

# **Guía de utilización del software**

**CATIA V5: Módulo de elementos finitos**



# INDICE

0.- Introducción y configuración previa .....	IV
1.- Geometría y material de la pieza .....	VI
2.- Mallado.....	XI
3.- Condiciones de contorno.....	XII
4.- Aplicación de cargas .....	XVII
5.- Calcular .....	XIX
6.- Adaptación del mallado.....	XX
7.- Representación de los resultados y herramientas de análisis .....	XXII
8.-Informe técnico.....	XXXIII

## 0.- Introducción y configuración previa

La *Figura 1* muestra el procedimiento general que se va a para proceder a la aplicación del criterio de fallo estático sobre cualquier pieza que forme parte de nuestro modelo. Cada *etapa*, esta *numerada* de acuerdo con el orden a seguir para realizar el cálculo estático de una pieza.

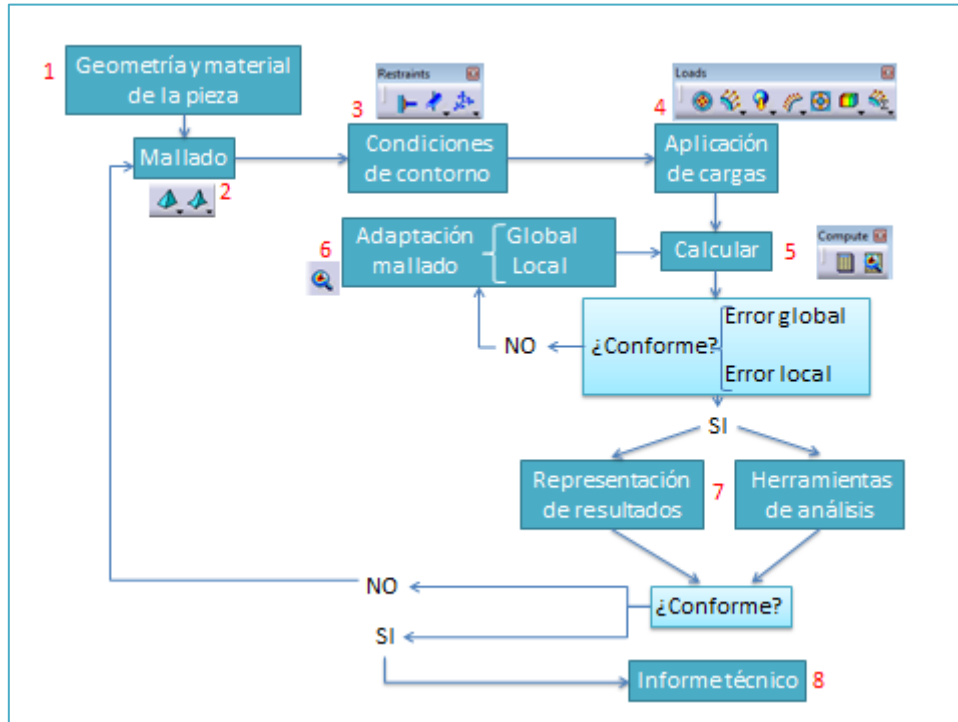


Figura 1 Procedimiento del programa

### -Configuración de unidades:

Para elegir las unidades, hay que seguir los siguientes pasos. Primero, vamos a la pestaña *Tools*, en la barra de herramientas superior, y seleccionamos *Options*, véase *Figura 2*.

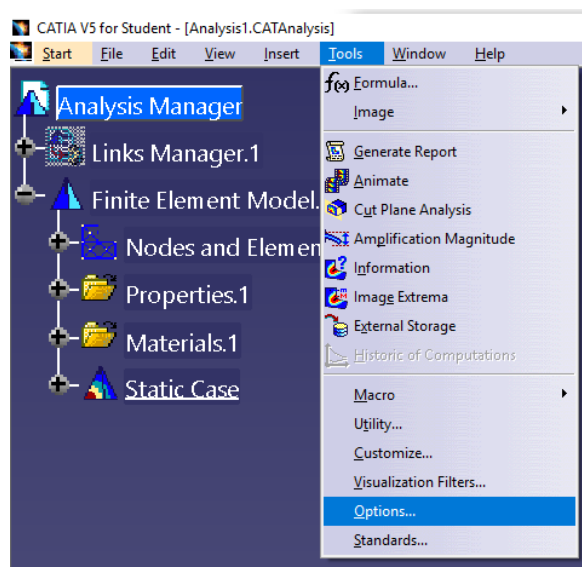


Figura 2 Acceso a la configuración

A continuación, en el apartado *General*, seleccionamos *Parameters and Measures*, y luego ir a la pestaña de *Units*. Aquí se encuentran todas las magnitudes físicas con las que CATIA trabaja, seleccionando una como en la *Figura 3*, y se elige la magnitud y la unidad correspondiente.

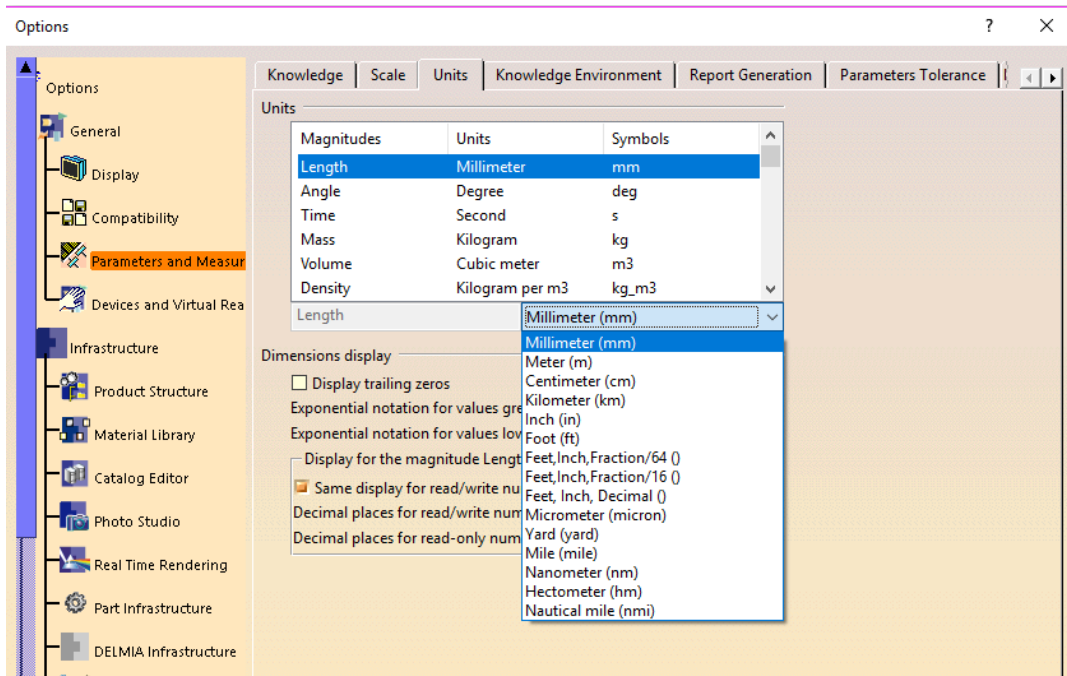


Figura 3 Configuración de las unidades

#### -Configuración de vista

Otra configuración, que debemos hacer en este módulo, es editar la forma en la que se va a ver la pieza. Para ello, en la pestaña superior de *View*, ya continuación en la pestaña *Render Style*, seleccionamos *Customize view*, como en la *Figura 4*. Posteriormente, hay que marcar la casilla *Material* en el apartado *Mesh*, como en la *Figura 5*.

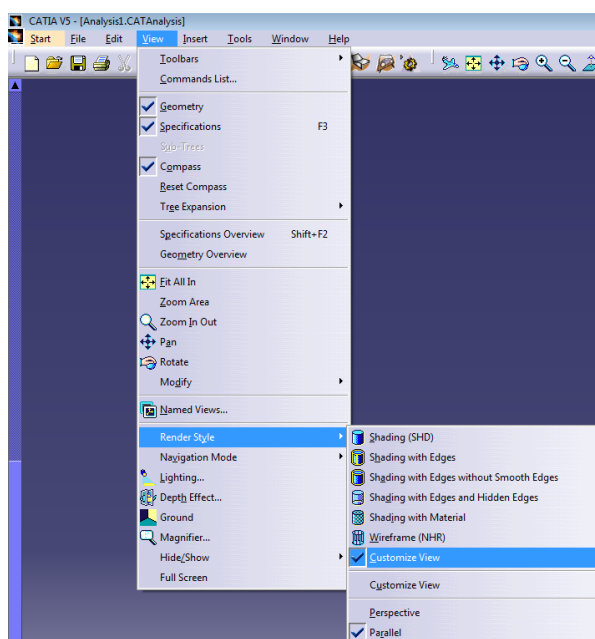


Figura 4 Configuración de vista 1

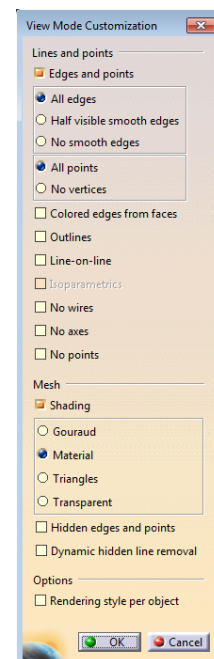


Figura 5 Configuración de vista 2

# 1.- Geometría y material de la pieza

## -Geometría de la pieza

Con el módulo de *Part Design*, se pueden generar modelos sólidos, como muestra la *Figura 6*, partiendo de la geometría de la pieza que se dibuja con un *sketch*, que realiza dibujos en 2D y, posteriormente, se realizan las operaciones que ofrece el módulo para llevar la pieza al modelo 3D. De esta manera se tiene la geometría.

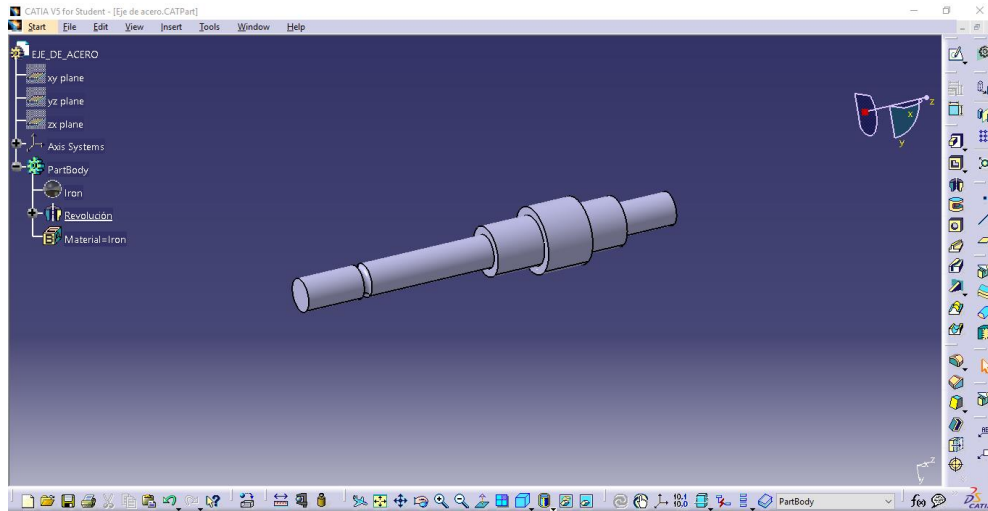


Figura 6 Pieza generada en módulo Part Design

## -Material de la pieza

A partir de la barra de herramientas inferior de la figura anterior 7 y seleccionando el comando que se muestra en la *Figura 7*, CATIA abre una librería de materiales que ofrece el software. Los materiales están ordenados por tipos y, dentro de cada tipo, encontramos materiales específicos.

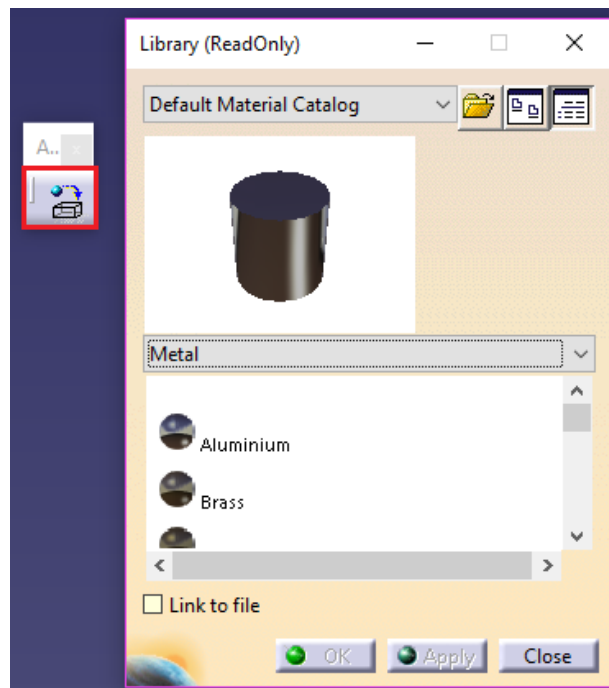


Figura 7 Asignación de material a la pieza

En el caso de que la librería no contenga el material de nuestra pieza, habrá que definir uno, que se hace eligiendo un material, aunque no sea el de nuestro caso estático; posteriormente, haciendo doble click sobre él en el árbol, se despliega una ventana como la de la *Figura 8*. En esta ventana, podemos modificar varios parámetros del material, en la pestaña *Analysis*. Las propiedades que supone la elección del material son el *módulo de elasticidad E*, el *factor de Poisson  $\nu$* , la *densidad  $\rho$* , el *coeficiente de dilatación térmica* y el *límite de elasticidad  $S_y$* .

