

1. Introducción y Objetivos.

1.1. Introducción.

Este Proyecto Fin de Carrera tiene como objetivo la optimización del sistema de suspensión tipo *MacPherson* de un automóvil. Los elementos que componen el sistema analizado son el tubo que contiene al amortiguador y el asiento sobre el que descansa el muelle de la suspensión. El medio que se emplea para la unión es el ajuste a presión como alternativa a la soldadura entre los elementos.

El amortiguador es uno de los elementos de mayor importancia dentro del automóvil, debido fundamentalmente a su elevada incidencia sobre la seguridad de la conducción y sobre el confort de los pasajeros. Por ello, todos los componentes del sistema de amortiguación merecen una especial atención en su diseño, sobre todo en lo que respecta a su integridad estructural, es decir, a su resistencia. Además, los amortiguadores de tipo *MacPherson* poseen la característica de soportar sobre sí mismos todo el peso del vehículo sin disponer de otro medio de apoyo, es decir, combinan labores portantes y de suspensión. Este factor aumenta en mayor medida el interés de un detallado estudio de resistencia de sus elementos constitutivos.

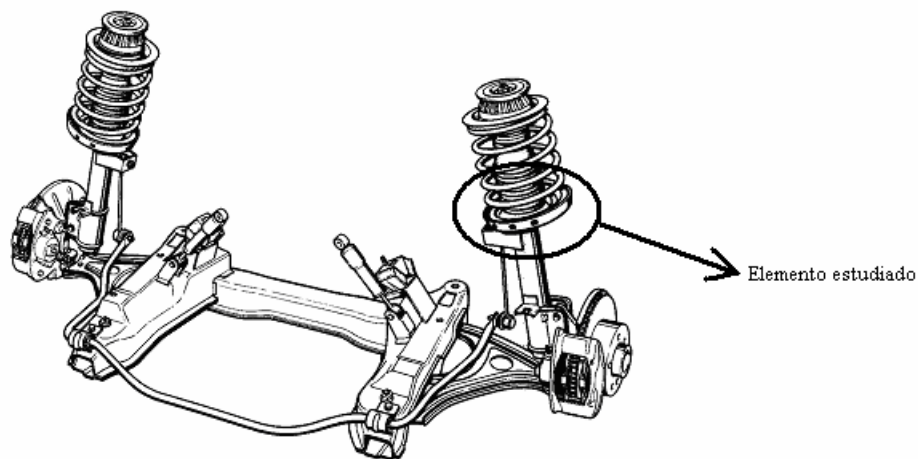


Ilustración 1-1. Suspensión *MacPherson* de un automóvil.

De acuerdo con el modo de funcionamiento del amortiguador, es preciso realizar un análisis dinámico para determinar los posibles fallos. Se analizará la posibilidad de fractura por acumulación de deformación plástica y por fatiga. En cuanto a la posibilidad de fallo por deformación plástica, el problema que se plantea es el correspondiente a la obtención de una

geometría deformada no apta para cumplir con su funcionalidad, alcanzándose plastificaciones localizadas de valor importante. El fallo por fractura será el más preocupante en lo referente a la seguridad y será debido generalmente a un proceso de fatiga, según el cual se produce la iniciación de una grieta en un punto crítico (normalmente por concentración de tensiones) y el crecimiento de la misma. La problemática asociada a este tipo de fallos por fractura se fundamenta en la brusquedad del mismo, lo que plantea una mayor precaución en su estudio dada la gravedad de los accidentes que pueden derivarse en dicho caso. La posibilidad de fallo por fractura se estudiará mediante el empleo de una función que permita obtener la vida del componente para poder imponer una vida mínima en el proceso de optimización.

Actualmente, el diseño de este tipo de unión se realiza mediante soldadura y sus características de resistencia se obtienen por medio de ensayos experimentales, en los que se calcula la vida de la unión en base a unos valores de las cargas y un proceso cíclico de las mismas. En este proyecto se realiza una función de optimización de la geometría de un amortiguador cuya forma de unión entre el tubo y el asiento del amortiguador se realiza por ajuste a presión, al modelo realizado se le aplican las cargas y condiciones de contorno necesarias y una vez resuelto se calcula su vida a fatiga. La optimización de este modelo permite la obtención de una geometría aproximada que cumple unas especificaciones de vida y que emplea la menor cantidad de material necesaria, la realización de este proyecto permitirá la reducción del número de ensayos a efectuar para tener unas garantías suficientes en cuanto a la resistencia de la unión y la geometría del amortiguador. Por muy precisos que sean los estudios que se realicen para estas uniones, los ensayos experimentales son siempre una condición imprescindible para la verificación de resultados y la comprobación de la funcionalidad del método utilizado. Ello es debido al empleo de distintas hipótesis y criterios en los estudios numéricos y a la existencia de determinadas variables experimentales asociadas a la realidad práctica de los ensayos y del uso final de los elementos.



