

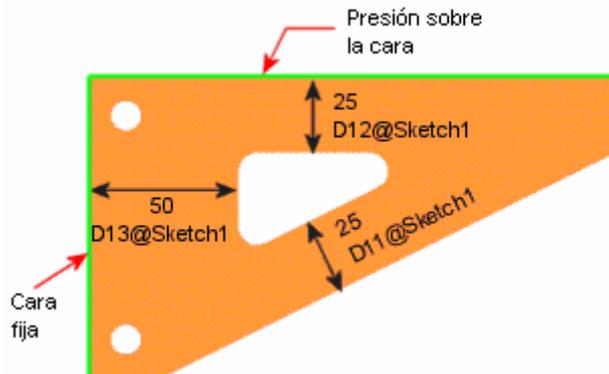
DISEÑO DE MÁQUINAS

PRÁCTICA 10

ENSAYO DE OPTIMIZACIÓN

A continuación realizaremos un estudio de optimización automático de la geometría de una cartela de soporte. Normalmente la optimización de la geometría en lugar de hacerse automáticamente, se suele hacer paso a paso, haciendo un ensayo, comprobando donde existe material redundante, eliminándolo y ensayando de nuevo.

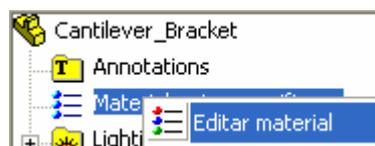
PASO 1: Creación de la geometría a estudiar. Para la realización de este estudio partiremos de una cartela ya creada que encontraremos en >COSMOS Apl.\ Examples\ Optimization\ Cantilever_Bracket.SLDPRT.



PASO 2: Conocimiento de las condiciones que deseamos que cumpla la pieza. La cartela se fabricará en un *acero aleado* con $6e+8 \text{ N/mm}^2$ de límite elástico. La geometría exterior de la pieza viene dada debido a las consideraciones geométricas del conjunto, lo que deseamos es determinar las tres cotas que se indican de manera que tengamos un volumen de material mínimo (menor peso) y a la vez cumpla unos requisitos mecánicos:

1. La pieza debe mantener siempre un coeficiente de seguridad de al menos dos.
2. La pieza debe tener una deformación menor a 0,21 mm.

Antes de continuar calcularemos la masa actual de la cartela para poder medir la reducción de masa. Para ello, le asignamos el material adecuado a la cartela, desde la *pestaña de solidworks*. Con el botón derecho sobre *material*, decidimos *editar* y seleccionamos *acero aleado* de entre los aceros de SolidWorks.



Aceptamos y para comprobar la masa de la cartela, en la barra de *Herramienta*> seleccionamos *Propiedades físicas...* y se nos muestra la masa 820 gr. En *opciones* se puede determinar el número de cifras decimales deseado. (En la densidad aunque se visualice $0,01\text{gr/mm}^3$ opera con el valor real $0,0077\text{gr/mm}^3$, esto puede comprobarse haciendo clic en *opciones*, estableciendo cuatro cifras decimales para el cálculo y observando que la masa no varía).

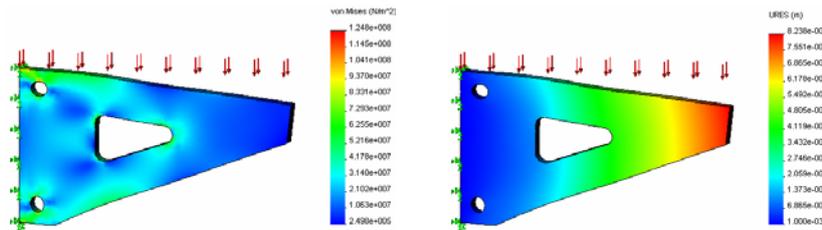
PASO 3: Crearemos un *estudio estático* inicial para conocer qué tal dimensionada se encuentra la pieza.

