



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de
suspensión de serie a un vehículo de competición

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: García Miralles, Jorge

Tutor/a: Sánchez Nacher, Lourdes

Cotutor/a: Ivorra Martínez, Juan

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición. Trabajo de Fin de Grado. Universidad Politécnica de Valencia, Campus de Alcoy.

Resumen

Este Trabajo final de grado nace de la necesidad real de una empresa la cual se hizo cargo de un proyecto de mejora de un coche de carreras derivado de un coche de serie. En este trabajo se trabaja una de las ramas más importantes de la ingeniería mecánica, la automoción. Específicamente se trabaja la dinámica de vehículo, mejorando las cargas verticales por rueda modificando las rigideces de la suspensión.

En este trabajo se realizan los cálculos pertinentes para caracterizar matemáticamente la suspensión de un coche y poder encontrar una mejora en el paso por curva con ajustes de rigideces del sistema de suspensión. Para ello se lleva a cabo una serie de modificaciones en la suspensión del coche, que posteriormente son verificadas en una prueba de campo real.

Tras esa prueba de campo se comprueba que los resultados son satisfactorios. Se consigue un mejor paso por curva y un balance del coche neutral. Esto determina que las modificaciones llevadas a cabo son la correctas. Aun así, sigue quedando mucho trabajo de desarrollo que hacer en el coche para tener una clara ventaja en la competición.

Palabras clave: Sistema de suspensión; cálculo; adaptación; vehículo; competición; optimización; fabricación.

Proposal for calculating and adapting a series suspension system to a racing vehicle.
Final Degree Project. Universidad Politècnica de Valencia, Campus de Alcoy.

Summary

This Bachelor Thesis arises from the real need of a company which took charge of a project to improve a racing car derived from a streetcar. This job deals with one of the most important branches of mechanical engineering, the automotive industry. Specifically, the job is being done on vehicle dynamics, improving the vertical loads per wheel by modifying the stiffness of the suspension.

In this work, the proper calculations are made to mathematically characterize the suspension of a car and to be able to find an improvement in cornering with stiffness adjustments of the suspension system. To do this, several modifications are made to the car's suspension, which are later verified in a real track test.

After this track test, it is verified that the results are satisfactory. Better cornering and neutral car balance is achieved. This determines that the modifications conducted are correct. Even so, there is still a lot of development work to do on the car to have a clear advantage in the competition.

Keywords: Suspension system; calculation; adaptation; vehicle; competition; optimization; manufacturing.



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge Garcia Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO Nº1 – ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO N°2 – MEMORIA	6
1. Introducción.....	9
2. Objeto, alcance y limitaciones	12
2.1. Objeto general.....	12
2.2. Objetos particulares.....	12
2.3. Alcance	12
2.4. Requisitos de diseño	12
3. Antecedentes.....	13
3.1. Descripción de automovilismo	13
3.2. Principales diferencias entre un vehículo de serie y un vehículo de competición.....	13
3.2.1 Chasis	13
3.2.2 Motor.....	15
3.2.3 Frenos.....	16
3.2.4 Carrocería.....	17
3.2.5 Neumáticos.....	18
3.2.6 Suspensiones	19
3.2.7 Normativa técnica	19
3.3. Definición de dinámica vehicular	20
3.4. Definición de cargas	23
3.4.1 Masa suspendida CG.....	24
3.4.2 Rigidez del chasis.....	24
3.4.3 Transferencia de carga lateral	24
4. Análisis de soluciones	25
4.1. Muelles.....	25
4.2. Barras de torsión	25
5. Conclusiones.....	26
6. Presupuesto.....	27
6.1. Análisis de viabilidad económica.....	27
7. Apéndices	28
7.1. Referencias bibliográficas.....	28
7.2. Listado de normas utilizadas	28
7.3. Definiciones y abreviaturas.....	28
7.4. Programas de cálculo	29
7.5. Plan de calidad aplicado durante la redacción del proyecto.....	30
7.6. Orden de prioridad entre los documentos	30
7.7. Listado de figuras.....	30

7.7.1. Documento N°2 - Memoria	30
7.7.2. Anexo 1 – Cálculos	31
7.7.3. Anexo 3 – Prueba en pista.....	31
7.7.4. Documento N°5 – Pliego de condiciones	31
7.8. Listado de tablas.....	31
7.8.1. Anexo 1 – Cálculos	31
DOCUMENTO N°3 - ANEXOS	1
ANEXO 1 – CÁLCULOS	1
Tabla de contenido.....	1
1. Cálculo inicial de Rigideces	2
2. Cálculo de optimización de suspensión.....	12
2.1. Gradiente de rotación.....	13
2.2. Rigidez a rotación	14
2.3. Cálculo de optimización	14
3. Resumen	19
ANEXO 2 – ELECCIÓN DE MUELLES	20
1. Características del muelle.....	2
ANEXO 3 – PRUEBA EN PISTA	4
1. Planificación de prueba en pista	2
2. Comparativa de conducción	2
3. Análisis del piloto.....	5
4. Resumen	5
DOCUMENTO N°4 – PLANOS	6
DOCUMENTO N°5 – PLIEGO DE CONDICIONES	10
DOCUMENTO N°6 – PRESUPUESTO.....	4
1. Trabajo ingeniería.....	2
2. Trabajo Taller	2
3. Trabajo Circuito.....	2
4. Resumen	3



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO N°2 – MEMORIA

Tabla de contenido

DOCUMENTO N°2 – MEMORIA	6
1. Introducción.....	9
2. Objeto, alcance y limitaciones	12
2.1. Objeto general	12
2.2. Objetos particulares.....	12
2.3. Alcance	12
2.4. Requisitos de diseño	12
3. Antecedentes.....	13
3.1. Descripción de automovilismo	13
3.2. Principales diferencias entre un vehículo de serie y un vehículo de competición.13	
3.2.1 Chasis	13
3.2.2 Motor.....	15
3.2.3 Frenos.....	16
3.2.4 Carrocería.....	17
3.2.5 Neumáticos.....	18
3.2.6 Suspensiones	19
3.2.7 Normativa técnica	19
3.3. Definición de dinámica vehicular	20
3.4. Definición de cargas	23
3.4.1 Masa suspendida CG.....	24
3.4.2 Rigidez del chasis.....	24
3.4.3 Transferencia de carga lateral	24
4. Análisis de soluciones	25
4.1. Muelles.....	25
4.2. Barras de torsión	25
5. Conclusiones.....	26
6. Presupuesto.....	27
6.1. Análisis de viabilidad económica.....	27
7. Apéndices	28
7.1. Referencias bibliográficas	28
7.2. Listado de normas utilizadas	28
7.3. Definiciones y abreviaturas.....	28
7.4. Programas de cálculo	29
7.5. Plan de calidad aplicado durante la redacción del proyecto.....	30
7.6. Orden de prioridad entre los documentos	30

7.7. Listado de figuras.....	30
7.7.1. Documento N°2 - Memoria.....	30
7.7.2. Anexo 1 – Cálculos.....	31
7.7.3. Anexo 3 – Prueba en pista.....	31
7.7.4. Documento N°5 – Pliego de condiciones.....	31
7.8. Listado de tablas.....	31
7.8.1. Anexo 1 – Cálculos.....	31

1. Introducción

Este trabajo surge por la necesidad real de la empresa Quality Electric Vehicles (QEV), donde estaba desempeñando mi labor de ingeniero mecánico especializado en motorsport en la rama de “performance engineer”, situada en Montmeló (Barcelona). En concreto, esta empresa se dedica a la producción y desarrollo de vehículos eléctricos. Como por ejemplo el nuevo Hispano-Suiza Carmen, el superdeportivo BAIC o el reciente Rallycross eléctrico.

Todos ellos son vehículos eléctricos, pero el trabajo que se ha desarrollado en esta memoria es un vehículo de combustión. Esta empresa empezó como un equipo de carreras de turismos que poco a poco fue evolucionando hacia el desarrollo de vehículos de altas prestaciones. Vio un gran mercado aparte de la competición.

Hoy en día esta empresa focaliza todos sus recursos en el desarrollo de vehículos eléctricos dejando atrás los vehículos de combustión. Pero bien es cierto, que todo el conocimiento con el que cuenta hoy en día viene de los vehículos de combustión.

Este trabajo abarca el que sería uno de los últimos proyectos de combustión que QEV realizaría en su era de combustión.

Dicha empresa mantiene una muy buena relación con muchos fabricantes chinos de vehículos. El trabajo surge cuando el fabricante de vehículos ingles MG Motor, fundada por William Morris en 1924, quiebra. Acto seguido el gran grupo automovilístico chino SAIC Motor adquiere la totalidad de la empresa británica.

La empresa SAIC Motor es una de las empresas automovilísticas más grandes de china, siendo el grupo que más vehículos fabrica en toda china. Actualmente esta empresa sigue los pasos de la industria hacia una movilidad eléctrica. Especialmente en China donde los niveles de contaminación son extremadamente altos.

Pero sigue teniendo algunos proyectos de combustión como el que se contempla en este trabajo.

Como estrategia de marketing para potenciar y reforzar la marca inglesa, se decide crear un programa de competición de turismos dentro de la marca. De ese modo, la marca vende una imagen de vehículo rápido, fiable, competitivo y al más alto nivel de prestaciones. Todo lo que se le puede pedir a un fabricante de automóviles que esté a la altura.

Para poder ser competitivos en el mercado europeo la marca necesitaba un vehículo que fuera de los segmentos más codiciados, en este caso hablamos del segmento de las berlinas como por ejemplo (BMW Serie 3, Audi A4, Mercedes Benz Clase C). La marca decidió crear el MG 6 para entrar por la puerta grande en el mercado europeo.



Figura 1.1. Vehículo de serie MG 6. Este coche es la base del proyecto de coche de carreras. Fuente: mgmotor.com.

Para tener más impacto en la sociedad europea amante de los coches, la marca decide crear el mismo segmento, pero en versión de carreras. De este modo la empresa se asegura una gran visibilidad ya que el vehículo aparecerá en todas las televisiones durante la disputa de diferentes carreras por toda Europa.



Figura 1.2. Vehículo de competición MG 6 X-POWER. Fuente: diariomotor.com

Para iniciar el proyecto de coche de carreras el grupo SAIC contrató los servicios de una empresa de ingeniería china especializada en la competición “LISHENG Racing”. Dicha empresa realizó todo el estudio y adaptación inicial del vehículo para acogerse al campeonato “Touring Car Racing”.

Este campeonato ha ganado mucha fama en los últimos 10 años. El campeonato es la evolución del antiguo campeonato mundial de turismo, pero con unos presupuestos más comedidos. Los coches participantes en este campeonato son muy fieles al vehículo

de serie siendo el chasis y motores iguales al original. Poco a poco el campeonato ha ido ganando afiliados dado que sus costes de participación para equipos son muy razonables comparados con otros campeonatos. El éxito de este campeonato reside en que se ha creado un negocio rentable tanto para las marcas, para los clientes y para los organizadores del campeonato.

La empresa LISHENG creó el vehículo de la figura 1.2 y participó en la carrera de la ciudad china de NINGBO. Durante el debut del coche frente a su público local, el coche presentó muchos problemas de fiabilidad y una gran carencia de rendimiento en pista. En resumidas cuentas, fue un total fracaso para la marca china la primera puesta en escena de su buque insignia con el que iban a entrar a Europa.

El grupo SAIC decidió tomar cartas en el asunto trabajando estrechamente con una compañía europea con una gran experiencia en el sector. Es aquí donde aparece QEV y surge este trabajo. El único fin planteado a la empresa era hacer el coche verdaderamente competitivo y participar en el campeonato de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) obteniendo un resultado prometedor.

Antes de abordar la problemática planteada para la adaptación de un vehículo de serie a un vehículo de competición, a continuación, se desarrollan algunos conceptos importantes a tener en cuenta.

2. Objeto, alcance y limitaciones

En este segundo capítulo se van a exponer los distintos objetos, tanto generales como específicos, que se pretenden alcanzar en el desarrollo de este proyecto. Tras haberlo realizado, en un posterior apartado de conclusiones, se explicará si se han alcanzado los objetos planteados o no.

Además, se mostrarán las distintas necesidades que definen las condiciones particulares, así como las limitaciones y alcance del proyecto.

2.1. Objeto general

Como se puede deducir del título, el principal objeto que se persigue es el de **modificar los parámetros básicos de una suspensión de coche de carreras de turismos** para la mejora del rendimiento de este a lo largo de una vuelta al circuito.

2.2. Objetos particulares

Luego, como fines específicos o particulares destacan el espíritu competitivo, la destreza e imaginación técnica y además el académico. Se exponen a continuación:

- **Comprender** las **características técnicas del vehículo** base, para detectar sus debilidades y mejorar sus capacidades.
- **Competir** al más alto nivel automovilístico y **demostrar una vanguardia técnica** superior al resto de contrincantes.
- **Demostrar** los **conocimientos** adquiridos durante el grado en ingeniería mecánica y desarrollar habilidades en la realización de proyectos.

2.3. Alcance

El alcance del proyecto abarca, como se indica en el resumen inicial, desde el cálculo de rigideces del vehículo base, pasando por el análisis de dichos resultados para su posterior mejora. Modificando los elementos de la suspensión para conseguir dichas mejoras y su posterior comprobación en un circuito.

Finalmente se incluirá un presupuesto de todos los pasos anteriores para conocer el valor real de dicho servicio.

2.4. Requisitos de diseño

Para el desarrollo del trabajo se van a imponer una serie de **condiciones** impuestas por el cliente, así como unos datos de partida.

- Se debe partir del vehículo base de serie MG 6
- Toda modificación debe de ser estar contemplada dentro de la normativa técnica de FIA.
- El trabajo se debe de realizar en un periodo de 40 días hábiles.
- El vehículo de competición debe de obtener la homologación para competir en el mundial de turismos que se disputa en Vallelunga (Italia).
- El presupuesto máximo debe de ser 80 mil euros.

3. Antecedentes

Antes de empezar con el propio desarrollo del trabajo, es necesario obtener los conocimientos adecuados para su correcto desempeño. Es por ello por lo que, a continuación, se van a satisfacer todas las necesidades en cuanto a entendimiento se refiere.

3.1. Descripción de automovilismo

En este primer capítulo introductorio, se hará un breve resumen explicando en que consiste el automovilismo. El mayor objetivo de este, es ser el vehículo más rápido completando una vuelta a un circuito. El automovilismo es enormemente complejo y difícil a todos los niveles. La verdadera esencia de esta actividad radica en conseguir el mayor rendimiento entre coche y piloto. Es la combinación de máquinas de alta tecnología con humanos lo que hace este deporte tan apasionante tanto para participantes como espectadores.

Tan importante es el piloto como el vehículo en sí. El vehículo puede ser modificado y ajustado para mejorar el rendimiento de la combinación coche-piloto y facilitar la manejabilidad. Esto apunta directamente al área de la dinámica vehicular.

3.2. Principales diferencias entre un vehículo de serie y un vehículo de competición

Existen infinitas diferencias entre un coche pensado para circular por la carretera y un coche pensado para circular por un circuito. El coche de serie debe de transmitir seguridad, confort y sensación de control en todo momento. En cambio, el coche de carreras está pensado únicamente para ser rápido sin importar la comodidad o la facilidad de uso. A continuación, se va a explicar a grandes rasgos las mayores diferencias entre ellos dos.

