



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA COMBUSTIÓN DUAL FUEL EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UN CAMIÓN VOLVO FL DESTINADO AL REPARTO URBANO

AUTOR: DANIEL GARCÍA MOYA

TUTOR: ANTONIO GARCÍA MARTÍNEZ

COTUTOR: JAVIER MONSALVE SERRANO

Curso Académico: 2020-21

RESUMEN

En los últimos años, dentro del marco de los motores de combustión interna, el número de investigaciones que han puesto su foco en el estudio y desarrollo de nuevas técnicas de reducción de contaminantes y aumento de la eficiencia ha aumentado sin pausa. Concretamente, los nuevos modos de combustión de baja temperatura premezclados han ganado importancia debido a las grandes ventajas que presentan respecto a los modos convencionales de combustión, siendo estas la reducción de contaminantes como NOx y hollín; muy presentes en los motores de encendido por compresión.

Por lo tanto, en esta tesis se pretende analizar los requerimientos de un circuito de refrigeración de un motor que emplea un modo de combustión dual fuel (combustión de baja temperatura), así como las cargas térmicas a las que está sometido.

La base del estudio parte de un motor Volvo de 6 cilindros que previamente ya ha sido comprobado y simulado, del cual ya se han obtenido resultados satisfactorios. Este motor que emplea un modo de combustión dual fuel de baja temperatura tiene dos circuitos de recirculación de gases. Para este estudio, y con el objetivo de reducir los costes, se ha eliminado uno de estos sistemas de recirculación de gases. Por tanto, el objetivo principal es, mediante el software comercial GT-SUITE, diseñar y comprobar la viabilidad tecnológica de un nuevo circuito de refrigeración con las nuevas condiciones de transferencia térmica, de forma que se mantengan esos resultados satisfactorios.

Palabras Clave: Combustión; Emisiones; Transferencia de Calor; Caídas de Presión; Refrigeración.

RESUM

En els últims anys, dins del marc dels motors de combustió interna, el nombre d'investigacions que han posat el seu focus en l'estudi i desenvolupament de noves tècniques de reducció de contaminants i augment de l'eficiència ha augmentat sense pausa. Concretament, les noves maneres de combustió de baixa temperatura prebarrejats han guanyat importància a causa dels grans avantatges que presenten respecte a les maneres convencionals de combustió, sent aquestes la reducció de contaminants com NOx i sotge; molt presents en els motors d'encesa per compressió.

Per tant, en aquesta tesi es pretén analitzar els requeriments d'un circuit de refrigeració d'un motor que emprava una manera de combustió dual fuel (combustió de baixa temperatura), així com les càrregues tèrmiques a les quals està sotmés.

La base de l'estudi parteix d'un motor Volvo de 6 cilindres que prèviament ja ha sigut comprovat i simulat, del qual ja s'han obtingut resultats satisfactoris. Aquest motor que emprava una manera de combustió dual fuel de baixa temperatura té dos circuits de recirculació de gasos. Per a aquest estudi, i amb l'objectiu de reduir els costos, s'ha eliminat un d'aquests sistemes de recirculació de gasos. Per tant, l'objectiu principal és, mitjançant el programari comercial GT-SUITE, dissenyar i comprovar la viabilitat tecnològica d'un nou circuit de refrigeració amb les noves condicions de transferència tèrmica, de manera que es mantinguen aqueixos resultats satisfactoris.

Paraules Clau: Combustió; Emissions; Transferència de Calor; Caigudes de Pressió; Refrigeració.

ABSTRACT

In recent years, within the framework of internal combustion engines, the number of researches that have focused on the study and development of new techniques for reducing pollutants and increasing efficiency has increased steadily. Specifically, the new pre-mixed low-temperature combustion modes have gained importance due to the great advantages they present over conventional combustion modes, these being the reduction of pollutants such as NO_x and soot; very present in compression ignition engines.

Therefore, in this thesis it is intended to analyze the requirements of a cooling circuit of an engine that uses a dual fuel combustion mode (low temperature combustion), as well as the thermal loads to which it is subjected.

The basis of the study is based on a 6-cylinder Volvo engine that has been tested and simulated previously, from which satisfactory results have already been obtained. This low temperature dual fuel combustion engine has two gas recirculation circuits. For this study, and in order to reduce costs, one of these gas recirculation systems has been eliminated. Therefore, the main objective is, with the GT-SUITE commercial software, to design and verify the technological feasibility of a new cooling circuit with the new thermal transfer conditions, so that these satisfactory results are maintained.

Keywords: Combustion; Emissions; Heat Transfer; Pressure Drops; Refrigeration.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- MEMORIA
- PRESUPUESTO

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. MARCO HISTÓRICO	9
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	10
1.3. OBJETIVOS	12
2. INSTALACIONES EXPERIMENTALES	12
3. HERRAMIENTA NUMÉRICA.....	14
3.1. GT-SUITE.....	14
3.1.1. Aplicaciones.....	15
3.2. GT-ISE	16
3.3. GT-POST.....	16
4. MODELO DEL MOTOR EN GT-ISE.....	17
5. CONSTRUCCIÓN MODELO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN EN GT-ISE	19
5.1. CONFIGURACION GENERAL.....	20
5.1.1. Configuración de la simulación	20
5.1.2. Configuración de los casos (Case Setup)	21
5.1.3. Fluido Refrigerante.....	22
5.1.4. Condiciones iniciales	22
5.2. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN.....	23
5.2.1. Tuberías del circuito de refrigeración	23
5.2.2. Motor.....	24
5.2.3. Intercambiadores de calor	27
5.2.4. Depósito de expansión	30
5.2.5. Bomba de agua.....	30
5.2.6. Radiador	32
5.2.7. Termostato	34



6. RESULTADOS OBTENIDOS.....	37
6.1. Caudal (Mass Flow)	38
6.2. Presiones	41
6.3. Temperaturas	44
7. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO	47
7.1. CONCLUSIONES	47
7.2. DESARROLLO FUTURO.....	48
8. REFERENCIAS	49

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO	54
1.1. Costes en Recursos Humanos	54
1.2. Costes en Equipamiento y Software	54
1.3. Presupuesto General.....	55

TABLA DE SIGLAS

MCI: Motor de Combustión Interna

FSI: Inyección Estratificada de combustible (*Fuel Stratified Injection*)

RCCI: Encendido por compresión controlado por la reactividad del combustible (*Reactivity Controlled Compression Ignition*)

EGR: Recirculación de Gases de Escape (*Exhaust Gas Recirculation*)

SCR: Reducción Catalítica Selectiva (*Selective Catalytic Reduction*)

NOx: Óxidos de Nitrógeno

CO: Monóxido de Carbono

CO2: Dióxido de Carbono

CAE: Ingeniería Asistida por Ordenador (*Computer Aided Engineering*)

FEA: Análisis por Elementos Finitos (*Finite Element Analysis*)

CFD: Mecánica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics*)

CAD: Diseño Asistido por Ordenador (*Computer Aided Design*)

HIL: *Hardware in the Loop*

SiL: *Software in the Loop*

DoE: Diseño Experimental (*Design of Experiments*)

OEM: Fabricante de Equipamiento Original (*Original Equipment Manufacturer*)

IVA: Impuesto sobre el Valor Añadido



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

DOCUMENTO N^o1:
MEMORIA
DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. MARCO HISTÓRICO	9
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	10
1.3. OBJETIVOS	12
2. INSTALACIONES EXPERIMENTALES	12
3. HERRAMIENTA NUMÉRICA	14
3.1. GT-SUITE.....	14
3.1.1. Aplicaciones.....	15
3.2. GT-ISE	16
3.3. GT-POST.....	16
4. MODELO DEL MOTOR EN GT-ISE	17
5. CONSTRUCCIÓN MODELO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN EN GT-ISE	19
5.1. CONFIGURACION GENERAL.....	20
5.1.1. Configuración de la simulación	20
5.1.2. Configuración de los casos (Case Setup)	21
5.1.3. Fluido Refrigerante.....	22
5.1.4. Condiciones iniciales	22
5.2. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN.....	23
5.2.1. Tuberías del circuito de refrigeración	23
5.2.2. Motor.....	24
5.2.3. Intercambiadores de calor	27
5.2.4. Depósito de expansión	30
5.2.5. Bomba de agua.....	30
5.2.6. Radiador	32
5.2.7. Termostato	34
6. RESULTADOS OBTENIDOS	37
6.1. Caudal (Mass Flow)	38
6.2. Presiones	41
6.3. Temperaturas	44
7. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO	47
7.1. CONCLUSIONES	47
7.2. DESARROLLO FUTURO.....	48
8. REFERENCIAS	49

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO HISTÓRICO

El MCI se puede considerar como una evolución de la antigua máquina de vapor, siendo la principal diferencia que la combustión toma lugar en su interior, pero creando de forma similar el inicio de una gran revolución del sector industrial y del transporte.

El primer motor de combustión interna fue construido en 1860 por el ingeniero belga Etienne Lenoir, dicho motor utilizaba como combustible gas de alumbrado y simplemente era capaz de aprovechar el 3 % de la energía extraíble en la combustión. Década y media más tarde, en 1876, el ingeniero alemán Nikolaus Otto presentó el primer motor que funcionaba con ciclo de cuatro tiempos. Este motor, que disponía de accionamiento por pistones alternativos y de encendido por chispa externa, se comenzó a utilizar en aplicaciones estacionarias debido a su gran peso y tamaño. En honor a este ingeniero alemán, se registró la denominación Otto para referirse a estos motores, aunque en la actualidad son más conocidos como motores de gasolina.

En los años posteriores fueron surgiendo más motores con características nuevas que ampliaban las posibilidades de desarrollo: en 1878 Dugald Clerk presentó el primer motor funcional con ciclo de dos tiempos, en 1885 Daimler montó por primera vez un motor de gasolina sobre un vehículo de dos ruedas, en 1892 el alemán Rudolf Diesel inventó un motor de autoignición que utilizaba combustibles pesados y que más tarde se llamaría motor Diesel, ... [19].

Todos estos avances y el reciente descubrimiento del petróleo (1859) habilitaron el inicio de la “carrera” tecnológica. En aquellos años, como el consumo de petróleo no suponía un problema y tampoco había tanto control de las emisiones contaminantes, los principales objetivos de los ingenieros eran diferentes a los que se tienen en la actualidad. La competencia entre las marcas se centraba más en aspectos como el diseño, la potencia y la durabilidad del motor [18].

Al poco tiempo los ingenieros se dieron cuenta de que debido a la gran cantidad de calor que se disipaba durante la combustión, la temperatura del motor incrementaba peligrosamente. Esto afectaba severamente a la eficiencia y a la durabilidad del mismo, ya que el recalentamiento de las diferentes piezas provocaba una mayor fricción y un mayor desgaste de estas, llegando incluso a producirse detonaciones antes de tiempo. Por este motivo se comenzó a utilizar agua para refrigerar el motor, pero el agua presentaba una serie de problemas debido a su baja temperatura de evaporación.

Como solución a la constante evaporación del agua, Karl Benz inventó en 1885 el que podría ser considerado el primer sistema de refrigeración aplicado a un automóvil [4]. Este consistía de una serie de tubos paralelos con el que se conseguía mantener el agua por debajo de su punto de ebullición, a este componente se le acabaría dando el nombre de radiador. Sin embargo, en épocas frías el agua se congelaba, inutilizando el sistema de refrigeración y el propio auto. Por ello, empezaron a surgir soluciones de agua y alcoholes que trataban de paliar este inconveniente, dando lugar a los primeros anticongelantes.

Posteriormente se redescubrió el glicol etílico, que ya se había sintetizado por primera vez en 1856 por Charles Wurtz, como el principal componente del líquido anticongelante. Este compuesto mejoraba enormemente al agua como refrigerante, puesto que no sufría esos cambios de estado tan perjudiciales. Esto permitió el desarrollo de los sistemas de refrigeración, que poco a poco fueron incluyendo nuevos componentes como depósitos de expansión, sensores térmicos, bombas de agua, etc. Esto hacía que los sistemas de refrigeración fuesen cada vez más complejos y sofisticados [25][17].

La estrecha dependencia que el motor de combustión tiene del circuito de cooling para mantenerse dentro de su rango óptimo de temperaturas de funcionamiento, y la gran complejidad de este, hacía muy necesario un adecuado y cuidadoso diseño de estos circuitos.

Con el paso de los años, y como consecuencia de la utilización masiva de los motores de combustión, ha ido creciendo notablemente la consciencia con el medioambiente y el cambio climático, lo que ha dado lugar a que las agencias de medioambiente y gobiernos de todo el mundo establezcan programas de legislación específica de las tecnologías de motores y grandes pactos internacionales (Protocolo de Kioto, acuerdo de Copenhague, acuerdo de París), que tienen como objetivo una drástica reducción de las emisiones contaminantes y de su impacto a la salud humana y medioambiental [2].

Estos pactos y acuerdos han motivado el desarrollo de nuevos modelos, como los motores híbridos (que buscan reducir el consumo de combustible y el nivel de emisiones) y los motores eléctricos (cuya finalidad es reducir la dependencia de los combustibles fósiles, además de reducir las emisiones). La expansión de estos nuevos modelos ha ganado popularidad frente al motor de combustión tradicional, que ha tenido que reinventarse para ser menos perjudicial con el medioambiente y para seguir siendo competitivo.

1.2. ESTADO DEL ARTE

Los acuerdos internacionales y las normas Euro de carácter medioambiental que han ido surgiendo han provocado un cambio en las prioridades de los fabricantes de vehículos, sobre todo en aquellos vehículos destinados al transporte y reparto. Esto ha motivado la aparición de una oleada de nuevos motores más ecológicos, que siguen ganando fuerza en el mercado.

Para cumplir con las nuevas normativas, los fabricantes de motores de combustión de combustibles fósiles (gasolina, diésel, ...) han seguido dos vías principales de desarrollo: reducción del consumo de carburantes (mayor eficiencia en la combustión) y unos gases de escape sean más limpios. Es decir, el principal foco se ha puesto en el sistema de ignición del motor y en el postratamiento de los gases.

Respecto al sistema de ignición, son varias las técnicas que han aportado mejoras notables en cuanto al ahorro de combustible y la emisión de contaminantes. Por ejemplo, la inyección estratificada FSI que consiste en inyectar el combustible en dos etapas diferentes, consigue mejorar el ahorro de combustible hasta un 15% y por ende, emitir una menor cantidad de contaminantes [29].

Otra de las grandes innovaciones que sigue en desarrollo es el motor conocido con las siglas RCCI, el cual utiliza dos combustibles de diferente reactividad (como la gasolina y el diésel). Este tipo de motor emplea dos inyectores de combustible por cilindro, de forma que lo primero es crear una carga correctamente mezclada de aire, gasolina e incluso gases de escape que hayan sido recirculados para que posteriormente; en el trayecto del pistón hacia el punto muerto superior se inyecte el diésel.

Experimentalmente se ha probado que este motor logra alcanzar un 60% de eficiencia y, ajustado correctamente, también es capaz de reducir las emisiones sin necesitar postratamiento de los gases [27].

En cuanto al postratamiento de gases, se han ido creando y optimizando diversas tecnologías que son capaces de reducir y neutralizar los contaminantes producidos en la combustión [10]. Desde el clásico catalizador, que favorece las reacciones químicas y reduce los gases nocivos, hasta otras técnicas más sofisticadas como los circuitos de EGR; que consisten en redirigir parte de los gases producidos en la combustión hacia el colector de admisión (con lo que se consigue reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno) y como la reducción catalítica selectiva (SCR) que utiliza sustancias químicas como el AdBlue para reducir las emisiones de NOx [28][1].

Gracias a la implementación de estas recientes técnicas los motores a gasolina se han vuelto cada vez más y más limpios. Sin embargo, algunas de estas técnicas (como los convertidores catalíticos) no terminan de ser totalmente funcionales en los motores diésel. Por este motivo se siguen desarrollando otros sistemas para el tratamiento de emisiones de los motores diésel modernos, pero la gran mayoría son todavía aparatosos y costosos. Como método alternativo a sistemas de postratamiento se utiliza la combustión a bajas temperaturas, un modo de combustión con el que se consigue disminuir la cantidad liberada de óxidos de nitrógeno (NOx).

El uso y el desarrollo de este modo de combustión es posible, en gran medida, gracias a los estudios realizados en los laboratorios estadounidenses de Sandia (California) durante las últimas décadas del siglo pasado. En esos estudios se demostró que compuestos muy peligrosos y contaminantes como los NOx, son propensos a formarse dentro del motor, en aquellas zonas donde se producen llamas de alta temperatura [6]. Como solución a este problema, surgen las dos principales estrategias que son las que se utilizan en la combustión a bajas temperaturas:

- Recirculación de los gases de escape: parte de los gases de escape expulsados son reenviados (reciclos) de nuevo hacia el motor, de forma que absorban parte del calor que se produce en la combustión. Con este procedimiento se consiguen temperaturas de combustión inferiores de lo habitual, lo que permite una disminución notable de las emisiones de NOx.
- Inyección temprana del combustible: se pretende inyectar el combustible pulverizado un poco antes para que pueda mezclarse mejor con el aire antes de su ignición. Una mejor mezcla del combustible evita que se formen esas zonas ricas en combustible y las altas temperaturas que favorecen la formación de NOx y hollín.

Para la correcta aplicación del modo de combustión a bajas temperaturas, es de especial importancia controlar apropiadamente la temperatura de la mezcla y la relación de compresión.

- La temperatura de la mezcla es el parámetro fundamental ya que está influenciada por tres aspectos: la temperatura debe superar cierto umbral para que se produzca el autoencendido del combustible, también debe sobrepasar los 1500 K para garantizar la oxidación completa de CO a CO2 pero no puede ser superior a la temperatura crítica mínima de formación de NOx (que se sitúa entre los 2000 y 2200 K).

- La relación de compresión empleada en este tipo de combustión es más elevada que la de los motores gasolina convencionales pero menor que la de los diésel, el propósito es lograr concentraciones de oxígeno (con tasas de EGR muy altas) que supongan unos valores de aire/combustible adecuados para reducir notablemente las temperaturas de combustión, y con ello evitar la formación de contaminantes (hollín y NOx).

Por tanto, se puede apreciar que el control de la temperatura de mezcla y el enfriamiento de los gases recirculados (para conseguir la concentración de oxígeno deseada), acentúa todavía más la importancia que tiene el circuito de refrigeración en estos motores y la necesidad de un correcto diseño del mismo [7][16].

