



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
INGENIERIA MECANICA-INGENIERIA AUTOMOTRIZ

DISEÑO DE SUSPENSION MACPHERSON PARA VEHICULO TODO
TERRENO

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA: José Neftali Castellanos López

TUTOR PRINCIPAL: Marcelo López Parra

Facultad de Ingeniería

CIUDAD DE MÉXICO. **ENERO** 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Indice

Núm.	Tema	Pág.
	<i>Resumen</i>	1
	<i>Abstract</i>	2
	<i>Introducción</i>	3
	<i>Nomenclatura</i>	4
	<i>Objetivos</i>	5
	<i>Hipótesis</i>	5
	<i>Antecedentes</i>	6,7,8,9,10,11,12,13
	<i>Marco teórico</i>	14,15,16
	<i>Estado del arte</i>	17
	<i>Definición del problema</i>	18
	<i>Justificación</i>	19
	<i>Metodología</i>	20

CAPITULO I

1.0	Ángulos fundamentales.....	21,22
1.1	Angulo caster.....	22
1.1.1	<i>Convergencia</i>	23
1.1.3	<i>Masa no suspendida</i>	24
1.1.4	<i>Masa suspendida</i>	25
1.1.5	<i>Cuadro Sinóptico de amortiguamiento</i>	26
1.1.6	<i>Diagrama de flujo, pasos para resolver el problema de diseño</i>	27
1.1.7	<i>Especificaciones de diseño y tabla</i>	28,29
1.1.8	<i>Especificaciones finales</i>	30
1.1.9	<i>Alternativas de Solución</i>	31, 32, 33 ,34

CAPITULO II

2.0 Modelado, selección de alternativas	35,36,37
2.1 Diseño conceptual.....	38,39
2.1.1 Partes y características de los elementos de la suspensión.....	40
2.1.2 Dibujo del diseño conceptual final.....	41,42
2.1.3 Diseño de detalle.....	43
2.1.4 Diseño de detalle de los elementos de la suspensión.....	44
2.1.5 placa para sujetar suspensión y simulación de esfuerzos.....	44
2.1.6 Diseño de poste superior u horquilla superior con placa y simulación de esfuerzos.....	45
2.1.6 Diseño y simulación de esfuerzos de disco.....	46
2.1.8 Diseño y propuesta de solución de horquilla inferior.....	47,48
2.1.9 Simulación de esfuerzos de von mises en horquilla inferior.....	48,49
2.2 Análisis de esfuerzos y desplazamiento en horquilla.....	49
2.2.1 Diseño de detalle y dibujo de chasis.....	50
2.2.2 Chasis del vehículo todo terreno.....	51
2.2.3 Diseño de suspensión MacPherson.....	51
2.2.4 Diseño y prototipos de chasis para suspensión MacPherson.....	52
2.2.5 Chasis y horquilla superior de la suspensión.....	52,53
2.2.6 Diseño y prototipo final en solids Works de la suspensión MacPherson.....	53,54
2.2.7 Prototipo de la horquilla inferior para suspensión.....	54
2.2.8 Materiales para la construcción del prototipo.....	55
2.2.9 Determinación de la ecuación para el diseño de suspensión.....	56,57,58,59,60
2.3 Calculo de la constante de rigidez para la suspensión paralelogramo deformable.....	61

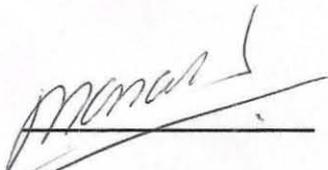
2.3.1	Calculo de la constante de rigidez para la suspensión MacPherson.....	61
2.3.2	Validación de la ecuación en Matlab Simulink.....	62
2.3.3	Solucion en simulink.....	63
2.3.4	Respuesta y graficas del modelo matemático en simulink.....	64,65,66,67,68,69,70,71
2.3.5	Resultados.....	

CAPITULO III

3.0	Fabricación del disco de agarre de la suspensión.....	73
3.1	Comparación de los elementos de sujeción para soportar la suspensión.....	74
3.1.1	Elementos de la horquilla de la suspensión y fabricación de la placa metálica.....	75,76,77
3.1.2	Ajuste de resorte del amortiguador.....	78,79
3.1.3	Instalación de dirección al chasis.....	79,80
3.1.4	Ensamble de disco de agarre y horquilla.....	80
3.1.5	Parte superior soldada al chasis mediante tubos formando una horquilla superior.....	81,82
	Conclusiones.....	83
	Referencias.....	84

Tesis de Maestría:

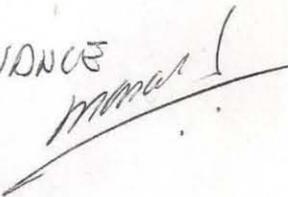
Diseño de suspensión Mac Pherson para vehículo todo terreno.


Visto Bueno .

Tutor: Marcelo López Parra


Alumno:

José Neftali Castellanos López

100% AVANCE


Resumen:

En el capítulo uno se dan a conocer los objetivos, hipótesis, antecedentes, el marco teórico y la metodología, en los antecedentes se menciona el funcionamiento de diferentes suspensiones que nos sirve para resolver el problema de diseño para plantear el problema se toma en cuenta los conceptos de una suspensión de tipo independiente que son utilizados para resolver el problema de diseño, al observar el chasis del todo terreno ya tiene una suspensión de paralelogramo deformable instalada. En esta tesis se pretende diseñar otro tipo de suspensión para el mismo vehículo y se elige una de tipo MacPherson debido a sus características se mejorara el confort en el interior del vehículo, se describe la metodología de diseño utilizada que es la propuesta por Ulrich Eppinger se siguen los pasos de esta metodología a lo largo del trabajo y se obtiene una solución al diseñar.

En el segundo capítulo se hace el modelado de las partes de la suspensión de paralelogramo deformable, se dibuja cada una de las piezas, se hace un ensamble y se llega a una alternativa para el diseño de detalle de la suspensión MacPherson la cual de la misma forma se dibuja cada parte de la suspensión utilizando las especificaciones correctas, es necesario seleccionar los tipos de materiales y conocer sus características físicas, una parte importante es conocer las dimensiones del bastidor en este caso la parte delantera se dibuja se toma su especificación y se modela en el programa Solids works para comprobar que cada parte está diseñada y que coincide con la especificación del bastidor, se hace una simulación de esfuerzos de von Mises en Solids Works. Se realiza un plano de ensamble de la suspensión y se selecciona la alternativa de solución. Se valida el modelo matemático de una suspensión en matlab simulink, en este se obtiene una respuesta y se analizan sus gráficas,

En el tercer capítulo se describe como se realiza el prototipo de la suspensión utilizando los planos dibujados en CAD y siguiendo las especificaciones se realiza cada uno de los elementos de la suspensión, en el proceso de fabricación de las partes de la suspensión se presentaron algunos problemas que se resolvieron en el taller y se logra fabricar un prototipo final que puede ser utilizado para realizar futuras pruebas.

Abstract

In chapter one we present the objectives, hypotheses, background, theoretical framework and methodology, in the background we mention the operation of different suspensions that serves us to solve the problem of design to pose the problem is taken into account the Concepts of an independent type suspension that are used to solve the design problem, when observing the off-road chassis already has a deformable parallelogram suspension installed. In this thesis is intended to design another type of suspension for the same vehicle and is chosen One of MacPherson type due to its characteristics will improve the comfort inside the vehicle, describes the design methodology used that is proposed by Ulrich Eppinger follow the steps of this methodology throughout the work and you get a solution to To design.

In the second chapter the modeling of the parts of the deformable parallelogram suspension is done, each piece is drawn, an assembly is made and an alternative is obtained for the detailed design of the MacPherson suspension, which of the same Shape is drawn each part of the suspension using the correct specifications, it is necessary to select the types of materials and know their physical characteristics, an important part is to know the dimensions of the frame in this case the front is drawn is taken its specification and is modeled In the Solids Works program to check that each part is designed and that it matches the frame specification, a simulation of von Mises efforts is made in Solids Works. A plane of assembly of the suspension is realized and the solution alternative is selected. It validates the mathematical model of a suspension in matlab simulink, in this one obtains a response and analyzes its graphs,

In the third chapter describes how to make the prototype of the suspension using the drawings drawn in CAD and following the specifications are made each of the elements of the suspension, in the manufacturing process of the suspension parts there were some problems Which were solved in the workshop and a final prototype can be manufactured that can be used for future tests.

INTRODUCCION

En un principio cuando se construyó la primera suspensión los automóviles no utilizaban una suspensión independiente se empezó a utilizar en carruajes estos utilizaban dos ejes rígidos unidos al chasis mediante ballestas longitudinales o transversales.

A medida que las suspensiones evolucionaban y se hacían más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se debe a que las ruedas de gran diámetro reducían el efecto de las irregularidades del camino; y las ruedas pequeñas las registraban más, porque entraban en las irregularidades del terreno en mayor proporción.

Actualmente existen básicamente tres tipos de suspensión que son Independiente, que permite que cada rueda asimile ondulaciones o accidentes del piso sin transferirlas a las otras estas son semi independiente, en la cual parte de los movimientos se traspasan de una rueda a la otra. Eje rígido, donde todos los movimientos de una rueda se transmiten a la otra.

La suspensión de un vehículo tiene como misión absorber las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, manteniendo a la vez el contacto de las ruedas con el pavimento esto proporciona confort, y seguridad de marcha.

La suspensión MacPherson de tipo independiente es uno de los sistemas más empleados en el eje delantero. Actualmente es de la más utilizada. Este sistema solamente lleva un brazo oscilante, unido por un extremo al bastidor mediante cojinetes elásticos, y por el otro extremo a la mangueta a través de la rótula. La mangueta por su parte superior está unida al amortiguador vertical. Esta está dotada de una plataforma en la cual se apoya el muelle que lo rodea y, por el extremo superior, se apoyan la carrocería en el conjunto muelle-amortiguador.

En este trabajo se pretende diseñar una suspensión MacPherson utilizando la metodología de Ulrich Eppinger a lo largo de los capítulos se identifica las necesidades, obtienen especificaciones, selecciona alternativas, se realiza el modelado, se obtiene la ecuación diferencial de la suspensión que será validado y se utilizan estos resultados para construir un prototipo final que será ensamblado en el chasis tubular, el cual al inicio funcionaba con una suspensión de paralelogramo deformable el cambio a otro tipo de suspensión es con el propósito de obtener mejor estabilidad y confort .

Nomenclatura:	
G:	módulo de elasticidad transversal
D:	diámetro del hilo de las espiras.
D:	diámetro medio del muelle
Na:	número de espiras
m_s :	masa suspendida (masa del vehículo)
K_s :	constante de rigidez
K_t :	constante de rigidez de la llanta
c :	coeficiente de amortiguación de la suspensión
f .	Frecuencia
A:	Factor de amplitud
ω_n :	Frecuencia natural
F :	fuerza genérica y función genérica
Ff :	fuerza de fricción que actúa sobre la masa no suspendida
m :	masa genérica
m_t :	masa no suspendida
m_s :	masa suspendida
t :	tiempo t
x_0 :	Posición o desplazamiento
X_s :	desplazamiento de un cuarto de la masa del chasis
X_t :	desplazamiento de la llanta
X_p :	Las irregularidades del camino
ξ :	factor de amortiguamiento
v_0 :	Velocidad inicial
\dot{x}_i :	Velocidad de desplazamiento del extremo i del amortiguador.
x(t) :	perfil de la carretera
$x_1(t)$:	movimiento vertical de la rueda
$x_2(t)$:	movimiento vertical de la carrocería del vehículo
θ_{max} :	Amplitud de respuesta máxima
$\vec{F}_{amortiguador}$ =:	fuerza ejercida por el amortiguador
F_c :	Fuerza del amortiguador
F_{ks} :	Fuerza del resorte
Struts:	amortiguador utilizado en suspensión Macpherson

Tabla 1. Nomenclatura utilizada en la tesis.

Objetivos:

- Diseñar una suspensión tipo MacPherson para un vehículo buggy todo terreno que cumpla con el diseño adecuado.
- sistematizar el proceso de diseño de una suspensión tipo MacPherson.
- Validar el modelo matemático de la suspensión y graficar el comportamiento al variar sus características.

Hipótesis

Existirá mayor confort en un vehículo todo terreno al utilizar una suspensión MacPherson cuando al variar las constantes de rigidez y amortiguamiento a diferentes valores en el modelo matemático no aumente la adherencia de la llanta.

CAPITULO I

Antecedentes

Tipos de suspensión

En la actualidad las suspensiones que se emplean en los automóviles convencionales (con cuatro ruedas y dos ejes) son muy variadas y todas están basadas en unos pocos sistemas diferenciados. Estas se pueden distinguir según su funcionalidad.

Existen básicamente tres tipos:

- a) Independiente, que permite que cada rueda asimile ondulaciones o accidentes del piso sin transferirlas a las otras.
- b) Semi independiente, en la cual parte de los movimientos se traspasan de una rueda a la otra.
- c) Eje rígido, donde todos los movimientos de una rueda se transmiten a la otra.

Función de la suspensión

La suspensión de un vehículo tiene como misión absorber las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, manteniendo a la vez el contacto de las ruedas con el pavimento.

Esto va a proporcionar fundamentalmente dos cosas:

- I. Confort en marcha para los pasajeros, absorbiendo las aceleraciones verticales que provocan las irregularidades del firme.
- II. Seguridad de marcha, pues es necesario que las ruedas mantengan la adherencia con el suelo ya que de él obtenemos las reacciones para avanzar y girar el vehículo.

Para lograr dicha finalidad estos componentes deben ir entre el bastidor y los ejes donde van las ruedas. Denominamos suspensión al conjunto de elementos que se interponen entre los órganos suspendidos y no suspendidos. Existen otros elementos con misión amortiguadora, como los neumáticos y los asientos. Los elementos de la suspensión han de ser lo suficientemente resistentes y elásticos para aguantar las cargas a que se ven sometidos sin que se produzcan deformaciones permanentes ni roturas y también para que el vehículo no pierda adherencia con el suelo.

Suspensión hidráulica:

La suspensión hidráulica básicamente lo que hace es elevar y bajar el coche de una forma notable, creando un efecto de salto, ya sea lateral, frontal o trasero. Suele realizarse en Turing, mezcla, y en vehículos llevado al extremo ya que supone un cierto atractivo en este estilo de tuning. Otro caso muy vistoso de suspensión hidráulica en acción son los Lowriders, se los baja lo más cercano posible al suelo, y hasta se llegan a hacer competencias de saltos con ellos.



1. 0 imágenes de una suspensión hidráulica

Partes de una suspensión:

Resorte: Es uno de los principales componentes para absorber el impacto inicial de las irregularidades del piso. Después de que el resorte se comprime sufre el efecto contrario y comienza a extenderse. Enseguida inicia un movimiento oscilante, asegurando el confort, pero sin mucha seguridad. Esto vale para cualquier tipo de resortes, ya sean helicoidales (espirales) o de flejes (ballestas).

Amortiguador: Su función es eliminar las constantes vibraciones de los resortes. Los primeros eran de acción simple: operaban apenas en un sentido y,

por eso, no ofrecían resistencia a la compresión. El amortiguador moderno, de doble acción, controla los dos movimientos del resorte: compresión y expansión. En la fase de compresión actúa como auxiliar del resorte, dividiendo con él la intensidad del choque. Eso sucede porque la presión que se ejerce dentro del amortiguador aumenta conforme sus cámaras intercambian el fluido hidráulico: con el impacto, la parte externa de la pieza desciende o baja y presiona una cámara repleta de aceite.

Enseguida, a través de válvulas y orificios, parte de ese fluido se transfiere a un segundo compartimiento que, a su vez, lo pasa a un tercero. Estos sucesivos cambios impiden que el resorte vuelva a su posición original. Ya en la extensión, o rebote, la serie de transferencias de aceite entre las cámaras sucede en sentido contrario. Con el amortiguador estirado, el resorte es empujado al estado de reposo, eliminando las oscilaciones.

Tipos de suspensión independiente

Los primeros automóviles tenían la transmisión a las ruedas traseras, y el eje consistía en una unión rígida que unía ambas ruedas. Hoy en día se usan ballestas para amortiguar el movimiento del eje, un sistema que sólo se usa en algunos vehículos industriales.

La suspensión tipo MacPherson forma un mecanismo de tipo triángulo articulado formado por el brazo inferior, el conjunto resorte-amortiguador y el propio chasis. El lado del triángulo que corresponde al resorte-amortiguador es de compresión libre por lo que sólo tiene un único grado de libertad: La tracción o compresión de los elementos elásticos y amortiguador. Al transmitirse a través del resorte-amortiguador todos los esfuerzos al chasis es necesario un dimensionado más rígido de la carrocería en la zona de apoyo de la placa de fijación. Como elementos complementarios a esta suspensión se encuentra la barra estabilizadora unida al brazo inferior mediante una bieleta y al bastidor mediante un casquillo, y en este caso un tirante de avance.

Actualmente existen múltiples variantes en cuanto a la sustitución del tirante inferior que pueden ser realizadas por un triángulo inferior, doble bieleta transversal con tirante longitudinal, etc. A estos últimos sistemas también se les ha denominado "falsa" MacPherson, aunque en cualquier caso todos ellos utilizan el amortiguador como elemento de guía y mantienen la estructura de triángulo articulado. La suspensión clásica MacPherson dispone de la barra estabilizadora como tirante longitudinal, mientras que las denominadas "falsa" MacPherson ya absorben los esfuerzos longitudinales con la propia disposición del anclaje del elemento que sustituye al brazo inferior.

Al sustituir el brazo inferior por un triángulo que va unido a la mangueta mediante una rótula y a la cuña del motor mediante dos casquillos C y D.

El resto de los componentes es similar al de una suspensión MacPherson convencional.

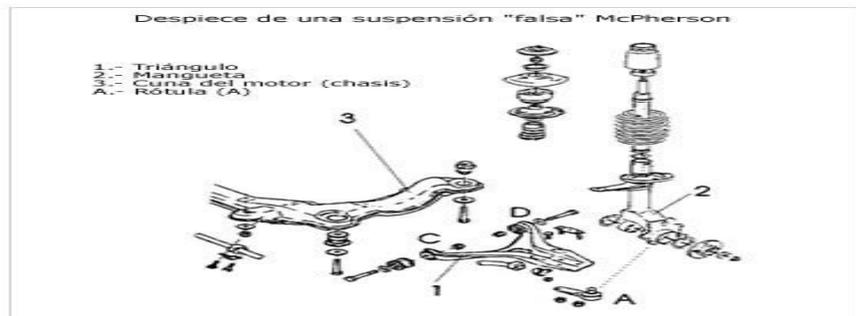


Fig 1.1 despiece de una suspensión falsa MacPherson

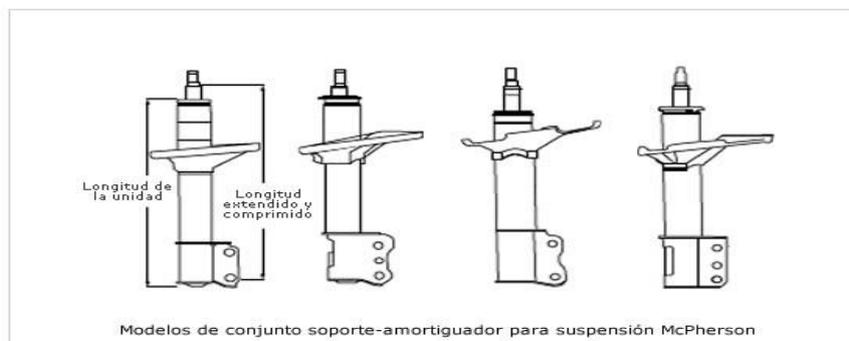


Fig 1.1.2 conjunto Soporte Amortiguador MacPherson

Como elementos de unión entre rueda y bastidor, la suspensión MacPherson necesita además del amortiguador— articulaciones en la parte inferior del buje. La versión original tenía un brazo transversal y la barra estabilizadora en función de tirante longitudinal. En versiones posteriores se reemplaza la estabilizadora por otro brazo, o ambos brazos por un triángulo. En ruedas que no son motrices, hay versiones de la suspensión MacPherson con dos brazos transversales y uno oblicuo o longitudinal.

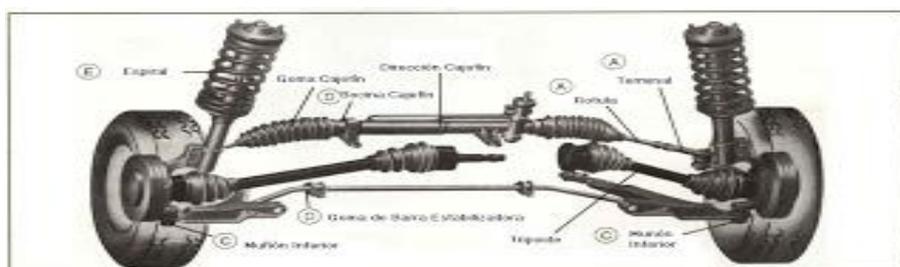


Fig 1.1.3 suspensión MacPherson con barra estabilizadora

Este sistema es uno de los más utilizados en el tren delantero aunque se puede montar igualmente en el trasero. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el costo de producción y el poco espacio que ocupa. Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y resortes, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.

