

Capítulo 6.

Conclusiones

6.1. Introducción

Al comenzar la realización de este proyecto fin de carrera se planteaban una serie de objetivos enunciados en el capítulo 1 del presente documento. La idea básica era el análisis de la unión entre el tubo y el asiento de un amortiguador por medio de un ajuste a presión, permitiendo al usuario de la aplicación la construcción de diferentes geometrías mediante la variación de algunos parámetros del modelo, aunque siempre manteniendo los patrones que conforman la geometría de los componentes del amortiguador, así como el uso de distintos materiales. Podemos concluir que estos objetivos han sido satisfechos.

Con ello se pretendía verificar su validez y limitaciones al modificar diferentes variables en la definición del modelo, así como evaluar las características asociadas al proceso de montaje y a su posterior uso en el automóvil, estudiándose el proceso de inserción así como el proceso de carga cíclica, habiéndose comprobado la viabilidad de la unión para todos los casos estudiados en el capítulo 5.

En los apartados siguientes se resumirá la influencia de la modificación de las distintas variables en los resultados de deformación plástica equivalente, tensión equivalente de von Mises, presión de contacto y estado de los elementos de contacto correspondientes al instante final del proceso de inserción, pudiendo comprobarse el comportamiento en la inserción frente a una posible rotura dúctil del modelo; resultados de deformaciones plásticas y tensiones equivalentes correspondientes al instante más desfavorable del proceso de carga cíclica desde el punto de vista de la resistencia, es decir, tras la primera carga, además de la situación del contacto (presiones y estado de los elementos de contacto) tras la carga y tras la descarga, una vez que las magnitudes de interés se estabilizan dentro de un rango de valores y por último los correspondientes al estudio de la vida a fatiga.

6.2. Influencia de la interferencia

El aumento de la interferencia, representada en la figura 6.2-1 tal y como se definió en el capítulo 4, producirá en el tubo un aumento de la compresión, que será mayor a medida que

aumente ésta. Además en el contacto durante el montaje las presiones tendrán que ser mayores para vencer la dificultad que el aumento de la interferencia produce. Posteriormente durante el proceso de carga y descarga parece lógico pensar que la interferencia jugará un papel beneficioso de cara a la carga oscilante puesto que la presión de contacto entre ambos elementos será mayor y garantizará la viabilidad de la unión una vez que esta entre en carga. Analizando los resultados en el proceso de inserción se observa que este incremento lleva consigo el aumento de la deformación equivalente en todos los elementos del amortiguador, no ocurriendo lo mismo en el caso de la tensión equivalente que para el tubo se mantiene aproximadamente constante mientras que en el asiento crece hasta la interferencia nominal para luego decrecer. La presión de contacto aumenta de manera lineal con la interferencia.

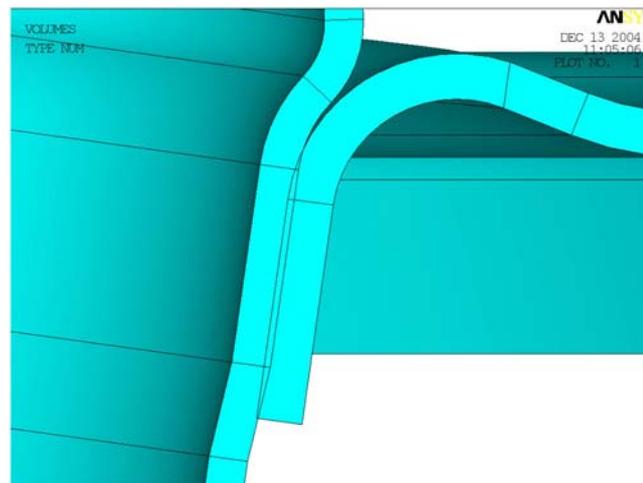


Fig. 6.2-1. Zona de interferencia entre el asiento y el tubo.

