

## **6. Conclusiones y Desarrollo Posterior.**

### **6.1. Conclusiones.**

En primer lugar los algoritmos implementados en *APDL* y en *FORTTRAN* han demostrado su eficacia y utilidad en los problemas de prueba. Se han obtenido en los dos casos resultados similares con valores de las variables de diseño parecidos dentro de un pequeño margen de error y con soluciones óptimas factibles dentro también de una pequeña tolerancia.

La implementación en elementos finitos de los algoritmos de optimización es de validez general, con lo que se puede aplicar a cualquier problema mecánico que sea modelado de acuerdo con las directrices de asignación de las variables de diseño a los parámetros del modelo y de extracción de las restricciones y función objetivo que se consideren. La aplicación del algoritmo de optimización a un modelo de elementos finitos requiere la generación paramétrica del modelo, el desarrollo de un proceso de mallado y de aplicación de cargas y condiciones de contorno válido en un amplio rango de los parámetros considerados para que en la ejecución del algoritmo de optimización se pueda generar de manera automática cada modelo y resolverlo. La optimización requiere también la creación de funciones de postproceso que proporcionen los valores de la función objetivo y de las restricciones de forma general para que se pueda crear la función objetivo penalizada.

La geometría simplificada del amortiguador generada aproxima de manera adecuada la geometría real del amortiguador obteniéndose resultados válidos en la resolución del modelo mallado con muchos grados de libertad. Las diferencias presentadas se deben principalmente a la diferencia entre el proceso de inserción real y el proceso empleado de entrada en contacto directa, de hecho estas diferencias se presentan también en el modelo real del amortiguador por lo que los resultados obtenidos con la geometría aproximada sólo deben ser comparados con los obtenidos en el modelo real con entrada en contacto directa. Luego, dentro del campo de validez de los resultados mostrados, el modelo simplificado paramétrico proporciona buenas aproximaciones de los resultados reales. Las diferencias que aparecen en este caso son asignables a una posible discrepancia entre los valores del reborde del asiento, que deberá ser estudiado con mayor atención.

La función generada para la obtención de la resistencia a fatiga de los componentes es de aplicación general a cualquier modelo mecánico que se analice con el MEF, para su empleo es

necesaria la definición automática de una línea de crecimiento de la grieta en perpendicular a la superficie del componente. Las vidas a fatiga obtenidas en el modelo realizado y en el modelo real presentan una discrepancia cuyo origen se encuentra en la diferencia de deformación plástica que resulta de la diferencia entre los dos procesos de inserción. La vida obtenida en el modelo paramétrico depende también del número de grados de libertad empleados y del número de ciclos de carga y descarga usados, aunque en menor medida. En el caso de emplear un mallado con un número alto de grados de libertad la diferencia en la vida no es excesivamente importante y se encuentra por encima de la vida obtenida en el modelo real.

La generación de una función que permite la optimización del modelo paramétrico del asiento tiene como principal inconveniente el tiempo de resolución obtenido. Para reducir este tiempo de resolución se han resuelto modelos con un número de grados de libertad no muy elevado cuyos resultados son válidos pero no alcanzan el nivel de precisión del modelo real. Además se ha conseguido reducir considerablemente el tiempo de ejecución mediante la reducción del número de ciclos de carga y descarga, esta reducción presenta como principal inconveniente una pequeña diferencia en el cálculo de la vida, la diferencia debida a la aplicación de un ciclo de carga y descarga en vez de tres es menos importante que la debida a la reducción del número de grados de libertad y sobre todo que la diferencia debida al proceso de inserción empleado. La obtención de resultados más precisos en el proceso de optimización requeriría la simulación de un modelo con mayor número de grados de libertad, con tres ciclos de carga y descarga y con el proceso de inserción real, con los medios actuales esta simulación es inviable debido al tiempo de resolución que requeriría. Dentro de las limitaciones del modelo que se emplea en el proceso de optimización los resultados obtenidos son aceptables y coherentes con las hipótesis planteadas en el modelado del sistema mecánico y del proceso de optimización. Las variaciones de los óptimos dados por cada proceso de resolución se deben a la diferencia en el parámetro de penalización empleado y a la diferencia del número de grados de libertad empleados, aún así los valores obtenidos son todos muy próximos entre sí y su validez queda condicionada al estudio del modelo con el proceso de inserción real.

