



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PORTÁTIL PARA LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES COMBUSTIBLES DE SUSTITUCIÓN

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ CORTINA

TUTOR: RAÚL PAYRI

COTUTORES: JOSE ENRIQUE DEL REY
ALBERTO VIERA

Curso Académico: 2015-16

AGRADECIMIENTOS

A mi familia

A mis compañeros

A mi tutor y mis cotutores

A todo el personal del CMT

Sin su ayuda y su apoyo este trabajo no habría sido posible

RESUMEN

El presente trabajo final de grado recoge los conocimientos, técnicas y los procesos necesarios para la fabricación de un sistema antivibratorio ideado para un conjunto motor-bomba de tamaño medio, con el fin de reducir el ruido generado en este tipo de sistemas.

Para tal fin se han empleado programas de diseño y cálculo, específicamente SolidWorks y Matlab. El primero ha servido para diseñar los nuevos componentes requeridos, mientras que el segundo ha permitido el tratamiento de los datos obtenidos en el laboratorio, constatando así las mejoras alcanzadas al final del proceso.

El sistema en conjunto permite ensayar varios tipos de combustible, al mismo tiempo que facilita el transporte entre salas para adecuarse a las condiciones de ensayo requeridas, todo ello con una reducción en sonido y vibración significativas.

Palabras Clave: Diésel, Inyección.

RESUM

Aquest treball final de grau descriu els coneixements, tècniques y processos necessaris per a la fabricació d'un sistema antivibratori pensat per a un conjunt motor- bomba de tamany mitjà, amb la finalitat de reduir el soroll causat en aquest tipus de sistemes.

Per aquest projecte ha sigut necessari la utilització de programes de càlcul i disseny, específicament SolidWorks i Matlab. El primer ha estat útil per al disseny de les noves parts i el segon ha permès tractar la informació obtinguda al laboratori per a constatar les millores realitzades al final del procés.

El sistema sencer és capaç d'assajar diversos tipus de combustible, al mateix temps que facilita el transport entre instal·lacions per a adaptar-se a les condicions d'assaig requerides, conjuntament amb una reducció apreciable en soroll i vibracions.

Paraules Clau: Dièsel, Injecció.

ABSTRACT

The current essay details the needed knowledge, techniques and procedures for the manufacture of an attenuation system to be used with a medium sized motor and pump, so as to reduce the generated noise in this type of systems.

For this project, several programs have been used, specifically SolidWorks and Matlab. The first has provided the necessary tools for component design, while the later has proven useful for laboratory data posttreatment, so as to demonstrate an upgrade in the end of the process.

The system as a whole allows to test different types of fuel, while it can be easily transported between laboratories so as to adequate to the needs of the researchers. In addition, it shows a significant reduction in noise and vibration levels

Key Words: Diesel, Injection.

ÍNDICE

DOCUMENTO N°1 MEMORIA DESCRIPTIVA
DOCUMENTO N°2 PRESUPUESTO
DOCUMENTO N°3 PLANOS

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción.....	3
1.1 Motivación y Antecedentes	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodología Empleada.....	5
1.3.1 Diseño de componentes	5
1.3.2 Medición de la vibración y el sonido	5
1.4 Viabilidad	7
2. Marco Teórico.....	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Generalidades sobre los MCIA	8
2.3 Inyecciones en Motores Diésel.....	9
2.3.1 Sistema de inyección mecánica con bomba en línea.....	10
2.3.2 Inyección electrónica con inyectores bomba.....	11
2.3.3 Inyección mediante Common Rail	12
2.4 Principios Básicos del Modelado con Programas CAD.....	13
2.4.1 Modelado de sólidos.....	13
2.4.2 Modelado basado en restricciones.....	14
2.5 Principios Básicos de las Bombas Alternativas.....	15

3. Conjunto de Inyección Diesel	16
3.1 Descripción General	16
3.1.1 Estructura.....	17
3.1.2 Ciclo de alta presión	18
3.1.3 Ciclo de baja presión	19
3.1.4 Circuito de refrigeración.....	20
3.1.5 Motor, transmisión y bomba.....	21
3.1.6 Cuadro eléctrico.....	23
3.2 Mecanismos de Atenuación de Vibración	24
3.2.1 Módulo de atenuación tipo Silentblock.....	25
3.3 Diseño y Simulación de la Placa Base	26
3.3.1 Esquema del análisis estático	27
3.3.2 Alternativas de distribución.....	29
3.4 Configuraciones de Arranque en el Cuadro Eléctrico	32
3.4.1 Tipos de Configuración	32
4. Montaje.....	35
4.1 Desarme del Carrito Anterior	35
4.2 Instalación de Piezas Antivibratorias	37
4.3 Montaje y Puesta a Punto	39
5. Ensayos	40
5.1 Ejecución de Ensayos	40
5.2 Análisis de los Resultados de Vibración	41
5.2.1 Resultados de la configuración original	41
5.2.2 Resultados de la nueva configuración	42
5.2.3 Contraste de resultados	43
5.3 Tratamiento Mediante FFT.....	46
5.3.1 Espectro a 500 bar	47
5.3.2 Espectro a 100 bar	48
5.3.3 Espectro a 1500 bar	49
5.4 Resultados de Ruido	50
6. Conclusiones y Futuras Mejoras.....	52
7. Bibliografía.....	54

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Introducción	57
2. Cuadro de Precios Descompuestos.....	58
2.1. Definición de Precios y Rendimientos	58
2.1.1. Coste de la mano de obra.....	58
2.1.2. Rendimiento y precios para los recursos energéticos	60
2.1.3. Tasa horaria de las máquinas empleadas	60
2.2. Unidades de Obra	62
2.2.1. Tutor responsable del proyecto.....	62
2.2.2. Técnico de laboratorio, cotutor.....	63
2.2.3. Alumno	63
2.2.4. Ensayos	64
2.2.5. Montaje	65
2.2.6. Licencias	65
2.2.7. Componentes comprados.....	66
3. Cuadro de Mediciones.....	67
4. Resumen del Presupuesto	68

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. Plano de la placa base.....	72
---------------------------------------	-----------

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Efectos nocivos del sonido. Fuente: Observatorio Salud y Medioambiente.....	4
Figura 2 Acelerómetro Kistler.....	6
Figura 3 Sonómetro Benetech	6
Figura 4 Ciclo de los MCIA.	8
Figura 5 Inyección con bomba en línea.....	10
Figura 6 Inyector bomba. Fuente: Payri & Desantes, 2011	11
Figura 7 Sistema de inyección Common Rail	12
Figura 8 Inyección en MEP.	12
Figura 9 Operadores booleanos.	13
Figura 10 Restricciones en el dibujo.	14
Figura 11 Esquema básico de una bomba de pistones.	15
Figura 12 Caudal de una bomba de 3 pistones	15
Figura 13 Diagrama de subsistemas del sistema de inyección.....	16
Figura 14 Perfil 45x45 de aluminio.....	17
Figura 15 Estructura del carrito.....	18
Figura 16 Ciclo del diésel de alta presión	19
Figura 17 Ciclo del diésel de baja presión.....	20
Figura 18 Intercambiador de calor	21
Figura 19. Transmisión rígida	22
Figura 20. Bomba volumétrica del carrito.....	22
Figura 21. Cuadro eléctrico del carrito.....	23
Figura 22 Silentblocks	25
Figura 23 Placa en L.....	26
Figura 24 Plancha antivibración completa	26
Figura 25 Placa base vista desde abajo.....	27
Figura 26 Esquema de cargas estáticas	28
Figura 27 Distribución n°5	29
Figura 28 Distribución n°7	30
Figura 29 Distribución definitiva, n°8	32
Figura 30 Curva del arranque directo.....	33
Figura 31 Esquema de un arranque estrella-triángulo típico.....	33
Figura 32 Variador de frecuencia Siemens	34
Figura 33 Puente grúa del CMT	36
Figura 34 Estructura del carrito, "frame"	36
Figura 35 Tornillos cabeza martillo empleados	37
Figura 36 Placa base con los componentes caucho metal instalados	38
Figura 37 Placa base descansando sobre los Silentblocks.....	38
Figura 38 Montaje del carrito terminado.....	39
Figura 39 Vibraciones en el carrito viejo	41
Figura 40 Vibraciones con el nuevo sistema.....	42
Figura 41 Comparación de vibración a 500 bar	43
Figura 42 Comparación a 1000 bar	44

Figura 43 Comparación a 1500 bar	45
Figura 44 Efecto de la FFT	46
Figura 45 Comparación a 500 bar	47
Figura 46 Comparación a 1000 bar	48
Figura 47 Comparación a 1500 bar	49
Figura 48 Mediciones de sonido con 3 puntos	50
Figura 49 Mediciones de sonido con 10 puntos	51

DOCUMENTO N°1
MEMORIA DESCRIPTIVA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y Antecedentes

En el CMT-Motores Térmicos (de ahora en adelante CMT) se deben de ensayar de inyectores diésel constantemente, siendo esta un área fundamental de la empresa dado el elevado volumen de trabajo que genera, debido a que es una de las tareas principales a las que se dedica todo el departamento de inyección.

Con estos resultados de los ensayos es posible detectar los fallos en las piezas, comprar modificaciones o apoyar una decisión entre distintos inyectores. Todo esto son los datos que deben proporcionar a sus clientes.

Para satisfacer esta demanda particular del CMT, la utilización de un sistema móvil de inyección es una necesidad. Debe ser una configuración móvil para que se pueda transportar a distintas salas de ensayo, y flexible para que se adecue a todas las pruebas a realizar (es decir, para una amplia gama de sistemas de inyección distintos).

Paralelamente a esta motivación técnica, el presente escrito sirve para que el alumno pueda obtener el título de graduado en ingeniería industrial, demostrando el conocimiento teórico adquirido en los cuatro años de grado.

Sirva también el presente texto, y todos sus documentos, como base para futuras modificaciones realizadas al sistema portátil, para cuando llegue el momento de que la empresa se plantee modificar alguna parte.

Cabe destacar que este sistema ya ha sido construido anteriormente. Aun así, el presente modelo va a introducir mejoras en una nueva maqueta que va a suplir ciertas carencias de diseños anteriores, así como recoger varias propuestas de mejora para alcanzar un sistema más eficiente y flexible. Para llevarlas a cabo se han tenido que realizar ciertas modificaciones en las conexiones principales de la estructura previa.

Para cumplir dichos objetivos, la aplicación teórica de los conocimientos aprendidos en el grado se hace imprescindible. Así pues, la estructura principal debe soportar todos los esfuerzos recibidos, por lo que serán necesarios los análisis mecánicos pertinentes. Además, el sistema eléctrico debe demostrarse seguro y eficaz, tal y como se ha explicado en las asignaturas eléctricas del grado. Y, por último, en línea con lo aprendido en las asignaturas de dibujo, se ha diseñado con software tipo CAD.

1.2 Objetivos

Este trabajo toma la base del diseño existente, para incluir mejoras y propuestas surgidas del CMT y del alumno, junto con otras alternativas que se consideraron, tratadas en la parte de selección de la solución óptima y la justificación de dicha decisión. Se han perseguido principalmente dos áreas en las que mejorar el sistema.

La vibración, causante del ruido en el tiempo de ensayo, era una principal desventaja del modelo anterior. En presiones de inyección altas, de 1500 bar en adelante, se disparaba el ruido que hacía el motor, lo que llegaba a ser molesto en un ensayo largo o en una sucesión de estos. Sin la necesidad de estar físicamente en la sala de ensayos, es posible oír constantemente el ruido de los ensayos, siendo este el mayor punto negativo a la hora de realizar un ensayo.

Además, los efectos de la contaminación acústica pueden llegar a ser severos, encontrándose entre los posibles efectos la pérdida de sueño, mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, irritabilidad y nerviosismo, tal y como vemos en la siguiente figura (Observatorio Salud y medioambiente, 2012).

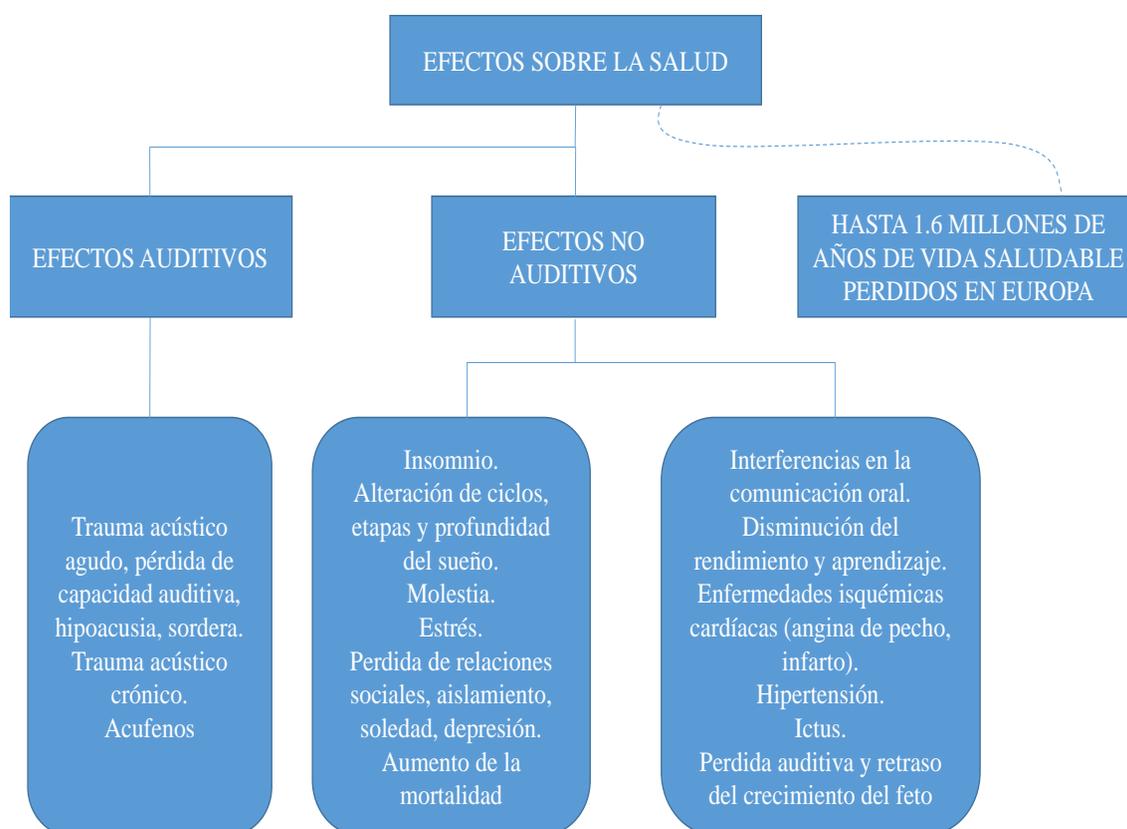


Figura 1 Efectos nocivos del sonido. Fuente: Observatorio Salud y Medioambiente

Es, por tanto, el deber de esta nueva propuesta reducir el nivel de sonido, para lo cual hace falta disminuir la intensidad de las vibraciones. Esta tarea será uno de los principales objetivos de este escrito.

Además de ser preciso en sus medidas, un equipo de medición debe tener una buena respuesta frente a los cambios en los denominados inputs. En este caso, la entrada principal para la fuente de potencia, el motor eléctrico de 11kw, es el impulso eléctrico que recibe y la forma en el que lo traduce a energía mecánica. La mejora de la respuesta frente a cambios bruscos, tales como el arranque del motor, es un objetivo secundario de este trabajo, pues esto permite alargar la vida útil del equipo y al mismo tiempo reducir, de nuevo, el ruido generado.

Tales cambios no son posibles sin modificaciones importantes al sistema antiguo, y se ha de seleccionar cuidadosamente entre varias alternativas con el fin de maximizar los beneficios a conseguir, al precio más económico posible.

1.3 Metodología Empleada

1.3.1 Diseño de componentes

El diseño, o rediseño en algunos casos, ha sido necesario en varias áreas del sistema. Para tal fin, y siguiendo los procedimientos empleados en el CMT, se ha empleado software CAD, que ha permitido agilizar los procesos de diseño y adecuación a las necesidades de la empresa.

Para las alternativas, dado que en este caso se parte de un problema muy específico, con parte de la solución definida (el sistema original), se ha considerado adecuado contrastar las ventajas y los inconvenientes de la viabilidad de distintas opciones. Para algunas se ha hecho indispensable utilizar programas informáticos que analicen la totalidad de las alternativas, discutiendo y contrastando los resultados ofrecidos, obteniendo información fiable en poco tiempo para poder analizar muchas configuraciones.

Para ello, el programa utilizado ha sido SolidWorks 2012 x64 Edition, con su parte de diseño 2D y 3D para la elaboración de las nuevas piezas, y su sección de Simulation, donde se ha podido analizar el impacto de distintas configuraciones, con el fin ya comentado antes de la selección de la solución óptima.

Mientras que SolidWorks es un software que no se enseña en el grado, los alumnos están capacitados para utilizarlo pues sus herramientas básicas son comunes a Autodesk Inventor, el cual sí que es motivo de materia en el grado.

1.3.2 Medición de la vibración y el sonido

Por otra parte, para medir la intensidad de las vibraciones y poder demostrar una mejora en la reducción de sonido, parte fundamental de este TFG, se han realizado ensayos con acelerómetros Kistler Type 5015 y sonómetros Benetech GM 1351. Este equipo, junto con los demás útiles de laboratorio, han sido proporcionados por el CMT.



Figura 2 Acelerómetro Kistler



Figura 3 Sonómetro Benetech

Los ensayos han sido realizados en varias salas de la zona de inyección, acondicionadas para ello. Se hará referencia a los ensayos más adelante.

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Los resultados de los laboratorios han sido tratados en varios scripts de Matlab, ya preparados para tomar los archivos proporcionados por el equipo de medición y transformarlos en gráficos donde poder apreciar la reducción en la vibración. Los scripts principales utilizan funciones realizadas por el CMT (por ejemplo, para el volcado de datos en una matriz), pero han tenido que escribirse desde cero para este proyecto en concreto.

1.4 Viabilidad

La viabilidad de este proyecto estaba prácticamente garantizada desde las primeras fases, pues surge de una necesidad urgente del CMT, proyecto por el cual la empresa se ha comprometido a hacerse cargo de todos los costes derivados de la producción del sistema de inyección.

Para el estudio de dicha viabilidad, dado el carácter académico del trabajo, se considerará el presupuesto de la ejecución completa del sistema y los recursos humanos, que constan del alumno de ingeniería realizando el presente proyecto y los tutores que le han ayudado.

Para el sistema en cuestión ha sido necesaria la subcontratación de una empresa externa para mecanizar varias planchas de metal que hacen de soporte, y otra para el cuadro eléctrico, este es otro motivo por el que ha sido necesario el uso de diseño mediante SolidWorks, pues es el software empleado por dichas empresas.

En cuanto a la tecnología, los ensayos llevados a cabo en las instalaciones del CMT han empleado el material allí disponible, el cual ha sido más que suficiente para las mediciones requeridas en esta tarea. Además, el software necesario también ha sido suministrado por el CMT y la UPV al tener esta un convenio con SolidWorks Corp. (concretamente una licencia SEK, muy limitada en número para todos los estudiantes de la UPV).