1.3. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Grado es el modelado del circuito de refrigeración de un motor que emplea un modo de combustión dual fuel y que tiene un único circuito de EGR de alta presión, así como comprobar si es aplicable a un motor real. Por las características del proyecto, el objetivo general puede dividirse en dos partes diferenciadas:

- Modelado y dimensionado apropiado del circuito de refrigeración, realizando un dimensionado de los distintos elementos (la bomba de agua, el radiador, etc) y un ajuste de estos (curvas de apertura de válvulas, de caídas de presión, etc), adecuados a las características del motor del vehículo objeto de estudio. Todo ello haciendo uso del software de simulación GT-ISE.
- Comprobación de la viabilidad tecnológica y su aplicación a un motor real, analizando las implicaciones de aumentar tanto el calor disipado hacia el refrigerante, tanto los inconvenientes como las posibles soluciones.

2. INSTALACIONES EXPERIMENTALES

La presente tesis tiene como punto de partida un motor Volvo para camión de 6 cilindros y 7.8 litros, el cual ha sufrido una serie de modificaciones hasta llegar a su versión final, y dicha versión final es la utilizada como base para el análisis del circuito de refrigeración. Para comprender la configuración final del motor se expondrán los distintos cambios aplicados, así como algunos de sus motivos y consecuencias.

Al motor diésel de serie se le añadió un sistema de inyección de gasolina de forma que se tuviese el sistema de inyección de diésel (el que ya tenía) y seis inyectores en el puerto para la gasolina. Con esto se tiene una combustión dual fuel (combustión de dos combustibles distintos) y se puede controlar la estratificación de combustible. La finalidad de controlar la estratificación es poder configurar el modo de combustión RCCI (combustión a baja temperatura), con el cual se consigue reducir las emisiones de NOx y hollín.

En la Figura 2.1 se muestra un croquis del banco de trabajo, el cual aparte de incluir el bloque motor, cuenta con una serie de controladores para medir la temperatura y presión en diferentes puntos del motor y con medidores de emisiones contaminantes.

Al tener un circuito de EGR de alta presión, el recorrido de los gases de escape es ligeramente distinto. Explicándolo desde su inicio, el aire entra por el filtro de la admisión, pasa por el compresor y posteriormente es llevado hasta el air-cooler; donde es enfriado para aumentar su densidad con el objetivo de obtener un aumento de la eficiencia volumétrica. Tras este primer tramo, el aire se mezcla con los gases de escape recirculados y se lleva dicha mezcla a todos y cada uno de los cilindros. Los gases generados en la combustión se recogen en el colector y son dirigidos por dos caminos distintos, una parte de dichos gases van a la turbina y finalmente al escape, los gases restantes son recirculados por dos intercambiadores y llegan de nuevo a la mezcla con el aire entrante.

3. HERRAMIENTA NUMÉRICA

El software utilizado ha sido GT-SUITE, concretamente sus extensiones GT-ISE y GT-POST, para el modelado del circuito de refrigeración y para el análisis de los resultados de la simulación, respectivamente.

3.1. GT-SUITE

GT-SUITE ha sido desarrollado por Gamma Technologies y es uno de los softwares comerciales más utilizados en simulaciones de sistemas CAE de multifísicas 0D / 1D / 3D. Proporciona un conjunto muy amplio y completo de librerías con diversos componentes capaces de simular la física del flujo de fluidos, la física térmica, mecánica, eléctrica, magnética, química, ...

Gracias a los componentes incluidos en dichas bibliotecas es posible construir y diseñar modelos muy precisos de prácticamente cualquier sistema de ingeniería, incluyendo algunos más complejos como vehículos, motores, líneas de transmisión, trenes de potencia y sistemas mecánicos, sistemas hidráulicos, lubricación y fricción, gestión térmica, refrigeración, química, postratamiento de fluidos y muchos otros más.

GT-SUITE es conocido por su capacidad de modelado de sistema de alto nivel (0D / 1D), pero también es una herramienta capaz de realizar modelado 3D detallado, con FEA estructural 3D y térmico incorporado, dinámica de múltiples cuerpos 3D con cuerpos flexibles y CFD 3D. Además, su uso puede complementarse con el modelado CAD y con la generación automática de modelos a partir de CAD.

Pero uno de los aspectos que de verdad hacen de GT-SUITE una herramienta potente, es que los modelos de componentes 3D se integran perfectamente en los modelos de nivel de sistema 1D / 0D. Esto les proporciona condiciones de contorno precisas y transitorias, de forma que se aseguran interacciones bidireccionales entre todos los subsistemas.

GT-SUITE también ofrece soluciones rápidas en tiempo real de modelado 0D / 1D, HiL / SiL y simulaciones de sistemas de control. Además de un amplio abanico de funciones avanzadas integradas como DoE, optimización y procesamiento distribuido y paralelo que aseguran una amplia aplicación de los modelos en todo el espectro de actividades de CAE [9].

3.1.1. Aplicaciones

Debido al amplio conjunto de librerías de componentes y de funciones que ofrece GT-SUITE, el software puede utilizarse en casi cualquier campo de la ingeniería. Sin embargo, Gamma Technologies ha desarrollado herramientas especializadas para un conjunto concreto de industrias, las cuales son:

- Vehículos de carretera: pueden construirse modelos muy precisos de motocicletas, coches, autobuses, camiones, vehículos de competición, ... [23].
- Vehículos todoterreno: combinando los diferentes componentes es posible crear modelos precisos de tractores, excavadoras, cosechadoras y grúas móviles [22].
- Industria marina y ferroviaria: el software permite el análisis y modelado de frenos neumáticos, propulsión diésel-eléctrica para trenes y para barcos o buques [20].
- Maquinaria Industrial: con todas las funciones avanzadas es posible modelar equipamiento industrial como compresores, bombas, plantas de procesamiento químico, ... [15].
- Aeroespacial: en el campo aeroespacial el software permite crear modelos de turbinas, quemadores de combustible, sistemas de control ambiental, trenes de aterrizaje, etc [3].
- Generación de energía: pueden modelarse y simularse motores diésel, motores de turbina (gas/vapor), generadores, sistemas de gestión térmica y de recuperación de calor [26].

Sin embargo, dentro de cada industria las aplicaciones del software pueden ser infinitas, por lo que si éstas se agrupan en categorías más generales podemos distinguir cinco campos mayoritarios [24]:

- Sistemas integrados: tales como el modelado de baterías, escenarios de conducción reales con GT-RealDrive, modelado del armazón de vehículos, rendimiento, economía de combustible y emisiones, vehículos híbridos y eléctricos, gestión de energía, modelado del sistema de pila de combustible, ...
- Gestión térmica: cálculo y análisis de la gestión térmica de la batería, refrigeración de vehículos, aire acondicionado y calefacción, recuperación de calor residual, sistemas de control ambiental, comodidad de la cabina, calentadores de agua.
- Mecánica de varios cuerpos: simulación de mecánica de vehículos 3D, transmisiones, trenes de potencia, valvetrain, cracktrain, accionamientos auxiliares y de sincronización, trenes de aterrizaje, ...
- Sistemas de propulsión: modelado de motores, máquinas y accionamientos eléctricos, combustión y emisiones, análisis de presión de cilindros, acústica de admisión y escape, postratamiento de escape, sistemas de motores de aeronaves, sistemas térmicos y de fluidos criogénicos.

- Sistemas de fluidos: hidráulica e inyección de combustible, bombas y compresores, máquinas de tornillo, lubricación, fricción y tribología, cojinetes, sistemas de combustible de aeronaves, modelado de recipientes de carbono, ...

3.2. GT-ISE

GT-ISE (Integrated Simulation Environment) es un espacio de trabajo donde se pueden crear los modelos y donde es posible vincular una gran cantidad de componentes entre sí para conectar el modelo entero como un único bloque. Además, este entorno de trabajo permite configurar los parámetros de simulación y realizar la propia simulación.

Dispone de varios asistentes de ayuda que explican las bases teóricas y las aplicaciones de los diferentes componentes para que el usuario pueda construir y simplificar sus modelos satisfactoriamente. Estos componentes, una vez ya definidos completamente por el usuario, pueden almacenarse en librerías de objetos para una mejor organización y transferencia de datos, entre por ejemplo, OEMs y sus proveedores.

Otra de las funciones más relevantes que ofrece GT-ISE es la posibilidad de organizar el modelo en “subensamblajes”, que mejora y amplía las posibilidades de diseño del modelo. Además, estos “subensamblajes” pueden ser exportados y cifrados por separado, lo que permite a los OEM suministrar sus modelos sin filtrar información confidencial.

Durante la simulación y ejecución del modelo, es posible emplear herramientas de visualización (2D, 3D, etc) que muestran los resultados de la simulación durante el tiempo de ejecución del modelo. Esto permite llevar un seguimiento de los diferentes componentes y comprobar su correcto comportamiento [13].

3.3. GT-POST

Es una interfaz gráfica que permite ver, analizar y manipular los datos obtenidos y recopilados de la simulación, una vez que ésta ya ha terminado. Dispone de diversas funciones que facilitan el control y manipulación de los datos [14]:

- Postprocesamiento de datos basado en gráficos, así como la generación de gráficos 2D y 3D.
- Combinación en un mismo gráfico de datos pertenecientes a diversos casos o simulaciones.
- Posibilidad de introducir vínculos implícitos a archivos ASCII / Excel con capacidades de base de datos para un acceso rápido y flexible a los datos de medición.
- Capacidad para importar datos desde archivos ASCII / MS Excel y para exportar datos a estos mismos tipos de archivo.
- Aplicación de diversas operaciones matemáticas como sumas, restas, derivadas, integrales; en datos pertenecientes a los gráficos.
- Animación de procesos transitorios.

4. MODELO DEL MOTOR EN GT-ISE

El motor, como previamente se ha comentado, también ha sido modelado mediante el software informático GT-ISE para la comprobación de su funcionamiento. Con el objetivo de obtener unos resultados de simulación lo más precisos y reales posible, el modelo ha sido creado con un gran nivel de detalle, tal y como puede apreciarse en la Figura 4.1.

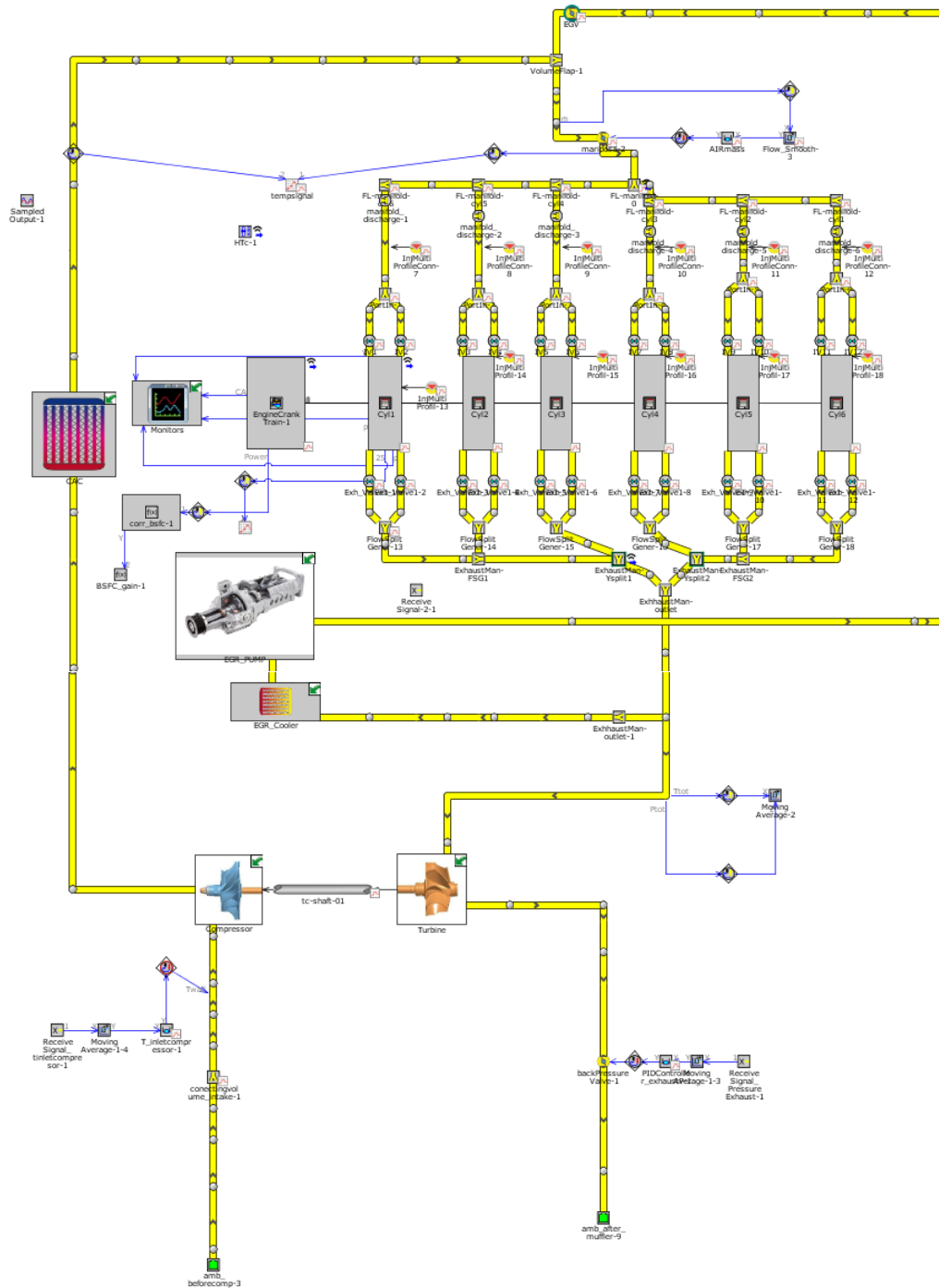


Figura 4.1 – Modelo del motor en GT-ISE

Los principales componentes se muestran en las figuras siguientes y son el bloque de seis cilindros (Figura 4.2), la bomba de recirculación de gases (Figura 4.3), intercambiador de calor del circuito de EGR (Figura 4.4), el CAC (Figura 4.5) y el turbogrupo; formado por el compresor (Figura 4.6) y la turbina (Figura 4.7). De estos componentes se utilizarán algunas variables que servirán como datos de partida para el estudio del circuito de refrigeración.

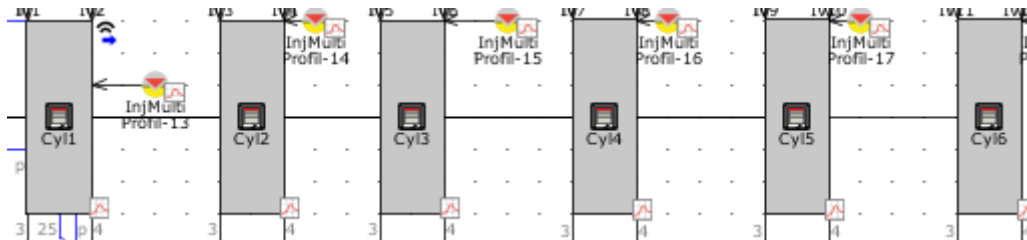


Figura 4.2 – Conjunto de elementos que simulan el comportamiento de los cilindros



Figura 4.3 – Bomba de Recirculación de Gases

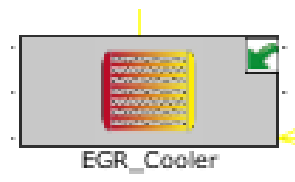


Figura 4.4 – Intercambiador de Calor del circuito de EGR

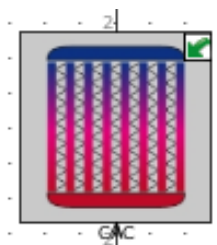


Figura 4.5 – CAC

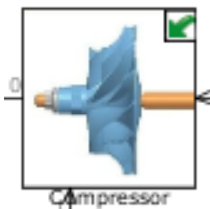


Figura 4.6 – Compresor

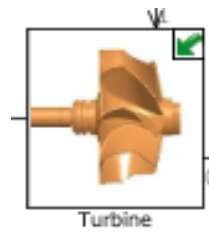


Figura 4.7 – Turbina

Dicho modelo ha sido configurado con 36 puntos de funcionamiento estáticos distintos (la primera mitad de ellos a baja carga y los 18 últimos a alta carga), cada cual con un régimen de giro y una carga diferente, para poder simular y analizar los parámetros y el comportamiento de los elementos que forman y asisten al bloque motor en diversas condiciones. También se modelaron el circuito de tuberías y todo el conjunto de controladores que permiten visualizar los distintos parámetros y variables.

El software permite, mediante modelos OD, realizar análisis termodinámicos de la combustión y del motor teniendo en cuenta efectos muy complejos tales como la transferencia de calor de los gases de combustión a la paredes del cilindro, pérdidas de presión en todo el circuito de renovación de la carga, etc. Además, es capaz de estimar la distribución de los flujos de calor hacia los diferentes componentes del motor (hacia la estructura del motor, hacia el líquido refrigerante, al aceite, ...) y como les afecta. Por ello, la simulación de este modelo aporta una gran cantidad de resultados y cuantifica muchos parámetros. Sin embargo, solo unos pocos son de interés para el circuito de refrigeración.

Los datos que se tomaron como punto de partida para el circuito de cooling fueron principalmente transferencias de calor (entre los cilindros y la estructura del bloque motor, y el calor cedido por los gases recirculados en los intercambiadores de EGR), el volumen de fluido en los intercambiadores de EGR y el caudal másico de refrigerante estimado.

5. CONSTRUCCIÓN MODELO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN EN GT-ISE

Una vez comprendidas las características del motor y obtenidas las variables de partida, el siguiente paso ha sido modelar en GT-ISE el circuito de refrigeración de acuerdo a las necesidades térmicas. Como ya se ha comentado, a parte de los elementos comunes de este tipo de circuitos, también se han incluido ciertos elementos extra no tan habituales.

Teniendo en cuenta el circuito de EGR de alta presión que tiene el motor, se han tenido que incluir unos intercambiadores para refrigerar dicho caudal de gases de escape y evitar un sobrecalentamiento en la admisión del motor.

También, para mejorar el funcionamiento del circuito se han añadido diversos elementos con el objetivo de optimizar el control de éste. Por ejemplo, se ha modelado un termostato para regular más eficazmente la temperatura del refrigerante y un PID con el que asegurar el caudal en cada punto de funcionamiento.

En cambio, otros componentes comunes a todos los circuitos de refrigeración como el radiador o la bomba de agua han sufrido una serie de modificaciones y ajustes para que se comportasen lo más fielmente posible a un circuito real bajo las nuevas condiciones de trabajo. Dichas modificaciones, así como los parámetros más relevantes implementados en cada componente del circuito, se describen a lo largo de este apartado.

En la Figura 5.1 se muestra la forma final del circuito de refrigeración tras modelar y conectar todos los elementos que lo componen.