1. Crear un nuevo *estudio estático*, que se llame *cartela estático* y que esté creado con *malla sólida*.
2. El *material* de la cartela ya viene definido pues se lo hemos indicado anteriormente. Con el botón derecho sobre el material, escogeremos *aplicar/editar material* y podremos observar las propiedades físicas del mismo. Observar que su *límite elástico* es

DISEÑO DE MÁQUINAS

$6,2e+8 \text{ N/mm}^2$, mientras que nosotros deseamos $6e+8 \text{ N/mm}^2$, de manera que habrá que indicarle material *personalizado* y cambiar ese valor haciendo doble clic sobre él.

3. Estableceremos las restricciones que se nos indican en el gráfico anterior; la *cara vertical* permanece *fija*, mientras que sobre la *horizontal* se aplica una *presión* de $5e+6 \text{ N/m}^2$ (hacia abajo).
4. Crearemos la *malla* con los valores que el programa nos define por defecto y ejecutaremos el ensayo.
5. Visualizaremos la escala de tensiones y deformaciones que nos genera el programa automáticamente.



Observa que la *tensión máxima* obtenida es entorno a $1,12e+8 \text{ N/mm}^2$, mucho menor de la que podemos permitir ($3e+8 \text{ N/mm}^2$), y la *deformación máxima* en torno a $0,082 \text{ mm}$, también mucho menor de lo que podemos permitir ($0,21 \text{ mm}$.), de manera que puede llevarse a cabo una reducción considerable de la cantidad del material.

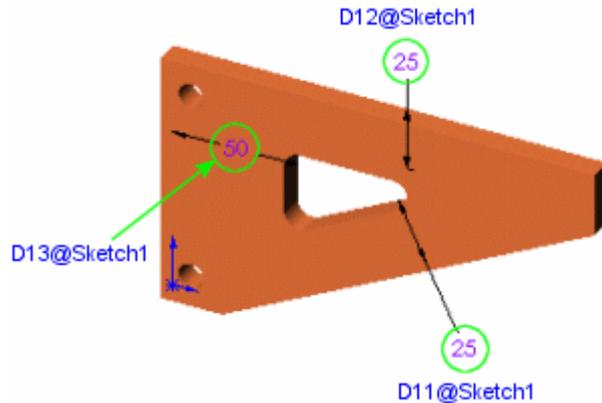
PASO 4: Una vez conocidas estas características iniciales de la cartela se procede a realizar el estudio de optimización para minimizar el volumen.

1. Crearemos un *nuevo estudio*, que llamaremos *cartela minvolum* y en el *tipo de análisis* indicaremos *optimización*. No se indica nada en el tipo de malla, pues en este cálculo el programa emplea la misma malla del ensayo estático.
2. Una vez creado, pulsando sobre él con el botón derecho, seleccionaremos *propiedades* y estableceremos un máximo de *30 ciclos de iteración*.



3. Con el botón derecho sobre **Objetivo**, estableceremos cual es el objetivo de nuestro diseño. Seleccionaremos *agregar* un objetivo de *minimización del volumen*, basado en el *ensayo estático* y con un *error* en la convergencia del 5%.
4. El siguiente paso es definir las *variables del diseño*. Con el botón derecho sobre **Variables de diseño** seleccionamos *editar/definir*. Seleccionamos por ejemplo la cota *D11* que se nos indica en la página siguiente, *agregamos* y establecemos como *valor mínimo* 10 mm . y como *máximo* 25 . Lo mismo para la cota *D12*, mientras que para la *D13* estableceremos como *mínimo* 20 mm . y *máximo* 50 mm . Estos valores mínimos y máximos se los indicamos nosotros debido a condicionantes geométricos, de fabricación, etc.

DISEÑO DE MÁQUINAS



5. A continuación establecemos las *condiciones para el diseño* mecánico de la pieza. Para ello se editarán pulsando con el botón derecho sobre Condiciones
- Agregamos la limitación para tensión. Es una condición de tipo *estática*, basada en el ensayo *cartela estático*, y limita el valor del *esfuerzo en los nodos* (en los vértices de los elementos en que se divide un sólido) a $3e+8 \text{ N/mm}^2$ como máximo con un *error del 1%*.