Referente a los recursos humanos, el CMT cuenta con una gran cantidad de personal cualificado para este tipo de proyectos, donde su aporte ha sido de gran utilidad para guiar el trabajo y realizarlo en la menor cantidad de tiempo posible, tales como técnicos de laboratorio conocedores de las herramientas y métodos de montaje a emplear.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

En esta sección se hablará sobre los conceptos de la teoría básicos para ayudar a comprender gran parte, si no la totalidad, de este escrito. Toda esta teoría ha sido impartida en el grado en tecnologías industriales, y es adecuado recordarla ahora.

2.2 Generalidades sobre los MCIA

Los motores de combustión interna alternativos de cuatro tiempos son los más comunes en el mercado y el tipo de motor habitual con el que se trabaja en el CMT. Su funcionamiento en cada ciclo viene dado por la figura siguiente.

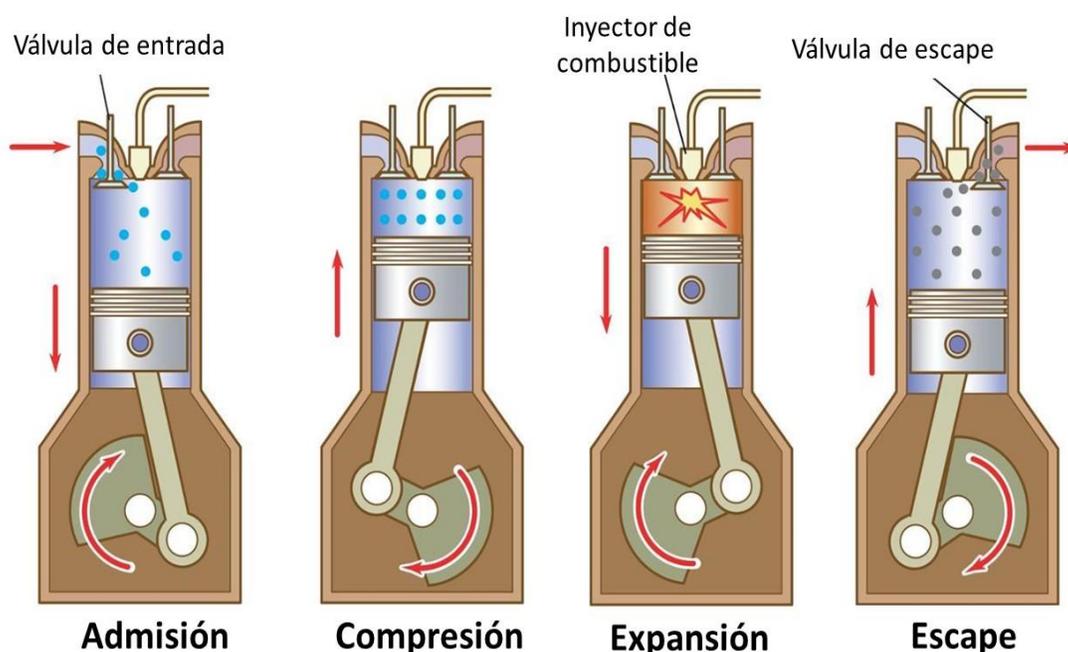


Figura 4 Ciclo de los MCIA. Fuente: www.reference.com

No obstante, este trabajo se centra en la parte de admisión, puesto que la maqueta (el sistema móvil) solo simula las condiciones de inyección de la mezcla, dejando fuera las otras fases del ciclo.

2.3 Inyecciones en Motores Diésel

Dado que el sistema portátil de inyección está ideado para trabajar con inyectores diésel exclusivamente, cabe destacar algunas peculiaridades de este tipo de motores (encendido por compresión o MEC). En este tipo de motores, la mezcla se enciende automáticamente debido a las condiciones generadas de presión, proporción de la mezcla y temperatura. Presenta ciertas ventajas e inconvenientes respecto al otro tipo de motores de combustión interna alternativa (Hervas, 2015).

- Alto rendimiento.
- Combustible económico.
- Mayor autonomía para la misma cantidad de combustible
- Baja potencia específica.
- Coste elevado.
- Elevada emisión de partículas sólidas y NOx (Óxidos de Nitrógeno).

Los motores MEC se alimentan primordialmente de gasoil. Dicho combustible debe reunir una serie de propiedades para poder utilizarse, tales como apropiados puntos de congelación para su uso, un poder calorífico de 42000 KJ/kg, un contenido máximo en azufre de un 1% y la capacidad, en mayor o menor medida, de poder lubricar (F. Payri y otros, 2011).

A la mezcla en MEC (aire y gasoil) se le exige además una elevada presión de inyección y que facilite los procesos de atomización (pasar de una vena líquida a gotas), mezcla y evaporación (conseguir gotas más pequeñas para que evaporen más rápido). Además, es importante alcanzar un proceso de mezcla rápido para poder agilizar el proceso de combustión (Ferguson, 1986).

La inyección debe comenzar en un punto claramente definido, también con una ley definida, lo que permitirá que el proceso de combustión reporte las mínimas emisiones contaminantes posibles a un rendimiento elevado (F. Payri y otros, 2011).

Las características del gasoil imponen que la mezcla se debe formar en el interior del cilindro, es decir, en la cámara de combustión (ver siguiente figura). Esta característica es intrínseca a todos los sistemas de inyección diésel, los cuales se dividen según su tipología.

2.3.1 Sistema de inyección mecánica con bomba en línea

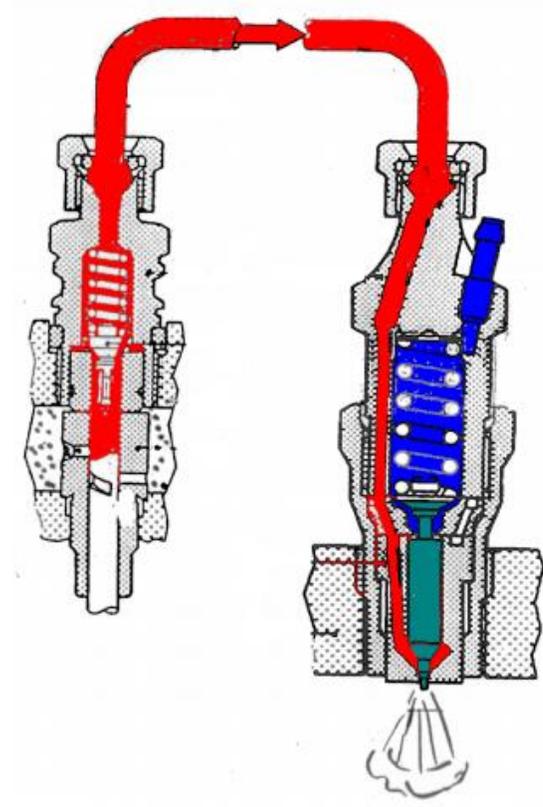


Figura 5 Inyección con bomba en línea. Fuente: Heywood, 1989

En este método de inyección, la bomba genera un pulso de presión, enviado hacia el inyector, el cual opera por presión. Dada su configuración, es un sistema que ha caído en desuso desde su invención en 1927.

En cuanto a sus desventajas, suelen tener problemas con la reflexión de ondas, además de una escasa flexibilidad, pues la presión de inyección está fuertemente vinculada al régimen de giro del motor.

La introducción de dicho sistema marco una gran tendencia en su tiempo, ya que permitió pasar de motores diésel de 200 rpm a motores con 3000 rpm (F. Payri y otros, 2011). Además, marcó el inicio de una línea de desarrollo para los sistemas de inyección diésel, lo que dio paso a la creación de los siguientes sistemas de inyección

2.3.2 *Inyección electrónica con inyectores bomba*



Figura 6 Inyector bomba. Fuente: Payri & Desantes, 2011

Los inyectores bomba suplen inconvenientes del sistema anterior, gracias a una presión generada *in situ*, que permite regular los pulsos en cuanto a instante y duración debido a su gestión electrónica. Sin embargo, su diseño requiere una culata compleja y solo pueden inyectar en ciertos ángulos del cigüeñal.

Es posible verlos en motores diésel grandes antiguos, tales como los de camiones de varios años de antigüedad, dada su introducción en el mercado en los años 80.

Conectados a la debida unidad de control, el carrito podría ensayar también estos inyectores, no obstante, son en muchos casos tecnología antigua y no se prevén ensayos con esta configuración de inyección.

2.3.3 Inyección mediante Common Rail



Figura 7 Sistema de inyección Common Rail. Fuente: Apuntes de Motores Térmicos para Automoción

Los inyectores Common Rail, muy comunes en el mercado, poseen una serie de ventajas frente a otros tipos de inyección. Es posible modificar el instante y la duración del pulso, llegando incluso a realizar varias inyecciones por ciclo, todo ello con una presión que no guarda relación con el régimen de giro, lo que brinda excelentes posibilidades de optimización.

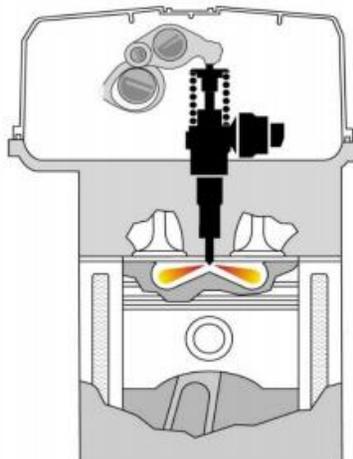


Figura 8 Inyección en MEP. Fuente: Apuntes de Motores Térmicos para Automoción

A consecuencia de ello, un buen diseño de la cámara de combustión es vital para maximizar la potencia ofrecida por el motor. Otro de los caminos posibles a seguir es la mejora de la calidad del combustible y del proceso de inyección en general, para ello se hace imprescindible un gran número de ensayos en los inyectores diésel, una de las razones por la cual se realizó este proyecto, adaptado para este tipo de inyección. Las características de dichos ensayos se explicarán en el correspondiente apartado.

2.4 Principios Básicos del Modelado con Programas CAD

Los programas CAD (Computer Aided Design) han ido incorporando a lo largo de su historia toda la tecnología informática que han considerado útil para lograr unos diseños más precisos, y más automatizables. Estos avances son comunes a la mayoría de los programas CAD, y entre los más destacables se encuentran los siguientes (Gomís y Otros, 1997).

2.4.1 Modelado de sólidos

Todos los sólidos a manejar deben de ser representables, debiendo ser rígido en cualquier posición y dirección, además de finito. Además, es necesario evitar cualquier tipo de ambigüedad en la interpretación y optimizar el uso de recursos informáticos empleados.

En este tipo de modelado, es aconsejable disponer de cierta facilidad a la hora de poder comprar y medir las propiedades de dichos sólidos, tales como las volumétricas. Para su modelado se emplean las denominadas operaciones booleanas.

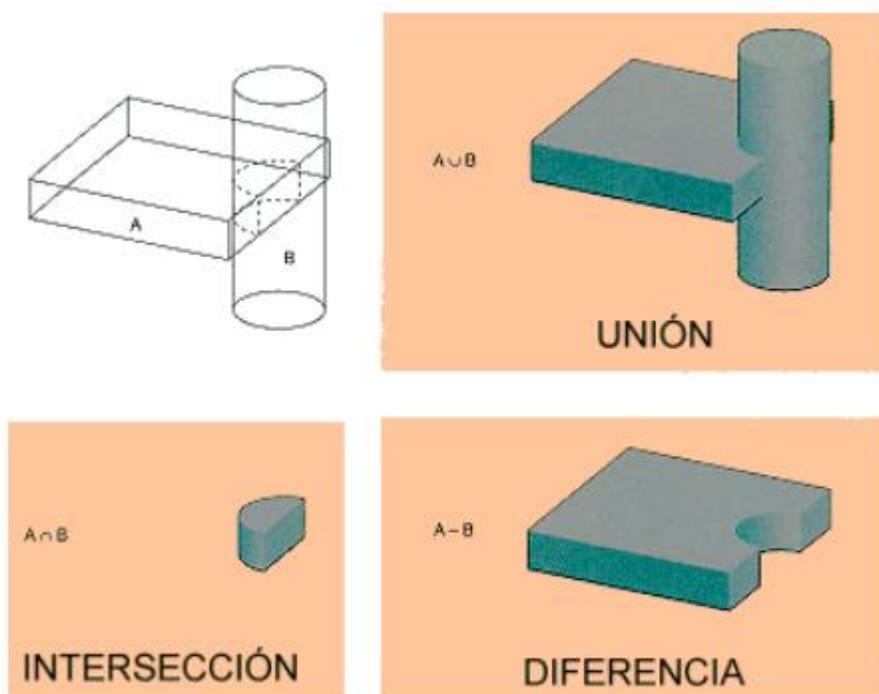


Figura 9 Operadores booleanos. Fuente: Apuntes de Ingeniería Gráfica

2.4.2 Modelado basado en restricciones

Esta es una parte primordial del diseño en CAD moderno, tanto en la parte de dibujo de esquema como en la posterior de ensamblaje. Las restricciones nos permiten asegurar los GDL (grados de libertad) de un sistema, que a su vez nos indica en que secciones o partes el sistema no está definido. Siempre ha de evitarse un sistema no definido, o con un GDL mayor que cero, pues esto significa que las áreas no definidas pueden cambiar su posición o tamaño de una forma nada intuitiva en caso de que se decida modificar el diseño más adelante.

Volviendo a las restricciones, se clasifican según su tipo y el número de GDL que restringen.

Numéricas	GDL	Geométricas	GDL
Ángulo	1	Paralelismo	1
Distancia	1	Perpendicularidad	1
Coordenadas	2	Concentricidad	2
Radio	1	Tangencia	1
Dirección	1	Colinealidad	1

Figura 10 Restricciones en el dibujo. Fuente: Apuntes de Ingeniería Gráfica

Las restricciones restan grados de libertad añadidos por los componentes del dibujo, como puede ser una línea, que posee 4 GDL (posición x,y para el punto de inicio y posición x,y para el punto final, por ejemplo). El cálculo de los GDL de un dibujo viene dado por la siguiente fórmula, calculada automáticamente en programas CAD actuales.

$$GDL = Vp - 3 - Vr - Conectividad \quad (1)$$

Donde Vp es el valor de los GDL aportados por los elementos primitivos, Vr las restricciones como aparecen en la figura 6 y la conectividad es el término que se resta por el enlace de elementos (por ejemplo, se requieren menos GDL para definir dos líneas contiguas que toman distintas direcciones que para definir las en caso de que estén separadas).

Un correcto funcionamiento en esta parte, es decir, un sistema totalmente definido, implica una gran facilidad posterior para realizar cambios en los modelos ya realizados y es, en la gran mayoría de los casos, norma indispensable en el diseño CAD.

2.5 Principios Básicos de las Bombas Alternativas

En esta sección se comentará brevemente características de las máquinas volumétricas alternativas de pistones, estrechamente relacionadas con los efectos que quedarán patentes en otros apartados del documento. De la gran variedad de máquinas hidráulicas se comenta este tipo de máquinas pues es el más adecuado para el sistema de inyección, dados los órdenes de caudal, presión y espacio disponible.

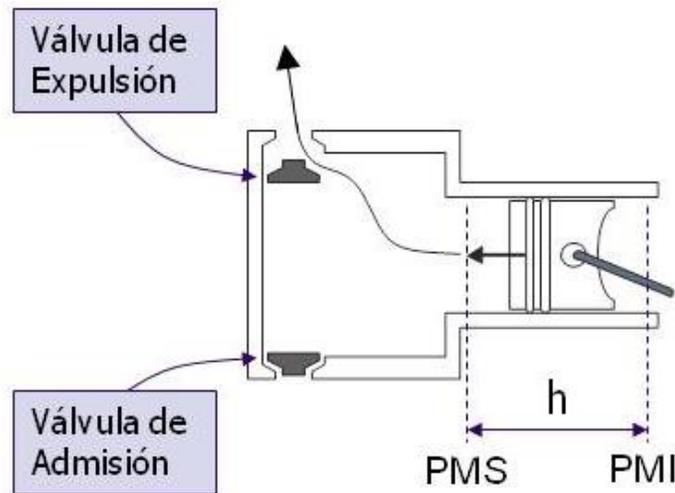


Figura 11 Esquema básico de una bomba de pistones. Fuente: Apuntes de Máquinas Hidráulicas

Este tipo de bombas suele dar mucha presión y poco caudal(Q) cuando son comparadas con las turbomáquinas (máquinas de flujo continuo que generan menos vibraciones). Dicho comportamiento resulta evidente cuando se comparan las curvas reales de dichas bombas (López, 2010). En la siguiente imagen se muestra el caudal proporcionado por una bomba típica de 3 pistones, donde el Q total presenta una forma irregular (debido a ello se van a producir vibraciones en la bomba).

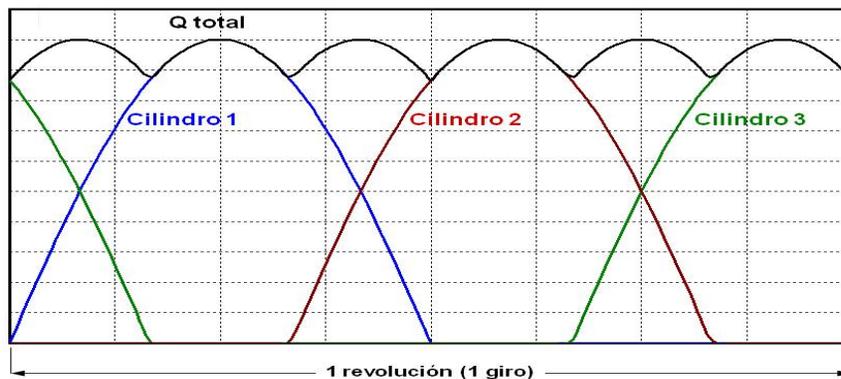


Figura 12 Caudal de una bomba de 3 pistones. Fuente: Apuntes de Máquinas Hidráulicas

3. CONJUNTO DE INYECCIÓN DIESEL

En esta sección se comentará la solución definitiva para el sistema portátil, así como las posibles alternativas que han ido surgiendo en cada paso del diseño hasta llegar al conjunto definitivo. Además, paralelamente a ello se explicará el uso de las herramientas empleadas, tales como el uso de programas informáticos que han ayudado en el proceso de toma de decisiones.

3.1 Descripción General

El modelo de sistema de inyección portátil consta de una estructura de perfiles, en forma de caja, que sostienen todos los subsistemas o máquinas alojados en él (ver figura 12). Dentro de la caja, o carrito, encontramos un motor eléctrico conectado a un cuadro eléctrico. El motor a su vez alimenta la bomba de combustible, conectada a la rampa de inyectores. La bomba está conectada a un intercambiador de calor, que refrigera el diésel de retorno utilizando la red de agua del CMT, la cual está conectada a una torre de refrigeración.

