



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de las modificaciones de un BMW M4 F82
para mejorar sus prestaciones en circuito

Autor: Gonzalo Rein Sola

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de las modificaciones de un BMW M4 F82 para mejorar sus prestaciones en
circuito

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 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.: Gonzalo Rein Sola

Fecha: 23/06/2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

DE NORVERTO
MORIÑIGO JUAN
- 09746499L

Firmado digitalmente por
DE NORVERTO MORIÑIGO
JUAN - 09746499L
Fecha: 2023.06.26 12:08:28
+02'00'

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha://



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de las modificaciones de un BMW M4 F82
para mejorar sus prestaciones en circuito

Autor: Gonzalo Rein Sola

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

ESTUDIO DE LAS MODIFICACIONES DE UN BMW M4 F82 PARA MEJORAR SUS PRESTACIONES EN CIRCUITO

Autor: Rein Sola, Gonzalo.

Director: Norberto Moriñigo, Nombre.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centra en mejorar el rendimiento de un BMW M4 F82 para su uso en circuito, pero sin perder la homologación para circular por la vía pública en España. Se busca potenciar el motor del vehículo, seleccionando y justificando las piezas necesarias para alcanzar una potencia máxima de 700-750 CV y 800-900Nm de par motor. Una vez seleccionadas las piezas se llevará a cabo un estudio matemático para comprobar si se alcanzan las cifras objetivo. Realizando un análisis exhaustivo del motor se identifican sus puntos débiles y se proponen soluciones.

El chasis también es objeto de estudio, pero de forma mucho más superficial, se abordan mejoras en la suspensión, frenos y aerodinámica. El objetivo de esta parte es encontrar las mejores opciones dentro del mercado “aftermarket” que se adapten a las necesidades del proyecto y cumplan los requisitos de homologación.

Un aspecto crucial del proyecto es la homologación de las modificaciones realizadas. Se recopila la información necesaria y se analizan los reglamentos pertinentes para asegurar que el vehículo cumple con todos los requisitos legales.

Por último se estima el presupuesto total del proyecto y se compara con las prestaciones iniciales del vehículo y otros automóviles de categoría similar. Con esto, se permite evaluar la relación coste-rendimiento y determinar la viabilidad económica.

Palabras clave: BMW M4, BMW, tracktool, homologar, circuito, coche, carreras

1. Introducción

La afición por los coches lleva presente mucho tiempo entre nosotros, sin embargo, en la última década, esta pasión ha reunido un gran número de personas. Dentro de esta afición hay muchas modalidades, pero una de las preferidas es competir en circuito. Por desgracia la gran mayoría de vehículos con prestaciones deportivas salen de fábrica muy “blandos” para esta tarea y no todo el mundo se puede permitir un coche designado para dicha función. En este proyecto haremos un análisis de las modificaciones necesarias para mejorar las prestaciones de un vehículo en circuito. Se realizarán ensayos con simulaciones y si es posible, sobre un modelo real. El vehículo deberá cumplir la legislación para circular por la vía pública y por tanto deberá estar homologado. El coche que escogeremos será un BMW M4 F82 ya que es una plataforma que ofrece grandes prestaciones y mucho potencial a la hora de modificarlo. Todas las modificaciones se

realizarán sobre esta plataforma partiendo del modelo de fábrica (tal y como lo vende la marca BMW en sus concesionarios). Se abarcará el chasis y sobre todo el motor. Para facilitar el proceso y abaratar los costes, trataremos de modificarlo con piezas disponibles en el mercado 'aftermarket'.

2. Definición del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo principal analizar y realizar las modificaciones en un BMW M4 F82, con el fin de mejorar las prestaciones y adaptarlo para uso en circuito manteniendo la homologación de calle. El proyecto se enfoca en la optimización del chasis y del motor, con mayor énfasis en el motor.

Con el termino modificaciones se refiere a la incorporación de componentes y sistemas adicionales, así como la adaptación de elementos existentes, con el propósito de mejorar la estabilidad control, potencia y respuesta del vehículo en situaciones de alta exigencia como puede ser un circuito.

Es importante destacar que todas las modificaciones realizadas en el vehículo deberán cumplir con los requisitos de homologación establecidos por la legislación vigente para permitir su circulación en vías públicas.

3. Resultados

Los resultados obtenidos se dividirán en dos partes. Por un lado, se evaluará la potencia alcanzada tras las modificaciones realizadas en el motor, con el objetivo de lograr una potencia de 700-750 CV y un par motor de 800-900 Nm. Estos datos servirán para medir el impacto de las mejoras en la potencia y rendimiento del vehículo.

Por otro lado, se realizarán comparaciones con preparaciones de chasis similares, analizando los tiempos obtenidos en circuito. Se tomarán como referencia las vueltas realizadas en circuitos exigentes, como el famoso Nürburgring, para evaluar el desempeño del BMW M4 modificado en comparación con otros vehículos con características similares.

Además, se llevará a cabo una comparación de precios, evaluando el coste total del proyecto en relación a otros vehículos de prestaciones similares disponibles en el mercado. Esto permitirá analizar la relación coste-rendimiento del BMW M4 modificado en comparación con otros vehículos disponibles.

4. Conclusiones

Se logran los objetivos planteados en este proyecto. Por un lado, mediante la simulación matemática se confirma que se alcanzan las cifras propuestas en términos de potencia y rendimiento del motor. Aunque este análisis no sea de alta precisión, se considera válido

debido a la comparación con otras preparaciones similares que respaldan los resultados obtenidos. En cuanto a la parte del chasis, si bien no se puede realizar una aproximación matemática directa, la selección de las piezas junto con un análisis adecuado nos aseguran un buen rendimiento en circuito.

Además, el precio total de las modificaciones, incluyendo mano de obra y homologación, se encuentra significativamente por debajo de los precios de vehículos con un rendimiento y características similares en circuito. Esto demuestra una relación coste-rendimiento muy favorable.

ANALYSIS OF MODIFICATIONS NEEDED TO IMPROVE A BMW M4 F82'S PERFORMANCE ON THE TRACK

Author: Rein Sola, Gonzalo.

Supervisor: Norberto Morínigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI– Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This Bachelor's Degree Final Project (TFG) focuses on improving the performance of a BMW M4 F82 for circuit use while maintaining its street legality in Spain. The aim is to enhance the vehicle's engine by selecting and justifying the necessary components to achieve a maximum power output of 700-750 HP and 800-900 Nm of torque. Once the components are chosen, a mathematical study will be conducted to verify if the target figures are attained. Through a comprehensive analysis of the engine, its weak points are identified, and solutions are proposed.

The chassis is also examined, albeit in a more superficial manner, addressing improvements in suspension, brakes, and aerodynamics. The goal of this aspect is to find the best options within the aftermarket market that suit the project's needs and meet the homologation requirements.

A crucial aspect of the project is the homologation of the modifications made. The necessary information is compiled, and the relevant regulations are analyzed to ensure that the vehicle complies with all legal requirements.

Lastly, the total budget of the project is estimated and compared with the initial performance of the vehicle and other similar category cars. This allows for evaluating the cost-performance ratio and determining the economic viability.

Keywords: BMW M4, BMW, tracktool, circuit, racetrack, car, racing

1. Introduction

The passion for cars has been present among us for a long time; however, in the last decade, this passion has brought together a large number of people. Within this hobby, there are many modalities, but one of the favorites is competing on the racetrack. Unfortunately, the vast majority of high-performance vehicles come from the factory with a very "soft" setup for this task, and not everyone can afford a car specifically designed for it. In this project, we will analyze the necessary modifications to improve the performance of a vehicle on the racetrack. We will conduct tests using simulations and, if possible, on an actual model. The vehicle must comply with the regulations for road use and, therefore, must be street legal. The car we will choose is a BMW M4 F82 since it is a platform that offers great performance and a lot of potential for modification. All modifications will be made to this platform starting from the factory model (as sold by the BMW brand in its dealerships). We will focus on the chassis and, above all, the

engine. To facilitate the process and reduce costs, we will try to modify it with aftermarket parts available in the market.

2. Definition of the Project

The main objective of this project is to analyze and modifying a BMW M4 F82 in order to enhance its performance and adapt it for track use while maintaining its road use certificate. The project focuses on optimizing both the chassis and the engine, with a greater emphasis on the engine.

Modifications may be incorporation of additional components and systems, as well as the adaptation of existing elements, with the purpose of improving stability, control, power, and responsiveness of the vehicle in high-demand situations, such as on the racetrack.

It is important to highlight that all modifications made to the vehicle must comply with the homologation requirements established by current legislation to allow for its circulation on public roads.

3. Results

The obtained results will be divided into two parts. Firstly, the power achieved after the modifications made to the engine will be evaluated, aiming to reach a power output of 700-750 HP and 800-900 Nm of torque. This data will be useful to measure the impact of the improvements on the vehicle's power and performance.

Secondly, comparisons will be made with similar chassis setups, analyzing the lap times achieved on the racetrack. It will focus on demanding circuits, such as the famous Nürburgring, to evaluate the performance of the modified BMW M4 compared to other vehicles with similar characteristics.

Furthermore, a price comparison will be conducted, evaluating the total cost of the project in relation to other similarly performing vehicles available in the market. This will allow for analyzing the cost-performance ratio of the modified BMW M4 compared to other available vehicles.

4. Conclusions

The objectives set in this project have been successfully achieved. Firstly, through mathematical simulations, it has been confirmed that the proposed figures in terms of engine power and performance are attainable. Although this analysis may not be highly precise, it is considered valid due to the comparison with other similar setups that support the obtained results.

Regarding the chassis, although a direct mathematical approximation cannot be made, the selection of the components, combined with appropriate analysis, ensures good performance on the racetrack.

Furthermore, the total cost of the modifications, including labor and homologation, is significantly lower than the prices of vehicles with similar performance and behavior on the racetrack. This demonstrates a highly favorable cost-performance ratio.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Motivación del proyecto.....	9
1.2 Objetivos del proyecto.....	10
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	11
Capítulo 3. Definición del Trabajo	12
3.1 Justificación.....	12
3.2 Objetivos	12
3.3 Metodología.....	13
Capítulo 4. Análisis y evaluación del motor	14
4.1 Datos técnicos.....	14
4.2 Parte mecánica.....	15
4.2.1 Bloque motor	15
4.2.2 Cigüeñal	17
4.2.3 Pistones	18
4.2.4 Admisión y culata	20
4.3 Distribución.....	24
4.4 Suministro de aceite	28
4.5 Sistema de Admisión.....	33
4.6 Escape.....	34
4.7 Refrigeración.....	36
Capítulo 5. Mejoras pre-potenciación.....	39
5.1 Crank-Hub.....	39
5.2 Charge pipes	42
Capítulo 6. Modificación y potenciación	44
6.1 Admisión	45
6.2 Turbocompresores	49
6.3 Downpipe y escape.....	50
6.4 Intercambiador (Intercooler) y radiadores.....	52

6.5	Kit de metanol	55
6.6	Software	56
6.7	Justificación matemática	57
6.7.1	Mapa stock.....	61
6.7.2	Mapa 2.....	61
6.7.3	Mapa 3.....	62
6.7.4	Mapa 4.....	63
Capítulo 7. Modificación del chasis.....		64
7.1	frenos.....	64
7.1.1	Frenada delantera.....	64
7.1.2	Frenada trasera.....	65
7.1.3	Discos delanteros	66
7.1.4	Pastillas delanteras y traseras	67
7.1.5	Latiguillos.....	68
7.1.6	Refrigeración frenada delantera	69
7.2	Llantas	69
7.3	Paneles.....	70
7.3.1	Capó	70
7.3.2	Puertas.....	71
7.4	Aerodinámica	72
7.5	Suspensión.....	72
Capítulo 8. Homologación		74
8.1	Pre - potenciación.....	75
8.1.1	Crank-Hub.....	75
8.1.2	Charge pipes.....	75
8.2	Modificaciones del motor.....	75
8.2.1	J Pipe.....	75
8.2.2	Admisión Eventuri	75
8.2.3	Turbocompresores TTE740.....	76
8.2.4	Downpipes y tramo final de escape.....	77
8.2.5	Intercooler Wagner	78
8.2.6	Kit metanol	78

8.2.7 Reprogramación.....	79
8.3 Modificaciones del chasis	80
8.3.1 Frenos delanteros y traseros.....	80
8.3.2 Llantas.....	81
8.3.3 Suspensión y cojinetes	82
8.3.4 Alerón y paneles de fibra de carbono.....	83
8.4 Presupuesto y comparación	85
Capítulo 9. Alineación con ODS.....	87
Capítulo 10. Bibliografía.....	88
ANEXO I	90
ANEXO II	99
ANEXO III	107
ANEXO IV	115

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - Gráfica de par y potencia [BMWAG14].....	15
Ilustración 2 - Desglose bloque motor [BMWAG14]	16
Ilustración 3 - Orificios de ventilación del cigüeñal [BMWAG14]	17
Ilustración 4 - Cigüeñal S55 [BMWAG14].....	18
Ilustración 5 - Pistón S55 [BMWAG14]	19
Ilustración 6 - Cámara de combustión [BMWAG14]	19
Ilustración 7 - Admisión y culata en modo atmosférico [BMWAG14]	21
Ilustración 8 - Admisión y culata en modo Boost [BMWAG14].....	23
Ilustración 9 - Esquema de la culata [BMWAG14]	25
Ilustración 10 - Sistema VANOS [BMWAG14].....	26
Ilustración 11 - Árboles de levas y sistema Valvetronic [BMWAG14].....	27
Ilustración 12 - Circuito de aceite [BMWAG14]	29
Ilustración 13 - Esquema bloque, vista desde culata [BMWAG14].....	31
Ilustración 14 - Intercambiador de aceite [BMWAG14].....	32
Ilustración 15 - Esquema de admisión [BMWAG14]	33
Ilustración 16 - Esquema de sistema de escape original	35
Ilustración 17 - Esquema de refrigeración [BMWAG14]	36
Ilustración 18 - Esquema térmico de refrigeración [BMWAG14]	37
Ilustración 19 - Foto de Crank-Hub y motor [AXEL23].....	39
Ilustración 20 - Esquema Crank-Hub 1 [BMWANET].....	40
Ilustración 21 - Esquema Crank-Hub 2 [BMWANET].....	40
Ilustración 22 - VTT Crank – Hub [VARG]	41
Ilustración 23 - Esquema Admisión zoom [BMWAG14].....	42
Ilustración 24 - Charge pipes Mishimoto [MISH]	43
Ilustración 25 - J Pipe VTT [VARG]	46
Ilustración 26 - Diagrama de admisión. Elaboración propia.....	46
Ilustración 27 - Esquema filtro de aire [EVEN]	47
Ilustración 28 - Esquema Eventuri [EVEN].....	48

Ilustración 29 - Admisión Eventuri Carbono [EVEN]	48
Ilustración 30 - Palas de aire [EVEN]	49
Ilustración 31 - Turbos S55 TTE 740 [TTE]	49
Ilustración 32 - Conexion Turbos TTE [TTE].....	50
Ilustración 33 - Downpipes HJS S55 [HJS]	51
Ilustración 34 - Sistema de escape Akrapovič 1 [AKRA].....	51
Ilustración 35 - Sistema de escape Akrapovič 2 [AKRA].....	52
Ilustración 36 - Caudal/Caída de presión [WAGN]	53
Ilustración 37 - Temperatura Water Cooler [WAGN].....	53
Ilustración 38 - Diagrama de temperatura Watercooler [WAGN]	54
Ilustración 39 - Radiadores frontal y lateral [WAGN]	55
Ilustración 40 - Kit metanol [SNOW]	56
Ilustración 41 - Datalog 3º marcha [DATZ].....	57
Ilustración 42 - Frenada delantera AP Racing [APRA]	65
Ilustración 43 - Frenada trasera AP Racing [APRA]	66
Ilustración 44 - Discos delantero AP/Schirmer [SCHI]	67
Ilustración 45 - Pastilla AF404 [APRA].....	67
Ilustración 46 - Pastilla AP401 [APRA].....	68
Ilustración 47 - Latiguillos de acero [DRIF]	68
Ilustración 48 - Refrigeración frenos [SCHI].....	69
Ilustración 49 - BBS E88 [SCHI]	70
Ilustración 50 - Capó carbono [SCHI].....	71
Ilustración 51 - Puertas Carbono SCHI].....	71
Ilustración 52 - Aleron Carbono [SCHI]	72
Ilustración 53 - Nitron R3 [NITR].....	73
Ilustración 54 - Rótulas Uniball [SCHI].....	73
Ilustración 55 - ECE escape [AKRA].....	77

Índice de gráficas

Gráfica 1 – Curva de potencia Stock	61
Gráfica 2 - Curva de potencia Mapa 2.....	62
Gráfica 3 - Curva de potencia mapa 3	63
Gráfica 4 - Curva de potencia mapa 4	63

Índice de tablas

Tabla 1 - Especificaciones técnicas S55.....	14
Tabla 2 - Desglose bloque motor.....	16
Tabla 3 - Partes cigüeñal	18
Tabla 4 - Partes de la cámara de combustión	20
Tabla 5 - Esquema de admisión.....	22
Tabla 6 - Partes de la culata.....	26
Tabla 7 - Partes del sistema VANOS	27
Tabla 8 - Esquema árboles de levas y Valvetronic.....	28
Tabla 9 - Partes circuito de aceite.....	30
Tabla 10 - Partes del bloque visto desde culata.....	31
Tabla 11 - Partes del intercambiador de aceite.....	32
Tabla 12 - Partes de la admisión.....	34
Tabla 13 - Partes del sistema de escape.....	35
Tabla 14 - Partes del sistema de refrigeración.....	37
Tabla 15 - Partes del esquema térmico	38
Tabla 16 - Actos Reglamentarios 2.1 [REFO22]	76
Tabla 17 - Documentación necesaria 2.1 [REFO22].....	76
Tabla 18 - Info adicional 2.1 [REFO22].....	77
Tabla 19 - Información adicional 2.1 [REFO22]	78
Tabla 20 - Actos Reglamentarios 2.7 [REFO22]	78
Tabla 21 - Documentación necesaria 2.7 [REFO22].....	79
Tabla 22 - Actos Reglamentarios 2.9 [REFO22]	79
Tabla 23 - Documentación necesaria 2.9 [REFO22].....	80
Tabla 24 - Actos Reglamentarios 7.1 [REFO22]	80
Tabla 25 - Documentación necesaria 7.1 [REFO22].....	81
Tabla 26 - Actos reglamentarios 4.4 [REFO22].....	81
Tabla 27 - Documentación necesaria 4.4 [REFO22].....	82
Tabla 28 - Actos reglamentarios 5.1 [REFO22].....	82

Tabla 29 - Documentación necesaria 5.1 [REFO22].....	83
Tabla 30 - Actos Reglamentarios 8.52 [REFO22]	83
Tabla 31 - Documentación necesaria 8.52 [REFO22].....	84
Tabla 32 - Presupuesto BMW Tracktool.....	85

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una introducción de este proyecto con el ánimo de despertar el interés del lector por el mismo y describiendo la motivación del proyecto.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La realización de este proyecto viene motivada en gran parte por la pasión por los coches y lo difícil que es en España poder modificarlos para mejorar su rendimiento en circuito. Otra motivación importante para realizar este proyecto es la posibilidad de poner en práctica mis conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería. El poder aplicar los conocimientos teóricos a un proyecto real es muy valioso, ya que me permitirá desarrollar habilidades técnicas y prácticas esenciales para mi futura carrera profesional. Además, el mundo del automovilismo es muy competitivo y estar al día con las últimas tecnologías y tendencias es esencial para poder destacar en el campo. Con este proyecto, tengo la oportunidad de investigar y experimentar con diferentes técnicas y componentes para mejorar el rendimiento del coche, lo que me permitirá estar al día con las últimas tendencias y tecnologías en el mundo del automovilismo.

Otro de los motivos por los que quiero realizar este trabajo es la homologación, esta solo la puede firmar ingeniero industrial. Es difícil encontrar un coche modificado para uso en circuito que cumple con todas las normas y regulaciones para su uso legal en vía pública sin tener que preocuparme por los problemas legales.

Lo que se busca con este trabajo es mejorar un coche para uso recreacional en circuito o incluso competición amateur manteniendo su uso legal en la vía pública.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del trabajo es mejorar el rendimiento en circuito manteniendo la legalidad para circular por la calle. Si bien el enfoque principal del proyecto se centra en las modificaciones del motor para incrementar la potencia, también se abordarán de manera superficial otros aspectos clave, como el chasis y el sistema de frenado.

Para lograr una mayor aceleración, se llevará a cabo una optimización exhaustiva del motor, que incluirá aspectos como la mejora de la refrigeración, el sistema de sobrealimentación, la admisión y el escape. Estos componentes serán analizados y modificados en función de los resultados que se vayan obteniendo a lo largo del proyecto.

