el centro de gravedad transversalmente coincidiéndola con las

líneas anteriormente trazadas, obteniendo 1609 milímetros, (ver figura 33).

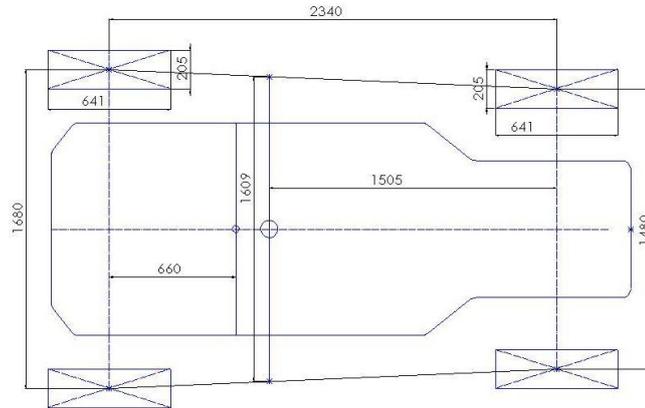


Figura 33. Trocha promedio.

5.2.2 Ángulos de las ruedas.

- **Angulo de salida:** Este ángulo varía entre 5 y 12 grados, y se trata siempre de mantener la distancia prudente entre el punto de contacto y prolongación del pivote. En los automóviles de competición es conveniente que el radio tenga un valor positivo. Esto da sensibilidad al conductor transmitiéndole, a través del esfuerzo en el volante, información del estado del camino.
- **Angulo de caída:** En vehículos de competición con neumáticos anchos y de base plana los valores usuales varían de 0° y 3° negativa para el auto en reposo, mientras que en los que tienen neumáticos angostos se llega hasta 5° también negativos.
- **Angulo de convergencia:** En los automóviles de competición se acostumbra a dar convergencia tanto a las ruedas delanteras como a las traseras. El valor usual está comprendido entre 0 y 4 milímetros, donde cerrado significa convergencia y abierto divergencia.

- **Angulo caster:** El valor del ángulo de avance varía, según los constructores se ubica entre los 3° y 10°. Hay que tener en cuenta, cuanto mayor es este ángulo, más dura resulta la dirección.

5.3 PUNTOS DE INFLUENCIA DINÁMICA.

5.3.1 Localización del centro de gravedad.

Se realiza mediante el software, se modelaron cada uno de los componentes más influyentes en la en la distribución de pesos, en masas suspendidas como: el chasis, los tripulantes y el motor, se asignó un peso real y se integró a estos, valores adicionales para ubicar los pesos de los demás elementos que no se modelaron. Y en las masas no suspendidas como: las ruedas, la suspensión, los frenos y demás, los valores fueron asignados en las ruedas puesto que su peso se concentraría en ellas.

Tabla 1. Peso de los componentes del vehículo.

Componentes	Peso Kg
Chasis	134
Piso	7
Dirección	5
Motor	180
Batería	15
Depósito de combustible	16
Sillas	18
Tripulantes	160
Ruedas	60
Frenos delanteros	22
Frenos traseros	14
Suspensión delantera	20
Suspensión trasera	30
PESO TOTAL	680

5.3.2 Distribución de pesos.

El peso total del vehículo es de 680 kg aproximadamente. Los pesos se distribuyen de manera longitudinal y transversal al vehículo.

Longitudinalmente se hallan sobre el eje trasero y el delantero:

$$\% \text{ pesotrasero} = \frac{D_{cg \text{ eje delantero}}}{D_{entre ejes}} * 100 \quad (3)$$

Siendo

D cg: distancia del centro de gravedad al eje delantero.

$$pesotrasero = peso \text{ total} * \% \text{ pesotrasero} \quad (4)$$

$$pn \text{ trasero} = \frac{peso \text{ trasero}}{2} \quad (5)$$

La distribución de pesos para las ruedas delanteras:

$$pesodelantero = peso \text{ total} - peso \text{ trasero} \quad (6)$$

$$pn \text{ delantero} = \frac{peso \text{ delantero}}{2} \quad (7)$$

Siendo

Pn: peso concentrado en un solo neumático de la suspensión.

El análisis estático de distribución de pesos transversalmente solo tiene sentido, si el centro de gravedad no coincide con el eje central de vehículo, ya que en la mayoría de los casos este lo hace la repartición de pesos en 50 - 50, igual peso en ambos lados. En el automovilismo es muy usual que se juegue mucho con esta variable, se suele ubicar el centro de gravedad en un punto conveniente luego de hacer un análisis dinámico que garantice un mejor comportamiento en las curvas. Si el caso aplica a lo anterior mencionado entonces se hace lo siguiente:

$$\% \text{ pesoruadaderecha} = [(distancia \text{ CG a rueda derecha}) / (ancho \text{ de via})] * 100 \quad (8)$$

5.3.3 Localización del (C.I.R).

El método consiste en proyectar líneas que representan imaginariamente a los trapecios en posición de reposo, parten desde las rotulas que sujetan a la mangueta en la línea representativa del Angulo de caída (King pin). La culminación de estas líneas varían en función del comportamiento ideal para los requerimientos específicos de funcionalidad, existen de tres tipos: de trapecios paralelos cuyas proyecciones son infinitas en el plano. Normalmente divergentes, su configuración determina que las líneas divergen hacia el centro del vehículo y por consiguiente convergen hacia el exterior. Luego están los normalmente convergentes hacia el centro del vehículo.

5.3.4 Localización del centro de balanceo.

El CB determina el punto desde el cual el chasis rota cuando la suspensión se contrae, cada eje cuenta con su propio centro de balanceo y si se logran unir ambos puntos con una línea desde una vista lateral, se obtiene el eje de rotación del chasis. Sabiendo entonces que las fuerzas experimentadas por el vehículo, actúan directamente sobre el centro de gravedad y además, que el vehículo posee un centro de rotación, se establece que toda fuerza aplicada al vehículo producirá un (Momento) a la distancia que forma el centro de gravedad y el centro de balanceo.

5.3.4 Determinación de anti cabeceo.

Se debe tener en cuenta que no es benéfico obtener unos valores altos, puesto que la geometría obtenida alteraría considerablemente la conservación de los ángulos originales de las ruedas, por esto se estiman valores cercanos al 20% que se ajustan perfectamente a los requerimientos, conociendo que cuanto mayor sea éste valor, mayor va a ser la resistencia al efecto de cabeceo.

En suspensiones de trapecios deformables, basados en la (figura 34), se realiza el porcentaje de anti cabeceo se halla mediante la ecuación 9.

$$\% \text{ anti - cabeceo} = \left[\left(\frac{H1}{H} \right) \right] * 100(9)$$

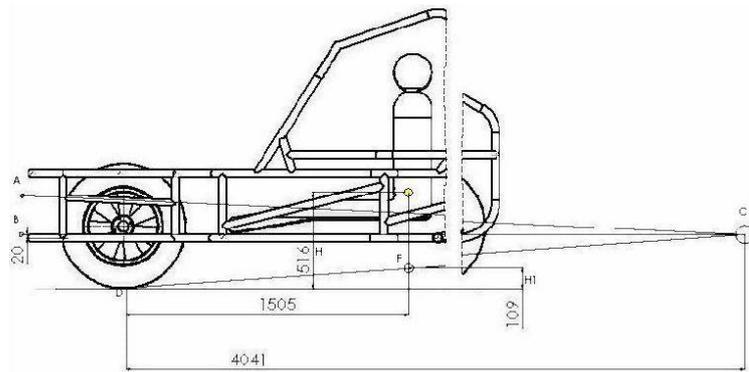


Figura 34. Disposición geométrica de anti-cabeceo.

5.4 ANALISIS DE LAS VARIABLES GEOMETRICAS

5.4.1 Análisis geométrico de la suspensión delantera.

Se procede inicialmente a asignar valores en ángulos al porta manguetas, con las dimensiones más acertadas para encontrar la mínima variación del ángulo de caída, el cual influye directamente sobre el estado de la dirección por consiguiente la estabilidad y el manejo. Seguidamente requiere de un sin numero de trazados de líneas representativas de los trapecios y puntos de anclaje con base a las trayectorias del C.I.R, en pro de la ubicación del centro de balanceo en un punto confiable.

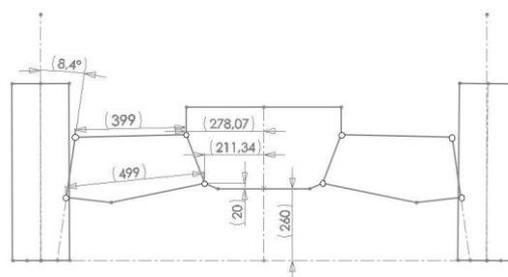


Figura 35. Esquema de la suspensión delantera en reposo.

5.4.2 Análisis geométrico de la suspensión trasera.

La adaptabilidad al espacio disponible y cumplir con la condición de poder regular los ángulos de las ruedas.

La disposición de espacio consta de un área de 0.37 m^2 vista al plano alzado, y desde una vista superior unos 0.26 m^2 y un volumen de 1.85 m^3 por cada lado. Un poco menos de la mitad de la totalidad de estos rangos compromete el área crítica del recorrido ascendente del sistema. Se considera crítica por su cercanía al chasis por la parte superior, exige realizar un diseño que garantice que las partes no colisionen.

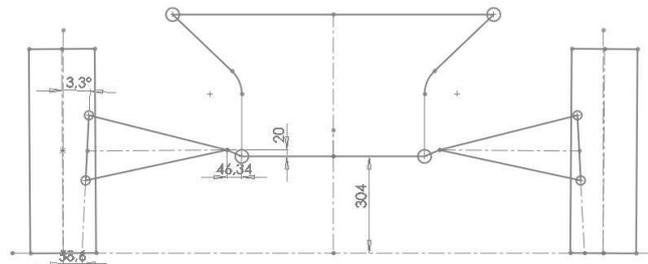


Figura 36. Esquema de la suspensión trasera en reposo.

5.4.3 Análisis geométrico de la dirección.

Este análisis es necesario para determinar la ubicación del pivote de la dirección, en los parámetros que la teoría establece y bajo las condiciones de adaptabilidad permisibles en los porta manguetas.

Para que el giro se ejerza de manera correcta la rueda interior a la curva debe girar unos grados más que la exterior.

Para conocer el ángulo de posición de cada rueda al máximo radio de viraje, se realiza mediante la proyección de líneas perpendiculares a cada rueda, coincidiendo ambas en el punto de giro al interior de la curva, se dice que este punto debe estar ubicado a una distancia del doble de distancia entre ejes y partiendo desde el centro del vehículo.

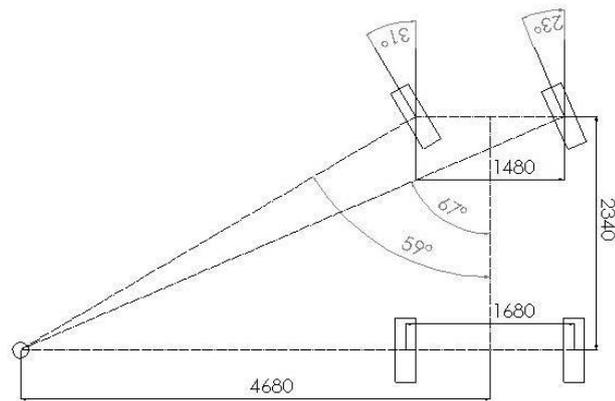


Figura 37. Efecto Ackerman.