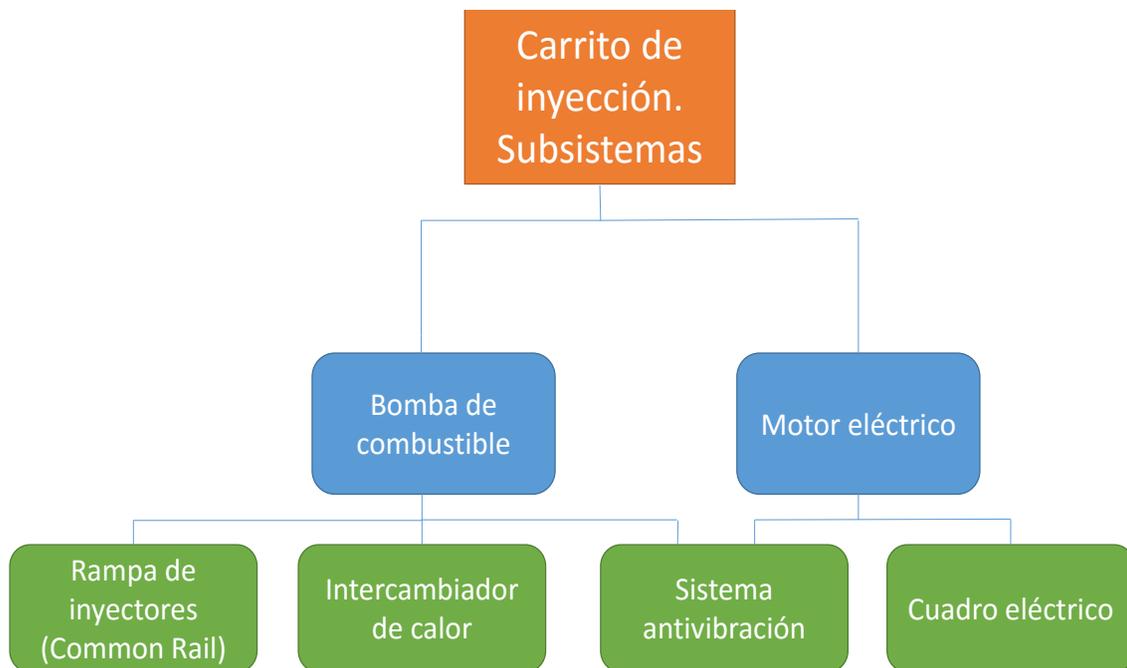


Figura 13 Diagrama de subsistemas del sistema de inyección.

3.1.1 Estructura

A pesar de tener aplicaciones puramente estacionarias, como ya se ha comentado antes, el carrito debe permitir mover la totalidad de los componentes de una sala de ensayos a otra. Adicionalmente, debe permitir la compatibilidad de sus subsistemas con las instalaciones del CMT (principalmente para el agua de refrigeración y la conexión a los equipos de ensayo). Actualmente está preparado para usarse con inyectores del tipo Common Rail, comentados en el correspondiente apartado del marco teórico.

En cuanto a los materiales empleados, para la construcción de la estructura base, o chasis, se han empleado perfiles básicos 45x45 de aluminio anodizado natural. En la plancha de soporte antivibración (detallada más adelante) se ha empleado una lámina de acero F114, de 5mm de espesor.

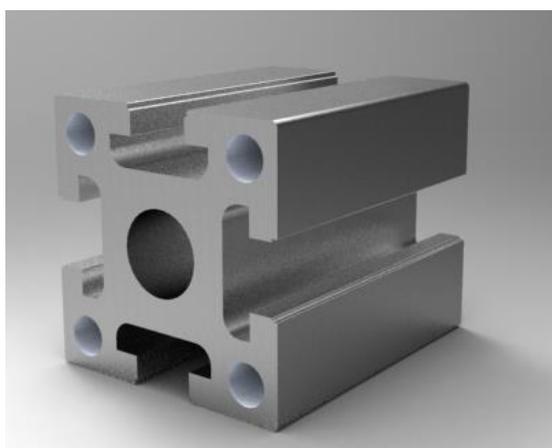


Figura 14 Perfil 45x45 de aluminio

El motivo por el cual se escogió dicho perfil de entre la gran cantidad de variedad disponible ha sido por cuestiones de suministro, ya que el CMT tiene fácil acceso a estos perfiles, que cumplen perfectamente con los esfuerzos a soportar, tanto los estáticos como los dinámicos generados con el motor en marcha.

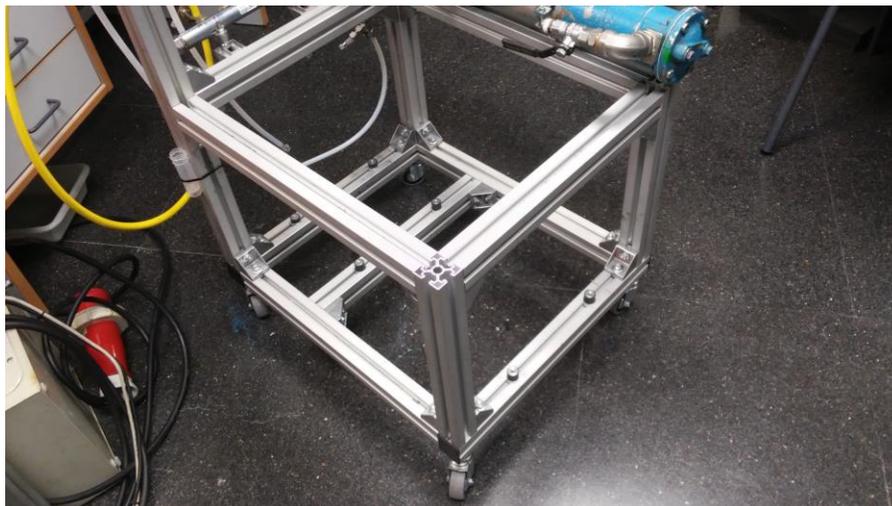


Figura 15 Estructura del carrito

En este conjunto se ha provisto al sistema de inyección de ruedas de 60mm de diámetro, hechas de goma, conectadas por esparrago y sin frenos, lo que asegura su movilidad. Asimismo, los perfiles van unidos por escuadras de aluminio fundido de 42x42x42mm.

La estructura elegida es de tipo caja, pensada para optimizar el espacio y recoger todos los subsistemas necesarios. Dada la tipología de los perfiles escogidos, es la opción más económica y de más fácil instalación y mantenimiento.

Dicha distribución debe, además, permitir la retirada y sustitución de los posibles componentes dañados de una forma rápida. Este factor no solo ha condicionado la forma externa, también ha hecho necesaria la modificación del soporte del motor.

3.1.2 Ciclo de alta presión

La inyección del diésel a alta presión en la cámara de combustión es llevada a cabo directamente por el ciclo de alta presión (AP). En el caso de la maqueta, se trata de llevar el diésel AP al Common Rail y de ahí distribuirlo al inyector, tal y como se muestra resaltado en naranja en la figura siguiente:

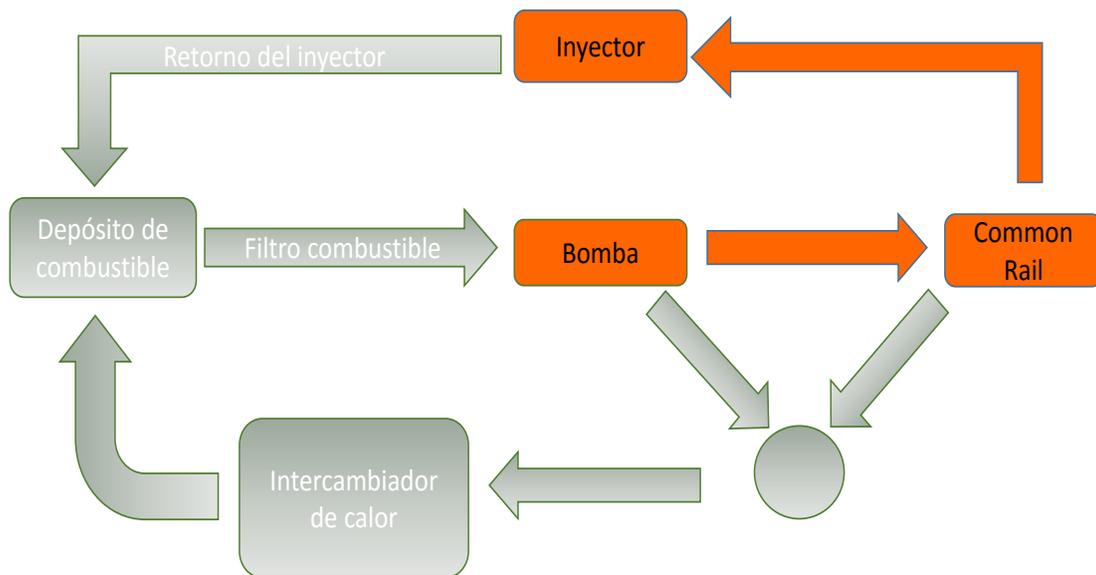


Figura 16 Ciclo del diésel de alta presión (naranja)

Cabe destacar en la figura anterior que la bomba no es un elemento que pertenezca puramente al ciclo AP, pues parte del combustible que recibe, regulado por un medidor de caudal, es bombeado a AP, y la otra parte va al retorno en común con el Common Rail. Asimismo, una parte del Common Rail está destinada a baja presión, ya que, como en la bomba, es necesario bajar la presión continuamente en la canalización de AP, y esto se consigue mandando parte del diésel por el retorno de menor presión.

Dadas las presiones tan altas que se pueden alcanzar, tales como 1500 bar, los conductos de transporte del diésel son tuberías de acero capaces de soportar tales esfuerzos. Si se produjera una fuga en esta sección, dadas las condiciones del fluido, los daños causados podrían ser elevados. Es por ello un ciclo que precisa de extrema precaución.

3.1.3 Ciclo de baja presión

No obstante, el ciclo de AP debe ser alimentado por diésel a baja presión (BP), al mismo tiempo que gestionamos el combustible que circula por los conductos de retorno. Para lograr estos objetivos se incluye el ciclo de BP, resaltado en verde oscuro en el siguiente esquema.

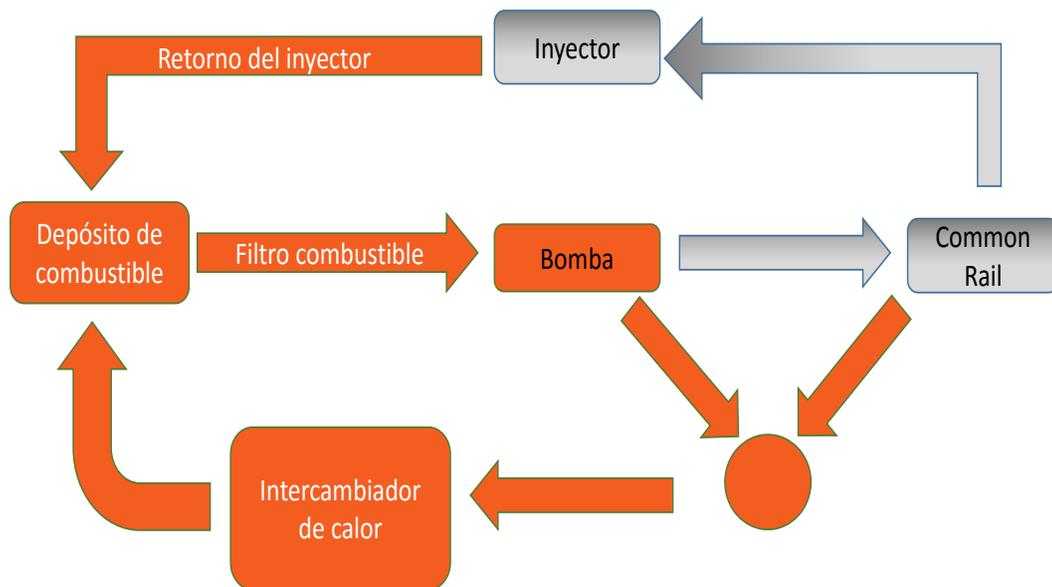


Figura 17 Ciclo del diésel de baja presión (naranja)

Atendiendo a esta figura, el ciclo de baja presión obtiene el diésel del depósito, después de filtrarlo, para suministrarlo a la bomba. Como se ha comentado antes, también se hace cargo de los retornos de la bomba y el Common Rail, que al venir muy calientes deben enfriarse para poder devolverse al depósito (en el cual se instala un sensor de temperatura).

El inyector también posee una línea de retorno, pero a diferencia de las de la bomba y el rail, no pasa por el intercambiador de calor. El motivo por el cual no se decidió pasarla por el intercambiador fue por el pequeño caudal másico que viene del inyector. Al ser tan pequeño en comparación con los otros flujos, el efecto que tiene en la temperatura del depósito es mínimo, en otras palabras, al volver al depósito no va a subir la temperatura del hidrocarburo, luego no merece la pena utilizar más líneas para enfriar el retorno del inyector.

3.1.4 Circuito de refrigeración

La misión del circuito de refrigeración, como ya se ha comentado, es la de bajar la temperatura del hidrocarburo de retorno, que viene muy caliente, para adaptarla o acercarla lo suficiente a la del depósito, con el fin de reutilizar todo el retorno. Para esto se emplea el agua de la torre de refrigeración del CMT. Se dispone de válvulas para variar el caudal de agua, con el fin de regular la temperatura de salida del diésel del intercambiador. El circuito consta, esencialmente, de un intercambiador de calor de coraza y tubos, el cual se puede emplear con ambos flujos (diésel y agua) en la misma dirección o a contraflujo.



Figura 18 Intercambiador de calor

Cabe destacar que el retorno del inyector no pasa por el intercambiador de calor, esto se debe al bajo caudal que transporta, pues es tan pequeña la cantidad de combustible que apenas tiene impacto en la temperatura del depósito

3.1.5 Motor, transmisión y bomba

El motor M2AA, con régimen de 1500rpm, de 2 polos, 11KW, 380/660V (ver figura siguiente), es una pieza principal, ya que proporciona a la bomba toda la energía necesaria para bombear el diésel. Es al mismo tiempo el causante de gran parte de las vibraciones que se quieren reducir, ya que produce mucho ruido al desalinearse levemente su eje, algo que ocurre en todos los ensayos.

En línea con el ruido proveniente del motor, se pensó inicialmente que parte de las vibraciones provocadas del motor podrían producirse en la transmisión, que es del tipo Sureflex-SJ6. No obstante, al ser esta de goma, es decir, un sistema elástico con un factor de amortiguación lo suficientemente elevado, no se decidió conveniente modificarla por otro tipo de acople más silencioso, pues se pensó que estaba en buen estado.

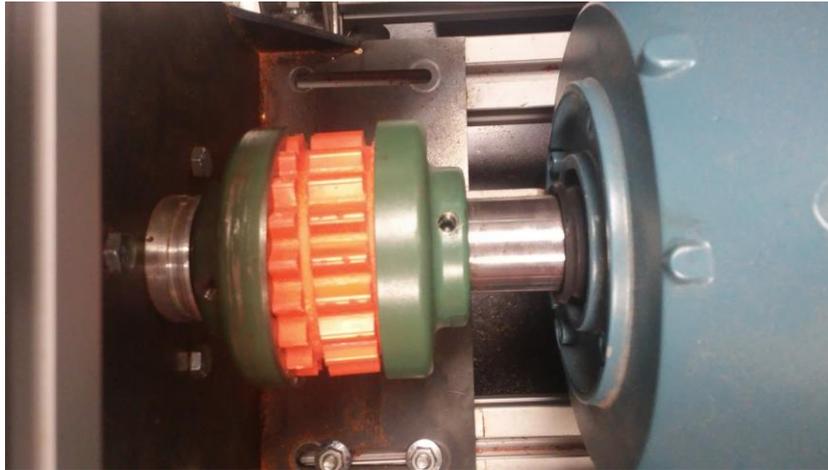


Figura 19. Transmisión rígida

La bomba de combustible Bosch CP3 R70 conforma el otro componente primordial. Gran parte del ruido generado es causado por ella al tratarse de una máquina hidráulica volumétrica alternativa y, debido a las tipologías de estas máquinas (esta en concreto tiene tres pistones), aporta un caudal irregular, tal como se ha explicado en el correspondiente apartado en el capítulo segundo.



Figura 20. Bomba volumétrica del carrito

3.1.6 Cuadro eléctrico

Con el fin de asegurar una buena respuesta del sistema global, el cuadro eléctrico, que trabaja en un régimen de baja tensión, debe asegurar determinadas funciones de control sobre la alimentación eléctrica al mismo que permite emplear un sistema seguro. Así pues, el cuadro eléctrico emplea los siguientes elementos.

- Contactores, elementos que permiten el control externo sobre el circuito (on/off)
- Relés, componentes de seguridad, activados por una fuente de alimentación continua en nuestro caso.
- Fuente de alimentación, pieza que recibe potencia del transformador para obtener corriente continua, necesaria para los relés.
- Transformador de 380V a 220v, recibe una de las tres fases para adaptar el voltaje a la entrada de la fuente de alimentación.

Con estos elementos, conseguimos que en el cuadro eléctrico se realicen dos importantes funciones comentadas antes: el control del sistema y la protección de este.

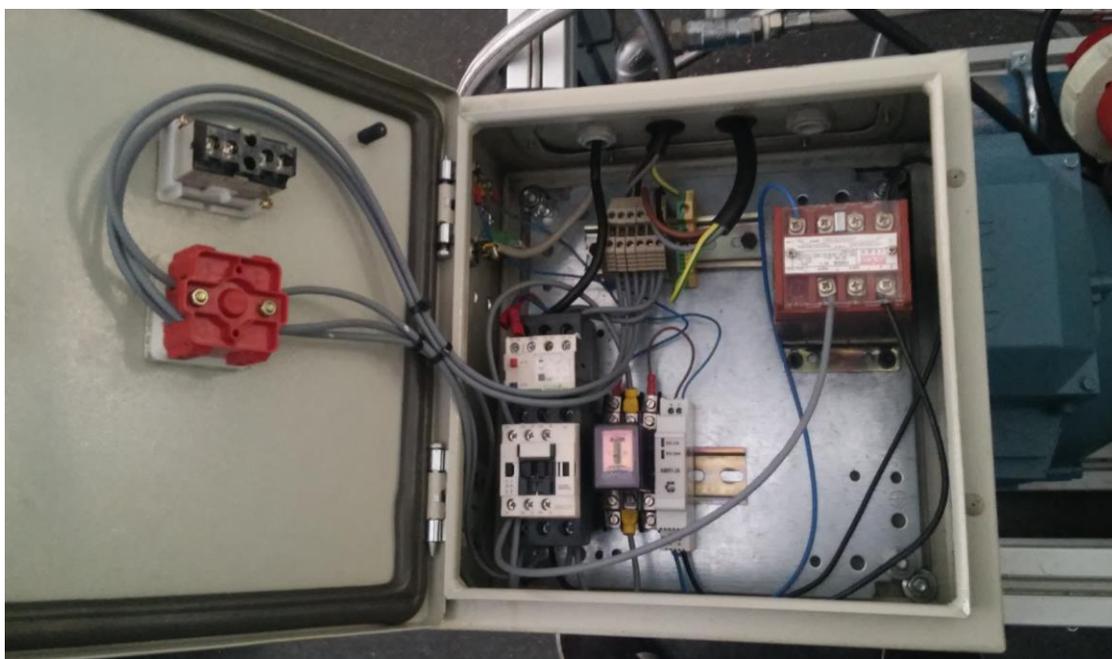


Figura 21. Cuadro eléctrico del carrito

3.2 Mecanismos de Atenuación de Vibración

En primer lugar, cabe resaltar que denominamos amortiguamiento a una transformación de energía cinética a otra suerte de energía, tal como energía plástica o cinética. Este es justo el efecto que deseamos conseguir. Simplificando podemos resumirlo en la ley de Hooke,

$$F = k \times L \quad (2)$$

Donde F es la fuerza aplicada, L es la elongación y k es una constante que depende del sistema de atenuación empleado.

