

# DISEÑO DE MÁQUINAS

## PRÁCTICA 9

Con esta práctica vamos a introducirnos en el uso de COSMOSWorks, programa de cálculo por el método de los elementos finitos (FEM) integrable en SolidWorks. A lo largo de esta práctica veremos cómo se maneja el programa: definición del problema, ejecución del cálculo y análisis de los resultados.

Al entrar en SolidWorks y activar COSMOSWorks (sino lo está ya, *herramientas> complementos>* COSMOSWorks 2004). Nos encontramos con un menú nuevo (*COSMOSWorks*) y una nueva pestaña en la zona de la izquierda . Con ello podemos manejar el programa, sin salir del entorno de SolidWorks y manteniendo herramientas como el zoom, vistas, etc como siempre.



PASO 1: En primer lugar lo que tendremos que hacer será crear la pieza que deseamos ensayar. De manera que bajo la Pestaña usual de SolidWorks  diseñaremos una viga de  $10 \times 10 \times 100$  mm. Guardar ese archivo con el nombre *Viga*.

PASO 2: Para ensayar la viga que hemos creado debemos crear un estudio de *COSMOSWorks*, entonces bajo la pestaña de *COSMOS* con el botón derecho sobre la pieza indicaremos *Estudio...* y tendremos que definir una serie de características:

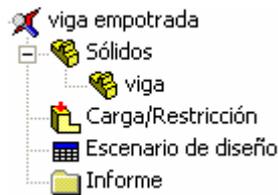
1. *Nombre para el estudio*. Inicialmente trataremos la resistencia de una viga empotrada, de manera que llamaremos al estudio *viga empotrada*.
2. *Tipo de análisis* que se va a realizar. Observar que se pueden hacer multitud de ensayos, nosotros realizaremos un *ensayo estático*.
  - *Estático*: es el típico ensayo de cálculo de tensiones en un material sometido a unos esfuerzos.
  - *Frecuencia*: empleado para calcular las frecuencias de resonancia.
  - *Pandeo*: Puede calcular la deformación y coeficiente de seguridad de una pieza respecto a pandeo.
  - *Térmico*: Este tipo de ensayos es empleado para calcular gradientes de temperatura en calderas, intercambiadores de calor, etc.
  - *Optimización*: Mediante un proceso iterativo, el programa automáticamente modifica la geometría para cumplir un objetivo deseado.

Nombre de estudio	Tipo de análisis	Tipo de malla
viga empotrada	Estático	Malla sólida
	Frecuencia	
	Pandeo	
	Térmico	
	Optimización	

3. *Tipo de malla*. Seleccionaremos *malla sólida*, la más común de todas ellas.
  - *Malla de vaciado utilizando superficies* se emplea únicamente para piezas creadas con superficies.
  - *Malla sólida utilizando superficies medias* calcula únicamente para la superficie media del sólido, por lo que debe emplearse únicamente para piezas cuyo espesor con respecto a las otras dimensiones sea muy pequeño.

# DISEÑO DE MÁQUINAS

Nos aparecen una serie de campos que debemos ir cubriendo:



PASO 3: En primer lugar debemos indicar el tipo de material de la pieza que deseamos estudiar.

1. Con el botón derecho sobre *viga* seleccionamos *Aplicar/Editar material...* Las características del material pueden tomarse desde una biblioteca de archivos o indicar manualmente nosotros las propiedades del mismo. Seleccionaremos desde biblioteca de archivos y vemos que existe *solidworks materials* y *cosmos materials*, bibliotecas de materiales que incorporan estos dos programas.
2. Seleccionamos la biblioteca *cosmos materials* y vemos cómo vienen organizados los materiales, navegar también por la biblioteca de materiales de *solidworks* y observar la distribución de los mismos, una viene en castellano y otra en inglés. Ver las características de diferentes materiales, observar por ejemplo que la porcelana tiene diferentes valores de límite elástico de tracción y compresión. Finalmente seleccionar *stainless steel* de la biblioteca de *cosmos*.

