

SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO NOMINAL DE UN SERVOFRENO

Albert Brigido albert.brigido@ctm.com.es

Esteve Cortés esteve.cortes@bosch.com

M. Dolors Riera md.riera@upc.edu

CTM-CENTRE TECNOLÒGIC <http://www.ctm.com.es>

Avda. Bases de Manresa, 1. 08242-MANRESA (Barcelona)

Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica (UPC)

RESUMEN

El servofreno es una parte del sistema de frenado de los vehículos que amplifica la fuerza realizada por el conductor sobre el pedal de freno. Éste mecanismo aprovecha la aportación de vacío por parte del motor para, posteriormente, aportar presión al líquido de frenos y así poder disminuir la velocidad del vehículo.

Con la finalidad de crear un nuevo diseño de servofreno, es necesario realizar una simulación para obtener el estado de tensiones y deformaciones de cada una de las piezas que lo componen. Mediante un cálculo en ABAQUS/Standard, sobre una etapa nominal de frenado, se observa cual es el comportamiento de cada uno de los elementos que intervienen en el mecanismo del servofreno.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de frenado figura entre las actividades más frecuentes al conducir un automóvil. Debido a esto, los componentes de una instalación de frenos debe poder convertir de manera óptima la fuerza aplicada por el conductor sobre el pedal de freno. La fuerza resultante del pedal puede ser suficiente para vehículos pequeños, o incluso de tipo medio con frenos de tambor. Como en la actualidad, prácticamente todos los vehículos están equipados con frenos de disco, y estos necesitan mayores presiones de accionamiento, se han impuesto los servofrenos.

El servofreno es una parte del sistema de frenado de los vehículos que amplifica la fuerza realizada por el conductor sobre el pedal de freno. Éste mecanismo aprovecha la aportación de vacío por parte del colector de admisión en los motores de gasolina, o por el depresor en los motores diesel, para, posteriormente, aportar presión al líquido de frenos y así poder disminuir la velocidad del vehículo.

Recientemente, mediante la colaboración con una conocida empresa del sector del automovilismo, *Bosch Sistemas de frenado S.L.U.*, se han realizado múltiples simulaciones aisladas de cada uno de los componentes que forman el mecanismo del servofreno. El método de los elementos finitos ayuda a la empresa a comprender mejor el comportamiento de todas estas piezas. Mediante las simulaciones realizadas y el conocimiento del estado de tensiones y deformaciones de cada uno de los componentes del servofreno, la empresa obtiene un soporte muy importante para la creación de un nuevo diseño más eficaz que el actual.

Actualmente, se ha creído conveniente realizar un estudio sobre la globalidad del conjunto del servofreno. De esta manera, se ha creado una simulación del mecanismo, en ABAQUS/Standard versión 6.7, en la que intervienen la mayoría de los elementos, simulados por separado anteriormente, en una etapa nominal de frenado.

En el transcurso de los diferentes modelos que han sido necesarios para llegar a la solución final, se han observado distintos parámetros, como *Hybrid formulation*, *discretization method* o *contact controls*, que hay que tener en cuenta a la hora de realizar dicha simulación.

2. FUNCIONAMIENTO DEL SERVOFRENO

El servofreno está formado básicamente por dos cámaras separadas entre sí por una pared móvil (*diaphragm plate*) y un sistema de válvulas que permiten la comunicación entre una de estas cámaras y el exterior, según si se aplica un esfuerzo al pedal, se deja de aplicar o se encuentra en posición de reposo. La estanqueidad entre estas cámaras y el exterior tiene que asegurarse en todo momento, permitiendo únicamente el paso del vacío a través de la válvula atmosférica.

A continuación se describe la función de los elementos más importantes que intervienen en el conjunto del servofreno (Fig.1):

- **Atmospheric valve:** Asegura la estanqueidad entre las cámaras delantera y trasera.
- **Input rod:** Unión con el pedal de freno. Transmite la fuerza de entrada.
- **Diaphragm:** Elastómero que separa físicamente las cámaras, manteniendo la estanqueidad.
- **Diaphragm plate:** Pared móvil entre las cámaras.
- **Front shell, rear shell:** Delimitan la cámara delantera y trasera.
- **Plunger:** Crea el *ratio* de asistencia.
- **Reaction disc:** Distribuye los esfuerzos del *input rod* en función de la sección.
- **Valve Body:** Alojamiento de los elementos *plunger*, *reaction disc*.
- **Rear seal:** Asegura la estanqueidad entre la cámara trasera y el exterior.