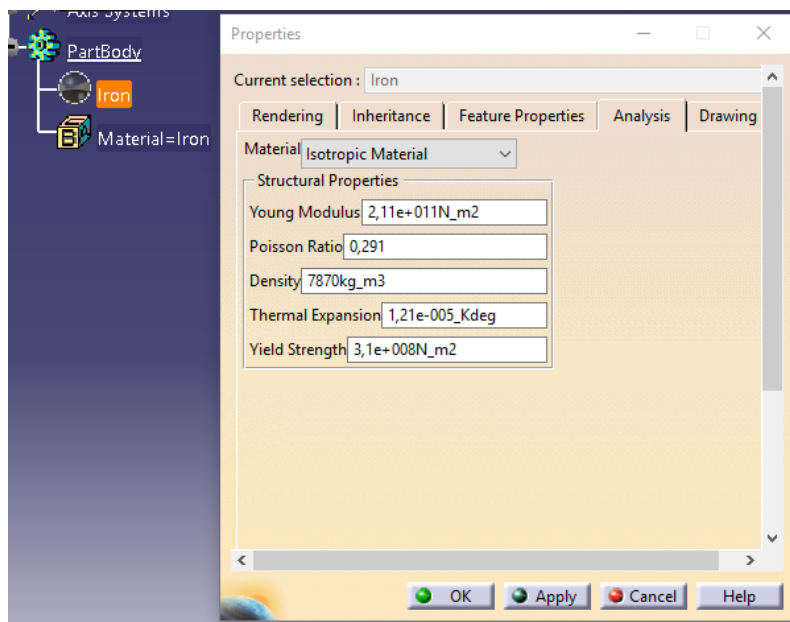


Figura 8 Elección de las propiedades mecánicas del material

### -Iniciar el módulo de elementos finitos

Una vez que tengamos el modelo sólido de la pieza, se debe acceder al módulo de *Static Analysis*. Para ello, debemos ir a la parte de *Analysis & Simulation* y seleccionar *Generative Structural Analysis* (*Figura 9*) y, posteriormente, a *Static Analysis* (*Figura 10*).

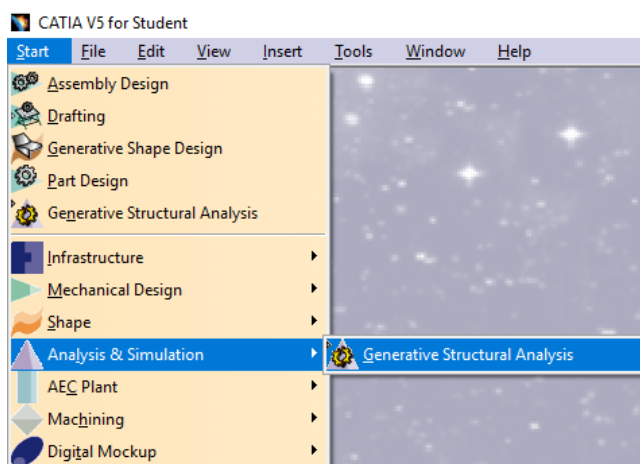


Figura 9. Inicio del módulo

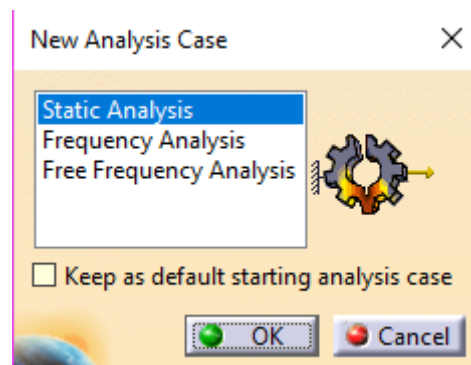


Figura 10. Inicio del módulo

Para realizar el cálculo estático de la pieza, tenemos que seleccionar la pieza a analizar para introducirlo al módulo, como se ve en la *Figura 11*, hay dos opciones:

-Con el fichero de la pieza abierto en el módulo *Part Design*, seleccionamos *Start* → *Analysis simulation* → *Generative Structural Analysis* → *Static Analysis*.

-Sin tener el fichero de la pieza abierto, seleccionamos *Start* → *Analysis simulation* → *Generative Structural analysis* → *Static Analysis*, luego elegimos, en *Links Manager*, la opción *Import*, ver *Figura 12*, para importar el archivo tipo CAT.Part a nuestro análisis estático.

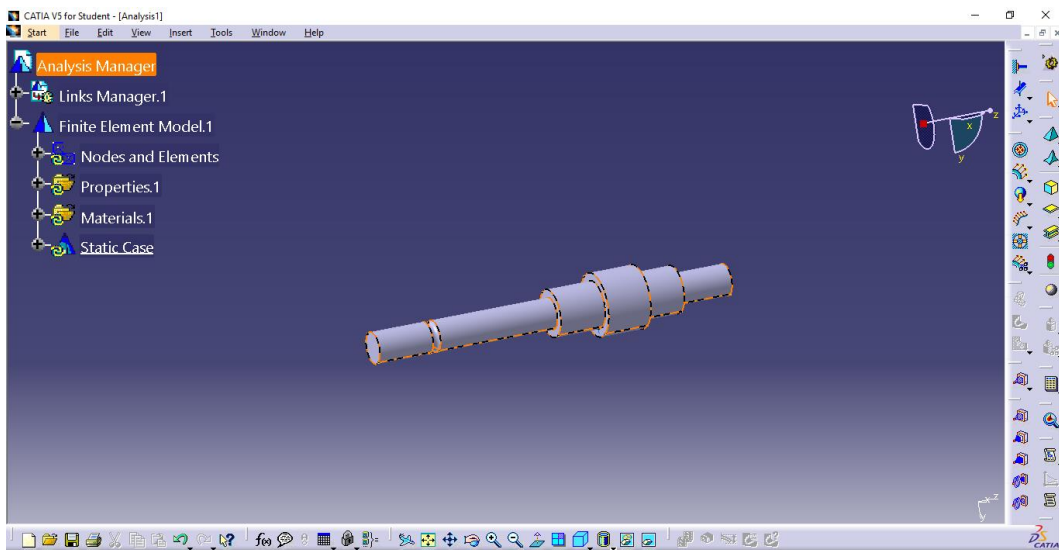


Figura 11 Pieza en el módulo

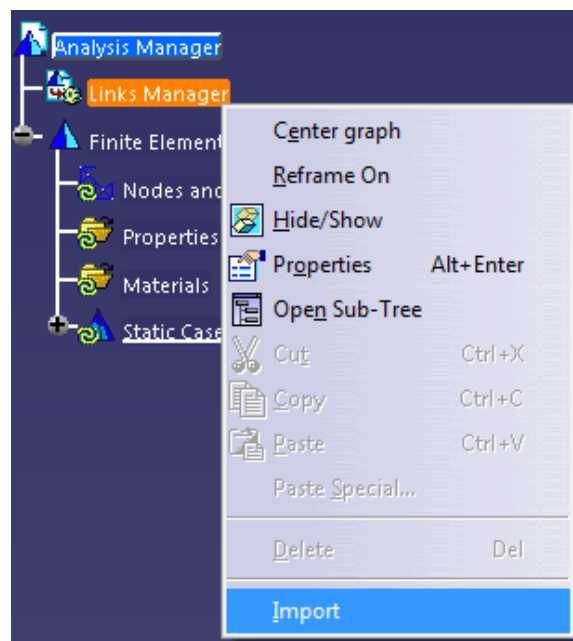


Figura 12 Introducción fichero de la pieza



### -Árbol del módulo de elementos finitos

A continuación, se presenta el árbol del módulo en la *Figura 13*, donde encontraremos la información más representativa para el estudio de la pieza. El apartado Links Manager es donde está el fichero de la pieza a simular, el fichero de las computaciones y el de los resultados. Más abajo del árbol podremos encontrar el mallado en *Nodes and Elements*, debajo, está el material de la pieza, las restricciones que impongamos, el estado de cargas que apliquemos y los resultados.

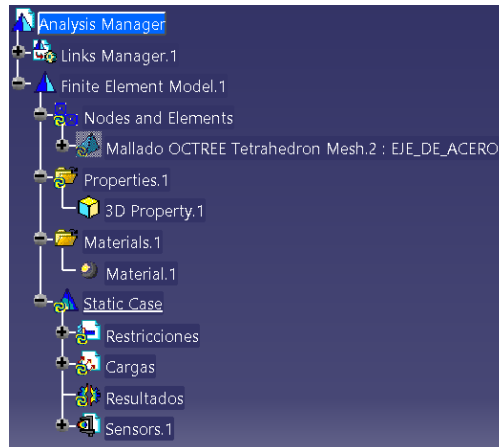


Figura 13 Árbol del módulo Generative Static Analysis

Haciendo doble click en el icono de resultados que se ve en *la Figura 13*, aparece una ventana como la de *la Figura 14*, donde podemos seleccionar el método. Si seleccionamos Auto, se ejecutará automáticamente uno de los otros tres métodos, el que más convenga al caso estático a estudiar. El método Gauss es un método numérico directo y da buenos resultados para pequeños y medios modelos. En cuanto al método Gradient, es un método iterativo, que es recomendable para grandes modelos y, en el cual, se pueden seleccionar el número de iteraciones, además de la precisión. Por último, el método Gauss R6, está diseñado para grandes modelos y de un cálculo más rápido que el método Gauss, y el más recomendable.

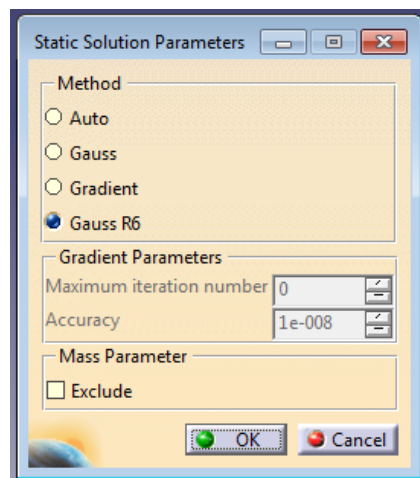


Figura 14 Métodos de cálculo

### -Gestión de los ficheros del módulo

Antes de pasar al siguiente paso, y cuando ya tengamos la pieza en el módulo de elemento finitos, debemos guardar los cuatro archivos con lo que va a trabajar el programa en la misma carpeta del ordenador o dispositivo de almacenamiento externo.

Los archivos con los que trabaja el programa son cuatro, el fichero de la pieza que se guarda como .CATPart, el archivo del módulo donde vamos a simular la pieza como .CATAnalysis, el fichero que genera el módulo de computaciones .CATComputations y el fichero de resultado que genera el módulo como .CATResults.

Los dos últimos ficheros que se han mencionado, se deben guardar con un comando especial, el de la *Figura 15*, y en la ventana que emerge seleccionamos la carpeta del ordenador donde se guardarán en la pestaña *Modify*.

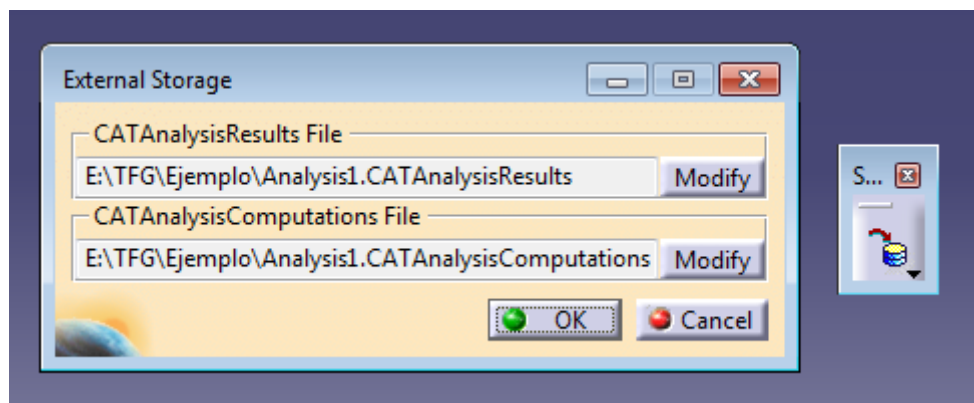


Figura 15 Comando External Storage

A continuación, seleccionando en la pestaña superior *File*, hacemos uso del comando *Save Management*, con la cual podremos guardar los cuatro archivos a la vez, véase la *Figura 16*.

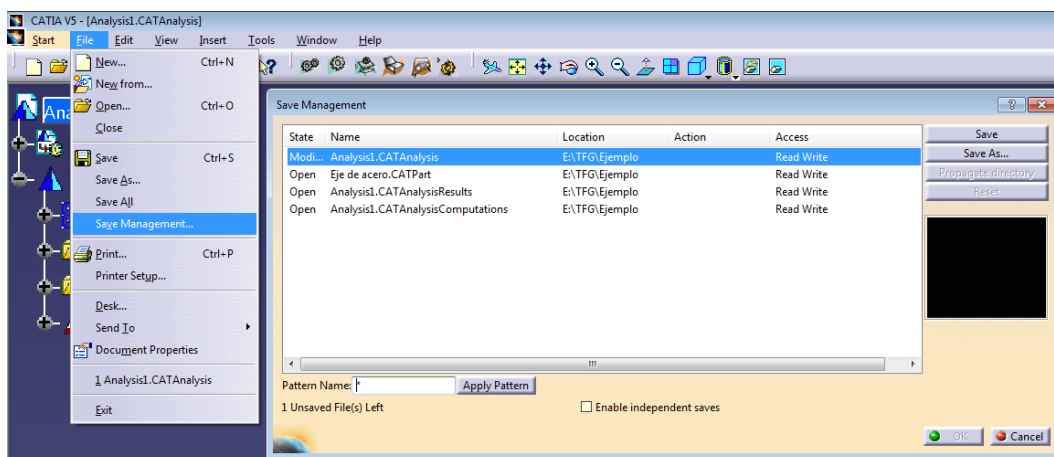


Figura 16 Comando Save Management

## 2.- Mallado

Tras la selección de geometría y material, se procede al mallado de la pieza (paso 2), según se vio en la *figura 1*. A la hora de crear un mallado, CATIA por defecto realiza un mallado automático, con tetraedros, que se puede editar haciendo doble click en el árbol, debajo de *Nodes and Elements* También, se puede introducir un mallado nuevo, a través de la barra de herramientas *Model Manager*, haciendo click en el primer comando *OCTREE Tetrahedron Mesh*, y aparece una ventana como la de la *Figura 17*.