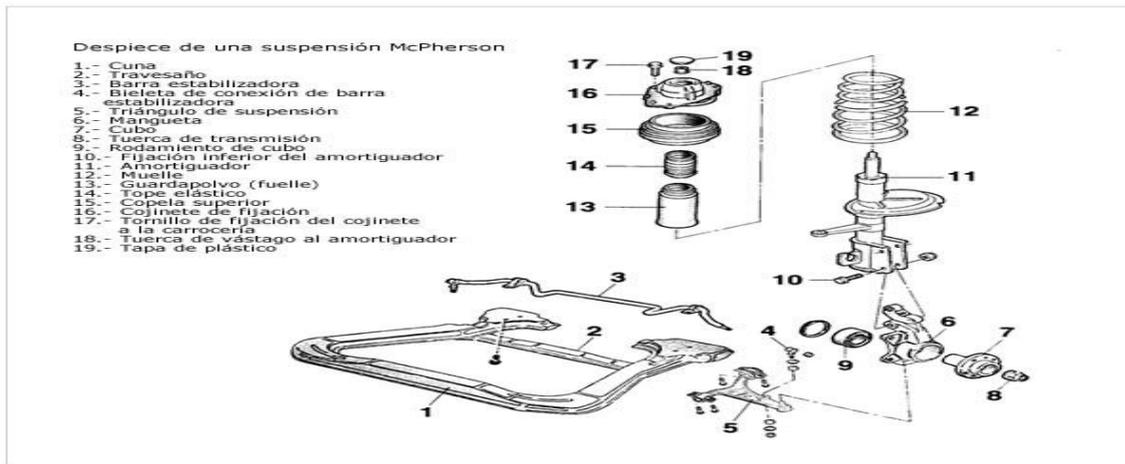


Fig 1.1.4 partes de la suspensión MacPherson

La suspensión MacPherson con brazo inferior y barra estabilizadora: La mangueta de la rueda va unida al cubo permitiendo el giro de éste mediante un rodamiento. A su vez la mangueta va unida al bastidor a través de dos elementos característicos de toda suspensión MacPherson, el brazo inferior que va unido a la mangueta mediante una unión elástica o rótula y unido al bastidor mediante un casquillo.

El amortiguador va anclado de forma fija a la parte superior de la mangueta y el resorte es concéntrico al amortiguador y está sujeto mediante dos copelas superior e inferior. El amortiguador está unido al bastidor por su parte superior mediante un cojinete de agujas y una placa de fijación. En las ruedas delanteras se hace necesaria la existencia de este cojinete axial ya que el amortiguador al ser solidario a la mangueta gira con ésta al actuar la dirección.

Paralelogramo deformable: Sistema de suspensión en el que la unión entre la rueda y la carrocería son elementos transversales, colocados en diferentes planos. Toma su nombre de los primeros sistemas de este tipo, en los que hay dos elementos superpuestos paralelos que, junto con la rueda y la carrocería, forman aproximadamente la figura de un paralelogramo. Al moverse la rueda con relación a la carrocería, ese paralelogramo se deforma. No todos los paralelogramos deformables son tan simples, los hay con varios elementos puede ser hasta cinco y no todos ellos transversales, también alguno oblicuo. El

paralelogramo deformable es fácilmente visible en la suspensión delantera de un auto de Fórmula1.

El paralelogramo deformable más común inicialmente tenía como elementos de unión dos triángulos superpuestos. Hay variantes de este sistema en el que se reemplaza un triángulo por otro elemento de unión; en esta suspensión, el plano inferior lo forman un brazo transversal que hace de soporte para el muelle y un brazo casi longitudinal. En esta suspensión hay un brazo curvo como elemento superior y un trapecio en el plano inferior. Esta suspensión junto con la MacPherson es la más utilizada en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero. También se denomina: suspensión por trapecio articulado y suspensión de triángulos superpuestos.

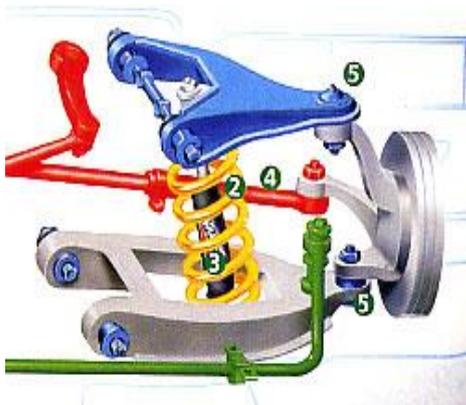


Fig 1.1.5 Suspensión de paralelogramo deformable

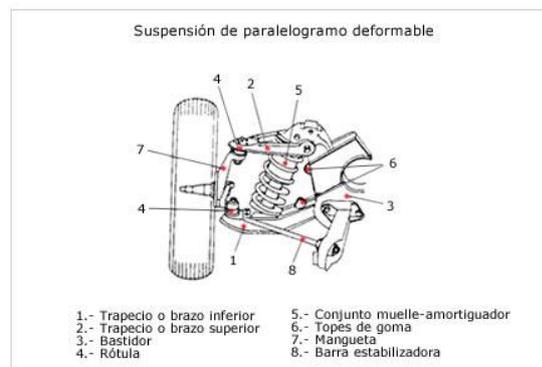


Fig 1.1.6 suspensión de paralelogramo deformable y sus partes

Rueda tirada: Tipo de suspensión en el que el elemento de unión entre la rueda y el bastidor está articulado por delante del eje.

Suspensión rígida

Suspensiones rígidas: Esta suspensión tiene unidas las ruedas mediante un eje rígido formando un conjunto. El peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera. En estos últimos el grupo cónico sube y baja en las oscilaciones como parte integradora del eje rígido. Como principal ventaja, los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses, camiones y vehículos todo terreno. En un modelo de eje rígido actuando de eje propulsor el eje está constituido por una

caja que contiene el mecanismo diferencial y por los tubos que contienen los palieres. El eje rígido se apoya contra el bastidor mediante ballestas que hacen de elemento elástico transmitiendo las oscilaciones y completan el conjunto los amortiguadores.



Fig. 1.1.7 suspensión de ballestas

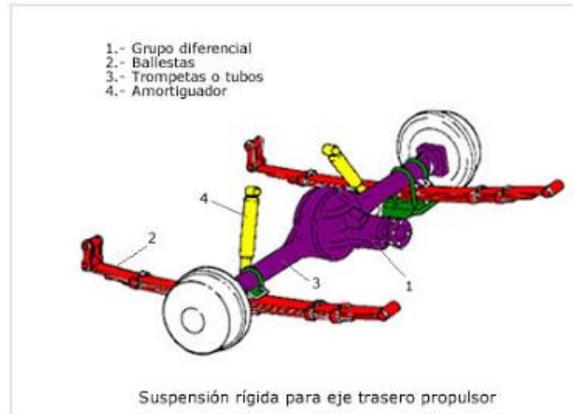


Fig. 1.1.8 partes de una suspensión de ballestas

Suspensión semirrígida: Estas suspensiones son muy parecidas a las anteriores su diferencia principal es que las ruedas están unidas entre sí como en el eje rígido pero transmitiendo de una forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida total tampoco es independiente. La función motriz se separa de la función de suspensión el diferencial se une al bastidor, no es soportado por la suspensión.

Suspensión con eje "De Dion": En ella las ruedas van unidas mediante soportes articulados al grupo diferencial, que en la suspensión con eje De Dion es parte de la masa suspendida, es decir, va anclado al bastidor del automóvil. Bajo este aspecto se transmite el giro a las ruedas a través de dos semiejes (palieres) como en las suspensiones independientes. A su vez ambas ruedas están unidas entre sí mediante un tubo De Dion que las ancla de forma rígida permitiendo a la suspensión deslizamientos longitudinales. Este sistema tiene la ventaja frente al eje rígido de que se disminuye la masa no suspendida debido al poco peso del eje De Dion y al anclaje del grupo diferencial al bastidor y mantiene los parámetros de la rueda prácticamente constantes como los ejes rígidos gracias al anclaje rígido del tubo.

La suspensión posee además elementos elásticos de tipo resorte y suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos longitudinales.

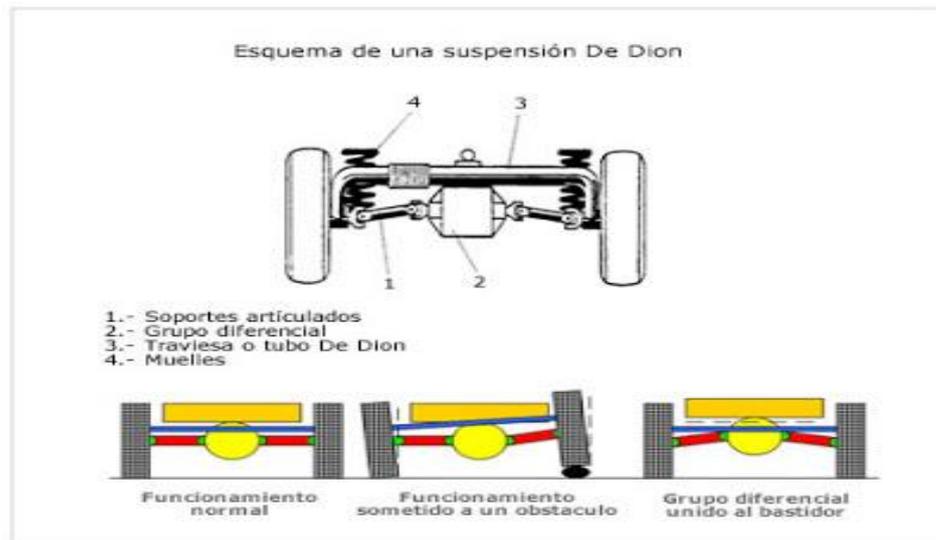


Fig. 1. 1.9 de una suspensión de Dion y sus partes

Diferencias entre suspensión con eje rígido y la independiente.

La solución moderna en la suspensión independiente en los vehículos ha alcanzado casi a la totalidad de los turismos, y en los camiones existen muchos casos de adopción en sus ejes delanteros. Aunque al sistema se le han dado innumerables soluciones, todas buscan las grandes ventajas que reporta y que por su importancia destacan, la de disminuir los efectos de los pesos no suspendidos, a los cuales no se puede amortiguar su movimiento por ballestas, que los golpes y oscilaciones que recibe una rueda no se comunican a su pareja de eje, y que el contacto con el piso es más seguro y la suspensión más flexible, sin peligro tan cercano de rotura. Todas estas ventajas hacen una marcha más confortable del vehículo, más segura su dirección y por lo tanto más garantía en altas velocidades.

En el sistema de eje rígido se inclina la carrocería cuando encuentra un resalte y en el independiente el bastidor permanece horizontal y las ruedas verticales, por lo que necesitan el complemento de potentes amortiguadores y unos protectores o topes de caucho que limiten las oscilaciones.

Marco teórico

La **suspensión MacPherson** es un tipo de suspensión habitualmente utilizada en los automóviles modernos. Toma su nombre de Earle S. Mac Pherson, un ingeniero que la desarrolló para su uso en 1951, en el modelo Ford Consul y después en el Zephyr. Puede ser utilizada tanto en el eje delantero como en el trasero, si bien habitualmente se utiliza en el delantero, donde proporciona un punto de apoyo a la dirección y actúa como eje de giro de la rueda. Estructuras similares para el eje trasero son denominadas suspensión Champaña. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el costo de producción y el poco espacio que ocupa. Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y resortes, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.

En la mayor parte de los automóviles actuales se utiliza la suspensión de pierna. Se puede colocar delante o atrás. Esta formada por un solo brazo de control inferior, un ensamble de pierna y amortiguador, y un resorte. El brazo de control está fijo a través de rótulas al bastidor y a la parte inferior de la pierna. La parte superior de esta está sujeta a una sección reforzada de la carrocería. Un cojinete en la parte superior de la pierna, junto con la rótula en la parte inferior, permite que gire la articulación de la dirección.

La suspensión MacPherson es el tipo más común utilizado actualmente. Tiene la pierna ubicada dentro del resorte en espiral ubicado entre el brazo de control inferior y el bastidor. La suspensión de pierna de resorte utiliza un cilindro de aire en la parte superior de la pierna en forma de resorte.

En este tipo de suspensión se suprime la rótula superior de la maneta de la rueda. La parte superior de la maneta se prolonga solidariamente con el puntal, realizándose el giro de la rueda en la rótula inferior y en la parte superior del conjunto muelle amortiguador, donde existe un cojinete.

Observamos dos cosas en esta suspensión:

- Al girar la rueda, también giramos el conjunto muelle-amortiguador, gracias al cojinete superior.
- Vemos que la suspensión es básicamente un triángulo, donde los lados fijos los forman el bastidor y el brazo de control inferior, mientras que el lado de longitud variable lo forman la maneta y el muelle-amortiguador.

Este lado soporta pues la carga del vehículo, por lo que el amortiguador tiene también un papel estructural (y ahí su mayor robustez).

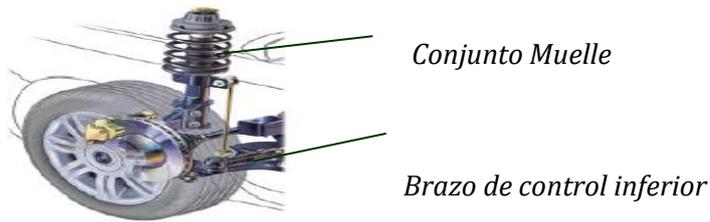


Fig. 1.20 Conjunto muelle y brazo inferior de una suspensión MacPherson

Las principales funciones del sistema de suspensión de un vehículo son sostener el peso del mismo, absorber las sacudidas de marcha, dirigir el vehículo eficientemente, proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes. Cuando este sistema trabaja correctamente, se ejecutan cuatro tareas básicas:

- Mantener las ruedas alineadas
- Permitir el contacto de las llantas con el camino y la altura de marcha
- Soportar el peso del vehículo
- Reducir los saltos del vehículo en el camino y mantener el control

Además también es importante que cumplan otras funciones no menos importantes, como son:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor
- Resistir los efectos de las curvas
- Soportar el par motor y de frenada
- Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido y la perpendicularidad del bastidor.
- Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo.
- Para que cumpla estas funciones la suspensión posee propiedades importantes como son:

- Amortiguación, para impedir un balanceo excesivo de la carrocería y mantener los neumáticos en contacto con el terreno.
- Elasticidad, para evitar que las desigualdades en el terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos.
- Las prestaciones de los automóviles están en constante aumento y los sistemas de suspensión han tenido que adaptarse a las nuevas necesidades. Actualmente las suspensiones deben proporcionar confort, adherencia y estabilidad.

Establecimiento del estado del arte.

Principios de la suspensión.

En tiempos de los carruajes una preocupación fue tratar de hacer más cómodos los vehículos. Los caminos empedrados eran una tortura para los ocupantes, pues cada desnivel en la superficie o piedra que las ruedas pasaran se registraba donde se sentaban con la misma magnitud.

Se acolcharon los asientos, se pusieron unos resortes en el pescante del cochero, para reducir esos impactos, pero el problema aún no se resolvía.

Hasta que se colgó la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal que venían de los ejes de modo que quedaba suspendida por cuatro soportes y cuatro correas.

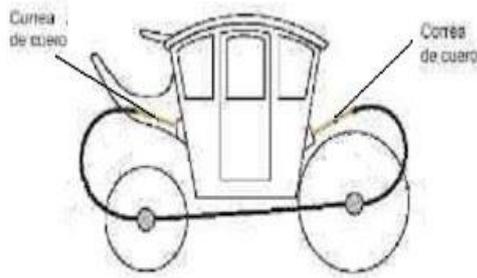


Fig. 1.2.1 imagen de un carruaje



Fig. 1.2.2 imagen de un carruaje de madera

El resultado no fue el deseado, aunque los golpes eran parcialmente absorbidos, la cabina se bamboleaba sin control, añadiendo a los golpes el mareo. Sin embargo, podemos decir que ahí nació el concepto de suspensión: un medio elástico que además de sostener la carrocería asimile las irregularidades del camino.

A medida que las suspensiones evolucionaban y se hacían más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se debe a que las ruedas de gran diámetro reducían el efecto de las irregularidades del camino; y las ruedas pequeñas las registraban más, porque entraban en las irregularidades del terreno en mayor proporción.

Con el desarrollo del motor de combustión interna aplicado a los vehículos, las ruedas evolucionaron, de la rueda de radios pasaron a la de metal estampado y a la de aleación ligera; de la llanta de hierro a la de hule macizo, después al neumático de cuerdas o tiras diagonales y finalmente al radial.

Definición del Problema:

El planteamiento para diseñar una suspensión es descomponer el producto que quiero diseñar en sus partes e identificar la función principal de cada elemento, en este caso se toman las especificaciones del bastidor y de las partes de la suspensión, se realiza una tabla de especificaciones finales es necesario utilizar estas especificaciones y conocer materiales utilizados para hacer un análisis de esfuerzos en el programa CAD, se realiza un plano de detalle que describe cómo debe de ser ensamblada la suspensión. Es necesario dibujar un diagrama de cuerpo libre para nuestro sistema que permita obtener una ecuación diferencial donde interviene la posición, velocidad y aceleración. Esta ecuación nos permite analizar en qué condiciones hay menor resonancia en la suspensión y con esto se obtiene el mejor confort en el vehículo.

Justificación

Este trabajo de tesis tiene la finalidad de implementar una nueva suspensión que mejore el confort siguiendo una metodología de diseño que permita describir de manera sistematizada el proceso de diseño proporcionando los conceptos necesarios para hacer un diseño adecuado y cumpla con las necesidades de diseño de un vehículo todo terreno, el tema de diseño de suspensión es muy amplio puede haber diferentes tipos , el funcionamiento se menciona en el apartado anterior en antecedentes, este trabajo describe un cambio de suspensión de paralelogramo deformable a una suspensión tipo MacPherson Para utilizarse en un mismo vehículo, la suspensión de paralelogramo deformable proporciona una buena estabilidad y confort sin embargo presentan un inconveniente el ángulo de inclinación de las llantas esta hacia adentro 13 grados y no se puede cambiar, al diseñar una suspensión MacPherson en lugar de una de paralelogramo deformable se puede fijar la alineación al diseñar la horquilla inferior dándole el ángulo correcto a esta horquilla y fijando el poste superior con placa metálica al ángulo exacto, se pretende demostrar que si utilizamos otro tipo de suspensión podemos obtener mejores resultados al variar sus constantes físicas en el programa se conocerá a qué condiciones tiene menor resonancia y asegurar el mejor confort.

Metodología de Ulrich Eppinger

Al seguir la metodología de Ulrich Eppinger. Se sigue la secuencia de pasos para lograr diseñar la suspensión después de seguir especificaciones, obtener especificaciones finales, generar conceptos, realizar diseño de detalle, prototipos, y fabricación podemos obtener un diseño de suspensión.

A continuación se enlistan los pasos de la metodología de Ulrich Eppinger.

- Identificar necesidades del cliente
- Establecer especificaciones objetivo
- Generar conceptos del producto
- Seleccionar conceptos del producto
- Probar concepto del producto
- Fijar especificaciones finales
- Planear desarrollo de etapa final

1.0 Ángulos fundamentales de alineación.

Los ángulos fundamentales de alineación están incluidos en el diseño del vehículo, con el objeto de distribuir convenientemente el peso sobre las ruedas, facilitar la dirección y obtener la condición óptima de desplazamiento.

Camber

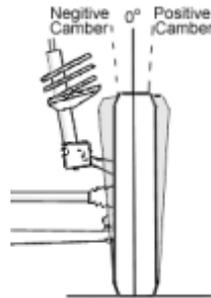


Fig. 1.2.3 ángulo camber

Este ángulo es la inclinación de las ruedas, medida en grados, cuando se ve desde el frente del vehículo, hacia adentro o hacia afuera del vehículo. Cuando la rueda está inclinada hacia adentro en su parte superior, el camber es negativo y positivo cuando la rueda está inclinada hacia afuera en su parte superior.

El valor correcto depende del diseño del sistema de suspensión, y está dado por el fabricante para cada modelo en particular. Generalmente el camber ayuda a la estabilidad de la dirección recta y alarga la vida del neumático. El valor del camber en la rueda izquierda/derecha deberá ser el mismo para evitar tirajes de costados.

Función

CENTERLINE AND VERTICAL REFERENCE

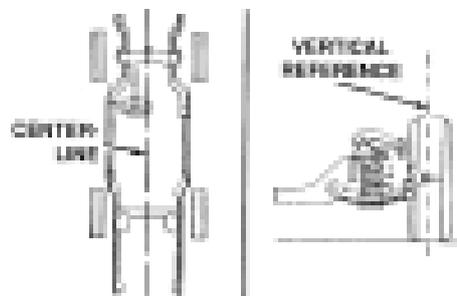


Fig. 1.2.4 Función del ángulo camber

La función del camber es distribuir el peso del vehículo sobre la superficie de las llantas para evitar desgaste desigual en las mismas. Determinada magnitud de camber positivo es generalmente incluida en vehículos en reposo con el objeto de contrarrestar tendencias a crear camber negativo mientras el vehículo está en movimiento debido a la curvatura en carretera, peso de ocupantes y otros factores de la geometría de la suspensión. Un incorrecto valor de camber causará exceso de desgaste en los costados de los neumáticos. Si el camber es diferente de lado a lado, puede causar que un problema de jaloneo. El vehículo jaloneará donde tenga más camber positivo, debido a que se genera un cono entre la parte superior e inferior de la llanta. En muchos vehículos con tracción delantera no es ajustable. Si el camber está fuera de especificaciones puede ser que algún componente esté gastado o dañado y debe ser reparado o gastado.

**EXTENDING CAMBER ANGLE
CREATES A CONE**

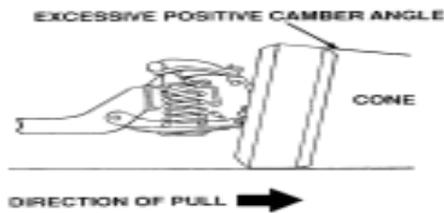


Fig. 1.2.5 ángulo camber positivo



Fig. 1.2.6 llanta

1.1 Caster

Cuando usted gira el volante, las ruedas frontales responden girando sobre un Pivote unido al sistema de suspensión, éste es el ángulo de dirección o eje de giro. El caster es el ángulo de este eje de dirección, medido en grados, cuando se mira el vehículo lateralmente. Si la parte superior del pivote apunta a la parte trasera del carro, entonces el caster es positivo, en caso contrario es negativo. El caster es calculado por la relación de cambio de camber en un giro preestablecido por las ruedas delanteras.