PASO 4: El siguiente campo a cubrir serán las *cargas* y las *restricciones* que se le aplicarán a la viga.

1. Con el botón derecho sobre *Carga/Restricción* indicaremos *restricción*, observar que en el tipo nos aparecen varias posibilidades. Seleccionamos *Fijo* y señalamos la cara del extremo de viga, donde simularemos que se encuentra empotrada. Observar que con la herramienta vista preliminar  podremos comprobar si la selección realizada ha sido correcta o no.
2. El siguiente paso será agregar algún *esfuerzo* a nuestra viga. El primer esfuerzo que agregaremos será el *peso* de la propia viga, para ello con el botón derecho sobre *Carga/Restricción* indicamos *gravedad*. Su valor sabemos que son  $9.81 \text{ m/s}^2$ , tomando la dirección y sentido correctos. Comprobarlo con la vista preliminar .

Realizaremos un primer ensayo preliminar únicamente con la fuerza de la gravedad para observar que las tensiones que aparecen son muy pequeñas.

PASO 5: Para poder calcular la pieza, antes debe mallarse.

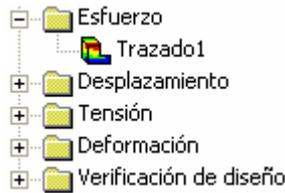
1. Con el botón derecho sobre *malla* se selecciona *crear*.
2. Nos aparece un tamaño de malla predefinido que calcula el programa en función del volumen y de la superficie exterior de la pieza. Manteniendo estos valores aceptaremos  y se creará la malla.

PASO 6: Cálculo de la pieza.

1. Con el botón derecho sobre el *ensayo* creado *viga empotrada* seleccionaremos *ejecutar*.
2. El programa comienza el cálculo, en el primer momento debe generar un sistema de matrices que depende de las restricciones y esfuerzos que tenemos aplicados, y a continuación resuelve el sistema (dependiendo de la capacidad de cálculo del procesador estos cálculos pueden ser muy rápidos y casi no apreciarse).

Aparecen una serie de carpetas nuevas resultado del cálculo (la traducción de las mismas no es excesivamente acertada).

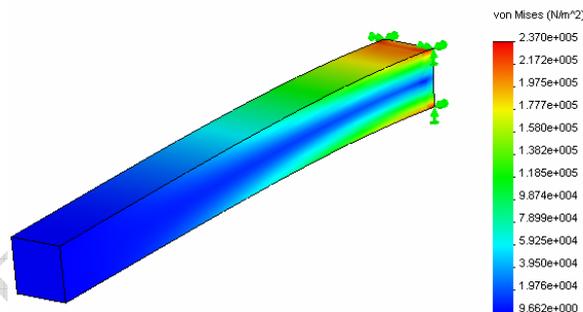
# DISEÑO DE MÁQUINAS



- *Esfuerzo*. En esta carpeta se muestran las tensiones de von Mises que aparecen en la pieza como resultado de las restricciones y esfuerzos que se han indicado.
- *Desplazamiento*. Muestra lo que se ha desplazado cada uno de los elementos respecto a su situación inicial.
- *Tensión*. Este valor tiene una mala traducción. Es un valor adimensional que se identifica como la *deformación unitaria*, es decir, la deformación de un determinado elemento dividido entre su valor inicial, por ello aparece mayor en las zonas de mayor tensión.
- *Deformación*. Es muy similar al desplazamiento, pero en lugar de indicar los valores de los desplazamientos únicamente se muestra la forma final de la pieza.
- *Verificación de diseño*. En esta representación se muestran coeficientes de seguridad según diversos criterios, el más común es esfuerzo de Von Mises máximo.

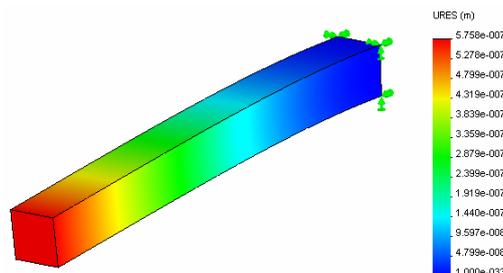
## PASO 7: Visualización de los resultados.

