

MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DE UN CONJUNTO ATORNILLADO MEDIANTE ABAQUS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DIRECTOR DE PROYECTO: JAVIER ABAD BLASCO
NOVIEMBRE 2013

ALUMNO: RICARDO MAGDALENA ZARZUELA
NIF: 609825

ESTUDIOS: INGENIERÍA TÉCNICA MECÁNICA



Índice

1.	OBJETIVO Y ALCANCE	3
2.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.1.	Pieza.....	4
2.2.	Materiales	6
2.2.1.	ALUMINIO ALEACIÓN 7075 - T6	7
2.2.2.	ACERO M8	9
3.	ABAQUS.....	12
3.1.	ABAQUS/CAE.....	14
4.	CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DE LA PIEZA	15
4.1.	Lámina 1.....	16
4.2	Lámina 2.....	24
4.3	Tornillo-tuerca-arandela.....	32
4.4.	Ensamblaje de la pieza	39
5.	RESULTADOS Y ESTUDIO DE LA PIEZA.....	47
5.1	Tornillo	56
5.2	Zona coincidente Lámina 1 con Lámina 2	58
5.3	Lámina 2.....	63
6.	CONCLUSIONES	71
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	73
8.	ANEXOS	74



1. OBJETIVO Y ALCANCE

Antes de comenzar a explicar el proyecto, es necesario comentar el objetivo de éste, de dónde partimos y hasta qué punto vamos a llegar a lo largo del desarrollo de dicho proyecto.

El objetivo, como bien indica el título de este trabajo, se trata de modelizar y analizar un conjunto atornillado; para ello, se ha ido construyendo la unión pieza a pieza con la finalidad de llegar a una serie de conclusiones con los resultados obtenidos.

Para poder llevar a cabo tanto la modelización como el análisis de la unión atornillada, he utilizado el programa de elementos finitos conocido como *ABAQUS*, con el cual hemos realizado un análisis profundo de dicha unión.

El alcance que tiene este proyecto es el de evaluar los resultados obtenidos por *ABAQUS*, así como analizar las diferentes zonas en las que existen un mayor número de tensiones; e investigar aquellas regiones en las que haya una mayor solicitud que pueda provocar una rotura.



2. INTRODUCCIÓN

2.1. *Pieza*

En primer lugar, antes de profundizar en el proyecto en sí y en los diversos módulos del que éste se compone, vamos a realizar una breve introducción sobre la pieza y el material con el que vamos a trabajar.

Debido a que se trata de una unión atornillada, vamos a comenzar explicando brevemente las características más comunes de dichas uniones.

Empezaremos comentando que las uniones atornilladas son unos mecanismos muy simples pero de gran importancia en el diseño mecánico, puesto que su función principal es la de unir piezas y evitar que las piezas unidas se separen.

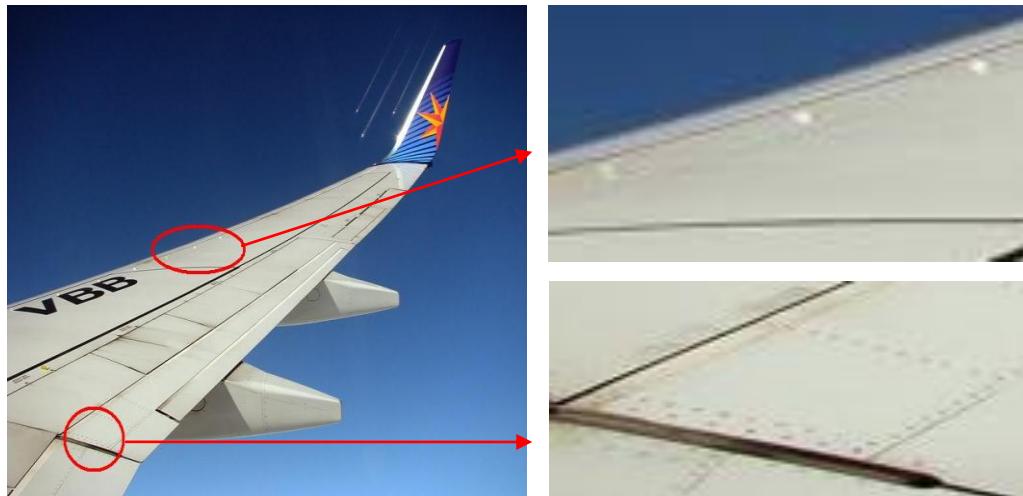
Cuando la unión ya está realizada, existen fuerzas separadoras las cuales pueden ser tanto axial, transversal, o una combinación de ambas. Es importante conocer qué tipo de fuerzas separativas existen para determinar las causas de fallo que pueden hallarse en dichas uniones, conocidas como:

- Destrucción del tornillo.
- Destrucción de las piezas unidas.
- Abertura de la unión.



Tanto la unión atornillada, como el material que se me ha propuesto para realizar el proyecto, son ambos utilizados en el ámbito aeronáutico. A continuación, vamos a analizar de dónde procede la gran importancia de este tipo de uniones en el ámbito anteriormente mencionado.

Un ejemplo de estas uniones es el avión denominado como Airbus 380, en el cual, sólo su ala se compone de más de treinta mil elementos y de más de setecientos cincuenta mil uniones mecánicas.



(Ala de un avión)



(Ala de una aeronave)



Al existir un número tan elevado de uniones mecánicas, es importante realizar estudios sobre las mismas, ya que son uno de los puntos débiles de los que disponen las aeronaves. Un aspecto a destacar de las uniones en los aviones, es que pueden producir la rotura del elemento en cuestión –en este caso el ala–, así como aumentar considerablemente (su) peso, y por tanto, el coste de todo el conjunto; puesto que si se incrementa el peso, no sólo subirá el precio inicial de la aeronave, sino que cada desplazamiento que realice necesitará más combustible debido a este peso añadido, por lo tanto, un coste mayor.

A continuación, vamos a describir las piezas, así como los materiales que componen la unión atornillada que me ha sido propuesta.

El proyecto dispone de dos láminas de sección constante unidas mediante dos tornillos; además, un extremo se encuentra empotrado mientras que el otro está sometido a una carga vertical descendente.

Por otro lado, también es conveniente resaltar que hay una carga añadida que influye en el análisis de los resultados, que son las precargas iniciales a las que están sometidos los tornillos, debido a que ejercen una fuerza de compresión para unir las dos láminas.

2.2. *Materiales*

Los materiales que hemos utilizado para la realización y posterior cálculo de la pieza han sido dos: el ALUMINIO ALEACIÓN 7075 - T6 y un ACERO 8.8 normalizado.

Seguidamente vamos a realizar una descripción acerca de las características y propiedades específicas de cada uno de estos materiales.



2.2.1. ALUMINIO ALEACIÓN 7075 - T6

Las aleaciones de aluminio 7075 son un material de referencia en la industria aeronáutica por sus excelentes propiedades de resistencia mecánica y química frente a la corrosión.

Desde hace varios años, el campo de estudio de estos materiales se ha enfocado en mejorar estas propiedades, utilizando recursos que no sean agresivos al ser humano y al medio ambiente, con lo que se ha conseguido que una de las alternativas con las que más se trabaja en la industria es el anodizado, debido a que supone un proceso económicamente muy rentable y los resultados que se obtienen desde el punto de vista de la corrosión y la tenacidad son notables.

Por otro lado, es importante destacar que el aumento del espesor del recubrimiento de anodizado mejora sensiblemente el límite de fatiga del material.

Además, este duraluminio es una de las aleaciones con características más elevadas dentro de los aluminios, lo que ha hecho posible su utilización en campos hasta ahora reservados para los aceros.

A continuación vamos a nombrar algunas características, propiedades y otros usos.

Características:

- Excelente maquinabilidad.
- Alta resistencia a la corrosión.



- Alta resistencia al desgaste.
- 60% más ligero en peso que el acero.
- Buena soldabilidad por resistencia.
- Alta conductividad térmica cuatro veces superior al acero.
- Reduce el tiempo del ciclo y la potencia consumida, lo que se traduce en ahorro de energía eléctrica.
- Puede maquinarse con el proceso de electro erosión en un tercio del tiempo que el acero.
- Reducción en tiempos de maquinado de setenta a ochenta por ciento.
- Apto para tratamientos superficiales como el anodizado, cromado y niquelado.

Propiedades mecánicas de tracción:

- $\sigma_{uts} = 570 \text{ (MPa)}$
- $\sigma_{ys} = 505 \text{ (MPa)}$
- Alargamiento 50mm (%) = ...11
- $E = 71 \text{ (GPa)}$



- KIC = 25 (MPam^{1/2})
- Coeficiente de Poisson = 0,33
- Coeficiente de dilatación (0 a 100 °C) = [°C-1 x 10⁶....23,5]
- Dureza Brinell Carga 500kg. (Esfera 10mm)= 150

Otros usos:

- Construcción de maquinaria
- Inyección de plásticos
- Industria del automóvil
- Aeronáutica

2.2.2. ACERO M8

Se conoce con el nombre de acero a la denominación que se le da, en ingeniería metalúrgica, a una aleación de hierro con una cantidad de carbono, la cual puede variar entre el 0,03% y el 1,76% en peso de su composición.

El acero conserva las principales características metálicas del hierro en estado puro; sin embargo, la adición de carbono mejora sus propiedades físico-químicas.



Esta variedad y disponibilidad que nos ofrece el acero, lo hace apto para numerosos usos, tales como:

- Construcción de maquinaria
- Herramientas
- Edificios
- Obras públicas

A continuación vamos a nombrar algunas características, propiedades y otros usos:

Características:

- Es un material muy tenaz.
- Es maleable.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- También es un material dúctil.
- Gran resistencia a la fatiga.
- Se puede soldar con facilidad.



Propiedades mecánicas de tracción:

- $\sigma_{uts} = 550$ (MPa)
- $\sigma_{sys} = 500$ (MPa)
- Alargamiento 50mm (%) = ...12
- $E = 210$ (GPa)
- Coeficiente de Poisson = 0,27
- Coeficiente de dilatación (0 a 100 °C) = $1,2 \times 10^{-5}$
- Dureza Brinell Carga 500kg. (Esfera 10mm)= $197 < HB < 229$

Otros usos:

- Fabricantes de armamento, especialmente armamento pesado, vehículos blindados y acorazados.
- Grandes astilleros, especialmente petroleros.
- Fabricantes de automóviles.



3. ABAQUS

El programa de elementos finitos que vamos a utilizar para la realización de este proyecto, es el conocido con el nombre de *ABAQUS*. Este programa fue desarrollado a finales de la década de los setenta, por David Hibbit, y con él es posible, independientemente de la experiencia con este tipo de programas de simulación, la realización de diferentes tipos de análisis.

ABAQUS se utiliza para obtener soluciones potentes y completas para los problemas tanto de ingeniería básica como de ingeniería sofisticada; además, también puede ser utilizado para comprender el comportamiento detallado de un conjunto complejo; desarrollando conceptos para un nuevo diseño, pudiendo entender el comportamiento de nuevos materiales y llegando a simular un proceso de fabricación de una manera relativamente sencilla.

Todo esto es posible gracias a que dicho programa cubre un amplio campo de aplicaciones industriales tales como:

- Nuclear
- Automóvil
- Aeroespacial
- Eólico
- Biomedicina
- Industrias de consumo



Además, también podemos utilizar el programa para el estudio de vehículos completos, de la vibración dinámica y del impacto/choque; mediante la aplicación de cargas de diferentes maneras.

Por otro lado, una gran ventaja que ofrece *ABAQUS* es que tiene una funcionalidad sencilla y un manejo trivial, lo que conlleva a ciertas empresas a usarlo para mejorar, tanto en los procesos, como en las herramientas que utilizan; consiguiendo reducir costes e ineficiencias en ambos procesos y obteniendo de esta manera una ventaja competitiva.

También es importante destacar que *ABAQUS* proporciona soluciones precisas, contundentes, claras y de alto rendimiento, resolviendo problemas no lineales, así como aplicaciones dinámicas lineales a gran escala.

Otra característica que debemos resaltar, es que nos permite utilizar los resultados de una simulación directamente en un análisis posterior; aplicando sus resultados en la mejora de los procesos de fabricación, obteniendo de esta manera, un mayor rendimiento en el producto. Todo ello, permite reducir el tiempo de respuesta para la obtención de los resultados de análisis complejos.

Dicho programa se divide en cuatro módulos, con objetivos y usos diferentes, los cuales se denominan de la siguiente manera:

- ABAQUS/CAE
- ABAQUS/STANDARD
- ABAQUS/EXPLICIT
- ABAQUS/CFD



3.1. ABAQUS/CAE

El módulo que vamos a utilizar para la realización de mi proyecto es el ABAQUS/CAE; con él, lo que conseguimos es crear, editar, diagnosticar y visualizar los análisis propuestos, así como observar la interfaz modelada.

También, es importante destacar que dicho módulo es compatible con otros programas; pudiendo importar directamente la geometría a partir de los formatos CAD más comunes, o incluso se puede importar la malla de otros software de elementos finitos.

ABAQUS/CAE se utiliza principalmente para conseguir una solución completa para el modelado de elementos finitos y para la visualización y automatización de procesos, de una forma rápida y eficiente.

Con este módulo se pueden realizar diferentes operaciones tales como: crear, editar, controlar, diagnosticar y visualizar los análisis de los conjuntos complejos muy avanzados.

Lo más característico del mismo, es que es muy manejable, debido a que es muy intuitivo, tanto en la creación de las piezas, en el cálculo y en la resolución de los análisis, como en la posterior visualización de los resultados.

Otro aspecto a recalcar, es que se pueden importar geometrías o incluso mallas de otros programas como CATIA V5, lo que es un gran aporte; ya que permite cambios rápidos de modelos sin perder ninguna de las funciones de los análisis definidos en el programa inicial.

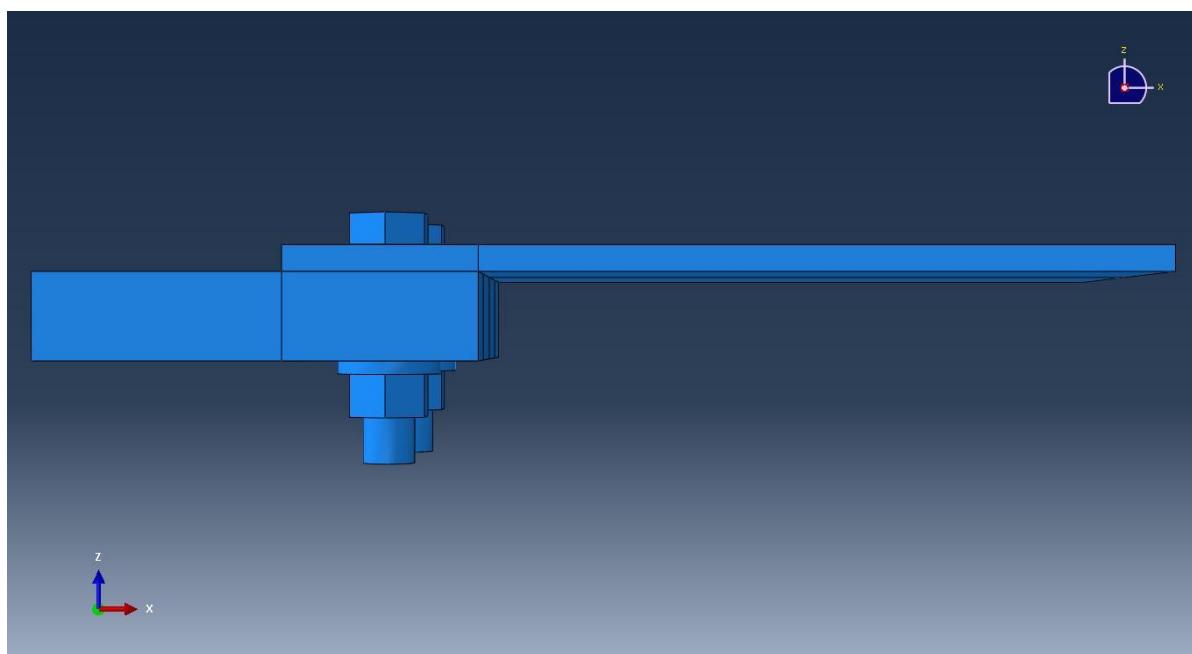


4. CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DE LA PIEZA

Como ya hemos mencionado anteriormente, el conjunto que hemos estudiado se compone de dos láminas de diferente espesor y longitud y de sección constante, unidas mediante dos tornillos normalizados de cabeza hexagonal con una arandela y una tuerca también normalizadas.