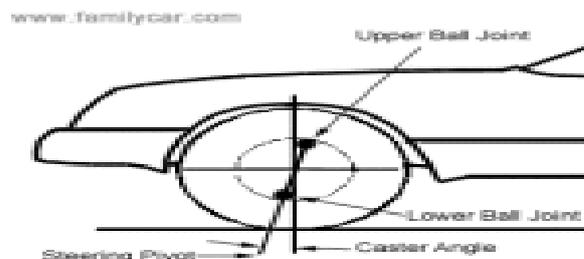


Fig. 1.2.7 ángulo caster

Función

Proporcionar estabilidad direccional y facilitar la dirección. El caster es positivo, al proyectar hacia adelante el eje geométrico de giro y establecer el punto de carga adelante del punto de contacto de la rueda sobre el pavimento, imparte a las ruedas la tendencia a mantenerse orientadas con la fuerza direccional del vehículo, aproximadamente hacia adelante.

Si el caster está fuera de especificaciones puede causar problemas de estabilidad en línea recta. Si el caster es desigual de lado a lado, el vehículo tirará al lado donde tenga menos caster positivo.

1.1.1 Convergencia

Es la diferencia en la distancia de la parte trasera y delantera de las ruedas frontales, se mide en unidades de distancia, pero puede ser medida también en grados. Convergencia positiva significa que la parte delantera de las llantas está más cerca que la parte trasera, convergencia negativa es lo opuesto.



Fig. 1.2.8 ángulo caster

Función

Determinada magnitud de convergencia es incluida en un vehículo en reposo para contrarrestar las fuerzas que alteran la convergencia en movimiento, ya que el objetivo es que sea cero durante el recorrido. Una incorrecta convergencia causará un rápido desgaste de ambas llantas.

1.1.2 Ángulo toe

El ángulo convergente/divergente (toe) identifica la dirección exacta hacia la cual las ruedas apuntan comparándolas con una línea vertical en el vehículo, al ver las ruedas desde la parte superior. Este ángulo puede ser expresado en grados o fracciones de pulgadas. Si las ruedas apuntan hacia dentro existe convergencia y lo contrario se conoce como divergencia. Los ajustes del ángulo

convergente/divergente (toe) usualmente se usan para ayudar a compensar los bujes de la suspensión y mejorar el desgaste del neumático, a la vez de mejorar la dirección y maniobrabilidad.

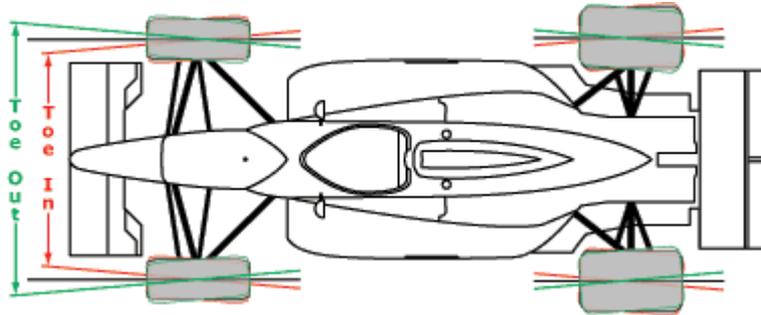


Fig 1.2.9 convergencia y divergencia del ángulo toe

Autos con tracción trasera "empujan" las ruedas del eje frontal. La resistencia al rodamiento causa un poco de arrastre que resulta en movimientos de los brazos de la suspensión trasera contra sus bujes, debido a esto la mayoría de autos con tracción trasera compensan esta situación con un ángulo convergente (toe in), el cual permite, que las ruedas rueden paralelas unas de las otras a velocidad.

. Referencia [6] Martínez Hermogenes

1.1.3 Masa no suspendida.

En un vehículo terrestre con suspensión, la masa no suspendida está constituida por la masa de la amortiguación, ruedas u orugas y otros componentes directamente conectados a ellos, como rodamientos, neumáticos, amortiguadores y los frenos del vehículo si están incluidos fuera del chasis sustituyen la masa suspendida.

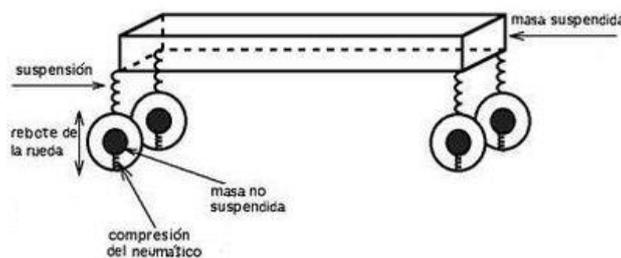


Fig 1.3 masa suspendida y no suspendida

1.1.4 Masa Suspendida

y se analiza en qué condiciones hay menor resonancia en la suspensión ,con esto se obtiene el mejor confort y estabilidad en el vehículo

Normalmente incluye el cuerpo del vehículo, los componentes internos, pasajeros y carga; pero no la masa de los componentes de la suspensión, incluyendo ruedas u orugas, que son parte de la masa no suspendida del vehículo.

Cuanto mayor sea la relación de masa suspendida sobre masa no suspendida, el cuerpo del vehículo y sus ocupantes se ven afectados en menor medida por baches, hoyos u otras imperfecciones de la superficie, como puentes. De todos modos, una relación excesiva podría ir en detrimento de la capacidad de control sobre el vehículo.

1.1 .95Cuadro sinóptico pasos para resolver el problema de diseño

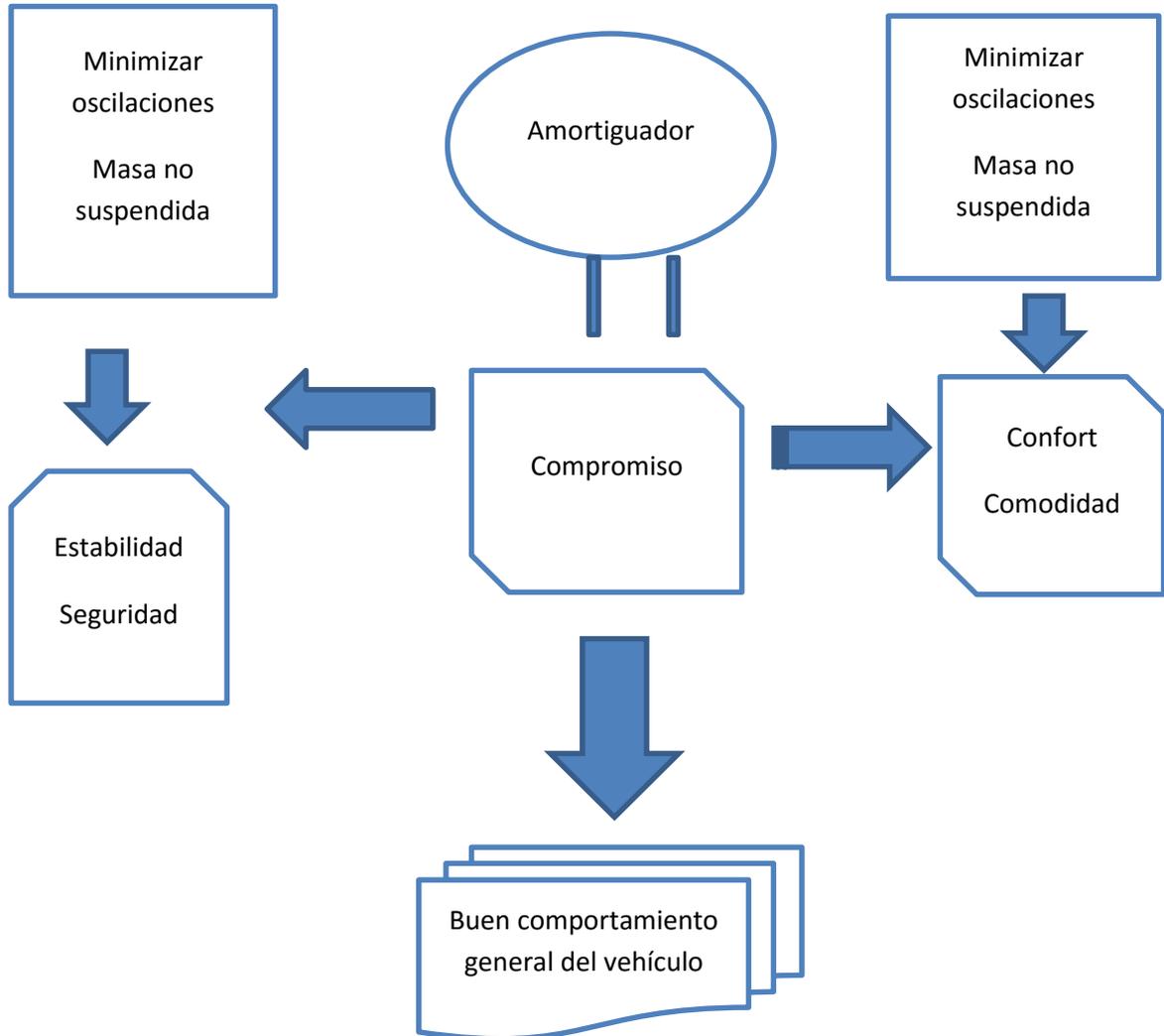


Diagrama 1. Sistema de amortiguamiento como solución de compromiso

1.1.10 Diagrama de flujo, pasos para resolver el problema de diseño

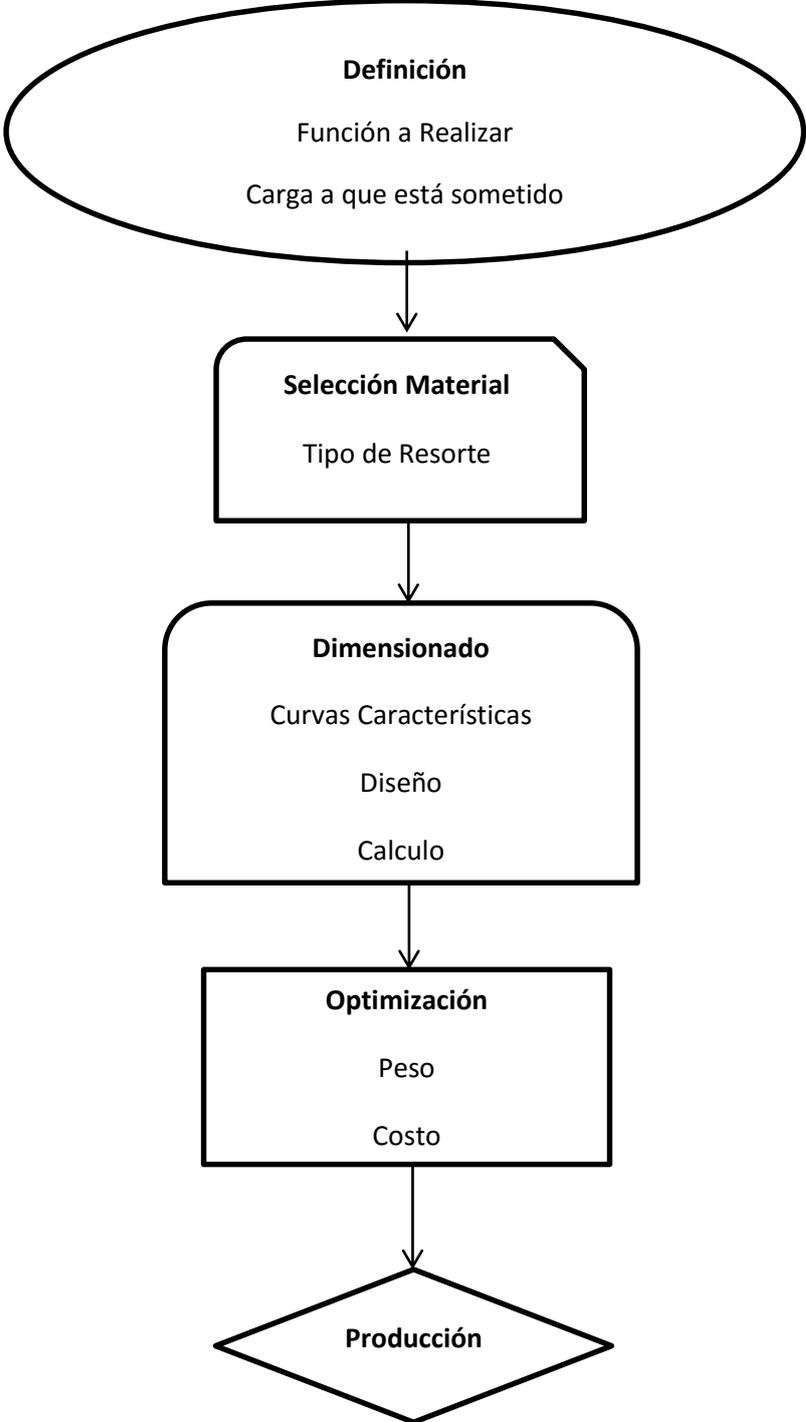


Diagrama 2. Pasos para resolver el problema de diseño

1.1.7 Especificaciones de diseño:

Tipo MacPherson, con triangulo inferior y efecto anti percusión, amortiguadores hidráulicos telescópicos, con resortes helicoidales y barra antirrolido.

Eje flexible semi-independiente, resortes helicoidales de flexibilidad variable amortiguadores telescópicos, con resortes helicoidales y barra antirrolido.

Parámetros para toma de especificaciones			
Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
$m1 = \text{masa suspendida}$	208	kg	Equivalente a la masa de un cuarto de vehículo(Nissan Sentra B13)
$m2 = \text{masa no suspendida}$	28	kg	Equivalente a la masa de la llanta, tijera y portamangueta suspensión (Nissan Sentra B13)
$k1 = \text{constante del resorte}$	18709	$\frac{KN}{m}$	Según Carvil(2003)ecuación para determinar la constante de un espiral
$k2 = \text{constante de la llanta}$	127200	$\frac{KN}{m}$	Obtenido por medio de ensayos a tensión y compresión de una llanta 185/65 R13 según Reimpell (2003)
$c1 = \text{coeficiente de amortiguacion de la llanta}$	100	$\frac{Kg}{s}$	Según Calvo et al.(2005)

Tabla 2. Parametros para toma de especificaciones del vehiculo, Referencia[8,] Arbeláez , J ,j., Quinter, J.P

Respuesta	modelo	multicuerpo	Norma EuSAMA	
Coeficiente de amortiguación	Fuerza dinámica FD(N)	Fuerza Estática FE(N)	Frecuencia en (Hz)	Valor de la adhesión EuSAMA (FD/FE*100%)
800 KG/S	1555	2314	12.1	67.19%
1400 KG/S	1736	2314	11.9	75.02%
2000 KG/S	1804	2314	11.9	77.96%

Tabla 3 .coeficientes de amortiguamiento y fuerza dinamica Referencia [8],Arbelalez , J ,j., Quinter, J.P]

Respuesta	modelo	multicuerpo	Norma EuSAMA	
Coeficiente de amortiguación	Fuerza dinámica FD(N)	Fuerza Estática FE(N)	Frecuencia en (Hz)	Valor de la adhesión EuSAMA (FD/FE*100%)
800 KG/S	1398	2314	12.5	60.41%
1400 KG/S	1683	2314	12.4	72.73%
2000 KG/S	1780	2314	12.4	76.92%

Tabla 4 .Parametros para toma de especificaciones del vehiculo Referencia [8,] Arbelalez , J ,j., Quinter, J.P

Especificaciones finales de susp Mac Pherson			
Dispositivo	Masa kg	Rigidez KN/m	Amortiguación Kg/s
Llanta	22	127,200	10
Resorte		20,2037	
Amortiguador			
Tijera	3		
Porta Mangueta	5		
Masa Suspendida	208		
Masa no Suspendida	40		

Tabla 5 . Especificaciones finales de la suspension Mac Pheherson

Especificaciones Finales de susp Mac Pherson			
Dispositivo	Masa kg	Rigidez KN/m	Amortiguación Kg/s
Llanta	22	127,200	10
Resorte		18,11514	
Amortiguador			
Tijera	3		
Porta Mangueta	5		
Masa Suspendida	208		
Masa no Suspendida	40		

Tabla 6.. Especificaciones finales de la suspensionParalelogramo deformable

1.1.8 Especificaciones finales

ESPECIFICACIONES FINALES			
No	Métrica	unidad	valor
1	Constante de amortiguamiento	ζ	0.3
2	Rigidez del resorte	KN/m	18709
3	Masa suspendida	kg	800
4	Medidas del triangulo	cm	30x2.5diam
5	Ancho de llanta	in	1.75
6	Tiempo de ensamble y desensamble	horas	2
7	Masa no suspendida	kg	40
8	Constante de la llanta	KN/m	127200
9	Coefficiente de amortiguamiento	Kg/s	100
10	Fuerza dinámica	N	1555
11	Fuerza estática	N	2314
12	Carrera de pistón	mm	10.50,27.50
13	Velocidad en carga de amortiguamiento	m/s	0.05,0.94
14	Esfuerzo en tensión	N	236-13.20
15	Esfuerzo en compresión	N/mm	4088.12-4876.62

Tabla 7 especificaciones finales

1.1.9 Alternativas de Solución

Diseño conceptual

En este diseño de suspensión las alternativas de solución para el vehículo todo terreno que se está analizando son:

1.-Tomar el bastidor y sabiendo alturas y distancia entre ejes hacer un diseño de la suspensión adecuando al chasis y bastidor con las especificaciones ya conocidas.



1.3.1 Parte delantera muestra bieleta y dirección

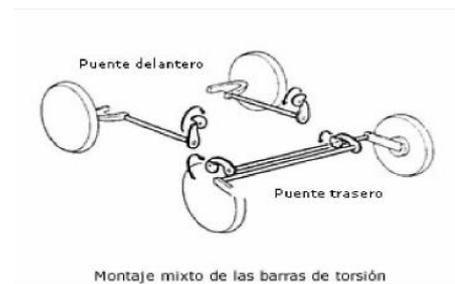


1.3.2 lado izquierdo del chasis para ajustar la horquilla

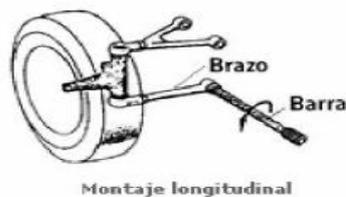
2.-tomando las dimensiones del triángulo superior e inferior así como componentes que deben de llevar rotulas, mangueta y buje, barra estabilizadora buscar una geometría adecuada o distinta a la utilizada para poder ser utilizada y ensamblada en los mismos postes de sujeción del bastidor que vamos a utilizar.



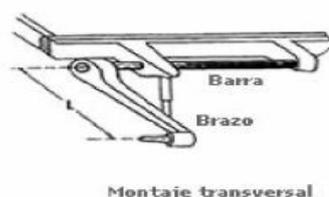
1.3.3 elementos de la suspensión para generar alternativa



1.3.4 montaje mixto de barras de torsión



Montaje longitudinal



Montaje transversal

1.3.5 Montaje de la suspensión

3.-Utilizando un sistema CAD O SOLIDS WORKS realizar el diseño de cómo van cada una de las piezas de nuestra suspensión MacPherson y realizar los prototipos necesarios.



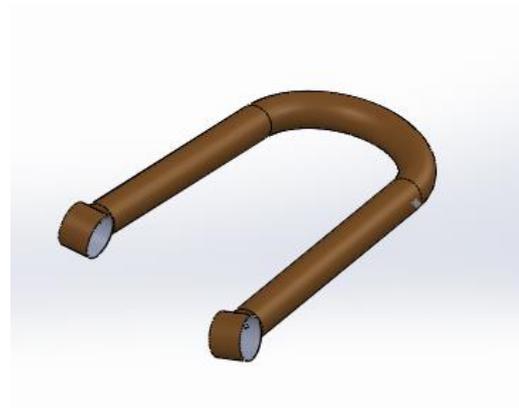
1.3.6 barras de acero para diseñar horquilla



1.3.7 Horquillas de acero para buggy



1.3.8 horquilla metálica atornillada al chasis



1.3.9 horquilla diseñada en Solids Works

Analizar tipos de materiales y geometrias en otro tipo de triángulo a diseñar.



1.4 Horquilla inferior de la suspensión



1.4.1 Horquilla superior de la suspensión

4.-dibujar pieza por pieza y reemplazar geometrías, una vez teniendo los cálculos utilizando las especificaciones ya obtenidas para tener una idea compara. Modelar y después hacer análisis de elemento finito.



1.4.2 peso de la suspensión completa



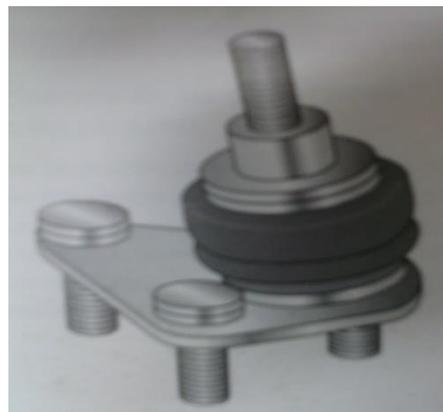
1.4.3 medida del peso total de la suspensión

Obtenemos un peso de la suspensión de paralelogramo deformable de 30.7 kg.

5.-Realiza un montaje de rotulas en las tijeras de la suspension, los elementos de union, chumaceras, bases, rotulas a utilizar.