Dado que tanto el motor como la bomba son sistemas acoplados, es posible que compartan el mismo soporte, sea este una plancha o simplemente descansen en los perfiles. Teniendo esto en cuenta, si se amortigua dicho soporte se reducirían ampliamente las vibraciones puesto que los dos elementos generadores de ruido descansan sobre él. Con esta premisa en mente, se elige para el apoyo una plancha de metal, pues será la solución que menos perfiles requiera, y, por otro lado, en el CMT se dispone de relativa facilidad para mecanizar chapas de acero. Por tanto, todas las posibles alternativas pasarían por tratar de atenuar la vibración de dicha chapa.

La primera opción en la que se pensó para el subsistema antivibración fue en instalar muelles, siendo estos un componente típico de los sistemas de amortiguación. Estos componentes absorben bien los esfuerzos que comprendidos en la dirección de su eje. No obstante, no absorbe tan bien los esfuerzos en otras direcciones (en estos casos su K es menor), lo que es un serio inconveniente pues nuestro sistema va a sacudirse en las tres direcciones X, Y y Z. Además, en los muelles se observan dificultades para un acople plancha-muelle-perfiles, lo que supone que será necesario adquirir más elementos de unión.

La siguiente opción fue una capa intermedia de material acolchado. Por una parte, este tipo de materiales absorbe bien los esfuerzos en todas las direcciones, y adicionalmente disponen de la ventaja de que a mayor espesor de capa mayor capacidad de absorción de esfuerzos tanto estáticos como dinámicos. Por otra parte, este tipo de configuraciones tienden a calentarse, pero, sobre todo, sería necesaria la adición de una plancha extra, para lograr una estructura de tipo sándwich, lo cual supone el montaje más complejo y costoso de todas las alternativas posibles, pues habría que emplear perfiles más largos.

Por tanto, una posibilidad óptima requeriría de una relativa facilidad de montaje (esto es, que requiera pocos o ningún componente para instalarse) y que sea además capaz de absorber todos los esfuerzos. Debe de ser, al mismo tiempo, una elección económica y de fácil aprovisionamiento para el CMT.

3.2.1 Módulo de atenuación tipo Silentblock

Últimamente en el campo de las amortiguaciones se está poniendo de moda un tipo de amortiguador compuesto de caucho-metal llamado Silentblock (bloque silencioso, del inglés, aunque este no es más que el nombre de una marca y comúnmente se denomina así a este tipo de elementos). En cuanto a su composición, combinan una parte de caucho, de forma cilíndrica, cuyo eje está compuesto de un tornillo metálico. La parte del caucho ofrece propiedades elásticas muy interesantes mientras que la parte metálica permite un fácil montaje en un gran número de superficies. Dado el gran número de fabricantes de estos productos, su precio no es nada elevado y son relativamente fáciles de adquirir.



Figura 22 Silentblocks

Por estos motivos, y dadas las alternativas posibles, se escogió este tipo de materiales como elementos supresores de la vibración. Una vez hecha la elección, el siguiente paso sería diseñar la distribución de Silentblocks óptima, delimitando tanto las posiciones en la placa como el modelo y tamaño de dichos componentes.

3.3 Diseño y Simulación de la Placa Base

En primer lugar, se diseña la placa con las especificaciones requeridas, es decir, asegurar el soporte del motor y el soporte de una placa en L que conecte la bomba a la plancha antivibración. Dado que hay muchas distribuciones de Silentblocks posibles, se decidió diseñar la placa con muchos agujeros por si en un futuro se decidiese cambiar las posiciones de los elementos de caucho-metal.

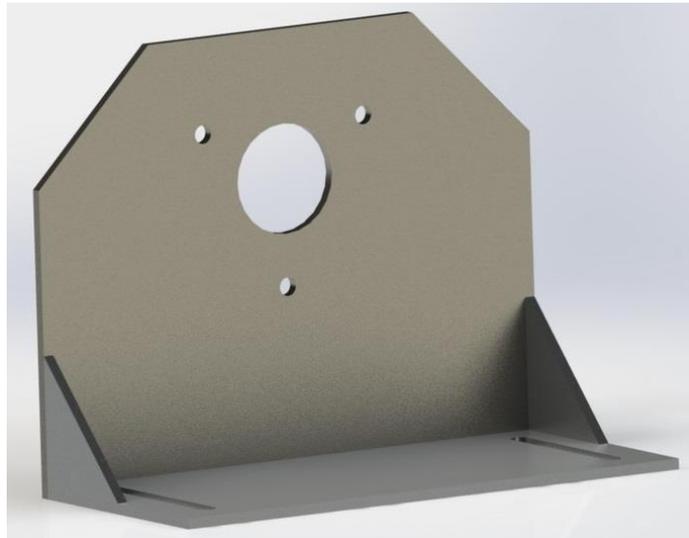


Figura 23 Placa en L

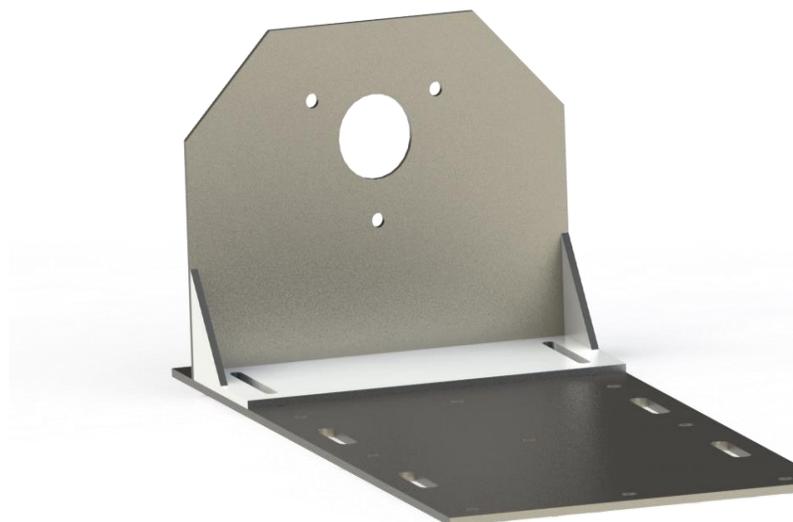


Figura 24 Plancha antivibración completa

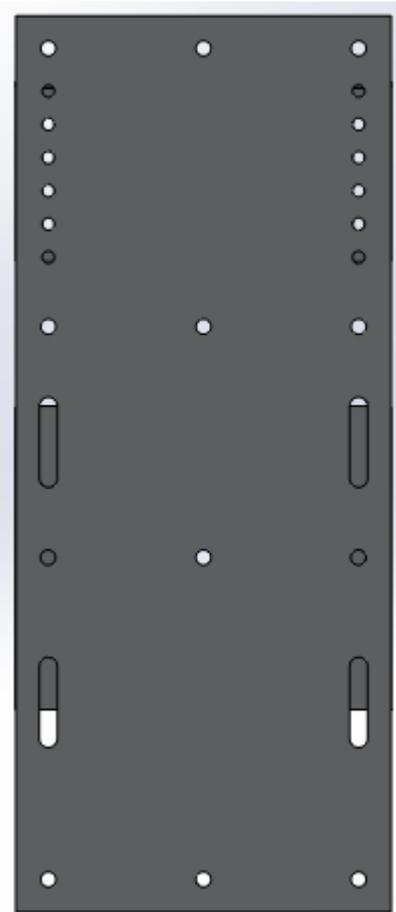


Figura 25 Placa base vista desde abajo

3.3.1 Esquema del análisis estático

Las fuerzas externas aplicadas son un factor común de todas las distribuciones de Silentblocks que se pueden construir. Tras el análisis obtendremos las reacciones en cada componente atenuador colocado, que pueden ocupar cualquiera de los agujeros de la figura 20.

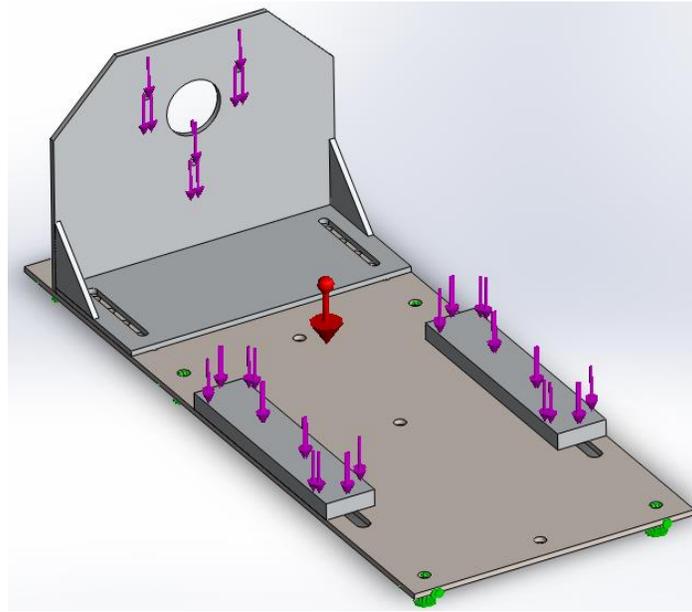


Figura 26 Esquema de cargas estáticas (peso)

El peso del motor a usar son 80kg, dispuestos como aparece en la figura superior, en las dos plaquetas destinadas a ello. Para la bomba y la transmisión se ha estimado un peso de 10kg. Dicho peso se ha colocado en los tres agujeros de sujeción de la placa en L.

No obstante, los tres agujeros no soportan la misma carga. Para determinar qué porcentaje de la carga total (10kg) soporta cada agujero, se debe dibujar y plantear el sistema para poder obtener dichos porcentajes mediante un análisis de fuerzas y sumatorio de momentos. Al plantearlo, resulta evidente que los dos agujeros superiores soportaran cada uno la misma fuerza, y tras resolverlo como se ha indicado, proporciona una solución en la que el agujero en el eje de simetría soporta el 30.5% de la carga total. Luego se puede concluir que aproximadamente los tres agujeros soportaran la misma carga.

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Una vez aclaradas las fuerzas externas, el otro tipo de condiciones de contorno a definir en el análisis estático son las restricciones, es decir, las zonas que no se van a mover. Estas zonas serán, para cada distribución, las posiciones de los Silentblock elegidas. Y es en estas secciones donde obtendremos los resultados de las fuerzas que soportan. Ese dato es el resultado del análisis estático, que nos permitirá seleccionar los componentes adecuados del catálogo, pues como prácticamente todas las piezas en el mundo de la ingeniería, vienen en varios tamaños que soportan cargas distintas. En otras palabras, una vez fijado el tamaño de la métrica a emplear (M6), se usará el dato de la fuerza a soportar para escoger el Silentblock óptimo del catálogo.

3.3.2 Alternativas de distribución

Con el fin de seleccionar la distribución óptima (es decir, posición y tamaños), se generaron 8 distribuciones distintas, de las cuales algunas resultaron ser poco ventajosas (tales como utilizar los agujeros situados en medio de la placa, lo que requiere el uso de más perfiles, pero que de todas maneras se analizó), mientras que otras resultaron ser simplemente cambios en las cargas o en el modo de aplicarlas con el fin de conocer mejor la respuesta del sistema. Para resumir y no extender innecesariamente el apartado, se enumeran y explican a continuación aquellas más significativas.

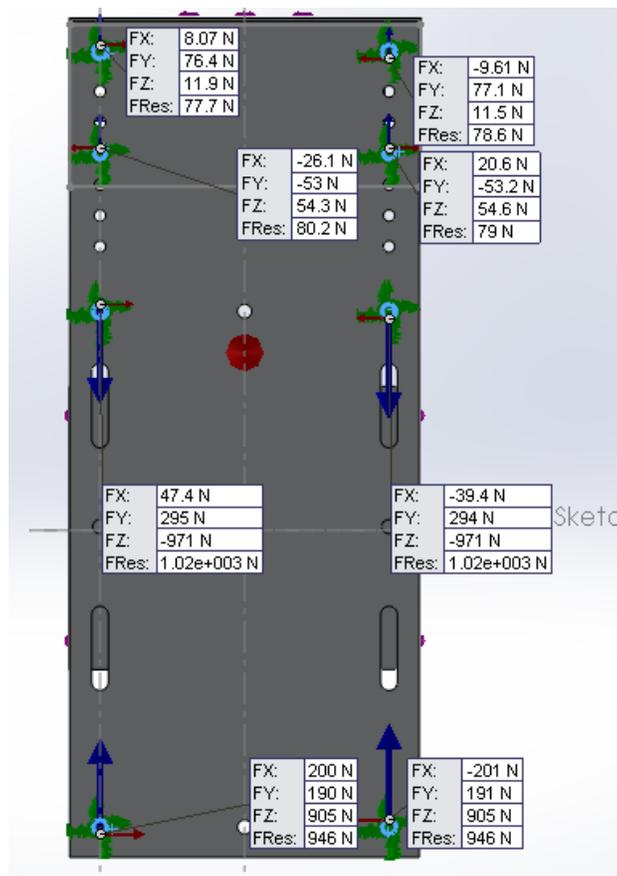


Figura 27 Distribución n°5

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Es necesario destacar que solo se considera la fuerza en el eje Y por ser el eje vertical, donde está comprendido el peso.

La distribución n°5 emplea, como todas las que en este escrito se va a mostrar, dos perfiles longitudinales como apoyo para la placa base.

La peculiaridad de esta distribución reside en que hay dos SB (Silentblocks) con esfuerzos negativos (que no soportan el peso directamente), lo que indica que hemos puesto más bloques o restricciones de la cuenta. Si se tomara esta distribución como solución se obtendría como resultado

- 2x SB de 35kg
- 6x SB de 25kg, con un coeficiente de seguridad de 1.164 (fuerza que puede soportar el sistema dividida por fuerza máxima).

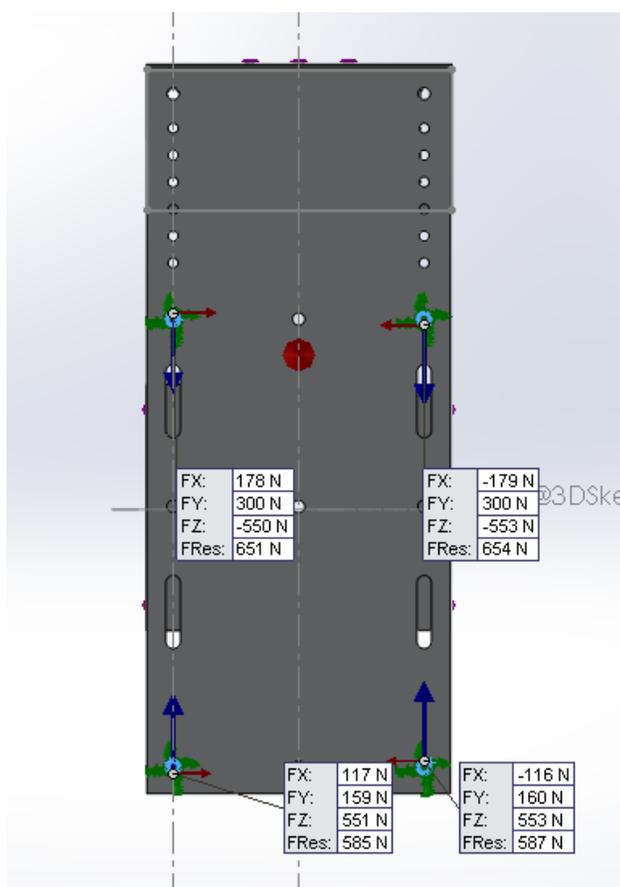


Figura 28 Distribución n°7

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Tomando los resultados de la anterior distribución, se planteó quitar algunos SB y dejar tan solo 4, colocándolos en los puntos de mayor carga. Esta opción, la distribución n° 7, que proporciona unas reacciones relativamente adecuadas, plantea el inconveniente de dejar sin fijación la parte posterior de la placa, lo que puede convertirse en una fuente de vibraciones cuando el motor se ponga en marcha, además de proporcionar cierta desalineación en el eje del motor debido a que la placa va a tender a curvarse.

Si se tomara esta distribución como válida, pese a sus desventajas, se debería que seleccionar:

- 2x SB de 35kg.
- 2x SB de 25kg con un coeficiente de seguridad de 1.1445.

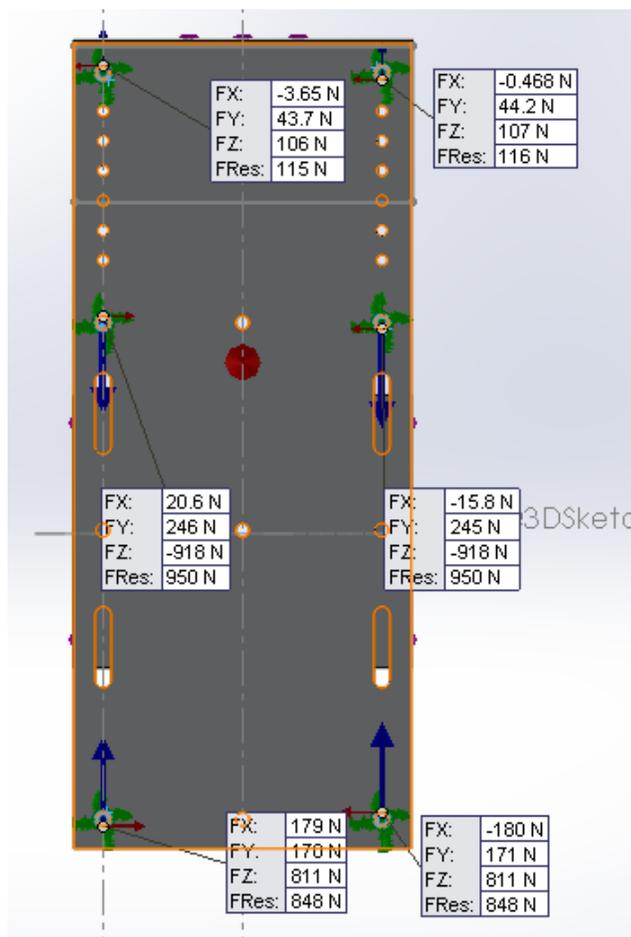


Figura 29 Distribución definitiva, n°8

Finalmente se optó por añadir dos SB más en los extremos, reduciendo los esfuerzos máximos recibidos en las reacciones y aportando estabilidad a la placa base. Con el fin de reducir el número de perfiles empleados, se puede apoyar la placa en los perfiles periféricos del carrito, y pasar un perfil transversal por los Silentblocks del medio.

- 2x SB de 30kg.
- 4x SB de 25kg con un coeficiente de seguridad de 1.1963.

Estos resultados marcan el final de la etapa de diseño de la placa, pues ahora se tiene el modelo de los componentes a emplear y donde deben colocarse. La única sección que queda por definir es el tipo de arranque a instalar en el motor.

En todas estas simulaciones se han hecho las debidas comprobaciones, tales como verificar que la fuerza externa total del peso es igual a la de las reacciones.

3.4 Configuraciones de Arranque en el Cuadro Eléctrico

La operación de arranque en un motor eléctrico tiene una duración ínfima en comparación con el funcionamiento en régimen permanente. Aun así, no se debe despreciar, pues ciertos modos de arranque pueden deteriorar el motor, reduciendo su periodo de vida útil o causar un fallo debido a grietas existentes. Por estos motivos es indispensable escoger el método adecuado de entre los siguientes.