En cuanto a la mejora de la frenada, se realizará un estudio de los diferentes componentes que conforman el sistema, como los discos y las pastillas de freno. Este análisis será superficial en comparación con el enfoque principal del motor, se buscará identificar posibles mejoras que contribuyan a un rendimiento óptimo en pista.

El mejor paso por curva se abordará mediante mejoras en las suspensiones, el chasis y los neumáticos. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y el control del vehículo en las curvas, y se explorarán opciones de mejora para maximizar el rendimiento en este aspecto.

Todas estas modificaciones estarán acompañadas de una reducción de peso y una mejora aerodinámica. Estos aspectos complementarios son esenciales para optimizar el desempeño general del vehículo en circuito, permitiendo aprovechar al máximo las mejoras realizadas en el motor, el chasis y la frenada.

El trabajo se centra principalmente en las modificaciones del motor para incrementar la potencia, pero también se explorarán de manera superficial los demás componentes citados ya que contribuyen al rendimiento general del vehículo.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Existen diversas soluciones tecnológicas disponibles en el mercado para mejorar las prestaciones en circuito de un vehículo. Algunas de estas soluciones incluyen la incorporación de suspensiones ajustables, frenos de competición, neumáticos de alto rendimiento y mejoras en la refrigeración del motor.

Es importante destacar que, si bien se han realizado proyectos similares en el pasado, no es muy común encontrarlos en el contexto español. Estos tipos de modificaciones suelen llevarse a cabo en países con legislaciones más flexibles en cuanto a la reforma o modificación de vehículos y una cultura automovilística más desarrollada.

En el ámbito internacional, existen empresas especializadas en preparaciones de vehículos de circuito, como Manthey Racing y Litchfield Motors. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos servicios suelen ser costosos y las modificaciones realizadas no siempre están homologadas para su uso en vías públicas.

Al realizar este análisis de soluciones existentes, surge la pregunta clave que justifica la realización de este proyecto: ¿por qué se lleva a cabo esta investigación y estas modificaciones en el vehículo en particular? La respuesta puede radicar en la necesidad de adaptar estas soluciones a las especificidades del contexto español, buscando alternativas más accesibles y homologadas que permitan mejorar el rendimiento en circuito sin perder la legalidad para circular por la calle. Además, es importante destacar que los pocos vehículos con un enfoque más deportivo como puede ser un Porsche GT3 suelen tener precios muy elevados lo que limita su accesibilidad para muchos aficionados.

Este proyecto se justifica por la necesidad de ofrecer opciones más asequibles y adaptadas al contexto español. Se busca superar las limitaciones actuales del mercado y permitir que un mayor número de personas puedan disfrutar de las altas prestaciones en circuito sin interferir con la legislación impuesta en la vía pública.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

A la vista del Capítulo 3, este proyecto busca mejorar el rendimiento de un BMW M4 F82 para su uso en circuito, así como homologarlo para su uso en vía pública y conseguir un vehículo con prestaciones similares o superiores a otros automóviles cuyo coste es más elevado. La motivación va más allá de un simple interés técnico. Se centra en el potencial de captar el interés de los entusiastas de los automóviles deportivos que busquen alternativas más accesibles y legales para uso carretera y circuito.

Actualmente no hay ningún proyecto que detalla y justifica las modificaciones específicas de un BMW M4 F82 con la posibilidad de ser homologado. Aquí radica la fortaleza y valor de este estudio.

3.2 OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto necesarios para llevar a cabo la mejora de prestaciones son los siguientes:

- **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL MOTOR**
En este apartado se hará un desglose de las partes más importantes del motor para conocer la base desde la que se parte. Esto nos permitirá saber el potencial de este motor y los posibles puntos débiles del mismo.
- **MEJORAS PRE-POTENCIACIÓN**
Se listan los puntos débiles encontrados con las piezas que puedan fallar y una solución de los mismos.
- **MODIFICACIÓN Y POTENCIACIÓN DEL MOTOR**
Elección de piezas que serán necesarias sustituir para conseguir una potencia máxima de 700-750cv y 800-900Nm. El objetivo de este apartado no solo es buscar las piezas, si no justificar la sustitución de forma teórica y matemática. Estas piezas se deben poder homologar.

- **MODIFICACIÓN DEL CHASIS**
Se realiza un estudio superficial de las mejoras de suspensión, frenos y aerodinámica. El objetivo es buscar la mejor alternativa para este tipo de proyecto dentro de las numerosas opciones que se ofrecen en el mercado “aftermarket”.
- **HOMOLOGACIÓN**
El propósito de este trabajo es conseguir que sea legal para su uso en la vía pública. Por ello en esta parte se listarán todas las modificaciones con su reglamento pertinente y documentación necesaria para ser homologadas.
- **PRESUPUESTO Y COMPARACIÓN**
Por último, se estimará el coste de todo el proyecto y se compara con las prestaciones iniciales y las de otros vehículos de categoría igual o superior.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología que se va a seguir va unida al apartado anterior, se hace un análisis completo del coche de serie y se estudia sus puntos débiles. Una vez conocida la base desde la que se parte, observando cada parte del vehículo se buscarán posibles soluciones y mejoras.

Será necesaria una búsqueda en profundidad del mercado para encontrar las piezas que mejor se adapten a las necesidades de este proyecto. Una vez escogidas las piezas se realizará una simulación matemática para comprobar que los objetivos se cumplen.

Para la parte del chasis, el estudio es mas superficial y simplemente se escogerá la mejor alternativa que se ofrece en el mercado con las restricciones de homologación y adaptabilidad al modelo escogido.

Completado el proyecto, se llevará a cabo un proceso de homologación para garantizar que el coche cumple con todos los requisitos legales para circular por la vía pública.

Nota: el estudio e investigación de las piezas no se limita únicamente a búsquedas en internet, sino que implica también el contacto directo con profesionales, talleres y otras personas que puedan brindar valiosos aportes.

Capítulo 4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL MOTOR

En este capítulo se llevará a cabo un minucioso desglose, categorización y análisis de las partes más significativas del motor, con el objetivo de adquirir un profundo conocimiento sobre su estructura y funcionamiento fundamental. Este enfoque proporcionará una comprensión detallada de la base desde la que partimos, permitiéndonos evaluar de manera precisa el potencial inherente a este motor.

4.1 DATOS TÉCNICOS

El BMW M4 F82 tiene un motor de 3 litros y 6 cilindros en línea llamado S55B30T0. Este motor está sobrealimentado por dos turbocompresores iguales, uno para cada 3 cilindros.

A continuación, se muestra una tabla con los datos técnicos

Motor	S55B30T0
Disposición	6 en línea
Cilindrada	2,979cm ³
Carrera	89,6mm
Potencia	317kw/425cv 5500-7300rpm
Par	550Nm 1850-5500rpm
Relación de compresión	10,2:1
Válvulas por cilindro	4
Consumo	8.3l/100km
Emissiones de CO ₂	194g/km

Tabla 1 - Especificaciones técnicas S55

En la siguiente grafica se comparan dos motores. El S55 y su predecesor, el S65.

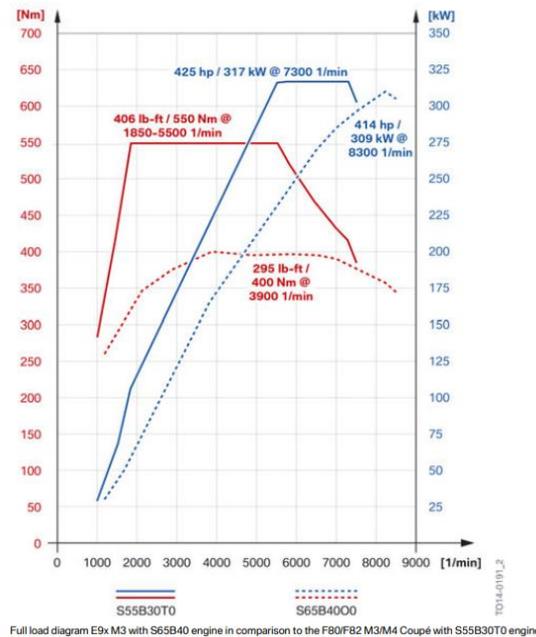
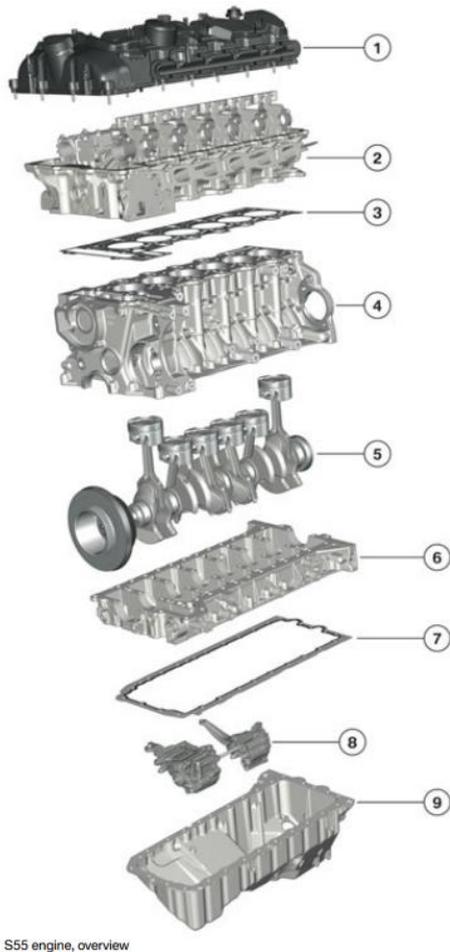


Ilustración 1 - Gráfica de par y potencia [BMWAG14]

4.2 PARTE MECÁNICA

4.2.1 BLOQUE MOTOR

El bloque motor es de fundición de aleación de aluminio: AlSi 7Cu0.5Mg. Tiene un diseño “Close deck” o de camisa seca el cual le otorga una gran rigidez y resistencia. En las camisas se ha utilizado “Electric Arc Wire Spraying”, es un proceso en el que se proyecta acero fundido con aire comprimido sobre las paredes de aluminio.



1	Tapa de la culata
2	Culata
3	Junta de culata
4	Bloque motor
5	Pistones, bielas y cigüeñal
6	Bancada
7	Junta de aceite del motor
8	Suministro de aceite
9	Cárter

Tabla 2 - Desglose bloque motor

Ilustración 2 - Desglose bloque motor [BMWAG14]

La caja del cigüeñal cuenta con orificios de ventilación longitudinales estratégicamente ubicados entre las secciones inferiores de las cámaras de los cilindros. Estos orificios desempeñan un papel fundamental al mejorar la igualdad de presión de las columnas de aire oscilantes generadas por el movimiento de los pistones.

Estos agujeros de ventilación no solo promueven una distribución más equilibrada, sino que también contribuyen a reducir turbulencias y pérdidas de energía que pueden aparecer durante el ciclo de admisión y escape. Al permitir un flujo de aire más eficiente y suave dentro de la caja del cigüeñal, se favorece un funcionamiento más optimizado del motor y se maximiza el rendimiento en términos de potencia y eficiencia.

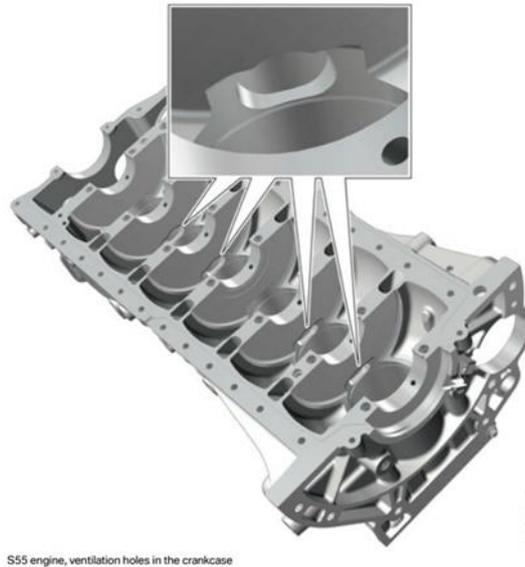


Ilustración 3 - Orificios de ventilación del cigüeñal [BMWAG14]

4.2.2 CIGÜEÑAL

El cigüeñal del motor está construido utilizando una aleación de acero de alta resistencia conocida como 42CrMoS4, que ha sido sometida a un proceso de endurecimiento mediante nitrocarburation. Esta elección de materiales y tratamiento térmico confiere al cigüeñal de una excelente durabilidad y resistencia a las tensiones y cargas del motor.

Su peso es de 21,1 kg y cuenta con unos contrapesos simétricos que contrarrestan las fuerzas inerciales generadas durante el movimiento de los pistones. Esta simetría asegura un funcionamiento más suave y reduce las vibraciones indeseadas.

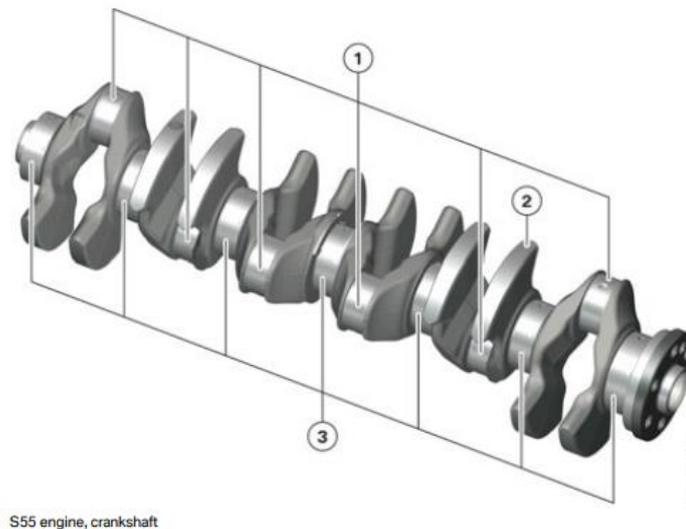


Ilustración 4 - Cigüeñal S55 [BMWAG14]

1	Muñequilla
2	Contrapesos
3	Apoyos del cigüeñal

Tabla 3 - Partes cigüeñal

4.2.3 PISTONES

Los pistones han sido modificados en su diseño y materiales para aguantar la alta carga. Están contruidos de una aleación de aluminio (AlSi12Cu4Ni2Mg). Tienen un diámetro de 84mm y poseen 3 segmentos, cada uno desempeñando una función importante en el funcionamiento del motor. Los dos primeros segmentos son de compresión, uno es de cara plana y otro troncocónica. El tercero es de aceite, encargado de controlar la lubricación adecuada del pistón y el cilindro.

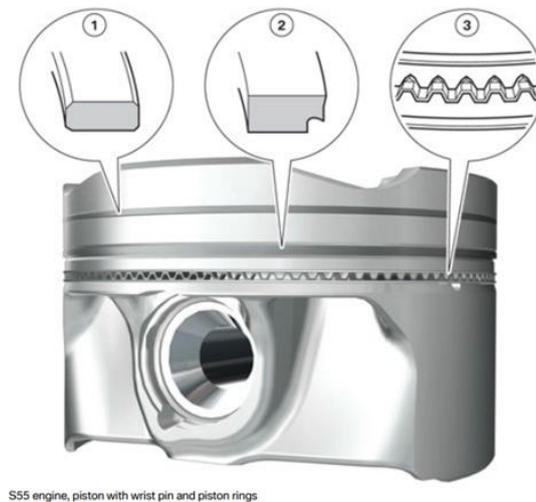


Ilustración 5 - Pistón S55 [BMWAG14]

El bulón ha sido revisado para soportar los altos requerimientos del S55, están construidos de una aleación de acero 16MnCr5 endurecida por cementación.

La geometría de la cámara de combustión es fundamental en el diseño del motor, influye directamente en la eficiencia y rendimiento del proceso de combustión. En este caso, se ha utilizado un solenoide Bosch con una boquilla de múltiples agujeros para una explosión más homogénea.

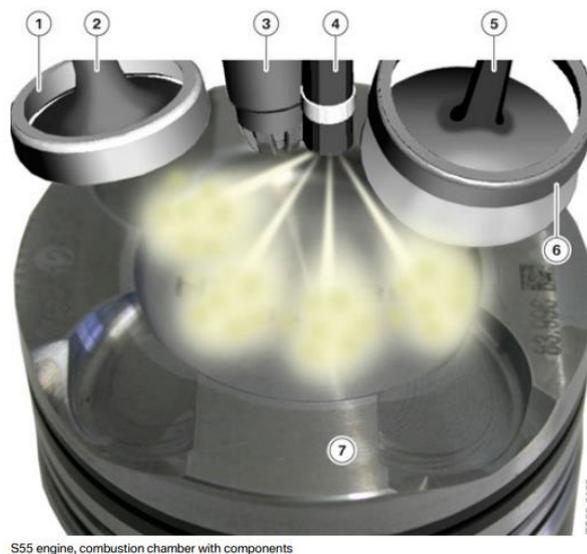


Ilustración 6 - Cámara de combustión [BMWAG14]

1	Asiento de la válvula
2	Válvulas de escape
3	Bujía
4	Inyector
5	Válvula de admisión
6	Asiento de la válvula
7	Pistón

Tabla 4 - Partes de la cámara de combustión

4.2.4 ADMISIÓN Y CULATA

El S55 utiliza inyección directa y cuenta con la tecnología “valvetronic”. Este sistema sustituye la válvula de mariposa convencional por un sistema electrónico que controla la apertura de válvulas de cada cilindro.

La tapa que cubre la parte superior del motor donde se encuentran los árboles de levas y válvulas tiene un sistema para ventilar el cárter del cigüeñal. Esta ventilación es controlada por vacío y mantiene una presión aproximada de 38mbar.

Los gases del blow-by (gases de escape que se filtran a través de los segmentos del pistón y paredes del cilindro hacia el cárter del motor) llegan a una cámara de decantación en la tapa de la culata a través de una abertura en la parte de atrás de la tapa. Después son dirigidos por agujeros en una placa de impacto que recibe el aceite y lo drena hacia abajo. Los gases sin aceite continúan hacia la válvula de control de presión y las válvulas de no retorno. Una vez ahí dependiendo del modo de funcionamiento continúan el camino hacia el tubo de admisión de aire de carga antes del turbocompresor o hacia el colector de admisión antes de las válvulas de admisión.

En el modo “aspirado naturalmente” o atmosférico: las válvulas de no retorno se abren por el vacío del colector de admisión y los gases blow-by son succionados a través de la PCV (válvula de control de presión). A su vez, el vacío cierra la segunda válvula de no retorno en el conducto hacia la línea de admisión.

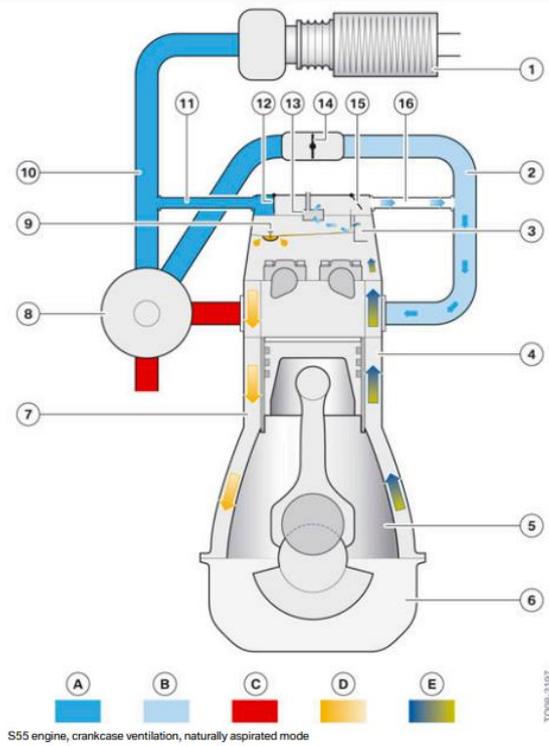


Ilustración 7 - Admisión y culata en modo atmosférico [BMWAG14]

A	Presión ambiente
B	Vacío
C	Gases de escape
D	Aceite
E	Gases Blow-by
1	Filtro de aire
2	Colector de admisión
3	Placas perforadas

4	Conducto de retorno del aceite
5	Cámara de bielas
6	Cárter
7	Conducto de retorno del aceite
8	Turbocompresor
9	Válvula de drenaje del aceite
10	Toma de aire de carga
11	Manguito para el aire de carga hacia admisión
12	Válvula de no retorno
13	PCV
14	Válvula de aceleración
15	Válvula de no retorno
16	Conducto en culata

Tabla 5 - Esquema de admisión

En el “boost mode” o modo de alta presión la válvula de no retorno en el conducto de la tapa de la culata cierra el conducto que va hacia el colector de admisión, de esta manera se protegerá el cárter de sobre presión. La gran demanda de aire fresco genera un vacío en el conducto de aire limpio entre el turbocompresor y el silenciador de admisión. Este vacío es suficiente para abrir la válvula de no retorno y extraer los blow by gases de la PCV.