1. Comenzaremos con el *esfuerzo*. Automáticamente se genera un trazado que se podrá visualizar haciendo doble clic sobre él. Observar que aparece un mapa con una distribución de tensiones. El rango de valores generado automáticamente va desde la tensión máxima que aparece en la viga hasta la tensión mínima.



Observar que la tensión máxima que aparece es entorno a  $2,37e+5 \text{ N/mm}^2$ , por lo que la pieza no tendrá peligro de fluencia ya que, teniendo en cuenta que se fabrica en *stainless steel* (tensión fluencia  $1.72e+8 \text{ N/mm}^2$ ) se mantiene un coeficiente de seguridad mayor de 700, como es lógico, pues está sometida sólo a la gravedad.

2. *Deformación*. Haciendo doble clic sobre *trazado 1*, se nos muestra la deformación que tendrá la pieza. No llega a  $6e-7 \text{ m}$ , es decir, menos de 0,6 micras. Observar que la deformación que se muestra mantiene un aumento de más de 17.000 veces.



3. Observar también los trazados que aparecen con *tensión* (realmente es deformación unitaria) y con *deformación*.

# DISEÑO DE MÁQUINAS

4. La *verificación de diseño* no tiene sentido en este ensayo, pues siempre existe un coeficiente de seguridad mayor de 700.

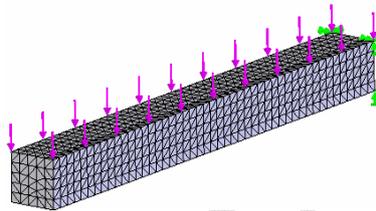
## PASO 8: Establecimiento de las **NUEVAS HIPÓTESIS DE ENSAYO**.

1. A continuación estableceremos más cargas sobre la viga para que los esfuerzos que aparecen en ella sean mayores. Seleccionando la cara superior de la viga, en *Carga/Restricción* añadiremos una fuerza vertical con sentido hacia abajo de  $1000\text{ N}$ . La dirección y sentido correcto se indican según las tres direcciones



que en caso de tener como plano de referencia el alzado, es como se indica. Pulsando vista preliminar , podremos comprobar si dirección y sentido son correctos.

2. A continuación **YA NO ES NECESARIO MALLAR DE NUEVO**, pues ya se ha mallado una vez y como la geometría de la pieza es la misma, la malla no cambia.



3. Ejecutar de nuevo el ensayo y visualizar los resultados.
4. Las tensiones que aparecen son mayores, sobrepasándose la tensión de fluencia ( $1.72e+8\text{ N/mm}^2$ ) y apareciendo también más deformación.
5. Con el botón derecho sobre *esfuerzo*, *Definir...* un nuevo trazado, en el que el *esfuerzo máximo* sea  $1.72e+8\text{ N/mm}^2$ , el *mínimo*  $1.72e+7\text{ N/mm}^2$ , y cuya *escala de deformación* sea  $1$ . De esta manera tendremos la viga con su deformación real, siendo la zona que aparece en **rojo** la que entra en fluencia y aquella en **azul** la que mantenga un coeficiente de seguridad mayor de 10.
6. Puede obtenerse la fuerza de reacción que aparece en el empotramiento mediante *COSMOSWorks > Herramientas de resultados > Fuerza de reacción*. Aparece la fuerza según los distintos ejes y vemos que es casi nula, o en el eje vertical tiene un valor muy próximo a la carga aplicada [ $1000\text{ N} (F_{aplic}) + 0.77\text{ N} (Peso)$ ]. Las discrepancias se deben a que la solución se encuentra mediante un proceso iterativo, por lo que no es totalmente exacto.

PASO 9: A continuación se comprobará la calidad del mallado, variando el tamaño de sus elementos.

