



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
TRANSFORMACIÓN DE MOTO TODOTERRENO EN
MOTO DE CIRCUITO (CORTO) DE VELOCIDAD.

Autor: Daniel Reimers Santamaría

Director: Juan Norverto Moriño

Madrid,

Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Transformación de moto todoterreno en moto de circuito (corto) de velocidad en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Daniel Reimers Santamaria

Fecha: 08/ 07/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo Fecha://

**NORVERTO
MORIÑIGO JUAN
- DNI 09746499L**

Firmado digitalmente por
NORVERTO MORIÑIGO
JUAN - DNI 09746499L
Fecha: 2021.07.09
07:30:05 +02'00'



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
TRANSFORMACIÓN DE MOTO TODOTERRENO EN
MOTO DE CIRCUITO (CORTO) DE VELOCIDAD.

Autor: Daniel Reimers Santamaría

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid,

Julio de 2021

TRANSFORMACIÓN DE MOTO TODOTERRENO EN MOTO DE CIRCUITO (CORTO) DE VELOCIDAD

Autor: Reimers Santamaría, Daniel

Director: Norverto Moriñigo, Juan

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la conversión de una moto todoterreno u offroad matriculada, en una moto especialmente diseñada para circuitos cortos (llamadas supermoto, abreviadamente Sm). El objetivo será adaptar la moto para su uso en un circuito de carretera, para lo que se realizarán modificaciones en el sistema de suspensiones y de frenado principalmente, además de modificarse parámetros geométricos como las dimensiones de la rueda y el desarrollo de la moto. Además, deberá estar preparada para poder obtener las homologaciones necesarias para circular por vías públicas.

Palabras clave: Supermoto, homologaciones

1. Introducción

El trabajo consiste en la modificación de una moto de todoterreno u *offroad* (figura 1, fuente: *KTM.com*) de forma que pueda ser utilizada adicionalmente en circuitos cortos y revirados de asfalto, pero lo suficientemente amplios para una moto de esas dimensiones (por ejemplo, un circuito de *karting*). La idea viene inspirada por la categoría ya existente en el mundo de competición de motociclismo conocido como *supermotard* o *supermoto* (figura 2,). Este estilo constituye una fusión entre las modalidades de *motocross* y motociclismo de alta velocidad.



Figura 1: Moto de offroad matriculada



Figura 2: Supermoto de competición

El origen de esta modalidad fue consecuencia de una prueba realizada en un programa de televisión americano en los años 70, que consistía en encontrar el piloto motorista más experimentado, que reuniera todas las habilidades necesarias para conducir, tanto sobre tierra como sobre asfalto. Por ello esta prueba se realizaba en circuitos que combinaran el asfalto en un 70% y la tierra en un 30%. Más adelante empezaron a aparecer las primeras competiciones de *supermoto* (el primero fue en 2003 en USA). Los circuitos suelen tener algún salto, rectas más cortas y curvas más cerradas que los de motociclismo de velocidad, con velocidades punta que no superan los 160 km/h aproximadamente.

En sus inicios se usaban motos con motores monocilíndricos de dos tiempos de 250cc, procedentes de motos de todoterreno, pero estos motores eran poco progresivos y alcanzaban altas revoluciones en un tiempo reducido. En la actualidad se usan motores de cuatro tiempos de un cilindro de 450cc, que son más progresivos que los de dos tiempos. Además, suelen llevar llantas de entre 17 y 16 pulgadas en el tren delantero y de 17 pulgadas en el tren trasero y con gomas de anchura 120 o 125 y 160, 165 o 170 respectivamente. También se baja y se endurece la suspensión en comparación con las motos de todoterreno. El sistema de frenado se mejora incorporando discos de mayor diámetro e instalando pinzas con mayor capacidad de frenado. Además de estas, hay otra serie de modificaciones necesarias para convertir una moto de todoterreno en *supermoto* que cambian la geometría de la moto con el fin de mejorar su dinámica sobre asfalto.

2. Definición del proyecto

Al no existir un amplio mercado para este estilo de motos, y al diferenciarse tanto el mundo de la competición y el mundo del uso comercial es muy común convertir motos de *motocross* no matriculadas a motos de *supermoto*. Para ello se suelen realizar una serie de modificaciones, que incluyen cambiar las dimensiones de las ruedas, el sistema de frenado y el sistema de suspensión y ajustar el desarrollo de la moto para obtener aceleración y velocidades punta más acordes con los circuitos de supermoto. De esta manera, se obtendría una moto de circuito que no podría circular por vías públicas al no contar con los elementos necesarios para su homologación.

La falta de existencia de una moto que pueda ser utilizada tanto en el ámbito de competición como en el del uso diario, como se ha explicado anteriormente, es el motivo por el que se realiza este TFG. Además de ser una oportunidad extraordinaria para crear una moto exclusiva, una pieza única, que al ser tan única se podría vender por un precio elevado e incluso obtener beneficios, aunque esto no sea el objetivo del proyecto.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

En primer lugar se elaborará el cálculo previo del presupuesto que conllevará el proyecto, en el que se deberá tener en cuenta: la moto de partida a comprar sobre la que hacer la transformación y todos los productos y piezas necesarias para realizar el trabajo. Por lo que será conveniente realizar una serie de comparaciones de datos técnicos y/o características de las motos disponibles en el mercado. A continuación, se estudiarán las modificaciones a realizar en la moto para cumplir los objetivos. Se dispondrá del libro especializado en el sector del motociclismo: *ARIAS-PAZ MOTOCICLETAS (Trigésimotercera edición)*, para contrastar con motos de características similares y servir de fuente de información.

Para poder concluir de manera correcta el procedimiento, es de gran importancia tener clara una estructura a seguir. En esta estructura deberá tenerse en cuenta que se cumplen los objetivos paso a paso y en sentido de importancia decreciente. Los objetivos más importantes son los primeros y los menos importantes los últimos, por lo que esto deberá ir reflejado en la planificación del trabajo. Es decir, al ser el primer objetivo el aumentar el agarre y la capacidad de frenada, esto será lo primero a resolver en el cronograma. Para ello primero se realizará un estudio técnico de cuáles son las mejores ruedas y discos para resolver el proyecto.

A continuación, se buscarán los fabricantes y más adelante se e investigará en el mercado de segunda mano o en proveedores de repuestos. Esto se irá realizando con cada objetivo. Si más adelante una modificación posterior interfiere con las modificaciones realizadas ya para conseguir un objetivo anterior, se revisarán todas las modificaciones de forma conjunta.

4. Resultados

En cuanto a los resultados obtenidos, se van a presentar en relación a los objetivos o fases en los que se ha desarrollado el proyecto, estos se pueden dividir según los objetivos que se habían establecido a priori.

El resultado logrado en relación con el primer objetivo, que era mejorar el agarre y el sistema de frenado sobre asfalto ha sido la sustitución de las ruedas de serie de la moto por unas con dimensiones de carretera, de 17 pulgadas y neumáticos aptos para la conducción sobre asfalto. Además, se ha ejecutado la sustitución del disco de freno delantero por uno con mayor diámetro (310mm) adaptando la pinza de freno de serie de la moto al nuevo tamaño de disco. La sustitución de las ruedas además ha contribuido a reducir la altura de la moto en un total de 31,75mm.

En cuanto los resultados conseguidos en relación con el segundo objetivo, que era mejorar la maniobrabilidad de la moto sobre asfalto, se han efectuado cambios importantes en los parámetros geométricos de la moto, como por ejemplo modificaciones en el offset, en el avance y la distancia entre ejes de la moto, con el fin de agilizar el comportamiento de la moto en curva y además de ganar estabilidad de la misma en rectas. El offset se ha reducido en 2mm y con ello se ha aumentado el avance y reducido la distancia entre ejes. Por otra parte, se ha reducido la altura de la moto en 50mm acortando las longitudes de los muelles del sistema de suspensión y se han adaptado las durezas de los amortiguadores a las requeridas sobre asfalto y para un piloto de 70kg de peso.

El tercer objetivo consistía en la adaptación del kit de arrastre o desarrollo de la moto adquirida a las necesidades de una Sm. Para ello se ha modificado la relación de dientes entre el piñón y la corona. Se ha instalado una corona con 6 dientes menos y de esta manera se gana velocidad punta a costa de perder algo de aceleración.

El último objetivo, reprogramación de la ECU (Engine Control Unit) ha quedado fuera del alcance del proyecto por requerir equipos profesionales y especializados, no disponibles por falta de recursos necesarios.

5. Conclusiones

La mayoría de los objetivos establecidos en el proyecto se han alcanzado, mediante el diseño, cálculo y análisis teórico, y han sido implementados completamente en la moto. La conversión de la moto adquirida se puede dar por acabada, obteniéndose como resultado

final una moto cuyas características son muy similares o equivalentes a los de una Sm de competición.

Adicionalmente, , esta moto está preparada para poder pasar las homologaciones correspondientes. Esta fase no se ha podido abordar en este proyecto por falta de presupuesto, de recursos y de tiempo, por lo que se deja para un futuro proyecto más adelante.

Por último, sería recomendable realizar una evaluación del comportamiento de la moto en un circuito con ayuda de telemetría. De esta manera se podría comprobar que las modificaciones realizadas han sido correctamente efectuadas y que las prestaciones conseguidas son efectivamente similares a las de una Sm. No obstante, la telemetría es una tecnología costosa y que se utiliza principalmente en la industria de competición como MotoGP o Fórmula 1. Al disponer de un presupuesto limitado, no ha sido posible instalar esta tecnología en la moto resultante, por lo que damos por finalizado el proyecto con la fase de diseño e implementación de modificaciones.

TRANSFORMATION OF OFF-ROAD MOTORCYCLE INTO SPEED (SHORT) CIRCUIT MOTORCYCLE

Author: Reimers Santamaría, Daniel.

Supervisor: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project consists of the conversion of a registered off-road bike, into a motorcycle specially designed for short circuits (called supermoto). The objective will be to adapt the bike so that it can be used on a road circuit and will also be fully approved to travel on public roads, for which the corresponding approvals will be considered. To achieve this objective, modifications in the suspension and braking systems will mainly be made, in addition to changing geometric parameters such as the dimensions of the wheel and development of the bike.

Keywords: Supermoto, approvals

1. Introduction

The work involves modifying an off-road bike (Figure 1, source: KTM.com), so that it can be used additionally on short asphalt circuits, but wide enough for a motorcycle of that size (for example a karting circuit). The idea is inspired by an already present category in the world of motorcycling competition known as supermotard or supermoto (Figure 2, source: KTM.com). This style is a fusion between motocross and highspeed motorcycling.



Figure 1: Registered Off-road bike



Figure 2: Racing Supermoto

The origin of this modality was the result of a test conducted on an American television program in the 1970s, which consisted in finding the most experienced biker, who gathered all the necessary skills to drive, both on dirt and on asphalt. Therefore, this test was carried out on circuits that combined 70% asphalt and 30% soil. Some years later, the first Supermoto competitions was organized (the first was in 2003 in the US). The circuits nowadays usually have some jumps, shorter straights and tighter curves than those of speed motorcycling, with top speeds not over 160 km/h.

At its early stages, motorcycles with 250cc two-stroke single cylinder engines were used, coming from off-road bikes, but these engines were very nervous and unprogressive. Today's Supermoto have four stroke engines of 450cc monocylinder, which are more progressive than the two stroke engines. Moreover, they usually carry tires between 17 and 16 inches on the front train and 17 inches on the rear train and with rubbers 120 or 125 and 160, 165 and hardens the suspension compared to off road bikes. The braking system is improved by incorporating discs with a bigger diameter and installing tweezers with greater braking capacity. In addition to these, there are other modifications needed to turn an off-road bike into a Supermoto that change the geometry of the bike in order to improve its dynamic response on paved road.

2. Project definition

In the absence of a wide market for this style of motorcycles, and when both the world of racing and the world of commercial use is so differentiated, it is very common to convert unregistered motocross bikes to superbike. This is usually done by a series of modifications, including changing the dimensions of the wheels, the braking system and the suspension system and adjusting the development of the bike for acceleration and optimal top speeds. This would get a circuit bike that you couldn't get out on the street. The lack of a motorbike that can be used in both the racing and daily use, as explained above, is why this TFG makes sense. In addition, this is an extraordinary opportunity to create an exclusive bike (a unique piece) which being so unique could be sold for a higher price and even generate profits, even if this is not the objective of the project.

3. Description of the model/system/tool

First you must make a preliminary calculation of the budget that will entail the project, in which you must take into account: the motorcycle to be purchased as the bike to converter and all the products and parts necessary to carry out the work. Therefore, it will be advisable to make a series of comparisons of technical data and/or characteristics of the motorcycles available on the market. The changes and conversions to be performed to the bike will then be studied to meet the objectives The specialized motorcycle-book ARIAS-PAZ (Thirty-third edition) will be used as a reference, to contrast with motorcycles of similar characteristics and serve as a source of information.

In order to be able to correctly complete the procedure, it is of great importance to have a structure to follow. This structure should consider the need to fulfil some of the objectives, step by step and bigger importance first and those less important later. This should be clearly reflected in the project plan. That is, being the first goal to increase grip and braking ability, this will be the first topic to solve in the schedule. To do this, first a technical study will be carried out on the best wheels and discs to solve this objective.

Manufactures will then be searched and afterwards we would need to look for pieces in secondhand websites or suppliers. This will be done with each goal. If a previous or subsequent modification later interferes with some other objective, this will be discussed in the analysis of that specific objective.

4. Results

Regarding the results obtained, they can all be divided according to the objectives that had been established.

The result of the first objective, which was to improve grip and the braking system on paved road, has been the replacement of the motorcycle's standard wheels with ones with road dimensions. In addition, the front brake disc has been replaced by one with a larger diameter (310mm), adapting the motorcycle's standard brake caliper to the new disc size. The replacement of the wheels has also helped to reduce the height of the motorcycle by a total of 31.75mm.

Regarding the results achieved in relation to the second objective, which was to improve the maneuverability of the motorcycle on paved road, important changes have been made in the geometric parameters of the motorcycle, such as changes in offset, trail and distance between axles of the motorcycle, in order to speed up the behavior of the motorcycle in curves and in addition to gain stability of the same in straights. The offset has been reduced by 2mm and as a consequence the trail has been increased and the distance between axes has been cut. On the other hand, the height of the bike has been reduced by 50mm by cutting the lengths of the springs of the suspension system and the hardness of the shock absorbers have been adapted to those required on asphalt and for a 70kg rider.

The last objective consisted in adapting the towing or development kit of the acquired motorcycle to the needs of a Sm. For this, the tooth ratio between the pinion and the crown has been modified. A crown with 6 fewer teeth has been installed and, in this way, top speed is gained at the cost of losing some acceleration.

The last objective could not be met due to lack of resources

5. Conclusions

The objectives established in the project have been carried out theoretically and also their physical execution has been completed correctly. The conversion of the acquired motorcycle can be considered as a favorable finish, since a motorcycle has been obtained whose characteristics are as similar as possible to those of a competition Sm.

In addition, this motorcycle is ready to pass the corresponding approvals in order to circulate on public roads. This could not be done in this project due to lack of budget, resources and time, so it is left for a future project.

Finally, it would be advisable to carry out a practical evaluation of the in a circuit with the help of telemetry. In this way it could be verified that the modifications done have been correctly carried out and that there is nothing pending to be done, but telemetry is a very expensive technology that is used mainly in purely competition sectors such as MotoGP or formula 1. By having a limited budget, there are not enough resources to install this technology in the resulting motorcycle and it will be enough to have carried out the theoretical calculations.

Índice de la memoria

| | |
|-------------------------------------------------|------------|
| Capítulo 1. Introducción | 15 |
| 1.1 Motivación del proyecto | 17 |
| 1.2 Historia | 19 |
| 1.3 Objetivos del proyecto | 24 |
| 1.4 Vinculación del proyecto con los ODS | 27 |
| 1.5 Metodología de trabajo | 30 |
| 1.6 Recursos | 33 |
| Capítulo 2. Cálculo de presupuesto | 34 |
| Capítulo 3. Modificaciones | 39 |
| 3.1 Ruedas y frenos | 42 |
| 3.2 Maniobrabilidad | 66 |
| 3.3 Desarrollo | 92 |
| 3.4 Reprogramación ECU | 99 |
| Capítulo 4. Conclusiones | 100 |
| Capítulo 5. Bibliografía | 103 |

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo consiste en la modificación de una moto de todoterreno u *offroad* (*figura 1*) de forma que pueda ser utilizada adicionalmente en circuitos cortos y revirados de asfalto, pero lo suficientemente amplios como para una moto de esas dimensiones (por ejemplo, un circuito de *karting*). La idea viene inspirada por la categoría ya presente en el mundo de competición de motociclismo conocido como *supermotard* o *supermoto* (abreviado: *Sm*) (*figura 2*). Este estilo constituye una fusión entre las modalidades de *motocross* y motociclismo de alta velocidad.



Figura 1: Moto de offroad matriculada



Figura 2: Supermoto de competición

Fuente: www.KTM.com

El origen de esta modalidad fue consecuencia de una prueba realizada en un programa de televisión americano en los años 70, que consistía en encontrar el piloto motorista más experimentado, que reuniera todas las habilidades necesarias para conducir, tanto sobre tierra como sobre asfalto. Por ello, esta prueba se realizaba en circuitos que combinaran el asfalto en un 70% y la tierra en un 30%. Más adelante empezaron a aparecer las primeras competiciones de *supermoto* (el primero fue en 2003 en USA). Los circuitos suelen tener

algún salto, rectas más cortas y curvas más cerradas que los de motociclismo de velocidad, con velocidades punta que no superan los 160 km/h aproximadamente.

En sus inicios, se usaban motos con motores monocilíndricos de dos tiempos de 250cc, procedentes de motos de todoterreno, pero estos motores eran muy nerviosos y poco progresivos. En la actualidad, se usan motores de cuatro tiempos de un cilindro de 450cc, que son más progresivos que los de dos tiempos. Además, suelen llevar llantas de entre 17 y 16 pulgadas en el tren delantero y de 17 pulgadas en el tren trasero y con gomas de anchura 120 o 125 y 160, 165 o 170 respectivamente. También se baja y se endurece la suspensión en comparación con las motos de todoterreno. El sistema de frenado se mejora incorporando discos de mayor diámetro e instalando pinzas con mayor capacidad de frenado. Además de estas, hay otra serie de modificaciones necesarias para convertir una moto de todoterreno en *supermoto* que cambian la geometría de la moto con el fin de mejorar su dinámica sobre asfalto.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Al tratarse de un sector puramente de competición y además de ser bastante reducido también relativamente reciente, hay muy pocas marcas que se dedican a su producción de serie. Existen únicamente tres marcas que producen este tipo de motos de competición: KTM, HUSQVARNA y TM, que disponen de modelos con motores 4t de 450cc (los usados típicamente en esta modalidad), aunque existe alguna versión más antigua de mayor cilindrada. Además, existen pocos modelos de este tipo de motos que estén homologadas de serie para su circulación en vías públicas, y estas no se pueden considerar motos de circuito por sus prestaciones. Están diseñadas para un uso de diario, por lo tanto, se busca más la durabilidad de la máquina y no tanto su rendimiento. En consecuencia, hay grandes diferencias entre una moto de *supermoto* (*Sm*) de competición y una homologada de serie. Adicionalmente solo existen tres modelos actuales que pueden considerarse *supermoto* homologadas de serie, cuyas prestaciones difieren mucho de las de competición, aunque estéticamente sean similares.

Al no existir un mercado amplio para este estilo de motos, y al diferenciarse tanto el mundo de la competición y el mundo del uso comercial es muy común convertir motos de *motocross* no matriculadas a motos de *supermoto*. Para ello se suelen realizar una serie de modificaciones, que incluyen cambiar las dimensiones de las ruedas, el sistema de frenado y el sistema de suspensión y ajustar el desarrollo de la moto para obtener aceleración y velocidades punta óptimas. De esta manera, se obtendría una moto de circuito que no podría circular por vías públicas.

El problema radica en encontrar una moto con características de competición y homologada para circular por la calle. Como no existe ninguna moto comercial homologada para circular en vías públicas que venga con características de competición de serie (como existen en otros estilos como el superdeportivo), una posible solución sería partir de una moto de todoterreno matriculada (una enduro) y realizar las modificaciones que sean necesarias para obtener una moto de circuito, cambiando todo lo dicho anteriormente inclusive la geometría de la moto.

Para que esta moto pueda circular también en las vías públicas, habrá que tener en cuenta las homologaciones correspondientes.

La falta de existencia de una moto que pueda ser utilizada tanto en el ámbito de competición como en el del uso diario, como se ha explicado anteriormente, es el motivo por el que se realiza este TFG. Además de ser una oportunidad extraordinaria para crear una moto exclusiva, una pieza única, que al ser tan única se podría vender por un precio elevado e incluso generar beneficios, aunque esto no sea el objetivo del proyecto.

1.2 HISTORIA

Desde 2003, cuando se organizó la primera competición de Supermoto oficial en Estados Unidos (AMA Supermoto National League), hasta día de hoy, este sector ha crecido muchísimo, tanto que hoy en día se han creado “comunidades moteras” especializadas en el Supermoto/supermotard (por ejemplo, *graenzgaenger* o *supermofools*). Estas comunidades o clubs son actualmente, una marca que tiene otras actividades comerciales como la venta de ropa especializada y tiene gran influencia en cuanto a las modas en el mundo de supermoto y offroad (campo).

A principios de siglo no se fabricaban motos especialmente diseñadas para Supermotard, por lo que los aficionados de este sector se tenían que “elaborar” su propia Supermoto. La moto de la que partían, solía ser una *moto de Cross*. Este método se sigue practicando hoy en día existiendo un amplio mercado para las piezas, manuales e instrucciones necesarias para la conversión. Menos frecuente era una Supermoto homologada apta para circular por vías públicas. Los aficionados que estaban interesados en estas motos tenían dificultades a la hora de pasar las homologaciones correspondientes. Como consecuencia, las propias marcas de motos que se dedicaban al sector de campo/offroad, empezaron a fabricar modelos homologados para circular por vías públicas, aprovechándose a su vez de la oportunidad de negocio.