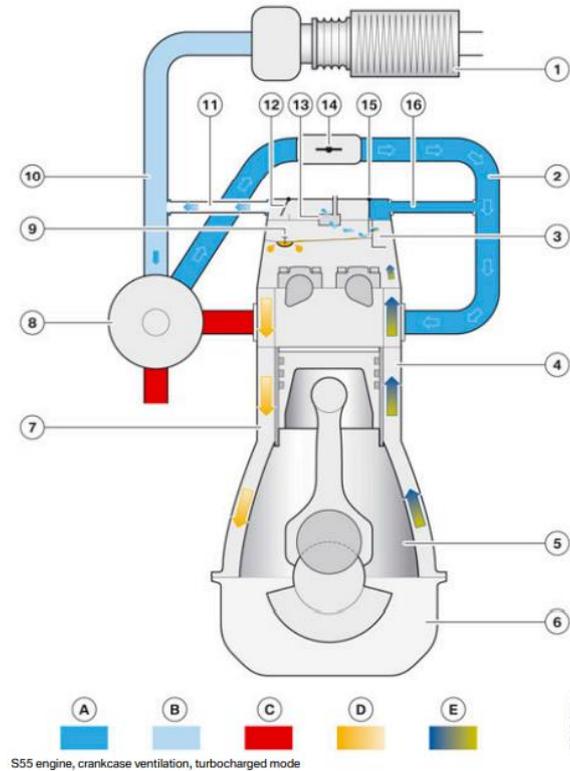


Ilustración 8 - Admisión y culata en modo Boost [BMWAG14]

A	Alta presión
B	Vacío
C	Gases de escape
D	Aceite
E	Gases Blow-by
1	Filtro de aire
2	Colector de admisión
3	Placas perforadas
4	Conducto de retorno del aceite

5	Cámara de bielas
6	Cárter
7	Conducto de retorno del aceite
8	Turbocompresor
9	Válvula de drenaje del aceite
10	Toma de aire de carga
11	Manguito para el aire de carga hacia admisión
12	Válvula de no retorno
13	PCV
14	Válvula de aceleración
15	Válvula de no retorno
16	Conducto en culata

4.3 DISTRIBUCIÓN

A continuación, se presenta el esquema de la culata del motor S55, donde se destaca la presencia de la unidad VANOS, la cual desempeña un papel fundamental en el funcionamiento y rendimiento del motor. Se detalla su funcionamiento más adelante.

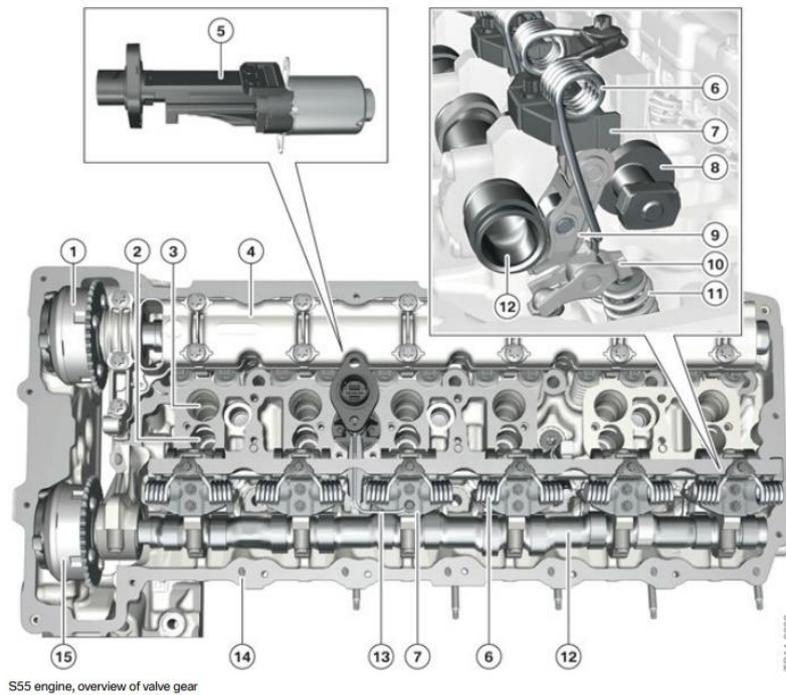


Ilustración 9 - Esquema de la culata [BMWAG14]

1	Unidad VANOS, árbol de levas del escape
2	Orificio de inyector
3	Orificio de la bujía
4	Tira de rodamientos del escape
5	Servomotor de Valvetronic
6	Muelle de torsión
7	Soporte
8	Eje excéntrico
9	Balancín intermedio
10	Balancín
11	Muelle de válvula

12	Árbol de levas de admisión
13	Boquilla de spray de aceite
14	Conducto para la introducción de blow-by gas
15	Unidad VANOS, árbol de levas de admisión

Tabla 6 - Partes de la culata

El VANOS es un sistema para reducir emisiones y mejorar el tiempo de encendido mediante la optimización de cierre y apertura de válvulas de admisión. El S55 al equipar este sistema, no tiene la cadena de distribución unida a los árboles de levas, si no que se uno a un piñón del VANOS.

Cuando el motor gira a un régimen bajo de revoluciones, se retrasa la apertura de válvulas para mejorar la suavidad de funcionamiento. Cuando el motor se encuentra en un régimen de revoluciones intermedio, el sistema adelanta la apertura y así aumenta el par motor. Por otro lado, si gira a altas vueltas, se vuelve a retrasar la apertura, pero abriéndose al completo y así maximizar la potencia.

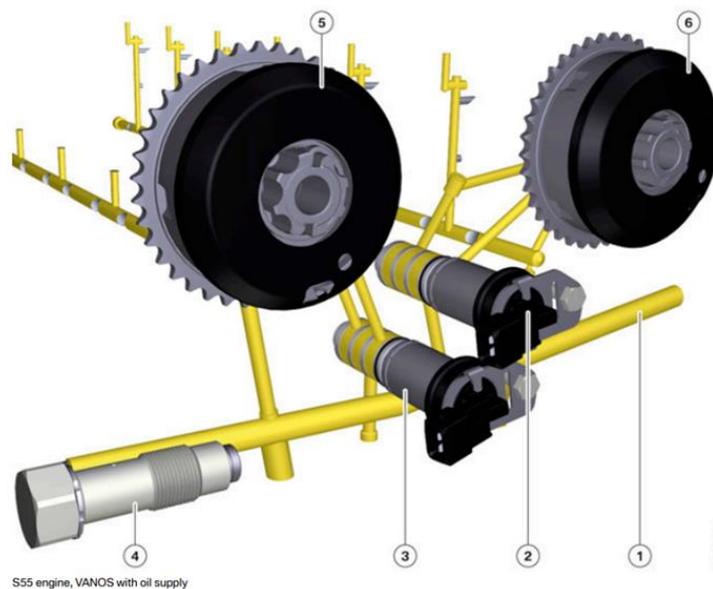


Ilustración 10 - Sistema VANOS [BMWAG14]

1	Conducto de aceite primario
---	-----------------------------

2	Válvula solenoide, lado de admisión
3	Válvula solenoide, lado de escape
4	Tensor de cadena
5	Unidad VANOS, lado de escape
6	Unidad VANOS, lado de admisión

Tabla 7 - Partes del sistema VANOS

El sistema Valvetronic (explicación en 4.2.4) utiliza un servomotor de corriente continua sin escobillas para controlar la apertura de las válvulas de admisión. Está diseñado específicamente, para el sistema y equipa un sensor para detectar la posición del eje excéntrico.

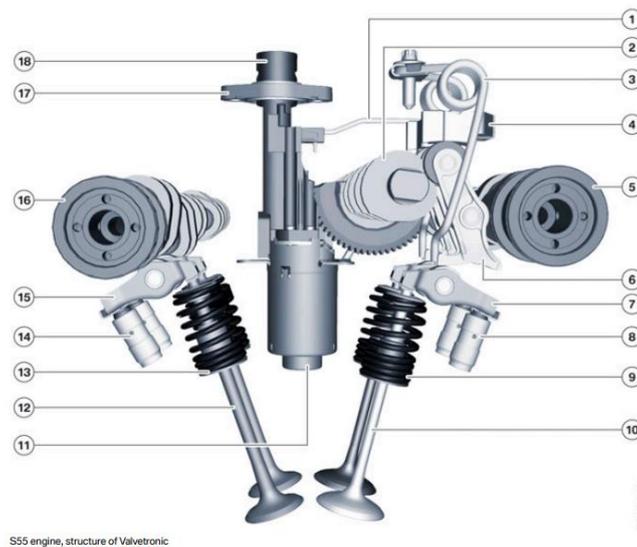


Ilustración 11 - Árboles de levas y sistema Valvetronic [BMWAG14]

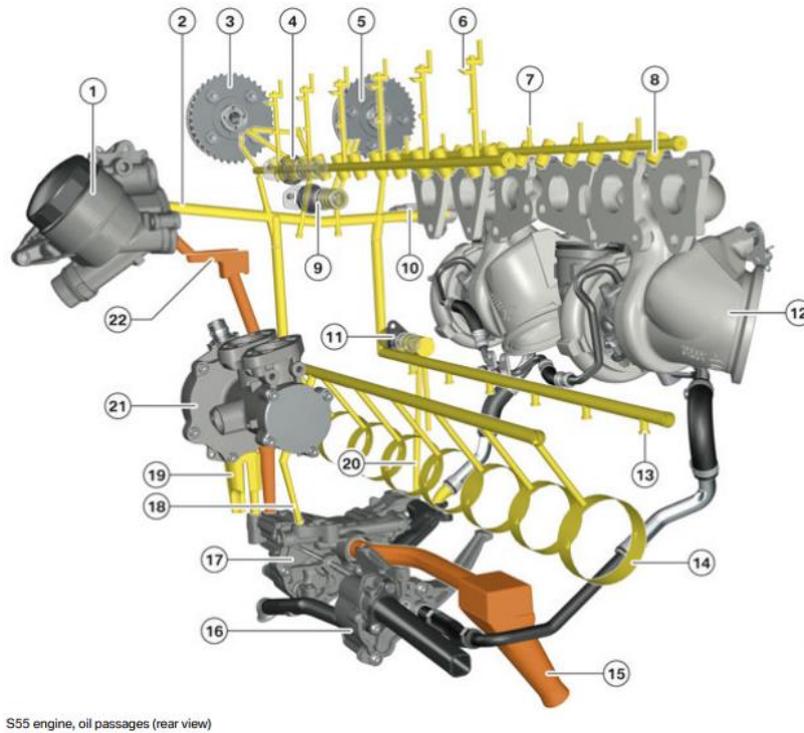
1	Boquilla de spray de aceite
2	Eje excéntrico
3	Muelle de torsión

4	Soporte
5	Árbol de levas de admisión
6	Balancín intermedio
7	Balancín
8	Ajustador hidráulico de válvulas
9	Muelle de válvula
10	Válvula de admisión
11	Servomotor de Valvetronic
12	Válvula de escape
13	Muelle de válvula
14	Ajustador hidráulico de válvula
15	Balancín
16	Árbol de levas de escape
17	Copa selladora
18	Conector

Tabla 8 - Esquema árboles de levas y Valvetronic

4.4 SUMINISTRO DE ACEITE

El circuito de aceite es un sistema vital en el motor que garantiza la lubricación adecuada de todas las partes móviles y reduce la fricción entre ellas. A continuación, se muestra un gráfico con los conductos de aceite del motor.



S55 engine, oil passages (rear view)

TO14-0204

Ilustración 12 - Circuito de aceite [BMWAG14]

1	Filtro de aceite
2	Conducto principal de aceite filtrado
3	Unidad VANOS, admisión
4	Válvula solenoide de VANOS, admisión
5	Unidad VANOS, escape
6	Conducto de aceite para el árbol de levas de admisión y eje excéntrico
7	Conducto de aceite para el árbol de levas de escape
8	Compensación hidráulica de válvulas
9	Válvula solenoide de VANOS, escape

10	Tensor de cadena
11	Sensor de presión del aceite
12	Turbocompresor
13	Conexión para las boquillas de lubricación y lubricación del turbocompresor
14	Casquillos del cigüeñal
15	Tubo de admisión
16	Bomba de succión
17	Bomba de aceite
18	Conducto para control de presión de aceite
19	Conducto de aceite para bomba de vacío
20	Conducto para control de presión de aceite
21	Bomba de vacío
22	Conducto de aceite sin filtrar

Tabla 9 - Partes circuito de aceite

El esquema del bloque con camisas secas es el siguiente.

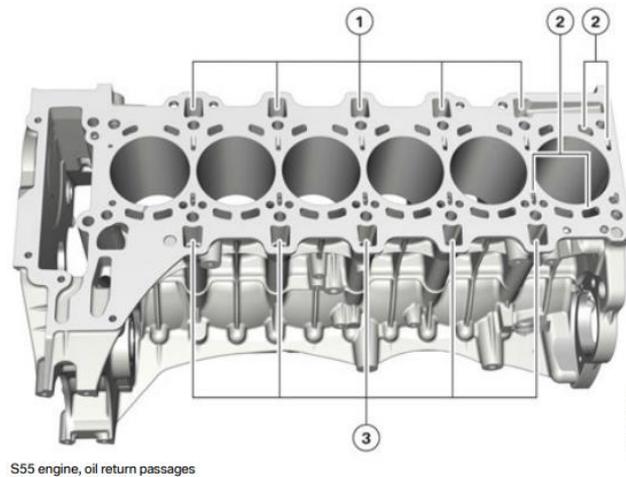


Ilustración 13 - Esquema bloque, vista desde culata [BMWAG14]

1	Retorno de aceite del lado de escape
2	Conducto de refrigeración
3	Retorno de aceite del lado de admisión

Tabla 10 - Partes del bloque visto desde culata

Al tratarse de un motor de alto rendimiento contamos con 2 bombas de aceite. La segunda bomba de aceite ayuda al retorno de aceite de la zona de escape del turbocompresor y el cárter. Con esto podemos garantizar el suministro de aceite con 0,61g de aceleración, -1.2g en desaceleración y 1.2g constantes de aceleración lateral para curvas.

La carcasa del filtro de aceite es de aluminio. Para la refrigeración del aceite se usa un intercambiador aguas arriba del sistema. Se instala en posición horizontal cerca del radiador. En el filtro de aceite hay un termostato y dependiendo de la temperatura del aceite, permite o no la refrigeración de este en el intercambiador.

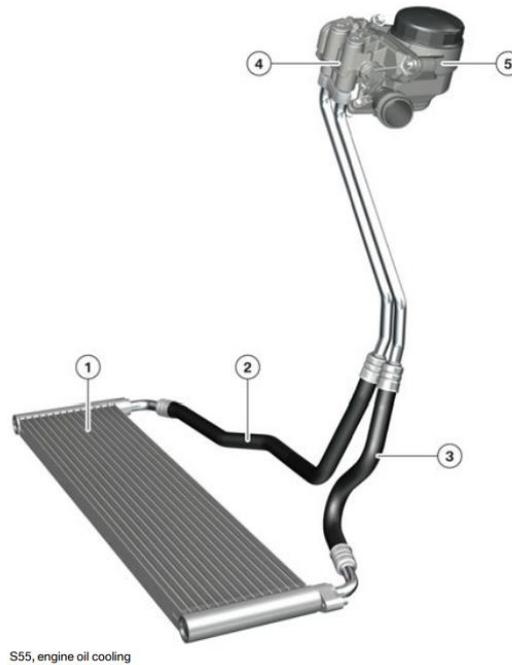


Ilustración 14 - Intercambiador de aceite [BMWAG14]

1	Intercambiador/enfriador de aceite
2	Retorno de aceite
3	Suministro de aceite
4	Termostato
5	Filtro de aceite

Tabla 11 - Partes del intercambiador de aceite

4.5 SISTEMA DE ADMISIÓN

El sistema de admisión del S55 cuenta con una configuración de doble turbocompresor, donde se utilizan dos turbocompresores de igual tamaño, uno para cada grupo de tres cilindros. La disposición de los turbocompresores es en paralelo ya que se trata de un motor con los cilindros en línea. Al distribuir la carga entre los dos turbocompresores, la respuesta del acelerador es mejor y la entrega de potencia más lineal.

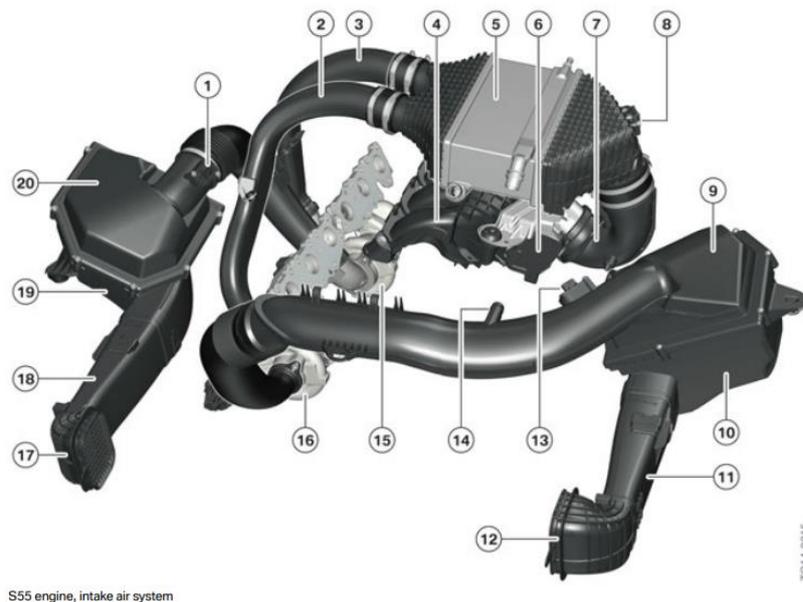


Ilustración 15 - Esquema de admisión [BMWAG14]

1	Medidor diferencial másico
2	Tubo de aire comprimido del turbocompresor de cilindros 1-3
3	Tubo de aire comprimido del turbocompresor de cilindros 4-6
4	Colector de admisión
5	Intercambiador de aire comprimido
6	Válvula de acelerador
7	Tubo de aire comprimido, salida
8	Sensor de temperatura de aire comprimido

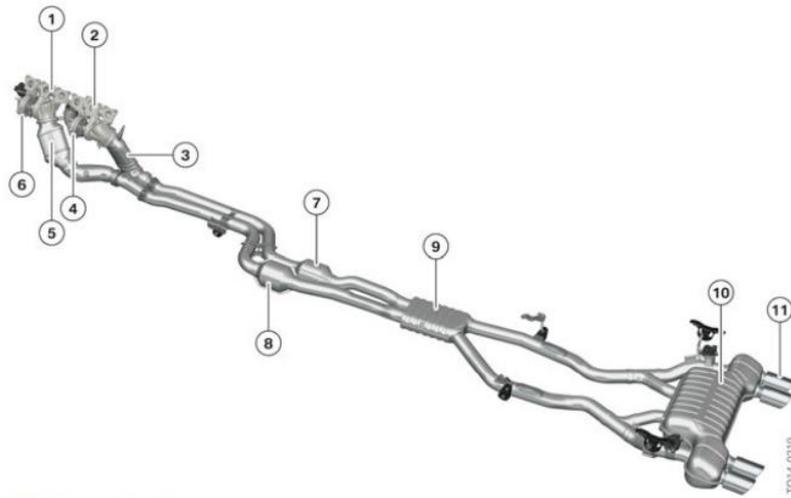
9	Tapa de silenciador de admisión, cilindros 1-3
10	Silenciador de admisión, cilindros 1-3
11	Admisión de aire sin filtrar, cilindros 1-3
12	Snorkel de admisión, cilindros 1-3
13	Medidor diferencial másico
14	Conexión a ventilación del cárter/carcasa de cigüeñal
15	Turbocompresor, cilindros 4-6
16	Turbocompresor, cilindros 1-3
17	Snorkel de admisión, cilindros 4-6
18	Admisión de aire sin filtrar, cilindros 4-6
19	Silenciador de admisión, cilindros 4-6
20	Tapa de silenciador de admisión, cilindros 4-6

Tabla 12 - Partes de la admisión

4.6 ESCAPE

El escape está formado por dos conjuntos de colectores. Por un lado, tenemos los colectores de los cilindros 1,2 y 3 y su turbocompresor y por otro tenemos los colectores de los cilindros 4,5 y 6 con su respectivo turbocompresor. Cada colector tiene un catalizador conectado a su turbocompresor cuya función es reducir las emisiones nocivas de los gases de escape.