Realizaremos el primer ensayo con una **malla muy fina**:

1. Sobre malla, con el botón derecho seleccionaremos *crear*. Nos saldrá un mensaje avisando de que si mallamos de nuevo se perderán los resultados, esto es normal, pues los valores de deformaciones y tensiones resultado del ensayo están vinculados directamente a unos nodos, y si se malla de nuevo se establecerán unos nuevos nodos de los cuales no existe todavía resultado.
2. En *parámetros de malla* la seleccionamos *fina*, arrastrando el cursor hacia la derecha.



# DISEÑO DE MÁQUINAS

Seleccionamos  Ejecutar análisis después del mallado y aceptamos la creación de la malla, automáticamente se ejecutará el ensayo.

3. Ejecutamos el estudio y observamos los resultados.
  - Tensión máxima:  $4.1e+8 \text{ N/mm}^2$
  - Deformación máxima:  $7.54e-4 \text{ m}$ .
4. La comparación más significativa es con el *trazado 2* que hemos creado para el esfuerzo, donde el esfuerzo varía entre  $1.72e+8 \text{ N/mm}^2$  y  $1.72e+7 \text{ N/mm}^2$ .

PASO 10: Realizaremos un nuevo mallado, con un tamaño de **malla gruesa**.

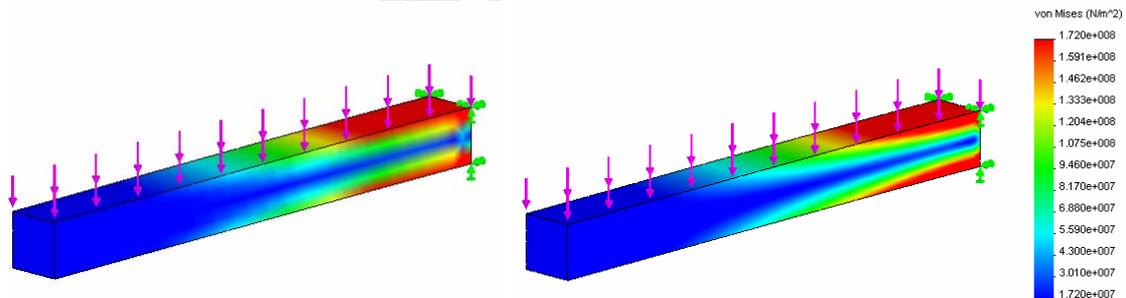
**IMPORTANTE:** Si deseamos realizar un nuevo ensayo con malla gruesa y visualizar ambos resultados es necesario guardarlo en un archivo diferente (pues no puedo mantener dos tipos de mallado en un mismo archivo). Seleccionaremos guardar como y le llamaremos: *Viga con malla gruesa*.

5. Sobre *malla*, con el botón derecho seleccionaremos *crear* y en *parámetros de malla* la seleccionamos *gruesa*, arrastrando el cursor hacia la izquierda. Creamos la malla.



6. Ejecutamos el estudio y observamos los resultados.
  - a. Tensión máxima:  $2.95e+8 \text{ N/mm}^2$
  - b. Deformación máxima:  $4.39e-4 \text{ m}$ .

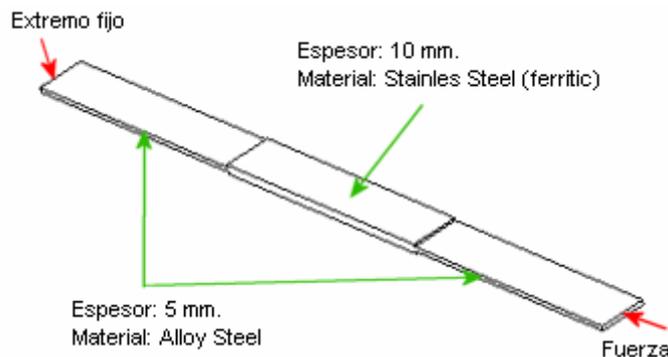
Los valores máximos obtenidos son apreciablemente diferentes, pero lo importante es la distribución de valores, no un valor puntual. Comparamos los resultados para el *trazado 2* de *esfuerzo* y vemos que los valores son prácticamente iguales. La mayor diferencia radica en el tiempo de cálculo, por ello para predimensionar suelen emplearse *mallas gruesas* y mallas más finas para resultados definitivos.