Ilustración 1-2. Unión estudiada unida mediante soldadura.

A continuación se indican las razones que motivan el estudio de la nueva unión, así como sus características, ventajas e inconvenientes.

Hasta el momento, la unión entre el tubo y el asiento del amortiguador siempre se ha realizado mediante soldadura por arco de manera automática. Sin embargo, esto tiene un claro inconveniente económico asociado al transporte y ensamblaje de los amortiguadores, que pretende subsanarse con el transporte de los componentes conformados por separado y su posterior unión en las propias cadenas de montaje. Para ello, se presupone que dicho proceso de unión no tendrá una complicación elevada.

En base a estas argumentaciones, la alternativa que se ha considerado como posible solución consiste en el ajuste a presión. Esto se consigue con la fabricación del tubo y del asiento de tal forma que en la zona de inserción exista una cierta interferencia. Por otra parte, la propia realización de este proceso de unión conllevará un menor coste económico, ya que la soldadura por arco de los componentes lleva asociada una gran complicación del procedimiento y el ajuste a presión no tendría en principio mayor dificultad que la de aplicar una cierta fuerza adecuada en el asiento manteniendo sujeto el tubo por uno de sus extremos. Los inconvenientes que existen al cambio del método de unión son la existencia de tolerancias de fabricación (que en este caso tienen mucha mayor importancia) y la falta de experimentación en este sentido.

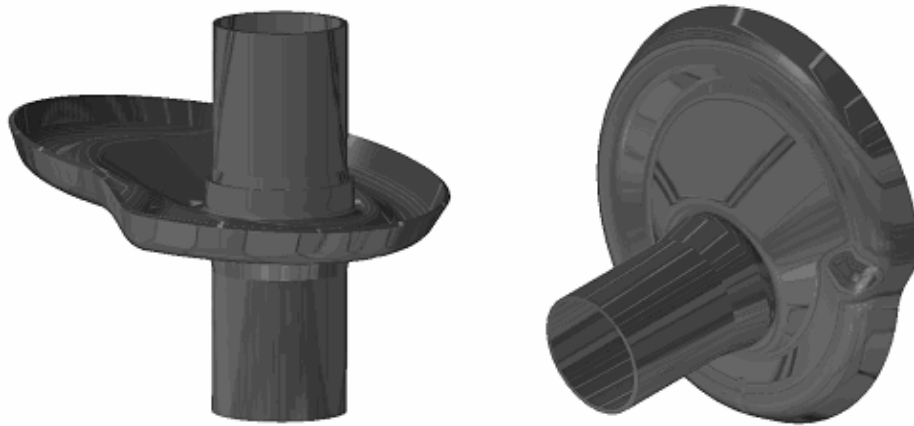


Ilustración 1-3. Unión propuesta mediante ajuste a presión.

En cuanto a la interferencia comentada, su valor deberá ser suficiente para que permita la aplicación de las cargas normales de uso sin que haya unos desplazamientos considerables (deben ser prácticamente nulos) en la zona del ajuste. Por otra parte, no podrá ser demasiado elevado para no provocar tensiones en el material que puedan dar lugar al fallo de alguno de los elementos. En cualquier caso, en este proyecto se va a considerar una interferencia dada y, a partir de ella, se evaluará si con dicho valor se tiene una unión adecuada para satisfacer las necesidades de montaje y utilización. No obstante, las tolerancias de fabricación asociadas a las dimensiones de los elementos obligan al análisis de dos casos: interferencia nominal y máxima (situación más desfavorable en lo que se refiere a la resistencia). La situación de interferencia mínima no se tiene en cuenta en este proyecto por su menor peligrosidad de cara a la resistencia a fatiga.

La realización del modelo paramétrico permitirá el estudio de diferentes opciones para la obtención de la geometría final del amortiguador, además gracias a la función de cálculo de la vida a fatiga se podrá obtener la resistencia de los componentes para distintas geometrías consideradas. Con las funciones de optimización implementadas se puede obtener un valor inicial aproximado de los espesores y de la resistencia de los componentes en el caso de modificar la geometría del amortiguador, dentro del rango aceptable de los parámetros empleados en el modelo, o de querer realizar un rediseño del componente con otras especificaciones.