Para proceder a la explicación de los pasos a seguir, primero tenemos que partir de que es necesario obtener la pieza que me ha sido asignada; realizando para ello diferentes acciones.

Por consecuencia, tanto las dos láminas como el tornillo tienen que quedar de la siguiente manera:

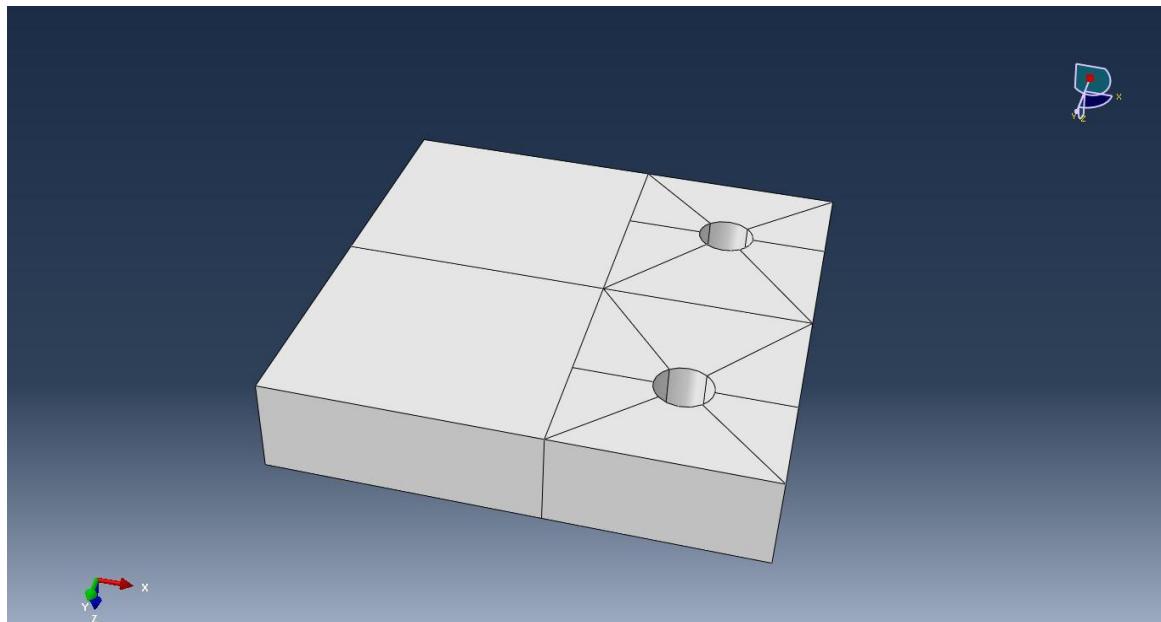


(1)



4.1. Lámina 1

Este es el resultado final –imagen 2- que tendríamos que obtener en primer lugar para poder seguir llevando a cabo el desarrollo de la pieza:



(2)

Para ello, procedemos aquí a la explicación de cómo hemos llegado hasta la misma:

La lámina 1 consta de una sección constante cuadrada, uniforme, con una longitud de lado de 50 mm y de 10 mm de espesor.

Para construirla, el primer paso que tenemos que llevar a cabo es definir qué tipo de pieza queremos construir y sus dimensiones, es decir si la queremos en dos dimensiones o en tres dimensiones.



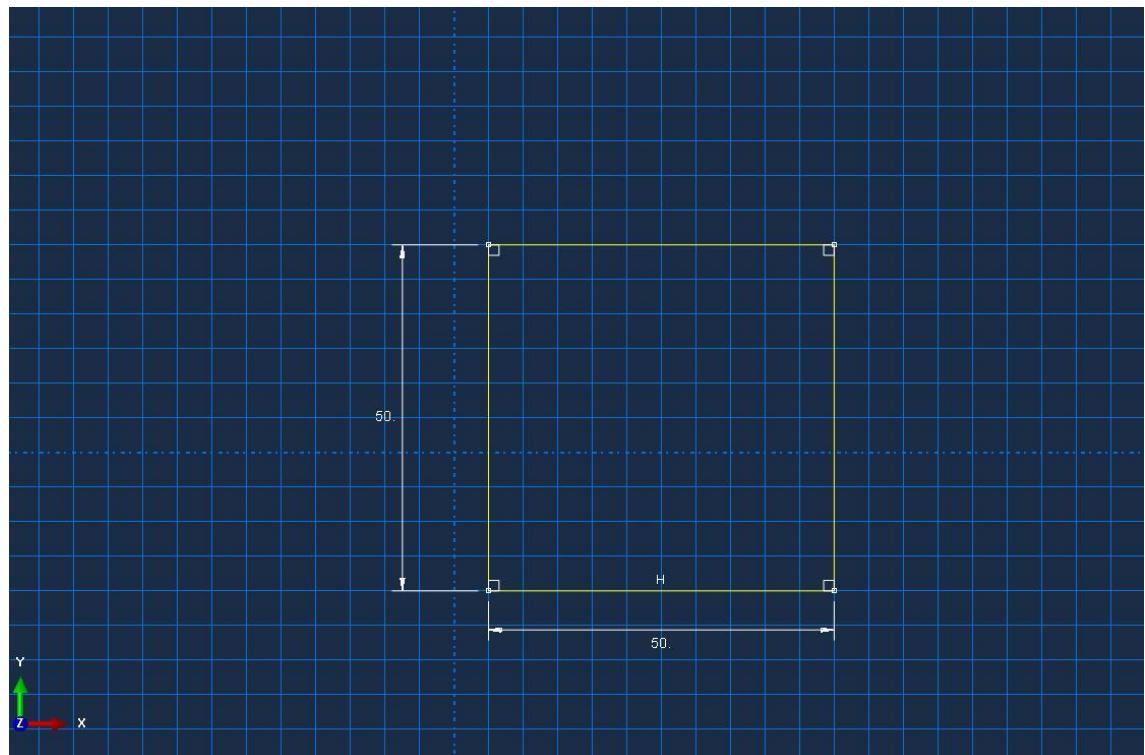
Para realizarlo, inicialmente nos aparece el siguiente recuadro –imagen 3- en el que seleccionamos las opciones mencionadas anteriormente:



(3)



Una vez que hemos seleccionado las principales características de la pieza nos aparecerá la siguiente pantalla –imagen 4- en la que debemos dimensionar la lámina, dándole valores tanto en la longitud vertical como en la horizontal:

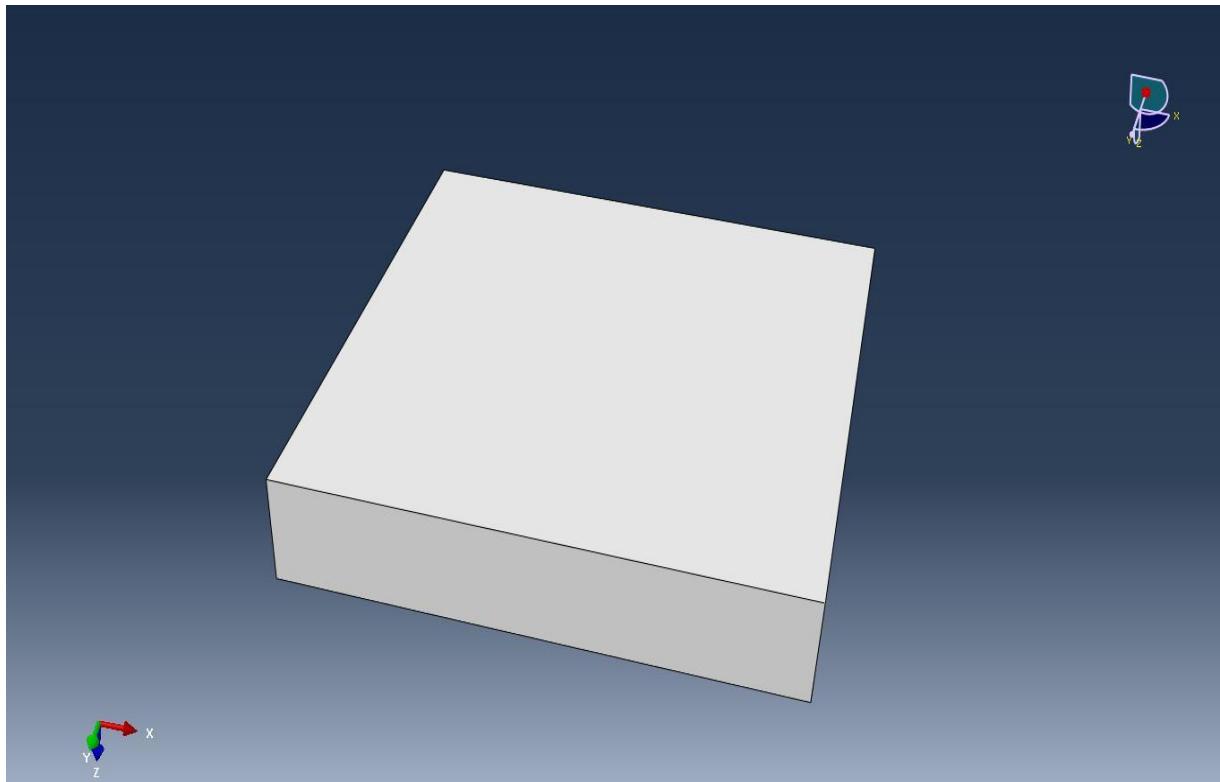


(4)

Cuando ya tenemos creada y dimensionada la pieza con las medidas requeridas en dos dimensiones, en vertical y en horizontal, sólo nos falta darle el espesor, el cual se lo podemos facilitar inmediatamente después de dimensionar mediante el proceso del propio programa; ya que cuando terminas la pieza en dos dimensionas y das el *OKEY*, el siguiente paso es poner el espesor a la pieza, que en este caso como ya he mencionado anteriormente es de 10 mm.



La pieza inicial con todas las medidas requeridas, ya en tres dimensiones, tiene la siguiente forma –imagen 5- :

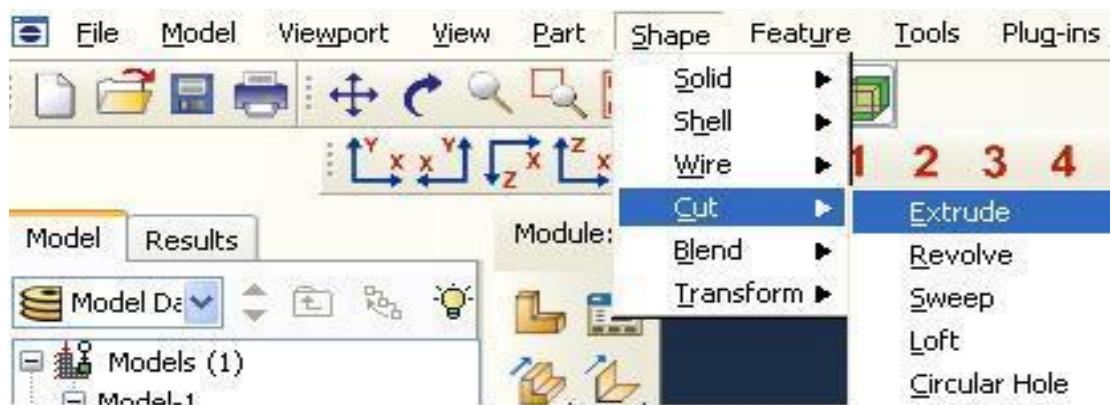


(5)

El siguiente paso que tenemos que llevar a cabo es realizar los dos agujeros en el extremo derecho de la pieza. Dichos agujeros tienen un diámetro de 6 mm y se sitúan a 11 mm del extremo derecho, con una distancia entre ellos de 28 mm quedando los mismos simétricamente tanto en el eje X como en el eje Y.

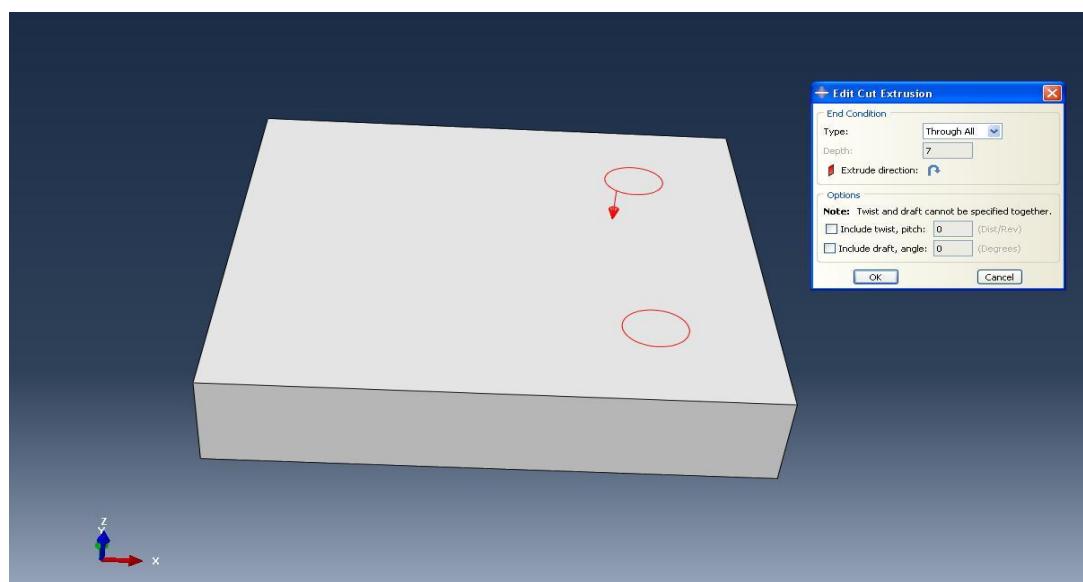


Para ello, seleccionamos del menú principal la opción *SHAPE-CUT-EXTRUDE* – imagen 6-, la cual nos pide que seleccionemos un plano y un eje, donde podemos crear los agujeros con las dimensiones establecidas.