Para que el mecanismo de dirección garantice las condiciones anteriores, los pivotes deben cumplir con la geometría del cuadrilátero de Jeantaud, que dice que las proyecciones de ambos pivotes deben partir de la línea de giro de la mangueta y finalmente converger en centro del eje trasero de la siguiente manera:

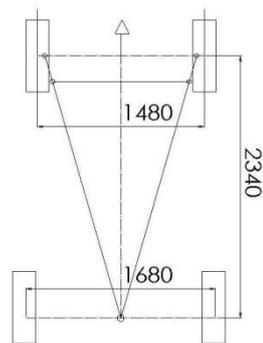


Figura 38. Cuadrilátero de Jeantaud.

El siguiente paso es fijar la distancia al pivote, la longitud de esta es determinada directamente por el avance de la cremallera de la dirección, basta con medir los milímetros de salida, por cada giro de la columna de dirección y analizar el comportamiento del conjunto.

La longitud del pivote, se realiza conociendo previamente el avance de la cremallera (mm / giro de volante de dirección). El pivote de la dirección sirve de palanca y permite hacer el giro de la rueda directriz, cuando la rueda gira, el movimiento se realiza sobre el eje central de la mangueta, la trayectoria circular que realiza el pivote tiene un estado inicial y uno final, el inicial se conoce por geometría de Jeantaud y el final lo define el ángulo máximo de viraje, el ejercicio consiste en determinar que radio de giro del pivote es pertinente, comparando la distancia de su estado inicial y final con la distancia del avance de la cremallera.

$$Avancemediodecremallera = \frac{avancetotal}{totalgiros} * \frac{total\ giros}{2} (10)$$

5.5 ANÁLISIS DE AMORTIGUACIÓN

La amortiguación es el trabajo mediante el cual, los elementos elásticos de la suspensión absorben los impactos producidos por irregularidades del terreno, en éste caso el elemento más apropiado para realizar esta función sería un resorte helicoidal acompañado de un amortiguador para eliminar sus oscilaciones. Éste conjunto resorte – amortiguador cumple con una misión bien importante, aunque se pudiera contar con la mejor suspensión en términos estructurales, si todo el conjunto no trabaja armónicamente con los demás componentes de todo el sistema, las consecuencias se reflejarían en una gran cantidad de efectos contraproducentes.

Existe un sin número de maneras, que describen la configuración y ubicación de estos dos elementos entre sí (amortiguador y resorte) en los vehículos. Aún para buggies también varían, pero, en su gran mayoría establecen la posición de estos dos, de modo colineal de los ejes de recorrido de ambos elementos, dispuestos a las mismas cargas y por consiguiente a la misma deformación lineal. Se reconocen las ventajas de esta configuración y se opta por hacerlo de este modo.

5.5.1 Cálculos para la amortiguación.

El trabajo de amortiguación posee varias virtudes esenciales y todas se resumen en la capacidad de absorción a un determinado recorrido, estas dos variables se predisponen en diseños específicos de funcionalidad. Para ello, los cálculos básicos para hallar las constantes del resorte y la capacidad de absorción del amortiguador son bien importantes. Ambos cálculos son referente para la búsqueda de ambos elementos en el mercado con valores lo más cercanos posible a los requeridos.

Constante del espiral:

$$kte = \frac{d^4 \cdot G}{8n Dm^2} (11)$$

Siendo:

kte Constante del espiral

d Diámetro del alambre

G Modulo de elasticidad n Número de vueltas

Dm Diámetro medio del alambre=diámetro exterior – d

Cálculo de la fuerza del espiral:

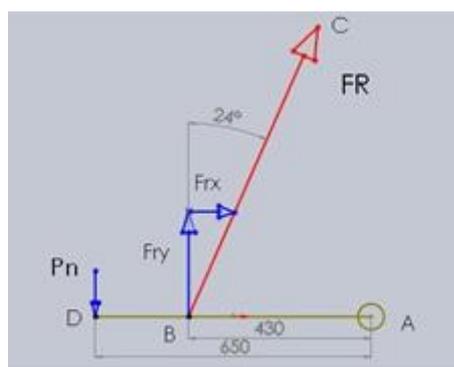


Figura 39. Representación de fuerzas de la suspensión delantera.

Diagrama de cuerpo libre para el espiral de la suspensión delantera en uno de sus lados:

$$\sum MA = 0 \text{ sentido anti horario (+)}$$

$$Pn * d AD - Fry * d AB = 0$$

$$Pn * d AD - Fr * \text{Sen } 24^\circ * d AB = 0$$

$$Fr = \frac{Pn * d AD}{\text{Sen } 24^\circ * d AB} \quad (12)$$

Siendo:

Pn Peso concentrado en el neumático.

Fr Fuerza del resorte necesaria para mantener la altura deseada vehículo en reposo.

d Distancia entre puntos a mencionar.

Diagrama de cuerpo libre para el espiral de la suspensión trasera en uno de sus lados:

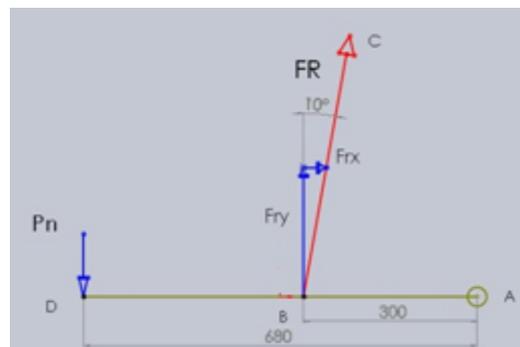


Figura 40. Representación de fuerzas de la suspensión trasera.

$$\sum MA = 0 \text{ sentido anti horario (+)}$$

$$Pn * d AD - Fry * d AB = 0$$

$$Pn * d AD - Fr * \text{Sen } 10^\circ * d AB = 0$$

$$Fr = \frac{Pn * dAD}{Sen 10^\circ * dAB} (13)$$

Radio de amortiguamiento: Es muy importante conocer como se va a comportar el sistema ante cualquier obstáculo que se presente. El radio de amortiguamiento es el que determina la absorción de la oscilación del resorte sobre la variable de tiempo. En los vehículos buggy la suspensión presenta un amortiguamiento de tipo sub-amortiguado, oséa que ζ es < que 1. [24]

Es sub-amortiguado $\zeta < 1$, cuando el radio de amortiguamiento permite inicialmente oscilaciones tolerables, pero con una amplitud de onda decreciente, hasta llegar el estado de equilibrio.

Se dice que el sistema es sobre-amortiguado $\zeta > 1$, cuando las masas retornan lentamente hasta el estado de equilibrio, más lentamente que en el caso críticamente amortiguado.

Se dice que esta críticamente amortiguado $\zeta = 1$, cuando la masa retornara lentamente hasta el estado de equilibrio.

Por lo que es necesario que el sistema trabaje con un valor de $\zeta < 1$, para garantizar que actué decrecientemente, a criterios funcionales, como se muestra en la grafica **b** de la figura 41.

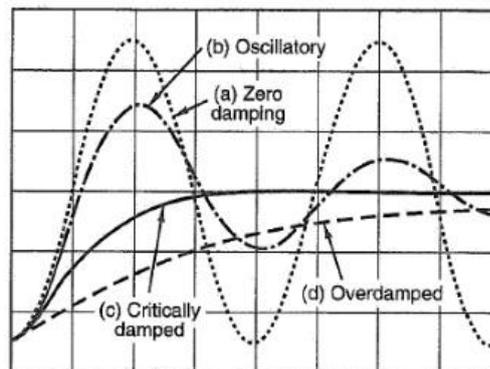


Figura 41. Radios de amortiguamiento. [24]

El calculo de amortiguamiento se realiza con base a la ecuación 14 homologada por la SAE, [24]

$$\zeta = \frac{1 C_s}{2\sqrt{K_s*m}} \quad (14)$$

Siendo:

ζ radio de amortiguamiento.

C_s constante de amortiguamiento (del amortiguador).

K_s rigidez del espiral.

m masa no suspendida del vehículo.

La constante de amortiguamiento se descompone en:

$$C_s = \frac{F_a}{V} \quad (15)$$

Siendo:

C_s Constante de amortiguamiento.

F_a Fuerza accionada sobre el vástago del amortiguador

V Velocidad de accionamiento.

La velocidad de accionamiento se deduce de la siguiente analogía, en términos de funcionamiento del amortiguador, toda acción de compresión involucra directamente una aceleración en este caso se refiere a la acción de la gravedad, ya sea que el vehículo experimente un salto ó simplemente supere un resalto, en ambas situaciones el trabajo del amortiguador es el mismo, la mejor manera de calcularlo es en los términos de una caída libre.

En el momento en que se produce el contacto, la rueda pasa a tener velocidad cero mientras que, instantáneamente y por la inercia, la masa suspendida mantiene su velocidad de caída libre. Bajo tal hipótesis, la velocidad de accionamiento del amortiguador coincide con la velocidad de caída del vehículo.

$$V_c = \sqrt{2} * A_g * H_c \quad (16)$$

Siendo:

V_c velocidad de caída
 A_g aceleración de la gravedad
 H_c altura de la caída libre

En éste tipo de vehículos se pueden presentar casos de caída libre de 1 metro y más, se tomará como tope máximo 1 metro, sólo para el análisis.

5.5.2 Selección del amortiguador.

Los criterios fundamentales que se deben tener en cuenta para seleccionar un amortiguador que se basan:

Primeramente en su capacidad de carga o de absorber los impactos, éste punto lo que hace es fijar un rango permisible de los valores establecidos y recomendados por los fabricantes, como bien se aclaró anteriormente no se busca un valor exacto puesto que la ubicación será la que iguale el rango de capacidad, (Su valor es de 30%).

Lo segundo es la adaptabilidad, ésta se compone de los valores dimensionales que se buscan, se pueden clasificar en dos categorías: por un lado está la longitud, el amortiguador no puede ser muy largo ni muy corto se estima en valores entre apoyos de 380 y 500 milímetros, (su valor es de 20%). Por otro lado está la adaptabilidad al mecanismo coilover, el diámetro de la botella del amortiguador debe estar por debajo de 50 milímetros y la longitud de éste debe ser mayor a 180, (su valor es de 30%).

Por último es el recorrido o carrera, consta de la longitud que recorre el vástago en estados máximos de extensión y compresión del amortiguador, (20%).

5.6 MODIFICACION DEL CHASIS

La condición primordial que debe cumplir es la de adaptarse a las condiciones geométricas que la suspensión impone, lo segundo es su adaptación al diseño del chasis original para las uniones de adición de los nuevos miembros estructurales y lograr que el diseño consiga un factor de seguridad confiable, dentro de los requerimientos funcionales.



Figura 42. Condiciones del chasis.

El chasis está construido en su 95% en tubería redonda 1" ¼ nominal, lo más apropiado es respetarlas especificaciones de la tubería, para los complementos estructurales de la parte delantera y trasera.

Como se muestra en la tabla 2, la tubería implementada corresponde a la ficha técnica enunciada, fabricada bajo buenos estándares de calidad brindando una buena resistencia a tan grades esfuerzo requeridos.

Tabla 2. Especificaciones de la tubería estructural.