3.4.1 Tipos de Configuración

El arranque directo es el que posee la ejecución e instalación más simple. El motor recibe el mismo voltaje durante todo el arranque ya que no se puede modificar. La respuesta del motor es demasiado súbita y se puede oír un golpe muy sonoro al encenderlo así. En la figura siguiente se puede apreciar, además, el gasto en consumo eléctrico que supone este método, puesto que el par necesario en el arranque requiere de un valor alto de amperaje. Debido a limitaciones de tiempo, se escogió esta configuración al no requerir de elementos adicionales.

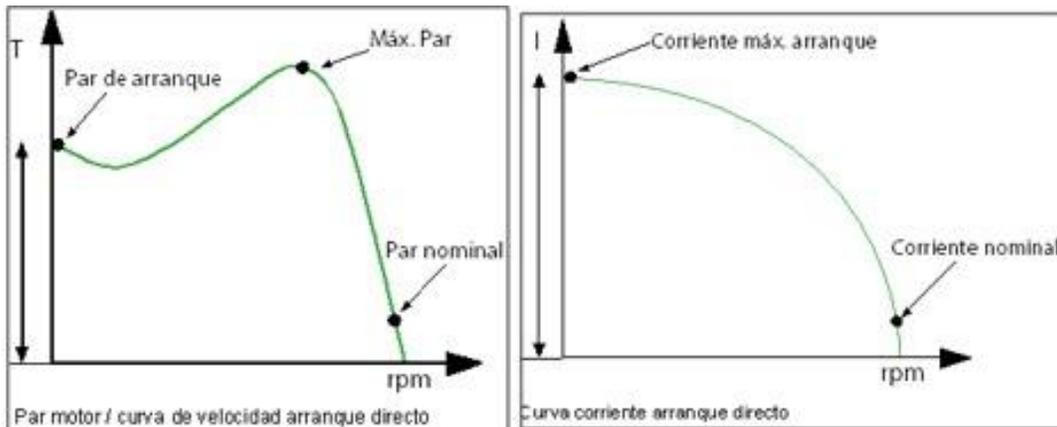


Figura 30 Curva del arranque directo. Fuente: www.moeller.es

Sin embargo, para suplir estas carencias es posible emplear la conexión estrella triángulo, mediante un arrancador estrella-triángulo. El motor pasa a configuración en estrella, lo que reduce la tensión recibida a un valor raíz de tres veces inferior, consiguiendo una respuesta mucho más suave. Una vez la velocidad de deslizamiento del motor alcanza valores nominales, se puede revertir a la configuración en triángulo original. En la figura siguiente se puede apreciar esta configuración, donde el contactor de estrella no puede estar activo al mismo tiempo que el de triángulo y viceversa.

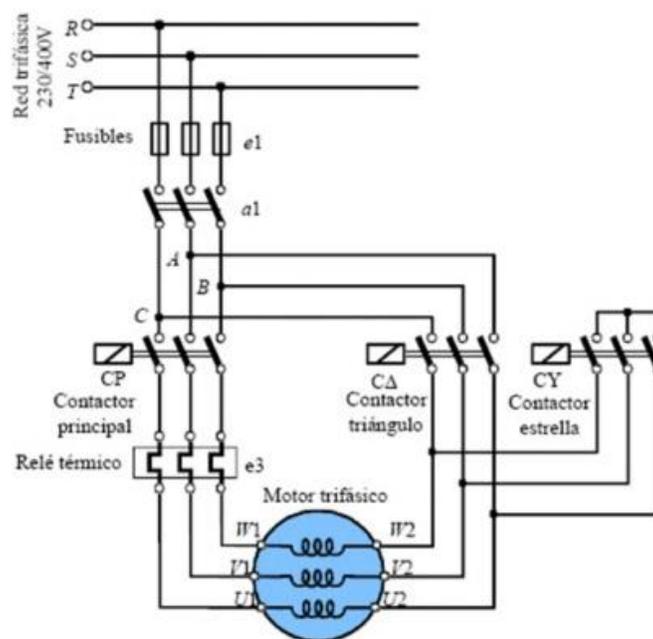


Figura 31 Esquema de un arranque estrella-triángulo típico. Fuente: www.nichese.com

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

La última de las opciones planteadas es el arranque mediante variador de frecuencia. Con esta modalidad, el arranque se regula variando la frecuencia, que controla directamente la velocidad de deslizamiento, de una forma suave hasta alcanzar el régimen permanente, esto tiene la ventaja adicional de que se consume mucha menos potencia en el arranque. Como desventaja, no obstante, tiene que los variadores de frecuencia son caros, llegando a alcanzar precios de al menos 700 euros.



Figura 32 Variador de frecuencia Siemens

4. MONTAJE

En esta sección se detallarán los pasos seguidos para la completa construcción del sistema propuesto. Desde el desmontaje del sistema original, para aprovechar los perfiles ya atornillados, hasta la última fase de reconexión de todas las tuberías y tubos necesarios.

Para un correcto montaje serán necesarias las herramientas características de este tipo de proyectos, como son todo tipo de llaves, los perfiles de tamaños adecuados, disponer de una máquina para cortarlos y medios para transportar piezas pesadas.

4.1 Desarme del Carrito Anterior

Por motivos de tiempo, se consideró necesario aprovechar parte de la estructura original para el nuevo sistema, lo que permitió ahorrar varios perfiles con sus escuadras necesarias.

El primer paso consta en desmantelar prácticamente todos los subsistemas que componen el carrito. Primeramente, se han de retirar con cuidado todas las mangueras de la bomba y el intercambiador, cerciorándose de que los conductos están cerrados para que no escape toda el agua, el diésel u otros hidrocarburos de ensayo. Es muy probable que aun tomando precauciones ocurran fugas dado el gran número de conexiones entre las máquinas mencionadas, por lo que se advierte que se tenga papel y bandejas a mano para la contención de al menos 2 litros de líquido contaminado con hidrocarburos.

Una vez desconectados tubos y mangueras, es necesario sacar la transmisión motor-bomba para poder sacar la placa en L. A partir de ese punto es posible desconectar el resto de subsistemas, es decir el cuadro eléctrico, motor e intercambiador. Para sacar el motor se recomienda emplear un puente grúa con el fin de evitar posibles daños.

Para facilitar esta fase, se recomienda retirar tantos perfiles como sea necesario, pues las dimensiones del carrito están basadas en las del motor y apenas queda juego. Al mismo tiempo es necesario cerciorarse de que no se doble ninguna manguera de las que componen el ciclo de baja presión, pues conllevaría a que esa línea quedaría inservible, y se necesitaría cortarla por la sección donde ocurre el fallo o bien reemplazarla por una nueva. No es necesario tomar estas precauciones con las líneas de alta presión pues al ser de metal y mucho más rígidas es poco probable que cedan y se doblen, no obstante, no se debe perder ninguna línea de vista.



Figura 33 Puente grúa del CMT

Una vez quitados casi todos los elementos, es posible observar la estructura básica del carrito, o *frame*. En la siguiente figura se puede ver además la colocación de los Silentblocks en concordancia con lo calculado en la fase de diseño.

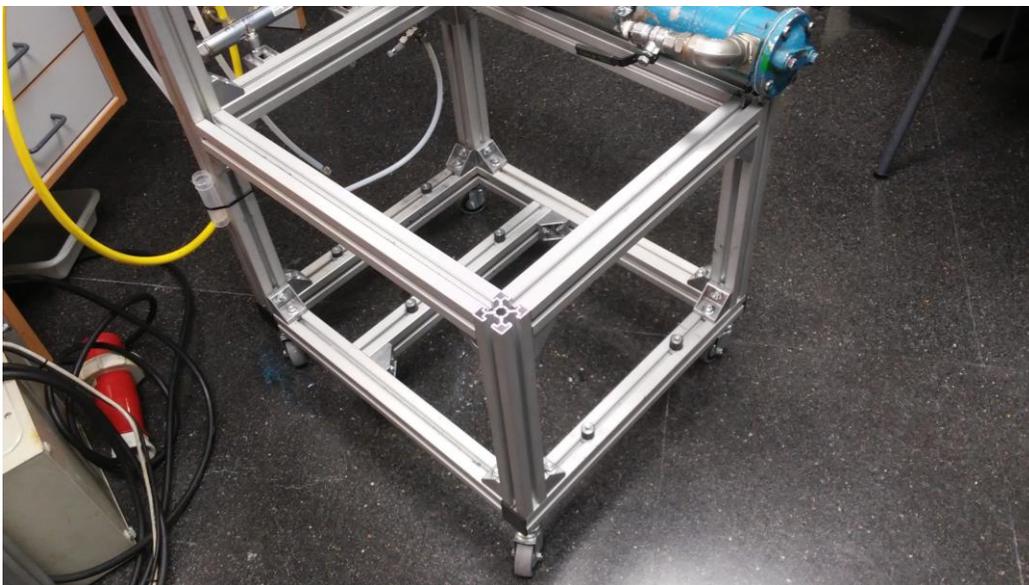


Figura 34 Estructura del carrito, "frame"

4.2 Instalación de Piezas Antivibratorias

Cabe destacar que esta parte del montaje es crucial, pues solo si se instala correctamente el sistema antivibración será efectiva la atenuación de las sacudidas, por ello hay que tener extremo cuidado e incluso montar y desmontar varias veces si así fuera necesario.

Para instalar los componentes tal y como se fijó en la fase de diseño es necesario variar ligeramente la base del carrito. El sistema original apoyaba el motor y la placa de la bomba en dos perfiles longitudinales, en la dirección del eje del motor. Ahora va a ser necesario retirar esos perfiles y colocar uno en paralelo como se muestra en la figura anterior.

Puesto que ahora se va a emplear una plancha de 5mm (aunque se recomienda encarecidamente utilizar espesores superiores) en lugar de perfiles, el tipo de conexión será distinta. De entre los posibles elementos a usar, se recomiendan los tornillos cabeza martillo para cualquier tipo de conexión con los perfiles.



Figura 35 Tornillos cabeza martillo empleados

Debido a que los Silentblocks no son todos del mismo tipo ya que las solicitaciones varían entre ellos, no poseen la misma altura, lo cual genera problemas en la rectitud de la placa. Para resolverlo basta con insertar las arandelas adecuadas en los bloques que lo requieran.

Una vez montados, tanto los bloques caucho-metal como la placa y el motor, es posible observar los Silentblocks más solicitados por su deformación debido a la compresión que están sufriendo. Esta es una buena medida para determinar si el montaje de estos componentes se ha realizado de una forma correcta.



Figura 36 Placa base con los componentes caucho metal instalados

Es muy recomendable alinear correctamente la transmisión con la bomba y el motor, pues una mala alineación puede causar desperfectos en la transmisión y reducir drásticamente su vida útil. Además, una desalineación severa causaría un incremento en las vibraciones, ya que se estarían aumentando los grados de libertad del sistema. Por ello, como se ha comentado antes, se recomienda montar y desmontar cuantas veces sea necesario para que tanto la placa como lo que está soportando quede totalmente alineado.

Puede ocurrir que el espesor de la placa sea demasiado pequeño para la aplicación lo que provocaría que esta se doble ligeramente, y esto a su vez es un grave problema para la alineación comentada. Para suplir este posible defecto se recomienda soldar perfiles en T bajo la placa, lo que aportaría la inercia necesaria para mantener el requerimiento de planitud.

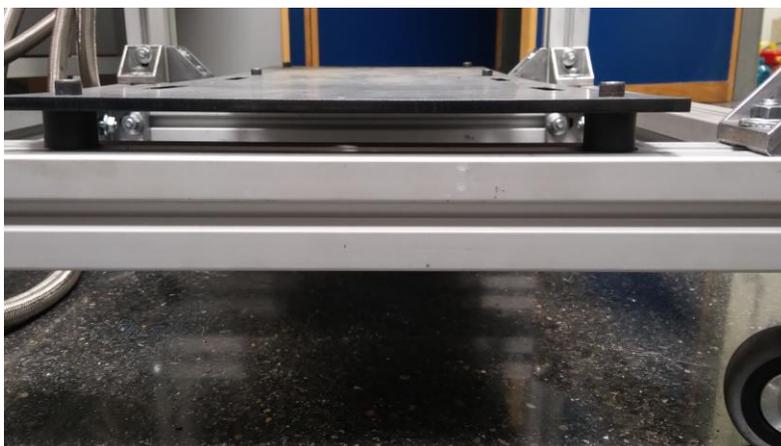


Figura 37 Placa base descansando sobre los Silentblocks

4.3 Montaje y Puesta a Punto

Una vez fijada la placa base, y teniendo motor y bomba con la transmisión alineada, se procede a los últimos pasos de instalación del intercambiador de calor y de las conexiones de las líneas de alta y baja presión.

Es importante tener en cuenta que este diseño ha sido ideado para reducir las sacudidas en la base del motor y la bomba. No obstante, la bomba está conectada al Common Rail mediante una línea rígida de alta presión que puede transmitir vibraciones a la rampa. Se sugiere emplear arandelas de goma (se pueden fabricar fácilmente con un punzón adecuado) conjuntamente con una línea flexible de alta presión. De lo contrario, las vibraciones seguirían propagándose por el rail hacia el carrito y la eficacia de los Silentblocks se reduciría en parte. En este caso se ha optado por las arandelas de goma, quedando el cambio de línea como una propuesta en futuras modificaciones.

Por un lado, se ha conseguido más espacio en la parte de la base al quitar el intercambiador de su posición original para poder acoplar más subsistemas en un futuro, pero por otra parte ahora hay que reubicar el intercambiador de sitio u optar por uno más pequeño. En el presente trabajo se optó por la primera opción, siendo su nueva posición arriba del carrito, cogido con abrazaderas junto al cuadro eléctrico.

El ligero desplazamiento de los sistemas nombrados hasta ahora obliga a una leve modificación de las líneas de diésel, tanto las de baja como las de alta. Para modificar las de baja, compuestas de tubos de plástico, es necesario usar líneas nuevas en caso de que la original no llegue o simplemente cortarlas cuando se pasan. Es posible doblar las líneas de alta con el fin de que se adapten a las nuevas posiciones de la bomba y el Common Rail, pero siempre dentro de unos límites razonables.



Figura 38 Montaje del carrito terminado

5. ENSAYOS

Para poder demostrar la eficacia en la atenuación de vibraciones, es pertinente realizar ensayos con la finalidad de medir las sacudidas del sistema entero, con el viejo diseño (sin componentes antivibración) y con el nuevo, y transformar los datos de esas mediciones en información útil para comprar ambos casos. Con estas premisas se realizan dos ensayos (uno para cada sistema), con cada ensayo centrado en tres presiones de inyección distintas: 500, 1000 y 1500 bar, durando cada ensayo aproximadamente 20 minutos. Se espera una reducción generalizada en las vibraciones, pero en todo caso el nivel que más importa es 1500 bares ya que ahí es donde se escucha un mayor valor de decibelios.

Debido a limitaciones de tiempo no se han podido ensayar más puntos, pero se han considerado los seleccionados como los más significativos pues, además de ser equidistantes, aportan datos sobre las posibles tendencias que pueden seguir las magnitudes medidas.

5.1 Ejecución de Ensayos

Una vez el carrito está en posición, conectado a los periféricos necesarios tales como el depósito del combustible o la red de agua, se procede a instalar el acelerómetro (ver Figura 2 Acelerómetro Kistler). El acelerómetro debe de reposar en una superficie en la cual no se vaya a producir ninguna vibración. Es necesario seleccionar la escala adecuada para el ensayo puesto que una escala superior no mostraría adecuadamente los datos de interés, mientras que una muy inferior se dejaría datos fuera; se recomienda emplear 2 voltios/ms⁻².

A continuación, se instala el sensor del acelerómetro en el carrito, cogido con cinchas o similar en uno de los perfiles. El perfil a usar para el acople no es una elección trivial, dado que en función de su orientación obtendremos medidas en una dirección u otra. Para los ensayos realizados se eligió una dirección perpendicular al eje del motor y paralela al suelo. Es de vital importancia que la dirección escogida sea la misma en todos los ensayos.

Una vez configurados todos los instrumentos y máquinas necesarias, por seguridad se debe desalojar la sala de ensayos y cerrar las puertas. Desde la sala contigua se monitoriza el ensayo mediante las unidades de control. En ellas podemos configurar el tipo de ensayo, esto es, las veces que se ensaya y la duración de cada bloque de ensayos, todo ello paralelamente a la ubicación donde se guarda la información, disponible en formatos .DAT y .BIN.

5.2 Análisis de los Resultados de Vibración

Existe una amplia gama de software para tratar los datos proporcionados en el laboratorio. En este caso se recomienda emplear Matlab, pues es posible crear un Script donde se puede automatizar todo el proceso de tratamiento de datos (es además uno de los programas explicados en varias asignaturas del grado).

Los Scripts creados para el tratamiento de datos se encargan de leer los archivos .DAT, asignarles estructuras con matrices, y graficar las aceleraciones obtenidas frente al tiempo a las tres presiones antes mencionadas. Así es posible, una vez hechos los Scripts, obtener rápidamente graficas como se aprecia en la Figura 39 Vibraciones en el carrito viejo).

La finalidad de los ensayos realizados y el análisis de sus resultados es la de obtener información comparativa, mediante el uso de gráficas, para demostrar que se alcanza el objetivo de este trabajo. Cabe resaltar es posible obtener más información, tales como el espectro de vibración del sistema en función de la presión de inyección, lo cual se detallará en el apartado 5.4.

5.2.1 Resultados de la configuración original

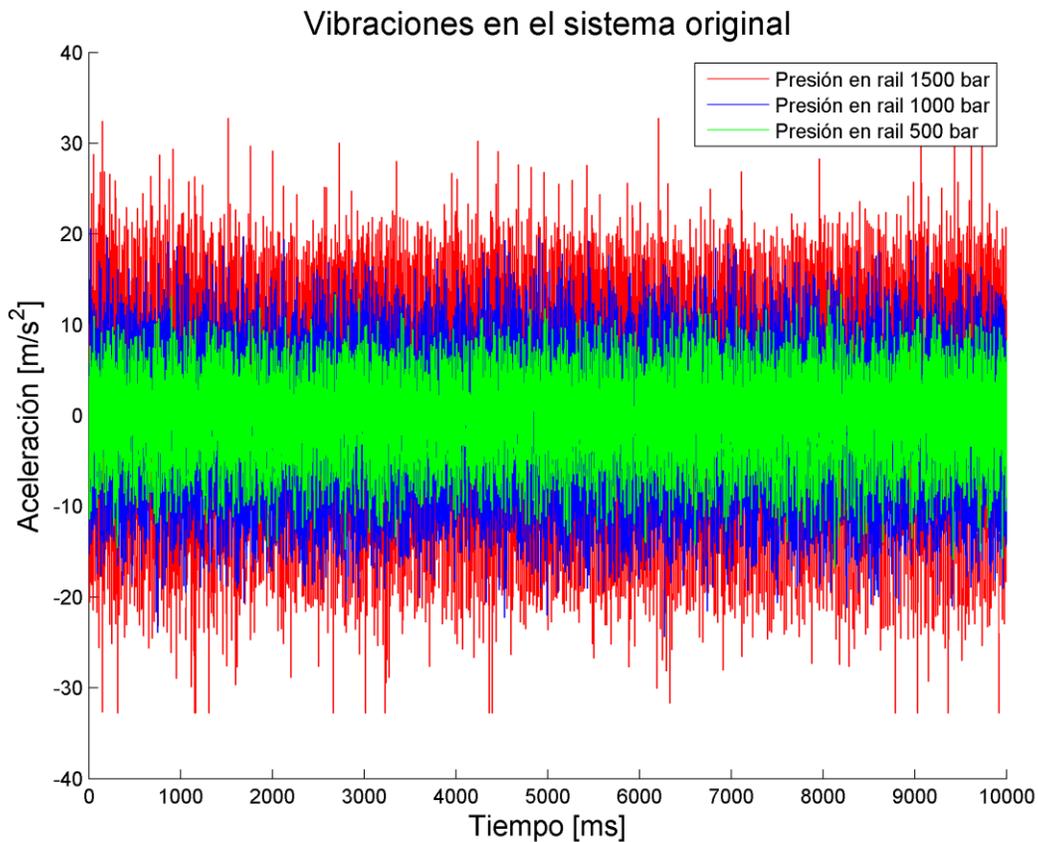


Figura 39 Vibraciones en el carrito viejo

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, las vibraciones aumentan con la presión de inyección. Al subir este parámetro, el motor gira prácticamente a la misma velocidad, pero proporcionando más par M, mientras que la bomba debe cada vez proporcionar y funcionar a más presión. Esto es un posible indicador de que la bomba causa la mayor parte de las vibraciones a altas presiones, ya que se puede tomar la velocidad de giro del motor como constante.