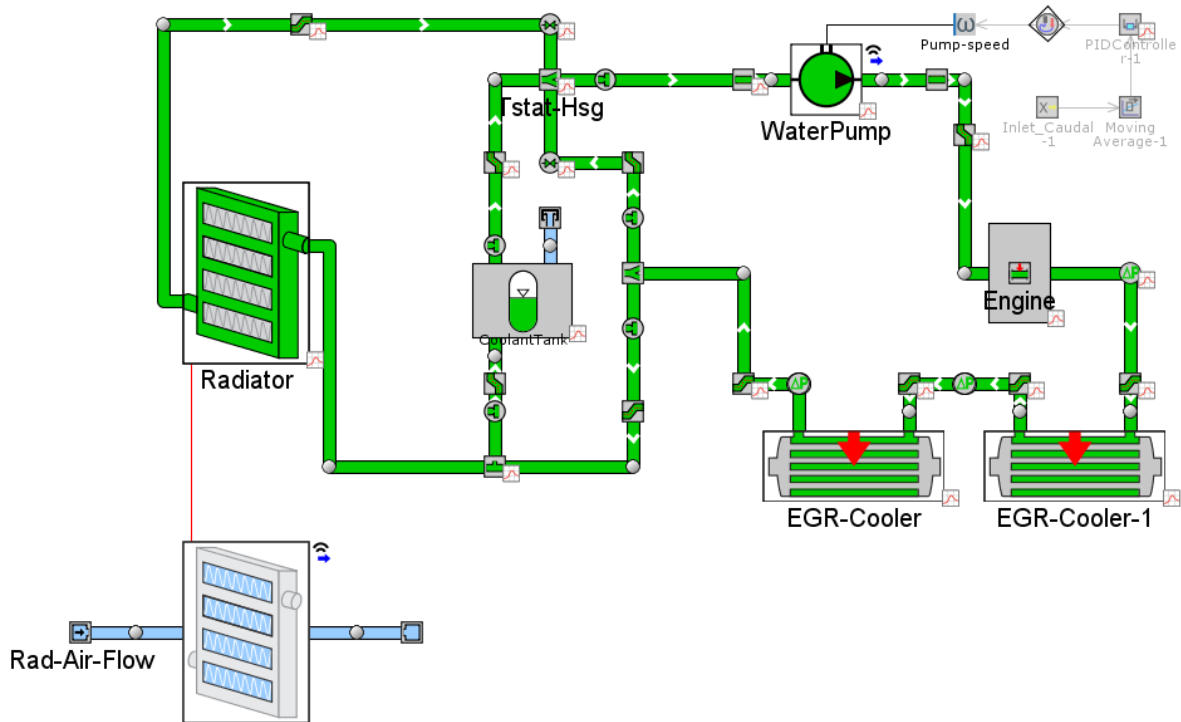


Figura 5.1 – Modelado del circuito de refrigeración

5.1. CONFIGURACION GENERAL

Antes de comentar los modelos creados de cada uno de los elementos que forman parte del circuito de refrigeración, se han de caracterizar las condiciones del sistema (iniciales, de contorno, etc) y algunos parámetros de interés para la simulación.

5.1.1. Configuración de la simulación

La duración total de la simulación depende, principalmente, del tiempo que tardan los diferentes casos configurados en llegar a condiciones estacionarias. Cada caso tiene configurados datos distintos por lo que el tiempo que tardan en alcanzar condiciones estacionarias puede variar. Se considera que un caso o punto de funcionamiento ha alcanzado la condición estacionaria cuando la temperatura del líquido refrigerante se estabiliza a lo largo de todo el circuito de refrigeración.

Sin embargo, para aquellos casos en los que la solución no converja es conveniente mantener el tiempo de simulación limitado para evitar que se alargue indefinidamente. Por tanto, se ha definido que la máxima duración de simulación sea de 1000 segundos (aproximadamente 16 minutos y 40 segundos).

El solver que se emplea para la resolución de los sistemas de ecuaciones diferenciales es el Método de Runge Kutta y el método de optimización de matrices es el algoritmo Cuthill-McKee. Todos los parámetros que definen el tipo de solver utilizado en la resolución de la simulación se muestran en la siguiente tabla.

Attribute	Object Value
Integrator/Solver Type	Explicit-Runge-Kutta
Matrix Optimization Method	Cuthill-McKee
Matrix Storage Format	Skyline
Electrical Matrix Inversion Scheme	SVD

Tabla 5.1 – Configuración del tipo de solver empleada en GT-ISE

5.1.2. Configuración de los casos (Case Setup)

Para poder estudiar el comportamiento real de un circuito de refrigeración, es necesario simular el modelo estando sometido a diferentes condiciones de trabajo para poder analizar su respuesta en cada caso.

GT-ISE permite la configuración de distintos casos o puntos de funcionamiento mediante la ventana CASE SETUP, donde se pueden establecer las condiciones de contorno del circuito que el usuario quiera aplicar. Las variables más importantes del circuito a modificar en cada caso son: el caudal a impulsar por la bomba y el calor transferido al refrigerante desde el motor y los intercambiadores de EGR.

Como se ha comentado en el apartado del modelo del motor, para este estudio se han configurado 36 puntos de funcionamiento o casos distintos. En la Figura 5.2 se presenta una imagen de la ventana CASE SETUP en la que se muestran dichas variables para 2 de los 36 casos configurados.

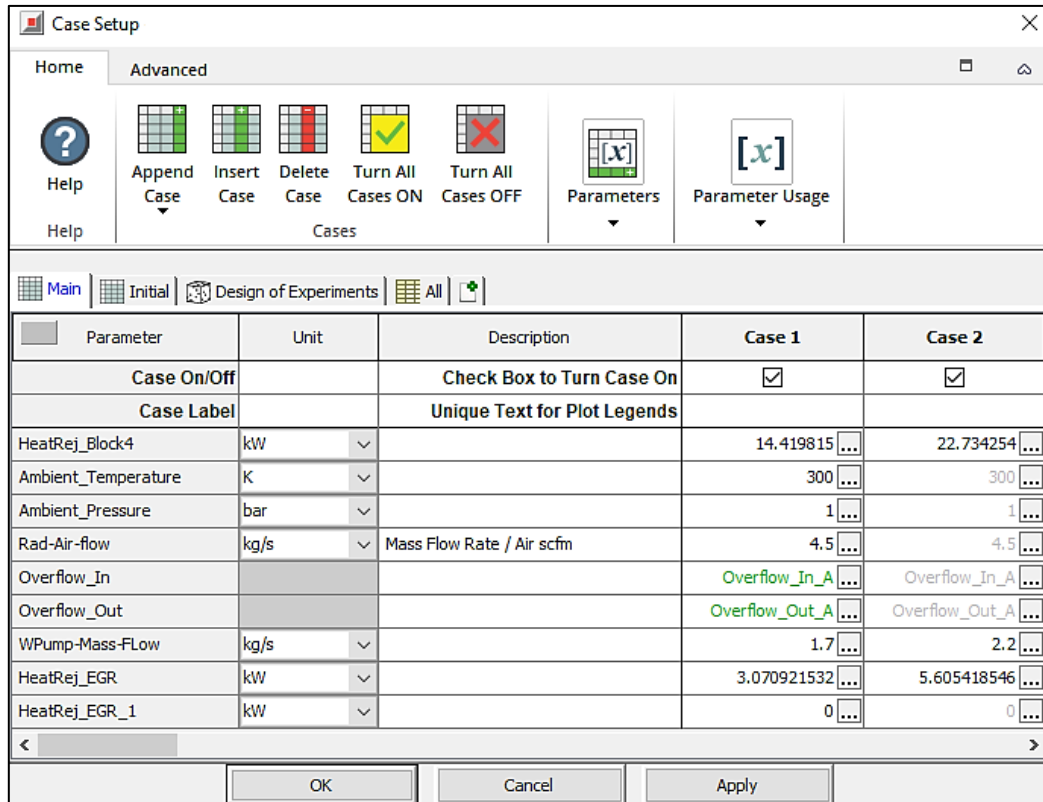


Figura 5.2 – Ventana de configuración de casos (CASE SETUP)

5.1.3. Fluido Refrigerante

En todo circuito de refrigeración es esencial caracterizar el fluido que intervendrá en los intercambios de energía, asegurándose que se ajusta correctamente a los rangos de presión y de temperatura esperados en el circuito.

En este caso se ha utilizado el egl-5050, un fluido que forma parte de la librería interna de GT-ISE. Dicho refrigerante es una mezcla agua-glicol al 50/50 con una densidad de 1071.11 kg/m³. Se ha empleado una mezcla con agua al 50% porque es la proporción óptima para la gran mayoría de temperaturas que se suelen experimentar, además, mantener esta proporción intermedia permite tener una buena protección contra la corrosión. El interés por este refrigerante se debe a la poca cantidad que hay emplear en comparación con otros refrigerantes, lo cual minimiza el impacto que puede provocar en el medio ambiente.

5.1.4. Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales son una serie de valores que se utilizan como referencia para estimar temperaturas de pared de diferentes elementos, así como de los fluidos que intervienen en el circuito en su situación inicial. Sin embargo, estos valores varían durante la simulación hasta que convergen a una solución final en función de los distintos parámetros de entrada. Por lo que las condiciones iniciales también pueden influir en el tiempo que se tarda en alcanzar el régimen estacionario o estabilidad final.

La definición de los diferentes estados iniciales se realiza en la misma ventana de configuración de casos, en una pestaña distinta que tiene el nombre de “Initial”. En esta pestaña se han caracterizado las condiciones de temperatura y presión del refrigerante en el circuito y del gas en el interior del acumulador. Además, se ha definido la temperatura inicial de todas las tuberías que forman parte del circuito de refrigeración.

En la Figura 5.3 se muestran dichos valores iniciales para los dos primeros casos, aunque estas condiciones iniciales se mantienen para los 36 casos configurados.

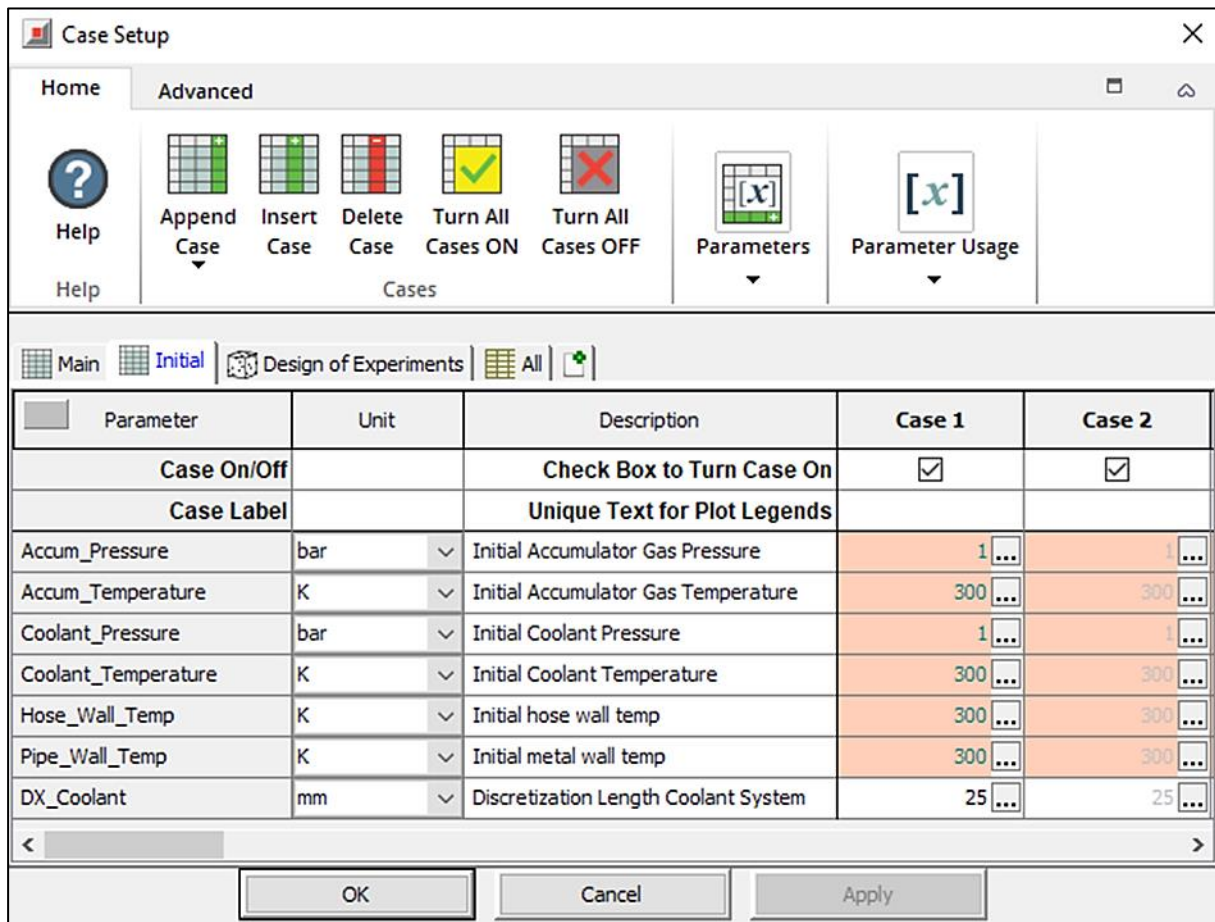


Figura 5.3 – Condiciones iniciales definidas

5.2. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

5.2.1. Tuberías del circuito de refrigeración

Toda la red de tuberías que forma parte del circuito de refrigeración se encarga de que el refrigerante llegue a todos los elementos del motor donde éste es necesario.

Muchos componentes del circuito dependen de la circulación del líquido refrigerante para poder desempeñar su función, por ello es importante definir las características de las tuberías para que se

tenga en cuenta cómo afectan en la simulación (pérdidas de rozamientos, caídas de presión por estrechamiento, etc).

El material definido para todas las tuberías del circuito ha sido la goma lisa (smooth_rubber). Dicho material ha sido escogido de entre una lista de materiales predefinidos que ofrece el propio GT-ISE, por lo que todas sus características ya están definidas en el programa.

El diámetro aplicado para todas las tuberías del circuito ha sido un valor intermedio, basándose en el que presentan las tuberías del motor físico montado en la sala de ensayos (25 mm). Los datos de longitudes y codos se han aproximado a partir de los de otros motores de características similares.

5.2.2. Motor

El motor es uno de los elementos más influyentes en el diseño del circuito pues es allí donde se produce el mayor intercambio de energía, siendo el elemento con mayor calor a disipar. En el modelo del circuito el bloque motor se representa mediante el elemento mostrado en la Figura 5.4. Su función es simular la transferencia del calor producido por la combustión hacia el caudal de líquido refrigerante.

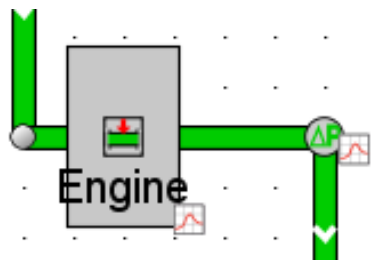


Figura 5.4 – Elemento Engine en GT-ISE

Los datos de transferencia de calor utilizados han sido extraídos, como se comentó en el apartado 4, del modelo del motor ya simulado. Estos valores se muestran en la siguiente gráfica.

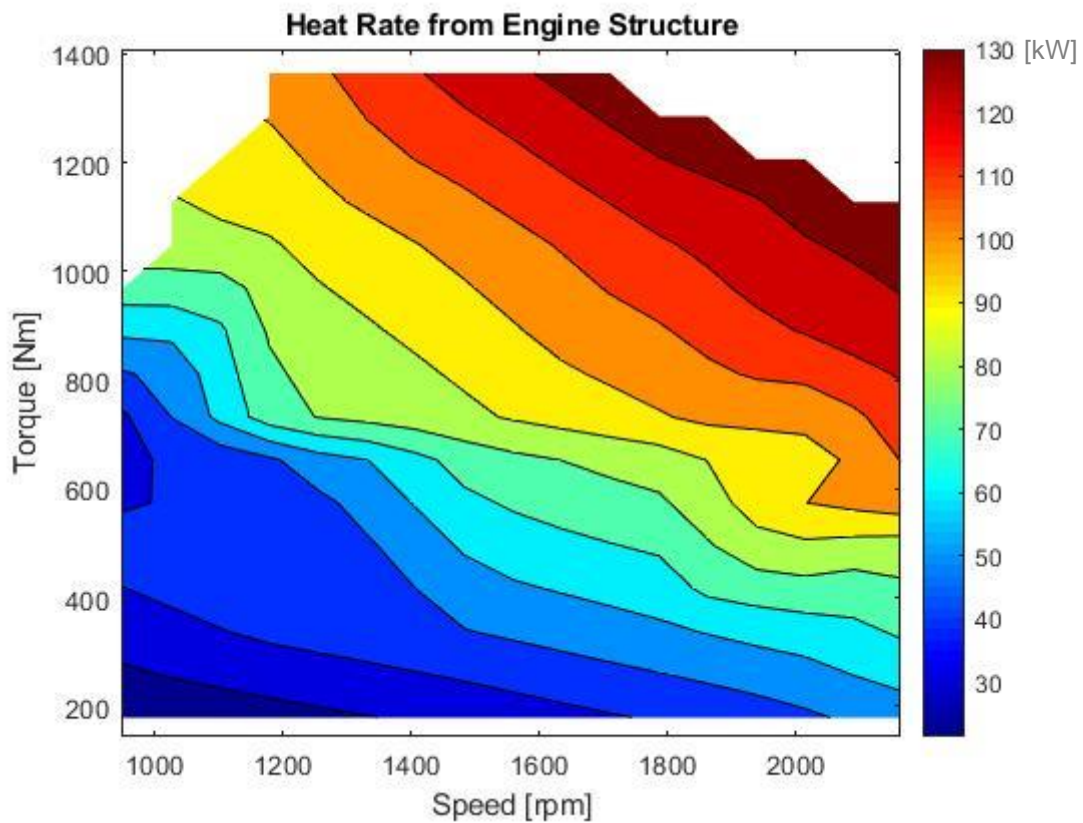


Figura 5.5 – Valores de transferencia de calor del motor

Además, se ha añadido a la salida el elemento ΔP que aplica una caída de presión para que el líquido refrigerante simule también todas las variaciones que experimentaría en un circuito real. Para el dimensionado de la caída de presión que se produce tras este primer intercambio energético, se buscó documentación de circuitos de refrigeración que tuviesen un motor y unas condiciones similares a las presentadas en este trabajo. Tras realizar un ajuste al rango de caudal del circuito, se ha empleado la configuración que se presenta a continuación.