ESPECIFICACIONES DE TUBERIA INDUSTRIAL PARA USO ESTRUCTURAL							
Diámetro nominal	Diámetro exterior		Espesor nominal		Módulo		Peso
	pulg	mm	pulg	mm	lb/pie	kg/m	kg * 6.00m
3/4	1.050	26.7	0.075	1.905	0.782	1.163	6.980

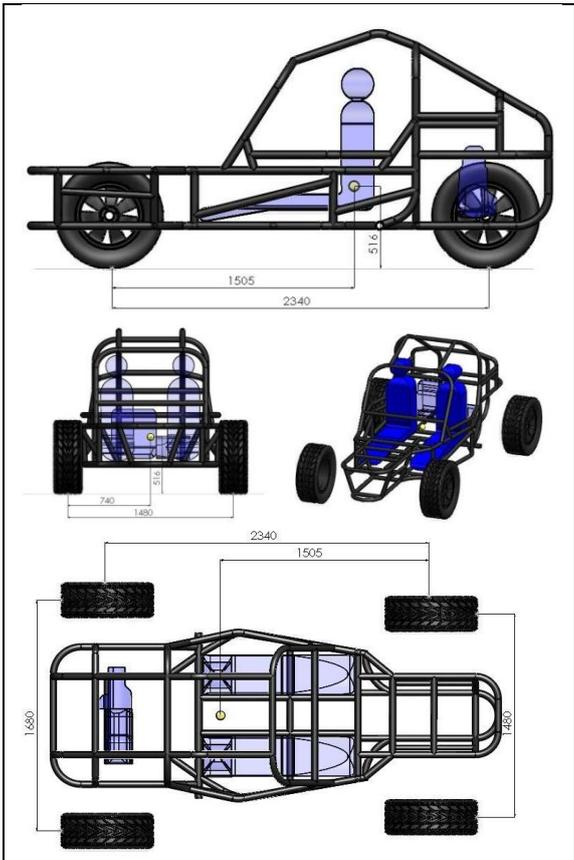
1	1.315	33.4	0.075	1.905	0.994	1.480	8.878
<i>Continuación de la tabla 2</i>							
11/4	1.660	42.2	0.090	2.286	1.510	2.248	13.488
REQUERIMIENTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS PARA LAS NORMAS DE TUBERÍA MECÁNICA Y ESTRUCTURAL							
NORMA				ASTM-A500 NMX-B-199		ASTM-A513 NMX-B-485	
Resistencia mínima a la tensión. Kg/cm ² - (Lb/in ²)				3164 (45,000)		3164 (45,000)	
Límite de fluencia mínima. Kg/cm ² - (Lb/in ²)				2320 (33,000)		2250 (32,000)	
% Elongación mínima. En 2"				22		22	
COMPOSICION QUIMICA MÁXIMA EN %							
Carbón		0.260			0.150		
Manganeso		0.950			0.600		
Fósforo		0.035			0.035		
Azufre		0.035			0.035		

6. RESULTADOS

6.1 Centro de gravedad y distribución de pesos.

El centro de gravedad es el punto clave y primer paso que se debe ejecutar dentro del orden lógico.

Tabla 3. Centro de gravedad

	<p>La ubicación del centro de gravedad se realiza mediante la herramienta de diseño que calculó el centro de las masas modeladas, asignándoles a cada una valores de peso correspondientes al dato real de los componentes previamente pesados.</p> <p>La ubicación corresponde a:</p> <p>Altura de CG con respecto al suelo: 516 mm</p> <p>Longitud de CG con respecto al eje delantero: 1505 mm</p> <p>Desde la vista frontal se ubica en teoría sobre el centro de la línea centro vertical del vehículo</p>
--	---

Conociendo la ubicación del centro de gravedad del vehículo se realiza la distribución de pesos a los ejes traseros y delanteros y a cada una de las ruedas correspondientemente reemplazándose los valores de las ecuaciones ordenadas en el numeral 5.3.2.

$$\% \text{ pesotrasero} = \frac{1505 \text{ mm}}{2340 \text{ mm}} * 100 = 64 \%(3)$$

$$\text{pesotrasero} = 680 \text{ Kg} * 0.64 = 435 \text{ Kg}(4)$$

$$pn \text{ trasero} = \frac{435 \text{ Kg}}{2} = 217.5 \text{ Kg} \quad (5)$$

La distribución de pesos para las ruedas delanteras:

$$pesodelantero = 680 \text{ Kg} - 435 \text{ Kg} = 245 \text{ Kg} \quad (6)$$

$$pn \text{ delantero} = \frac{245 \text{ Kg}}{2} = 122.5 \text{ Kg} \quad (7)$$

6.2 Análisis comparativo de alternativas de suspensión.

A continuación en las tablas (4 y 5) se muestra brevemente el método comparativo por el cual se seleccionó el tipo de suspensión para las ruedas delanteras y traseras, bajo los parámetros que se establecieron en el numeral 5.1.2.

Tabla 4. Análisis comparativo de sistemas de suspensión independientes para las ruedas delanteras.

SELECCIÓN DEL TIPO DE SUSPENSIÓN							
Ruedas delanteras puntuación de 0 a 10							
Suspensiones Independientes	al adaptación espacio 10%	Propiedad de ser rueda directriz 20%	los Mantiene los ángulos de las ruedas 20%	Recorrido 20%	de Capacidad regular los ángulos	Factor estético 15%	Puntuación Total
McPherson	6 0.6	10 2.0	4 0.8	5 1.0	2 0.3	3 0.45	5.15
Paralelogramo Deformable	8 0.8	10 2.0	8 1.6	6 1.2	8 1.2	8 1.2	8
Tirada arrastrada	4 0.4	0 0.0	3 0.6	7 1.4	2 0.3	5 0.75	3.45

Continuación de la tabla 4							
Eje Oscilante	7 0.7	0 0.0	3 0.6	10 2.0	8 1.2	5 0.75	5.25
Suspensión delantera seleccionada				Suspensión de paralelogramo deformable			

La suspensión de paralelogramo deformable se adapta perfectamente a los requerimientos funcionales del prototipo en todos sus aspectos, es una suspensión versátil con un sin número de propiedades de uso tanto en terrenos adversos como en asfálticos y que gracias a su configuración en esencia permite la adaptación de los mecanismos de regulación y puesta a punto rápida y precisa.

Tabla 5. Análisis comparativo de sistemas de suspensión independientes para las ruedas traseras.

SELECCIÓN DEL TIPO DE SUSPENSIÓN						
Ruedas traseras puntuación de 0 a 10						
	al Adaptación espacio 40%	los Mantiene ángulos de ruedas 10%	Recorrido 20%	de Capacidad regular los ángulos 15%	Factor estético 15%	Puntuación total
McPherson	4 1.6	4 0.4	5 1.0	2 0.3	3 0.45	3.75
Paralelogramo Deformable	2 0.8	8 0.8	6 1.2	8 1.2	8 1.2	5.2
Tirada arrastrada	3 1.2	3 0.3	7 1.4	2 0.3	5 0.75	3.95
Eje Oscilante	10 4.0	3 0.3	10 2.0	8 1.2	5 0.75	8.25
Suspensión trasera seleccionada				Suspensión de eje oscilante		

La suspensión de tipo eje oscilante cumple con las expectativas expuestas en el análisis de selección, se adapta perfectamente al espacio disponible, responde bien como suspensión para las ruedas de tracción en resistencia a grandes esfuerzos y permite fácilmente la incorporación de los mecanismos de regulación y control de ajustes para la puesta a punto.

6.3 Configuración geométrica de las suspensiones delanteras y traseras.

C.I.R: Primeramente se realizó el análisis para determinar la ubicación y forma a las que se deben ajustar los trapecios de la suspensión, este análisis sirve para determinar la distancia entre el C.I.R y la rotula que sujeta la mangueta, este define el radio de la curva que tomará la rueda el momento de giro, entre mayor sea esta distancia, la trayectoria de la rueda será más rectilínea, por tal efecto conservará mejor el ángulo de salida del porta mangueta, como se aprecia en la figura.

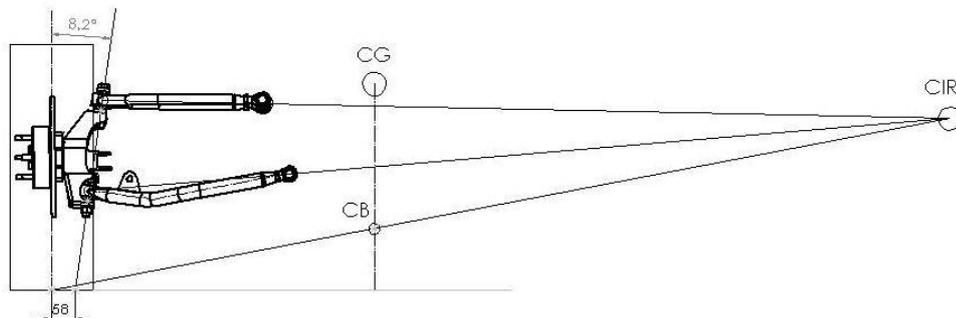


Figura 43. Ubicación del CIR y CB de la suspensión delantera.

C.B: Para el caso de la suspensión delantera, con base a la figura 43, si se traza una línea desde el centro de la rueda en la parte inferior, hasta el punto de C.I.R, conseguimos cortar la línea vertical del centro de gravedad.

Para la suspensión trasera, el método de localización es diferente, dada la configuración y el modo funcional del sistema. Conociendo que el tipo de suspensión es de tipo eje oscilante, entonces, se representa a todo el conjunto (rueda y cuerpo estructural de la suspensión) como un eje rígido

que gira alrededor de su apoyo, partiendo de esta condición, se concluye lo siguiente: si se proyecta una línea infinita desde el centro de cada rueda haciéndola coincidir por el punto de apoyo y luego cortando la línea que proyecta el centro de gravedad verticalmente, justo en éste punto se puede localizar el centro de balanceo.

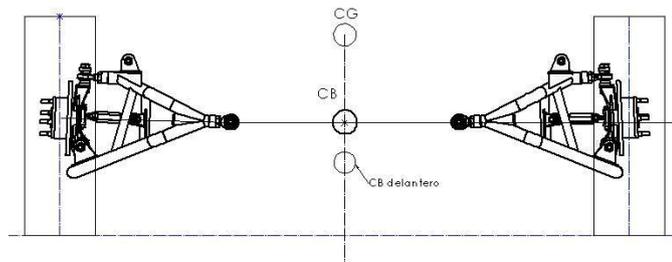


Figura 44. Ubicación del CB de la suspensión trasera.

Realizando los ejercicios de localización de los centros de balanceo desde la suspensión delantera y trasera, mediante el trazado de una línea imaginaria a modo de unirlos, se consigue hallar el eje de balanceo, el cual determina la rotación total de las masas suspendidas del vehículo, como se muestra en la figura 45.

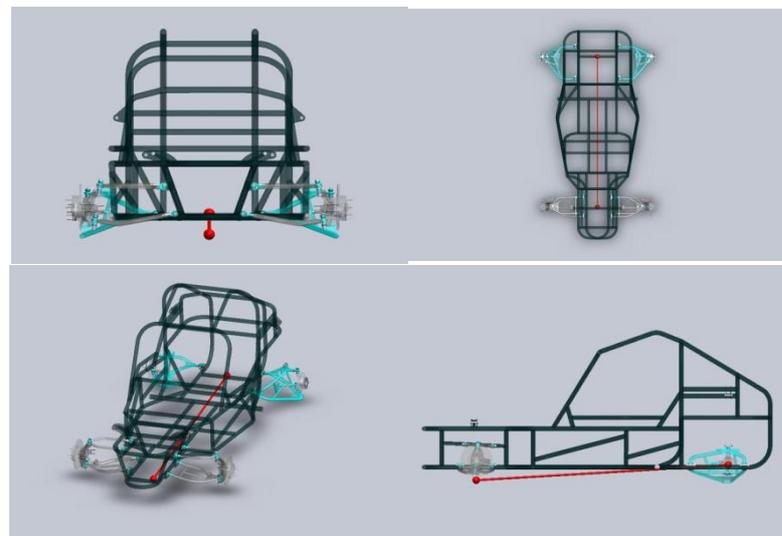


Figura 45. Eje de rotación del chasis.

