

TRABAJO FIN DE GRADO

MODELADO UNIDIMENSIONAL DE UN INYECTOR DIESEL BOSCH CRI 2.25 DE ÚLTIMA GENERACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR:

GERMÁN VALERA MANZANARES

DIRECTOR:

MARCOS CARRERES TALENS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

DEPARTAMENTO DE MOTORES TÉRMICOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

VALENCIA, JULIO 2017

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO I: MEMORIA

EXPOSICIÓN DEL PROYECTO.....	6
1.1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.2. OBJETO DEL PROYECTO.....	8
1.3. ANTECEDENTES.....	8
1.4. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	10
1.5. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.	11
MARCO TEÓRICO	13
2.1. INTRODUCCIÓN.....	13
2.2. TIPOS DE INYECCIÓN.....	13
2.3. SISTEMAS DE INYECCIÓN.....	17
2.4. INYECTOR BOSCH CRI 2.20.....	21
2.5. BASIS VARIANT Y CRI 2.25.....	26
DESCRIPCIÓN DEL MODELO CRI 2.20	27
3.1. INTRODUCCIÓN.....	27
3.2. DESCRIPCIÓN DE AMESIM 15.....	28
3.3. PROPIEDADES DEL FLUIDO DE TRABAJO.....	37
3.4. UNIDAD DE CONTROL DE MOTOR.....	40
3.5. SOLENOIDE.....	41
3.6. RAIL Y OTROS CONDUCTOS.....	49

3.7. PORTAINYECTOR.....	50
3.8. TOBERA.....	56
3.9. TOMA DE DATOS.....	60
RESULTADOS	62
4.1. BASIS VARIANT.....	63
4.2. CRI 2.25.....	75
4.3. OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL INYECTOR CRI 2.25.....	83
CONCLUSIONES	88
5.1. CONCLUSIÓN.....	88
5.2. FUTURO DESARROLLO.....	89
BIBLIOGRAFÍA	91
 ANEXO I: RESULTADOS DE TASAS DE INYECCIÓN	
 DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES	
OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	5
1.1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.2. FORMALIDAD DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	5

CONDICIONES GENERALES DEL PLIEGO	7
2.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.2. CONDICIONES FACULTATIVAS.....	7
2.3. CONDICIONES EN EL PUESTO DE TRABAJO.....	10
CONDICIONES PARTICULARES DEL PLIEGO	15
3.1. INTRODUCCIÓN.....	15
3.2. REQUISITOS DEL SOFTWARE.....	15
3.3. REQUISITOS DEL EQUIPO INFORMÁTICO	16

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO	5
1.1. INTRODUCCIÓN	5
1.2. EXPOSICIÓN DEL MODELO PRESUPUESTARIO.....	5
1.3. ARGUMENTO DE LA MANO DE OBRA.....	6
1.3.1. ANÁLISIS DE HORAS.....	6
1.3.2. ANÁLISIS DE COSTE POR HORAS.....	7
1.4. PARTE COMPUTACIONAL.....	9
1.4.1. JUSTIFICACIÓN DE COSTES DE SOFTWARE.....	9
1.4.2. JUSTIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIÓN.....	9
1.4.3. PRESUPUESTO DE LA PARTE COMPUTACIONAL.....	10
1.5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	11

DOCUMENTO I
MEMORIA

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

EXPOSICIÓN DEL PROYECTO.....	6
1.1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.2. OBJETO DEL PROYECTO.....	8
1.3. ANTECEDENTES.....	8
1.4. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	10
1.5. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.	11
MARCO TEÓRICO	13
2.1. INTRODUCCIÓN.....	13
2.2. TIPOS DE INYECCIÓN.....	13
2.3. SISTEMAS DE INYECCIÓN.....	17
2.4. INYECTOR BOSCH CRI 2.20.....	21
2.5. BASIS VARIANT Y CRI 2.25.....	26
DESCRIPCIÓN DEL MODELO CRI 2.20	27
3.1. INTRODUCCIÓN.....	27
3.2. DESCRIPCIÓN DE AMESIM 15.....	28
3.3. PROPIEDADES DEL FLUIDO DE TRABAJO.....	37
3.4. UNIDAD DE CONTROL DE MOTOR.....	40
3.5. SOLENOIDE.....	41

3.6. RAIL Y OTROS CONDUCTOS.....	49
3.7. PORTAINYECTOR.....	50
3.8. TOBERA.....	56
3.9. TOMA DE DATOS.....	60
RESULTADOS	62
4.1. BASIS VARIANT.....	63
4.2. CRI 2.25.....	75
4.3. OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL INYECTOR CRI 2.25.....	83
CONCLUSIONES	88
5.1. CONCLUSIÓN.....	88
5.2. FUTURO DESARROLLO.....	89
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXO I: RESULTADOS DE TASAS DE INYECCIÓN	

CAPÍTULO 1

EXPOSICIÓN DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

El inyector es uno de los varios elementos que se pueden encontrar en un sistema de inyección. A su vez, el sistema de inyección es el conjunto más importante dentro de un motor. Este nombre se refiere al tipo de combustión que realiza este tipo de motor y al movimiento de renovación de la carga, realizado por cada una de sus cuatro carreras (admisión, compresión, expansión y escape).

Según las características requeridas para su uso, los MCIA pueden clasificarse según su proceso de combustión, dependerá si se trata de un motor de encendido provocado (MEP) o si es encendido por compresión (MEC), en el que deben estar ayudados por bobinas o calentadores y conseguir unas condiciones idóneas para la mezcla dentro del cilindro.

Este proyecto se centrará en los MEC, cuyo proceso de mezcla es más lento que los MEP. La formación de la mezcla en este tipo de motores se produce en el final de la compresión, por lo que en los últimos años se ha introducido el concepto de inyección piloto. Esto consiste en realizar varias inyecciones durante las carreras de admisión y compresión. Lo que se pretende conseguir es una mezcla combustible-aire óptima, en la figura 1.1 se exponen las fases del un MCIA.

En lo relacionado con la regulación de la carga, en este motor se consigue inyectando más o menos combustible en la cámara de combustión, es decir, cualitativamente. Dependiendo de la posición del acelerador demandada por el conductor del vehículo, el sistema de inyección del motor debe introducir al cilindro una cantidad determinada de combustible para producir una variación en la carga. En este punto interviene el sistema de inyección *common rail*. El combustible del tanque pasa por un filtro primario antes de ser impulsado por la bomba de baja presión, la cual trabaja a unos 3 bares de presión.

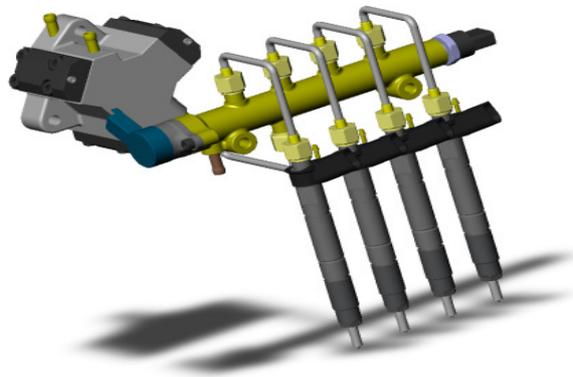


Figura 1.1: Sistema *common rail* de un MCI.

Seguidamente las partículas sólidas son atrapadas por el filtro secundario para que el fluido llegue a la bomba de alta presión, esta bomba trabaja a la velocidad del motor, ya que esta unida al patín del cigüeñal mediante la correa de distribución. La tubería de alta presión une la bomba de alta presión con el *common rail*, en un extremo del mismo tenemos un sensor de presión que va conectado a la ECU y en el otro contiene un regulador de presión cuya misión es expulsar combustible y mandarlo al tanque con el objetivo de mantener la presión correcta. El último de estos elementos es el referido en el proyecto, el inyector es el encargado de introducir el fluido en la cámara de combustión, está sometido a altas presiones y temperaturas producidas por el cilindro. Este elemento está diseñado para tener una vida útil infinita [1].

1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El Objeto de este Trabajo de Fin de Grado es la actualización del modelo existente del Bosch CRI 2.20 para modelar un nuevo inyector con la misma tecnología pero con pequeñas modificaciones que le permiten alcanzar presiones de inyección superiores. Por tanto, se trata de implementar dichos cambios en el modelo y reajustar los parámetros necesarios (disponiendo de medidas de tasa de inyección realizadas en CMT para poder validar el modelo).

Dadas las nuevas dimensiones de los orificios de control del inyector Bosch CRI 2.25, habrá una apertura más lenta del inyector en comparación con el Bosch 2.20 (corroborado mediante el modelo). Por lo que se debe proponer varias modificaciones al diseño del inyector Bosch 2.25 (concretamente, la geometría de los orificios de control) que permitan alcanzar las prestaciones deseadas.

Para obtener un modelo 1D se ha utilizado la herramienta AMESim, un programa de modelado unidimensional donde el inyector es reproducido por medio de elementos y acciones (tanto físicas como hidráulicas) determinadas introducidas en serie o paralelo.

Una vez se haya podido validar el modelo plasmado en AMESim, permite la explotación del comportamiento interno del sistema. Así, se pueden obtener una gran cantidad de resultados solamente variando un elemento del inyector.

Además esta herramienta permite obtener varias hipótesis por medio de simulaciones consecutivas, dándole a cada una un valor distinto y pudiendo comparar ambos resultados al instante.

1.3. ANTECEDENTES

El grupo CMT es producto de la Cátedra de Motores Térmicos, fundada en el año 1979 en la Universidad Politécnica de Valencia. Debido a su ascendente actividad esta corporación se ha colocado a la vanguardia en términos de investigación de motores, aumentando la calidad de sus

instalaciones y obteniendo una gran variedad de reconocimientos, tanto nacionales como internacionales. Actualmente se llevan a cabo distintos proyectos de investigación con muchas marcas de esta industria como PSA Peugeot-Citroën, BMW Motores GmbH, Grupo Daimler o Toyota Motor Europe.

A día de hoy, la composición organizativa del CMT, definido en la figura 1.2, se divide en siete líneas de trabajo, las cuales son:

- CFD.
- Combustión.
- Inyección.
- Mantenimiento.
- Renovación de la carga.
- Ruido.
- Transferencia de calor.



Figura 1.2: Edificio CMT en la Universidad Politécnica de Valencia.

Este proyecto ha sido desarrollado durante el curso 2016-2017 en la sección de Inyección del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos (DMMT) donde se pueden encontrar bastantes temas de investigación. Desde propiedades del combustible (ya sean Diesel/Gasolina o Biocombustibles)

hasta el desarrollo en la pulverización del mismo (Longitudes de líquido y vapor) pasando por la tecnología relacionada con la tobera del inyector.

Para llevar a cabo todos estos estudios, CMT está dotado de herramientas cuyo objetivo es establecer una similitud entre el elemento real a estudiar y el modelo propuesto por la línea de inyección. Modelos plasmados en silicona o los llamados 'spray momentum' y 'spray development' son ejemplos de este tipo de tecnología.

Para este trabajo se utiliza la herramienta de modelado 1D mediante el software AMESim, un programa de simulación en el que se han apoyado proyectos como por ejemplo el de Andrés Sánchez (Modelado de un inyector piezoeléctrico de área variable) o el de Mariano Sánchez (Hipótesis de flujo adiabático en sistemas de inyección).

1.4. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

La justificación de este proyecto se relaciona con el propósito que tiene la empresa BMW en contar con un inyector (Bosch 2.25) que, alcanzando presiones de inyección de 2500 bar, fuera capaz de respetar la rápida respuesta de su predecesor (Bosch CRI 2.20).

En la industria de la automoción se han ido incrementando los valores de la presión de inyección pasando de 1000 bar a 2500 bar en pocos años. La causa de este rápido desarrollo es producto del intento de reducir las emisiones de los vehículos que se encuentran en nuestras ciudades.

Aparte de la presión de inyección, muchas más soluciones han sido introducidas con el propósito de reducir los valores de contaminación de estos vehículos. Un ejemplo son los sistemas de regeneración, donde los gases de escape son conducidos a un radiador solidario con una válvula para volver al colector de admisión, de manera que esos gases son quemados de nuevo. Al aumentar la regeneración de un motor se pierde cierto porcentaje en el rendimiento del mismo, ya que parte del aire introducido es de peor calidad que

si no se utilizara este proceso. Otro ejemplo son los sistemas de reducción catalítica selectiva, cuya incorporación se realiza en 2006, asociándose a la nueva normativa Euro IV. Esta aparición produce un salto en términos de reducción de emisiones NOx (sobre un 30%).

El término de viabilidad expone si es posible realizar un proyecto de manera gratificante. En relación con este proyecto conviene establecer las distintas necesidades que surgen al plantear este tipo de investigaciones, tales como el aval económico, la disponibilidad de profesionales en la materia o la accesibilidad instrumental con cada uno de los elementos necesarios para completar este estudio. No habría ninguna posibilidad sin estas tres condiciones.

La viabilidad económica, proporcionada por el CMT, es de gran importancia en la obtención del material y los aparatos de medida solicitados para cubrir los requisitos experimentales de este proyecto. Por lo tanto, se puede decir que se cumple.

Por otra parte la viabilidad humana puede ser la necesidad más importante y más complicada de reunir. Se destaca la implicación y el alto conocimiento tanto de los técnicos de las salas de ensayos como de los miembros de la línea de inyección durante la realización de este trabajo. Por lo que está cubierta de manera satisfactoria.

Para finalizar este apartado, la viabilidad tecnológica depende de las instalaciones ubicadas en el CMT, hablando de equipos de medida y salas de ensayo. Además se debe tener en cuenta la disponibilidad de las licencias de los programas con los que se ha realizado el trabajo, los cuales han sido cubiertos por esta institución eficazmente.

1.5. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.

La organización propuesta para este proyecto está influenciada por la normativa impuesta por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

sobre Trabajos de Fin de Grado. Constará de tres documentos: Memoria, Pliego de condiciones y Presupuesto, subdivididas cada una de ellas por varios capítulos.

- Memoria: se trata del presente documento, en el cual queda reflejado el objetivo del estudio y se sitúa al proyecto en un entorno teórico con sus respectivas justificaciones y requisitos.
- Pliego de condiciones: en este apartado se especifican las condiciones tanto técnicas como facultativas estando relacionado con la normativa vigente, caracterizando el requerimiento de equipos involucrados en el presente proyecto.
- Presupuesto: Se explican los distintos costes producidos en este trabajo de una manera técnica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a desarrollar una introducción a la temática del proyecto, explicando los distintos tipos de inyección que hay en la actualidad y especificando cada una de sus aplicaciones en automoción. Aparte de eso, también se van a comentar los variados sistemas de inyección, con sus determinadas ventajas e inconvenientes. Seguidamente se realizará una breve comparación entre los inyectores con los que se ha trabajado en este estudio, Bosch CRI 2.20 y Bosch CRI 2.25.

Por último se dedica un apartado al software AMESim con el objetivo de explicar su funcionamiento y sus servicios de una forma generalizada.

2.2. TIPOS DE INYECCIÓN

Los tipos de inyección se diferencian principalmente en el lugar donde está ubicado el inyector respecto a la cámara de combustión. Se denomina inyección indirecta a la inclusión del combustible fuera de la cámara de combustión, a su vez la inyección directa tiene como principal característica el aporte de combustible dentro de la cámara de combustión. Cada uno de estos sistemas está dedicado al tipo de encendido específico del motor .

En la actualidad se pueden encontrar varias marcas que están apostando por unir estas dos tecnologías. Dado que en momentos puntuales la inyección indirecta tiene mejores prestaciones que la directa, en Lexus se ha llevado a cabo el desarrollo de un motor que posee un inyector dentro de la cámara de combustión y otro fuera, en el conducto de admisión. Según la situación de funcionamiento, el control electrónico del vehículo pueda combinar estos dos tipos para alcanzar mejores resultados.

2.2.1. INYECCIÓN INDIRECTA

La inyección indirecta se extiende para motores de encendido provocado (MEP) y está basada en introducir combustible en el colector de admisión. De este modo, la mezcla aire - combustible se produce durante las dos primeras carreras (admisión y compresión) del ciclo de cuatro tiempos. Esta es una de las ventajas de la inyección indirecta frente a la directa: debido a la posición del inyector fuera de la cámara de combustión, la mezcla tiene más tiempo para homogeneizarse antes de que se produzca la combustión.

En el caso de los motores de encendido por compresión (MEC), como se contempla en la figura 2.1, aparece anexa una precámara donde se encuentra el inyector y tiene lugar la mezcla. La temperatura alcanzada en la precámara es superior a la resultante en el cilindro a causa de una menor refrigeración en la misma. El aire encerrado durante la compresión realiza un flujo tangencial dando lugar a un torbellino de alta velocidad. Uno de los inconvenientes de esta tecnología en estos motores es la gran pérdida de calor producida por el aumento de la relación área/volumen. Este es el motivo de que estén prácticamente abandonados. Otro de ellos es la menor conversión de energía química a mecánica ya que la presión no se aplica de una forma directa en el pistón.

Esta inyección se puede separar en dos tipos: continua y discontinua. La continua está dedicada a una inyección permanente en el motor, con una variación del caudal de combustible proporcional a la posición del acelerador.

La discontinua comprende varias fases de inyección, ya sea controlando simultáneamente todos los inyectores o de un modo secuencial.

Con la incorporación de sistemas catalizadores, se empezaron a sustituir a los carburadores por los sistemas de inyección los cuales permite un abanico de combinaciones buscando el mejor rendimiento. Desde una inyección monopunto (donde un inyector abastecía a todos los cilindros del motor), a una multipunto (un inyector por cilindro), pasando por una inyección bipunto (con dos inyectores repartidos para todo el motor).

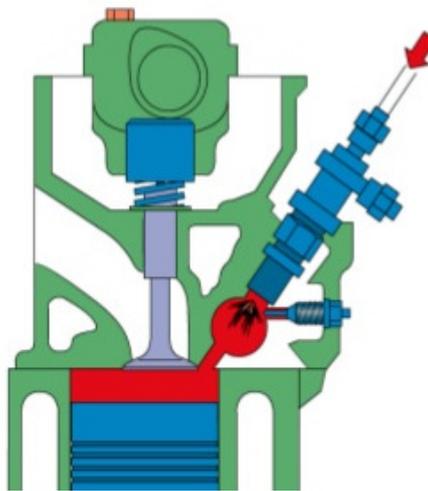


Figura 2.1: Esquema de inyección indirecta.

2.2.2. INYECCIÓN DIRECTA

La tecnología de la inyección directa es la dedicada a la aplicación del combustible dentro de la cámara de combustión al igual que en la figura 2.2. Esto conlleva que por el conducto de admisión solo entre aire, mientras que la inyección de combustible se produce solamente durante la carrera de compresión a diferencia de la inyección indirecta.

Dado que en este tipo de inyección el tiempo de formación de la mezcla es más reducido que en el anterior, el objetivo es desarrollar altos valores de presión (en torno a 3000 bar) de inyección del combustible para conseguir una mejor homogenización de la mezcla aire-combustible antes de que se produzca

la combustión. En el caso de los MEP se reduce el fenómeno de detonación debido a que no hay suficiente mezcla hasta el final de la compresión. Para poder conseguir cada una de las partes de la formación de la mezcla, se ha avanzado en varios componentes auxiliares de este proceso en los que se tienen mejores rendimientos:

- Establecer variaciones específicas en el colector de admisión con el fin de que el aire se introduzca en el cilindro de manera tangencial y conseguir una mejor atomización con el combustible inyectado.
- Acoplar al motor el sistema turboalimentado para aumentar tanto la presión del aire como la de la posterior combustión, así se facilita la formación de la mezcla y una combustión de mejor calidad. Al introducir más cantidad de aire en la cámara se puede alcanzar este proceso con valores de dosados pobres.
- Realizar varias inyecciones durante la carrera de compresión, dado que el aporte de combustible eleva la presión y la temperatura acelerando la combustión principal. Los inyectores utilizados en esta tecnología están compuestos de varias toberas, de ese modo se puede repartir el combustible de una manera equitativa en el cilindro y se puede quemar toda la mezcla.
- Diseñar la geometría de la cabeza del pistón también favorece el fenómeno de la combustión, formando cavidades y consiguiendo un movimiento rotacional del aire de abajo a arriba.

Cada una de estas medidas complementa el proceso de la inyección directa, ofreciendo una tecnología bastante competitiva y llamativa que con el paso del tiempo ha superado con creces a la inyección indirecta [2]. Gracias a los avances referidos en el control de los motores, la inyección directa está evolucionando en los MEP, siendo decisiva para poder evitar el fenómeno de picado de biela (detonación) ya que no se aporta combustible al cilindro hasta el final de la carrera de compresión.

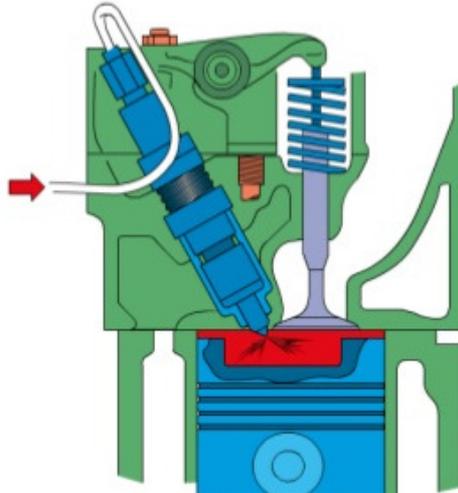


Figura 2.2: Esquema de inyección directa.

2.3. SISTEMAS DE INYECCIÓN

Dado que este proyecto está dedicado a un inyector diesel, este apartado se centra en los sistemas de inyección referidos a la inyección directa. Como se ha mencionado anteriormente, en MEC son necesarios grandes valores de presión de inyección para facilitar la formación de la mezcla y alcanzar una combustión de alta calidad.

Por ello, la principal característica que diferencia estos sistemas es el método que en el que se obtienen estos valores de presión. A continuación se van a exponer los sistemas siguientes: inyector bomba e inyector *common rail*.

2.3.1. INYECTOR BOMBA

Este tipo de inyector es incorporado a los vehículos a partir de 1998, dado que permite alcanzar valores de presión de inyección cercanos a los 2050 bar y dota al motor de una considerable mejora de rendimiento. El inyector es auxiliado por una bomba de baja presión situada en el tanque de combustible, la cual, tras pasar el filtro, actúa sobre el combustible para impulsarlo a los distintos inyectores.

Para obtener estos valores de presión, los inyectores tienen ubicados en su parte superior un émbolo accionado por una leva ubicada en el árbol principal. La parte interior del inyector presenta varias cavidades con el objetivo

de formar un circuito de baja y alta presión para el combustible estando ambas separadas por el propio émbolo. En el sistema de la figura 2.3 se pueden diferenciar el cuerpo de la bomba junto al émbolo y en la parte inferior el muelle de reposición.

Otro componente del circuito es la ECU (*Electronic Control Unit*) la cual se encarga a la activación de cada uno de los inyectores. Este elemento probablemente sea el más importante en el sistema de inyección o incluso dentro del motor, ya que tiene capacidad para gestionar una gran cantidad de variables aplicadas a cada situación. De este modo se consigue un mayor rendimiento y potencia.

Por último se encuentra la electroválvula de alta presión, que dirigida por la ECU es la responsable del momento y los tiempos referidos a la inyección. Está compuesta por una bobina, una aguja, un núcleo magnético y un muelle. Este sistema marca la introducción de la inyección variable, consiguiendo niveles de emisiones y consumos más reducidos que otros sistemas anteriores. Dado que cada inyector produce el aumento de presión para su cilindro, estas unidades permiten montarse y desmontarse de una manera sencilla. A su vez se pueden realizar diagnósticos por cilindro.

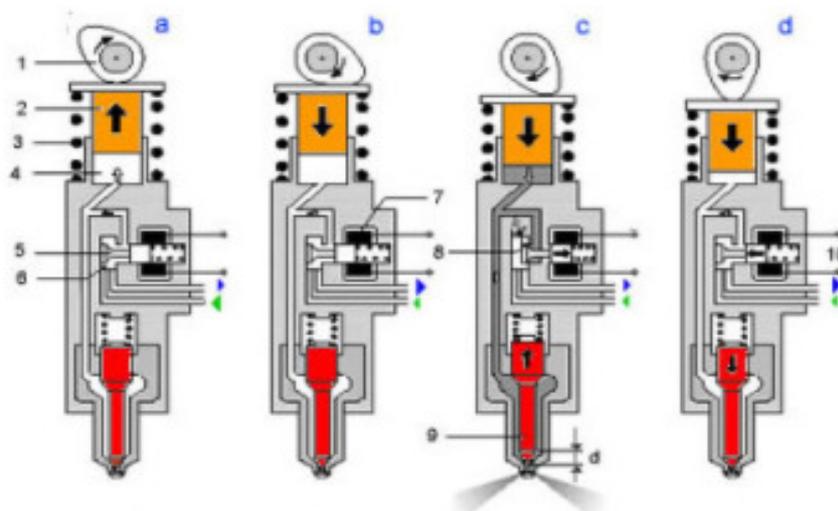


Figura 2.3: Funcionamiento de un sistema tipo inyector bomba.

2.3.2. INYECTOR *COMMON RAIL*

El inyector *common rail* va a ser el objeto de estudio de este proyecto. Este sistema consiste en la presurización del combustible mediante una bomba de alta presión para ser después almacenado en un conducto común y ser distribuido a cada uno de los inyectores ubicados en los cilindros.

A diferencia del inyector bomba, el sistema *common rail* de la figura 2.4 presenta varias ventajas entorno al funcionamiento del motor, permitiendo separar los procesos de inyección y generación de presión, por lo que su comportamiento es mucho más flexible que el sistema anterior. Ya que los inyectores están alimentados por el raíl común, se puede ampliar el número de inyecciones por ciclo de motor, obteniendo una reducción de ruidos y de contaminantes. A continuación se van a describir los componentes del sistema *common rail*. Se pueden diferenciar dos zonas distintas: zona de baja presión y zona de alta presión.

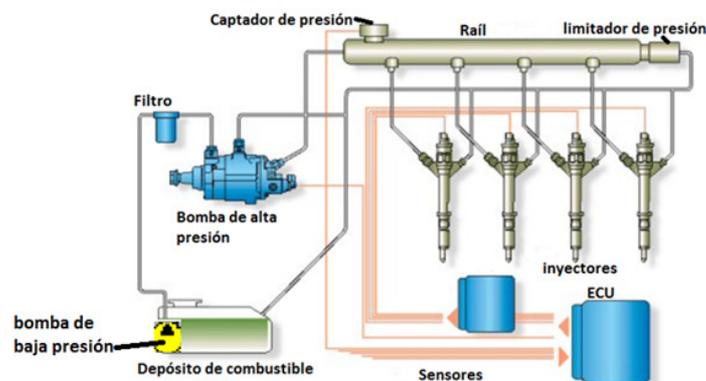


Figura 2.4: Conjunto de elemento del sistema *Common rail*.

El combustible ubicado en el tanque, que se encuentra a una presión cercana a la atmosférica (1 bar), pasa a ser purificado mediante el filtro primario. Este elemento es necesario en el circuito de inyección, ya que permite separar las partículas del combustible y evita que dañe algún elemento debido a las velocidades producidas por el aumento de presión. Además tiene la capacidad de recoger el agua localizada en el diesel. Tras pasar por el filtro primario, el combustible llega a la bomba de baja presión que es la encargada de impulsar el combustible a la zona de alta. Está bomba solo alcanza valores

cercanos a los 3.5 bar, característicamente presenta desplazamiento volumétrico constante [3].

Antes de terminar el recorrido por la zona de baja, el último elemento por el que debe pasar el combustible es el filtro principal del sistema, cuya función se basa exactamente en lo mismo que el filtro primario, pero con un alto porcentaje de captación de las partículas del diesel dado que estas se van a someter a unos 2200 bar de presión, siendo perjudiciales para el sistema de inyección.

A partir del filtro el combustible se encuentra en la zona de alta presión, llamada así debido al impulso que recibe el combustible por medio de la bomba de alta. Esta bomba gira a la misma velocidad que el motor, ya que ambos están conectados por medio de la cadena de distribución. El movimiento del cigüeñal transmitido al anti-vibrador consigue, gracias a la correa, mover la polea de apoyo, la cual establece el giro del eje de la bomba de alta presión. En este proyecto la máxima presión de estudio se estima en torno a unos 2300 bar, por lo que la bomba debe estar mecánicamente preparada para soportar tales esfuerzos.

Una vez que el combustible sale del compresor, este se almacena en el rail común. El rail común se comunica mediante una tubería para cada inyector del motor. Con esto, todos los inyectores están sometidos a la misma presión. En la entrada del conducto común aparece el sensor de presión, el cual se encarga de dar información a la ECU sobre la presión de inyección en cada momento. En el otro extremo se encuentra la válvula reguladora de presión, también conectada a la ECU, que permite regular la presión alcanzada en el conducto, de modo que no reviente la tubería.

El elemento más importante es la denominada ECU, que prácticamente se encarga de gestionar todo el proceso de inyección por medio de la toma de datos, que le proporcionan como por ejemplo: la velocidad del motor, la fase

del ciclo, niveles de temperatura y presión para poder optimizar el funcionamiento del sistema.

2.4. INYECTOR BOSCH CRI 2.20

Robert Bosch GmbH es la empresa encargada de llevar a cabo la producción de este inyector y cuyo origen, además de sede, se sitúa en Alemania. Aparte de que su actividad se base en electrodomésticos para el hogar o sistemas de seguridad, esta firma se posiciona a la vanguardia de la industria de piezas para automoción compartiendo convenios con diferentes marcas del sector.

La caracterización dinámica e hidráulica producida en AMESim para este proyecto tiene las dimensiones propias del inyector denominado Bosch CRI 2.20. Se trata de un inyector *common rail* con una presión máxima de inyección establecida en 2000 bar, además presenta un comportamiento balístico en su funcionamiento, es decir, el levantamiento óptimo estimado no se reproduce para las condiciones de funcionamiento en las que el inyector va a trabajar.

En relación con los modelos anteriores, el CRI 2.20 permite un levantamiento de la aguja mucho más rápido, logrando aumentar el número de inyecciones por ciclo. Aunque a diferencia de sus predecesores, la tecnología de excitación del CRI 2.20 se produce mediante un solenoide.

2.4.1. PARTES DEL INYECTOR

Realmente el inyector en sí es un solo cuerpo, pero para explicar el funcionamiento se separa en partes con el fin de facilitar la descripción en cada una de sus partes.

-VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA: Se denomina válvula electromagnética a la parte que comprende la alimentación eléctrica del inyector. En este modelo se encuentra en la parte superior del mismo comprendiéndose desde el conducto de retorno de combustible hasta el orificio

de salida del volumen de control (llamado OA). Mientras que la válvula no reciba alimentación el combustible del inyector no puede salir ni por el conducto de retorno ni por la tobera debido a que el sumatorio de fuerzas en el interior del sistema somete un valor positivo del émbolo hacia la tobera.

En el momento en que se alimenta el inyector se produce una estimulación en la bobina y en el núcleo del imán, como consecuencia el conducto de retorno deja de estar solapado y se disminuye la fuerza sometida en el émbolo llegando a lograr el levantamiento de la aguja [6].

A continuación se muestra una de las partes de la electroválvula en la figura 2.5.

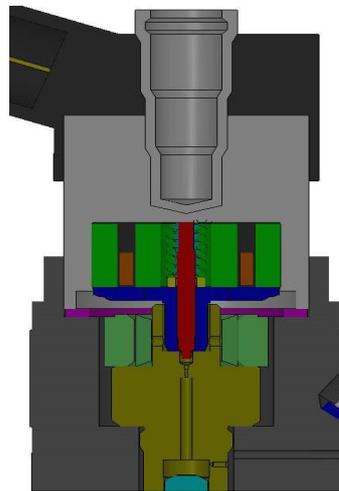


Figura 2.5: Ilustración de la electroválvula del inyector Bosch CRI 2.20

- PORTAINYECTOR: De este modo se designa al cuerpo del inyector donde está alojada la aguja y el volumen de control como principales elementos. Esta parte se encarga de asumir los esfuerzos producidos por la presión del combustible además de guiar el levantamiento y descenso de la aguja. En este fragmento también se puede situar al conducto de entrada (llamado OZ) que viene desde el raíl común. Para conseguir un diferencial de fuerzas debe ser mayor que el orificio OA.