Attribute	Unit	Object Value
Solution Type (Explicit Solver Only)		Orifice
Extrapolation/Interpolation Method		Quadratic
Flow Rate Input		Mass_Flow_Rate

Attri...	Mass Flow Rate	Pressure Drop
	kg/s	bar
1	1.35E-4	0.002443
2	0.674199	0.029316
3	1.353624	0.107493
4	2.027822	0.239416
5	2.702021	0.410427
6	3.37622	0.642514
7	4.055645	0.911246
8	4.729843	1.233725
9	5.4	1.603744
10	6.1	2.039564
11	6.9	2.601724
12	7.6	3.149684
13	8.3	3.749976

Figura 5.6 – Ventana de configuración de la curva de caída de presión en función del caudal másico de refrigerante

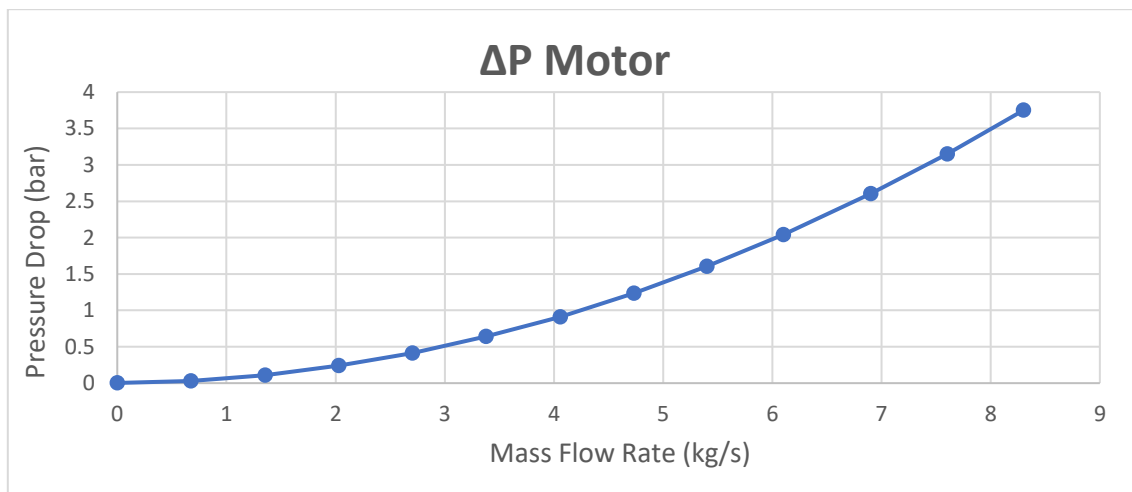


Figura 5.7 – Curva de caída de presión obtenida con Excel

5.2.3. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son dispositivos que se preparan y diseñan para forzar una transferencia de calor entre dos fluidos, bien para enfriar o calentar uno de ellos. Son una parte indispensable para cualquier sistema de transmisión térmico.

Durante las primeras pruebas que se realizaron del motor modificado, se comprobó que tener un único intercambiador de calor para el circuito de EGR era insuficiente, ya que la admisión del motor se sobrecalentaba en exceso afectando al modo de combustión y al rendimiento de éste. Por ello, para poder refrigerar de manera eficaz los gases recirculados del circuito de EGR de alta presión, se han modelado dos intercambiadores de placas de flujo a contracorriente para maximizar la eficiencia del intercambio térmico. El modelo de intercambiador empleado es el mismo que venía de serie en el vehículo.

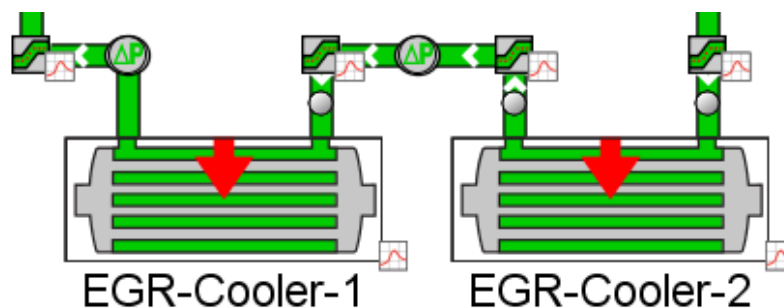


Figura 5.8 – Intercambiadores de calor para el circuito de EGR en GT-ISE

Los datos del calor que se cede al refrigerante en estos intercambiadores se han extraído de la simulación del modelo del motor. Hay que tener en cuenta que en los casos de baja carga (los primeros 18) solo trabaja el primer intercambiador (EGR-Cooler-1) y en los casos de alta carga trabajan los dos (EGR-Cooler-1 y EGR-Cooler-2).

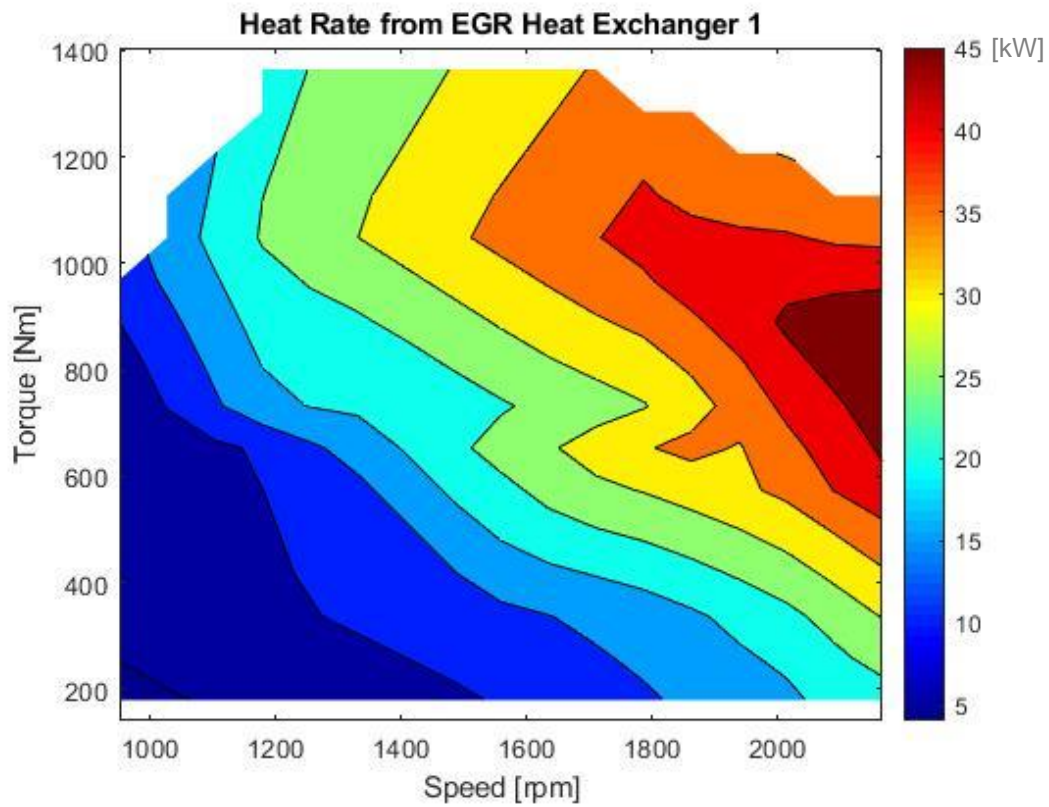


Figura 5.9 – Valores de transferencia de calor del EGR-Cooler-1

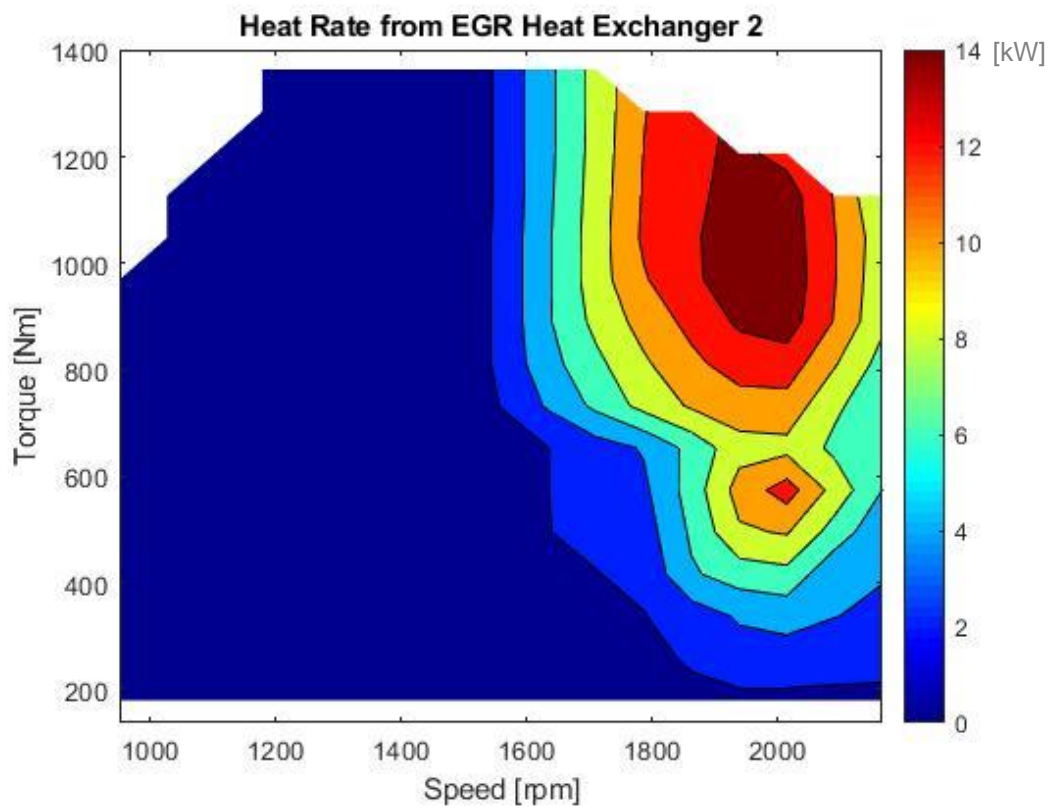


Figura 5.10 – Valores de transferencia de calor del EGR-Cooler-2

Otro de los datos sacados de la simulación del motor es el volumen inicial de fluido en el interior de los intercambiadores. Este volumen ha sido configurado de forma que sea de 2.09L en todos los casos.

Al igual que con el elemento del motor, también se ha modelado la caída de presión que sufriría el refrigerante por atravesar cada intercambiador (los elementos ΔP que hay a la salida de cada intercambiador). Para aplicar unos valores adecuados a las condiciones del circuito, se han buscado elementos que operasen en intercambios térmicos de características similares. Aplicando una serie de modificaciones y ajustes al rango de caudales de trabajo, la configuración final que se ha utilizado se muestra en las siguientes imágenes.

Attribute	Unit	Object Value
Solution Type (Explicit Solver Only)		Orifice
Extrapolation/Interpolation Method		Linear
Flow Rate Input		Mass_Flow_Rate

Attri...	Mass Flow Rate	Pressure Drop
	kg/s	bar
1	0.5	0.002025
2	1.0	0.0096
3	1.5	0.017725
4	2.0	0.0264
5	2.5	0.035625
6	3.0	0.0454
7	3.543622	0.056205
8	4.158741	0.068569
9	4.707	0.083877
10	5.348864	0.097418
11	6.017472	0.115082
12	6.579103	0.129212
13	7.682306	0.162183

Figura 5.11 – Ventana de configuración de la curva de caída de presión en función del caudal másico de refrigerante

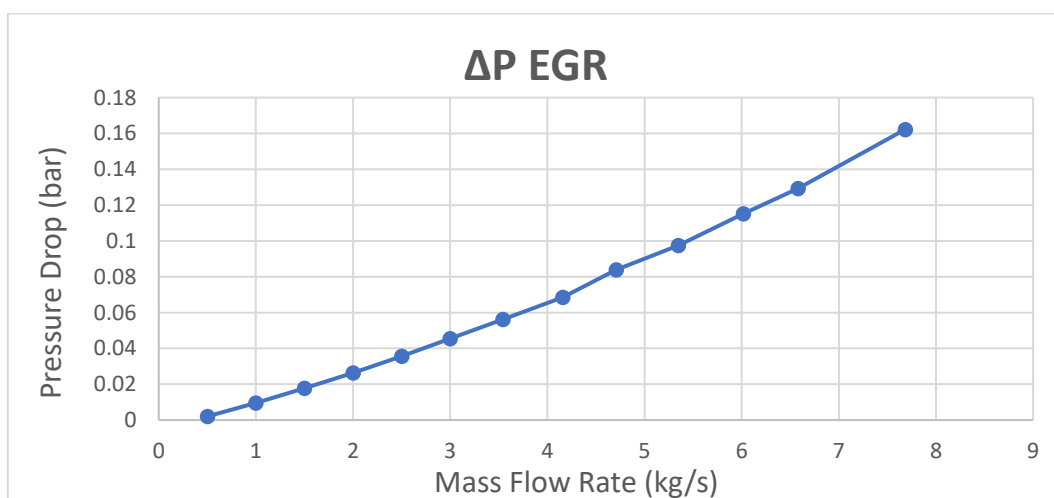


Figura 5.12 – Curva de caída de presión obtenida con Excel

5.2.4. Depósito de expansión

En todo circuito de refrigeración cerrado y presurizado se tiene conectado un depósito auxiliar, llamado depósito o vaso de expansión. Dicho depósito tiene como función recoger el vapor de líquido refrigerante del circuito que se ha evaporado, como consecuencia de una alta temperatura de este, y condensarlo.

La presencia de estos depósitos, que absorben las variaciones de volumen del fluido refrigerante, permite que las presiones establecidas en los circuitos de refrigeración se mantengan a pesar de las fluctuaciones que sufren en la temperatura [8].

Para este circuito se ha modelado un depósito de expansión de 8L (un volumen intermedio para la gama de camiones que son objeto de estudio).

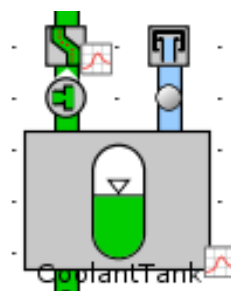


Figura 5.13 – Depósito de expansión en GT-ISE

5.2.5. Bomba de agua

La bomba hidráulica o de agua es probablemente uno de los componentes más importantes de todo circuito de refrigeración. Principalmente, la función de la bomba hidráulica es mantener y asegurar un flujo constante del refrigerante, si no fuera así se volvería imposible mantener el equilibrio térmico del motor.

Por este motivo es tan importante un correcto dimensionado de la bomba de agua, ya que esto puede garantizar unas condiciones de funcionamiento del bloque motor que permiten la optimización del rendimiento del vehículo (optimización en el proceso de combustión, en la eliminación de polución, ...) [5].

En GT-ISE, el parámetro de funcionamiento del elemento water pump (elemento que simula el funcionamiento de la bomba hidráulica) es el régimen de giro de esta. Al no disponer que la velocidad de giro de la bomba, pero sí una estimación del caudal necesario de refrigerante, se han configurado una serie de componentes para conseguir la velocidad de giro en función del caudal circulante. Dichos componentes se muestran en la Figura 5.14 y conjuntamente realizan la función de un controlador PID, obteniéndose una velocidad de giro de la bomba por cada caudal diferente.

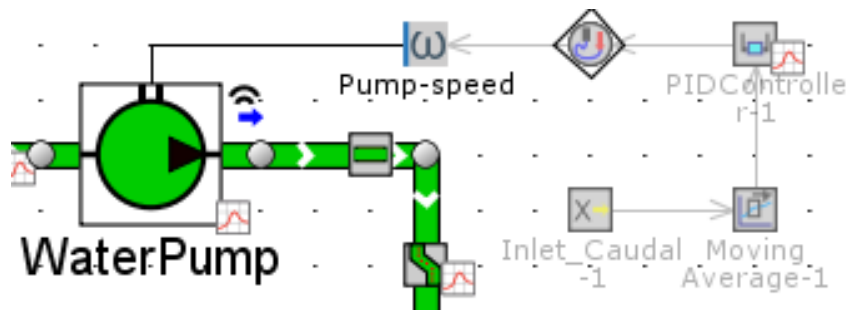


Figura 5.14 – Bomba hidráulica y controlador PID en GT-ISE

Los caudales máxicos aplicados en el modelo también se han sacado de la simulación del motor completo, en total son 6 caudales distintos que se repiten cíclicamente (al ser 36 puntos de funcionamiento se repetirá seis veces el patrón). El caudal se repite de esta forma porque el régimen de giro de la bomba es proporcional al del motor, y como el motor se ha ensayado con un patrón de seis velocidades, dicho patrón se ve reflejado también en la bomba y en el caudal que suministra.

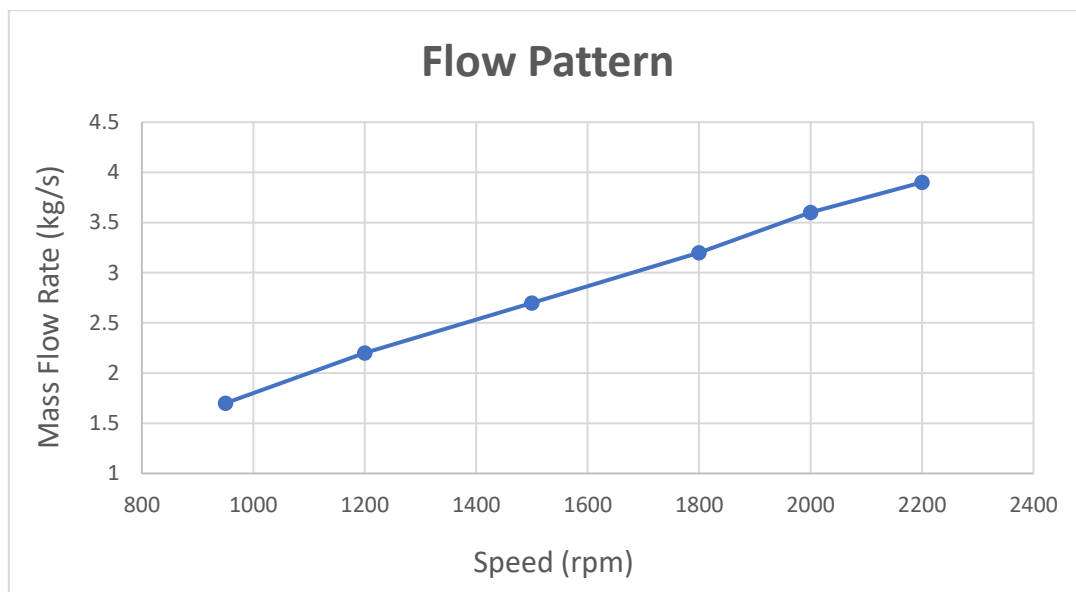


Figura 5.15 – Patrón de caudal máxico de refrigerante en función del régimen del motor

Al crear el elemento Water Pump, GT-ISE aplica por defecto un mapa de bomba predefinido lo más ajustado posible a las condiciones del circuito de refrigeración. Estos mapas pueden modificarse y adecuarse por el usuario según convenga, y esa ha sido la metodología llevada a cabo.