3.2.1 Chasis

El chasis es la estructura del vehículo, es la parte principal de un coche. Aporta las dimensiones, rigideces y estructura. Los chasis actualmente están hechos de planchas de varias aleaciones de aluminio dobladas y soldadas por puntos. Las principales aleaciones utilizadas en las chapas de carrocería y carrocerías en bruto son de las series 5000 y 6000. Las aleaciones de la serie 5000 contienen magnesio (5,8 – 6,8%) y la serie 6000 son aleaciones con magnesio y silicio (0,4 - 0,7%, 0,5 - 0,9%), son fáciles de mecanizar, se pueden endurecer por precipitación y se están utilizando cada vez más en aplicaciones automovilísticas. El porqué de su uso cada vez más extendido es porque se reduce el peso, se aumenta la rigidez y la facilidad de reciclaje es mucho mayor. En la figura 3.1. se puede ver un chasis de un coche de serie acabado de fabricar.



Figura 3.1. Chasis de un vehículo de serie. Fuente: roshfrans.com

Para su adaptación a un coche de carreras se debe de instalar una jaula antivuelco homologada. Esta jaula debe cumplir la normativa FIA en la cual se aplican unas cargas en determinados puntos para comprobar su resistencia a los impactos. En las figuras I.4. y I.5. se puede observar cómo es una estructura tubular (\varnothing 31,7 – 44,5 mm) de acero (AISI 4130) de baja aleación que contiene 1%Cr y 0.2%Mo como elementos de aleación de refuerzo. Ofrece buena resistencia, tenacidad, resistencia a la corrosión y maquinabilidad hueca soldada mediante TIG al interior del vehículo para proteger al piloto que se haya en su interior en caso de accidente.



Figura 3.2. Chasis de un vehículo de competición con jaula antivuelco. Vista general. Fuente: Imagen propia



Figura 3.3. Jaula antivuelco en un coche de competición. Vista trasera. Fuente: Imagen propia

3.2.2 Motor

Los motores de competición suelen ser conocidos por sus grandes prestaciones y ligereza, pero en este caso los motores de vehículos TCR deben de ser el mismo motor que el vehículo de serie. Pero, la gestión del motor, es decir los mapas que se introducen dentro de la centralita del motor, puede ser cambiada para poder sacar de forma electrónica toda la potencia disponible del motor.

Desde la introducción de la inyección electrónica en el mundo de los motores de combustión interna se ha optimizado mucho el rendimiento de los motores gracias a la electrónica. Hoy en día un motor de la misma cilindrada puede sacar 100 caballos de potencia o 300 caballos de potencia sin modificar ni la más mínima pieza mecánica, únicamente con los mapas de motor almacenados en la centralita de este.



Figura 3.4. Vista detalle del motor del MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia

3.2.3 Frenos

Los frenos son uno de los elementos más diferentes entre un coche de carreras y un coche de serie. Los coches de serie están diseñados para frenadas de poca presión y bastante suaves, en cambio los frenos de un coche de carreras están diseñados para soportar grandes exigencias. Durante una vuelta a un circuito un freno puede soportar frenadas de más de 120 bares de presión y temperaturas de más de 500°C.

Los frenos de disco de vehículos de calle generalmente son macizos y de acero, que actúan juntamente con pastillas de freno de materiales semimetálicos, contienen entre un 30% y un 60% de elementos metálicos, normalmente polvo de cobre o hierro y lana de acero. Son las pastillas más duraderas. Estos frenos en circuito no aguantarían ni una vuelta ya que se desintegrarían por las altas temperaturas.



Figura 3.5. Freno de disco de coche de serie. Fuente: autobild.es

En cambio, los frenos de disco de competición son huecos para mejorar la refrigeración de estos. Además, también cuentan con unas ranuras por toda la cara interior y exterior del disco para eliminar todo tipo de suciedad o impureza que contenga la pastilla. Estos frenos están hechos de compuestos a partir de un componente conocido como composite cerámico (carburo de silicio), extremadamente duro y resistente a la abrasión. En éste, están integradas fibras de carbono altamente resistentes, las cuales absorben eficazmente las tensiones que se producen en el material.

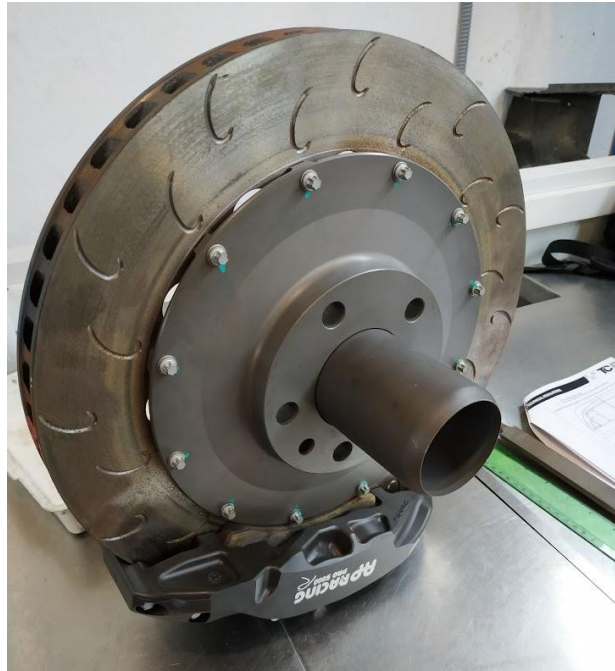


Figura 3.6. Freno de disco ventilado y rayado del MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia

3.2.4 Carrocería

Las carrocerías utilizadas en la industria del coche de calle, por norma general tiene como objetivo la belleza y lo estético. Siempre se buscan unas líneas atractivas que atraigan al público para que les llame la atención. Como en el mundo de la ropa todo va a modas. Hay épocas que se llevan más unas líneas agresivas y otras épocas que predominan las estéticas más suaves. Generalmente todas las piezas de carrocería que van atornilladas al chasis con aleaciones de aluminio de las series 5005 12/H14/H18 y la serie 5052 H24, 5754 H111 y 5182 H19. Otras piezas están hechas de Polipropileno (PP) como los parachoques o Policarbonato (PC) recubierto de un acolchado de Polipropileno Expandido (EPP) como spoilers y rejillas.



Figura 3.7. Carrocería de serie del MG 6. Fuente: mgmotor.com

En los vehículos de carreras las carrocerías tienen un objetivo muy diferente. Este es la máxima eficiencia aerodinámica posible. Toda pieza de carrocería que lleve el coche se fabrica pensando en la máxima ligereza, que aporte el menor rozamiento al aire posible y que dé una gran carga aerodinámica. Las formas siempre son muy agresivas, con carrocerías anchas, grandes alerones y numerosas tomas de aire. Como es típico en la industria de la competición, estas carrocerías están hechas material compuesto de matriz polimérica (epoxi) reforzado con fibra de carbono.



Figura 3.8. Carrocería modificada para un vehículo de competición MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia

3.2.5 Neumáticos

Los neumáticos son un verdadero artículo diferenciador. Los neumáticos para circular por calles son muy diferentes ya que están pensados para ser muy polivalentes, que sirvan en situaciones de frío, calor, lluvia, seco, etc... Pero los neumáticos de circuito son mucho más específicos. Los neumáticos específicos para seco no tienen dibujo, son denominados “slicks” y los destinados a lluvia sí que tienen dibujo como los de calle, pero son de un caucho mucho más blando. El hecho diferenciador en condiciones de seco es la gran superficie de contacto con la que cuentan los neumáticos lisos, que dan un mayor agarre en comparación del neumático de calle.



Figura 3.9. A la izquierda un neumático de competición “Slick” y a la derecha un neumático de serie. Fuente: michelinmotorsport.com

3.2.6 Suspensions

El sistema de suspensión en un turismo de competición es muy similar a un coche de serie en lo que a movimiento y geometría se refiere. El punto diferenciador entre ambos son las rigideces que tiene cada coche. Un coche de calle está pensado para el confort a la hora de conducir por la calle, no notar las imperfecciones de la calzada, absorber los baches y sentirse cómodo. En cambio, los coches de carreras solo quieren tener un buen paso por curva, que el coche sea dinámicamente perfecto. Esto se consigue modificando los muelles, amortiguadores y barras de torsión del coche.



Figura 3.10. Suspensión trasera del MG6 X-POWER con muelles y amortiguador. Fuente: Imagen propia

En este trabajo solo se va a abordar una de las principales modificaciones que diferencian un vehículo de calle a un de competición. En especial, las suspensiones, ya que es el factor que mayor ventaja da al vehículo. Es lo que realmente transforma un coche civilizado en una máquina de competición, nerviosa y extremadamente rápida en el paso por curva. El sistema de suspensión se engloba dentro de la dinámica vehicular.

3.2.7 Normativa técnica

Todas las anteriores modificaciones siempre van sujetas a algún tipo de normativa. Estas normativas son dictadas por la Federación Internacional de Automovilismo o por el organizador pertinente. Es de vital importancia cumplimentar con todos aquellos puntos especificados en los reglamentos técnicos, ya que su incumplimiento resulta en la descalificación inmediata de la prueba.

En este trabajo como se va a participar en un campeonato de la Federación Internacional de Automovilismo deberán de cumplimentar la normativa de “FIA Motorsport Games: Touring Car Cup Technical Regulations”. Este reglamento detalla todas las modificaciones permitidas y no permitidas que se podrán llevar a cabo en el coche para ser apto en la competición. Dado que este trabajo contempla únicamente la parte de suspensión, se centrará en el apartado 10 del reglamento “Axles, Suspension and Steering”.

A continuación, se expondrá una lista de los puntos que se deben de tener en cuenta a la hora de realizar este proyecto y que marcará la línea de trabajo:

- Los puntos de anclaje de suspensiones del chasis no podrán ser modificados.
- Los puntos de pivote de los trapecios, manguetas y amortiguadores se deberán de mantener como el original.
- Las barras de torsión de material férreo, sus cojinetes y su actuación son libres.
- Las barras de torsión pueden tener puntos de ajuste, pero nunca deben ser accionados desde el habitáculo.
- Los muelles cilíndricos lineales son libres. Se pueden combinar con muelles tipo “helper”. Los muelles tipo helper son muelles helicoidales con una rigidez muy baja, inferior a 20 N/mm
- Los elementos tipo “Bump rubbers” están prohibidos. Estos elementos son anillos de goma de rigideces muy altas y no lineales.

Bajo las indicaciones de la normativa internacional, se va a desarrollar en este trabajo la adaptación del sistema de suspensión que está directamente relacionado con la dinámica vehicular.

3.3. Definición de dinámica vehicular

Esta, es la rama de la ingeniería que relaciona las fuerzas del neumático y de la aerodinámica con todas las aceleraciones, velocidades y movimientos del vehículo usando las Leyes de movimiento de Newton.

El mayor objetivo es usar las fuerzas creadas durante una curva en los cuatro neumáticos para alcanzar la máxima aceleración lateral mientras el coche se mantiene balanceado entre el eje delantero y el eje trasero, para así evitar que el coche sufra de subviraje o sobreviraje. En el pasado, el proceso de ajuste de los coches era a base de prueba y error. Normalmente, un piloto con experiencia podía decir si el coche estaba balanceado o no en una situación en particular. Actualmente, con toda la instrumentación que llevan los coches para la adquisición de datos junto con las técnicas de dinámica vehicular, es posible predecir el efecto de cada ajuste en el coche.

Uno de los principios más importantes de las carreras de coches, es que la velocidad nunca debe de ser constante. Siempre se debe de incrementar al máximo ratio (aceleración) a la salida de cada curva hasta el siguiente punto de máxima frenada (deceleración).

En términos de ingeniería, la velocidad es un vector porque tiene magnitud (velocidad) y dirección. Debe ser representada como una flecha, en la cual, su longitud es la velocidad y la dirección es dada por la orientación de esta.

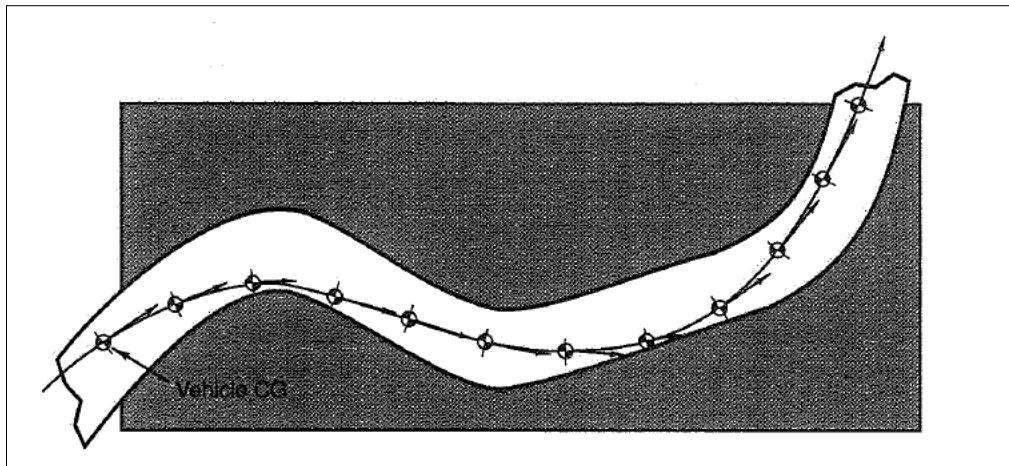


Figura 3.11. Representación del vector de velocidad que describe la trayectoria de un coche a lo largo de un tramo de curvas. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics Milliken

Como se puede comprobar en la anterior figura, las diferentes flechas indican los continuos cambios de velocidad y dirección del vehículo. Con lo cual, debido al continuo cambio de velocidades a lo largo de una vuelta, es mejor hablar en términos de aceleración en vez de velocidad. Ya que esta se describe como la diferencia del vector velocidad respecto al tiempo.

Para aclarar un poco los términos se van a contemplar las siguientes figuras:

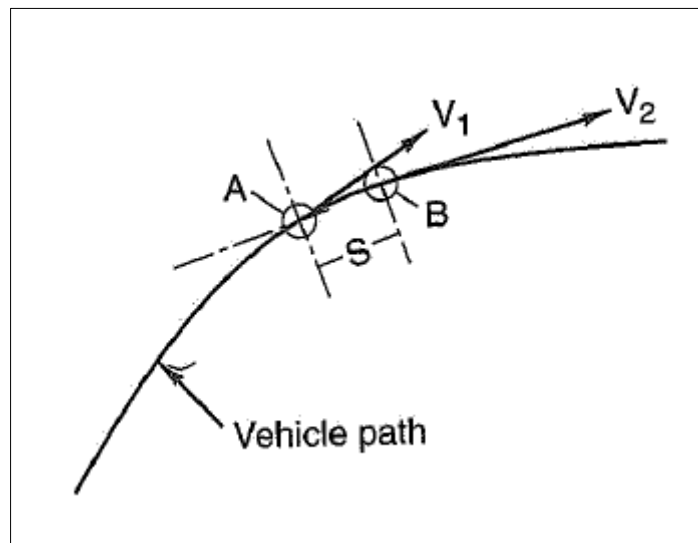


Figura 3.12. Diagrama de un vector de velocidad. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics Milliken

Se puede observar en la figura anterior como desde el punto A hasta el punto B, se recorre un espacio "S", durante un tiempo "t" y en cada punto las flechas describen los vectores de velocidad V_1 y V_2 , diferentes en magnitud y dirección.