Una de las primeras motos homologadas de estilo supermoto fue la Gilera Nordwest de 600cc en el año 1991. Una moto bastante ligera para su época (141kg en vacío) y con una potencia bastante razonable para una moto de estas características (49.5cv, 36.5kW).



Figura 3: Gilera Northwest 600cc. Año 1991

Fuente: <https://motos.espirituracer.com>

Aunque la Gilera fuera un buen comienzo en el sector, durante los siguientes 10 años la tecnología avanzó mucho, tanto en el sector de competición como en el de calle. Se consiguió aligerar los chasis (la estructura de las motos), y de esta manera hacer más ágiles las motos. Con el cambio de motor de 2 tiempos a 4 tiempos, el mundo de la competición cambió drásticamente, puesto que sus características son muy diferentes. Este cambio se realizó tanto en el mundo de MotoGP como en el de Mx (motocross) y Offroad. Se realizó principalmente por motivos de contaminación atmosférica, ya que los motores de 2 tiempos son muy contaminantes al quemar aceite. De esta manera la mayoría de las marcas que antes fabricaban solo motos de 2 tiempos, tuvieron que reinventarse y empezar a fabricar también motos de 4 tiempos. Otros ejemplos de motos comerciales de Supermoto de principio de siglo 21 son las siguientes:



Figura 4: Yamaha XT660X. Año 2004



Figura 5: Suzuki drz400. Año 2005

Fuente: <https://www.soymotoero.net>

Fuente: <https://motos.espirituracer.com/>

Aunque los modelos presentados anteriormente se inspiraban en motos de Supermotard, sus características estaban lejos de las de competición. Si se compara, por ejemplo, el peso de la Yamaha XT660X (2010) que pesa 177kg en seco (esto significa: sin líquidos) o los 141 Kg en seco de la Gilera Nordwest del 1991, con el peso de una Supermoto de competición que ronda los 100kg, se aprecia una gran diferencia. Las supermotard son conocidas por ser motos extremadamente ligeras, ágiles para curvas muy pronunciadas y con una gran aceleración, pero velocidades punta (máximas) no mayores de los 180km/h. Al ser tan ligeras y ágiles, las competiciones pueden resultar llamativas, resultando un estilo de conducción distinto de cualquier otro. Las motos se llevan siempre al límite (como en cualquier competición de motos), a alto régimen de vueltas (rpm del motor), salvo que en las curvas se suele bajar de entre 2 a 3 marchas por lo general, lo que hace que la rueda trasera se bloquee y los pilotos entren derrapando a la curva. Esto, junto a que los conductores generalmente sacan la pierna de la cara interior de la curva que estén tomando, da la impresión de que no están conduciendo sobre asfalto sino sobre campo (como en Cross, dónde la forma de conducir es similar). En conclusión; esta modalidad es todo un desafío a la ingeniería y al diseño de la moto. Es importante no olvidar que en los circuitos de Sm a veces existen saltos poco pronunciados, por lo que las motos suelen mantener una suspensión similar (aunque con recorridos y durezas diferentes) a las motos de campo.



Figura 6: Competición Motorshow Girona 2007

Fuente: <https://www.pinterest.es/>

Durante los siguientes años, los fabricantes de motos empezaron a incluir en la ficha técnica, las dimensiones habituales de las ruedas de Sm en sus motos, para que, de esa manera, se tuviese la opción de ser cambiadas y utilizadas también en vías públicas. Así, los fabricantes se adaptaban a las necesidades de los aficionados, porque resultaba más fácil homologar motos de campo para esas dimensiones que fabricar una moto duradera que permitiera su uso tanto en calle como en circuito. Es obvio que para que realmente se pudieran considerar Sm a estas motos, quedaban muchas modificaciones por realizar, como cambiar los frenos o bajar el centro de gravedad de la moto para que estas pudieran tomar las curvas a mayor velocidad. Normalmente también se modifican parámetros geométricos de la moto como el offset o la distancia entre ejes.

En la actualidad, el sector Sm ha crecido tanto que se encuentra mucha variedad de piezas, adaptadores, sistema de freno, suspensión etc... Es decir, todo lo necesario para poder modificar una moto de Cross en una Sm, porque las motos comerciales homologadas no tienen las mismas prestaciones que las de competición. Las motos comerciales son más pesadas, incorporando un motor de mayor cilindrada, más robusto y duradero pensado para un uso de diario, sobre todo a un entorno urbano ya que carecen de aerodinámica. Estas motos requieren mucho menos mantenimiento que las de competición. Por ejemplo los motores de MotoCross o Sm de competición requieren cambios de aceite cada 15-20h (de

uso) mientras que las motos homologadas de serie de estilo Sm requieren un cambio de aceite periódico cada 5000km o incluso cada 10000km. Es decir, las Sm requieren un mantenimiento muchísimo más riguroso, ya que son motos destinadas al sector de competición y tienen una vida útil mucho menor; mientras que las Sm comerciales (homologadas) están destinadas para uso diario y deben tener una vida útil larga.

Algunos ejemplos de motos Sm comerciales serían los siguientes, en los que ya se puede observar que en cuanto a estética son prácticamente idénticas, pero en cuanto a prestaciones se diferencian mucho de las Sm de competición como ya se ha explicado anteriormente.



Figura 7: Ktm 690 Smc-r Figura 8: Ducati Hypermotard 939 Figura 9: Husqvarna 701 Supermoto

Fuente: <https://www.motofichas.com/>

La KTM es de 692,7cc y dispone de una potencia de 75cv y un peso de 147kg. La Husqvarna tiene características idénticas salvo que tiene 1cv menos de potencia y en cuanto a la Ducati, esta dispone de un motor de 937cc y entrega una potencia de 110cv. Al incorporar un motor de mayor cilindrada y también tener mayor potencia, la Ducati pesa más (181kg). Esta última se aleja algo del concepto de ligereza que está presente en el mundo de Sm, de ahí que sus diseñadores no la denominasen supermoto sino hypermotard, como si fuera una evolución de las supermoto, con más potencia, más motor y más grande y pesada.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal es mejorar la dinámica de la moto sobre asfalto, pero sin perder del todo la esencia de motos de todoterreno, ya que una *supermoto* o *supermotard* de competición circula sobre todo por asfalto, pero también sobre tierra, de ahí su nombre (*supermoto*: una moto con la que se puede hacer de todo). La mejora de la dinámica de la moto se pretende comprobar experimentalmente probando la moto en un circuito y midiendo el grado de inclinación en curvas, por ejemplo. Esta fase del proyecto se realizaría si se dispone del tiempo y recursos necesarios, de otra manera bastará con realizar los cálculos teóricos.

Para cumplir este objetivo surgen una serie de objetivos secundarios, que son los que contribuyen a cumplir con el objetivo principal.

El **primer objetivo** es mejorar el agarre y el frenado sobre asfalto. La modificación más importante en esta clase de motos consiste en cambiar las dimensiones de las ruedas y con ello el sistema de frenado. Las ruedas nuevas deben ser de carretera de diámetro inferior y de mayor anchura, ya que las motos de todoterreno llevan neumáticos poco anchos y con tacos, y llantas de diámetro elevado. De esta manera se pretende mejorar el agarre y la maniobrabilidad de la moto sobre asfalto, ya que se tiene una mayor superficie en contacto con el suelo y mayor perfil, a costa de perder estas mismas cualidades sobre tierra. La mejora de agarre permite instalar frenos más potentes y así aumentar la capacidad de frenada de la moto. Esto implicará aumentar la superficie de frenado (disco de freno y pinza de mayores dimensiones). Resultará fácil medir la mejora de la moto en estas características realizando pruebas de frenado.

El **segundo objetivo** es mejorar la maniobrabilidad de la moto sobre asfalto. Para ello se pretende bajar el centro de gravedad de la moto, endurecer el sistema de suspensiones y estudiar, si es necesario aumentar el avance de la moto y la distancia entre ejes de las ruedas. El centro de gravedad se podría bajar reduciendo la altura de la moto. Este parámetro se puede modificar cambiando la longitud de las suspensiones, aunque esto modifica

ligeramente la geometría de la moto (ya se verá en qué y en cuánto afecta). La maniobrabilidad es algo difícil de medir en las motos, porque depende de muchos factores, entre otros la propia geometría de la moto. La manera más fácil de medir esta característica es probando la moto directamente en circuito con un piloto experto y comparando su comportamiento antes y después de la transformación. Se podrán ver, por ejemplo, grados de inclinación de la moto en las curvas. A parte también se contará con la evaluación que puede proporcionar el propio piloto tras la prueba.

El **tercer objetivo** consiste en ajustar el kit de transmisión de la moto, para así modificar mecánicamente la aceleración y velocidad punta de la moto (que debería rondar los 160-180km/h dependiendo del circuito). Estas características se podrán modificar cambiando las dimensiones de la corona, el piñón y con ellas las de la cadena, por ejemplo, a mayor tamaño de corona menor velocidad punta, pero mayor aceleración y viceversa.

Por último, se pretende reprogramar el control electrónico del motor (*ECU- Engine control unit*). Este sería el **cuarto objetivo**: de modificar ligeramente las características del motor alterando la curva de par y logrando un mayor par a menor RPM. Esto implicará una restricción importante a la hora de la compra de la moto, ya que supone que esta sea de inyección electrónica, lo cual en motos de todoterreno fue implementado tarde (año 2012 en adelante). Esto reduce el margen de motos a elegir. Las mejoras que producirían los dos últimos puntos son fáciles de comprobar en un banco de pruebas para motos, en los que además se pueden medir muchas otras características de la moto con esta prueba, especialmente características del motor.

La siguiente tabla recoge los objetivos de forma resumida:

| Objetivo | Descripción | Objetivo secundario |
|----------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Mejorar agarra y sistema de frenado | <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones ruedas • Sistema frenado |
| 2 | Mejorar maniobrabilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Bajar centro de gravedad • Endurecer sistema de suspensiones • Modificar geometría |
| 3 | Ajustar desarrollo | <p>Ajustar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad • Aceleración |
| 4 | Reprogramar ECU | <ul style="list-style-type: none"> • Modificar curva de par del motor |

Tabla 1: Objetivos, elaboración propia

1.4 VINCULACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fueron recogidos por La Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015 e implantan un plan de acción para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 con el fin de acabar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos.

Dicho plan de acción consta de 17 objetivos que se pueden observar a continuación:



Ilustración 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

1. Vinculación del Trabajo

A continuación, se recogen los ODS que se alinean con el proyecto de la conversión de una moto de campo en una moto de circuito (corto) de asfalto (moto de tipo SM):

2.1 ODS N°9. Industria, Innovación e Infraestructura.

El proyecto aboga por la innovación dentro del mundo industrial, ya que se está produciendo una moto con características de competición que a su vez podrá circular por

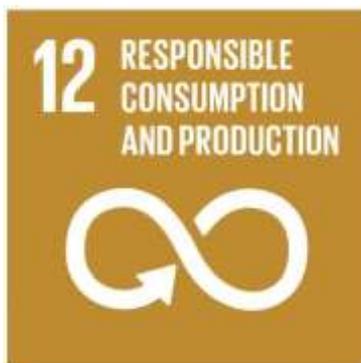


vías públicas. Además de conseguir una moto con características técnicas y geométricas prácticamente idénticas a los de una de moto de Supermoto de competición, se estaría logrando una pieza única en el mercado al poder circular también por vías públicas. Se trata de un proyecto claramente innovador, cuya realización abriría puertas a su implementación a nivel industrial.

Ilustración 3. ODS N° 9

2.2 ODS N°12. Producción y Consumo Responsables.

En cuanto a la Producción responsable se puede decir que este ODS también es alineado con el trabajo, ya que en vez de producir una moto nueva con todo lo que ello implica, se está partiendo de una moto ya existente. Sería posible también revertir los cambios y obtener la moto de partida.



Además de esto, las piezas adquiridas necesarias para realizar las modificaciones han sido en mayor parte compradas en el mercado de segunda mano con lo que se reciclan materiales y piezas ya existentes y se evita el consumo de materias

primas (acero, y aluminio, por ejemplo) y de la energía necesaria para la fabricación de piezas nuevas.

Ilustración 4. ODS N° 12

3. Conclusión

En conclusión, el trabajo logra un reciclaje de recursos y de piezas para innovar en un sector con oportunidades de crecimiento.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El primer paso es la realización de un cálculo previo del presupuesto que conllevará el proyecto. En este presupuesto se debe incluir la moto a comprar y todos los productos y piezas necesarias para realizar el trabajo. Para determinar la moto de partida se deberá decidir sus principales características y su facilidad de encontrar piezas de repuestos. Con el propósito de cumplir los objetivos, se realizarán una serie de comparaciones de datos técnicos con motos especialmente diseñadas para competición. Esto será especialmente importante a la hora de tomar decisiones sobre las modificaciones que cambien la geometría de la moto, ya que algunos cálculos serán muy complejos y por lo tanto es de gran ayuda tener una base fiable de la que partir.

Esta técnica es utilizada en el mundo del motociclismo y también por los estudiantes que ayudan en MOTOSTUDENT (proyecto entre universidades que consiste en diseñar una moto de competición de circuitos de velocidad, de 250cc), de los cuales proviene la propuesta de emplear esta técnica en este proyecto. Para la toma de decisiones se deberá tener en cuenta el tema de las homologaciones en este proyecto. Una vez visto con qué cualidades y especificaciones tienen que cumplir las piezas a sustituir, se realizará una busca de fabricantes y proveedores de esta clase de producto. Un factor importante a tener en cuenta será el precio y el material del cual esté fabricado. Una vez este aclarado qué producto se necesita, se buscará en tiendas de segunda mano, si es posible, hasta encontrar una oferta lo suficientemente buena como para comprarla.

Es importante destacar que se recogerá información de libros como el ARIAS-PAZ, especialmente dedicado al motociclismo. Y para el montaje de las piezas a sustituir, se recopilará información en talleres, en websites especializadas, así como de los manuales y planos disponibles de la moto adquirida.

Para poder concluir de manera correcta el procedimiento, es de gran importancia tener clara una estructura a seguir. En esta metodología deberá tenerse en cuenta que se cumplen los objetivos paso a paso y en sentido de importancia decreciente. Los objetivos más importantes

son los primeros y los menos importantes los últimos, por lo que esto deberá ir reflejado en la planificación del trabajo. Es decir, al ser el primer objetivo el aumentar el agarre y la capacidad de frenada, esto será lo primero a resolver en el cronograma. Para ello primero se realizará un estudio técnico de cuáles son las mejores ruedas y discos para resolver el proyecto.

A continuación, se buscarán los fabricantes y más adelante se buscará en portales de segunda mano o en proveedores. Esto se irá realizando con cada objetivo. Si más adelante una modificación anterior o posterior perturba con algún otro objetivo, esto se comentará en el propio trabajo, pero no se puede incluir en el cronograma ya que son problemas que irán surgiendo a medida que se avance. Un posible primer cronograma, que puede variar dependiendo de las dificultades que puedan ir surgiendo, es el siguiente:



Figura 10: Cronograma, elaboración propia

Es importante darse cuenta de que algunas de las tareas representadas en el cronograma están solapadas. Esto viene de que dependen unas de otras y al encontrar errores o problemas estos se han de solucionar mientras se continua con lo demás, por ejemplo, al ser una moto de segunda mano pueden existir una infinidad de problemas cuando se vayan desmontando piezas, por lo que el *chequeo de la moto* abarcará todo el periodo del proyecto ya que habrá que estar revisándolo todo continuamente. Esto mismo ocurre con muchas otras tareas.

También es importante resaltar que en el momento en el que empieza el cálculo y el diseño de las modificaciones a realizar en la moto hay que ir redefiniendo los nuevos parámetros y características de la moto con cada modificación que se realice, de forma iterativa.

En resumen, deben de realizarse unos pasos de puro cálculo administrativo antes de empezar, y seguir una serie de pasos cada vez se modifique algo en la moto. El cálculo previo del presupuesto, una vez fijada la decisión sobre que moto se va a utilizar en el proyecto, es de gran importancia para hacerse una idea de la magnitud de los productos disponibles en el mercado para esa moto y su precio. Los demás pasos se repiten cada vez que se modifica algo para cumplir un objetivo, ya que puede que al cambiar una pieza esta afecte a otro objetivo.

1.6 RECURSOS

Como se ha explicado anteriormente el principal recurso del que se dispondrá será un libro especialmente dedicado al motociclismo, Arias Paz. Este libro comprende muchos tipos de moto, entre ellos motos de todoterreno y motos deportivas de asfalto, pero no tiene una sección dedicada al *supermoto*. Esto es un problema sobre todo a la hora de realizar cambios que modifiquen la geometría de la moto, ya que cada tipo de moto debe cumplir con una serie de características geométricas, y esto se trata en cada sección de cada tipo de moto en especial. Aun así, el libro trata todas las partes y piezas importantes que constituyen una moto a un nivel muy detallado y técnico. Además, se explica, también con cálculos, que ocurre con la dinámica de la moto al modificar un parámetro específico de una parte de la moto, lo cual es de gran utilidad para este proyecto.

Para poder comparar con motos especialmente diseñadas para *supermoto* de circuito, se cuenta con las fichas técnicas de estas motos, que se pueden encontrar en internet en las páginas de los fabricantes. Esta será la fuente de información clave para poder realizar cambios e ir comparando cada vez que se modifique algo. Esto facilitará mucho el trabajo, ya que las fichas técnicas sirven de referencia fiable.

Para el montaje de las piezas se recopilará información en mayor parte de talleres especializados. Se dispone también de la dinamométrica necesaria para poder ajustar cada tornillo con el par de apriete adecuado y de herramientas suficientes para realizar el proyecto.

Capítulo 2. CÁLCULO DE PRESUPUESTO

Como se ha explicado en la introducción es de gran importancia realizar un análisis previo del presupuesto total que supone el proyecto, por dos razones principales, una de ellas es para tener una referencia sobre cuánto ha de costar cada pieza o la moto de la que se parte (moto de enduro), y la segunda razón, para poder realizar también un estudio de viabilidad económica. Esto puede ser de gran interés, si al finalizar el proyecto se decide revender la moto en el mercado de segunda mano, ya que, el Supermoto es una modalidad muy popular sobre todo en las nuevas generaciones de aficionados a las motos.

Antes de realizar el cálculo aproximado de lo que va a abarcar este proyecto, se ha de tomar una decisión sobre la moto de la que se va a partir. Esta moto será una moto de campo matriculada, típicamente denominadas moto de Enduro y de una cilindrada de 450cc, comúnmente usada en el mundo de Sm. Debe ser una moto muy vendida en el sector, para tener una gran facilidad de encontrar repuestos y sobre todo de piezas de Supermoto (Sm). Aparte de estos criterios de selección, sería de gran ayuda que la propia marca de la moto a comprar disponga de modelos de moto de Sm de competición, para poder contrastar características o incluso usar piezas de dichas motos adaptándolas a la moto en cuestión. Además, la moto se comprará de segunda mano, pero con menos de 10.000 km, un kilometraje aceptable para motos de campo de esta cilindrada cuyo motor no está diseñado para soportar muchos kilómetros.

Existen muchas marcas que disponen de motos de Enduro de 450cc. Las más destacadas son: las europeas KTM y Husqvarna, aunque su precio suele ser mayor que las japonesas de prestaciones parecidas como las Yamaha, Honda, Kawasaki o Suzuki. También existen marcas menos conocidas a nivel internacional como por ejemplo Gas Gas, una marca de motocicletas española especializada en el sector de campo; o Tm marca italiana especializada en lo mismo. De estas marcas no todas han tenido motos de Sm de competición a la venta. Principalmente, Husqvarna y KTM han fabricado motos de Sm de competición, aunque sorprendentemente también la italiana Tm se dedica mucho a este sector. Dado que

las únicas tres marcas que disponen de modelos de Sm especialmente diseñados para circuito son Husqvarna, KTM y Tm sería de gran ayuda partir de una moto de estos tres fabricantes y así, poder utilizar piezas de las Sms adaptándolas y también poder realizar comparaciones de la moto inicial (de campo) con su versión de Sm. Esto último, es una técnica que se empleará con el objetivo de conseguir que la moto de partida se parezca lo máximo posible a la moto con la que se comparará (Sm de competición del mismo fabricante). Los parecidos deben ser principalmente geométricos, dado que la geometría de cada moto influye mucho sobre la estabilidad y su forma de conducción. Además, los cálculos que realiza el equipo de ingenieros que hay detrás del diseño de una moto son muy complejos y de esta forma se dispondrá de una base fiable para la conversión de la moto. Esta técnica de comparación se emplea en el sector de competición del motor, por ejemplo, la asociación de ICAI SPEEDCLUB, que todos los años se dedica al diseño y fabricación de una moto de competición de asfalto, utiliza habitualmente esta técnica e incluso también emplea partes de motos de competición procedentes de motos comerciales.

También es importante tener en cuenta que se pretende reprogramar, si es posible, la ECU (Engine Control Unit) de la moto, y que, por lo tanto, la moto a elegir tiene que ser de inyección y no de carburación, es decir que la gasolina y el aire que entra en el cilindro de combustión estén controlados electrónicamente. De esta forma, si se lograra reprogramar la ECU de la moto, se podrían modificar ligeramente las características del motor. Los fabricantes de motos de campo empezaron a implantar la inyección electrónica en 2012 aproximadamente, por lo que se ha de buscar una moto de ese año en adelante para que disponga de dicha tecnología, aunque la obligatoriedad de llevar inyección electrónica para superar las pruebas de emisión de gases y eficiencia vino en 2016 con la normativa Euro 4.