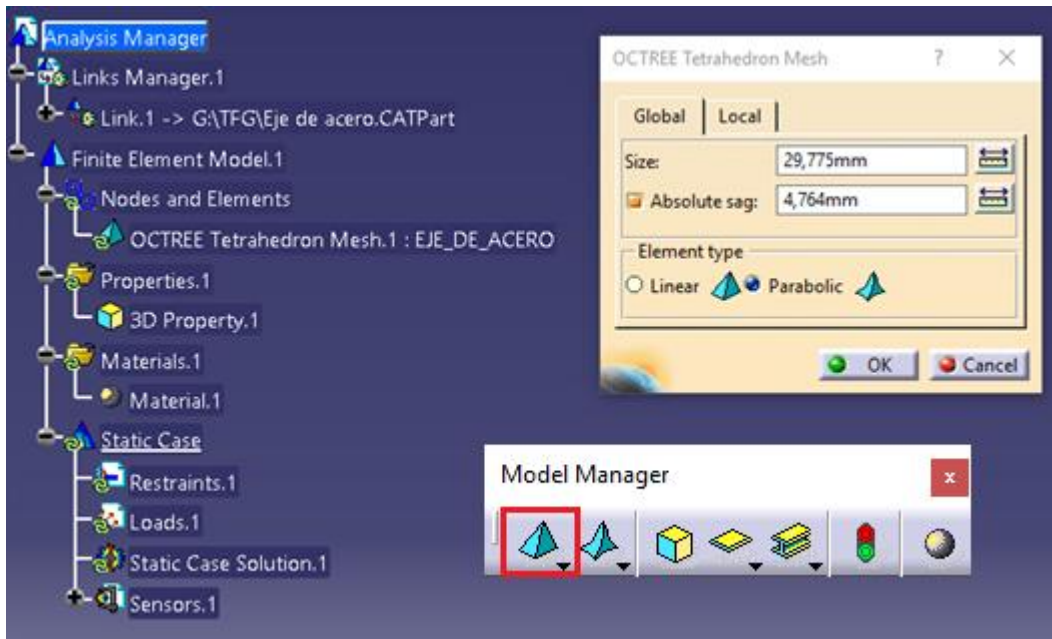


Figura 17 Creación del mallado

### -Tamaño del elemento

Para definir el mallado, el programa primero pide la longitud del lado del elemento del tetraedro en *Size*. La opción *Absolute sag*, es un valor para marcar la desviación máxima entre los lados de los tetraedros al contorno de la pieza.

### -Tipo de elemento

#### - Tetraedro lineal:

Se elige este tetraedro si tenemos una geometría sencilla, los resultados serán menos precisos y el tiempo que usa en computar los resultados es menor. Se tiene que tener en cuenta, que este tipo de elemento, no discretiza las discontinuidades, tan bien como lo hace el tetraedro parabólico.

#### - Tetraedro parabólico:

Es el más utilizado y el que se aconseja ya que se obtienen resultados más fiables. Al mallar con este tipo de elementos, el software necesitará más tiempo para el cálculo, por lo que, si se trata de una pieza con una geometría con mucho detalle, conviene elegir este tetraedro.

### -Mallado local

Una herramienta que resulta útil, es el comando *Local Mesh Size*, que realiza un mallado local de una superficie o una arista que elijamos y que creamos que es una sección crítica por posibles discontinuidades. Para usarlo, hay que seleccionar el comando de la *Figura 18*, indicar la arista o la superficie a refinar, e introducir el valor de la longitud del tetraedro.

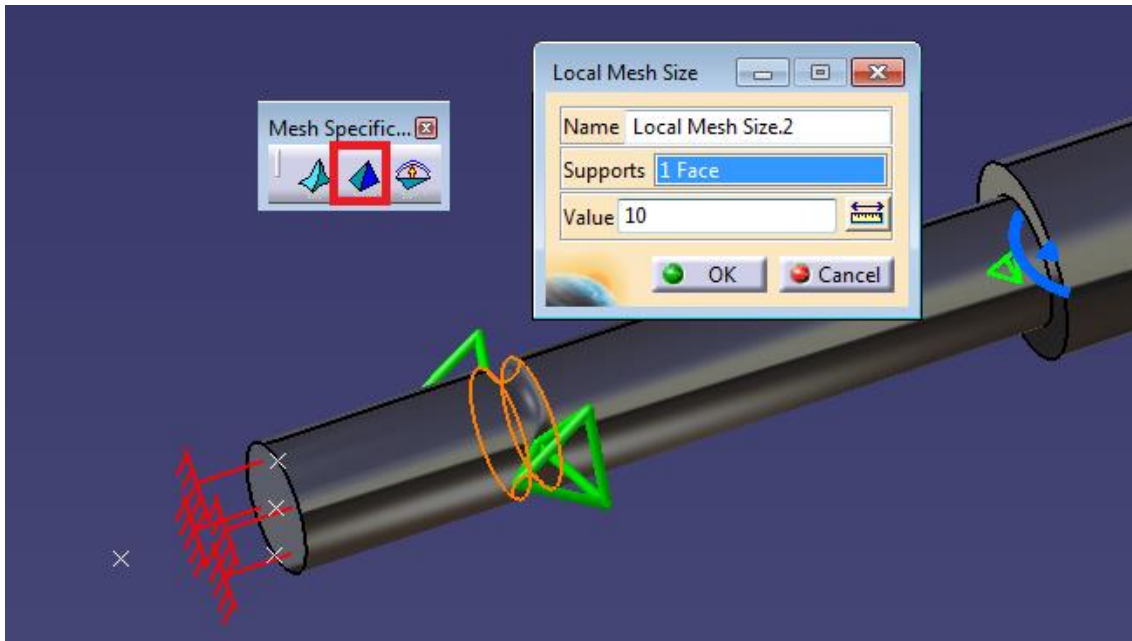


Figura 18 Mallado local

### 3.- Condiciones de contorno

Ahora pasamos a la etapa 3 del proceso, (*Figura 1*) que consiste en imponer las condiciones de contorno. Mediante la barra de herramientas *Restrains*, ver *Figura 19*, se pueden imponer las condiciones de contorno de la pieza a estudiar, permitiendo los grados de libertad que se consideren necesarios en cada nodo de nuestro mallado.

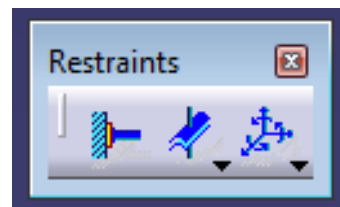


Figura 19 Barra de herramientas Restrains

Las restricciones necesitan de los elementos de apoyo (*Supports*), que son elementos de la pieza donde se van a aplicar las condiciones de contorno. Estos elementos de apoyo pueden ser puntos, aristas, superficies y elementos virtuales.

### -Elementos virtuales

Antes de explicar en detalle la barra de herramientas *Restrains*, conviene entender la barra de elementos virtuales, se utilizan como elementos de apoyo en las restricciones.

La barra de herramientas *Virtual Parts* (Figura 20) se utiliza para simular una parte geométrica en el módulo de cálculo estático, y no ha quedado disponible en el módulo de *Part Design*. Estos elementos virtuales son líneas y puntos, y es necesario crearlos para que el programa realice el mallado correctamente de ese elemento.

El elemento virtual tiene una función importante en la pieza, como servir de elemento de apoyo en las condiciones de contorno, o bien, que sirva como elemento de apoyo cuando se aplica una carga.



Figura 20 Barra de herramientas Virtual Parts

### -Rigid Virtual Part:

Este comando crea un elemento virtual que enlaza con el contorno de la pieza, ya sea una arista o una superficie, y el elemento que se crea es un punto. Esta conexión hace que se comporte como un objeto fijo, es decir, transmitiendo de forma rígida al cuerpo las restricciones y cargas que actúen sobre el punto. Esta herramienta, no tiene en cuenta la deformación elástica de la zona de la pieza que hace de elemento de apoyo y hace que actúe esa parte como un sólido rígido.

Al ejecutar el comando, aparece una ventana en la que seleccionamos el elemento de la pieza donde se apoya el elemento virtual en *Supports*. El punto que será el elemento virtual lo seleccionamos en *Handler*, como se ve en la *Figura 21*.

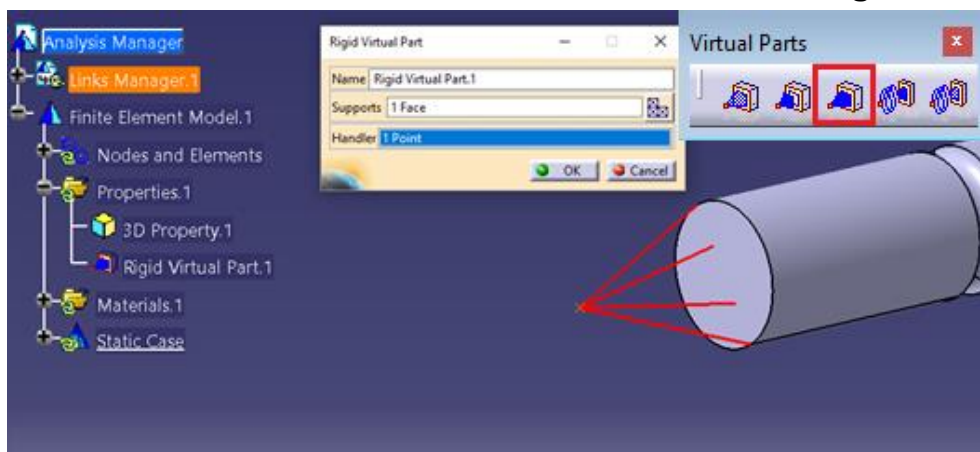


Figura 21 Comando Rigid Virtual Part

*-Smooth Virtual Part (Elemento virtual móvil o desplazable):*

Este comando enlaza virtualmente un punto de apoyo con la pieza mediante una barra imaginaria. Este enlace tiene menos rigidez que el comando *Rigid Virtual Part*, transmite cargas y restricciones desde el elemento virtual a la geometría del elemento. Para hacer uso de esta herramienta, en la ventana que se ve en la *Figura 22*, tenemos que seleccionar un elemento de apoyo en *Supports* y, si queremos que sea un punto de apoyo, lo deberemos seleccionar en la casilla de *Handler*.

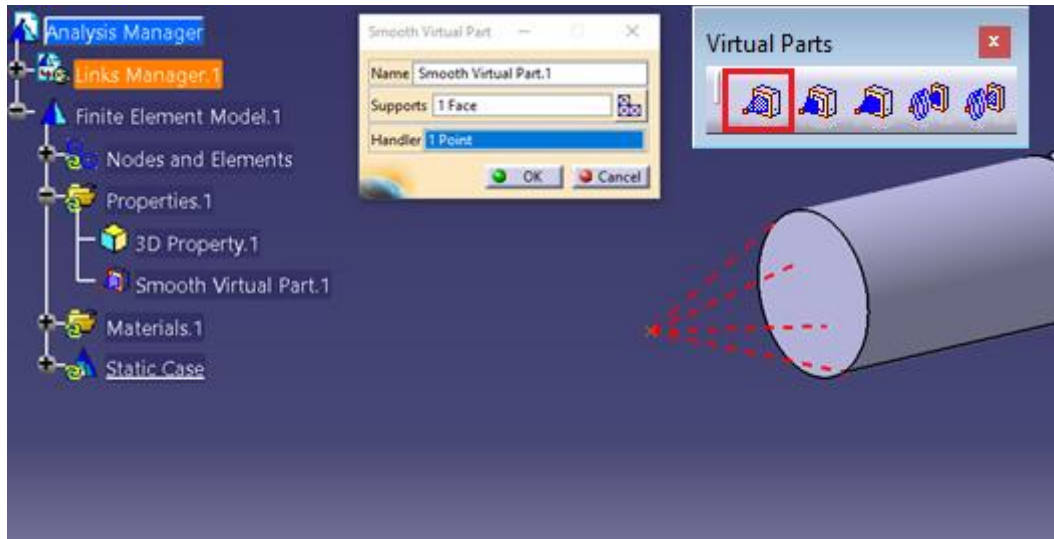


Figura 22 Comando Smooth Virtual Part

*-Contact Virtual Part:*

Con este comando se crea un elemento virtual, que enlaza virtualmente un punto con el contorno de la pieza. Pero, en este caso, no es mediante un contacto directo, sino que existe una barra de contacto, o enlace virtual entre el punto y el contorno, la cual transmite las acciones al contorno de la pieza. Al ejecutar el comando, hay que configurar la ventana como la de la *Figura 23*, hay que seleccionar en *Supports* la superficie del contorno donde queremos enlazar, en *Handler* el punto del elemento virtual.

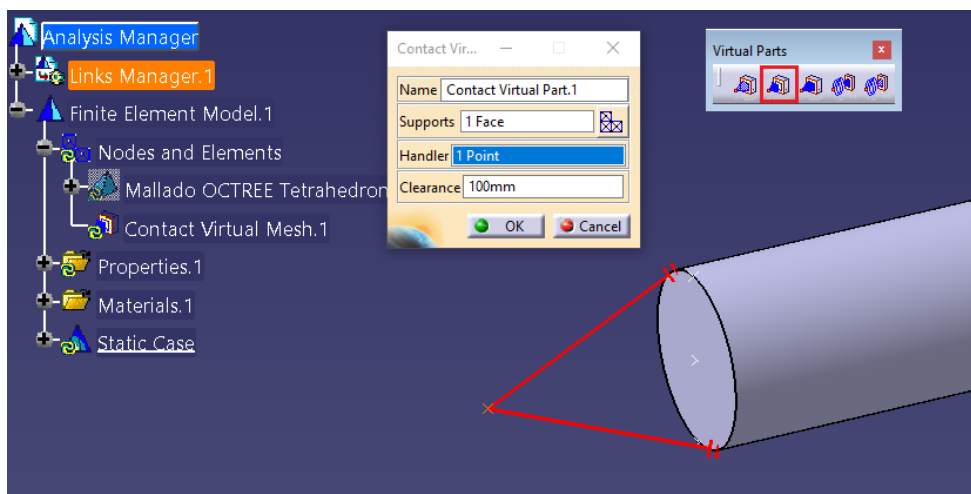


Figura 23 Comando Contact Virtual Part



### -Empotramiento

Al seleccionar este comando quedarán restringidas todas las traslaciones y rotaciones en los tres ejes del elemento de apoyo, es decir como un empotramiento, por lo que al aplicar cualquier carga generará reacciones en la parte empotrada, como en la *Figura 24*.