(6)

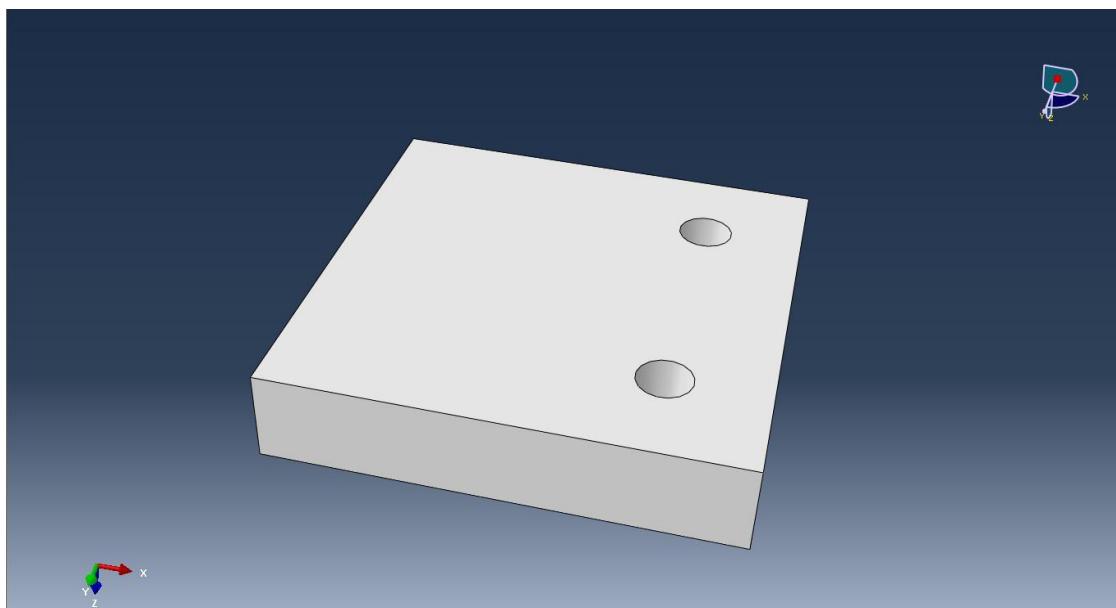
Una vez que hemos dibujado en dos dimensiones los agujeros en el plano deseado, éstos no aparecen en la pieza hasta que no determinamos cómo deben ser los mismos; ya que el programa nos pide el espesor que tienen que tener los agujeros, y si lo queremos desde la superficie hacia el interior o desde la superficie hacia el exterior –imagen 7-.



(7)



Cuando ya hemos escogido las opciones pertinentes que aparecen en el recuadro explicado previamente a este paso, sólo nos queda confirmar y dar el *OKEY*, obteniendo el resultado de los agujeros ya creados junto con la pieza en el lugar que deseábamos –imagen 8–.



(8)

La siguiente acción que debemos realizar en la pieza ya finalizada es mallarla. Para mallar los agujeros es necesario realizar unas particiones, ya que de no ser así no podrían ser mallados, y por tanto, el programa daría errores a la hora de calcular y analizar los resultados.

Las particiones que voy a efectuar van a ser las siguientes:

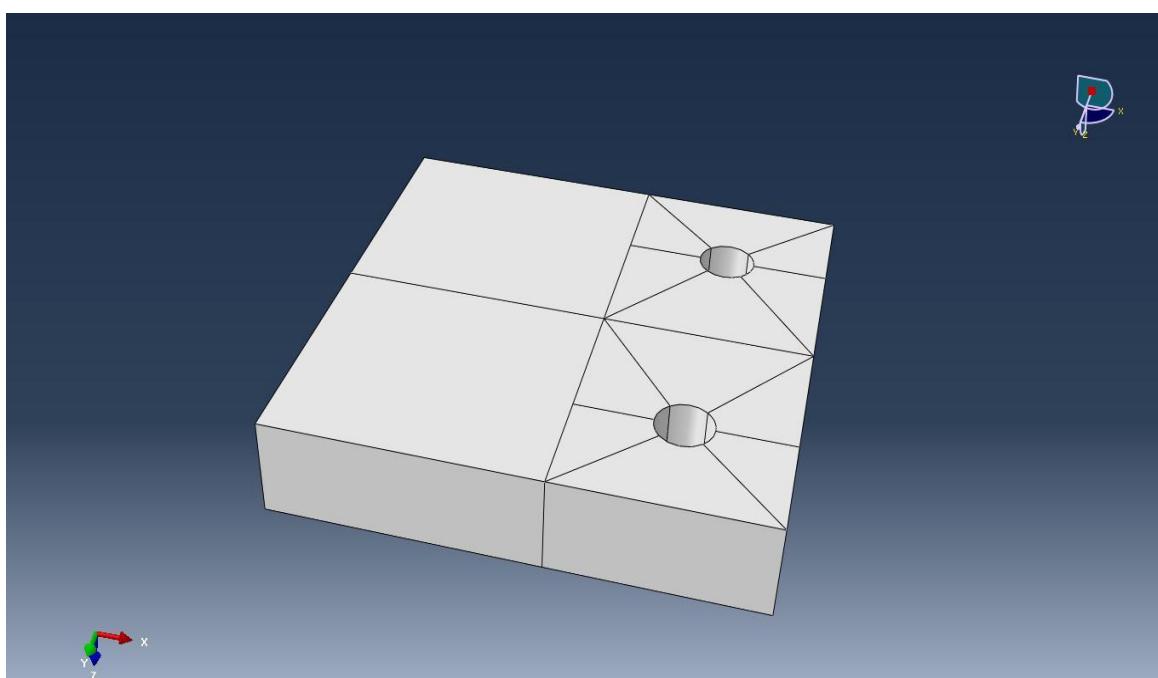
Cara plana:

- Dividir la pieza horizontal por la mitad.
- Dividir la pieza en vertical 11 mm a la izquierda del centro del agujero.

**Agujeros:**

- Dividir el agujero horizontalmente por el centro.
- Dividir el agujero desde cada extremo con un ángulo de 45º.

El resultado obtenido como consecuencia de las particiones de las caras planas y lisas y de las diferentes acciones realizadas en los agujeros es el siguiente –imagen 9:-



(9)

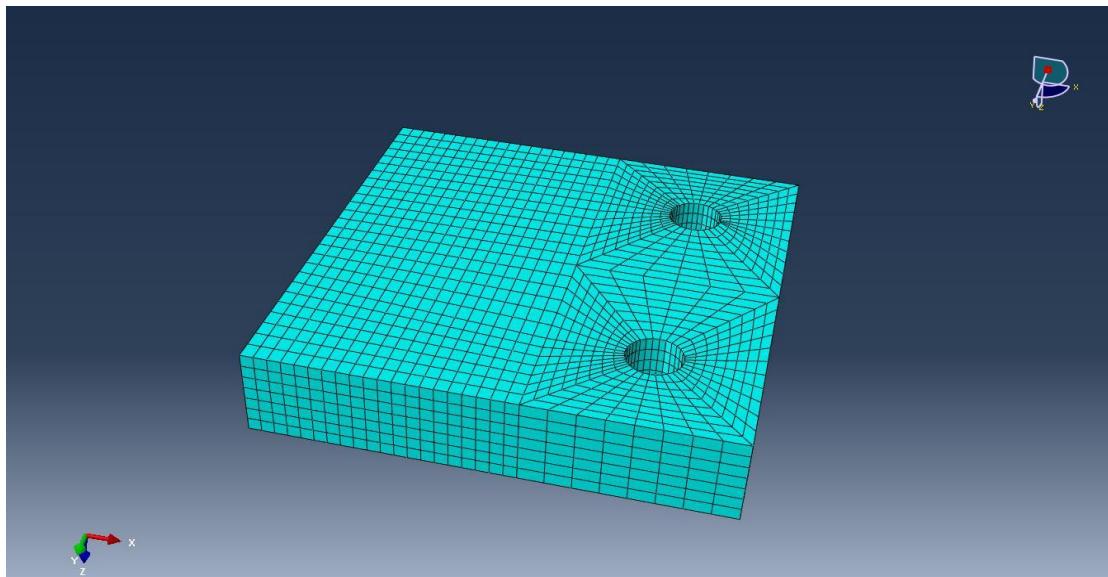
El proceso de mallar la pieza, se va a realizar automáticamente, mediante una opción que ofrece el programa; pero será necesario llevar a cabo unas pequeñas modificaciones para personalizar el mallado de la manera que más nos interese.



El mallado se realizará en un solo paso, pero en la pieza se podrá observar que hay dos partes diferenciadas:

- La primera, desde el extremo izquierdo hasta la partición transversal de la pieza, a 11 mm del origen del agujero, cuyo mallado está creado mediante 7 filas en horizontal y 20 columnas verticales; ambas realizadas de manera transversal.
- La segunda, está creada desde la partición mencionada anteriormente hasta el extremo de la derecha de la pieza, en la que el mallado está compuesto por 7 filas en horizontal y 8 columnas en vertical; ambas trasversales. El mallado realizado sobre los agujeros es el conocido con el nombre de *tela de araña*, debido a que se forma un hexágono alrededor de los agujeros.

El resultado final que obtenemos del mallado es el siguiente –imagen 10-:



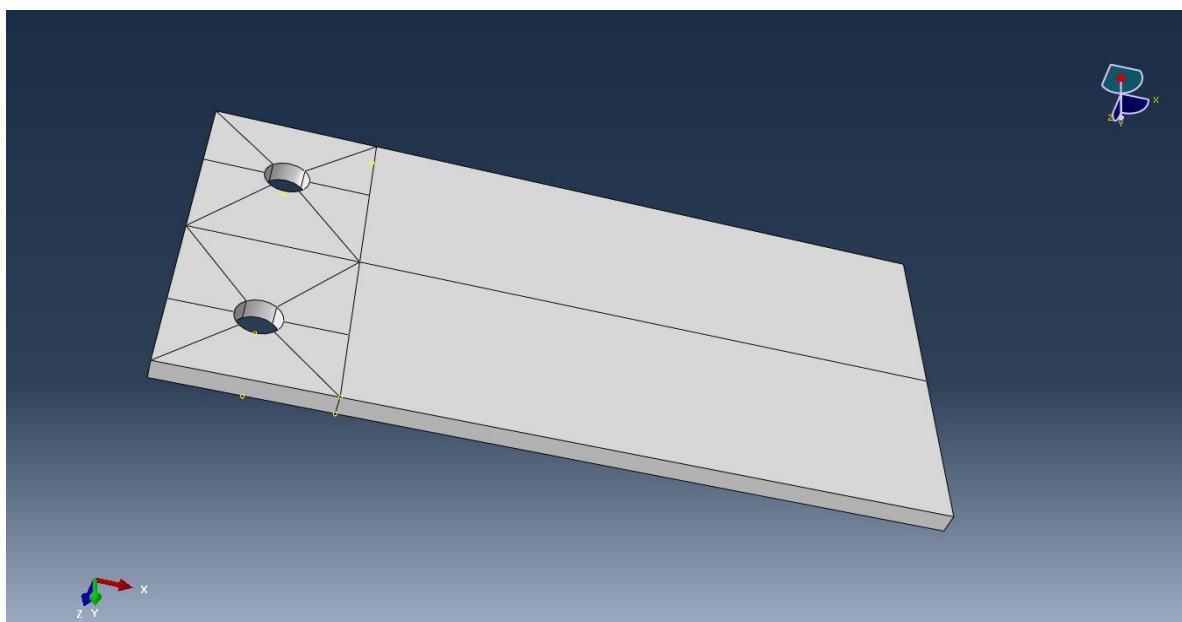
(10)



4.2 Lámina 2

Al igual que en la *Lámina 1*, vamos a mostrar la imagen inicial en la que se ve cómo debe quedar la pieza. Para llegar a la misma, habrá que ir realizando diferentes acciones.

Este es el resultado final de la *Lámina 2* –imagen 11-:



(11)

El método de obtención de la *Lámina 2* es análogo al que hemos utilizado para realizar la lámina anterior, puesto que las únicas diferencias son las que se pueden ver resaltadas en las imágenes, siendo éstas el espesor, la longitud, y la ubicación de los tornillos.

Como ya hemos comentado anteriormente, se inicia la pieza definiéndola con el cuadro inicial, en el que determinamos que queremos un cuerpo sólido en tres dimensiones.



El cuadro en el que seleccionamos dichas condiciones de la *Lámina 2* es el siguiente –imagen 12–:

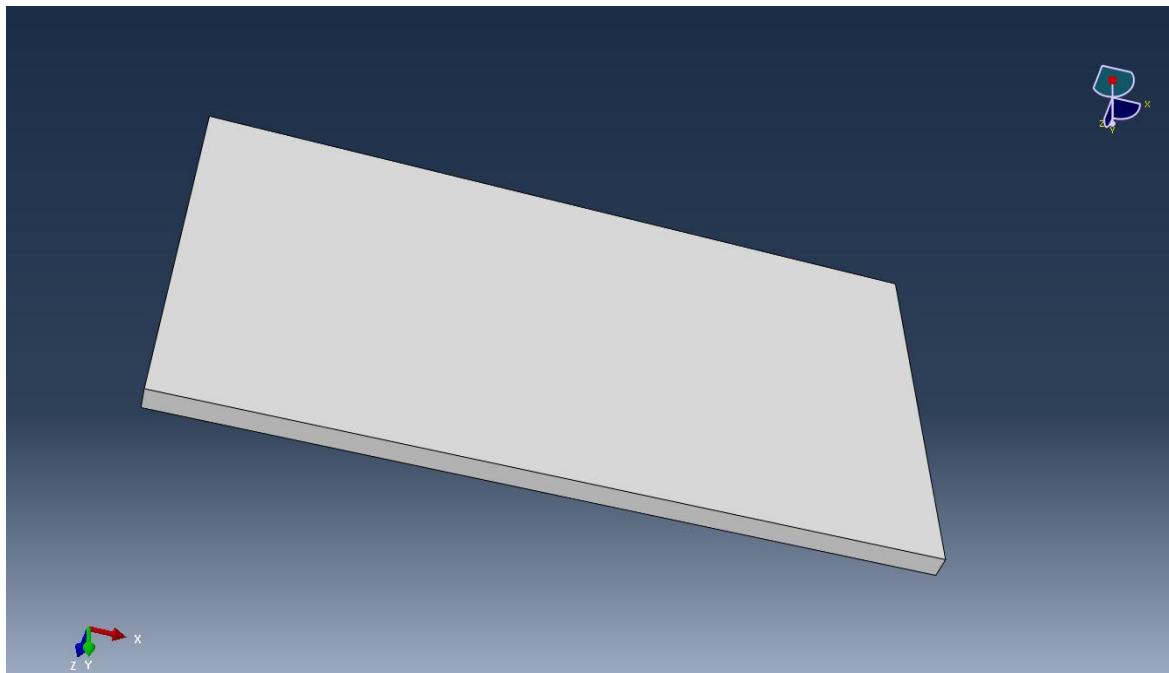


(12)

Una vez definidas las condiciones, al igual que nos pasaba con la lámina realizada con anterioridad, nos aparece en la pantalla un cuadro en el que debemos elegir la longitud que debe tener la pieza, tanto en horizontal como en vertical; cuando ya tenemos dimensionada la pieza en dos dimensiones, y aceptamos dándole el *OKEY* correspondiente, se nos abrirá un cuadro auxiliar en el que podremos elegir el espesor que queremos que tenga la misma.



Presionando el *OKEY* definitivo nos aparecerá en la pantalla la lámina como un sólido, quedando de la siguiente manera –imagen 13-:



(13)

Haciendo una comparación entre esta última imagen y la imagen inicial de la lámina de este apartado, se ve claramente que las dos únicas acciones que faltan por realizar son: las perforaciones de los agujeros para los tornillos y las distintas particiones.