Además de los criterios enumerados anteriormente, el más relevante para llevar a cabo dicho proyecto es la limitación del presupuesto. Éste no debe exceder en ningún caso los 8.000 Euros, ya que, el presupuesto de una Sm nueva es del orden de los 10.000 Euros y se desea obtener beneficio, además de destacar más en el sector, ya que, ésta se pretende vender una vez finalizado el proyecto, como ejemplar de una Sm de competición homologada, para circular con ella también en vías públicas. De esta manera la Sm resultante, será un ejemplar

único en el mercado, adaptado tanto para circulación en circuito como en vías públicas sin tener que pasar por ningún tipo de homologación.

Teniendo en cuenta que el presupuesto máximo del proyecto en su totalidad no debería superar los 10000€, a continuación, se presenta una tabla que contiene el presupuesto máximo que debería conllevar cada parte del proyecto individualmente como, por ejemplo, las modificaciones en las ruedas en su conjunto (tren delantero y tren trasero), con todo lo necesario para adaptarlas a la moto, no deberá superar los 1400€.

| | |
|------------------------------------------|--------|
| 1. Moto | 5.000€ |
| 2. Ruedas, adaptadores y kit de arrastre | 1.100€ |
| 3. Frenos (discos) | 300€ |
| 4. Suspensiones | 700€ |
| 5. Modificaciones geométricas | 600€ |
| 6. Reprogramar ECU | 300€ |
| 7. Homologaciones | 1000€ |
| Total | 9000€ |

Tabla 2: Presupuesto Total (elaboración propia)

En este presupuesto no se incluye el coste de montaje, porque se realizará por medios propios.

Se trata de una estimación pesimista, dado que es el precio que se pagará por las piezas en el peor de los casos y nunca deberá superarse la cifra mostrada en la tabla. Para completar la tabla se ha decidido tomar siempre como cifra de presupuesto por pieza el 75% de su valor nuevo, ya que se pretende comprar las piezas a sustituir en el mercado de segunda mano, en buenas condiciones. Por propia experiencia en el mercado, se conoce que el precio de las piezas ronda un 50% o menos del precio del producto nuevo, aun estando en condiciones seminuevas, por lo que establecer como límite un 75% de su valor nuevo resulta razonable, teniendo en cuenta que es posible que no todo se logre comprar de segunda mano y que hay que contar con algún gasto adicional.

Como todas las piezas a cambiar en la moto, o cambios que haya que realizar en la moto conllevan un gasto importante de dinero, aparte de luego las homologaciones correspondientes, que también conllevan un gasto, una aproximación buena para el presupuesto que se dispone exclusivamente para la compra de la moto de Enduro, es la mitad del presupuesto total, es decir, la moto no debe costar bajo ninguna circunstancia más de 5.000 Euros, y sería preferible que esta costase algo menos, unos 4.000 Euros. Este sería el último criterio de importancia para la selección de la moto en el mercado de segunda mano.

Una vez explicados cuales son los criterios de selección de la moto de la que se partirá para realizar el proyecto, se procede a la búsqueda de dicha moto en el mercado de segunda mano. Se buscará en páginas de internet como Wallapop, Milanuncios y Motos.net, páginas en las que anteriormente ya se han comprado motos y de las que se sabe que son fiables por propia experiencia. Los filtros para la búsqueda serán los siguientes: menos de 10.000km, menos de 6.000 Euros y cilindrada de 450cc y de marcas como KTM, Husqvarna o Tm. El presupuesto en la búsqueda se ajusta algo por encima del valor establecido dado que en el mercado de segunda mano es muy frecuente negociar el precio con el vendedor para llegar a un precio oportuno por ambos lados.

Tras una búsqueda exhaustiva se encuentran varios modelos de las marcas KTM y alguno de la marca Husqvarna que podrían servir para el proyecto. La moto que más aparece en el mercado de segunda mano según los filtros seleccionados es una KTM EXC 450 de

diferentes años. Esta moto resulta de gran interés por existir una moto muy similar en versión Sm (KTM SMR 450), por lo que se decide enfocar la búsqueda solo en este modelo y de años 2012 en adelante, para que así disponga de sistema de inyección electrónica. Entre las encontradas se decide comprar una del año 2016 por tener menos kilometraje y estar en muy buen estado y ser relativamente más barata que las demás, siendo su precio final de compra 4.100 €.

Tras realizar una valoración fundamental previa a la compra, en la que se revisa que todo funciona correctamente y se prueba la moto, se llevará a cabo una revisión más exhaustiva una vez adquirida la moto. Se valorará si es necesario la sustitución de alguna pieza y se revisarán toda la tornillería y el estado de las piezas esenciales para el funcionamiento, como por ejemplo el filtro de aire y el estado y niveles de los fluidos (líquido de frenos, líquido refrigerante y aceite del motor). Una vez realizadas todas estas comprobaciones previas, se procederá con lo que realmente trata este trabajo que es la transformación de la moto adquirida (moto de todoterreno: marca KTM y modelo EXC 450 2016) en una moto de competición de Supermoto.

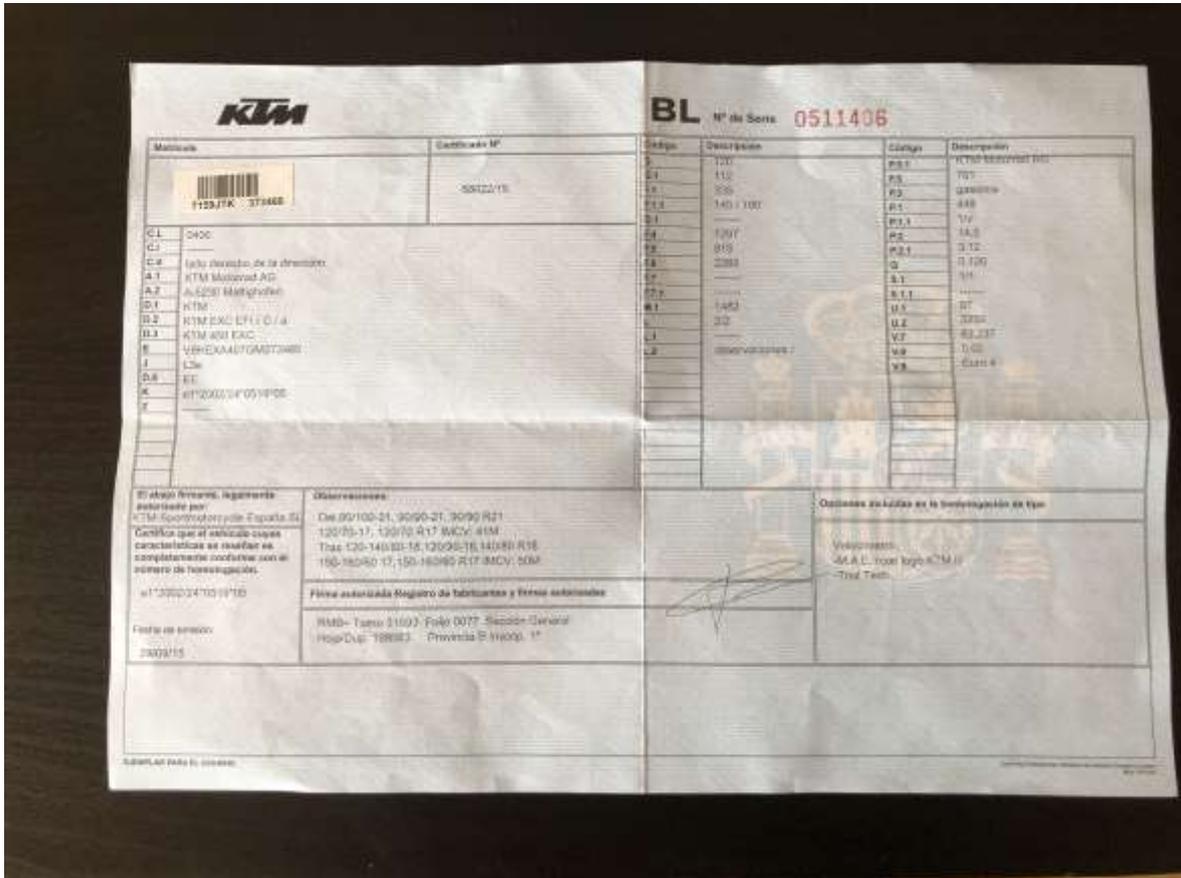


Figura 11: Moto adquirida (KTM EXC 450 2016) Fuente: www.KTM.com

Capítulo 3. MODIFICACIONES

En este capítulo se analizarán las modificaciones que se han de realizar para concluir la conversión de la moto de partida en una Sm. Para ello, se deben comparar principalmente geometrías entre ambas, y realizar las modificaciones oportunas para que la moto de partida sea lo más parecida posible a una Sm de competición. Es de gran importancia elegir correctamente entre las opciones más interesantes desde el punto de vista económico, y sobre todo aquellas que menos problemas puedan dar para cumplir con las homologaciones correspondientes, dado que la moto ha de poder circular también en vías públicas como se ha dicho anteriormente.

Para esto último, es relevante saber que todos los vehículos matriculados tienen asociada una ficha o tarjeta de inspección técnica obligatoria, que identifica el vehículo y acredita que este está homologado para circular por las vías públicas de este país. Además, en la ficha técnica se incluyen prácticamente todas las especificaciones y características principales y aparecen todos los números de homologación correspondientes a cada parte del vehículo, así como opciones incluidas en las homologaciones, que facilita el fabricante. A continuación, se muestra la ficha de inspección técnica de la moto adquirida como ejemplo:



KTM **BL** Nº de Serie **0511406**

| Código | Descripción | Código | Descripción |
|--------|-------------|--------|------------------|
| 1 | 120 | P8.1 | CTM Motoroil 100 |
| 2 | 110 | P8 | 707 |
| 3 | 200 | P3 | gasolina |
| 4 | 140 / 100 | P1 | 448 |
| 5 | --- | P1.1 | 11 |
| 6 | 1207 | P2 | 14.5 |
| 7 | 815 | P2.1 | 3.12 |
| 8 | 2088 | Q | 0.100 |
| 9 | --- | S.1 | 56 |
| 10 | --- | S.1.1 | --- |
| 11 | 1483 | U.1 | 07 |
| 12 | 30 | U.2 | 3050 |
| 13 | --- | V.1 | 83.137 |
| 14 | --- | V.2 | 0.65 |
| 15 | --- | V.3 | Caja 4 |

Modelo: 1123/1A - 373468

Certificado Nº: 50422/18

Clasificación:
 C.1 CHOC
 C.2
 C.3
 C.4 (solo descrito de la izquierda)
 A.1 KTM Motorrad AG
 A.2 A-5200 Malghofen
 D.1 KTM
 B.2 KTM EXC EPH / O / A
 B.3 KTM 450 EXC
 R. VEREXA487GM072401
 I. L3e
 D.8 E1
 K. 411200031051406
 F.

Observaciones:
 De: 09/100-21, 9090-21, 9090 R21
 120/75-17, 120/70 R17 3Mv, 41M
 Trae 120-140/33-16, 120/55-16, 140/80 R16
 150-160/40 17, 150-160/60 R17 3Mv, 55M

Fecha asociada Registro de Fabricantes y Fines autorizados:
 RMB- Torno 21693- Folio 0077- Sección General
 Hoja Dup- 189887 - Provincia P. Valdeg. 17

Opciones asociadas en la homologación de tipo:
 Visor lateral
 -M.A.L. con logo KTM
 -Tred Tech

Fecha de emisión: 23/03/18

Figura 11: Ficha de Inspección Técnica de la moto adquirida

Para realizar las modificaciones se seguirá el orden mostrado en el capítulo de los objetivos, es decir se irán cambiando parámetros de la moto según el objetivo que se desea cumplir. Además, siempre que se desee cumplir un objetivo se realizará un contraste con una moto de Sm de competición. La moto con la que se va a comparar la moto adquirida ante cada modificación a realizar será la KTM SMR 450 del 2021.



Figura 12: KTM SMR 450 2021 (moto con la que se contrasta)

Fuente: www.KTM.com

3.1 RUEDAS Y FRENOS

Como se ha dicho en el apartado de objetivos, el primer objetivo es mejorar el agarre (la adherencia) y el frenado sobre asfalto. Para ello lo principal es cambiar las dimensiones de las ruedas y con ello el sistema de frenado. Las ruedas nuevas deben ser de carretera, ya que las motos de todoterreno incorporan neumáticos con tacos:



Figura 13: Foto de neumático delantero de serie de la moto adquirida

y estos generan vibraciones al girar sobre asfalto, ya que no giran de forma continua sobre la goma de la cubierta, sino que giran por tramos. Este efecto se debe, principalmente, a que la fuerza vertical que sufre la rueda en el punto de contacto con el suelo (fuerza normal), se distribuye en menos superficie. Al distribuirse en menos superficie, pero teniendo la misma fuerza, la presión en los puntos de contacto es mayor, ya que se cumple que $F=P \cdot A$, dónde F es la fuerza (en este caso la normal), P la presión en los puntos de contacto y A el área en contacto con el suelo. Al incrementarse la presión sobre los puntos de contacto (en los tacos)

estos deforman los neumáticos hundiéndose a medida que van girando, causando que no ruede adecuadamente sino de forma discontinua. Este problema se soluciona cambiando los neumáticos por unos con un perfil liso, sin tacos, es decir por unos de carretera.

Respecto a la fuerza de rozamiento que sufren las ruedas, esta no depende del área de contacto entre neumáticos y asfalto. La fuerza de rozamiento se define como:

$$F_{roz} \leq \mu_e * N,$$

dónde N es la fuerza normal con dirección vertical y contraria al peso de la rueda (véase esquema simplificado, en el que se exponen vectorialmente las fuerzas que sufre una rueda al rodar sobre el suelo), y dónde μ_e es el coeficiente de rozamiento estático que existe siempre entre dos materiales determinados.

Según la DGT (Dirección General de Tráfico) sobre asfalto seco en condiciones de rodadura, “un neumático de turismo tiene un coeficiente de rozamiento en torno a 0,8-1. Es decir, puede desarrollar una fuerza (lateral, longitudinal o combinada) ente el 80 y el 100 por ciento del peso que recae sobre él. Un neumático de competición puede fácilmente duplicar estos valores”. Como indica la DGT, la fuerza de rozamiento no tiene porque existir solo en una dirección como se ha ilustrado en el esquema simplificado, sino que puede existirla una combinación de direcciones. Por ejemplo, cuando se toma una curva la fuerza de rozamiento también ha de compensar la fuerza centrífuga que sufre el vehículo, con lo cual la fuerza sobre el neumático no solo es longitudinal sino también lateral. La fuerza centrífuga aumenta al cuadrado con la velocidad tangencial que toma el vehículo en una curva y es la fuerza que intenta expulsar el vehículo de su trayectoria, su fórmula es

$$F_{centrífuga} = m * \frac{v^2}{R},$$

dónde m es la masa de la moto, v es la velocidad tangencial a la que se mueve la moto en cada instante de la curva y R el radio de curvatura de la curva.

Esta fuerza también aumenta si se desea tomar curvas cerradas, es decir de radio reducido, ya que es inversamente proporcional a R. En la siguiente ilustración se puede observar una moto tomando una curva, desde una vista frontal.

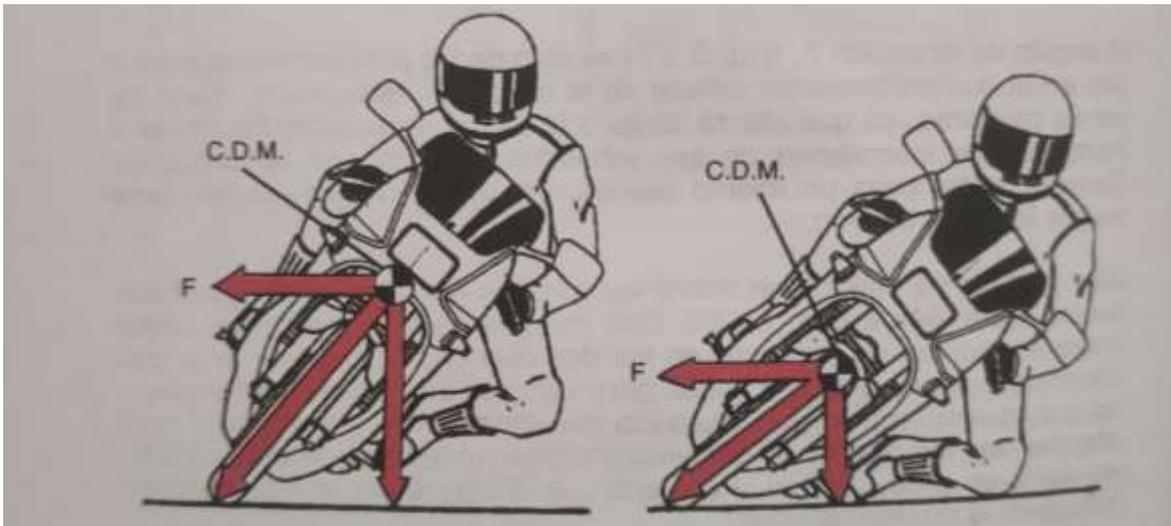


Figura 14: Moto en curva fuerza centrífuga, fuente: ARIAS-PAZ

En dicha ilustración se puede observar que la fuerza de rozamiento lateral (no dibujada) tiene que tener mismo módulo, pero dirección contraria a la fuerza centrífuga (F) que sufre la moto para que esta no se salga de la trayectoria deseada.

Por otra parte, si la fuerza de rozamiento total (longitudinal, lateral o compuesta) que sufre la moto no es suficiente para compensar las demás fuerzas, comienza a existir deslizamiento relativo entre neumático y asfalto. La fuerza de rozamiento deja de ser estática y pasa a ser

$$F_{roz} = \mu d * N,$$

dónde μ_d es el coeficiente de rozamiento dinámico. El coeficiente dinámico es de menor modulo que el estático, por lo que está fuerza es menor que la fuerza de rozamiento estática, en la que no existe deslizamiento entre las dos superficies rozantes. Por lo tanto, no interesa entrar en deslizamiento.

Como conclusión resulta de gran interés para el proyecto poder aumentar el coeficiente de rozamiento, para, de esta manera, poder compensar con la fuerza de rozamiento de las ruedas las mayores fuerzas posibles. La fuerza de rozamiento se mejora si se modifica el coeficiente de rozamiento y este depende únicamente de los materiales rozantes, es decir no depende del área de las superficies rozantes. Se necesita encontrar neumáticos que aumenten el coeficiente de rozamiento con respecto a los neumáticos de serie (con tacos) de la moto. Cuanto más duros los neumáticos menor agarre (adherencia, es decir peor coeficiente de rozamiento con el suelo) tienen, pero más durabilidad y lo mismo a la inversa. Si los neumáticos son más blandos estos tienen mejor agarre, pero sufren desgaste más rápido y duran menos. Los neumáticos de campo suelen ser de un material más duro que los de calle, por lo cual, tienen peor coeficiente de rozamiento que unos para asfalto, por lo que el coeficiente se mejora simplemente cambiando los neumáticos por unos adecuados para asfalto.

En la siguiente figura se pueden observar las dimensiones y la forma que tienen los neumáticos de carretera para una Sm.



Figura 15: Neumáticos Metzeler racetec RR K3 de carretera para SM

Por otra parte, también se ha de modificar el diámetro de las ruedas, ya que las Sm suelen llevar llantas de menor diámetro que las motos de campo. Esto se debe principalmente a que, disminuyendo el radio de las ruedas, se logra bajar el centro de gravedad de la moto, aunque esto también afecta al momento de inercia de las ruedas en dirección del eje de giro. Respecto a la disminución del centro de gravedad se explica más adelante cuales son las ventajas de bajarlo y cómo se va a proceder para reducirlo, ya que bajar el centro de gravedad es otro objetivo adicional.

Aun así, con la siguiente ilustración se puede visualizar la diferencia de altura entre las ruedas que llevan las motos de campo y las motos de Sm (habitualmente). En la ilustración se comparan los diámetros de las llantas que trae la moto adquirida de serie (KTM EXC-F 450 2016), que son de 21 pulgadas en el tren delantero y de 18 pulgadas en el tren trasero, con las medidas de una Sm de competición comercial, por ejemplo, una KTM SMR 450 del año 2021, esta lleva ruedas de 16,5 pulgadas en el tren delantero y 17 pulgadas en el tren trasero.



Figura 16: KTM EXCF 450 2016



Figura 17: KTM SMR 450 2021

Fuente: www.KTM.com

La diferencia entre las dos líneas rojas es aproximadamente la diferencia que existe entre los diferentes tamaños de las llantas, y también la distancia que baja el centro de gravedad de la moto realizando la modificación de las ruedas. La ilustración es un esquema orientativo.

Para un cálculo aproximado de lo que desciende el centro de gravedad se puede suponer que la moto de campo dispone de llantas de 19,5 pulgadas en ambos ejes, que es la media entre las dos medidas del tren delantero y trasero, y que la moto de Sm monta llantas de 17 pulgadas en ambos ejes. Suponiendo que la distribución de masas no cambia significativamente entre las dos motos podemos considerar que esta se mantiene uniforme. La diferencia de altura de los ejes de apoyo, es decir de los ejes de giro del tren delantero y del tren trasero, es la distancia que baja el centro de gravedad modificando las ruedas de serie por unas de Sm. La diferencia se calcula de la siguiente manera:

$$h = \frac{\varnothing_{serie}}{2} - \frac{\varnothing_{Sm}}{2},$$

dónde \varnothing_{serie} es el diámetro de las llantas de serie y \varnothing_{Sm} es el diámetro de las llantas de Supermotard. Es decir que es la diferencia entre los radios de las llantas, suponiendo que los

neumáticos tienen alturas similares. Sustituyendo los números en la ecuación anterior se obtiene un valor de h de 1,25 pulgadas, que pasando a centímetros da 3,175 cm.