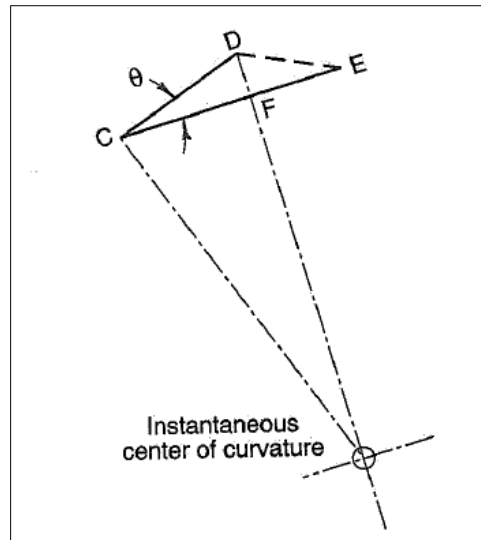


Figura 3.13. Diagrama de distancia. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics Milliken

La figura 13, explica que si el vehículo que ahora parte del punto C, hubiera continuado a la misma velocidad representada por el vector V_1 habría llegado al punto D en un tiempo “t”, mientras que en realidad alcanzó el punto E (CD paralelo a V_1 y CE paralelo a V_2). Así, durante el tiempo “t”, el vehículo debe experimentar un cambio de velocidad en dirección hacia adentro de DF/t (hacia el centro de curvatura). Esto rota el vector V_1 un ángulo “ θ ”. Durante el mismo tiempo debe haber ocurrido un cambio de velocidad en magnitud diferencial a la dirección FE, FE/t . Esto es comúnmente llamado como las componentes normales y tangenciales de la aceleración. En dinámica vehicular pasan a ser llamadas como lateral y longitudinal, respectivamente.

El vector de aceleración en este caso sería representado por la línea discontinua DE/t , siendo un vector con magnitud y dirección, como la velocidad. Como nota esclarecedora de todo lo anterior, se podría decir que para mantener un vehículo por una curva este debe de moverse tanto lateralmente como longitudinalmente, la aceleración lateral es únicamente el cambio de velocidad durante un periodo de tiempo.

La aceleración lateral es dada por la siguiente ecuación:

$$a_y = V^2/R$$

Donde V es la velocidad en metros por segundo, y la R es el radio instantáneo de la curva en metros. Por lo tanto, la magnitud de la aceleración lateral es metros partido segundos al cuadrado.

La aceleración longitudinal es expresada de la siguiente forma:

$$a_x = \Delta V / \Delta t$$

Donde ΔV es el cambio de velocidad en un pequeño periodo de tiempo Δt . ΔV es expresada en metros por segundo y Δt en segundos.

En dinámica vehicular la aceleración se suele expresar como tantas veces la aceleración gravitacional. Dicha aceleración despreciando el rozamiento con el aire es de $9,81 \text{ m/s}^2$, esto es llamado 1g de aceleración. Por lo tanto, a_y se convertiría en:

$$a_y = V^2 / gR$$

Y la aceleración longitudinal en:

$$a_x = \Delta V / g\Delta t$$

Ambas expresadas en unidades de “g”. Por ejemplo, si un vehículo se mueve a 20 m/s y el radio de curvatura es de 15 m, a_y será la siguiente:

$$a_y = 20^2 / 9,81 \cdot 15 = 2,72g$$

Todo vehículo tiene una aceleración lateral máxima aceptable por sus características de peso y aerodinámica. Cuando se conoce ese valor ya se puede empezar a relacionar la fuerza lateral que está actuando en el coche (aceleración lateral) y la fuerza que se ejerce en cada rueda debido a esa fuerza lateral.

Cuando un coche toma una curva se nota cómo se inclina lateralmente el vehículo hacia fuera como si intentara volcarse, eso es debido a la interacción que existe entre la aceleración y el agarre de los neumáticos.

Para conocer bien cómo se comporta ese coche en pista es necesario saber cómo se distribuyen esas fuerzas en los neumáticos, es decir, se deben conocer las cargas verticales que actúan. A continuación, se explicará que son las cargas verticales del neumático.

3.4. Definición de cargas

En este apartado se mostrará como calcular las cargas de cada rueda. Estas son muy importantes para determinar la máxima capacidad de paso por curva del vehículo. Como están distribuidas las cargas en cada rueda es muy importante a la hora de maximizar el rendimiento durante la puesta a punto.

Este cálculo se hace en una condición de equilibrio, es decir, todo el comportamiento transitorio es ignorado. Se asume que todos los datos básicos del coche son lineales y constantes. El supuesto de linealidad implica que el principio de superposición es válido. Dicho principio establece que el total de los efectos actuando en el coche es igual a la suma de todos ellos actuando independientemente.

Todos los cálculos hechos dan por sentado que el chasis del vehículo es totalmente rígido. Si el chasis es flexible, particularmente en torsión, los cálculos no serán lo suficientemente exactos.

La localización del centro de gravedad de un coche es una de las cosas más importantes en el rendimiento porque el ángulo de deriva del neumático es muy dependiente de la fuerza normal aplicada a la rueda. Muchos de los cambios que se hacen en un coche para mejorar en el rendimiento de paso por curva, afectan directamente a las cargas por rueda.

3.4.1 Masa suspendida CG

Para mejorar el rendimiento de un coche es muy importante saber la masa suspendida. Esta masa, es la que permanece flotante entre las cuatro ruedas y se va distribuyendo por los neumáticos en función de cómo actúen las aceleraciones. Esta consta de la masa del chasis, la carrocería y la mitad de todos los componentes que conectan el chasis a la rueda. Por convenio, las piezas que unen la rueda con el chasis se reparte el peso entre masa suspendida y no suspendida ya que afecta a los dos tipos de masa.

3.4.2 Rigidez del chasis

Rigidez es la resistencia al doblado o flexión; la rigidez a torsión es la resistencia al giro. Un coche de carreras debe tener un cierto grado de rigidez torsional a lo largo del eje X del coche. El chasis se debe de interpretar como un enorme muelle que conecta el eje delantero con el eje trasero.

Si ese muelle es débil, será prácticamente imposible y confuso a veces tratar de tener un coche neutro, es decir que no pierde agarre en ningún eje, durante todas las fases de la curva. Y esto se debe a que una variable más se ha añadido a un sistema ya de por si complejo. La mejor solución es contar con un chasis lo suficientemente rígido para ser ignorado en el cálculo.

3.4.3 Transferencia de carga lateral

Cuando un coche está tomando una curva, la carga se transfiere de las ruedas interiores hacia las exteriores porque el centro de gravedad del coche está por encima del suelo. Es aquí donde radica todo, dependiendo de la cantidad de carga que se transfiera del lado interior al lado exterior el coche tendrá un comportamiento mejor o peor. Lo idílico sería que un vehículo tuviera un reparto equitativo y perfecto, pero eso no sucede en la realidad.

4. Análisis de soluciones

A lo largo del proyecto se ha estudiado la forma de mejorar el rendimiento en curva de este vehículo. Por ello, en este punto se va a explicar las mejoras llevadas a cabo, junto con el camino seguido y las ventajas e inconvenientes. Igualmente, se indicará cual ha sido la solución final adoptada.

Para más detalle de cada paso que se toma y los cálculos realizados, se recomienda leer detenidamente cada uno de los anexos contenidos en el Documento N°3 – Anexos.

En términos generales el vehículo era excesivamente rígido en ambos ejes, el objetivo era reducir la rigidez general del coche y tratar de buscar el mejor compromiso entre el eje delantero y el eje trasero para poder tener un buen paso por curva.

Para ello, se ha realizado un cálculo de optimización de los muelles y las barras de torsión ya que eran los dos únicos elementos que se podían modificar para mejorar el coche. Únicamente se podían modificar estos elementos porque son los más sensibles al comportamiento en curva del coche.

4.1. Muelles

El único requisito respecto a los muelles que deben cumplir es que sean compatibles con el amortiguador original. Los muelles se han elegido de un catálogo de un proveedor de componentes de competición (H&R). La razón para comprarlos en vez de fabricarlos es porque es un elemento que se encuentra fácilmente en el mercado y existe una amplia variedad, además su coste es bajo. Se ha buscado las medidas compatibles para que se adapten perfectamente al amortiguador.

Los muelles originales eran de 110 N/mm de rigidez tanto delante como detrás. Esta rigidez tras los cálculos realizados se ha demostrado que es demasiado rígido. Finalmente se ha adoptado por elegir **muelles de 50 N/mm para el eje delantero y 40 N/mm para el eje trasero.**

4.2. Barras de torsión

La barra de torsión tiene un gran abanico de puntos que se podrían optimizar, pero en este caso en concreto solo se buscaba optimizar su rigidez. El único requisito que se debe tener en cuenta es respetar la longitud de la barra y los brazos de palanca. Estos elementos deben de mantenerse iguales por la distribución de las piezas en el subchasis del vehículo.

Para optimizar la suspensión se ha optado por modificar la barra delantera pasando de 30 mm a 25 mm y la barra trasera pasando de 35 mm a 15 mm. De esta forma se logrará el objetivo de rigidez.

5. Conclusiones

Una vez desarrollado el proyecto completamente, se debe analizar si se han logrado los objetivos inicialmente marcados, tanto generales como específicos.

Uno de los primeros motivos de este proyecto es usar los conocimientos adquiridos a través del grado en ingeniería mecánica, a parte otros muchos conocimientos adquiridos fuera de ella como el trabajo en circuito y la programación en Visual Basic. Todo esto gracias al trabajo incansable y a la motivación que muestra esta carrera, ya que da las habilidades para poder desarrollar cualquier tipo de proyecto técnico.

Posteriormente, el segundo reto a superar era **comprender, e identificar las debilidades del vehículo**. Ha quedado demostrado que este vehículo tenía unas carencias muy grandes en su paso por curva ya que era excesivamente rígido. Como se puede observar en el Anexo 3 – Análisis de conducción, era muy difícil para el piloto poder girar el coche en mitad de curva. Además, estaba el reto de poder mejorarlo, reduciendo la rigidez total del vehículo y distribuyendo mejor la rigidez entre eje delantero y trasero como se puede ver en el Anexo 1 – Cálculo.

Por último, **el mayor objetivo era poder ser competitivos** en una carrera a gran escala, con la participación del vehículo en el campeonato del mundo de la FIA. Este coche fue capaz de conseguir un 4 puesto muy disputado, siendo estos los primeros kilómetros para el coche. Teniendo en cuenta que la primera carrera que disputo este coche en China obtuvo muy malos resultados, se puede notar una gran mejoría.

Sin más que añadir, algo que sería **un buen proyecto** para el futuro es, poder **diseñar la suspensión de 0** para poder optimizar absolutamente todo, peso, geometrías, materiales, ajuste, etc.... Tristemente esto es una decisión de la dirección de la marca y no queda en las manos del cuerpo técnico ya que el futuro del equipo depende de lo atractivo que sea el coche de calle gracias al coche de carreras.

6. Presupuesto

Para examinar detalladamente el presupuesto, ver el Documento N° 6 – Presupuesto. Aquí tan sólo se mostrará el resumen que queda al final de dicho documento.

Presupuesto General	
Capítulo	Importe
1. Costes de ingeniería	6,000.00 €
2. Trabajo Taller	914.00 €
3. Trabajo Circuito	37,150.00 €
Presupuesto de ejecución material	44,064.00 €
5% de gastos indirectos	2,203.20 €
20% de beneficio industrial	8,812.80 €
Suma	55,080.00 €
21% IVA	11,566.80 €
Presupuesto de ejecución por contrata	66,646.80 €

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de SESENTA Y SEIS MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y SEIS EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS.

6.1. Análisis de viabilidad económica

Una vez es patente el coste total del proyecto desempeñado, hay que realizar un estudio de viabilidad económica para tener conocimiento de su rentabilidad financiera y, de esta manera, tener la potestad de juzgar si es factible llevarlo a cabo o no.

Este proyecto no es un proyecto al uso del cual se espera obtener una rentabilidad anual. Este proyecto se hace a demanda, es por así decirlo un prototipo sin límite presupuestaria. En el mundo de la competición todo dinero es poco para poder ganar carreras.

Lo que se busca con este tipo de negocios es invertir todo el dinero necesario para potenciar la marca, hacer atractiva y que todo el mundo lo conozca. No importa lo que valen las piezas o la cantidad de personal a contratar, lo más importante es ganar.

Por eso, el proyecto en si no tiene una rentabilidad directa, pero si tiene una rentabilidad indirecta si este coche de carreras gana, lo conoce la gente y por ello se compran millones de coches de calle parecidos a este, únicamente porque es el coche que está arriba del pódium, aunque no se parezca ni un 50% al de calle.

La parte del presupuesto que más suma tiene es la parte de prueba en circuito. La prueba en circuito se hizo para comprobar varias piezas nuevas del coche no únicamente las barras de torsión y los muelles. Por eso, puede parecer descabellado el precio, pero es porque se contrató una prueba privada para comprobar varias áreas del vehículo.

7. Apéndices

7.1. Referencias bibliográficas

En esta sección, se va a citar el conjunto de libros, textos u otros documentos que se han considerado de interés para la justificación de las decisiones adoptadas en el proyecto.

- [1] William F. Milliken and Douglas L. Milliken, “Race Car Vehicle Dynamics”, pp. 665-704, 1995.
- [2] Suspension Secrets, “Calculating ideal springs and roll bar rates”, [En línea]. Disponible [aquí](#).

7.2. Listado de normas utilizadas

Únicamente se exponen las básicas y principales, el conjunto completo se encuentra en el Documento N°5 – Pliego de condiciones.

- [1] *2019 FIA Motorsport Games: Touring Car Cup Technical Regulations* Reglamento técnico del Campeonato TCR [En línea]. Disponible [aquí](#). [Accedido: 05-sep-2019].
- [2] *Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico*, Norma UNE 157 001:2014 [En línea]. Disponible [aquí](#). [Accedido: 10-jun-2022].

7.3. Definiciones y abreviaturas

En este punto se va a especificar de forma esquemática el significado de todos los símbolos, acrónimos o abreviaturas utilizadas a lo largo de la redacción del proyecto.

- °: grados sexagesimales.
- €: euro, unidad monetaria.
- Ø: diámetro.
- a: distancia del centro de gravedad al eje delantero.
- ARB: barra de torsión.
- ay: aceleración lateral.
- ax: aceleración longitudinal
- b: distancia del centro de gravedad al eje trasero.
- CE: Comisión Europea.
- CI: coeficiente de elevación aerodinámico.
- DIN: Instituto Alemán para la Normalización.
- EN: Norma Europea.
- FIA: Federación Internacional de Automovilismo.
- Fz: carga vertical a rueda.
- g: gravedad
- h_{cg}: altura del centro de gravedad.
- h_{mu}: altura del centro de gravedad de la masa no suspendida.
- h_{rc}: altura del centro de rotación.
- ISO: Organización Internacional de Normalización.
- K_s: Rigidez del muelle.
- K_{ARB}: Rigidez de la barra de torsión.
- K_T: Rigidez del neumático.
- K_θ: Rigidez a torsión del eje.