6.4 Pruebas dimensionales mediante bocetos.

Como se aprecia en las figuras 46 y 47, se realizan las pruebas por medio de bocetos representativos de los componentes del sistema de suspensión delantera, bajo criterios funcionales de máxima compresión y máxima extensión, observándose sus variaciones y posteriormente realizar correcciones de campo definir finalmente la configuración geométrica mas apropiada.

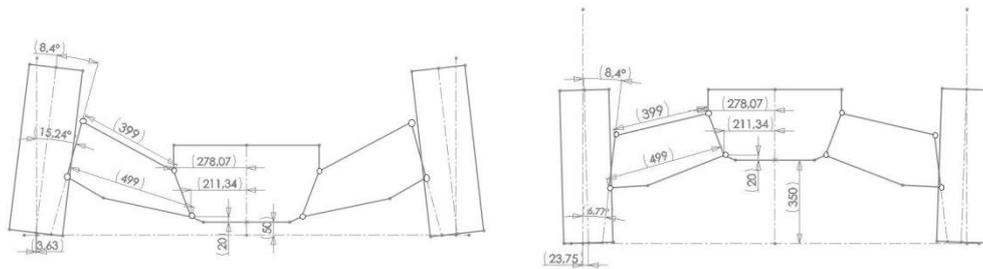


Figura 46. Pruebas dimensionales de la suspensión delantera.

Una de las conclusiones mas acertadas para suspensión delantera es acortar el trapecio superior con respecto al inferior y al mismo tiempo trasladando el punto de soporte del chasis hacia exterior, al punto que defina la prueba con el trapecio.

Las pruebas de factibilidad, para verificar las variaciones de los ángulos de las ruedas de la parte trasera, bajo el método de máxima compresión y máxima extensión de los mecanismos de la suspensión, se muestran a continuación en la figura 47.

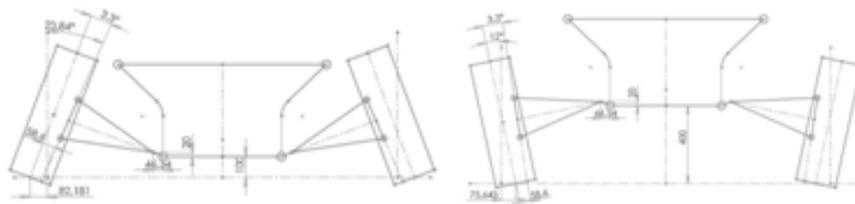


Figura 47. Pruebas dimensionales de la suspensión trasera.

En la tabla 6 se organizan los datos más significativos obtenidos en las pruebas dimensionales de la suspensión delantera y trasera, teniendo como variables el cambio de los ángulos de salida y caída y la distancia que varía entre la línea vertical de centro de la rueda estando en reposo y el estado final (ΔL), dándose valores en milímetros (+) representa que las medidas se alejan hacia el exterior del vehículo y (-) cuando se acercan hacia el centro.

Tabla 6. Datos resultantes a pruebas con bocetos.

Variables	Compresión		Extensión	
	Delantera	Trasera	Delantera	Trasera
Angulo de salida	-15°	-23°	+7°	+25°
Angulo caída	-7°	-20°	+3°	+18°
ΔL	+3,7 mm	+82 mm	-24 mm	-75 mm

Cabe reconocer que los ángulos de las ruedas varían considerablemente en trabajo de extrema compresión y extensión, sobre todo en las ruedas de la parte traseras, generando algunos resultados negativos, para contrarrestar estos efectos se debe saber jugar con la regulación y establecer unos ángulos apropiados para el estado de reposo, buscando optimizar los comportamientos dinámicos.

Del anterior análisis se concluyen los ángulos de las ruedas para el estado de reposo, organizados en la tabla 7.

Tabla 7. Ángulos de las ruedas.

Ángulos	Ruedas delantera	Ruedas trasera
Caída	-2.5°	+1.5°
Salida	+8.4°	+3.3°
Caster	+6.5°	+2.5°
Divergencia	0°	+3mm

6.5 Cálculo para el pivote de dirección.

Del análisis de viraje del numeral 5.4.3, se establecieron las condiciones geométricas que debe cumplir el mecanismo de la dirección, ahora en este análisis se realizan las pruebas correspondientes basadas en la ecuación 10 que describe el avance de la cremallera de la dirección en un mismo sentido de giro.

$$\text{Avance medioderechallera} = \frac{124\text{mm}}{4\text{giros}} * 2 = 62\text{mm/giro}$$

Conociendo el ángulo de máximo viraje 32° para la rueda interna y con el resultado de la ecuación 10, se realiza la simulación del radio de trabajo, para hallar la longitud del pivote de dirección del porta mangueta, como se observa en la figura 48.

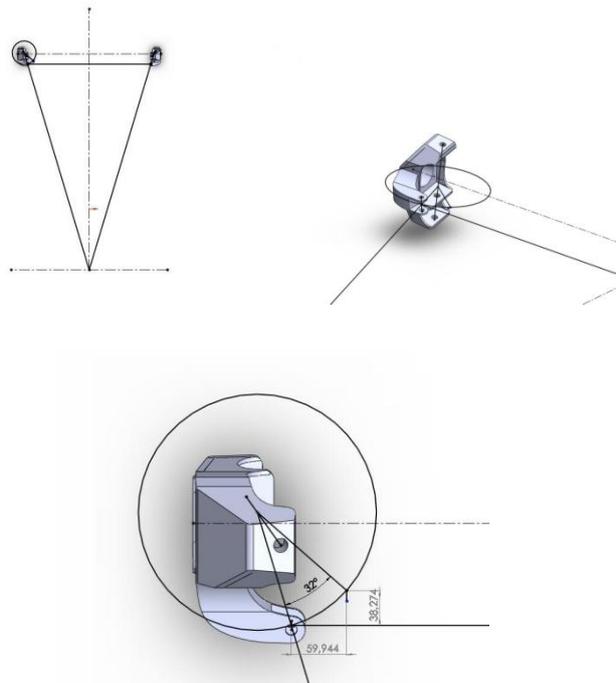


Figura 48. Radio y longitud del pivote de dirección.

6.6 Calculo de porcentaje de anti cabeceo.

El método para hallar la resistencia al cabeceo se realizó:

- Trazando dos líneas desde **A** y **B** donde podría sujetarse los trapecios al chasis, de modo que estas líneas converjan por detrás del vehículo en **C**.
- Se traza una línea que parte desde el punto de contacto de la rueda en el suelo **D** hasta **C**.
- Se proyecta una línea desde el **CG** hasta el suelo verticalmente corta a **DC** en **F**, la distancia que hay entre **F** y el suelo **H1** es porcentualmente una parte de **H**.

Con base a la figura 34 y la ecuación 9 se halla:

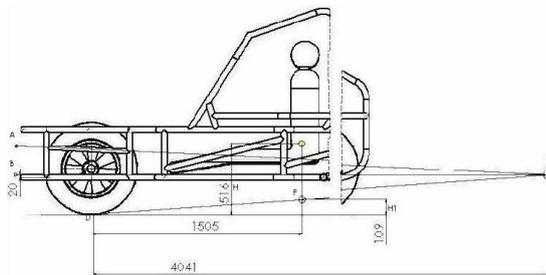


Figura 34.

$$\% \text{ anti cabeceo} = \left[\left(\frac{109 \text{ mm}}{516 \text{ mm}} \right) \right] * 100 = 21 \% \quad (11)$$

6.7 Calculo de amortiguación.

Primeramente se halló la fuerza del espiral tanto de las suspensiones delanteras y traseras mediante diagrama de cuerpo libre de las ecuaciones 12 y 13 respectivamente.

Resorte delantero de la ecuación 12:

$$F_{rd} = \frac{122.5 \text{ Kg} * 0.65 \text{ m}}{\text{Sen } 24^\circ * 0.43 \text{ m}} = 504 \text{ Kgf}$$

Resorte trasero de la ecuación 13:

$$F_{rt} = \frac{217.5 \text{ Kg} * 0.68 \text{ m}}{\text{Sen } 24^\circ * 0.30 \text{ m}} = 2844 \text{ Kg}$$

Sin embargo un resorte con una magnitud igual a estas no serviría, sería demasiado rígido, se debe dar un valor del 15% por debajo, para mantener un margen seguro y confortable.

La velocidad de caída con base a la ecuación 16:

$$V_c = \sqrt{2} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 1 \text{ m} = 4.4 \text{ m/s}$$

La constante de amortiguamiento con base a la ecuación 15 para las ruedas delanteras y traseras.

Delantero:

$$C_{sd} = \frac{504}{4.4} = 114.54 \text{ N}$$

Trasero:

$$C_{st} = \frac{2844}{4.4} = 646.36 \text{ N}$$

Y finalmente mediante la (ecuación 14) se reiteran los resultados con respecto al margen del radio de amortiguamiento, garantizando valores menores que 1 para que cumpla con la condición del subamortiguamiento.

Para la suspensión delantera

$$\zeta d = \frac{114.54}{2\sqrt{4939 * 30}} = 0.14$$

Para la suspensión trasera

$$\zeta d = \frac{646.36}{2\sqrt{27871 * 35}} = 0.32$$

Se realiza a continuación la siguiente tabla comparativa, basados en los parámetros descritos en el numeral 5.5.2, para la selección del amortiguador en los datos teóricos y sugerencias de expertos en el tema necesarios para hacerlo.

Tabla 8. Selección del amortiguador.

Tabla de selección del amortiguador					
Amortiguador	Capacidad De Carga (30%)	Adaptabilidad		Recorrido (20%)	Total
		L (20%)	Ø, L botella (30%)		
Monza Delantero (capsula)	5 1.5	6 1.2	8 2.4	8 1.6	6.7
Volkswagen Golf delantero vástago corto (capsula),	5 1.5	8 1.6	8 2.4	6 1.2	6.7
D-Max 4x2, Delantero	8 2.4	10 2.0	7 2.1	6 1.2	7.7

Continuación de la tabla 8					
Toyota prado Trasero	8 2.4	4 0.8	1 0.3	6 1.2	4.7
Jeep Willys Delantero	9 2.7	3 0.6	4 1.2	6 1.2	5.7
Amortiguador seleccionado		D-Max 4x2, Delantero			

El amortiguador seleccionado es del tipo hidráulico bitubo presurizado con gas nitrógeno, para usos en todo terreno, con una capacidad de absorción de (1100 newton) aproximadamente, como método de sujeción cuenta con un aro buje (goma-metal) en la parte inferior y terminación roscada en la espiga del vástago en la parte superior para sujeción por tuerca originalmente, con un recorrido de vástago de 109 milímetros a topes, como se puede apreciar detalladamente en la figura 49.