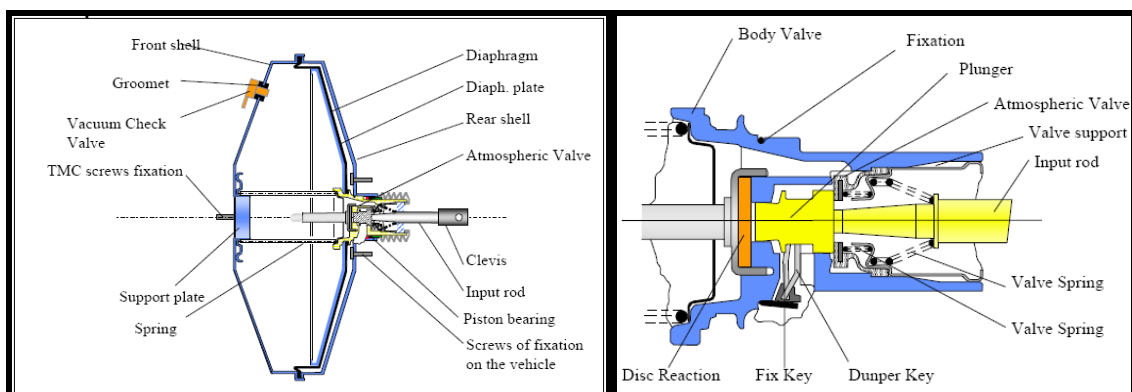


Fig.1 – Elementos del servofreno

Globalmente, se puede resumir el funcionamiento general del servofreno en una etapa de reposo (Fig.2), en la que las dos cámaras se encuentran a presión de vacío, y una etapa

de asistencia (Fig.3) en la que, mediante un esfuerzo sobre el pedal de freno, se abre la válvula atmosférica, provocando la entrada de presión atmosférica a la cámara trasera. La diferencia de presiones entre cámaras provoca la ampliación de la fuerza de entrada sobre el pedal de freno.

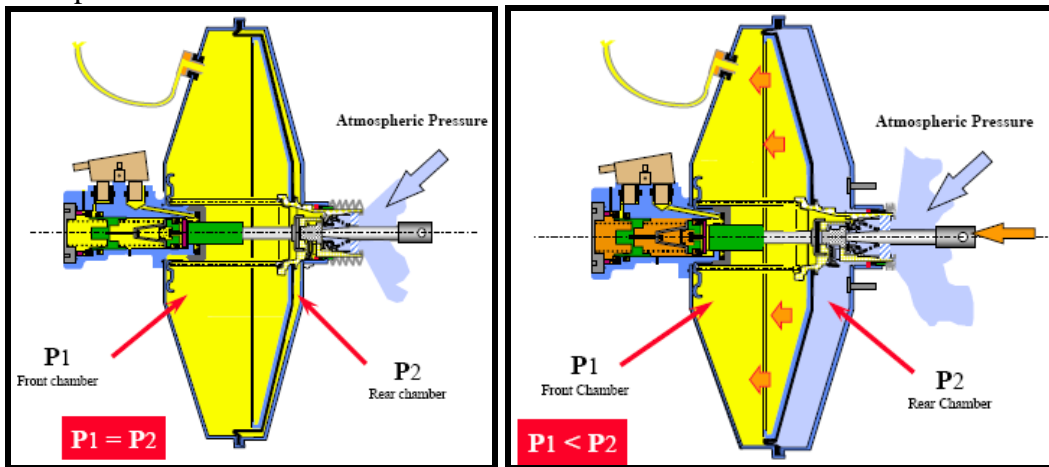


Fig.2 - Etapa de reposo

Fig.3 - Etapa de asistencia

Durante el proceso de frenado, la válvula atmosférica se abre y se cierra según las condiciones en las que se encuentra el servofreno. El comportamiento de ésta válvula se puede resumir en las etapas de reposo con vacío, salto y equilibrio.

Reposo con vacío (Fig.4): Las cámara delantera y trasera del servofreno se encuentran a presión de vacío y la válvula atmosférica mantiene los dos pasos cerrados, por lo tanto, no existe asistencia.