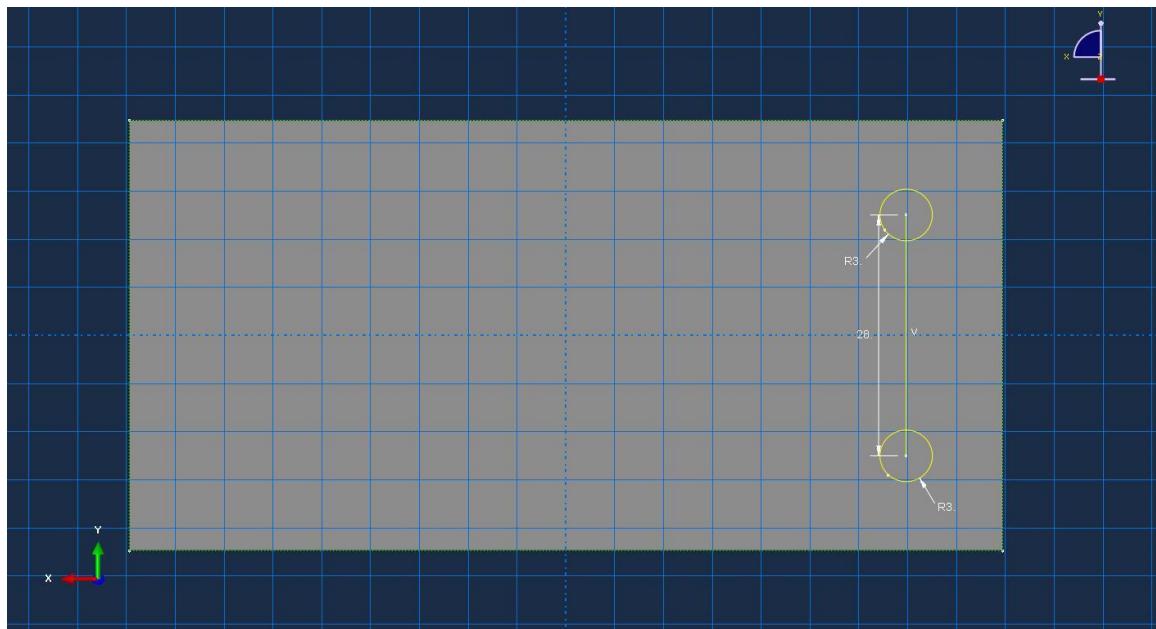
Vamos a comenzar explicando cómo se realizan las perforaciones de los agujeros, que se llevan a cabo de una manera similar a las que hemos hecho ya previamente.

Inicialmente, vamos al menú principal que se encuentra en la parte superior de la pantalla y presionamos la opción *SHAPE- CUT- EXTRUDE*.



Como ya he comentado anteriormente debemos seleccionar un plano y un eje para que el programa nos cree una superficie donde podamos dibujar las dimensiones de los agujeros en la ubicación correspondiente de la lámina.

El plano que hemos determinado para poder realizar los agujeros en el lugar correspondiente, queda definido de la siguiente manera –imagen 14-:



(14)

Al igual que nos pasaba en la *Lámina 1*, debemos introducir en el cuadro que nos aparece, una vez aceptadas las dimensiones, tanto el espesor como la dirección en el plano hacia donde queremos que se creen dichos agujeros.

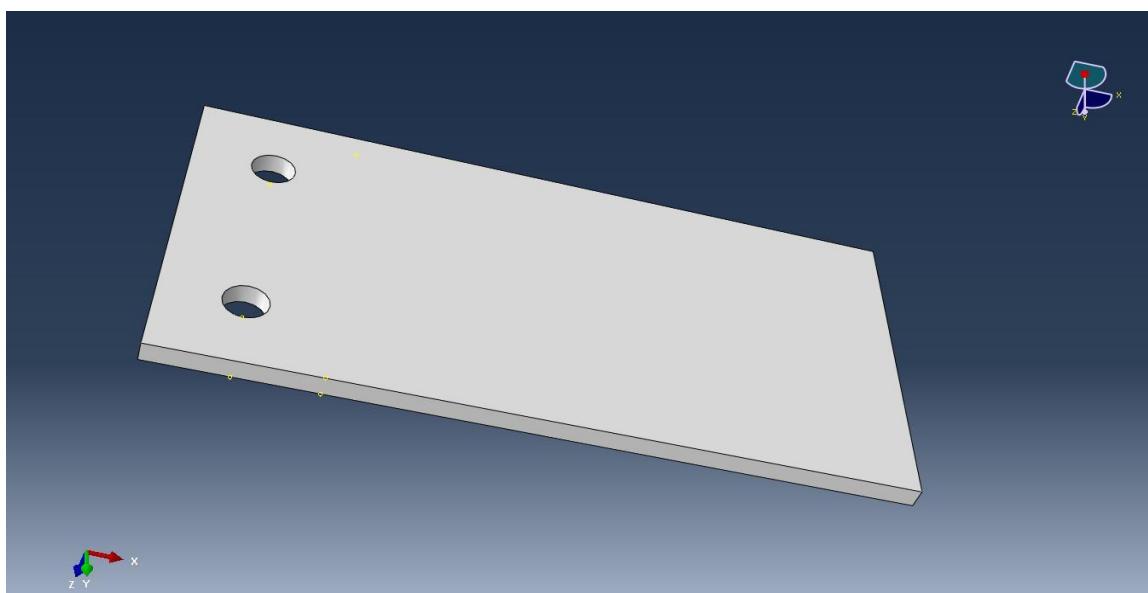
Primero, introducimos el espesor de los agujeros realizados en la pieza, el cual será de 10 mm, debido a que queremos que la pieza quede perforada en toda ella, de arriba a abajo, quedando un orificio limpio, pasante y sin que nada pueda entorpecer el paso de un tornillo.



Y para concluir con la realización de las perforaciones, es necesario elegir la dirección en la que queremos crear los agujeros; puesto que se pueden crear perforando la pieza de un extremo al otro, o se puede crear un agujero desde la superficie superior de la lámina hacia el exterior.

En este caso, vamos a elegir que la dirección sea hacia el interior de la pieza, y esto lo conseguiremos presionando el *OKEY* oportuno. Gracias a ello, crearemos las perforaciones deseadas para llegar al resultado mostrado inicialmente en este apartado.

De esta manera, la lámina quedará definida de la siguiente manera – imagen 15-:



(15)

El último paso que nos queda para concluir dicha lámina, es mallarla; pero como nos ocurría en la primera lámina, los agujeros no pueden ser mallados de forma similar que los cuerpos sólidos planos, sino que necesitan de particiones y de un mallado un poco más complejo.



Las particiones correspondientes que vamos a realizar en la lámina son las siguientes:

Cara plana:

- Dividir la pieza horizontal por la mitad.
- Dividir la pieza en vertical 11 mm a la derecha del centro del agujero.

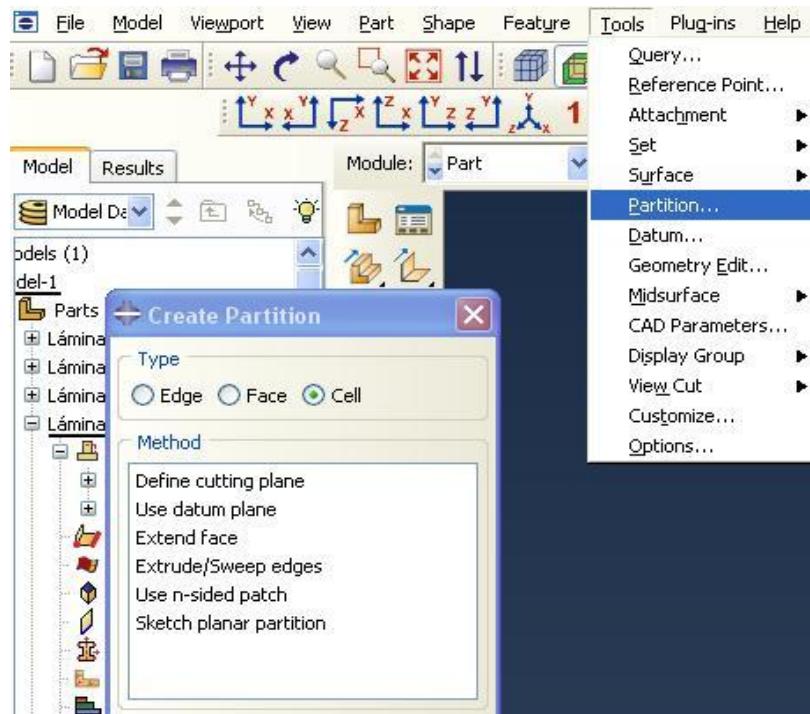
Agujeros:

- Dividir el agujero horizontalmente por el centro.
- Dividir el agujero desde cada extremo con un ángulo de 45°.

La manera de llevar a cabo las particiones de un sólido es la siguiente:

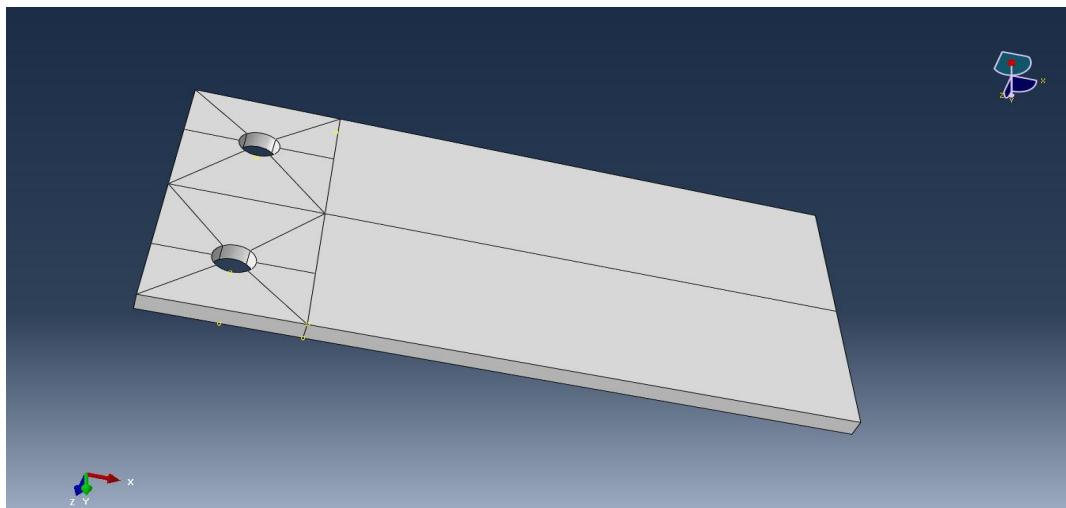
Seleccionamos del menú principal la opción *TOOLS- PARTITION- CELL- DEFINE CUTTING PLANE*. Al elegir dicha opción, nos aparecerán en la parte inferior de la pantalla tres opciones, en la que deberemos pinchar en la que pone *3 points*. Una vez que hemos pinchado, escogeremos tres puntos del dibujo para que se cree la partición en el plano que se define mediante los tres puntos seleccionados.

Una manera visual y más sencilla de comprenderlo es mediante una imagen en la que aparezcan las diferentes opciones realizadas en este paso –imagen 16-.



(16)

Una vez llevadas a cabo todas las operaciones y acciones sobre la lámina, llegamos al resultado final deseado –imagen 17–:



(17)

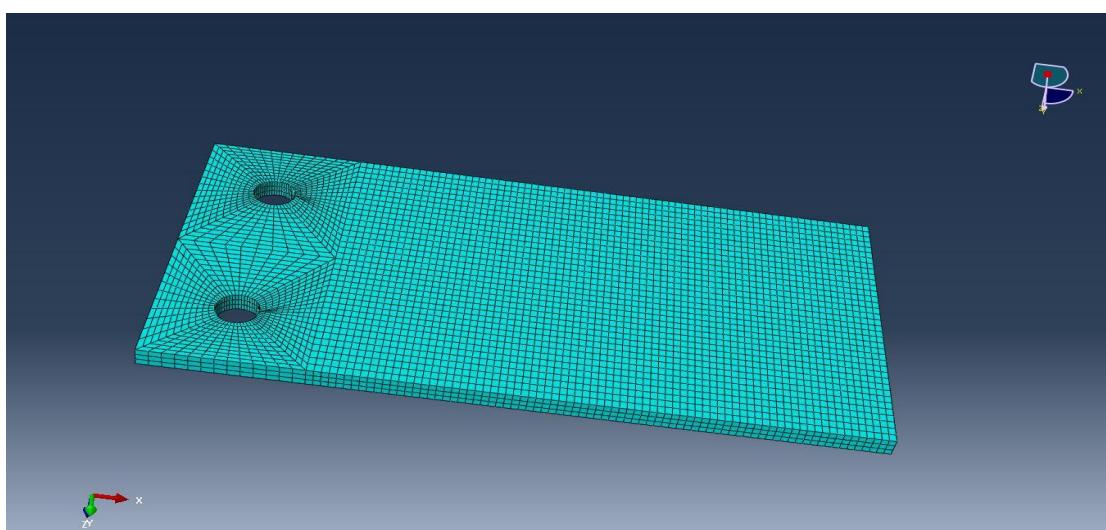
Cuando ya tenemos la pieza terminada, es necesario mallarla para poder llevar a cabo el estudio y el posterior análisis de resultados.



Para ello, lo realizaremos de la misma forma en la que hemos procedido en la lámina 1, utilizando el mallado automático para después ir modificándolo desde las opciones:

- En primer lugar, el mallado que observamos es el que se realiza desde el extremo derecho de la pieza, hasta la partición vertical que se encuentra a 11 mm a la derecha del centro del agujero. El mallado en esta superficie está compuesto por 3 filas horizontales y 90 columnas verticales, ambas transversales.
- La segunda zona a explicar es la del cuadrado en la que se encuentran los agujeros. Dicha zona, se compone de 3 filas horizontales y 13 columnas verticales transversales. En este caso, como en la lámina 1, en el lugar donde se encuentran los agujeros realizaremos el mallado de *tela de araña*, siendo hexagonal la estructura a utilizar en ellos.

El resultado final que se obtiene después de realizar el mallado comentado es el siguiente –imagen 18-:



(18)

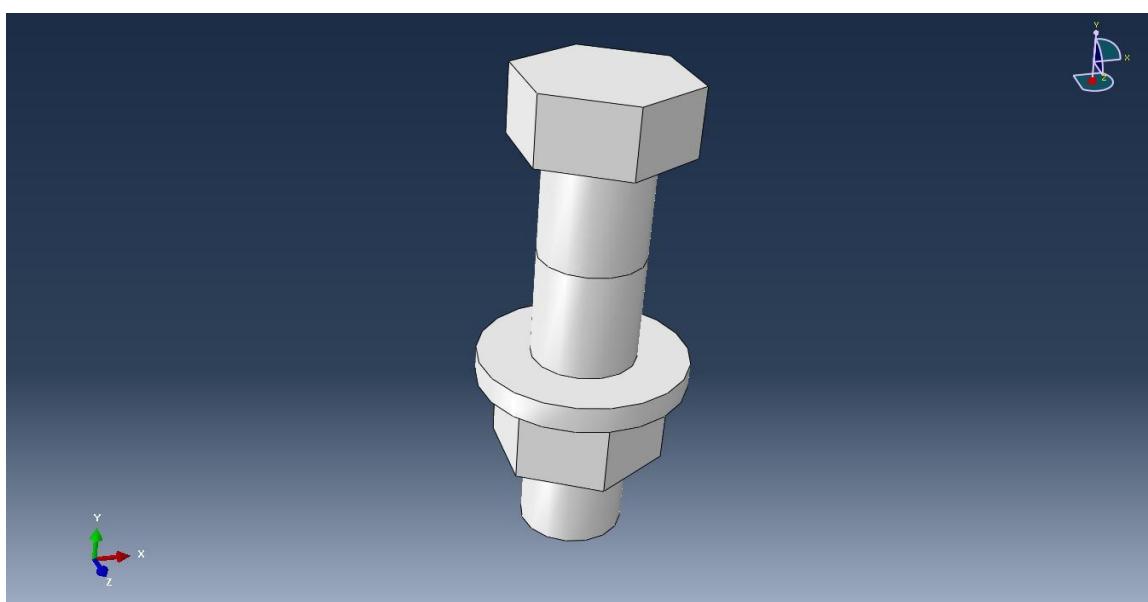


4.3 Tornillo-tuerca-arandela

Esta es la pieza que más complejidad tiene a la hora de construirla, debido a que no sólo queremos crear un tornillo, sino que también queremos hacer en el mismo cuerpo sólido la tuerca y la arandela. Es decir, vamos a llevar a cabo el montaje del conjunto con este tornillo de cabeza hexagonal, además de la arandela y la tuerca, formando un único cuerpo de revolución sólido.