1.4.4 Rotula para atornillar en la horquilla



1.4.5 Dibujo de rotula

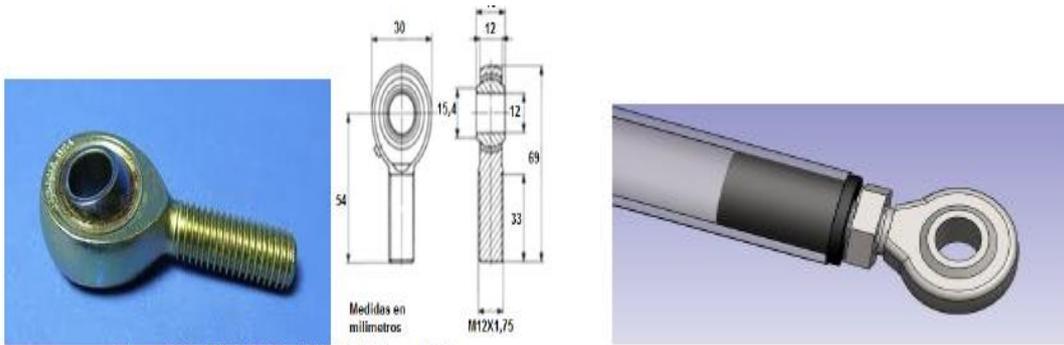


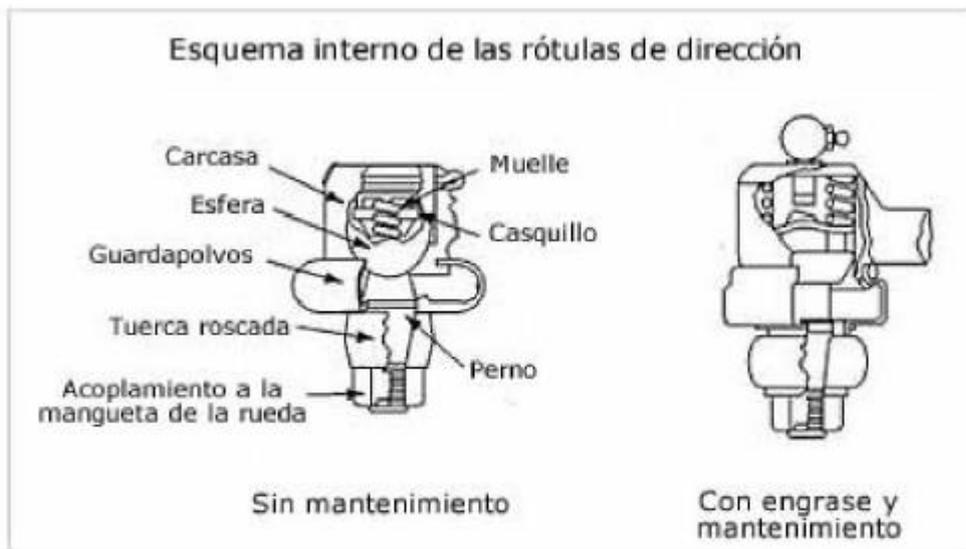
Figura 38. Rótula POS-12AX1,75 Marca IKO

1.4.6 Dimensiones de una rotula Automotriz

1.4.7 Diseño de una rotula en un CAD

Montaje de rotulas en las tijeras de la suspensión

Referencia [1] Circuitos, Esteban Domínguez, Julián Ferrer.



1.4.8 Partes de una rotula de dirección

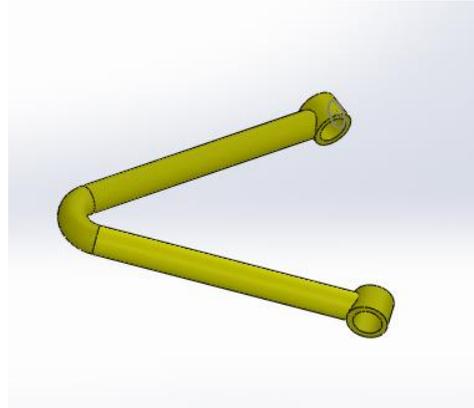
CAPITULO II

2.0 Modelado, selección de alternativas

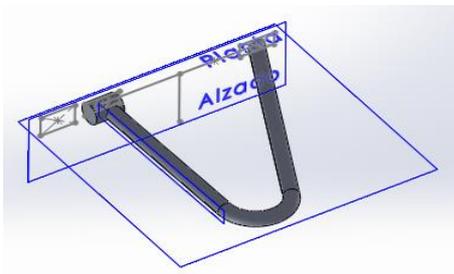
Se diseñaron dos diferentes horquillas con diferentes geometrías para utilizarlos en la parte inferior teniendo estos diseños se puede realizar un análisis de elementos finitos en el programa CAD. Referencia [9] Urraza, G, Olalde,



2.0 diseño de horquilla en CAD



2.1 Diseño de horquilla en CAD

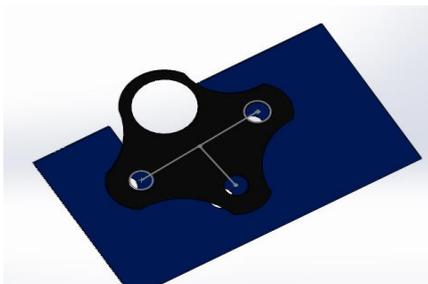


2.1.1 Vista de planta de horquilla en CAD

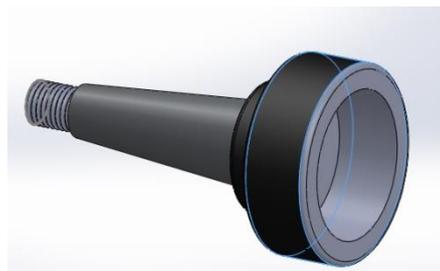


2.1.2 horquilla metálica soldada

2.1 Rodamiento para los triángulos superior e inferior para apoyar a la base de la suspensión.

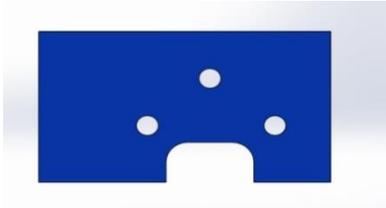


2.1.3 Base de la rotula

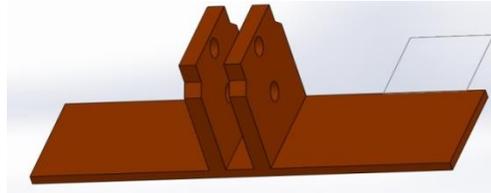


2.1.4 Rotula parte superior

3.-Placa para apoyar los rodamientos, la alternativa puede ser que se sigan utilizando en el nuevo diseño.



2.1.5 Placa de apoyo para Rotula



2.1.6 Base para soporte del amortiguador

4.-Esfera para la rótula, base y buje para el triángulo estas permiten el movimiento de la suspensión.



2.1.7 esfera metálica

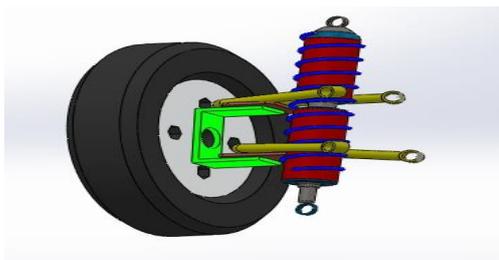


2.1.8 Base de la rotula

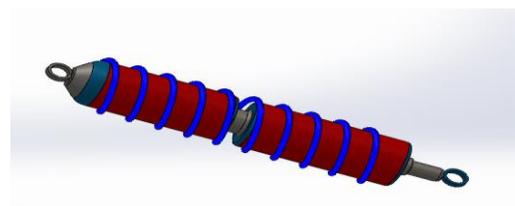


2.1.9 Buje de Horquilla

5.-Conjunto Muelle, amortiguador y llanta.



2.3 Suspensión ensamblada en Solids Works



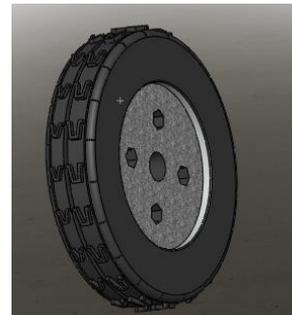
2.3.1 Amortiguador con Resorte helicoidal



2.3.2 Amortiguador

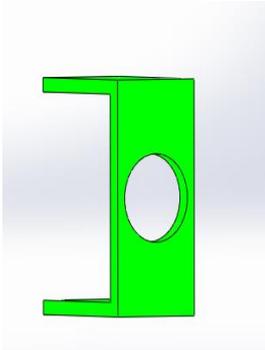


2.3.3 Resorte Helicoidal



2.3.4 Llanta y Rin

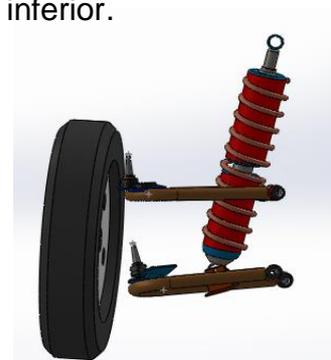
7. soporte para el tambor de la llanta una alternativa puede ser cambiar el soporte por uno de geometría circular donde pueda soportar el amortiguador en la parte superior y en su parte inferior sea atornillada la horquilla inferior.



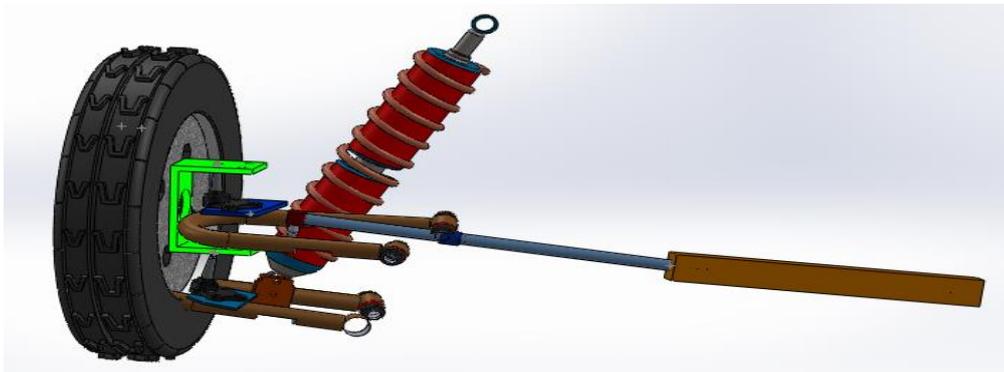
2.3.5 Placa de soporte para el tambor



2.3.6 llanta y Rin

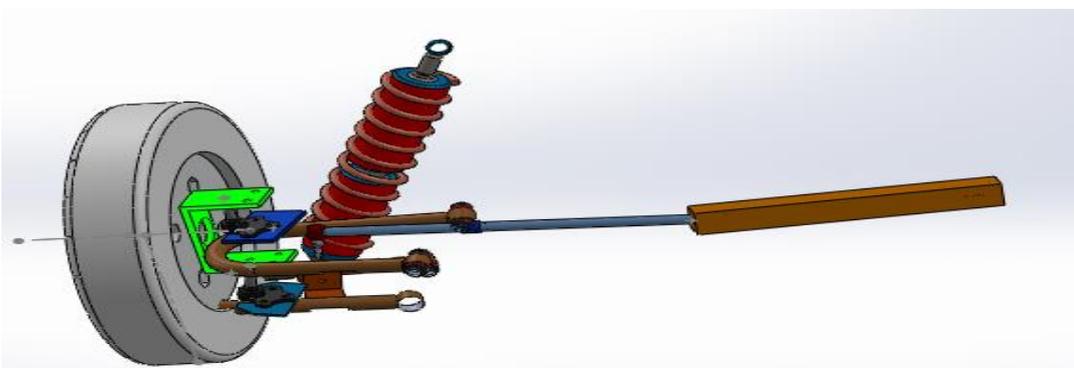


2.3.7 ensamble de llanta y Rin delantera



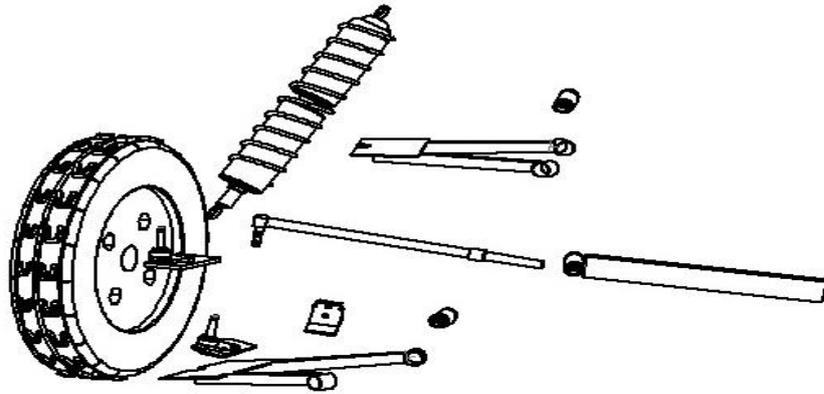
2.3.8 Ensamble completo de la suspensión delantera

El dibujo muestra como es el ensamble de la suspensión de paralelogramo deformable, al realizar el ensamble de los elementos se la suspensión se puede modelar y realizar pruebas de análisis de esfuerzos en cada parte de la suspensión, utilizando todas las especificaciones ya obtenidas se puede diseñar la suspensión del vehículo, se puede obtener alguna alternativa para hacer el diseño de la nueva suspensión.



2.3.9 vista lateral de suspensión delantera

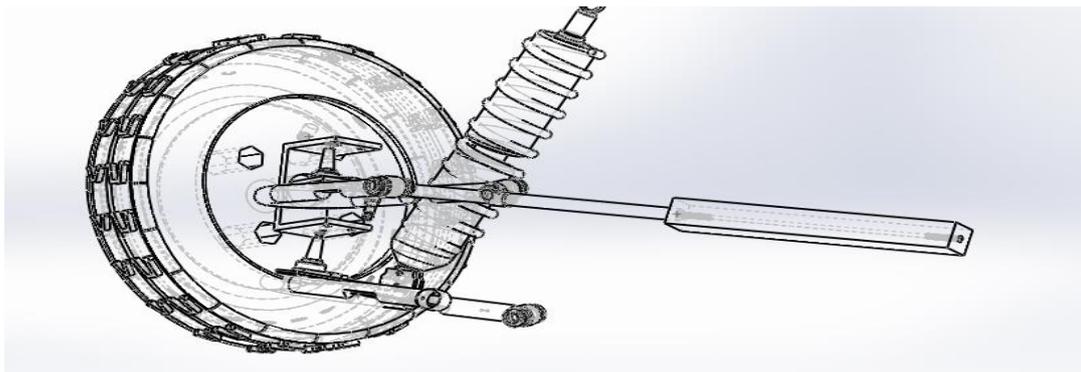
2.1 DISEÑO CONCEPTUAL



Ensamble de suspension paralelogramo deformable

2.4 Dibujo y vistas de la suspensión

Detalle de vistas de un vehículo tenemos una perspectiva de cómo debe de armarse la suspensión.



2.4.1 Forma de ensamblar la Suspensión completa

Dibujo de cómo acoplar el elemento a la llanta que es una alternativa para hacer el diseño de la suspensión con otro tipo de elementos de acoplamiento.

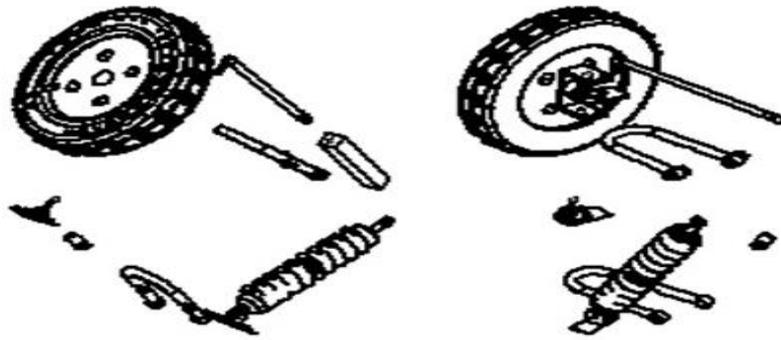


Diagrama de explosión de una suspensión delantera de paralelogramo deformable

[2.4.2 Forma de ensamblar la Suspensión delantera de paralelogramo deformable](#)

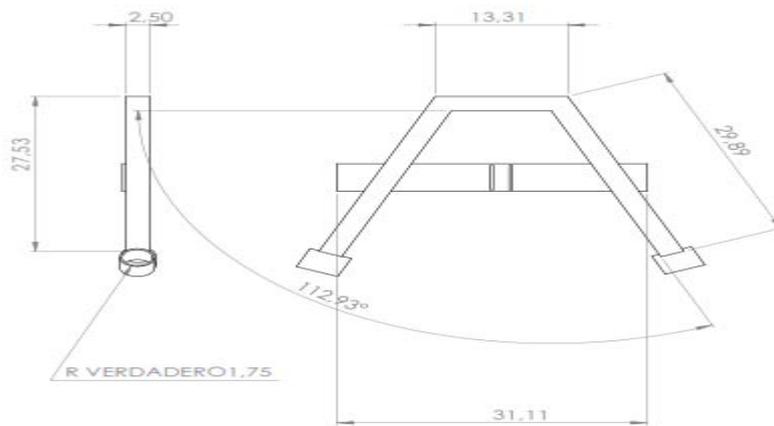
2.1.1 Partes y características de los elementos de la suspensión

Numero	Nombre	Características	Funciones
1	Brazo inferior	No tiene ninguna especificación	Permiten articular el movimiento vertical de las ruedas, además que hacen parte del soporte del Porta masa.
2	Brazo superior	No tiene ninguna especificación	Permiten articular el movimiento vertical de las ruedas, además que hacen parte del soporte del Porta masa.
3	Barra estabilizadora	No tiene ninguna especificación	Estabilizar el vehículo
4	Balancín (amortiguado)	No tiene ninguna especificación	Es el elemento que transmite el movimiento de la barra pushrod al amortiguador y resorte, Pivotado en el chasis.
5	Resorte	Es entregada por la organización	Es el componente encargado de absorber las cargas y almacenarlas
6	Amortiguador	Es entregada por la organización	Es el componente encargado de disipar la energía absorbida por el resorte, transformándola en calor liberada al ambiente
7	Rótulas	Su uso es aconsejado en por la organización	Se utilizan en la conexión de todos los elementos de la suspensión, facilitan la transmisión de las cargas y proporciona tolerancia a los movimientos de la suspensión
8	Porta masa (porta mangueta)	Es entregada por la organización	Soporta la rueda del vehículo y la conecta con los brazos (tijeras) de la Suspensión.

Tabla 8 Partes y Características de los elementos de la suspensión ,Referencia[2]Cascajosa

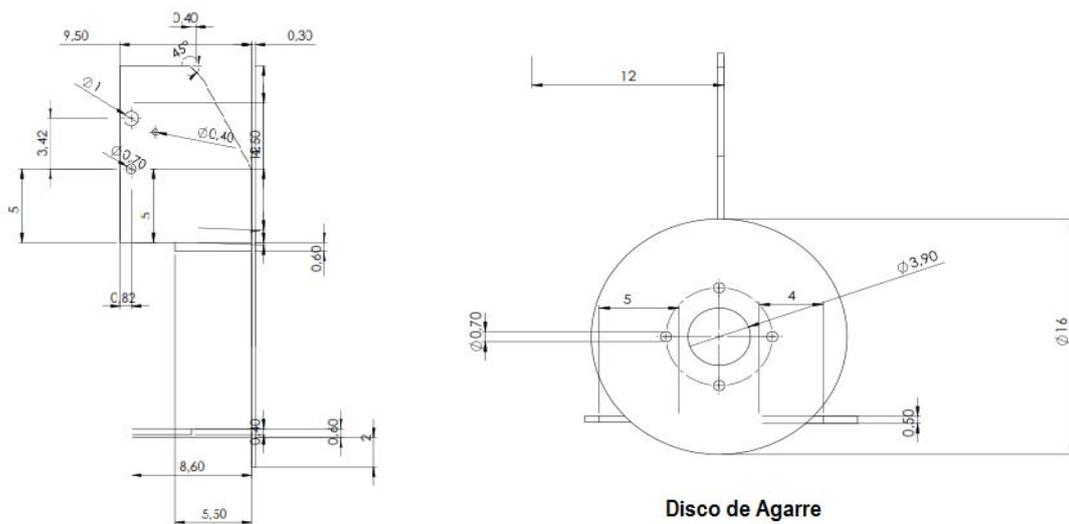
2.1.2 DIBUJO DEL DISEÑO CONCEPTUAL FINAL

Debido a la investigación realizada en el capítulo 1 y en este capítulo se tomó la decisión de realizar el diseño con base a las características del chasis y de los elementos de la suspensión, se diseña la nueva suspensión realizando una nueva horquilla un disco de agarre y una horquilla con placa que va fija al chasis dando solución al diseño de una suspensión MacPherson. Referencia [9] Urraza, G, Olalde, K



horquilla inferior

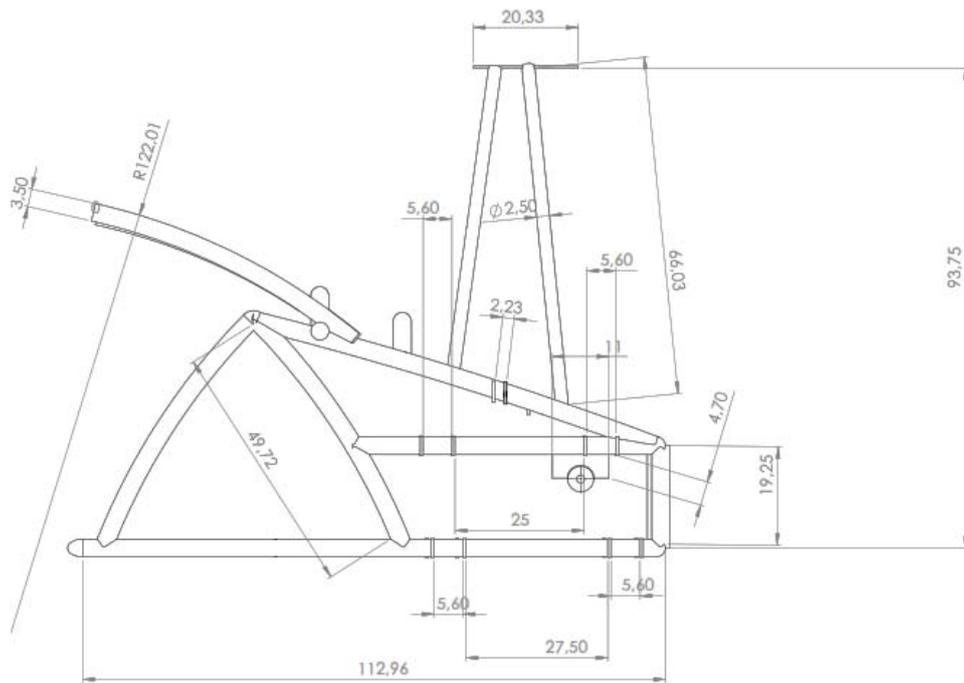
2.4.3 Dibujo de horquilla inferior de suspensión



Disco de Agarre

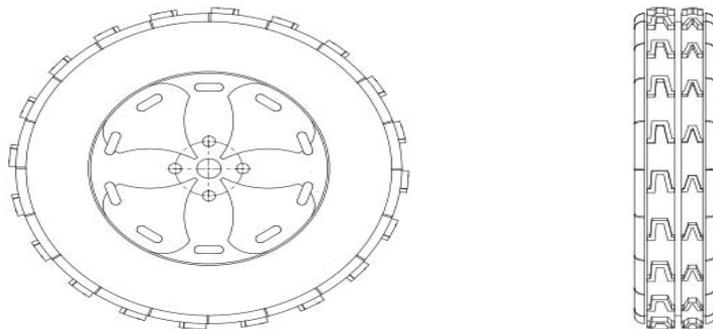
vista lateral derecha

2.4.4 vistas lateral izquierda y frontal del disco de agarre



vista lateral derecha y sus cotas

2.4.5 vistas lateral derecha de chasis



**R205/65R15 92 M+S
Premier Touring**

2.4.6 vistas lateral y frontal de la llanta

2.1.3 Diseño de detalle

En esta parte del diseño realizaremos el diseño de detalle de la suspensión que estamos diseñando tomando como referencia el chasis del todo terreno, para esto es importante considerar que como anteriormente tomamos especificaciones las utilizamos cuando diseñamos los componentes de la suspensión.