Tipo ...	Nombre de ...	Tipo	Componente	Unida...	Valor inicial	Límite inferior	Límite sup...	Tolerancia %
Static	cartela estát...	Esfuerzo no...	VON: Esfuerzo de ...	N/m ²	0	0	3E+008	1

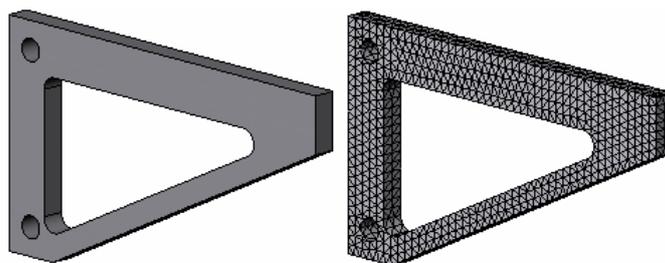
- A continuación agregamos una restricción de *desplazamiento*. Es también una condición de *tipo estática*, basada en el *mismo ensayo*, limitando el *desplazamiento* resultante a $0,21 \text{ mm}$. con un error de un 1%.

El resumen de las condiciones es el siguiente:

Tipo ...	Nombre de ...	Tipo	Componente	Unida...	Valor inicial	Límite inferior	Límite sup...	Tolerancia %
Static	cartela estát...	Esfuerzo no...	VON: Esfuerzo de ...	N/m ²	0	0	3E+008	1
Static	cartela estát...	Desplazami...	URES: Desplazami...	mm	0	0	0.21	1

PASO 5: Una vez que ya se ha definido el objetivo, las variables a modificar y las condiciones que debe cumplir la pieza, podemos ejecutar el ensayo de optimización, pulsando con el botón derecho sobre *cartela minvolum*. En esta ocasión **NO SE DEBE MALLAR DE NUEVO**, pues el programa emplea la misma malla que se ha definido para el ensayo estático.

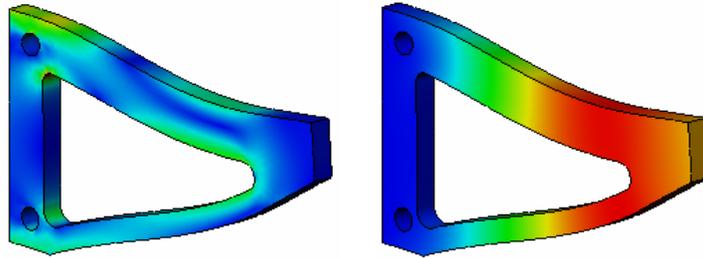
- Después de una serie de iteraciones el programa nos indica que ha alcanzado la convergencia, y se nos muestra una nueva geometría de la cartela que será la forma definitiva.
- Observar que el ensayo de optimización se ha completado tras realizar el estático en repetidas ocasiones, por lo que el ensayo estático que aparece ahora ya será con la geometría definitiva y la malla también. Esto puede comprobarse pulsando con el botón derecho sobre *malla* y seleccionando *Mostrar malla*. Vemos que la forma que aparece mallada es la geometría definitiva.



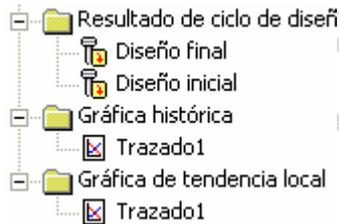
- Comprobaremos los valores de *deformación* y de *tensión* que aparecen en la nueva geometría para comprobar si se cumplen las condiciones de diseño.