Por su parte en el proceso de carga y descarga el aumento de la interferencia se traducirá en un incremento de la deformación plástica equivalente en el asiento de manera prácticamente lineal mientras que en el tubo crecerá de manera más acusada hasta la interferencia nominal. En el caso de la tensión el comportamiento se diferenciará según tendamos a la interferencia nominal o bien nos alejemos de ésta, de tal manera que para el asiento primero decrecerá para luego crecer aunque muy poco y en el tubo decrecerá para luego mantenerse. Las presiones de contacto decrecerán después de la carga y crecerán tras la descarga.

Por último en las zonas más desfavorables a fatiga no habrá diferencias significativas para ninguna de las interferencias estudiadas. No obstante si se observan diferencias en el comportamiento de las variables, de tal manera que los valores límites de las deformaciones tanto plásticas como elásticas en el asiento crecerán hasta la interferencia nominal para luego

decrecer, aunque en el caso elástico los intervalos serán del mismo orden y los intervalos mínimo-máximo menos acusados a medida que aumenta la interferencia, en el tubo las deformaciones plásticas serán prácticamente nulas en todos los casos y en el tubo el comportamiento será el inverso en cuanto a los valores mínimos de las deformaciones elásticas que decrecen hasta la interferencia de 0.25 mm para luego decrecer aunque los valores máximos siguen siendo del mismo orden. En cuanto a las tensiones y como no podía ser de otra manera en el asiento tanto los máximos como los mínimos crecen hasta la interferencia nominal para luego decrecer de manera acusada tras este valor, dándose en el tubo la situación inversa de decrecimiento y crecimiento.

No obstante y a pesar de las diferencias en la interferencia los valores de la vida a fatiga no presentan diferencias significativas encontrándose en el entorno del millón de ciclos para el asiento y en unos valores que podemos considerar como de “vida infinita” para el tubo.

6.3. Influencia de la malla

En el caso del mallado, ya indicábamos que en el capítulo 4 que una malla más fina representaba mejor la geometría del problema y contenía un número mayor de grados de libertad, por lo que sería en general más flexible y tendría valores mayores de los desplazamientos y de las tensiones. No obstante una malla fina requería más tiempo para la resolución del problema. Además una malla fina permitía obtener más información sobre la evolución de los parámetros del problema en una determinada zona del modelo que pudiera ser crítica. En la figura 6.3-1 se representan los dos tipos de mallados empleados en el estudio.

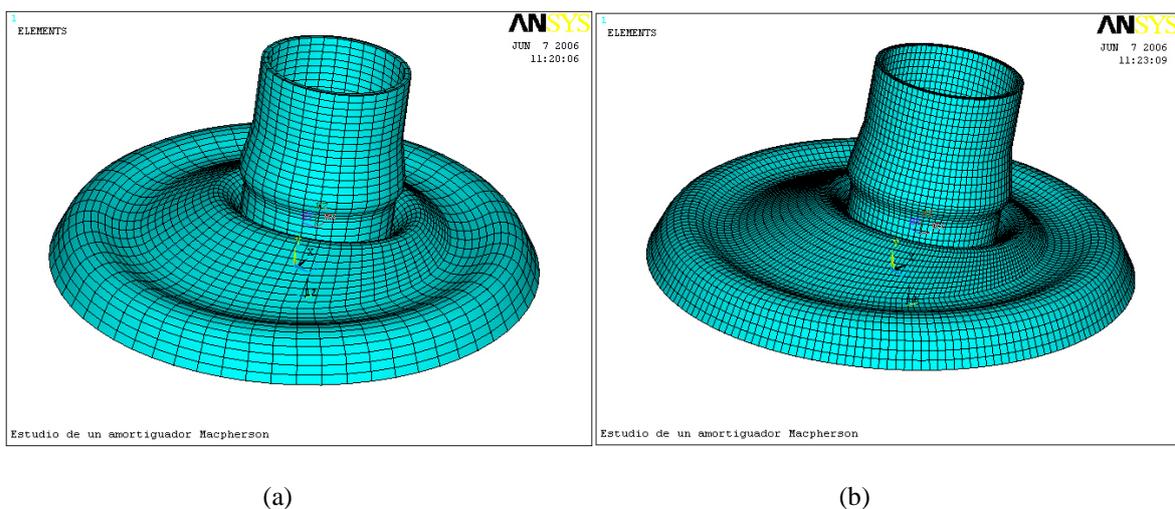


Fig. 6.3-1. Detalle del asiento y el tubo mallados. Caso (a) Malla grosera. Caso (b) Malla fina.