Salto (Fig.5): Al aplicar una fuerza sobre el pedal de freno, el *input rod* aplica un pequeño desplazamiento al *plunger*, lo que conlleva que uno de los pasos se abra y empiece a entrar presión a la cámara trasera.

Saturación (Fig.6): Al seguir incrementando la fuerza de entrada, el paso inferior de la válvula cada vez está más abierto, permitiendo que la presión de la cámara trasera vaya aumentando hasta llegar a presión atmosférica. La presión que se ejerce sobre el *diaphragm plate* multiplicada por su superficie se suma a la fuerza de entrada, aportando así la asistencia de frenada.

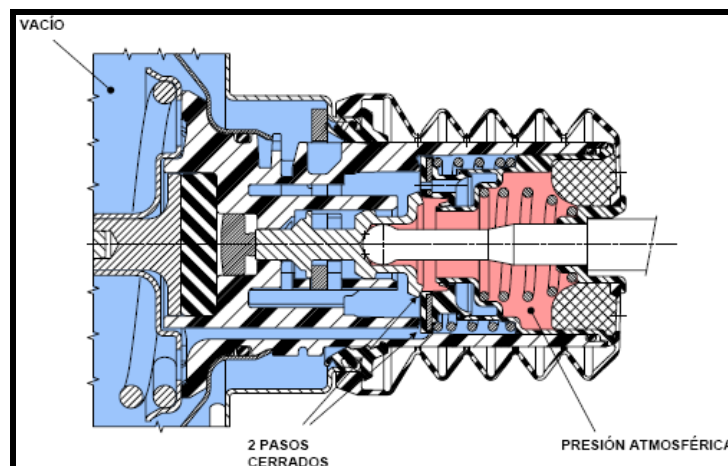


Fig.4 - Reposo con vacío

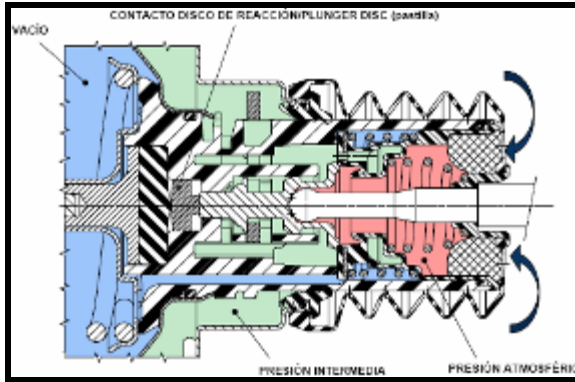


Fig.5 - Salto

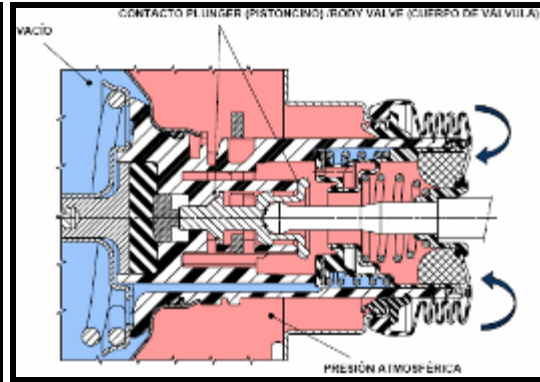


Fig.6 - Saturación

3. SIMULACIÓN

Tal y como se ha mencionado en los apartados anteriores, con ésta simulación se pretende observar el comportamiento de cada uno de los componentes que forman el servofreno en su globalidad. De ésta forma, se ha realizado un modelo en el que aparecen todas las piezas que ya habían sido simuladas en anteriores ocasiones aisladamente. En éste apartado se muestra detalladamente el proceso que se ha llevado a cabo para desarrollar dicho cálculo.

La simulación que se ha realizado hasta el momento no es el modelo definitivo, si no que se trata de una aproximación o simplificación que, con el tiempo, se pretende ir optimizando para llegar a una solución lo más aproximada posible a la realidad.

La geometría del servofreno ha sido aportada por la empresa mediante un archivo *.model* e importada a ABAQUS. Seguidamente se han creado los *sketch* de cada una de las piezas con la finalidad de crear un modelo axisimétrico del conjunto (Fig.7).