- K_{θ} : Rigidez a torsión del vehículo.
- $K_{\theta_{\text{susp}}}$: Rigidez a torsión de la suspensión.
- $K_{\theta_{\text{tyre}}}$: Rigidez a torsión del neumático.
- kg: kilogramo, unidad de masa básica según el Sistema Internacional de Unidades.
- L: batalla del vehículo.
- LRM: Distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación del coche.
- m: unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades.
- mm: medida de longitud, un milímetro equivale a una milésima de un metro.
- ms: masa suspendida del vehículo.
- m_{us} : masa no suspendida del vehículo.
- MR_s : Ratio de movimiento del muelle respecto la rueda.
- MR_{ARB} : Ratio de movimiento de la barra de torsión respecto a la rueda.
- MB%: Tanto por cien de rigidez mecánica.
- N: unidad de medida de fuerza en el Sistema Internacional.
- R: radio instantáneo de la curva. Su unidad es el metro
- rho: densidad del aire, magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen
- RM: par.
- RC: roll couple.
- t: tiempo expresado en segundos
- Δt : cambio de tiempo entre dos puntos. Su unidad los segundos.
- t: ancho de vía.
- TCR: Touring Car Racing. Campeonato de turismos.
- v: velocidad, cambio de posición de un objeto con respecto al tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el metro por segundo.
- Δv : cambio de velocidad entre dos puntos. Su unidad el metro por segundo
- WF%: distribución de pesos del coche delante y detrás en tanto por cien.
- WT_r : transferencia de pesos en rotación.
- WT_{nr} : transferencia de pesos sin rotación.
- WT_{us} : Transferencia de pesos de masa no suspendida.

7.4. Programas de cálculo

A continuación, se va a mostrar la relación de programas y herramientas utilizadas para el desarrollo de los cálculos de este proyecto.

- Microsoft Excel
- SolidWorks
- WinTAX4

7.5. Plan de calidad aplicado durante la redacción del proyecto

Conforme al sistema de gestión de la calidad aplicado a memorias e informes técnicos, siguiendo la norma UNE-EN-ISO 9001:2015, para la redacción de este proyecto se han empleado todos y cada uno de los procedimientos que seguidamente se describen:

- Confección del presente proyecto de acuerdo con la norma UNE 157001:2014.
- Clasificación y registro de la documentación empleada.
- Revisión ortográfica mediante softwares ofimáticos.
- Lectura y revisión de toda la documentación por parte del proyectista, con la finalidad de filtrar posibles erratas en la confección de estos.

7.6. Orden de prioridad entre los documentos

En este subcapítulo de la memoria se va a indicar el orden de prioridad seguido para la ordenación de los documentos básicos:

1. Índice general
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de condiciones
6. Presupuesto

7.7. Listado de figuras

A continuación, se expone el conjunto de figuras utilizadas a lo largo de todo el proyecto, separadas en función del documento al que pertenecen. Además, su numeración hace referencia al capítulo en el que se encuentran y a su ordenación dentro de cada uno de ellos.

7.7.1. Documento N°2 - Memoria

- 1.1. Vehículo de serie MG 6. Este coche es la base del proyecto de coche de carreras.
Fuente: mgmotor.com
- 1.2. Vehículo de competición MG 6 X-POWER. Fuente: diariomotor.com
- 3.1. Chasis de un vehículo de serie. Fuente: roshfrans.com
- 3.2. Chasis de un vehículo de competición con jaula antivuelco. Vista general. Fuente: Imagen propia
- 3.3. Jaula antivuelco en un coche de competición. Vista trasera. Fuente: Imagen propia.
- 3.4. Vista detalle del motor del MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia.
- 3.5. Freno de disco de coche de serie. Fuente: autobild.es
- 3.6. Freno de disco ventilado y rayado del MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia.
- 3.7. Carrocería de serie del MG 6. Fuente: mgmotor.com
- 3.8. Carrocería modificada para un vehículo de competición MG 6 X-POWER. Fuente: Imagen propia.
- 3.9. A la izquierda un neumático de competición “Slick” y a la derecha un neumático de serie. Fuente: michelinmotorsport.com
- 3.10. Suspensión trasera del MG6 X-POWER con muelles y amortiguador. Fuente: Imagen propia.
- 3.11. Representación del vector de velocidad que describe la trayectoria de un coche a lo largo de un tramo de curvas. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics

Milliken

- 3.12. Diagrama de un vector de velocidad. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics Milliken
- 3.13. Diagrama de distancia. Fuente: Libro Race Car Vehicle Dynamics Milliken

7.7.2. Anexo 1 – Cálculos

- 1.1. Diagrama de distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación de la suspensión.
- 1.2. Descripción gráfica de un vehículo tomando una curva en la cual se puede ver como gira el coche sobre su eje longitudinal.
- 2.1. Valores estándar de rigidez a rotación para los diferentes tipos de vehículos. Fuente: suspensionsecrets.co.uk
- 2.2. Barra de torsión de un vehículo TCR. Fuente: Imagen Propia.
- 2.3. Mapa de calor de rigideces de la suspensión delantera. Combinación de barra de torsión y muelles.
- 2.4. Mapa de calor de rigideces de la suspensión trasera. Combinación de barra de torsión y muelles.

7.7.3. Anexo 3 – Prueba en pista

- 1.1. Captura de pantalla de una comparativa de vueltas en el software WinTAX4.
- 1.2. Captura de pantalla con zoom de la curva 4 Vallelunga.
- 1.3. Captura de pantalla con zoom de la curva 6 Vallelunga.
- 1.4. Captura de pantalla métricas de conducción.
- 2.1. Captura de pantalla debrief del piloto con la configuración antigua.
- 2.2. Captura de pantalla debrief del piloto con la configuración nueva.

7.7.4. Documento N°5 – Pliego de condiciones

- 1.1. Imagen detalle de la colocación de la barra de torsión delantera. Fuente: Imagen propia.
- 1.2. Imagen detalle de la colocación de la barra de torsión trasera. Fuente: Imagen propia.

7.8. Listado de tablas

Finalmente, aquí se halla el conjunto de tablas que se han expuesto durante el presente proyecto, clasificadas según el documento al que competen. Igual que para las figuras, su numeración indica el capítulo en el que se localizan y su ordenación dentro de cada documento.

7.8.1. Anexo 1 – Cálculos

- 1.1. Datos generales del vehículo facilitados por el fabricante.
- 1.2. Datos por eje del vehículo facilitados por el fabricante.
- 1.3. Resumen de cargas verticales frontales del coche por rueda.
- 1.4. Resumen de cargas verticales traseras del coche por rueda.
- 2.1. Tabla resumen de gradientes de rotación característicos de cada tipo de vehículo.



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO Nº3 - ANEXOS
	ANEXO 1 – CÁLCULOS

Tabla de contenido

1. Cálculo inicial de rigideces	2
2. Cálculo de optimización de suspensión.....	12
2.1. Gradiente de rotación.....	13
2.2. Rigidez a rotación	13
2.3. Cálculo final.....	14
3. Resumen	19

Este apartado se contemplan detalladamente todos los cálculos de las configuraciones del vehículo MG 6 X-POWER.

1. Cálculo inicial de Rigideces

Es de vital importancia saber cómo se distribuyen las cargas verticales en las ruedas, ya que esto dará una idea de cómo se comportará en circuito. El primer paso es saber que cargas verticales se tienen inicialmente.

Para el cálculo de las fuerzas verticales se necesitan una serie de datos básicos del coche que ahora se enuncian. Estos datos enunciados a continuación son facilitados por el fabricante.

Todas las fórmulas utilizadas para la realización de los cálculos son extraídas del libro “Race car vehicle dynamics” escrito por los hermanos Milliken.

Datos	Valor	Unidad
Masa total del vehículo	1327,50	kg
Masa suspendida (m_s)	1143,50	kg
Altura del centro de gravedad (h_{cg})	0,50	m
Batalla del vehículo (L)	2,71	m
Distribución de pesos (WF%)	63,30	%
Distancia del centro de gravedad al eje delantero (a)	1,00	m
distancia del centro de gravedad al eje trasero (b)	1,72	m
Distribución peso del coche en suspendida y no suspendida	61	%

Tabla 1.1. Datos generales del vehículo facilitados por el fabricante

	Eje delantero	Eje trasero	
Ancho de vía (t)	1,63	1,66	m
Masa no suspendida (m_{us})	86,40	97,60	kg
Altura del centro de gravedad de la masa no suspendida (h_{mu})	0,30	0,30	m

Altura del centro de rotación (h_{rc})	0,045	0,100	m
Rigidez del muelle (K_s)	110	110	N/mm
Ratio de movimiento del muelle respecto la rueda (MR_s)	0,93	1,22	:1
Posición ARB	P1	P2	
Rigidez de la barra de torsión (K_{ARB})	67,60	128,80	N/mm
Ratio de movimiento de la barra de torsión respecto a la rueda (MR_{ARB})	0,43	1,01	:1
Rigidez del neumático (K_T)	310	310	N/mm

Tabla 1.2. Datos por eje del vehículo facilitados por el fabricante.

Para poder caracterizar el comportamiento del vehículo en pista se necesita saber las características mecánicas de balance mecánico y ángulo de rotación por g. Estos dos valores son por así decirlo el objetivo final. Primero se deben de calcular una serie de valores geométricos que nos darán los centros de rotación y brazos de palanca de la suspensión.

Inicialmente se necesita saber el ratio de rotación del coche por aceleración lateral en unidades de g. Para ello se necesitan hacer varios cálculos previos.

El primer paso es saber la distancia que existe entre el centro de gravedad y el centro de torsión de la suspensión, sobre el cual rotará el centro de gravedad.

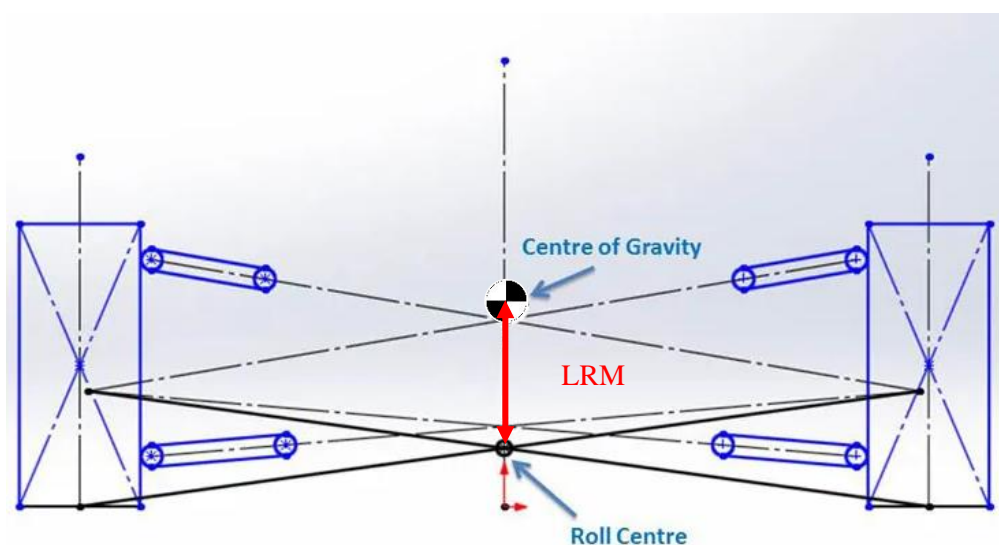


Figura 1.1. Diagrama de distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación de la suspensión.

En todos los subíndices se encuentran las letras “f” y “r”, sirven para diferenciar el eje delantero (front) y el eje trasero (rear).

$$LRM = h_{cg} - \frac{(h_{rcr} - h_{rcf}) \cdot a}{L + hrcf}$$

$$LRM = 0,5 - \frac{(0,045 - 0,1) \cdot 1}{2,718 + 0,1}$$

$$LRM = 0,43 \text{ m}$$

Donde:

- LRM: distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación
- h_{cg} : altura del centro de gravedad
- h_{rcr} : altura del centro de rotación del eje trasero
- h_{rcf} : altura del centro de rotación del eje delantero.
- a : distancia del centro de gravedad al eje delantero
- L : Batalla del vehículo

Una vez calculada la distancia entre estos dos puntos, se calcula el momento creado con ese brazo y la masa suspendida del coche.

$$RM = LRM \cdot m_s \cdot g$$

$$RM = 0,43 \cdot 1143,5 \cdot 9,81$$

$$RM = 4878 \text{ Nm}$$

Donde:

- RM: momento de rotación
- LRM: distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación
- m_s : masa suspendida
- g : aceleración de la gravedad

Ahora se debe calcular la rigidez a torsión por eje. La rigidez del eje se compone de la rigidez del muelle, de la barra de torsión y la del neumático. Se calcula la rigidez del muelle y la barra de torsión juntas.

$$K\theta_{\text{suspf}} = ((K_{ARB_f} \cdot 1000) \cdot MR_{ARB_f}^2 + (K_{S_f} \cdot 1000) \cdot MR_{S_f}^2) \cdot \frac{t_f^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{suspf}} = ((67,6 \cdot 1000) \cdot (0,43)^2 + (110 \cdot 1000) \cdot 0,925^2) \cdot \frac{1,638^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{suspf}} = 142662 \text{ Nm/rad}$$

Y se hace el mismo cálculo, pero con los datos del eje trasero.

$$K\theta_{\text{susp}_r} = ((128,8 \cdot 1000) \cdot 1,01^2 + (110 \cdot 1000) \cdot 1,22^2) \cdot \frac{1,662^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{susp}_r} = 407383 \text{ Nm/rad}$$

Donde:

- K_{susp} : rigidez de la suspensión.
- K_{ARB} : rigidez de la barra de torsión.
- K_s : rigidez del muelle.
- MR_{ARB} : relación movimiento barra-rueda.
- MR_s : relación movimiento muelle-rueda.
- t : ancho de vía.

El ultimo componente que queda de rigidez es el neumático. El neumático es el mismo para el eje delantero y trasero pero el ancho de vía no es el mismo. Por eso, se calcula tanto para el eje delantero como trasero.

$$K\theta_{\text{tyre}_f} = (K_{\text{tyre}_f} \cdot 1000) \cdot \frac{t_f^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{tyre}_f} = (K_{\text{tyre}_f} \cdot 1000) \cdot \frac{t_f^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{tyre}_f} = 415871 \frac{\text{Nm}}{\text{rad}}$$

Ahora el eje trasero.

$$K\theta_{\text{tyre}_r} = (K_{\text{tyre}_r} \cdot 1000) \cdot \frac{t_r^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{tyre}_r} = (310 \cdot 1000) \cdot \frac{1,662^2}{2}$$

$$K\theta_{\text{tyre}_r} = 428147 \text{ Nm/rad}$$

Donde:

- K_{tyre} : rigidez del neumático.

Una vez ya calculados los tres elementos necesarios para obtener la rigidez del eje, se procede a obtener el valor total.

$$K\theta_f = \frac{K\theta_{susp_f} \cdot K\theta_{tyre_f}}{K\theta_{susp_f} + K\theta_{tyre_f}}$$

$$K\theta_f = \frac{142662 \cdot 415871}{142662 + 415871}$$

$$K\theta_f = 106223 \frac{Nm}{rad}$$

Eje trasero:

$$K\theta_r = \frac{K\theta_{susp_r} \cdot K\theta_{tyre_r}}{K\theta_{susp_r} + K\theta_{tyre_r}}$$

$$K\theta_r = \frac{407383 \cdot 428147}{407383 + 428147}$$

$$K\theta_r = 208754 \frac{Nm}{rad}$$

Ahora se suman para obtener el valor total de rigidez a torsión del coche.

$$K\theta_t = K\theta_f + K\theta_r$$

$$K\theta_t = 106223 + 208754$$

$$K\theta_t = 314977 \frac{Nm}{rad}$$

Con este último dato calculado y el momento de torsión calculado al inicio, ya se puede obtener el ángulo de torsión que sufrirá el coche.

$$\text{Roll angle} = \frac{RM}{K\theta t}$$

$$\text{Roll angle} = \frac{4878}{314977}$$

$$\text{Roll angle} = 0,02 \text{ rad} = 0,89^\circ$$

Como la aceleración lateral supuesta es de 1 g, se puede decir que el ratio de rotación del coche es de 0,89 %/g. Siendo g la aceleración de la gravedad.