En el silencioso trasero encontramos dos actuadores que nos permitirán desviar los gases de escape a las colas más exteriores sin pasar por el silencioso trasero. Los actuadores se controlan desde el info-entretenimiento del vehículo.



S55 engine, exhaust system

Ilustración 16 - Esquema de sistema de escape original

1	Colector de escape, cilindros 1-3
2	Colector de escape, cilindros 4-6
3	Catalizador, cilindros 4-6
4	Turbocompresor, cilindros 4-6
5	Catalizador, cilindros 1-3
6	Turbocompresor, cilindros 1-3
7	Catalizadores secundarios, cilindros 4-6
8	Catalizadores secundarios, cilindros 1-3
9	Silencioso intermedio
10	Silencioso trasero
11	Colas de escape

Tabla 13 - Partes del sistema de escape

4.7 REFRIGERACIÓN

El motor S55 está equipado con un sistema de refrigeración que se encarga de enfriar diferentes elementos vitales del vehículo. Este sistema se divide en tres áreas principales: la refrigeración del aire comprimido del turbocompresor, la refrigeración del aceite del motor y la refrigeración del aceite de la caja de cambios de doble embrague.

En primer lugar, la refrigeración del aire comprimido del turbocompresor es crucial para mejorar el rendimiento y aumentar la potencia el motor. En este caso se usa un water-cooler.

En la refrigeración del aceite motor se utiliza el radiador mencionado previamente, éste únicamente se encarga de la refrigeración del aceite del motor.

Por último, el sistema de refrigeración también se encarga de enfriar el aceite de la caja de cambios de doble embrague. Esto se logra mediante un intercambiador de calor específico para la misma.

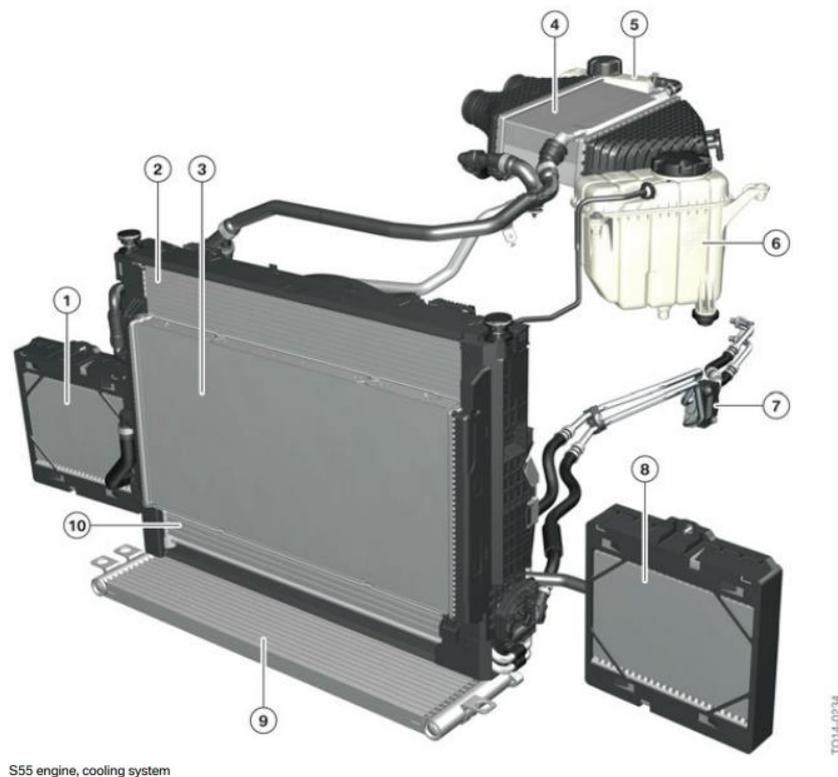


Ilustración 17 - Esquema de refrigeración [BMWAG14]

1	Radiador aguas arriba de baja temperatura, aire comprimido del turbocompresor
2	Radiador del motor
3	Radiador de baja temperatura, aire comprimido del turbocompresor
4	Water-Cooler del aire comprimido del turbocompresor
5	Vaso de expansión del water-cooler
6	Vaso de expansión del refrigerante del motor
7	Termostato de la transmisión M DCT
8	Radiador aguas arriba del motor
9	Radiador enfriador del motor
10	Radiador de la transmisión M DCT

Tabla 14 - Partes del sistema de refrigeración

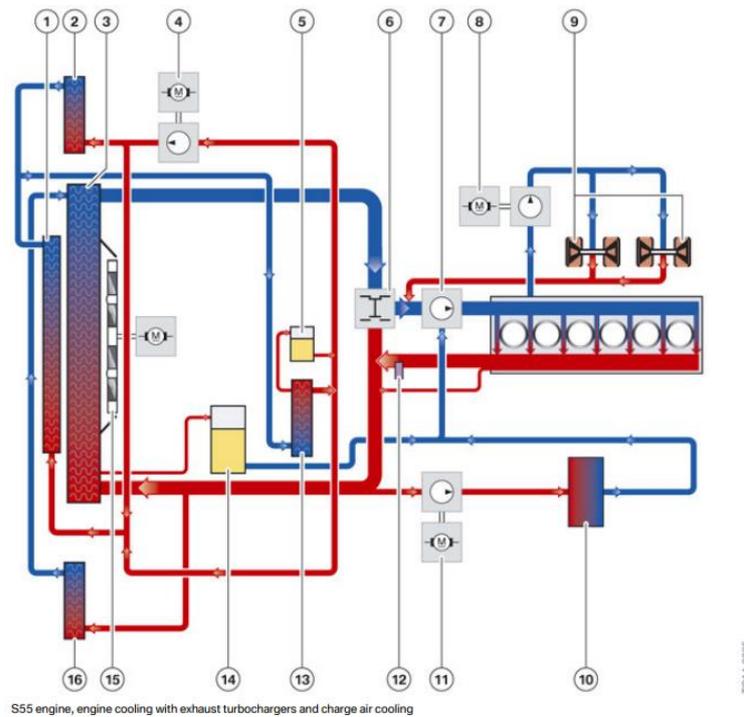


Ilustración 18 - Esquema térmico de refrigeración [BMWAG14]

1	Radiador de baja temperatura, aire presurizado
2	Radiador aguas arriba de baja temperatura, aire presurizado
3	Radiador del motor
4	Bomba de refrigerante eléctrica, circuito de baja temperatura, aire presurizado
5	Vaso de expansión, aire presurizado
6	Termostato
7	Bomba de refrigerante mecánica, motor
8	Bomba de refrigerante eléctrica para turbocompresores
9	Turbocompresores
10	Intercambiador de calor
11	Bomba de refrigerante eléctrica, calefacción para compartimento de copiloto
12	Sensor de temperatura de refrigerante
13	Enfriador indirecto de aire presurizado
14	Vaso de expansión, motor
15	Ventilador eléctrico
16	Radiador del motor aguas arriba

Tabla 15 - Partes del esquema térmico

Capítulo 5. MEJORAS PRE-POTENCIACIÓN

Tras el análisis del motor se ha podido comprobar que es un motor muy robusto, ya que contamos con un bloque de camisa seca. Esto nos permite tener una relación de compresión alta, además de una sobrealimentación a elevadas presiones. A pesar de la resistencia y durabilidad que presenta este motor se han detectado dos puntos flacos después de una investigación más detallada. La primera de ellas es el “crank hub” y la segunda las “charge pipes”

5.1 CRANK-HUB

La función del “crank hub” es la sincronización del movimiento del cigüeñal con los árboles de levas a través de la cadena de distribución. Esta pieza se encuentra en el extremo del cigüeñal y es de especial importancia.



Ilustración 19 - Foto de Crank-Hub y motor [AXEL23]

El Crank hub tiene dos piñones, uno es para la distribución y el otro para la bomba de aceite. La pieza carece de chaveta, tiene unas arandelas y va a presión atornillado al cigüeñal. Esto puede sufrir un deslizamiento, y perder la sincronización del cigüeñal con el árbol de levas.

En la ilustración 20, se observa el piñón de a bomba de aceite (número 3)

En la ilustración 21, el piñón del cigüeñal (número 5) con la arandela (número 6) y el “crank hub” (número 2).

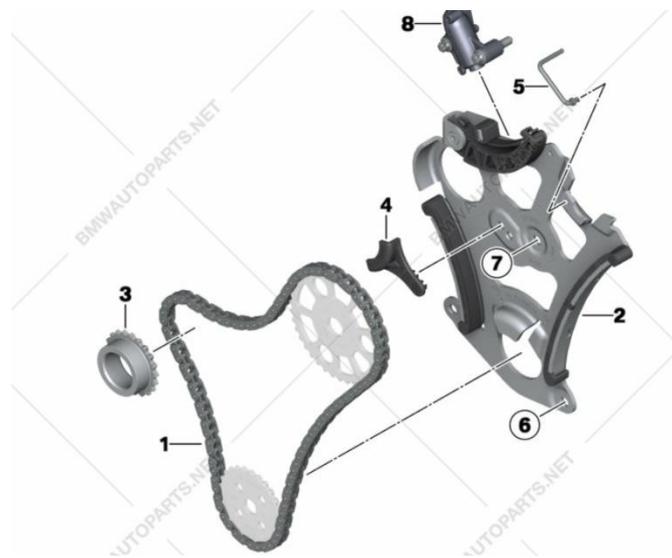


Ilustración 20 - Esquema Crank-Hub 1 [BMWNET]

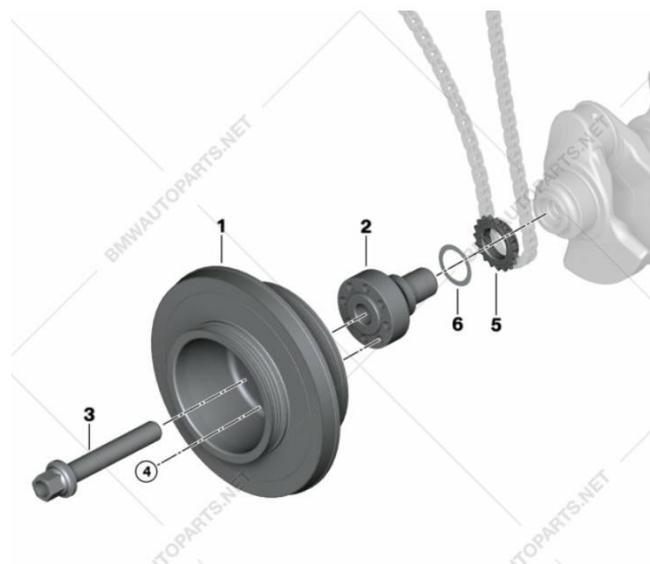


Ilustración 21 - Esquema Crank-Hub 2 [BMWNET]

Esta pérdida de sincronización puede ocasionar problemas desde golpe de válvulas hasta gripar por completo el motor.

La probabilidad de que el “Crank hub” se desincronice es baja en un motor completamente de serie, sin embargo, a medida que vamos potenciándolo la probabilidad va incrementando exponencialmente.

Este fallo se suele dar durante el “kick down”. El “kick down” se activa al presionar un botón ubicado al final del recorrido del acelerador. Cuando presionamos el acelerador a fondo hasta pulsar este botón, la transmisión reducirá hasta la marcha más baja permitida (sin llegar al corte de inyección) para acelerar lo más rápido posible.

Para solucionar este problema, se va a sustituir el “Crank hub” por completo con sus piñones correspondientes.

Vamos a utilizar uno cuyo piñón de la distribución se encuentra mecanizado en el propio “Crank hub”. Además de esto, tiene un multi-ranurado que se clava al cigüeñal.

El “Crank hub” es el siguiente, fabricado y mecanizado por una compañía llamada VTT (Vargas Turbocharger Technologies)



Ilustración 22 - VTT Crank – Hub [VARG]

Ha sido mecanizado con CNC en Acero inoxidable martensítico 440C. Dureza Rockwell de HRC60. Se ha ensayado en cigüeñales girando a más de 8000rpm y en vehículos con más de 660 kW a las ruedas. Con este piñón se puede asegurar de que no fallará.

5.2 *CHARGE PIPES*

Las “Charge Pipes” con los tubos que van de los turbocompresores al intercambiador (en este caso se trata de un water cooler). Estos tubos son de plástico y tienen que soportar temperaturas y presiones altas.

Las “charge pipes” están numeradas como 2 y 3.

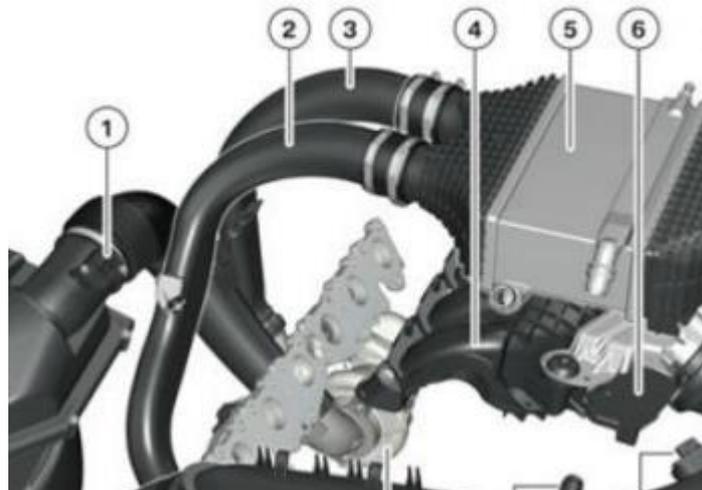


Ilustración 23 - Esquema Admisión zoom [BMWAG14]

Al potenciar el motor estas presiones se van a incrementar exponencialmente y por tanto pueden rajar estas tuberías, lo que ocasiona una pérdida de potencia y aspiración de aire sin filtrar al motor.

A la hora de buscar un sustituto se han planteado dos materiales: fibra de carbono o aluminio. Ambas opciones presentan beneficios e inconvenientes, sin embargo, se va a escoger el aluminio ya que es un material con alta conductividad térmica. En esta aplicación, se tienen que enfriar los gases del turbocompresor así que unas tuberías de aluminio mejorarán el rendimiento del water cooler.

Después de investigar se ha encontrado un sustituto de aluminio para las “charge pipes”. La marca Mishimoto, especialista en radiadores y tuberías venden unas tuberías de aluminio

con sus conexiones de silicona para garantizar la hermeticidad. Con estas tuberías, se elimina por completo la posibilidad de rotura por fatiga, presión y/o elevadas temperaturas.



Ilustración 24 - Charge pipes Mishimoto [MISH]

Capítulo 6. MODIFICACIÓN Y POTENCIACIÓN

Este capítulo abarcará todas las modificaciones que se realizarán al motor para alcanzar el objetivo de 700-750 CV y 800-900 Nm de par. Debido a la falta de información suficiente proporcionada por los fabricantes, no se podrá realizar un estudio en profundidad de cada pieza. En su lugar, se trabajará con la información disponible y se aprovechará la experiencia y el conocimiento del taller de “037 Racing” en sus preparaciones. Una vez seleccionadas las piezas, se acompañarán de breves justificaciones y se realizarán comprobaciones matemáticas dentro de los límites de funcionamiento de cada componente para determinar si es posible alcanzar las cifras objetivo.

El motor de serie tiene una potencia de 317 kW (431 CV) y un par de 550 Nm. El objetivo del proyecto es aumentar significativamente estas cifras, hasta alcanzar aproximadamente los 700-750 CV y 800-900 Nm de par. Estas cifras no se han seleccionado al azar, sino que se han establecido teniendo en cuenta varios factores.

En primer lugar, se ha considerado la fiabilidad del motor. El bloque del motor, conocido como "camisa seca", ofrece una gran rigidez al S55, lo que permite alcanzar niveles de potencia más altos sin comprometer su durabilidad. Esta característica ha influido en la elección de las cifras objetivo, ya que se busca aumentar la potencia sin poner en riesgo la integridad del motor.

Además, se ha tenido en cuenta la experiencia y conocimientos de talleres especializados en el motor S55, como el taller “037 Racing”. Gracias a su experiencia en proyectos similares, han determinado que las cifras mencionadas son alcanzables y proporcionan un equilibrio adecuado entre potencia y fiabilidad.

Otras compañías experimentadas en el sector, como WG Motorworks, también respaldan la robustez del S55: “en general, el motor S55 ha demostrado ser muy resistente y, en combinación con una caja de cambios DCT, ha soportado potencias de hasta 600-700 CV sin necesidad de modificar el interior del bloque”

Con estos elementos en consideración, se ha establecido el objetivo de potencia y par para el proyecto, buscando maximizar el rendimiento del motor sin comprometer su funcionamiento.

Las modificaciones de hardware comprenderán las siguientes piezas:

- Sistema de admisión
- Turbocompresores
- “Downpipe” y sistema de escape
- “Intercooler”
- Kit de inyección de metanol

En cuanto al software, se realizará una reprogramación de la centralita utilizando la plataforma de ECUTEK. Esto permitirá ajustar y optimizar los parámetros de funcionamiento del motor.

6.1 ADMISIÓN

Como se menciona en las mejoras pre-potenciación, lo más importante de la admisión son las “Charge pipes”. Al estar fabricadas de plástico no son capaces de soportar las altas presiones y temperaturas. Las “Charge pipes” se conectan en el lado caliente de la admisión y se encargan de transportar el aire presurizado de los turbos al intercambiador donde se enfrían.

A continuación, se completará la admisión. Aguas debajo del intercambiador en el lado frío encontramos una tubería de plástico, esta va a ser sustituida por una de aluminio. Esta tubería conecta el intercambiador de aire con la mariposa del acelerador. Como en este caso se va a incluir inyección de metanol, se debe instalar una tubería con un puerto roscado.

Se ha optado por la “J Charge Pipe” de VTT. Esta es de aluminio y tiene un orificio NPT 1/8” (National Pipe Tapered, ANSI/ASME B1.20.1) para la inyección de metanol.



Ilustración 25 - J Pipe VTT [VARG]

Además de eso, se instalará un sistema de admisión completo para mejorar el flujo de aire que se aspira a través de los turbocompresores y lograr una entrada más uniforme. La marca elegida para la admisión es Eventuri. Este sistema de admisión de alto rendimiento está diseñado específicamente para optimizar el rendimiento del motor y maximizar la eficiencia en la entrega de aire.

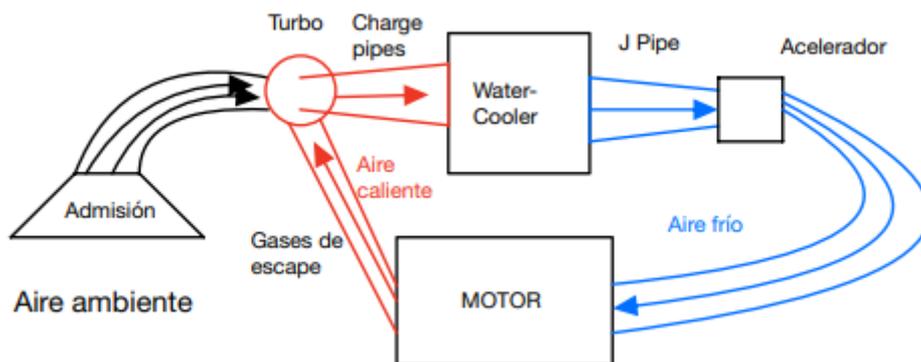


Ilustración 26 - Diagrama de admisión. Elaboración propia

El sistema de admisión Eventuri utiliza un diseño de tobera convergente y materiales de alta calidad para garantizar un flujo de aire suave y sin restricciones hacia el motor. Con características como conductos de admisión de carbono y filtros de alto rendimiento que permiten más caudal de aire, este sistema ayuda a aumentar la potencia y mejorar la respuesta del acelerador.

La mayoría de los sistemas de admisión utilizan un filtro cónico acoplado a un tubo de entrada con algún tipo de protección térmica. En esta configuración, el flujo de aire pasa de

la sección del diámetro mayor de la base del filtro hasta el diámetro más pequeño del tubo de entrada en una distancia muy corta. Para ayudar con la transición, hay una estructura en forma de embudo en la base del filtro, pero es generalmente pequeña. Esta transición repentina en la geometría es perjudicial para el flujo. El diagrama a continuación muestra un sistema de admisión cónico típico. Se resalta en amarillo el embudo.