# DISEÑO DE MÁQUINAS

## ENSAYO DE PANDEO

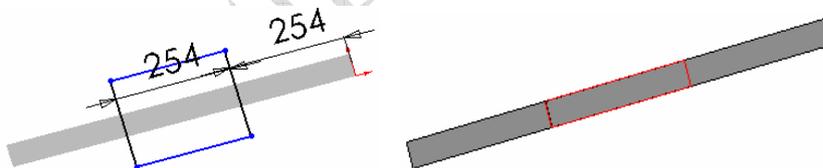
A continuación realizaremos el ensayo de pandeo de una chapa metálica que tiene tres espesores distintos y además también tres materiales distintos. La chapa metálica tendrá una geometría, y restricciones como las que se indican a continuación:



PASO 1: Crear la geometría que se desea ensayar. Para construir la chapa lo que se hará será crear una superficie rectangular que coincidirá con la planta total y será dividida en tres tramos. El espesor se dará posteriormente cuando en el tipo de malla se escoja *shell mesh using surfaces*

(*malla de chapa utilizando superficies*). Crearemos un archivo de pieza **nuevo**

1. En el *plano de alzado* desde el origen croquizar una línea vertical de 50 mm. de longitud. Para poder visualizar las opciones de superficies, activaremos su barra de herramientas, entrar en el menú: >Herramientas>Personalizar>Barras de herramientas>  Superficies
2. Salir del croquis y realiza su extrusión , hasta una profundidad de 762mm.
3. Dividir la superficie creada en tres partes iguales de 254mm. Para ello, seleccionando la superficie, sobre ella crearemos un croquis cerrado según se indica.



4. Para dividir la superficie se emplea el comando: *crear una línea de separación* , puede encontrarse dicha opción en *Insertar> Curva> Línea de separación*, donde señalaremos como *croquis para proyectar* el creado y como *caras para partir* la superficie. Observar que de esta manera se ha dividido la superficie en tres tramos (en la figura anterior).
5. Guardar el archivo de pieza que se ha creado como *chapa para pandeo*.

PASO 2: Una vez que ya se ha creado la geometría para analizar, prepararemos el ensayo.

1. Para comenzar el ensayo, bajo la pestaña de COSMOSWorks , se pulsa con el botón derecho sobre la *pieza* y se selecciona **Estudio...**
2. Debe dársele un nombre, por ejemplo *pandeo superficies*, en tipo de ensayo *pandeo* y en tipo de malla *shell mesh using surfaces*. Nos aparecen las entidades que como siempre debemos ir definiendo para realizar el ensayo.

# DISEÑO DE MÁQUINAS

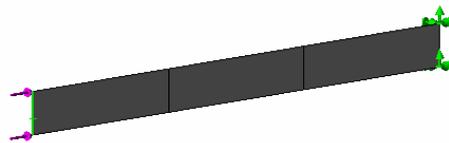


- Como se nos ha indicado las partes extremas tienen el mismo espesor y son de acero aleado *alloy steel*, y el tramo medio de acero inoxidable *stainless steel ferritic*. Definiremos entonces las características de la chapa y del material, pulsado con el botón derecho sobre *vaciados* seleccionar: *definir por superficies seleccionadas*.

Se indica de *tipo fino* y se señalan las superficies de ambos extremos, con un *espesor de 5 mm*. A continuación se hace lo mismo para el tramo del medio en el que se indica de nuevo *fino* pero con un *espesor de 10 mm*.