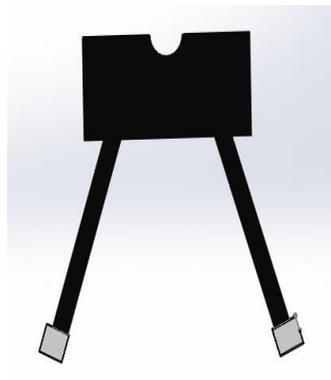
Se pudo analizar cómo va ensamblada la suspensión que ya tenía el vehículo al cual le estamos diseñando una nueva suspensión de tipo MacPherson, al tomar medidas del chasis, llanta, ejes, tambor, horquillas es posible continuar con nuestro diseño ya que con lo obtenido se puede realizar el dibujo de detalle de una suspensión considerando los tipos de materiales, las especificaciones finales y después modelar en el programa, para realizar nuestro diseño.

Tomando como referencia la distancia entre postes de sujeción del bastidor para saber qué ángulo debe llevar la horquilla inferior del vehículo y acoplarle una rotula para atornillarla a nuestro disco de agarre que va a la llanta, también es importante saber cómo va armado nuestro amortiguador con el sistema de resorte, que mecanismo lleva y que herramientas se necesitan para armarlo.

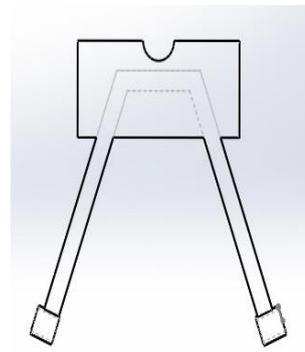
Es necesario hacer pruebas en un programa CAD donde se pueda simular y permita conocer las características y en qué puntos se concentran los esfuerzos cuando diseñamos un elemento de la suspensión.

2.1.4 Diseño de detalle de los elementos de la suspensión

Al diseñar en CAD nuestra suspensión MacPherson para vehículo todo terreno se realiza pieza por pieza para después fabricar y llevar acabo el prototipo de la suspensión MacPherson, a continuación se muestran un diseño de la horquilla para la suspensión.



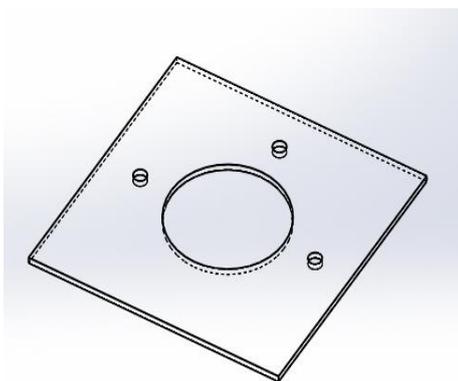
2.4.7 horquilla inferior



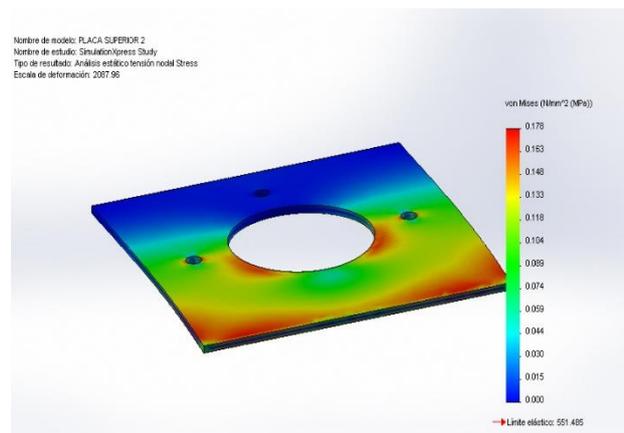
2.4.8 horquilla inferior contorno

2.1.5 Placa para sujetar suspensión y simulación de esfuerzos

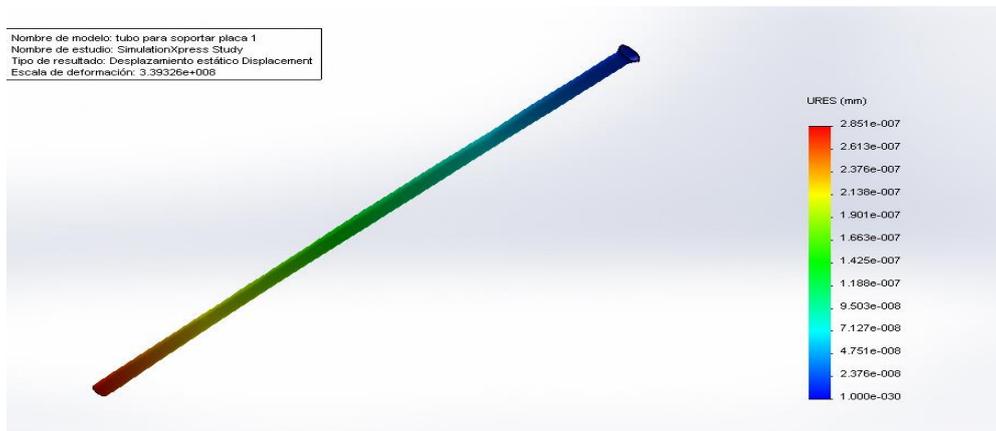
Se realiza un análisis de elementos finitos para un acero dúctil a la placa y se diseña para la carga que debe soportar esta soportara la masa no suspendida.



2.4.9 Placa superior para suspensión



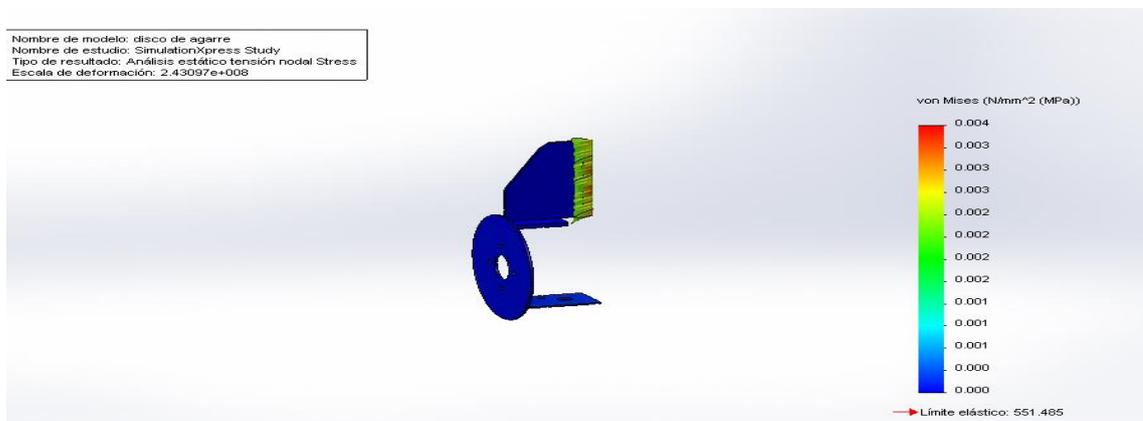
2.5 Dibujo de placa metálica superior



2.5.4 Desplazamiento en tubo de acero para soportar placa superior

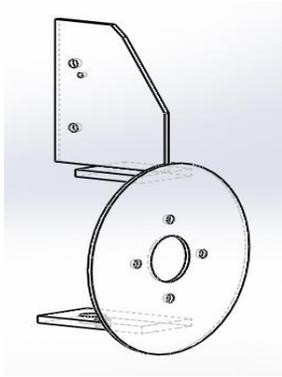
Se realiza un análisis de elementos finitos para saber los puntos de mayor concentración de esfuerzos aplicando acero dúctil y un factor de seguridad de 15.

2.1.7 Diseño y Simulación de esfuerzos en disco de agarre

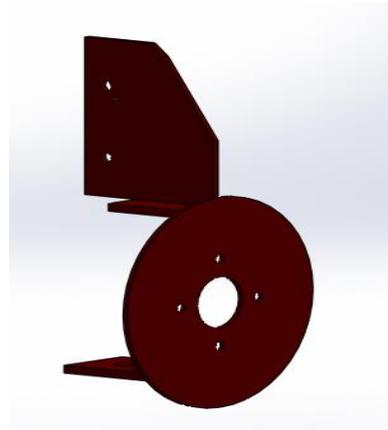


2.5.5 Simulación de esfuerzos von mises para disco de agarre

Se realiza análisis de elementos finitos de von mises y se localiza los puntos de mayor concentración de esfuerzos al diseñar la pieza.



2.5.6 isométrico disco de agarre



2.5.7 Diseño de horquilla en CAD

Este diseño permite ensamblar la suspensión en tres partes que son llanta y rin en parte frontal, en parte superior conjunto muelle amortiguador, y en parte inferior horquilla

2.1.8 Diseño y propuesta de solución de la horquilla inferior

En la figura 2.5.6 y 2.5.7 se realiza un prototipo y cómo va a ir ensamblado al amortiguador es una posible alternativa de solución.



2.5.8 Alternativa para horquilla inferior



2.5.9 Horquilla inferior soldada y construida



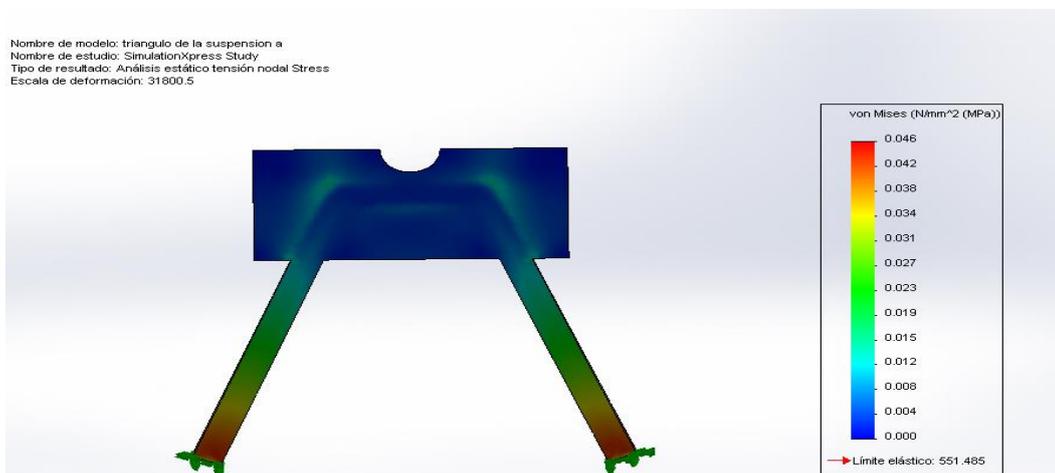
2.6 Piezas de la horquilla para soldar



2.6.1 horquilla inferior con base para amortiguador

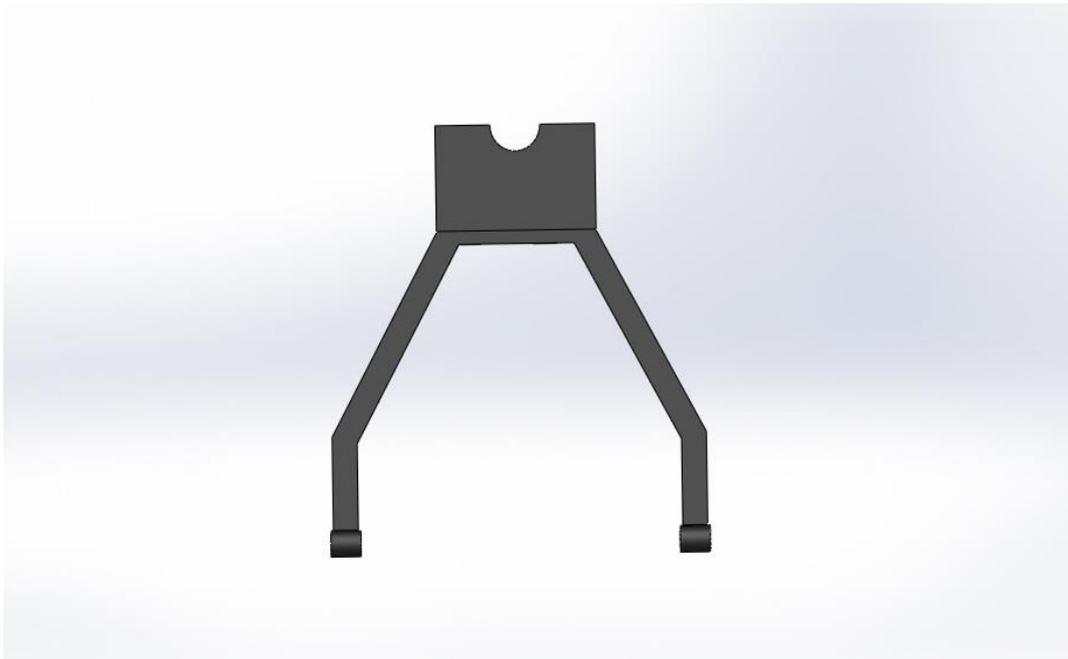
En las figuras 2.5.8 y 2.5.9 se observa una alternativa de diseño de la horquilla inferior .Referencia [1], Esteban José Domínguez, Julián Ferrer.

2.1.9 Simulación de esfuerzos de Von Mises en horquilla inferior



2.6 .2 simulación de esfuerzos de Von Mises en horquilla

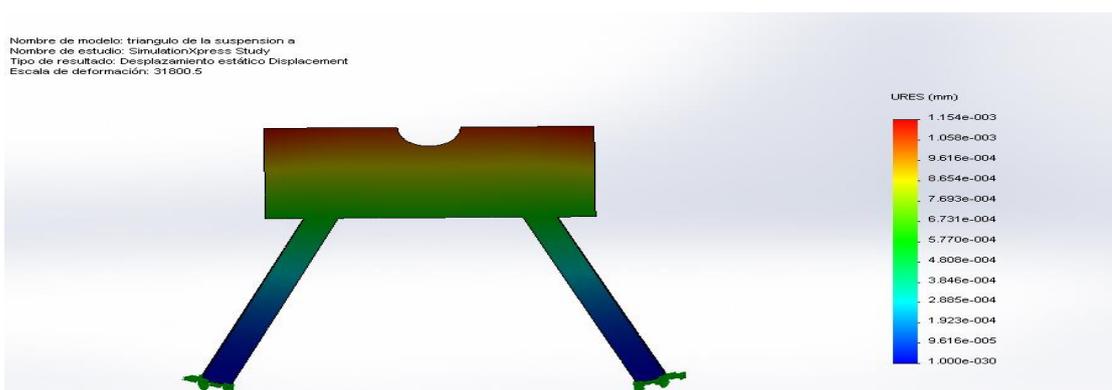
Se realiza un análisis de elementos finitos para un factor de seguridad de 15 y se ve los puntos críticos de mayor resistencia del material.



2.6.3 horquilla con placa superior

Se dibuja la pieza final ya diseñada y se realiza simulación de esfuerzos de von mises para saber en qué puntos tiene mayor concentración de esfuerzos.

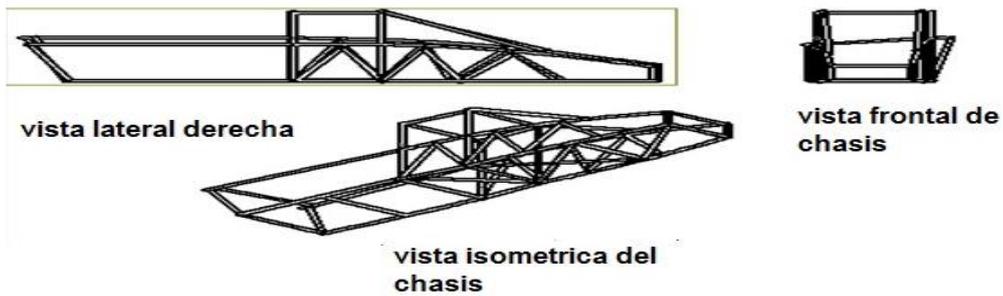
2.2 Análisis de esfuerzos y desplazamiento en horquilla.



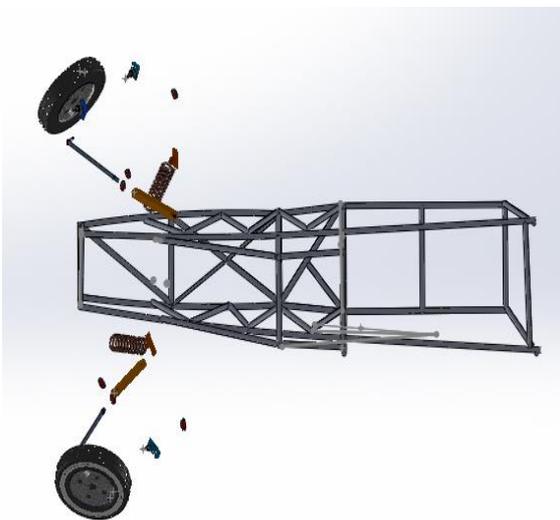
2.6.4 desplazamiento URES (mm) en horquilla inferior

2.2.1 Diseño de detalle y dibujo del chasis

En el diseño de la suspensión es importante tener un diseño del chasis, para este trabajo de tesis se diseña una suspensión MacPherson delantera y se realiza un plano del chasis que se tiene al cual se le va a diseñar una nueva suspensión.



2.6.5 vistas del chasis todo terreno completo



2.6.6 Diagrama en explosión para ensamblar la suspensión al chasis

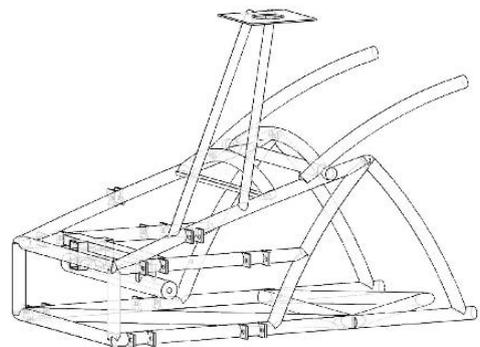
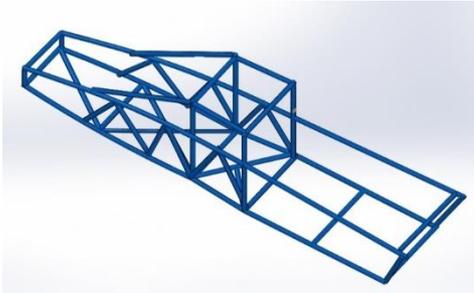


diagrama de parte delantera de chasis

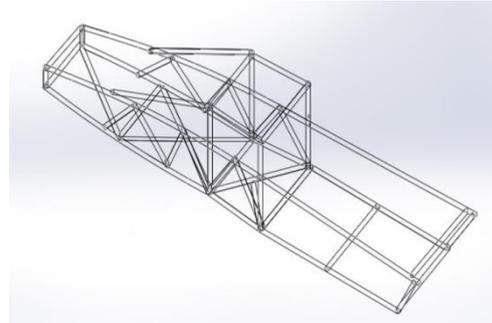
2.6.7 Diagrama de parte delantera del chasis

2.2.2 Chasis del vehículo todo terreno

El modelado del chasis del todo terreno es parte esencial en el diseño ya que en este se va a ensamblar la suspensión, se utilizan también las especificaciones del chasis y se adecua al diseño de la nueva suspensión.



2.6.8 Vista lateral izquierda del chasis



2.6.9 Dibujo del Chasis en CAD

2.2.3 Diseño de suspensión MacPherson delantera

En este caso se diseñara la suspensión sobre una estructura del chasis en su parte frontal.



2.7 Prototipo para diseño de suspensión MacPherson

2.2.4 Diseño y prototipos de chasis para la suspensión MacPherson

En las figuras se muestra los prototipos del chasis propuesto para diseñar la suspensión



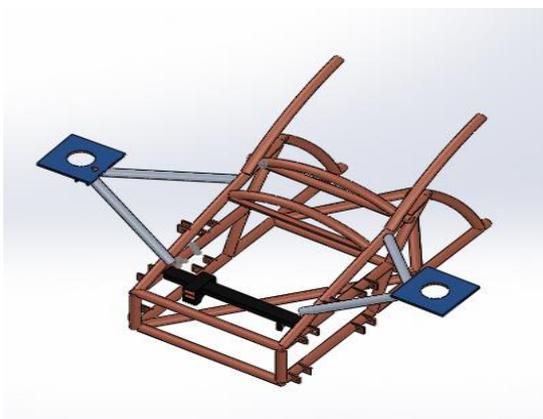
2.7.1 diseño prototipo para sujetar amortiguador



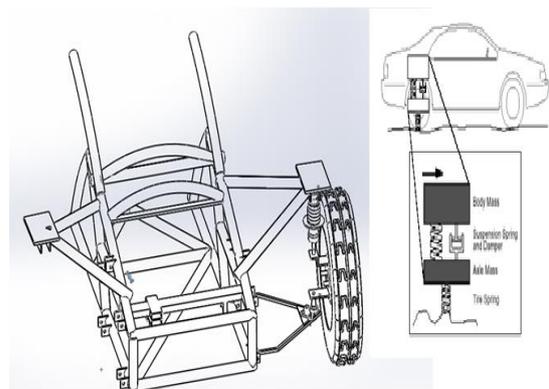
2.7.2 chasis delantero con placa soldada para sujetar amortiguador

2.2.5 Chasis y horquilla superior de la suspensión

Se diseñan los siguientes prototipos del chasis con horquilla superior los cuales son una alternativa de solución para el diseño de la suspensión.