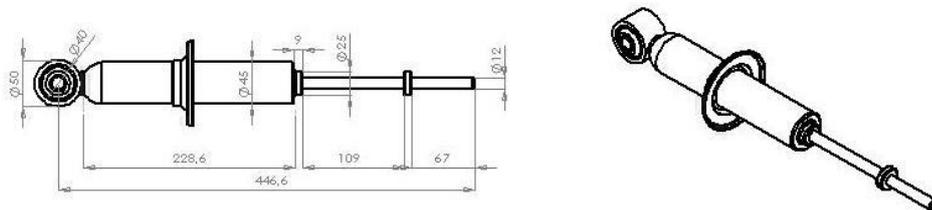


Figura 49. Dimensiones del amortiguador seleccionado.

6.8 Especificaciones de modelos y componentes.

De las tablas 9 y 10 se organizan las articulaciones con sus respectivas fichas técnicas.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de los Rod end implementados.

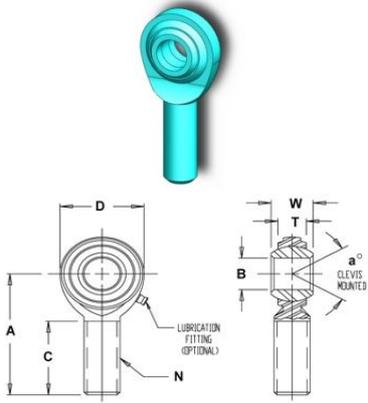
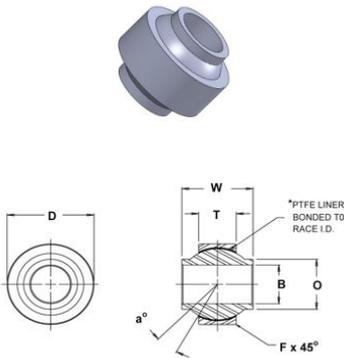
		<p>Referencias de rod ends implementados:</p> <p>(ECM8 y ECML8): en barras de control y brazos de dirección.</p> <p>(ECM10): en terminales de trapecios delanteros superiores e inferiores.</p> <p>(ECM12): en terminales de trapecios traseros y miembro de sujeción y control superior de mangueta trasera.</p> <p>La selección consistió básicamente en la relación de la capacidad de carga y capacidad de desalineación y control de ajuste y regulación requeridos en la funcionalidad del mecanismo de suspensión.</p>									
		<p>Referencia</p>		<p>B Dia.</p>	<p>D Width</p>	<p>W Width</p>	<p>T Width</p>	<p>Ball Dia.</p>	<p>A Length</p>	<p>N Thd.</p>	<p>C Length</p>
<p>Right</p>	<p>Left</p>										
ECM8	ECML8	.5000	1.312	.625	.453	.937	2.438	1/2-20	1.500	20	8,386
ECM10	ECML10	.6250	1.500	.750	.484	1.125	2.625	5/8-18	1.625	26	9,813
ECM12	ECML12	.7500	1.750	.875	.593	1.312	2.875	3/4-16	1.750	24	14,290

Tabla 10. Especificaciones técnicas de la rótula implementada.

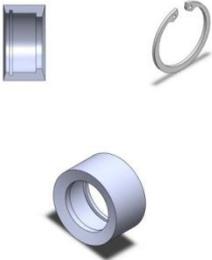
						<p>(HIN12T):</p> <p>Implementada para los trapecios de la suspensión delantera superior e inferior como miembros de sujeción al porta manguetas.</p> <p>Adaptada al porta mangueta de la suspensión trasera como miembros de sujeción a los trapecios por la parte inferior.</p> <p>Selección realizada bajo las especificaciones técnicas de carga y desalineación de la pieza.</p>				
Referencia	B Dia.	D Dia.	W Width	T Width	O Dia.	Ball Dia.	F Camfer	N Thd.	a° Mis. Angle	Ult. Static Radial Load (Pounds)
HIN12T	.7500	1.5625	1.280	.620	.970	1.375	.035	7/8-14	18°	53,716

En la tabla 11 a continuación se organizan las piezas adicionales necesarias para la adaptación del conjunto de la suspensión.

Tabla 11. Piezas adicionales de la suspensión.

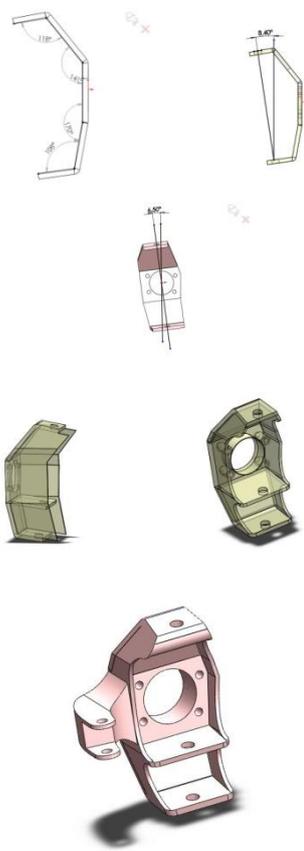
	<p>Insertos para rod ends</p> <p>Van soldados a los elementos estructurales de la suspensión y es donde se ubican los rod ends, sus dimensiones dependen directamente del diámetro interno de la tubería y del diámetro y tipo de rosca del rod end.</p>
---	---

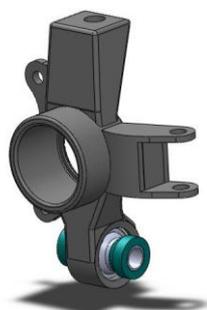
Continuación de la tabla 11

	<p>Conos separadores</p> <p>Se ubican a los extremos de las esferas de las articulaciones bien sean rod ends ó rotulas, su misión es la de impedir las colisiones entre componentes en los movimientos oscilatorios.</p>
	<p>Bujes reductores</p> <p>Su función es la de reducir el diámetro de los tornillos que sujetan a las articulaciones, así mismo evitan el desgaste que puedan ocasionar los tornillos al interior de las articulaciones.</p>
	<p>Copas (cups)</p> <p>La copa requirió de un preciso maquinado para dar el ajuste necesario que garantizara una correcta fijación, sin embargo fue necesario la utilización de pines candado por seguridad.</p>
	<p>Barras de control y ajuste</p> <p>Con éste se logran regular las distancias entre dos elementos, se implementan para regular el ángulo de divergencia de las ruedas traseras.</p> <p>El mecanismo consta de un miembro estructural y a sus extremos van soldados insertos roscados, para ubicar allí un par de rodends(ECM8) y (ECML8) respectivamente, uno de ellos rosca contraria para que se cumpla la extensión o contracción del mecanismo al girar la barra.</p>

A continuación en la tabla 12 se muestra detalladamente la modelación de los portamanguetas delanteros y traseros respectivamente bajo los criterios de diseño y adaptación de cada uno en su conjunto de suspensión.

Tabla 12. Porta manguetas.

	<p>Porta mangueta delantero</p> <p>Partiendo de las condiciones geométricas que se impone, desde la vista frontal el ángulo de caída de $8,4^\circ$ y desde la vista lateral el Caster con $6,5^\circ$. La pieza es modelada siguiendo el paso a paso, representativo en la fabricación. Se utiliza de base una platina de $5/16$" pulg, que luego es doblada, y platinas de $1/4$", $3/16$" y $1/8$" de pulgada para las demás secciones.</p> <p>Cuatro perforaciones de anclaje al disco de freno.</p> <p>Dos perforaciones de anclaje de los trapecios superior e inferior.</p> <p>Brazo de pivote de anclaje de los brazos de dirección mediante rodends (ECM8).</p>
--	---



Porta mangueta trasero

Se utiliza de base el porta mangueta de Fiat 147 delantero para adaptarlo con los demás elementos de transmisión y potencia de éste vehículo. Para ello se aprovechó únicamente el cuerpo donde se aloja el rodamiento y los puntos de anclaje de la mordaza de freno, de lo demás, se fabrica nuevos miembros de sujeción.

Se establecieron los ángulos correspondientes en caída 2° y de Caster $2,5^{\circ}$. Como modo de sujeción a la estructura, rod end en la parte superior y rotula esférica en la parte inferior, en este caso la copa va soldada al porta mangueta. Es necesario incluir un pivote donde se ubique la barra de ajuste para la regulación del ángulo de divergencia.

Copas soldadas en la parte inferior al suplemento estructural para la ubicación de la rotula (HIN12T).

Bujes reductores al interior de las rotulas.

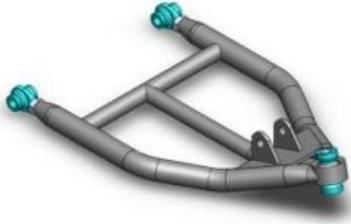
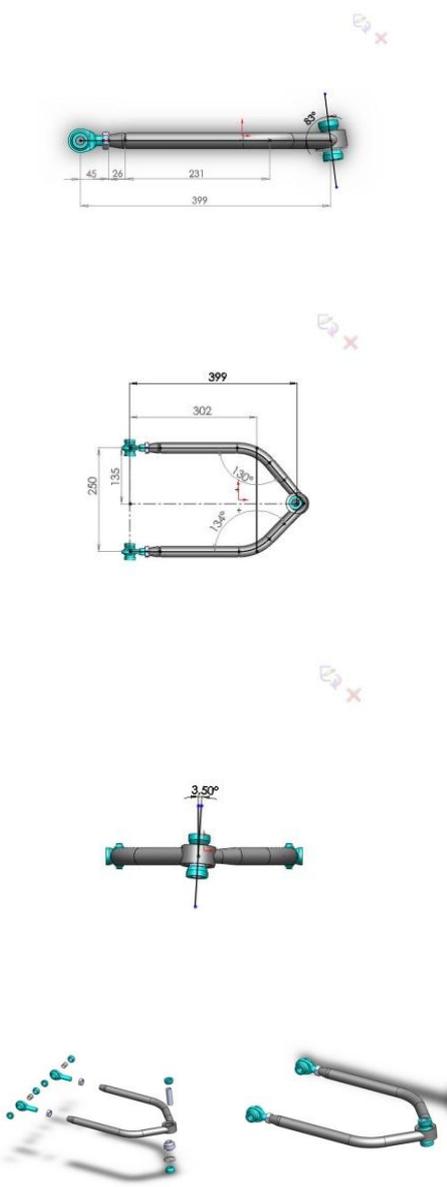
Conos separadores a los extremos de las rotulas.

Soporte de anclaje de barra de control para la regulación de divergencia de las ruedas.

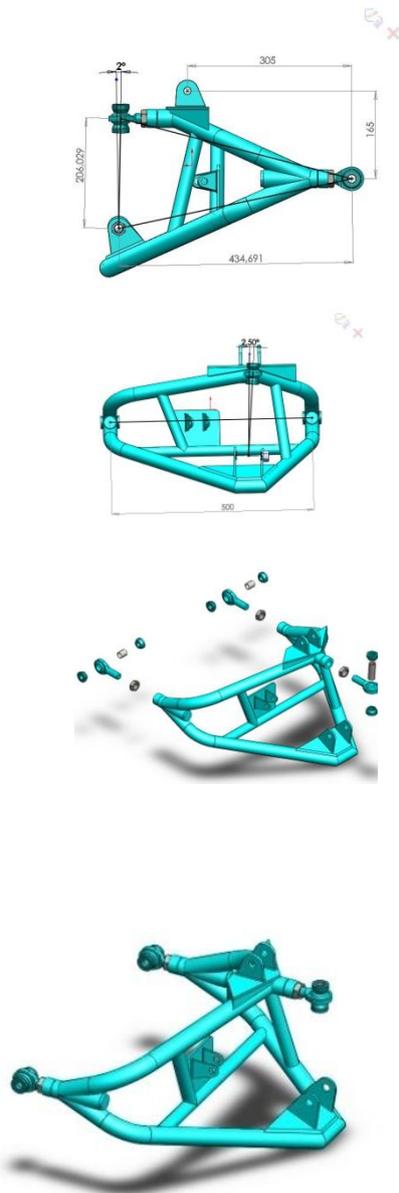
En la tabla 13 se organizan detalladamente los miembros estructurales, de la suspensión delantera y trasera. Como también el chasis

Tabla 13. Resultados de chasis, trapecios de suspensión delantera y trasera.