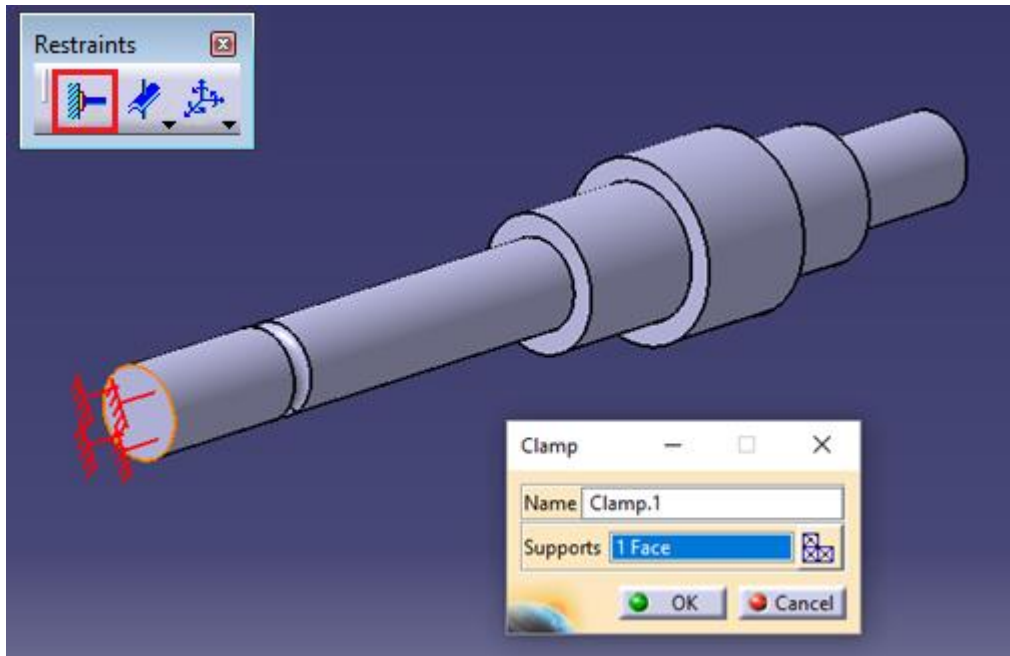


Figura 24 Restricción de empotramiento

### -Restricciones mecánicas

Estas restricciones tienen de particular que permiten traslaciones y giros en el elemento donde se apoyan. Estos comandos (*Figura 25*), simulan el comportamiento de algunos elementos de diseño usados con frecuencia en el diseño de máquinas.

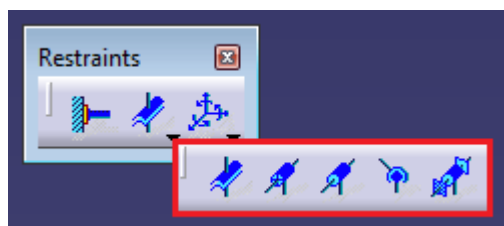


Figura 25 Restricción mecánicas

### -Restricciones definidas por el usuario (User defined restrain)

Este comando permite aplicar todas las condiciones de contorno que queramos, ya que es a libre elección el restringir los grados de libertad que tiene su pieza.

Al lanzar el comando, aparece una ventana como en la *Figura 26*, se nos pedirá el elemento de apoyo en la opción *Support*, que puede ser tanto un punto, una curva, una superficie o un elemento virtual; posteriormente, el sistema de ejes al que nos

referimos y, por último, qué traslaciones y rotaciones queremos restringir, teniendo en cuenta que el eje 1, 2 y 3 se refieren al X, Y, Z respectivamente.

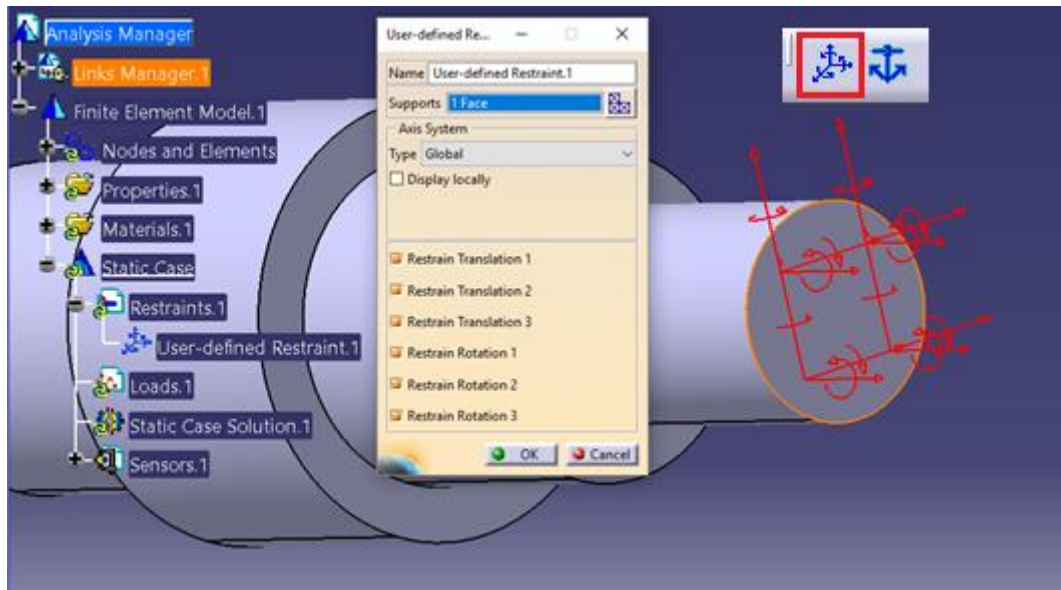


Figura 26 Restricción User defined Restrain

- Restricciones y condiciones Isostáticas (Isostatic Restrain)

Con este comando se restringen todas las traslaciones y rotaciones de la pieza en conjunto, es decir, que ningún punto se mueve, por lo que la pieza está fija en el espacio. Para esta restricción no hay que seleccionar nada, como se ve en la Figura 27.

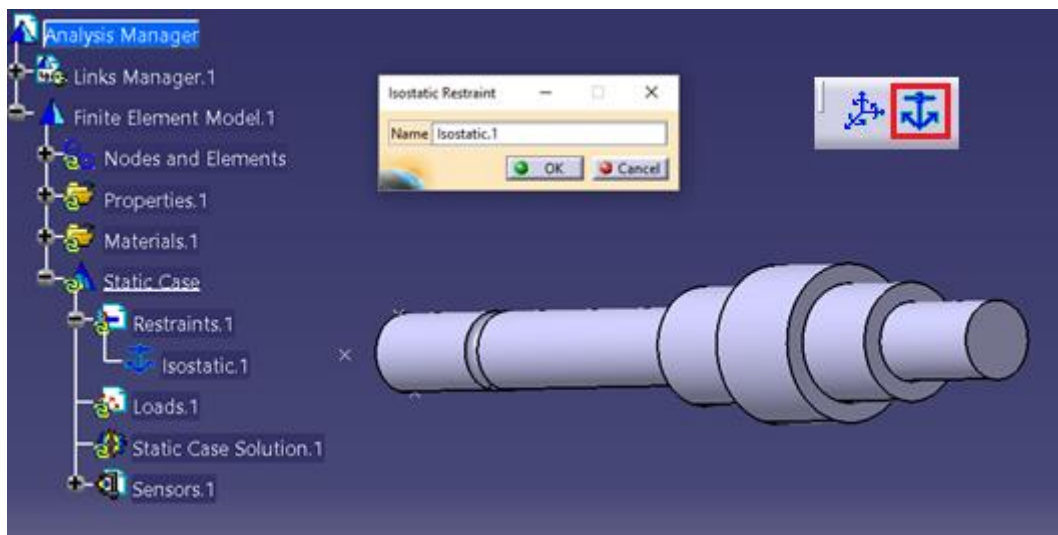


Figura 27 Restricción isostática



## 4.- Aplicación de cargas

Ahora pasamos a la etapa 4 del proceso, *Figura 3.1* que consiste en imponer la aplicación las cargas. Para caracterizar la carga se usará la barra de herramientas *Loads*, ver *Figura 28* que nos permite elegir el tipo y la zona de aplicación de ésta en la pieza a estudiar, ya sea una cara, una arista o un punto. Los diferentes tipos de cargas son:



Figura 28 Barra de herramientas Loads

### -Carga distribuida (Distributed Force)

Con este comando definimos una fuerza distribuida o aplicada en un único punto, aunque CATIA llame al comando fuerza distribuida, y la dirección en la que se aplica.

La ventana que nos aparece es la de la *Figura 29*, como elemento de apoyo en *Supports*, podemos elegir puntos, curvas, superficies o elementos virtuales. A continuación, se elige el sistema de ejes al que nos referimos global (el que da CATIA por defecto) o el de usuario, que hayamos creado en el módulo de *Part Design*. Para el valor de la fuerza hay que poner el módulo de la fuerza y las componentes de la fuerza en cada eje. Se introducen primero tres valores de los cuatro posibles (módulo y las tres componentes) y CATIA automáticamente ajusta el restante.

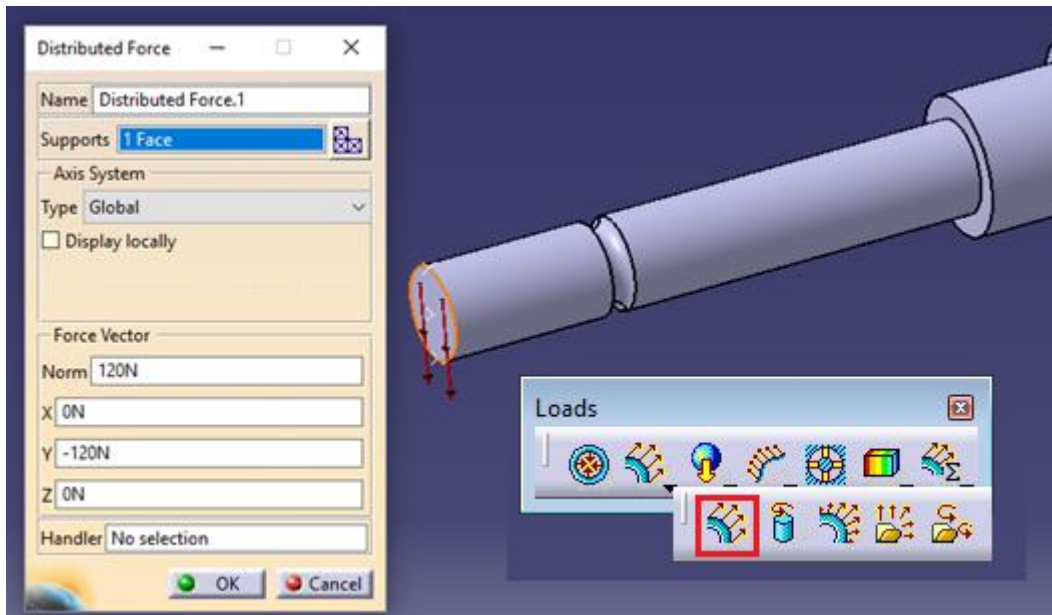


Figura 29 Herramienta Distributed Force

En el caso en el que queramos definir una fuerza puntual, debemos seleccionar la superficie a la que pertenece el punto, y en la opción *Handler* el punto donde se aplicará esta carga, como en la *Figura 30*.

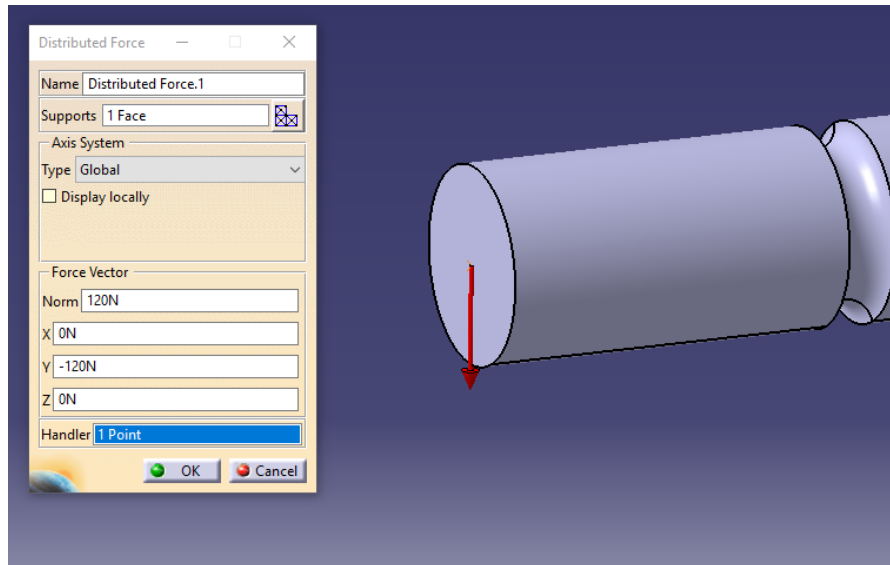


Figura 30 Fuerza puntual

#### -Momento (Moment)

Usando este comando, aplicamos un momento distribuido o puntual. Al ejecutar el comando, nos aparece una ventana como la *Figura 31*, en *Supports* seleccionamos los elementos de apoyo que pueden ser elegir curvas, superficies o elementos virtuales. Posteriormente, se introducirá el valor nominal del momento (en las unidades que hayamos configurado en CATIA). De igual manera que para la carga distribuida o puntual, está el valor del módulo y las tres componentes, entonces para definir el momento introducimos tres de los cuatro valores y el otro se calcula por el programa.