Figura 1.2. Descripción gráfica de un vehículo tomando una curva en la cual se puede ver como gira el coche sobre su eje longitudinal.

Se ha obtenido el primer valor característico del vehículo, el ángulo de rotación por curva. Ahora se continua con el segundo valor que es la distribución de rigideces del coche. Para eso se necesitan las cargas verticales de las ruedas, F_z . Se empieza por calcular las cargas verticales estáticas.

$$F_{z_f} = \left(m_{us_f} + \left(m_s \cdot \frac{b}{L} \right) \right) \cdot \frac{g}{2}$$

$$F_{z_f} = \left(86,4 + \left(1143,5 \cdot \frac{1,72}{2,718} \right) \right) \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$Fz_f = 3974 \text{ N}$$

$$Fz_r = (m_{us_r} + (m \cdot \frac{a}{L})) \cdot \frac{g}{2}$$

$$Fz_r = \left(97,6 + \left(1143,5 \cdot \frac{1,00}{2,718} \right) \right) \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$Fz_r = 2537 \text{ N}$$

Posteriormente se debe añadir una serie de fuerzas que actúan en el vehículo debido a la aceleración actuando sobre este que crea una rotación del chasis y como consecuencia una transferencia de pesos entre las 4 ruedas. Son 4 las fuerzas que actúan, la primera debido a la rotación, la segunda la que no es afectada por la rotación, tercera la masa no suspendida y por último la originada por el movimiento del centro de masas.

Se empieza sabiendo el momento creado por la rotación del vehículo.

$$\text{Roll axle moment}_f = \frac{RM \cdot K\theta_f}{K\theta_t}$$

$$\text{Roll axle moment}_f = \frac{4878 \cdot 106223}{314977}$$

$$\text{Roll axle moment}_f = 1645 \text{ Nm}$$

Se calcula tanto el delantero como el trasero:

$$\text{Roll axle moment}_r = \frac{RM \cdot K\theta_r}{K\theta_t}$$

$$\text{Roll axle moment}_r = \frac{4878 \cdot 208754}{314977}$$

$$\text{Roll axle moment}_r = 3233 \text{ Nm}$$

Sabiendo el par creado por la rotación o torsión del coche, se calcula la fuerza actuante en las ruedas por dicha rotación.

$$WT_f = \frac{\text{Roll axle moment}_f}{t_f}$$

$$WT_f = \frac{1645}{1,638}$$

$$WT_f = 1004 \text{ N}$$

Se calculan ambos ejes:

$$WT_r = \frac{\text{Roll axle moment}_r}{t_r}$$

$$WT_r = \frac{3233}{1,662}$$

$$WT_r = 1945 \text{ N}$$

La segunda fuerza es la que no se ve afectada por la rotación. Cualquier fuerza aplicada en el eje de rotación no se verá afectada por la misma.

$$WT_{nr_f} = \frac{h_{rc_f} \cdot \frac{m \cdot WF_{percent}}{100} \cdot a_y \cdot g}{t_f}$$

$$WT_{nr_f} = \frac{0,045 \cdot \frac{1143,5 \cdot 63,3}{100} \cdot 1 \cdot 9,8}{1,638}$$

$$WT_{nr_f} = 195 \text{ N}$$

También el eje trasero:

$$WT_{nr_r} = \frac{h_{rc_r} \cdot \frac{m \cdot (100 - WF_{percent})}{100} \cdot a_y \cdot g}{t_r}$$

$$WT_{nr_r} = \frac{0,1 \cdot \frac{1143,5 \cdot (100 - 63,3)}{100} \cdot 1 \cdot 9,8}{1,662}$$

$$WT_{nr_f} = 248 \text{ N}$$

La tercera es la fuerza creada por la masa no suspendida de cada rueda:

$$WT_{us_f} = \frac{h_{mu_f} \cdot m_{us_f} \cdot a_{y_g} \cdot g}{t_f}$$

$$WT_{us_f} = \frac{0,3 \cdot 86,4 \cdot 1 \cdot 9,8}{1,638}$$

$$WT_{us_f} = 155 \text{ N}$$

Se calcula el eje trasero:

$$WT_{us_r} = \frac{h_{mu_r} \cdot m_{us_r} \cdot a_{y_g} \cdot g}{t_r}$$

$$WT_{us_f} = \frac{0,3 \cdot 97,6 \cdot 1 \cdot 9,8}{1,662}$$

$$WT_{us_f} = 173 \text{ N}$$

Por último, se calcula la fuerza creada por el desplazamiento que sufre el centro de gravedad por la rotación del vehículo. El valor es mínimo, pero no por ello despreciable.

$$\Delta F_{z_f, \text{CG migración}} = \text{sen}(\text{Roll angle}) \cdot LRM \cdot F_{z_f}$$

$$\Delta F_{z_f, \text{CG migración}} = \text{sen}(0,02) \cdot 0,43 \cdot 3974$$

$$\Delta F_{z_f, \text{CG migración}} = 27 \text{ N}$$

En ambos ejes:

$$\Delta F_{z_r, \text{CG migration}} = \text{sen}(\text{Roll angle}) \cdot LRM \cdot F_{z_r}$$

$$\Delta F_{z_r, \text{CG migration}} = \text{sen}(0,02) \cdot 0,43 \cdot 2537$$

$$\Delta F_{z_r, \text{CG migration}} = 17 \text{ N}$$

Para resumir las cargas verticales y clarificar el cálculo, se explica mejor con tablas.

Delantera izquierda	FL	Delantera derecha	FR
Fz static	3974 N	Fz static	3974 N
$\Delta F_z, W_{T_r}$	1004 N	$\Delta F_z, W_{T_r}$	-1004 N
$\Delta F_z, W_{T_{nr}}$	195 N	$\Delta F_z, W_{T_{nr}}$	-195 N
$\Delta F_z, W_{T_{us}}$	155 N	$\Delta F_z, W_{T_{us}}$	-155 N
$\Delta F_z, \text{CG migration}$	27 N	$\Delta F_z, \text{CG migration}$	-27 N
Fz total	5356 N	Fz total	2593 N

Tabla 1.3. Resumen de cargas verticales frontales del coche por rueda.

Trasera izquierda	RL	Trasera derecha	RR
Fz static	2537 N	Fz static	2537 N
$\Delta F_z, W_{T_r}$	1945 N	$\Delta F_z, W_{T_r}$	-1945 N
$\Delta F_z, W_{T_{nr}}$	248 N	$\Delta F_z, W_{T_{nr}}$	-248 N
$\Delta F_z, W_{T_{us}}$	173 N	$\Delta F_z, W_{T_{us}}$	-173 N
$\Delta F_z, \text{CG migration}$	17 N	$\Delta F_z, \text{CG migration}$	-17 N
Fz total	4920 N	Fz total	154 N

Tabla 1.4. Resumen de cargas verticales traseras del coche por rueda.

Las tablas 1.3 y 1.4 resumen las cargas en las 4 ruedas del coche, las cargas estáticas son iguales por eje, pero las cargas originadas por la rotación actúan con símbolo diferente en cada lado del coche. Este cambio de signo viene dado porque a un lado se añade carga y al otro se elimina carga. Esto es creado por la rotación del coche. Para calcular el tanto por cien de rigidez del vehículo se hace un cálculo porcentual únicamente de las fuerzas que

están relacionadas con la suspensión, es decir las originadas por la rotación del coche. No intervendrían fuerzas creadas por la aerodinámica, por ejemplo. Ya que estas tienen una forma diferente de cálculo.

$$\text{Mechanical balance} = \frac{(\sum \Delta FZ)_f}{((\sum \Delta FZ)_f + (\sum \Delta FZ)_r) \cdot 100}$$

$$\text{Mechanical balance} = \frac{(1004 + 195 + 155 + 27)}{((1004 + 195 + 155 + 27) + (1945 + 248 + 173 + 17)) \cdot 100}$$

$$\text{Mechanical balance} = 36,7\%$$

Falta añadir, que en este caso se desprecia la carga vertical ejercida por la carga aerodinámica. Esto se justifica porque el coche de competición que se estudia está en fase de desarrollo y aun no cuenta con una aerodinámica definida. Como en este trabajo no se va a trabajar esa rama del vehículo se desprecia su valor. En el caso de añadirlo, se debería sumar la carga Fz a las anteriores.

Una vez calculados los dos valores característicos del vehículo, se puede tener una idea más clara de cuál es el vehículo en pista. Como experiencia empírica, los vehículos de competición derivados de coches de serie que cuentan con tracción y motor delanteros necesitan un % de rigidez alrededor del 30%. Es decir, un vehículo muy rígido del eje trasero y más blando del eje delantero.

Esto es característico de los turismos de competición porque no disponen de más agarre delantero y la forma de ayudar al coche a girar y trazar más rápido la curva es castigando el eje trasero. Al hacer más rígido un eje, es más fácil que este neumático sature y pierda el agarre disponible que tiene, es por eso por lo que se configura el eje trasero de los turismos de carreras muy rígido para que sature, pierda agarre y automáticamente gire sobre sí mismo.

Una analogía muy representativa es una bicicleta, cuando se realiza un bloque de la rueda trasera de la bicicleta, esta intenta girar sobre sí misma. Ese es el fenómeno que se busca en un coche que presenta dificultades a la hora de tomar una curva.

En el siguiente apartado se realiza el cálculo para encontrar las rigideces óptimas del coche para poder encontrar los valores de % rigidez y ángulo de rotación que permitan al MG6 X-POWER poder realizar una vuelta al circuito de Vallelunga en tiempo récord.

2. Cálculo de optimización de suspensión

Las rigideces de los muelles y de las barras de torsión determinan los cambios de carga en las ruedas dado un cambio en la posición del chasis.

Uno de los mayores objetivos de la suspensión es el de generar el máximo agarre posible de las ruedas para hacer el vehículo más rápido. Hay otros objetivos en otros sectores

de la automoci3n como el confort o suavidad sobre baches, pero para este proyecto se enfoca en un coche de carreras que debe de generar el m1ximo agarre.

Un problema con el c1lculo 3ptimo de las rigideces de la suspensi3n es que est1 basada en cargas ideales de las ruedas. Por esa misma raz3n se establecen unas suposiciones iniciales. Estas condiciones iniciales son para acercar el c1lculo al objetivo que se tiene y despu3s emp3ricamente se afina el resultado.

Hay dos factores que guiaran el c1lculo hacia el resultado 3ptimo de rigideces de la suspensi3n.

2.1. Gradiente de rotaci3n

El gradiente de rotaci3n es la cantidad de grados que gira el chasis por g's de aceleraci3n lateral (a_y). Existen unas tablas con valores emp3ricos para determinar si el veh3culo se encuentra en valores dentro del rango 3ptimo.

Tipo de veh3culo	Gradiente de rotaci3n t3pico
Veh3culos de pasajeros grandes	7,0 %g
Veh3culos de pasajeros peque1os	5,0 %g
Veh3culos deportivos	4,2 %g
Veh3culos de alto rendimiento y circuito	3,0 %g
Veh3culos de carreras	1,5 %g
Veh3culos con control Servo-Activo	0 %g

Tabla 2.1. Tabla resumen de gradientes de rotaci3n caracter3sticos de cada tipo de veh3culo.

El veh3culo en el que se est1 trabajando es un veh3culo de carreras por lo tanto se tomara el valor de **1,5 %g**.

2.2. Rigidez a rotación

El otro valor para tener en cuenta para la optimización de la suspensión es la rigidez a rotación del coche. En la siguiente figura se puede observar las gráficas lineales que caracterizan a cada tipo de vehículo.

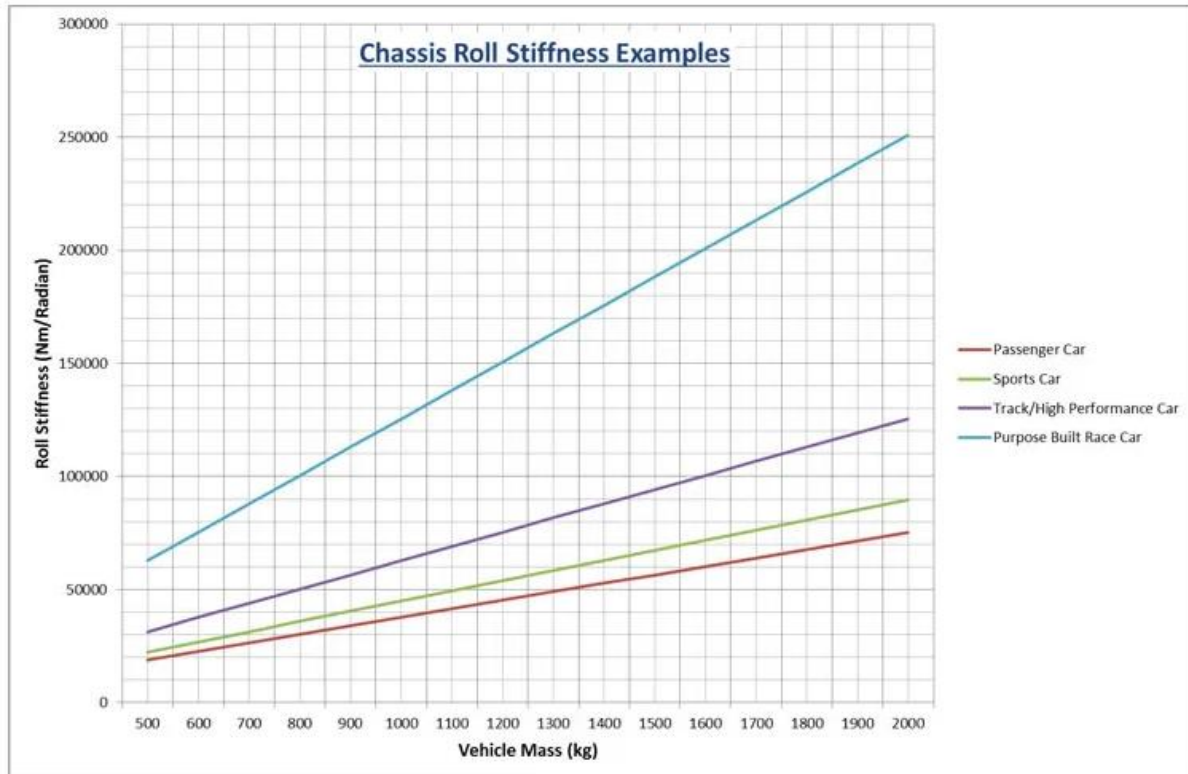


Figura 2.1. Valores estándar de rigidez a rotación para los diferentes tipos de vehículos. Fuente: suspensionsecrets.co.uk

En este proyecto se enfocará a vehículos de carreras (línea azul clara). Por lo tanto, para estimar la rigidez óptima se necesita la masa del vehículo. En este caso la masa del vehículo es 1327,50 kg que según la gráfica equivaldría a **160.000 Nm/rad**. Este es el valor que se tomara en cuenta para la optimización.