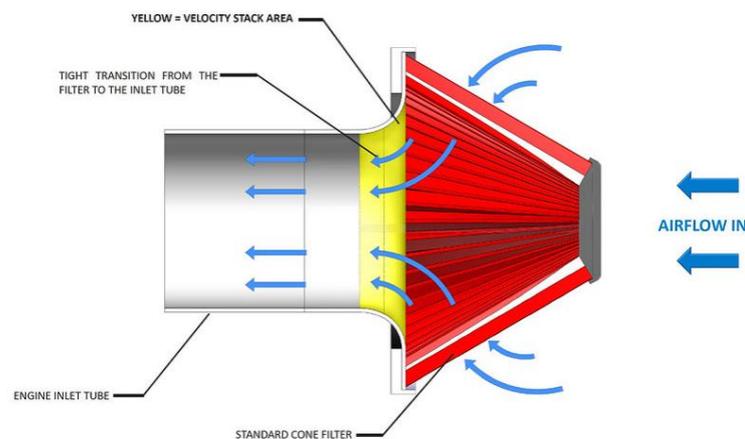


Ilustración 27 - Esquema filtro de aire [EVEN]

La admisión Eventuri utiliza un diseño patentado. Se usa un filtro cónico pero invertido y desacoplado del tubo de entrada. Al eliminar esta conexión, el filtro ya no dictamina la forma del flujo de aire, lo hace la carcasa de carbono. Esta carcasa está diseñada para guiar suavemente el aire hacia el tubo de entrada sin cambios bruscos en la geometría. De esta forma se mantienen las condiciones laminares en toda la admisión, y el transporte de aire es más eficiente. Esto se traduce en más potencia con una entrega más suave y una respuesta del acelerador más rápida, ya que el flujo de aire no se ve inhibido por cambios abruptos de geometría. Se resalta el área del embudo en amarillo.

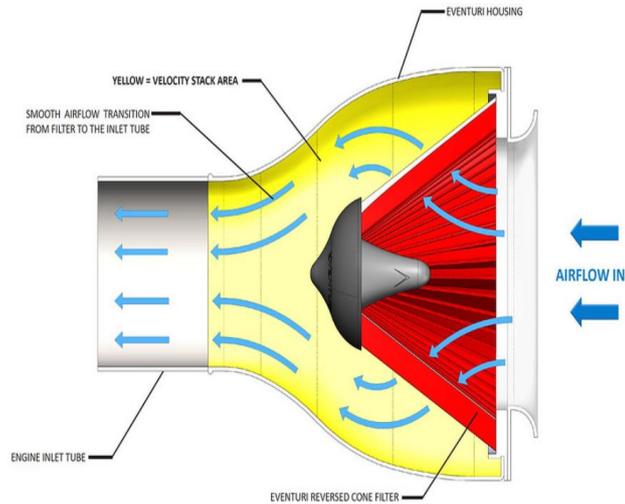


Ilustración 28 - Esquema Eventuri [EVEN]

Para el BMW M4 F82 cuenta con unos deflectores que se instalan en las rejillas delanteras para recoger el aire fresco. Estas palas están estratégicamente diseñadas para dirigir el flujo de aire de manera eficiente hacia la admisión. Además, minimizan la entrada de aire caliente proveniente del compartimento motor.



E V E N T U R I

Ilustración 29 - Admisión Eventuri Carbono [EVEN]



Ilustración 30 - Palas de aire [EVEN]

6.2 TURBOCOMPRESORES

Debido a las altas presiones y temperaturas a las que estarán expuestos los turbocompresores, su reemplazo es fundamental para aumentar la potencia y garantizar la fiabilidad del motor. Los turbocompresores de fábrica operan a una presión de aproximadamente 18-19 psi, pero para alcanzar la potencia objetivo, es necesario que puedan soportar presiones de hasta 30 psi.

En este caso, se han seleccionado los turbocompresores TTE 740. Estos turbos utilizan la voluta de compresión original, pero se han realizado modificaciones en la turbina, el compresor, la carcasa de la turbina y el tubo de admisión. TTE realiza pruebas de equilibrado de los turbocompresores en un rango de revoluciones que va desde las 2800 rpm hasta 250000 rpm. Además, se ha incrementado el diámetro de la turbina a 50,5 mm y se han reforzado los rodamientos axial y radial.



Ilustración 31 - Turbos S55 TTE 740 [TTE]



Ilustración 32 - Conexión Turbos TTE [TTE]

6.3 DOWNPIPE Y ESCAPE

La “downpipe” es uno de los elementos más importantes de este proyecto, ésta se encarga de evacuar los gases de escape que salen del turbo. Este elemento es crucial ya que es donde se encuentran los catalizadores principales. El BMW M4 tiene 4 catalizadores, dos principales en las “downpipes” y dos secundarios en el sistema de escape. Se van a sustituir las downpipes y el tramo final del sistema de escape, el tramo intermedio con los catalizadores secundarios no sufrirá ninguna modificación.

Las primeras unidades del BMW M4 F82 se empezaron a fabricar a principios de 2014. Teniendo esto en cuenta, se deben cumplir las restricciones Euro 5.

HJS Motorsport es un fabricante de catalizadores que cumplen las restricciones europeas UN ECE Numero 103. Este fabricante ofrece “downpipes” compatible con la normativa Euro 6, que es más restrictiva que la exigida.

La “downpipe” escogida tiene homologación ECE (EURO 6) con placa de identificación HJS y numero de aprobación ECE. Tiene 200 celdas con lo cual permite bajar la contrapresión de escape, mejorar el rendimiento, disminuir temperaturas y aumentar el caudal manteniendo la homologación Euro 6.



Ilustración 33 - Downpipes HJS S55 [HJS]

Además de las “downpipes” se instalará en el tramo final del tubo de escape un silencioso de la marca Akrapovič. De esta manera seguiremos reduciendo la contra presión de escape sin alterar emisiones, esta reducción de presión viene acompañada de más ruido de escape. Para solucionar este problema, el sistema Akrapovič tiene unas válvulas de mariposa que controlan la intensidad del sonido, estas válvulas funcionan de forma inalámbrica a través de un mando o a través del sistema de info-entretenimiento del vehículo. Al igual que la “downpipe” posee el sello de aprobación ECE.



Ilustración 34 - Sistema de escape Akrapovič 1 [AKRA]



Ilustración 35 - Sistema de escape Akrapovič 2 [AKRA]

6.4 INTERCAMBIADOR (INTERCOOLER) Y RADIADORES

Para garantizar la refrigeración del aire que sale de los turbocompresores hacia la admisión se necesita mejorar el rendimiento del intercambiador. De esta forma el aire que entra en los cilindros tendrá mayor densidad y se podrá generar más potencia.

El intercooler que se instalará será el “Wagner Tuning Competition”. Tiene un 33% menos de contrapresión y un volumen de 6,1 litros (en comparación con los 2,85 litros del original) lo que nos permite aumentar el caudal de 481,8 g/s hasta los 591,6 g/s.

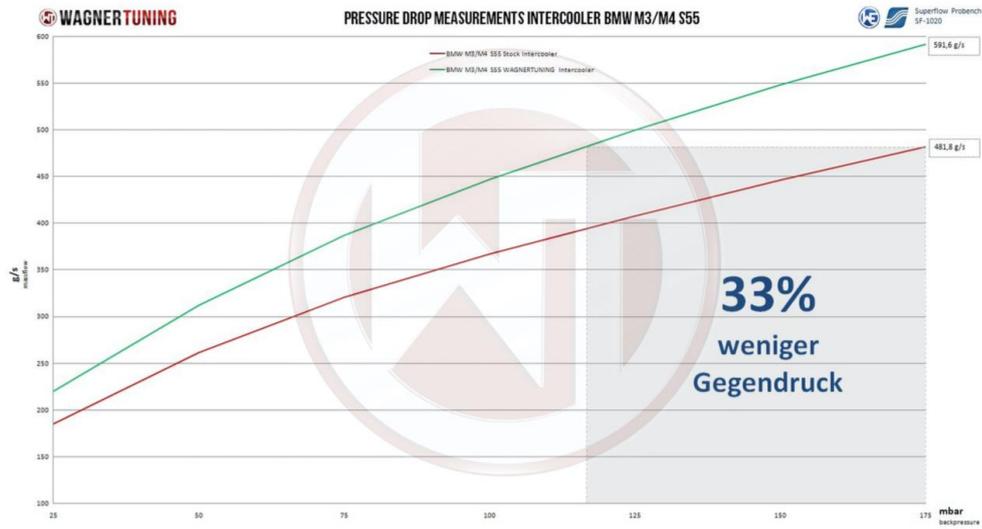


Ilustración 36 - Caudal/Caída de presión [WAGN]

La temperatura disminuye de 78,8°C a los 54°C.

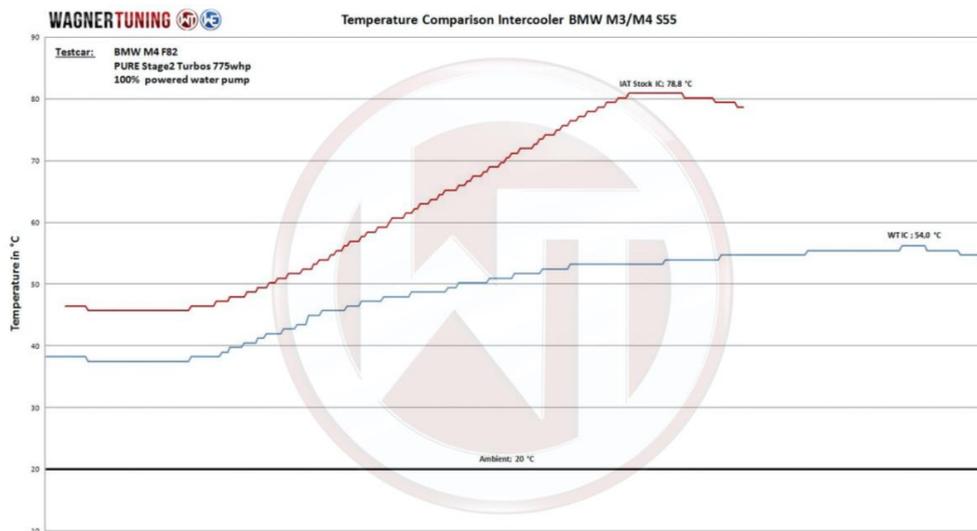


Ilustración 37 - Temperatura Water Cooler [WAGN]

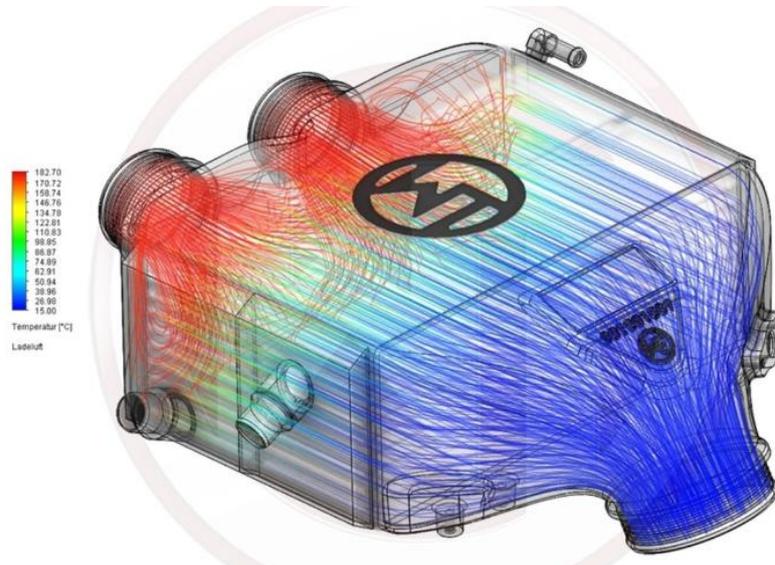


Ilustración 38 - Diagrama de temperatura Watercooler [WAGN]

En cuanto a los radiadores, se han realizado mejoras para asegurar un adecuado enfriamiento del motor. Se han reemplazado los radiadores originales por otros de mayor capacidad, de nuevo de “Wagner Tuning Competition”. El radiador central ha aumentado un 89% en capacidad, pasando de 4,5 a 8,5 litros, y el radiador lateral ha aumentado un 94%, pasando de 1,65 a 3,2 litros. Estas mejoras garantizan una eficiente disipación del calor generado por el motor, incluso con la potencia aumentada a 750 CV.



Ilustración 39 - Radiadores frontal y lateral [WAGN]

6.5 KIT DE METANOL

La inyección de metanol agua es un procedimiento mediante el cual se añade una mezcla de agua destilada y metanol. Esta inyección se realiza en la “J Pipe”, justo antes de la cámara de combustión. Esta inyección tiene varios beneficios: por un lado, el agua al evaporarse produce oxígeno, con lo cual aumenta la potencia, actúa como intercooler químico al disminuir la temperatura y por último el metanol al contribuye al aumento de octanaje del combustible. El octanaje que se puede obtener es similar al de gasolina de 116 octanos.

El kit de metanol incluye:

- Centralita: para gestionar la inyección con parámetros como la presión y temperatura.
- Deposito: un depósito donde se encuentra la mezcla de agua y metanol, suele ser de 3 litros.
- Bomba: envía la mezcla desde el depósito hasta los inyectores, hasta 10 bares de presión.
- Inyectores: suministran la mezcla a la admisión
- Mangueras de conexión y tornillería.

Se ha escogido el kit de “Snow Performance”, este incluye todos los componentes necesarios.



Ilustración 40 - Kit metanol [SNOW]

6.6 SOFTWARE

Para gestionar todos los parámetros del motor, como la inyección del combustible, presión del turbo, avance del encendido, control de caudal etc.... Se utiliza una centralita (ECU), esta centralita viene por defecto con un software que gestiona el funcionamiento del motor. Este software no es valido para las modificaciones que hemos realizado. Para ello se necesita un software que se adapte a este nuevo hardware.

Ecutek es una empresa que desarrolla softwares base sobre los que un especialista crea sus propios mapas cambiando diferentes parámetros del coche. Para ello se realizan varias lanzadas en un banco de potencia y el responsable va cambiando variables como la presión del turbo, mezcla de gasolina/aire, avance de encendido, hasta dar con el objetivo (compromiso entre fiabilidad y potencia).

La plataforma de Ecutek permite que se instalen diferentes mapas. Para entender mejor como funciona, se ha contactado con 037 Racing que están familiarizados con este software. Con las modificaciones realizadas se crean diferentes mapas, estas son las cifras que suelen obtener con preparaciones similares.

- Mapa 1: antirrobo
- Mapa 2: mapa gasolina 98 octanos con presiones del turbo medias, para usar en el día a día, 550cv.

Mapa 3: mapa gasolina 98 con presiones del turbo medias/altas, recomendado para uso en circuito, 660cv.

- Mapa 4: mapa gasolina 98, inyección de metanol y presiones del turbo altas, uso exclusivo para circuito, 750cv.

En este trabajo, al no disponer del coche ni las piezas se va a hacer un estudio matemático para estimar el valor de diferentes variables del motor y comprobar si es posible conseguir las cifras objetivo.

En primer lugar, se obtendrán los valores del mapa de serie que viene por defecto en el coche. BMW no proporciona ningún dato más allá de la potencia y el par, la forma de obtener los parámetros en este caso será con un datalog. Un datalog es una lectura que se realiza a través del puerto OBD del vehículo de todos los sensores. A continuación, se muestra un ejemplo de un datalog en tercera marcha con el acelerador a fondo.



Ilustración 41 - Datalog 3º marcha [DATZ]

Esta información se puede encontrar en internet publicada por diferentes usuarios en foros como “bimmerpost.com”. Se ha recopilado información de varios “Datalogs” para simular matemáticamente la curva de potencia en el Excel en el siguiente apartado.

6.7 JUSTIFICACIÓN MATEMÁTICA

En esta sección, se procederá a realizar una justificación matemática de los resultados mediante el uso de tablas en Excel. En primer lugar, se construirá una gráfica que represente aproximadamente la potencia del vehículo en su estado original y posteriormente las de los

mapas de potencia descritos en el apartado anterior. El estudio será en el rango de revoluciones de 5000 rpm hasta el corte de inyección, ya que es el intervalo de mayor interés.

Se presentarán de manera detallada los cálculos realizados a 5000 rpm utilizando el motor en su configuración original. A continuación, se mostrarán los resultados correspondientes al resto del rango de revoluciones, junto con los diferentes mapas de potencia. Además, se proporcionará una explicación detallada de los cambios observados en cada caso.

El objetivo de esta parte es respaldar de manera rigurosa y cuantitativa los resultados obtenidos en el proyecto de mejora. El uso de tablas y gráficas en Excel permitirá una visualización clara de los datos y facilitará la interpretación de los mismos.

Las dimensiones del motor son las siguientes:

- Diámetro: 8,4 cm
- Carrera: 8,96 cm
- Relación de compresión: 10,2
- N.º de cilindros: 6 (en línea)
- Capacidad calorífica gasolina 98 octanos (Hc): 44141,2 KJ/Kg
- Cilindrada total (V_{total}): 0,002979262 m³

Para la densidad de aire que entra en los cilindros se ha consultado varios “datalogs” para estimar la temperatura y presión

- Presión: 18 psi $\rightarrow 18 * 6894,76 = 124105,68 Pa$
- Temperatura: 48 °C

Estos son valores aproximados e irán cambiando según el rango de revoluciones. Mediante la ley de los gases ideales despejamos la densidad.

$$124105,68 * \left(\frac{1}{\rho}\right) = R * (273 + 48)$$

- Densidad (ρ): 1,34852479 Kg/m³ , siendo R = 286.7

- Lambda (aire/combustible): 12 este parámetro decrece según aumenta el régimen de giro.
- Rendimiento volumétrico (η_{vol}): la cantidad de aire que entra en el motor entre la teórica máxima. Como se trata de un motor sobrealimentado, el rendimiento será mayor de uno. En el caso del M4 se ha estimado en 1,2.
- El rendimiento indicado (η_{ind}) depende de muchos factores, entre ellos el avance de encendido, para 5000rpm es aproximadamente 0,38.
- La presión media de pérdidas mecánicas (P_{mpm}) viene dada por la siguiente formula:

$$P_{mpm}(bar) = 0,97 + 0.15 * \left(\frac{N}{1000}\right) + 0.05 * \left(\frac{N}{1000}\right)^2$$

En este caso $P_{mpm}=2,97$ bar.

Una vez tenemos estos datos de entrada podemos calcular el resto de los parámetros incluyendo la potencia.

- Gasto másico de aire (\dot{m}_{aire}):

$$\dot{m}_{aire} = \eta_{vol} * V_{total} * 0.5 * \frac{rpm}{60} * \rho$$

$$\dot{m}_{aire} = 200,88 \text{ g/s}$$

- Gasto másico combustible (\dot{m}_{comb}):

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\text{Lambda}}$$

$$\dot{m}_{comb} = 16,74 \text{ g/s}$$

- Potencia arrastre perdidas mecánicas (pmp):

$$pmp = (P_{pmp} * 100000 * V_{total} * \frac{rpm}{60} * 0.5) / 1000$$

$$Pmp = 36,868 \text{ kW}$$

- Potencia indicada (P_{ind}):

$$P_{ind} = \eta_{ind} * \dot{m}_{comb} * Hc$$

$$P_{ind} = 280,792 \text{ kW}$$

- Rendimiento mecánico (η_{mec}):

$$\eta_{mec} = 1 - \left(\frac{p_{mp}}{P_{ind}}\right)$$

$$\eta_{mec} = 0,869$$

- Rendimiento eficaz (η_{ef}):

$$\eta_{ef} = \eta_{ind} * \eta_{mec}$$

$$\eta_{ef} = 0,33$$

- Potencia:

$$Pot = m_{comb} * Hc * \frac{\eta_{ef}}{1000}$$

$$Pot = 243,923 \text{ kW}$$

- Par:

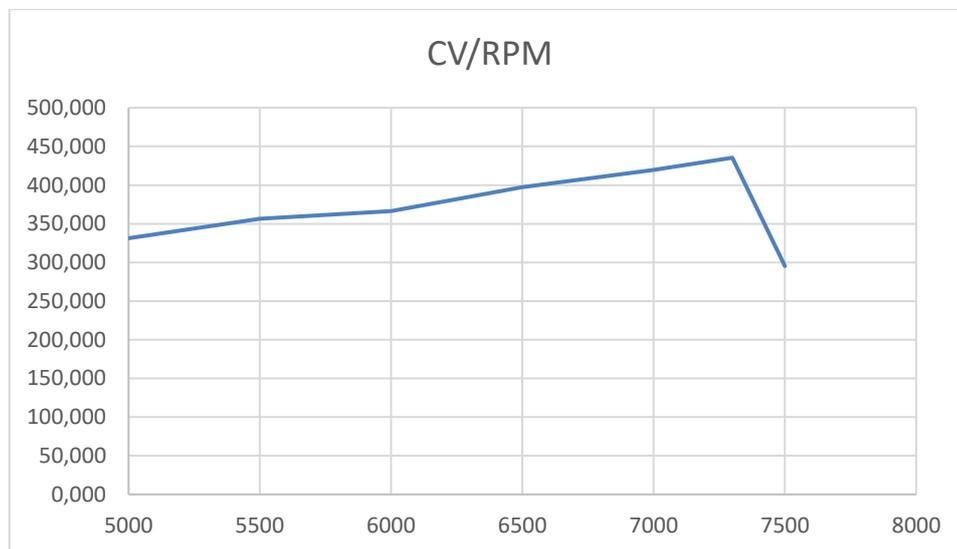
$$Par = Pot * \frac{1000}{2 * \pi * \frac{rpm}{60}}$$

$$Par = 465,858 \text{ Nm}$$

Para todos los casos este será el proceso matemático, a continuación se muestran los resultados de 5000rpm hasta 7300rpm (corte de inyección).