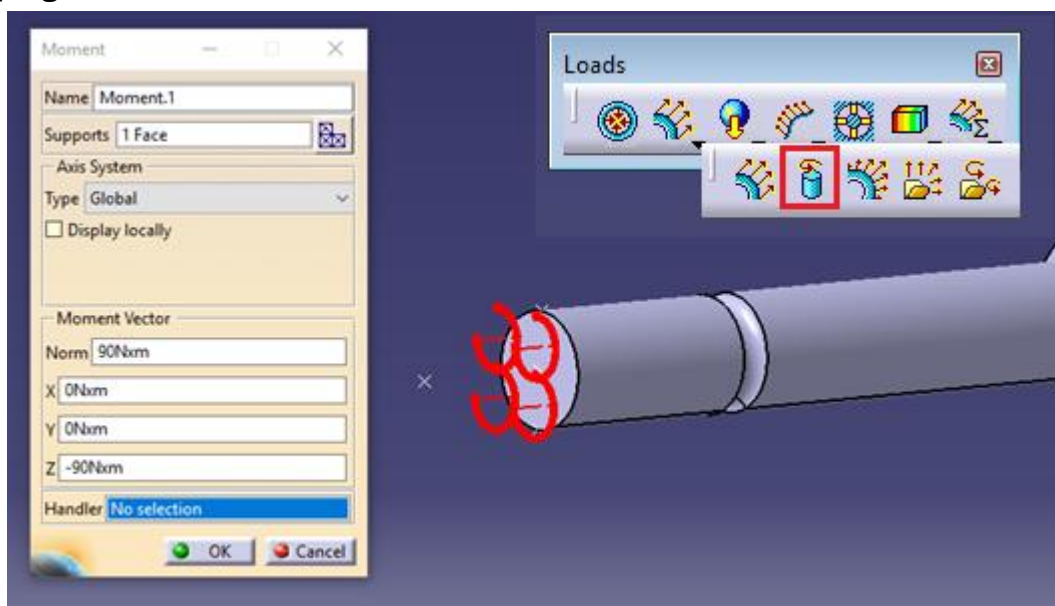


Figura 31 Herramienta Moment

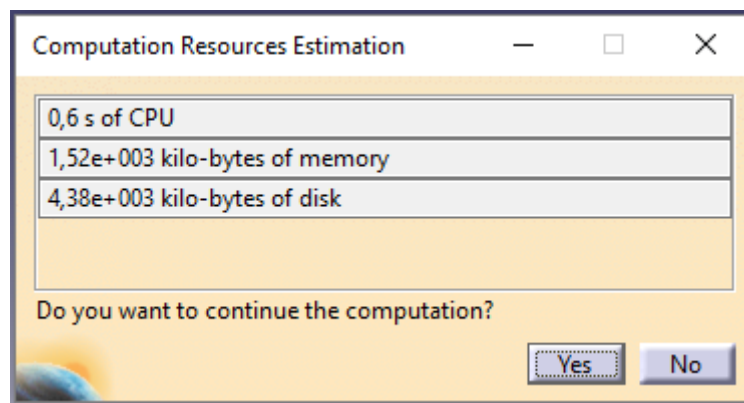
## 5.- Calcular

El siguiente paso, es la etapa 5 del proceso, *Figura 1* que consiste en imponer la aplicación las cargas. Una vez que hayamos definido la geometría de la pieza, el mallado las restricciones y las cargas externas, estamos listos para lanzar el cálculo del caso estático de la pieza. La barra de herramientas que se utiliza para calcular es la de la *Figura 32*.



**Figura 32** Barra de herramientas Compute

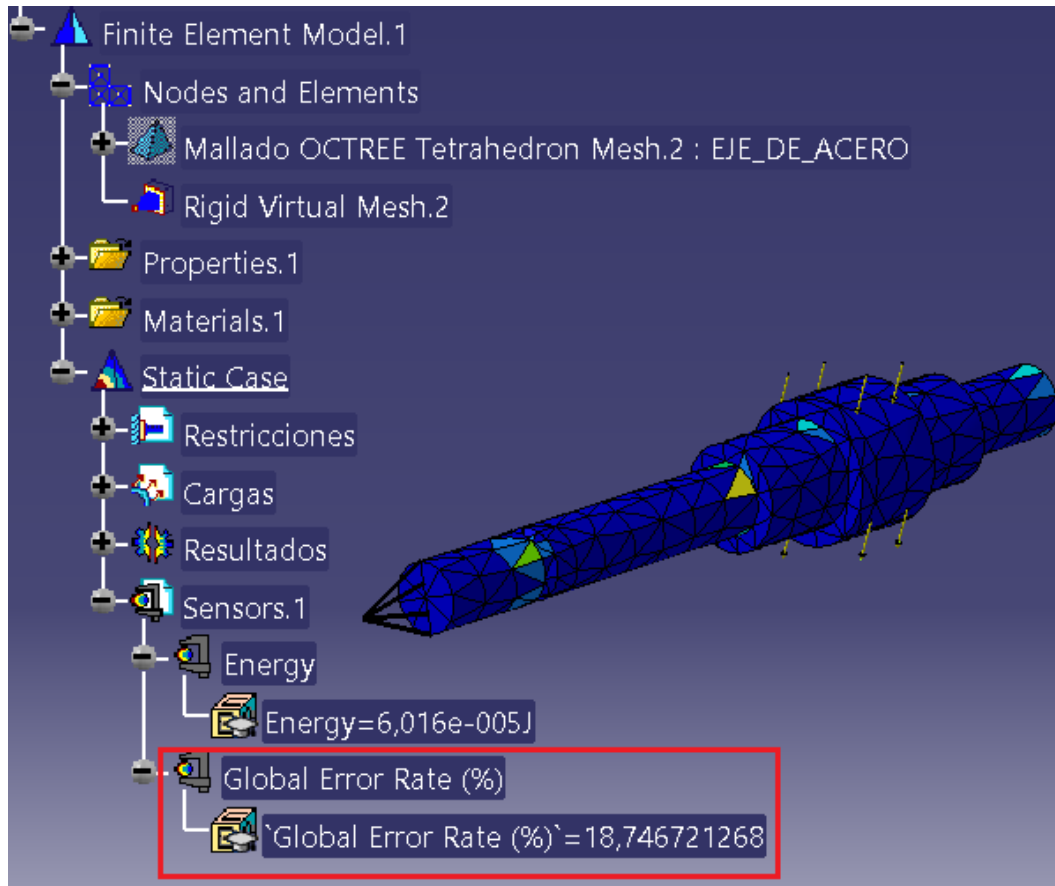
Antes de que CATIA dé la solución, da información estimada del proceso de cálculo, el tiempo de resolución además de la capacidad de memoria que necesitará para guardar los archivos y la capacidad de disco que utilizará el ordenador para realizar las simulaciones, como se ve en la *Figura 33*.



**Figura 33** Estimación de cálculo

## 6.- Adaptación del mallado

Tras haber realizado el cálculo, podemos ver los resultados de nuestro caso (la visualización de los resultados se explicará con más detalle más adelante, en el apartado 7). Uno de los valores que da el programa, es la estimación de error global, que se ve en el árbol del módulo, como se ve en la *Figura 34*.



**Figura 34** Estimación de error global

Una vez se haya computado nuestro caso de estudio, podemos ver la estimación del error global y también la estimación de error local, que se explicará cómo verlo a continuación. Se podrá continuar con la etapa 7 del proceso, si estamos conformes con el valor de la estimación del error (*Figura 1*), o ir a la etapa 7 si no estamos conformes con el valor de los errores. Para adaptar la malla, tendremos dos opciones.

### -Modificación tamaño del elemento

La primera de ellas es modificar el mallado que se realizó en la etapa 2 de la *Figura 1*, modificando el tamaño del elemento tanto en el mallado global como en el mallado local.

## -Adaptación del mallado

La segunda opción, consiste en que el programa nos da la opción de readaptar nuestra malla inicial a una que no sobrepase un valor de error que queramos, para ello, tenemos los comandos *Global Adaptivity* y *Local Adaptivity*. Primero, seleccionamos el mallado previo y el valor del error deseado, como en la *Figura 35*, y modificará el tamaño de los tetraedros para conseguirlo. Esta opción, no se puede realizar en la etapa 2, pues primero el programa tiene que calcular el caso estático para saber que error se está cometiendo.

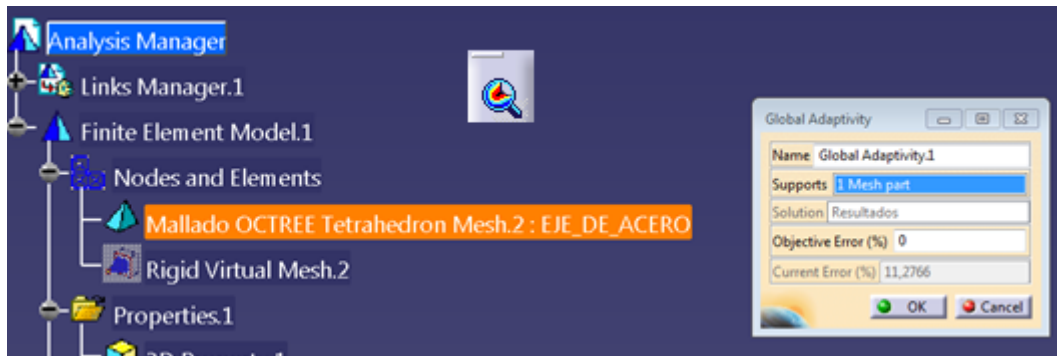


Figura 35 Herramienta Global Adaptivity

A continuación, para ver la estimación del error local, con el botón derecho sobre el mallado, como en la *Figura 36*, se selecciona el comando *Local Adaptivity*, y emerge una ventana para configurar la adaptación. En esta ventana, seleccionando la superficie que queremos adaptar su mallado en la pestaña *Supports*, vemos que en el apartado *Current Error* aparece el valor actual de esa superficie, y justo arriba hay que introducir el valor máximo que queremos tener.

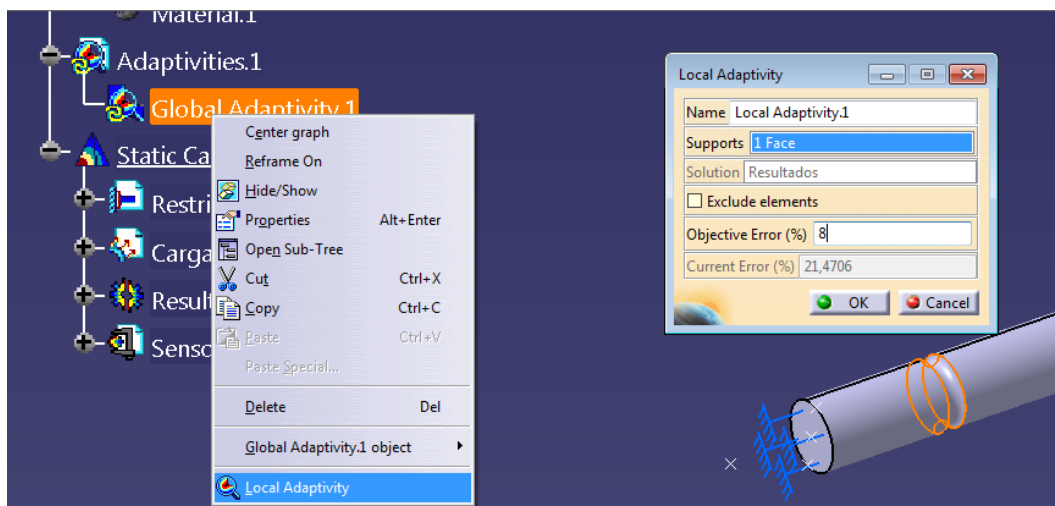
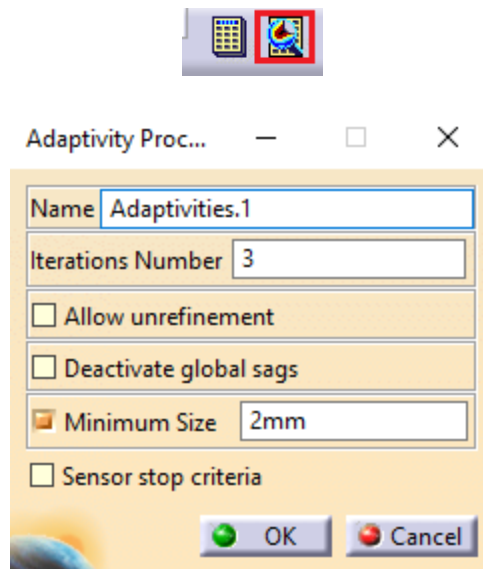


Figura 36 Herramienta Local Adaptivity

Una vez que hayamos configurado el refinado de la malla, estamos listos para que el programa recalculé el mallado de la pieza y los resultados del caso estático de la pieza. Ahora, tendremos que lanzar el comando *Compute with Adaptivity* y surge

una ventana como en la *Figura 37*, en la cual se debe indicar el número de iteraciones a realizar por el programa y el valor mínimo de la longitud de los lados del tetraedro.



**Figura 37** Compute with adaptivity

## 7.- Representación de los resultados y herramientas de análisis

Los resultados que se van a tener en cuenta, son los que se ven en la *Figura 38*. En primer lugar, se va a explicar la representación de los resultados.



**Figura 38** Representación de resultados

### -Mallado (Mesh Visualization)

La primera solución de la *Figura 38*, es la visualización de la pieza mallada, en la que la pieza ha sido dividida en tetraedros de la forma que hayamos configurado el mallado. Para ejecutar este comando, con el botón derecho sobre Nodes and Elements y seleccionar Mesh Visualization, como en la *Figura 39*.