2.3. Cálculo de optimización

Una vez estudiados los datos para optimizar el vehículo, se va a enfocar en optimizar la rigidez a rotación ya que el gradiente de rotación está dentro de valores.

La rigidez actual en el vehículo es:

$$K_{\theta_t} = 314977 \frac{Nm}{rad}$$

Y se quiere buscar un valor próximo a:

$$K_{\theta_t} = 160000 \frac{Nm}{rad}$$

El “mechanical balance” que tenía el vehículo era:

$$\text{Mechanical balance} = 36,7\%$$

Este valor es muy crítico desde la experiencia, los pilotos se sienten muy incómodos con valores de rigidez tan bajos. Un valor de mechanical balance inferior a 50% significa que el eje trasero es más rígido que el eje delantero. Esto en pista se traduce en que el vehículo es muy nervioso y reactivo, no todos los pilotos son capaces de pilotar este tipo de coches.

Para este tipo de vehículo con estas características el rango de “mechanical balance” debería de situarse alrededor de **43%**. Por lo tanto, se calculará los valores de rigidez delantero y trasero para ese tanto por cien.

$$K\theta_f = \frac{K\theta_t \cdot \text{Mechanical balance}}{100}$$

$$K\theta_f = \frac{160000 \cdot 43}{100}$$

$$K\theta_f = 68800 \frac{Nm}{rad}$$

Y el eje trasero:

$$K\theta_r = K\theta_t - K\theta_f$$

$$K\theta_r = 160000 - 68800$$

$$K\theta_r = 91200 \frac{Nm}{rad}$$

A la hora de definir los muelles y la barra de torsión adecuada se fabricará una tabla con todas las posibilidades de muelles y barras de torsión que permite el mercado.

Los muelles son compra directa de mercado ya que fabricar unos muelles es un gasto de tiempo demasiado elevado y hoy el mercado tiene mucha variedad. Los rangos de rigidez para este tipo de vehículo sería de 30 N/mm a 110 N/mm.

Para elegir la barra de torsión es más complicado, estos elementos están hechos a medida para cada coche ya que se ajustan a los subchasis de cada vehículo. En este caso la modificación que se llevará a cabo será cambiar el diámetro del tubo principal que sufre la torsión.



Figura 2.2. Barra de torsión de un vehículo TCR. Fuente: Imagen Propia

Estas barras son tubos huecos de acero S235JR. Para seleccionar la más adecuada para este propósito se hará un barrido de diámetros del proveedor de metal teniendo como limitación el soporte del cojinete al cual va anclada la barra de torsión. Este rango va desde

15mm hasta 35mm con un espesor de 1,5mm.

Para calcular la rigidez de la suspensión se utilizará la siguiente formula:

$$K_{\theta_{susp}} = ((K_{ARB} \cdot 1000) \cdot MR_{ARB}^2 + (K_s \cdot 1000) \cdot MR_s^2) \cdot \frac{t^2}{2}$$

Donde:

- $K_{\theta_{susp}}$: Rigidez de la suspensión.
- K_{ARB} : Rigidez de la barra de torsión. Valor para encontrar.
- MR_{ARB} : Relación de movimiento de la barra de torsión con la rueda. Valores fijos, ya que los anclajes no se cambian.
- K_s : Rigidez del muelle. Valor para encontrar.
- MR_s : Relación de movimiento del muelle con la rueda.
- t : ancho de vía

Para el eje delantero la formula será:

$$K_{\theta_{susp_f}} = ((K_{ARB_f} \cdot 1000) \cdot MR_{ARB_f}^2 + (K_{s_f} \cdot 1000) \cdot MR_{s_f}^2) \cdot \frac{t_f^2}{2}$$

Donde:

- $K_{\theta_{susp_f}}$: 68800 Nm/rad
- K_{ARB_f} : Rigidez de la barra de torsión. Valor para encontrar.
- MR_{ARB_f} : P1:0,42 – P2:0,48 – P3:0,53
- K_{s_f} : Rigidez del muelle. Valor para encontrar.
- MR_{s_f} : 0.925
- t_f : 1,638m

Para el eje trasero la formula será:

$$K_{\theta_{susp_r}} = ((K_{ARB_r} \cdot 1000) \cdot MR_{ARB_r}^2 + (K_{s_r} \cdot 1000) \cdot MR_{s_r}^2) \cdot \frac{t_r^2}{2}$$

Donde:

- $K_{\theta_{susp_r}}$: 91200 Nm/rad
- K_{ARB_r} : Rigidez de la barra de torsión. Valor para encontrar.
- MR_{ARB_r} : P1:0,83 – P2:1,00 – P3:1,14
- K_{s_r} : Rigidez del muelle. Valor para encontrar.
- MR_{s_r} : 1,22
- t_r : 1,662m

Para encontrar los valores óptimos de rigidez de barra de torsión y muelle se crea una

tabla de valores con un mapa de calor y se busca el valor que se necesita. Para ello se utiliza la siguiente formula:

$$K\theta_{susp} = \left(80000000000 \cdot \left(\frac{\varnothing}{1000} - \left(\frac{\varnothing - 2 \cdot e}{1000} \right)^4 \cdot \frac{\pi}{\frac{32}{L} \cdot \frac{L}{1000}} \right) \cdot \frac{MR_{ARB}^2}{\left(\frac{Lever}{1000} \right)^2} \right) + (K_s \cdot 1000) \cdot MR_s^2 \cdot \frac{t^2}{2}$$

Donde:

- $K\theta_{susp}$: Rigidez de la suspensión.
- \varnothing : Diámetro de la barra en mm. Valor para encontrar.
- e: espesor de la barra en mm. En este caso 1,5 mm por fabricante.
- L: Longitud de la barra de torsión.
- MR_{ARB} : Relación de movimiento de la barra de torsión con la rueda.
- Lever: brazo de la barra de torsión.
- K_s : Rigidez del muelle. Valor para encontrar.
- MR_s : Relación de movimiento del muelle con la rueda.
- t: ancho de vía.

Para el eje delantero será el siguiente:

- L: 960 mm
- MR_{ARBf} P1:0,42 – P2:0,48 – P3:0,53
- MR_{sr} : 0,925
- t_r : 1,638m

Diámetro barra (mm)	Posición barra	Rigidez del muelle (N/mm)								
		30	40	50	60	70	80	90	100	110
15	P1	35933	47411	58889	70368	81846	93325	104803	116281	127760
	P2	36895	48374	59852	71331	82809	94287	105766	117244	128723
	P3	38546	50025	61503	72982	84460	95938	107417	118895	130374
20	P1	38267	49745	61224	72702	84180	95659	107137	118616	130094
	P2	40730	52209	63687	75165	86644	98122	109601	121079	132557
	P3	44955	56433	67911	79390	90868	102347	113825	125303	136782
25	P1	42269	53748	65226	76705	88183	99661	111140	122618	134097
	P2	47306	58784	70263	81741	93220	104698	116176	127655	139133
	P3	55943	67422	78900	90378	101857	113335	124814	136292	147770
30	P1	48391	59870	71348	82826	94305	105783	117262	128740	140218
	P2	57364	68842	80320	91799	103277	114756	126234	137712	149191
	P3	72750	84229	95707	107185	118664	130142	141621	153099	164577
35	P1	57083	68562	80040	91518	102997	114475	125954	137432	148910
	P2	71644	83122	94600	106079	117557	129036	140514	151992	163471
	P3	96613	108092	119570	131048	142527	154005	165484	176962	188440

Figura 2.3. Mapa de calor de rigideces de la suspensión delantera. Combinación de barra de torsión y muelles.

El valor objetivo es 68800 Nm/rad, con la **configuración delantera de muelle 50 N/mm** y la **barra de torsión de 25 mm de diámetro** se obtendría unos valores aproximados (65226 – 78900 Nm/rad), dejando una horquilla en la que poder ajustar en pista cambiando el brazo de posición.

Y lo mismo para el eje trasero.

- L: 1038 mm
- MR_{ARBf} : P1:0,83 – P2:1,00 – P3:1,14
- MR_{sf} : 1,22
- t_r : 1,662m

Diametro barra (mm)	Posicion barra	Rigidez del muelle (N/mm)								
		30	40	50	60	70	80	90	100	110
15	P1	70395	90952	111508	132065	152621	173178	193735	214291	234848
	P2	76468	97025	117581	138138	158694	179251	199808	220364	240921
	P3	84153	104710	125267	145823	166380	186937	207493	228050	248606
20	P1	83995	104552	125109	145665	166222	186778	207335	227892	248448
	P2	99535	120091	140648	161204	181761	202318	222874	243431	263988
	P3	119200	139757	160313	180870	201427	221983	242540	263097	283653
25	P1	107316	127873	148430	168986	189543	210100	230656	251213	271769
	P2	139088	159645	180201	200758	221315	241871	262428	282984	303541
	P3	179296	199853	220410	240966	261523	282080	302636	323193	343749
30	P1	142986	163542	184099	204656	225212	245769	266325	286882	307439
	P2	199584	220141	240698	261254	281811	302367	322924	343481	364037
	P3	271212	291769	312326	332882	353439	373995	394552	415109	435665
35	P1	193630	214187	234743	255300	275857	296413	316970	337527	358083
	P2	285479	306036	326593	347149	367706	388262	408819	429376	449932
	P3	401718	422275	442831	463388	483944	504501	525058	545614	566171

Figura 2.4. Mapa de calor de rigideces de la suspensión trasera. Combinación de barra de torsión y muelles.

El valor objetivo es 91200 Nm/rad, con la **configuración trasera de muelle 40 N/mm** y la **barra de torsión de 15 mm de diámetro** se obtendría unos valores aproximados (90952 – 104710 Nm/rad), dejando una horquilla en la que poder ajustar en pista cambiando el brazo de posición.

Hay varias configuraciones que encajan con los valores buscados, pero hay que buscar el que deje un margen de maniobra para el trabajo en pista.

A continuación, comprobamos el rango de trabajo de mechanical balance y gradiente de rotación para saber si está en los rangos óptimos. La mínima rigidez del vehículo será la suma de los valores inferiores de las configuraciones delantera y trasera.

$$K\theta_{tmin} = K\theta_{fmin} + K\theta_{rmin} \frac{Nm}{rad}$$

$$K\theta_{tmin} = 65226 + 90952 \frac{Nm}{rad}$$

$$K\theta_{tmin} = 156178 \frac{Nm}{rad}$$

También se calcula con la máxima rigidez:

$$K\theta_{tmax} = K\theta_{fmax} + K\theta_{rmax} \frac{Nm}{rad}$$

$$K\theta_{tmax} = 78900 + 104710 \frac{Nm}{rad}$$

$$K\theta_{tmax} = 183610 \frac{Nm}{rad}$$

Por último, se calcula el gradiente de rotación por g para ambos casos:

$$\text{Roll angle} = \frac{RM}{K\theta t}$$

$$\text{Roll angle}_{min} = \frac{RM}{K\theta t_{min}}$$

$$\text{Roll angle}_{min} = \frac{4878}{156178}$$

$$\text{Roll angle}_{min} = 0,036 \text{ rad} = 2,07^\circ$$

$$\text{Roll rate}_{min} = 2,07^\circ/g$$

$$\text{Roll angle}_{min} = \frac{RM}{K\theta t_{max}}$$

$$\text{Roll angle}_{max} = \frac{4878}{183610}$$

$$\text{Roll angle}_{max} = 0,031 \text{ rad} = 1,76^\circ$$

$$\text{Roll rate}_{max} = 1,76^\circ/g$$

El gradiente de rotación está un poco por encima de nuestro valor objetivo, pero puede valer en pista, ya que no se conoce exactamente la sensibilidad de este coche y del piloto.

3. Resumen

Finalmente se cambiarán los muelles delanteros y traseros y las barras de torsión delantera y trasera. Los muelles originales eran de 110N/mm delante y pasarán a 50N/mm y los traseros originalmente eran de 110N/mm y pasarán a 40 N/mm. La barra de torsión delantera original era de 30 mm de diámetro y ahora se modificará a 25 mm y la trasera original era de 35 mm y pasará a ser de 15 mm de diámetro.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO N°3 - ANEXOS
ANEXO 2 – ELECCIÓN DE MUELLES	

Tabla de contenido

1. Características del muelle 2

1. Características del muelle

Para la elección del muelle se debe de tener en cuenta la geometría de este. Para ello hay una serie de datos claves que facilitan la elección.

Los muelles vienen dados por una nomenclatura tal que así:

HRF 160-60-50

Donde:

- HRF: es el tipo de muelle, en este caso la marca H&R, al ser alemana es la abreviación de “Hochfeste Rennfeder” que traducido al español significa muelles de competición de altas cargas.
- 160: es el recorrido libre del muelle, depende del amortiguador. Normalmente expresado en milímetros.
- 60: es el diámetro interior del muelle. El muelle asienta sobre unos labios que lo sujetan para que quede concéntrico al amortiguador. Expresado en milímetros.
- 50: es la rigidez del muelle, en este caso sería un muelle de 50 N/mm.

Este vehículo tiene las siguientes características de amortiguador:

- Recorrido libre: 160 mm
- Diámetro interior: 60 mm

Tanto el amortiguador delantero como el trasero son iguales. Por lo tanto, las nomenclaturas a buscar en el catálogo son:

- Delante: **HRF 160-60-050**
- Detrás: **HRF 160-60-040**

Estos muelles se pueden encontrar en la página 7 del catálogo adjunto.