A la hora de dimensionar la bomba se ha tenido especial cuidado para que ésta pudiera bombear los caudales requeridos a una altura de presión razonable y suficiente para que el fluido refrigerante circule por todo el circuito sin ningún problema.

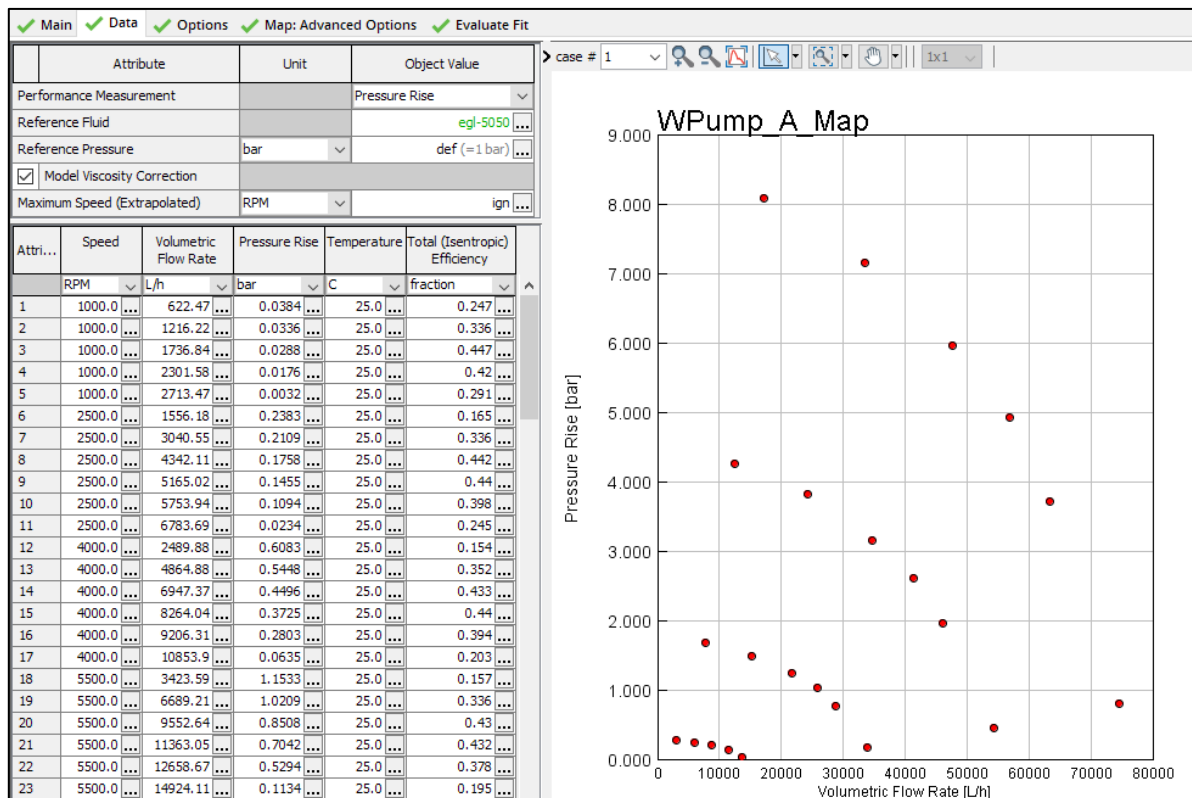


Figura 5.16 – Mapa modificado de la bomba

5.2.6. Radiador

El radiador es otro de los componentes esenciales de todo circuito de refrigeración. Es un dispositivo que posibilita el intercambio de calor entre dos fluidos, siendo normalmente el aire del ambiente uno de ellos. Principalmente sirve para disipar calor de un objeto o fluido, bien para evitar que alcance una temperatura elevada o para aprovechar ese exceso de calor. En el caso de un vehículo, su objetivo es evitar un sobrecalentamiento del motor para que este trabaje en condiciones de máximo rendimiento.

Normalmente, el radiador se compone de una serie de tubos situados paralelamente, los cuales también cuentan con un sistema de aletas para ampliar la superficie de intercambio y mejorar la disipación de calor. El funcionamiento del radiador es sencillo, por los tubos circula el refrigerante caliente proveniente del motor y de los intercambiadores, y este es enfriado por el aire que incide perpendicularmente sobre los tubos. También es habitual la presencia de un ventilador que fuerza el movimiento del aire (convección forzada) [12].

Por cómo funciona la simulación en GT-ISE, el radiador se modela mediante dos elementos distintos conectados entre sí, tal y como puede observarse en la Figura 5.17. Por un lado se simula la transferencia de calor entre el radiador y el líquido refrigerante (con el color verde se destaca el fluido que circula por el conducto interno), y por otro lado se simula la transferencia de calor entre el radiador y el aire (con el azul claro se distingue el fluido que recorre el conducto externo). Finalmente, se realiza un balance de energía entre ambos elementos para obtener el resultado final de la simulación del radiador.

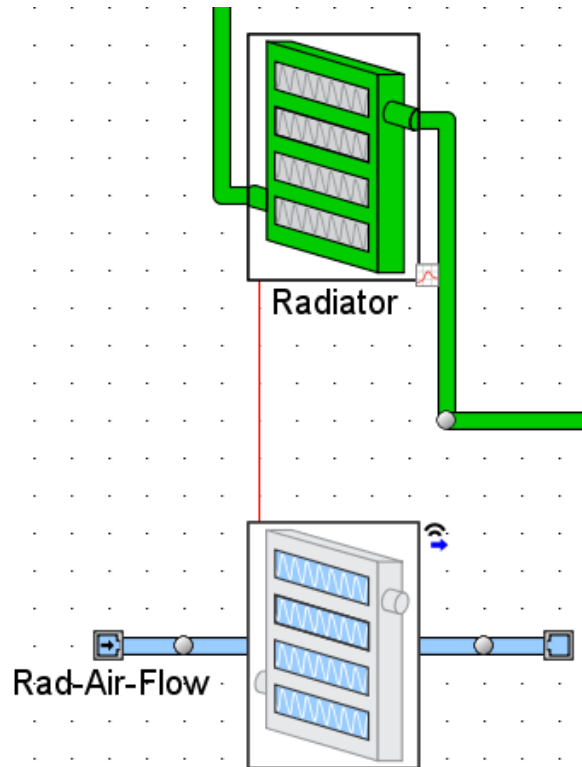


Figura 5.17 – Modelo del radiador en GT-ISE

Para este modelo concreto, se ha empleado una geometría de radiador estándar para el tipo de vehículo que se estudia (concretamente es un radiador Volvo OEM:3183738 y número de referencia BP0027796_UP). Los parámetros geométricos y el material seleccionado se encuentran en la Tabla 5.2. Para una mejor comprensión de la geometría, en la Figura 5.18 se muestra su visualización en el programa informático.

ATTRIBUTE	UNIT	OBJECT VALUE
Tube Flow Orientation		Horizontal
Heat Exchanger Height (H)	mm	1000
Heat Exchanger Width (W)	mm	1200
Total Heat Exchanger Depth (D)	mm	40
Inlet Connection Diameter (Dm1)	mm	25
Outlet Connection Diameter (Dm2)	mm	25
Dry Mass of Tube and Fin Material	kg	5.44
Tube and Fin Material Properties Object		Aluminum

Tabla 5.2 – Parámetros geométricos del radiador

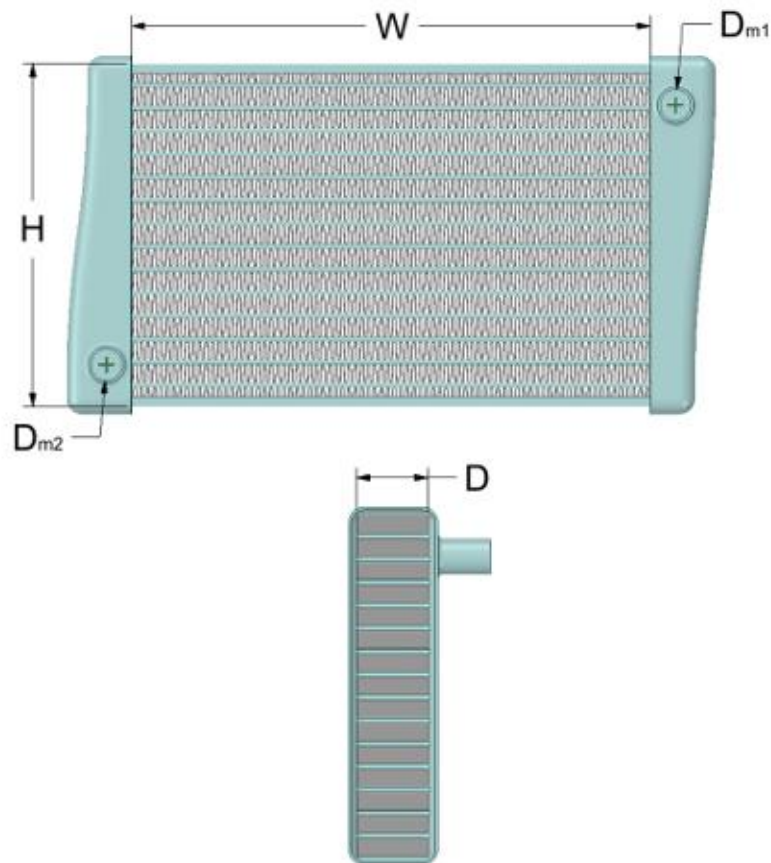


Figura 5.18 – Visualización de la geometría del radiador

5.2.7. Termostato

El termostato es un elemento de vital importancia para el circuito de refrigeración, pues se encarga de regular la temperatura del refrigerante, e indirectamente, la temperatura del motor. Todo termostato consiste en una válvula con un muelle que se encarga de regular el flujo de refrigerante que circula por el radiador. Dicha válvula se abre o cierra en función de la temperatura a la que trabaja el circuito de refrigeración.

Aparte de controlar la circulación de refrigerante y la temperatura de éste, el termostato también influye considerablemente en el consumo de combustible, ya que si el motor se mantiene a temperaturas inferiores a la óptima se ha de aumentar la inyección de combustible. Una inyección mayor supone un mayor consumo, y esto repercute en un incremento del nivel de emisiones contaminantes [11][21]. Este, y otros motivos, acentúan la importancia de una correcta configuración y de un adecuado funcionamiento del termostato.

El esquema del termostato se muestra en la Figura 5.19, en la que podemos distinguir dos válvulas distintas. La del conducto superior es la válvula del termostato que controla el flujo de refrigerante que circula por el tramo del radiador, y la válvula del conducto superior realiza un by-pass entre la salida de los intercambiadores de EGR con la entrada a la bomba hidráulica.

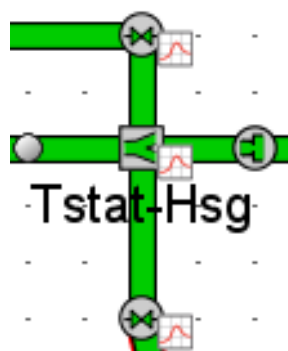


Figura 5.19 – Modelado del termostato y las válvulas en GT-ISE

GT-ISE permite configurar el termostato con dos comportamientos distintos, una primera curva de apertura cuando se detecta un calentamiento del termostato y una segunda curva cuando se enfría. La configuración de la válvula del termostato utilizada se muestra a continuación, donde se observa que la apertura y cierre de la válvula depende de la temperatura del refrigerante.

Attri...	Temperature	Lift Position
	C	mm
1	78.0 ...	0.0 ...
2	78.96 ...	0.2 ...
3	79.92 ...	0.8 ...
4	80.56 ...	1.8 ...
5	83.44 ...	8.3 ...
6	84.08 ...	9.3 ...
7	85.04 ...	9.8 ...
8	86.0 ...	10.0 ...

Figura 5.20 – Configuración de la válvula del termostato cuando se detecta un calentamiento del mismo (Opening)

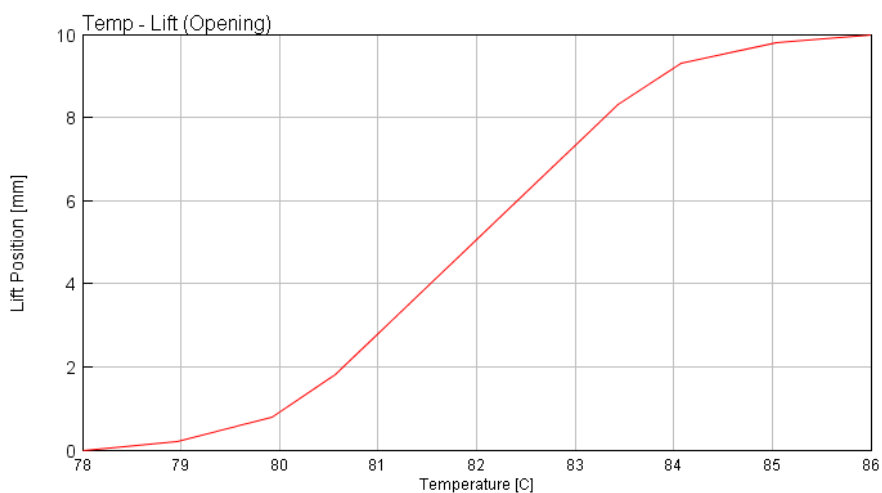


Figura 5.21 – Gráfica Temp-Lift Position (Opening) mostrada por el visualizador de GT-ISE

Attri...	Temperature	Lift Position
	C	mm
1	75.0 ...	0.0 ...
2	76.8 ...	0.2 ...
3	78.6 ...	0.8 ...
4	79.8 ...	1.8 ...
5	85.2 ...	8.3 ...
6	86.4 ...	9.3 ...
7	88.2 ...	9.8 ...
8	90.0 ...	10.0 ...

Figura 5.22 – Configuración de la válvula del termostato cuando se detecta un enfriamiento del mismo (Closing)

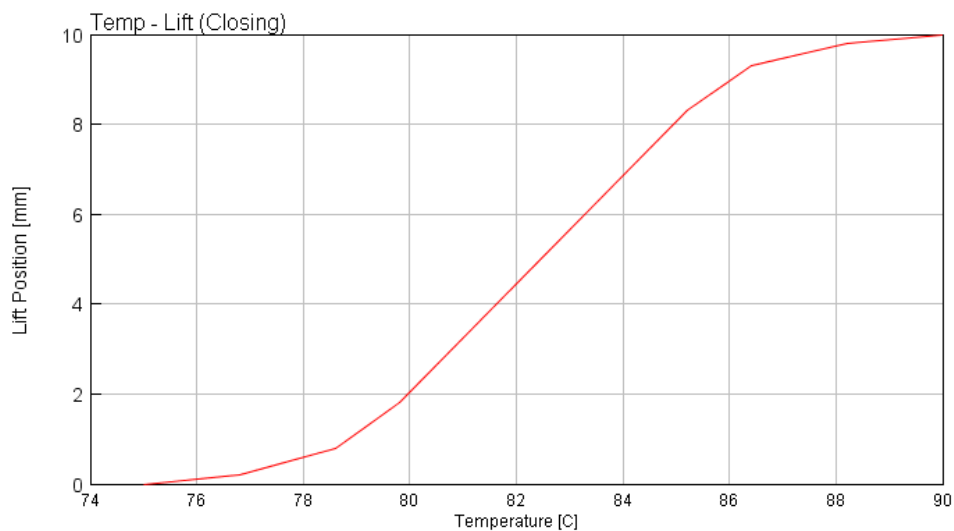


Figura 5.23 – Gráfica Temp-Lift Position (Closing) mostrada por el visualizador de GT-ISE

La válvula que realiza el by-pass ha sido configurada para que su cierre dependa de la apertura de la válvula que regula el flujo por el tramo del radiador. De forma que cuando el termostato impida el paso del refrigerante por el radiador, el by-pass permita el flujo máximo y viceversa. Es decir, cuando no sea necesario enfriar el refrigerante porque está una temperatura baja, la mayor parte del refrigerante circulará a través del by-pass y si la temperatura es elevada sucederá al contrario.

Dicha configuración se muestra en la Figura 5.24, y de igual forma que antes, para una mejor apreciación de la relación entre la apertura de ambas válvulas se ha añadido la Figura 5.25.

Attri...	Thermostat Lift Position	Bypass Thermostat Lift Position
	mm	mm
1	0.0 ...	6.0 ...
2	0.2 ...	5.88 ...
3	0.8 ...	5.58 ...
4	1.8 ...	4.98 ...
5	8.3 ...	1.08 ...
6	9.3 ...	0.48 ...
7	9.8 ...	0.12 ...
8	10.0 ...	0.0 ...

Figura 5.24 – Configuración del by-pass

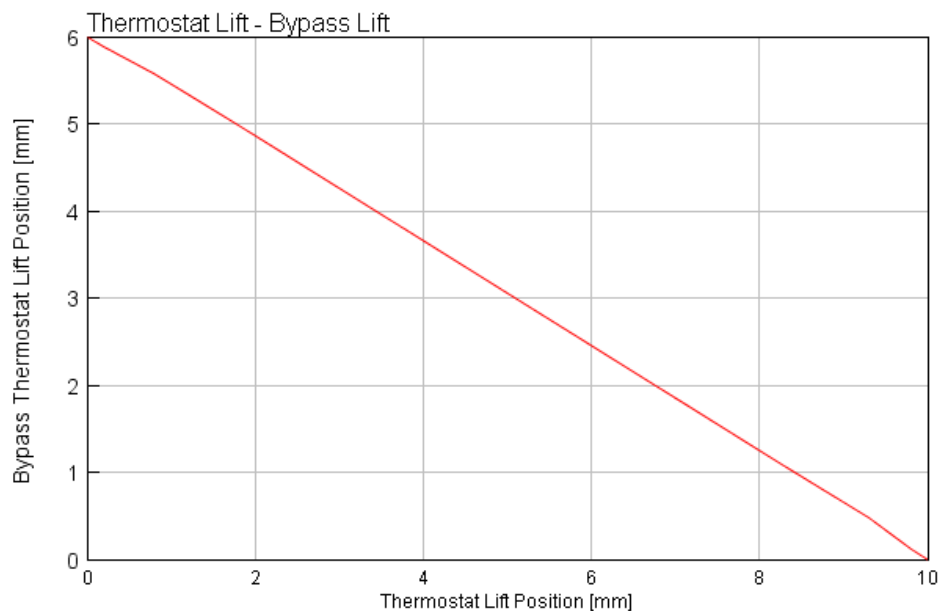


Figura 5.25 – Gráfica de la relación entre válvula de termostato y válvula de by-pass mostrada por el visualizador de GT-ISE

6. RESULTADOS OBTENIDOS

La validación de este modelo se ha llevado a cabo durante su desarrollo en el software de simulación con el objetivo de generar un modelo lo más fiel posible a los circuitos de refrigeración reales. Todo ello para poder comprobar si es viable, tecnológicamente hablando, bajo las condiciones de trabajo que se han ido comentando a lo largo de este documento.