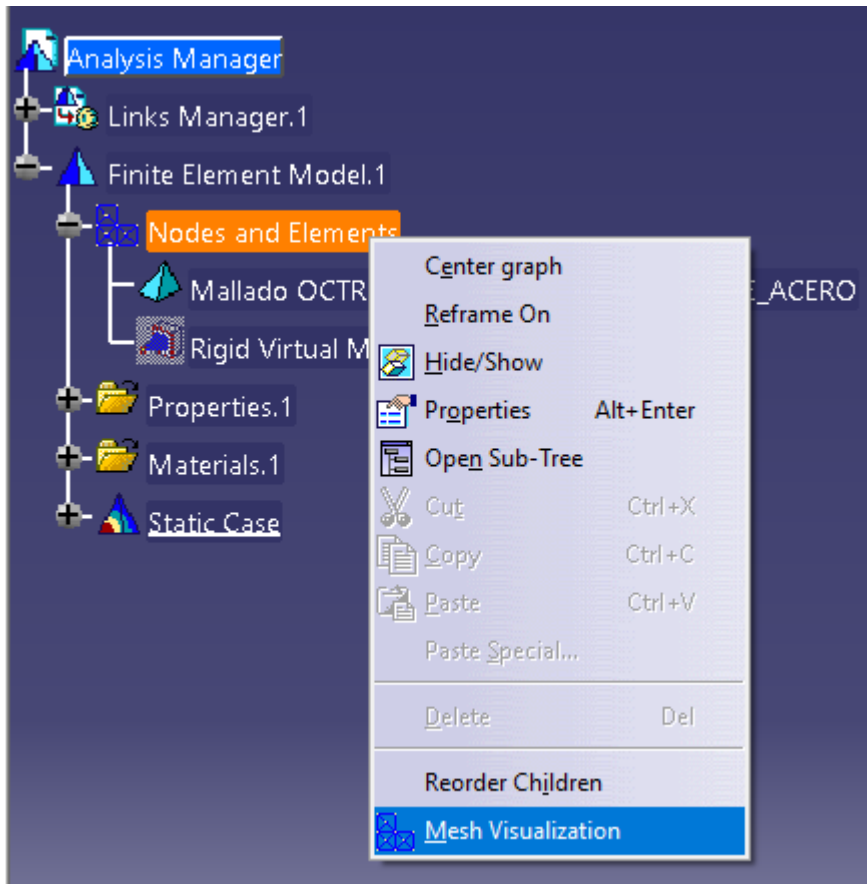


Figura 39 Visualización del mallado

Tras lanzar el comando, la pieza se presentará como en la *Figura 40*, para poder verla así es necesario que el programa haya simulado el caso estático. Esta herramienta es útil, para comprobar que secciones críticas, como las discontinuidades geométricas, han sido malladas con mayor precisión que el resto del contorno.

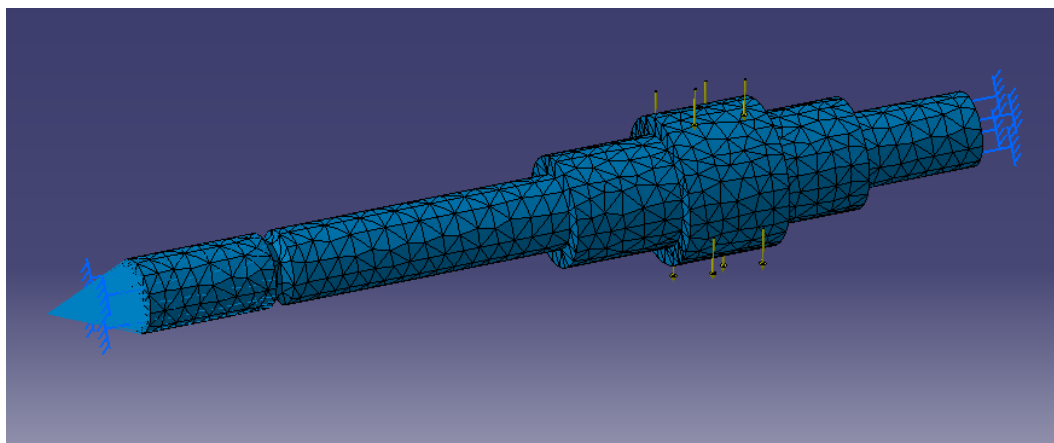


Figura 40 Mallado de la pieza

Los 5 siguientes resultados de la *Figura 38*, se pueden visualizar con la barra de herramientas *Image* (*Figura 41*). Se pueden representar gráficamente los principales resultados tales como tensiones y deformaciones. Con los comandos de la barra *Image* se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones,

desplazamientos y el error estimado de una forma clara para que el usuario pueda evaluar la pieza.



Figura 41 Barra de herramientas Image

#### -Deformación (Deformation):

Al usar este comando, la pieza se mostrará con el mallado que ha realizado el programa y representará la deformación estática de la pieza debido a las cargas aplicadas, como en la *Figura 42*, respetando las restricciones impuestas y dando una idea de cómo se comporta la pieza en el caso estático. Este comando no dispone de escala, pero se puede modificar la deformación haciendo uso de la herramienta *Amplification* de la barra de herramientas *Analysis Tools* que se explicará más adelante en este mismo punto. Para saber el valor de la distancia que se ha deformado hay que recurrir a los resultados de *Displacement*, que se explicará más tarde en este punto.

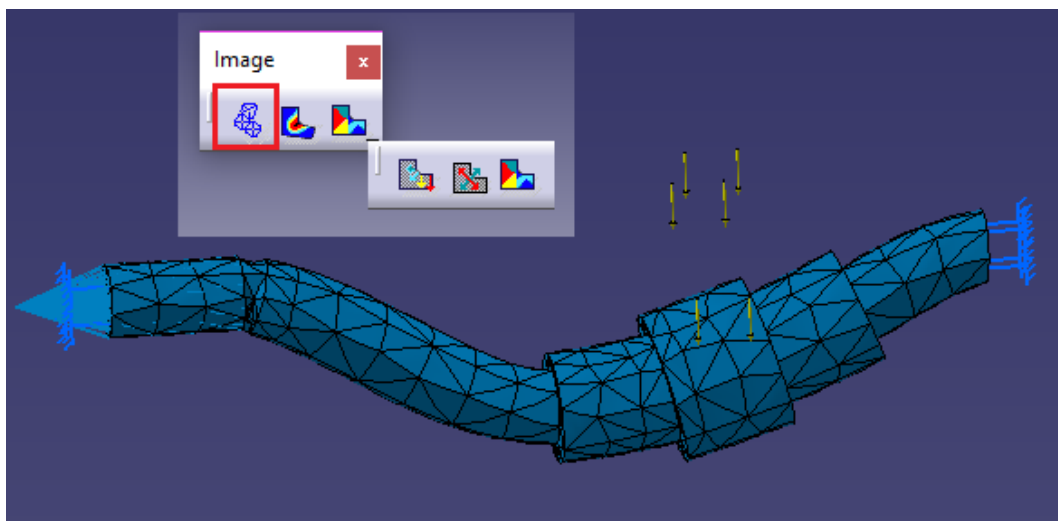


Figura 42 Deformación de la pieza

#### -Tensión de Von Misses $\sigma_{eq}$ (Von Misses Stress):

Esta herramienta es de las más importantes, pues con ella sabremos si la pieza sufrirá el fallo. Muestra las zonas donde se concentran los esfuerzos tensionales de la pieza mediante una escala de colores, acompañados de una leyenda que da valor a la distribución de esfuerzos de Von Misses a lo largo de la pieza (en las unidades que hemos configurado en CATIA). El comando a utilizar es el que se encuentra recuadrado de la barra de herramientas *Image*, en la *Figura 43*.



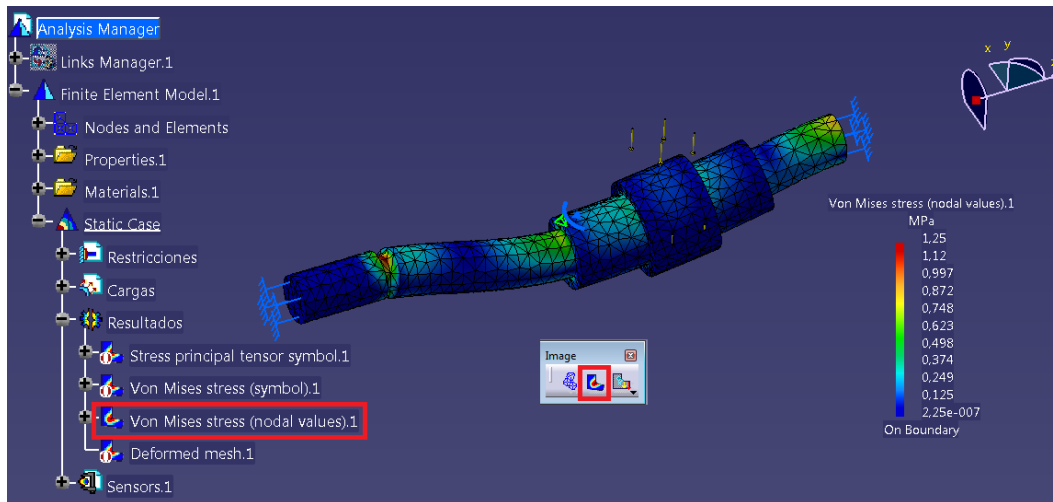


Figura 43 Tensión de Von Mises de la pieza

Haciendo doble click en el árbol sobre *Von Mises Stress* en el apartado de resultados, véase *Figura 43*, podemos modificar el tipo de representación de la tensión, en la ventana que se muestra como la de la *Figura 44*.

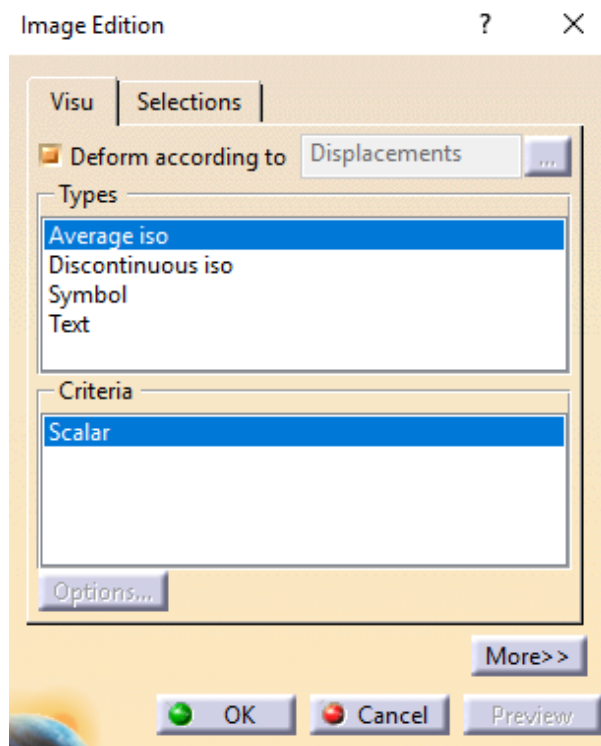


Figura 44 Configuración de imagen 1

- Average iso: la distribución de colores es la estándar de CATIA, alisa la curvatura de las frecuencias del histograma además de matizar el color de la malla nodal, como en la *Figura 45*.

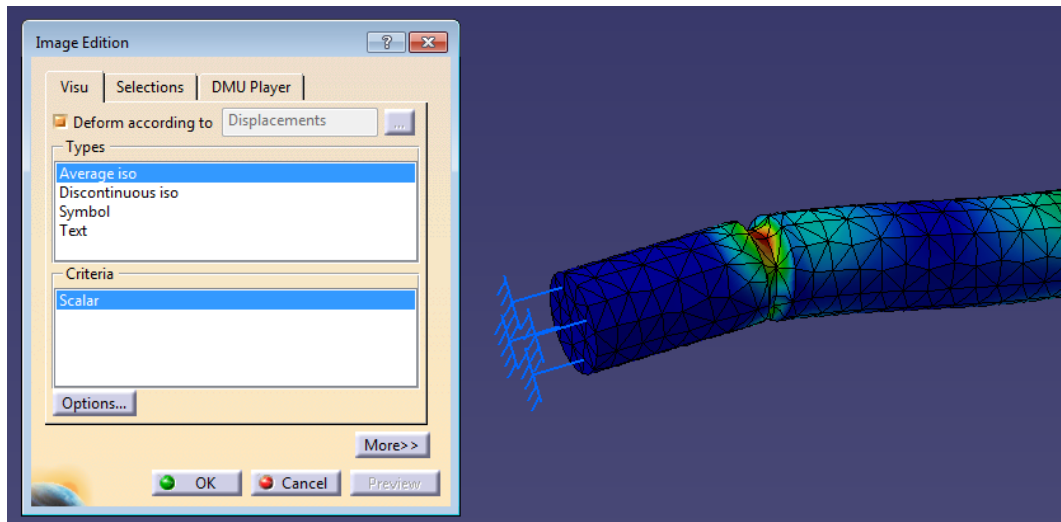


Figura 45 Configuración de imagen 2

- Discontinuous iso: es igual a la Average iso, salvo que no alisa la curvatura del histograma, véase *Figura 46*.

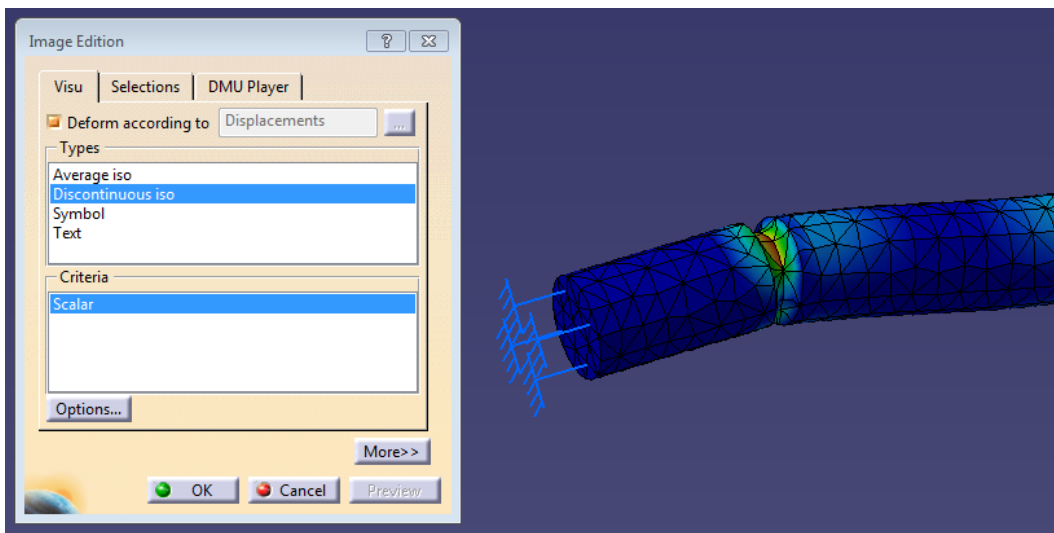


Figura 46 Configuración de imagen 3

- Symbol: representa la pieza en cubos, en vez de con el mallado, y no se aprecia continuidad (*Figura 47*).