DISEÑO DE MÁQUINAS

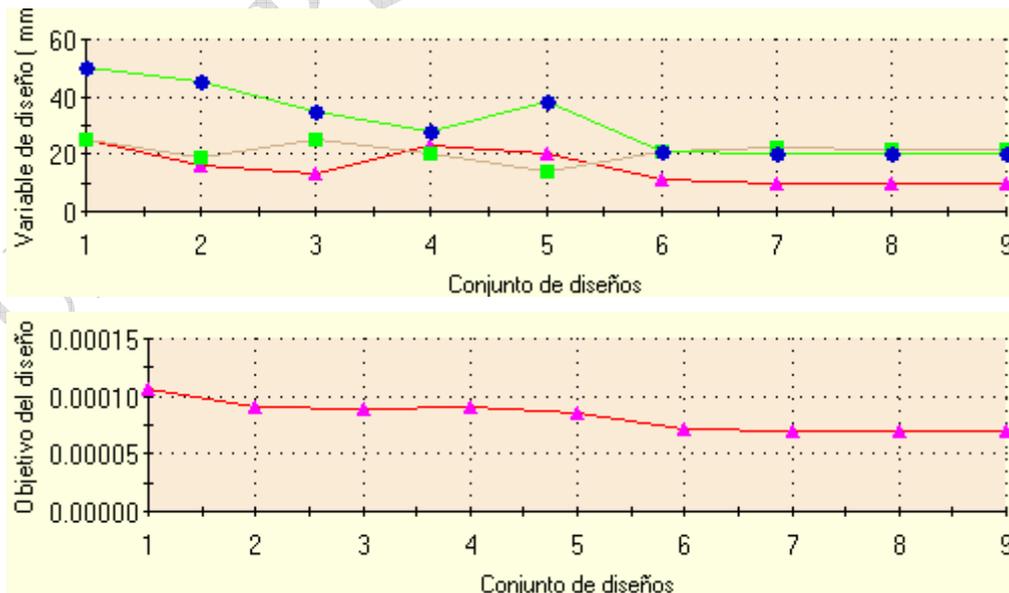
- En el ensayo estático mostraremos el *trazado 1* de *esfuerzo*, y veremos que la tensión máxima que aparece es menor de $3e+8 \text{ N/mm}^2$ con el *1% de tolerancia*.
- En el mismo ensayo mostremos el *trazado 1* de *deformaciones* y veremos que la deformación obtenida es menor de los *0,21 mm*. con el *1% de tolerancia*.



- Comprobar que la masa de la cartela se ha reducido, para ello, en *herramientas* seleccionar *propiedades físicas* y ver el nuevo valor: *540 gr. Aprox.*
- Observar que en las nuevas carpetas que se han creado en *Optimización*, se puede ver tanto la *geometría inicial* como la *final* para poder compararlas. Con el botón derecho sobre *Diseño final* y seleccionando *detalles* pueden verse sus características y también cuál ha sido el número de ciclos necesario para llevar a cabo la optimización.



- En la misma carpeta *Resultado de ciclo de diseño*, con el botón derecho y seleccionando *Definir* puede observarse la geometría de una iteración concreta.
- En la gráfica histórica se muestra la evolución que han tenido una serie de parámetros. Visualizar la evolución de las tres *variables de diseño*, de la *función objetivo* y de las *condiciones de diseño*, tanto de la *tensión* como de la *deformación*.



Las ventajas de hacer de esta manera los estudios de optimización es que el proceso es automático, mientras que si se hace de forma manual, se podría ser más permisivos en cuanto a concentraciones de tensiones, ya que tener en un determinado punto concentración de tensiones no es grave mientras no exista una zona en la que comience a existir fluencia.

DISEÑO DE MÁQUINAS

PASO 6: Una vez que ya hemos calculado la geometría definitiva, pasaremos a realizar un *estudio de frecuencia* para calcular las frecuencias de resonancia de la cartela con esta geometría.