El proceso de validación se basa en la confirmación de que los resultados obtenidos en las simulaciones se encuentran dentro de un rango aceptable para este tipo de circuitos, y en la comprobación de si ciertos parámetros alcanzan los valores esperados o configurados.

En todo proceso de validación se priorizan una variables antes que otras debido a su importancia o relevancia dentro del sistema, dichas variables también pueden llamarse parámetros de control y son las que indican si algo falla en el modelo. En este caso, las variables de referencia que se han escogido para poder ajustar y validar el modelo han sido el caudal, la presión y la temperatura del líquido refrigerante.

6.1. Caudal (Mass Flow)

El caudal másico es uno de los parámetros del circuito más importantes, ya que influye directamente en los intercambios térmicos que se producen en los distintos elementos del circuito. Un caudal erróneo podría suponer un sobrecalentamiento del refrigerante, y por tanto, un mal funcionamiento del circuito de refrigeración (con todo lo que esto conllevaría sobre el motor).

Para verificar que el caudal objetivo se alcanza correctamente para cada valor configurado, se muestran a continuación los resultados para el caudal obtenidos en seis puntos de funcionamiento distintos (3 a baja carga y 3 a alta carga, cada caso con un caudal distinto).

En las gráficas siguientes, la curva roja representa el caudal objetivo y la curva azul es el caudal que se obtiene durante la simulación del caso. Por último, la curva verde representa el régimen de giro que el PID le impone a la bomba para conseguir el caudal objetivo.

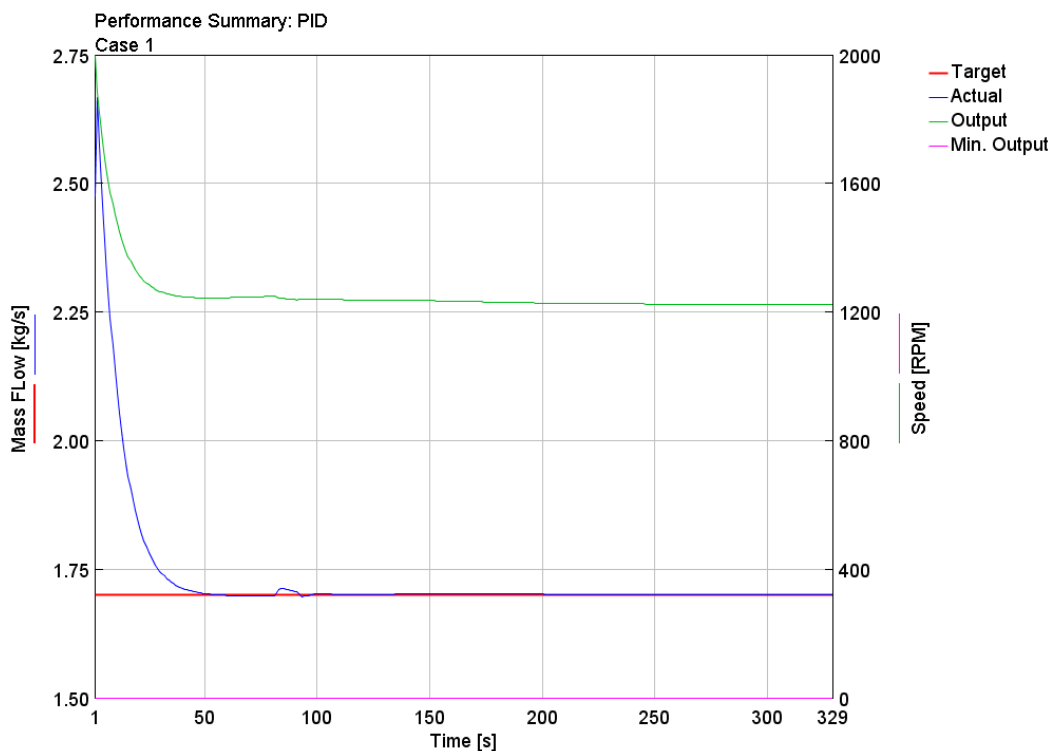


Figura 6.1 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el primer caso (baja carga)

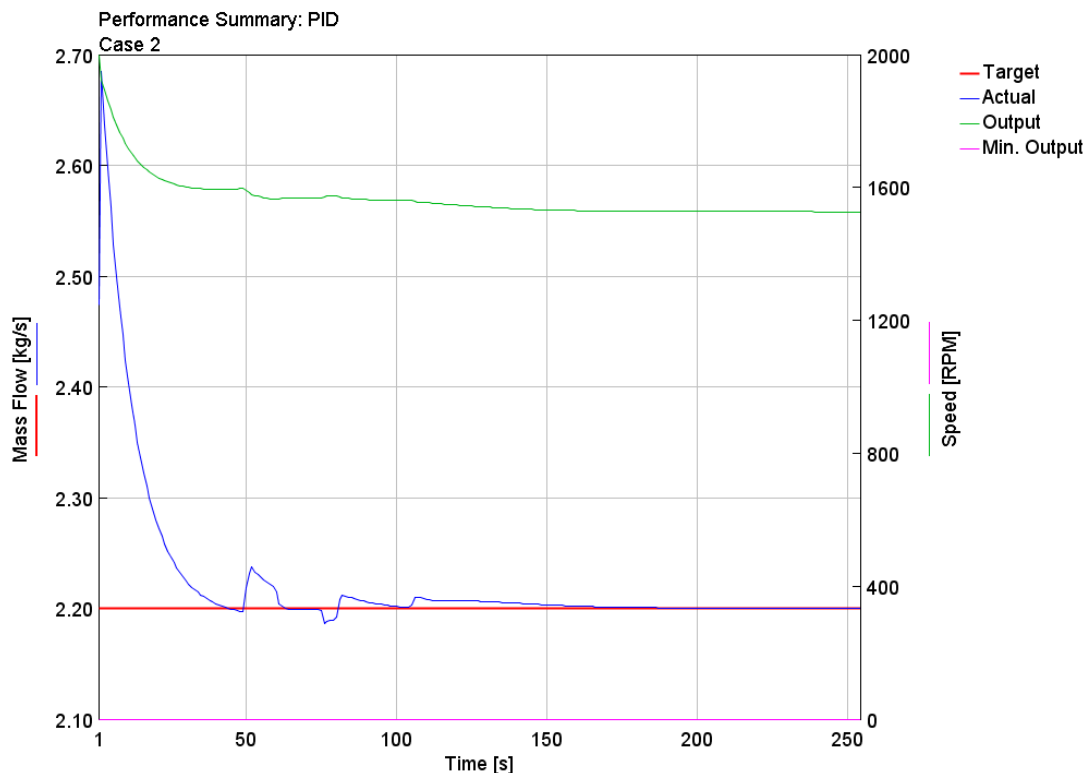


Figura 6.2 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el segundo caso (baja carga)

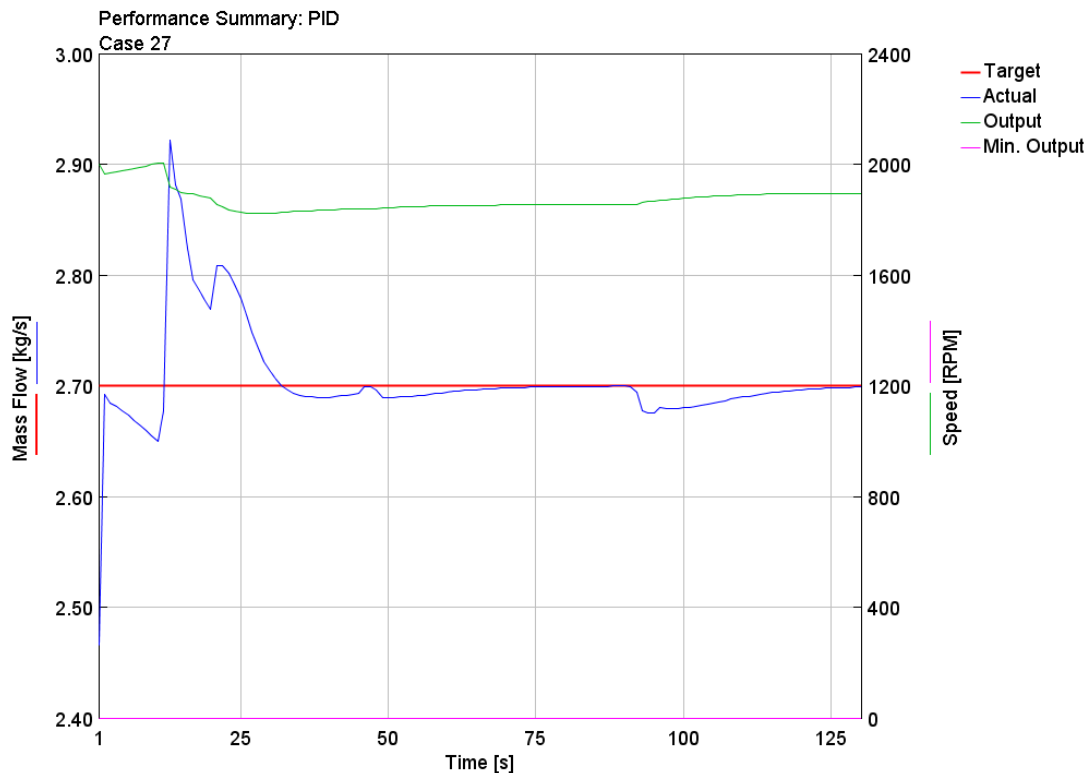


Figura 6.3 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el caso número 27 (alta carga)

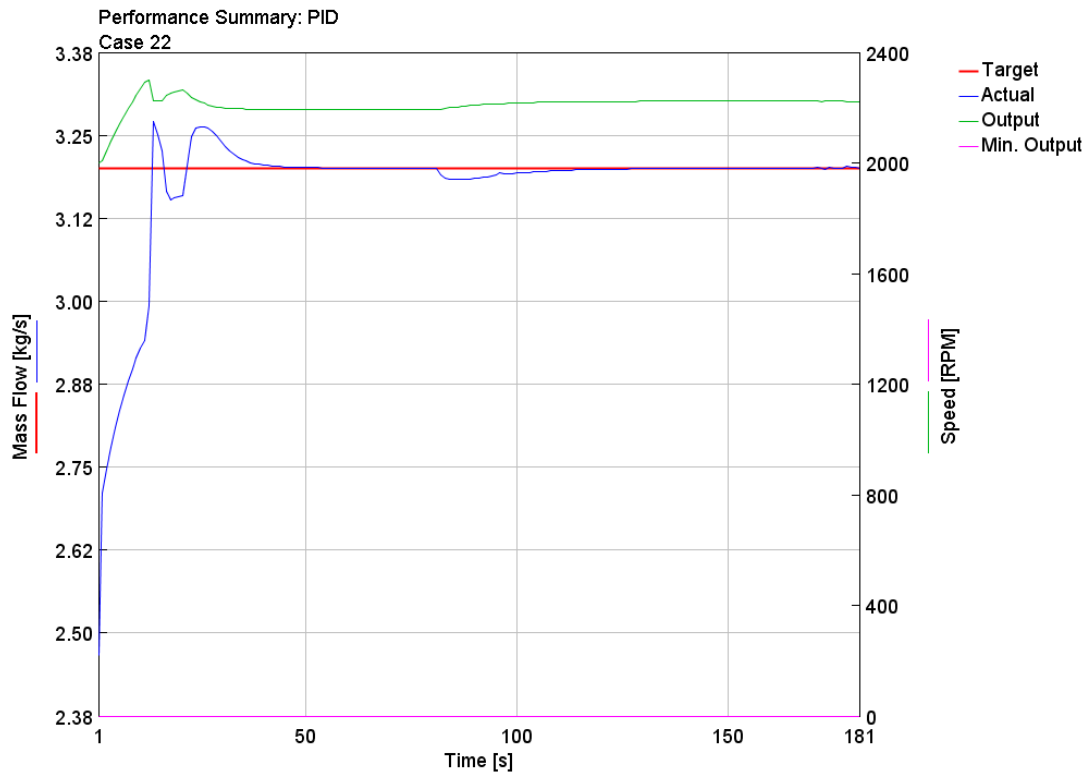


Figura 6.4 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el caso número 22 (alta carga)

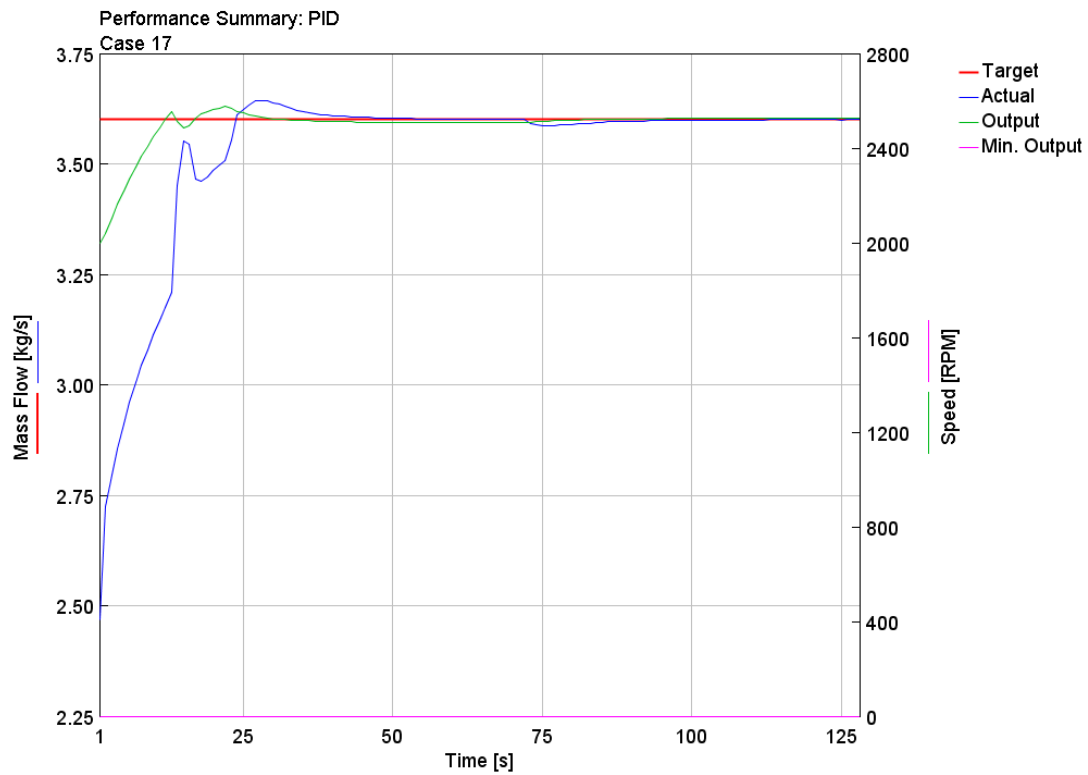


Figura 6.5 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el caso número 17 (baja carga)

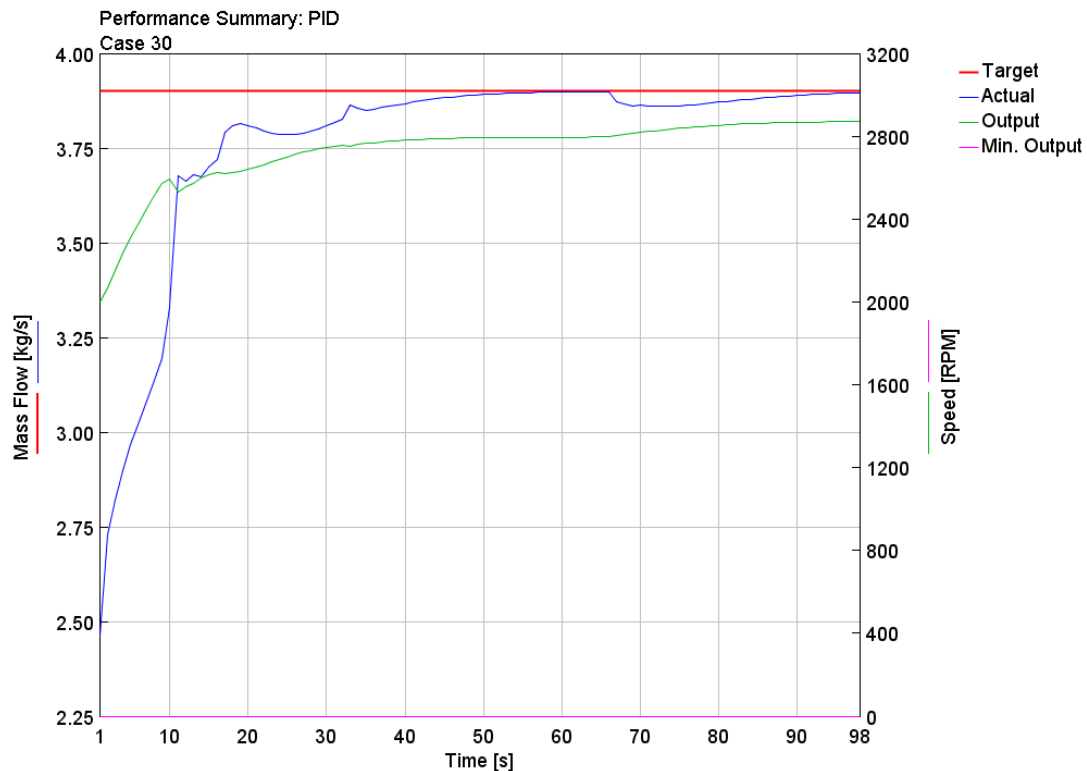


Figura 6.6 – Valores de caudal másico y régimen de giro de la bomba obtenidos en GT-POST para el caso número 30 (alta carga)

Analizando estos resultados se pueden extraer dos ideas principales, la bomba está bien dimensionada en cuanto a caudal se refiere, ya que es capaz de proporcionar el caudal suficiente en todos los puntos de funcionamiento. Que el PID realiza correctamente su función porque el régimen de giro que le impone a la bomba consigue que el valor del caudal tienda al valor objetivo configurado en todos los casos.

Sin embargo, las curvas azules de caudal experimentan diversas fluctuaciones y ondulaciones que, a pesar de ser típicas de los controladores PID; pueden indicar que los parámetros del PID no se han diseñado suficientemente precisos.

6.2. Presiones

En los circuitos de refrigeración es habitual mantener presurizado el fluido refrigerante a una presión superior a la atmosférica, ya que esto eleva el punto de ebullición y posibilita aumentar la eficiencia térmica del motor.

Establecer un rango de presiones concreto es complicado, ya que depende de cada modelo, de las instalaciones y de los componentes que lo forman. Sin embargo, para este tipo de circuitos se puede tomar de rango las presiones de 0.3 a 2.1 bar como referencia para realizar comprobaciones.