6.7.1 MAPA STOCK

Las tablas con todos los valores se encuentran en ANEXO I. En estas tablas se observa como a medida que aumenta el régimen de giro el rendimiento indicado va disminuyendo. También debemos tener en cuenta que el gasto másico de combustible aumenta, es decir que la mezcla será más rica.



Gráfica 1 – Curva de potencia Stock

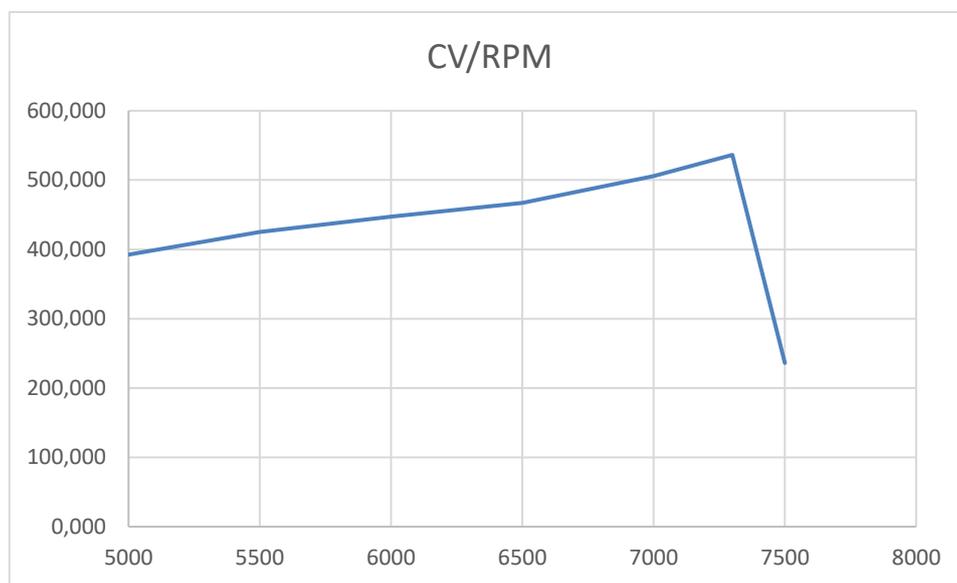
6.7.2 MAPA 2

En el mapa 2, lo que se ha realizado es una mejora de rendimiento indicado y subida de presión del turbo compresor hasta valores medios de aproximadamente 19.5psi.

La mejora de rendimiento mencionada se logra mediante el ajuste del avance de encendido. El avance de encendido se refiere al momento en el que se produce la chispa de la bujía en relación con la posición superior del pistón. Al adelantar el encendido, la chispa ocurre antes de que el pistón alcance su punto más alto.

Este ajuste del avance de encendido tiene un impacto significativo en el rendimiento del motor. Al acercar la chispa de la bujía al punto superior del pistón, se logra una combustión más eficiente de la mezcla de gasolina y aire en la cámara de combustión. Esto se traduce en una liberación de energía más oportuna y una mayor potencia generada por el motor.

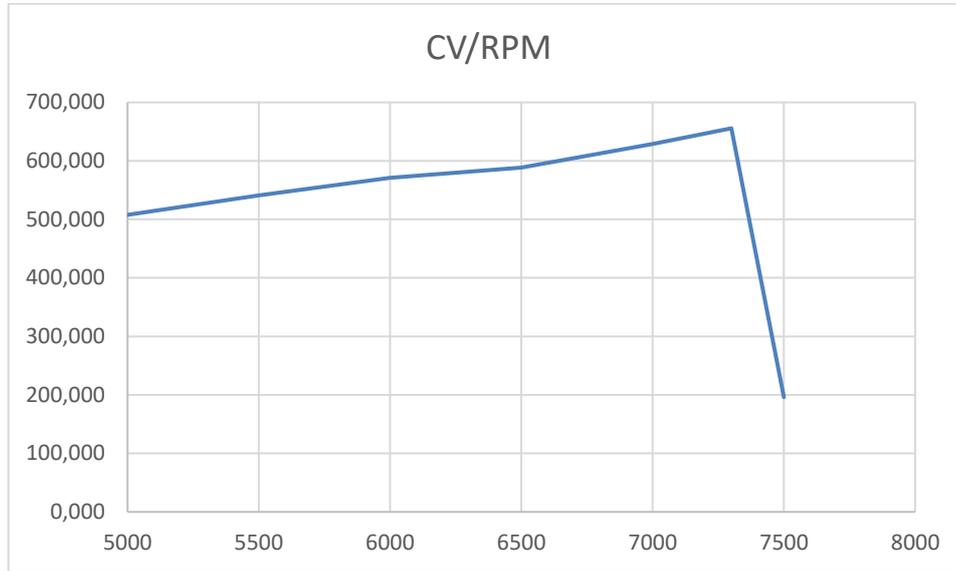
Los resultados en cada rango de revoluciones se encuentran en el ANEXO II. a continuación, se presenta la curva de potencia, se observa un pico de 536,353cv que se aproxima a los 550cv objetivo.



Gráfica 2 - Curva de potencia mapa 2

6.7.3 MAPA 3

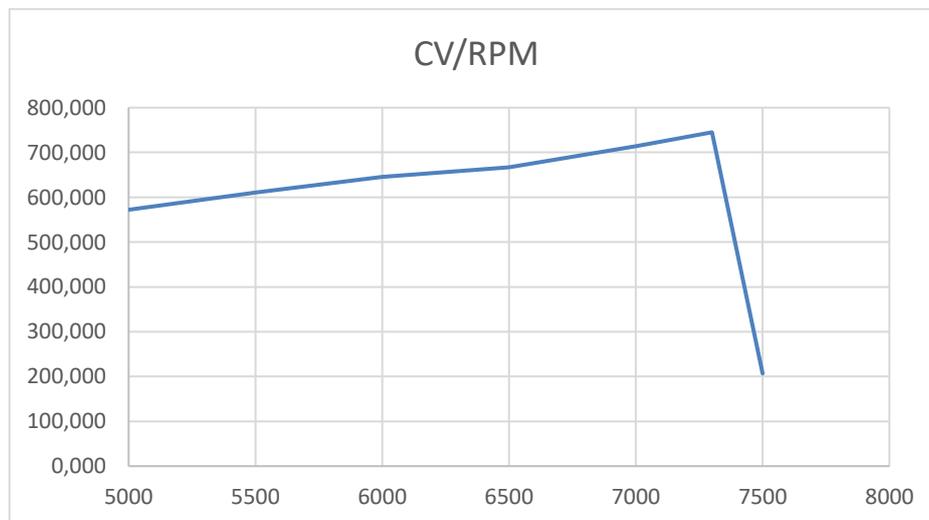
En el mapa 3, se ha ajustado aún más el avance de encendido y conseguir un rendimiento indicado de 0,38. También se ha aumentado la presión del turbocompresor a valores medios-altos de hasta 25psi. Con esto lo gramos un pico de potencia de 655,668cv. Las tablas con los valores en cada rango de revoluciones se encuentran en el ANEXO III.



Gráfica 3 - Curva de potencia mapa 3

6.7.4 MAPA 4

Este es el mapa de potencia más agresivo donde se busca alcanzar el objetivo de 700-750 CV y 800-900 Nm. En este caso, se incrementará la presión del turbocompresor hasta 27 psi y se activará la inyección de metanol. Esto tiene como resultado un mayor octanaje, equiparable a un combustible de 116 octanos. Las tablas con los valores se encuentran en el ANEXO IV. El pico de máxima potencia es de 744,998cv y el mayor par de nuestro tango lo tenemos a 5000rpm, 804,314Nm.



Gráfica 4 - Curva de potencia mapa 4

Capítulo 7. MODIFICACIÓN DEL CHASIS

Esta sección se centrará en las mejoras superficiales que se implementarán en el chasis del vehículo. Aunque no se profundizará en cada aspecto en particular, se buscará realizar modificaciones en la suspensión, frenos y aerodinámica con el fin de mejorar el rendimiento del automóvil y garantizar su capacidad para soportar la potencia adicional por las modificaciones del motor.

Las modificaciones de chasis serán las siguientes:

- Frenos
- Llantas
- Paneles
- Aerodinámica
- Suspensión

7.1 FRENOS

BMW ofrecía el BMW M4 con tres opciones de sistemas de frenado: los frenos M Performance estándar, los frenos M Performance de 6 pistones y los frenos M carbono-cerámicos. Entre estas opciones, los frenos de 6 pistones son considerados la mejor elección para un uso intensivo en circuito, ya que ofrecen un mayor rendimiento de frenado en comparación con los frenos estándar y tienen una mayor mordida frente a los carbono-cerámicos. Se va a asumir que el BMW M4 sobre el que se trabaja viene equipada con la frenada de 6 pistones, de esta manera será más sencilla la instalación.

7.1.1 FRENADA DELANTERA

Para este proyecto, se ha seleccionado la pinza AP Racing Pro5000R de 6 pistones como la opción más adecuada para reemplazar el sistema de frenos original. Esta pinza en particular presenta características que la hacen ideal para uso en circuito.

La pinza AP Racing Pro 5000R destaca por su construcción de alta calidad. Su cuerpo está compuesto por dos piezas de aluminio forjado, lo que proporciona una gran rigidez y

resistencia a altas temperaturas. Los pistones, por su parte, están fabricados en acero inoxidable, lo cual garantiza una excelente durabilidad y resistencia a la corrosión.

Estos seis pistones de la pinza permiten una distribución uniforme de la fuerza de frenado sobre los discos, lo que resulta en una mayor eficacia y respuesta al frenado. Además, el diseño de la pinza proporciona una mejor refrigeración, lo que ayuda a evitar el sobrecalentamiento de los frenos.



Ilustración 42 - Frenada delantera AP Racing [APRA]

7.1.2 FRENADA TRASERA

En cuanto al sistema de frenado trasero, se ha decidido utilizar el mismo modelo de pinza, pero en su versión de 4 pistones de la AP Racing Pro 5000R. Esta elección se basa en la coherencia y compatibilidad con la pinza delantera de 6 pistones seleccionada anteriormente. Sus características de construcción y materiales son las mismas, la única diferencia es que cuenta con 4 pistones en lugar de 6.



Ilustración 43 - Frenada trasera AP Racing [APRA]

7.1.3 DISCOS DELANTEROS

Dentro del proyecto de mejora del sistema de frenos, se ha decidido sustituir únicamente los discos delanteros, ya que son los que experimentan una mayor carga durante las frenadas. Para este propósito, se ha seleccionado el disco Schirmer/AP, reconocido por su gran rendimiento en este tipo de aplicaciones.

El disco Schirmer/AP cuenta con unas dimensiones de 380 mm de diámetro y 32 mm de grosor, lo cual representa un aumento significativo en comparación con los discos de serie. Esta mayor dimensión ofrece una mayor superficie de frenado y, por ende, una capacidad de disipación de calor más efectiva. Además, el grosor adicional contribuye a una mayor resistencia estructural, reduciendo el riesgo de deformación y garantizando una frenada más estable y consistente.

Uno de los principales beneficios de este disco es su capacidad de abrasión superior. Gracias a su composición y diseño específico, este disco es capaz de soportar altas temperaturas y mantener un rendimiento constante en condiciones extremas. Esto se traduce en una mayor durabilidad y una vida útil prolongada.



Ilustración 44 - Discos delantero AP/Schirmer [SCHI]

7.1.4 PASTILLAS DELANTERAS Y TRASERAS

Las pastillas escogidas para esta aplicación son las AF404, se caracterizan por un funcionamiento equilibrado y efectivo en diferentes condiciones de temperatura. Es importante destacar que estas pastillas son aptas para su uso en vías públicas.

Se muestra su coeficiente de fricción frente al rango de temperaturas de trabajo.

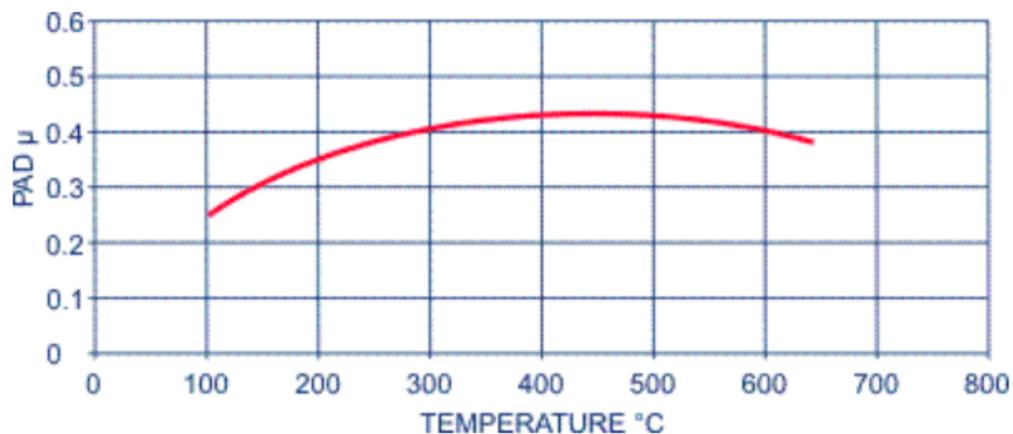


Ilustración 45 - Pastilla AF404 [APRA]

Para uso intenso y prolongado estas pastillas pueden ser sustituidas por las AP401, son más efectivas, pero no están homologadas para uso en carretera.

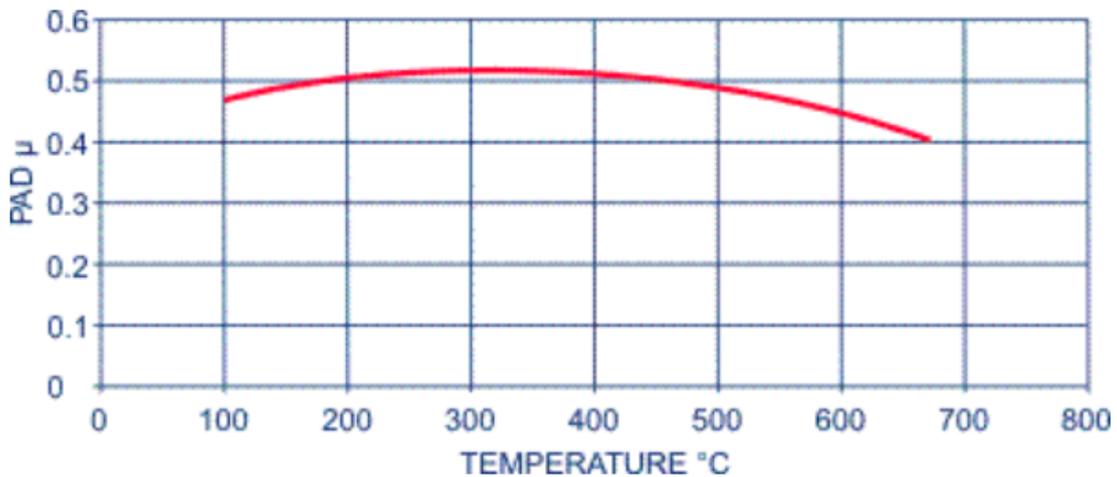


Ilustración 46 - Pastilla AP401 [APRA]

7.1.5 LATIGUILLOS

Los latiguillos de freno están hechos de silicona, estos se sustituirán por unos de acero trenzado con el objetivo de evitar la dilatación a altas temperaturas. Los latiguillos de acero trenzado están diseñados para soportar altas presiones y temperaturas, de esta forma se evitarán pérdidas de eficacia durante la frenada.



Ilustración 47 - Latiguillos de acero [DRIF]

7.1.6 REFRIGERACIÓN FRENADA DELANTERA

Como el vehículo va a estar expuesto a fuertes frenadas, será necesario un sistema de refrigeración adicional, este sistema se instala en la parte delantera del parachoques y conduce el aire ambiente hacia el disco de freno directamente.



Ilustración 48 - Refrigeración frenos [SCHI]

7.2 LLANTAS

Para mejorar el rendimiento y reducir la masa suspendida del vehículo, se ha decidido sustituir las llantas de fábrica del BMW M4 F82 por unas llantas más ligeras y de dimensiones diferentes. Las llantas seleccionadas son las BBS E88, que ofrecen un equilibrio entre peso reducido y mayor anchura para mejorar el agarre y la aceleración.

Las especificaciones originales son las siguientes:

- Las traseras son de 19" diámetro x 10" ancho. Peso de 9,93kg.
- Las delanteras son de 19" diámetro x 9" ancho. Peso de 10,21kg.

En la parte trasera se instalarán las llantas BBS E88 de 18" de diámetro y 11" de ancho, con un peso de 9,7Kg cada una. Estas llantas son de menor diámetro, lo que ayuda a reducir la masa no suspendida.

En la parte delantera, se colocará el mismo modelo de llanta, pero con una anchura de 10". al ser una pulgada menos de diámetro también reducirá la masa no suspendida.



Ilustración 49 - BBS E88 [SCHI]

7.3 PANELES

Para reducir el peso del vehículo y mejorar su rendimiento, se pueden adoptar diversas medidas. Una opción es eliminar los asientos traseros y quitar parte del aislamiento acústico, lo cual reduciría el peso total del vehículo. Sin embargo, para facilitar la homologación y mantener la practicidad del automóvil, se ha decidido conservar las cuatro plazas.

Se realizarán modificaciones en algunos paneles exteriores del vehículo, como las puertas y el capó. Estos paneles serán sustituidos por versiones más ligeras fabricadas con materiales como fibra de carbono.

7.3.1 CAPÓ

El capó de fibra de carbono pesa 6kg, es 15kg más ligero que el de fábrica.



Ilustración 50 - Capó carbono [SCHI]

7.3.2 PUERTAS

Las puertas de carbono pesan 5,2kg cada uno, lo que supone un ahorro de 15,8kg por puerta.



Ilustración 51 - Puertas Carbono SCHI]

Sustituyendo el capó y las puertas, conseguimos un ahorro de 46,6Kg lo que reduce el peso total del vehículo a 1525,4Kg respecto a 1572Kg.

7.4 AERODINÁMICA

En el departamento de la aerodinámica únicamente se añadirá un alerón para aumentar la carga aerodinámica en la parte trasera. Al tratarse de un vehículo de propulsión trasera y gran potencia puede sobrevirar. Con este alerón no se elimina por completo el problema, pero disminuye el riesgo a altas velocidades. Además, este alerón de la marca Schirmer es de los pocos que se pueden homologar.



Ilustración 52 - Aleron Carbono [SCHI]

7.5 SUSPENSIÓN

La suspensión es el elemento más importante del chasis, es la que va a dar la estabilidad y control al vehículo. Estas suspensiones ofrecen ajustes en tres vías: rebote, amortiguación rápida y amortiguación lenta. Permiten un nivel de ajuste más preciso y personalizado, lo que significa que se pueden adaptar a las preferencias individuales del conductor y a las condiciones específicas de conducción. Una característica destacada de las suspensiones Nitron R3 es su diseño de botella independiente y su construcción con partes de titanio.



Ilustración 53 - Nitron R3 [NITR]

La suspensión vendrá acompañada de un kit de cojinetes y rótulas de dirección “Uniball”. Su función en el tren delantero es mejorar la precisión y estabilidad. En el tren trasero reducen balanceo del chasis. Estos cojinetes reemplazan los componentes de goma o caucho utilizados en los puntos de articulación de la suspensión.

Es importante tener en cuenta que la instalación de cojinetes y rótulas "Uniball" puede afectar ligeramente el confort de conducción, ya que transmiten más información de la carretera al chasis. Sin embargo, esta mejora en la precisión y estabilidad se considera beneficiosa para conducción deportiva.



Ilustración 54 - Rótulas Uniball [SCHI]

Capítulo 8. HOMOLOGACIÓN

En este apartado se enumerarán todas las piezas y se indicará su viabilidad de homologación para su uso en vía pública, de acuerdo con el Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, que regula la tramitación de las reformas de vehículos.