La aguja de la figura 2.6 en su parte más próxima a la tobera está unida a un muelle para evitar movimientos bruscos durante los tiempos de ascenso y descenso, aún así las superficies de la cabeza de la aguja son las que más se someten a las fuerzas de presión. Mientras que el inyector no está alimentado la fuerza producida en la parte superior de la cabeza de la aguja (volumen de control) es mayor que la de la parte inferior, por lo que el inyector no se abre. En el instante en el que se excita la bobina, el combustible fuga del inyector por el conducto de retorno produciendo una fuerza resultante en sentido favorable al levantamiento de la aguja.

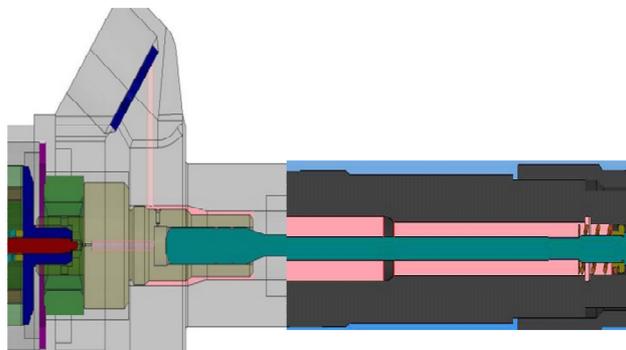


Figura 2.6: Ilustración del portainyector del inyector Bosch CRI 2.20

-TOBERA: El último elemento se encuentra en la parte inferior del inyector, justo en el final del muelle de la aguja y es el encargado de expulsar el combustible a la cámara de combustión [7]. Dado que en este proyecto el proceso a estudiar consiste en inyección directa, la tobera debe mostrar capacidades resistentes frente a las duras condiciones instauradas en el interior del cilindro. La aguja adopta una forma similar a la triangular, que junto a la forma cilíndrica del inyector, de modo que pueda transcurrir el combustible hasta el asiento de la tobera.

Prácticamente todas las toberas están diseñadas para que el chorro de diesel producido en la inyección tenga una inclinación cercana a los 30° con

respecto a la horizontal. En relación a los orificios pueden variar según el modelo a estudiar, pero en este caso el inyector Bosch CRI 2.20 referido en la figura 2.7 presenta siete orificios de inyección. Estos orificios tienen diámetros en unidades de micrómetros por lo que se debe intentar que no sufran determinados taponamientos ya que una ligera acumulación de partículas no quemadas pueden alterar el funcionamiento ya no solo del inyector sino del motor.

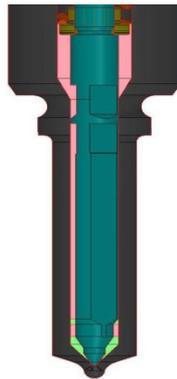


Figura 2.7: Ilustración de la tobera

2.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR

Se pueden diferenciar cuatro estados de funcionamiento, plasmados en la figura 2.8, entorno al inyector cuando el motor está en marcha y la bomba de alta presión alimenta el rail común. En el caso de que el motor se encuentre apagado la presión del muelle es la responsable de que el inyector no se abra, el funcionamiento varía según el tipo de inyector [4].

- INYECTOR CERRADO: El inyector se encuentra en estado de reposo, el diferencial de presiones producido en la tobera y en el volumen de control son iguales. Por lo que no se produce un levantamiento de la aguja.
- EL INYECTOR ABRE: Este estado es consecuencia de la excitación de la válvula electromagnética gracias a la alimentación de corriente sobre el inyector. Para ese instante los esfuerzos producidos en el imán es mayor que los del muelle de la válvula por lo que se libera el conducto de retorno y el combustible puede circular . Como la presión en el

volumen de control se somete a una caída de su valor la presión en la tobera consigue vencer al muelle de la aguja y producir un levantamiento liberando los orificios de salida.

- INYECTOR TOTALMENTE ABIERTO: El émbolo se encuentra en su parte superior estando la tobera totalmente liberada para inyectar combustible en el interior del cilindro. Desde que el inyector sale del rail has que es expulsado por la tobera se estima una pérdida de presión similar al 10% debido a los fenómenos a los que se ve sometido el combustible.

- EL INYECTOR CIERRA: El inyector ya no está alimentado por lo que la electroválvula deja de funcionar, como resultado el conducto de retorno se solapa por medio de una bola ayudada del muelle. Para ese momento se vuelve a establecer la presión en el volumen de control igual a la del rail común mostrándose una fuerza superior en la cabeza de la aguja respecto a la encontrada en la tobera. De esta manera se origina el descenso de la aguja y se cierra el inyector.

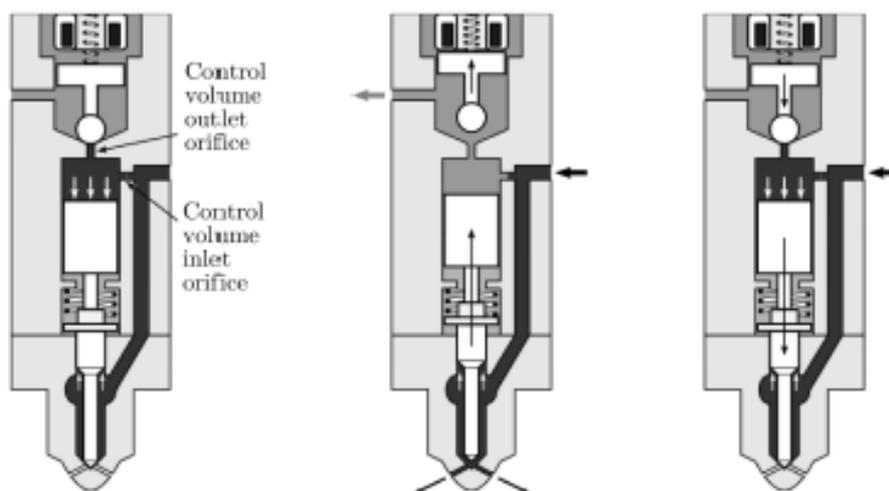


Figura 2.8: Fases de funcionamiento del inyector Bosch CRI 2.20

2.5. BASIS VARIANT Y CRI 2.25

Tras haber definido las partes del inyector Bosch CRI 2.20, este sistema se va a modificar en el programa AMESim para dar lugar al *Basis Variant* y al CRI 2.25.

Siendo el *Basis Variant* una variante del CRI 2.20 y el CRI 2.25 una nueva generación del mismo. Ambos inyectores serán sometidos al proceso de validación en el capítulo de resultados, por lo que de manera genérica se explicará el 2.20 pero mediante las modificaciones siguiente se podrá estudiar a los siguiente. A continuación se exponen los cambios entre los inyectores CRI 2.20 y 2.25.

Parte del inyector	Elementos	CRI 2.20	CRI 2.25
Válvula Electromagnética	Levantamiento (mm)	25	23
Portainyector	Diámetro de pistón (mm)	4.3	3.82
	Relación entre C.V. (cm ³ /60s)	350/580	240/410
Tobera	Diámetro del asiento (mm)	1.8	1.5

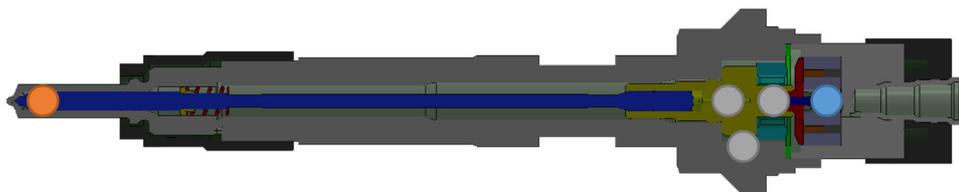


Figura 2.9: Variación de parámetros entre CRI 2.20 y 2.25

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL MODELO CRI 2.20

3.1. INTRODUCCIÓN

Para poder comenzar un estudio sobre el comportamiento del inyector se ha fomentado la creación de un modelo que pueda asemejar todas las condiciones del mismo. Esto se consigue gracias al el Software ya descrito anteriormente llamando AMESim, mediante el uso de sus extensas librerías se obtiene un sistema capaz de simular la naturaleza del inyector.

En este capítulo se va a realizar una descripción sobre el modelo creado en AMESim del inyector Bosch CRI 2.20, donde se diferenciarán cada una de sus partes más características además de las propiedades del fluido de trabajo en el programa.

Dado que el inyector es un sistema en el que se ven involucrados varios tipos de fenómenos físicos, las librerías que van a componer el modelo son la eléctrica, electromecánica, de control, mecánica e hidráulica. Con los elementos ubicados en estas librerías se pretende diferenciar las partes del inyector.

En apartados anteriores se había expuesto las partes del inyector (tobera, portainyector y válvula electromagnética) pero en el modelo se van a introducir elementos propios del sistema de inyección *common rail*. Un buen

ejemplo son las conducciones de alimentación y retorno, los elementos de toma de datos a la salida de la tobera o la aparición de la unidad de control de motor, la cual rige el funcionamiento del inyector.

3.2. DESCRIPCIÓN DE AMESIM 15

LMS Imagine.Lab AMESim consiste en un software de simulación para modelización y análisis de sistemas multidominio, haciendo posible establecer una relación entre elementos de diferentes dominios físicos. Para el desarrollo de este proyecto se ha usado la versión AMESim 15, lanzada en Julio de 2016, la cual es la versión más innovadora hasta la fecha.

El software LMS Imagine.Lab Amesim ha sido desarrollado por Imagine S.A., empresa que forma parte de LMS International la cual a su vez se unió a Siemens AG en Noviembre de 2012. A principios de los años 90 la Universidad de Bath en Inglaterra introduce en el mercado la primera versión de AMESim. A partir de ese momento LMS Imagine.Lab AMESim es empleado en la industria del automóvil como principal y en otras más avanzadas.

Este software es una composición de herramientas destinadas a modelar y establecer suposiciones vinculadas con el rendimiento de los sistemas a estudiar. La descripción de los sistemas se consigue mediante ecuaciones analíticas no lineales, cuya variable principal es el tiempo, representando la evolución del comportamiento de una gran variedad de fenómenos físicos. La gran ventaja de este programa es la capacidad de simulación de un modelo sin que su geometría CAD esté detallada, gracias a la hipótesis 1D.

LMS AMESim reúne todos sus componentes predefinidos los diferentes dominios físicos de la figura 3.1, un grupo de bibliotecas que permiten separar cada elemento en el dominio al que pertenezca, éstas son expuestas con un color relacionado con su función de manera que pueda ser identificado fácilmente.

Las bibliotecas de LMS AMESim están programadas en lenguaje C aparte de soportar Modelica, lenguaje no patentado que está orientado a elementos y ecuaciones para modelar complejos sistemas físicos que contienen elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos o incluso relacionados con el proceso. El sistema en sí debe dividirse en iconos (representación del elemento), incluso de bibliotecas distintas, por lo que prácticamente se puede modelar cualquier estructura con sus respectivos esfuerzos.

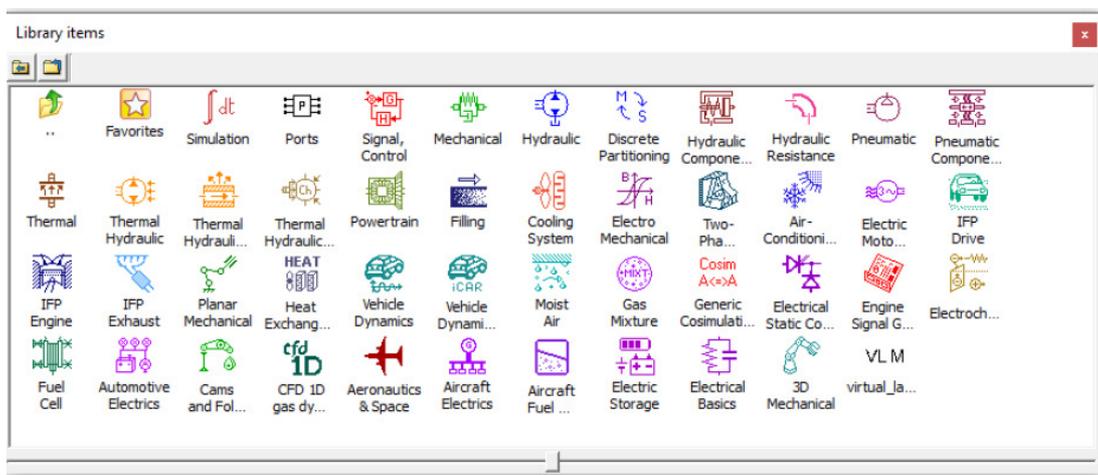


Figura 3.1: Librerías de AMESim

Además cada icono posee en sus extremos una serie de conectores estipulados como entradas y salidas en base a los fenómenos que transitan por cada uno de ellos, una de las principales condiciones para la viabilidad del modelo es que la vinculación entre las entradas de un icono se conecte con las salidas de otro y viceversa. No siempre se transmite toda la información que transita por los elementos ya que depende de la configuración del submodelo diseñado para el sistema, esto está basado en la técnica de *Bond Graph*.

Un ejemplo es el de la figura 3.2, donde se pueden observar el sentido de los conectores de estos elementos. El color verde está asociado a la salida del icono mientras que el rojo es significativo de la salida, las unidades de medida de cada entrada deben coincidir con las de la salida.

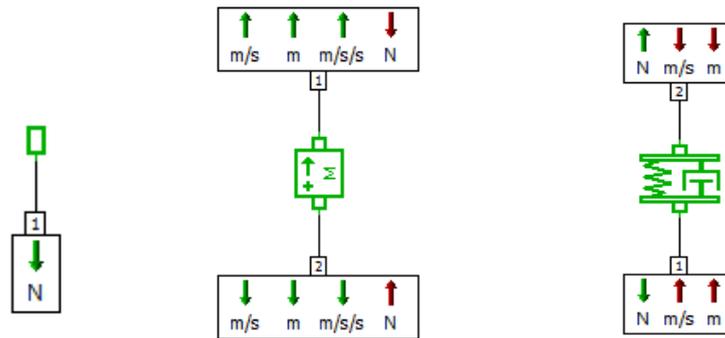


Figura 3.2: Puertos de entrada y salida en AMESim

La zona de trabajo de AMESim descrita en la figura 3.3 presenta una gran variedad de configuraciones para optimizar el desarrollo del autor sobre el modelo. En la parte superior se sitúan los modos de trabajo, que serán definidos posteriormente, acompañados de los submenús propios de edición, archivo o ayuda. También otras herramientas de modelado como AMEPlot o distintos modos de simulación con sus respectivas variables. En la parte izquierda se ubica una extensión de los modos y herramientas ya nombrados en la parte superior. En la zona derecha el contenido varía según el modo de trabajo seleccionado, mostrando la biblioteca de elementos en el *Sketch mode* y los valores característicos del elemento en el denominado *Parameter mode*.

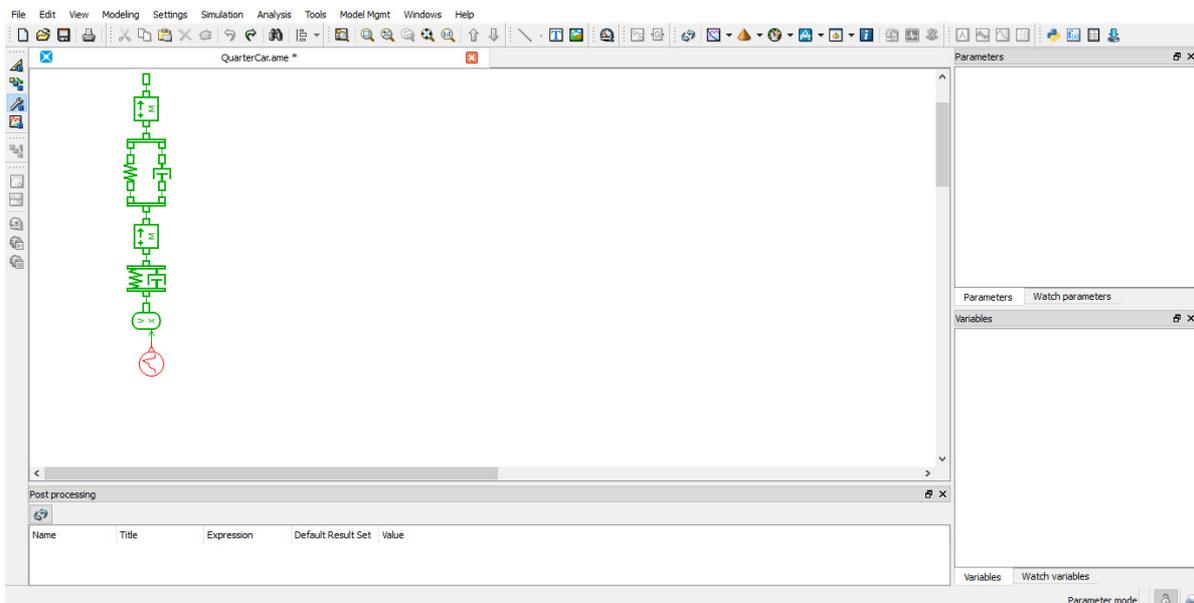


Figura 3.3: Entorno de trabajo de AMESim

AMESim 15 se compone de cuatro extensos modos de trabajo:

1. **Sketch mode:** este modo es el primer paso para definir el modelo. La particularidad de este modo es que todos los elementos de la biblioteca están disponibles en el margen derecho del monitor, de esta manera se pueden poner sobre el área de trabajo y establecer una conexión entre ellos. Las librerías de elementos se separan en relación al tipo de fenómeno físico que representan. Por ejemplo, la librería hidráulica posee el color azul. En el caso de que los elementos no estén correctamente conectados entre sí no se podrá acceder al siguiente modo de trabajo.

2. **Submodel mode:** Tras haberse definido el modelo, los elementos que lo forman pueden actuar de formas variadas, esa es la principal función del *Submodel mode*. Dependiendo de las características del modelo se van a encontrar distintas variables de comportamiento, las cuales se van tratar en este modo de trabajo aunque no haya el mismo número de submodelos en cada uno de los elementos, el submodelo de un elemento claramente influirá en los elementos colindantes. Cuando finaliza la definición de submodelos es posible continuar con el modo siguiente. Sin embargo, en el caso de que no se solicite una caracterización determinada, AMESim permite una configuración por defecto.

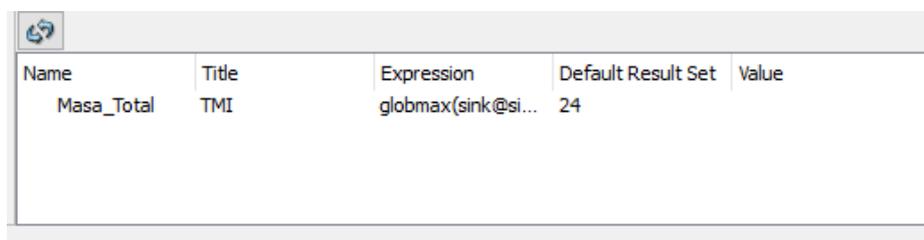
3. **Parameter mode:** este modo permite la compilación del sistema a estudiar. Al seleccionar el modo se abre una ventana en la parte central del monitor donde se puede visualizar el número de variables que forman la complejidad del modelo, igualmente se pueden identificar las condiciones iniciales del mismo. En esta sección aparecen las variables globales, las cuales se muestran necesarias para sistemas complejos dado que se usan en varios elementos a la vez, compartiendo la misma configuración en cada uno de ellos. La posibilidad de modificar algún elemento generaría un cambio en todo el conjunto.

4. **Simulation mode:** el modo de simulación Este modo ofrece infinidad de tipos de simulación, en los que se permite elegir la variable a estudiar y otros tipos de análisis como temporal o de linealización. Todo esto se puede seleccionar en la ventana de *Run Parameters*, según el modelo a estudiar y su correspondiente naturaleza se estipula el intervalo con su tiempo inicial y final. Además de poder realizar una única simulación (Single run) o varias con parámetros alterados (Batch), incluso se puede introducir varias inyecciones en la misma simulación [5].

Existen herramientas de tratamiento de datos en el mismo Software de AMESim, aunque también es posible traspasar estos resultados a programas externos de mayor definición.

Una de las opciones del programa es el análisis de las variables que se han definido antes de la simulación. Como se ha explicado anteriormente, estas variables se encuentran en la parte inferior de la interfaz de AMESim (figura 3.4). Mediante una ecuación se ejecuta el valor o relación que se quiere obtener, dentro de la misma ecuación están introducidas las variables simuladas. Por ejemplo si se desea calcular el valor de la masa total inyectada (TMI) habría que introducir una expresión similar a la siguiente.

`"globmax(sink@signalsink_2)-valueat(sink@signalsink_2,0)"`



Name	Title	Expression	Default Result Set	Value
Masa_Total	TMI	globmax(sink@si...	24	

Figura 3.4: Estudio de variables definidas en AMESim

Pero AMESim también dispone de una herramienta gráfica llamada AMEPlot para estudiar el comportamiento temporal de los resultados, donde se pueden comparar distintas variables en una misma gráfica o incluso la misma variable pero en simulaciones diferentes. Además ofrece la posibilidad de editar

todo lo relacionado con la fisiología del gráfico ya sea ejes o unidades de medida.

Aparte de estos modos de tratamiento de datos, dentro de la biblioteca de iconos se pueden añadir al modelo elementos de obtención de datos, los cuales generan archivos .dat o .data. Este tipo de archivos se manipulan de manera similar a los documentos de texto por lo que a partir de ellos se pueden crear gráficos o macros en excel.

3.2.1. EJEMPLO DE SIMULACIÓN CON AMESIM

A continuación se va a describir el desarrollo de un cuarto del sistema de suspensión de vehículo en AMESim. El modelo se compone de varios elementos: un par de masas que simulan el peso del coche y el sistema de suspensión; un conjunto de muelles y amortiguadores para enlazar las masas; un elemento encargado de producir impulsos y otro dedicado a transformar esos impulsos en esfuerzos.

Para empezar se selecciona el acceso directo del programa ubicado en el escritorio, donde AMESim siempre genera un archivo vacío. En la barra de iconos superior existe la posibilidad de abrir un documento ya guardado o incluso de tener varias ventanas abiertas a la vez con sistemas distintos. El modo en el que se encuentra el software al inicio es el *Sketch mode*.

Seguidamente hay que dirigirse al margen derecho del monitor para seleccionar los iconos que forman parte del sistema, encontrados en las librerías. En este ejemplo se usan elementos de la librería mecánica y de control por lo que si se coloca el ratón encima estos iconos nos darán información sobre las entradas y salidas del mismo. Además se puede editar el tamaño de la ventana de la biblioteca para facilitar la búsqueda de estos elementos. La figura 3.5 define la estructura del modelo, siendo el elemento de control el que simula las condiciones del terreno.

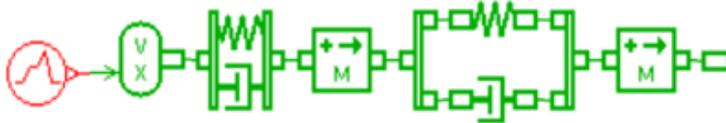


Figura 3.5: Modelo analítico de la suspensión de un vehículo

Los elementos a introducir componen un sistema masa-muelle-amortiguador. Estos elementos pueden ser encontrados en la librería verde de mecánica. La masa debe presentar dos puertos de conexión ya es necesaria la unión entre las masas mediante muelles y amortiguadores. El muelle-amortiguador presenta las características de ambos elementos contenidos en un mismo icono, ofreciendo una mayor sencillez al sistema a desarrollar.

En el *Sketch mode* se pueden establecer conexiones entre los elementos de dos maneras: la primera es uniendo directamente los puertos de un elemento con otro, enlazando la entrada del primero con la salida del segundo. La segunda consiste en líneas que van unidas desde la salida de uno hasta la entrada de otro. En el caso de que alguna conexión no se haya realizado de manera correcta, se mostrará un negativo del icono como en la figura 3.6.



Figura 3.6: Ejemplo de elementos erróneamente conectados

A continuación se pasa al *submodel mode* en el que se debe adjudicar un comportamiento determinado a los elementos que forman el sistema, esto se consigue mediante los submodelos.

Seguidamente es necesario establecer unos valores identificativos a los elementos introducidos en el modelo. Esto se puede manipular en el *parameter mode*. En el caso de la masa superior el valor será cercano a un cuarto del peso total del vehículo (300 kg), siendo la masa del sistema de suspensión de

30 kg. Estos dos elementos deben tener una inclinación de -90° . En las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se especifican más datos de los demás elementos.

The image shows two overlapping windows from a Simulink environment. The top window is titled 'Parameters of spring01 [SPR000A-1]' and the bottom window is 'Parameters of springdamper01 [SD0000A-1]'. Both windows display a table of parameters with columns for Title, Value, and Unit. The spring01 window also includes a 'Tags' column. The springdamper01 window includes a 'Name' column.

Title	Value	Unit
spring stiffness mode	numerical value	
spring rate	15000	N/m
spring force with both disp...	3220	N

Title	Value	Unit	Tags	Name
velocity initialization	zero			setVelocity
time constant for derivat...	0.0001	s		tau

Title	Value	Unit	Tags	Name
number of stages	2			nstages
cyclic	no			iscyclic
time at which duty cy...	0	s		rp2
output at start of sta...	0	null		rp3
output at end of stag...	0	null		rp4
duration of stage 1	0.1	s		rp5
output at start of sta...	0.05	null		rp6
output at end of stag...	0.05	null		rp7
duration of stage 2	1e+06	s		rp8

Figura 3.7: Lista de datos de los elementos del modelo

Tras realizar la introducción de datos el modelo puede ser compilado, durante este proceso se analizan todas las variables contenidas en la estructura del sistema mediante un programa de simulación y se verifica el correcto funcionamiento del mismo. En la figura se observa el número de variables que lo forman, si todo se adecua a las condiciones estipuladas el estado de esta ventana cambiará de *compiling* a *completed*.

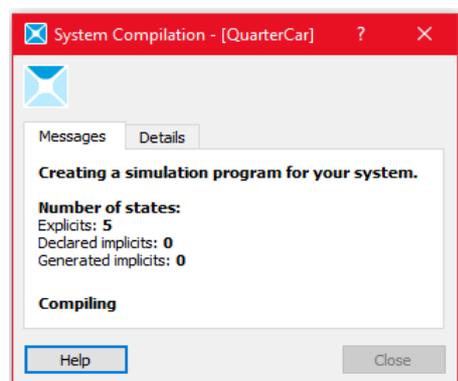
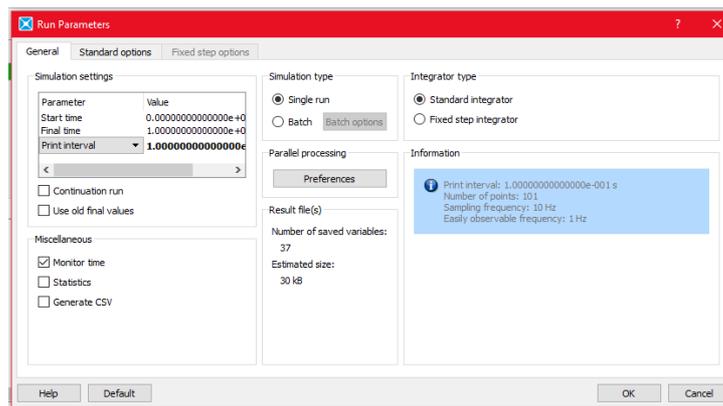


Figura 3.8: Proceso de compilación del modelo

En el caso de que la compilación haya sido un éxito es posible continuar con el modo de simulación. En este modo es posible elegir un número determinado de simulaciones para el modelo a estudiar, también está permitido cambiar el tiempo inicial y final de la simulación, así como el tiempo de los intervalos a estudiar. Toda esta información se encuentra en la ventana *Run Parameters*.



3.9: Ventana de *Run Parameters*.

En la figura 3.10 se puede representar la simulación realizada, AMESim ofrece la posibilidad de estudiar gráficamente estos datos sin necesidad de que sean exportados a otro programa. Esto se consigue pinchando con el ratón a la variable que se desee observar y dejándola en la ventana principal del programa. Para este caso se ha elegido la variable del desplazamiento de la masa del vehículo, expuesto en la herramienta AMEPlot.

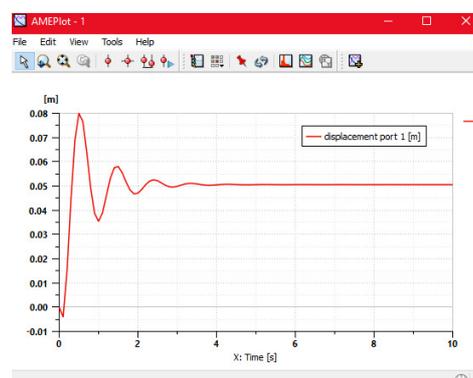


Figura 3.10: Ejemplo de representación de una variable

Pero también se pueden realizar comparaciones entre distintas variables (figura 3.11) en un mismo gráfico. Para esto el eje y deja de referirse a una unidad de medida y solo se refiere a números genéricos en los que cada variable está identificada. En este caso se tratan las variables de desplazamiento, velocidad y aceleración de la masa de vehículo.

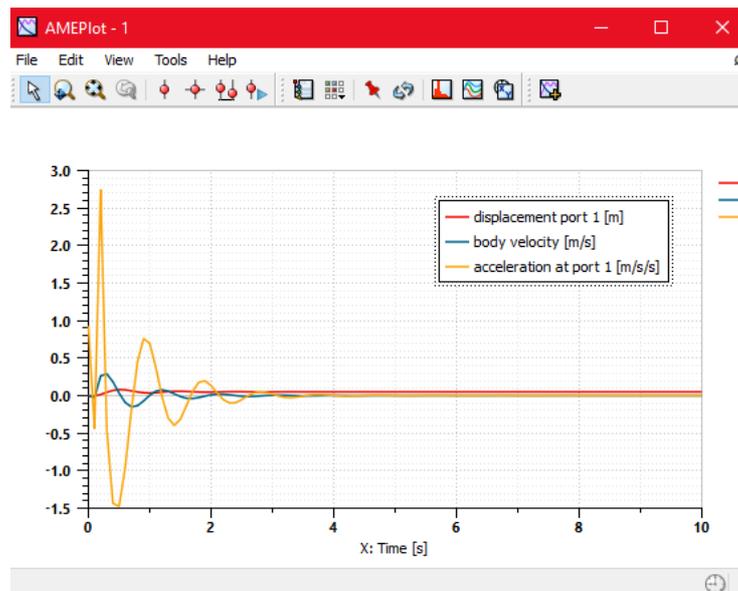


Figura 3.11: Ejemplo de representación con diferentes variables

3.3. PROPIEDADES DEL FLUIDO DE TRABAJO

A la necesidad de definir las variables físicas que forman el modelo se le añade las propiedades que identifican al fluido de trabajo. Para este proyecto se utiliza un diesel referido a bajas temperaturas. AMESim aúna los parámetros que definen el comportamiento del fluido para poder ser usados en las simulaciones del modelo.

Pero AMESim también permite seleccionar distintos submodelos con diferentes características a tener en cuenta, para este estudio se ha elegido el submodelo 'TFFD4', un tipo relacionado con la formulación de Bode.

En los siguiente apartados se especificará la formulación aplicada a variables como la densidad o la viscosidad del fluido.

3.3.1. VELOCIDAD DEL SONIDO

Para poder definir la velocidad del sonido en este modelo se pueden usar las fórmulas en función de calor específico o temperatura.

El objetivo de utilizar estas fórmulas consiste en evaluar efectos como el producido por el *dwell time* en la cantidad de la masa inyectada. Estos efectos dependen de las propagaciones realizadas por las ondas, lo que indica el grado de dificultad de establecer un valor correcto de la velocidad del sonido.

$$C_p(T) = c_{p0} + c_{p1} \cdot T + c_{p2} \cdot T^2$$

$$c(T) = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2$$

La correlación lineal impuesta finalmente para este sistema [8] alcanza valores aproximados de $c_0 = 1397.82$ m/s y $c_1 = -3.14849$ m/s/K.

Varios estudios relacionados con este fenómeno han validado las propiedades de su comportamiento para poder hallar las fórmulas y los correspondientes valores obtenidos .