5.2.2 Resultados de la nueva configuración

En la siguiente gráfica se aprecian los resultados de aceleración con todos los componentes nuevos montados. Con ensayos configurados como antes.

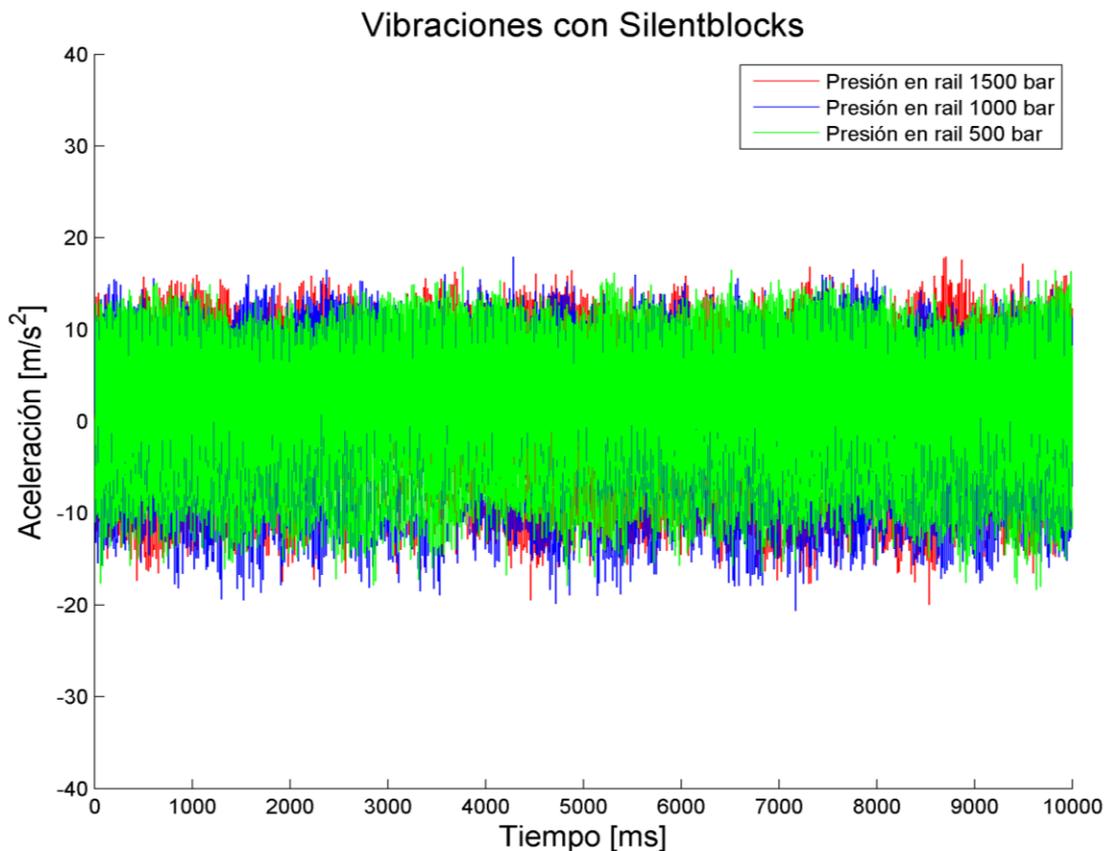


Figura 40 Vibraciones con el nuevo sistema

Se puede apreciar en este ensayo como los tres niveles de presión han tendido a igualarse, algo que ha sido causado mayoritariamente por factores diferentes según del nivel de presión. Es conveniente detallar lo que ha ocurrido en cada nivel para poder apreciar la variación efectiva en las vibraciones.

5.2.3 Contraste de resultados

En las siguientes figuras se procede a comparar las aceleraciones obtenidas para distintos niveles de presión.

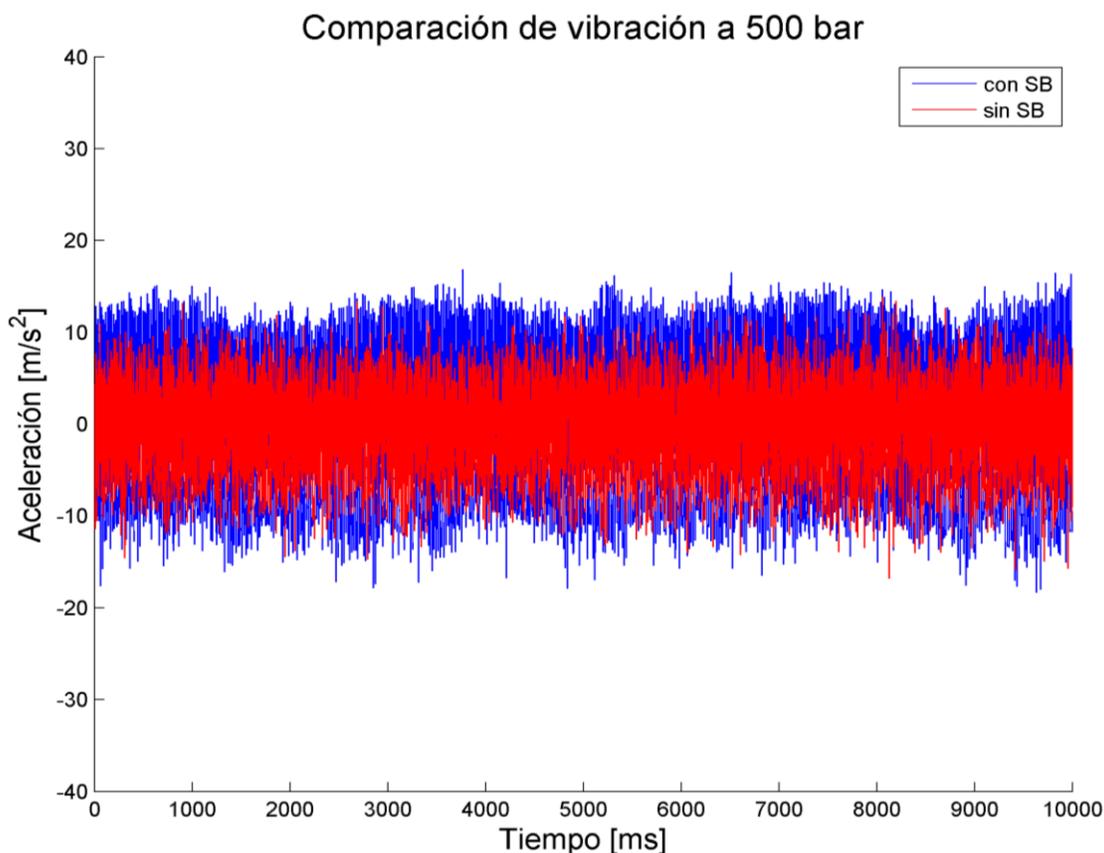


Figura 41 Comparación de vibración a 500 bar

En este nivel vemos una tendencia contraria al resto de las otras mediciones, donde es apreciable que las vibraciones han aumentado tras añadir el sistema antivibración. Durante el ensayo el motor tendió a quedarse quieto mientras que la placa base y los Silentblocks se sacudían, lo que transmitió la vibración a toda la estructura a cambio de mantener el motor estático.

Se concluye que, en este caso, dado el modo de vibración del sistema, las sacudidas han podido llegar a la estructura y no se ha podido conseguir el objetivo deseado, incluso se han amplificado en una media de 5m/s⁻². Sin embargo, esto no es significativo ya que a 500 bar las vibraciones son muy pequeñas y el sistema apenas hace ruido para esta presión tan baja.

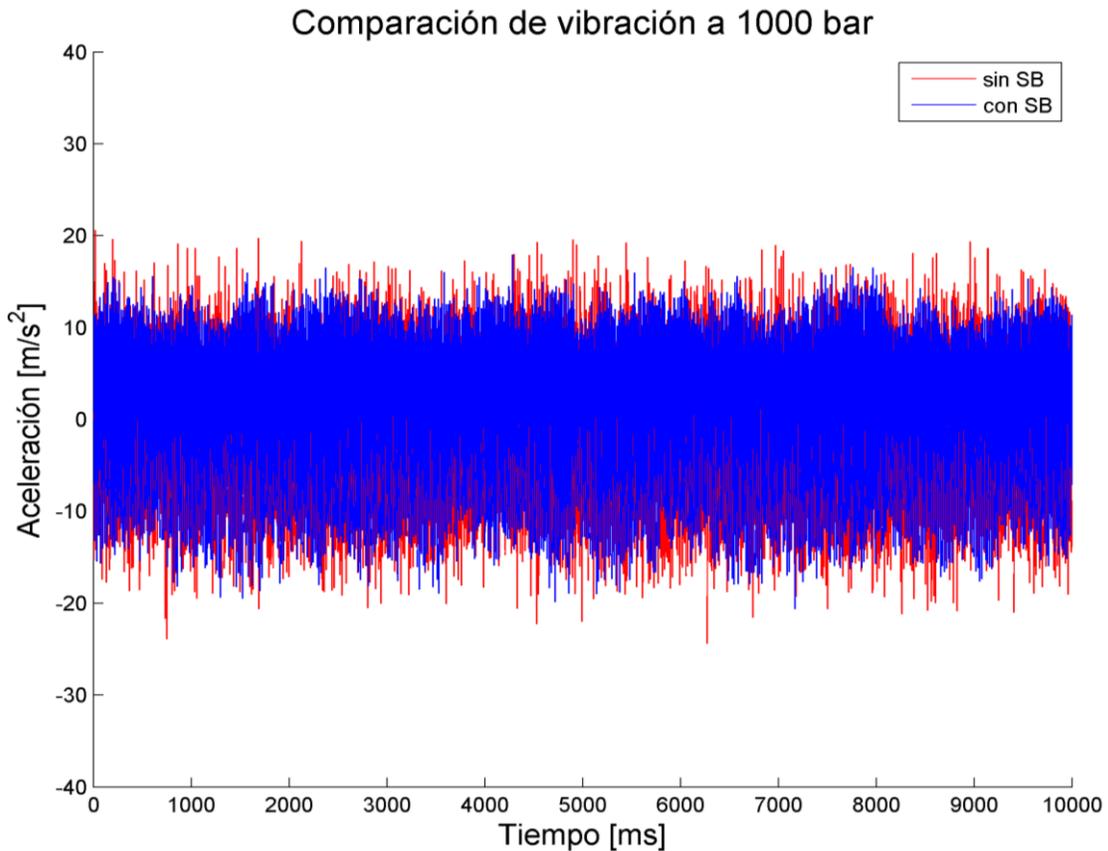


Figura 42 Comparación a 1000 bar

Es a partir de este nivel cuando se puede apreciar una disminución efectiva en el ruido y la vibración generados. Una vez abandonado el modo de vibración a 500 bares, que amplificaba la vibración, el sistema entra en uno nuevo en los 1000 bares donde el comportamiento se parece más a lo esperado. En estas medidas se reduce la vibración transmitida a la estructura, pero solo en un bajo porcentaje. No obstante, la tendencia en función de la presión empieza a cambiar y la reducción de esta comienza a ser efectiva.

Con los resultados obtenidos hasta ahora es posible predecir a continuación una disminución notable en las medidas a 1500 bar, pues así lo señala la tendencia del sistema, se deberá de volver a emplear una gráfica comparativa para poder verificar las predicciones.

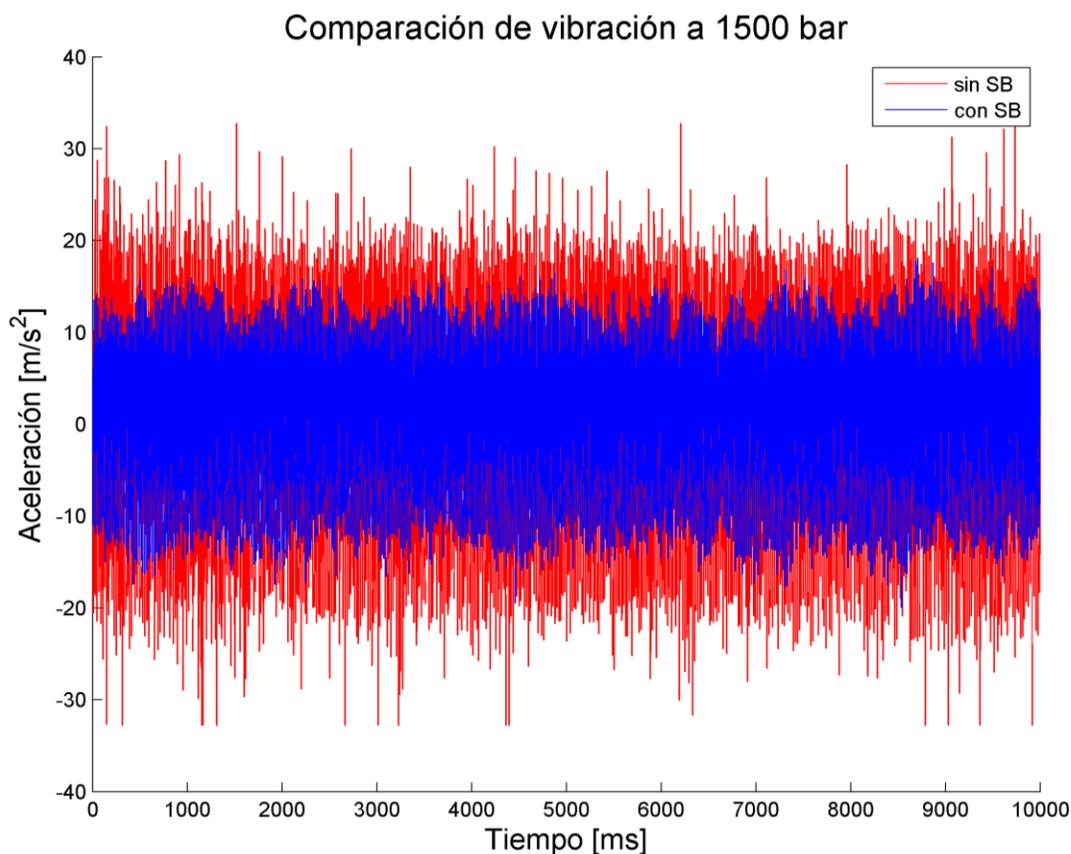


Figura 43 Comparación a 1500 bar

Es a esta elevada presión donde se pueden apreciar las mejoras en el sistema. Se ha conseguido reducir las vibraciones en una media de unos 10m/s^2 gracias al nuevo sistema antivibratorio empleado. Como se comentaba antes, este es el nivel más significativo pues la mayoría de ensayos se realizan con estas presiones o ligeramente por arriba.

Se puede extraer de las comprobaciones realizadas una clara tendencia a una mayor disminución de la vibración (con respecto a la configuración anterior) a medida que aumenta la presión de ensayo. En otras palabras, si se aumentara todavía más la presión de inyección se observaría una mayor distancia en cuanto a las vibraciones de ambos sistemas.

Para concluir estas comparaciones, debido a los modos de vibración presentados en los tres niveles de medida, las sacudidas medidas han resultado ser equivalentes para el nuevo sistema. No obstante, aunque el nuevo carrito vibre más a 500 bar que antes, se ha logrado una clara reducción a altas presiones, que es realmente donde el problema de las sacudidas y el ruido se acentuaba.

Dados los resultados obtenidos, es recomendable observar el espectro de vibración mediante el uso de FFT para averiguar qué está causando esas vibraciones inesperadas en el sistema con Silentblocks.

5.3 Tratamiento Mediante FFT

Con el fin de intentar esclarecer los resultados obtenidos en el apartado anterior, se procede a realizar el tratamiento de la señal conocido como *Fast Fourier Transform* (FFT). Dicha transformada proporciona resultados de amplitud (aceleración) en función de la frecuencia de vibración del sistema, también conocido como el espectro de vibración. El resultado de dicha operación puede verse en la imagen siguiente.

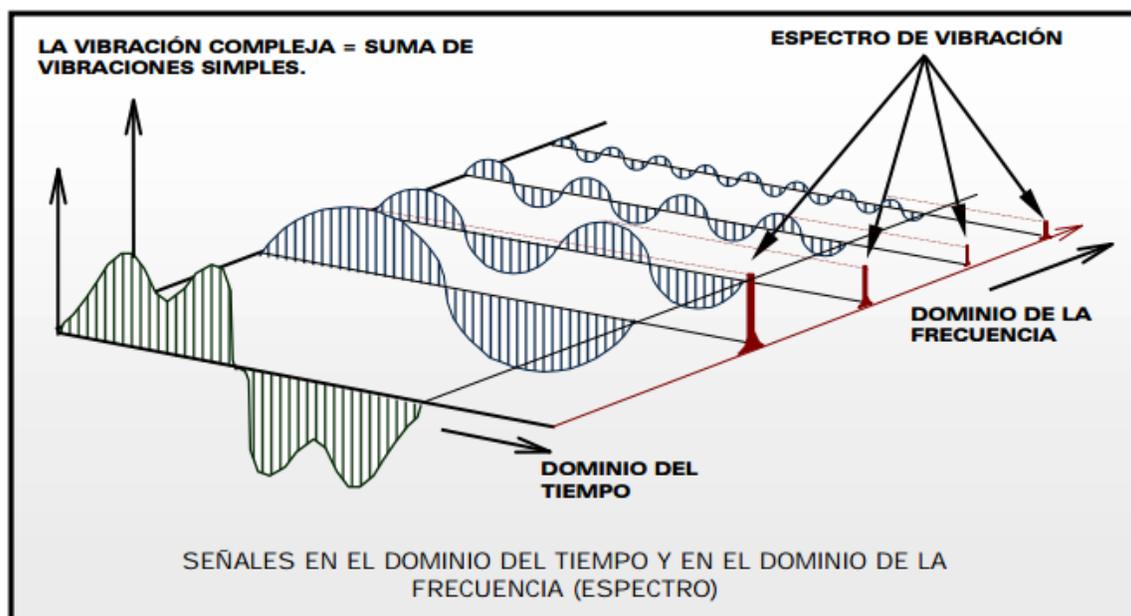


Figura 44 Efecto de la FFT (en rojo). Fuente: mantenimientoplanificado.com/

El siguiente paso es averiguar que está causando cada pico, o, en otras palabras, por qué existen determinadas vibraciones a ciertas frecuencias. Como antes, se va a proceder a realizar una transformada por cada nivel de presiones (esto es, 500, 1000 y 1500 bar) para comentar las diferencias apreciadas.