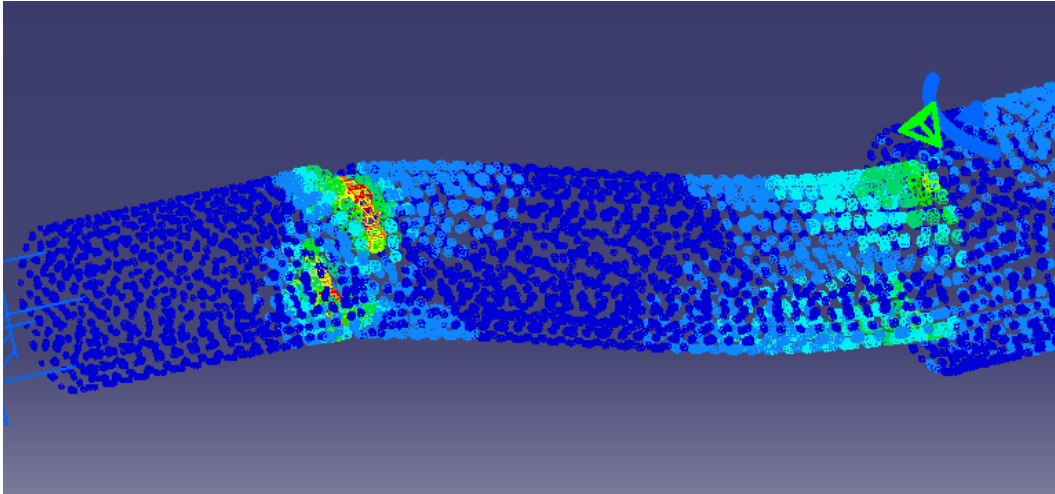


Figura 47 Configuración de imagen 4

- Text: se representa el valor numérico de la tensión promediada de cada tetraedro (Figura 48).

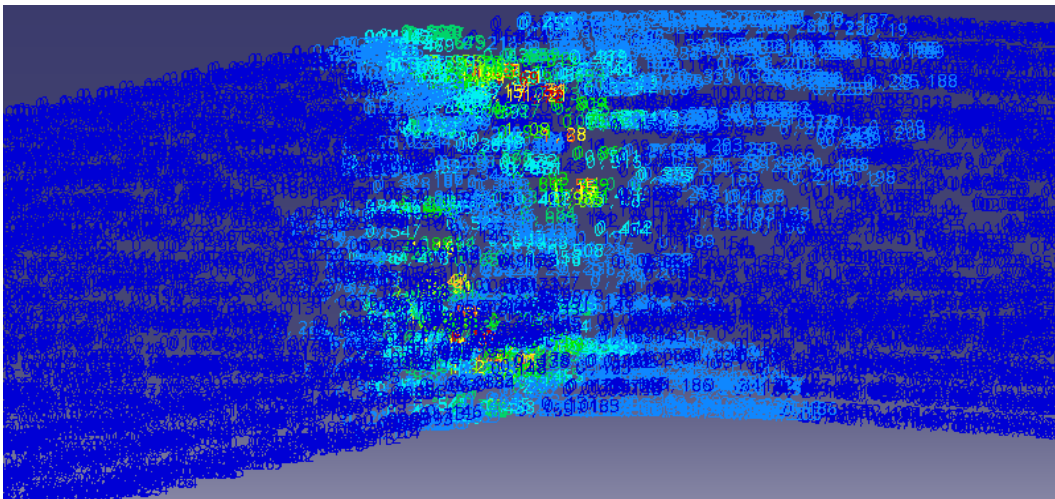


Figura 48 Configuración de imagen 5

Para el cálculo de la tensión de Von Mises, podemos aplicar el criterio. Poniendo en la ventana de configuración de la escala de colores, para las tensiones superiores a la que se produce el fallo estático, la resistencia de fluencia del material  $S_y$ , de una gama colores, y las que quedan por debajo de otra gama colores.

Para configurarlo, haciendo doble click en la escala de colores introducimos los valores que queramos, principalmente el límite de fluencia  $S_y$ , para que aparezca en colores cálidos, como se ve en la Figura 49.

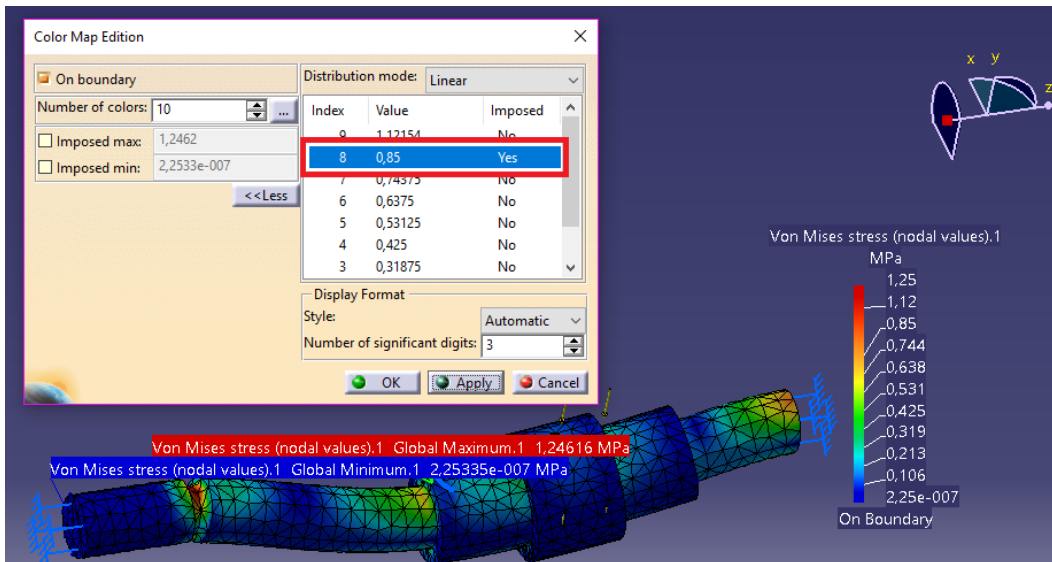


Figura 49 Configuración escala de colores

- Tensiones principales (Principal Stress):

Con este comando, CATIA nos presenta los esfuerzos principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , en una escala de colores como la de la Figura 50. En esta representación, también podemos elegir verlo de manera sólida o con flechas.

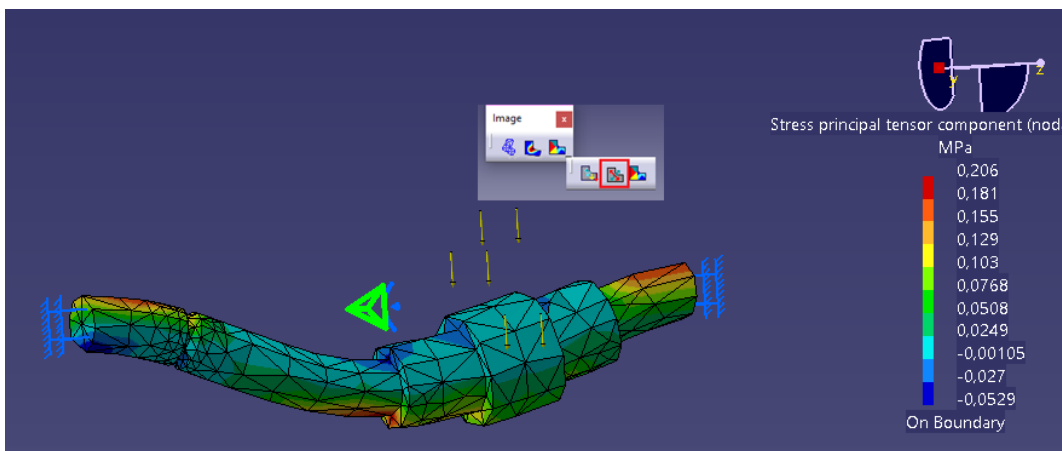


Figura 50 Herramienta Principal Stress

Además, podemos elegir que tensión principal podemos ver en la representación. Haciendo doble *click* en el árbol como en la Figura 51, se abre una ventana en la que a la derecha en la opción *Component*, podemos elegir que componentes queremos que se representen en el dibujo. Si queremos ver las tensiones principales, con la pieza dividida en elementos en vez de símbolos, debemos elegir en *Types* la opción *Average iso*, y en la *Criteria* escogemos *Principal Value*.

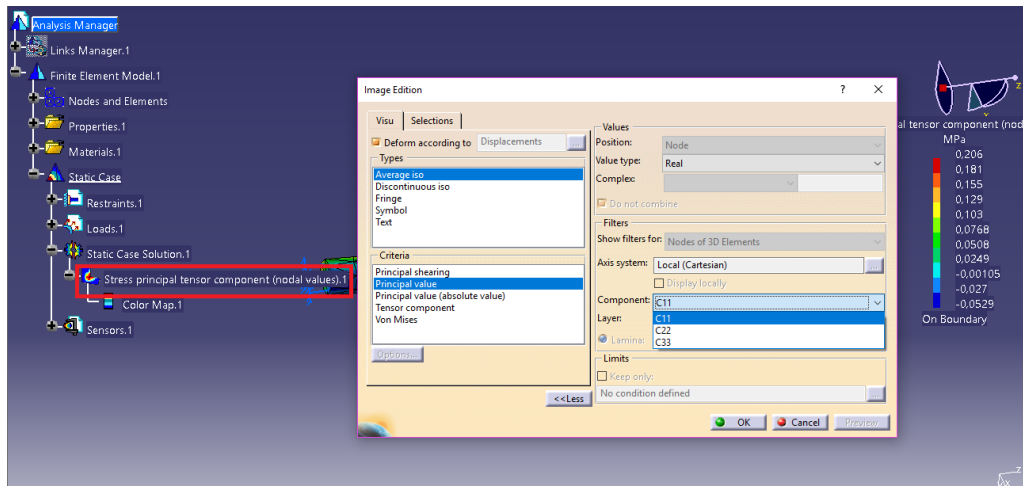


Figura 51 Configuración Principal Stress

También, con este comando podemos visualizar la tensión cortante si una vez que está abierta la ventana *Image Edition*, seleccionamos *Average iso* en *Types* y en la opción de *Criteria* escogemos *Principal Shearing*.

- *Desplazamiento (Displacement):*

Este comando mide el grado de deformación mediante una representación del mallado en escala de colores, como el de la *Figura 52*, los cuales corresponden con un valor de la deformación que viene indicado en una leyenda al lado de la pieza de estudio.

Cada nodo presenta una flecha con una dirección de la deformación y el color correspondiente a su deformación. Además, si situamos el cursor sobre cualquier flecha, el programa da el valor de la deformación en los tres ejes (en el orden de eje x, eje y, eje z). Se puede mostrar de forma sólida si se hace doble click en el árbol y selecciona *Average iso*. Este comando puede ser de gran utilidad en los ensamblajes, para comprobar que las piezas encajan de manera correcta.

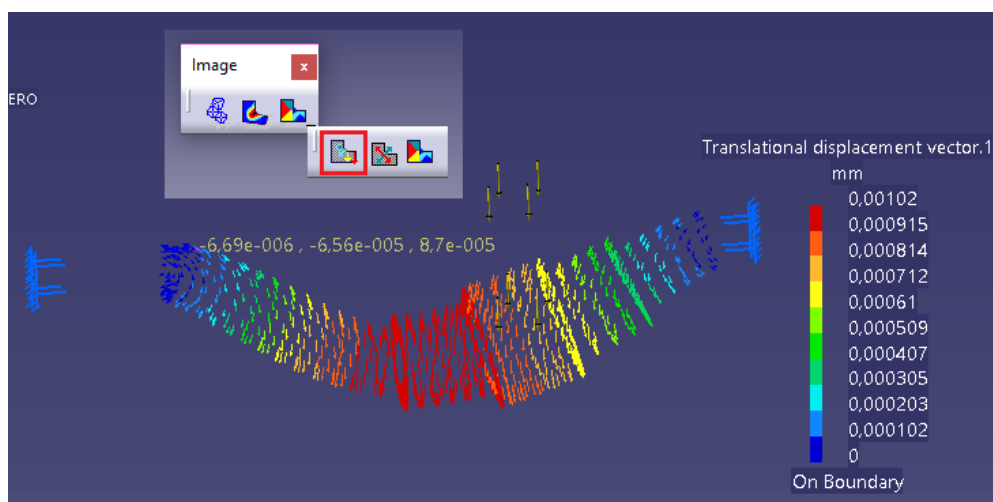
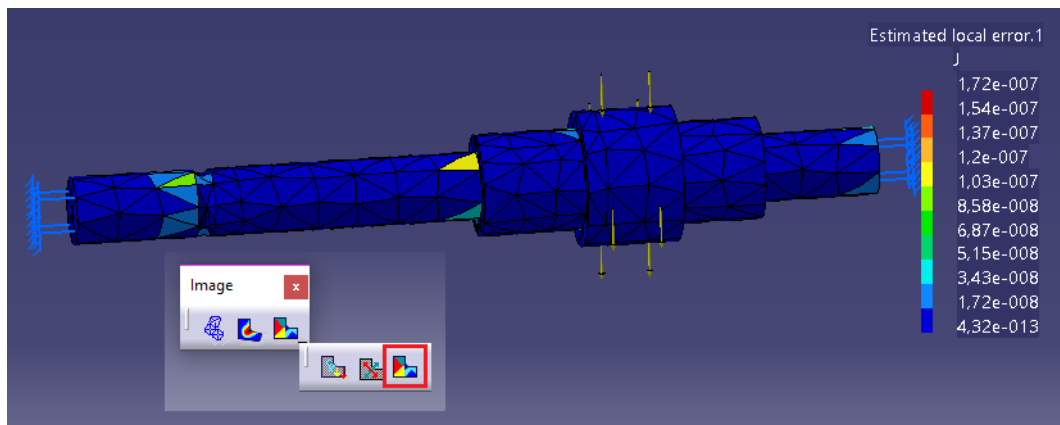


Figura 52 Herramienta Displacement

*-Estimación de error (Precision):*

Esta herramienta nos da una representación de la exactitud o la estimación de error, en una escala de colores, véase en la *Figura 53*. Las zonas críticas suelen presentar mayor valor del error como discontinuidades. Una vez vista la representación de la precisión de los cálculos, podemos adaptar de nuevo el mallado para obtener un error menor con la herramienta explicada previamente *New Adaptivity Entity*, en el caso de que el error se produzca solamente en determinadas zonas. Si se produce un error superior al deseado en la mayor parte de la pieza, entonces es mejor elección modificar el mallado, ya sea eligiendo un menor tamaño o eligiendo el tetraedro parabólico.