Reinnsportfedern/Race Springs

Reinnsportfedern mit 60 m Innendurchmesser/Race Springs with 60 mm inner diameter

HRF140-60-260	140	260	1484	26,51	76	64	16640	500
HRF140-60-280	140	280	1598	28,55	76	64	17920	1520
HRF140-60-300	140	300	1712	30,59	77	63	18900	1580
RF140-320	140	320	1826	32,63	88	52	16756	1740
HRF140-60-320	140	320	1827	32,63	76	64	20800	1580
HRF140-60-340	140	340	1941	34,67	81	59	20500	1780
RF140-350	140	350	1998	35,69	75	65	22750	1591
HRF140-60-360	140	360	2055	36,71	77	63	22500	1700
RF140-400	140	400	228	40,79	95	45	17916	2243
RF140-420	140	420	2397	42,83	93	47	20500	2360
RF140-450	140	450	2569	45,89	81	59	26125	1880
RF140-480	140	480	2740	48,95	88	52	25050	2160
RF140-500	140	500	2854	50,99	88	52	24600	2140
RF150-030	150	30	171	3,06	54	96	2880	581
RF150-050	150	50	285	5,10	56	94	4700	674
RF150-060	150	60	371	6,12	65	85	5031	775
RF150-070	150	70	400	7,14	62	88	6160	850
RF150-080	150	80	456	8,16	70	80	6249	957
HRF150-60-090	150	90	513	9,18	64	86	7740	960
RF150-120	150	120	685	12,24	74	76	9072	1106
HRF150-60-120	150	120	685	12,24	71	79	9480	1150
RF150-240	150	240	1370	24,47	87	63	15126	1609
RF150-260	150	260	1484	26,51	91	59	15210	1767
HRF160-60-040	160	40	228	4,08	54	106	4240	630
HRF160-60-050	160	50	285	5,10	57	103	5150	690
HRF160-60-060	160	60	342	6,12	59	101	6060	770
HRF160-60-070	160	70	400	7,14	63	97	6790	670
HRF160-60-080	160	80	457	8,16	62	98	7840	860
HRF160-60-090	160	90	514	9,18	68	92	8280	1000
HRF160-60-100	160	100	571	10,20	67	93	9300	1020
HRF160-60-110	160	110	628	11,22	67	93	10230	1050
RF160-120	160	120	685	12,24	79	81	9720	1328
HRF160-60-120	160	120	685	12,24	74	86	10320	1210
HRF160-60-130	160	130	742	13,26	75	85	11050	1260
HRF160-60-140	160	140	799	14,28	76	84	11760	1300
HRF160-60-160	160	160	913	16,32	79	81	12960	1410
HRF160-60-180	160	180	1027	18,35	77	83	14940	1410
HRF160-60-200	160	200	1142	20,39	82	78	15600	1560
HRF160-60-220	160	220	1256	22,43	80	80	17600	1560
HRF160-60-240	160	240	1370	24,47	86	74	17760	1750
HRF160-60-260	160	260	1484	26,51	86	74	19240	1780
RF165-070	160	70	400	7,14				
RF180-030	180	30	171	3,06	57	123	3810	620
HRF180-60-030	180	30	171	3,06	55	125	3750	590
HRF180-60-040	180	40	228	4,08	61	119	4760	718
RF180-050	180	50	285	5,10	71	109	5560	920
HRF180-60-050	180	50	285	5,10	62	118	5900	780
RF180-060	180	60	343	6,12	75	105	6700	1020
HRF180-60-060	180	60	342	6,12	65	115	6900	870
RF180-070	180	70	400	7,14	80	100	7380	1140
HRF180-60-070	180	70	400	7,14	69	111	7770	980
HRF180-60-075	180	75	428	7,65	72	108	8100	1041
RF180-080	180	80	457	8,16	77	103	8500	1140
HRF180-60-080	180	80	457	8,16	75	105	8400	1110
HRF180-60-090	180	90	514	9,18	79	101	9090	1240
HRF180-60-100	180	100	571	10,20	80	100	10000	1280
HRF180-60-110	180	110	628	11,22	79	101	11110	1290
HRF180-60-120	180	120	685	12,24	80	100	12000	1350
RF180-130	180	130	742	13,26	59	121	3642	595
HRF180-60-130	180	130	742	13,26	81	99	12870	1390
HRF180-60-140	180	140	799	14,28	82	98	13720	1450
HRF180-60-150	180	150	855	15,30	90	90	14700	1680
HRF180-60-160	180	160	913	16,32	86	94	15040	1570
RF180-170	180	170	971	17,34	80	100	17000	1486
HRF180-60-180	180	180	1027	18,35	89	91	16380	1700
RF180-190	180	190	1084	19,37	103	77	14425	2100
HRF180-60-200	180	200	1142	20,39	93	87	17400	1870
RF180-210	180	210	1198	21,41	108	72	15550	2320
RF180-260	180	260	1484	26,51	108	72	18720	2432
RF200-030	200	30	171	3,06	71	129	4070	820
HRF200-60-030	200	30	171	3,06	68	132	3960	790
RF200-040	200	40	228	4,08	71	129	6550	880
HRF200-60-040	200	40	228	4,08	68	132	5280	830
RF200-050	200	50	285	5,10	86	114	10800	1200
HRF200-60-050	200	50	285	5,10	76	124	6200	1030
HRF200-60-060	200	60	342	6,12	79	121	7260	1120
HRF200-60-070	200	70	400	7,14	83	117	8190	1230
HRF200-60-080	200	80	457	8,16	81	119	9520	1240
HRF200-60-090	200	90	514	9,18	87	113	10170	1400
HRF200-60-100	200	100	571	10,20	86	114	11400	1420
HRF200-60-110	200	110	628	11,22	92	108	11880	1600
HRF200-60-120	200	120	685	12,24	93	107	12840	1640
HRF200-60-130	200	130	742	13,26	93	107	13910	1680
HRF200-60-140	200	140	799	14,28	95	105	14700	1750
RF200-150	200	150	856	15,30	108	92	13864	1979
HRF200-60-150	200	150	856	15,30	97	103	15450	1830
HRF200-60-180	200	180	1027	18,35	102	98	17640	2051



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO N°3 - ANEXOS
ANEXO 3 – PRUEBA EN PISTA	

Tabla de contenido

1. Planificación de prueba en pista	2
2. Comparativa de conducción.....	2
3. Análisis del piloto	5
4. Resumen	5

1. Planificación de prueba en pista

Para poder analizar el correcto funcionamiento del coche, se ha llevado a cabo una prueba en circuito. Para poder estar totalmente seguro de que este tipo de modificaciones tienen un efecto real y no solo matemático es necesario poner el coche en pista y que el piloto lo pruebe. Para poder extraer conclusiones fiables las sensaciones del piloto y los datos extraídos del coche deben coincidir y que se vea una diferencia palpable.

Los datos que se sacan del vehículo son muchos, el vehículo va repleto de sensores que recogen todo tipo de valores que posteriormente son analizados. El MG 6 X-POWER lleva montado un sistema de recogida de datos de la marca Magnetti Marelli que recoge todos los datos de los sensores y los transforma en unos ficheros que posteriormente son analizados en el software WinTAX 4.

Con este software únicamente se va a comprobar si es verdad que el vehículo a cambiado de comportamiento en pista o no. Para ello únicamente se usarán canales de conducción como, velocidad, revoluciones, marchas, volante, freno y acelerador.

Las conclusiones que se extraen del piloto son sobre cómo ha notado el vehículo en curva y cómo se comporta. De normal, al piloto se le pregunta sobre varios aspectos del vehículo, balance, frenos, si toca con el suelo, el calentamiento de los neumáticos, la tracción y la potencia. En este caso solo se enfocarán las preguntas sobre el balance que es el termino más afectado por el cambio realizado en el vehículo.

El plan que se llevara a cabo en circuito es comparar varias vueltas del vehículo alrededor del circuito usando siempre neumático nuevo para no falsear el comportamiento por culpa del desgaste. Además, cada tanda se realizará en las condiciones ambientales más parecidas posible. Es decir, a primera hora de la mañana y a primera hora de la tarde.

2. Comparativa de conducción

Para comprar la conducción y saber si una vuelta es mejor que otra se usa el software WinTAX 4, en el cual siempre se solapa una vuelta contra otra para ver a simple vista las diferencias en curva. En este caso se va a comparar una vuelta con la antigua configuración y una vuelta con la nueva configuración. Se realizaron más vueltas, pero en este caso solo se van a comparar las más representativas, sino el trabajo seria redundante.

Para entender un poco el software, cada línea describe un canal del coche, ya sea volante, freno, etc.... Todos los valores de esos canales están situados en el eje Y. En el eje X se muestra la distancia recorrida por el vehículo, básicamente una vuelta. Se puede observar en la siguiente figura en azul una vuelta con la antigua configuración y en rojo la nueva configuración. Hay varias zonas en las que se ve una clara diferencia.



Figura 2.1. Captura de pantalla de una comparativa de vueltas en el software WinTAX4.

Para verlo con detalle se realiza un zoom a la vuelta para diferenciar mejor los detalles.



Figura 2.2. Captura de pantalla con zoom de la curva 3 de Vallelunga.

Si se hace un zoom a la curva 3 se puede ver como el volante azul es mayor que el volante rojo (círculo rojo), esto significa que el vehículo azul necesita mucho más volante para poder girar el coche, pero aun así tiene problemas para girarlo porque no es capaz de ir tan rápido al acelerador como el rojo (círculo amarillo) y como consecuencia pierde velocidad en la salida de la curva como se puede ver en la línea de velocidad (círculo verde).



Figura 2.3. Captura de pantalla con zoom de la curva 9 y 10 de Vallelunga.

Otra vez se hace zoom en las curvas 9 y 10 y se puede ver el mismo comportamiento. Otra vez el azul no es capaz de girar el coche con el mismo volante que el rojo (círculo rojo) e ir al acelerador tan rápido como con la nueva configuración (círculo amarillo). Y como consecuencia pierde mucha velocidad (círculo verde).

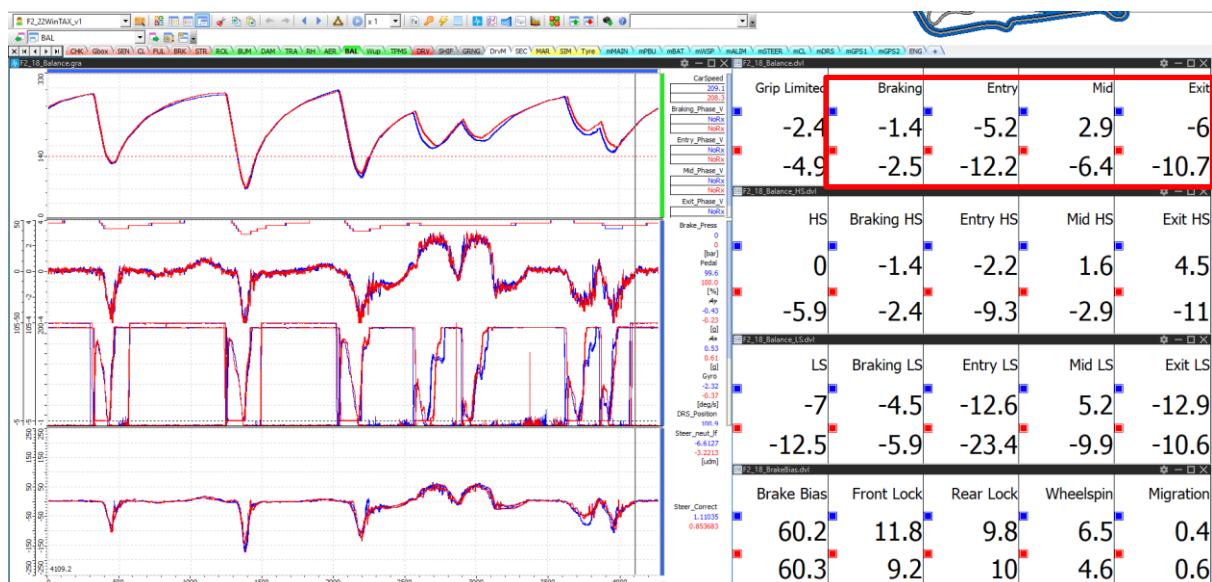


Figura 2.4. Captura de pantalla métricas de conducción.

Además del análisis puro de los canales también existen métricas que parametrizan la conducción, dándole números positivos cuando un coche se va de morro y números negativos cuando se va de atrás. En otras palabras, números positivos cuando cuesta girar y números negativos cuando gira de más. En este caso podemos ver como en todas las fases de la curva frenada, entrada, medio y salida el azul muestra un número más cercano al positivo que el rojo, concluyendo que el coche azul cuesta más de girar en todas las fases de la curva. Es decir, que la antigua configuración más rígida costaba mucho más girar.

3. Análisis del piloto

Para obtener las sensaciones del piloto, después de bajarse del vehículo se le realizan una serie de preguntas para que de una visión del coche. A continuación, se ven unas capturas de pantalla de las sensaciones que tuvo el piloto tras bajarse del coche con la antigua configuración.

Driver comments *Driver comments from the debrief*

Tyre warm up

Felt tyres ready after the normal sequence OWWP. Rears on the limit after the first push. Brakes felt not ready like too cold. Bite not there in T1-T3 after cool lap. When did 3 consecutive push laps brakes felt better and better.

Car balance

General: slightly US, bit more US in HS.

HS: entry-mid US, worst T6-7 (with FW2 +2º felt that the right AB% for HS)

LS: tiny bit of US mid corner, which creates too much lock for powering and w-spin appears

Brakes

Need better bite T1-T3. With consecutive laps the brakes felt good.

Went forwards with brake bias and lock up in T4 in the peak.

Bottoming

Touching a lot T1-T2 (new tarmac patch). Big bottoming. Exit T6 bit of bottoming, more bottoming out of T9-T10 (too much).

Main limiting factor

Reduce mid US in LS corners (could be good for Option).

Practice start

Not done

Figura 3.1. Captura de pantalla debrief del piloto con la configuración antigua.

Las conclusiones que se deben tener en cuenta son las llamadas “Car Balance” estas son las que describen como se comporta el coche en curva. Se puede ver como si US, que significa “Understeer” que en español es que se va de morro el coche, que no puede girarlo.

Driver comments *Driver comments from the debrief*

Tyre warm up

All fine. Grip was there since first push. For the track position it was better with the second set to be able to push S3 - need to leave enough space to the car in front before T7-8.

Car balance

General: All good. Very stable.

HS: feeling I can lose the car on entries - missing some apexes because perhaps not turning sharp enough due to lack of confidence.

LS: Felt rear axle moving a bit on the maximum peak.

Brakes

Feeling good, didn't find any limitation on locks.

Bottoming

1st set: from T1 to T3 is touching quite a lot. Can compromise lap time.

2nd set: it was better, acceptable.

Main limiting factor

Driving confidence in HS - not pushing enough early enough.

Figura 3.2. Captura de pantalla debrief del piloto con la configuración nueva.

Posteriormente, hizo la misma prueba con la configuración nueva y se puede observar que sus conclusiones son diferentes. “All good, very stable”, el piloto nota todo bien y muy estable.

4. Resumen

Como conclusión se puede decir que el objetivo se ha conseguido ya que las conclusiones de los datos y las conclusiones del piloto coinciden y son coherentes con el cálculo que se realizó previamente. Se ha conseguido un coche más estable en curva, más rápido y competitivo cambiando las rigideces del vehículo.