Comentaremos en todos los casos las implicaciones de cambiar de mallado grosero a mallado fino, obteniendo los resultados que se cabría esperar en este caso.

Aunque las distribuciones serán notablemente parecidas, la deformación equivalente tras la inserción incrementará su valor aproximadamente en un 45% en ambos elementos del amortiguador, mientras que la tensión disminuirá aunque en menor medida en el tubo, aproximadamente en un 2%, que en el asiento donde será de un 20%. Por su parte la presión de contacto es aproximadamente constante. Las distribuciones en todos los casos serán más homogéneas y concentradas como cabía esperar del empleo de la malla fina.

Estudiando el proceso de carga y descarga, la deformación plástica equivalente crece tanto para el asiento como para el tubo mientras que la tensión equivalente es prácticamente constante. Por su parte las presiones de contacto crecen en ambos casos.

En cuanto a las zonas más desfavorables desde el punto de vista a fatiga, la modificación del mallado no influye en la ubicación de ésta. No obstante la deformación plástica decrece en el asiento mientras que para el tubo es prácticamente nula, mientras que la elástica decrece en sus valores mínimos mientras que los máximos se mantienen en el mismo orden de magnitud. Las tensiones disminuirán sus mínimos para el asiento y los incrementarán para el tubo, manteniendo los máximos en los mismos órdenes de magnitud. Por otro lado y teniendo en cuenta que nos movemos en escalas logarítmicas cuando tratamos los resultados de vida a fatiga, podemos concluir que los valores para ambos casos son del mismo orden tanto para el tubo (vida “infinita”) como para el asiento (vida en torno al millón de ciclos).

Llegados a punto y una vez comparados los resultados podemos verificar la suposición que hicimos al estudiar el caso de mallado “*grosero*” como representativo de las magnitudes del amortiguador y además lo que también es muy importante con un menor tiempo de computación.

6.4. Influencia de la carga

Esta situación no ha sido tratada en documentos anteriores y aunque quizás puede resultar la más intuitiva, puesto que un incremento de la carga de uso debería propiciar un incremento de las magnitudes en estudio, tanto deformaciones como tensiones, veremos como esto no siempre es así debido a la geometría y al proceso previo de inserción que ha sufrido el tubo en el asiento.

Después de la entrada en carga del amortiguador y tras la primera carga las deformaciones plásticas son del mismo orden tanto en el tubo como en el asiento, ocurriendo lo

mismo para las tensiones en ambos elementos. Sin embargo la presión de contacto tras la carga es mucho mayor para la carga de 10000 N mientras que tras la descarga vuelven a ser casi iguales.

Si nos centramos ahora en el estudio de la fatiga, vemos que es aquí donde se producen las mayores diferencias para el caso del asiento, puesto que para la menor de las cargas la zona más desfavorable se encuentra en la cara que está en contacto mientras que para la otra carga esta zona se sitúa en la cara que no está en contacto, explicándose este hecho por las diferencias existentes en las distribuciones de tensión y deformación existentes en cada uno de los casos.

Para las deformaciones, tras la primera carga encontramos, cuando incrementamos la carga de uso la carga de uso, que en el asiento crecen la plástica y la elástica mientras que en el tubo sólo crece la elástica manteniéndose la plástica en los mismos valores. En el caso de las tensiones si se produce un aumento tanto para el tubo como para el asiento en las mismas condiciones consideradas.

En el caso de las vidas a fatiga y como parece lógico pensar, para la mayor de las cargas está vida es menor en varios órdenes de magnitud tanto para el asiento como para el tubo.