El proceso de resolución recomendado sería en primer lugar resolver el proceso de optimización con un modelo de pocos grados de libertad y parámetros de convergencia de valor no excesivamente restrictivos para obtener de forma rápida una solución aproximada. Posteriormente se resolvería un modelo partiendo de los resultados del óptimo anterior con un mallado más fino, con el parámetro de penalización menor y con valores de los parámetros de convergencia más restrictivos, de esta manera se obtendrá un resultado del proceso de optimización más preciso cuya solución aproxima mejor la del modelo real. Por último sería

conveniente resolver el modelo óptimo con un mallado muy fino y con el proceso de inserción real, con lo cual se podría comprobar la validez de los resultados proporcionados por el proceso de optimización y se podría analizar el modelo final de forma más completa y extraer variables que se consideren importantes para la integridad del componente. En este mismo modelo, en función del tiempo de resolución que requiera, se podría realizar un análisis de sensibilidad para observar la influencia de cada uno de los parámetros considerados en la optimización.

El proceso de optimización realizado en el modelo del amortiguador permite obtener la influencia de los distintos parámetros del modelo en la vida de los componentes. Una posible aplicación sería la obtención de valores preliminares de los espesores para un modelo parecido al estudiado pero con alguna diferencia en alguno de los parámetros que no se han optimizado, por ejemplo en los radios de acuerdo, el diámetro del tubo, en la longitud del reborde que entra en contacto, o en el diámetro externo del asiento. En estos análisis se podría obtener valores preliminares de los espesores y de las vidas de los componentes en diseños con especificaciones distintas a las nominales y estudiar la posibilidad de modificar alguna dimensión del amortiguador. En todo caso el modelo desarrollado permite el análisis de la influencia de cada dimensión del amortiguador en la integridad del mismo.

## **6.2. Desarrollo Posterior.**

El análisis completo del modelo del amortiguador simplificado requeriría la simulación del proceso de inserción real para poder observar la validez de los resultados extraídos del modelo simplificado. Aunque los resultados obtenidos son comparables a los dados en el modelo real y proceso de entrada en contacto directa, la influencia observada en la vida de los componentes hace aconsejable dicho estudio. En este análisis también sería de interés observar las diferencias obtenidas en deformación plástica según el número de pasos que se emplee en la simulación del proceso de inserción, tal vez se podrían obtener resultados con niveles de precisión suficientes realizando la inserción en dos pasos en vez de los cuatro empleados inicialmente, lo cual haría viable la optimización con el proceso de inserción real. También sería necesario, si se realiza el proceso de inserción en el modelo simplificado, estudiar un modelo con un número de grados de libertad elevados y asegurar la convergencia de los resultados con la malla empleada. El análisis de los resultados obtenidos con el modelo simplificado y con el proceso de inserción real permitiría estudiar la posibilidad de la optimización de un modelo con suficientes grados de libertad e inserción, aunque se realice en menos pasos de inserción. En todo

caso el análisis del modelo simplificado con proceso de inserción es necesario para obtener la vida de los componentes con mayor precisión.

La diferencia observada en la presión de contacto y estado del contacto al variar la longitud del reborde del asiento que entra en contacto, además de la variación que esto produce en la deformación plástica, muestra el interés que podría tener realizar la optimización considerando también como variable de diseño la longitud del citado reborde. Esta variación es posible gracias a la construcción del modelo paramétrico simplificado que se ha realizado en este proyecto.

Al observar la influencia que tienen los espesores de ambos componentes en la vida tanto de asiento como del tubo indica que un posible estudio posterior sería la optimización de la geometría con el objeto de obtener la máxima vida de ambos componentes y con la única restricción del rango de las variables de diseño empleadas. En este estudio se podría incluir también la longitud del reborde como variable de diseño, con lo que se aseguraría la mayor vida posible dentro de los límites que se impongan a las variables de diseño.

Un estudio que sería imprescindible para validar los resultados que se obtienen con las simulaciones numéricas es la determinación de las propiedades a fatiga de los materiales empleados en el tubo y en el asiento. Además sería aconsejable la confirmación experimental de la vida obtenida en los análisis realizados.