	<p>Trapezio inferior</p> <p>Se da un ángulo de 161° del trapecio, para mantener la perpendicularidad de la copa con respecto a la línea del ángulo de caída, de la misma manera desde la vista lateral, la copa tiene una cierta inclinación para coincidir con el ángulo Caster, la explicación para esta particularidad es la de mantener en reposo, la concentricidad de la rotula con respecto a la línea del eje de rotación y así disponer con un área uniforme de desplazamiento angular de la rotula.</p> <p>Miembros estructurales en tubería de acero al carbono redonda de 1" de diámetro nominal.</p> <p>Miembros estructurales de apoyo en tubería redonda de 3/4" de diámetro nominal.</p> <p>Copas soldadas al extremo exterior de los miembros estructurales.</p> <p>Insertos para rod ends soldados en el extremo interior de los miembros estructurales.</p> <p>Se implementan rotulas de la referencia (HIN12T).</p> <p>En las terminales rod ends de la referencia (ECM10)</p>
--	---

	<p>Bujes reductores al interior de rotulas y rod ends.</p> <p>Conos separadores a los extremos de rotulas y rod ends.</p> <p>Soporte de anclaje del amortiguador por la parte inferior en platina de calibre 3/16".</p>
	<p>Trapezio superior</p> <p>Miembros estructurales en tubería de acero al carbono redonda de 3/4" de diámetro nominal.</p> <p>Copas soldadas al extremo exterior de los miembros estructurales.</p> <p>Insertos para rod ends soldados en el extremo interior de los miembros estructurales.</p> <p>Rótula de la referencia (HIN12T) para sujeción al porta manguetas.</p> <p>Por medio de los rod ends (ECM10), se pueden regular el ángulo Camber y Caster de las ruedas. Diseñado completamente en tubería de acero al carbono.</p> <p>Bujes reductores al interior de rotulas y rod ends.</p> <p>Conos separadores a los extremos de rotulas y rod ends.</p>

Continuación de la tabla 13



Trapezios traseros.

Miembros estructurales en tubería de acero al carbono redonda de 1" pulgada de diámetro nominal.

Miembros estructurales de apoyo en tubería redonda de 3/4" de diámetro nominal.

Sujeción al chasis desde sus terminales mediante los rod ends (ECM12).

Sujeción del porta mangueta por la parte superior mediante el rod end (ECM12) puede regularse el ángulo Camber de la rueda.

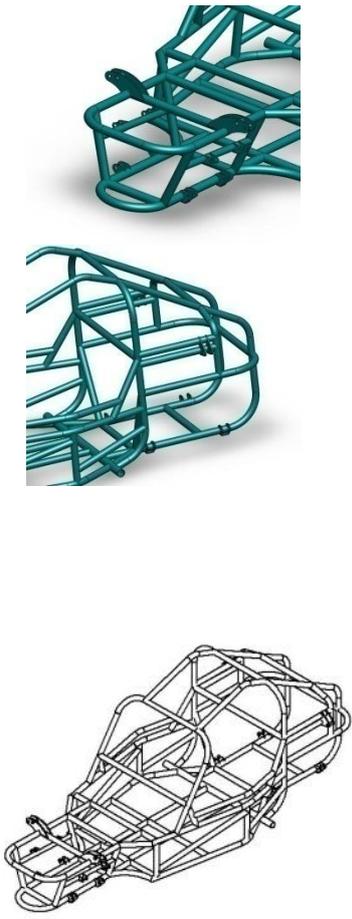
Bujes reductores al interior de rod ends.

Conos separadores a los extremos de rod ends.

Soportes de anclaje de barra de control para la regulación de divergencia de las ruedas en platina de calibre 3/16".

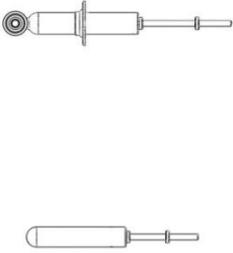
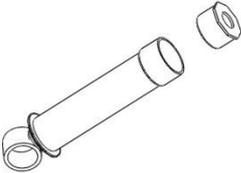
Soportes de anclaje de amortiguador por la parte inferior en platina de calibre 1/4".

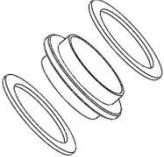
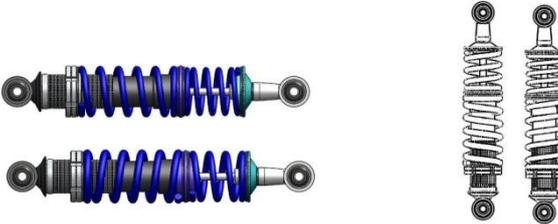
Soportes de anclaje de porta mangueta por la parte inferior en platina de calibre 1/4".

	<p>Chasis.</p> <p>Miembros estructurales en tubería redonda de 1*1/4", bajo las dimensiones de restricción impuestas por el diseño de las suspensiones delanteras y traseras.</p> <p>Soportes de anclaje de trapecios delanteros en platina de calibre de 1/4".</p> <p>Soportes de anclaje de trapecios delanteros superior e inferior en platina de calibre 3/16" y soldados a los miembros estructurales.</p> <p>Soportes de anclaje de los amortiguadores por la parte superior en platina de 1/4" y soldados a los miembros estructurales respectivamente.</p>
--	---

El despiece del amortiguador con cada una de sus partes y subconjuntos modelados y organizados en la tabla 14 a continuación.

Tabla 14. Despiece del conjunto de amortiguador.

<p>Para la adaptación del sistema de coilover, fué necesaria hacer algunas modificaciones en el amortiguador original:</p>	
 <p>The diagram shows two shock absorbers. The top one is a standard coilover shock absorber with a mounting plate and a bush. The bottom one is a modified 'capsule' type shock absorber, which is a simple cylindrical tube with a mounting eyelet at one end.</p>	<p>Amortiguador.</p> <p>Primeramente suprimir el plato asiento y el buje y convertirlo en amortiguador tipo capsula.</p>
 <p>The diagram shows a cylindrical shock absorber capsule. At the bottom, there is a flange or stop. At the top, there is a nut and a washer, which are used to secure the capsule to a mounting point.</p>	<p>Introducir el amortiguador en otro elemento, cumpliéndose con los dos requerimientos necesarios para adaptar el coilover.</p> <p>El primero el diámetro exterior lo más cercano a los 50 mm y el otro requisito es que se pueda soldar un tope que sirva de base para el cuerpo roscado. En la parte superior de éste debe ir una tuerca que asegure al amortiguador al interior de si mismo.</p> <p>Se adiciona en la parte inferior un cuerpo para contener el buje de anclaje.</p>
	<p>La manera más común y confiable de sujetar el amortiguador por sus extremos es por medio de bujes en ambos extremos, se necesita</p>

	<p>entonces de un elemento que se pueda roscar al vástago del amortiguador asegurando al plato de anclaje del resorte y que además se pueda ubicar allí el buje superior.</p>
	<p>Kit de coilovers.</p> <p>Tuerca de plato asiento de resorte.</p> <p>Contratuerca de seguridad.</p> <p>Cuerpo roscado determinador de altura.</p> <p>Plato anclaje de cabezal de resorte.</p> <p>Anillos amortiguadores en goma.</p>
	<p>Acople de espirales.</p> <p>Se necesita también el elemento de acople para el resorte auxiliar de menor carga, éste debe componerse de un núcleo resistente en acero y una superficie blanda en goma, para evitar el contacto entre metales.</p>
	

7. CONCLUSIONES

Se logró diseñar y fabricar un sistema de suspensión apropiado, que satisface las expectativas inicialmente propuestas.

Los resultados obtenidos demostraron que se puede regular los ángulos de las ruedas de manera fácil y precisa, los mecanismos encargados de hacerlo responden bien a esta labor de modo confiable y seguro, por consiguiente el sistema puede adaptarse tanto para trabajo en terrenos irregulares como asfálticos.

Se usaron materiales de excelente calidad, trabajados bajo los procesos mejor recomendados por los expertos de cada tema respectivamente. Se emplearon partes, de excelente calidad y en las mejores condiciones. Vale considerar que aunque se encontraron grandes virtudes en el sistema de suspensión implementado, también se encontraron limitaciones de carácter funcional, pero se le da el reconocimiento positivo por ser un prototipo un experimental.

Muchos de los cálculos realizados se hicieron con base a la experiencia y agilidad con el software de diseño, desconociendo que existía gran variedad de software especial de diseño de suspensiones que hubiesen facilitado un poco más en términos de eficiencia y avance a corto plazo.

8. RECOMENDACIONES

Es sumamente complejo, diseñar una suspensión bajo un chasis ya conformado, una conclusión bien importante y que puede servir de recomendaciones, iniciar el diseño de un vehículo desde los diseños de la suspensión y no al contrario, es mucho más fácil y con menos complicaciones.

Los medios y la tecnología usada para la implementación y el diseño mismo del vehículo, fueron inventados hace varias décadas en países extranjeros, aun así, la tarea de investigar y desarrollar fue difícil, los medios y los conocimientos son escasos en estos temas, la mejor herramienta de la investigación es la persistencia.

Aunque no seamos un país fabricante de vehículos, recomiendo a estudiantes, docentes e instituciones a apostarle un poco más a los desarrollos, como ejercicios académicos o lúdicos, espero que este trabajo sirva de algo, para motivar a los jóvenes estudiantes a estudiar y docentes para ver de una perspectiva diferente a los vehículos.

BIBLIOGRAFIA

1. F. Cuerda, M. Rico, J. Martínez, UIA. La Evolución Del Automóvil. (Online), (visitado 11 de diciembre de 2011). <http://questgarden.com/05/46/9/051112220250/process.htm>
2. Forgnone, Bob. My Family's Dune Buggies Over The Years: 50's, 60's, 70's. (Online), (USA), (visitado 12 de diciembre de 2011).<http://www.bob2000.com/dunebug.htm>
3. Urbietta Alberdi, Juan. Amortiguadores y Suspensión. Manuales de automoción, Campus Tecnológico Universidad De Navarra, ESPAÑA, 2003. Página 15
4. Nick. VW Rail Buggy. (Online), (USA), (visitado 10 de diciembre de 2012). <http://gavush.toplessrabbit.com/buggy/>
5. Gil Martinez, D. Hermógenes. Manual Del Automóvil, Reparación y Mantenimiento. Editorial CULTURA, S.A, Madrid, España, 2006. Página 911.
6. Luque, Pablo. Alvarez, Daniel. Vera, Carlos, Ingenieria Del Automovil, Sistemas y comportamiento dinámico. Editorial Spain Paraninfo, S.A, 1º edición, 2º reimpresión, Madrid, España, 2006. Página 121 - 137.
7. Meganeboy Dani, Modelos De Suspensión Mecánica (online) (ESP). (visitado, 13 dic 2012) <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>
8. Alarcón Vela, José Luis. Maniobrabilidad: descripción básica...pero ambigua (online) (MEX), noviembre 2008. (Visitado, 13 dic. 2012).<http://impreso.milenio.com/node/7108515>.
9. Albert Martí Parera, sistemas de seguridad y confort en vehículos boixareu editores 2000 Barcelona P 15
10. Meganeboy Dani, Suspensión (online) (ESP), (visitado, 5 de agosto de 2012) <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension1.htm>
11. Turbomax, Dinámica De Un Vehículo Al Frenar (online) (ESP), (visitado, 17 de diciembre de 2012). <http://www.tubomaxtienda.com/cat.php?id=309004>
12. Mayz Acosta, Edgar, Conocimientos Básicos Del Automóvil (online) (ESP), (visitado 17 de diciembre de 2012).