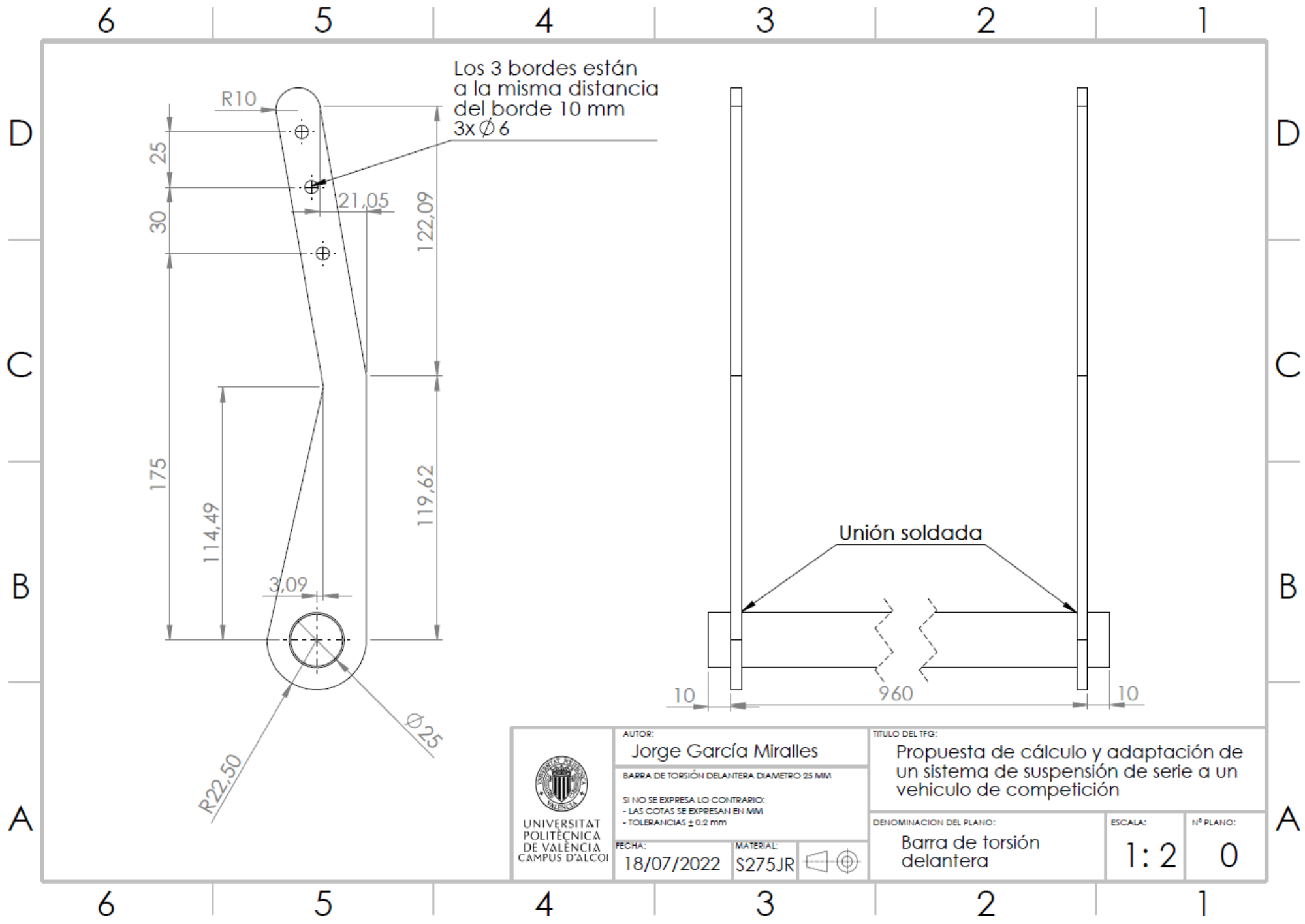
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA





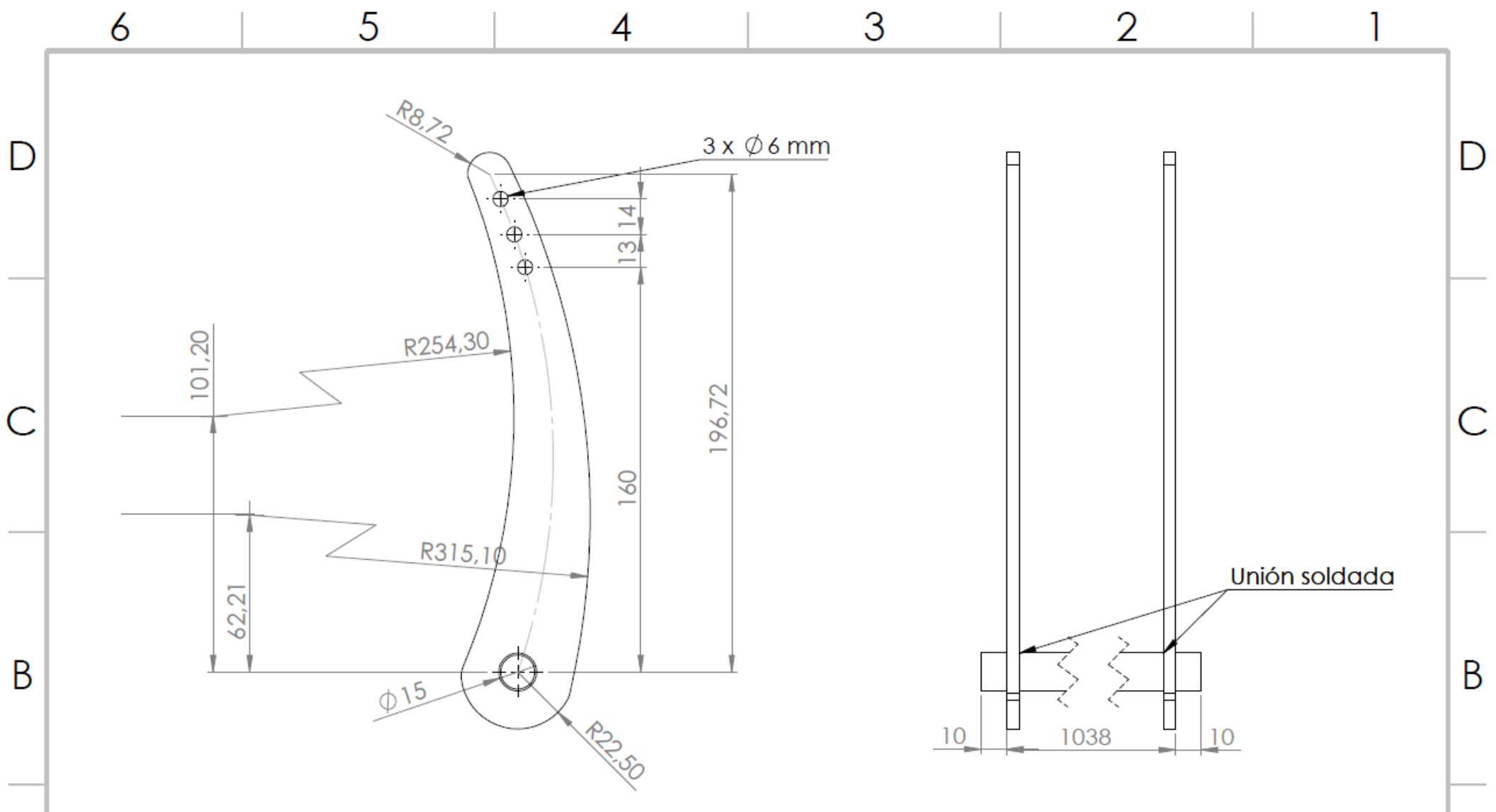
TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO Nº4 – PLANOS



Tabla de contenido

1. Barra de torsión delantera.....	2
2. Barra de torsión trasera.....	3



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	AUTOR: Jorge García Miralles		TÍTULO DEL TFG: Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición	
	BARRA DE TORSIÓN DELANTERA DIAMETRO 25 MM		DENOMINACIÓN DEL PLANO: Barra de torsión delantera	
SI NO SE EXPRESA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - TOLERANCIAS ± 0.2 mm		FECHA: 18/07/2022	MATERIAL: S275JR	ESCALA: 1:2
				Nº PLANO: 0



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	AUTOR: Jorge García Miralles		TÍTULO DEL TFG: Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición	
	BARRA DE TORSIÓN TRASERA DIAMETRO 15 MM		DENOMINACIÓN DEL PLANO: Barra de torsión trasera	
SI NO SE EXPRESA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - TOLERANCIAS ± 0.2 mm		FECHA: 18/07/2022	MATERIAL: S275JR	ESCALA: 1:2
				Nº PLANO: 1

6 5 4 3 2 1

A



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO Nº5 – PLIEGO DE CONDICIONES

Tabla de contenido

1. Pliego de condiciones técnicas	2
1.1. Fabricación.....	2
1.2. Montaje	2
1.3. Mantenimiento	3
2. Pliego de condiciones económicas	3

El objeto de este documento, llamado pliego de condiciones es determinar las constricciones que se deben seguir para lograr finalizar el presente proyecto con las garantías suficientes.

1. Pliego de condiciones técnicas

1.1. Fabricación

Las barras de torsión se fabricarán de la siguiente manera.

Inicialmente se cortará el tubo original por la parte interior de los brazos de palanca dejándolos intactos. Se eliminarán las rebabas de los brazos de palanca, producidas por el corte con amoladora angular con disco de corte para metal. Posteriormente se escogerá el tubo de barra de acero S275JR (Manganeso < 1,5 y Carbono < 0,21, acero no aleado) del diámetro necesario para cada eje.

Se realizará una soldadura tipo MAG utilizando CO₂ como gas, a bisel único de 45° alrededor del tubo. Posteriormente se limpiará la soldadura y se lijará dejando la unión uniforme. Por último, se pintará de color negro con pintura de esmalte antioxidante para evitar la corrosión.

1.2. Montaje

Previamente a su montaje, hay que asegurarse de que se dispone de todos los elementos y que estos son de las dimensiones correctas. De lo contrario, será imposible realizar una montura adecuada.

Las muelles van ubicados en la zona alrededor del vástago del amortiguador, apoyado en sus respectivos asientos. Se puede añadir grasa de cobre entre el asiento y el muelle.

Las barras de torsión deberán de ser instaladas con sus cojinetes de goma, los cuales serán reemplazados por unos nuevos de las mismas características. Cuando se conecte la barra de torsión a las bieletas, se debe comprobar que no quede precargada la barra de torsión. Esta no puede tener ninguna carga con el vehículo en el aire. Los tornillos que soportan la barra de torsión deberán de ir al apriete correspondiente a la métrica.

A continuación, se muestra la posición final de la barra de torsión delantera montada sobre el subchasis.



Figura 1.1. Imagen detalle de la colocación de la barra de torsión delantera. Fuente: Imagen propia.

Aquí se muestra la posición final de la barra de torsión trasera.

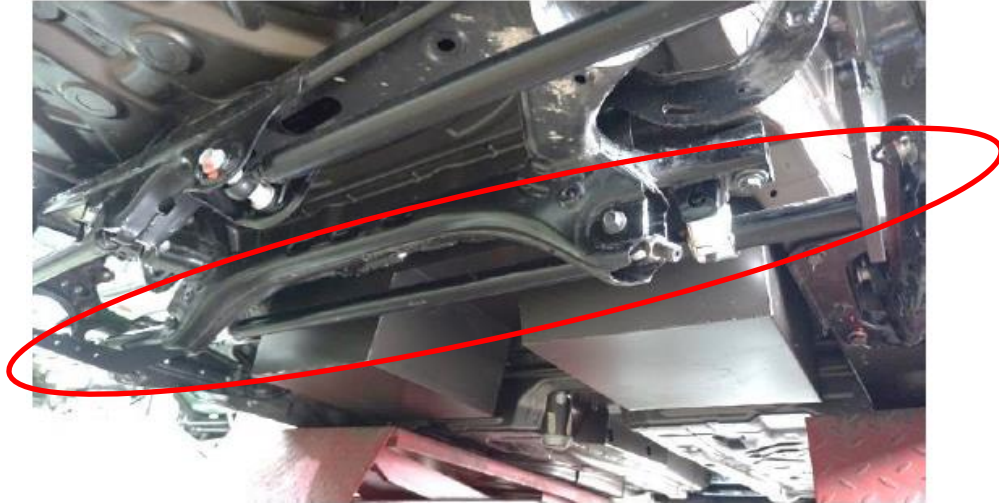


Figura 1.2. Imagen detalle de la colocación de la barra de torsión delantera. Fuente: Imagen propia.

1.3. Mantenimiento

Respecto al mantenimiento de las barras de torsión se tendrá que hacer un ensayo de líquidos penetrantes a ambas barras después de cada evento de carreras, aproximadamente 500 km. Muy importante focalizarse en las uniones soldadas que es por donde suelen fracturarse las barras de torsión.

Los muelles no necesitan ningún tipo de mantenimiento.

2. Pliego de condiciones económicas

Los precios establecidos en el proyecto, perfectamente detallados en el Documento Nº6 – Presupuesto, engloban el coste de los materiales y la mano de obra, así como todos los costes de ingeniería relacionados con el estudio y diseño del molde de inyección. También se incluye en dicho presupuesto el beneficio industrial.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TÍTULO	Propuesta de cálculo y adaptación de un sistema de suspensión de serie a un vehículo de competición
GRADO	Ingeniería mecánica
AUTOR	Jorge García Miralles
TUTOR	Lourdes Sánchez Nacher
FECHA	JULIO 2022
VOLUMEN	DOCUMENTO N°6 – PRESUPUESTO

Tabla de contenido

1. Trabajo de ingeniería
2. Trabajo de Taller
3. Trabajo de Circuito
4. Resumen

1. Trabajo ingeniería

Trabajo ingeniería			
Descripción	Medición (h)	Precio Unitario (euros)	Importe
Estudio y análisis inicial del vehículo	80	50.00 €	4,000.00 €
Documentación y redacción del proyecto	40	40.00 €	1,600.00 €
Generación de planos	10	40.00 €	400.00 €
Total			6,000.00 €

En este apartado se recoge todo el tiempo invertido en el desarrollo de las piezas, comprobaciones, traslados y desarrollo del trabajo final de grado.

2. Trabajo Taller

Trabajo Taller				
Descripción	Medición (h)	Medición (u.)	Precio Unitario (euros)	Importe
Desmontar muelles y barras de torsión	2		50.00 €	100.00 €
Muelles 40Nm/mm (incluido montaje)	1		150.00 €	150.00 €
Muelles 50N/mm (incluido montaje)	1		150.00 €	150.00 €
Corte y limpieza (Barra de Torsión)	0.5		25.00 €	12.50 €
Tubo de nuevo diámetro 15 mm (Barra de Torsión) Cantidad por metros		3	7.50 €	22.50 €
Tubo de nuevo diámetro 25 mm (Barra de Torsión) Cantidad por metros		3	7.50 €	22.50 €
Soldado del nuevo tubo (Barra de Torsión)	2		60.00 €	120.00 €
Pintado (Barra de Torsión)	1		30.00 €	30.00 €
Montaje en coche (Barra de Torsión)	2		50.00 €	100.00 €
Casquillos goma (Barra de Torsión)		4	3.50 €	14.00 €
Sustitución casquillos goma (Barra de Torsión)	0.5		25.00 €	12.50 €
Meter coche en el plano y ajustar geometrías	3		60.00 €	180.00 €
Total				914.00 €

Esta tabla recoge el coste de desmontaje y montaje de piezas, coste de adquisición de los muelles y todo el coste de fabricación de las barras de torsión.

3. Trabajo Circuito

Trabajo Circuito			
Descripción	Tiempo (día)	Precio Unitario (euros/día)	Importe
Honorarios ingeniero de pista	2	400.00 €	800.00 €
Honorarios 3 mecánicos de pista	2	600.00 €	1,200.00 €
Honorarios piloto	2	650.00 €	1,300.00 €
Alquiler circuito	2	12,000.00 €	24,000.00 €
Dietas	2	1,000.00 €	2,000.00 €
Transporte vehículo con camión	2	1,200.00 €	2,400.00 €
Desplazamiento personal técnico	1	4,300.00 €	4,300.00 €
Hotel personal técnico	1	1,150.00 €	1,150.00 €
Total			37,150.00 €

Este apartado se especifica el coste total de dos días de pruebas. Este montante es muy elevado porque la movilización de un equipo entero es muy costosa. Este trabajo se realizó para varias piezas del vehículo no únicamente las recogidas en este proyecto.

4. Resumen

Presupuesto General	
Capítulo	Importe
1. Costes de ingeniería	6,000.00 €
2. Trabajo Taller	914.00 €
3. Trabajo Circuito	37,150.00 €
Presupuesto de ejecucion material	44,064.00 €
5% de gastos indirectos	2,203.20 €
20% de beneficio industrial	8,812.80 €
Suma	55,080.00 €
21% IVA	11,566.80 €
Presupuesto de ejecucion por contrata	66,646.80 €

Precio final de todo el proyecto, sumando todos los apartados y aplicando los márgenes necesarios para posibles imprevistos y el beneficio industrial.