Estos elementos, tanto el tornillo, la tuerca, como la arandela, están normalizados, por lo que sabiendo que el tornillo es M6 de calidad 8.8 y que tiene que atravesar dos láminas de 13 mm, la cabeza hexagonal del tornillo, la arandela y la tuerca hexagonal, tienen unas dimensiones normalizadas las cuales se han sacado de las tablas correspondientes.

Para comenzar a explicarlo, voy a seguir la metodología usada anteriormente para las láminas. De esta manera, aquí se muestra cuál debe ser el resultado final que queremos alcanzar –imagen 19–:



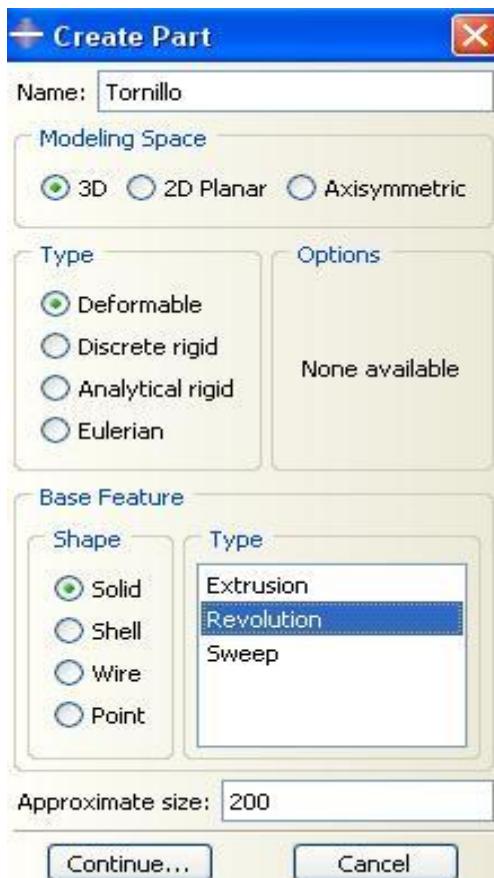
(19)



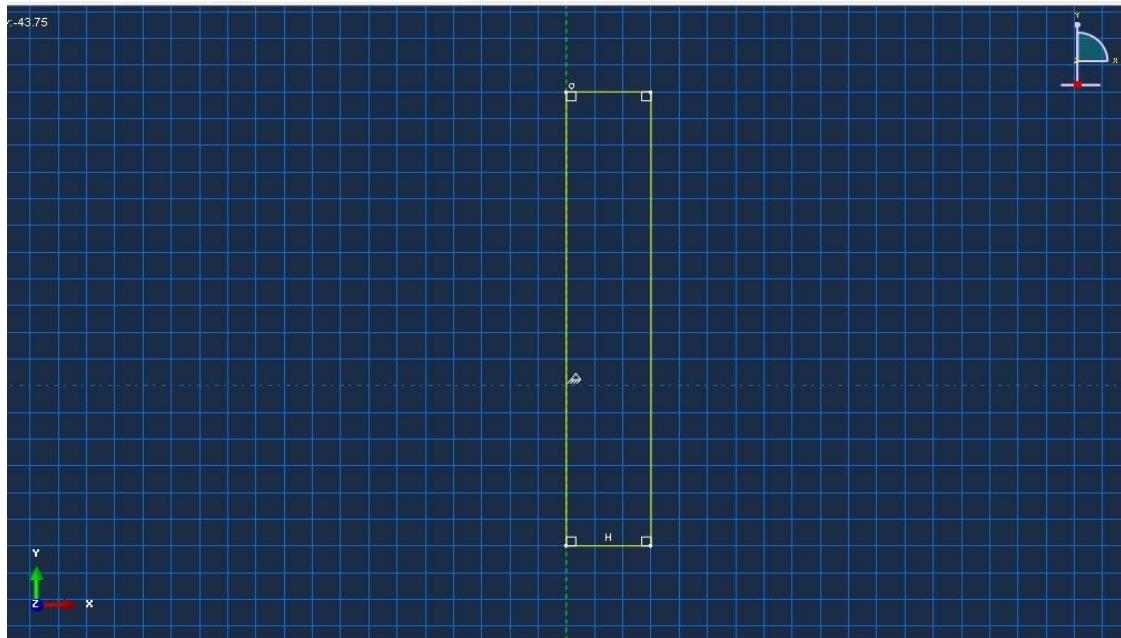
La primera acción que debemos realizar es el mismo cuadro que nos ha aparecido cuando hemos empezado a crear las diferentes láminas.

La diferencia de este apartado con los anteriores, es que aquí elegimos que queremos que lo dibuje en tres dimensiones, y en vez de un cuerpo sólido, vamos a escoger un cuerpo de revolución.

La pantalla para dibujar un cuerpo de revolución es diferente al de las láminas anteriores, puesto que aquí tenemos un eje Y que nos atraviesa toda la pantalla, y es a raíz de ese eje donde vamos a dibujar nuestro sólido de revolución –imagen 20 y 21–.

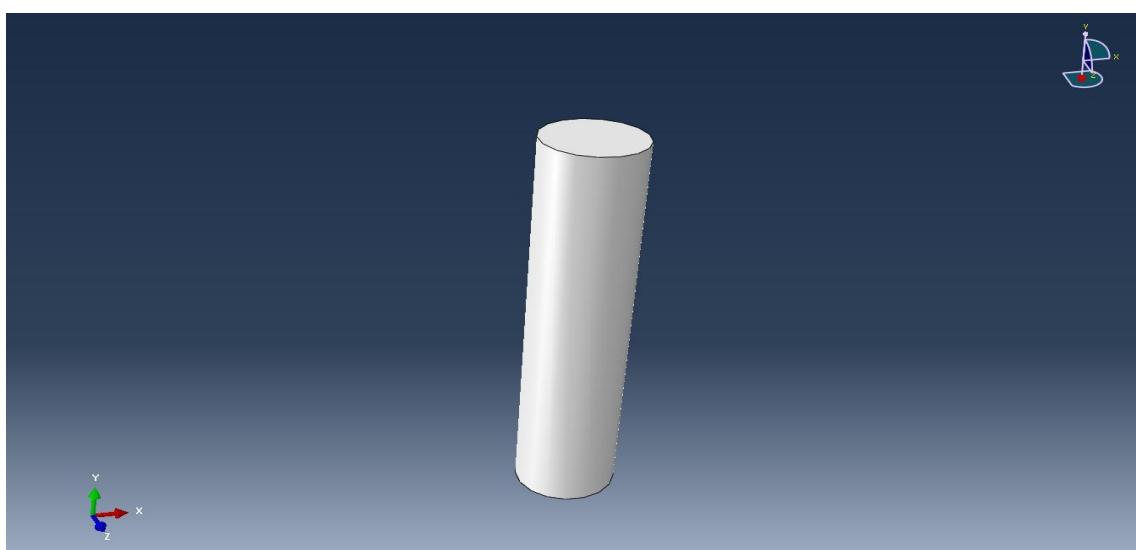


(20)



(21)

Como podemos observar en la imagen anterior, el cuerpo de revolución lo dibujamos en forma de cuadrado pegado a un eje que atraviesa la pantalla; debido a que queremos que sea sólido. Una vez que confirmamos dándole al *OKEY*, nos aparecerá en la pantalla un recuadro en el que nos indicará cuántos grados queremos dibujar del sólido; en nuestro caso, como queremos un cuerpo de circunferencia completa le daremos 360 grados. La forma en la que queda definida la pieza después de este primer paso es la siguiente –imagen 22–:



(22)



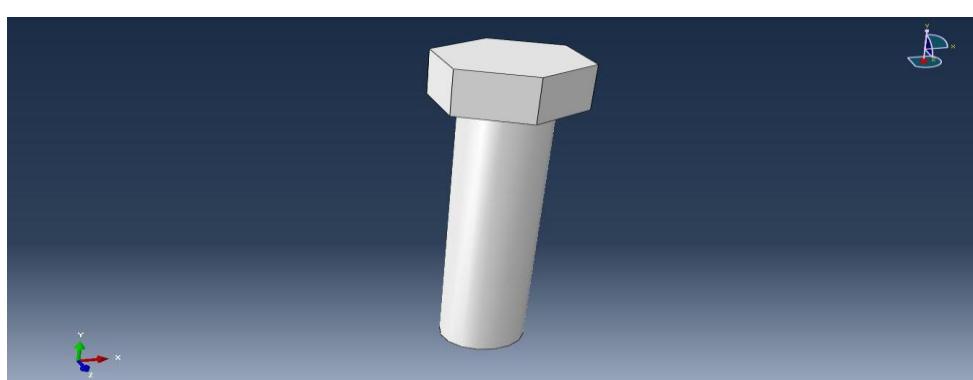
Como se aprecia en la imagen anterior, ya tenemos creado el cilindro de lo que va a ser el conjunto de Tornillo-Tuerca-Arandela. El siguiente paso que vamos a efectuar es construir la cabeza hexagonal de dicho tornillo.

Para construirla, pinchamos en el menú principal que aparece en la parte superior de la pantalla en donde pone *SHAPE-SOLID- EXTRUDE*.

Cuando ya hemos seleccionado las opciones correspondientes para crear otro cuerpo sobre el cilindro, tendremos que elegir dos ejes, para que nos defina un plano donde poder dibujar y crear la cabeza hexagonal. En este caso, el plano que hemos seleccionado es la cara plana que se encuentra en la parte superior del cilindro.

Una vez que nos ha aparecido ya la pantalla para dibujarla y crearla, dibujamos la forma de un hexágono y confirmamos apretando el *OKEY*. Inmediatamente después, nos aparecerá un cuadro en el que deberemos elegir la profundidad/espesor que queremos que tenga dicho hexágono, además de la dirección en la que queremos que se cree, si desde la superficie hacia el exterior -hacia arriba-, o desde la superficie hacia el interior del cilindro -hacia abajo-.

En este caso, hemos elegido que la dirección sea hacia el exterior, es decir, hacia arriba del cilindro. El resultado de las dos operaciones realizadas, tanto de la creación del cilindro como de la construcción de la cabeza hexagonal del mismo es el siguiente –imagen 23-:



(23)

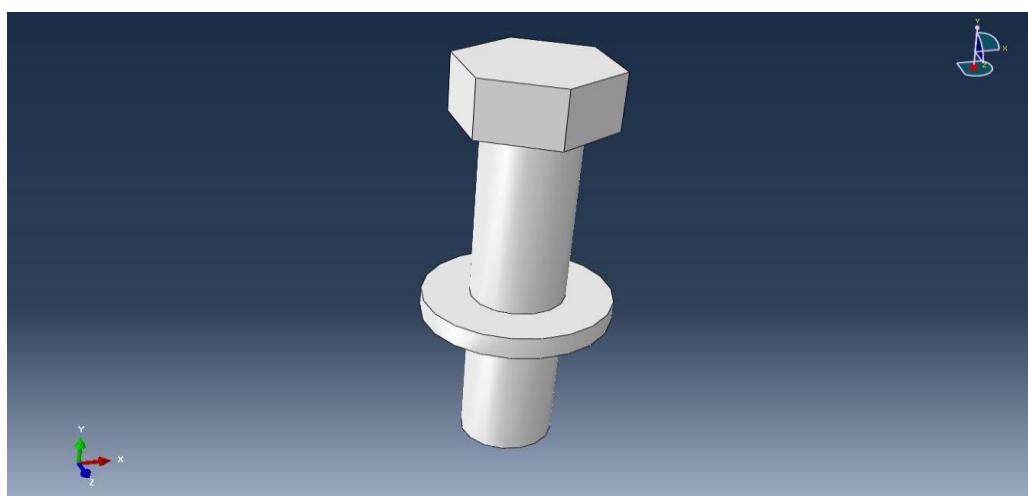


La siguiente operación que vamos a realizar en la pieza es la creación de la arandela y la tuerca. Para ello, primero procederemos a partir el cilindro a una distancia de 13 mm desde el inicio del cilindro; ya que entre la cabeza hexagonal del cilindro y la arandela van a estar las dos láminas.

Primero, crearemos la arandela, la cual se creará de una forma sencilla y similar al anterior paso, ya que deberemos acudir de nuevo al menú principal pinchando en **SHAPE- SOLID- EXTRUDE** y seleccionar el plano donde queremos dibujar la arandela. En este caso, el plano que hemos elegido es el plano creado debido a la partición del cilindro.

Una vez que ya hemos seleccionado el plano, sólo nos quedará dibujar y crear la arandela. Para terminar de dimensionarla, nos volverá a aparecer el cuadro anterior en el que tenemos que seleccionar la profundidad que va a tener, además de la dirección en la que queremos que se cree. La dirección que hemos elegido es hacia abajo, debido a que hacia arriba no se podría, ya que cuando se montase el ensamblaje quedaría el hueco justo para las dos láminas efectuadas anteriormente.

El resultado del tornillo, con el cilindro, la cabeza hexagonal, y la arandela ya añadida, tiene esta forma –imagen 24-:



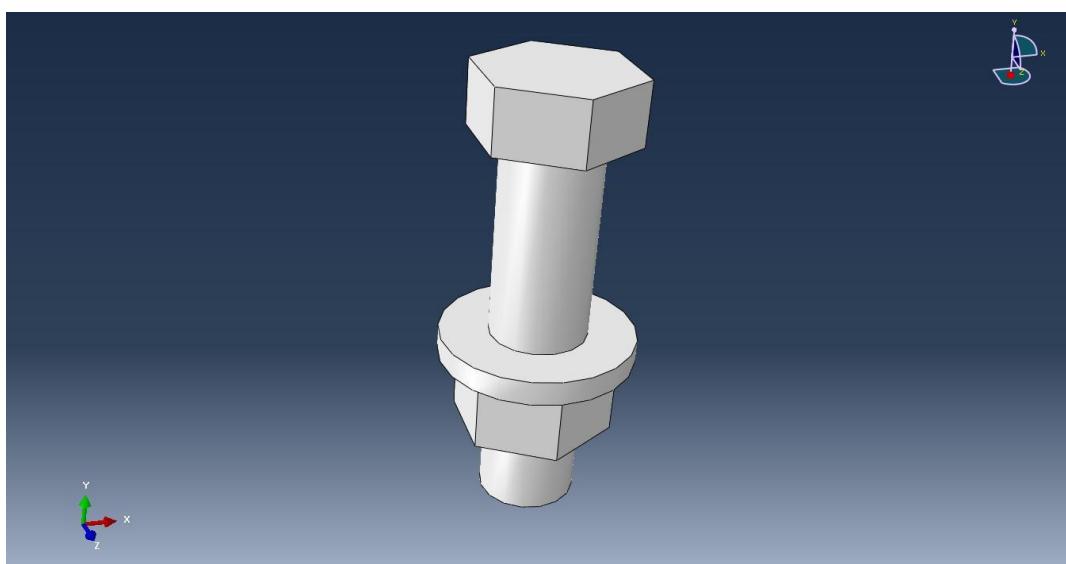
(24)



Para terminar el conjunto de Tornillo-Tuerca-Arandela, sólo nos falta crear la tuerca. Dicha tuerca la vamos a construir de forma análoga a los anteriores pasos utilizados en esta pieza, es decir, yendo al menú principal donde pone *SHAPE- SOLID- EXTRUDE* y allí seleccionaremos el plano donde queremos dibujar la tuerca correspondiente.

En este último paso, el plano que vamos a escoger es la cara inferior de la arandela; una vez que estemos en la pantalla para dibujar y crear la tuerca, la construiremos de forma similar a la cabeza hexagonal, en la que dándole al *OKEY*, sólo nos quedará elegir el espesor que queremos que posea y la dirección que queremos que tome. Lógicamente, la dirección que vamos a escoger va a ser hacia abajo, debido a que si fuera hacia arriba se solaparía con la arandela y se metería en el espacio de las dos láminas.