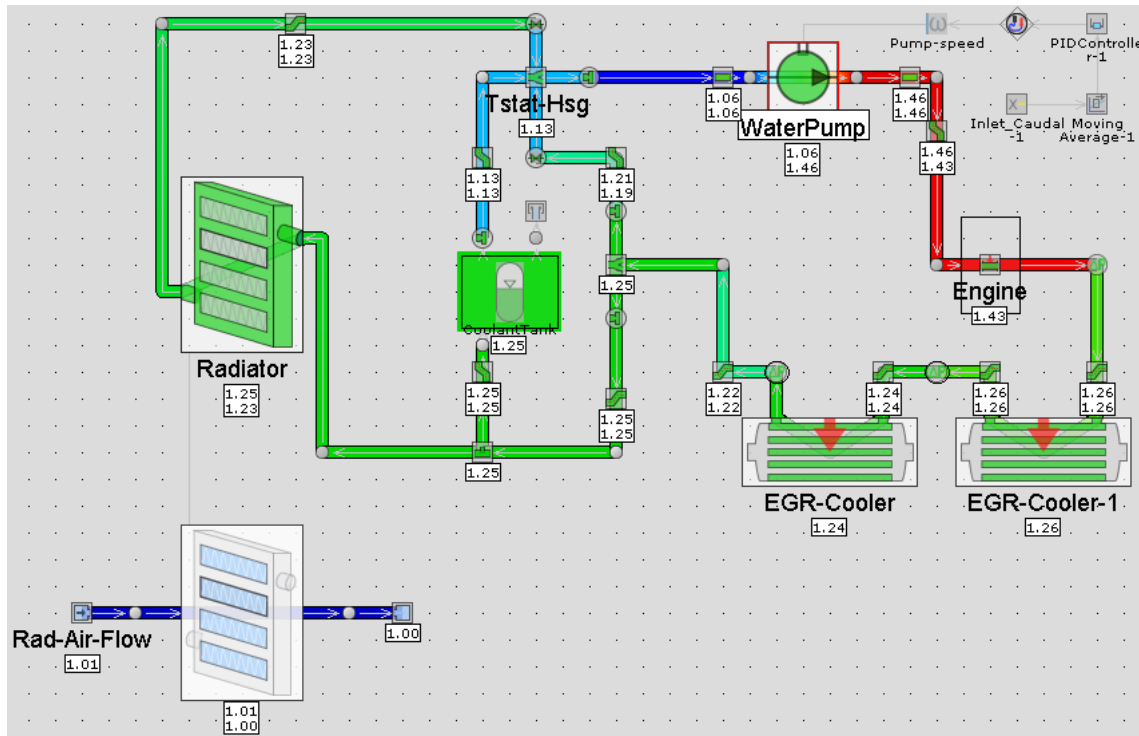


Figura 6.7 – Mapa de presiones (en bar) obtenido en GT-POST para el caso 7 (caudal de 1.7kg/s)

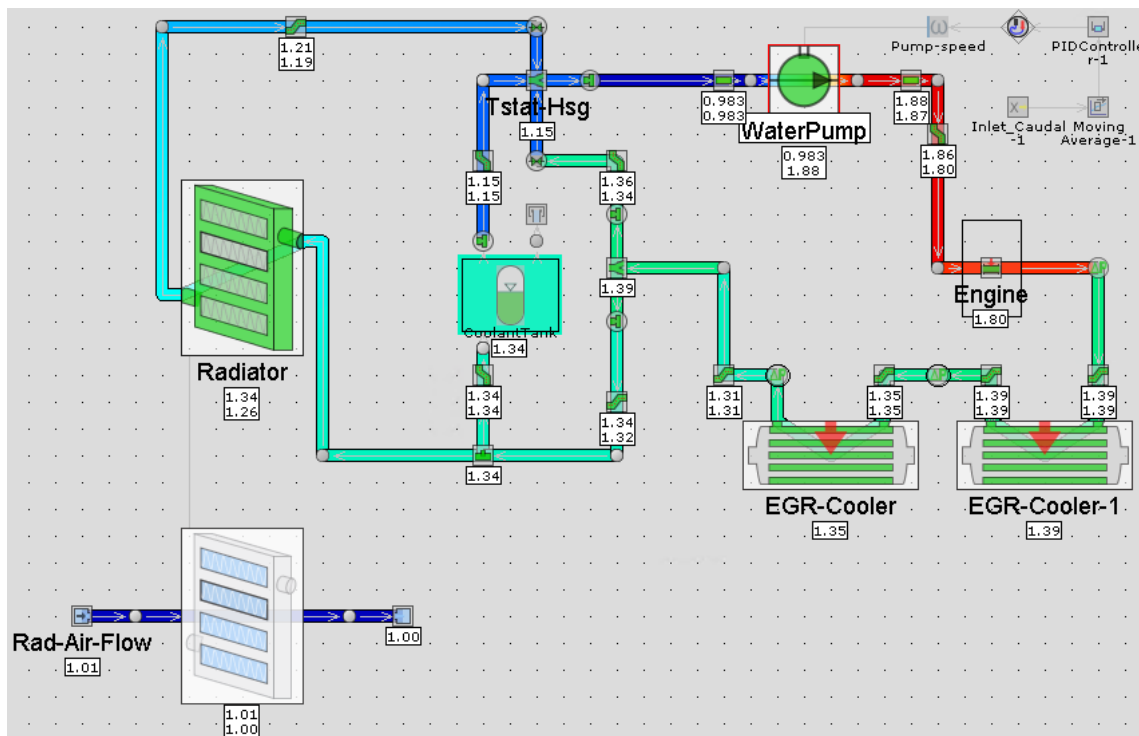


Figura 6.8 – Mapa de presiones (en bar) obtenido en GT-POST para el caso 15 (caudal de 2.7kg/s)

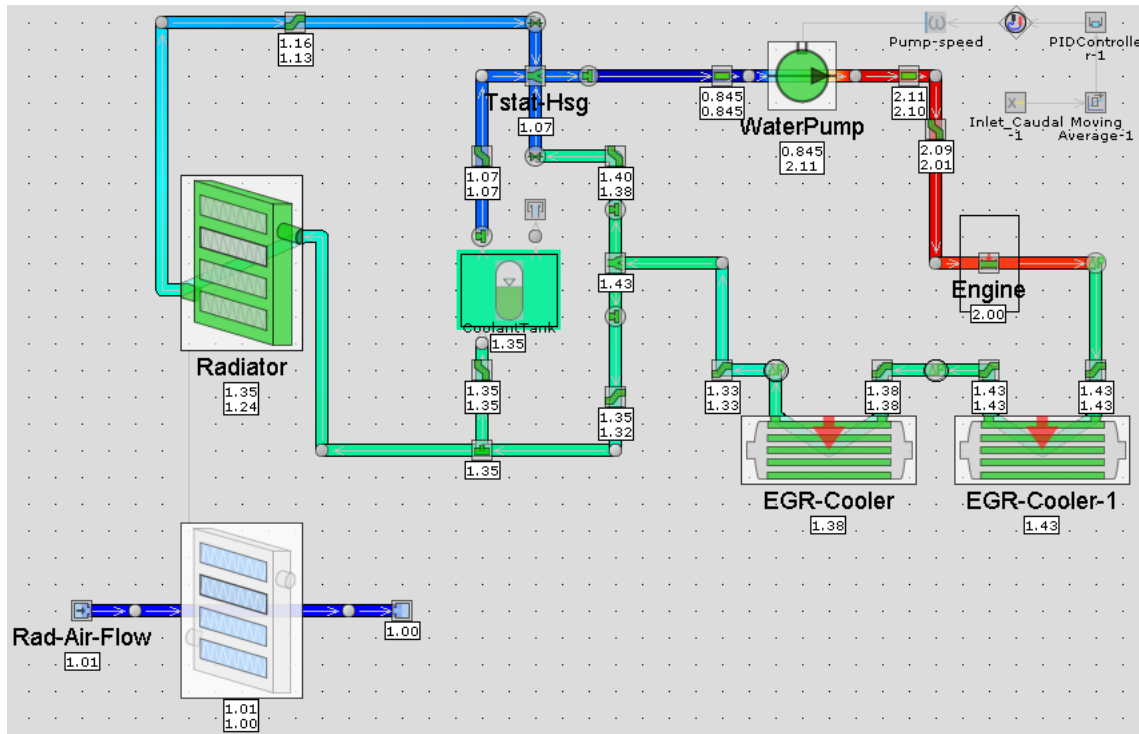


Figura 6.9 – Mapa de presiones (en bar) obtenido en GT-POST para el caso 22 (caudal de 3.2 kg/s)

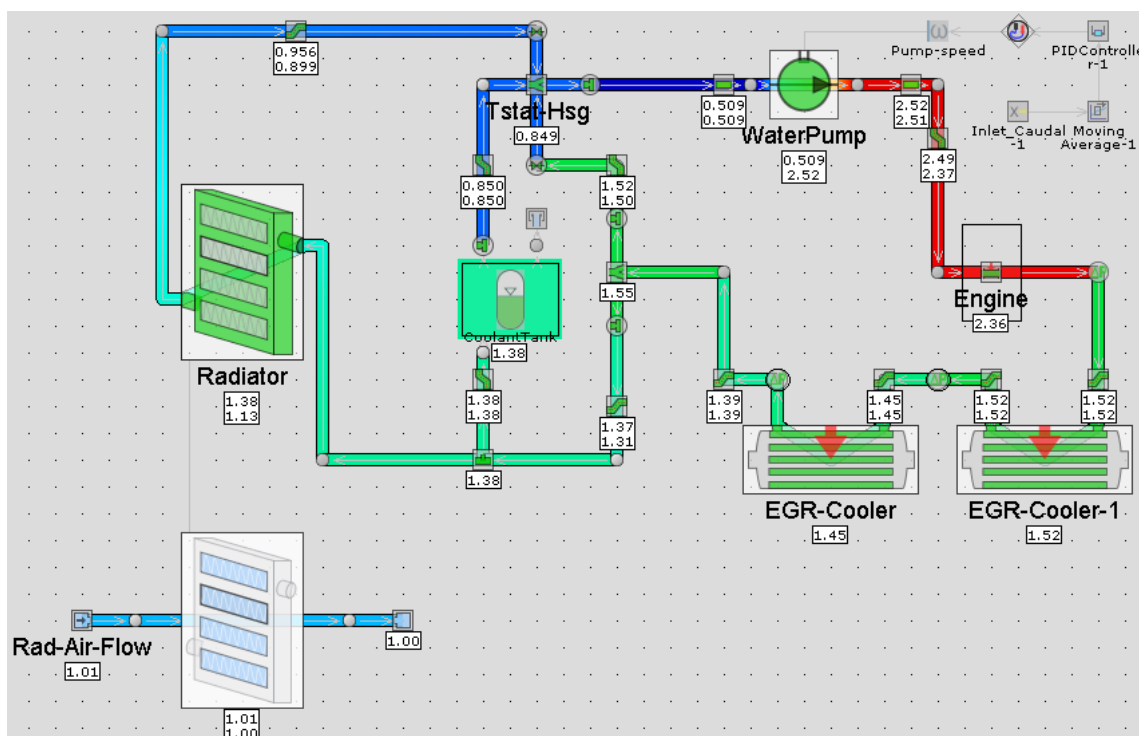


Figura 6.10 – Mapa de presiones (en bar) obtenido en GT-POST para el caso 36 (caudal de 3.9 kg/s)

En las figuras anteriores se muestran las presiones a lo largo del circuito en cuatro puntos de funcionamiento representativos, dos de ellos a baja carga y los otros dos a alta carga, teniendo cada uno de ellos un caudal de trabajo distinto.

Se observa que en todos los casos el refrigerante mantiene una presión adecuada (dentro del rango de referencia) a lo largo de todo el circuito, siendo los puntos más críticos la entrada y salida de la bomba. A medida que el caudal aumenta, se acentúan los valores extremos de presión (la máxima presión aumenta y la mínima disminuye) y llegan a sobrepasar el rango de referencia. Sin embargo, estos valores no suponen un gran riesgo para el circuito de refrigeración por lo que pueden considerarse asumibles.

Por lo tanto, la bomba de agua no solo es capaz de suministrar el caudal necesario, sino que también lo suministra con un nivel de presión tal que el refrigerante se mantiene correctamente presurizado a lo largo de todo el circuito. Esto confirma que la bomba se ha dimensionado adecuadamente para las condiciones del circuito.

6.3. Temperaturas

Para validar las temperaturas del circuito de refrigeración hay que tener en cuenta dos aspectos. Lo primero es asegurarse que el refrigerante no alcance la temperatura de ebullición en ningún punto del circuito, ya que si éste se evapora incontroladamente puede suponer un sobrecalentamiento del motor (y los daños en los cilindros que esto pueda acarrear). Lo segundo es mantener la temperatura del motor dentro de su rango óptimo de funcionamiento, esto se puede comprobar observando la temperatura del refrigerante antes y después de atravesar el bloque motor.

Con el objetivo de comprobar si el control de la temperatura en el circuito es adecuado se han escogido como referencia dos puntos de funcionamiento, uno a baja y otro a alta carga. Estos casos son los más críticos (de máxima temperatura) para las condiciones comentadas y se muestran en las figuras siguientes.

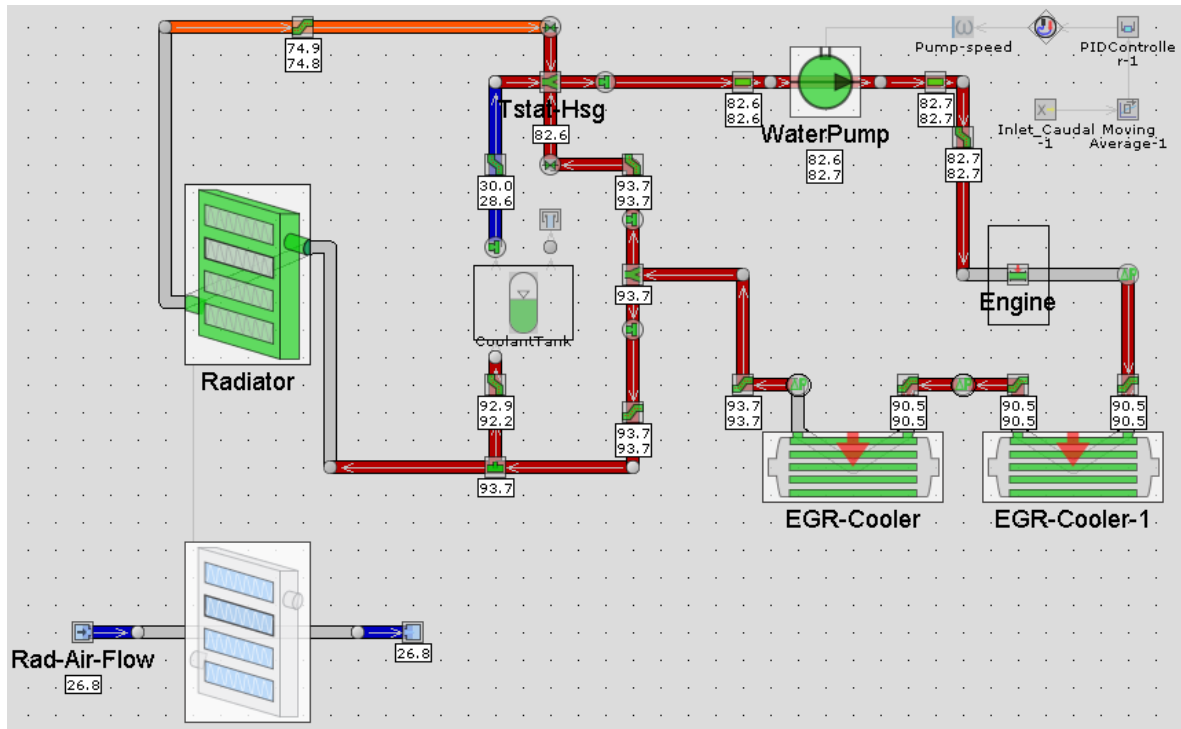


Figura 6.11 – Mapa de temperaturas (en °C) obtenido en GT-POST para el caso 16 (baja carga)

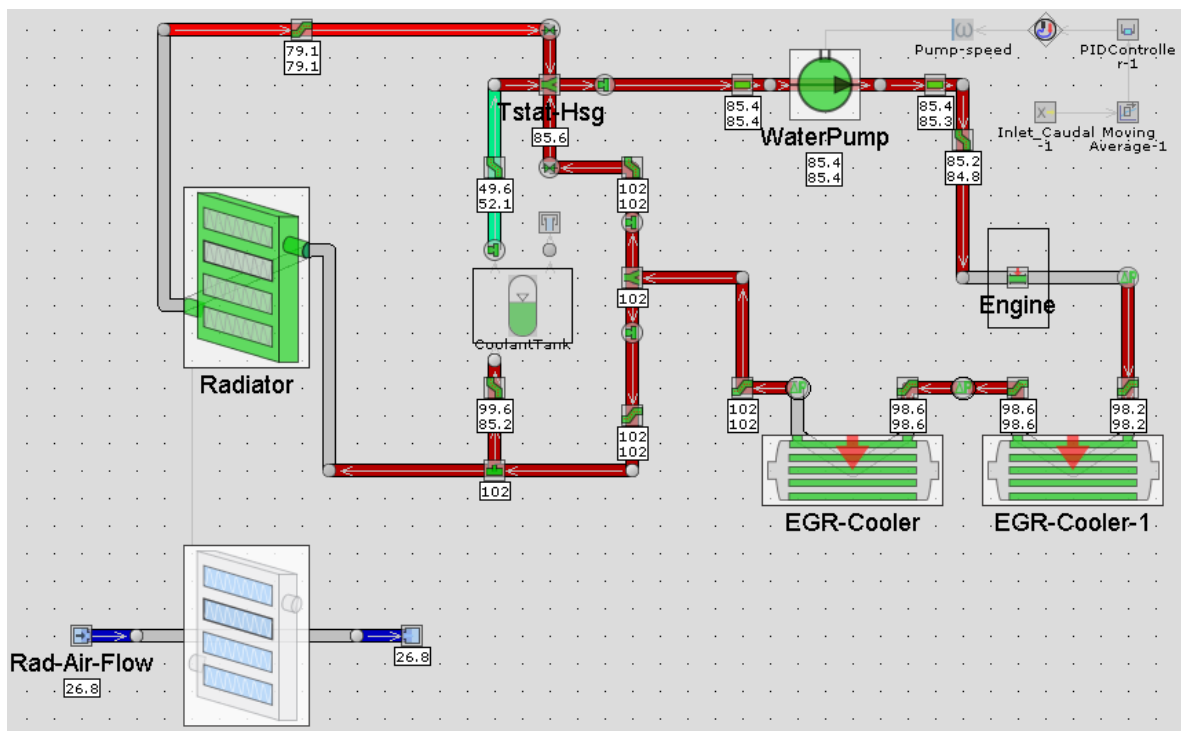


Figura 6.12 – Mapa de temperaturas (en °C) obtenido en GT-POST para el caso 32 (alta carga)

Para condiciones de referencia de 1 bar de presión, el punto de ebullición de la mezcla de glicol empleada se encuentra alrededor de los 107°C. Al analizar los mapas de temperaturas se aprecia que el refrigerante no alcanza dicha temperatura en ningún punto del circuito, y al ser estos dos casos expuestos los más críticos, se entiende que en el resto de casos las temperaturas son ligeramente inferiores. Por tanto, se puede confirmar que el refrigerante no va a sufrir ninguna evaporación descontrolada en el circuito y va a ser capaz de realizar eficazmente los intercambios de calor.