Fig.7 - Modelo axisimétrico

El cálculo que se muestra a continuación consta de cuatro etapas. En la primera de ellas, etapa de colocación, se aplica una precarga a los muelles, aplicando cierto desplazamiento sobre el extremo libre de estos. El muelle colocado en la salida del *output rod* se usa como medida de simplificación de los componentes que no han sido colocados en el modelo. En la segunda etapa, referente al reposo con vacío, se activan todos los contactos y se aplica una pequeña presión al conjunto para que cada uno de los elementos se posicione en su lugar. Finalmente se han creado las etapas de salto y saturación, en las que se aplica una primera carga sobre el *input rod* a la vez que se

incrementa la presión sobre la cámara trasera, lo que conlleva al proceso de amplificación de la frenada.

Para los elementos *diaphragm plate*, *output e input rod*, *plunger*, *retainer* y *front/rear shell* se ha definido un acero con un módulo de *Young* de 210000MPa y un coeficiente de *Poisson* de 0.3. Para el elemento *valve Body* se ha definido un plástico ARNITE, con módulo de *Young* de 12750MPa y coeficiente de *Poisson* de 0.3. Finalmente, para los elastómeros *diaphragm*, *rear seal*, *reaction disc* y *athmosferic valve* se ha definido el material EPDM (Fig.8). A partir de los *tests data*, uniaxial y biaxial, aportados por la empresa, se han evaluado los diferentes modelos de hiperelasticidad que contiene ABAQUS y se observa que el que mejor se adapta es el de *ogden* de orden 5.

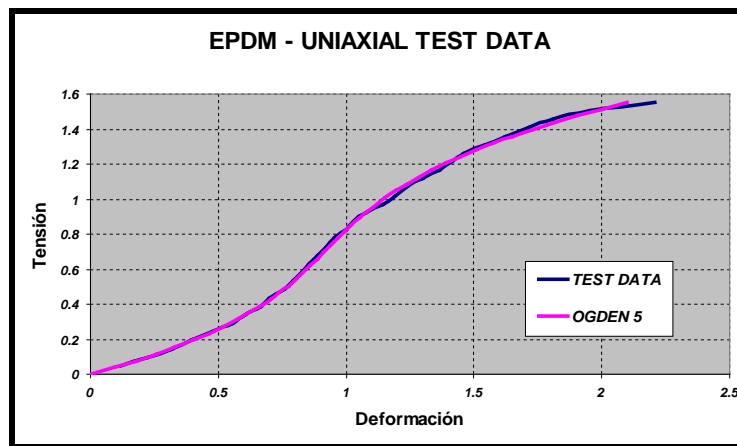


Fig.8 - Evaluación material EPDM

Para todos los contactos que aparecen en la simulación se ha usado el método de discretización *node to surface* sin ajuste. Ha sido necesario aplicar *contact controls* con estabilización de contacto de 0.01, ya que al aparecer cierta penetración entre algunos elementos, el cálculo no converge en los primeros incrementos. Referente a las propiedades de los contactos, en éste modelo no se ha aplicado ningún coeficiente de rozamiento y se ha usado “*hard*” *contact*.

A parte de estos contactos, en el módulo de *interactions* también se han creado tres muelles, con una rigidez de 3 y 2 N/mm y un contacto *self contact* en el componente *rear seal* (Fig.9).