Finalmente, aceptamos todas las opciones que nos salen, hasta obtener el resultado final del conjunto Tornillo-Tuerca-Arandela, que queda de la siguiente manera –imagen 25-:



(25)

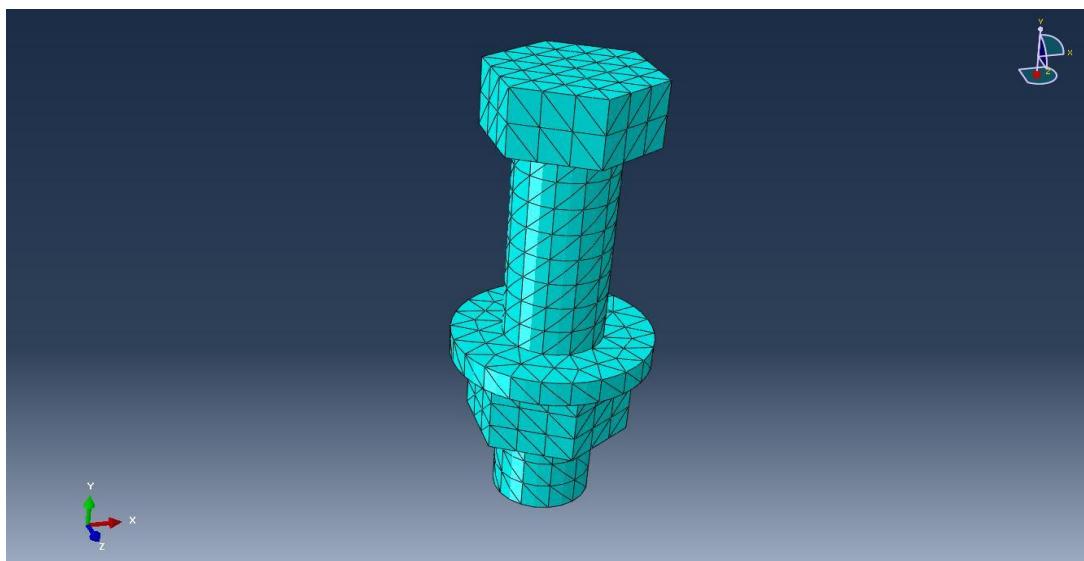


El último paso para concluir con la explicación de las piezas por separado, es mallar el conjunto sólido del Tornillo-Tuerca-Arandela. Para ello, primero será necesario efectuar una partición, la cual se realizará de manera transversal, entre la cabeza del tornillo y la arandela, justo por el medio del cilindro.

Una vez que ya tenemos la partición procederemos al mallado de la pieza. Para ello, lo que vamos a realizar, va a ser la opción de mallado automático, el cual tendremos que modificar, ya que no se nos mallará toda la pieza de una sola vez.

Para terminar de mallar toda la pieza, tendremos que introducirnos en las opciones, seleccionar toda la pieza, y aplicarle un mallado con una estructura libre; que en este caso, la que ha escogido el propio programa para toda la pieza, es una estructura triangular.

La pieza con la que vamos a unir las dos láminas, tiene un aspecto final con el mallado de la siguiente manera –imagen 26-:



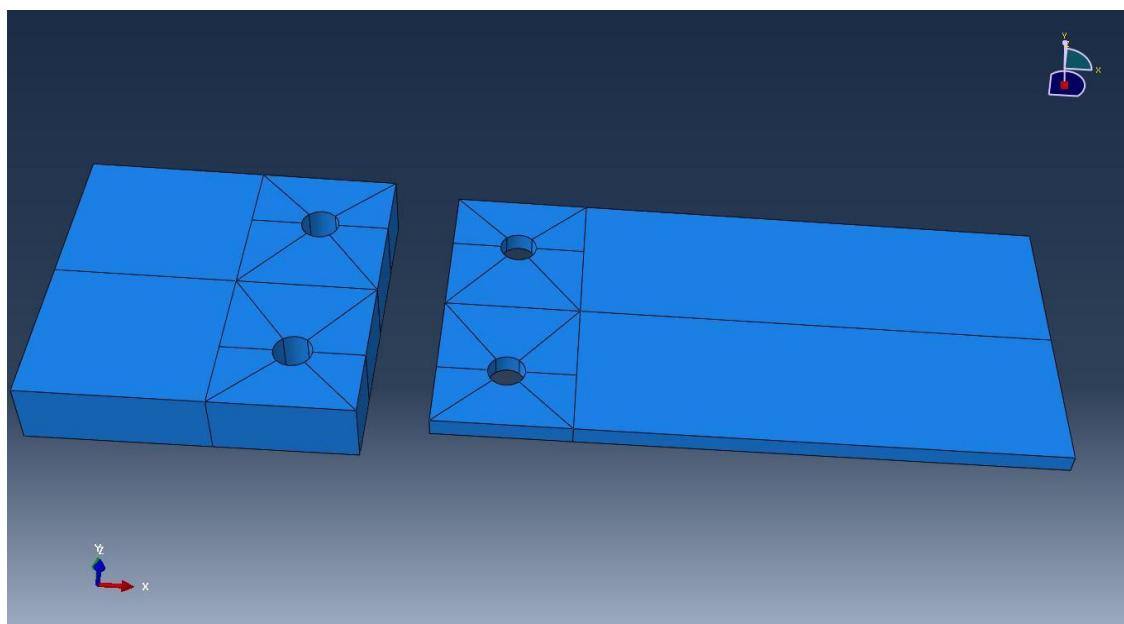
(26)



4.4. Ensamblaje de la pieza

El ensamblaje de todas las piezas lo vamos a llevar a cabo de una en una, es decir, primero colocaremos en la posición en la que deben estar las dos láminas, y una vez que ya las tenemos en la posición deseada, haremos lo mismo con los tornillos, los cuales los situaremos en el lugar que les corresponde. Este paso no se puede hacer de una sola vez, en primer lugar, tendremos que introducir un tornillo, y cuando ya esté en su posición, colocar el otro.

Inicialmente, voy a mostrar cómo se encuentran la *lámina 1* y *lámina 2* antes de llevar a cabo el montaje –imagen 27–.



(27)

Cuando ya tenemos las dos láminas dispuestas como en la figura anterior, debemos realizar una serie de instrucciones para que el programa coloque las mismas en la posición que queremos.



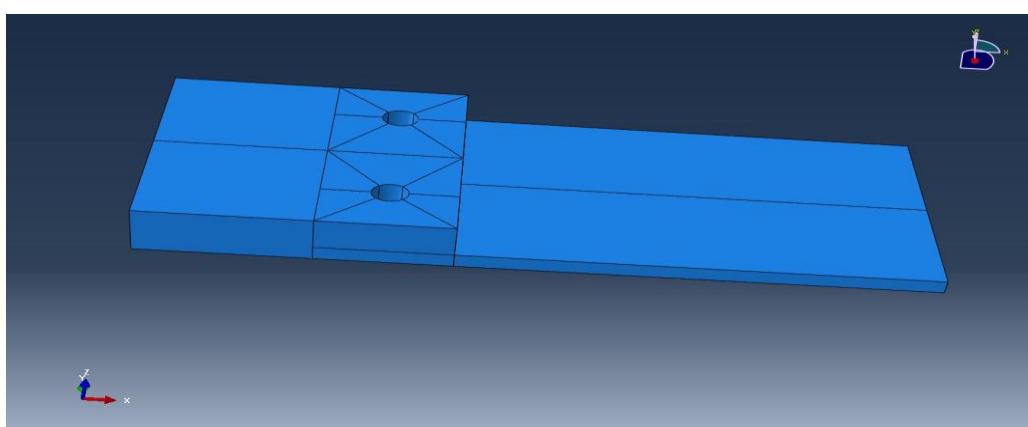
Para ello, acudimos al menú principal superior, en el que pone *CONSTRAINT*, y seleccionamos *FACE TO FACE*; esto nos llevará a seleccionar dos caras que queremos que estén juntas y la distancia que queremos que haya entre ellas.

En este caso, las caras que hemos elegido han sido las siguientes:

- La cara inferior de la *lámina 1*, es decir, el cuadrado que ha quedado con la partición realizada.
- La cara superior de la *lámina 2*, es decir, el cuadrado que ha quedado con la partición realizada.

Una vez seleccionadas las caras, el programa nos preguntará la distancia que queremos que haya entre dichas caras; escogeremos que la distancia sea 0 mm debido a que no queremos que haya ninguna separación entre las láminas puesto que en el caso real, estarían unidas sin separación debido a la acción de los tornillos que colocaremos más adelante.

Cuando ya hemos conseguido que las piezas estén unidas, nos quedará colocarlas en la posición deseada, la cual se realizará mediante el menú *CONSTRAINT* y la opción *COAXIAL*, en el que el programa nos pedirá que seleccionemos dos circunferencias; elegiremos una de la *lámina 1* y otra de la *lámina 2*, ambas serán las que queramos que coincidan en el mismo eje.

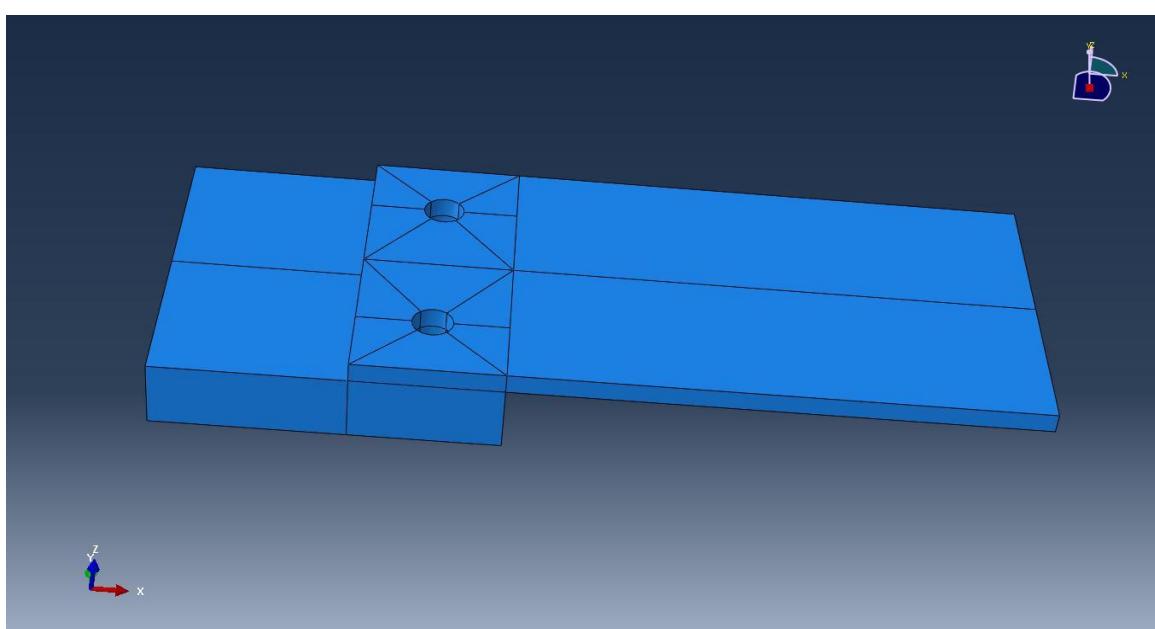


(28)



Gracias a los pasos anteriores, hemos conseguido que la estructura principal de la pieza esté en sus ejes colocados –imagen 28–; así que ahora sólo nos falta desplazar la *lámina 2* hacia arriba en el eje Z, puesto que queremos que la *lámina 2* esté debajo, es decir, comprendida entre la otra lámina y las arandelas de los tornillos.

El resultado final después de colocar las dos láminas en la posición requerida es la siguiente –imagen 29–:



(29)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la lámina con mayor longitud y menor espesor, se encuentra sobre la lámina más corta y gruesa, a una distancia de 0 mm entre ellas, siendo éste el resultado deseado.

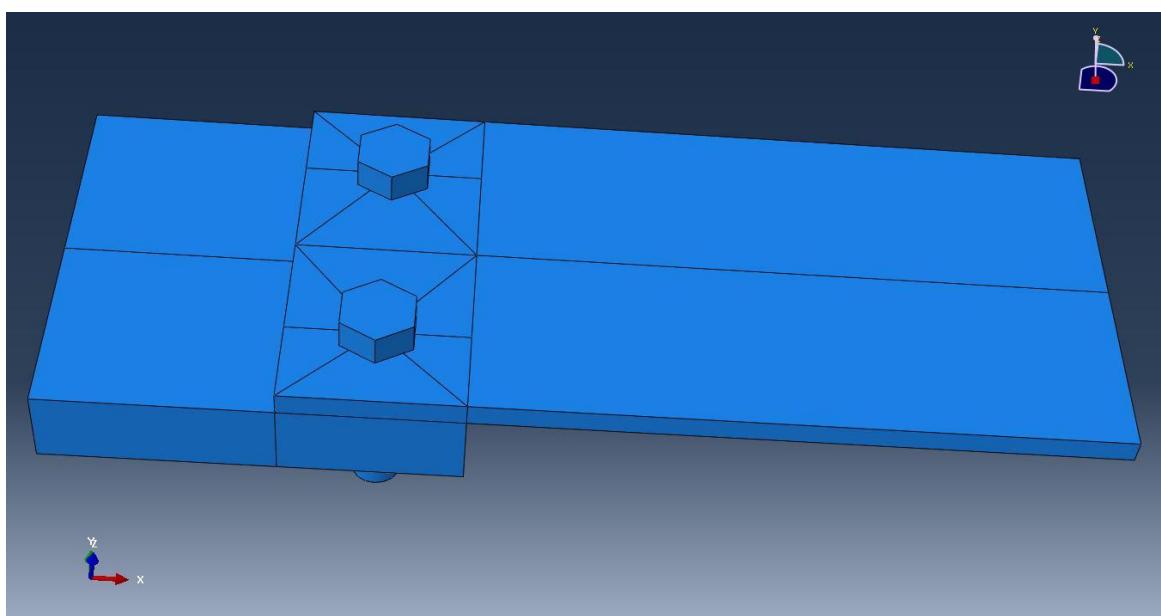
El siguiente paso como ya se ha comentado previamente, al inicio de esta sección, es la colocación del conjunto de los dos Tornillos-Tuercas-Arandelas.



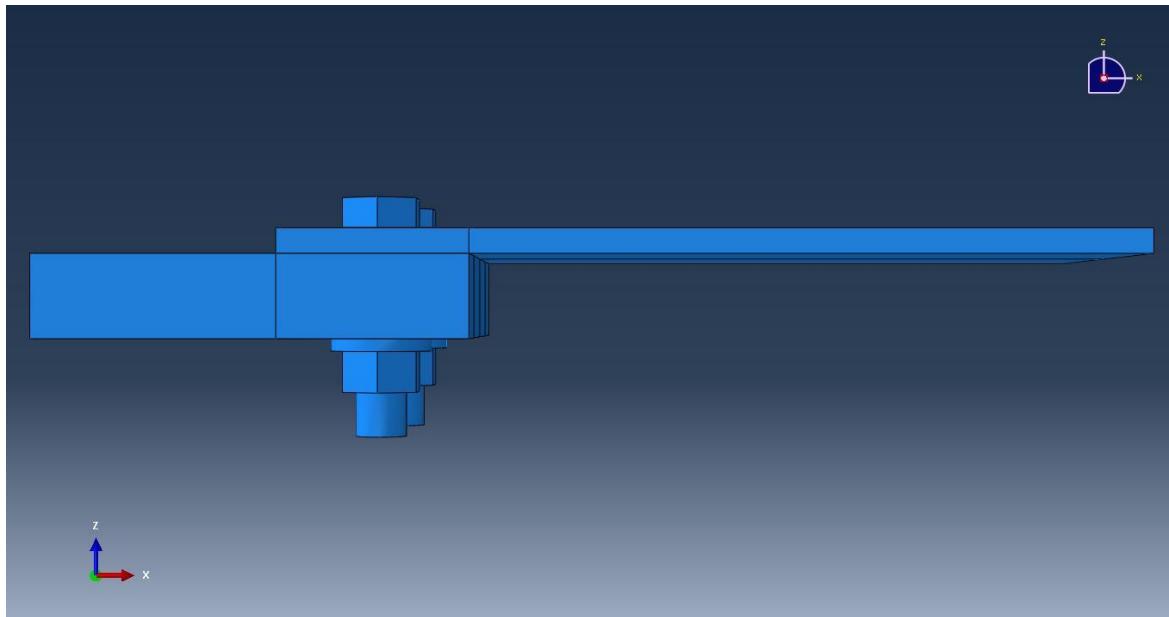
La ubicación en la que se van a requerir en ambas láminas va a ser entre la cabeza del tornillo y la arandela. Esto significa que, el Tornillo-Tuerca-Arandela dispone de una distancia, desde la cabeza hexagonal del tornillo hasta la arandela, similar a la suma de grosores de las dos láminas, por lo que la cabeza del tornillo quedará por encima de las mismas, mientras que la arandela y la tuerca se encontrarán debajo de dichas láminas.