El momento de inercia de las ruedas en la dirección del eje de giro también cambia con la modificación del diámetro de las llantas. Suponiendo que la masa de las llantas está principalmente distribuida en los aros de estas, se puede considerar que cada llanta equivale a un aro a efectos del cálculo de momentos de inercia. El momento de inercia representa en el movimiento rotativo el equivalente a la masa en el movimiento de traslación. Básicamente esta magnitud refleja lo que le cuesta girar a un objeto. A mayor momento inercia más cuesta acelerar angularmente al objeto y a menor momento de inercia más fácil es de acelerar, es decir de moverlo. El momento de inercia depende principalmente de la geometría del objeto en cuestión y de la distribución de masas, y en el caso de un aro el momento de inercia viene dado por la siguiente ecuación:

$$I_{aro} = m * R^2,$$

dónde m es la masa del aro y R el radio del aro. Aplicando esto a las llantas a modificar en el proyecto, suponiendo que la masa entre las llantas de serie y unas de Sm es la misma, disminuyendo el radio se obtiene un momento de inercia mucho menor ya que es proporcional con el cuadrado del radio. Esta es una razón más por la que conviene sustituir la llanta de serie por una de Sm de menor diámetro.

Es importante remarcar que las Sm's de competición en ocasiones llevan llantas incluso de menor diámetro con lo cual el centro de gravedad se baja más aún. Las dimensiones más comunes en Sm's de competición suelen ser de 16,5 pulgadas en el tren trasero y de 16 pulgadas en el delantero. Se podría optar por unas llantas de este tamaño para la moto del proyecto, pero es difícil de encontrar medidas de neumáticos comerciales homologados para circular en vías públicas, de un diámetro menor que 17 pulgadas, por lo cual la opción más conveniente es sustituir las ruedas que lleva la moto de serie por unas ruedas de 17 pulgadas de diámetro.

Por otro lado, las ruedas de las motos de campo suelen ser de menor anchura. Esto no conviene para las motos de carretera ya que necesitan disponer de un perfil ancho para poder tomar curvas inclinando la moto sin perder la adherencia.

Esto se puede observar en la siguiente comparativa de fotos en la que la rueda de la izquierda es la rueda que se pretende montar en la Sm y la de la derecha es una foto de la rueda de serie de la moto adquirida extraída del catálogo de KTM:



Figura 18: Perfil rueda trasera de carretera



Figura 19: Perfil rueda trasera de campo

Las motos de campo suelen llevar discos de freno de dimensiones bastante pequeños, en el tren delantero. En el caso de la moto adquirida el disco es de 260mm. Las Sm llevan discos de mayor diámetro, con lo que mejora la capacidad de frenado de la moto. Esto se debe a que el momento de frenado en el eje de giro es mayor, ya que la fuerza de la pinza se aplica al eje con mayor palanca. El momento de frenado se describe con la siguiente fórmula:

$$M_{frenado} = F * \mu * R,$$

dónde F es la fuerza que aplica la pinza de freno sobre el disco, μ el coeficiente de rozamiento entre el disco y las zapatas de la pinza de freno y R el radio del disco. En comparación con la KTM SMR 2021, esta lleva un disco de 310mm de diámetro. En lo que se refiere al tren trasero ambas motos llevan el mismo disco de freno de 220mm. En las siguientes fotos se pueden observar las tres dimensiones de los discos de freno (ya montados en la moto adquirida):



Figura 20: Disco de freno (260mm)



Figura 21: Disco de freno de Sm (310mm)



Figura 22: Disco de freno trasero de 220mm

El disco mostrado en la imagen anterior de 310mm es de anclaje flotante, una tecnología muy utilizada en el mundo del motociclismo y sobre todo en el sector de Sm. La ventaja que tienen estos discos frente a los discos de freno comunes se explica en el libro de ARIAS PAZ: “Normalmente los discos se sujetan de forma fija a la rueda, pero esto puede ocasionar algunos problemas. Si el disco está un poco doblado, con su giro se producirá un roce con las pastillas, que tenderá a separarlas del disco, al tiempo que provoca un cierto esfuerzo de frenada. Si el disco tiene una cierta libertad de desplazamiento en el sentido de su eje, podrá moverse, eliminando el problema. Para que esto se produzca, la superficie de rozamiento del disco R se instala independientemente del anclaje sobre la llanta, intercalando unos cilindros C que se apoyan en ambas superficies y que permiten el deslizamiento de la pista.” De esta manera, también se logra disminuir el peso del disco, ya que esta configuración permite que la pieza interna se pueda fabricar de un material más ligero.

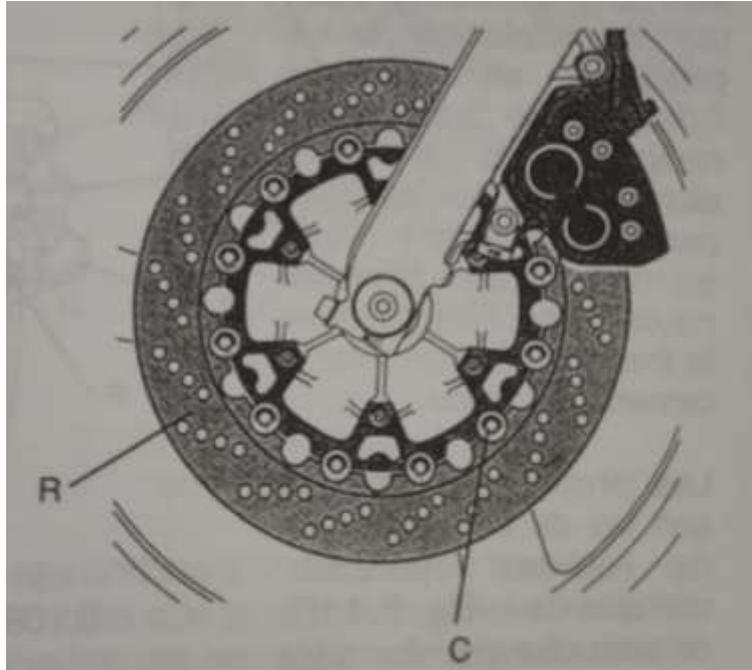


Figura 23: Disco de freno flotante, fuente: Arias-Paz

En conclusión, para cumplir con el objetivo de mejorar el agarre y la capacidad de frenada, se han de montar llantas de 17 pulgadas y de mayor anchura que las llantas de serie en ambos ejes. Además, se ha de montar un disco de freno delantero de mayor diámetro.

La moto de la que se parte (KTM EXCF 450 2016) lleva neumáticos de las siguientes dimensiones: 80/100-21 en el tren delantero y 120-140/80-18 en el tren trasero. Aunque la moto también está homologada para neumáticos de 90/90-21 en el tren trasero y de 120/90-18 en el tren trasero. Los números significan lo siguiente: el primer número es la anchura del perfil del neumático en milímetros, el segundo es la altura del neumático en milímetros, dada en porcentaje del perfil y el último es el diámetro de la llanta en pulgadas. Para poder entender mejor cómo funciona el dimensionamiento de los neumáticos se incluye esta ilustración, del libro ARIAS PAZ.

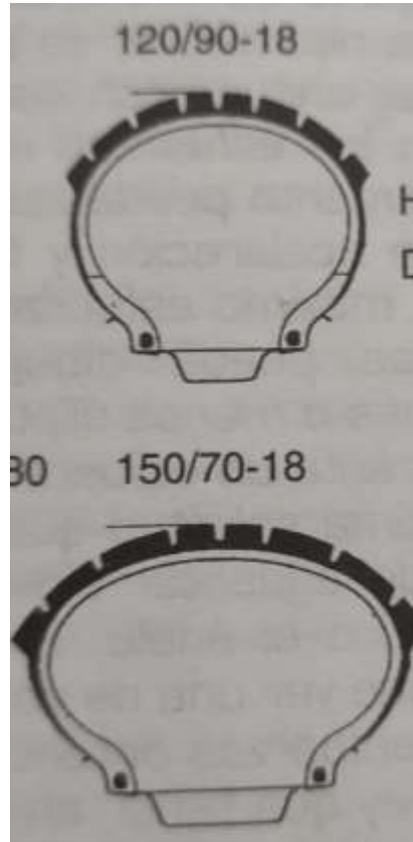


Figura 24: perfiles de neumáticos según sus dimensiones

En la ficha técnica de esta moto, aparecen dimensiones de rueda de neumáticos de asfalto, lo cual certifica que la moto puede circular por vías públicas también con neumáticos de 120/70-17 en el tren delantero y de 150-160/60-17 en el tren trasero, que aparecen en la ficha técnica, como se puede observar a continuación:

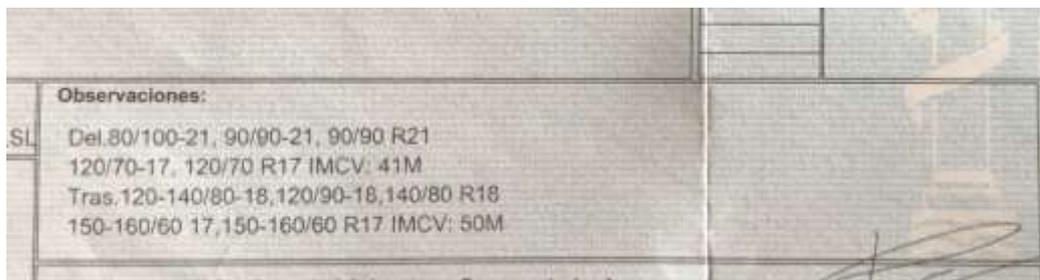


Figura 25: Extracto de la ficha técnica de la moto adquirida

De esta manera se facilita el montaje de ruedas de dimensiones similares a las de una Sm, en este tipo de motos sin tener que pasar por ningún tipo de homologación. Además, se montará un disco de mayores dimensiones, a poder ser de 310mm, pero no se modificará la pinza de freno, sino que se utilizará la misma pinza de freno de la moto de serie adaptándola al disco de mayor diámetro. De esta manera se pretende disminuir el coste del presupuesto propuesto para las en pinzas de freno.

Por consiguiente, se procede a buscar llantas, de neumáticos, de discos de freno para el tren delantero y de todo lo necesario para adaptar las dimensiones de las ruedas nuevas a la moto de campo. Se calcula que aproximadamente todas las modificaciones nombradas tendrían un coste de más de 1700€, en el caso de comprar todo de primera mano y de fabricantes reconocidos en el motociclismo. Esto se explica en la siguiente tabla en la que aparecen todas las piezas que puedan ser necesarias para concluir la modificación de las ruedas. Las cifras que aparecen en la tabla son aproximadas y una media de lo encontrado en internet.

| | |
|------------------------------------------|-----------------------|
| Llantas tren delantero y tren trasero | 1000€- 1500€ → ≈1250€ |
| Disco de freno de 310mm de diámetro | 150€-200€ → ≈175€ |
| Neumáticos | 80€-120€ → ≈100€ |
| Kit de arrastre (piñón, cadena y corona) | 100€-150€ → ≈125€ |
| Adaptador pinza de freno delantera | 30€-70€ → ≈45€ |
| Casquillos llantas (adaptadores) | 20€-60€ → ≈40€ |

Tabla 3: Ruedas y frenos, elaboración propia

Al ser este un precio demasiado elevado y superar el presupuesto máximo, calculado anteriormente (en el capítulo 2), que era de 1400 € para el conjunto de ruedas y freno, se ha de buscar una opción más asumible económicamente. Según lo investigado en internet este presupuesto máximo se superaría por 300 € en el caso de comprar todas las piezas nuevas. La opción más sencilla, es buscar las piezas necesarias o por separado en el mercado de segunda mano, o todo junto en un kit que incluya muchas de las piezas necesarias para completar esta modificación.

Se opta por buscar en el mercado de segunda mano en páginas como Milanuncios o en Wallapop, un kit que incluya la mayoría o la totalidad de las piezas necesarias. Se puede dar el caso de que alguien haya comprado todas las piezas para un modelo similar de moto, o para incluso el mismo y que quiera venderlo, por haber vendido la moto. Este sería el caso más deseable, ya que las piezas se encontrarían a un precio más reducido y sin ningún problema o menos problemas a la hora de adaptarlas a la moto de serie.

Después de una búsqueda intensiva en dichas páginas se encuentran unas llantas con neumáticos de las dimensiones que aparecen en la ficha técnica de la moto de campo ya montados, disco de freno de 310mm flotante, kit de arrastre específico de Sm y con todas las piezas necesarias para adaptar la pinza de freno y las llantas a los ejes. El precio de dicho set de Sm es de 1000 €, lo cual entra perfectamente dentro de lo económicamente admisible. De esta manera se logra ahorrar 400 € respecto al presupuesto total calculado en el capítulo 2 del proyecto.

Además, el vendedor asegura haber montado este kit en una KTM EXC 250 2t del 2016 que ya había vendido. Esta moto lleva prácticamente las mismas piezas que la moto de la que se parte para realizar el proyecto, salvo que el eje del tren delantero es de mayor diámetro y existe una mayor distancia entre horquillas, por lo que se tendrían que comprar o fabricar unos casquillos adaptadores para el tren delantero. Además de ser el precio mucho más reducido, las piezas del kit son todas de marcas reconocidas en el sector y de las que se sabe que son de buena calidad y fiables. Las llantas, por ejemplo, son compradas en una tienda

que se dedica específicamente a la venta de ruedas llamada FABA y son de aluminio 7050, un material muy usado en las llantas de las motos, al ser muy resistente a la fuerza mecánica y al agradamiento.



Figura 26: Foto de llantas adquiridas en distinto color del catálogo FABA-Wheels

Al ser esta la solución más sencilla para la modificación de las ruedas, se decide comprar este set completo. Para adaptar la rueda delantera al eje delantero que en vez de ser de un diámetro de 26mm, es de 22mm de diámetro, se decide fabricar unos casquillos que se colocarán encima del casquillo que traen el set de ruedas, para así no tener en cuenta las tolerancias necesarias con los rodamientos, que son muy pequeñas y difíciles de lograr. El casquillo se pretende fabricar con ayuda del profesorado de ICAI en el torno del laboratorio. Para ello lo primero es tomar medidas exactas tanto del diámetro inferior de los casquillos ya existentes como del eje de la moto de la que se parte. Para este propósito e utilizará principalmente calibres de distintas resoluciones.

Después de varias medidas exactas del eje se llega a la conclusión que este dispone de media entre todas las medidas tomadas 21,97mm de diámetro, y que los casquillos que viene con las ruedas adquiridas tienen exactamente 26mm de diámetro interior. Además, el eje debe poder entrar con facilidad a través de los casquillos, por lo que el ajuste del diámetro interior del casquillo a fabricar ha de ser de deslizamiento o de paso suave en la cara interna de los casquillos. El ajuste de la cara externa de los casquillos a fabricar con los casquillos que montan las ruedas compradas ha de ser de apriete, para que estos, una vez montados dentro, no se puedan volver a sacar y no exista juego.

El material de los casquillos debe ser de aluminio para que no exista par galvánico entre el eje del tren delantero y los casquillos y también porque los casquillos sobre los que se van a montar son de aluminio. El material de los casquillos a fabricar será aluminio 6082-T6, que es el aluminio del que se dispone en el laboratorio de fabricación y es el que se utiliza en el torno del laboratorio.

Por otra parte, al existir una mayor distancia entre las horquillas, se ha de cubrir dicha distancia también con los casquillos. La diferencia de separación total es de 10mm por lo cual, para no tocar la simetría de la rueda y para que esta quede centrada entre las dos botellas de la suspensión, cada casquillo debe añadir 5mm a cada lado de la horquilla. Es decir, debe sobresalir un escalón o peldaño de 5mm en cada casquillo que apoyará sobre la cara exterior de los casquillos ya adquiridos. Por lo tanto, ambos casquillos han de ser iguales.

A continuación, se incluyen los planos de los casquillos diseñados con sus respectivas tolerancias dimensionales, superficiales y geométricas.

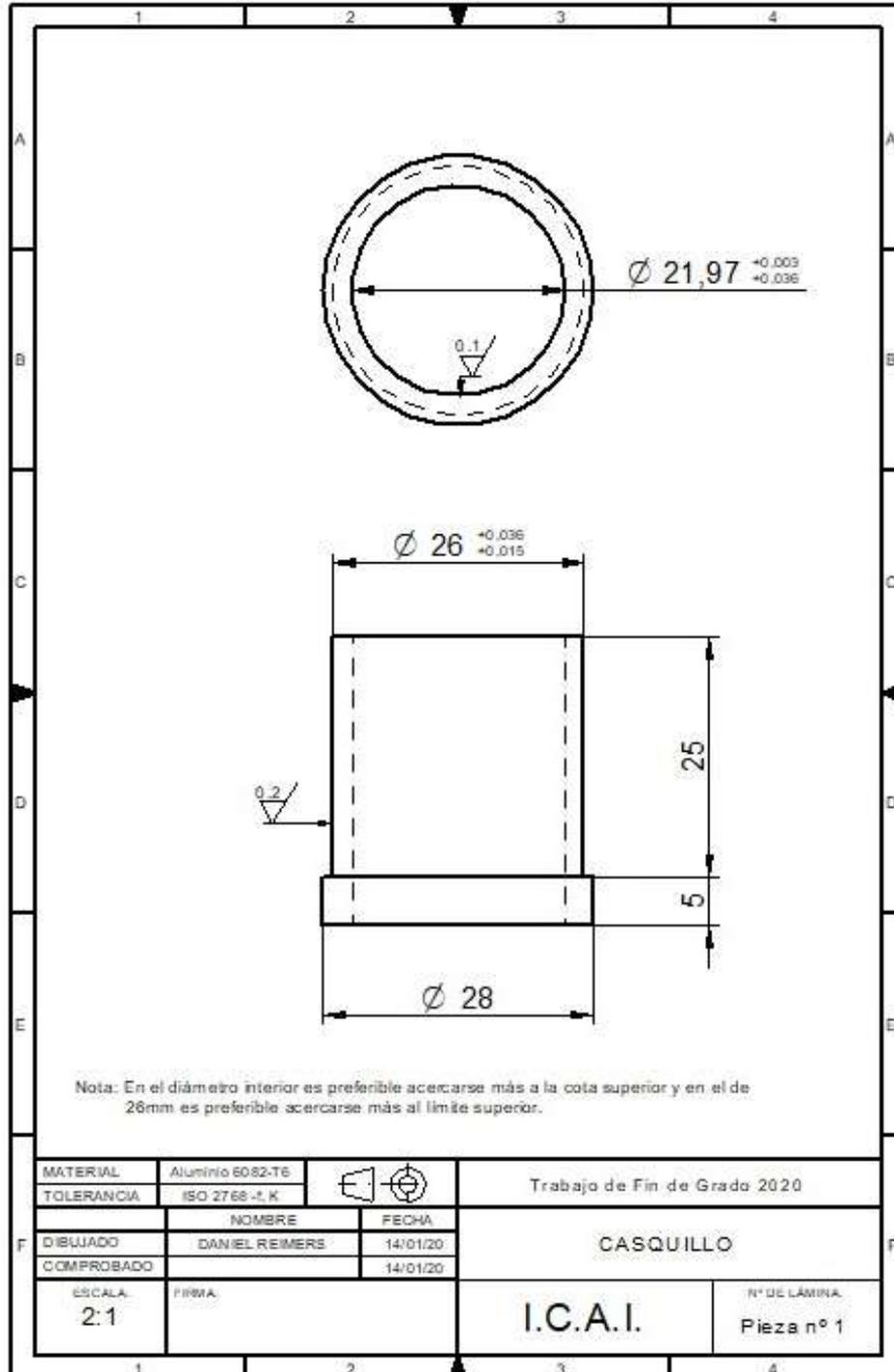


Figura 27: Plano Casquillo, elaboración propia

Para la fabricación de los casquillos se parte de un cilindro macizo, de aluminio como se ha dicho anteriormente (véase siguiente foto).