1. Igual que antes, crearemos un *estudio nuevo*, que se llame *cartela frecuencia*, en el tipo de análisis seleccionaremos *frecuencia*, y el *tipo de malla* será *solida*.
2. Corregir la tensión de fluencia del material, *acero aleado* de la librería de *SolidWorks*.
3. Las *restricciones*, como son las mismas, pueden arrastrarse la carpeta de *Carga/Restricción* del ensayo anterior sobre la nueva, de manera que ya se nos definen automáticamente las mismas cargas y restricciones.
4. Ahora ya **NO SE MALLA DE NUEVO**, pues el programa calcula con la misma malla que ya habíamos creado. Si mallo de nuevo perderé los resultados del ensayo anterior, porque los resultados están **DIRECTAMENTE** vinculados con una malla.
5. Ejecuto el estudio, como de costumbre.
6. Para visualizar los resultados y conocer las frecuencias de resonancia, debo acceder al menú: *COSMOSWorks*> *Lista de resultados*> *Forma modal*. Aparece una tabla con las diferentes frecuencias de resonancia

Nº de modo	Frecuencia[Rad/seg]	Frecuencia(Hertz)	Período[Segundos]
1	1721.5	273.87	0.0036513
2	9293.8	1478.6	0.00067634
3	10080	1603.7	0.00062355
4	10866	1728.7	0.00057848
5	18103	2880	0.00034722

La frecuencia de resonancia más importante es la primera, que se suele conocer como frecuencia fundamental.

Ésta es la frecuencia a que debe vibrar el sistema para que se produzca resonancia, de manera que aparecerán deformaciones excesivas cuando el cuerpo se encuentre sometido a acciones cuya frecuencia coincide con la frecuencia de resonancia.

Haciendo el cálculo como se ha indicado no se tienen en cuenta las cargas para calcular las frecuencias de resonancia, para tenerlas en cuenta debe cambiarse el tipo de solucionador empleado por el programa. Pulsando el botón derecho sobre el *estudio de frecuencia*, se selecciona *propiedades* y se selecciona *Solver* tipo *Direct Sparse* y se marca *Utilizar efecto de rigidización por tensión*. Aceptar y calcular de nuevo las frecuencias de resonancia.

Observar cómo la frecuencia de resonancia ha disminuido al tener en cuenta las acciones. Esto ocurre, pues los esfuerzos de compresión, como es nuestro caso, hacen disminuir el valor de las frecuencias de resonancia.

DISEÑO DE MÁQUINAS

ENSAYO ESTÁTICO

A continuación, emplearemos COSMOSWorks para ensayar una pieza que encontraremos en los ejemplos: C:/Archiv~/COSMOS Applications/ Examples/Tutor1.

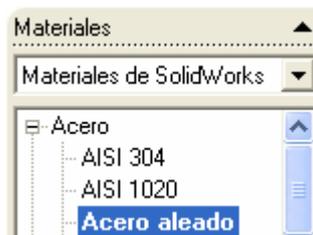
PASO 1: Copiar la pieza indicada *Tutor1* a nuestra carpeta de usuario, y abrirla con SolidWorks.

PASO 2: Crear un nuevo estudio. Para ello, igual que se hizo con la otra pieza, en la pestaña de COSMOSWorks , pulsando con el botón derecho sobre la pieza , creamos un estudio.

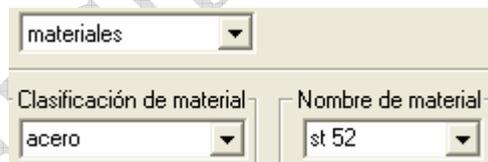
1. Llamaremos al estudio por ejemplo: *brida estático*, y será de tipo *estático* con *malla sólida*.

PASO 3: En lugar de aplicar el material como se ha hecho desde *COSMOS* en la pieza anterior, crearemos las propiedades de un *acero st 52* en *SolidWorks*.

1. Para ello, bajo la pestaña de pieza , seleccionaremos con el botón derecho  Material *editar propiedades...*  Editar material. Tenemos que seleccionar un material de partida, tomaremos un *acero aleado* de la librería de *SolidWorks*.



2. Pinchamos sobre *crear/editar material* y crearemos una <nueva base de datos> que llamaremos *materiales*, la *clasificación* es el grupo de materiales a que pertenece y el *nombre* el tipo de material que es.