Para realizarlo, vamos al menú principal, al lugar donde pone *CONSTRAINT*, y seleccionamos la opción que nos da *COAXIAL*; cuando ya tenemos el Tornillo-Tuerca-Arandela en la posición que queríamos en el eje Z, sólo nos quedará desplazarlo a lo largo de este eje para que quede en el sitio adecuado. Esta operación se tendrá que realizar dos veces, una para cada uno de los tornillos.

El resultado final de la pieza con las láminas dispuestas y los tornillos en la posición deseada, es la siguiente –imagen 30 y 31–:



(30)



(31)

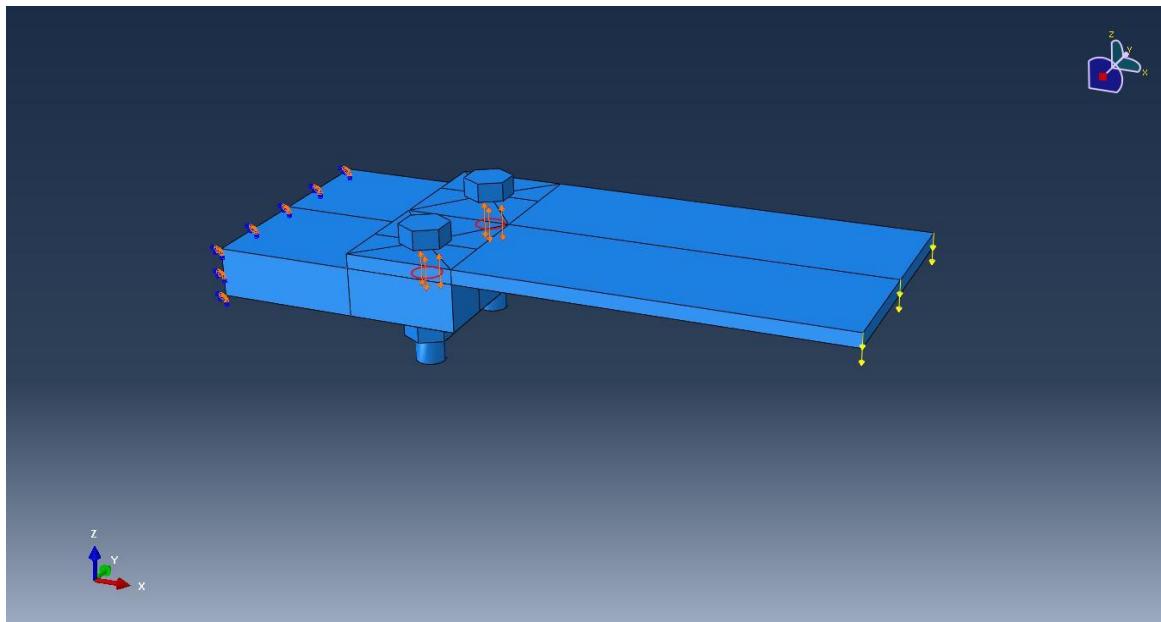
Una vez finalizado el ensamblaje de las piezas, el siguiente paso a realizar es comentar y crear las diferentes cargas a las que va a estar sometido el conjunto ensamblado.

Como se ha comentado al inicio de este trabajo, en el apartado de *Introducción*, la pieza va a estar bajo la acción de distintas cargas, las cuales resumimos de la siguiente manera:

- Empotrado el extremo libre de la pieza con mayor espesor y menor longitud.
- Una fuerza vertical, en dirección descendente en el extremo libre de la pieza con mayor longitud y menor espesor, de una magnitud de 250 N.
- Una precarga en cada uno de los tornillos, debido a la acción que realizan los mismos cuando juntan las dos láminas.

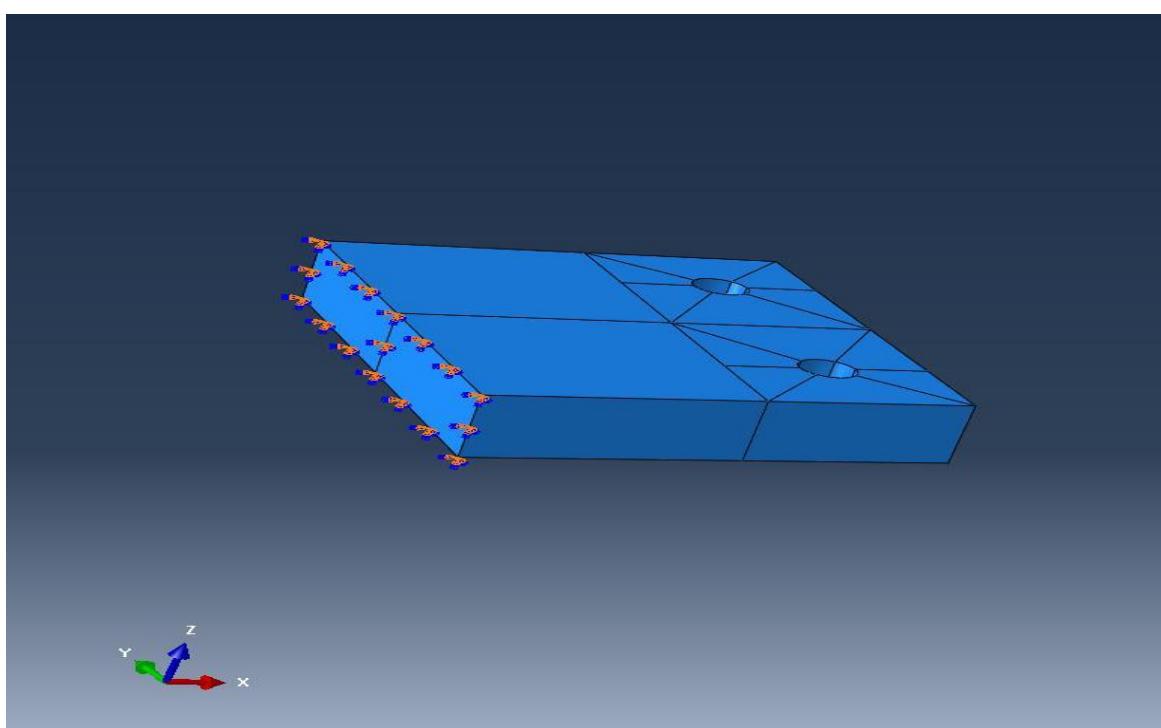


El programa nos ofrece una imagen visual de cada una de las fuerzas aplicadas, las cuales quedan definidas de la siguiente manera –imagen 32-:



(32)

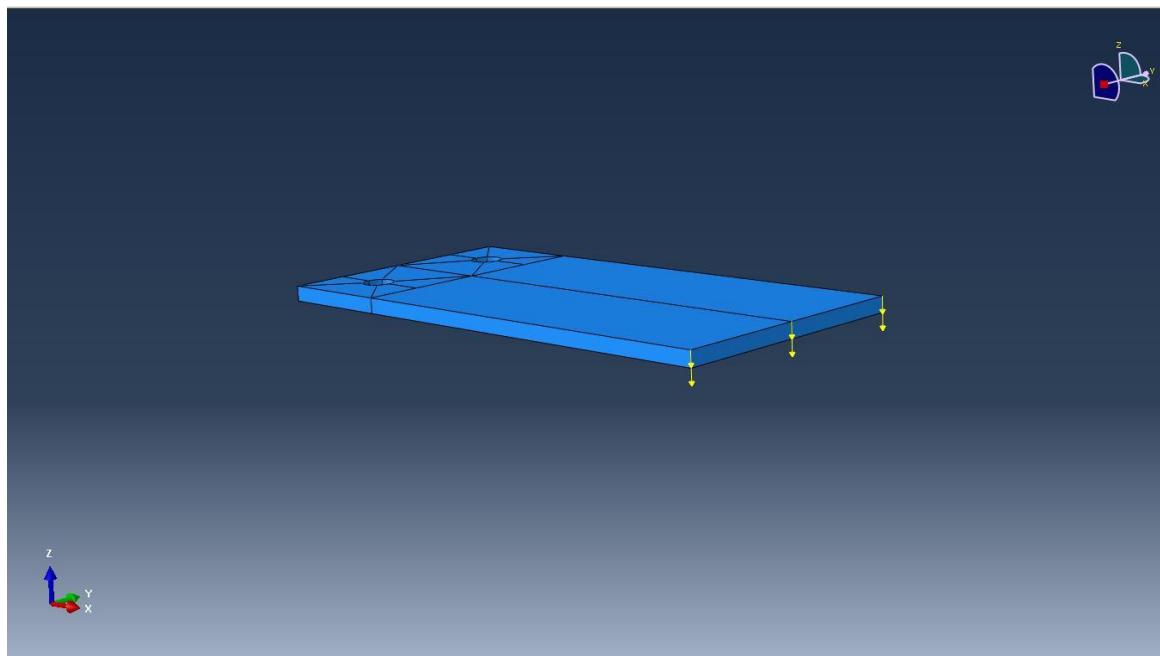
Empotramiento:



(33)

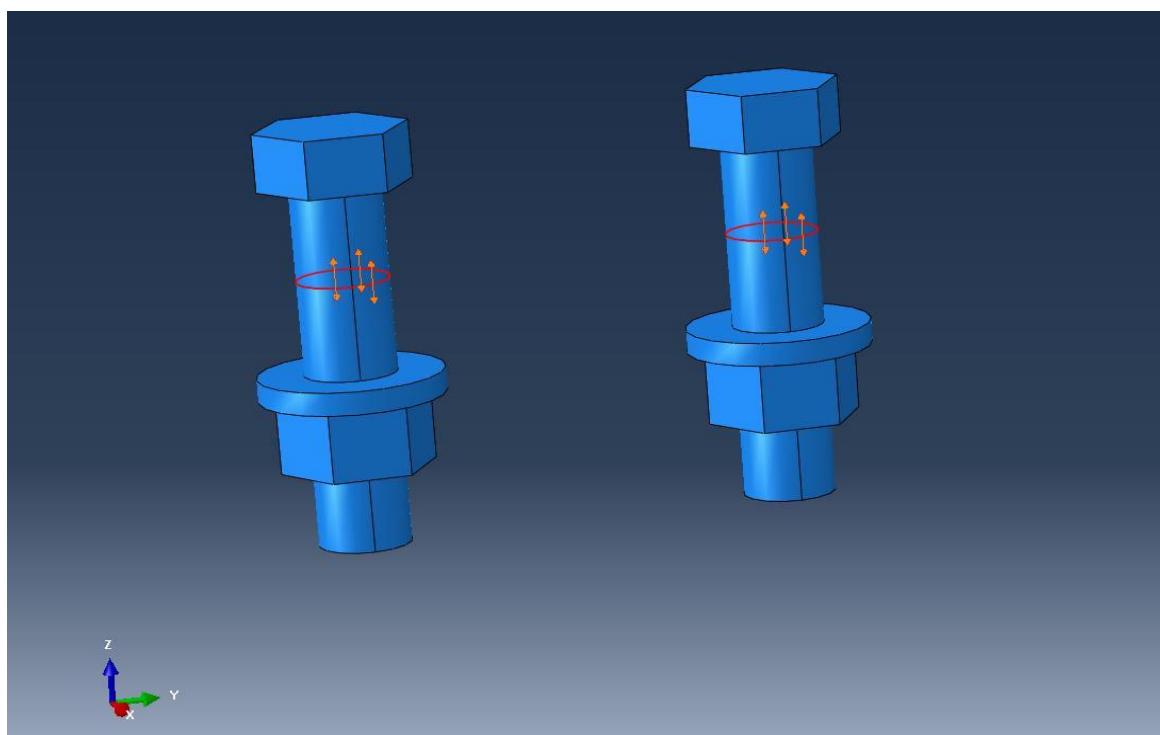


Carga vertical descendiente:



(34)

Precarga de los tornillos:



(35)



Para finalizar la modelización de la unión atornillada, sólo nos queda definir los diferentes contactos que se producen a la hora de suponer todo lo definido anteriormente.

En el modelo se van a distinguir tres tipos de contactos, los cuales van a tener las mismas características, puesto que van a estar sometidos en las mismas condiciones; puesto que a todos los contactos se le ha aplicado un coeficiente de fricción frente al movimiento de 0,4 a todos los contactos.

Dichos contactos se resumen en:

- Contacto entre la cabeza hexagonal del tornillo con la *lámina 2*.
- Contacto entre la *lámina 1* y *lámina 2*.
- Contacto entre la *lámina 2* y la arandela.



5. RESULTADOS Y ESTUDIO DE LA PIEZA

Una vez terminado todo el desarrollo de la pieza, es necesario estudiar y evaluar los resultados que nos proporciona el programa. Para poder llevar a cabo el estudio de dicha pieza vamos a determinar unas zonas específicas y las vamos a ir evaluando con distinta precarga en los tornillos.

Primeramente, vamos a comentar el tipo de estudio que se ha realizado sobre la pieza. El análisis que hemos realizado se denomina *Análisis transitorio*, debido a que disponemos de una fuerza que varía a lo largo del tiempo. Además, también es un estudio no lineal, puesto que además de las cargas y fuerzas nombradas en los apartados anteriores, también definimos las tensiones denominadas como *Contactos*, por lo que el tipo de estudio que hemos introducido en el programa ha sido paso a paso, o como el programa lo nombra, *Step by step*.

Las zonas específicas en las que nos vamos a fijar para poder analizar la pieza, son aquellas que tienen más riesgo de rotura, dicho de otra forma, aquellas zonas que tienen la mayor concentración de tensiones, así como las que sufren un mayor desplazamiento.

Las cargas con las que vamos a examinar la pieza son aquellas que previamente en el desarrollo hemos denominado como *precarga*; hemos seleccionado la misma debido a que el tornillo es el material que más tensión aguanta de toda la pieza, al estar fabricado con acero 8.8.

Las diferentes cargas a las que la vamos a someter van a ser descendientes, puesto que empezaremos con 10300 N que es la máxima fuerza que puede soportar.