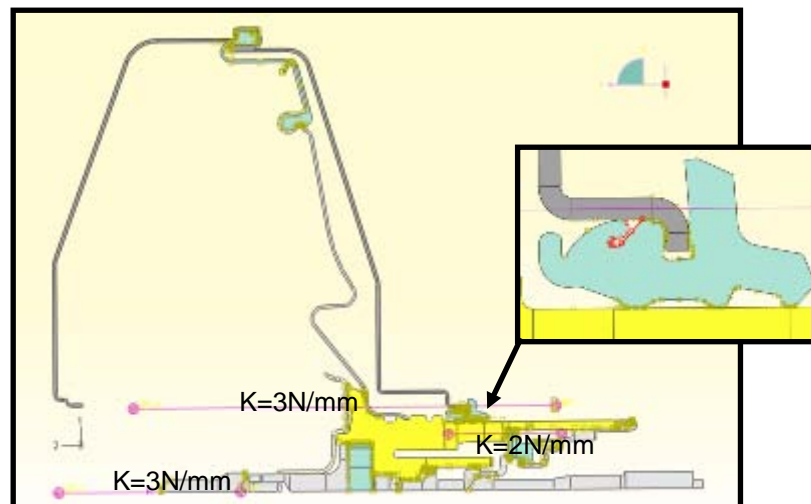


Fig.9 – Muelles y Self contact

A continuación se muestran las condiciones de contorno y las cargas que han sido necesarias para realizar éste modelo. Para la etapa de colocación (Fig.10) se han empotrado los elementos *rear/front shell* y los extremos fijos de los muelles y se han impedido los desplazamientos en dirección 2 a *valve body* e *input rod*. Finalmente se ha impuesto un desplazamiento en dirección 2 a los extremos libres de los muelles, con la finalidad de aplicar la precarga.

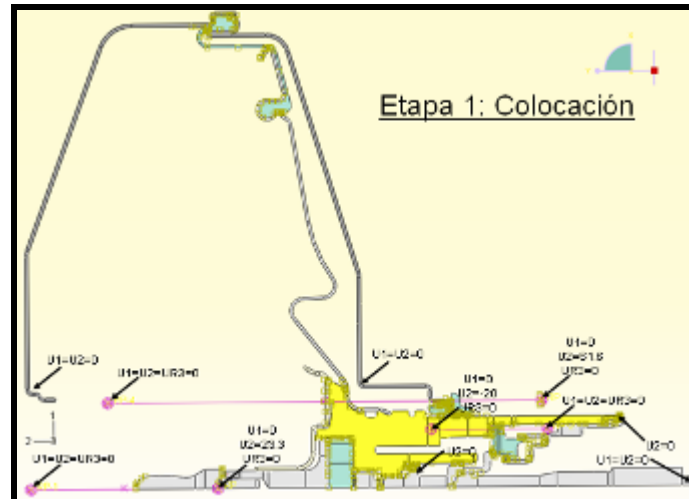


Fig.10 – Condiciones de contorno y cargas. Etapa 1

En la etapa de reposo con vacío (Fig.11) se mantienen las condiciones de contorno de la anterior etapa, exceptuando los extremos libres de los muelles, en los cuales se deja libre el desplazamiento en dirección 2. De ésta manera, los muelles ejercen la fuerza de la pretensión creada en la anterior etapa, sobre los elementos adyacentes que están en contacto. En ésta etapa aparecen unas pequeñas presiones, de 0.03 bar, que sirven de posicionamiento de las piezas y una presión atmosférica en la zona exterior del servofreno.



Fig.11 – Condiciones de contorno y cargas. Etapa 2

En la etapa número 3 (Fig.12) se mantienen todas las condiciones de contorno de la etapa anterior excepto el desplazamiento del *input rod*. En éste caso, para representar la fuerza que se aplica sobre el pedal de freno se ha impuesto un desplazamiento al extremo de

ésta pieza. A medida que se incrementa el desplazamiento del *input rod* y se va abriendo la válvula atmosférica, aparece una presión intermedia de 0.1 bar en la cámara trasera.

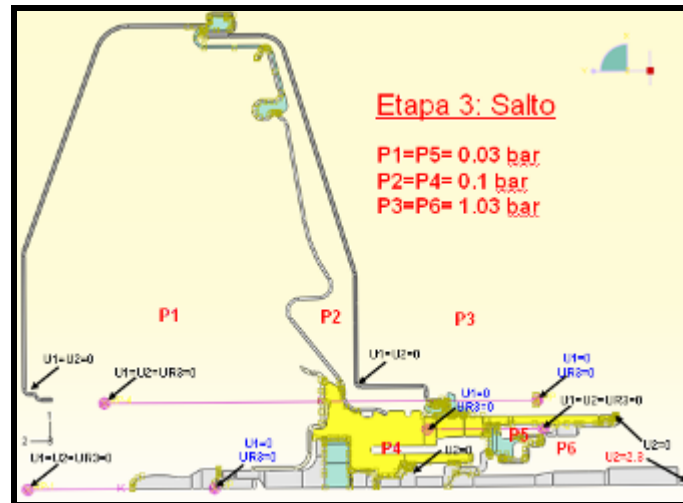


Fig.12 – Condiciones de contorno y cargas. Etapa 3

Finalmente, en la etapa de saturación (Fig.13), la válvula atmosférica está totalmente abierta y, por lo tanto, la presión de la cámara trasera aumenta hasta llegar a presión atmosférica. Las condiciones de contorno se mantienen igual, aunque aparece un aumento de desplazamiento sobre el *input rod*.