5.3.1 Espectro a 500 bar

En la figura siguiente se observa el espectro de vibración del sistema a 500 bar.

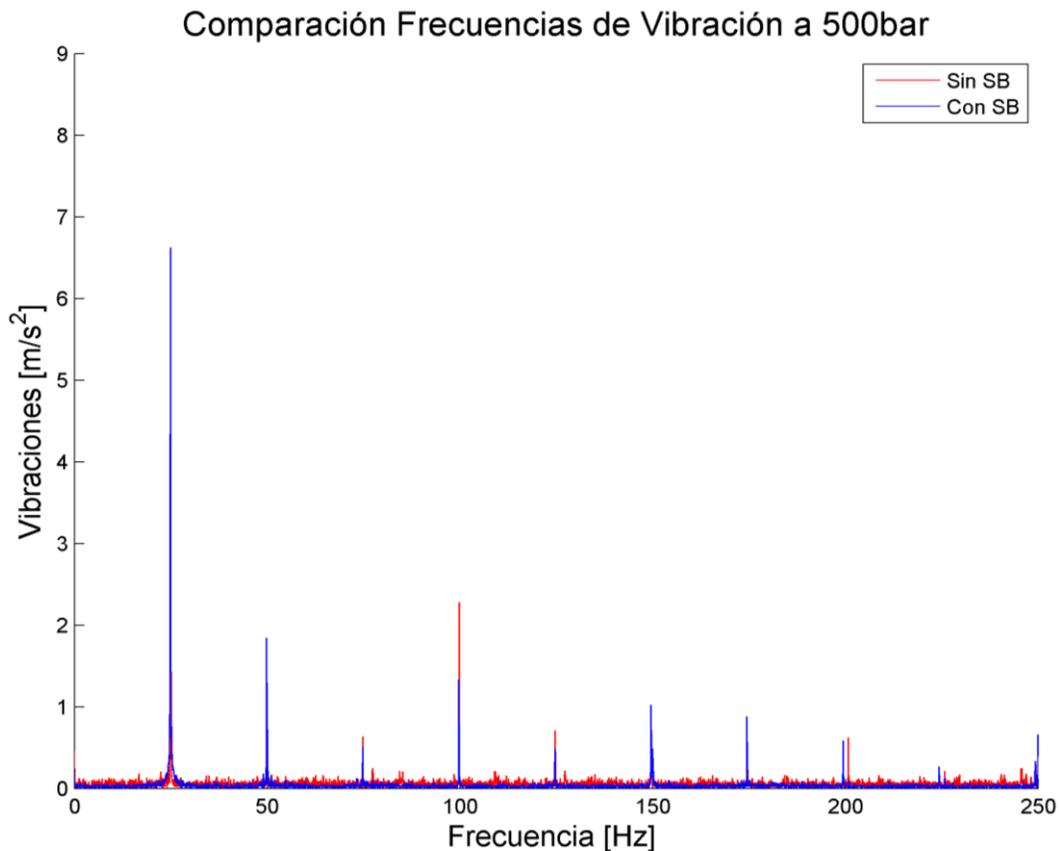


Figura 45 Comparación a 500 bar

En este tipo de análisis es interesante fijarse en los picos proporcionados. Cabe recordar que el motor gira a una velocidad constante de 1500 rpm, esto son 25 Hz. Las vibraciones generadas a la frecuencia de giro del rotor son normalmente causadas por desbalanceo (no coincidencia del centro de masas del eje con el centro de rotación) y desalineación en el sistema, mientras que el pandeo del eje las causa también a la misma frecuencia y a otra dos veces mayor (A-MAQ, 2005). Se puede asumir que estas han sido las causas de la aparición de la vibración en el sistema azul (amortiguado con SB) a las frecuencias de 25 y 50 y, por tanto, la causa de que se haya incrementado la vibración en la figura 41.

No se ha de perder de vista el pico a 75 Hz, a tres veces la frecuencia de giro del eje, provocado por los tres pistones de la bomba. En cada giro del motor se producen 3 golpes de pistón, luego la frecuencia de vibración de esos será tres veces la del motor (75 Hz). En dicho pico si es posible constatar la reducción conseguida gracias a los Silentblock.

En cuanto al resto de picos, (especialmente el de 100 en rojo) han podido ser causados por un mal engrane de la transmisión, debido a un mal engrane (A-MAQ, 2005).

Se concluye de este espectro que el aumento en vibraciones tras añadir los SB no ha sido debido a fallos en el diseño, si no en el montaje, donde se ha montado de forma errónea el eje, el cual ha quedado pandeado y, a causa de ello, se ha desbalanceado y desalineado.

5.3.2 Espectro a 100 bar

En la figura siguiente se observa el espectro de vibración del sistema a 1000 bar.

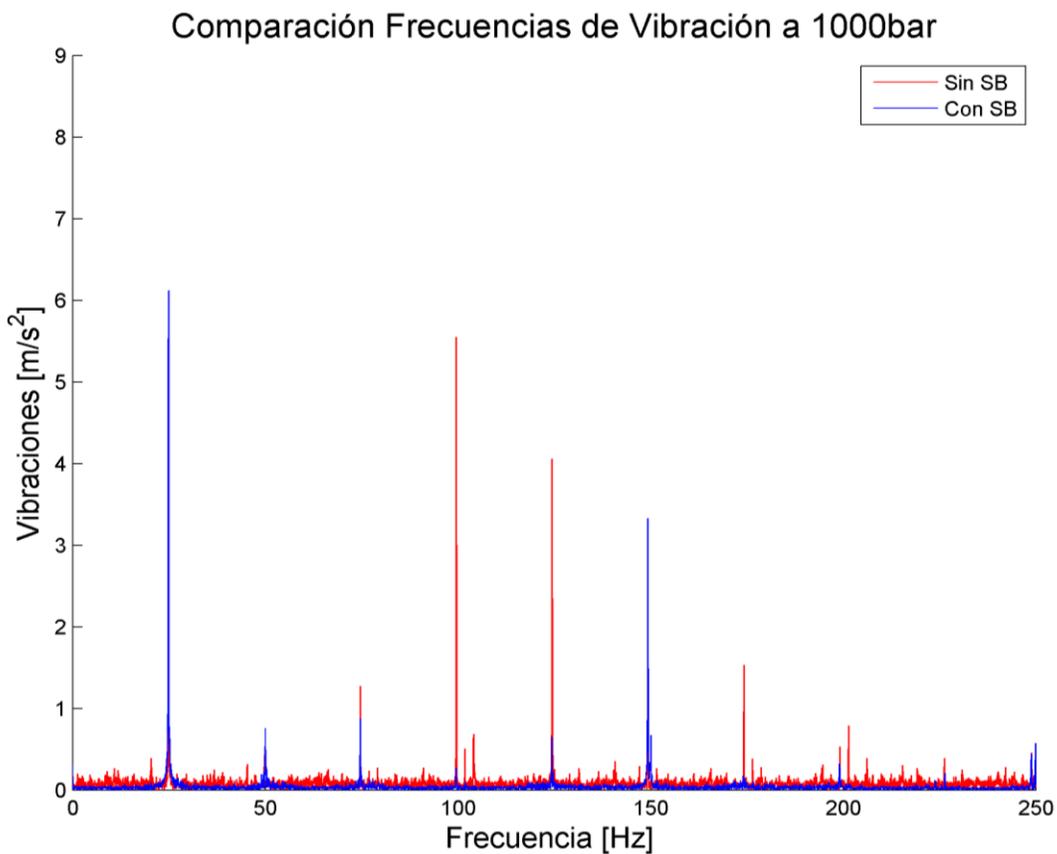


Figura 46 Comparación a 1000 bar

Relacionando este espectro con el anterior, se pueden observar como los defectos del montaje del sistema nuevo ya comentados persisten, mientras que se ha conseguido reducir los demás picos, en especial el de 100 y el de 125Hz, relacionados también con la frecuencia de los pistones de la bomba.

Comparando esta gráfica con la figura 42 se puede encontrar una justificación de que las vibraciones permanezcan en el mismo orden con y sin Silentblocks, debido a que los fallos cometidos en el montaje generan vibraciones que se compensan con las que están atenuando el sistema antivibración.

5.3.3 Espectro a 1500 bar

En la figura siguiente se observa el espectro de vibración del sistema a 1500 bar.

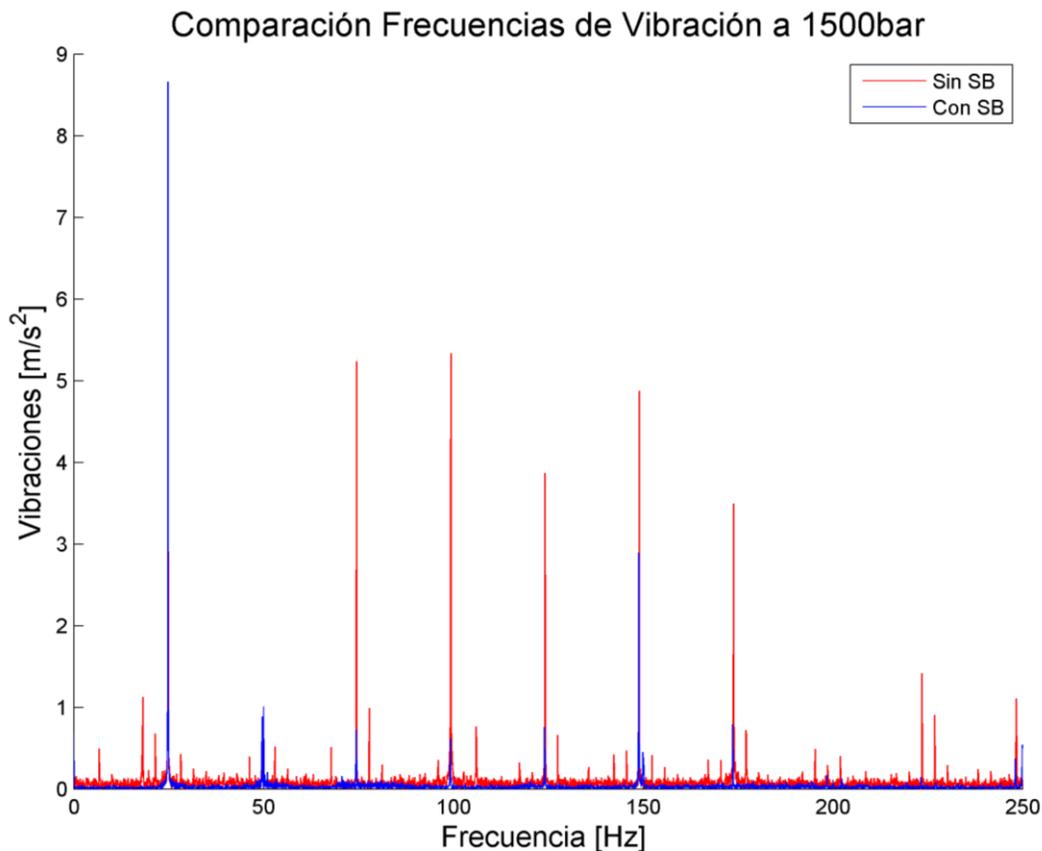


Figura 47 Comparación a 1500 bar

Como era de esperar, en este rango de presiones seguimos observando los defectos causados por el mal montaje (25 y 50 Hz), y la reducción efectiva generalizada de las vibraciones en el sistema gracias a los Silentblock. Todo ello justifica la reducción de vibraciones apreciable en la figura 43.

Como conclusión de estos análisis mediante FFT hemos descubierto las causas en la variación entre resultados esperados y resultados reales, debida en la práctica totalidad al mal montaje realizado, especialmente en la desalineación y desbalanceo del eje, y al desgaste acumulado de los dientes de la transmisión.

Las interpretaciones obtenidas de estos análisis se verían reforzadas con ensayos de sonido, en los cuales las tendencias descritas deberían seguirse y adecuarse a las vibraciones obtenidas.

5.4 Resultados de Ruido

Para los tres niveles también se ha analizado el nivel de ruido, que según la teoría debería de proporcionar resultados del mismo orden que las vibraciones debido a la relación directa de ambas magnitudes. Los resultados de sonido se han tratado con otro Script separado de los anteriores.

Estas medidas se han realizado mediante el sonómetro descrito en el primer capítulo. Es muy importante realizar las medidas con el dispositivo a la misma distancia en todos los ensayos, además de que la sala de ensayo sea la misma y que eliminen el resto de fuentes de sonido en el laboratorio.

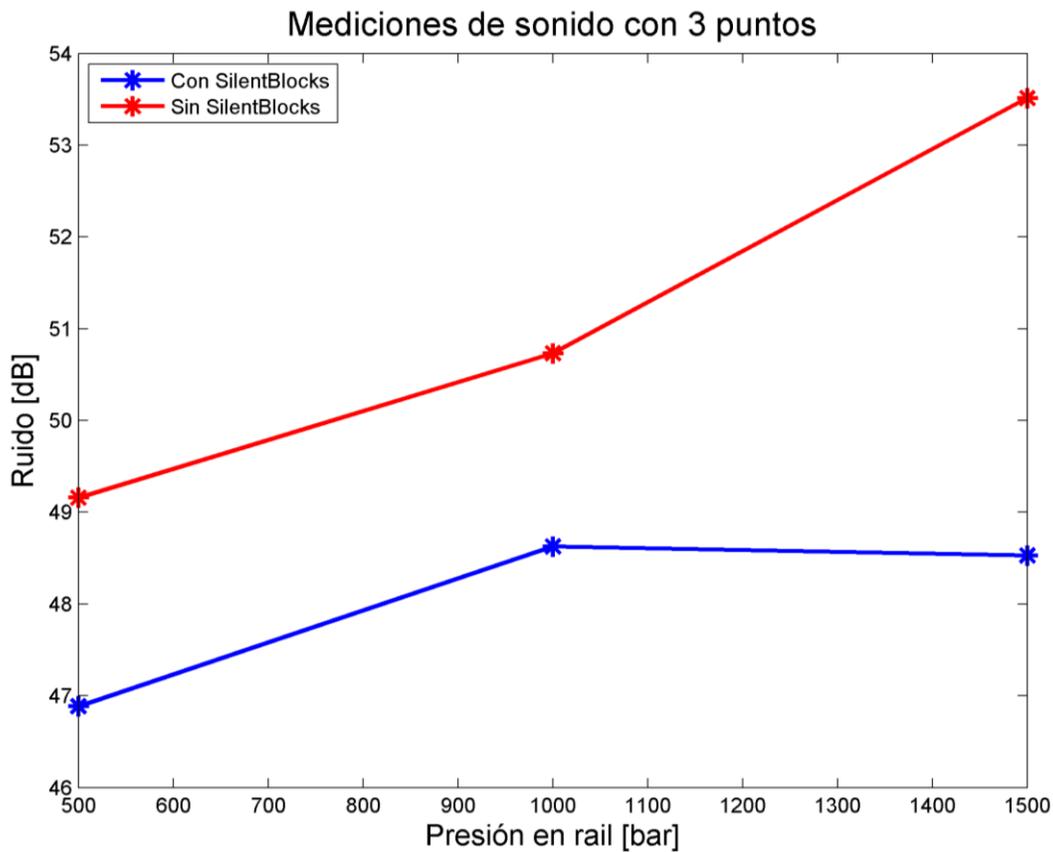


Figura 48 Mediciones de sonido con 3 puntos

Es fácil apreciar en la figura un claro cambio en la reducción del sonido, donde se percibe una gran mejora gracias a los Silentblocks y a la placa base. Además, tal y como pasaba

en los apartados anteriores, las mayores reducciones se dan en los rangos más interesantes (de 1500 bar en adelante).

En un primer vistazo puede parecer que la reducción en sonido no ha sido significativa, pues en los ensayos se ha reducido en 5 dB en el mejor de los casos, aun así, cabe recordar que el sonido ha sido medido en decibelios, una escala logarítmica, lo que implica que pequeñas disminuciones en el valor de dB (como es el caso) resultan en mucho menos ruido en la sala, lo cual ha sido constatado experimentalmente ya que el ensayo se realiza en una sala contigua.

Debido a que es difícil conocer con solo tres puntos donde comienza el cambio de tendencia, se procede a otro ensayo donde se graban más puntos.

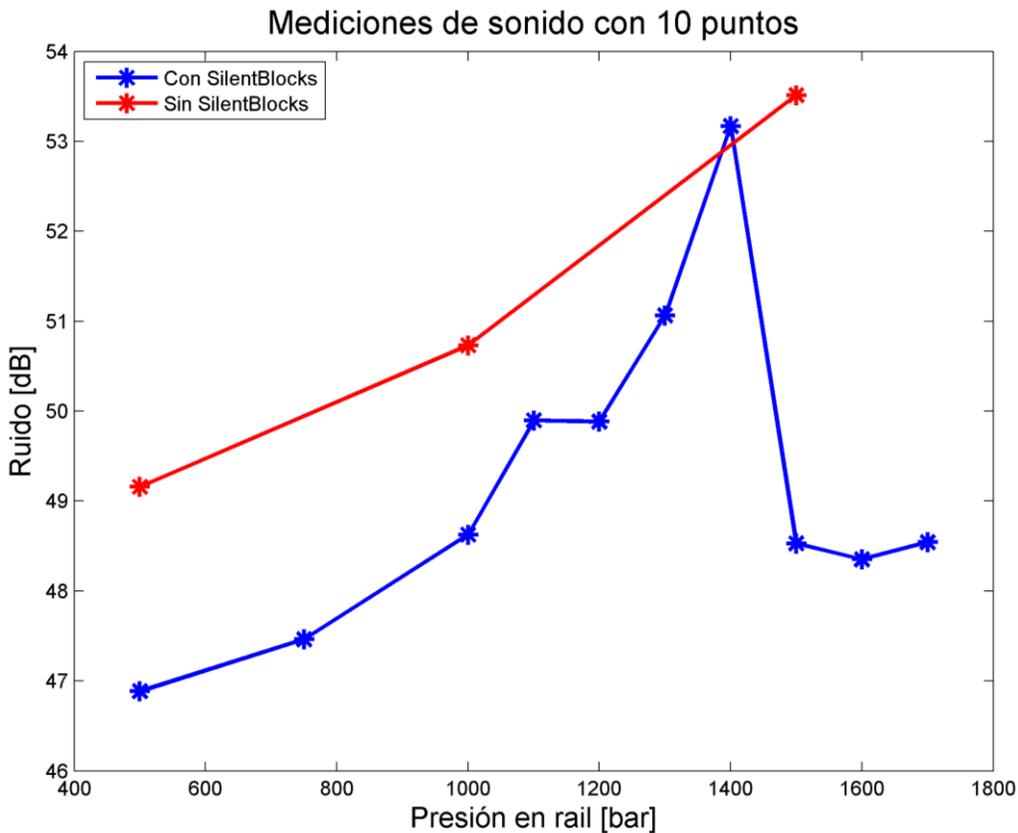


Figura 49 Mediciones de sonido con 10 puntos

En este caso se han medido 10 puntos comprendidos entre las presiones de 500 y 1700 bar. Estos resultados permiten analizar con mayor precisión las tendencias que sigue el sistema, y aporta datos en la línea con lo observado en las vibraciones: las mejoras significativas se consiguen a altas presiones donde la distancia entre las dos graficas incrementa. La variación en los resultados de la medida de las dos graficas de sonido puede deberse a pequeños errores en la medida.

6. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

Como se puede observar en el apartado de análisis de resultados, se ha logrado cumplir el objetivo más importante de este trabajo, diseñar un nuevo sistema capaz de amortiguar las sacudidas en los ensayos de una forma significativa. Paralelamente a ello, se ha logrado una disminución notable en el ruido, pues presentaba serios problemas para la salud de los encargados que realizan estos ensayos. Es importante resaltar que la mayor reducción de ruido y vibración se ha logrado a altas presiones, donde ambos factores resultaban más críticos, donde el nivel del ruido llegaba a ser, antes del montaje, insoportable.

Para constatar estas mejoras se ha hecho necesario el uso de la transformada rápida de Fourier, que ha permitido localizar las frecuencias donde se concentra el ruido, para poder demostrar que el sistema antivibratorio ha reducido efectivamente el ruido causado por el motor, la bomba y su acople.

Adicionalmente, como se vio en el montaje, ahora se dispone de un sistema y una base más flexible para, en caso de instalar componentes nuevos, poder mover fácilmente los ya existentes, todo ello en paralelo con una reducción de perfiles empleados. No obstante, actualmente no se dispone de un sistema para realizar y comprobar la correcta alineación del eje del motor, lo que ha causado vibraciones, pero dicho efecto se limita a un régimen de presiones bajo.

Aunque se han logrado las principales metas en cuanto a un sistema más silencioso, se proponen distintas mejoras a realizar en un futuro para la configuración entera, que mejorarían los objetivos ya alcanzados, además, supondrían una disminución en el consumo y el espacio utilizados.

En futuras modificaciones se podría corregir la desalineación del eje, utilizando herramientas adecuadas para ello, al mismo tiempo que se emplea una placa más gruesa, de al menos 10mm, para evitar que la base doble, lo que facilitaría la tarea de alineación.

Además, se podría emplear otro tipo de intercambiador más ligero, pero con un rendimiento similar, tal como un intercambiador de placas, con el fin de reducir el peso del sistema y al mismo tiempo ganar espacio y volumen dentro de el para otros subsistemas, lo que se podría emplear en una posible conexión a mas tuberías que realicen la función de vaciado de líquidos de las mangueras, con el fin de acelerar significativamente dicha tarea.

Otra configuración a emplear en caso de que se quiera reducir más las vibraciones consistiría en recolocar el rail para emplear una línea flexible, con el fin de que todas las líneas sean de este estilo para que ninguna de ellas transmita las sacudidas. Es aconsejable alargar esta línea flexible todo lo que se pueda, para que atenúe las vibraciones al máximo posible.

Además, la configuración de arranque actual es la más brusca de entre las ya comentadas, por lo que sería recomendable en un futuro instalar un variador de frecuencia dentro del cuadro eléctrico, donde afortunadamente hay espacio para este componente, que va a proporcionar consumos de electricidad más moderados.

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Por último, quisiera remarcar que la importante experiencia que he adquirido a través del presente TFG me ha permitido aumentar mi pericia en programas tan importantes para un ingeniero industrial como son Matlab, SolidWorks o Microsoft Office; así como expandir mi capacidad de tratamiento de datos de distintas fuentes, consulta de bibliografía, mejora en los procesos de selección de alternativas, una mayor disposición para el trabajo en equipo y mayor capacidad para la habilidad de autoaprendizaje.

7. BIBLIOGRAFÍA

A-MAQ. (2005). *Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico*.

Ferguson, C. R. (1986). *Internal combustion engines*. New York.

Gomís, J., & Otros. (1997). *Dibujo normalizado*. Valencia: UPV.

Hervas, E. (2015). *Benchmarking de sistemas de inyección para motores industriales*. Valencia: UPV.

Heywood, J. (1989). *Internal combustion engine fundamentals*. New York etc.

López, G. (2010). *Máquinas Hidráulicas*. Valencia: UPV.

Observatorio Salud y medioambiente. (2012). *Ruido y Salud*.

Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia: Reverté S.A.

DOCUMENTO N°2
PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se detallan todas las unidades de obra empleadas en el cálculo del coste total del proyecto, así como la explicación de los precios asignados a cada concepto. En este escrito se va a considerar, por un lado, el precio de las horas empleadas por el alumno realizando el trabajo y sus tutores y, por otro, aquellos costes derivados del diseño, compra, montaje y ensayo de los componentes del sistema de inyección objeto de este trabajo.

2. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

En esta sección se tratará la composición de todas las unidades de obra empleadas, así como aquellos rendimientos y precios considerados necesarios para explicarlas.

Las unidades de obra se dividen en dos tipos. Las primeras describen el precio de las horas utilizadas por los responsables del trabajo, es decir, el ingeniero responsable, el técnico de laboratorio o primer cotutor, el segundo cotutor y el alumno de grado. Las siguientes unidades de obra exponen el precio de la compra de material, los ensayos realizados, el montaje y los programas necesarios.

2.1. Definición de Precios y Rendimientos

2.1.1. *Coste de la mano de obra*

Se toma como referencia un salario base propio de un ingeniero profesional. A partir de dicho salario se calculará el coste de las horas del equipo a cargo del proyecto (descritos en el párrafo superior), como se verá reflejado en las unidades de obra.

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

SALARIO BASE	3,000.00 €
Salario 12 meses	36,000.00 €
Pagas extra (2)	6,000.00 €
Seguridad social 23%	8,280.00 €
FP 0.9%	324.00 €
Fondo garantía salarial 0.2%	72.00 €
Coste total	50,676.00 €

Tomando el resultado anterior, se calcula el coste de una hora de trabajo de un ingeniero graduado, teniendo en cuenta que se trabaja 8 horas durante 22 días al mes, durante un total de 12 meses, lo que reporta un total de 23.99 euros la hora.

Los salarios se han fijado en base a un porcentaje del coste horario. Así pues, obtenemos los siguientes precios:

- Tutor responsable. Al ser un doctor recibe el 100% del salario.
- Técnico de laboratorio, cotutor. Recibe el 75% de la cantidad mencionada.
- Segundo cotutor. Recibe también el 75% de la cantidad mencionada.
- Alumno de grado. Se calcula aparte, empleando un sueldo de alumno en prácticas de 800 euros que se traducen a 5 euros/hora, para 200 horas trabajadas al mes.

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.1.2. Rendimiento y precios para los recursos energéticos

Los rendimientos se han calculado, para los equipos conectados a la red eléctrica, multiplicando la potencia de dichos equipos por la fracción de hora empleada.

Concepto	Recursos consumidos	Unidad	Descripción	Horas (h/h)	Rdto
Ordenador Sobremesa	0.25	kW	Consumo de los ordenadores de sobremesa en el CMT	1.00	0.25
Ordenador portátil	0.06	KW	Consumo del ordenador portátil del alumno	0.90	0.05
Iluminación	0.15	KW	Consumo de la iluminación	1.00	0.15
Climatización	5	KW	Consumo de la climatización en el edificio	0.70	3.50
Energía de la soldadura	14.4	KW	Consumo energético del equipo de soldadura	0.80	11.52

2.1.3. Tasa horaria de las máquinas empleadas

En las unidades de obra de ensayo y montaje es necesario conocer la tasa horaria del equipo empleado, esto es, cuanto cuesta usar una herramienta cada hora. Para ello se emplea las siguientes fórmulas

$$a = \frac{V_c - V_r}{n}$$

$$T_h = \frac{a - m}{h}$$

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

Donde a es la amortización, V_c el valor de compra, V_r el valor residual al término del periodo de uso y n la duración de dicho periodo en años. Th es la tasa horaria en euros/hora y m el coste del mantenimiento durante un año.

Descripción	Vc (€)	Vr (€)	n	a (€/año)	m (€/año)	Th (€/h)
Cadena de medida Yoko	12000.00	10000.00	1	2000.00	60.00	1.15
PID y rack de temperaturas	1800.00	500.00	1	1300.00	25.00	0.74
Equipo Tasímetro	16000.00	13000.00	5	600.00	25.00	0.35
Estructura Tasímetro	450.00	70.00	10	38.00	30.00	0.04
Sensor de presión	3000.00	2500.00	1	500.00	20.00	0.29
Acelerómetro	250.00	50.00	5	40.00	0.00	0.02
Equipo de termorregulación	3200.00	800.00	3	800.00	70.00	0.49
Bomba de aspiración	100.00	0.00	1	100.00	0.00	0.06
Filtro separador	350.00	0.00	1	350.00	0.00	0.20
TOTAL						3.34

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.2. Unidades de Obra

Las unidades de obra desde la primera a la tercera hacen referencia exclusivamente a la mano de obra utilizada para completar el documento con todas sus partes, así como el diseño de los componentes que lo han necesitado.

Las demás detallan las actividades principales en las que se ha basado el proyecto, como son el montaje y los ensayos.

2.2.1. Tutor responsable del proyecto

Concepto	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe(€/h)
Tutor responsable	h	Horas dedicadas al proyecto	1	23.99	23.99
Ordenador	KWH	Energía empleada por el ordenador	0.25	0.16	0.04
Iluminación	KWH	Energía empleada por la iluminación	0.15	0.16	0.02
Climatización	KWH	Energía empleada por la climatización	3.50	0.16	0.56
TOTAL					24.61

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.2.2. Técnico de laboratorio, cotutor

Esta unidad de obra se empleará dos veces en el siguiente apartado, pues ambos cotutores reciben el mismo salario.

Concepto	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe(€/h)
Cotutor	h	Horas dedicadas al proyecto	1	17.39	17.39
Ordenador	KWH	Energía empleada por el ordenador	0.25	0.16	0.04
Iluminación	KWH	Energía empleada por la iluminación	0.15	0.16	0.02
Climatización	KWH	Energía empleada por la climatización	3.50	0.16	0.56
TOTAL					18.01

2.2.3. Alumno

Concepto	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe(€/h)
Alumno	h	Horas dedicadas al proyecto	1	5.00	5.00
Portátil	KWH	Energía empleada por el ordenador	0.05	0.16	0.01
Iluminación	KWH	Energía empleada por la iluminación	0.15	0.16	0.02
Climatización	KWH	Energía empleada por la climatización	3.50	0.16	0.56
TOTAL					5.59

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.2.4. Ensayos

Concepto	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio (€)	Importe(€/h)
Maquinaria ensayo	h	Precio de las horas usadas por la maquinaria de ensayos	1	3.34	3.34
Diésel	L	Cantidad de diésel usado	2.00	1.00	2.00
iluminación	KWH	Empleo de la iluminación en la sala de ensayos	0.15	0.16	0.02
TOTAL					5.36

En el caso del diésel empleado, cabe destacar que en un ciclo de ensayos que dura una hora, se consumen dos litros.

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.2.5. Montaje

Para las herramientas de montaje se ha empleado la fórmula de la tasa horaria explicada antes.

Descripción	Vc (€)	Vr (€)	n (años)	a (€/año)	m (€/año)	Th (€/h)
Herramientas montaje	1,200.00	0.00	10.00	120.00	0.00	0.07

Concepto	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe(€/h)
Energía Soldador	KWH	Energía empleada en las soldaduras realizadas	11.52	0.16	1.84
Herramientas montaje	h	Uso de las herramientas del CMT	1	0.07	0.07
Iluminación	KWH	Empleo de iluminación en la sala de ensayos	0.15	0.16	0.02
TOTAL					1.93

2.2.6. Licencias

Licencias	Precio
SolidWorks 2016 Student Edition	135.00 €
Matlab 2013	2,000.00 €
Microsoft office 2016	62.00 €
Total	2,197.00 €

Para SolidWorks, en la universidad se disponen de licencias gratis SDK, pero en este trabajo han hecho falta características de la SEK, mucho más limitada en número de licencias, por tanto, se recomienda comprar SW 2016 Student Edition que si tiene estas características (photo render y simulation).

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.2.7. Componentes comprados

Componente	Descripción	Unidades	Precio (€)	Total (€)
Placa base	La mecanización ha sido externalizada	1.00	120.00	120.00
Placa en L	La mecanización ha sido externalizada	1.00	95.00	95.00
Bomba	CP3 Bosch	1.00	75.00	75.00
Motor Eléctrico	Motor M2AA 1500rpm 2 polos 11KW 380/660V	1.00	400.00	400.00
Intercambiador de calor	Tipo carcasa y tubos	1.00	98.00	98.00
Cuadro Eléctrico	Hecho a medida por una empresa externa para el carrito	1.00	120.00	120.00
Perfiles	Perfil básico 45x45 Aluminio anodizado natural, 2x440, 6x530, 4x390, 2x620	14.00	12.11	169.54
Ruedas	60mm diam, goma sin freno, esparrago	4.00	6.01	24.04
Mecanismo antivibracion caucho-metal (Silentblock)	Comprados a un intermediario	6.00	8.13	48.78
Deposito combustible	Capacidad 5 litros	1.00	45.00	45.00
Rampa inyector Common Rail	Common Rail	1.00	43.00	43.00
Escuadras	Juego escuadras + 40 tornillos con sus tuercas	1.00	31.20	31.20
TOTAL				1269.56

3. CUADRO DE MEDICIONES

Concepto	Descripción	Precio unitario	Medición	Coste
0.1- Tutor del TFG	Horas dedicadas del tutor del TFG	24.61 €	20	492.20 €
0.2- Técnico de laboratorio	Horas dedicadas del técnico de laboratorio	18.61 €	40	744.40 €
0.3- Tutor secundario	Horas dedicadas del tutor del tutor del proyecto	18.61 €	75	1,395.75 €
0.4- Alumno	Horas dedicadas del alumno al TFG	5.59 €	300	1,677.00 €
0.5-Ensayos	Horas empleadas en la realización de ensayos	5.36 €	1.15	6.16 €
0.6- Montaje	Horas empleadas en el montaje de todo el conjunto	1.93 €	20	38.60 €
0.7- Licencias	Licencias de los programas empleados	2,197.00 €	1	2,197.00 €
0.8- Piezas y componentes	Compra y tratamientos de todas las piezas necesarias	1,269.56 €	1	1,269.56 €
TOTAL Presupuesto				7,820.67 €

4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

RESUMEN	
Presupuesto ejecución material	7,820.67 €
Bfo. Industrial 6%	469.24 €
Presupuesto de inversión	8,289.91 €
IVA 21%	1,740.88 €
Presupuesto base de licitación	10,030.79 €

Asciende el presupuesto base de licitación al valor de **DIEZ MIL TREINTA EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS DE EURO.**

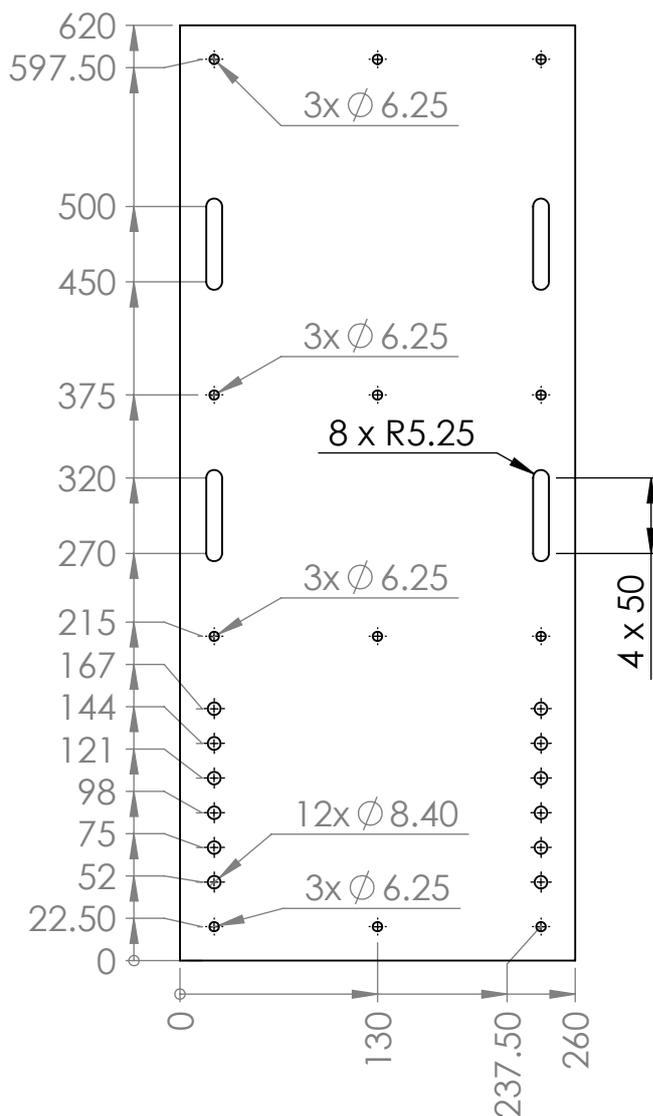
DOCUMENTO N°3
PLANOS

1. PLANO DE LA PLACA BASE

En el presente documento se va a exponer el plano diseñado en este TFG, que consta de la plancha de apoyo del conjunto motor-bomba que ya se ha visto en la memoria, de un espesor de 5mm. Este diseño ha tenido que ser exportado a formato DXF (*Drawing Exchange Format*) para la mecanización de la plancha. El siguiente plano es, por tanto, parte imprescindible pues en la placa ha de encajar la distribución de Silentblocks elegida, al mismo tiempo que el resto de componentes que descansan sobre ella quedan bien fijados.

En este trabajo se han utilizado otros planos, como el de la placa en L que hace de soporte de la bomba, tal y como se ve en el apartado 3.3 de la memoria. Sin embargo, se optó por mantener la placa en L antigua de la que disponía el CMT, por lo cual no se consideró necesario realizar un plano de dicha pieza, aunque si ha sido necesario crearla en SolidWorks para poder efectuar los análisis estáticos como se muestra en el apartado 3.3.2.

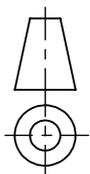
En cuanto a la estructura del carrito, o *frame*, cabe destacar que esta se debe adaptar a las dimensiones de los elementos que soporta. Tal y como sucedió con la placa en L, se empleó material ya disponible del CMT y no se consideró necesario hacer un plano, pues esta pieza no ha sido mecanizada en el transcurso de este TFG.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Planos

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear: ± 0.2 Angular: $\pm 0.2^\circ$

Acabado superficial: N9

Creado por:

Miguel A. González Cortina

Fecha:

16/05/2016

Aprobado por:

Jose E. Del Rey

16/05/2016

Description:

**Planos de la plancha
antivibración del carrito**

Acabado:

Linea Inyección

Material:

(.....) 5mm de espesor

Referencia:

Revisión:

Hoja:

A4

Escala: **1:5**

1 of 1