3.3.2. DENSIDAD

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de una determinada magnitud. Para este modelo se ha utilizado la fórmula proporcionada por Bode, conociendo la presión relativa, la temperatura y una serie de valores explicados en el próximo apartado se pueden obtener los resultados de densidad en el fluido.

$$\rho(p, T) = \frac{\rho_b \cdot (1 - \alpha \cdot T)}{1 - A \cdot \log\left(1 + \frac{\rho}{B_1 + B_2 \cdot T + B_3 \cdot T^2 + B_4 \cdot T^3}\right)} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Las unidades de estas variables se expresan en bar, Kelvin y en el caso de los coeficientes, cada uno de ellos presenta una unidad distinta en base a

completar la expresión matemática. A continuación se muestran los valores de la fórmula anterior en la tabla 3.1.

Los modelos realizados en AMESim no producen variaciones en las propiedades del combustible. Dependen de la presión de inyección y de la temperatura al inicio de la inyección, pero se mantienen constantes a lo largo de la inyección y para todos los elementos del inyector.

Tabla 3.1: Variables de la ecuación de Bode.

Parámetro	Valor	Unidad
ρ_b	1132.28	$\frac{kg}{m^3}$
α	$9.10487 \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{K}$
A	0.107693	[-]
B_1	3448.87	bar
B_2	-6.9748	$\frac{bar}{K}$
B_3	$-5.67403 \cdot 10^{-4}$	$\frac{bar}{K^2}$
B_4	0	$\frac{bar}{K^3}$

3.3.3. VISCOSIDAD

Se pueden diferenciar la viscosidad dinámica y la cinemática mediante la ecuación $\mu = \nu \cdot \rho$, las cuales establecen una relación mediante la densidad. La viscosidad dinámica se ha calculado mediante la densidad a presión atmosférica.

Mediante una fórmula elaborada por Kouzel está permitido extrapolar valores de viscosidad cinemática a valores superiores. La expresión expuesta en la expresión 3.2 consiste en introducir los valores de viscosidad y presión referidos a los valores de presión atmosférica y viscosidad dinámica a la temperatura que se quiera calcular.

$$\log\left(\frac{\mu}{\mu_o}\right) = \frac{P-0.101325}{1000} (-1.48 + 5.86 \cdot \mu_o^{0.181})$$

3.4. UNIDAD DE CONTROL DE MOTOR

La unidad de control de motor es la responsable de alimentar el inyector mediante ráfagas de corriente eléctrica con el objetivo de producir varios diferenciales de esfuerzos y presiones para producir la inyección. Debido a la complejidad de la unidad de control solo se ha modelado la parte que produce la señal sobre el inyector. El diseño de este componente admite hasta tres inyecciones pudiéndose controlar su tiempo de inyección.

Los elementos de control en el modelo se diferencian de los demás por su color rojo, en la figura 3.12 se observa la estructura creada para generar los impulsos de la unidad de control. Tres columnas distintas que se unen en la fuente generadora de corriente (l *source* en morado), la cual produce la excitación en el solenoide que permite hasta tres inyecciones por ciclo: una inyección piloto, la inyección principal y una postinyección.

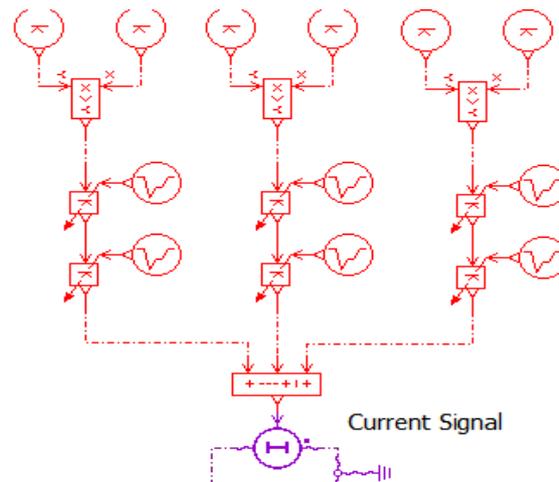


Figura 3.12: Unidad de control de Motor en AMESim.

Dentro del circuito de la corriente se pueden encontrar varios elementos, ubicado en la parte superior derecha se encuentra una toma de tierra y seguidamente abajo se observa un amperímetro conectado al sistema de toma de datos para el posterior procesado de los datos. Este circuito está conectado directamente con el solenoide en la parte inferior.

3.5. SOLENOIDE

El solenoide es la parte del inyector dedicada a producir el levantamiento de la aguja. El fenómeno ya explicado en apartados anteriores se resume a la diferencia de esfuerzos en el inyector producidos por los impulsos en la electroválvula y cuya consecuencia era la apertura del inyector [9]. La electroválvula puede descomponerse en una serie de orificios y conductos, aparte de los componentes magnéticos, con el fin de presentar un correcto funcionamiento.

A continuación se relaciona el modelo en AMESim con un modelo en CAD de las partes que componen el inyector.

3.5.1. ORIFICIOS DE LA VÁVULA

La válvula presenta los orificios O1, O2 y O3 como elementos que separan la alimentación de volúmenes de control o entre conductos de retorno dentro del inyector. Otro de los principales orificios es el denominado VPO, se trata del orificio de sección variable producido por el levantamiento de la armadura. El área resultante del levantamiento se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A \cdot R \cdot \Delta L$$

La librería usada para este tipo de orificios se corresponde con la hidráulica y sus componentes. Las dimensiones de los elementos son las mostradas en la tabla 3.2 y su estructura se resume en la figura 3.13.

Tabla 3.2: Definición geométrica de orificios.

	Diámetro (mm)
O1	1.25
O2	5.23
O3	1.0

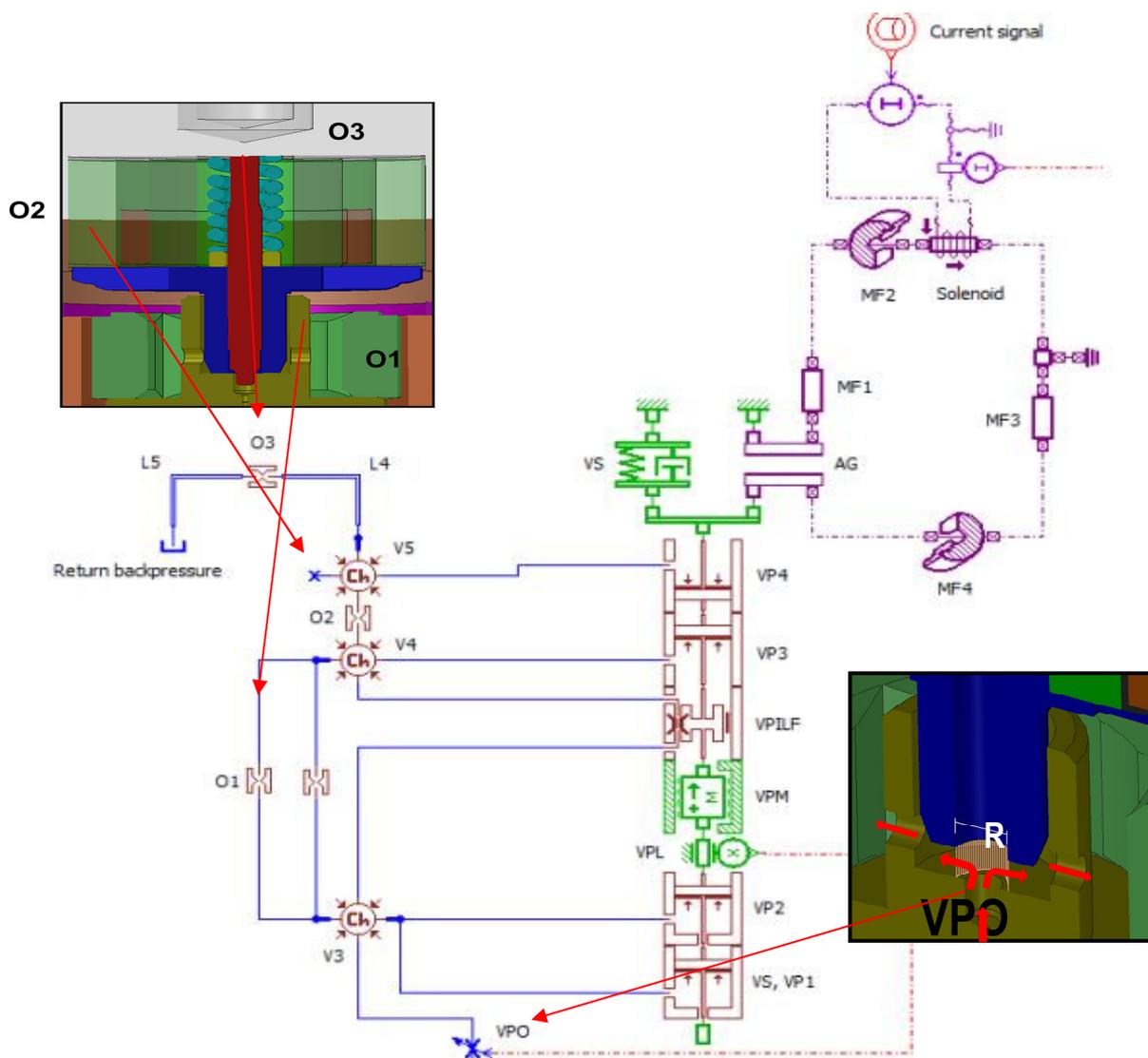


Figura 3.13: Modelado de los orificios ubicados en la válvula.

3.5.2. VOLÚMENES DE LA VÁLVULA

En el interior de la válvula se pueden observar tres volúmenes de control distintos en los que se asienta el combustible, para poder simular este espacio en AMESim se ha utilizado el elemento señalado en la figura inferior. Los orificios mencionados en el apartado anterior se engloban en la figura 3.14.

3.5.3. PISTONES DE LA VÁLVULA

Dentro de la electroválvula se producen sumatorios de esfuerzos, los cuales, al final al cabo causan el levantamiento de la aguja en el momento de la inyección. Para simular estos esfuerzos es necesario dimensionar los pistones de la válvula, por lo que se usará la librería de elementos mecánicos con el fin de definir el sentido de cada uno de los fenómenos ejecutantes (figura 3.15)

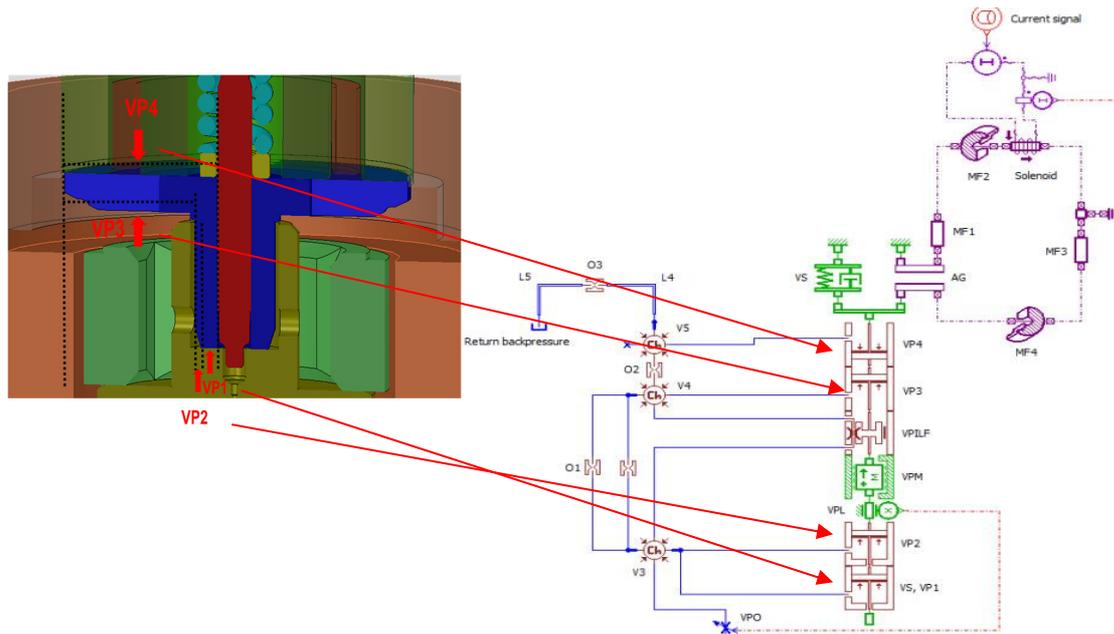


Figura 3.15: Modelado de los esfuerzos generados por los pistones.

Dado que se va a realizar una ficticia separación entre los cuatro pistones que van a modelar la válvula, el diámetro del pistón de un elemento deberá tener el mismo valor que el diámetro de barra del superior. Las dimensiones se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Definición geométrica de pistones y barras.

	Diámetro del Pistón (mm)	Diámetro de la barra (mm)
VP1	3.6	1.6
VP2	4.3	3.6
VP3	12.5	4.3
VP4	12.5	1.5

3.5.4. CONDUCTOS DE RETORNO

Las líneas de retorno se encuentra en la parte superior del inyector, justo encima de los pistones de la válvula. Su función es evacuar el combustible y conducirlo al inicio del sistema de inyección, para la modelización se han usado líneas de la librería hidráulica. El diámetro de los conductos debe ser equivalente ya que solo están separados por el orificio O3. Las dimensiones de estos conductos se encuentran en la tabla 3.5 y su ubicación en el inyector en la figura 3.16.

Tabla 3.5: Definición geométrica de conductos de retorno.

	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
L4	8.25	5
L5	23.25	5

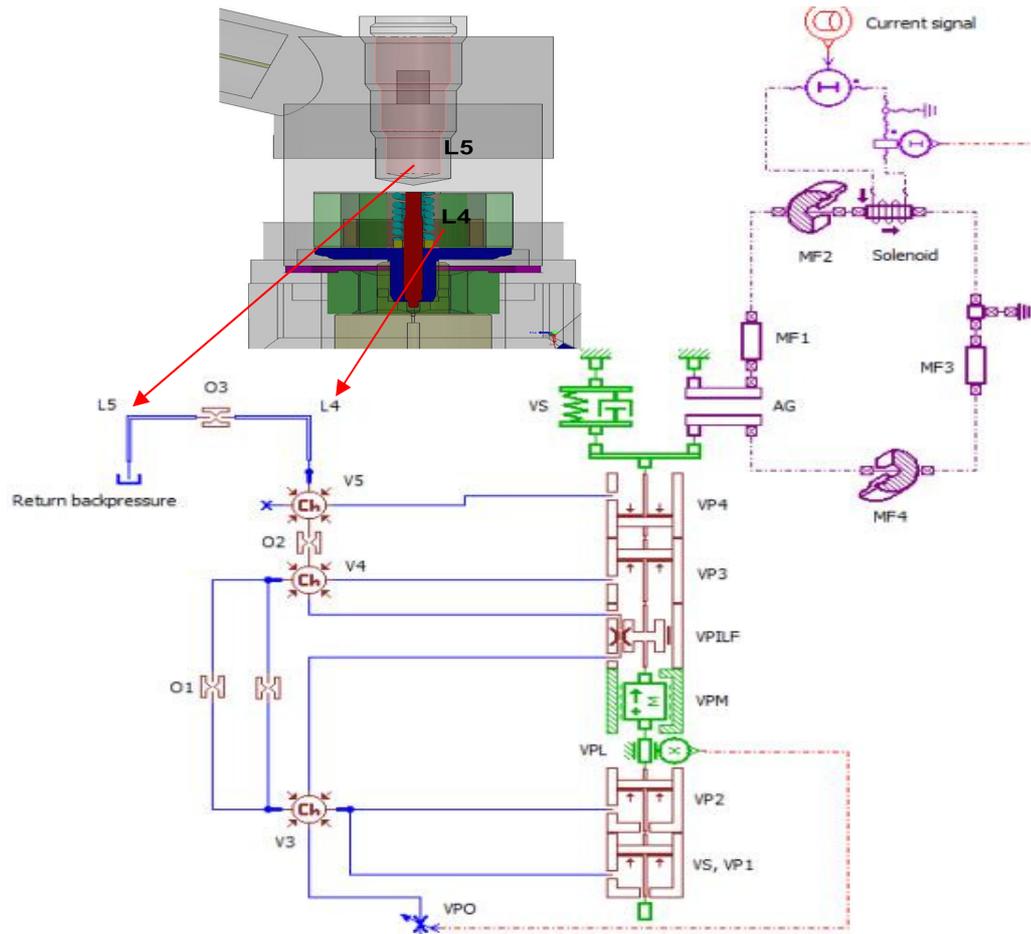


Figura 3.16: Modelado de los conductos de retorno.

3.5.5. PROPIEDADES ELECTROMAGNÉTICAS Y ELÁSTICAS

Con el objetivo de simular un circuito electromagnético que permita reproducir el funcionamiento del solenoide van a ser necesarios los elementos magnéticos MF1 y MF3, los cuales tienen un área efectiva y una determinada longitud. El sistema se terminará de cerrar con MF2 y MF4, estos son iconos radiales definidos por su diámetro exterior e interior además de su longitud.

El solenoide presenta unas cuarenta espiras equivalentes a una resistencia interna de 7.46Ω . La denominada bolsa de aire (*Airgap*) es inicialmente de 0.02 mm con un área de 31.82 mm^2 . En el modelo de AMESim se distribuye como en la figura 3.17.

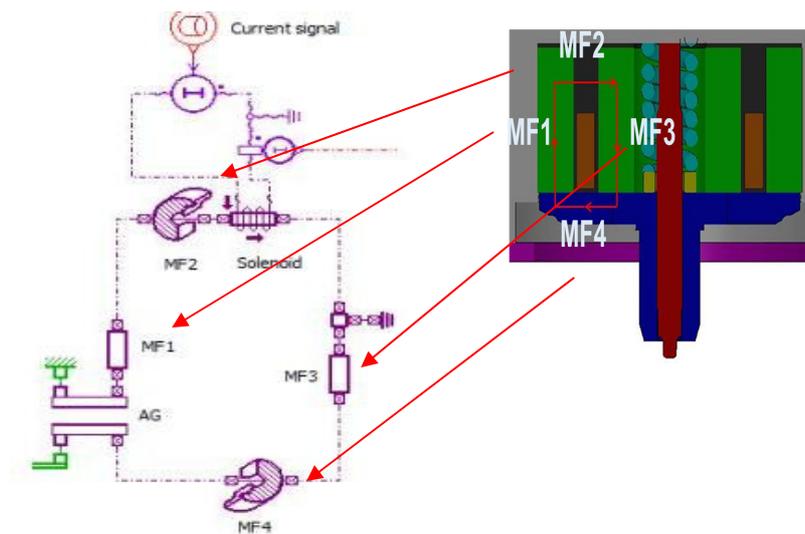


Figura 3.17: Modelado de los conductos de retorno.

Aquí se definen los parámetros relacionados con los elementos magnéticos del solenoide.

Tabla 3.6: Datos sobre las capacidades magnéticas del solenoide.

	Longitud (mm)	Área Efectiva (mm ²)	Diámetro Int.	Diámetro ext.
MF1	6.725	136.07	-	-
MF3	6.725	51.25	-	-
MF2/MF4	3	-	7.25	15.75

En relación con las propiedades elásticas producidas por la válvula de control, se puede distinguir un elemento de masa que define el peso de la misma. Este valor es cercano a los 2.83 g y ha sido obtenido mediante la suma de la masa de la válvula junto con la del muelle que hay situado arriba de ella.

Para dotar numéricamente al muelle hay que calcular los datos de la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Características físicas del muelle.

Espiras	K (N/m)	Fuerza de pretensión (N)	Masa (g)
7	38070	57.105	0.33

La fuerza de presentado es igual al coeficiente elástico K, calculado mediante la ecuación inferior por el valor de la posición inicial (1,5mm).

$$K = \frac{G_{acero} \cdot \phi_{espira}^4}{8 \cdot N_{espiras} \cdot \phi_{muelle}^3}$$

3.6. RAIL Y OTROS CONDUCTOS

El rail es el encargado de suministrar combustible a alta presión al inyector. Al igual que para la unidad motor, en el caso del rail tampoco hace falta que sea definido completamente en el programa. La librería requerida en este caso es la hidráulica, con la que definimos el conducto de alimentación del inyector y en conducto de retorno en la parte superior.

Ya que no se define el conjunto del rail entero, se introduce mediante AMESim una fuente de presión constante para simular las condiciones a las que entra el combustible al inyector. En el caso de que se valorara la influencia de la temperatura en estos conductos, como es el caso de la Tesis de Marcos Carreres [8], se usaría la librería de elementos termohidráulicos.

La consecuencia de introducir una fuente de presión en el modelo es la invariabilidad de presión que presenta la entrada del inyector, es decir, en cada inyección la presión del sistema desciende pero al usar este icono se produce un comportamiento distinto frente al estudio experimental. En la realidad la caída de presión es mucho mayor que en el modelo, por lo que para inyecciones múltiples puede variar sus resultados.

El modelado del rail contiene tres tipos de elementos: líneas, orificios y volúmenes. Los iconos redondos que en su interior llevan Ch son los volúmenes de control del sistema, y los que tienen una apariencia semejante con una pinza son estrangulamientos en los orificios, marcando su sección más pequeña. Por último se observa un medidor de presión, el cual está conectado al icono de toma de datos en la parte inferior del modelo, cuya misión es recoger información sobre el comportamiento producido dentro del rail.

3.7. PORTAINYECTOR

Esta parte del modelo permite al inyector unir los componentes ubicados en la electroválvula con los elementos de la tobera, para poder obtener unas medidas óptimamente precisas se han usado técnicas como moldes de silicona, fotografías de piezas internas y modelos ya existentes de 3D en SolidWorks.

3.7.1. LÍNEAS INTERNAS

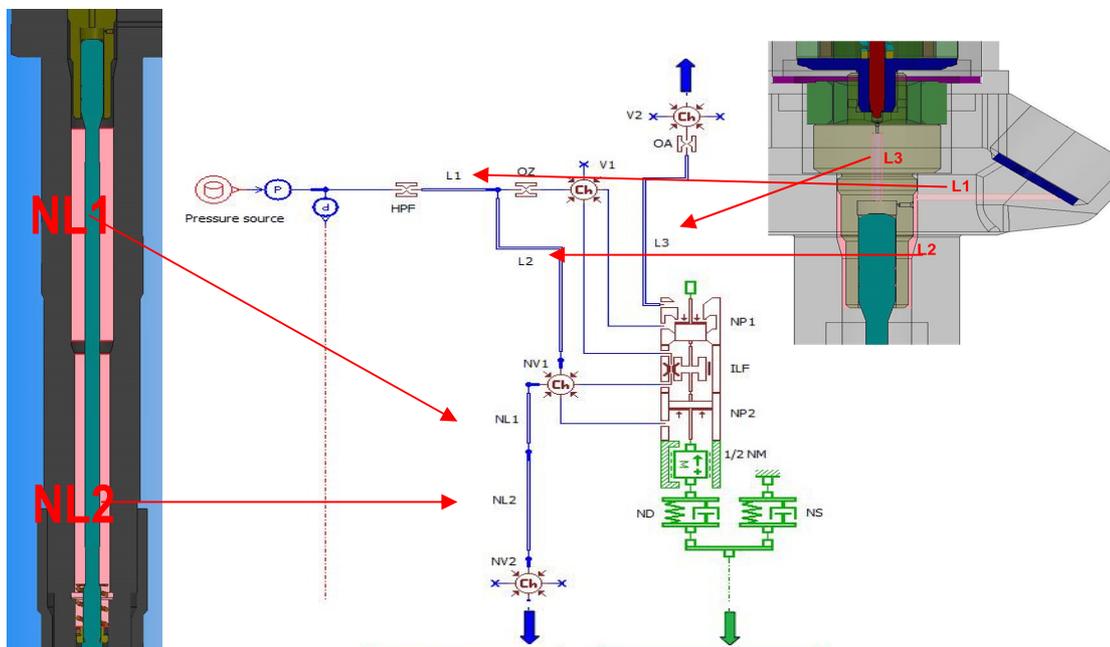
Los valores característicos de las líneas internas se han calculado mediante moldes de silicona. Se pueden diferenciar tres orificios distintos alrededor del volumen de control. L1 tiene como objetivo introducir el combustible al volumen de control proveniente del conducto común. L3 es el encargado de evacuar ese combustible del volumen de control hasta llevarlo a las líneas de retorno situadas en la electroválvula. Otra de las líneas es L2, la cual se une a NL1 y NL2, siendo estas las que envuelven la sección más fina de la aguja. El diámetro hidráulico es la resta entre el externo y el interno.

$$\phi_{hydraulic} = \frac{4A}{P} = \frac{4 \cdot \pi \left(\frac{\phi_{ext}^2 - \phi_{int}^2}{4} \right)}{\pi \cdot (\phi_{ext} + \phi_{int})} = \frac{(\phi_{ext} + \phi_{int})(\phi_{ext} - \phi_{int})}{(\phi_{ext} + \phi_{int})}$$

La tabla 3.8 junto con la figura 3.18 define los valores de las líneas internas del portainyector para su correspondiente modelado.

Tabla 3.8: Geometría de las líneas internas del portainyector.

	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
L1	7.376	1.38
L2	17.5	0.74
L3	8.75	1.1
NL1	40.64	5.18
NL2	49.9	3.84

**Figura 3.18:** Modelado de líneas internas del portainyector.

3.7.2. PISTÓN Y VOLÚMENES DEL PORTAINYECTOR

Los pistones y volúmenes se sitúan en la parte superior del portainyector, justo cuando se produce el cambio de sección. Los pistones NP1 (superior) y NP2 (inferior) contienen la sección más ancha de de la aguja, en cambio, los volúmenes se encuentran en la parte más estrecha. El volumen denominado como NV1 aparece en la parte final del portainyector que está en contacto con la tobera, el NV2 se localiza en la parte superior, concretamente en el cambio de sección de la aguja.

El área de los pistones se puede identificar con la determinación que realiza el diámetro de la aguja en la corona. En cambio el valor de los volúmenes a estudiar ha sido concretado mediante modelos 3D en Solidworks. El diámetro de cabeza en NP1 tiene valor cero ya que no sufre una variación en su diámetro. Datos en tabla 3.9 y estructura en figura 3.19.

Tabla 3.9: Medidas de pistones y volúmenes del portainyector.

	Volumen (cm3)	Diámetro del piston (mm)	Diámetro de cabeza (mm)
NV1	0.081	-	-
NV2	0.025	-	-
NP1	-	4.29	0
NP2	-	4.29	3.98

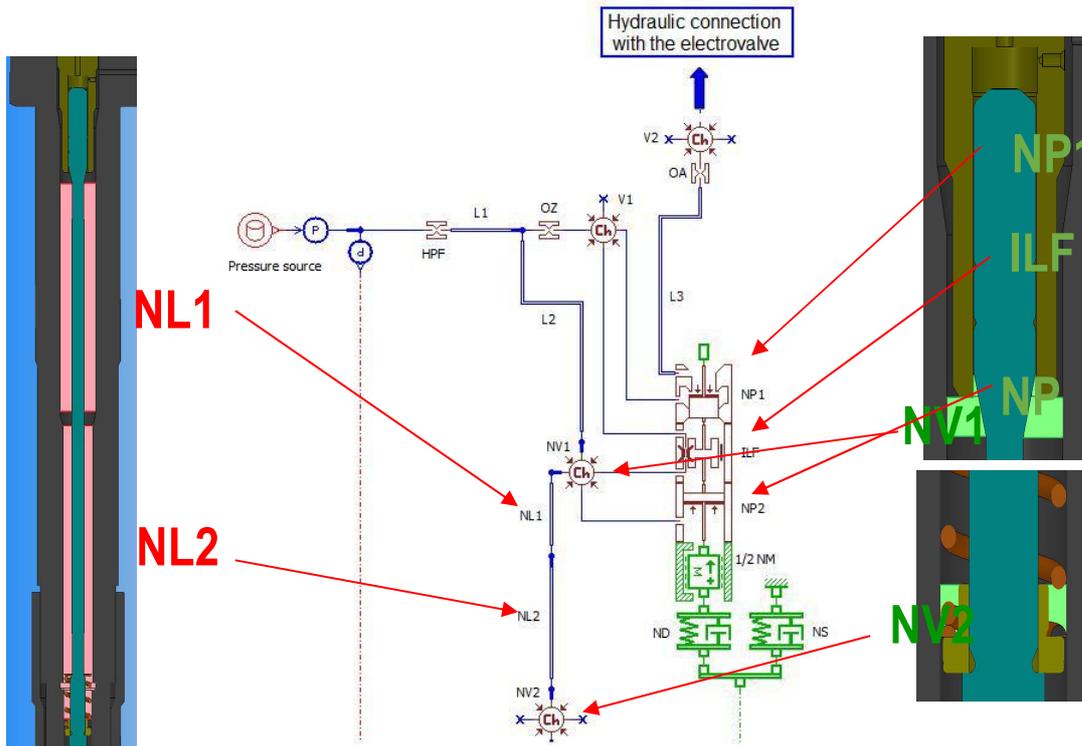


Figura 3.19: Ubicación de volúmenes y pistones en el portainyector.

3.7.3. EFECTO DE LA MASA-MUELLE Y DEFORMACIÓN

Para el presente modelo se han reducido las propiedades de masa de la aguja y el muelle de la parte inferior del portainyector. De este modo solo el elemento NM contiene la masa de los dos objetos anteriores, su valor es de 9.20 g, producido por el sumatorio de la masa de la aguja (9.08g) y por la mitad de la masa del muelle (0.12g). Si se realiza una medición de los diámetros internos, externos del muelle y del número de espiras, aparte de establecer un valor de $G = 78500$ MPa como módulo del acero se pueden usar estas expresiones para hallar la fuerza de pretensado F_0 y el coeficiente elástico K de la tabla 3.10.



$$\phi_{muelle} = \frac{\phi_{ext} - \phi_{int}}{2} \quad K = \frac{G_{acero} \cdot \phi_{espira}^4}{8 \cdot N_{espiras} \cdot \phi_{muelle}^3} \quad F_0 = K \cdot x_0$$

Tabla 3.10: Efectos de la masa del muelle.

<i>Espiras</i>	<i>K (N/m)</i>	<i>Fo (N)</i>	<i>Masa</i>
4	5243	26.22	0.24

En relación con la deformación de la aguja, se ha de tener en cuenta que este fenómeno se produce debido a la fuerza de presión que ejerce el fluido sobre la superficie de la aguja cuando el inyector está cerrado. Cuando el inyector es energizado, debe recuperar esta deformación antes de abrir y empezar a inyectar de manera efectiva. En el modelo este parámetro se identifica con la nomenclatura ND. El momento de máxima deformación se data cuando el inyector se encuentra cerrado. Sabiendo el área y longitud de cada parte de la aguja junto con el modulo elástico se puede hallar el valor del coeficiente del muelle en su correspondiente deformación.

$$K_{muelle} = \frac{E_{acero}}{\sum \frac{L}{A}} = 8.465 \cdot 10^7 N/m$$

3.7.4. VOLUMEN DE CONTROL, OA Y OZ

En el último apartado referido al portainyector se va a hablar los elementos que tienen más peso en el proceso de levantamiento de la aguja. En el capítulo de resultados se especificará la influencia de cada elemento para condicionar los resultados de la inyección.

Mientras que el inyector se encuentra en reposo el volumen de control se encuentra lleno, pero en el momento de que el sistema sufra algún estímulo de señal la válvula electromagnética se levantará, por tanto vaciará este espacio con el objetivo de que los diferenciarles de presión consigan el levantamiento de la aguja y la apertura del inyector.

El orificio OZ se corresponde con el orificio de entrada al volumen de control, el aumento del valor de su diámetro produce una disminución del valor

de la masa total inyectada debido a que existirá mayor caída de presión respecto a la del conducto común.

En relación al orificio OA, se refiere al orificio de salida conectado al volumen de control. En el caso de que se aumentará el valor de su diámetro ocurriría un efecto contrario respecto a OZ ya que cambia el valor de gasto másico que sale del volumen de control, haciendo que caiga su presión. Esto puede ser debido a que un orificio es mayor que el otro, por tanto habrá menos presión y más diferencia de presiones. El salto de presiones es menor en OZ que en OA.