- A continuación se deben señalar los materiales. Para ello, pulsando sobre *vaciado 1* (los tramos de los extremos) con el botón derecho se selecciona *Aplicar/Editar material...*, y el material lo tomaremos desde la biblioteca propia de COSMOS *coswksmat*, seleccionando *Alloy Steel*. Aparecerá ahora la lámina de esta manera *Vaciado-1*. De la misma manera para *vaciado 2* (tramo central) seleccionaremos *Stainless Steel (ferritic)*.
- Ahora deben establecerse las restricciones, un extremo debe estar fijo y sobre el otro se aplica la fuerza. Con el botón derecho sobre *Carga/Restricción*, seleccionaremos primero la *restricción*. Donde indicaremos que una de las aristas del extremo se encuentra *fija*.
- De la misma manera escogeremos ahora para la otra arista una *Fuerza de compresión* y con un valor de  $445\text{ N}$ . La dirección se indica según el campo que se cubra y el sentido se indica con el signo. Cuando aparecen en color gris quiere decir que está desactivada esa dirección, de manera que indicar la dirección y sentido correctos para los  $445\text{ N}$  y comprobarlo con la *vista preliminar*



- En este momento ya solamente falta mallar antes de ejecutar el análisis. Para ello pulsando con el botón derecho sobre *Malla* se selecciona *Crear...* Aparece el tamaño predefinido de la misma y aceptamos. A continuación aparece el sólido mallado:



- Por último se debe ejecutar el análisis, para ello pulsando con el botón derecho sobre el *estudio* que hemos creado *pandeo superficies*, se selecciona *Ejecutar*. El ordenador procesará hasta converger en un resultado.

# DISEÑO DE MÁQUINAS

9. El principal resultado a conocer será el *factor de carga*, es decir, el coeficiente de seguridad que tenemos para que no se produzca pandeo. Este valor se puede encontrar en la Barra de *COSMOSWorks>Lista de resultados>forma modal.1*

Nº de modo	Factor de carga crítica de par
1	1.4388

En caso de que no aparezca la opción, es conveniente guardar de nuevo la pieza, cerrar el programa y volver a abrirlo.

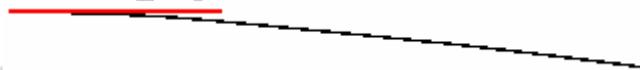
La pieza ensayada soportará frente a pandeo  $445 \times 1,44 = 640,8$  N. Como se puede ver, mantenemos un cierto coeficiente de seguridad respecto al pandeo, debemos comprobar según el trabajo que estemos realizando y la norma correspondiente si es suficiente o no.

10. En la pestaña de *COSMOS* , aparecerán dos campos nuevos, *desplazamiento* y *deformación*:



La *deformación* representa simplemente la geometría de la pieza cuando se produce pandeo, con la escala que se nos indica por ejemplo *8.06*. Esta escala puede variarse pulsando con el botón derecho sobre *editar definición*.

Nombre de modelo: chapa para pandeo  
Nombre de estudio: pandeo superficies  
Tipo de trazado : Pandeo-Trazado1  
Forma modal : 1 Factor de carga = 1.4388  
Escala de deformación: 8.06476

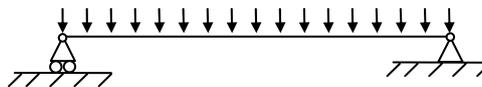


Por otra parte el *desplazamiento* también muestra la *deformación*, pero incluye una escala que según el color nos indicará su valor.

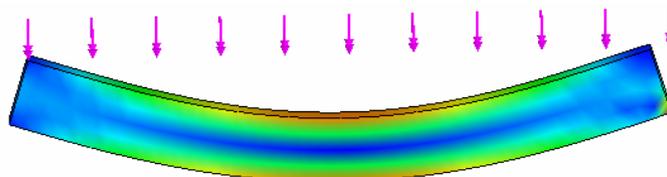


## Observaciones respecto a la pieza 1.

- Intenta simular una viga con un extremo articulado fijo y el otro articulado móvil (manteniendo los mismos valores de fuerzas aplicadas).



Esto se consigue con las restricciones adecuadas en los extremos. El resultado debe ser algo similar a



- Abre el explorador de Windows y dirígete a la carpeta: *C:/Archivos de Programa/Cosmos Applications/Work*. Ahí se encuentran los archivos que almacenan los resultados de los ensayos, comprueba la diferencia que existe en su extensión al hacer la malla fina o la gruesa, de 0,5 MB a 35 MB.