<http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-39.html>

13. Monroe Shocks, What Struts Do (online) (USA), (visitado el 5 de febrero de 2013).
<http://www.monroe.com.au/trade-corner/tech-info/struts/what-struts-do.html>
14. KSC Engineers, Silent Block Bushes, (online) (USA), (visitado el 6 de febrero de 2013).
<http://kscengineers.com/rubber.htm>
15. ITA, Información Técnica Automotriz, Articulaciones MOOG (online) (COSTA RICA), (visitado, 6 de febrero de 2013).
<http://www.itacr.com/serviceLinkMoog/TerminalesMoog.html>
16. AccentBearings, AlinabalRodEnds, (online) (USA), (visitado, 6 de febrero de 2013).
<http://www.accentbearing.com/bearings/rod%20ends/alinabal-rod-ends.htm>
17. Tatum Motor Sport, Uniball, (online) (USA), (visitado el 6 de febrero de 2013).
http://www.tatummotorsports.com/product_info.php?cPath=37&products_id=220
18. Tire Rack, Wheel Construction, (online) (USA), (visitado el 9 de febrero de 2013)
<http://www.tirerackespanol.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=90&ln=en>
19. LEAN, Jhon, Rim Offset Information, (online) (USA) 2009, (visitado el 9 de febrero de 2013)
<http://undercoverproject.blogspot.com/2009/11/rim-offset-information.html>
20. Goodyear, Leyendo El Costado De Un Neumático, (online) (COL), (visitado el 10 de abril de 2013)
http://www.goodyear.com.co/tire_know/tire_learn/
21. Meganeboy Dani, Cotas De reglaje De La Dirección (online) (ESP), (visitado, 20 de abril de 2013)
<http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-geometria.htm>

22. Luque, Pablo. Alvarez, Daniel. Vera, Carlos, Ingeniería Del Automovil, Sistemas y comportamiento dinámico. Editorial Spain Paraninfo, S.A, 1º edición, 2º reimpresión, Madrid, España, 2006. Página 238 - 242.
23. Rios, Orlando, La Suspensión Automóviles De Competición Editorial CEAC, S.A, edición actualizada, Barcelona, España, 1998. Página 31 - 41.
24. Miliken, William and Douglas, Race Car Vehicles Dynamic, SAE International, 1º edición, USA 1994, Paginas 237 – 265.24.

ANEXOS

Anexo 1. Diseño y modelación de los componentes.

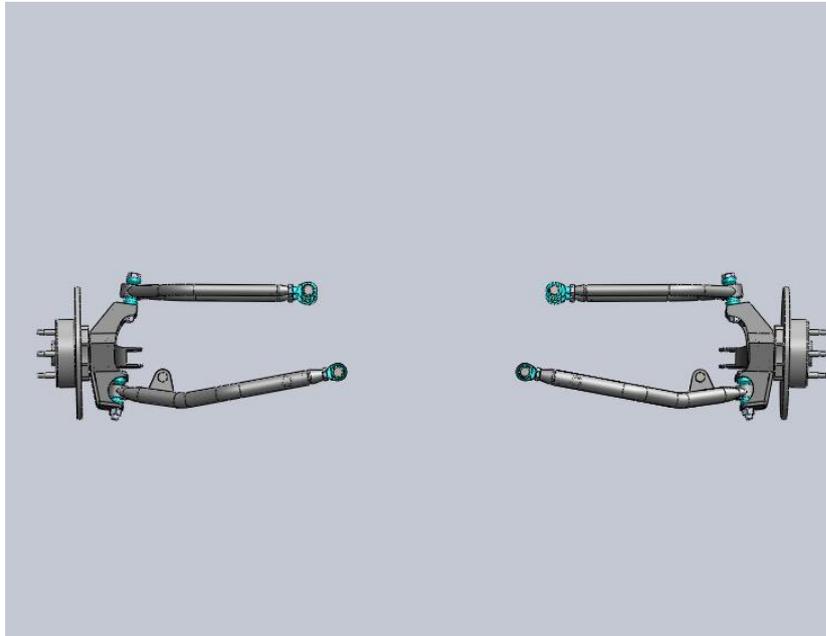


Figura 50. Trapecios delanteros desde la vista frontal.

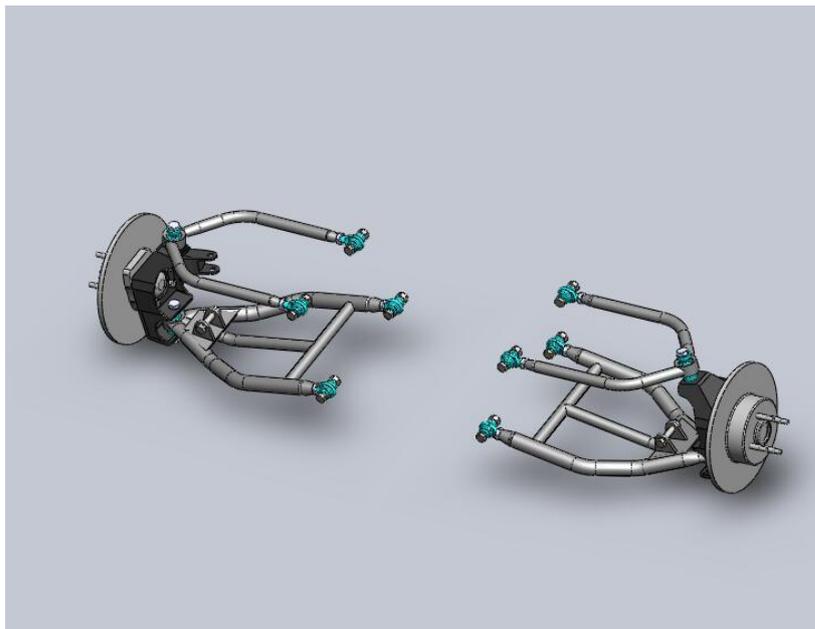


Figura 51. Trapecios delanteros desde la vista isometrica.

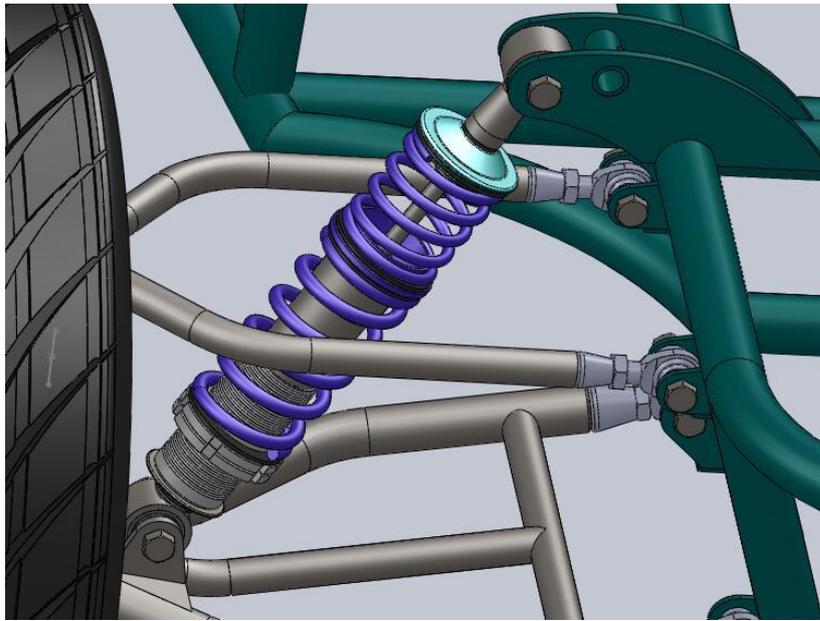


Figura 52. Ensamble de conjunto de suspensión delantera vista isométrica.

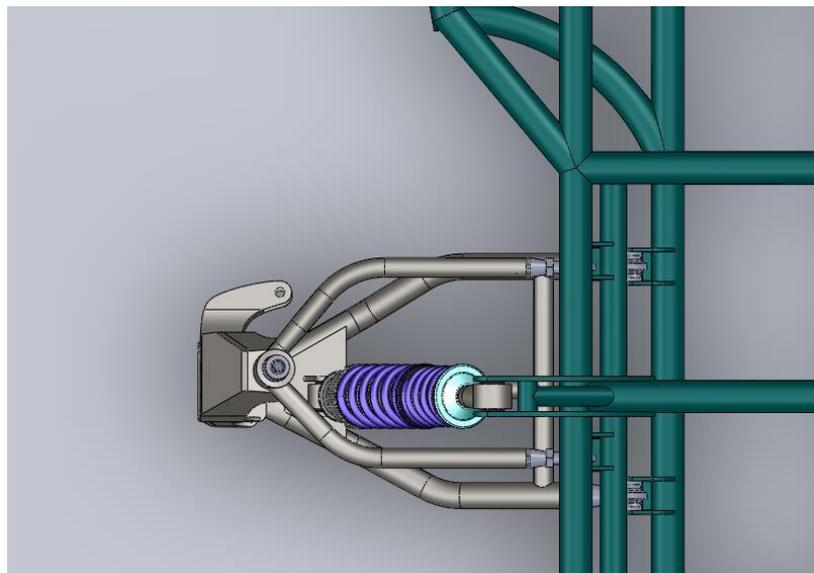


Figura 53. Ensamble de conjunto de suspensión delantera vista superior.

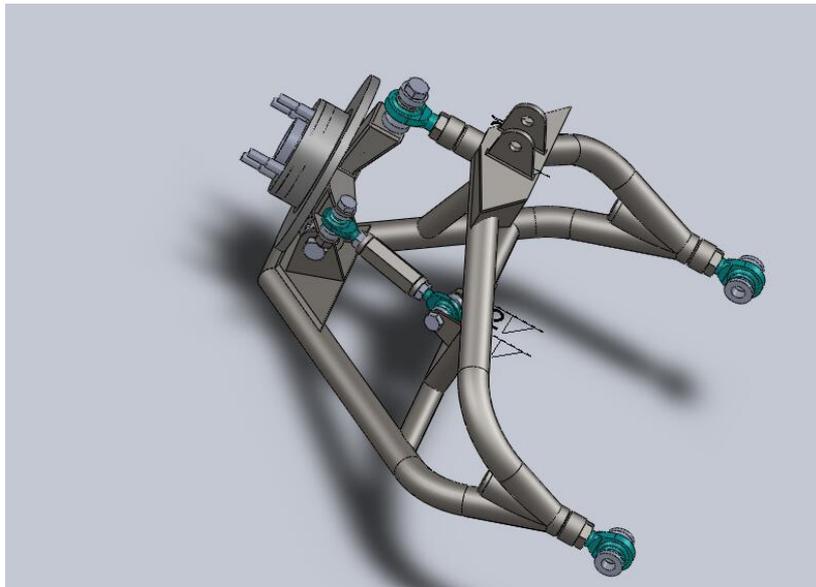


Figura 54. Trapecio derecho de la suspensión trasera.