En estos dos orificios se formaliza el parámetro de coeficiente de descarga C_d , el cual es el gasto másico real partido por el gasto másico teórico según la ecuación de Bernoulli, por tanto el C_d tiene en cuenta las pérdidas por fricción a lo largo del orificio.

El C_d varía en función del número de Reynolds. La figura 3.20 es un ejemplo de dicha variación para un orificio no cavitante: C_d crece asintóticamente con Re . En este caso es posible definir un valor de transición entre flujo laminar y flujo turbulento [8]. El software AMESim define λ crítico cuando el valor de C_d es igual o superior al 95% del valor del C_d máximo. La figura 3.21 y la tabla 3.11 muestran el conjunto de las características que definen al volumen de control y sus orificios.

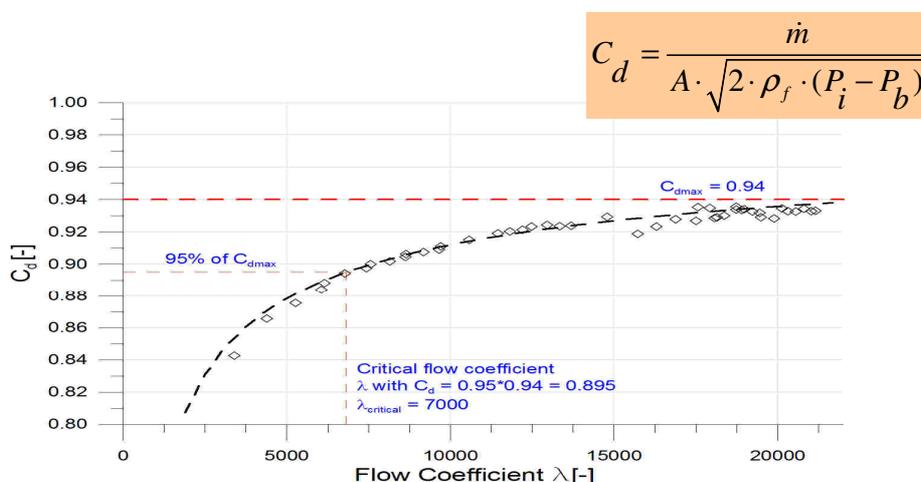


Figura 3.20: Gráfica correspondiente al Coeficiente de descarga.

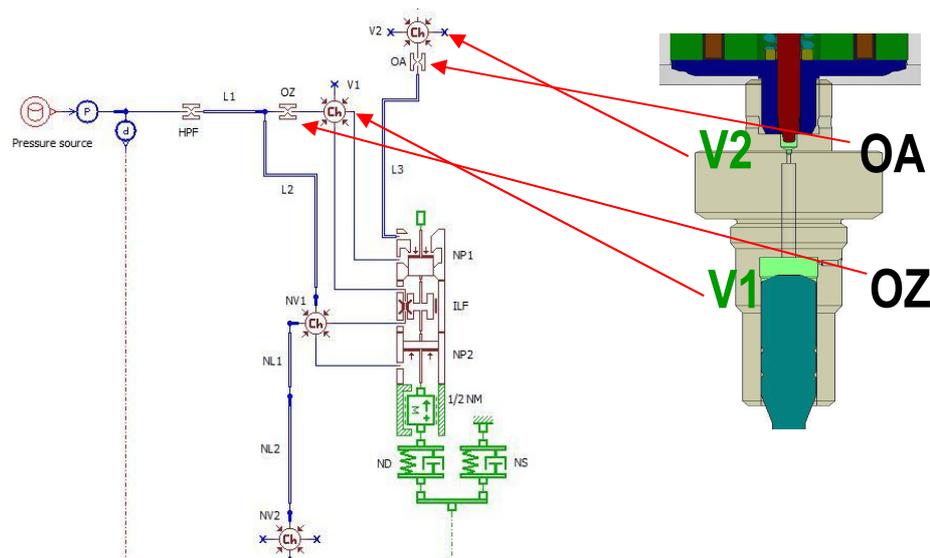


Figura 3.21: Modelado en AMESim de volúmenes, orificios OZ y OA.

Tabla 3.11: Medidas del volumen de control, orificios OZ y OA..

	Volumen	diametro	cdmax	λcritico	Co
V1	0.0135	-	-	-	-
V2	0.00185	-	-	-	-
OZ	-	0.29	0.94	7000	-
OA	-	0.258	0.94	6600	0.7

3.8. TOBERA

La tobera se encuentra en la parte inferior del inyector. Esta es el último elemento por el que pasa el combustible antes de entrar en la cámara de combustión. En el modelo de AMESim se ha reproducido por un lado el hueco entre el portainyector en la zona de la tobera con la aguja y por otro las distintas fuerzas que aparecen en la misma con su determinada masa [11].

Tras varias simulaciones con el modelo se calcula que se pierde cerca de un 10% entre la presión obtenida del conducto común respecto a la presión medida en la tobera.

3.8.1. LINEAS INTERNAS Y VOLÚMENES

Las líneas internas y volúmenes son las encargadas de transportar el fluido dentro del inyector (figura 3.22), por lo que la biblioteca utilizada para estos elementos será la hidráulica. Estas conexiones provienen de la parte del portainyector. Las líneas de conducción se definen en diámetros y longitudes, mientras que los volúmenes lo hacen mediante la magnitud de cm^3 en la tabla 3.12.

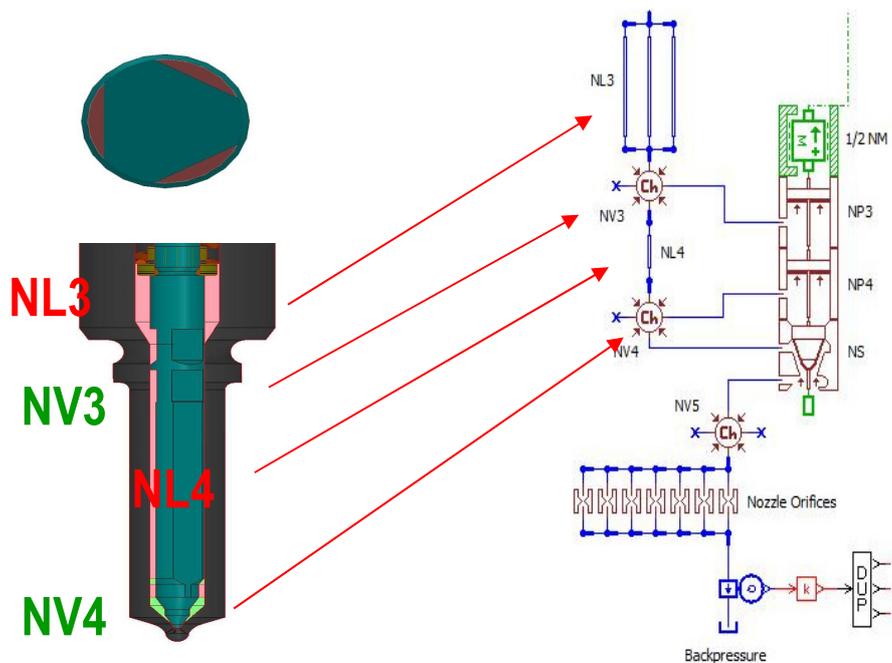


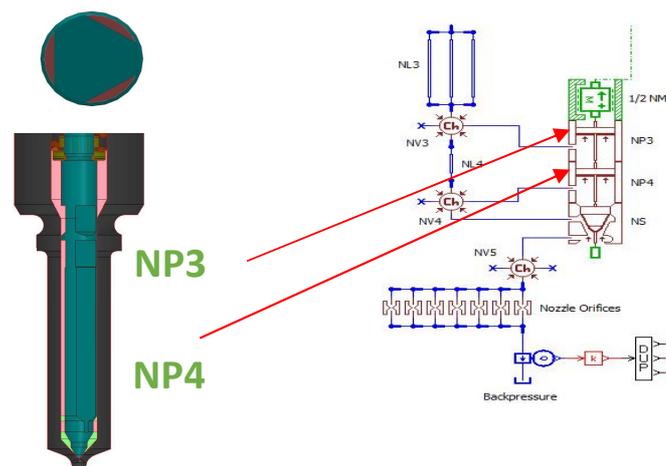
Figura 3.22: Modelado en AMESim de volúmenes y líneas internas.

Tabla 3.12: Medidas del volumen y líneas internas.

	Longitud (cm3)	Diámetro (mm)	Volumen (cm3)
NV3	-	-	0.00268
NV4	-	-	0.00636
NL3	25.25	1.284	-
NL4	5.0	0.5	-

3.8.2. PISTONES DE LA AGUJA

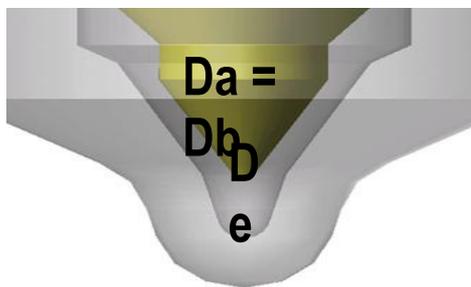
Para simular las fuerzas debidas a la presiones en las caras expuestas de las piezas se utiliza la expresión: $F = \pi/4 \cdot (D_{pistext}^2 - D_{pistint}^2) \cdot p$. Se ha necesitado la librería mecánica. El sentido de los pistones es ascendente debido al movimiento de la aguja de la figura 3.23.

**Figura 3.23:** Modelado de los pistones de la aguja.

Los valores del diámetro del pistón son 3.98 y 3.16 mm para NP3 y NP4 respectivamente. En cambio el diámetro menor es de 3.16 y 1.81.

3.8.3. ASIENTO Y SACO DE LA AGUJA

El asiento de la tobera es el elemento que más información necesita para su diseño de modelado. Parámetros como los diámetros de la aguja o la combinación con el asiento permiten dar una salida correcta al combustible a inyectar. También se debe especificar el medio ángulo del asiento y del cono, ambos son idénticos a 30°.



Diámetro del cabezal (D_b): 1.81 mm

Diámetro del cono (D_a): 1.81 mm

Diámetro del agujero (D_e): 0.6 mm

Diámetro de la barra: 0 mm

Medio ángulo del cono: 30°

Probablemente la variable más importante dentro de este elemento sea el *Jet Force*. El *Jet Force* se establece mediante una ecuación que reúne todas las combinaciones de sus productos. Dependiendo de las condiciones de temperatura, presión y tiempo de alimentación del inyector los valores de *Jet Force* varían y producen el comportamiento de la inyección en la zona de la tobera, permitiendo adaptar cada simulación al desarrollo de la inyección experimental.

Justo en el asiento de la aguja se produce un volumen debido a que la superficie de la aguja no es la misma que el cuerpo externo del inyector, este saco se identifica en AMESim como un volumen de valor 0.0003 cm³. Prácticamente el combustible ubicado en esa zona es el que se expulsa a la cámara de combustión en el momento de la inyección.

3.9. TOMA DE DATOS

La toma de datos está diseñada para obtener los datos más relevantes de la simulación del modelo, en este sistema se recogen cuatro tipos de datos distintos (tasa de inyección, intensidad, presión en el rail y masa total inyectada o TMI) recogidos en el icono fichero de resultados de la parte izquierda.

Los responsables de adquirir estos valores son: el amperímetro del circuito de corriente de la unidad de control, el medidor de presión localizado justo a la salida del rail y por último dos medidores colocados a la salida de los orificios de la tobera, unido a uno de ellos está un integrador para calcular la TMI.

El fichero que se genera tras cada simulación debe estar estipulado por el usuario con antelación, solo de esta manera podrá ser guardado correctamente en la dirección elegida. La configuración en la que se almacena la información se denomina ***.dat**, el fichero por defecto presenta cinco columnas para los datos nombrados en el primer párrafo: la primera columna se corresponde con el tiempo (s), la segunda con la tasa (kg/s), la tercera con la TMI (g), la cuarta es la presión obtenida del rail (bar) y la última es para la intensidad (A).

AMESim permite reproducir estos ficheros ***.dat** en una representación gráfica llamada AMEtable, por lo que no hace falta exportar estos datos fuera del programa, pero es cierto que para mayor precisión se opta por programas más potentes gráficamente.

También es posible establecer comparaciones entre ficheros como se ha realizado en este proyecto, datos obtenidos experimentalmente [12] se han introducido en el programa por medio de un icono y se han contrastado con los resultados de la simulación del modelo.

La toma de datos consiste en unir en un fichero los resultados de cada sensor instalado en el modelo del inyector, como se puede comprobar en la figura 3.24.

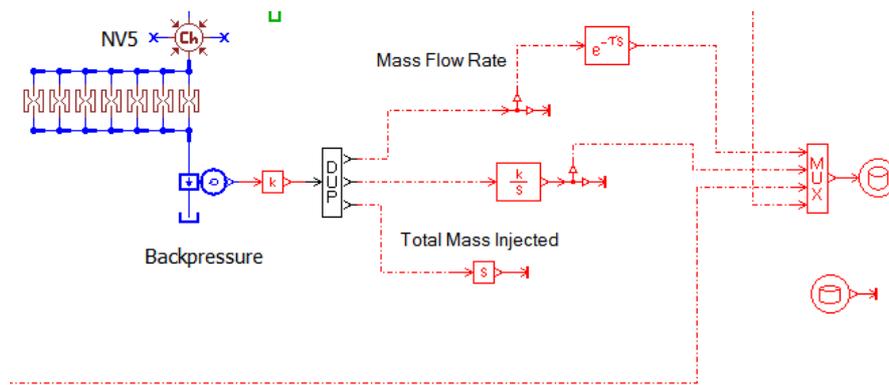


Figura 3.24: Toma de datos en AMESim

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En este apartado se van a mostrar los resultados adquiridos en los modelos *Basis Variant* y CRI 2.25.

El primer punto está dedicado a la exposición de datos del inyector *Basis Variant*, donde se fundamenta posteriormente el modelo CRI 2.25. Dado que acceder a poder crear una mejora del inyector, antes de todo se debe comprobar que el modelo ofrece los mismo resultados que los que se han medido en un banco de pruebas. Para obtener conclusiones sobre el comportamiento del sistema se realiza una comparación de tasa de inyección entre los datos analíticos y experimentales del mismo. Además también se va a proceder a una comparación entre las presiones de cada fuente. Por último se enumeran los parámetros geométricos del inyector y las consecuencias que producen cada una de sus modificaciones.

En el segundo punto se define la evolución de los parámetros físicos impuestos en el *Basis Variant* para transformarse en el CRI 2.25, aparte de volver a reproducir una validación, esta vez, con los datos propios del inyector CRI 2.25. También se explicarán en profundidad el parámetro *Jet Force* y su método de cálculo.

El último apartado consiste en una optimización del inyector CRI 2.25 con el objetivo de simular un comportamiento similar al del *Basis Variant*, esto se consigue mediante la modificación de los orificios OA, OZ y una calibración individual de los ET en cada simulación. Estos serán los resultados propios de este proyecto.

4.1. BASIS VARIANT

La base de este proyecto se sustenta en el modelo referido al inyector *Basis Variant*. El modelo obtenido había sido desarrollado en AMESim 13, por lo que se ha realizado una adaptación para poder seguir modificando sus parámetros en la versión 15. Este hecho podría haber variado el comportamiento del inyector debido a las actualizaciones de los iconos y sus características. Una vez que se ha verificado el correcto funcionamiento de los elementos que forman el sistema, se realiza la validación.

4.1.1. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

El proceso de validación consiste en comprobar el funcionamiento del inyector en determinados puntos. Las variables en las que se va a centrar este estudio son: Temperatura, presión de inyección y tiempo de energizado (ET). Uno de los requisitos de la validación es la capacidad que tiene el inyector para trabajar a determinadas temperaturas, en este caso los valores son 30°C y 80°C. Su influencia se ve reflejada en la densidad y viscosidad, alcanzando valores de 820 y 785 kg/m³ para la densidad y 2.71 y 1.1 cP en relación a la densidad. Inmediatamente al visualizar los datos del párrafo anterior se puede observar la influencia de la temperatura en el proceso de inyección. En este modelo se ha comprobado que al aumentar la temperatura se produce un aumento de la tasa de inyección, como en la figura 4.1., por tanto también se consigue un valor mayor de masa total inyectada en el cilindro debido al descenso de la viscosidad y de la densidad.

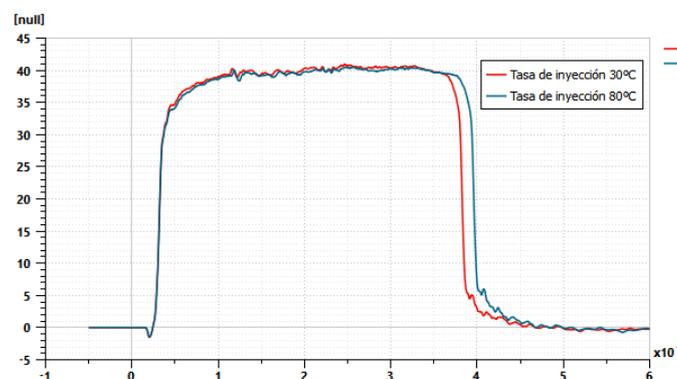


Figura 4.1. Efecto de la temperatura en la tasa de inyección.

Referido a la presión de inyección (figura 4.2.), el aumento de la temperatura permite ligeramente que no se pierda un determinado porcentaje de presión, aunque el valor de pérdida se aproxime a los mbar.

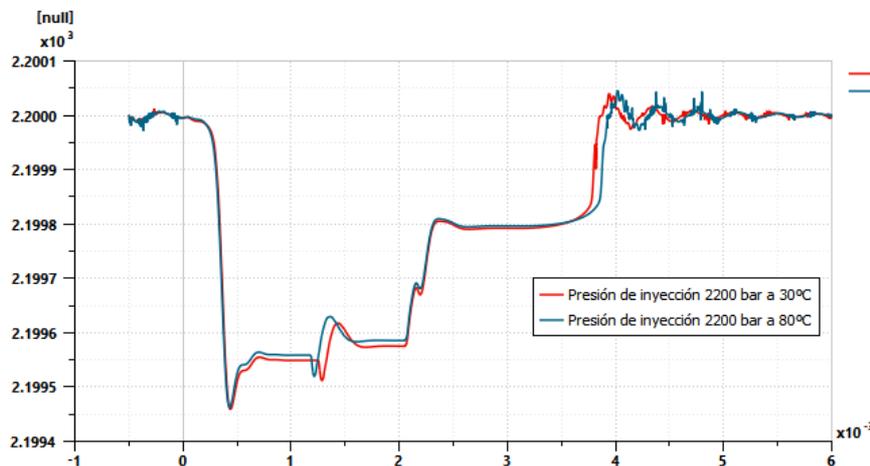


Figura 4.2. Efecto de la temperatura en la presión de inyección.

La presión es otra variable a tener en cuenta, el inyector *Basis Variant* alcanza presiones de 2200 bar. Para la validación van a ser necesarios puntos de presión asociados a 400, 700, 1200, 1800 y 2200 bar. La influencia de este parámetro en el proceso de combustión se relaciona al efecto que produce en la mezcla, es decir, cuanto mayor sea la presión de inyección en la cámara de combustión será más fácil que el fuel introducido y el aire del cilindro se mezclen.

Una de las diferencias que presenta el modelo de AMESim frente a los datos obtenidos experimentalmente es el desarrollo de la presión a lo largo de una simulación. Dado a que en el programa el conducto común se identifica mediante una fuente constante de presión, al proceder a energizar el inyector la caída de presión no sufre gran alteración en comparación con la medida en el estudio experimental. Si se observa la gráfica inferior mientras que el inyector se mantiene abierto la presión cae hasta el punto de que este deja de ser

alimentado. En el momento que se produce la caída de la aguja la presión vuelve a subir hasta el punto inicial.

El tiempo de energizado se refiere al tiempo en que el inyector recibe alimentación de la ECU. Esta variable es fundamental para adaptar los valores de tasa de inyección, la cual guarda una estrecha relación con la masa total inyectada.

Se podría decir que si aumenta la presión de la gráfica de la figura 4.3 y 4.4 crecería en el eje de ordenadas, en el caso de que aumentara el valor del tiempo de energizado se vería reflejado en el eje de abscisas en forma de crecimiento.

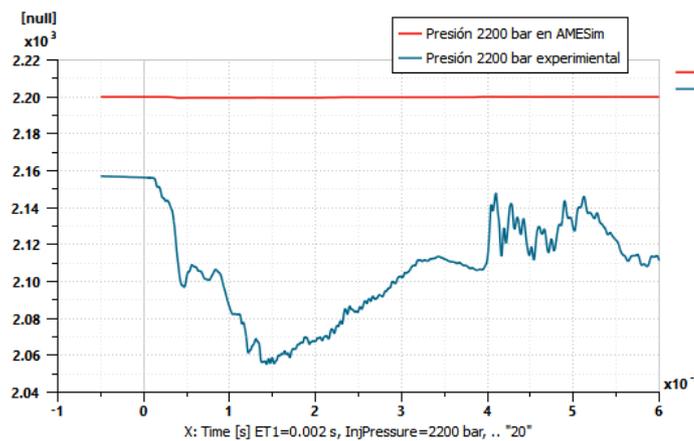


Figura 4.3: Comportamientos de la presión según el modelo.

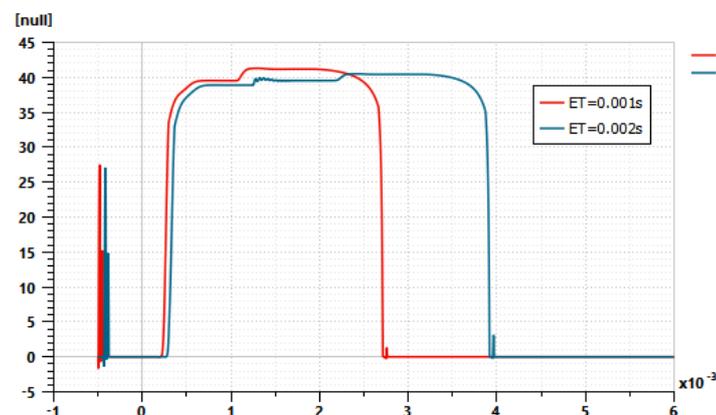


Figura 4.4: Influencia del ET en la tasa de inyección.

En las gráficas reproducidas en AMESim se tiene en cuenta los efectos producidos en la preinyección, estos fenómenos se interpretan mediante pequeñas alteraciones producidas en los tiempos negativos. Al momento del cierre del inyector también se encuentran vibraciones debido a las ondas producidas por el choque del asiento de la aguja en la tobera. Justo en el medio de la gráfica aparece un escalón que varía la trayectoria, esto se produce cuando el inyector deja de estar estimulado y comienza el descenso de la aguja. En total se van a simular unas cuarenta situaciones de funcionamiento con las variables descritas. Las unidades de tasa de inyección va a ser g/s. Todos los resultados se muestran el anexo referido a las gráficas del *Basis Variant*. Un ejemplo es la figura 4.5.

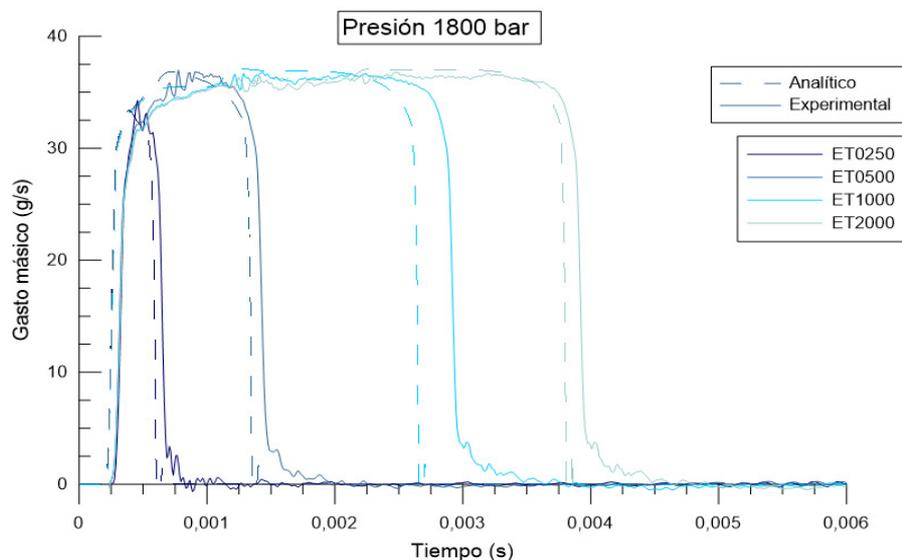


Figura 4.5: Expresión matemática del *Jet Force*.

4.1.2. ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS E HIDRÁULICOS DEL INYECTOR

Existe cierto margen de posible variación de los valores de los parámetros geométricos e hidráulicos en los modelos 1D de inyectores diesel debido a: Defectos de fabricación o incertidumbre en las medidas tomadas. Este estudio permite identificar los parámetros del inyector que más influencia tienen sobre la inyección con el objetivo de variar los mismos para la optimización del CRI

2.25. Por lo que es interesante determinar la influencia de las variaciones en algunos parámetros en la tasa de inyección. Para cuantificar esta influencia, se ha propuesto explorar las variaciones en los valores de tasa en algunos parámetros expuestos en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Variación de parámetros en el inyector *Basis Variant*.

Elemento	Parámetro	Variación	Elemento	Parámetro	Variación
OZ	Diámetro	±3%	AG	<i>Initial air gap</i>	±0.5%
	Cdmaz	±3%	VS	Keq	±20%
OA	Diámetro	±3%		Fo	Acorde a Keq
	Cdmax	±3%	NS	Keq	±20%
Orifs tobera	Diámetro	±3%		Fo	Acorde a Keq
	Cdmax	±3%	ND	Keq	±20%
V1	Volumen	±20%	NP1	Diám. ext	±5%
Flaps	Diámetro	±10%	NS	Db	±4%
NL1,NL2	Diámetro	±5%		Alpha/2	±1%

La toma de medidas se va realizar mediante la hipótesis de $p_i=1200$ bar, $T_i= 30^\circ\text{C}$ y $ET= 1\text{ms}$. Cada parámetro será analizado mediante las siluetas producidas en la tasa de inyección.

Elemento OZ.

- Variando el diámetro (fig. 4.6).

Se puede observar que conforme va aumentando el diámetro del orificio de entrada, la tasa de inyección se va reduciendo, durante la apertura y el cierre de la aguja. Aun así se llega al mismo valor justo en el final del ET donde alcanza su presión máxima. La tasa de inyección cae al aumentar el diámetro ya que mayor habrá caída de presión respecto con la fuente.

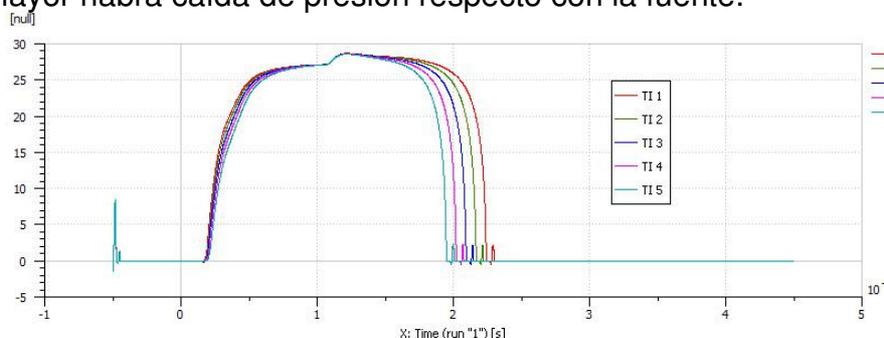


Figura 4.6: Variación del diámetro OZ.

-Variando el Cdmax (fig. 4.7).

Lo normal es que el Cdmax tuviera una silueta similar al diámetro, ya que son directamente proporcionales, pero aunque tuvieran la misma variación en su valor, parece que en la gráfica del diámetro hay más diferencia entre casos que en el Cdmax.

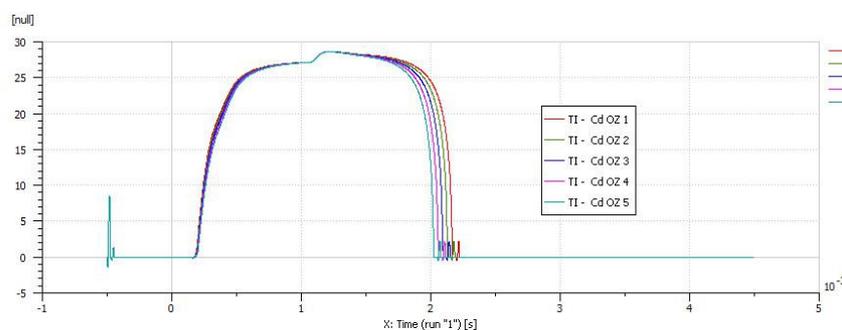


Figura 4.7: Variación del Cd máximo.

Elemento OA.

- Variando el diámetro (fig. 4.8).

Para el orificio de salida pasa justo lo contrario que con el de entrada, cuando aumenta esta valor también lo hace la tasa de inyección. Esto puede ser debido a que al ser un orificio más grande, habrá menos presión y por tanto mayor diferencia de presiones, lo que hace que aumente la tasa de inyección. El salto de presiones es menor en OZ que en OA.

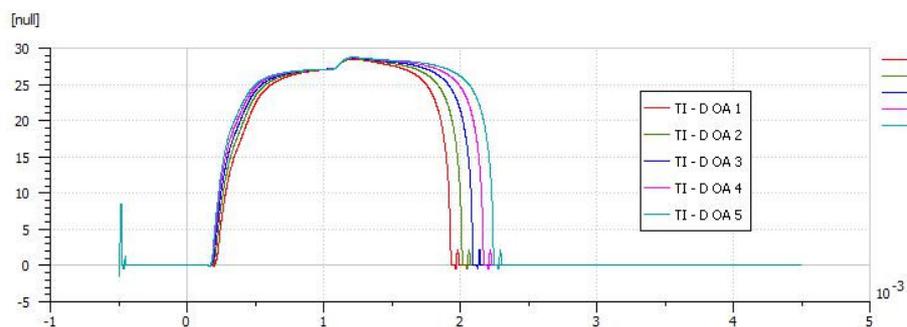


Figura 4.8: Variación del diámetro OA.

-Variando el Cdmax (fig. 4.9).

Al ser proporcional al diámetro, tendrá el mismo comportamiento a la hora de aumentar su valor.

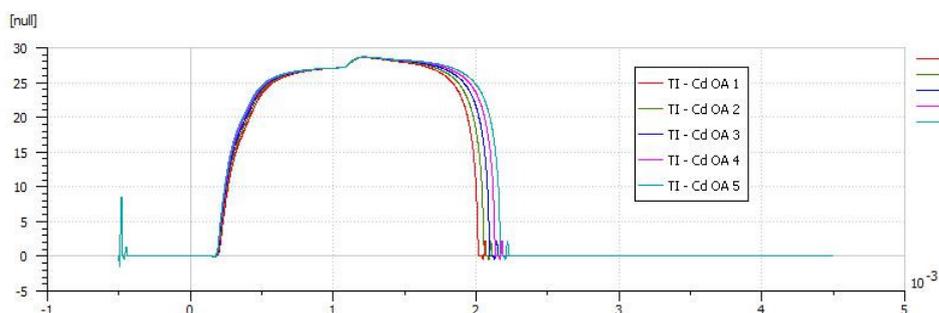


Figura 4.9: Variación del Cd máximo.

Orificios tobera.

-Variando el diámetro (fig. 4.10).

Tiene un comportamiento mixto entre los orificios OZ y OA, ya que a más diámetro tenemos un valor máximo de tasa de inyección, pero tiende a 0 antes que con un valor menor. Los valores de TI son muy parecidos entre sí, diferenciando entre su valor máximo y su tiempo.

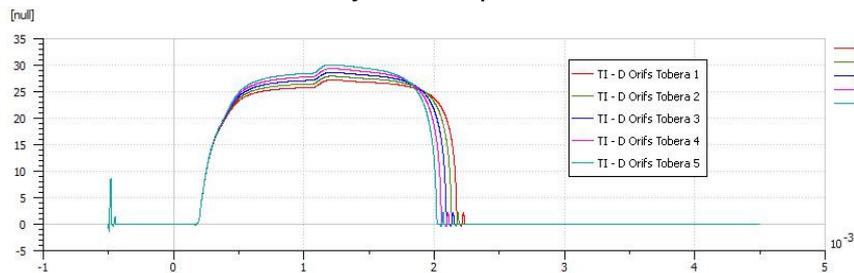


Figura 4.10: Variación del diámetro de los orificios de la tobera.