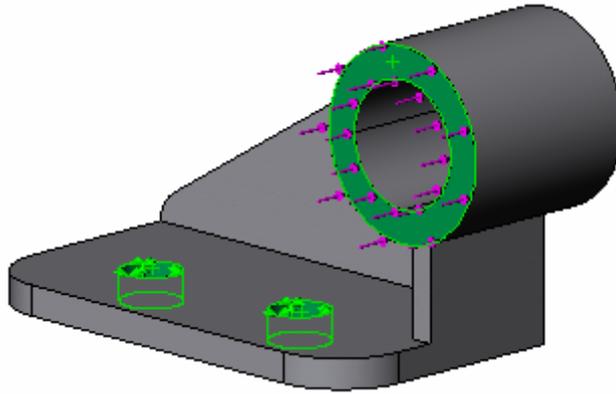


3. En la pestaña de *propiedades físicas* debemos indicar las características mecánicas del material. Como debéis recordar los aceros tienen todos prácticamente el mismo *módulo elástico* E, *coeficiente de Poisson* μ , *módulo cortante* G y *densidad* d, por lo que estos valores se dejan los del otro material (el *acero aleado* que hemos empleado de partida) y nosotros establecemos 520 N/mm^2 de *Límite de tracción* y 355 N/mm^2 de *Límite elástico*. Aceptar y en la pestaña de COSMOS  crear un nuevo *estudio estático* que se llame *brida estático*.
4. A continuación, ya se aplicará directamente el material que hemos indicado en *SolidWorks*  Tutor1(-[SW]st 52-)

PASO 4: Establecer las restricciones y cargas sobre la pieza que deseamos ensayar.

1. La brida se supone que está anclada con dos tornillos, de manera que la primera restricción será fijar ambos taladros. Crearemos una restricción que será *inamovible* para los taladros. (*Fijo* implica traslaciones y rotaciones nulas mientras que *inamovible* significa únicamente traslaciones nulas).

DISEÑO DE MÁQUINAS



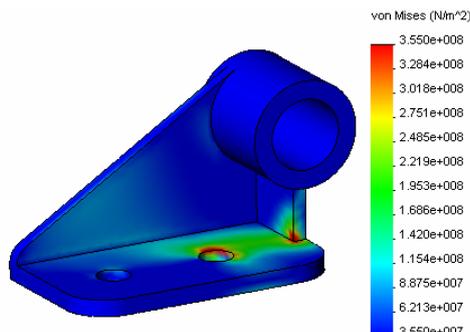
2. Aplicación de una *fuerza* sobre la pieza a ensayar. Aplicaremos una fuerza de 6000 N sobre la cara que se indica con esa dirección y sentido. El programa lo que hace es repartir uniformemente la fuerza sobre esa cara, con lo que otra forma de dar el dato es mediante una presión, ya que es por todos conocido que $Fuerza = Presión \times Superficie$.
3. Creación de la malla. Con el botón derecho del ratón sobre *malla*, seleccionaremos *crear* y aceptaremos con los valores predeterminados.
4. Ejecutar el ensayo para calcular la pieza.

PASO 5: Estudio de los resultados.

1. Como sabemos el programa nos ofrece varios resultados. Hacer doble clic sobre  Esfuerzo  Trazado1 para que se muestre el *resultado* con la escala de *tensiones* y *deformaciones* predeterminada.
2. Con el botón derecho sobre *esfuerzo* podremos seleccionar *Definir...* de manera que obtendremos un nuevo trazado. En la pestaña de *visualizar* mantenemos los valores predeterminados y para configuración estableceremos:
 - a. En *deformación*, estableceremos *mostrar deformación* con un *factor de escala de 1* (de manera que veremos la deformación real de la pieza).
 - b. En opciones de leyenda y texto, definiremos las *tensiones mínima* y *máx*:

<input checked="" type="checkbox"/> Visualizar leyenda	<input type="checkbox"/> Automático	<input checked="" type="radio"/> Definido:
Mín:	4.3345e+005	3.55e+007
Máx:	6.0091e+008	3.55e+008

De forma predeterminada el programa representa la figura con una escala de tensiones desde la mínima hasta la máxima, pero esta visualización no siempre es la más representativa. Dado que el límite de fluencia del material son $3,55e+8\text{ N/mm}^2$, con los valores que hemos definido tendremos en **rojo** aquellas zonas que entran en fluencia y en **azul** aquellas que trabajan con un coeficiente de seguridad mayor de 10.