2.7.3 parte frontal con prototipo de placa en los lados para sujetar suspensión



2.7.4 prototipo y diagrama para suspensión

En las figuras 3.7.5 y 2.7.6 se muestra el prototipo final con una horquilla fija al chasis en su parte superior, el cual cumple con la necesidad de diseño.



2.7.5 Diseño y ensamble de la suspensión



2.7.6 Diseño de suspensión y partes

2.2.6 Diseño y prototipo final en Solids Works de suspensión MacPherson

En esta sección se llega a la propuesta final de diseño de una suspensión MacPherson para vehículo todo terreno, en esta figura se puede observar cómo va ensamblada la suspensión.



2.7.7 parte frontal de la suspensión



2.7.8 vista posterior de la suspensión



2.7.9 Vista frontal de la suspensión MaPherson



2.8 Vista lateral de la suspensión MaPherson

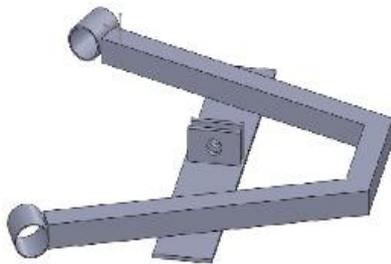
En la figura 2.8.1 se muestra como debe ir ensamblada la suspensión



2.8.1 Dibujo en explosión de la suspensión MacPherson completa

2.2.7 Prototipo de horquilla inferior para suspensión

El prototipo de la horquilla inferior se diseña en Solids Works y posteriormente se fabrica en el taller con acero PTR y cumplirá con la especificación de diseño, este lleva 2 bujes en la parte final de la horquilla, el poste superior va soldado directamente a chasis y este lleva una placa en su parte superior, se barrena en el centro para que pueda atornillarse la suspensión.



2.8.2 diseño de la horquilla inferior para soportar el amortiguador



2.8.3 diseño de horquilla superior para suspensión

2.2.8 Materiales para construir el prototipo

Barras y materiales para construir el triángulo inferior de la suspensión. Es necesario elegir un material que pueda ser un acero dúctil para el cual nos preocupa que tenga la resistencia para cuando sea sometido a esfuerzos ya que este va a resistir al momento de diseñar la horquilla inferior y deberá de llevar la geometría y el ángulo exacto para que pueda ser atornillado en la ceja que va al bastidor es por eso que debemos elegir bien nuestro tipo de material algunas propuestas para diseñar la horquilla son PTR de uso industrial también acero cold roll. Referencia [3] ED, Arthur Edman



2.8.4 PTR para diseño de horquilla

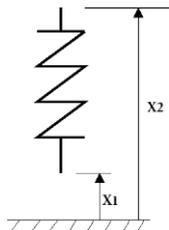


2.8.5 Acero Cold Roll

2.2.9 Determinación de la ecuación para el diseño de la suspensión.

El modelo más simplificado para el elemento elástico de una suspensión es el muelle lineal, que proporciona una fuerza proporcional a su elongación. La ecuación correspondiente se da a continuación:

Dónde:



2.8.6 Resorte

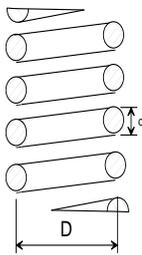
$$\vec{F}_{muelle} = -K(\vec{x}_2 - \vec{x}_1)$$

\vec{F}_{muelle} = fuerza ejercida por el muelle. [N].

K = constante de rigidez del muelle. $[\frac{N}{m}]$.

\vec{x}_i = desplazamiento del extremo i del muelle. $[\frac{m}{s}]$.

Como el tipo de elemento elástico más universalmente utilizado es el muelle helicoidal, resulta interesante conocer la fórmula que permite el cálculo de su rigidez a partir de sus dimensiones geométricas:



2.8.7 dimensiones del resorte

$$k = \frac{Gd}{8c^3N_a}$$

Dónde:

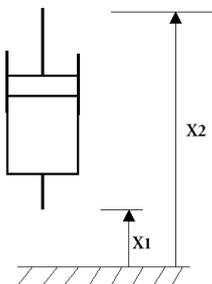
d= diámetro del hilo de las espiras. [m]

G= módulo de elasticidad transversal (para el acero G=77 G N/m²).

D= diámetro medio del muelle. [m]

Na= número de espiras.

La ecuación más simple que define el comportamiento de los amortiguadores se da a continuación. En ella se puede ver claramente cómo el amortiguador es un elemento que ejerce una fuerza que se opone linealmente a la velocidad relativa entre sus extremos, o expresado de otra forma, se opone a la velocidad de extensión o contracción:



$$\vec{F}_{amortiguador} = -c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$$

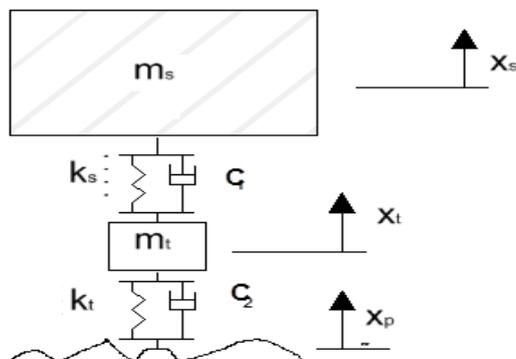
2.8.8 diagrama de un amortiguador

$\vec{F}_{amortiguador}$ = fuerza ejercida por el amortiguador. [N].

c = constante del amortiguador. [$\frac{N \cdot s}{m}$].

\dot{x}_i = velocidad de desplazamiento del extremo i del amortiguador. [$\frac{m}{s}$].

„ D.C.L



2.8.9 Diagrama de cuerpo libre de Suspensión MacPherson

Dónde:

m_t = masa no suspendida (masa de la rueda más sus soportes y otros elementos solidarios)

m_s = masa suspendida (masa del vehículo)

K_s = constante de rigidez de la suspensión

K_t = constante de rigidez de la llanta

C_1 = constante de amortiguamiento de la suspensión

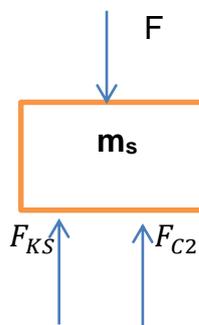
C_2 = constante de amortiguamiento de la llanta

x_s = Es el desplazamiento de un cuarto de la masa del chasis

x_t = Es el desplazamiento de la llanta

x_p = Las irregularidades del camino

D.C.L



2.9 Diagrama de cuerpo libre de masa suspendida

Fuerza del amortiguador

$$F = c\dot{x}$$

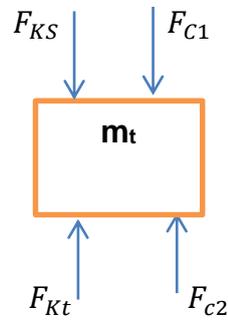
$$F_c = C_1(\dot{x}_s - \dot{x}_t)$$

Fuerza del resorte

$$F_{ks} = k_s x$$

$$F_{ks} = k_s(x_s - x_t)$$

D.C.L



2.9.1 Diagrama de cuerpo libre de masa no suspendida

$$F_{ks} = k_s(x_t - x_s)$$

$$F_{c1} = C_1(\dot{x}_t - \dot{x}_s)$$

$$F_{kt} = k_t(x_t - x_p)$$

$$F_{c2} = C_2(\dot{x}_t - \dot{x}_p)$$

Sumatoria de fuerzas de las dos masas

$$m_s \ddot{x}_s = F - c_1(\dot{x}_s - \dot{x}_t) - k_s(x_s - x_t)$$

$$m_t \ddot{x}_t = -c_1(\dot{x}_t - \dot{x}_s) - k_s(x_t - x_s) - k_t(x_t - x_p) - c_2(\dot{x}_t - \dot{x}_p)$$

Usualmente se desprecia el efecto de amortiguamiento del neumático: $c_2 \ll$

Este sistema puede interpretarse de la forma siguiente:

ENTRADAS:

$x(t)$ = perfil de la carretera

SALIDAS:

$X_t(t)$ = movimiento vertical de la rueda

$X_s(t)$ = movimiento vertical de la carrocería del vehículo

La resolución teórica exacta de este sistema es larga y compleja.

Como casos particulares se pueden analizar los siguientes:

1) si $M_2 \gg M_1$

$$w = \sqrt{\frac{K_1 + K_2}{m_1}}$$

2) si $K_1 \gg K_2$

$$w = \sqrt{\frac{K_2}{m_2}}$$

3) si $K_2 \gg K_1$

$$w = \sqrt{\frac{K_1}{m_1 + m_2}}$$

2.3 Calculo de la constante de rigidez para la suspensión de paralelogramo deformable.

$$k = \frac{Gd}{8c^3N_a}$$

$$G=77\text{Gpa}$$

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

$$c=D/d$$

$$D=4.5\text{cm}$$

$$N_a = 14$$

$$c = \frac{D}{d} = \frac{45\text{mm}}{7\text{mm}} = 6,4285$$

$$k = \frac{(77)(7 \times 10^{-3})}{8(6,4285)^3(14)} = 18,11514 \text{ kN/m}$$

2.3.1 Calculo de la constante de rigidez para la suspensión MacPherson.

$$k = \frac{Gd}{8c^3N_a}$$

$$G=77\text{Gpa}$$

$$d=13\text{mm}$$

$$c=D/d$$

$$D=128\text{cm}$$

$$k = \frac{(77)(0.013)}{8(9,8401)^3(6.5)} = \frac{1.001}{49545.233} = 20,2037 \text{ kN/m}$$

$$N_a = 6.5$$

$$c = \frac{D}{d} = \frac{128\text{mm}}{13\text{mm}} = 9,846$$

2.3.2 validacion de la ecuacion en Matlab simulink

Para dar solución al problema de diseño se utilizan las especificaciones obtenidas en el capítulo anterior y el diseño obtenido en SolidWorks, una vez que ya planteamos el modelo matemático cuyas ecuaciones diferenciales se generan fundamentadas en la segunda ley de Newton se resuelven en Simulink de Matlab. Finalizado el proceso de elaboración de los modelos se alimentan las variables con la información precisa del vehículo de estudio para obtener las gráficas que dan respuesta al protocolo, se utiliza el criterio de la prueba EuSAMA para el análisis de la adhesión para evaluar la respuesta obtenida.

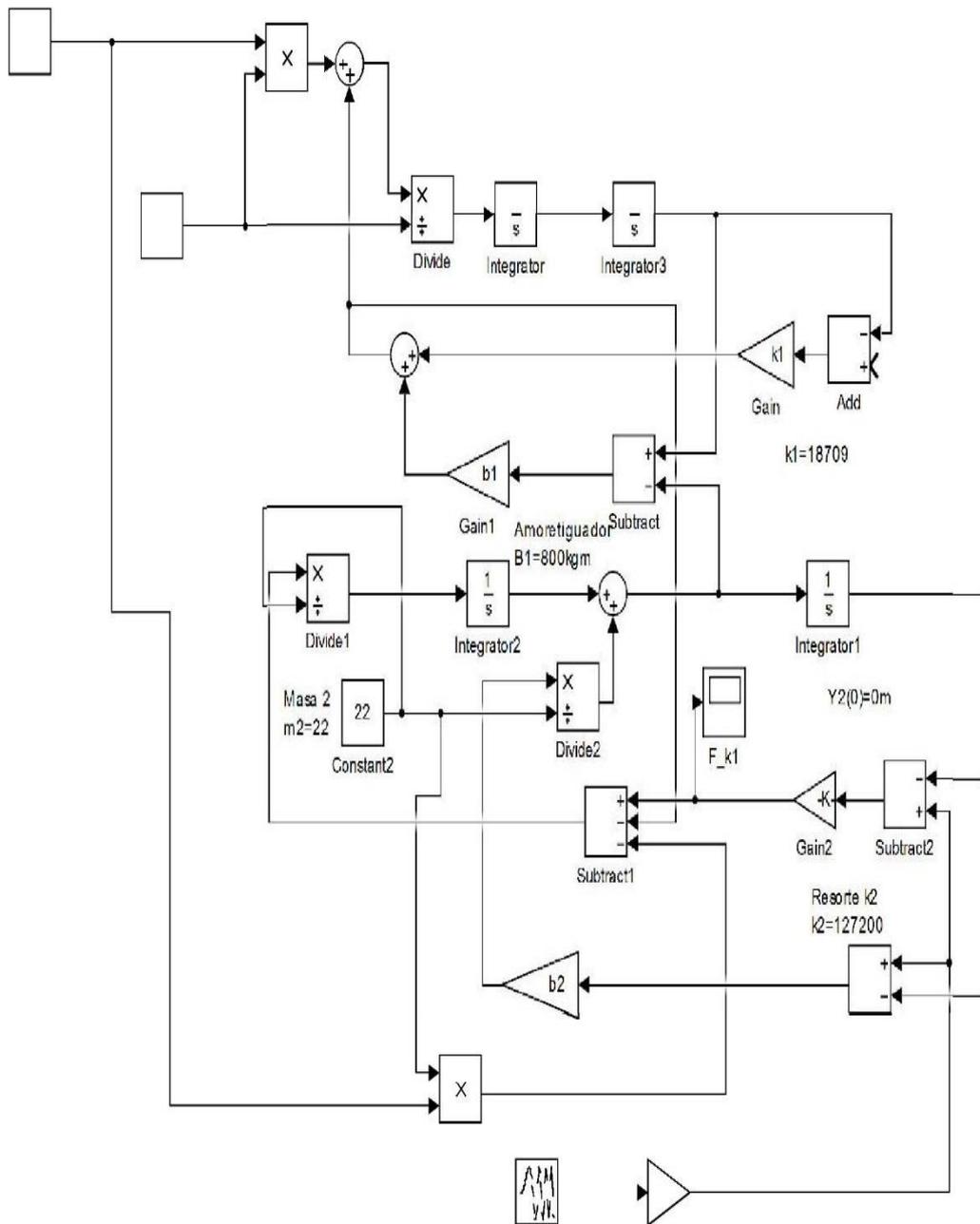
La European Shock Absorber Manufacturer, EuSAMA (1976), define la adhesión como la "Relación entre el mínimo valor de la fuerza vertical ejercida por una rueda, estimulada con una frecuencia de 0 a 25 Hz, y la misma fuerza medida a 0 Hz.

Interpretación de la	EuSAMA .Fuente autores
Medida de adhesión	Interpretación de la EuSAMA.
61% al 100%	excelente contacto dinámico de la llanta
41% a 60%	Buen contacto dinámico de la llanta
21% a 40%	Aceptable contacto dinámico de la llanta
1 a 20%	Pobre contacto dinámico de la llanta
0%	Ningún contacto dinámico de la llanta

Tabla 9 Interpretación de la EuSAMA, Referencia [8] Arbelalez,J,j

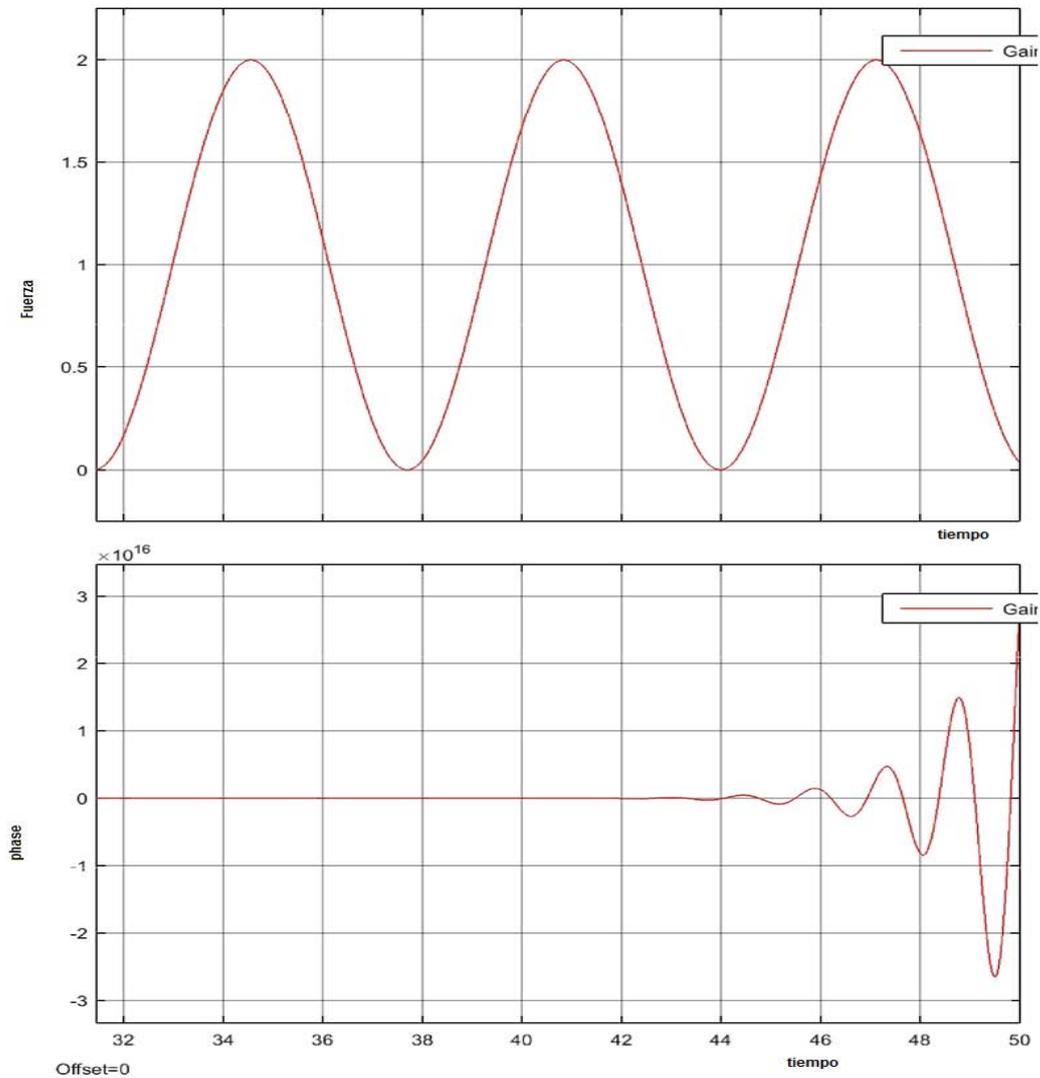
2.3.3 Solucion en simulink

Se realiza un diagrama de bloques utilizando la ecuacion diferencial obtenida para masa suspendida y no suspendida en la cual el numero de integradores nos lo da el orden de la ecuacion diferencial colocando la derivada de mayor orden igual a la suma de los terminos que contienen derivadas de orden inferior afectadas por los coeficientes, a continuacion se muestra el diagrama.



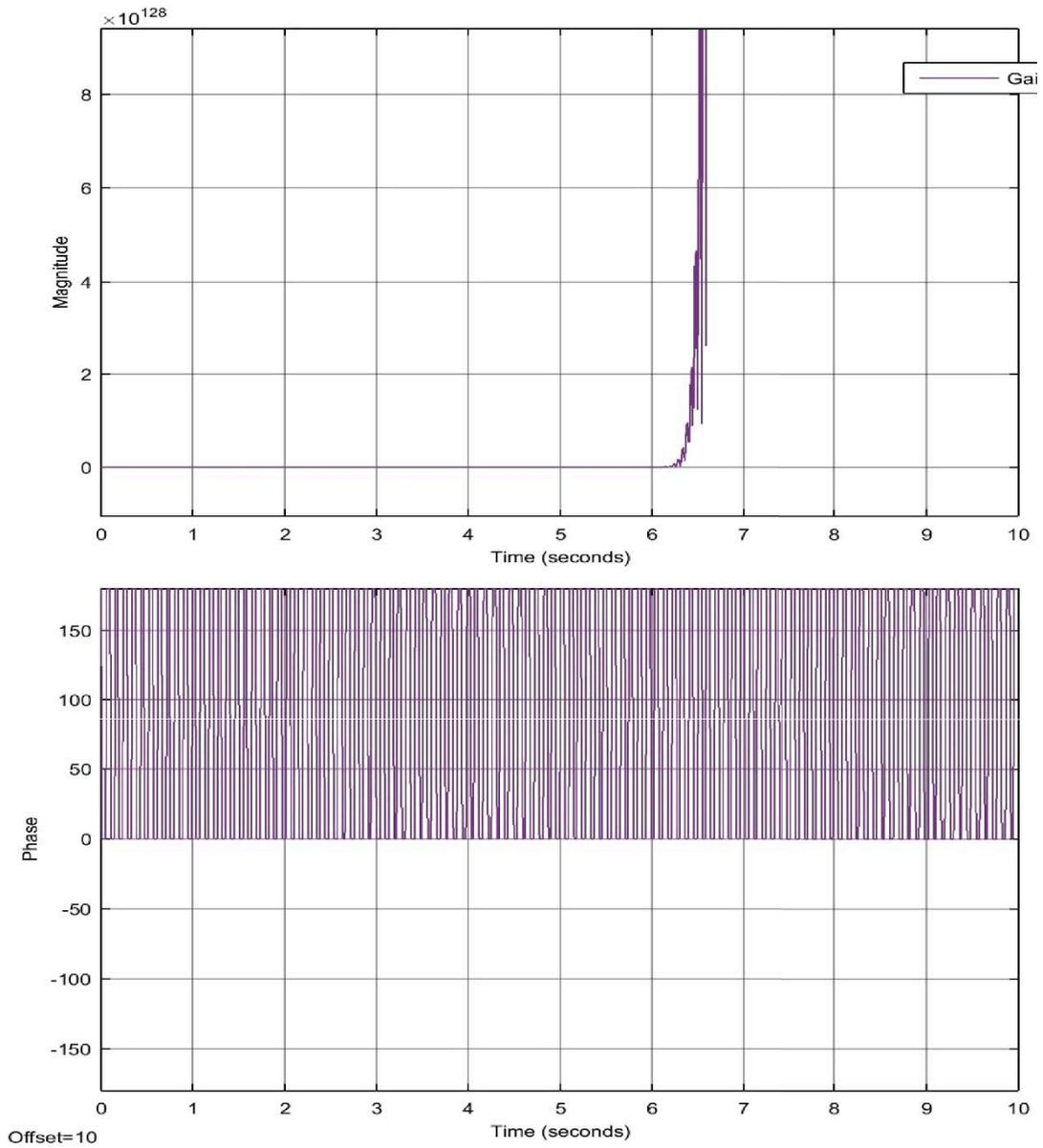
2.9 .2 Diagrama de bloques de la ecuación en simulink

2.3.4 Respuesta y graficas del modelo matematico en simulink



2.9 .3 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

Para valores $b_1=800, b_2=1400, k_1=20203, k_2=127200, m_s=800, m_t=22$ en los puntos mínimo y cero son de un 60% lo cual nos da un aceptable contacto de la llanta.