-Variando Cdmax (fig. 4.11).

Al ser proporcional al diámetro, tendrá el mismo comportamiento a la hora de aumentar su valor

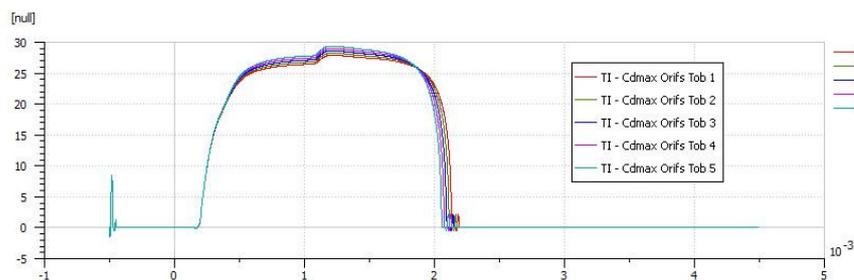


Figura 4.11: Variación del Cd máximo.

Elemento V1.

Variando volumen (fig. 4.12).

En el caso del volumen, el comportamiento es muy parecido, y su dimensión no influye demasiado, ya que este proceso se rige mayormente por diferencia de presiones.

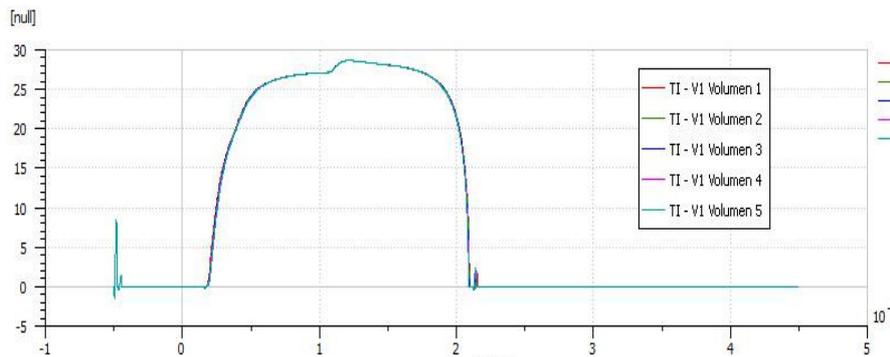


Figura 4.12: Variación del volumen de control.

Elemento Flaps.

Variando diámetro (fig. 4.13).

La tasa de inyección se ve aumentada al aumentar el diámetro de los Flaps, además tiene mayor influencia que el volumen de control, aquí se experimenta parte de la pérdida de la presión con respecto a la fuente.

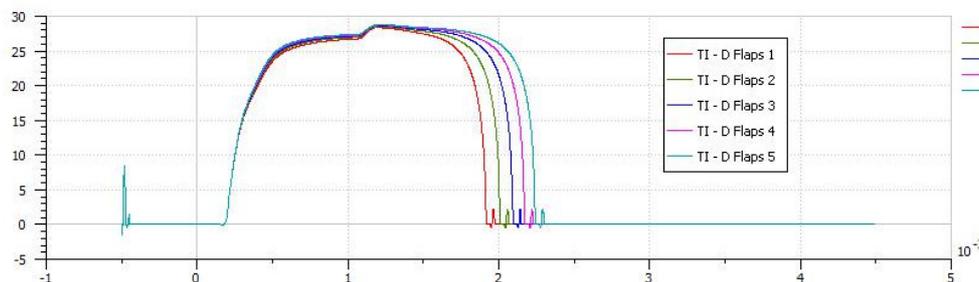


Figura 4.13: Variación del Cd máximo.

Elementos NL1 y NL2.

Variando diámetro NL1 y NL2 (fig. 4. 14).

El diámetro de estos dos elementos no produce ningún cambio a la hora de estudiar los distintos caso de dimensiones de estos conductos. Casi al final se puede observar una pequeña diferencia en torno a las siluetas de los casos.

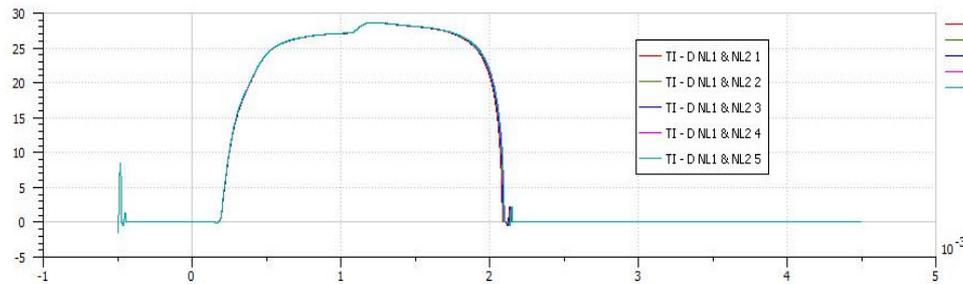


Figura 4.14: Variación de los diámetros de los pistones.

Elemento NPM.

Variando masa MPM (fig. 4.15).

La variación de la masa de la aguja no produce tampoco ningún cambio visible, por lo que este parámetro no condiciona el valor de la tasa de inyección.

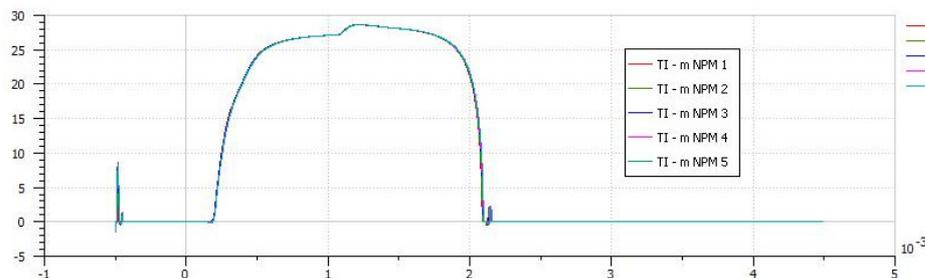


Figura 4.15: Variación de la masa de la aguja.

Elemento AG.

Variando Initial air gap (fig. 4.16).

La variación de la separación de la bobina con la armadura no produce tampoco ningún cambio visible, por lo que este parámetro no influirá en el valor de la tasa de inyección.

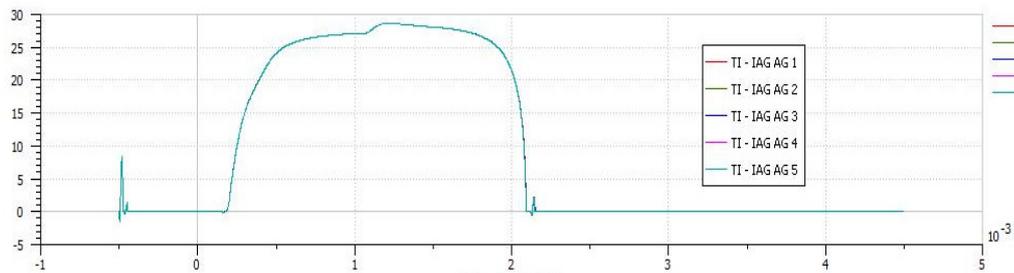


Figura 4.16: Variación de la separación bobina-armadura.

Elemento VS.

Parece que la constante elástica del muelle de la electroválvula sí que tiene un ligero efecto sobre la tasa de inyección, a mayor constante elástica, mayor fuerza y por tanto menos tasa de inyección, ya que costará más tener la aguja levantada (fig. 4. 17).

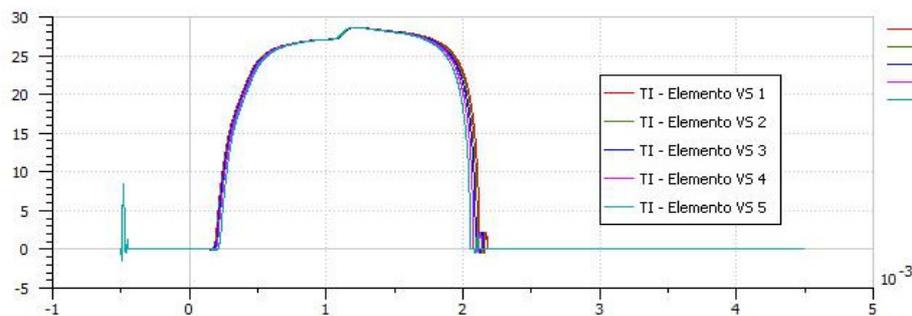


Figura 4.17: Variación de la constante elástica del muelle.

Elemento NS.

Elemento NS tiene el mismo comportamiento que el VS, pero en este sus valores son más uniformes en el principio, y al final un poco más dispersos, llegando al mismo valor máximo en todos sus casos, este parámetro no debería variar demasiado ya que NPM, NL1 y NL2 no cambian la tasa, pero si los Flaps, esta podría ser la razón de que al final varíen (fig. 4.18).

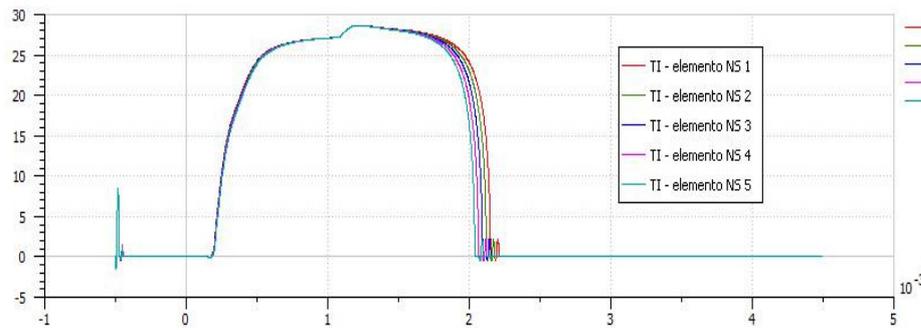


Figura 4.18: Variación del elemento NS.

Elemento ND.

Variando Keq (fig. 4.19).

La constante del muelle en el porta-inyector no varía prácticamente en nada los valores de la tasa de inyección, ya que la deformación es muy pequeña.

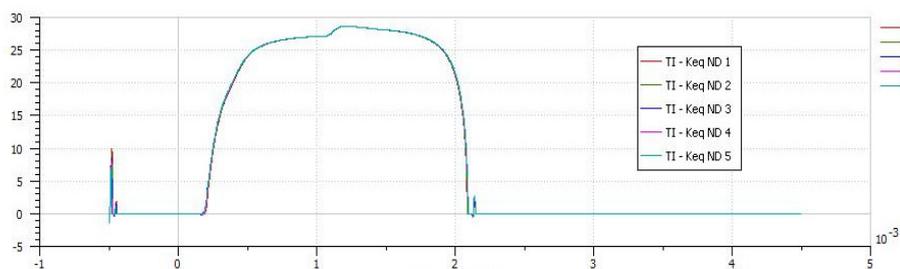


Figura 4.19: Modificación de la constante del muelle.

Elemento NP1.

Variando diámetro ext. (fig. 4.20).

Parece que el cambio de dimensiones del diámetro del cabezal de la boquilla sí que influye a la hora de obtener la tasa de reacción, siendo normales los valores 2 y 3. Aumentando en casi como en una asíntota al reducir su diámetro y viceversa. Esto puede ser debido a la presión que ejerce el fluido sobre el cabezal de la aguja.

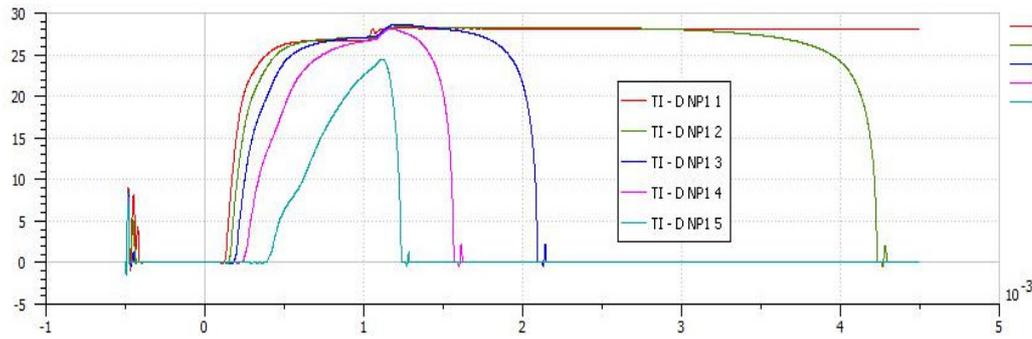


Figura 4.20: Modificaciones del diámetro de NP1.

Elemento NS.

Variando $\alpha/2$ (fig. 4.21).

Reduciendo el valor de $\alpha/2$, reduciremos la tasa de reacción. Por lo tanto, es conveniente usar un ángulo mayor para obtener una mayor tasa de inyección.

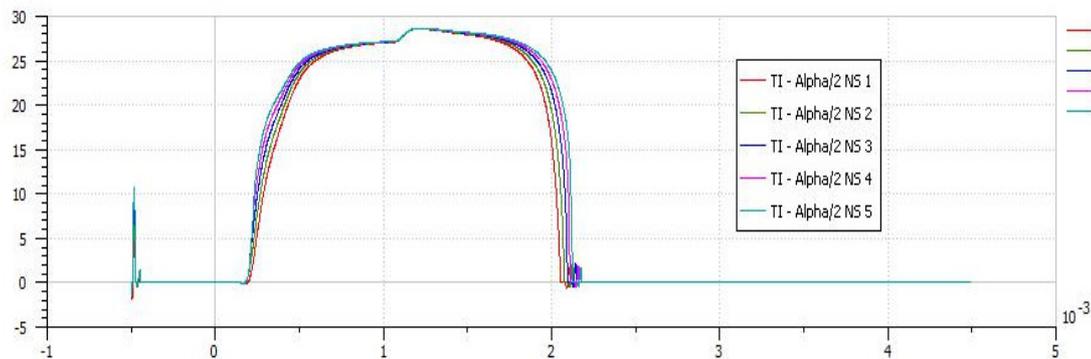


Figura 4.21: Variación del ángulo de inyección.

4.2. CRI 2.25

La generación del modelo del inyector CRI 2.25 parte de la versión descrita en el apartado anterior. La diferencia entre ambos conjuntos se encuentra en las partes de portainyector, tobera y válvula electromagnética. Con los cambios propuestos se busca alcanzar valores de presión de 2300 bar, 100 bar más que el modelo anterior.

4.2.1. MODIFICACIONES FÍSICAS IMPUESTAS

Las modificaciones físicas impuestas en el modelo consisten en disminuir las dimensiones de los parámetros más influyentes que intervienen en el proceso de inyección. Estas variaciones se van a ir describiendo de la parte superior a la inferior del inyector.

Dentro de la parte de la electroválvula, el nuevo diseño se centra en optimizar el recorrido de la armadura en el momento de apertura del inyector. El valor del levantamiento máximo de este elemento ha pasado de 25 a 23 mm.

En relación con la ubicación del portainyector, el nuevo diámetro del pistón se ha modificado de 4.3 a 3.82 mm. La variación de este elemento tiene una gran consecuencia en AMESim, dado que el nuevo valor es inferior al encontrado en la cabeza de la aguja en la parte del portainyector. Por lo que el icono NP2 debe cambiar su sentido, colocándose en el mismo sentido que el elemento NP1 como en la figura 4.22.

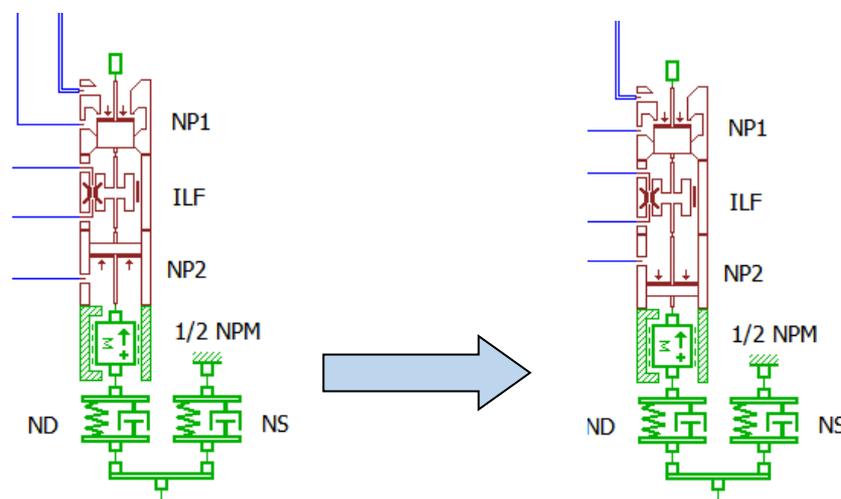


Figura 4.22: Modificación de NP2 en el CRI 2.25.

No solo se varió el valor del diámetro, sino también la relación entre los caudales volumétricos de los orificios OA y OZ. Estos valores pasaron de ser 350/580 a 240/410 cm³/60s.

La parte dedicada a la tobera sufre también un cambio respecto a su fisiología. El estudio se centra otro diámetro, en este caso el del asiento de la tobera, el cual tiene una reducción de 1.8 a 1.5 mm.

En el caso de que se hubiera intentado validar este modelo con los cambios mencionados anteriormente se habría obtenido un resultado muy diferente si se compararan los datos experimentales. Eso es causado por la falta de ajuste referido al parámetro *Jet Force* ubicado en la tobera.

El *Jet Force* es una variable relacionada a una correlación donde el valor resultante indica el modo en la que el combustible va a ser inyectado en la cámara de combustión. Eso es debido a que la variable es calculada mediante las principales condiciones de contorno: temperatura, presión de inyección y ET. Cada punto de validación requiere un *Jet Force* propio de sus condiciones.

Una vez que se han definido estos parámetros, se realiza mediante Excel una estimación lineal en la que se consiguen los coeficientes de la ecuación matemática dedicada al *Jet Force*. El cálculo realizado ofrece un R cuadrado igual a 0.9359.

A continuación se ofrece la tabla 4.2 y la 4.3. con los resultados de los *Jet Force* para las simulaciones de 30°C y 80°C respectivamente.

Tabla 4.2: Simulaciones a 30°C de temperatura.

Nº simulación	jetforce	JF 2.25	Nº simulación	jetforce	JF 2.25
1	-0,5	-0,24530827	13	-6,3	-5,7501218
2	0	-0,67801925	14	-6	-5,63958972
3	-2	-1,83056512	15	-6	-6,71058313
4	-6	-5,28415245	16	-14,65	-14,0208001
5	-2	-1,76749918	17	-7,3	-6,46365416
6	-1	-2,17217124	18	-5,95	-6,00510185
7	-6	-3,48398219	19	-6	-6,66717869
8	-6	-8,11747137	20	-14,4	-14,3080581
9	-1	-3,91407178	21	-6,5	-6,57253077
10	-6,1	-4,16489678	22	-5,9	-6,01358396
11	-6,3	-5,52791848	23	-6	-6,54665278
12	-11,5	-11,6994487	24	-14,4	-14,2166401

Tabla 4.3: Simulaciones a 80°C de temperatura.

Nº simulación	jetforce	JF 2.25	Nº simulación	jetforce	JF 2.25
1	-2	-1,82643199	13	-6,5	-6,76882464
2	0	-2,15279006	14	-6,5	-6,59755945
3	-5	-3,0926301	15	-6,4	-7,54708662
4	-6	-6,12080578	16	-15,15	-14,6143711
5	-3	-3,39474731	17	-6,5	-6,95808025
6	-4	-3,70284212	18	-6,8	-6,45182905
7	-6,2	-4,82149858	19	-6,3	-7,01850811
8	-7,7	-9,06867879	20	-14,6	-14,468592
9	-5	-5,4162022	21	-7	-6,9106387
10	-6,8	-5,58674274	22	-7	-6,30725156
11	-6,7	-6,78919552	23	-7,2	-6,75143971
12	-12,9	-12,6395879	24	-14	-14,2436657

Una vez que se han obtenido los coeficientes de la estimación lineal para la gráfica, se colocan formando una nueva fórmula de *Jet Force* (figura 4.23). Hay que decir que muchos de estos coeficientes han resultado ser cero. La expresión debe escribirse de forma reconocible para AMESim y pegarse en su correspondiente casilla.

$$(-17.8914146 * \text{Tini} * \text{ET1}) + (1.421075319 * \text{InjPressure} * \text{ET1}) + (-2.53066 * (10^{*-5}) * \text{Tini} * \text{InjPressure}) + (-2.59004 * (10^{*(-6)}) * \text{InjPressure}^{**2}) + (-0.002606846 * \text{ET1} * \text{InjPressure} * \text{Tini}) + (-1914.159329 * \text{InjPressure} * \text{ET1}^{**2}) + (1.00996 * (10^{*(-8)}) * \text{Tini} * \text{InjPressure}^{**2}) + (0.001071155 * \text{ET1} * \text{InjPressure}^{**2}) + (0.041832905 * \text{ET1} * \text{Tini}^{**2}) + (-1.79479 * (10^{*(-8)}) * \text{InjPressure} * \text{Tini}^{**2}) + (1.03525 * (10^{*(-10)}) * \text{InjPressure}^{**3}) + (-9.26236 * (10^{*(-8)}) * \text{Tini}^{**3}) + 4.994514948$$

Figura 4.23: Expresión matemática del *Jet Force*.

4.2.2. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

La validación experimental en este caso se realiza de la misma manera que en el apartado del modelo *Basis Variant*. Se procede a exponer una comparativa de resultados de tasa de inyección entre el sistema generado en AMESim y el estudio experimental del CRI 2.25.

Para este caso existe una peculiaridad, debido a las modificaciones descritas anteriormente se ha dado lugar al inyector CRI 2.25, el cual permite alcanzar valores de presión de 2300 bar. Por lo que además de todos los puntos de validación ya descritos se debe añadir esta nueva presión.

El nuevo inyector ofrece tasas de inyección superiores en un 12% si observamos la tasa realiza en el *Basis Variant*. Eso es debido principalmente a la variación de los orificios OA y OZ, parámetros muy influyentes en el proceso de inyección. Con el mismo tiempo de energizado se produce una pendiente superior en la gráfica de tasa cuya principal consecuencia es el aumento de la cantidad de la masa total inyectada.

En la figura 4.24 se muestra una comparación entre los resultados analíticos y experimentales de la masa total inyectada.

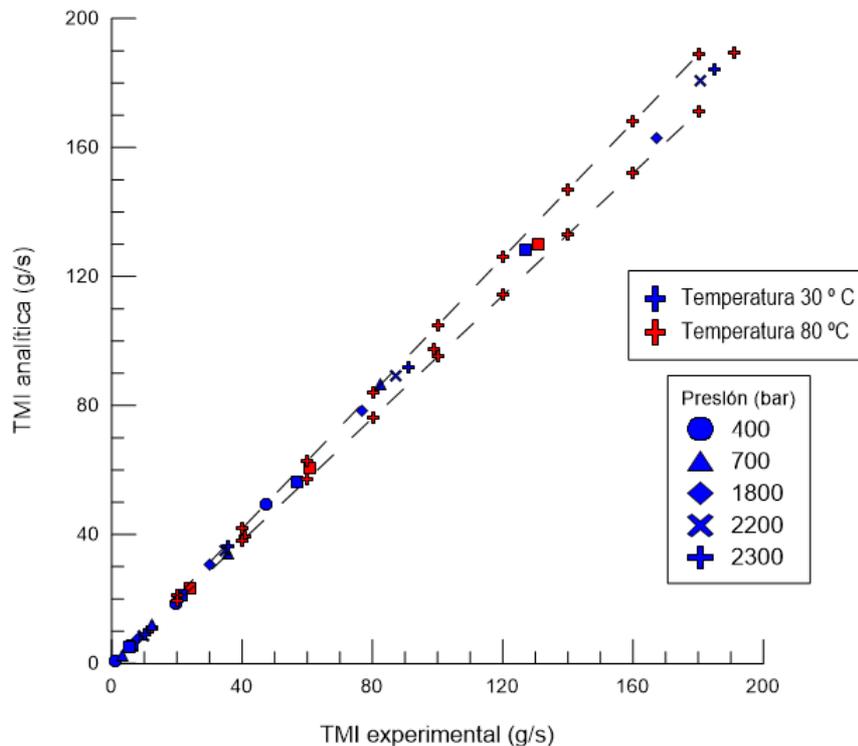


Figura 4.24: Validación del modelo mediante la TMI.

El principal objetivo de este gráfico es mostrar que los valores de la masa total inyectada analítica y experimental no superan los valores $\pm 5\%$ marcados por las líneas discontinuas. Concretamente aquí se encuentran los 46 puntos de validación, abarcando prácticamente todos esos puntos la parte inicial del gráfico.

Los resultados mostrados en el anexo se exponen de la misma manera que en el apartado anterior. Los fenómenos producidos dentro del inyector antes del proceso de inyección se muestran en AMESim como tiempo negativos, estos tiempos no van a ser mostrados en las gráficas realizadas sobre la tasa.

Hay que recordar que los puntos de validación se definen mediante combinaciones entre las temperaturas 30 y 80°C; las presiones 400, 700, 1200, 1800, 2200 y 2300 bar; los tiempos de energizado 0.00025, 0.0005, 0.001, 0.002 s.

En la figura 4.25 se observan tres gráficas relacionadas con el fenómeno de la inyección. La primera de ellas define la intensidad con la que se alimenta al inyector, alcanzando valores constantes. El ET establece el valor de la intensidad en el tiempo. La segunda se refiere a la tasa de inyección, en ella se puede observar el comportamiento similar entre el Modelo en AMESim y los datos experimentales. La última expone la presión de inyección, el modelo en AMESim presenta prácticamente una línea constante en comparación con la señal experimental.

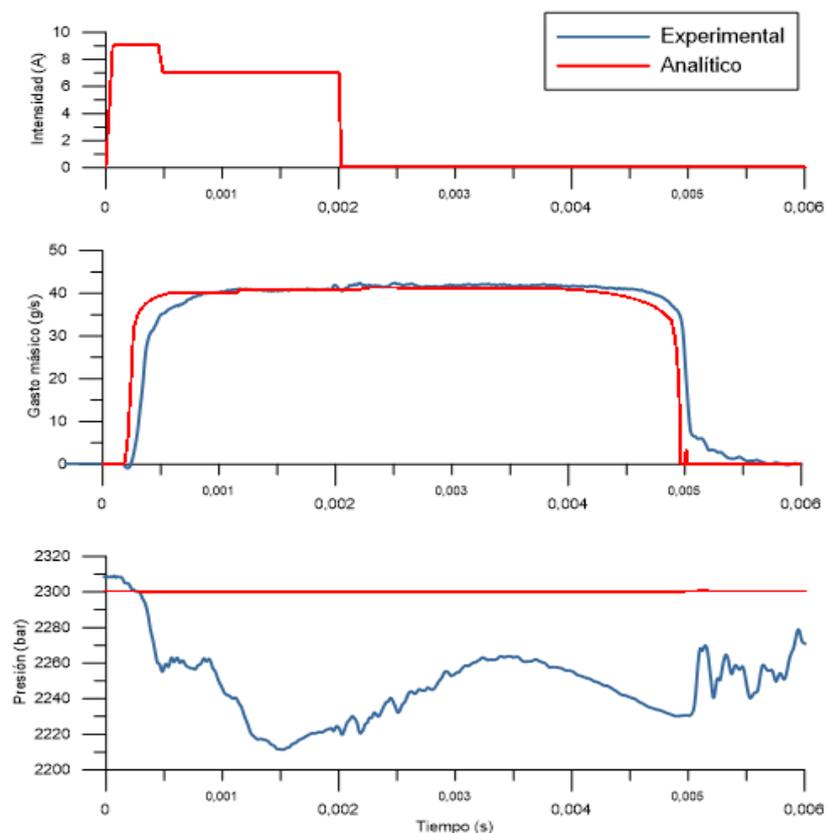


Figura 4.25: Señales de Intensidad, Tasa de intensidad y presión del CRI 2.25.

4.3. OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL INYECTOR CRI 2.25

Tras haber realizado las modificaciones y la validación de los resultados obtenidos del inyector CRI 2.25, se propone una modificación en el diseño del inyector para obtener una mejora en su comportamiento y asemejarlo al del inyector CRI 2.20. En este apartado se centra el objetivo principal del presente proyecto.

4.3.1. MODIFICACIONES FÍSICAS PROPUESTAS

Las modificaciones físicas propuestas para la mejora del inyector se centra en la variación de los orificios de entrada (OZ) y salida (OA). El principal motivo por el cual se propone modificar estos dos parámetros se debe a la gran influencia de ambos en el proceso de inyección como ya se ha observado en los puntos anteriores.

Como ya se ha definido, la tasa de inyección es mayor en el inyector CRI 2.25 que en el *CRI 2.20*. Lo que se busca con esto es aumentar la inclinación de la pendiente para así producir un levantamiento más rápido del inyector. En la figura 4.26 se puede observar como la apertura del CRI 2.25 es más lenta que la del inyector CRI 2.20.

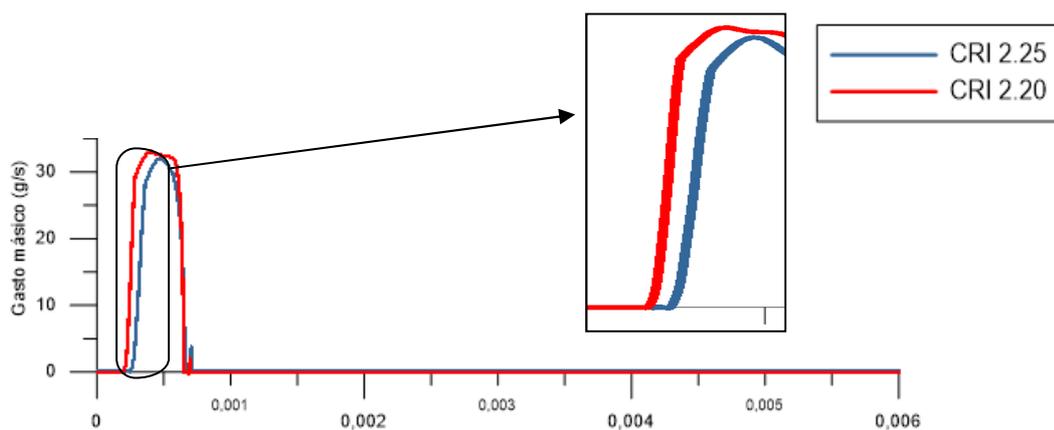


Figura 4.26: Levantamiento de la aguja, ET0250, T80°C, P1800bar

Para poder elevar el valor de la pendiente de la gráfica se debe variar el valor de ambos orificios, esta modificación produce un efecto de menor diferencial de presiones entre el cabezal de la aguja y el volumen de control. De esta manera es posible reajustar los valores de tasa.

Los valores de los orificios nuevos se muestran en la tabla 4.4, estos datos son aproximados dado que estos han sido estimados sin una extrema precisión, solamente han sido adaptados para simular el mismo comportamiento que el *Basis Variant*.

	Diámetro serie (mm)	Diámetro nuevo (mm)
Orificio OZ	0.2318	0.2565
Orificio OA	0.2136	0.3026

Tabla 4.4: Valores de optimización para el CRI 2.25

Al introducir estos resultados, la apertura del inyector CRI 2.25 se asemeja a la producida en el inyector CRI 2.20. En la figura 4.27 se puede comprobar este fenómeno.