Podemos concluir la viabilidad de la unión en ambos casos aunque para la menor de las cargas de uso la vida del amortiguador será mayor.

6.5. Tablas resumen

En las siguientes tablas se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los casos estudiados, estando representados además de los reseñados en el presente documento algunos casos más que complementan los resultados obtenidos en el proyecto y corroboran la utilidad de la aplicación en la resolución de éstos.

La tabla 6.5-1 resume la influencia de la interferencia y el mallado conjuntamente sobre el modelo tras el proceso de inserción, siendo las propiedades de los materiales que conforman el amortiguador, aquellas con las que hemos trabajado en el presente proyecto. Por su parte las tablas 6.5-2 y 6.5-3 reflejan la influencia combinada de los tres parámetros (interferencia, mallado y carga) en el estudio del proceso de carga y descarga. Para finalizar las tablas 6.5-4, 6.5-5 y 6.5-6 muestran la evolución de las distintas variables en el estudio de fatiga con la variación de los parámetros en estudio.

| VALORES MÁXIMOS MONTAJE | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.325 | Interferencia 0.325 |
|---|---------|---------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Deformación plástica equivalente (mm/mm) | ASIENTO | Malla grosera | 0.005437 | 0.008941 | 0.014989 |
| | | Malla fina | 0.008801 | 0.012981 | 0.018996 |
| | TUBO | Malla grosera | 0.000926 | 0.001679 | 0.002519 |
| | | Malla fina | 0.001736 | 0.002402 | 0.003060 |
| Tensión equivalente (MPa) | ASIENTO | Malla grosera | 446.397 | 529.026 | 428.130 |
| | | Malla fina | 454.211 | 427.645 | 431.225 |
| | TUBO | Malla grosera | 534.397 | 534.210 | 527.218 |
| | | Malla fina | 529.074 | 523.992 | 514.017 |
| Presión de contacto (MPa) | | Malla grosera | 131.390 | 139.086 | 148.131 |
| | | Malla fina | 134.062 | 137.667 | 146.471 |

Tabla 6.5-1. Valores máximos tras el proceso de inserción.

| VALORES MÁXIMOS MONTAJE CARGA 6000 N. | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.325 | Interferencia 0.325 |
|---|---------|---------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Deformación plástica equivalente (mm/mm) | ASIENTO | Malla grosera | 0.00547 | 0.00899 | 0.015019 |
| | TUBO | Malla grosera | 0.000926 | 0.001679 | 0.002519 |
| Tensión equivalente (MPa) | ASIENTO | Malla grosera | 422.805 | 425.150 | 428.933 |
| | TUBO | Malla grosera | 541.754 | 530.945 | 507.549 |
| Presión de contacto (MPa) | | Carga | 142.361 | 140.346 | 148.042 |
| | | Descarga | 146.912 | 143.965 | 147.010 |

Tabla 6.5-2. Carga de 6000 N. Valores máximos tras la primera carga (deformación plástica y tensión equivalente) y tras carga y descarga una vez que las magnitudes se estabilizan (presión de contacto).

| VALORES MÁXIMOS MONTAJE CARGA 10000 N. | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.325 | Interferencia 0.325 |
|---|---------|---------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Deformación plástica equivalente (mm/mm) | ASIENTO | Malla grosera | 0.005541 | 0.009028 | 0.015019 |
| | | Malla fina | 0.019724 | 0.019019 | 0.020436 |
| | TUBO | Malla grosera | 0.000926 | 0.001679 | 0.002519 |
| | | Malla fina | 0.008939 | 0.009924 | 0.01131 |
| Tensión equivalente (MPa) | ASIENTO | Malla grosera | 436.919 | 426.942 | 429.885 |
| | | Malla fina | 428.634 | 428.978 | 432.489 |
| | TUBO | Malla grosera | 601.708 | 563.784 | 565.786 |
| | | Malla fina | 595.361 | 602.756 | 569.061 |
| Presión de contacto (MPa). Carga | | Malla grosera | 630.447 | 602.592 | 419.884 |
| | | Malla fina | 1235 | 1258 | 1213 |
| Presión de contacto (MPa). Descarga | | Malla grosera | 159.188 | 162.167 | 222.815 |
| | | Malla fina | 765.994 | 829.819 | 915.618 |