**Figura 53 Herramienta Precision**

A continuación, se presentan las herramientas de análisis que se van a utilizar principalmente, que son las de la *Figura 54*. Todas ellas, se encuentran en la barra de herramientas *Image*.



**Figura 54 Herramientas de análisis**

Con esta barra de herramientas, véase *Figura 55*, podremos visualizar los resultados de forma diferente y también identificar los puntos más críticos de la pieza en el estado de cargas.



**Figura 55 Barra de herramientas Analysis Tools**



- Animación (Animate):

Este comando es muy útil a la hora de entender el comportamiento de la pieza a la acción de cargas, ya que muestra de forma animada la representación gráfica de la deformación. En la *Figura 56*, se ve la ventana que surge, en la cual podemos ver cómo se deforma la pieza desde que no tiene carga aplicada, y por lo tanto no presenta deformación, hasta cuando se aplica y se deforma la pieza, pudiendo elegir la velocidad de reproducción o la duración del video. No se debe confundir con una deformación dinámica, pues este video se hace con el propósito de visualizar el comportamiento debido a las cargas estáticas.

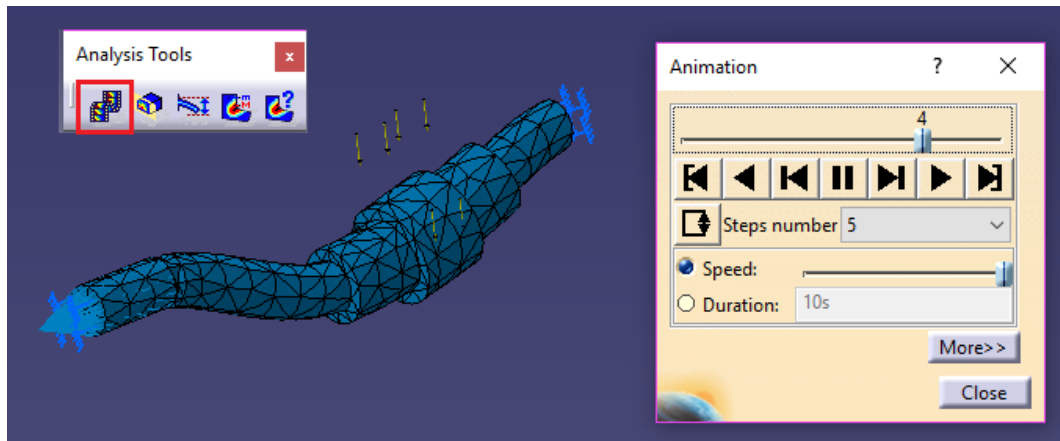


Figura 56 Herramienta Animation

- Análisis de plano de corte (Cut Plane Analysis):

La utilidad de esta herramienta es el realizar el corte que queremos de la pieza y así poder apreciar con claridad las tensiones internas en una sección dada, como en la *Figura 57*. Tenemos las opciones de ver la sección de la pieza con *View section only*, mostrar el plano de corte con *Show cutting plane* y ver la sección desde arriba o desde abajo, pudiendo cambiar la vista con la opción de *Clipping*. Para desplazar el plano de corte, se utiliza el compás de CATIA, pudiendo rotar el plano alrededor de los tres ejes y desplazarlo a lo largo de él.

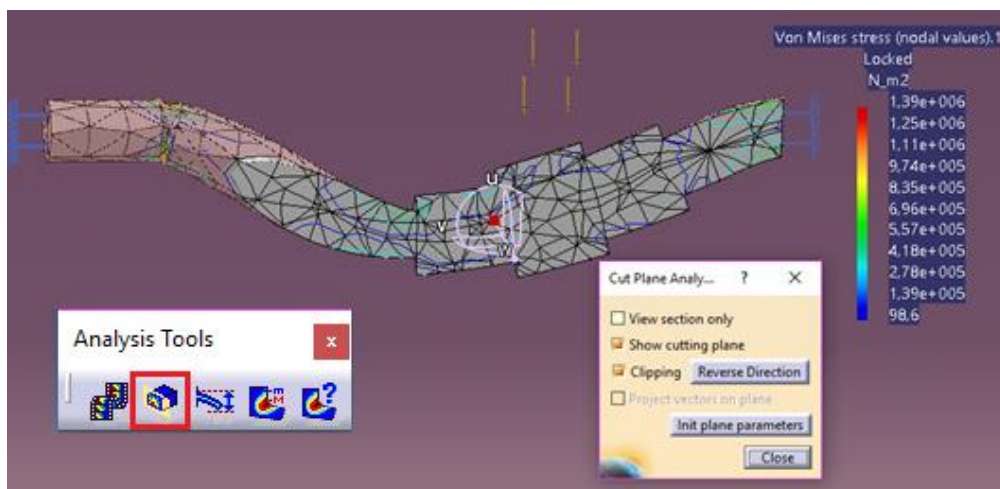
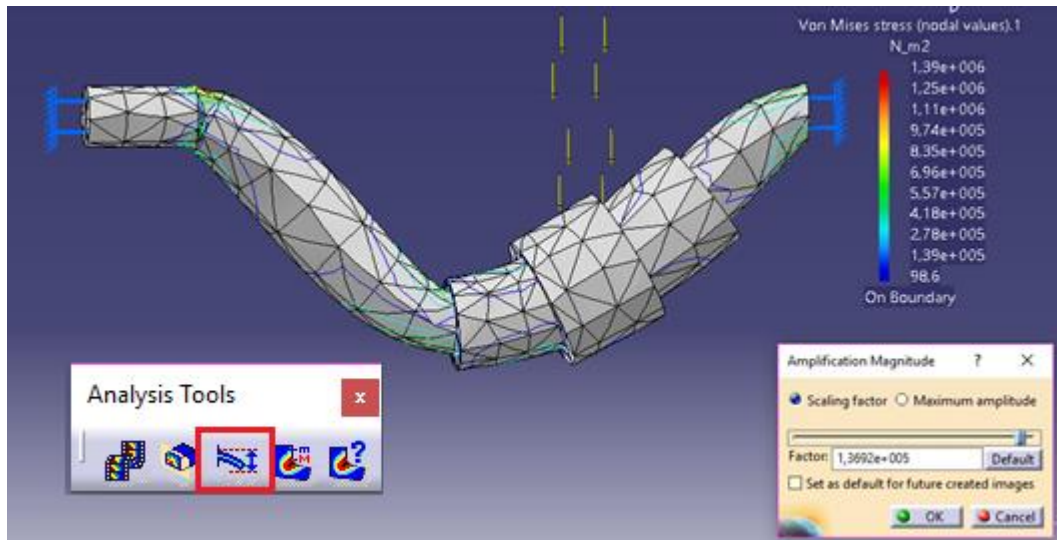


Figura 57 Herramienta Cut Plane

- *Factor de deformación (Amplification Magnitude)*

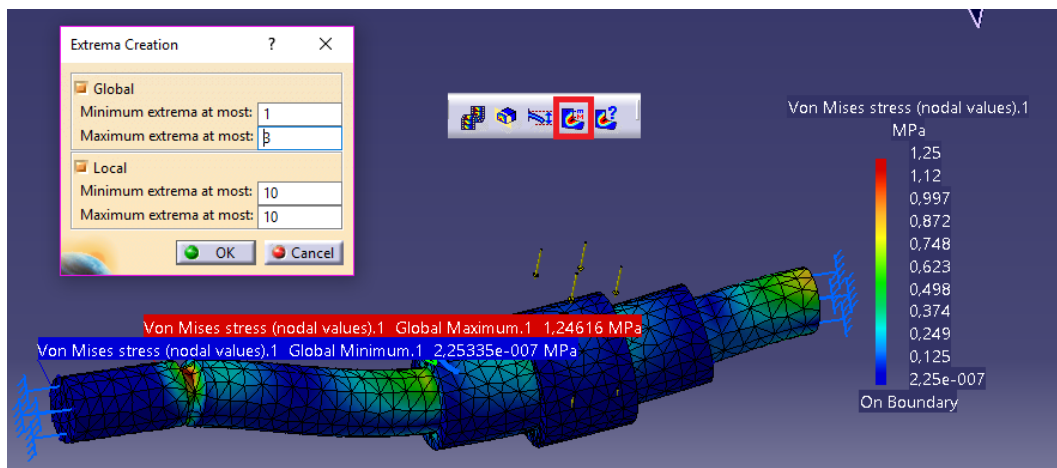
Con esta herramienta, podemos modificar la escala de la representación de la deformación, de una manera sencilla o también elegir la máxima amplitud de la deformación, como en la *Figura 58*.



**Figura 58 Herramienta Amplification Magnitude**

- *Visualizador de máximos y mínimos (Image Extrema):*

Esta es una de las herramientas más importantes, pues lanzando este comando podremos ver el valor máximo y mínimo de tensiones debidas al estado de cargas en el que se encuentra la pieza., véase *Figura 59*.



**Figura 59 Herramienta Image Extrema**

- *Información (Information):*

Por último, este comando nos da información acerca de la evaluación gráfica que estamos realizando con la barra de herramientas *Image*. Para hacer uso de *Information*, primero debemos seleccionar la herramienta en *Image* y, posteriormente, el comando *Information*. Y nos aparecerá una ventana como la de la *Figura 60*.



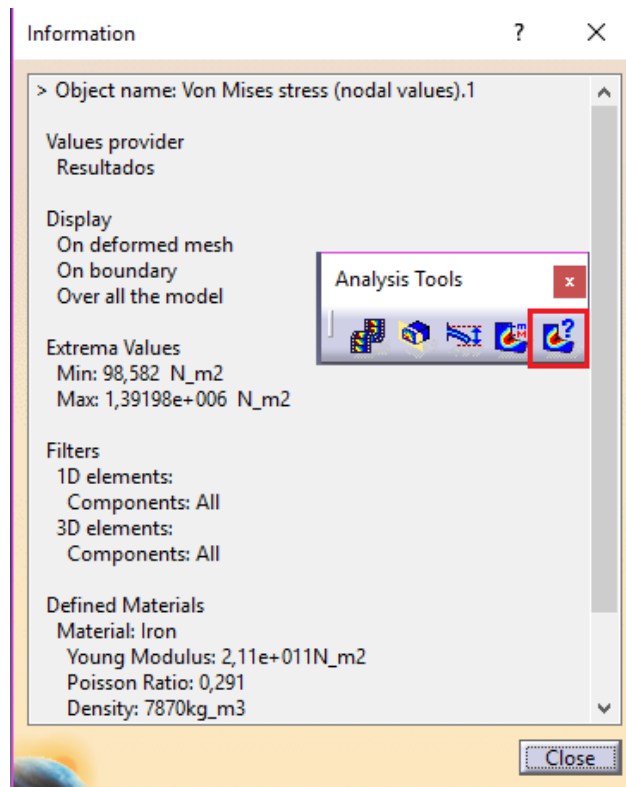


Figura 60 Ventana de Information

## 8.-Informe técnico

Este módulo ofrece mucha información sobre la solución y una buena representación gráfica, y también suele ser necesario que se genere un documento que recoja toda la información de cómo hemos configurado el estudio estático de la pieza, y de los resultados obtenidos, que es una de las opciones que CATIA nos ofrece. El comando que genera el informe técnico, se llama *Generate Report*, el de la *Figura 61*.

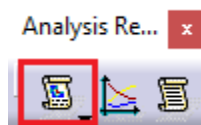
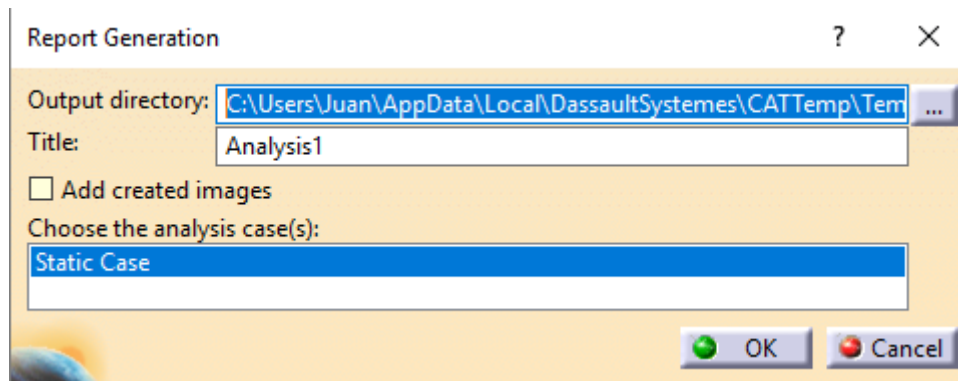


Figura 61 Comando Generate Report

Para ello, una vez hayamos conseguido la solución final, lanzaremos el comando *Generate Report* y se despliega una ventana, véase la *Figura 62*, en la cual seleccionaremos la carpeta de destino en el ordenador donde se guardará del informe, el título y, si queremos que incluya imágenes de la representación gráfica de la solución.



**Figura 62 Configuración de Generate Report**

El informe que genera CATIA recoge toda la información que se ha introducido en el modelo creado, acerca de nuestro caso práctico:

- Tipo de mallado, número de nodos y número de elementos.
- Material, sus propiedades y sus características.
- Condiciones de contorno aplicadas.
- Cargas aplicadas.
- Datos de cálculo.
- Representación gráfica de la deformación.
- Representación gráfica de la tensión de Von Misses.