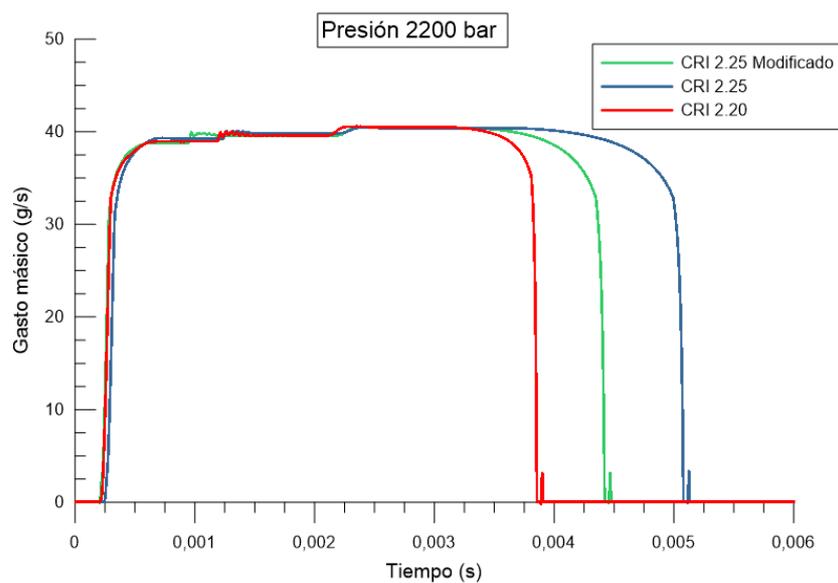


Figura 4.27: Levantamiento del CRI 2.25 modificado para ET2000 y T80°C.

Para conseguir que el inyector CRI 2.25 tenga un comportamiento similar al CRI 2.20 se debe ajustar el valor de la masa total inyectada. Tras la edición de los orificios OZ y OA se ha reducido un poco este valor, pero aun así parece que hay un intervalo de diferencia entre estos dos valores de tasa de 0.0005 segundos.

4.3.2. CALIBRACIÓN DEL INYECTOR EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

La calibración del inyector es una parte fundamental para el ajuste en su tasa de inyección. Este fenómeno se introduce en este apartado debido a la necesidad de reajustar los valores de tasa [13]. Eso es debido a que tras la modificación de los orificios OZ y OA se ha producido un aumento de la pendiente de la tasa (gráfica verde). De esta manera se podrá conseguir que los comportamientos de los inyectores se asemejen (figura 4.28).

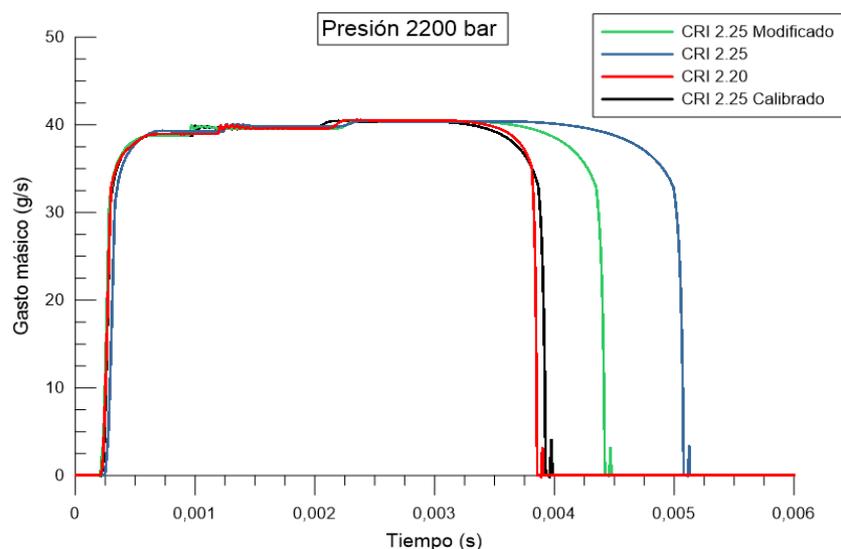


Figura 4.28: Comparación del grupo de inyectores CRI.

Por lo que para solucionar esta dispar variación entre inyectores se propone calibrar uno a uno todos los puntos de calibración del inyector CRI 2.25. Dependiendo de las condiciones de contorno el nuevo valor de ET variará aproximadamente entre energizado 0.00025, 0.0005, 0.001, 0.002 s. A continuación se exponen la tabla 4.4 y la 4.5 para las temperaturas de 30°C y 80°C. Los resultados gráficos se encuentran en el Anexo I.

Tabla 4.5: Calibración del ET a 30°C

Nº simulación	ET inicial	ET calibrado	Nº simulación	ET inicial	ET calibrado
1	0.00025	0.00022	13	0.00025	0.00025
2	0.0005	0.00056	14	0.0005	0.00052
3	0.001	0.00121	15	0.001	0.001
4	0.002	0.00225	16	0.002	0.0018
5	0.00025	0.00025	17	0.00025	0.000235
6	0.0005	0.00058	18	0.0005	0.0005
7	0.001	0.00113	19	0.001	0.0011
8	0.002	0.00234	20	0.002	0.0018
9	0.00025	0.00025	21	0.00025	-
10	0.0005	0.00055	22	0.0005	-
11	0.001	0.00103	23	0.001	-
12	0.002	0.00195	24	0.002	-

Tabla 4.6: Calibración del ET a 80°C

Nº simulación	ET inicial	ET calibrado	Nº simulación	ET inicial	ET calibrado
1	0.00025	0.000225	13	0.00025	0.000206
2	0.0005	0.0005	14	0.0005	0.00047
3	0.001	0.001	15	0.001	0.0094
4	0.002	0.002	16	0.002	0.0017
5	0.00025	0.00025	17	0.00025	0.000205
6	0.0005	0.00051	18	0.0005	0.00045
7	0.001	0.00107	19	0.001	0.001
8	0.002	0.00235	20	0.002	0.0018
9	0.00025	0.000245	21	0.00025	-
10	0.0005	0.005	22	0.0005	-
11	0.001	0.001	23	0.001	-
12	0.002	0.002	24	0.002	-

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIÓN

Tras haber realizado un estudio sobre los distintos resultados obtenidos sobre los elementos influyentes del inyector, se va a proceder a resumir todos los pasos seguidos durante el desarrollo del proyecto y las conclusiones de cada uno de sus apartados. El presente proyecto ha sido llevado a cabo para efectuar una mejora en el inyector diesel Bosch CRI 2.20, donde han sido cedidos los valores experimentales de presión, ET e intensidad.

El análisis del proyecto se verifica mediante el modelado unidimensional del inyector mediante el software AMESim, el cual permite realizar una variedad de simulaciones con variables numéricamente distintas unas de otras. Para alcanzar los requisitos de validación en el inyector *Basis Variant* se han establecido comparaciones referidas a la tasa de inyección y masa total inyectada entre los resultados experimental y los del modelo analítico.

Respecto al modelo realizado para el inyector Bosch CRI 2.25 se han estipulado una serie de modificaciones físicas en tobera (diámetro del asiento), válvula electromagnética (levantamiento de la armadura) y portainyector (diámetro de pistón y relación de caudales OA y OZ). Aparte de estos parámetros se ha calculado la expresión matemática de *Jet Force* situada en la tobera, la definición de esta ecuación se hace mediante combinaciones entre

los productos de las variables que intervienen en el cálculo. Las variables son la temperatura, la presión y el ET, acompañados de un preciso valor de *Jet Force*. Los valores obtenidos han sido introducidos en el modelo inicial y posteriormente se han validado con el mismo procedimiento que en el modelo *Basis Variant*, mediante tasa de inyección y masa total inyectada.

Tras haber observado un levantamiento más lento del inyector se procede a realizar una explotación del modelo CRI 2.25 para su rediseño. Los orificios OA y OZ son modificados, en el caso del primero se ve aumentado en un 16,7% y el segundo también aumentado sobre un 15%. Al incidir en estos parámetros, el inyector CRI 2.25 puede operar en las mismas condiciones que el CRI 2.20. Lo cual es interesante desde el punto de vista de la atomización, que al final redunda en el consumo y las emisiones.

Se ha verificado una caída del 10% de la presión en el recorrido del combustible desde la fuente hasta el asiento de la tobera. Se ha comprobado que el aumento de los orificios OA y OZ producen un levantamiento de la aguja más rápido, por lo que aumenta la tasa de inyección. Además se ha confirmado que la variación del volumen de control no tiene casi consecuencia en los valores de tasa. Por último cuando mayor es el ángulo de la inyección más grande será el resultado de la tasa.

Para conseguir una óptima validación en el modelo frente a los resultados experimentales obtenidos del inyector *Basis Variant* se ha optado por ajustar la medida de tasa por medio de la duración de los ET's. Este fenómeno se determina calibración, y data a cada punto de estudio de un valor distinto.

5.2. FUTURO DESARROLLO

Después de haber expuesto cada una de las conclusiones obtenidas en las simulaciones de AMESim, se van a describir una serie de opciones de desarrollo para este inyector.

Como futuros desarrollos para el inyector Bosch CRI 2.25 se propone optimizar el recorrido que realiza el combustible con el objetivo de que no se pierda el 10% de la presión acumulada en el conducto común y que posteriormente influye en el proceso de la inyección.

También se considera establecer una relación entre los orificios OZ y OA que permita un óptimo levantamiento y descenso de la aguja, con el fin de producir un salto de presiones menor en OZ que en OA, ya que el aumento de OA produce menor tasa y mayor tasa en el caso de aumentar el OZ.

Por último se debería configurar un modo de alimentación eléctrica del inyector mediante los ET más uniforme, ya que para conseguir un comportamiento similar del modelo junto a los datos experimentales cada valor de ET es distinto a los demás.

BIBLIOGRAFÍA

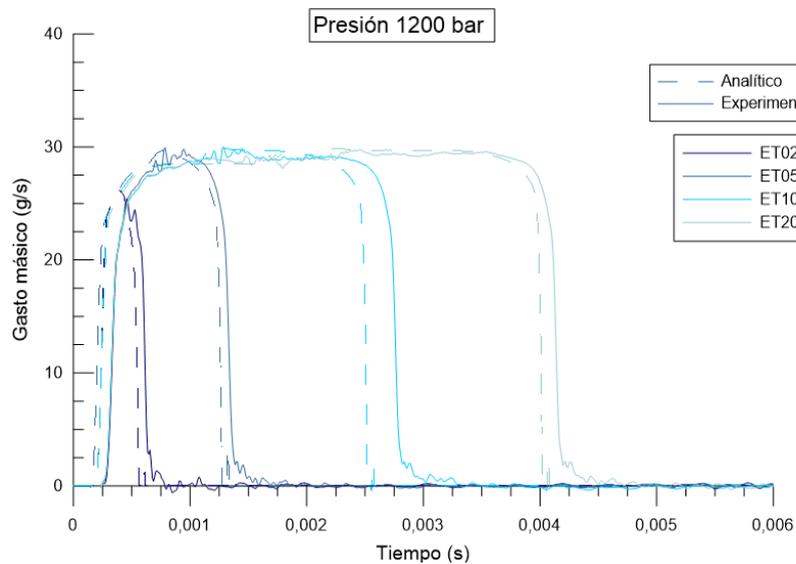
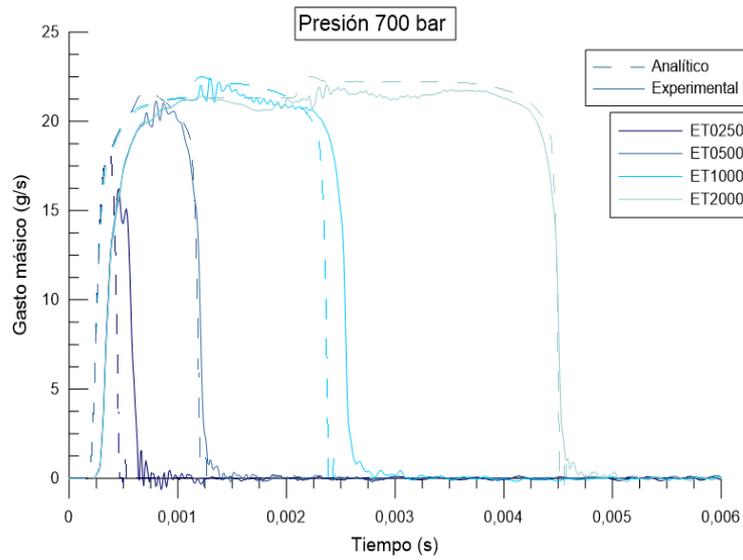
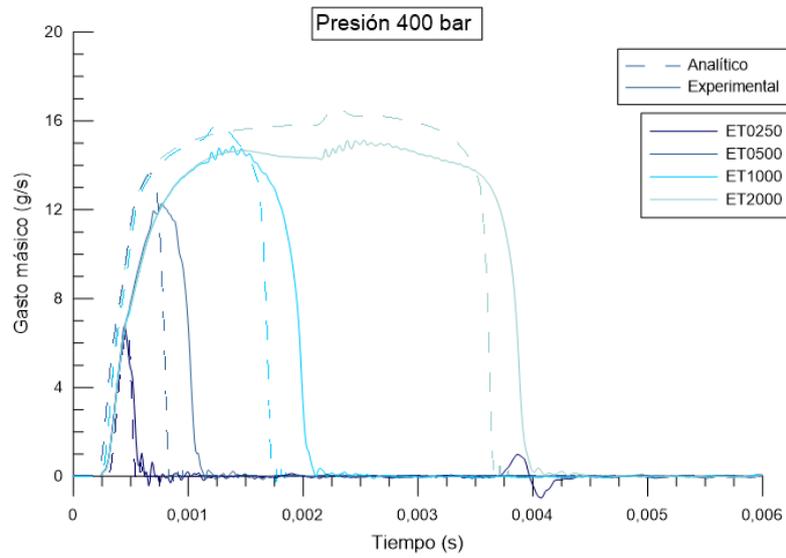
- [1] S. P. Ibáñez, *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diésel. TMVG0409*. IC Editorial, 2013. ISBN: 9788415670094
- [2] F. Payri y J. M. Desantes, *Motores de Combustión Interna Alternativos*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2011. ISBN: 978-84-8363-705-0
- [3] Bosch, *Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail*. Reverté, 2005. ISBN: 9783865220837
- [4] A. Morales, W. Bolívar, S. Leines y C. Mauricio, “Diseño y construcción de un sistema de somilación, diagnóstico y comprobación de sistemas de alimentación de combustibles para inyector diesel electrónicos H.E.U.I.”. Tesis doct. Escuela Politécnica del Ejército, Extensión Latacunga, 2013.
- [5] J. Navarro Andreu, “Modelo 1D de un inyector de combustible de última generación en estrategias de inyección múltiple”. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny, 2016.
- [6] B. Gracia García, “Caracterización hidráulica de un inyector diesel solenoide para motores Dual Fuel”. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, 2015.
- [7] J. M. López, “Estudio computacional de la influencia del levantamiento de aguja sobre el flujo interno y el fenómeno de la cavitación en toberas de inyección diésel”. Tesis doct. Universitat Politècnica de València, 2013. DOI: 10.4995/Thesis/10251/2929.
- [8] M. Carreres Talens, “Thermal Effects Influence on the Diesel Injector Performance through a Combined 1D Modelling and Experimental Approach”. Tesis doct. Universitat Politècnica de València, 2016. DOI: 10.4995/Thesis/10251/73066
- [8] J. Gimeno García, “Desarrollo y aplicación de la medida del flujo de cantidad de movimiento de un chorro diesel”. Tesis doct. Universitat Politècnica de València, 2008. DOI: 10.4995/Thesis/10251/8306

- [9] O. Armas, C. Mata, y S. Martínez-Martínez, “Efecto de parámetros de inyección diesel sobre la entrega instantánea de combustible usando un inyector de bobina electromagnética con diferentes combustibles”. En: *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (2012), págs. 9-21. ISSN: 01206230.
- [10] J. Gimeno García, “Desarrollo y aplicación de la medida del flujo de cantidad de movimiento de un chorro diesel”. Tesis doct. Universitat Politècnica de València, 2008. DOI: 10.4995/Thesis/10251/8306
- [11] J. Salvador, *Influencia de la cavitación sobre el desarrollo del chorro Diesel*. Reverté, 2007. ISBN: 9788429147100
- [12] D. A. Salinas Carvajal y J. D. Villavicencio Ramos, “Diseño y construcción mecánica de un banco para la comprobación de inyectores diesel: Denso, Delphi y Bosch del sistema CRDI”. Tesis doct. Universidad de las Fuerzas Armadas. Extensión Latacunga, 2013.
- [13] A. J. Cano Romero, “Optimización y calibración del Software Converge para la simulación CFD de chorros diesel. Comparación con resultados experimentales”. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny, 2016.

ANEXO I

**RESULTADOS DE TASA
DE INYECCIÓN**

Basis Variant: 30°C



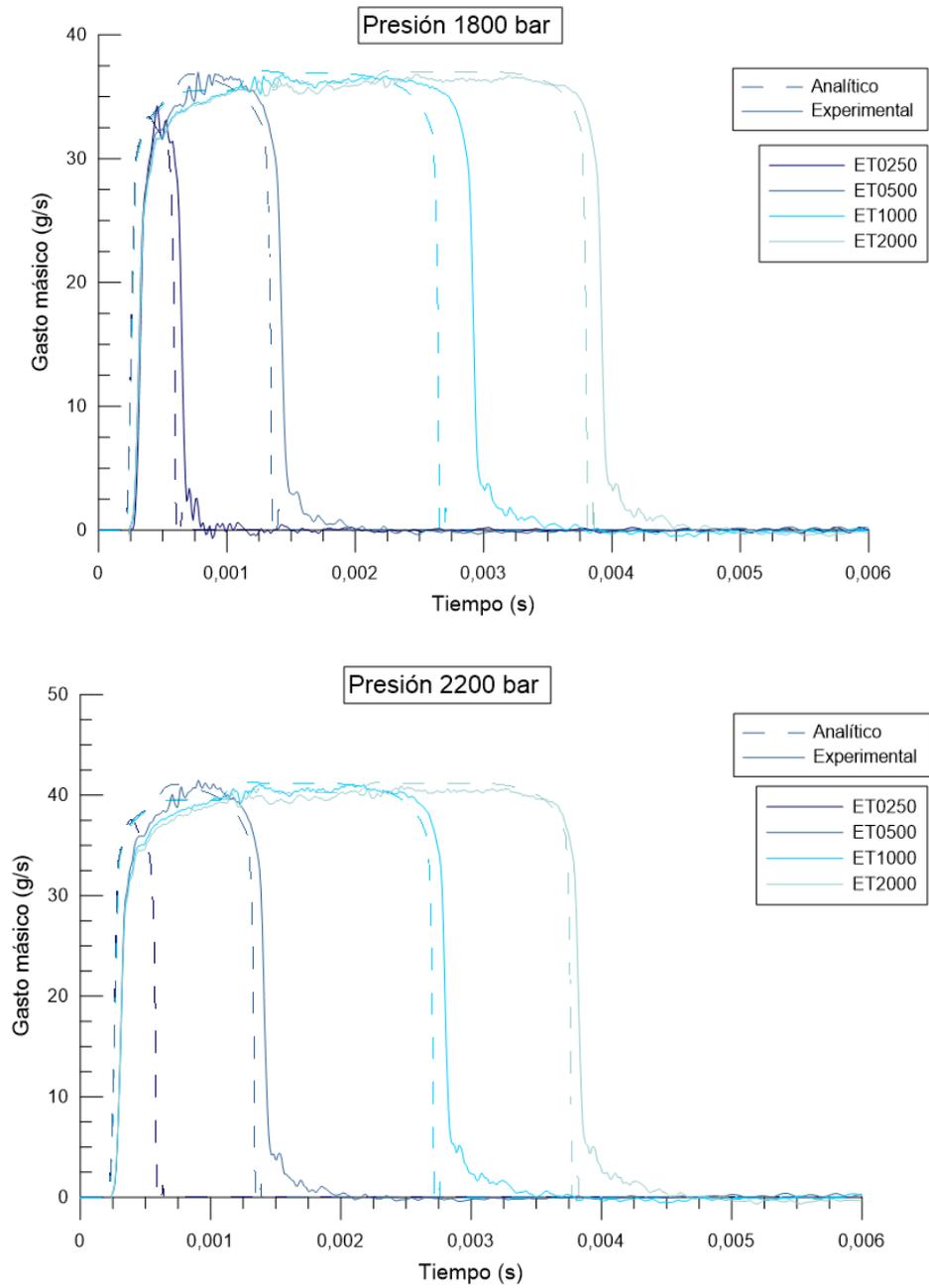
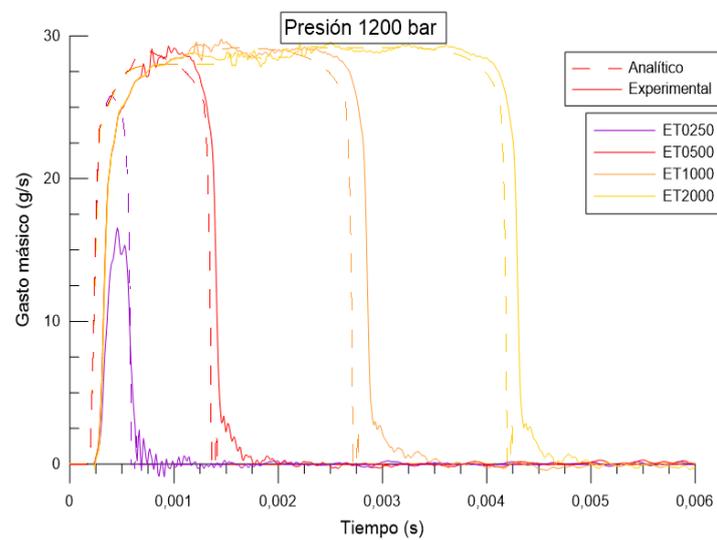
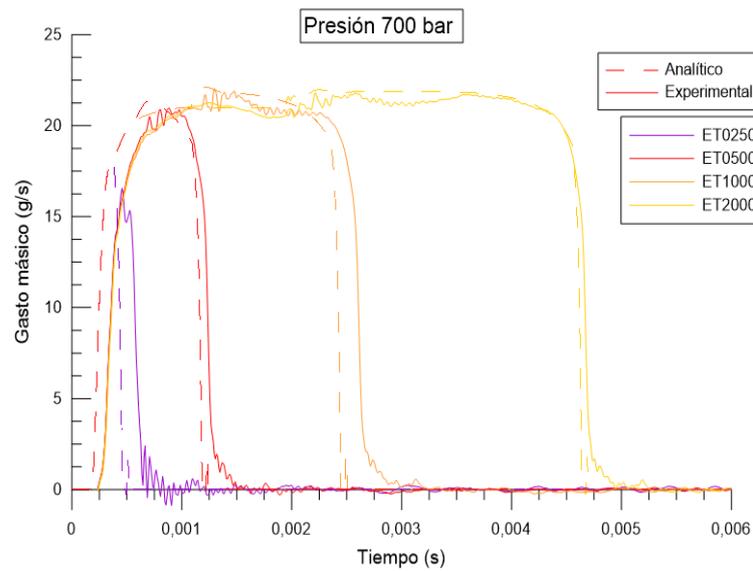
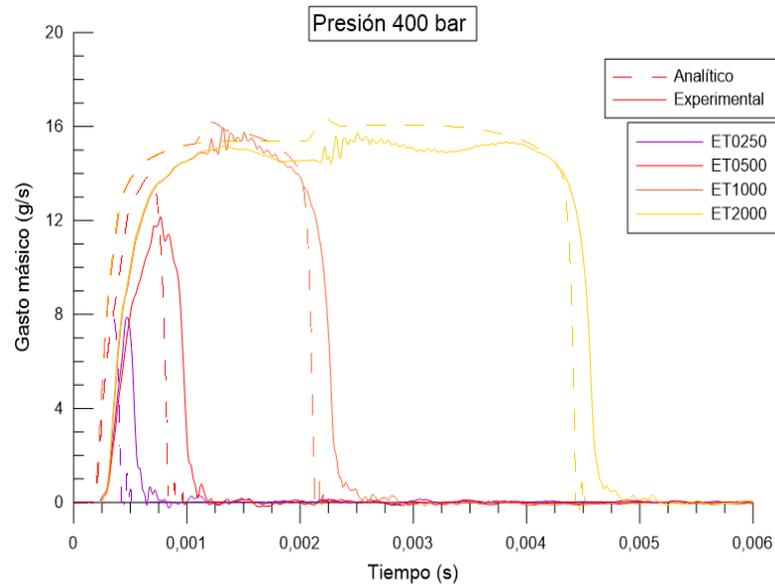


Figura A.1. Tasas de inyección de Basis Variant.

Basis Variant: 80°C



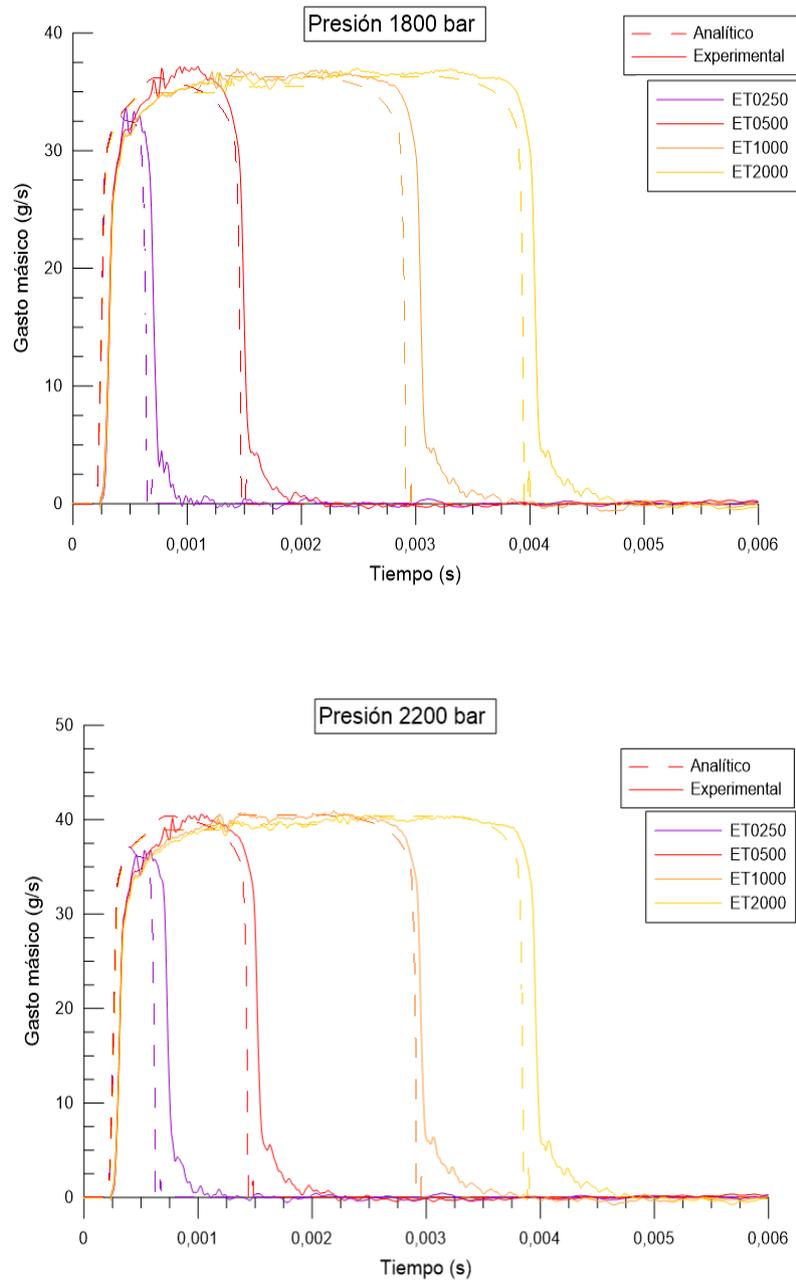
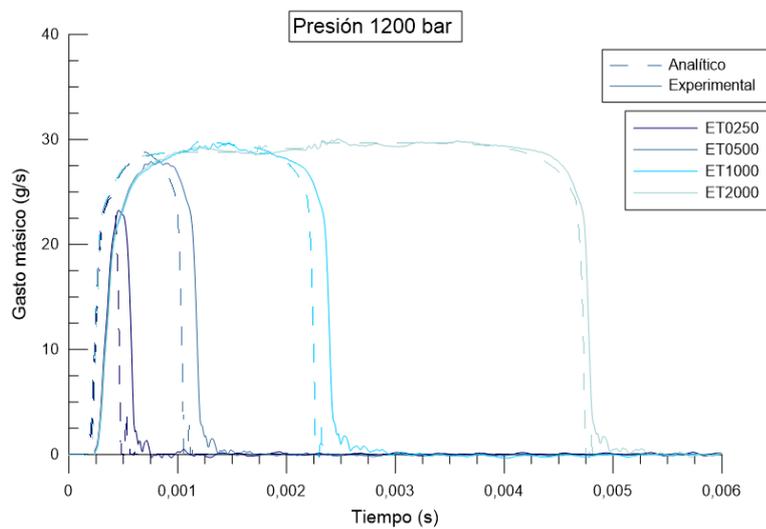
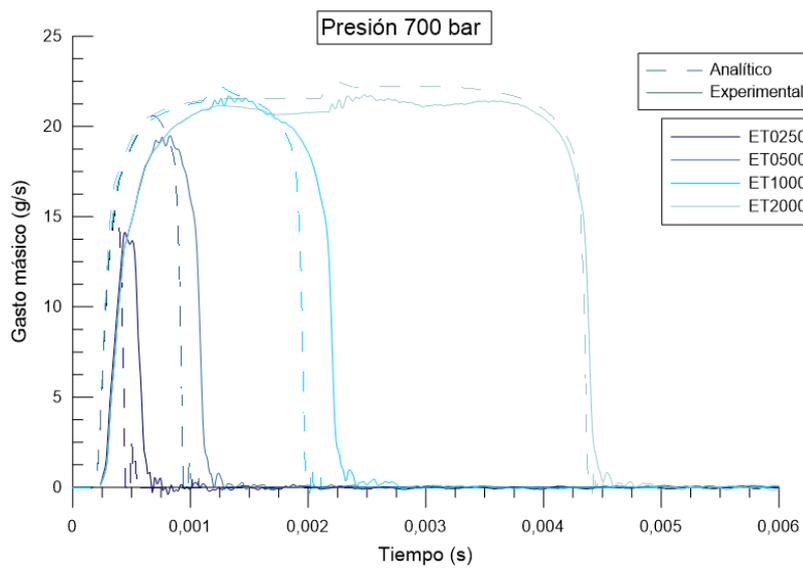
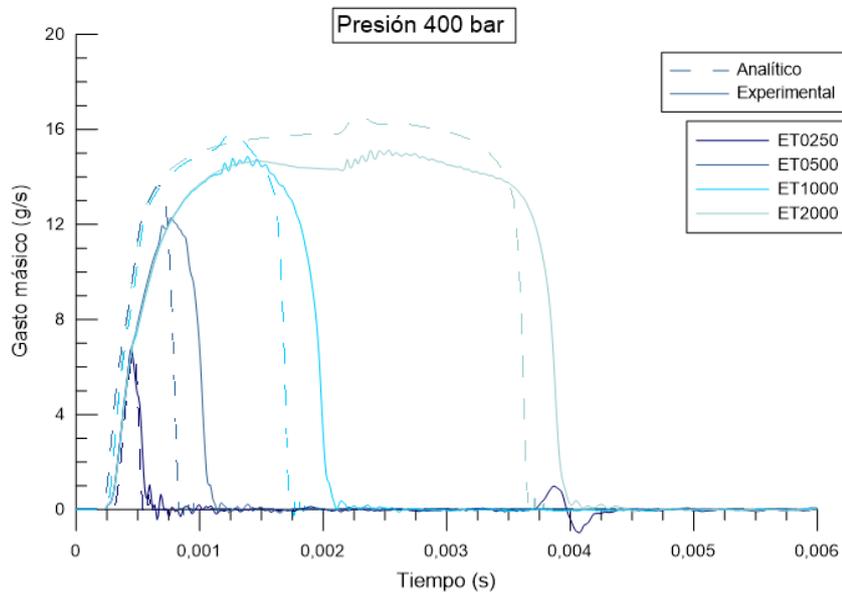


Figura A.2. Tasas de inyección de Basis Variant.