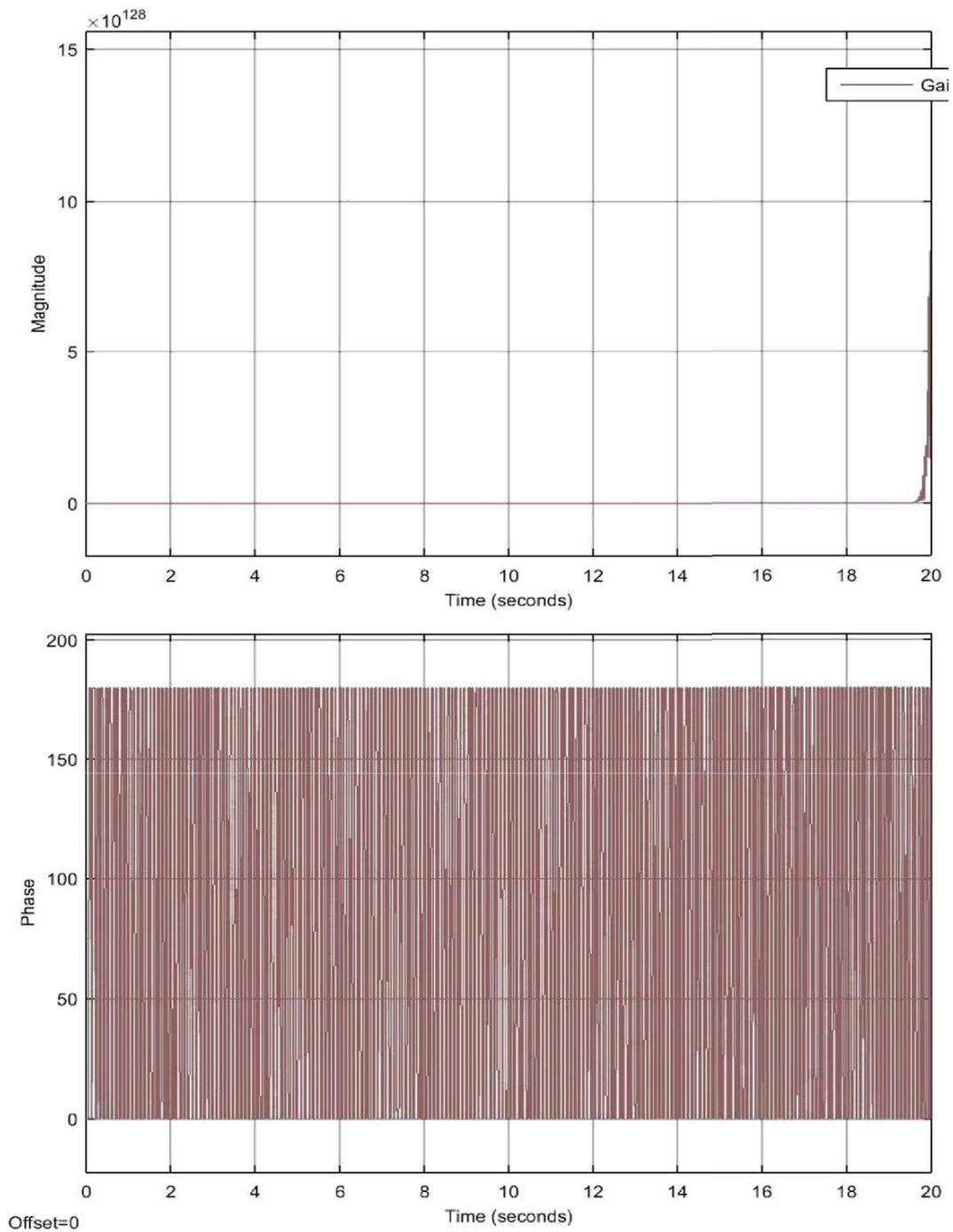


2.9 .4 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

Grafica de la funcion con valores calculados

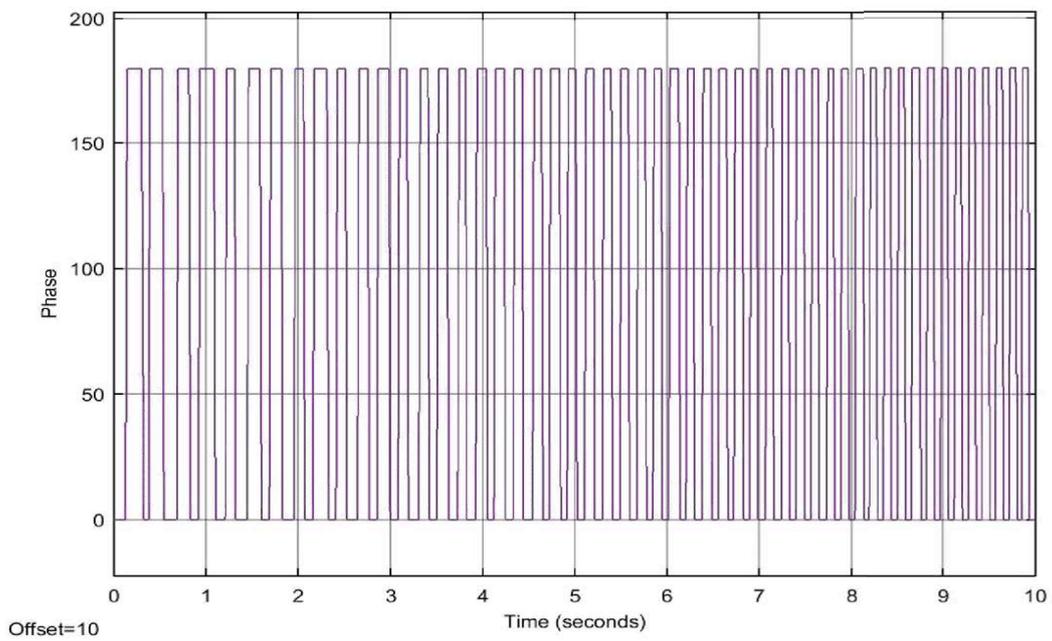
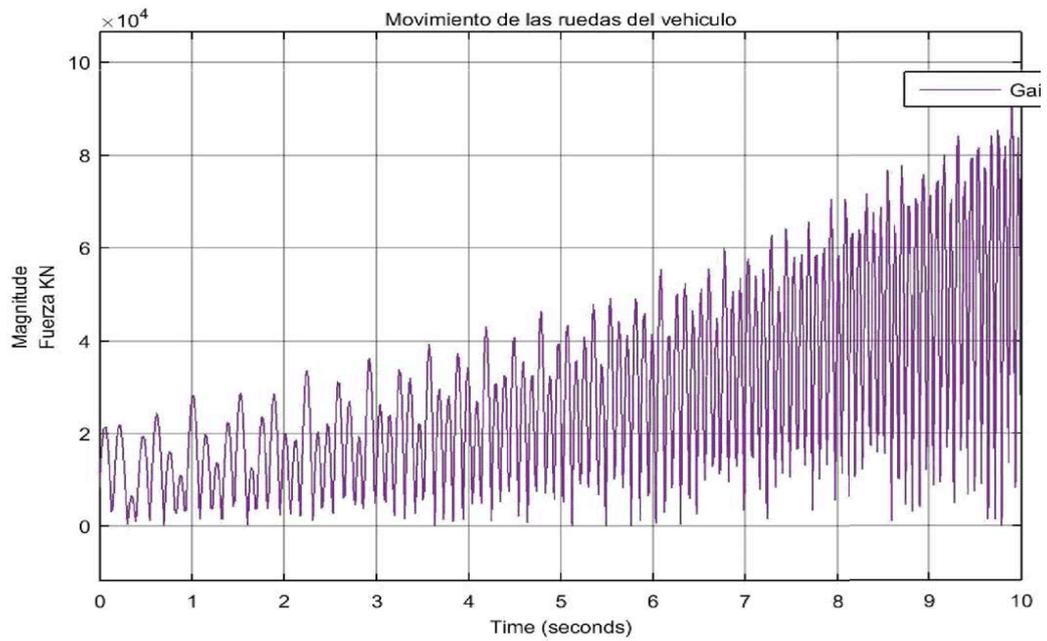
$b_1=700, b_2=1400, k_1=20203, k_2=127200, \text{MasaSusp}=800, \text{Masallanta}=22$

para estas da un porcentaje de 57% lo que representa un buen contacto con la llanta y la frecuencia de 6.5Hz constante.



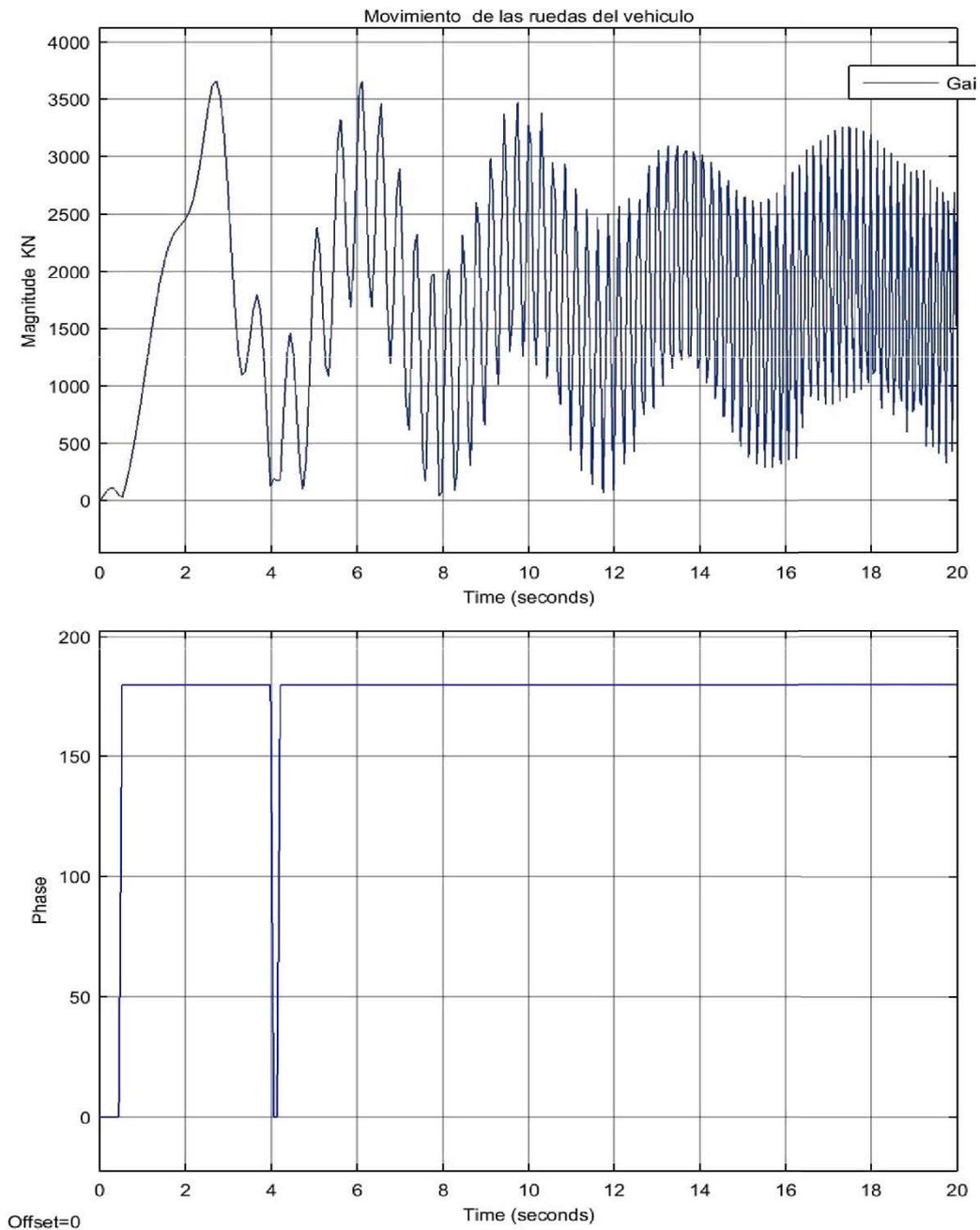
2.9 .5 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

AL variar $k_1=10203$ da un porcentaje de 40% lo que representa un aceptable contacto con la llanta ,a mayor tiempo al canzara alcanzara el punto maxio y la frecuencia 19.5 HZ.



2.9 .6 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

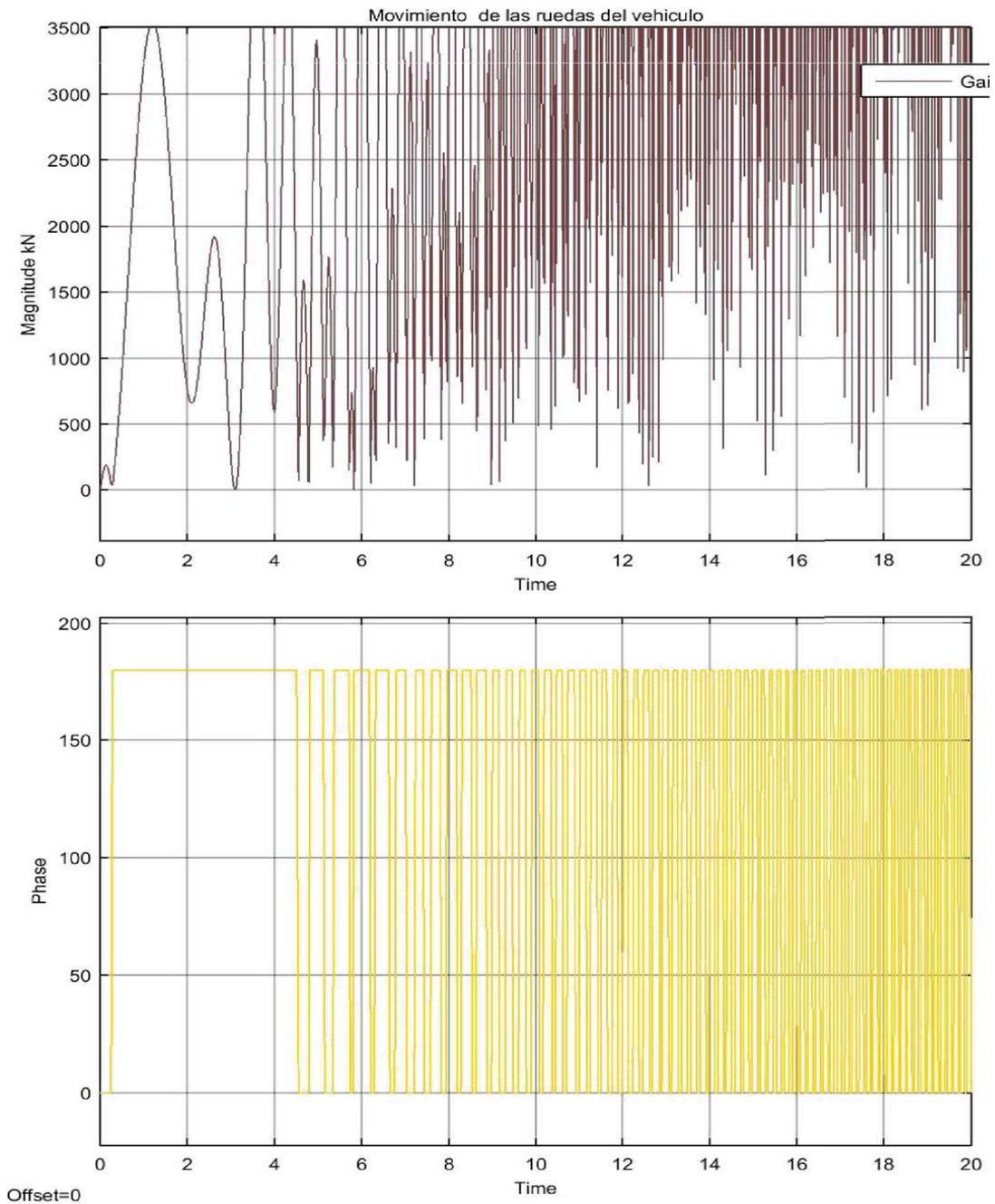
Al variar los parámetros de $b_1=300$ alcanza un 45% entre el punto mínimo y máximo representando un buen contacto dinámico con la llanta, podemos observar que la disminución del coeficiente de amortiguamiento compromete la adhesión del vehículo en la vía, afectando la estabilidad y maniobrabilidad.



2.9.7 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

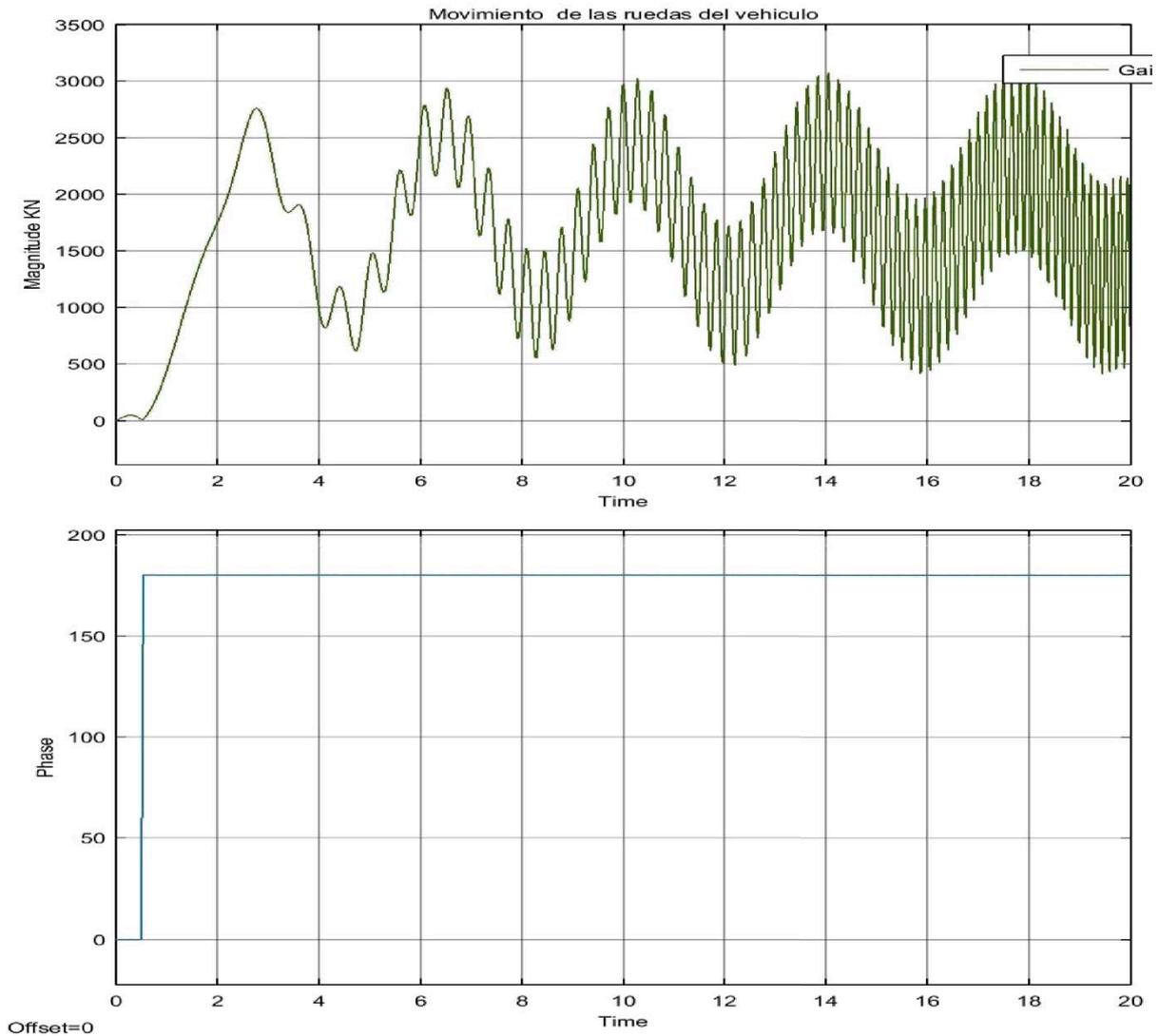
Al variar $b_1 = 160$

Para valores los puntos máximos y mínimos alcanzan un 40% lo cual indica un buen contacto dinámico de la llanta de su punto mínimo .Se observa que la disminución del coeficiente de amortiguamiento compromete la adhesión del vehículo en la vía, afectando la estabilidad y maniobrabilidad.