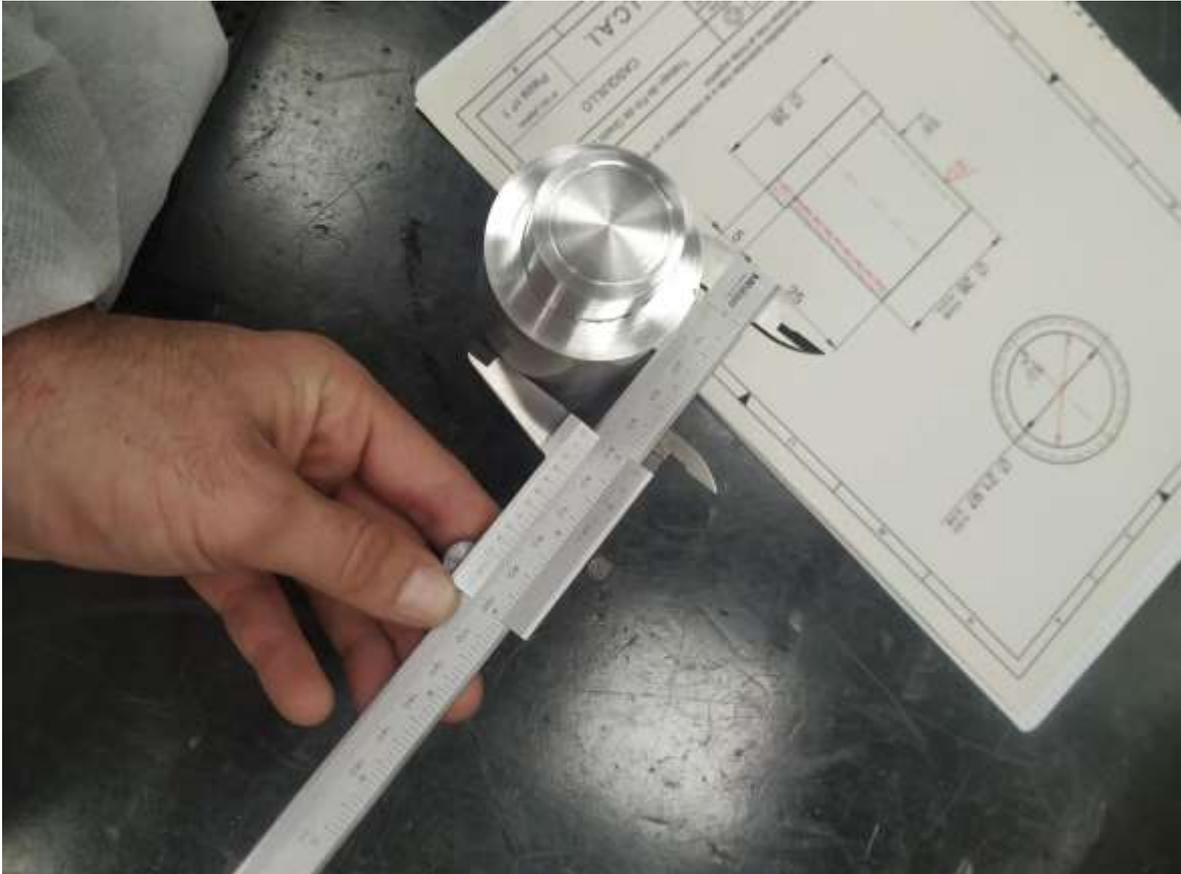


Figura 28: cilindro aluminio 6082 T6

Los pasos para la fabricación de dichas piezas son los siguientes:

1. Se utiliza un punzón para perfilar primero la cara exterior de la pieza, comenzando por el diámetro de 26mm. En la siguiente foto se puede observar el punzón y las virutas en forma helicoidal de material sobrante:

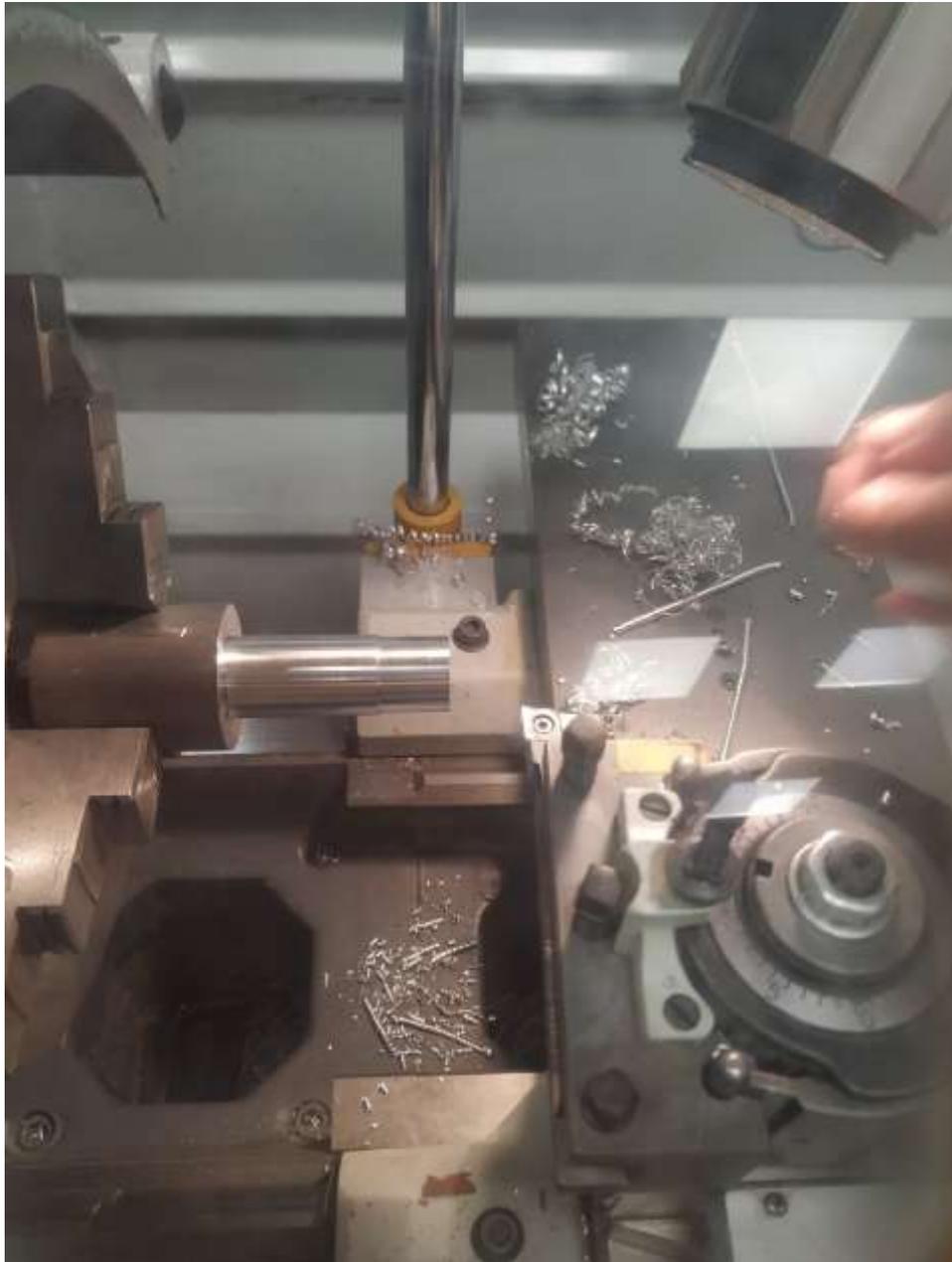


Figura 29: Punzón

2. Se toman medidas con un calibre hasta ajustar el diámetro exterior del casquillo a la cota que aparece en el plano, como se puede observar a continuación:



Figura 30: Medidas con Calibre

3. Se quita el material sobrante del borde, ajustando a los 28mm de diámetro del final de la pieza. Se toman las medidas respectivas para confirmar que se logra dicho diámetro.
4. Se cambia el punzón por un taladro (veáse siguiente foto) para retirar el aluminio del centro del cilindro y ajustar el diámetro interior a la cota mostrada en el plano, tomando las medidas necesarias.



Figura 31: Taladro

5. Finalmente se corta la pieza y se le quitan las rebabas con un desbarbador.
6. Se continua con el segundo casquillo siguiendo los mismos pasos solo que comenzando con el diámetro de 28mm, siguiendo con el de 26mm y finalmente con el diámetro interno del casquillo.

Una vez fabricados los dos casquillos se procede al montaje. Para ello, se ha de situar la moto en un caballete, apoyándola sobre la parte inferior del motor sobre los apoyos del chasis, como se puede ver en la siguiente foto.



Figura 32: Foto una vez montadas las ruedas de Sm

A continuación, se desmontan las ruedas de la moto recordando el lugar y la posición de cada pieza. Primero se ha de quitar el kit de arrastre de la moto, compuesto por cadena, corona y piñón, y sustituir este por el comprado. Una vez quitado el kit de arrastre, se desmonta la pinza de freno delantera y el sensor de velocidad, que es magnético y funciona con un imán situado en el disco de freno delantero de serie de la moto, por lo que será necesario colocarlo en el nuevo disco más adelante y también será necesario colocarlo de alguna manera en el separador que se va a montar. El separador es necesario ya que se va a

montar un disco de mayor diámetro y sino la pinza no se puede montar. El separador adquirido es el siguiente:



Figura 33: Foto de catálogo de motocrossCenter Ref.: 17020143

El siguiente paso es montar ambas ruedas con sus respectivos casquillos, teniendo cuidado de colocar los tornillos y tuercas necesarias a los pares de apriete adecuados. Esto se realiza consultando en el manual de taller del vehículo y con ayuda de una llave de dinamométrica.

Al montar la rueda delantera se aprecia que esta no entra porque los cubre horquillas, de plástico no están fabricados para un neumático tan ancho como el que se va a montar por lo que primero se decide quitarlos, marcando con un rotulador el lugar donde roza con la rueda a montar. A continuación, se cortan por dónde rozaría con el neumático con una herramienta de corte denominada Dremel. Una vez cortada se colocan en su posición prestando especial atención que estas no choquen con la rueda y finalmente se monta el conjunto. A continuación, se procede a montar el kit de arrastre nuevo y se tensa y engrasa la cadena. Luego, se monta el adaptador de la pinza delantera y misma pinza de freno. Se comprueba que no existen holguras y que ambas ruedas están centradas y giran con facilidad y que ambas pinzas de freno funcionan correctamente. Por último, queda volver a montar el sensor

de velocidad, para lo que se decide perforar el adaptador de la pinza y realizarle una rosca. Esto se ha de hacer con mucho cuidado para que el agujero quede totalmente perpendicular y en el lugar correcto. El imán se pretende colocar dentro de uno de los cilindros del disco flotante, por lo que hay que hacer coincidir la posición del agujero para el sensor (receptor) con los cilindros del disco. El sensor mide pulsos, es decir cada vez que se completa una vuelta recibe un pulso, por lo que lo que realmente mide es la velocidad angular de la rueda (ω). La distancia a la que se coloque el sensor no afecta a la medida de pulsos, ya que si se coloca el sensor en el centro o en el extremo de la rueda transcurre el mismo tiempo entre pulso y pulso. Lo que cambia es la velocidad de avance del vehículo para una misma ω ya que cambia el radio del neumático. Esta velocidad de avance de la moto viene dada por la siguiente ecuación:

$$v = \omega * r$$

Como conclusión, sería necesario reprogramar el velocímetro para poder medir la velocidad real con las nuevas ruedas y con esto se concluye con la parte del proyecto dedicada a la modificación de las ruedas y frenos de la moto, cumpliendo el objetivo propuesto en esta parte del proyecto. Por suerte el fabricante incluye esta opción y esto es muy fácil de hacer simplemente configurando el tamaño de la rueda, entrando en la configuración del velocímetro y actuando sobre los botones en el velocímetro. Lo que se modifica al cambiar la configuración con los botones es el parámetro por el que se multiplica la velocidad angular en el procesador de la moto. Ese parámetro coincide exactamente con el radio entre el eje de giro de la rueda delantera y el suelo en cada caso. De esta manera se logra mostrar la velocidad de avance de la motocicleta en el velocímetro para distintas dimensiones de ruedas.

3.2 MANIOBRABILIDAD

El siguiente objetivo que cumplir es mejorar la maniobrabilidad de la moto sobre asfalto. Para ello se pretende reducir el centro de gravedad de la moto, endurecer el sistema de suspensiones y estudiar, si es necesario aumentar el avance de la moto y la distancia entre ejes de las ruedas.

En el chasis de una moto, todos los elementos que los compone, salvo los sistemas de amortiguación y las piezas unidas a ellos, van unidos a él. Las características estructurales del mismo influyen importantemente en la dinámica de la moto y son las que determinan la geometría de la moto y limita la distribución de las masas.

La geometría de la moto influye mucho sobre si una moto es más estable a altas velocidades o si es más ágil e inestable. En la mayoría de los casos es necesario encontrar un compromiso entre las dos dependiendo del estilo de moto. Entre las principales medidas geométricas, las más destacables son las de la dirección. Gracias al movimiento rotativo de las ruedas, la moto se mantiene recta, ya que esto genera una fuerza que se opone al movimiento de las ruedas (efecto giróscopo). Este efecto ocurre cuando se hace girar un sólido con simetría de rotación alrededor de uno de sus ejes de simetría. Al girar el propio movimiento rotativo del sólido conserva la orientación de su eje de giro, incluso ante fuerzas externas, se desvía mucho menos que un elemento no giratorio. Además, cuanto mayor sea la velocidad y la masa del sólido, que marca el momento de inercia del cuerpo giratorio, mayores son las fuerzas que se oponen al movimiento del eje de giro y que mantienen la orientación de dicho eje. Por tanto, sobre el eje de la rueda delantera estas fuerzas van a tener mucha más repercusión este efecto ya esta rueda ha de girarse para tomar una curva. Estas fuerzas pueden alterarse de forma adecuada modificando parámetros geométricos de la dirección.

En el libro *ARIAS-PAZ MOTOCICLETAS* se explica detalladamente cuales son las medidas geométricas que más afectan al comportamiento y a la dinámica de la moto. Según el libro mencionado: “La dirección de la motocicleta está determinada principalmente por dos factores, el avance del eje de la dirección respecto del punto de contacto de la rueda con

el suelo, y el propio ángulo de la dirección. El avance (Fig.8.24) es la distancia que existe entre el punto de contacto de la rueda con el terreno y la prolongación del eje de dirección.

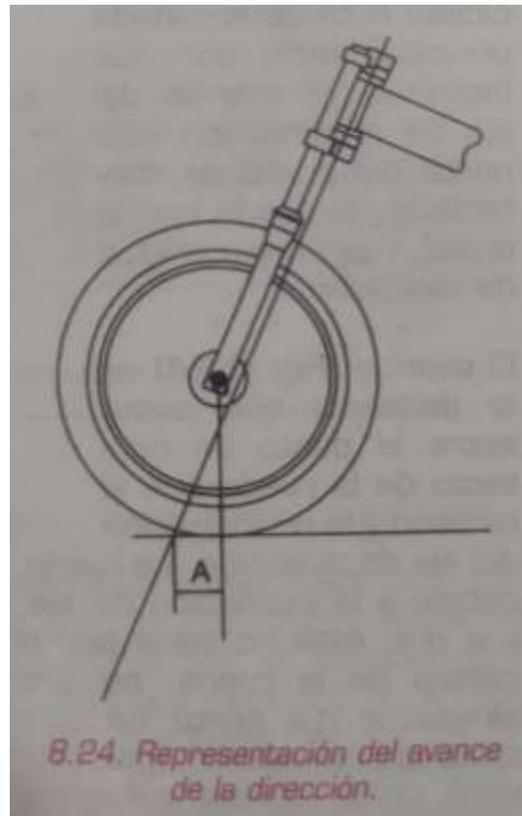


Figura 34: Representación del avance, fuente Arias-Paz

La rueda, debido a la inclinación del eje, y a que éste no pasa por el centro de la rueda, no gira alrededor del punto de contacto del neumático. Esto provoca unos ciertos esfuerzos sobre la dirección, que contribuyen a conseguir una adecuada estabilidad en línea recta, como se ve en la Fig.8.25.

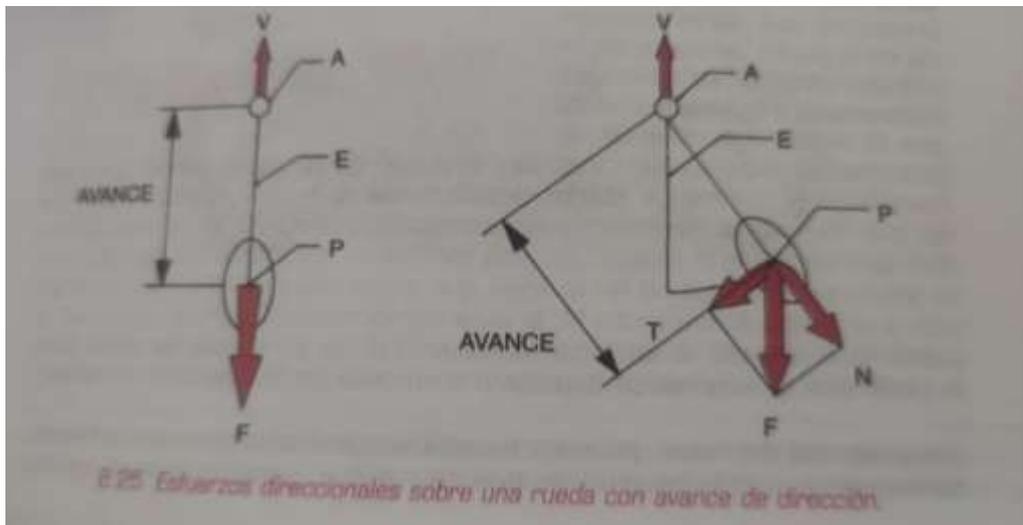


Figura 35: Esfuerzos direccionales, fuente Arias-Paz

Suponiendo que la motocicleta circula en línea a una cierta velocidad, la fuerza de rozamiento F entre el neumático y el suelo provocará una cierta resistencia en el punto de contacto de ambos, dirigida en dirección contraria al movimiento, si se gira la rueda ligeramente. Al girar respecto del eje de dirección, el punto de contacto con el suelo del neumático P tendrá un cierto desplazamiento lateral, desviándose del eje que forman la dirección y el neumático trasero E . Si se descomponen las fuerzas que existen en ese momento, mientras una componente actúa en la dirección de la línea que sigue uniendo el punto de dirección y el punto de contacto N , la otra componente T tiende a devolver el punto de contacto a su lugar anterior. Es decir, el avance sirve para impedir que el neumático delantero se desvíe de la dirección rectilínea. Dependiendo del valor del avance, esta tendencia será mayor o menor, aumentando con la longitud del avance, ya que, para un mismo ángulo, sería necesario desviar más el punto de contacto y, por lo tanto, se necesitaría un esfuerzo mayor. Para conseguir un adecuado avance, las motos disponen de suspensiones delanteras en las cuales los ejes de dirección están adecuadamente dispuestos. Las horquillas se sujetan sobre tijas, en las cuales el eje de dirección está ligeramente retrasado, de manera que el avance de la rueda que provoca el ángulo de la horquilla queda ligeramente

disminuido, pudiéndose variar éste con sólo cambiar la longitud de la tija empleada (Fig.8.26 del Arias-Paz).

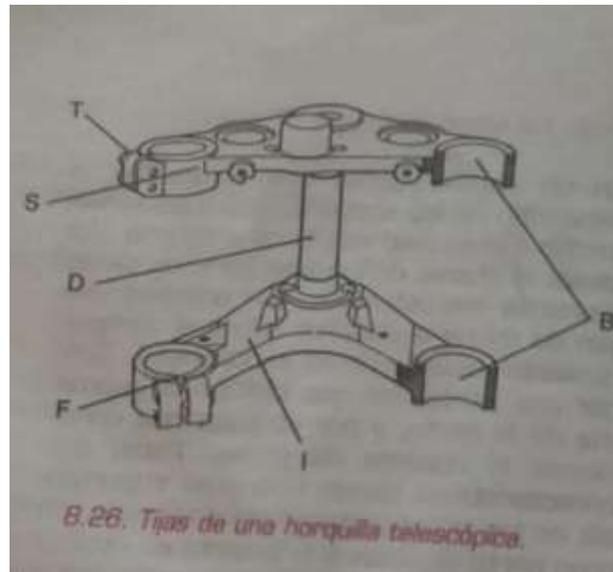


Figura 36: Tijas de una horquilla telescópica, fuente Arias-Paz

Otros sistemas emplean otros mecanismos con el mismo fin, ya que, el avance resultante de mantener el giro de la rueda en un eje que pase por el de rotación, con los ángulos de dirección normales, que varían desde los 24 grados a los 28 grados en motos comerciales, es de 120mm en el primer caso y de 140mm en el segundo, y los avances empleados comúnmente no superan los 110mm en los casos más altos situándose en unos 100mm habitualmente. El ángulo de dirección A, (Fig.8.27 del Arias-Paz) es otro de los parámetros que influyen en el comportamiento ciclista de la moto.

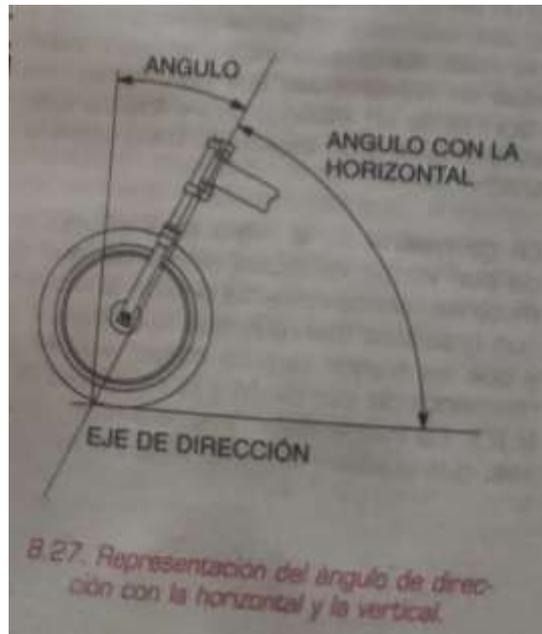


Figura 37: Ángulo de dirección, fuente Arias-Paz

En este caso lo hace de varias maneras, ya que afectan tanto a la forma de orientación como a factores que intervienen en los esfuerzos sufridos por la dirección. Generalmente, para un mismo avance, un ángulo menor confiere una mayor facilidad de giro. Otro parámetro que influye sobre las mismas características es la distancia entre ejes E (Fig.8.28 del Arias-Paz).