CRI 2.25: 30°C



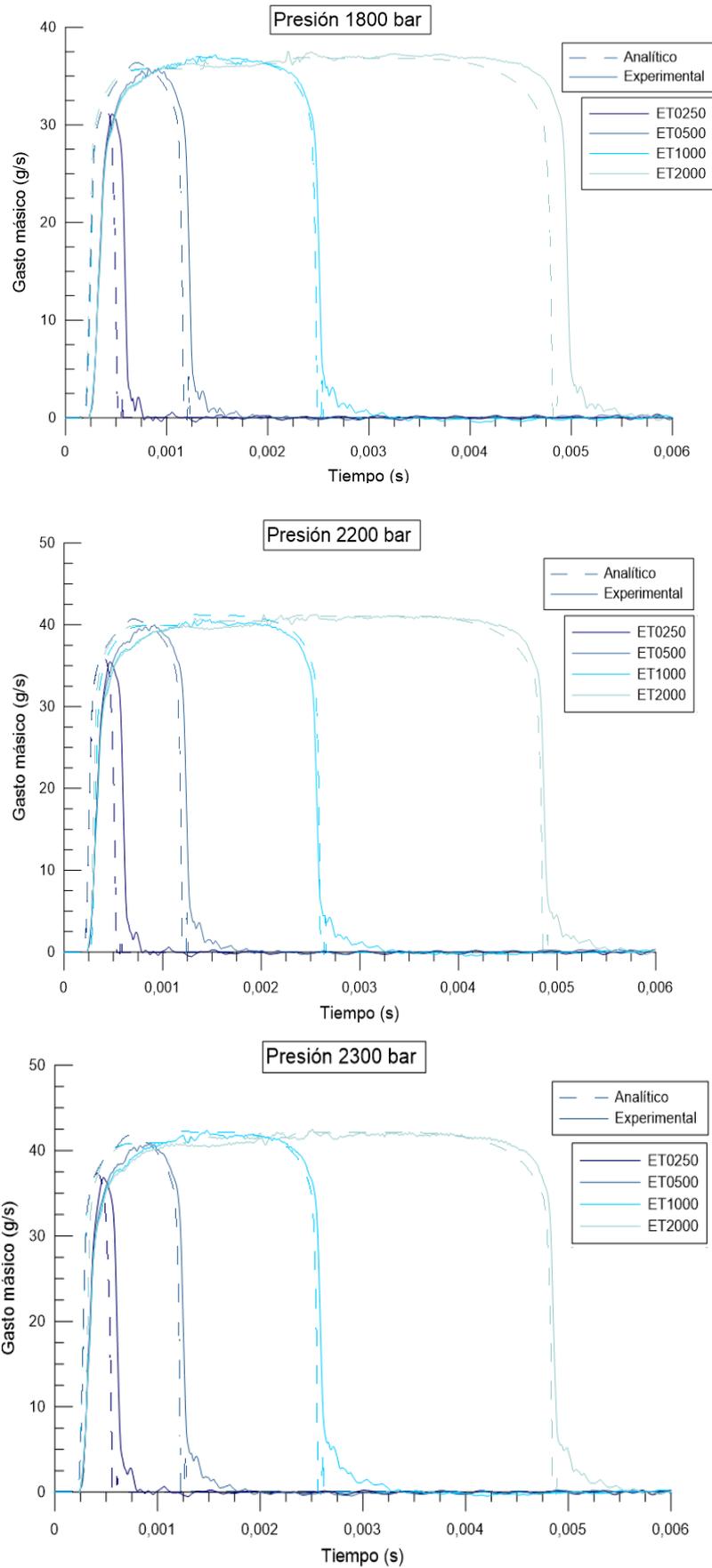
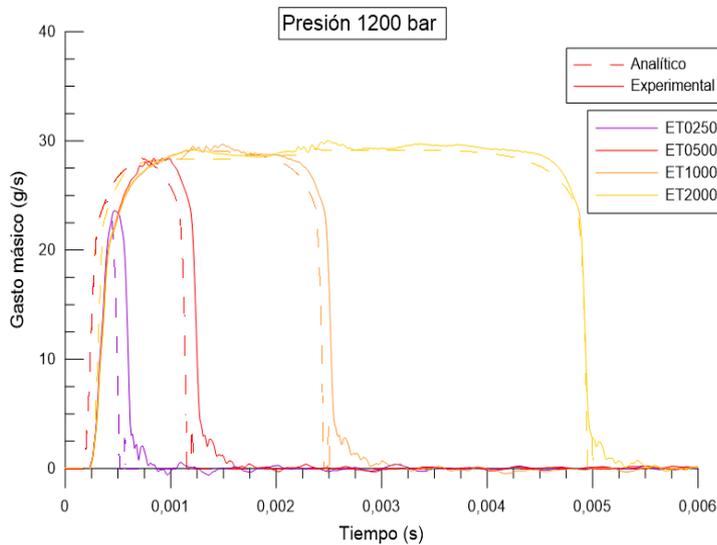
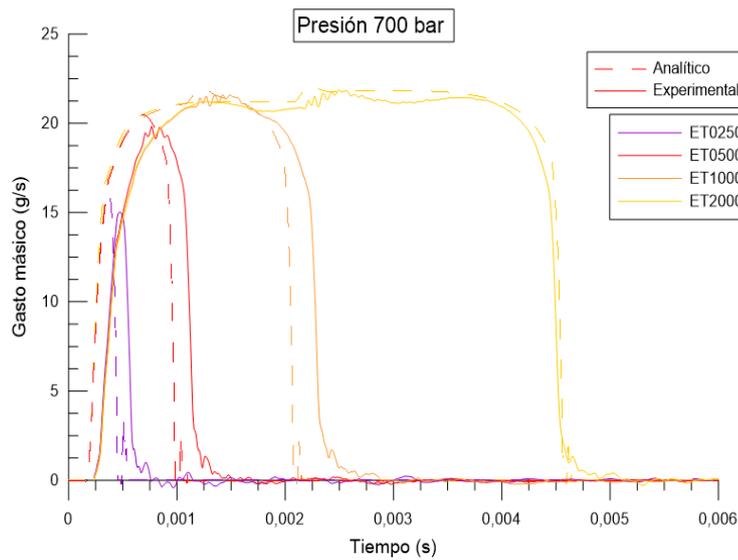
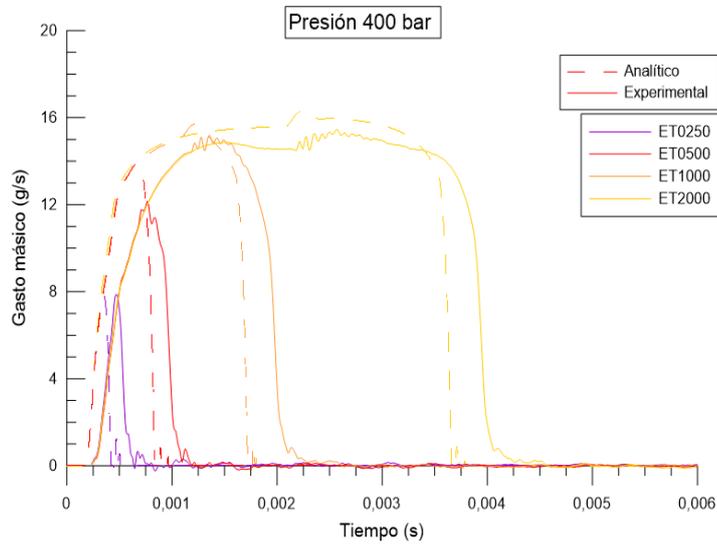


Figura A.3. Tasas de inyección de CRI 2.25.

CRI 2.25: 80°C



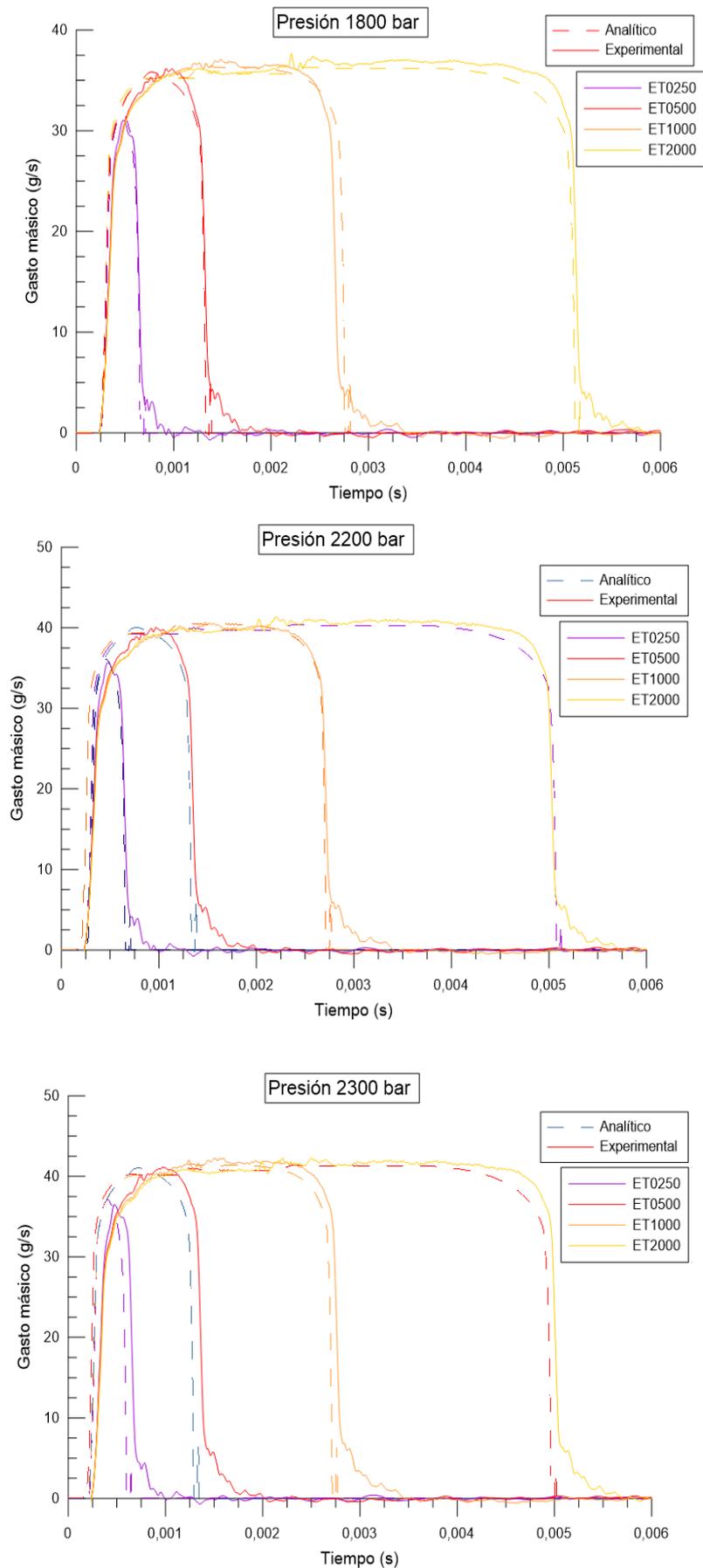
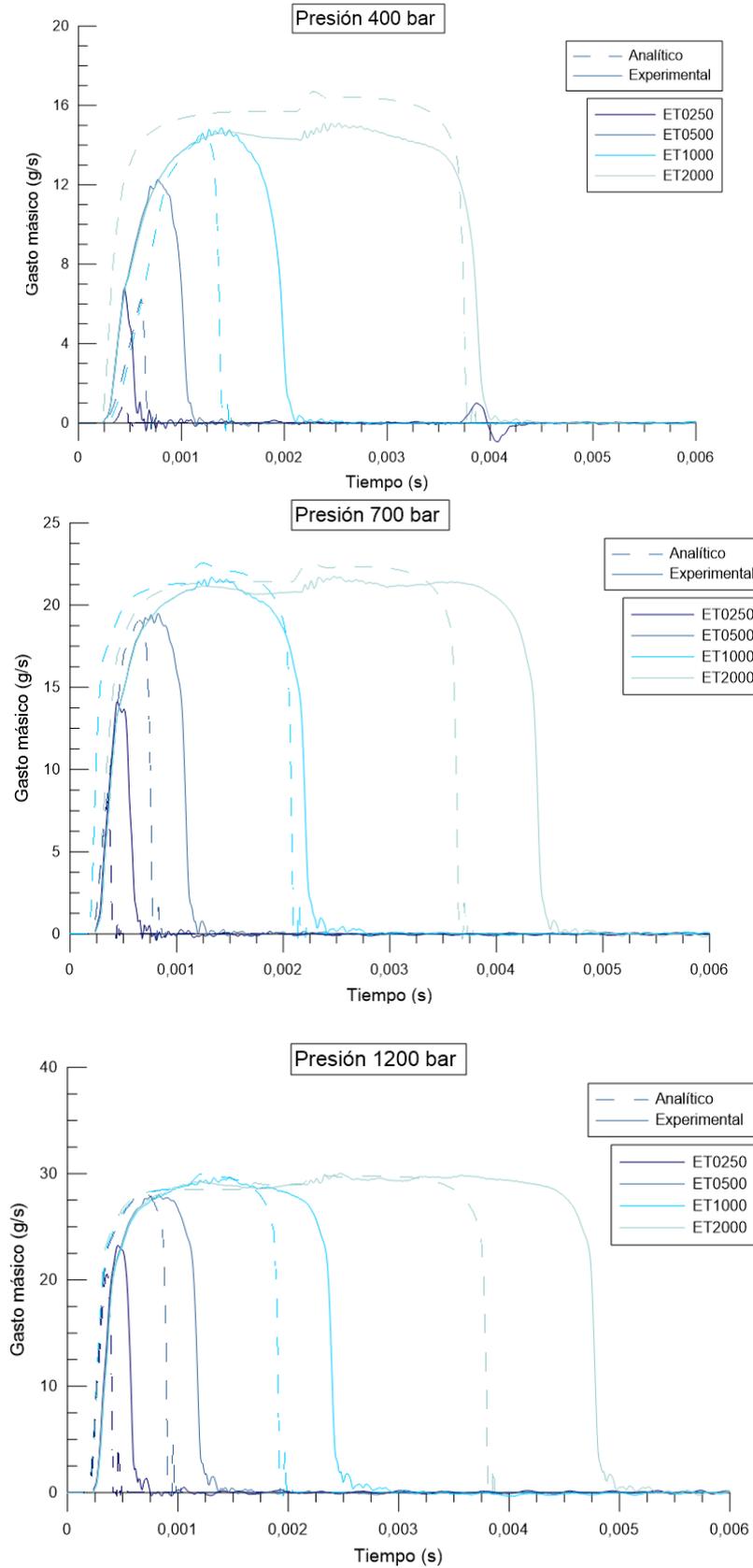


Figura A.4. Tasas de inyección de CRI 2.25.

CRI 2.25 OPTIMIZADO: 30°C



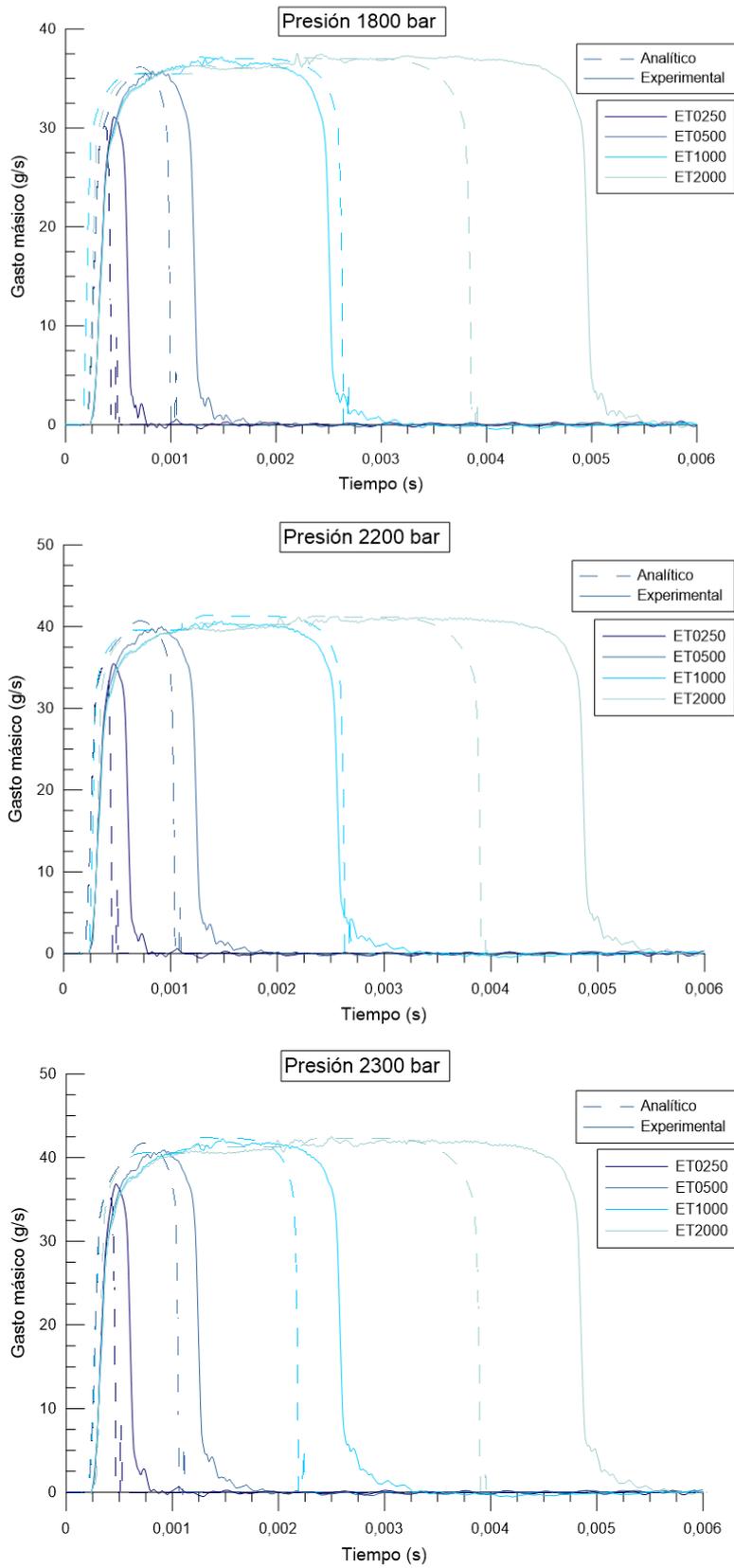
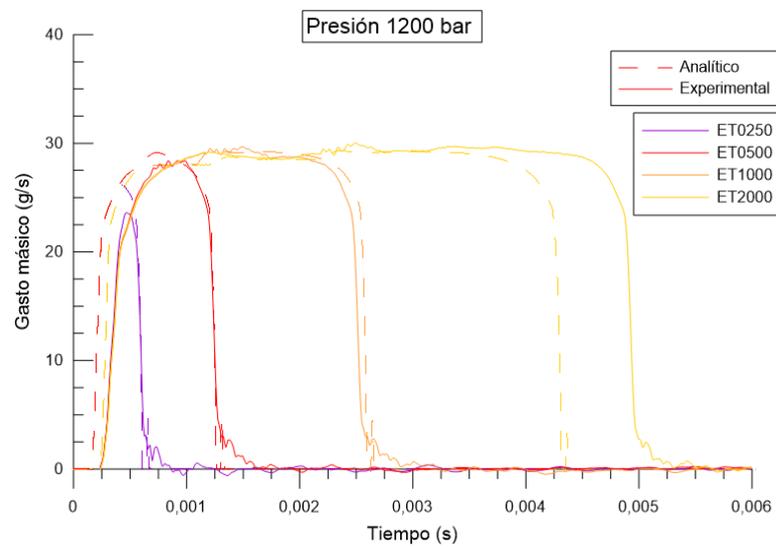
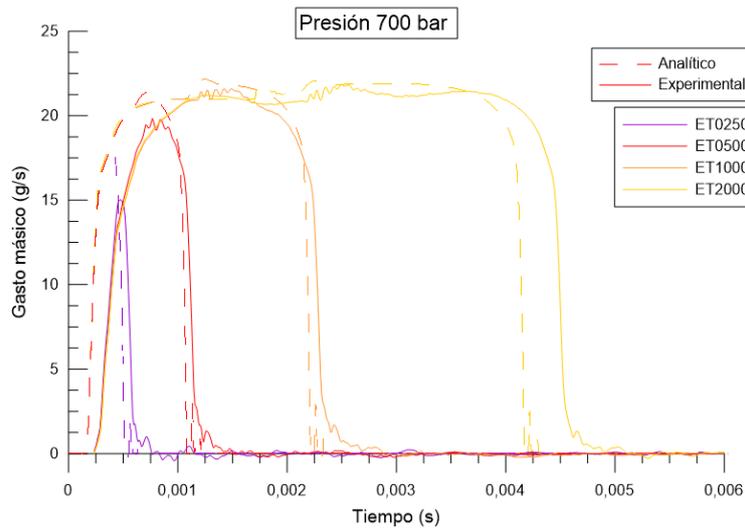
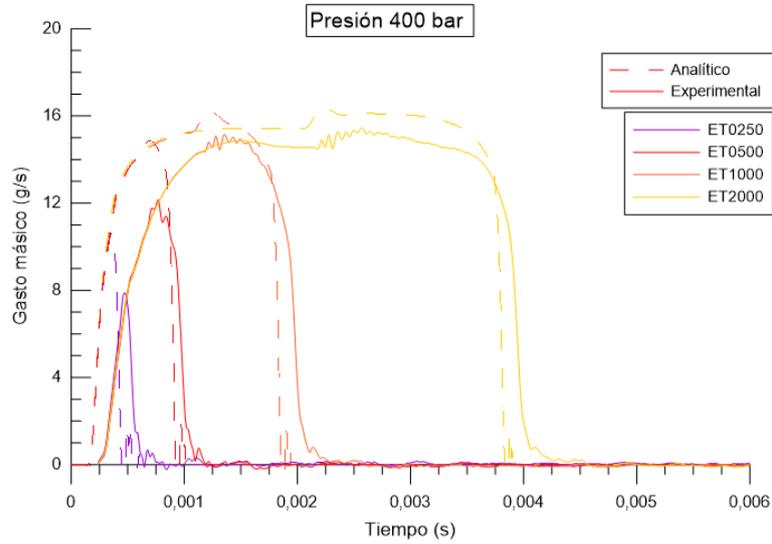


Figura A.5. Tasas de inyección de CRI 2.25 optimizado.

CRI 2.25 OPTIMIZADO: 80°C



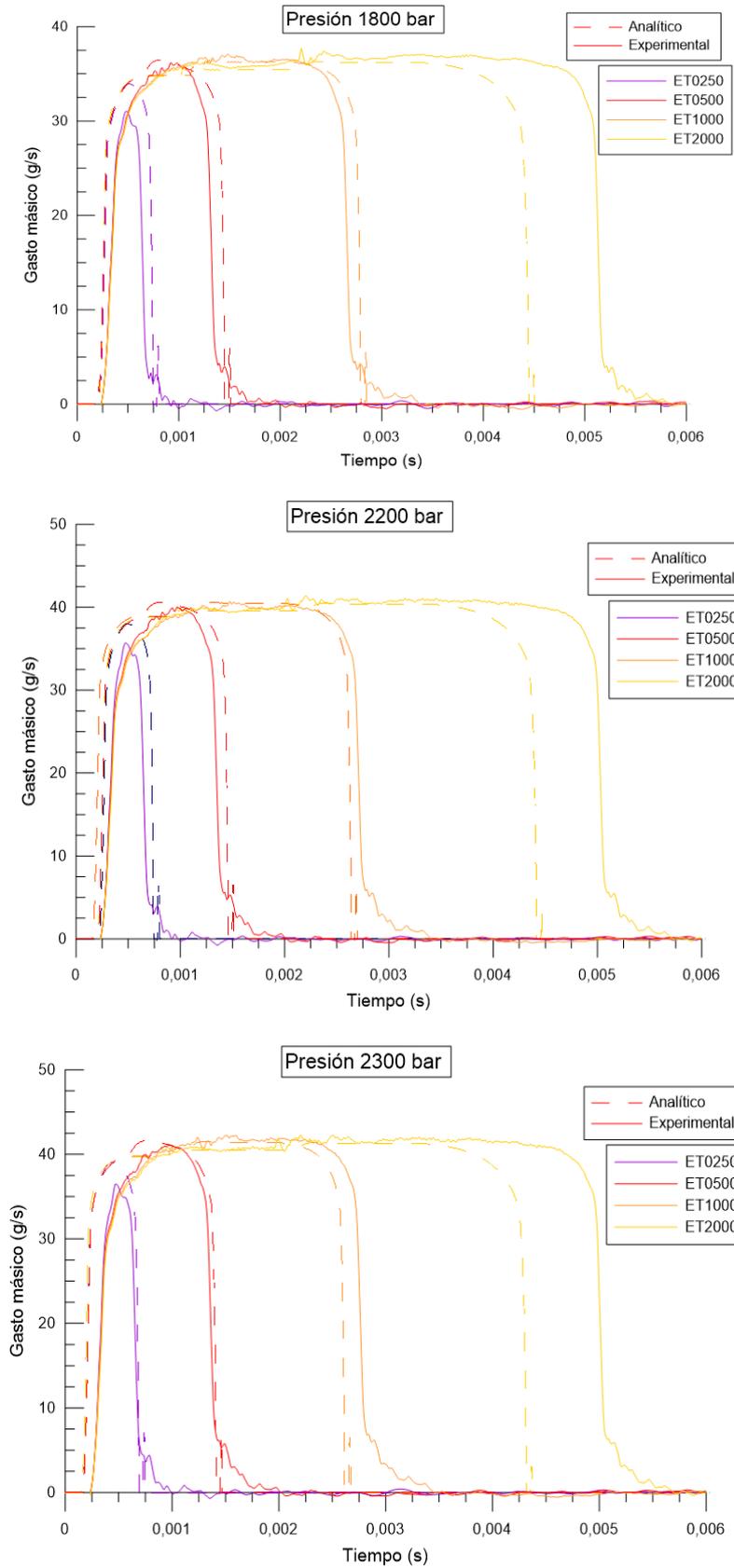
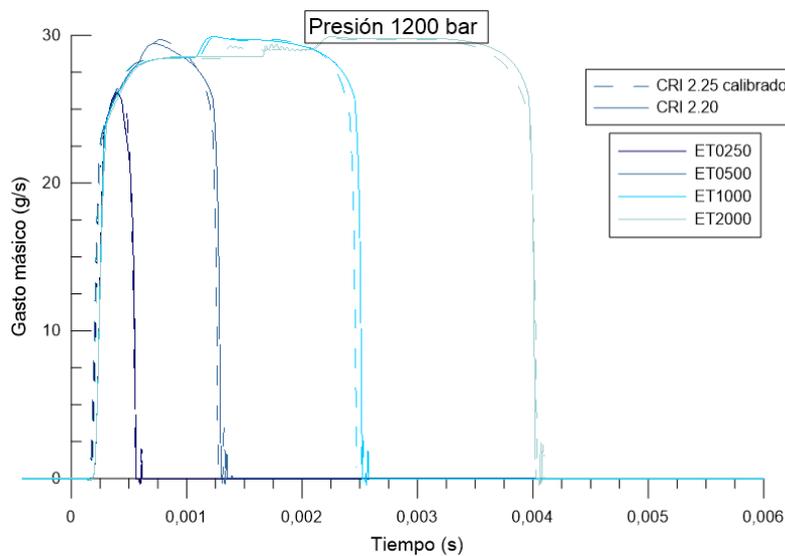
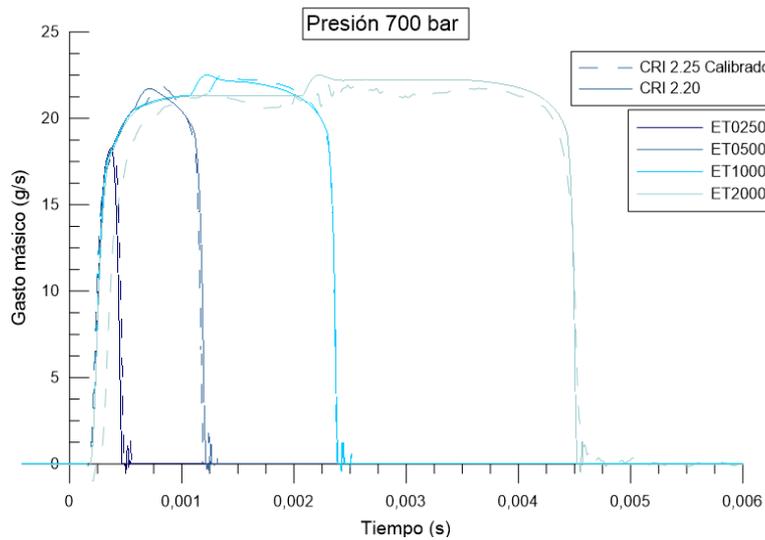
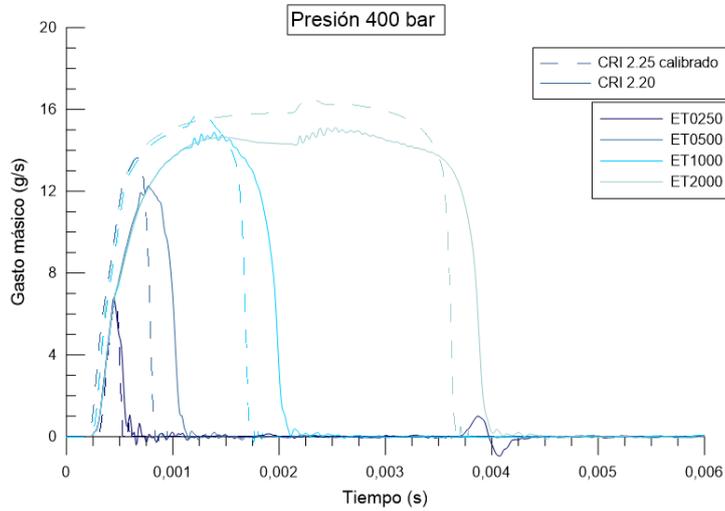


Figura A.6. Tasas de inyección de CRI 2.25 optimizado.