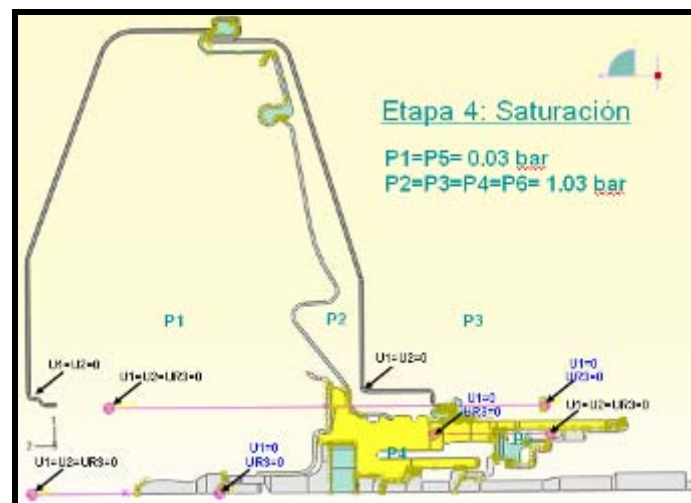


Fig.13 – Condiciones de contorno y cargas. Etapa 4

La malla se ha discretizado mediante 64356 elementos CAX4RH para los componentes elastómeros y 46307 elementos CAX4R para todos los demás componentes. A la hora de realizar ésta simulación se debe tener especial atención a la malla de los elastómeros, ya que, al tener unas deformaciones mucho mayores que los demás componentes adyacentes, esta debe ser bastante más fina en las zonas de contacto (Fig.14). También se debe tener en cuenta el incorporar *Hybrid formulation* en los cálculos que contienen éste tipo de materiales.

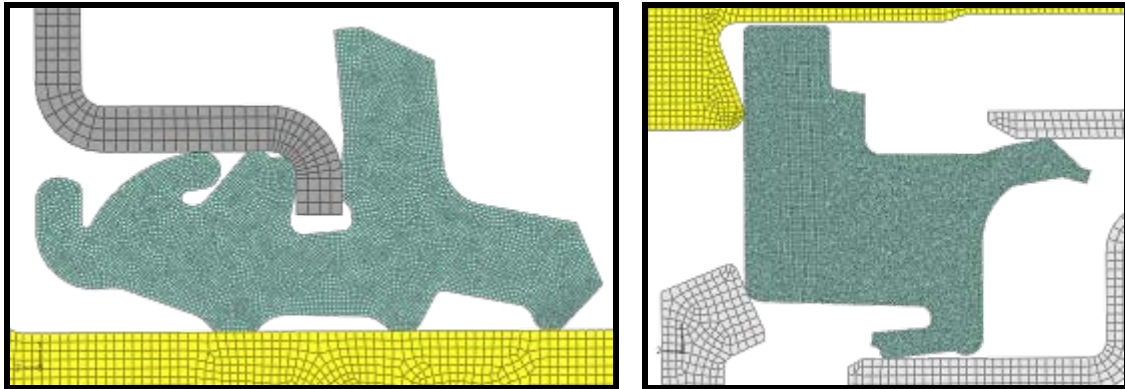


Fig.14 – Ejemplos de malla de elastómeros

4. RESULTADOS

No se ha logrado completar la última etapa (etapa de saturación) de ésta simulación. El problema reside en la penetración que aparece en algunas de las zonas de contacto entre los elastómeros y los componentes adyacentes. Para los siguientes modelos que se realizarán a partir de ésta simulación se creará un mallado más refinado localizado en estas zonas.

En la siguiente página se muestran los resultados obtenidos hasta el momento en ésta simulación.

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

La simulación realizada hasta el momento aporta una idea intuitiva del comportamiento de cada uno de los componentes que forman el servofreno en conjunto. Éste cálculo es de especial interés para la empresa colaboradora, ya que servirá como base de futuras simulaciones en las que se pretende optimizar el modelo para llegar a tener un resultado lo más ajustado posible a la realidad.

En los modelos que se simularán en posteriores ocasiones se pretende observar las diferencias que aportan a los resultados algunos parámetros que se han tenido en cuenta en éste modelo, como el método de discretización, el coeficiente de rozamiento o la estabilización de contacto, entre otros.