Figura 38: Distancia entre ejes, fuente Arias-Paz

Esta medida es la longitud que existe entre los puntos de contacto de las dos ruedas. Si se observa lo que ocurre cuando se gira una rueda para abordar una curva, se comprueba que, cuanto mayor es la distancia que existe entre las ruedas E para abordar una misma curva, es necesario girar más la rueda delantera D, es decir, es más costoso. Por tanto, la distancia entre ejes también influye en la maniobrabilidad.” Esto último se puede comprobar en la siguiente ilustración:

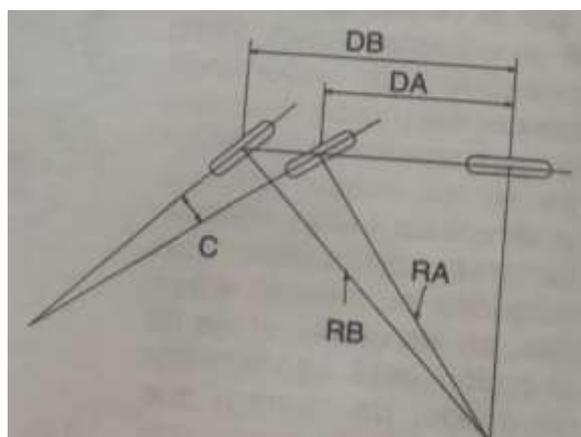


Figura 39: Comparativa distancia entre ejes, fuente Arias-Paz

Las magnitudes que afectan a la maniobrabilidad explicadas en el libro ARIAS PAZ se comentan más adelante y se aplican al proyecto.

El reparto del peso de una moto también es un factor muy importante, que influye sobre la maniobrabilidad. Por ejemplo, la reducción del peso de la moto es algo que los fabricantes siempre pretenden lograr. De esta manera se pueden alcanzar mejores prestaciones con la misma potencia y por otra parte también las fuerzas que sufre la estructura de la moto en movimiento son menores. Con respecto a la altura del centro de gravedad, cómo se explica en el libro ARIAS-PAZ: “La situación de la masa en la motocicleta también influye sobre ella. Cuando una motocicleta aborda una curva [...], la fuerza centrífuga F tiende a desplazarla hacia el exterior, manteniendo la trayectoria rectilínea. Por ello la moto debe inclinarse hasta que la resultante de la fuerza centrífuga quede compensada con la resistencia del neumático a desplazarse lateralmente [...], es decir, a derrapar. La posición de centro de masas [...], ya que, dependiendo de su altura, para una misma fuerza centrífuga-que equivale a una misma velocidad- hay que inclinar más la moto si el centro de gravedad está situado a una distancia menor del suelo. Al mismo tiempo, cuando la moto se inclina, el peso debe desplazarse, por lo que cuanto más alto se encuentra, más difícil resulta al tenerse que desplazar una mayor distancia.” Este efecto se puede observar en la ilustración 8.30 del ARIAS-PAZ:

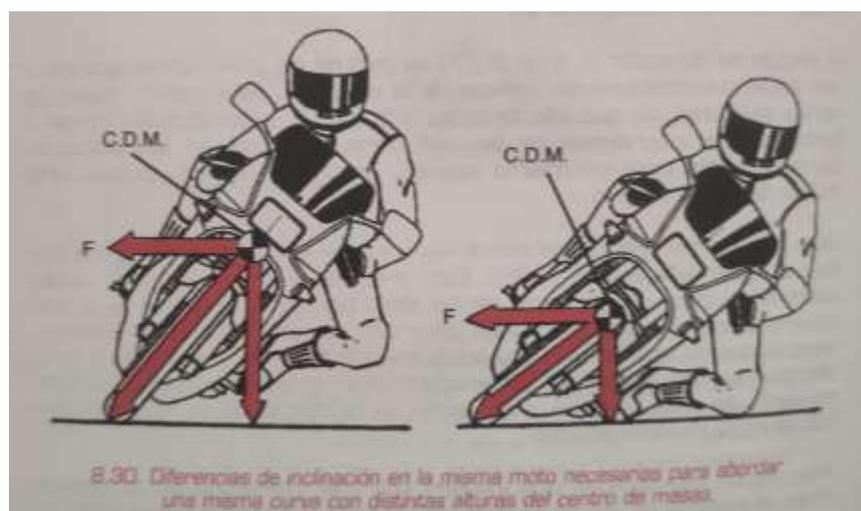


Figura 40: Inclinación de moto con distintas alturas de C.M., fuente Arias-Paz

Con lo cual, tener un centro de gravedad situado más abajo implica que es más fácil maniobrar la moto. Además, reducir la altura del centro de gravedad también influye mucho en la transferencia de masas sobre los ejes ante frenadas o aceleraciones. Esto puede ser muy beneficioso ante ciertas situaciones, por ejemplo, al frenar se aumenta la adherencia del neumático contra el suelo, al distribuirse más peso sobre el tren delantero, mientras que cuando se acelera el peso se distribuye más sobre el eje trasero y la tracción aumenta. En la figura 8.44 del ARIAS-PAZ se puede visualizar este efecto.

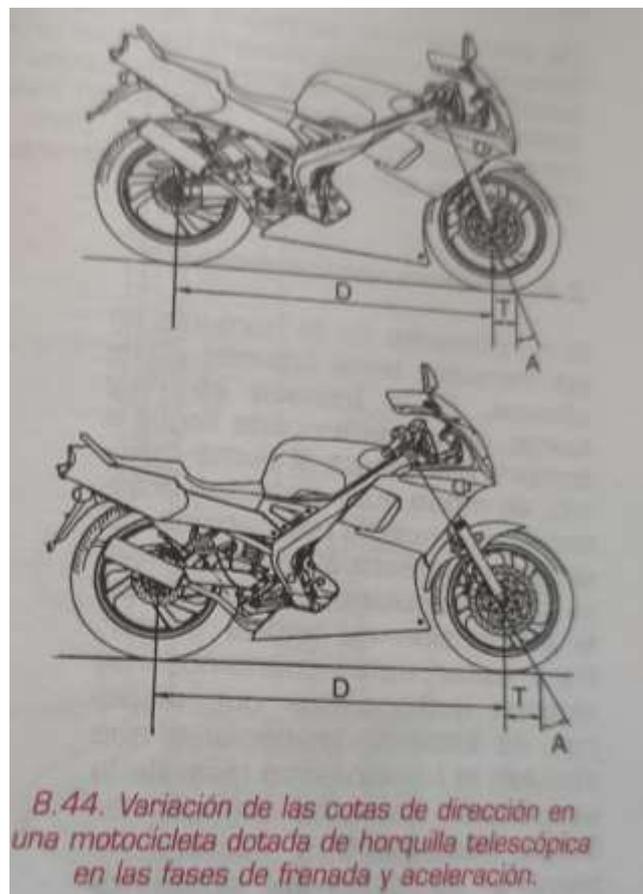


Figura 41: Cambios en cotas de dirección en frenada y aceleración, fuente Arias-Paz

El primer paso es reducir el centro de gravedad para ello sería necesario estudiar primero a que altura se dispone el centro de gravedad de la moto actual de serie y compararlo con la

altura del centro de gravedad de una SM de competición, en este caso se compara con la KTM SMR 450 de 2021. Al resultar extremadamente difícil saber dónde se ubica el centro de gravedad de un elemento compuesto por tantas piezas asimétricas como los de una moto, esto no se efectuará, porque la realidad quedaría lejos de los cálculos aproximados que se podrían calcular. Además, las informaciones como esta, no se publican y suelen ser información confidencial de los fabricantes. Esto se sabe ya que se ha consultado a atención al cliente de KTM directamente y no ha sido facilitada ninguna información adicional, más allá de lo que se puede encontrar en internet.

Sin embargo, al reducir la longitud de los muelles de las suspensiones el centro de gravedad desciende, lo cual contribuye a lograr el objetivo de descender el centro de gravedad y con ello el de mejorar la maniobrabilidad. Para disponer de una referencia con la que comparar alturas, se contrastarán la distancia libre al suelo de ambas motos, que aproximadamente coincide con la distancia que existe entre asfalto (suelo) y la parte inferior del chasis de la moto. La siguiente ilustración muestra la distancia de la que se habla.



Figura 42: Distancia libre al suelo

Esta medida se elige por ser una distancia que se encuentra en internet y en fichas técnicas. La distancia libre al suelo de la moto adquirida es de 345mm con las ruedas de serie. Tras modificar las ruedas por unas de dimensiones de Sm, la altura disminuye 31,75mm, como se ha calculado antes de realizar dicha modificación. Por tanto, una vez realizada la modificación de las ruedas la distancia libre al suelo real es 313,25mm, lo que supone una

mejora de casi el 10%. La Sm con la que se contrasta (KTM SMR 450 2021) dispone de una distancia libre al suelo de 290mm. La diferencia de alturas es la distancia total que hay que lograr descender. Esto se pretende realizar disminuyendo la longitud de los muelles de la moto y modificando ligeramente parámetros geométricos de la moto como el grado de inclinación de la horquilla delantera, si esto fuese posible. También se va a adaptar la distancia entre ejes para lograr que sea similar a la de una Sm. Como se ha explicado anteriormente se va a ir comparando constantemente las características técnicas de ambas motos hasta lograr que sean lo más parecidas posibles.

A su vez se han de endurecer las suspensiones para lograr que el sistema de amortiguación para que sea más apto para una conducción deportiva. Esto se debe a que sobre asfalto no es necesario amortiguar ante saltos o baches, sino que es prioritario que los neumáticos estén constantemente en contacto firme con el suelo, por lo que son necesarios muelles que se deformen menos ante las mismas fuerzas. Esto se traduce en que el muelle apto para conducción deportiva ha de tener una constante elástica mayor que el adecuado para conducción offroad.

Por otro lado, y relacionado con el sistema de suspensión, en el libro ARIAS PAZ se indica y explica la importancia de las masas suspendidas y no suspendidas, que tienen una gran importancia en la amortiguación y en la dinámica de la moto: “Conviene también tener presente, dada su decisiva importancia en el comportamiento dinámico de la moto, el concepto de masas suspendidas y no suspendidas. Las masas no suspendidas, son aquellas que acompañan a los sistemas de suspensión y amortiguación, y por tanto a las ruedas, en sus recorridos de aproximación y alejamiento hacia el bastidor (masas suspendidas). Por tanto, cuanto menor sea el valor de dichas masas, menor serán sus repercusiones sobre las motocicletas. Ello se explica con el ejemplo de la bola de billar, que representaría a las masas suspendidas (la moto) y la canica, que representaría a las masas no suspendidas. A la hora de impulsar la bola pequeña hacia la grande, las repercusiones del choque en esta última, serán tanto mayores, cuanto más lo sea la masa de la bola pequeña, sobrecargando de trabajos los sistemas de suspensión y amortiguación.” Como conclusión, conviene tener una masa no suspendida comparativamente baja. Por desgracia la masa de las ruedas y del equipo de

frenos no se puede aligerar, por lo que no es posible modificar la masa no suspendida y de esta manera poder mejorar la dinámica de la moto.

Una vez explicados cuales son los parámetros que afectan a la maniobrabilidad de una moto, lo primero que se debe hacer es realizar comparaciones entre la moto adquirida y una Sm de competición (KTM SMR 450 2021). Se han de comparar las siguientes medidas geométricas: los grados de inclinación de los ejes de dirección de las motos, los avances de la rueda delantera y las distancias entre ejes. La moto de la que se parte tiene un ángulo de 63,5 grados con la horizontal (26,5 grados con la vertical) y la moto con la que se compara, la Sm, dispone de un ángulo de dirección de 63,9 grados con la horizontal (y 26,1 grados con la vertical). Es decir, la diferencia entre ángulos de los ejes de dirección es prácticamente inexistente, y además, entran dentro de lo normal que son 24 a 28 grados con la vertical. El siguiente parámetro que se va a contrastar es la distancia entre ejes de ambas motos. En las fichas técnicas de ambos vehículos se puede comprobar que la KTM EXCF 450 2016, la moto de la que se parte para realizar el proyecto posee una distancia entre ejes de 1482mm, mientras que la Sm dispone de una distancia entre ejes de 1486mm. Esta distancia es prácticamente inapreciable. En cuanto a los avances de las motos, esta información no se encuentra en las fichas técnicas de las motos y el cálculo se puede realizar si se dispone de la distancia que existe entre el eje de dirección y el centro de las botellas de las suspensiones de ambas motos, esta medida se denomina offset. En la siguiente ilustración se puede observar con más claridad la distancia que se denomina offset:

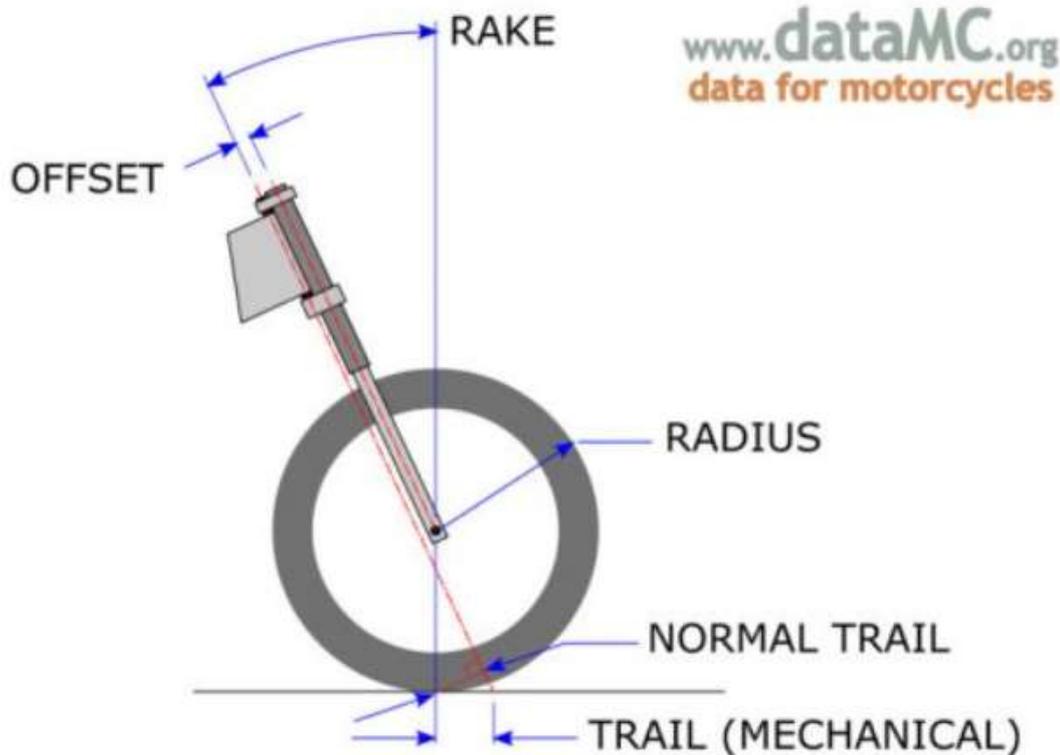


Figura 43: Visualización parámetros de dirección

Fuente: <https://www.motorcycle.com/ask-mo-anything/whats-the-difference-between-rake-and-trail.html/attachment/042417-ask-mo-rake-trail-2>

Como se ha dicho anteriormente es necesario conocer la medida del offset de ambas motos. Esta información solo se encuentra en los manuales de despiece de las motos, por lo que se obtiene en la página de secomoto.com y en la sección de recambios se buscan los recambios originales de ambas motos de las pletinas de dirección (tijas). Una vez encontradas las piezas con sus respectivos números de referencia, se encuentra también el offset, que viene dado como x. En la siguiente captura del plano de despiece de la tija se puede observar a lo que se refiere la distancia x. También se realizan capturas de las referencias de las tijas junto al offset correspondiente a cada pieza.

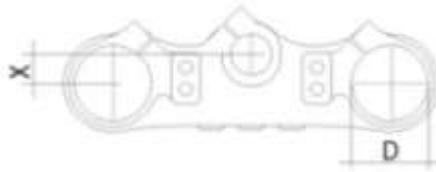


Figura 44: Tijas KTM

La pieza con número de referencia 7770103402230 corresponde a la tija de la moto de campo, la cual tiene un offset de $x=22\text{mm}$.

34* 7770103402230 TRIPLE CLAMP TOP X=22 BLACK
1 

Figura 45: Tijas de serie

La pieza con referencia 7890103411630 corresponde a la tija de la Sm, con la que se contrasta constantemente la moto adquirida. El offset del cual dispone esta moto es de $x=16\text{mm}$.

34 7890103411630 TOP TRIPLE CLAMP SMR X=16MM
1 

Figura 46: Tijas Sm

Para el cálculo de los avances de la dirección es necesario conocer la altura de las ruedas hasta el eje de giro. Esta altura no coincide con la altura de las llantas, ya que habría que sumar la altura de los neumáticos. Como se ha dicho anteriormente, se le han instalado ruedas de carretera de las siguientes dimensiones: 120/70-17 a la moto adquirida. Para calcular la altura del eje de giro de la rueda, es decir del punto de apoyo de la rueda sobre

las horquillas, se han de sumar el radio de la llanta y la altura del neumático, que en este caso coincide con el 70% de 120mm. La altura del eje de giro de la rueda delantera es de 8,5 pulgadas (radio de la llanta, en mm 215,9mm) sumado a 0,7*120mm (la altura del neumático). Esto da una distancia de 299,9mm. En la siguiente ilustración se puede observar las distancias necesarias para calcular el avance.

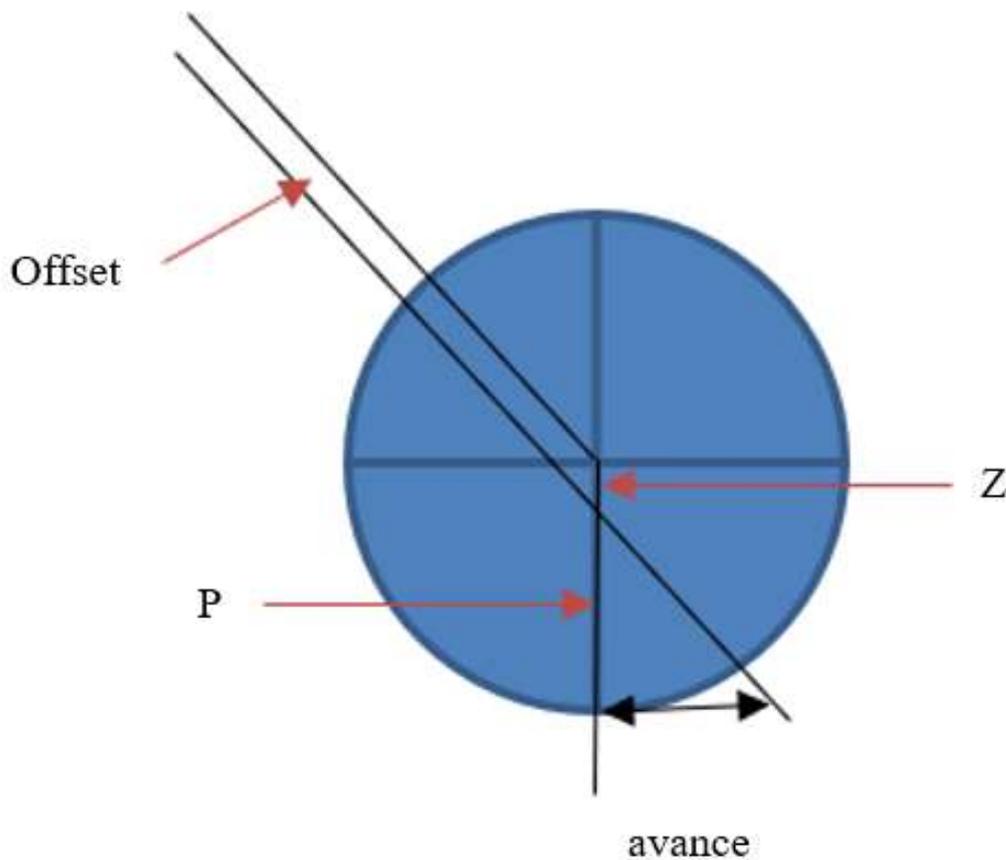


Figura 47; relación avance.offset, fuente: elaboración propia

El primer paso es calcular la distancia z. Para ello hay que realizar el siguiente cálculo trigonométrico:

$$Z = \frac{Offset}{\sin(90 - \alpha)}$$

Dónde α es el ángulo del eje de la dirección con la horizontal. En el caso de la moto que se va a convertir, el α es 63,5 grados y el offset es 22mm, por lo que Z es 49,31mm si se redondea el número al segundo decimal. Una vez calculado Z se puede calcular P, que es la altura del eje de giro de la rueda delantera menos Z y esto da 250,59mm. Por último, el avance es:

$$avance = \frac{P}{\tan(\alpha)}$$

El avance que se obtiene es de 124,94mm aproximadamente, lo cual contrastando con lo leído en el libro ARIAS-PAZ supera el habitual. Para realizar el cálculo del avance de la Sm se va a poner directamente la fórmula del avance, que se obtendría si se realizan todos los cálculos en uno. La fórmula resultante es la siguiente:

$$avance = \frac{\left(h - \frac{Offset}{\sin(90 - \alpha)}\right)}{\tan(\alpha)}$$

En la ecuación “h” es la altura del eje de giro. En el caso de la moto de Sm las dimensiones del neumático es 125/600-16,5. En este caso el segundo número, 600, no indica la altura del neumático en porcentaje de la anchura, sino que es directamente el diámetro de la rueda, por lo que la altura del eje de giro (h) es 300mm, la mitad. El α en este caso es 63,9 grados y el offset es 16mm. Insertando esto en la fórmula anterior, el avance resultante es 129,15mm, es decir mayor que el de la moto de campo con ruedas de carretera.

Para poder modificar tanto el avance y la distancia entre ejes en estas motos solo se puede modificar el offset de la dirección. Esto se puede hacer de dos formas: (a) cambiando las pletinas de dirección por unas con menor offset, o (b) si las tijas tienen offset regulable, regulando el offset para adecuarlo al deseado. El problema es que si aumenta el offset, el avance disminuye, mientras que la distancia entre ejes aumenta. Si por lo contrario el offset se decrementa, el avance aumenta, pero la distancia entre ejes disminuye, es decir no se pueden ajustar las características a las de la Sm en ningún caso. Por este motivo hay que

decidir cuál de las medidas es más importante para mejorar la dinámica de la moto, la distancia entre ejes o el avance de la dirección de la moto.