CRI 2.25 CALIBRADO: 30°C



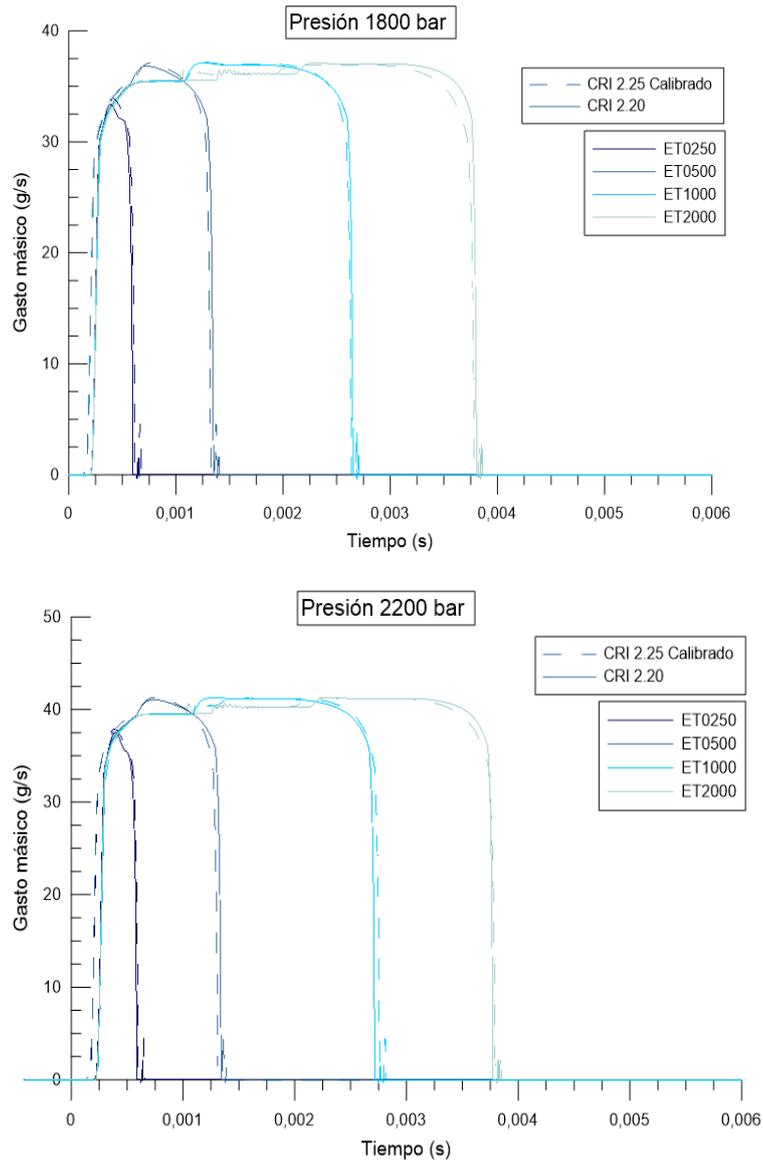
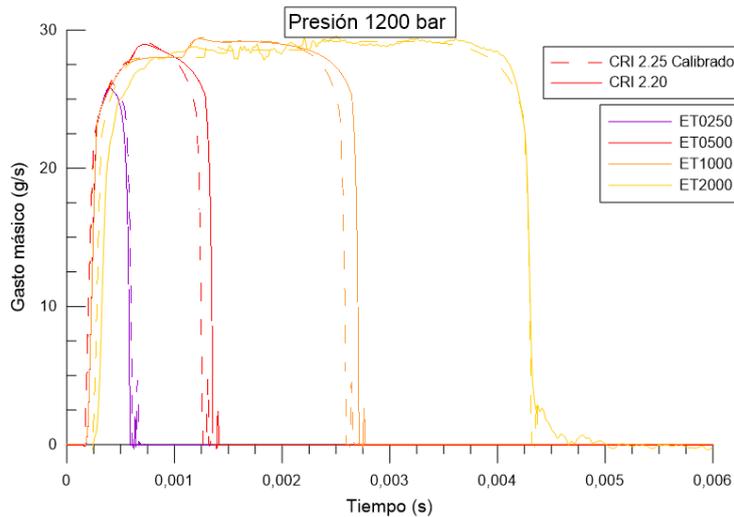
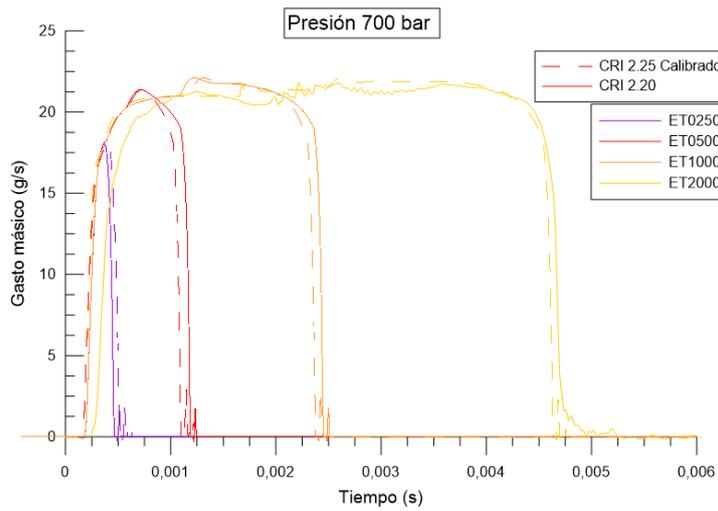
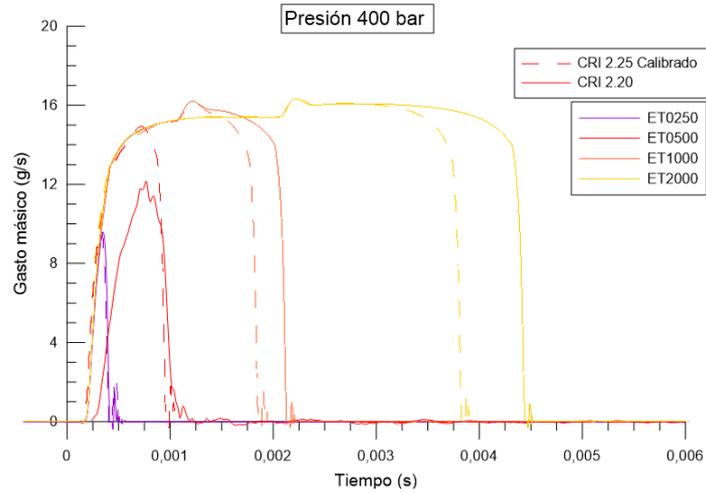


Figura A.7 Tasas de inyección de CRI 2.25 calibrado.

CRI 2.25 CALIBRADO: 80°C



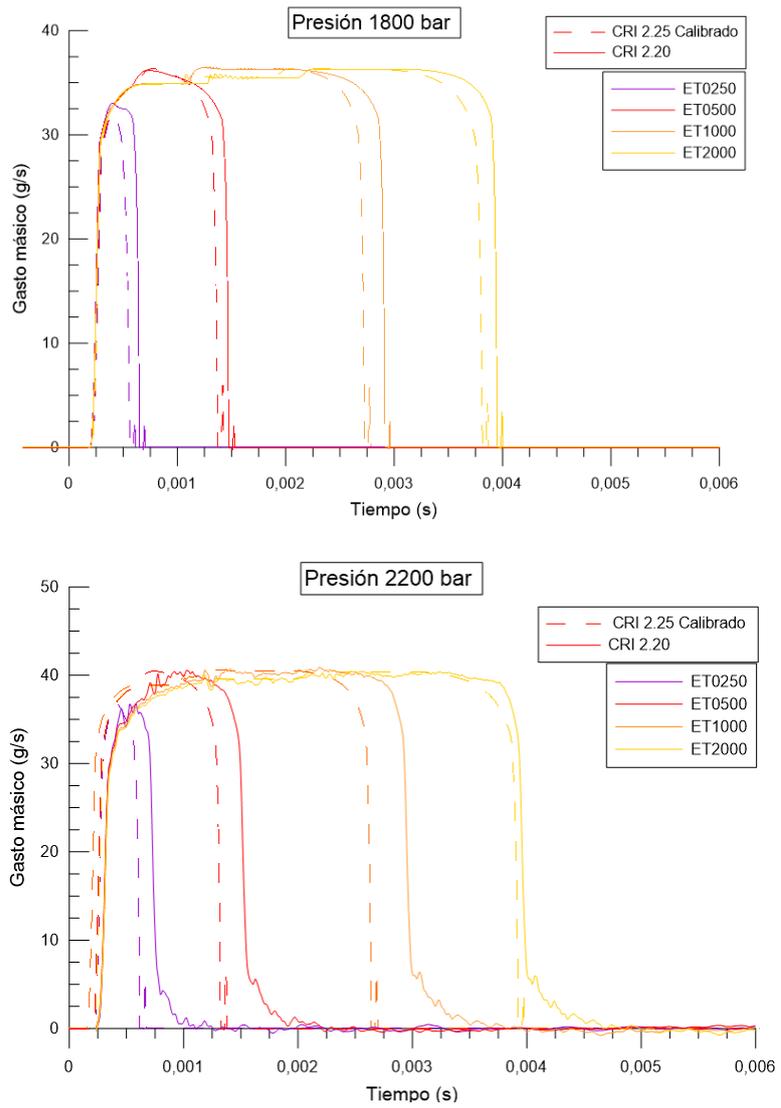


Figura A.8 Tasas de inyección de CRI 2.25 calibrado.

DOCUMENTO II
PLIEGO DE
CONDICIONES

INDICE DEL DOCUMENTO

OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	5
1.1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.2. FORMALIDAD DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	5
CONDICIONES GENERALES DEL PLIEGO	7
2.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.2. CONDICIONES FACULTATIVAS.....	7
2.3. CONDICIONES EN EL PUESTO DE TRABAJO.....	10
CONDICIONES PARTICULARES DEL PLIEGO	15
3.1. INTRODUCCIÓN.....	15
3.2. REQUISITOS DEL SOFTWARE.....	15
3.3. REQUISITOS DEL EQUIPO INFORMÁTICO.....	16

CAPÍTULO 1

OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1.1. INTRODUCCIÓN

El pliego de condiciones de un proyecto en general consiste en la exposición de cada uno de los requerimientos tanto de fundamento técnico como legal que debe abarcar el mismo.

El objeto de este proyecto es actualizar el inyector Bosch CRI 2.20 con el propósito de aumentar la presión de inyección, trabajando con la misma tecnología pero introduciendo pequeñas variaciones en el modelo reproducido en AMESim. Este mismo modelo es adecuado para comprender su comportamiento obtenido en cada parte del inyector y analizar la influencia que tiene cada parámetro en cada una de las simulaciones del modelo a estudiar.

Para que este estudio pueda ser correcto, se han llevado a cabo distintas comparaciones de Tasa de inyección y Masa Total Inyectada. La validación del modelo sobre estos parámetros consiste en plasmar datos experimentales del inyector, los cuales se tienen con precedencia, junto con los resultados obtenidos en el programa AMESim.

1.2. FORMALIDAD DEL PLIEGO DE CONDICIONES

La formalidad del pliego de condiciones está referida a las condiciones que deben cumplir dicho documento para la elaboración de este proyecto.

Con la intención de poder relatar de la mejor manera este apartado, se divide el pliego en condiciones generales y en condiciones particulares. Las condiciones generales describen las formalidades de higiene y seguridad del proyecto y las condiciones particulares enumeran las características que deben tener los equipos de trabajo.

De una manera más genérica, un pliego de condiciones debe tener una serie de características necesarias como la precisión y la fiabilidad. La presión puede ser la más importante de todas, ya que los resultados dependen de las tolerancias seleccionadas por el autor y el director del presente proyecto. La fiabilidad permite que se pueda obtener el objetivo del proyecto, apoyándose en las herramientas disponibles por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, El control de los datos alcanzados en el modelo producido por AMESim consigue una decisiva comparación con los datos experimentales ya tratados con anterioridad.

Para concluir, el mantenimiento de los equipos de trabajo asume una gran importancia ya que su mal uso puede derivar en una pérdida de precisión a la hora de obtener los resultados en los que se basan las conclusiones del proyecto.

CAPÍTULO 2

CONDICIONES GENERALES DEL PLIEGO

2.1. INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de este episodio se van a estipular cada una de las condiciones generales referidas al desarrollo de este proyecto. El entorno de trabajo del autor debe cumplir cada uno de los requisitos reflejados en el Real Decreto 488/1997 del 14 de abril, cuya temática especifica aclaraciones relacionadas con el propio entorno y sus características, ya sea expuesto sobre la calidad de las infraestructuras o en la determinación de las herramientas y equipos utilizados en el proceso. Las instalaciones elegidas deben cubrir todas las necesidades de los participantes en el estudio, garantizando la seguridad y la integridad física de los mismos.

Como no se ha requerido una instalación específica o en su defecto una sala de ensayos, el pliego de condiciones generales se desglosa del siguiente modo: condiciones facultativas, las cuales establecen el nivel de conocimientos solicitado para llevar a cabo este estudio, y condiciones en el puesto de trabajo, que resumen las necesidades mínimas ocasionadas para que el autor pueda fomentar sus capacidades frente al trabajo.

2.2. CONDICIONES FACULTATIVAS

Las condiciones facultativas describen cada uno de los componentes involucrados en el progreso del trabajo. Además de nombrar las capacidades

de cada parte, también se refiere a los derechos y obligaciones que los integrantes deben cumplir con el objetivo de aumentar la aptitud de esta investigación.

2.2.1. EL PROMOTOR

El promotor es una persona u organismo que promociona profesionalmente la labor de otra, en este caso se trata de la línea de inyección del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, el cual es englobado por el Centro de Motores Térmicos.

2.2.2. DIRECTOR DEL PROYECTO

La función del director del proyecto es coordinar y supervisar cada uno de los procesos realizados durante el transcurso de la investigación. Tiene la capacidad de resolver los inconvenientes surgidos durante el transcurso de la investigación y plantear modificaciones en función de los resultados que se obtengan.

2.2.3. LABOR DEL INGENIERO

El ingeniero es un miembro fundamental dentro del organigrama del estudio por lo que en esta sección especificaremos cada una de estas responsabilidades.

Antes de empezar el proyecto, tanto el ingeniero como el director deben establecer un plan de ruta en el que se define primeramente el propósito del proyecto, seguidamente el plan se tiene que fragmentar en distintas partes con sus respectivos tiempos de actuación. También una estimación de los equipos y materiales que van a ser requeridos en sus determinadas partes.

El ingeniero debe tener una serie de aptitudes técnicas y prácticas de la temática a trabajar en la investigación, para así poder introducir variaciones en los parámetros sometidos a simulaciones e interpretar los resultados obtenidos de estas reproducciones.

Además de esto, el grado de responsabilidad es alto, ya que una gran cantidad de datos han sido cedidos por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos debido a un estudio anterior con la marca citada en el documento anterior. Por lo que se debe tener sumo cuidado a la hora de manipular este tipo de datos, con unos términos de confidencialidad.

Por último el ingeniero, sabiendo la finalidad del proyecto, debe mostrar una capacidad crítica conforme a los resultados obtenidos en cada una de las partes del presente proyecto y extrayendo las conclusiones oportunas, siempre supervisadas y corroboradas por el director del proyecto.

2.2.4. DEBER Y DERECHO DEL INGENIERO

Asimismo de todos requisitos que tiene que cumplir el ingeniero, en este apartado se van a enumerar los derechos y obligaciones a los que se expone este integrante.

El ingeniero debe denotar iniciativa a la hora de preparación de cada proceso en la investigación. Donde, junto con el director del proyecto, se debe establecer una serie de directrices y métodos de trabajo, cediendo en todo momento cualquier herramienta que permita el progreso de la investigación.

En relación a los derechos, el ingeniero necesita del apoyo tanto de los otro miembros que componen el proyecto como del apoyo económico para la producción del mismo. Por lo que la disponibilidad del director del proyecto es fundamental para poder tratar todos los avances e inconvenientes surgidos en el estudio de una manera consensuada y siempre verificando la validez de resultado obtenido.

Para finalizar este apartado, al ingeniero le deben ser suministrados los materiales, herramientas y equipos necesarios para la realización del proyecto. De eso se encarga el Departamento de Máquinas y Motores como promotor.

2.3. CONDICIONES EN EL PUESTO DE TRABAJO

Las condiciones referidas al puesto de trabajo están reflejadas en el Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, documento en el cual se trata de una manera más específica cada una de las condiciones a describir.

Prácticamente todo el proyecto ha sido elaborado en el ámbito computacional, no se ha necesitado la realización de un ensayo para su desarrollo, consecuentemente tampoco se ha solicitado el acceso a una sala de características determinadas. Por lo que en los próximos apartados se expondrá las normativas referentes a ruidos, iluminación o seguridad entre otras.

2.3.1. CONDICIONES TERMOHIGROMÉTRICAS

El Real Decreto 486/1997 insta una serie de pautas a seguir en función de la temperatura y humedad para trabajar de un modo confortable.

La temperatura disponible en la sala de trabajo se establece entre 20-24°C en temporada de invierno y entre 23-26°C para temporada de verano. En ningún caso debe extralimitarse del intervalo de 17°C a 27°C. Para poder manejar estos registros la sala debe estar correctamente condicionada, de eso se encarga los sistemas centralizados de refrigeración y calefacción en el lugar de trabajo.

La humedad está establecida entre el 30% y el 70%. Este registro está regido independientemente al valor de temperatura de la sala para evitar problemas de sequedad en ojos y mucosidades.

Aun así, la sensación de comodidad es muy relativa, se puede distorsionar de diferentes maneras: temperatura, humedad y velocidad del aire son las principales variables pero tanto la vestimenta como la tarea a realizar influyen en la disposición que tiene el trabajador en el lugar de trabajo.

2.3.2. ERGONOMÍA

Este apartado está dedicado a la exposición de un miembro del proyecto en el puesto de trabajo, en concreto, las posturas que debe adoptar para no tener problemas posturales durante el desarrollo del proyecto. Todas estas especificaciones se recogen en el Anexo al Real Decreto 488/1997, de las que se han ido obteniendo variaciones acordes con el tipo de estudio de trabajo a evaluar, por ello, se han definido unos patrones de fabricación en el mobiliario para poder adecuarlos a la normativa vigente:

- Asiento: Tanto la altura como su inclinación deben poderse ajustar en función de las características de su uso. Su contorno debe dar comodidad al usuario. Además debe permitir cierta transpiración para que el calor producido con el usuario pueda ser evacuado con facilidad. Por último, el asiento debe facilitar el desplazamiento por la sala.

- Colocación de la pantalla: La pantalla debe estar entre 40-80 cm de distancia del usuario para obtener un grato confort visual. Respecto al plano horizontal, la pantalla se debe situar para el usuario dentro de un ángulo de entre los 120° y 70° de su visión correspondiente.

- Mesa: Las medidas correspondientes a la mesa deben de permitir una variación en la colocación de la pantalla y el teclado del ordenador. Además se debe tener en cuenta el espacio dedicado al material de apoyo. Durante el uso de libros y artículos en la mesa, el usuario debe tener libertad de movimientos en su superficie. La altura tiene que permitir una postura correcta del usuario frente al ordenador.

- Mobiliario de la sala: El mobiliario debe transmitir una sensación seria de la sala, mediante colores neutros y de superficie mate para evitar reflejos. Es conveniente que todos los materiales permitan la fuga de calor para que no llegue al usuario.

- Pantalla: Su altura debe ser ajustable y reclinable para beneficio del usuario y la imagen tiene que presentarse estable. Puede variar la configuración de la pantalla según el tipo de ambiente para su uso, en concreto la luminosidad y el contraste producido en el fondo de la pantalla.

- Postura: A continuación se va a definir una serie de posiciones y consejos para que el usuario pueda realizar su trabajo sin problemas posturales. Las piernas deben presentar una posición vertical, formando 90° con los muslos. A su vez el antebrazo se debe colocar de manera horizontal, frente a la posición vertical de los brazos, igualmente formando 90°. La columna vertebral debe estar recta, el usuario se puede ayudar de un reposabrazos.

- Ratón: Se debe adoptar a la fisiología de la mano, permitiéndole al usuario realizar movimientos continuos durante horas sin denotar cansancio en la zona. Se puede acompañar de algún complemento para apoyar el antebrazo en la mesa.

- Teclado: Debe ser independiente respecto al resto del equipo, para que el usuario pueda situarlo de la mejor manera posible. La inclinación máxima es de 25° con respecto a la superficie de la mesa. y la fila central no debe sobrepasar los 3 cm con la misma. Es opcional la utilización de un soporte para las manos.

2.3.3. ILUMINACIÓN

Una de los elementos principales en un ambiente de trabajo es la iluminación, la cual puede ser natural, artificial o una mezcla de ambas. Es aconsejable utilizar luz natural siempre que sea posible, aunque se puede completar con luz artificial. Estas estimaciones pueden variar según la hora del día y de la temporada del año.

Para cada circunstancia se debe evitar deslumbramientos y reflejos excesivos entre zonas de distinta intensidad lumínicas en relación con la

normativa reproducida en el Anexo IV del Real Decreto 486/1997. La zona de trabajo debe tener iluminación general que puede ser combinada con una fuente individual y eludir situaciones de cansancio visual para el trabajador.

Se recomienda que la pantalla en la zona de trabajo se coloque de una forma paralela a las ventanas de la sala, y no de manera inversa para evitar deslumbramientos accidentales, producidos por las condiciones ambientales o por la propia distribución de la sala. Aun así se puede evitar la entrada excesiva de luz mediante cortinas o persianas.

Para finalizar este apartado se aconseja el uso de luces de emergencia para poder permitir la orientación de los trabajadores dentro de la instalación.

2.3.4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica debe estar proyectada, puesta en funcionamiento y mantenida por una empresa autorizada por el Ministerio de Industria y Energía o la Consejería de Industria o similar de la Comunidad Valenciana. La empresa adjunta, debe dotar a la instalación con las medidas de seguridad pertinentes en los Reglamentos de Baja y Alta Tensión, mediante aislamientos de tomas de contacto frente a los trabajadores que habitualmente conviven en ese recinto.

Se debe cumplir los límites sobre emisiones electromagnéticas, las cuales deben ser de valor insignificante para la seguridad y salud de los empleados. Además se debe asegurar el perfecto estado de los componentes de la instalación eléctrica (cables y equipos) y separar los cables telefónicos de los eléctricos.

Por último se deberán construir unas bases determinadas para próximas ampliaciones e igualmente permitiendo un cómodo acceso a cada trazado de cableado para su correspondiente mantenimiento sin la necesidad de paralizar las actividades que se estén llevando a cabo en determinados momentos.

2.3.5. MEDIDAS DE EMERGENCIA Y EVACUACIÓN

Según la normativa vigente, la instalación debe habilitar varias medidas de emergencia y evacuación. En caso de desocupación del edificio por una urgencia, se debe disponer de salidas de emergencia perfectamente señalizadas y desocupadas para que la evacuación sea lo más rápida posible.

2.3.6. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

En relación a la normativa vigente, la instalación debe estar abastecida de utensilios como mangueras o en su defecto extintores. Aparte secciones de la construcción deben haber sido obrados con materiales ignífugos con el objetivo de que el personal ubicado en la instalación pueda realizar su evacuación sin someterse a este riesgos. El mantenimiento de estos componentes es llevado a cabo por las empresas que poseen este certificado de seguridad.

2.3.7. RUIDO

La normativa referente a ruidos está recogida en el Real Decreto 286/2006 publicado el 10 de Marzo, en la cual se detallan las medidas oportunas a aplicar en la instalación en caso de que se sobrepasen los límites adoptados por la ley. Para esto, se debe estudiar la exposición que tienen los trabajadores frente al ruido producido en la instalación y si es preciso, programar citas médicas como las indicadas en el Real Decreto.

Dado que se trata de un estudio computacional, los ruidos reproducidos dentro de la sala no superan los límites de la normativa. La ubicación de la sala de trabajo se encuentra dos plantas por encima de las zonas de ensayos, además las herramientas utilizadas en este proyecto no general prácticamente ruido alguno.

CAPÍTULO 3

CONDICIONES

PARTICULARES DEL PLIEGO

3.1. INTRODUCCIÓN

Durante este capítulo se va a enumerar una pluralidad de características en relación a las condiciones tanto del software como del equipo informático. Hay que recordar que para el desarrollo de este proyecto van a ser utilizadas herramientas de cálculo, de generación de textos o incluso de confección de gráficas. En referencia a los requisitos de los equipos informáticos, no es necesario tener un potente ordenador para tratar con este volumen de datos.

3.2. REQUISITOS DEL SOFTWARE

El presente proyecto es elaborado por medio de tres programas, los cuales deben ser obtenidos de manera legal. Esto se consigue por medio de las licencias de cada uno de ellos. Una vez que se ha solicitado la licencia del producto en cuestión, los usuarios se comprometen a someterse a los requisitos impuestos por las empresas creadoras de estas herramientas.

El documento permite la legalidad de uso al propio usuario, estipulando cada uno de los términos que autorizan el empleo de la copia de este. Aparte de toda condición redactada en el documento, se debe cumplir la Ley de Propiedad Intelectual vigente. El software en el que se basa el proyecto es LMS Imagine.AMESim 15, un programa de modelado cuya licencia está en manos de su desarrollador, Siemens PLM Software. El Departamento de Máquinas y Motores Térmicos ha realizado el desembolso de esta licencia, su precio se

especificará en el documento relacionado al presupuesto. Microsoft Office ha sido empleado para la generación de textos y tablas de exposición, cuya licencia cubre la Universidad Politécnica de Valencia. Adicionalmente la UPV también posee la licencia de Grapher 10, una herramienta de tratamiento de datos con una directriz de exponer cada uno de los resultados obtenidos en este proyecto de una forma clara y directa para el receptor.

3.3. REQUISITOS DEL EQUIPO INFORMÁTICO

El desarrollo en este trabajo se ha llevado a cabo con un ordenador personal, sin ninguna característica dedicada a un requerimiento concreto. Este equipo ha elaborado el modelo del inyector, asumiendo cada una de las simulaciones propuestas durante la investigación. Por último ha confeccionado gráficamente una correcta puesta en escena de estos resultados. En la tabla 1.1 se especifican cada una de estas características:

Tabla 1.1: Características técnicas del equipo de trabajo.

Equipo	Acer
Procesador	Intel® Core™ i7-3612QM CPU
Memoria RAM	8,00 GB
Capacidad disco duro	782 GB
Tipo de Sistema	Sistema operativo de 64 bits
Sistema Operativo	Windows 10

DOCUMENTO III
PRESUPUESTO

INDICE DEL DOCUMENTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	5
1.1. INTRODUCCIÓN	5
1.2. EXPOSICIÓN DEL MODELO PRESUPUESTARIO.....	5
1.3. ARGUMENTO DE LA MANO DE OBRA.....	6
1.3.1. ANÁLISIS DE HORAS.....	6
1.3.2. ANÁLISIS DE COSTE POR HORAS.....	7
1.4. PARTE COMPUTACIONAL.....	9
1.4.1. JUSTIFICACIÓN DE COSTES DE SOFTWARE.....	9
1.4.2. JUSTIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIÓN.....	9
1.4.3. PRESUPUESTO DE LA PARTE COMPUTACIONAL.....	10
1.5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	11

CAPÍTULO 1

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

En este tercer documento vamos a exponer el presupuesto requerido para el proyecto, separando los tipos de costes para obtener presupuestos parciales. Se pueden distinguir entre mano de obra y equipos computacionales del sumatorio de cada una de estas partes se obtiene el presupuesto total.

Todos y cada uno de los equipos que se han empleado en este estudio están situados en las instalaciones del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Ya que ninguno de estos componentes ha sido adquirido para la confección del presente proyecto solo se tendrá en cuenta la amortización en relación con la utilidad de los equipos.

1.2. EXPOSICIÓN DEL MODELO PRESUPUESTARIO

Existen diferentes maneras de redactar el presupuesto de un proyecto, pero no todas son aptas para la temática y constitución del trabajo en cuestión. Para este caso los tipos de costes se dividirán según su naturaleza y se sumarán con el objetivo de obtener el presupuesto total ya que no se procede a una parte experimental dentro del mismo, solamente incluyendo mano de obra y equipos computaciones.

De este modo el presupuesto total será el sumatorio de los presupuestos parciales de la mano de obra y los equipos especificados. Posteriormente se le estima un aumento del 5% como consecuencia de costes imprevistos y contratiempos inoportunos. Por último a ese valor se le debe aplicar el 21%.

correspondiente del Impuesto sobre el Valor Añadido. La unidad monetaria es el euro (€). En los próximos apartados se formalizarán las condiciones marcadas en la normativa vigente y se presentarán los cálculos de cada partición.

1.3. ARGUMENTO DE LA MANO DE OBRA

Durante este apartado se va a realizar un desglose de la mano de obra producida en el presente proyecto. Figuras como por ejemplo la del profesor ayudante o la del autor del trabajo son analizadas en concepto de:

- Horas trabajadas en un año.
- Coste por hora de cada componente.

Para poder establecer una estimación con las horas de ejecución del proyecto respecto a al precio de la mano de obra.

1.3.1. ANÁLISIS DE HORAS

En esta parte se describen las horas realizadas por cada uno de los componentes del proyecto. Para este caso, se han contabilizado las horas del alumno con las correspondientes a los créditos del TFG. Además, las horas del profesor ayudante han sido determinadas de una manera aproximada a la realizada. El tiempo dedicado de cada componente se muestra en la Tabla 1.1. y en la Tabla 1.2.

Tabla 1.1. Tiempo dedicado por el autor.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Créditos TFG	12	créditos
Tiempo por crédito	30	h / crédito
Tiempo Total	360	h

Tabla 1.2. Cómputo total de horas por cada miembro.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Alumno	360	h
Profesor Ayudante	30	h

1.3.2. ANÁLISIS DE COSTE POR HORAS

Para estimar el coste por horas de los componente del proyecto se deben en cuenta los salarios brutos de cada uno de ellos. En este caso solo se tiene valorará el salario base, por lo que no considerará la adicción de ningún suplemento.

Los datos han sido obtenidos por el convenio referido al Personal Docente e Investigador de la Universidad Politécnica de Valencia durante el curso 2017-2018, está información se puede observar en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Salarios base de los integrantes.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Alumno	5.100	€/año
Profesor Ayudante	18.086,38	€/año

En relación con las horas trabajadas al año por el profesor ayudante se estima entorno, 1840 horas. El resultado es consecuencia de las 46 semanas trabajadas por año, justificando un total de 40 horas cada semana (8 horas

diarias). Con este último dato ya podemos calcular el coste por hora en la Tabla 1.4. de cada uno de los componentes.

Tabla 1.4. Coste por hora de los integrantes.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Alumno	4,43	€/hora
Profesor Ayudante	9,83	€/hora

1.3.3. PRESUPUESTO DE LA MANO DE OBRA

Obtenidos los costes por hora de cada integrante del proyecto ya justificados en apartados anteriores, en la Tabla 1.5. se estimula un presupuesto parcial correspondiente a la mano de obra, sin contar equipos ni materiales.

Tabla 1.5. Presupuesto de mano de obra.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Alumno	1.594,80	€
Profesor Ayudante	294,89	€
Total	1.889,69	€

Por tanto, el coste total de la mano de obra en este proyecto es de **MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y NUEVE EUROS CON SESENTA Y NUEVE EUROS.**

1.4. PARTE COMPUTACIONAL

En la parte computacional se van a especificar cada uno de los elementos que componen los equipos de trabajo. Durante los capítulos expuestos en el primer documento de este proyecto (memoria) se han enumerado las distintas herramientas computacionales. En este apartado se detallan los costes relacionados con las siguientes licencias de software: AMESim, Microsoft Office y Grapher 10. También se expondrá tanto el equipo informático como costes añadidos de la instalación.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN DE COSTES DE SOFTWARE

Cada una de las herramientas de software es obtenida mediante una licencia. Para este proyecto se han requerido tres programas. Microsoft Office para la generación de textos y tablas, cuyo coste de licencia alcanza los 115 euros cada año. Grapher 10 consiste es un instrumento dedicado a la creación y edición de gráficos, su coste de licencia es de unos 359,33 euros. Por último, AMESim es el software destinado al desarrollo del proyecto y su continuo estudio entorno al elemento de estudio, el inyector. Esta herramienta de simulación tiene una licencia cuyo coste asciende a los 2000 euros.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIÓN

Para el presente proyecto se ha necesitado la disponibilidad de un ordenador particular. El coste de amortización de este PC se calculará en base a su valor de compra (750 euros), su periodo de amortización (3 años) y su valor residual con respecto al valor de compra (85%).

$$C.A. = \frac{(1-0,15) \times 750}{3} = 212,5 \text{ €/año} \quad (1.1)$$

En esta sección también se ha introducido el material fungible utilizado durante el desarrollo del proyecto. El coste de la electricidad es de 0,15 €/kWh, y la potencia empleada por el ordenador es de 40 W, por lo que:

$$E = P \times t = 40 \times 360 = 14400 \quad (1.2)$$

$$\text{Coste M. fungible} = E \times C = 14400 \times 0,15 = 2,16 \text{ €} \quad (1.3)$$

1.4.3. PRESUPUESTO DE LA PARTE COMPUTACIONAL

Tabla 1.6. Resumen coste de la parte computacional.

CONCEPTO	CUANTÍA	UNIDADES
Licencia AMESim	2.000	€
Licencia Microsoft Office	115	€
Licencia Grapher	359,33	€
Equipo Particular	212,5	€
Material Fungible	2,16	€
Total	2.688,99	€

Siendo el coste de presupuesto de la parte computacional de **DOS MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

1.5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Por último, en la Tabla 1.7. se añade una estimación del 5% en referencia a los costes imprevistos y sobre esa misma suma se aplica un 21% correspondiente al Impuesto del Valor Añadido.

Tabla 1.7. Presupuesto total del proyecto.

PRESUPUESTO TOTAL		
Concepto	Importe	Unidades
Presupuesto parcial de la mano de obra	1.889,69	€
Presupuesto parcial de la parte computacional	2.688,99	€
SUBTOTAL	4.578,68	€
Costes Imprevistos (5%)	228.94	€
TOTAL NETO	4.807,62	€
IVA (21%)	1.009,60	€
TOTAL	5.817.22	€

Por lo que el presupuesto total necesario para la realización de este proyecto se estima en la cantidad de **CINCO MIL OCHOCIENTOS DIECISIETE EUROS CON VEINTIDOS CÉNTIMOS.**