Respecto a la temperatura óptima de trabajo, el rango recomendado puede cambiar ligeramente dependiendo del motor en cuestión. En general se puede tomar como un rango aceptable de 85 a 95 °C.

En la gran mayoría de casos el refrigerante se encuentra dentro de este rango de temperaturas, a excepción de los últimos seis, en los que la carga y la cantidad de calor que absorbe el refrigerante es mayor. En estos últimos casos, por ejemplo el de la Figura 6.12, la temperatura máxima sobrepasa un poco ese umbral, sin embargo no llegan a ser valores peligrosos y pueden ser asumibles por el motor.

La refrigeración experimental del motor en la sala de ensayos no tiene la misma configuración que el modelo creado en este proyecto, sin embargo, esos datos pueden servir para comprobar y comparar tendencias en las temperaturas del refrigerante (sobre todo a la salida del motor).

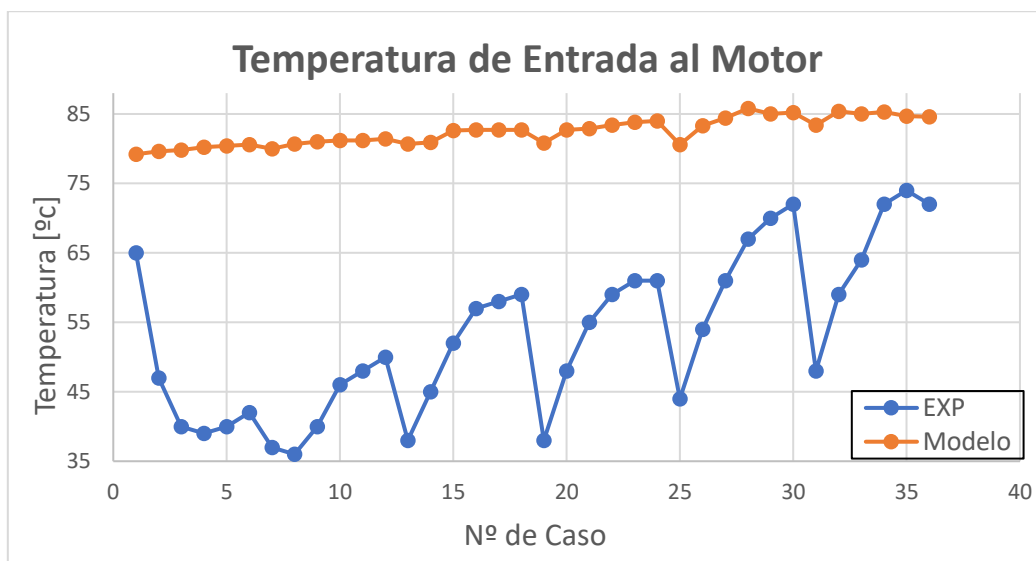


Figura 6.13 – Valores de temperatura de entrada al bloque motor obtenidos experimentalmente (EXP) y en GT-ISE (Modelo)

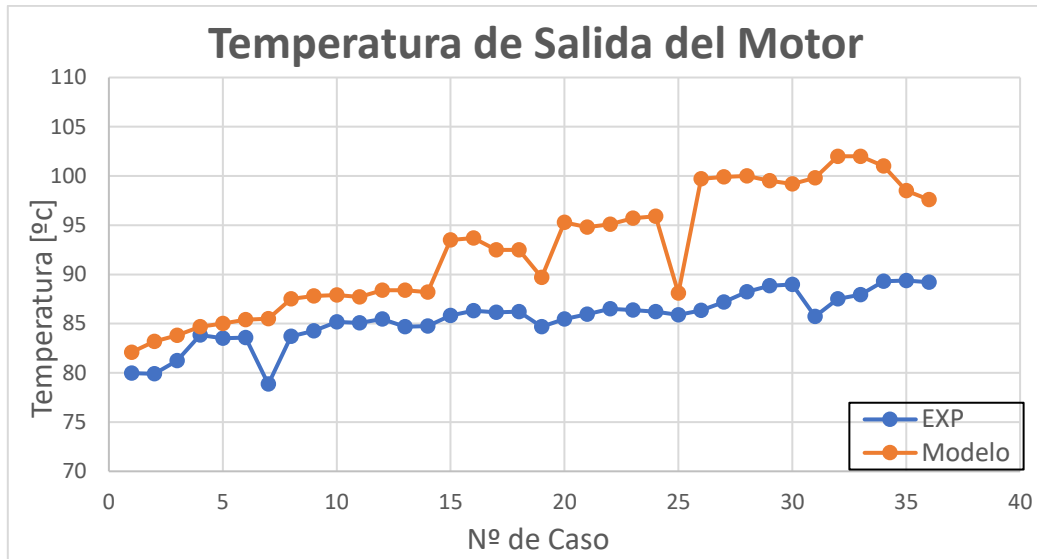


Figura 6.14 – Valores de temperatura de salida del bloque motor obtenidos experimentalmente (EXP) y en GT-ISE (Modelo)

Como se ha comentado, la configuración de sala del montaje experimental no es la misma que la empleada en el modelo creado en GT-ISE, y se aprecia notoriamente en las temperaturas de entrada al bloque motor. Sin embargo, las curvas parecen tener una tendencia similar al alza y se aprecian las diferentes subidas y bajadas de temperatura según pasan los casos.

En cuanto a la temperatura de salida del bloque motor, se observa que los valores son mucho más cercanos. Al igual que con la temperatura de entrada, ambas curvas tienden a aumentar según el paso de los casos y comparten el mismo patrón de subidas y bajadas. No obstante, las temperaturas obtenidas en el modelo despuntan más según aumenta la carga del motor (los últimos casos). Estas diferencias en valor pueden deberse a la distinta configuración entre la sala de ensayos y el modelo de GT-ISE o a un pequeño desajuste en la configuración de la válvula del termostato a alta carga.

Tras analizar los mapas y curvas de temperatura obtenidos, las pequeñas discrepancias en cuanto a valores son perfectamente asumibles y por ello los resultados se pueden admitir como válidos. Lo cual justifica las características del radiador y del termostato empleadas, ya que evitan un sobrecalentamiento excesivo del refrigerante y, además, lo mantienen dentro de un rango aceptable de temperaturas.

7. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

7.1. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito el proceso de creación y configuración, elemento a elemento, del modelo del circuito de refrigeración y el proceso de validación de los resultados obtenidos. Mostrando la complejidad y el nivel de precisión, en cuanto a la configuración de parámetros, que requieren este tipo de estudios para obtener resultados válidos y fiables.

El principal objetivo del proyecto siempre ha sido modelar el circuito de refrigeración con el software de simulación GT-ISE, para comprobar la viabilidad de su implementación en un motor real con combustión dual-fuel y un único sistema de EGR. Para la creación del circuito se necesitaban una serie de parámetros de partida, principalmente datos sobre los intercambios de calor con el bloque motor; que al tener ya como base un modelo completo del motor y un conjunto de ensayos realizados de donde obtenerlos, se pudieron agilizar notablemente las etapas iniciales del proyecto.

Durante las simulaciones iniciales quedó clara la gran influencia de ciertos elementos en los parámetros de mayor importancia. El caudal y la presión del refrigerante se veían altamente influenciados por la bomba hidráulica y la geometría de la red de mangueras (diámetros, longitud, ángulos de los codos,...), mientras que la temperatura en el circuito dependía del geometría del radiador y de la configuración de la válvula del termostato. Teniendo esto en cuenta, se realizaron una serie de ajustes importantes tras las primeras simulaciones hasta definir la configuración adecuada, que es la mostrada a lo largo de este documento.

Los resultados obtenidos con dicha configuración han sido satisfactorios, confirmando la creación de un modelo que puede considerarse válido y fiable, aunque siendo todavía mejorable y optimizable. Con todo esto en mente, se resuelven las dudas que fomentaron la realización de este estudio:

- Queda claro al observar los mapas de temperaturas del circuito, que la implementación de un único sistema de EGR de alta presión en el motor supone una sobrecarga al circuito de refrigeración que se materializa en un aumento de la temperatura del refrigerante.
- Los resultados obtenidos permiten confirmar que un circuito de refrigeración bajo las nuevas condiciones comentadas es perfectamente aplicable en un motor real (tecnológicamente hablando) si se dimensiona y configura adecuadamente.

7.2. DESARROLLO FUTURO

De cara a futuros trabajos cuya finalidad sea mejorar o ampliar el modelo presentado en este trabajo, hay una serie de aspectos que se proponen para su desarrollo:

- Añadir otros elementos al circuito para que sea más completo y fiel a los que realmente que se emplean en los vehículos, por ejemplo, implementar un "Cabin Heater" para simular el intercambio de calor con el habitáculo del vehículo.
- Mejorar y afinar la configuración de la válvula del termostato para evitar que el refrigerante alcance temperaturas por encima de los 90°C.
- Modificar el modelo del circuito de refrigeración para poder realizar simulaciones en flujo transitorio.
- Construir el circuito de refrigeración para implementarlo al motor físico y realizar ensayos experimentales de todo el conjunto, para poder así obtener resultados reales y compararlos a los obtenidos mediante el software de simulación.

8. REFERENCIAS

- [1] ¿Qué es el Adblue? (s. f.). Valladolid Wagen. Recuperado el 14 de abril de 2021, de <https://www.valladolidwagen.es/inicio/noticias/articulo/que-es-eladblue/contenido/4000>
- [2] 3.1. El cambio climático y los acuerdos internacionales. (s. f.). energía y sociedad. Recuperado el 5 de abril de 2021, de <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-el-cambio-climatico-y-los-acuerdos-internacionales/>
- [3] Aerospace System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/aerospace/>
- [4] Aranguren, Á. (2018, 7 enero). Historia, componentes y funcionamiento del Radiador. Motor y Racing. Recuperado el 10 de abril de 2021, de <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/historia-componentes-y-funcionamiento-del-radiador/#:%7E:text=De%20tal%20manera%20que%20en,hoy%20d%C3%ADa%20conocemos%20como%20radiador>
- [5] Bomba de agua: Cómo funciona en un coche y sus averías. (s. f.). RO-DES. Recuperado el 22 de mayo de 2021, de <https://www.ro-des.com/mecanica/que-es-la-bomba-de-agua/>
- [6] Combustión a temperaturas más bajas para lograr motores más eficientes y limpios. (2013, 6 septiembre). Noticias de la ciencia. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://noticiasdelaciencia.com/art/8156/combustion-a-temperaturas-mas-bajas-para-lograr-motores-mas-eficientes-y-limpios>
- [7] Domenech Llopis, V. (2013). Estudio de nuevas estrategias para el control de la combustión en modos parcialmente premezclados en motores de encendido por compresión [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/32956>
- [8] F. (2018, 30 octubre). El depósito de expansión: Funcionamiento en el vehículo. Auto y Técnica. Recuperado el 20 de mayo de 2021, de <https://autoytecnica.com/deposito-expansion-funcionamiento-vehiculo/>
- [9] Gamma Technologies | The Standard in Multi-Physics System Simulation. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/>
- [10] González Torres, J. M. (2019, 23 octubre). Nuevas tecnologías para reducir la contaminación de los coches. MuyInteresante.es. Recuperado el 13 de abril de 2021, de <https://www.muyinteresante.es/curiosidades-motor/articulo/nuevas-tecnologias-para-reducir-la-contaminacion-de-los-coches-491571578547>
- [11] Granell, A. (2021, 14 marzo). Qué es el termostato del coche y sus características. RO-DES. Recuperado el 23 de mayo de 2021, de <https://www.ro-des.com/mecanica/termostato-coche-que-es-y-caracteristicas/>
- [12] Granell, A. (2021, 19 marzo). El radiador del coche: Qué es y sus funciones. RO-DES. Recuperado el 23 de mayo de 2021, de <https://www.ro-des.com/mecanica/radiador-coche-que-es-y-la-funcion/>

- [13] GT-ISE (Integrated Simulation Environment) | Gamma Technologies. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/gt-suite/productivity-tools/gt-ise-integrated-simulation-environment/>
- [14] GT-POST | Gamma Technologies. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/gt-suite/productivity-tools/gt-post/>
- [15] Industrial Machinery System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/industrial-machinery/>
- [16] Jorge Amorim, R.; Novella Rosa, R.; García Martínez, A.; Molina, S. (2017). Study on LTC for light duty engines Part 2 Spray enhancements. Fuel. 193:206-219. doi:10.1016/j.fuel.2016.12.050
- [17] La Historia del Sistema de Enfriamiento. (2017, 26 abril). Bardahl. Recuperado el 10 de abril de 2021, de <https://www.bardahl.com.mx/la-historia-del-sistema-enfriamiento/>
- [18] La segunda revolución industrial y el nacimiento de la gran empresa. (s.f.). OCW. Recuperado el 5 de abril de 2021, de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1213/course/section/1495/MC-II-3.pdf>
- [19] Llamas, J. (2017, 4 abril). Historia del motor de combustión interna. Blog Mecánicos. Recuperado el 5 de abril de 2021, de http://www.blogmecanicos.com/2017/04/historia-del-motor-de-combustion-interna_4.html#:~:text=El%20motor%20de%20combusti%C3%B3n%20interna,de%20la%20m%C3%A1quina%20de%20vapor.&text=El%20ingeniero%20belga%20Etienne%20Lenoir,energ%C3%ADa%20producida%20por%20la%20combusti%C3%B3n
- [20] Marine and Rail System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/marine-and-rail/>
- [21] Mateos-Aparicio, J. P. (2020, 6 septiembre). ¿Sabes qué es y para qué sirve el termostato de un coche? Autofacil. Recuperado el 24 de mayo de 2021, de <https://www.autofacil.es/mecanica/sirve-termostato-coche/187898.html>
- [22] Off-Highway Vehicles System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/off-highway-vehicles/>
- [23] On-Highway Vehicles System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/on-highway-vehicles/>
- [24] Overview of GT-SUITE Applications | Gamma Technologies. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/gt-suite-applications/overview-of-gt-suite-applications/>
- [25] Paso a paso: Cómo evoluciona el sistema de refrigeración. (2019, 9 julio). La Comunidad del Taller. Recuperado el 10 de abril de 2021, de <https://www.lacomunidadeltaller.es/paso-a-paso-como-evoluciona-el-sistema-de-refrigeracion/>
- [26] Power Generation System Simulation | GT-SUITE. (s. f.). Gtisoft. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://www.gtisoft.com/power-generation/>
- [27] Prieto Amaya, Á. (2018, 14 mayo). El motor que emplea gasolina y diésel con una eficiencia del 60%: Reactivity Controlled Compression Ignition. Autonoción.com. Recuperado el 13 de abril de 2021, de <https://www.autonocion.com/motor-que-usa-gasolina-y-diesel-rcci/>

[28] Recirculación de gases de escape. (2018, 9 octubre). HELLA. Recuperado el 14 de abril de 2021, de <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Recirculacion-de-gases-de-escape-3491/>

[29] Vázquez, J. (s. f.). Cómo Funciona la Inyección Estratificada FSI. e-auto. Recuperado el 12 de abril de 2021, de <https://e-auto.com.mx/enuw/index.php/boletines-tecnicos/85-boletines-tecnicos/6813-como-funciona-la-inyeccion-estratificada-fsi#:~:text=La%20inyecci%C3%B3n%20estratificada%2C%20o%20por,beneficios%20aumentar%20torque%20y%20potencia%2C&text=En%20un%20sistema%20convencional%20de,aire%20por%20una%20de%20gasolina>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

DOCUMENTO N°2: **PRESUPUESTO**



ÍNDICE DE PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO	¡Error! Marcador no definido.4
1.1. Costes en Recursos Humanos	¡Error! Marcador no definido.4
1.2. Costes en Equipamiento y Software	¡Error! Marcador no definido.4
1.3. Presupuesto General.....	¡Error! Marcador no definido.5

1. PRESUPUESTO

En el estudio de costes se han considerado todos aquellos recursos que han sido necesarios para la realización del proyecto. El presupuesto se ha desglosado en dos tipos de gastos diferentes: los asociados a recursos humanos y los referidos a equipos y licencias utilizados.

1.1. Costes en Recursos Humanos

En este apartado se han tenido en cuenta las horas invertidas en la realización del proyecto (creación del modelo del circuito de refrigeración y redacción del trabajo), así como las horas de asesoramiento y trabajo en conjunto. Los precios mostrados en la siguiente tabla son los definitivos (incluyen todos los impuestos y retenciones aplicables).

Uds.	Descripción	Rendimiento	Precio Unitario	Importe
h	Becario estudiante	310	15	4650
h	Doctor al mando del proyecto	20	50	1000
Coste total				5650

Tabla 1. Costes asociados a recursos humanos

1.2. Costes en Equipamiento y Software

Para la realización de este apartado se ha considerado todo el equipamiento y todo el software que ha sido necesario para la creación del modelo y para el postratamiento de resultados. También se han tenido en cuenta los costes asociados a los ensayos con el montaje experimental del motor que han servido para obtener los datos de partida para el diseño del circuito de refrigeración. Los precios mostrados a continuación ya llevan aplicado el I.V.A correspondiente (21 % en España).

Uds.	Descripción	Rendimiento	Precio Unitario	Importe
uds	Ordenador de procesado	1	128	128
uds	Ensayos experimentales	1	12741.86	12741.86
uds	Licencia GT-SUITE	1	295.75	295.75
uds	Licencia Office 365	1	159.94	159.94
Coste total				13325.55

Tabla 2. Costes asociados a equipamiento y software

1.3. Presupuesto General

Descripción	Importe
Costes en Recursos Humanos	5650
Costes en Equipamiento y Software	13325.55
Coste total	18975.55

Tabla 3. Presupuesto total del proyecto

Por tanto, el presupuesto total del proyecto asciende a DIECIOCHO MIL NOVECIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS. Para la realización de este proyecto se asume un beneficio empresarial nulo debido al carácter investigativo que tiene.