Si se aumenta la distancia entre ejes se logra más estabilidad, más aplomo, pero reduciéndola se consigue una moto más ágil y nerviosa, cuyo comportamiento en curvas reviradas es mejor y dinámico. Aplicado al caso de las Sm's es conveniente disminuir la distancia entre ejes, aunque la Sm con la que se compara tenga 4mm más de distancia entre ejes. La distancia entre ejes no viene nunca dada de forma exacta, ya que existe la posibilidad de modificarla unos milímetros con el tensado de la cadena, adelantando o atrasando la rueda trasera. Por si no fuera suficiente únicamente con el tensado de la cadena se podría comprar una cadena más larga o corta, para lograr un aumento o decremento más pronunciado de dicha distancia. Otra opción, económicamente menos factible, es sustituir el brazo basculante de la moto por uno más largo o corto, siendo necesario también sustituir la cadena en este caso.

Por otra parte, el avance de la moto adquirida es algo menor que el de la Sm por lo que sería necesario aumentarlo unos milímetros. Este afecta a la maniobrabilidad de la moto, sobre todo a la fuerza que hay que hacer para girar la dirección. Para lograr una cierta estabilidad en línea recta es necesario un avance positivo. El avance es positivo si el punto de contacto del neumático con el suelo está por detrás de la línea del eje de la dirección, como se puede observar en las ilustraciones anteriores. Con avances más pequeños la dirección es más fácil de girar, ya que los esfuerzos correctores que sufre el manillar son menores. Estos esfuerzos son mayores a mayor velocidad y menos perceptibles a velocidades menores. Pequeñas variaciones en el avance de una moto implican un cambio importante en su manejo a altas velocidades, aunque si no se conduce a velocidades altas y sobre todo si la moto tiene que circular por circuitos con curvas muy pronunciadas, dónde es necesario circular a velocidades bajas, un aumento en el avance no es tan perceptible.

Un factor importante a la hora de modificar el offset, es que no existen tijas con mayor offset que el que monta la moto de serie (22mm). Es decir, solo se puede o mantener o disminuir el offset, y de esta manera modificar la distancia entre ejes y el avance. El offset como mucho

se puede disminuir a 20mm, para la moto adquirida, ya que no se venden pletinas de dirección (tijas) con menor offset. Una diferencia de 2mm milímetros disminuiría la distancia entre ejes en 4,48mm, dado que dicha distancia viene dada por:

$$\frac{\Delta \text{Offsets}}{\sin(90 - \alpha)}$$

El avance con un Offset de 20mm quedaría de 127,23mm, con lo que se parecería más al de la Sm, aunque la distancia entre ejes fuera mayor.

Como ya se ha dicho antes, habría que llegar a un compromiso entre aumentar el avance y disminuir la distancia entre ejes o viceversa, modificando el offset de la moto. Dado que solo se puede o mantener o disminuir el offset, ya que no existen tijas con mayor offset que el de la moto de serie, se decide disminuir el offset a 20mm cambiando las tijas. La disminución de la distancia entre ejes prevalece a bajar velocidades frente al aumento del avance, ya que este a bajas velocidades es prácticamente inapreciable. Si por lo contrario el avance de la moto tras la modificación de las tijas queda demasiado largo, existe la posibilidad de modificarlo un poco subiendo las botellas de las suspensiones unos milímetros. Al subir las botellas la moto, esta se hunde por delante y el ángulo de la dirección aumenta. Al aumentar el ángulo disminuye el avance. Este retoque se puede realizar fácilmente una vez puesta a punto la moto, incluso antes de probarla en un circuito. Si por ejemplo se dispone de un circuito con más rectas, las botellas se pueden dejar en su posición natural, pero si al contrario la moto va a correr en un circuito muy revirado como en los de karting, en los que las velocidades máximas no superan los 130-150km/h, se suben las botellas ligeramente, mejorando así la respuesta de la moto en curvas pronunciadas.

Una vez decidido que se ha de modificar el offset, se buscan unas tijas en internet con offset de 20mm para la moto a modificar. Tras una búsqueda intensiva en internet se encuentran unas pletinas de dirección adecuadas, además fabricadas por el mismo fabricante que el de la moto, por lo cual se da por segura la compatibilidad con las horquillas y con el modelo.

El número de referencia de las tijas adquiridas es 7810199902004, y su precio es de 366€. Con este precio se logra ahorrar 234€ frente a lo calculado en el apartado del presupuesto total. La siguiente foto de la página oficial de repuestos de KTM muestra la pletina adquirida:



Figura 48: Tijas adquiridas con offset 20mm

Para el montaje de las nuevas tijas, es necesario desmontar las horquillas de la moto sin retirar la rueda, por lo que hay que apoyar la moto en un caballete, ya que no va a disponer de tren delantero durante el montaje de las nuevas tijas. Una vez desmontadas las horquillas se desmontan las tijas de serie y se sustituyen por las adquiridas, teniendo especial cuidado con los rodamientos cónicos que se sitúan dentro del eje de la dirección. Estos tienen que ir perfectamente alineados y engrasados. A continuación, se aprietan los tornillos a los pares

de apriete deseados (según el fabricante) y se vuelven a montar las horquillas con la rueda apretando los tornillos de sujeción también a los pares de apriete deseados en este caso 8Nm.

Tras modificar la geometría de la dirección de la moto y la distancia entre ejes de la moto, se procede a estudiar de qué modo se puede reducir la altura del centro de gravedad, o como se ha dicho antes la distancia libre al suelo de la moto. Esta se ha de reducir por lo menos 23,25mm para lograr que sea la misma de la Sm con la que se compara, pero es preferible reducir esta altura más, ya que cuanto más baje el centro de gravedad más mejora la maniobrabilidad de la moto. Dicha altura solo se puede reducir disminuyendo la longitud de los muelles de suspensión. Además, es conveniente endurecer las suspensiones, para adaptarlas a una conducción más deportiva y sobre asfalto, en la que el objetivo principal del sistema de amortiguación es mantener la rueda permanentemente en contacto con el asfalto.

En el libro ARIAS-PAZ se explica el funcionamiento de las horquillas telescópicas, la empleada en la moto adquirida, salvo que esta esta invertida (dada la vuelta): “El sistema de suspensión más empleado- y prácticamente universal- es la horquilla telescópica.

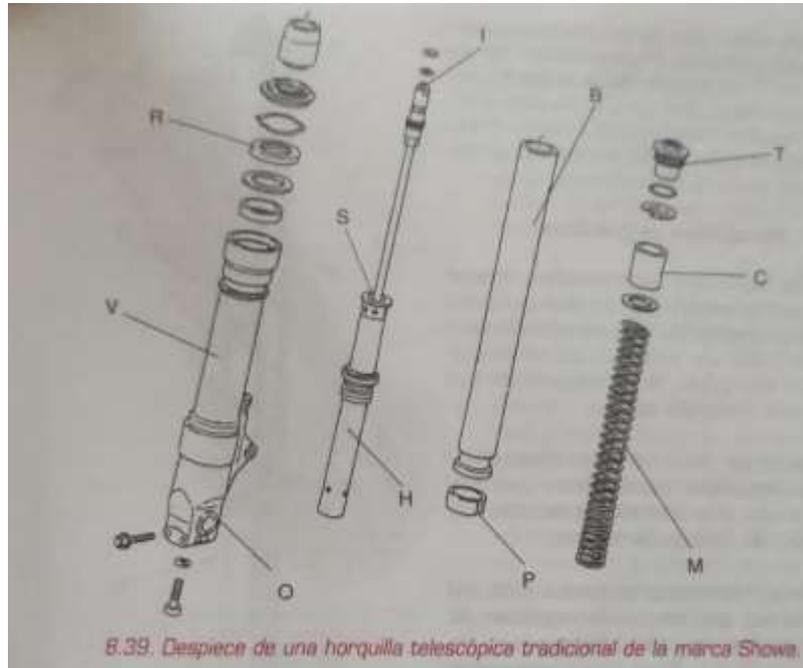


Figura 49: Horquilla telescópica, fuente Arias-Paz

Una de ellas ilustra la Fig.8.38 de Arias-Paz, en un sistema muy simple, la horquilla está formada por dos brazos B que unen la pipa de dirección P a la rueda R, anclándose respectivamente en las tijas T y en el eje de la rueda delantera E. Cada brazo está formado por dos tubos B y V, uno de mayor diámetro que el otro, y situados concéntricamente, de manera que uno de ellos puede introducirse en el interior del otro, variando la distancia existente entre el eje y las tijas. El sistema empleado para que este mecanismo realice tareas de suspensión es introducir un muelle M en su interior, de manera que cada brazo tienda siempre a estirarse al máximo, y a volver a esta posición tras comprimirse por el paso de un obstáculo. Para frenar las oscilaciones”, las oscilaciones de un muelle,” la parte inferior se rellena de aceite hidráulico H, y se instala también un freno de este tipo F.” Al estar llenas de aceite en su interior, es necesario intercalar un retén de goma que evita que existan pérdidas de aceite en las horquillas.

En la suspensión trasera de la moto adquirida se dispone de un monoamortiguador hidráulico regulable. Según el libro ARIAS-PAZ, mencionado anteriormente, “Los amortiguadores hidráulicos más sencillos disponen de una estructura semejante a la de la Fig. 8.56.

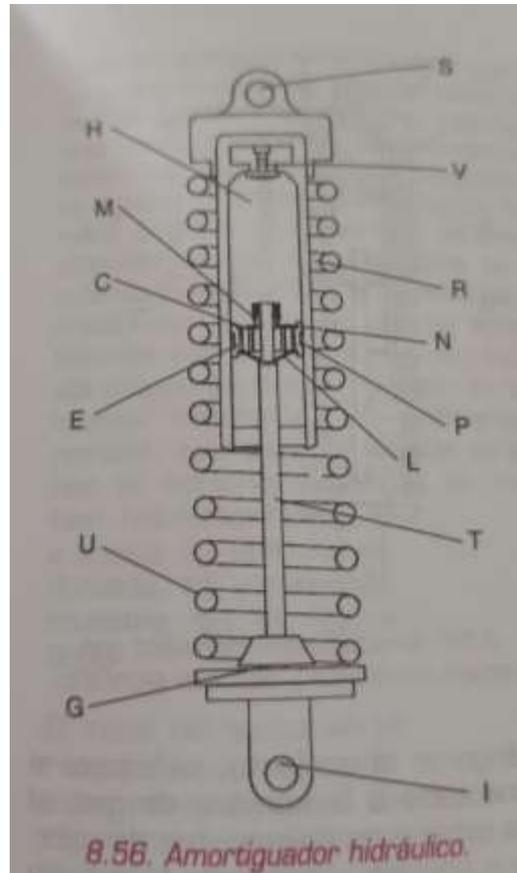


Figura 50: Amortiguador hidráulico, fuente Arias-Paz

Están formados por una estructura cilíndrica cerrada, en la cual se encuentra un pistón dotado de válvulas, bien realizadas con taladros, o bien que incorporen láminas, que es lo más usual. El pistón está unido a un vástago de manera que el cilindro se ancla a un extremo del amortiguador, y el vástago al otro, formando un mecanismo telescópico. El funcionamiento es muy sencillo. El trabajo elástico lo realiza el muelle helicoidal que se encuentra en el exterior, rodeando el amortiguador. Cuando el muelle se comprime, el pistón se introduce en el cilindro, estando este movimiento frenado por el paso del fluido hidráulico por las válvulas. La retención a compresión suele ser muy baja, si bien es cierto que complementa la resistencia de la deformación que ofrece el elemento elástico (en este caso el muelle), añadiendo por tanto una precarga adicional al mismo. Además, el aire o gas que queda por encima del aceite transvasado, al comprimirse, actúa como un elemento elástico

de tipo neumático.” Igual que en el caso de las horquillas telescópicas los amortiguadores hidráulicos también están completamente llenos de aceite en su interior, por lo que es necesario recurrir a retenes de goma, para mantener completamente estanca la superficie en contacto entre vástago y amortiguador.

La moto adquirida dispone de horquillas invertidas regulables y de un monoamortiguador regulable de la marca Wp, con la posibilidad de ajustarlos en tres parámetros: precarga, extensión y compresión. La precarga es la presión a la que se someten los muelles de la a suspensión previamente, antes de entrar en funcionamiento. Con esta medida se controla la dureza de los muelles del sistema de amortiguación y también modifica ligeramente la longitud del muelle al comprimirlo una distancia (D) (Fig.8.36 del Arias-Paz).

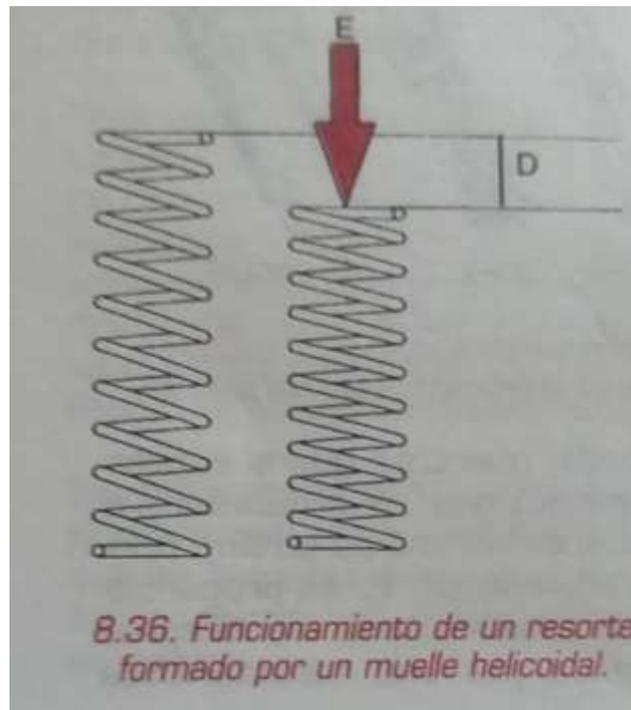


Figura 51: Precarga, fuente Arias-Paz

La extensión controla la velocidad a la que se extiende la suspensión, es decir la velocidad a la que se mueve hasta recuperar su posición original, tras comprimirse. Para que la extensión no suceda de una manera demasiado brusca y violenta, las suspensiones incorporan un amortiguador hidráulico, que se ubica en su interior. Realmente lo que se regula modificando la extensión de un amortiguador es el flujo de aceite del amortiguador hidráulico, siendo más rápida la velocidad de extensión cuanto mayor sea el paso de aceite y viceversa. El flujo se modifica cerrando o abriendo unos canalillos (C) que controla el paso del aceite (Fig. 8.41 del Arias-Paz).

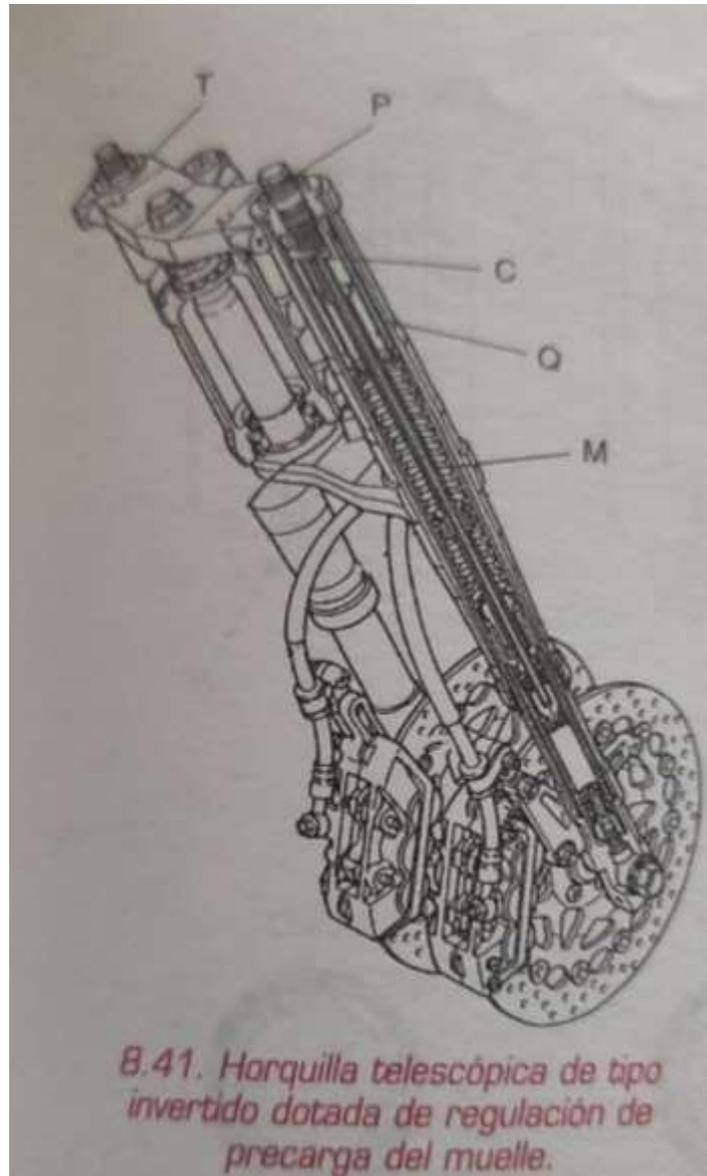


Figura 52: Horquilla telescópica invertida, fuente Arias-Paz

La compresión es el parámetro que controla la velocidad con la que se comprime la suspensión. Se controla de la misma forma que la extensión, pero con una aguja reguladora distinta. Los ajustes óptimos de la suspensión requieren de mucha experiencia, por eso existen técnicos, que se dedica exclusivamente a los sistemas de amortiguamiento y suspensiones. Aun así, para la moto del proyecto se ha de aumentar la precarga. De esta

manera, se lograría una menor altura de trabajo de la suspensión y con eso bajar la altura de la moto además de endurecer los muelles de las suspensiones. En cuanto a la extensión, se ha de aumentar la velocidad de extensión para que las ruedas no pierdan el contacto con el asfalto y no perder ni tracción ni dirección. Al contrario, en cuanto a la compresión, esta es preferible que sea algo más lenta para evitar que las suspensiones se compriman demasiado. En el caso de no poder ajustar suficientemente la dureza de las suspensiones mediante las regulaciones disponibles en el sistema de amortiguación, se deberán sustituir los muelles por unos con constantes elásticas mayores.

Por otra parte, para bajar la altura de la moto y con ello el centro de gravedad, se pretende modificar la longitud de los muelles de la suspensión por unos más cortos, aparte de poder modificar la precarga de los muelles y de esta manera también disminuirla. Buscando en internet se halla un kit de muelles especialmente diseñado para reducir la altura de la moto, que reduce la altura en 50mm. Este kit es de la misma marca que la moto y dispone de muelles con las mismas características que los de serie, según el fabricante, que coincide con el de la moto adquirida. Estos kits se suelen fabricar para adaptar la altura del asiento a la del conductor, ya que las motos de campo suelen tener alturas de asiento mas elevadas y conductores con una altura menor a la media pueden no llegar bien al suelo con la altura normal de estas motos. El kit encontrado es la solución perfecta para reducir la altura de la moto, pese a que se reduzca más de lo necesario para lograr que las características de la moto adquirida y la S_m con la que se compara sean iguales. La única restricción que impone el fabricante es que se recomienda que el piloto no supere los 70kg, para garantizar el correcto funcionamiento de la suspensión. El kit incluye los dos muelles de las horquillas, el muelle del amortiguador trasero y una pata de cabra más corta, para que la moto pueda posicionarse en esta sin caerse ya que si se mantuviera la misma pata de cabra la moto quedaría demasiado recta no se mantendría en pie. El número de referencia de dicho kit es 78012955044 y su precio es de 445,34€ en la casa oficial de KTM.

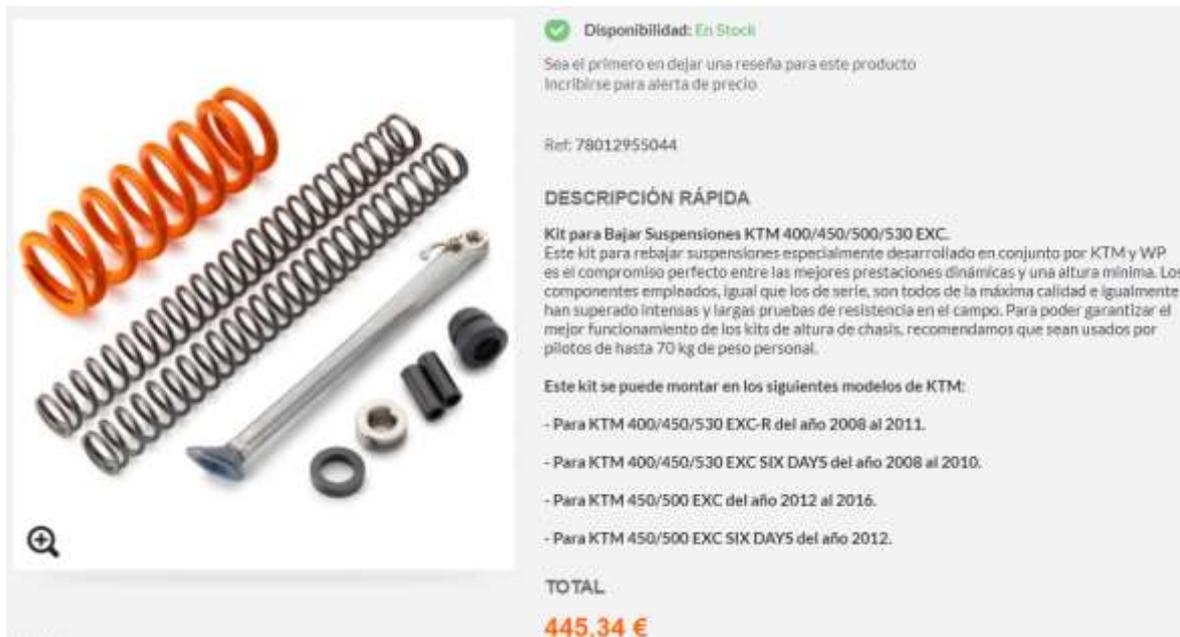


Figura 53: Muelles adquiridos para rebajar altura

Para el montaje de dichos muelles se prefiere recurrir a un taller especializado en suspensiones, para evitarse problemas de montaje. Se decide acudir al taller que ha asistido a la asociación de alumnos de la Universidad Pontificia de Comillas ISC, y se consulta un presupuesto del montaje. El presupuesto recibido es de 200€ incluyendo un ajuste especializado de las suspensiones al peso de un piloto de 68kg y para una conducción deportiva de una SM sobre circuitos de asfaltos con curvas muy reviradas. Dado que el coste total de las modificaciones no superaría el presupuesto calculado (700€) se decide asumir este. De esta manera se concluye con el objetivo de esta sección del proyecto, que es mejorar la maniobrabilidad de la moto, habiendo realizado las modificaciones relacionadas con la geometría de la moto. En resumen, se ha reducido la altura de la moto en por lo menos 50mm desde la modificación de las dimensiones de las ruedas, adaptado la dureza de las suspensiones al necesario, con ayuda de especialistas en sistemas de amortiguación y agilizado la moto, disminuyendo la distancia entre ejes y el avance de la moto. Con ello el comportamiento en curvas de la moto, tras las modificaciones es más dinámico y más fácil tumbar la moto y tomar curvas reviradas. Queda pendiente comprobarlo en circuito, pero por falta de tiempo y recursos se va a obviar.