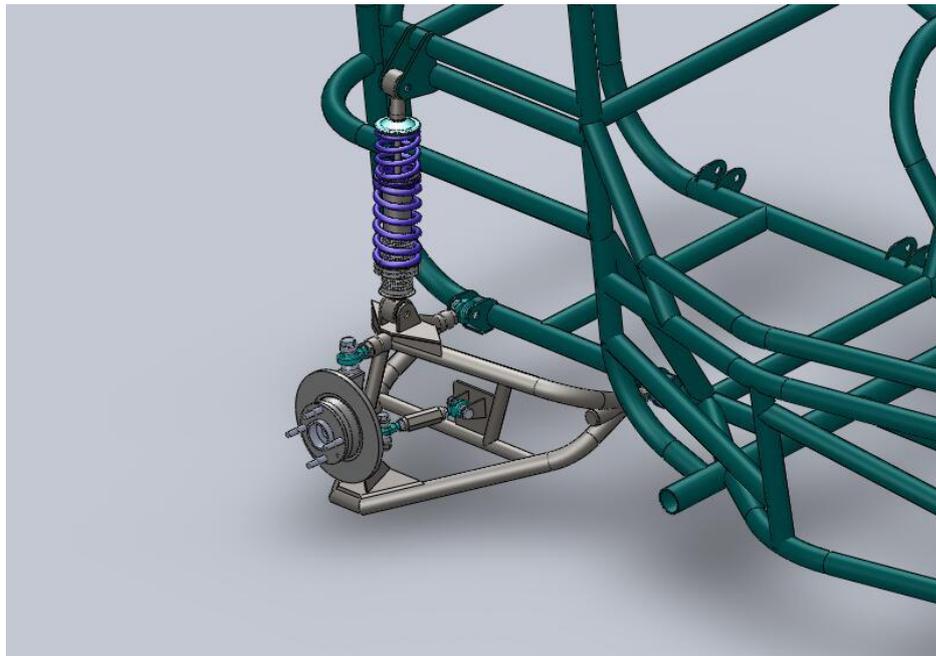


Figura 55. Suspensión trasera derecha.

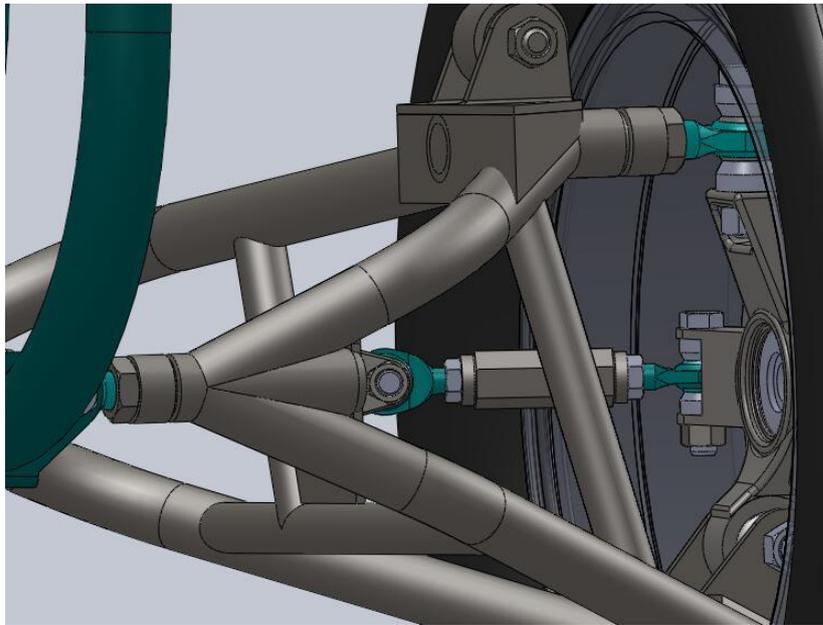


Figura 56. Suspensión trasera izquierda en detalle.

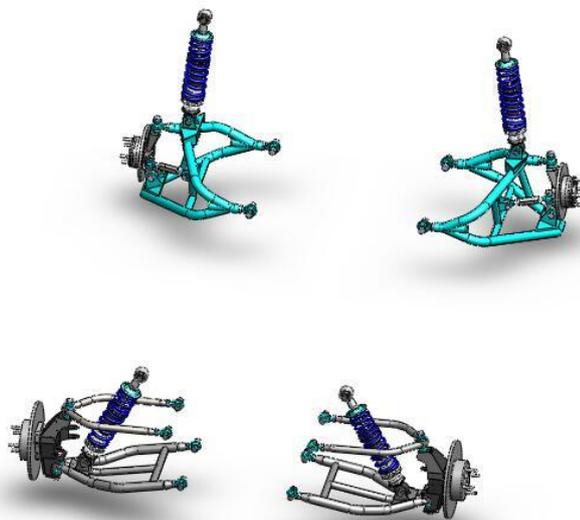


Figura 57. Conjunto de suspensión trasera y delantera.

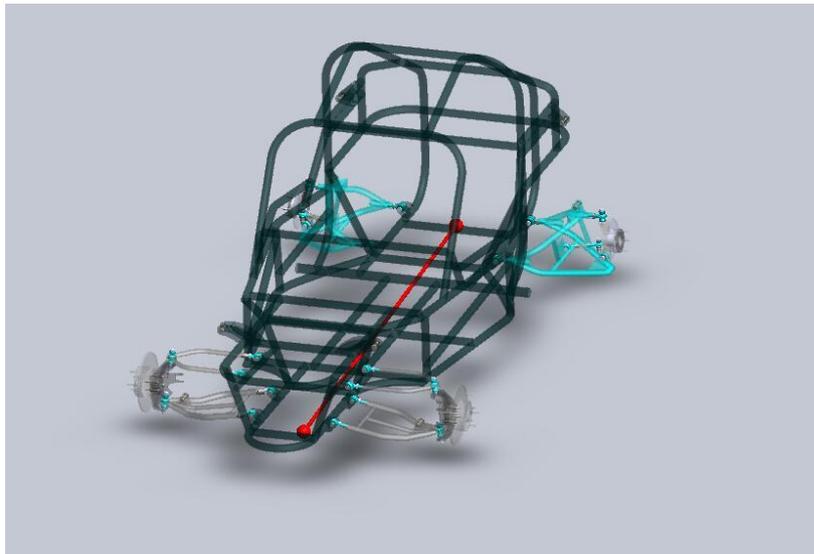


Figura 58. Eje de balanceo.

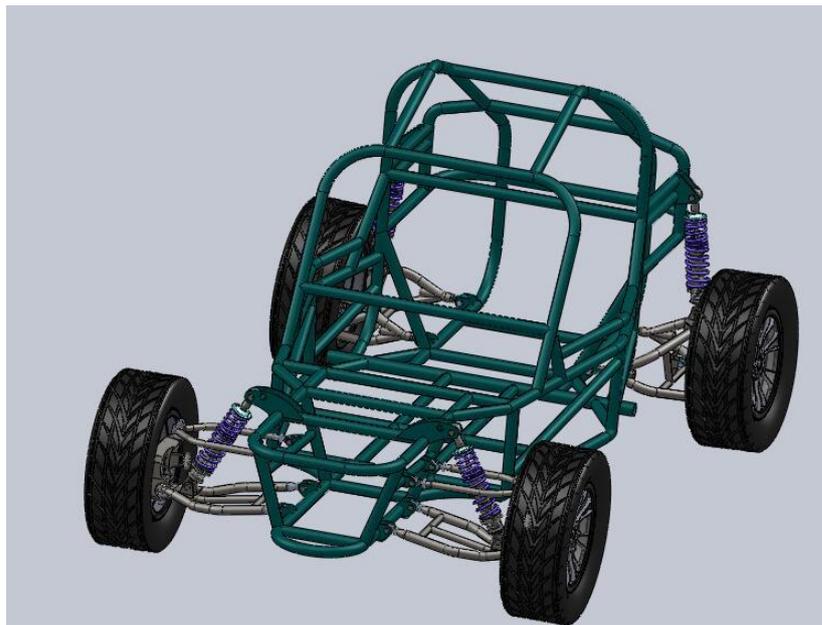


Figura 59. Resultado final del diseño.

Anexo 2. Paso a paso de implementación.



Figura 60. Porta mangueta trasero en proceso.



Figura 61. Proceso de revenido.

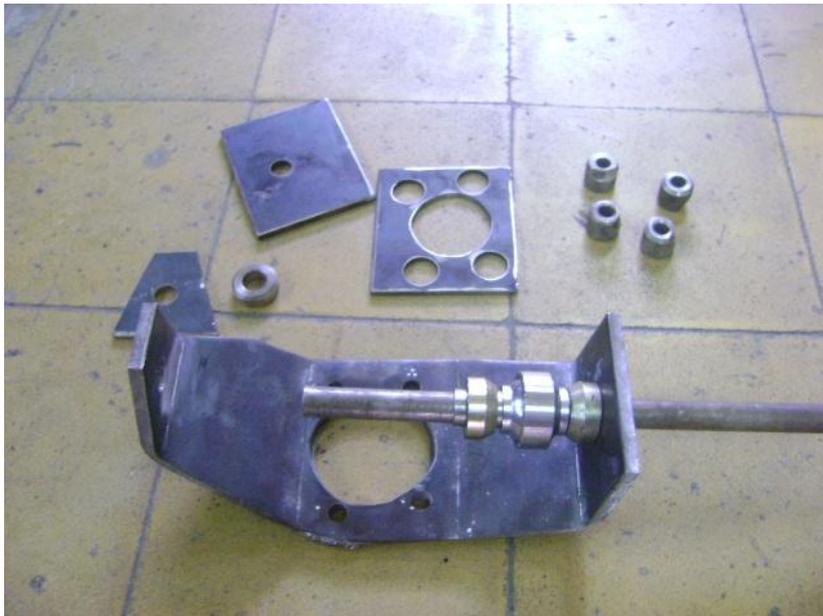


Figura 62. Platina, base de porta mangueta delantero.



Figura 63. Ensayo de la platina de porta mangueta en el disco de freno.



Figura 64. Porta manguetas delanteros antes de soldarse y pulirse.



Figura 65. Adaptación del brazo pivote de dirección al porta mangueta.



Figura 66. Chasis antes de modificarse.



Figura 67. Chasis cortado, listo para empezar a modificarse.



Figura 68. Matriz par ensamble de la parte trasera del chasis.



Figura 69. Matriz de ensamble para la jaula trasera del chasis.



Figura 70. Matriz de ensamble para el trapecio trasero.



Figura 71. Matriz de ensamble para el trapecio inferior delantero.



Figura 72. Ensamble de los soportes de trapecios inferiores al chasis.



Figura 73. Matriz de ensamble de los soportes de trapecios al chasis.



Figura 74. Ensamble de los soportes de trapecios inferiores.



Figura 75. Ensamble de las soportes de trapecios superiores al chasis.



Figura 76. Ensamble de los soportes de trapecios traseros al chasis.



Figura77. Kit de coil overs.



Figura 78. Pruebas de ensamble de trapecios delanteros.



Figura 79. Ensamble de suspensión delantera.



Figura 80. Ensamble de suspensión delantera.



Figura 81. Resultado del prototipo.