Es importante tener en cuenta que cada tipo de pieza puede requerir un procedimiento de homologación diferente, y el Real Decreto establece qué reformas deben ser homologadas y cuáles no. Dado que no se dispone de las piezas ni de las herramientas necesarias para realizar una verificación exhaustiva de que todas las piezas cumplen con los actos reglamentarios, no se puede garantizar que todas puedan ser homologadas. Sin embargo, es importante destacar que a lo largo de todo el proyecto se ha tenido en cuenta esta consideración, por lo que es muy probable que la mayoría de las piezas mencionadas puedan ser homologadas.

El BMW M4 pertenece a la categoría M1 de vehículos, que son vehículos de motor diseñados y fabricados principalmente para el transporte de personas y su equipaje. Los vehículos de la categoría M1 tienen un máximo de ocho plazas de asiento, además de la del conductor, y no deben disponer de ningún espacio para viajeros de pie. Además, el número de plazas puede estar limitado a una.

Los documentos que se pueden exigir son los siguientes:

- Proyecto técnico: el proyecto técnico deberá recoger todas las transformaciones a realizar en el vehículo que se pretenden legalizar, identificando también aquellas modificaciones asociadas a códigos de reforma para los que el proyecto técnico no es obligatorio. No será necesario incluir cálculos específicos para estos últimos. [REFO22]
- Certificado final de obra: deberá identificarse: técnico competente, el vehículo (marca, tipo, variante, denominación comercial, número de identificación, matrícula y una o varias fotografías del vehículo después de la reforma), reformas realizadas y taller/es donde se ha/n ejecutado la/s reforma/s. Las fotografías deben mostrar el aspecto general del vehículo y los detalles de la reforma realizada. [REFO22]
- Informe de conformidad: en el informe de conformidad, deberán, en todos los casos, describirse los equipos, sistemas modificados, sustituidos o incorporados indicando las características esenciales de cada uno para que permitan identificarlos durante la inspección y en especial, lo indicado para cada código de reforma. Del mismo modo, en el informe de conformidad deberán indicarse expresamente todos los datos del

vehículo que varíen de los contenidos en la tarjeta ITV o sea necesario añadir según la "normalización de la anotación de la reforma en la tarjeta ITV" indicada para cada código de reforma. [REFO22]

- Certificado de taller: debe especificar en el apartado de Observaciones la identificación de los equipos o sistemas modificados y especificando antes de su apartado de firma que se garantiza que se cumple lo previsto en el artículo 6 del Reglamento General de vehículos y, en su caso, en el artículo 9 del Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regula la actividad industrial en talleres de vehículos automóviles, de equipos y sus componentes, modificado por 455/2010, de 16 de abril. [REFO22]
- Documentación adicional: indica la documentación necesaria para completar la información sobre la reforma realizada en el vehículo.

8.1 PRE - POTENCIACIÓN

8.1.1 CRANK-HUB

El crank hub, al ser una pieza equivalente a la original y desempeñar exactamente la misma función, generalmente no requiere homologación. Esto se debe a que no implica una modificación estructural ni funcional del vehículo, sino más bien un reemplazo o mejora de una pieza existente.

8.1.2 CHARGE PIPES

Con las "Charge pipes" ocurre lo mismo que con el "crank hub", son piezas equivalentes a las originales y cumplen la misma función.

8.2 MODIFICACIONES DEL MOTOR

8.2.1 J PIPE

La "J pipe" también se considera reemplazo de pieza original y no hace falta homologar.

8.2.2 ADMISIÓN EVENTURI

La admisión Eventuri se clasifica dentro del Grupo 2 (Unidad Motriz), en el apartado 1 del Real Decreto mencionado anteriormente. Este apartado se refiere a la modificación de las características o sustitución de elementos del sistema de admisión del combustible.

En la ficha técnica del vehículo, se encuentra el campo de aplicación que especifica el tipo de vehículo afectado, en este caso, los vehículos de tipo M1. En los actos reglamentarios correspondientes, se incluye una tabla que indica los Actos Reglamentarios (AR) aplicables para cada sistema afectado.

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a:									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones	70/220/CEE	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Emisiones (Euro 5 y 6), vehículos ligeros/acceso a la información	Reglamento (CE) N° 715/2007	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Humos diésel	72/306/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Salientes exteriores	74/483/CEE	(2)	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Campo de visión delantera	77/649/CEE	(2)	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Emisiones diesel	88/77/CEE	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones (Euro 4 y 5) vehículos pesados	Reglamento (CE) N° 595/2009	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x

Tabla 16 - Actos Reglamentarios 2.1 [REFO22]

Los documentos necesarios son los siguientes:

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SÍ	SÍ	NO

Tabla 17 - Documentación necesaria 2.1 [REFO22]

8.2.3 TURBOCOMPRESORES TTE740

Para la modificación de los Turbocompresores también aplica el grupo 2, apartado 1 del proceso de homologación. Sin embargo, es importante tener en cuenta la siguiente información adicional que será considerada más adelante junto con la reprogramación.

INFORMACIÓN ADICIONAL
<p>En esta reforma se contemplarán las modificaciones del sistema de la admisión, tales como: instalación de un turbocompresor, refrigerador de aire de admisión (intercooler), toma elevada de admisión (snorkel), entre otras.</p> <p>Si esta reforma supone modificación de la potencia máxima, se tramitará además la reforma 2.9.</p>

Tabla 18 - Info adicional 2.1 [REFO22]

Los actos reglamentarios y documentación necesaria son los del apartado 2.1.

8.2.4 DOWNPIPES Y TRAMO FINAL DE ESCAPE

Las “downpipes”, al ser consideradas una modificación en el sistema de escape, normalmente requerirían una homologación específica. Sin embargo, si las downpipes instaladas cuentan con la certificación ECE, se considera que cumplen con los estándares y regulaciones establecidos por la Unión Europea. Con lo cual no es obligatorio abrir reforma, solo se necesitaría un certificado de montaje del taller y papeles del fabricante que incluya la contraseña de homologación europea. Con esto, ya no haría falta homologar, simplemente presentarlo en la ITV cuando sea necesaria.

Para el tramo final de escape Akrapovič ocurre lo mismo, se muestra el certificado ECE del mismo.

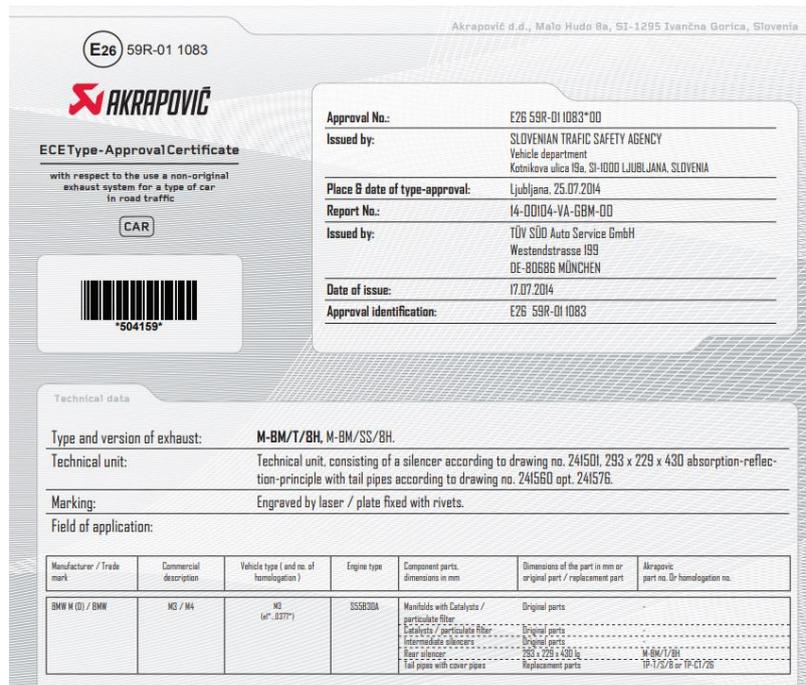


Ilustración 55 - ECE escape [AKRA]

8.2.5 INTERCOOLER WAGNER

El “intercooler” entra en el apartado 2.1 (modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión del comburente) de nuevo, esta modificación esta además reflejada en la información adicional. Como ya se han expuesto los Actos Reglamentarios y la documentación necesaria en el apartado “8.2.2 Admisión Eventuri” no se listarán de nuevo.

INFORMACIÓN ADICIONAL
En esta reforma se contemplarán las modificaciones del sistema de la admisión, tales como: instalación de un turbocompresor, refrigerador de aire de admisión (intercooler), toma elevada de admisión (snorkel), entre otras.

Tabla 19 - Información adicional 2.1 [REFO22]

8.2.6 KIT METANOL

La inyección de metanol no puede ser homologada, sin embargo, si se puede llevar instalada mientras no se haga uso de la misma en la vía pública. Para que su instalación sea homologada (aunque no su uso) se debe homologar el tanque adicional. Esta homologación viene reflejada en el apartado 2.7 (modificación de la ubicación, sustitución, adición o reducción del número de depósitos de combustible).

A continuación, se muestran los Actos Reglamentarios.

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Depósito de combustible	70/221/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Masas y dimensiones	92/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Masas y dimensiones (resto vehiculos)	97/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Equipos especiales para GNC, GNL	Reglamento CEPE/ONU 110R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Equipos especiales para GLP	Reglamento CEPE/ONU 67R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Sistemas especiales de adaptación al GLP o GNC	Reglamento CEPE/ONU 115R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Protecciones laterales	89/297 CEE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	(2)	(2)

Tabla 20 - Actos Reglamentarios 2.7 [REFO22]

La documentación necesaria es la siguiente.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SI	SI	NO

Tabla 21 - Documentación necesaria 2.7 [REFO22]

8.2.7 REPROGRAMACIÓN

La reprogramación entra en la categoría 2.9 (Modificación de sistemas o de la programación de los mismos que puedan variar la potencia máxima), con esto podremos homologar todos los mapas excepto el de inyección de metanol que será exclusivamente para circuito.

Actos reglamentarios:

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones	70/220/CEE	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Emisiones (Euro 5 y 6), vehículos ligeros/acceso a la información	Reglamento (CE) N° 715/2007	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Humos diesel	72/306/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Potencia del motor	80/1269/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones diesel	88/77/CEE	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones (Euro 4 y 5) vehículos pesados	Reglamento (CE) N° 595/2009	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x

Tabla 22 - Actos Reglamentarios 2.9 [REFO22]

Documentación necesaria:

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SI	SI	NO

Tabla 23 - Documentación necesaria 2.9 [REFO22]

8.3 MODIFICACIONES DEL CHASIS

8.3.1 FRENOS DELANTEROS Y TRASEROS

Los frenos del vehículo, incluyendo los discos entran en la categoría 7.1. Esta categoría se refiere a la modificación de las características del sistema de frenado o de alguno de sus componentes.

Es importante tener en cuenta que la homologación de los frenos requerirá documentación adicional, ya que se deben realizar diferentes pruebas de frenado para garantizar su correcto funcionamiento y cumplimiento de los estándares de seguridad. Esta documentación puede incluir informes de pruebas realizadas por laboratorios acreditados, especificaciones técnicas de los componentes utilizados, certificados de conformidad, entre otros.

Actos reglamentarios:

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Mecanismos de dirección	70/311/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Frenado	71/320/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Acondicionamiento interior	74/60/CEE	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 24 - Actos Reglamentarios 7.1 [REFO22]

Documentación necesaria.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 25 - Documentación necesaria 7.1 [REFO22]

8.3.2 LLANTAS

Las llantas también serán sometidas a pruebas muy similares a la frenada. La sustitución de las llantas se contempla en el apartado 4.4 (Modificaciones o sustituciones en ruedas o instalación/desinstalación de separadores de ruedas que impliquen modificación del ancho de vía). Al ser mas anchas tendrán que ser homologadas.

Actos reglamentarios.

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Mecanismos de dirección	70/311/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Guardabarros	78/549/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Protección lateral	89/297/CEE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	(2)	(2)
Sistemas antiproyección	91/226/CEE	-	-	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neumáticos	92/23/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Masas y dimensiones (resto vehículos)	97/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Protección delantera contra empotramiento	2000/40/CE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	-	-

Tabla 26 - Actos reglamentarios 4.4 [REFO22]

Documentación necesaria.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 27 - Documentación necesaria 4.4 [REFO22]

8.3.3 SUSPENSIÓN Y COJINETES

La suspensión y cojinetes de nuevo serán sometidas a varias pruebas en marcha, al igual que la frenada y las llantas. Dentro del manual de reformas, se encuentra el apartado 5.1 (Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos).

Los actos reglamentarios son mas extensos que los demás ya que se trata de un elemento de seguridad muy importante.

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Frenado	71/320/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Guardabarros	78/549/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Protección lateral	89/297/CEE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	(2)	(2)
Sistemas antiproyección	91/226/CEE	-	-	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Masas y dimensiones (resto vehículos)	97/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Dispositivos de acoplamiento	94/20/CE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Protección delantera contra el empotramiento	2000/40/CE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	-	-

Tabla 28 - Actos reglamentarios 5.1 [REFO22]

La documentación necesaria.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 29 - Documentación necesaria 5.1 [REFO22]

8.3.4 ALERÓN Y PANELES DE FIBRA DE CARBONO

El alerón se puede homologar con facilidad ya que no sobrepasa el ancho del vehículo y tampoco tiene bordes cortantes. Sin embargo, los paneles de las puertas y el capó deben de cumplir las normas del apartado 8.52 (Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo).

Actos reglamentarios.

ACTOS REGLAMENTARIOS												
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a										
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	
Colisión frontal	96/79/CE	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colisión lateral	96/27/CE	(2)	-	-	(2)	-	-	-	-	-	-	-
Protección delantera contra el empotramiento	2000/40/CE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	-	-	-
Dispositivo de visión indirecta	2003/97/CE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-	-
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE	(2)	-	-	(2)	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia mecánica a la estructura	Reglamento CEPE/ONU 66R	-	(2)	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Protección de los peatones	2003/102/CE	(2)	-	-	(2)	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia de la cabina	Reglamento CEPE/ONU 29R	-	-	-	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-	-

Tabla 30 - Actos Reglamentarios 8.52 [REFO22]

Documentación necesaria.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 31 - Documentación necesaria 8.52 [REFO22]

8.4 PRESUPUESTO Y COMPARACIÓN

A continuación, se realizará una estimación del precio aproximado del proyecto completo, incluyendo el coste de mano de obra y homologación. Además, se compararán las prestaciones con vehículos similares.

Todos los precios de las piezas incluyen mano de obra.

ELEMENTO	PRECIO
BMW M4 F82 nuevo	92.100€
Crank-hub	2.599€
Preparación completa del motor	16.000€
Preparación completa del chasis	42.100€
Homologación individual	1.500€
TOTAL	154.299€

Tabla 32 - Presupuesto BMW Tracktool

Para evaluar las prestaciones del proyecto y realizar una comparación con otros vehículos, utilizaremos los tiempos de vuelta en el circuito de Nürburgring. Este circuito es reconocido internacionalmente como uno de los más desafiantes y exigentes del mundo, lo que lo convierte en un referente para medir el rendimiento de los automóviles. Son 19,15km con 73 curvas en total (33 a izquierdas y 40 a derechas).

Analizaremos los tiempos de vuelta obtenidos por vehículos similares al BMW M4 con las modificaciones realizadas en el proyecto. Esto nos permitirá tener una referencia objetiva de su rendimiento en circuito en comparación con otros automóviles de alto rendimiento.

Como referencia utilizaremos dos vehículos muy similares:

- BMW M4 GT de Schirmer: este BMW M4 lleva un set up muy parecido al de este proyecto en cuanto a chasis, con un piloto profesional da una vuelta al circuito de Nürburgring en tan solo 6 minutos 53 segundos.
- BMW M3 Cristian Vidal: aunque no se trate del mismo vehículo son extremadamente parecidos, comparten motor y la gran parte del chasis, lo que les diferencia es que el BMW M3 tiene 4 puertas frente a las 2 del BMW M4. El BMW M3 de Cristian Vidal cuenta con una preparación de motor y chasis muy similar y consigue dar la vuelta al circuito en 7 minutos 7 segundos.

Se estima que el BMW M4 de este proyecto podría alcanzar tiempos de vuelta cercanos a los mencionados. Si comparamos este rendimiento con el tiempo oficial del BMW M4 F82 de serie, que es de 7 minutos y 52 segundos, podemos apreciar una mejora notable en el rendimiento. Además, se debe tener en cuenta que BMW cuenta con mejores pilotos.

Si comparamos los tiempos de vuelta que puede lograr el BMW M4 con esta preparación con otros vehículos, se observa que la relación coste-rendimiento es muy alta. Se toma como ejemplo el McLaren P1 LM, que ha logrado una de las vueltas más rápidas en Nürburgring con un tiempo de 6 minutos y 43 segundos. Sin embargo, su precio supera el millón de euros.

Otro ejemplo a considerar es el Porsche 911 GT2 RS (991), que iguala los tiempos del McLaren P1 en Nürburgring con un tiempo similar. Sin embargo, su precio es de 326.934€.

Con el BMW M4 modificado, se puede lograr un rendimiento comparable en términos de tiempos de vuelta de forma mucho más asequible. Si bien el precio exacto del proyecto puede variar, incluyendo las modificaciones, la mano de obra y la homologación, es considerablemente menor en comparación con los ejemplos mencionados.

Capítulo 9. ALINEACIÓN CON ODS

Este proyecto no se alinea con todos los objetivos de desarrollo sostenible, pero a través de diversas decisiones tomadas a lo largo del proceso se busca minimizar su impacto medioambiental y contribuir a la sostenibilidad de la industria automotriz. Es importante destacar que cada proyecto tiene sus limitaciones y desafíos particulares, y aunque no se pueda abarcar todos los aspectos de sostenibilidad, se busca maximizar los beneficios en la medida de lo posible.

Existen varios objetivos de desarrollo sostenible que se alinean con este proyecto. Algunos de ellos son:

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura. Este proyecto busca mejorar e innovar en la industria automotriz mediante la investigación y selección de componentes de alta calidad para mejorar el rendimiento del vehículo. Al utilizar tecnología avanzada y realizar modificaciones cuidadosamente seleccionadas, se contribuye al desarrollo de una industria más innovadora y sostenible.

Objetivo 12: Consumo y producción sostenibles. Este proyecto se alinea con este objetivo al homologar el vehículo para su uso en vías públicas. Esto significa que no será necesario tener otro vehículo dedicado exclusivamente para circuito, lo que conlleva un uso más eficiente de los recursos y una reducción en la producción de vehículos adicionales.

Objetivo 13: Acción por el clima. Al cumplir con las regulaciones de emisiones y mejorar la eficiencia del vehículo, se contribuye a reducir el impacto ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero. En comparación con otros vehículos destinados exclusivamente a circuito, este proyecto promueve un enfoque más sostenible, al tener un uso más versátil y eficiente en cuanto a consumos y emisiones.

En resumen, este proyecto no solo busca mejorar el rendimiento del vehículo, sino también alinearse con los objetivos de desarrollo sostenible, promoviendo la innovación en la industria automotriz, fomentando el consumo y la producción sostenibles, y contribuyendo a la acción por el clima al reducir las emisiones y ser más eficiente en el uso de recursos.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

[BMWAG14] BMW AG, Munich, “Technical training. Product Information. S55 Engine”. Munich, Marzo 2014.