Tabla 6.5-3. Carga de 10000 N. Valores máximos tras la primera carga (deformación plástica y tensión equivalente) y tras carga y descarga una vez que las magnitudes se estabilizan (presión de contacto).

| RESULTADOS PUNTO MAS DESFAVORABLE CARGA 6000 N. MALLADO GROSERO | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.25 | Interferencia 0.325 |
|--|---------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Deformación (mm/mm) | ASIENTO | Plástica | 0 | 0 | 8E-05 |
| | | Elástica | 0.0010-0.0019 | 0.0013-0.0017 | 0.0013-0.0022 |
| | TUBO | Plástica | 0 | 0 | 0 |
| | | Elástica | 0.0010-0.0012 | 0.0010-0.0012 | 0.001-0.0012 |
| Tensión equivalente (MPa) | | ASIENTO | 180-380 | 140-200 | 170-260 |
| | | TUBO | 200-250 | 190-250 | 190-240 |
| Vida (ciclos) | | ASIENTO | 5.31E+08 | 1.48E+08 | 7.75E+07 |
| | | TUBO | 4.97E+14 | 3.71E+14 | 7.19E+15 |

Tabla 6.5 -4. Carga 6000 N. Mallado grosero. Valores del intervalo de variación de la deformación y tensión equivalente en el punto más desfavorable y de la resistencia a fatiga de la unión.

| RESULTADOS PUNTO MAS DESFAVORABLE CARGA 10000 N. MALLADO GROSERO | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.25 | Interferencia 0.325 |
|---|---------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Deformación (mm/mm) | ASIENTO | Plástica | 0 | 0.0028 | 0.0018 |
| | | Elástica | 0.0009-0.0018 | 0.0015-0.0020 | 0.0008-0.0016 |
| | TUBO | Plástica | 0 | 0 | 1.21E-05 |
| | | Elástica | 0.001-0.0024 | 0.0008-0.0024 | 0.0016-0.0027 |
| Tensión equivalente (MPa) | | ASIENTO | 160-340 | 230-375 | 120-300 |
| | | TUBO | 160-350 | 150-340 | 240-400 |
| Vida (ciclos) | | ASIENTO | 4.09E+06 | 2.97E+06 | 1.15E+06 |
| | | TUBO | 3.85E+13 | 5.71E+13 | 2.60E+14 |

Tabla 6.5-5.Carga 10000 N. Mallado grueso. Valores del intervalo de variación de la deformación y tensión equivalente en el punto más desfavorable y de la resistencia a fatiga de la unión.

| RESULTADOS PUNTO MAS DESFAVORABLE CARGA 10000 N. MALLADO FINO | | | Interferencia 0.2 | Interferencia 0.25 | Interferencia 0.325 |
|--|---------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Deformación (mm/mm) | ASIENTO | Plástica | 0.0006 | 0.0019 | 0.0003 |
| | | Elástica | 0.0007-0.0020 | 0.0006-0.0020 | 0.0005-0.0020 |
| | TUBO | Plástica | 0 | 0.0002 | 0.0009 |
| | | Elástica | 0.0021-0.0023 | 0.0019-0.0024 | 0.0023-0.0027 |
| Tensión equivalente (MPa) | | ASIENTO | 120-380 | 90-380 | 80-380 |
| | | TUBO | 200-300 | 190-360 | 300-340 |
| Vida (ciclos) | | ASIENTO | 3.71E+05 | 5.90E+05 | 1.46E+06 |
| | | TUBO | 9.40E+11 | 6.99E+11 | 5.26E+11 |

Tabla 6.5-6.Carga 10000 N. Mallado fino. Valores del intervalo de variación de la deformación y tensión equivalente en el punto más desfavorable y de la resistencia a fatiga de la unión.