1.2. Objetivos.

Como se ha comentado, la idea básica de este proyecto es la optimización de la unión entre el tubo y el asiento de un amortiguador por medio de un ajuste a presión. Con ello se pretende obtener las dimensiones de los componentes según ciertas especificaciones, así como

evaluar las características asociadas a la resistencia a fatiga. Este documento se centrará fundamentalmente en el estudio del proceso de optimización de una geometría simplificada sometida a carga cíclica que parte de los resultados obtenidos en el proceso de entrada en contacto, en este estudio de optimización se considera como variable fundamental a la resistencia a fatiga de los componentes.

Los objetivos a satisfacer en este proyecto son los siguientes:

- 1º) Implementación de dos algoritmos de optimización que permitan la resolución de problemas no lineales con restricciones.
- 2º) Comprobación de la validez de los algoritmos de optimización implementados en un programa de elementos finitos y en el lenguaje de programación *FORTRAN*.
- 3º) Generación en un programa de elementos finitos de una geometría paramétrica simplificada del amortiguador, mallado, aplicación de cargas y condiciones de contorno y resolución del modelo simplificado.
- 4º) Determinar la resistencia a fatiga de los componentes.
- 5º) Comparar los resultados obtenidos en el modelo paramétrico simplificado y en un modelo detallado, para determinar la validez del modelo realizado.
- 6º) Generación de una función que permita la optimización del modelo realizado en elementos finitos mediante la definición de una serie de variables de diseño a optimizar de acuerdo con una determinada función objetivo y sujeto a una serie de restricciones.
- 7º) Comprobar, a partir de los resultados de la optimización, el rango de validez de los resultados derivados de este proceso.

Es importante tener en cuenta que las conclusiones que se obtengan están íntimamente ligadas a las características del contacto (interferencia y rozamiento) y a las propiedades de los materiales, de manera que cualquier modificación en este sentido requerirá un nuevo análisis de la situación.

De acuerdo con la dificultad asociada a la realización de este proyecto, es preciso plantearse en primer lugar la metodología a seguir para desarrollar el estudio completo de una manera óptima. Los pasos que se llevarán a cabo son los siguientes:

- Selección de los algoritmos de optimización a implementar y de los lenguajes de programación que se usarán.

- Realización y comprobación de la validez de los resultados obtenidos con los algoritmos implementados mediante la resolución de problemas con solución analítica conocida.
- Generación de la geometría del modelo del amortiguador en un programa de elementos finitos, obtención del rango de validez de los parámetros que generan el modelo, mallado coherente del modelo, aplicación de cargas y condiciones de contorno y resolución de manera automática mediante un archivo de entrada al programa de elementos finitos.
- Comparación de los resultados obtenidos en el modelo paramétrico simplificado con los del modelo detallado tanto en distribución de tensiones como de deformaciones plásticas y variables relevantes del contacto para el rediseño del modelo paramétrico y de las variables del contacto.
- Realización de una función que permita detectar de manera automática la posición del punto más desfavorable según un criterio de iniciación de grieta, crear una línea a lo largo del espesor en la que se pueda obtener el valor de la vida de iniciación y de propagación en cada punto para poder estimar la vida total del componente. Comparar estos resultados con los obtenidos en el modelo detallado y decidir el número de ciclos de carga que se deben aplicar y otros parámetros del proceso de resolución para minimizar el tiempo de resolución del análisis.
- Resolución de un modelo con pocos grados de libertad en el proceso de optimización para determinar los valores de los parámetros de optimización y resolución de un modelo con más grados de libertad que inicie en el óptimo del proceso anterior para observar la variación con el mallado del componente del proceso de optimización y de los resultados obtenidos.
- Realización de un análisis de sensibilidad del óptimo obtenido en el proceso anterior con un modelo que tenga un gran número de grados de libertad para poder observar la validez de los resultados obtenidos y la importancia de cada parámetro en las especificaciones del componente.

Un último paso a tener en el proceso completo de verificación de la solución obtenida sería la comparación experimental de los resultados numéricos. Esto excede de los límites del proyecto, pero será comentado brevemente debido a su importancia. Después de la resolución numérica del problema de la unión mediante ajuste a presión, sus resultados deben ser comprobados por medio de ensayos experimentales, que consistirán en el proceso de montaje del tubo y el asiento del amortiguador y en la aplicación de una carga cíclica sobre el asiento para

comparar la vida real de la unión con la obtenida numéricamente. Estos ensayos se efectuarán en un cierto número de uniones con ajuste a presión (de las mismas características y dimensiones que las obtenidas en el proceso de optimización) y sus resultados se deberán corresponder con los obtenidos tras el estudio numérico. De esta manera, el análisis numérico a realizar permitirá reducir en gran medida el número de ensayos necesarios para poder garantizar la seguridad de la unión.