Como objetivo para una simulación final, se pretende encontrar un modelo muy aproximado en el que se pueda realizar una comparación de la curva característica teórica del servofreno con la calculada mediante elementos finitos.

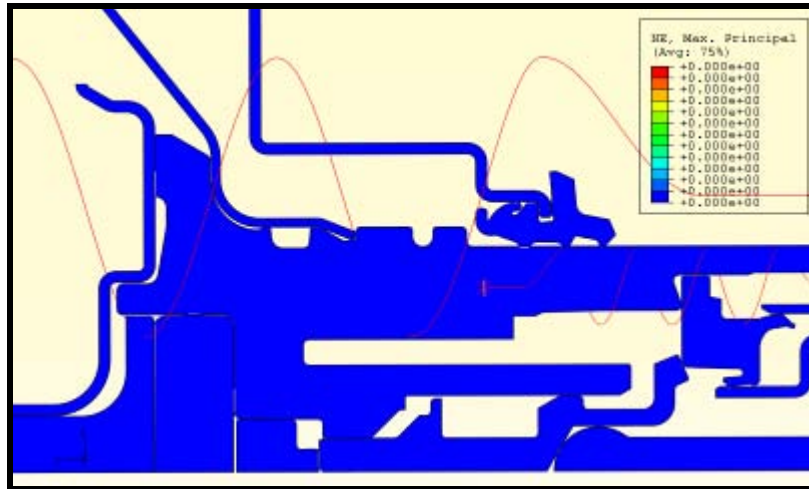


Fig.15 – Posición inicial