3.3 DESARROLLO

El tercer objetivo consiste en ajustar el kit de transmisión y con ello el desarrollo de la moto, para así ajustar mecánicamente la velocidad máxima y la aceleración de la moto adquirida a las características de un circuito de Sm o de Karting, en los que las velocidades máximas rondan los 150 km/h por lo general. Estas características se modifican adaptando las dimensiones de la corona, el piñón y junto ellas las de la cadena si fuera necesario.



Figura 54: Kit de arrastre de moto de catálogo MotoKost

La transmisión en las motos puede efectuarse de muchas maneras: por correa de goma, por cadena o por cardán. Lo más común es la transmisión por cadena, que además es la que se emplea en el sector de campo. La transmisión por cadena se efectúa engranando la cadena al piñón de ataque, el eje de salida del motor, con la corona de la rueda trasera. En la imagen

anterior se puede visualizar un kit de transmisión de una moto. La siguiente figura muestra como está constituida una cadena de transmisión:

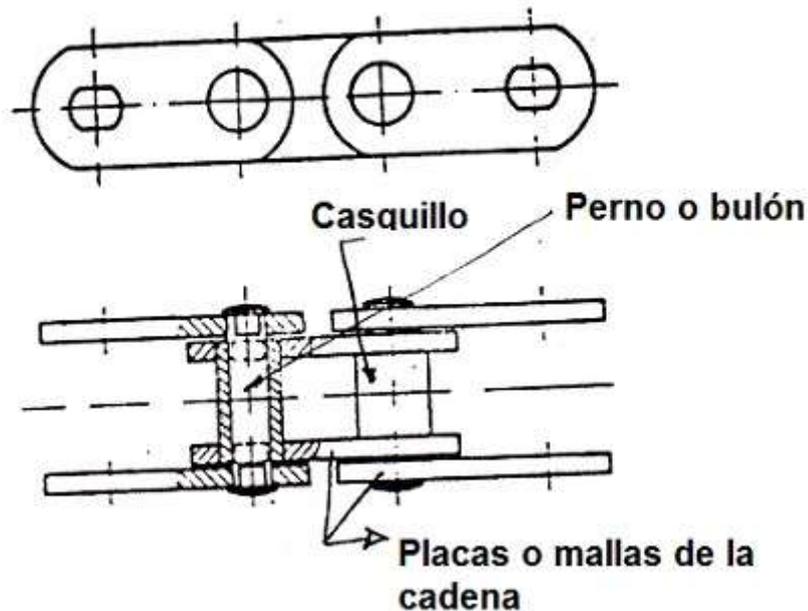


Figura 55: Cadena de transmisión

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

Las cadenas suelen dimensionarse según su paso y su ancho. El paso de una cadena es básicamente la distancia que existe entre cada eje de un perno que unen las placas.

El desarrollo de una moto con transmisión por cadena es muy fácil de modificar mecánicamente, sustituyendo la corona o el piñón de serie de la moto por uno con tamaño distinto.

Si se aumenta el tamaño de corona, añadiéndole más dientes y manteniendo el mismo paso, es decir, aumentando el radio, se logra una menor velocidad punta, pero aumenta el momento o par aplicado a la rueda trasera, es decir se logra una mayor aceleración. Si por lo contrario

se sustituye la corona por una con menos dientes, es decir se disminuye el radio de la corona, manteniendo todo lo demás igual, se logra mayor velocidad punta, pero se pierde aceleración de la moto.

En el caso del piñón de ataque ocurre todo lo contrario, si se aumentan las dimensiones de este, añadiendo dientes, la moto llegará a una velocidad punta mayor, pero perderá aceleración y viceversa.

Esto se debe básicamente a la relación de engranajes entre piñón y corona. La velocidad en movimiento de la cadena viene dada por la siguiente ecuación:

$$\omega_1 * R_1 = V_{Cadena} = \omega_2 * R_2$$

Siendo ω_1 la velocidad angular del eje del motor, ω_2 la velocidad angular de la rueda trasera y R_1 y R_2 son los radios del piñón y de la corona respectivamente. Estos se miden desde el centro del engranaje al centro de los bulones o pernos de la cadena, y coincide exactamente con la mitad de los diámetros primitivos comúnmente denominados D_p

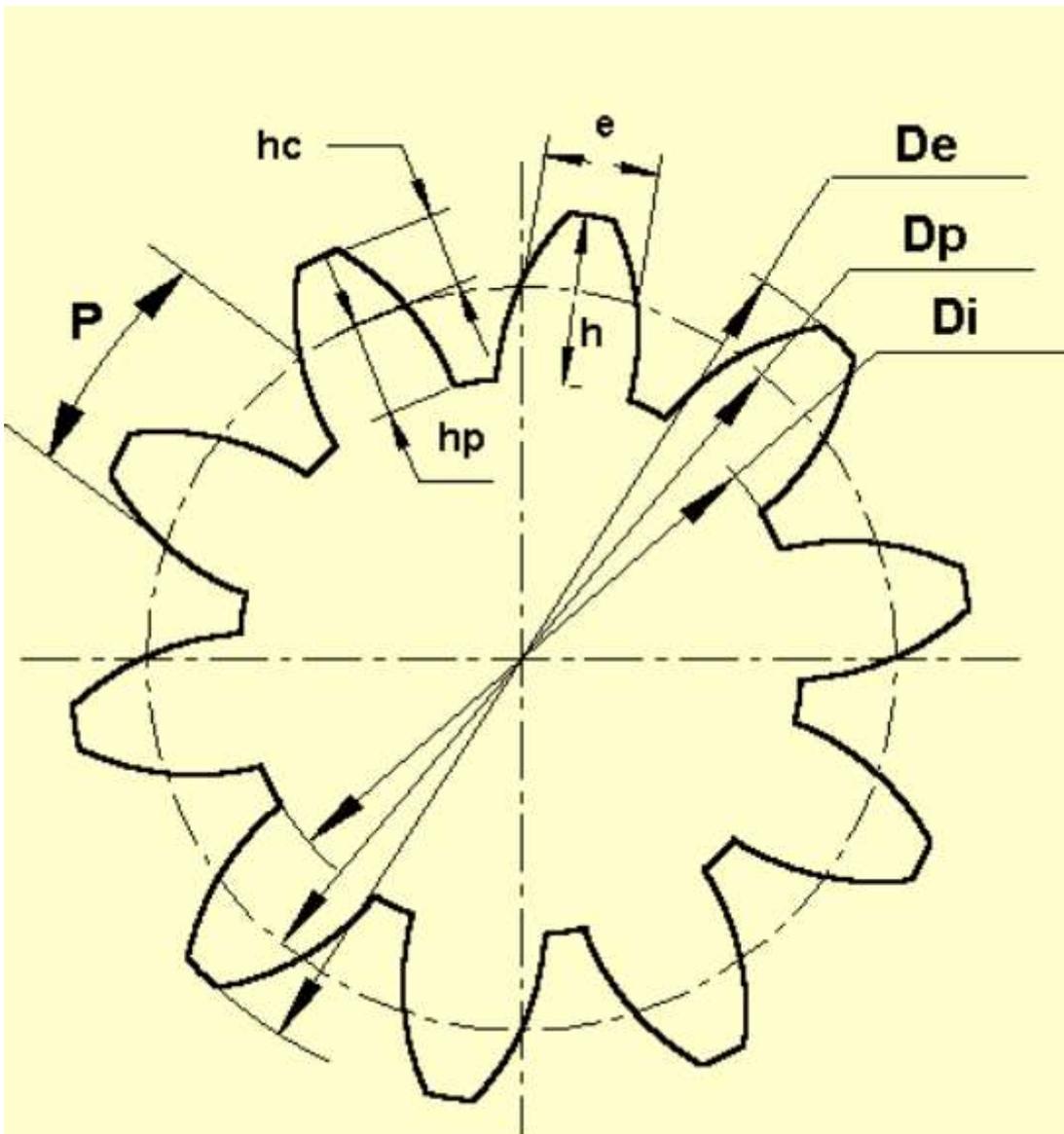


Figura 56: Piñón

Fuente: <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>

La velocidad de avance de la moto es proporcional la velocidad angular de la rueda trasera.

$$V_{moto} = \omega_2 * R_{Rueda}$$

El radio de la rueda es la distancia que existe entre el centro de giro del eje trasero y el suelo. Esta distancia se ha calculado anteriormente para realizar el cálculo del avance y en el caso de la moto adquirida es de 299,9 mm. Sustituyendo esta ecuación en la anterior se obtiene la ecuación que explica las diferencias que existen modificando las dimensiones de la corona o del piñón en relación con la velocidad de avance de la moto.

La ecuación resultante es la siguiente:

$$V_{moto} = \omega_1 * R_{Rueda} * \frac{R_1}{R_2}$$

La velocidad angular del piñón de ataque (ω_1) la marca la velocidad del motor, el régimen de vueltas al que este girando (rpm) y el radio de la rueda es un parámetro fijo. Por lo tanto, solo se puede variar la relación de radios primitivos entre piñón y corona. Es importante remarcar que al haber realizado una modificación en el tamaño de las ruedas previamente el radio de la rueda actual es mucho menor que el de la de serie y que esto también afecta al desarrollo de la moto, por lo que será necesario aumentar la relación entre el piñón y la corona. La relación de transmisión de dientes del piñón y de la corona de serie de la moto es 14/52, es decir el piñón dispone de 14 dientes, mientras que la corona de 52. Esta relación va asociada al directamente con el radio de ambas piezas, ya que, a mismo paso, si se aumentan los dientes aumenta el radio.

Con respecto al momento del motor, este transmite una fuerza a la cadena a través del piñón y esta le aplica la fuerza a la corona que lo transmite en momento a la rueda trasera. El momento aplicado a la rueda influye sobre la aceleración angular de la misma. A mayor momento aplicado en el eje de la rueda, más fácil sube la aceleración angular de la rueda y por tanto más puede acelerar la moto, en el caso de no derrapar, es decir manteniendo la rodadura. El motor transmite un momento al eje de giro del piñón, este momento, dividido entre su radio, es la fuerza o tensión que se le aplica a la cadena y esta transmite a la corona. Esta fuerza, multiplicada por el radio primitivo de la corona, da el momento aplicado al eje de giro de la rueda trasera de la moto. La ecuación que describe lo anterior es la siguiente:

$$M_1 * \frac{R_2}{R_1} = M_2$$

Es decir, la relación entre momentos es la inversa de la que existe entre las velocidades angulares. Para demostrar que el momento aplicado al eje de giro de la rueda afecta a la aceleración angular de una rueda es necesario estudiar la dinámica de traslación y de rotación de una rueda sin deslizar.

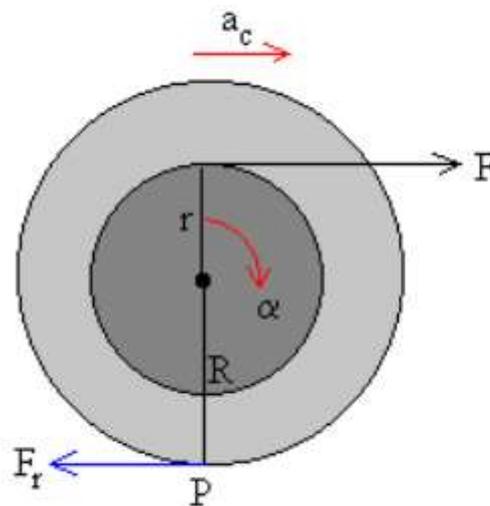


Figura 57: Dinámica de una rueda

Fuente: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/roz_rodadura/rozamiento.htm

En la figura anterior: F es la fuerza que aplica la cadena en la corona y Fr es la fuerza de rozamiento entre neumático y asfalto, r es el radio primitivo de la corona y R el radio de la rueda trasera. Realizando la dinámica de traslación del centro de masas de la rueda, resulta la siguiente ecuación:

$$F - F_r = m * a$$

Respecto a la dinámica de rotación de la rueda en el eje de giro, es decir también en el centro de masas resulta la siguiente ecuación:

$$F * r + F_r * R = I * \alpha$$

Además, la condición de rodadura implica que $\alpha * R$ tenga que ser igual a la aceleración del centro de masas (a). En cuanto lo explicado anteriormente M2 equivale a F*r.

Sustituyendo, se llega a la siguiente expresión, en la cual I es el momento de inercia y m la masa de la rueda:

$$a = \frac{F(1 + \frac{r}{R})}{m + I}$$

Como conclusión, a mayor la corona y la relación entre corona y piñón ($\frac{R1}{R2}$) mayor aceleración de la moto.

Cuando se realizó la modificación de las ruedas se compró el kit de ruedas de Sm que venía con un kit de transmisión con un desarrollo específico para las Sm. La relación de dientes en el kit que se adquirió y se montó es de 14/46, es decir la corona montada dispone de 6 dientes menos que la de serie. Con esto se compensa el efecto que decrece la velocidad de la moto al disminuir el tamaño de la rueda trasera y se logra subir la velocidad punta de la moto a unos 180 km/h. Además, la aceleración de las motos de campo por lo general es muy grande por su disposición del motor, que es de una cilindrada elevada para tratarse de un solo cilindro, por lo que el empuje, es decir el par, del motor, es también considerable. Estos motores son 4 tiempos, que son motores que no suben mucho de vueltas y menos si son monocilíndricos, por lo que les cuesta funcionar a un régimen alto de vueltas. Por eso, disminuir algo la aceleración acostaba de ganar velocidad en este caso es aceptable.

3.4 REPROGRAMACIÓN ECU

Con respecto al último objetivo a cumplir, que consistía en reprogramar la ECU (Engine Control Unit) de la moto, este no se puede realizar, ya que no se dispone de las herramientas necesarias para ello. Solo los talleres profesionales disponen de esta clase de maquinaria. Cuando se procedió a la resolución de este objetivo, se preguntó a la asociación de alumnos MOTOSTUDENT de ICAI si se dispone de alguna herramienta de este tipo en el taller en el que se trabaja para el montaje de su moto de competición, pero no se disponía de ninguna, más que solo una que permite solo reprogramar un modelo de moto, que no coincide con la moto convertida. Además, dicha herramienta solo sirve para cargar mapas de potencia ya predeterminados en la ECU no para realizar un nuevo mapa, con lo cual tampoco sirve para este proyecto.

Una vez concluidas todas las modificaciones anteriores se da por terminada esta sección del proyecto.

Capítulo 4. CONCLUSIONES

Como conclusión, se consideran los objetivos del trabajo cumplidos, ya que la moto de partida se ha logrado convertir exitosamente en una Sm. Además, se han realizado todas las modificaciones necesarias, justificándolas en base a cálculos teóricos. Gracias a ello se ha logrado un resultado válido y favorable, incluso efectuando las modificaciones más relevantes a nivel físico para poderla considerar una Sm de competición, preparada para poderla homologar y circular en vías públicas. Estos eran los objetivos que se habían establecido al principio de este proyecto.

Para comprobar si las modificaciones realizadas contribuyen exitosamente a los objetivos propuestos, lo ideal hubiera sido probar la moto en circuito antes de las modificaciones y después y comparar los resultados mediante telemetría, pero esto no ha sido posible por falta de tiempo y recursos. De esta manera se puede estudiar el funcionamiento de la moto y ver si la dinámica ha mejorado frente a la moto de serie sobre circuitos de asfalto. Esta información suele ser recogida por una serie de sensores que miden una serie de parámetros, como por ejemplo el ángulo de inclinación de la moto, la aceleración, la velocidad y la posición de la moto en el circuito. Además de la falta de tiempo, la telemetría es una tecnología relativamente cara y solo se usa en el mundo de la competición como Formula 1 o MotoGP. Al realizar el cálculo del presupuesto no se contó con la cantidad necesaria para poder utilizar dicha tecnología en la moto de este proyecto, además de los costes que suponen las tandas de circuito. Aun así, se puede concluir que los objetivos han sido cumplidos correctamente según la teoría explicada en cada apartado de las modificaciones. Además, la moto adquirida se ha convertido técnicamente en una Sm con características muy similares a las de una Sm de competición. Ciertos parámetros son incluso perfeccionables según el circuito sobre el que pueda circular la moto como por ejemplo el avance subiendo o bajando las botellas de las horquillas o la distancia entre ejes con el tensado de la cadena. En conclusión, se ha cumplido con lo propuesto en el inicio del proyecto y se ha logrado una

moto cuyas características técnicas y geométricas sean lo más similares posibles a los de una Sm de competición.

Por otra parte, también se ha logrado realizar el proyecto sin superar el presupuesto calculado al principio. Los gastos totales han sido:

| | |
|----------------------------|----------------|
| Moto inicial | 4000€ |
| Modificación ruedas | 1000€ |
| Modificaciones geométricas | 366€ |
| Suspensiones | 645,4€ |
| TOTAL | 6011,4€ |

Tabla 4: Costes totales del proyecto, elaboración propia

El presupuesto total calculado inicialmente fue de 9000€ y el resultante total de 6011,4€, lo cual supone un ahorro de 2988,6€, es decir se ahorra un 33,2% del presupuesto inicial. Esto permitirá reducir el precio de la moto a la hora de la venta y hacerla así más llamativa a posibles compradores.

Con respecto a las homologaciones que debe pasar la moto resultante, no se dispone de suficiente tiempo para completarlas durante el proyecto por lo que se realizarán más adelante, antes de la venta de la moto. Como el dinero destinado a esta parte del proyecto, que se incluyó en el presupuesto, no se va a desembolsar durante el proyecto, este se puede descontar de la cuenta anterior. Por lo que los ahorros han sido 1000€ más en realidad, si no se contabilizan los gastos en homologaciones en el proyecto. Cabe destacar que las únicas homologaciones que se han tenido en cuenta son las de las dimensiones de las ruedas, en las que se decidió montar las dimensiones de las ruedas que estaban incluidas en la ficha técnica de la moto adquirida, de esta manera se evitó tener que homologar ruedas de distinto tamaño.

Por otra parte, las modificaciones realizadas en el sistema de frenado, en las suspensiones, en la transmisión y en la dirección quedan pendientes homologar, si fuera necesario, para ello se ha de estudiar si las modificaciones realizadas se consideran reformas según el Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, de tipificación de las reformas de vehículos.

Dependiendo de las modificaciones realizadas es necesario realizar un proceso u otro para homologarla moto. Toda la información y el procedimiento de homologación de las diferentes reformas realizadas aparecen en el Real Decreto nombrado anteriormente. Para ello es necesario primero identificar la categoría de vehículo de la moto. Tras buscar en internet se llega a la conclusión, que la moto del proyecto es un vehículo de categoría L3e al tratarse de un vehículo a motor con menos de 4 ruedas que puede circular en la carretera y tiene un motor de combustión de cilindrada mayor que 50cm^3 y de velocidad máxima por encima de 45 km/h. Por lo general es necesario disponer de los siguientes documentos para el proceso de homologación de cada reforma realizada:

- Proyecto Técnico y certificación final de la obra firmado por un ingeniero industrial
- Informe de conformidad del fabricante de la moto
- Certificado del Taller, que instala las piezas modificadas

La realización de estos documentos tiene un costes importantes, y asciende cuantas más sean las reformas realizadas, que principalmente son modificaciones en los frenos, en la dirección, en las suspensiones, en la distancia entre ejes y en la transmisión, aunque esta última parece no considerarse reforma. El proceso de homologación se deja pendiente para más adelante, por su complejidad y el tiempo que conlleva, como se ha dicho anteriormente.. Una vez realizadas todas las homologaciones correspondientes se pretende vender la moto resultante a un precio un 10% a 20% mayor que el coste total del proyecto, ya que la moto resultante es una pieza única, una Sm con características prácticamente idénticas a las del sector de competición y totalmente homologada para circular por vías públicas..

Capítulo 5. BIBLIOGRAFÍA

ARIAS PAZ MOTOCICLETAS 33ª edición ISBN:84-96437-26-4

www.ktm.com

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/roz_rodadura/rozamiento.htm

<http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

<https://sparepartsfinder.ktm.com/>

<https://www.motorcycle.com/ask-mo-anything/whats-the-difference-between-rake-and-trail.html/attachment/042417-ask-mo-rake-trail-2>

<https://www.boe.es>

<https://neumaticos-online.es/>