DISEÑO DE MÁQUINAS

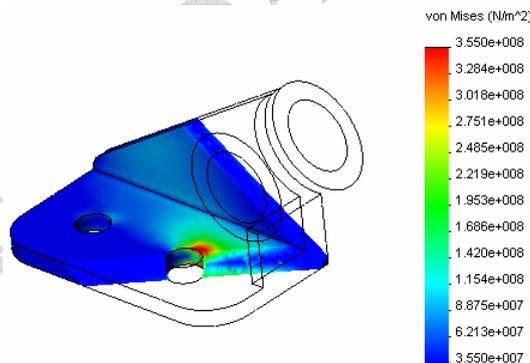
Cambiar el nombre del nuevo trazado que hemos definido, seleccionándolo y a continuación haciendo clic sobre él. Llamarle por ejemplo *tensión 1-10*.

3. Crear otro nuevo trazado con la misma escala de tensiones, pero en *visualización* escoger *tipo de trazado sección*.



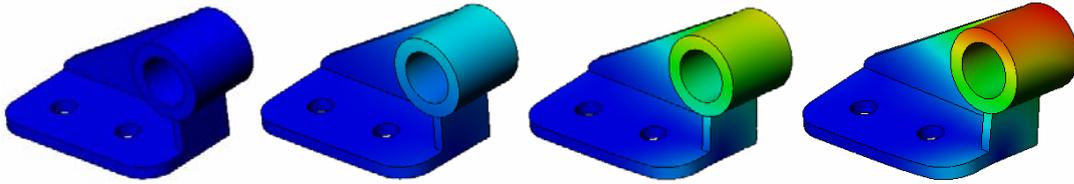
Aceptar y con el botón derecho sobre ese nuevo *trazado*, seleccionar *Recorte...*, observar que moviendo los cursores podremos seleccionar cualquier plano de corte.

Buscar la orientación que se muestra en la figura.

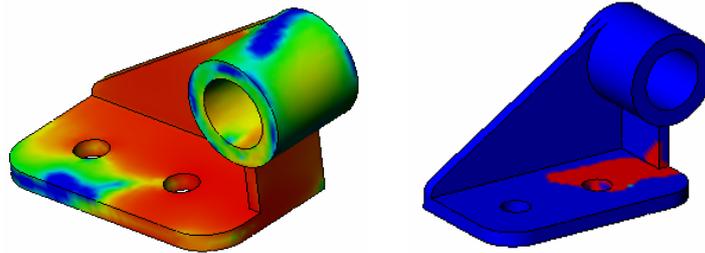


4. Desplegando la carpeta *desplazamiento*, y haciendo doble clic en *trazado 1*, podremos ver la deformación que sufrirá el material, junto con su escala.
5. Con el botón derecho sobre *trazado* se puede seleccionar *animar...* de manera que escogiendo el número de imágenes que deseamos para la animación podremos ver cómo se deforma el sólido debido al esfuerzo que le hemos aplicado. Es posible girar la pieza en tres dimensiones mientras se reproduce la animación. Fijarse en que los taladros permanecen fijos, pues así lo dicen las relaciones de posición y que la zona que más se desplaza es aquella sobre la que se aplica el esfuerzo, como es lógico.

DISEÑO DE MÁQUINAS



6. Por último confirmaremos el factor de seguridad con que trabaja la pieza. En *verificación de diseño* nos aparece predefinida la distribución de coeficientes de seguridad, *trazado 1*, nosotros crearemos una nueva definición en la que según el criterio de *Von Mises* observaremos qué zonas trabajan con un *C.S.* menor de 3 respecto a fluencia; llamar a ese trazado *CS 3*.



Observaciones.

- Modificar la geometría y ensayar de nuevo hasta que tengamos una distribución de tensiones más adecuada y la pieza trabaje prácticamente toda ella con un *C.S.* superior a tres.