2.9 .8 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

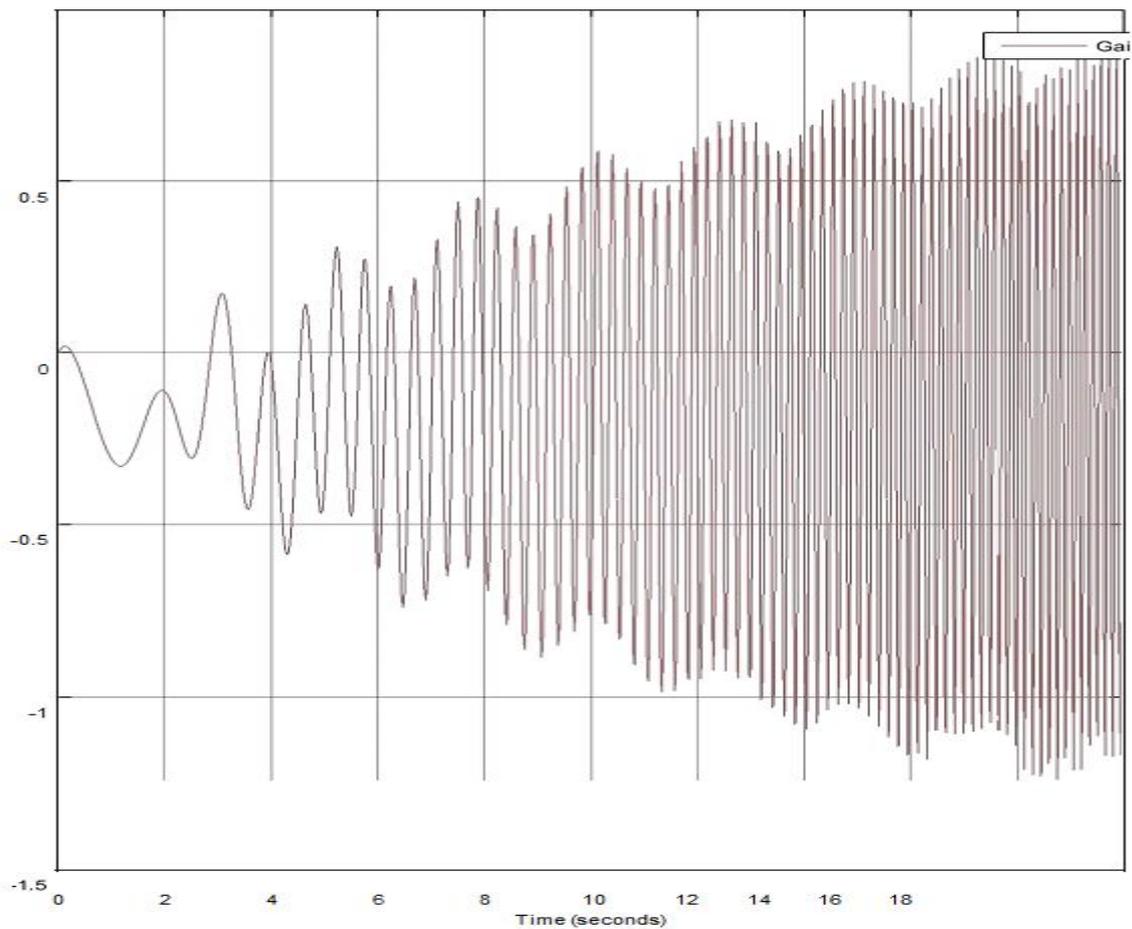
Al variar $k_2=14000$ los valores máximos y mínimos alcanzan un 38% de adhesión esto representa un aceptable contacto dinámico con la llanta, la resonancia presenta una frecuencia de 2.5 HZ s, podemos ver que el variar la constante de rigidez de la llanta compromete la adhesión de la llanta afectando la maniobrabilidad y estabilidad del vehículo.



2.9.9 graficas de magnitud-tiempo y fase-tiempo en simulink

Al variar $b_2=700$

Para valores los puntos máximos y mínimos alcanzan un 40% lo cual indica un aceptable contacto dinámico de la llanta y la resonancia de su punto mínimo aumenta a 160 y es constante teniendo un comportamiento considerable. Se observa que la disminución del coeficiente de amortiguamiento de la llanta compromete la adhesión del vehículo en la vía, afectando la estabilidad y maniobrabilidad, presenta una frecuencia de 12 Hz



2.10 graficas de magnitud-tiempo en simulink

Al variar $b_2=1000$

Presenta excelente contacto de adhesión de la llanta en un 80% obtenidos evidencian que los modelos desarrollados son confiables además, se observa que la disminución del coeficiente de amortiguamiento compromete la adhesión del vehículo, presenta una frecuencia de 20Hz

2.3.5 Resultados

Se realizó la simulación en Matlab simulink y nos da los siguientes resultados.

	Coeficiente de amortiguamiento kg/s	Frecuencia Hz	Valor de la adhesión %
b1	700	0.5	57
b1	300	4.5	45
b1	160	4.5	40
b2	700	0.5	40
b2	1000	18	80

Tabla .10 valores obtenidos de la respuesta del sistema para diferentes coeficientes de amortiguamiento

Al variar los coeficientes de amortiguamiento valores para los valores de 160, 300 y 700 en el programa presenta un aceptable contacto , para el valor de 1000 un excelente contacto dinámico de la llanta, al analizar los resultados se determina que a valores mayores del coeficiente de amortiguamiento los resultados son excelentes y a valores menores en los resultados puede significar que al disminuir el coeficiente de amortiguamiento el amortiguador puede estar en mal estado y esto puede ocasionar que disminuya el confort.

	Coeficientes de fricción	Valor de la adhesión %	Frecuencia Hz
K1	1023	40	19.5
K2	1400	38	2.5

Tabla .11 valores obtenidos de la respuesta del sistema para diferentes coeficientes de fricción

Al variar k1 presenta un aceptable contacto para el valor de 1023 y al variar k2 presenta un aceptable contacto con esto se puede determinar que a medida que se disminuye el coeficiente de fricción se pierde adhesión por lo tanto disminuye la maniobrabilidad y pierde estabilidad en el vehículo.

CAPITULO III

3.0 Fabricación del disco de agarre de la suspensión

Al fabricar los componentes de la suspensión una vez que ya modelamos el diseño de la suspensión tipo MacPherson en Solids Works podemos fabricar cada una de las partes de la suspensión las cuales van a ser ensambladas al chasis del vehículo todo terreno en este diseño utilizamos una horquilla inferior que va a ir atornillada a un disco de agarre de la suspensión y este disco de agarre en su parte superior será barrenado en el cual va a ir atornillado el conjunto muelle amortiguador y para atornillar esta suspensión debido a la configuración de la suspensión MacPherson debe ir atornillada en su parte superior y permitir girar muelle amortiguador, llanta y rin ,este diseño lleva una horquilla superior la cual va ir fija soldada a la parte superior del chasis por eso es importante fabricar cada elemento de la suspensión ya diseñado en CAD y algo muy importante es saber alturas ,distancias entre ejes como lo hicimos en el capítulo anterior, para esto utilizaremos materiales como son tubos de acero ,cédula 40,PTR para uso industrial placa de acero calibre 40 amortiguadores ,muelle, tapa, bujes, Rotula, bieleta, tambor, Llanta y Rin 15,bieleta y caja de dirección hidráulica.

A continuación se muestran unas fotos de los elementos de la suspensión tipo MacPherson que será fabricada en el taller.



3.1 Tambor delantero de Chevy



3.1.1 Disco de agarre para acoplar al tambor



3.1.2 parte interior del tambor

3.1 Comparación de los elementos de sujeción para soportar la suspensión



3.1.3 Elemento para sujetar el tambor anterior



3.1.4 Disco para soporte de rueda, Rin, Amortiguador



3.1.5 vista frontal de disco barrenado

En este tipo de acoplamiento para la suspensión mecánica debe de ir atornillada a la parte inferior del conjunto muelle amortiguador por eso se barreno en su parte superior para que pueda ser acoplada a la placa superior del chasis en su parte inferior fue barrenada para acoplarla a la rótula que va atornillada a la horquilla inferior esta nos permitirá los grados de libertad de giro para cuando tiene que dar vuelta a la izquierda o a la derecha, la anterior solo soportaba llanta y rin y el amortiguador era atornillado en la horquilla inferior y de manera diagonal al chasis en la suspensión MacPherson va de manera vertical al chasis y permite girar al amortiguador con una base que lleva un rodamiento.



3.1.6 Conjunto, Muelle, Amortiguador para suspensión Mac Pherson



3.1.7 Horquilla, con bujes, Rotula y tornillos



3.1.8 bieleta

3.1.1 Elementos de la horquilla de la suspensión y fabricación de placa metálica.



3.1.9 Bujes



3.2 Rotula



3.2.1 husillo acoplado al tambor

Los elementos de la suspensión que van acoplados en el conjunto resorte – Amortiguador, llanta y Rin, horquilla, tambor forman parte de la masa no suspendida en nuestra suspensión cada órgano o elemento de la suspensión tiene una función principal la cual al conocerla se puede realizar la fabricación utilizando el diseño y haciendo coincidir estos elementos al chasis de nuestro vehículo esto se facilita usando las especificaciones finales de nuestro diseño para que al fabricar nuestro diseño tenga las dimensiones adecuadas y pueda resistir las vibraciones oscilaciones, esfuerzos que va a realizar el vehículo al estar funcionando.



3.2.2 Placa superior para atornillar el conjuntó masa suspendida lado izquierdo



3.2.3 Placa circular Opcional para sujetar el conjunto masa-Resorte -Amortiguador



Esta placa de cedula 40 fue barrenada en el centro la cual tiene un diámetro de 9 cm y los tres barrenos que llevan atornillados permitirán ajustar el conjunto masa/resorte amortiguador al chasis de nuestro vehículo el cual va a ser a un único Angulo ya alineado para la llanta, este diseño va de esta forma debido a que la configuración de la suspensión MacPherson forma un triángulo articulado

de un grado de libertad el cual va sujetado de la horquilla al bastidor y de la parte superior del amortiguador al chasis.



3.2.4 Horquilla superior y placa para atornillar la suspensión



3.2.5 placa y horquilla superior vista frontal

Al realizar la fabricación de nuestro diseño se debe alinear la llanta y el conjunto masa-resorte-amortiguador al chasis alineando y dando una distancia desde el piso donde va a hacer contacto la llanta hasta donde debe alcanzar la alineación adecuada de nuestra llanta por eso se debe cortar el tubo que se va a soldar al chasis y tener la placa lista para hacer coincidir distancias alturas y aplicar la soldadura en los puntos donde va a unir el metal.



3.2.6 placa circular para sujetar el conjunto masa-Resorte-Amortiguador opcional



3.2.7 placa superior de la suspensión

Al realizar el acoplamiento de la placa superior y los tubos se realizaron dos pruebas al principio se utilizaría una placa circular al probar no coincidía la altura de la horquilla al piso, sin embargo tomando una perspectiva diferente y marcando ángulos del piso a lo alto que debe llevar la llanta se logró solucionar el problema utilizando una placa metálica cuadrada de 20cm x 20 cm para que tenga una mayora área de contacto para soldar los tubos y permitir el libre movimiento de amortiguador al girar o dar la vuelta.



3.2.8 vista de planta de soporte de placa para el conjunto masa-resorte-amortiguador

El acoplamiento para conjunto masa-resorte-amortiguador con llanta y rin al fabricar este disco de agarre se consideró que es un elemento el cual va a ir acoplado a la llanta-rin y tambor y será sujetado del bastidor al chasis en la parte inferior, en su parte superior será atornillado el conjunto muelle y resorte por eso la geometría del disco de agarre es de esta forma con elementos en su parte inferior, superior y también en su parte frontal este fue barrenado para que pueda ser ensamblado en cada una de las partes que le corresponde.



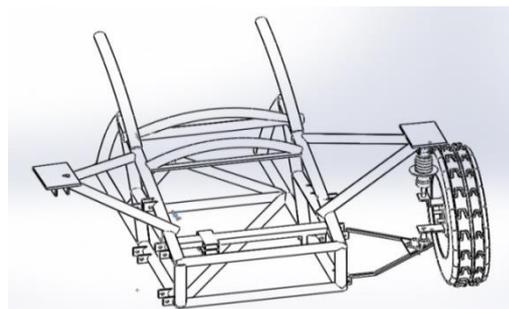
3.2.9 piezas de acoplamiento para la suspensión



3.3 forma de acoplar el disco de acoplamiento al bastidor y al chasis



3.3.1 parte frontal del chasis



3.3.2 Dibujo de la parte frontal del chasis

Una parte importante en la fabricación de nuestra suspensión fue conocer bien la geometría y las distancias en los lugares donde debe ir ensamblada nuestra suspensión ya que así se pudo tomar medidas, características físicas para saber cómo diseñar y fabricar cada elemento de nuestra suspensión por eso es

importante diseñar en un sistema CAD y después lograr que coincida cada una de nuestras piezas con el chasis y podamos ensamblar.



3.3.3 prueba de llanta, rin y amortiguador



3.3.4 Conjunto resorte amortiguador acoplado al chasis

3.1.2 Ajuste de resorte y Amortiguador

Al atornillar el conjunto resorte amortiguador debe estar ya correctamente ajustado el resorte y el amortiguador, este lleva una tapa con un rodamiento el cual nos permite que gire ala izquierda o la derecha según el movimiento que se le da al volante del carro, esto es utilizando la bieleta que va atornillada a la dirección y de la dirección al disco de agarre.



3.3.5 vista del chasis y suspensión delantera



3.3.6 partes de la suspensión soldada

Al ensamblar la suspensión después de tener fabricados los elementos de la suspensión se presentaron algunos problemas que se lograron resolver al corregir la fabricación como por ejemplo al diseñar la horquilla el ángulo de abertura entre ejes debe ser calculado con exactitud para que no quede desalineada nuestra suspensión, esto se pudo corregir realizando plantillas con cartulina realizando los cortes nuevamente y únicamente poner puntos de soldadura para poder hacer correcciones y dejar la horquilla bien centrada.



3.3.7 resorte-amortiguador y placa



3.3.8 resorte-amortiguador-llanta



3.3.9 Ensamble de suspensión Macpherson

3.1.3 Instalación de dirección del chasis.

Al ensamblar las piezas ya fabricadas se instaló la dirección de un chevy, el problema para instalarla se resolvió instalando hules en las partes de contacto donde puede ser apoyada la dirección y utilizando abrazaderas, se pudo adecuar la bieleta cortándola y soldándole otro tramo de la barra para hacer coincidir distancia al realizar esto es posible realizar la vuelta hacia la derecha o la izquierda girando la caja de dirección de la suspensión.



3.4 dirección acoplada al vehículo todo terreno



3.4.1 chasis frontal

Cada uno de los elementos de los cuales debe llevar la suspensión deben ser soldados ya que cada parte del chasis debe resistir esfuerzos como son elementos en los cuales va soportar la dirección la barra de dirección los postes a barras donde sostienen los puntos de agarre de la suspensión tienen que estar bien acoplados para que al realizar movimiento logre reducir ruido y vibraciones en la parte interna de nuestro vehículo todo terreno por eso las abrazadera y

tornillos que sujetan la barra de dirección van atornillados con la precisión que debe llevar , esto lo podemos analizar en futuras pruebas .

Cuando podamos probar en el taller o físicamente cuando este en movimiento el vehículo se podrá también alinear la suspensión y reducir ruidos al contacto con el terreno.



3.4.2 vista lateral de la suspensión MacPherson



3.4.3 horquilla ensamblada a la pieza de agarre y amortiguador

3.1.4 Ensamble de disco de agarre y horquilla

Al ensamblar la horquilla con el disco de agarre las piezas fueron ajustadas e instaladas al bastidor del vehículo todo terreno y se pudo acoplar correctamente cada pieza de la suspensión, estas piezas deben de quedar bien ajustadas para que al momento de moverse o resistir las irregularidades del terreno efectúen bien su funcionamiento y no tenga algún problema y comience a escucharse ruido en los componentes de la suspensión.



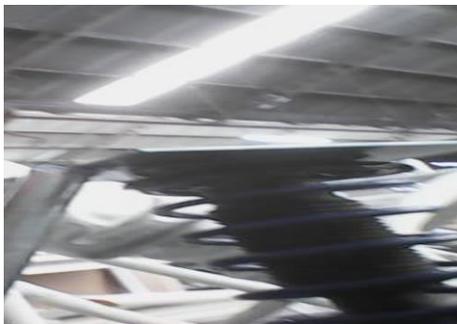
3.4.4 lado izquierdo de la suspensión construida



3.4.5 Llanta, disco de acoplamiento-resorte y amortiguador acoplado al chasis

3.1.5 Parte superior soldada al chasis mediante tubos formando una horquilla superior.

Al ajustar la parte superior de la suspensión y los tubos que sostienen esta tapa van soldadas a la parte lateral de la suspensión para dar un mayor soporte y mayor resistencia a la suspensión para que sostenga y pueda ser ensamblada al chasis del vehículo todo terreno, esto es porque una vez que ya este soldado al chasis reaccionara sobre el mismo y nos dará el amortiguamiento al vehículo, uno de los problemas para lograr esto es centrar bien la llanta y rin considerar la medida esta es rin 15 y la altura del amortiguador de la suspensión, esta debe llevar un ajuste el cual va del piso a la placa de acero que va soldada al chasis y nos permitirá ajustar la llanta a un solo ángulo para lograr la alineación de la suspensión.



3.4.6 suspensión ensamblada al chasis



3.4.7 suspensión llanta y rin con bieleta actuando

Al llegar a la fabricación obtenemos un prototipo de suspensión Macpherson que en comparación con el que originalmente se utilizaba una suspensión de paralelogramo deformable, este puede darnos mejores características de amortiguamiento, reducción de ruido y vibraciones y el confort para que el vehículo pueda ser probado en cualquier terreno por ejemplo asfalto o de terracería, arena, terreno arenoso.



3.4.8 Centraje de horquilla, llanta-rin-amortiguador



3.4.9 parte lateral de suspensión MacPherson

Al ensamblar la suspensión ya terminada se realizó primero atornillando la horquilla inferior al bastidor con sus bujes y la rótula atornillada al a placa metálica esta es atornillada al disco de agarre en su parte inferior en este mismo disco en su parte superior se atornilla el conjunto muelle –amortiguador que después de atornillarse correctamente se atornilla en su parte superior en la horquilla la cual se puede utilizar en el vehículo todo terreno como una suspensión MacPherson la cual definimos en el primer capítulo como un mecanismo de tipo triangulo articulado formado por el brazo inferior, el conjunto muelle –amortiguador es de compresión libre por lo que tiene un único grado de libertad y el diseño que realizamos cumple con la necesidad y el problema de diseño que realizamos en el segundo capítulo de diseñar una suspensión MacPherson para vehículo todo terreno.



3.5 suspensión delantera acoplada



3.5.1 suspensiones MacPherson ensamblado

Este diseño se logró fabricar para que se puedan realizar futuras pruebas en el taller esto para obtener especificaciones óptimas que ayuden al funcionamiento de la suspensión Macpherson y sistematizar el proceso de diseño de una suspensión.

CONCLUSIONES

PRIMERA:

Al hacer un análisis del proceso de diseño y seguir la metodología de Ulrich Eppinger se obtuvieron especificaciones, se diseñó, se modelado en CAD y se determinó la ecuación diferencial, esto nos permitió realizar el diseño y conocer los parámetros a los cuales la suspensión estará funcionando bien y se pueda hacer un diseño adecuado para alcanzar el máximo confort.

SEGUNDA:

El diseño de suspensión MacPherson se ha realizado con el programa Solid Works por su sencillez y por su facilidad de relacionarse con otros programas CAD, este programa facilita la posibilidad de diseñar piezas complejas y hacer un análisis de elementos finitos y se puede simular en un entorno virtual, con esto se facilitó el modelado, la comprensión del funcionamiento mecanismo y la prueba de esfuerzos de materiales, con el programa Matlab se realizó un análisis del modelo matemático obtenido con el cual se nos facilita saber las condiciones a las cuales nuestro sistema de suspensión puede alcanzar el mejor confort.

TERCERA:

El utilizar una metodología facilita el proceso de diseño ya que si conocemos todas las especificaciones de los elementos de la suspensión Macpherson y los utilizamos en un entorno virtual podemos modelar, realizar prototipos y fabricar una suspensión que se adecue al chasis del vehículo todo terreno, también se puede hacer una validación del modelo matemático en el programa matlab y obtener las condiciones a las cuales las variables de constante de amortiguamiento y rigidez nos den el mejor rendimiento y se aplique al diseño para lograr un mejor confort.

REFERENCIAS

[1] Circuitos de fluidos, Suspensión y Dirección, MACMILLAN profesional, Esteban José Domínguez, Julián Ferrer.

[2] Ingeniería de vehículos y sistemas y cálculos, Manuel Cascajosa

[3] Diseño de mecanismos, Análisis y síntesis, 3ª ED, Arthur G .Erdman. George N. Sandor.

[4] Dinámica Vertical-Suspensiones Apuntes, Criterios de diseño de Vehículos, Centro politécnico Superior, Ingeniería Industrial, Cursos 2010-2011.

[5] Frank J. Thiessen /Davis N Dales, 1996, Manual técnico automotriz, operación, mantenimiento y servicio, (página 807, tomo IV) Cuarta Edición Prentince-Hall Hispanoamericana, S.A.

[6] Martínez Hermogenes, 2000 Colombia Manual práctico del automóvil, Cultural, S.A

[7] GRUPO CEAC, 2003, España Manual Ceac del automóvil. Grupo Editorial Ceac S.A

[8] Arbelalez,J,j., Quinter,J.P. & Calle,G,2007,Modelado diseño y construcción de un banco de pruebas para el análisis de la adhesión en la evaluación en suspensiones de vehículos livianos bajo la norma European Shock absorber Manufactures Association (EuSAMA),8ºCONGRESO Ibero americano de ingeniería Mecanica(CIBIM 2007).

[9] Urraza, G, Olalde, K, y varios coautores Dibujo técnico industrial, Bilbao: Arte Kopi, 1998.