[AXEL23] Axel ESPxNUR “Solución definitiva al problema del motor BMW M3/M4/M2C”. Madrid, Febrero 2023. <https://youtu.be/XNpWmWdZGhE>

[BMWANET] BMWAUTOPARTS <https://www.bmwautoparts.net/>

[VARG] Vargas Turbocharger Technologies “VTT N55/S55 Crank Hub Solution”. <https://vargasturbo.com/product/vtt-n55-s55-spline-lock-crankhub-solution/>

[MISH] MISHIMOTO <https://mishimoto.es/intercoolers/1437-bmw-f8x-m3-m4-intercooler-power-pack-2015-2020.html>

[EVEN] Eventuri Intake “The patented Eventuri Filter Housing” <https://www.eventuri.net/technology/>

[TTE] TheTurboEngineers <https://tteglobal.com/bmw/3-series/m3-f80/77/tte740-s55-upgrade-turbochargers>

[HJS] HJS Motorsport <https://hjs-motorsport.de/en/products/tuning/ece-downpipe>

[AKRA] AKRAPOVIČ Exhaust <https://www.akrapovic.com/es/car/products/BMW/M4-F82-F83?brandId=19&modelId=671&lineId=all>

[WAGN] Wagner Tuning Competition <https://burkhart-engineering.com/es/tienda/bmw/m-m/bmw-m3/Kit-de-intercooler-de-competicion-wagner-tuning-adecuado-para-f8x-m3-m4-bmw/>

[SNOW] Snow Performance <https://www.snowperformance.eu/en/water-methanol-injection/boost-cooler/bmw-4-f32-f82-m4-317-kw-100821>

[DATZ] DATAZAP <https://datazap.me/u/dlechnerbmwm4/m4-3rd-data-log-3rd-gear?log=0&data=3-5-6-7-8-13-16-19-20-21>

[APRA] AP Racing <https://apracing.com/>

[SCHI] Team Schirmer <https://www.teamschirmerparts.com/collections/m4-f82>

[DRIF] Drift Shop https://www.driftshop.com/goodridge-braided-brake-hoses-bmw-m4-f82.html?gclid=CjwKCAjwhdWkBhBZEiwA1ibLmOgxCe7lQuRUgkWgdSCHPTN2JwhfwqLf0UD_nmt_4uy57g2_L9SGoRoCy9wQAvD_BwE

[NITR] Nitron TM <https://www.nitron.co.uk/buy-online/automotive/bmw/f82/f82-m4--14-->

[REFO22] Manual de reformas de vehículos, revisión séptima
<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/vehiculos/Documents/Manual%20de%20Reformas%20de%20Veh%C3%ADculos%20Revisi%C3%B3n%207.pdf>

ANEXO I

Mapa stock:

5000		
BMW M4 F82		
Datos		
cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,001348525
	D/S	0,94
cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,002979262
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	81,87

r.p.m	Régimen	5000
KW	Potencia	243,923
CV	Potencia	331,417
N m	Par	465,858
kg m	Par	47,488
g / s	m aire	200,880
(aire / comb)	Landa	12,000
g / s	m comb	16,740
g / KW h	Consumo específico	247,062

g/s	m teorica aire	167,400
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,330
	Rend indicado	0,380
	Rend mecánico	0,869
N m	Par de arrastre	70,413
KW	Pot arras perd mec	36,868
KW	Pot indicada	280,792
bar	Pmi	22,620
bar	Pmpm	2,970
bar	Pme	19,650
m/s	Vmedia pistón	14,933

5500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0013564

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max especifica	88,10

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5500
KW	Potencia	262,463
CV	Potencia	356,608
N m	Par	455,697
kg m	Par	46,452

g / s	m aire	222,260
(aire / comb)	Landa	11,800
g / s	m comb	18,836
g / KW h	Consumo específico	258,352
g / s	m teorica aire	185,216
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,316
	Rend indicado	0,370
	Rend mecánico	0,853
N m	Par de arrastre	78,415
KW	Pot arras perd mec	45,164
KW	Pot indicada	307,627
bar	Pmi	22,529
bar	Pmpm	3,308
bar	Pme	19,221
m/s	Vmedia pistón	16,427

6000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00133604

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW / l	Potencia max específica	90,53

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6000
-------	---------	------

KW	Potencia	269,700
CV	Potencia	366,440
N m	Par	429,240
kg m	Par	43,755
g / s	m aire	238,825
(aire / comb)	Landa	11,700
g / s	m comb	20,412
g / KW h	Consumo específico	272,468
g / s	m teorica aire	199,020
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,299
	Rend indicado	0,360
	Rend mecánico	0,831
N m	Par de arrastre	87,009
KW	Pot arras perd mec	54,669
KW	Pot indicada	324,369
bar	Pmi	21,775
bar	Pmpm	3,670
bar	Pme	18,105
m/s	Vmedia pistón	17,920

6500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00131627

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	98,19

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6500
KW	Potencia	292,526
CV	Potencia	397,453
N m	Par	429,755
kg m	Par	43,808
g / s	m aire	254,899
(aire / comb)	Landa	11,000
g / s	m comb	23,173
g / KW h	Consumo específico	285,177
g / s	m teorica aire	212,416
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,286
	Rend indicado	0,350
	Rend mecánico	0,817
N m	Par de arrastre	96,196
KW	Pot arras perd mec	65,479
KW	Pot indicada	358,004
bar	Pmi	22,184
bar	Pmpm	4,058
bar	Pme	18,127
m/s	Vmedia pistón	19,413

7000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00129709
	D/S	0,94
cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97

KW / l	Potencia max específica	103,70
--------	-------------------------	--------

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7000
KW	Potencia	308,958
CV	Potencia	419,780
N m	Par	421,475
kg m	Par	42,964
g / s	m aire	270,505
(aire / comb)	Landa	10,500
g / s	m comb	25,762
g / KW h	Consumo específico	300,185
g / s	m teorica aire	225,421
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,272
	Rend indicado	0,340
	Rend mecánico	0,799
N m	Par de arrastre	105,976
KW	Pot arras perd mec	77,684
KW	Pot indicada	386,643
bar	Pmi	22,248
bar	Pmpm	4,470
bar	Pme	17,778
m/s	Vmedia pistón	20,907

7300

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00128213
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54

cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/l	Potencia max específica	107,57

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7300
KW	Potencia	320,468
CV	Potencia	435,418
N m	Par	419,210
kg m	Par	42,733
g / s	m aire	278,847
(aire / comb)	Landa	10,000
g / s	m comb	27,885
g / KW h	Consumo específico	313,244
g / s	m teorica aire	232,372
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,260
	Rend indicado	0,330
	Rend mecánico	0,789
N m	Par de arrastre	112,128
KW	Pot arras perd mec	85,717
KW	Pot indicada	406,185
bar	Pmi	22,412
bar	Pmpm	4,730
bar	Pme	17,682
m/s	Vmedia pistón	21,803

7500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00112377

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	72,97

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7500
KW	Potencia	217,386
CV	Potencia	295,361
N m	Par	276,783
kg m	Par	28,214
g / s	m aire	251,101
(aire / comb)	Landa	14,000
g / s	m comb	17,936
g / KW h	Consumo específico	297,024
g / s	m teorica aire	209,250
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,275
	Rend indicado	0,390
	Rend mecánico	0,704
N m	Par de arrastre	116,348
KW	Pot arras perd mec	91,380
KW	Pot indicada	308,765
bar	Pmi	16,582
bar	Pmpm	4,908
bar	Pme	11,675
m/s	Vmedia pistón	22,400

ANEXO II

Mapa 2:

5000		BMW M4 F82
Datos		1
cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,001460902
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,002979262
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	96,92

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5000
KW	Potencia	288,760
CV	Potencia	392,337
N m	Par	551,489
kg m	Par	56,217
g / s	m aire	217,620
(aire / comb)	Landa	11,800
g / s	m comb	18,442
g / KW h	Consumo específico	229,924
g / s	m teorica aire	181,350

	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,355
	Rend indicado	0,400
	Rend mecánico	0,887
N m	Par de arrastre	70,413
KW	Pot arras perd mec	36,868
KW	Pot indicada	325,628
bar	Pmi	26,232
bar	Pmpm	2,970
bar	Pme	23,262
m/s	Vmedia pistón	14,933

5500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00144737

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	105,05

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5500
KW	Potencia	312,979
CV	Potencia	425,243
N m	Par	543,404
kg m	Par	55,393

g / s	m aire	237,166
(aire / comb)	Landa	11,400
g / s	m comb	20,804
g / KW h	Consumo específico	239,296
g / s	m teorica aire	197,638
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,341
	Rend indicado	0,390
	Rend mecánico	0,874
N m	Par de arrastre	78,415
KW	Pot arras perd mec	45,164
KW	Pot indicada	358,143
bar	Pmi	26,228
bar	Pmpm	3,308
bar	Pme	22,921
m/s	Vmedia pistón	16,427

6000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0014341

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	110,52

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6000
KW	Potencia	329,257
CV	Potencia	447,360
N m	Par	524,028
kg m	Par	53,418
g / s	m aire	256,353
(aire / comb)	Landa	11,200
g / s	m comb	22,889
g / KW h	Consumo específico	250,258
g / s	m teorica aire	213,627
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,326
	Rend indicado	0,380
	Rend mecánico	0,858
N m	Par de arrastre	87,009
KW	Pot arras perd mec	54,669
KW	Pot indicada	383,926
bar	Pmi	25,773
bar	Pmpm	3,670
bar	Pme	22,103
m/s	Vmedia pistón	17,920

6500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00140404

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max especifica	115,36

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6500
KW	Potencia	343,673
CV	Potencia	466,947
N m	Par	504,897
kg m	Par	51,468
g / s	m aire	271,895
(aire / comb)	Landa	11,000
g / s	m comb	24,718
g / KW h	Consumo específico	258,920
g / s	m teorica aire	226,579
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,315
	Rend indicado	0,375
	Rend mecánico	0,840
N m	Par de arrastre	96,196
KW	Pot arras perd mec	65,479
KW	Pot indicada	409,152
bar	Pmi	25,354
bar	Pmpm	4,058
bar	Pme	21,296
m/s	Vmedia pistón	19,413

7000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00138742

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926

cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	124,99

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7000
KW	Potencia	372,378
CV	Potencia	505,949
N m	Par	507,992
kg m	Par	51,783
g / s	m aire	289,345
(aire / comb)	Landa	10,500
g / s	m comb	27,557
g / KW h	Consumo específico	266,407
g / s	m teorica aire	241,121
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,306
	Rend indicado	0,370
	Rend mecánico	0,827
N m	Par de arrastre	105,976
KW	Pot arras perd mec	77,684
KW	Pot indicada	450,062
bar	Pmi	25,897
bar	Pmpm	4,470
bar	Pme	21,427
m/s	Vmedia pistón	20,907

7300

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0013712

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW / l	Potencia max específica	132,50

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7300
KW	Potencia	394,756
CV	Potencia	536,353
N m	Par	516,388
kg m	Par	52,639
g / s	m aire	298,216
(aire / comb)	Landa	10,000
g / s	m comb	29,822
g / KW h	Consumo específico	271,960
g / s	m teorica aire	248,514
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,300
	Rend indicado	0,365
	Rend mecánico	0,822
N m	Par de arrastre	112,128
KW	Pot arras perd mec	85,717
KW	Pot indicada	480,473
bar	Pmi	26,511
bar	Pmpm	4,730
bar	Pme	21,781
m/s	Vmedia pistón	21,803

7500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2

g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0010456
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	58,34

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7500
KW	Potencia	173,807
CV	Potencia	236,151
N m	Par	221,298
kg m	Par	22,558
g / s	m aire	233,633
(aire / comb)	Landa	14,000
g / s	m comb	16,688
g / KW h	Consumo específico	345,653
g / s	m teorica aire	194,694
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,236
	Rend indicado	0,360
	Rend mecánico	0,655
N m	Par de arrastre	116,348
KW	Pot arras perd mec	91,380
KW	Pot indicada	265,187
bar	Pmi	14,242
bar	Pmpm	4,908
bar	Pme	9,334
m/s	Vmedia pistón	22,400

ANEXO III

Mapa 3:

5000		BMW M4 F82
Datos		1
cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,001872951
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,002979262
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	125,42

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5000
KW	Potencia	373,646
CV	Potencia	507,671
N m	Par	713,609
kg m	Par	72,743
g / s	m aire	279,001
(aire / comb)	Landa	11,400
g / s	m comb	24,474
g / KW h	Consumo específico	235,799
g / s	m teorica aire	232,501

	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,346
	Rend indicado	0,380
	Rend mecánico	0,910
N m	Par de arrastre	70,413
KW	Pot arras perd mec	36,868
KW	Pot indicada	410,514
bar	Pmi	33,070
bar	Pmpm	2,970
bar	Pme	30,100
m/s	Vmedia pistón	14,933

5500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00185561

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	133,67

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5500
KW	Potencia	398,226
CV	Potencia	541,068
N m	Par	691,413
kg m	Par	70,480

g / s	m aire	304,059
(aire / comb)	Landa	11,200
g / s	m comb	27,148
g / KW h	Consumo específico	245,422
g / s	m teorica aire	253,383
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,332
	Rend indicado	0,370
	Rend mecánico	0,898
N m	Par de arrastre	78,415
KW	Pot arras perd mec	45,164
KW	Pot indicada	443,390
bar	Pmi	32,471
bar	Pmpm	3,308
bar	Pme	29,163
m/s	Vmedia pistón	16,427

6000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00183859

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	141,01

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6000
KW	Potencia	420,116
CV	Potencia	570,810
N m	Par	668,634
kg m	Par	68,158
g / s	m aire	328,658
(aire / comb)	Landa	11,000
g / s	m comb	29,878
g / KW h	Consumo específico	256,026
g / s	m teorica aire	273,881
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,319
	Rend indicado	0,360
	Rend mecánico	0,885
N m	Par de arrastre	87,009
KW	Pot arras perd mec	54,669
KW	Pot indicada	474,786
bar	Pmi	31,873
bar	Pmpm	3,670
bar	Pme	28,203
m/s	Vmedia pistón	17,920

6500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00180005

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max especifica	145,40

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6500
KW	Potencia	433,171
CV	Potencia	588,548
N m	Par	636,380
kg m	Par	64,871
g / s	m aire	348,584
(aire / comb)	Landa	10,800
g / s	m comb	32,276
g / KW h	Consumo específico	268,242
g / s	m teorica aire	290,486
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,304
	Rend indicado	0,350
	Rend mecánico	0,869
N m	Par de arrastre	96,196
KW	Pot arras perd mec	65,479
KW	Pot indicada	498,650
bar	Pmi	30,900
bar	Pmpm	4,058
bar	Pme	26,842
m/s	Vmedia pistón	19,413

7000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00177875

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926

cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	155,35

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7000
KW	Potencia	462,830
CV	Potencia	628,845
N m	Par	631,385
kg m	Par	64,361
g / s	m aire	370,955
(aire / comb)	Landa	10,300
g / s	m comb	36,015
g / KW h	Consumo específico	280,134
g / s	m teorica aire	309,129
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,291
	Rend indicado	0,340
	Rend mecánico	0,856
N m	Par de arrastre	105,976
KW	Pot arras perd mec	77,684
KW	Pot indicada	540,515
bar	Pmi	31,102
bar	Pmpm	4,470
bar	Pme	26,632
m/s	Vmedia pistón	20,907

7300

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00175795

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW / l	Potencia max específica	161,98

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7300
KW	Potencia	482,572
CV	Potencia	655,668
N m	Par	631,262
kg m	Par	64,349
g / s	m aire	382,329
(aire / comb)	Landa	9,800
g / s	m comb	39,013
g / KW h	Consumo específico	291,039
g / s	m teorica aire	318,607
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,280
	Rend indicado	0,330
	Rend mecánico	0,849
N m	Par de arrastre	112,128
KW	Pot arras perd mec	85,717
KW	Pot indicada	568,289
bar	Pmi	31,356
bar	Pmpm	4,730
bar	Pme	26,626
m/s	Vmedia pistón	21,803

7500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2

g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0010456
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	48,45

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7500
KW	Potencia	144,342
CV	Potencia	196,117
N m	Par	183,782
kg m	Par	18,734
g / s	m aire	233,633
(aire / comb)	Landa	14,000
g / s	m comb	16,688
g / KW h	Consumo específico	416,212
g / s	m teorica aire	194,694
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,196
	Rend indicado	0,320
	Rend mecánico	0,612
N m	Par de arrastre	116,348
KW	Pot arras perd mec	91,380
KW	Pot indicada	235,722
bar	Pmi	12,659
bar	Pmpm	4,908
bar	Pme	7,752
m/s	Vmedia pistón	22,400

ANEXO IV

Mapa 4:

5000		BMW M4 F82
Datos		1
cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	44141,2
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,002022787
	D/S	0,94
cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,002979262
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	141,36

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5000
KW	Potencia	421,139
CV	Potencia	572,200
N m	Par	804,314
kg m	Par	81,989
g / s	m aire	301,321
(aire / comb)	Landa	11,400
g / s	m comb	26,432
g / KW h	Consumo específico	225,944
g / s	m teorica aire	251,101
	Rend Volumetrico	1,200

	Rend eficaz	0,349
	Rend indicado	0,380
	Rend mecánico	0,920
N m	Par de arrastre	70,413
KW	Pot arras perd mec	36,868
KW	Pot indicada	458,007
bar	Pmi	36,896
bar	Pmpm	2,970
bar	Pme	33,926
m/s	Vmedia pistón	14,933

5500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00200406

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	150,88

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	5500
KW	Potencia	449,523
CV	Potencia	610,765
N m	Par	780,476
kg m	Par	79,559
g / s	m aire	328,384
(aire / comb)	Landa	11,200

g / s	m comb	29,320
g / KW h	Consumo específico	234,809
g /s	m teorica aire	273,653
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,336
	Rend indicado	0,370
	Rend mecánico	0,909
N m	Par de arrastre	78,415
KW	Pot arras perd mec	45,164
KW	Pot indicada	494,687
bar	Pmi	36,228
bar	Pmpm	3,308
bar	Pme	32,920
m/s	Vmedia pistón	16,427

6000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00198567

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	159,45

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6000
KW	Potencia	475,045
CV	Potencia	645,442

N m	Par	756,056
kg m	Par	77,070
g / s	m aire	354,950
(aire / comb)	Landa	11,000
g / s	m comb	32,268
g / KW h	Consumo específico	244,536
g / s	m teorica aire	295,792
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,323
	Rend indicado	0,360
	Rend mecánico	0,897
N m	Par de arrastre	87,009
KW	Pot arras perd mec	54,669
KW	Pot indicada	529,715
bar	Pmi	35,560
bar	Pmpm	3,670
bar	Pme	31,890
m/s	Vmedia pistón	17,920

6500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00194406

D/S 0,94

cm ³	Cilindrada u	496,54
cm ³	Cil total	2979,26
m ³	Cil total	0,00297926
cm ³	Vcamara comb	53,97
KW / l	Potencia max especifica	164,76

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	6500
KW	Potencia	490,861
CV	Potencia	666,931
N m	Par	721,133
kg m	Par	73,510
g / s	m aire	376,470
(aire / comb)	Landa	10,800
g / s	m comb	34,858
g / KW h	Consumo específico	255,653
g / s	m teorica aire	313,725
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,309
	Rend indicado	0,350
	Rend mecánico	0,882
N m	Par de arrastre	96,196
KW	Pot arras perd mec	65,479
KW	Pot indicada	556,340
bar	Pmi	34,475
bar	Pmpm	4,058
bar	Pme	30,417
m/s	Vmedia pistón	19,413

7000

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00192105

D/S 0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW / l	Potencia max específica	176,34

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7000
KW	Potencia	525,364
CV	Potencia	713,809
N m	Par	716,692
kg m	Par	73,057
g / s	m aire	400,632
(aire / comb)	Landa	10,300
g / s	m comb	38,896
g / KW h	Consumo específico	266,533
g / s	m teorica aire	333,860
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,296
	Rend indicado	0,340
	Rend mecánico	0,871
N m	Par de arrastre	105,976
KW	Pot arras perd mec	77,684
KW	Pot indicada	603,048
bar	Pmi	34,700
bar	Pmpm	4,470
bar	Pme	30,230
m/s	Vmedia pistón	20,907

7300

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm3	Densidad aire de referencia para rend vol	0,00189858
	D/S	0,94
cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926

cm ³	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	184,05

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7300
KW	Potencia	548,319
CV	Potencia	744,998
N m	Par	717,266
kg m	Par	73,116
g / s	m aire	412,915
(aire / comb)	Landa	9,800
g / s	m comb	42,134
g / KW h	Consumo específico	276,633
g / s	m teorica aire	344,096
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,285
	Rend indicado	0,330
	Rend mecánico	0,865
N m	Par de arrastre	112,128
KW	Pot arras perd mec	85,717
KW	Pot indicada	634,035
bar	Pmi	34,983
bar	Pmpm	4,730
bar	Pme	30,254
m/s	Vmedia pistón	21,803

7500

cm	Diámetro	8,4
cm	Carrera	8,96
	r (r.de compresión)	10,2
	Nº cilindros	6
KJ / Kg	Hc	45600
g/cm ³	Densidad aire de referencia para rend vol	0,0010456
	D/S	0,94

cm3	Cilindrada u	496,54
cm3	Cil total	2979,26
m3	Cil total	0,00297926
cm3	Vcamara comb	53,97
KW/ l	Potencia max específica	51,06

Curva de potencia. Medida en banco

r.p.m	Régimen	7500
KW	Potencia	152,132
CV	Potencia	206,702
N m	Par	193,701
kg m	Par	19,745
g / s	m aire	233,633
(aire / comb)	Landa	14,000
g / s	m comb	16,688
g / KW h	Consumo específico	394,899
g / s	m teorica aire	194,694
	Rend Volumetrico	1,200
	Rend eficaz	0,200
	Rend indicado	0,320
	Rend mecánico	0,625
N m	Par de arrastre	116,348
KW	Pot arras perd mec	91,380
KW	Pot indicada	243,512
bar	Pmi	13,078
bar	Pmpm	4,908
bar	Pme	8,170
m/s	Vmedia pistón	22,400