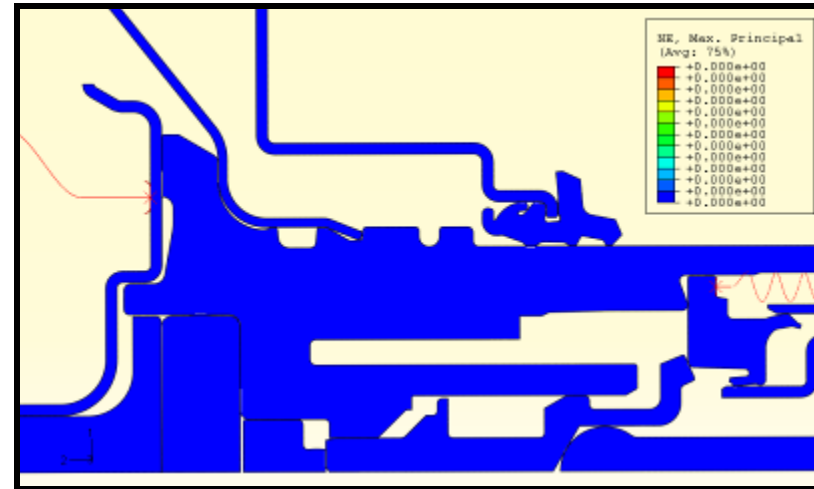


Fig.16 – Colocación

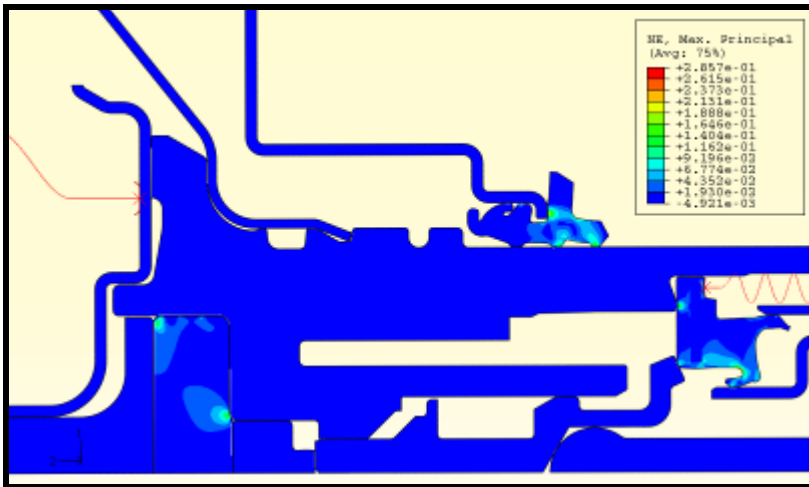


Fig.17 – Reposo con vacío

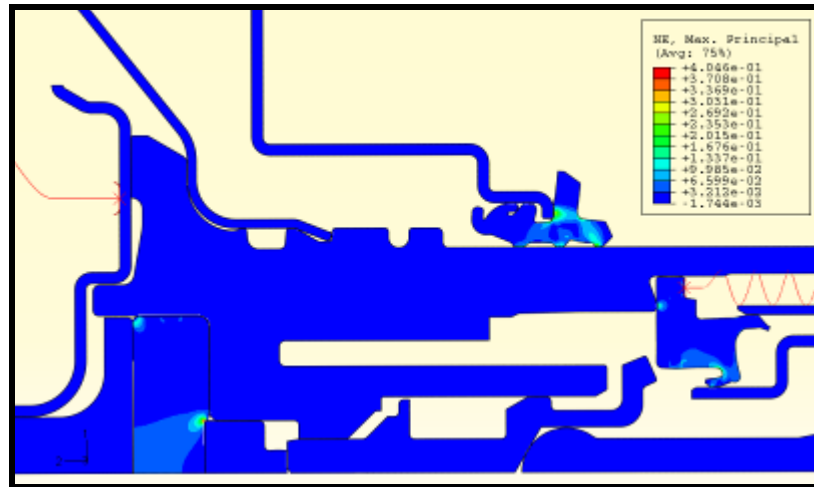


Fig.18 - Saturación

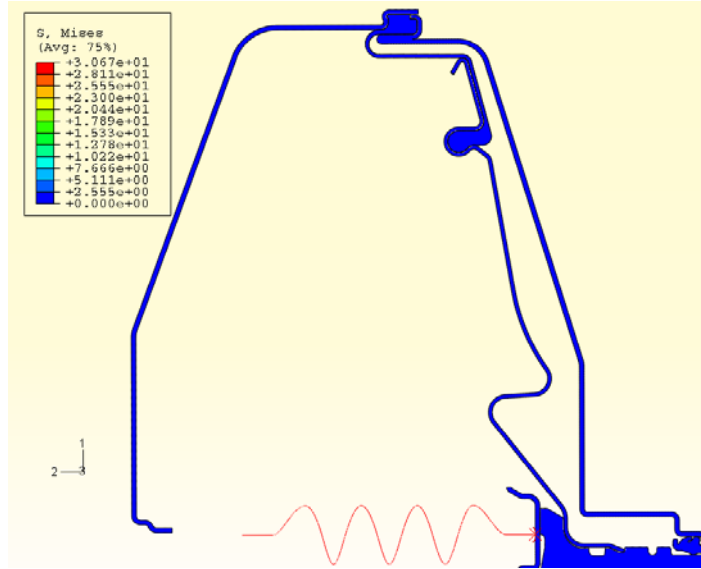


Fig.19 – Colocación

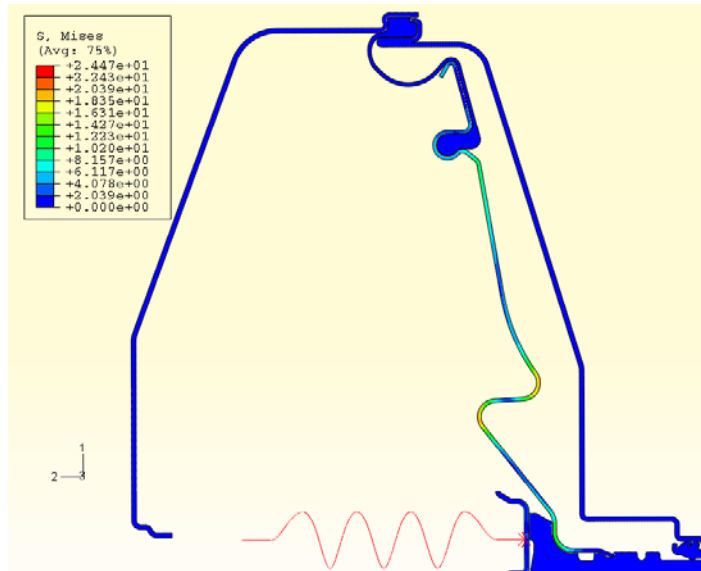


Fig.20 – Saturación