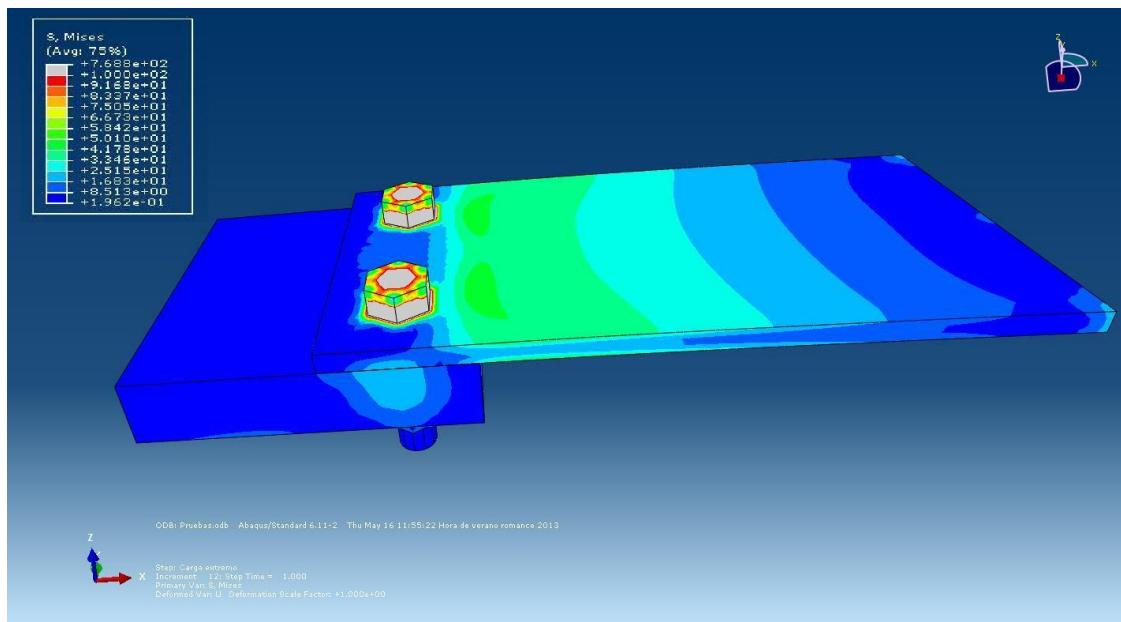
Dichas cargas son:

- 10300 N
- 8000 N
- 6000 N
- 4000 N

Para iniciar la evaluación, lo que vamos a realizar en primer lugar va a ser una imagen general del conjunto de la pieza, con las diferentes cargas, en el que se podrán observar las diferentes tensiones a las que está sometida la pieza con las diferentes cargas.

10300 N

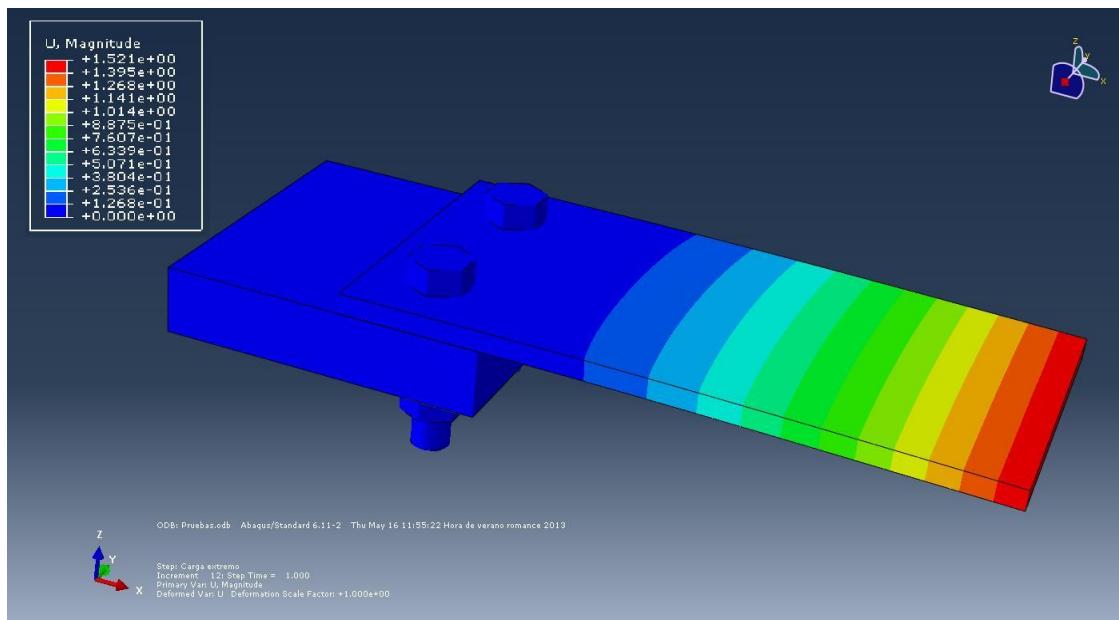
TENSIONES



(36)



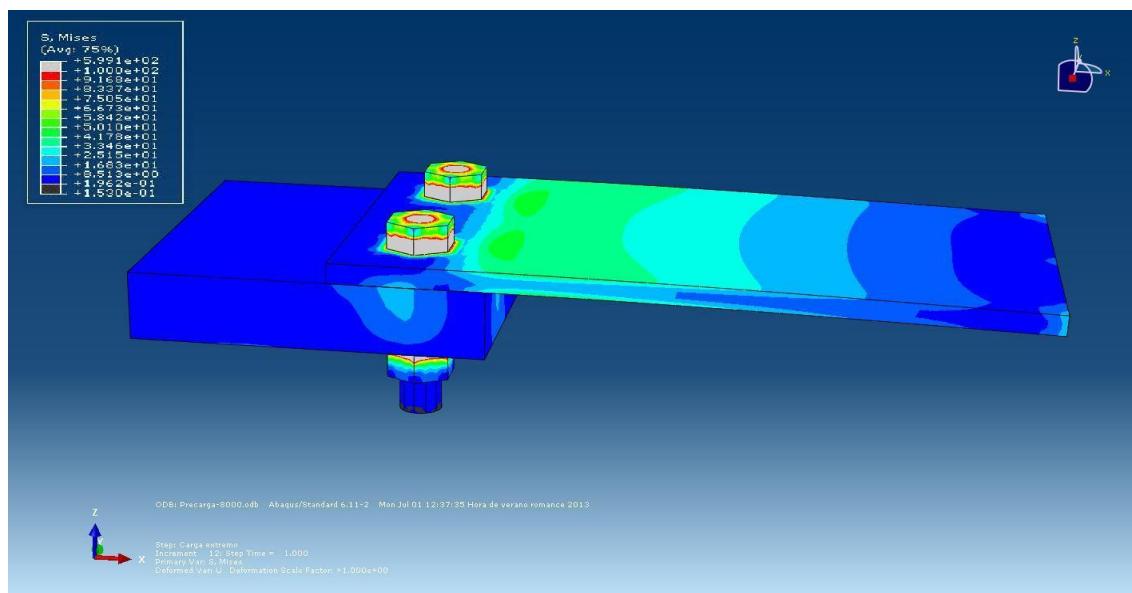
DEFORMACIONES



(37)

8000 N

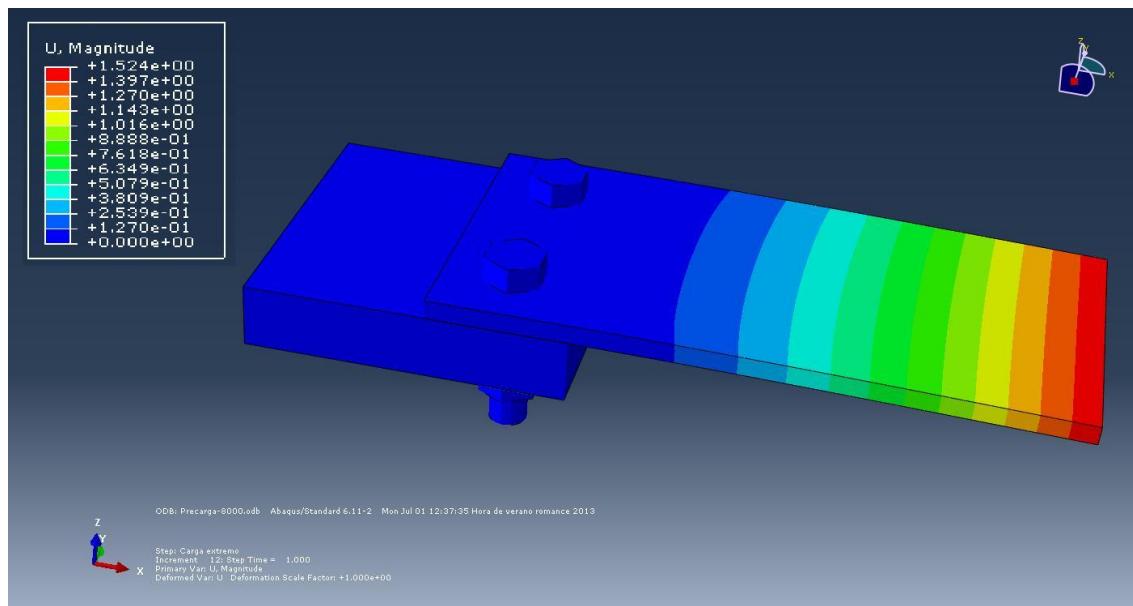
TENSIONES



(38)



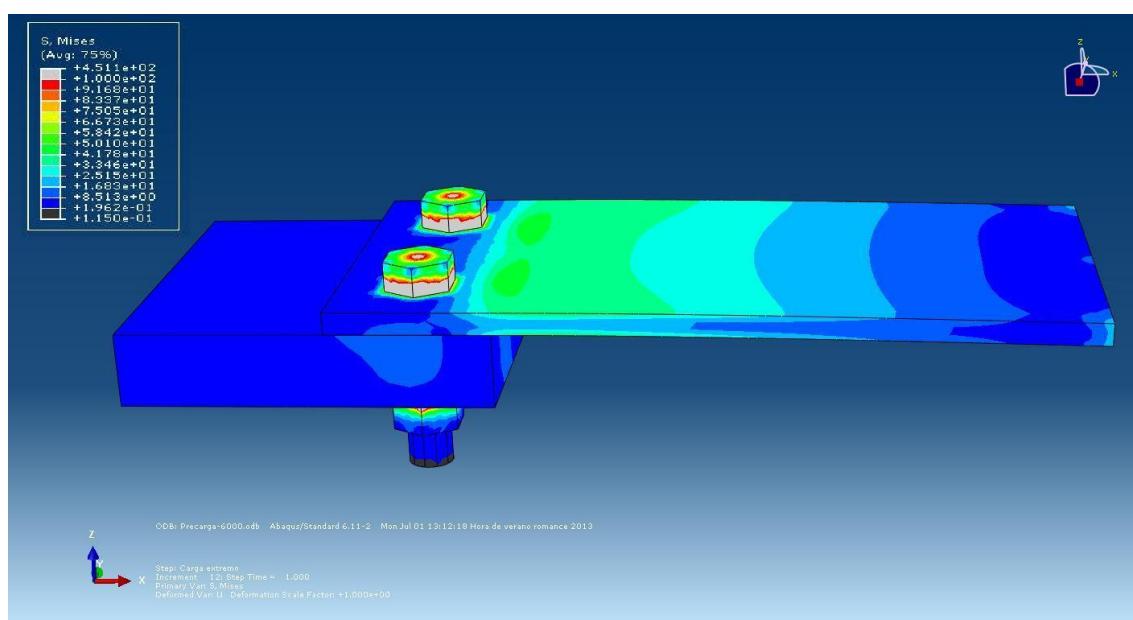
DEFORMACIONES



(39)

6000 N

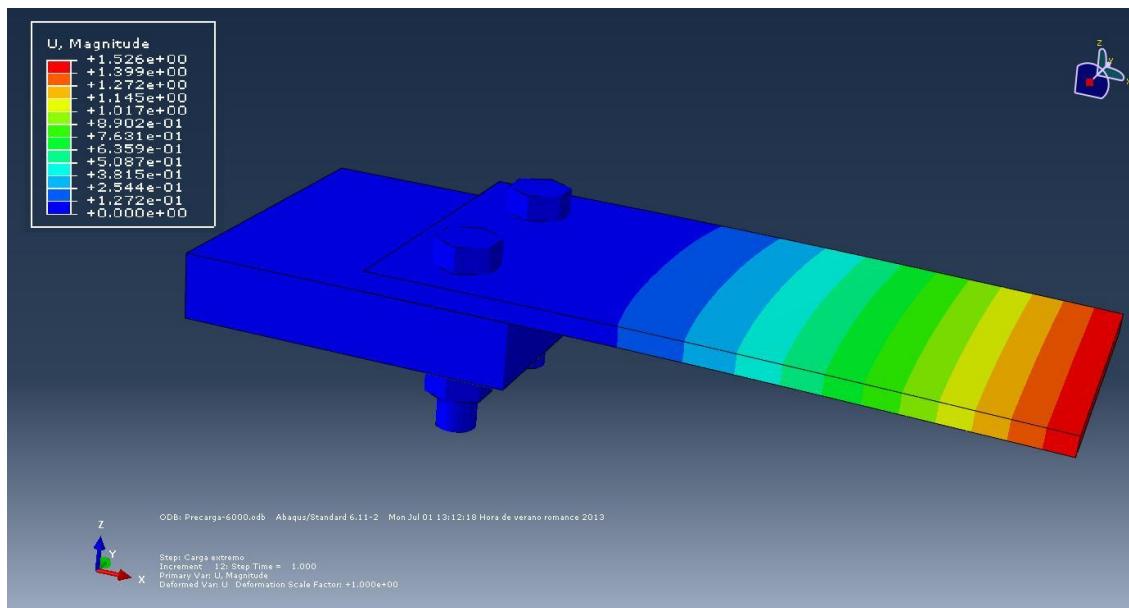
TENSIONES



(40)



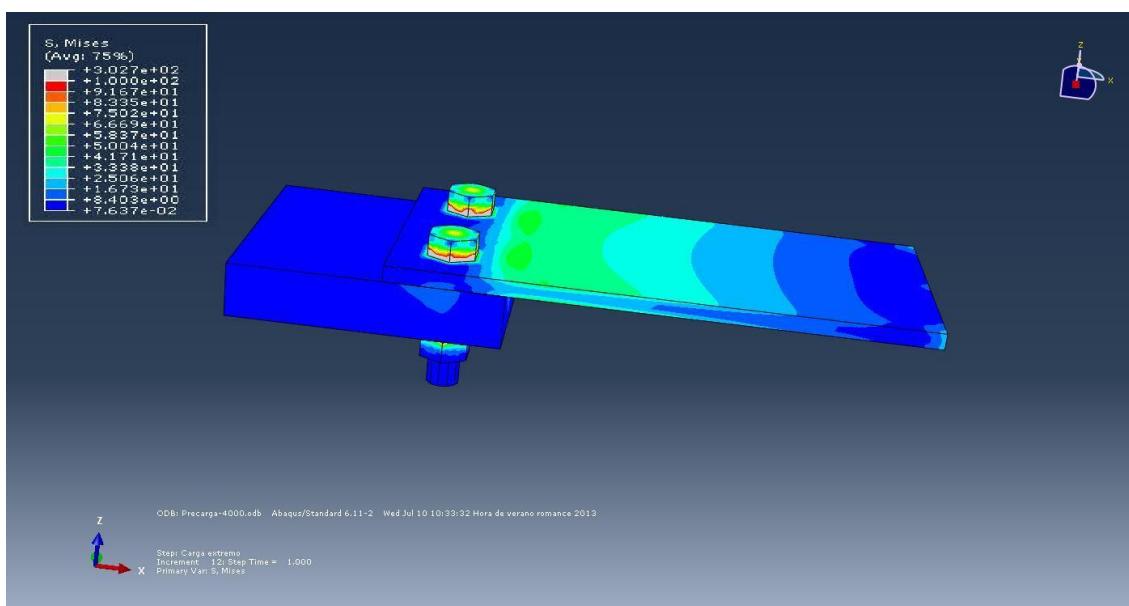
DEFORMACIONES



(41)

4000 N

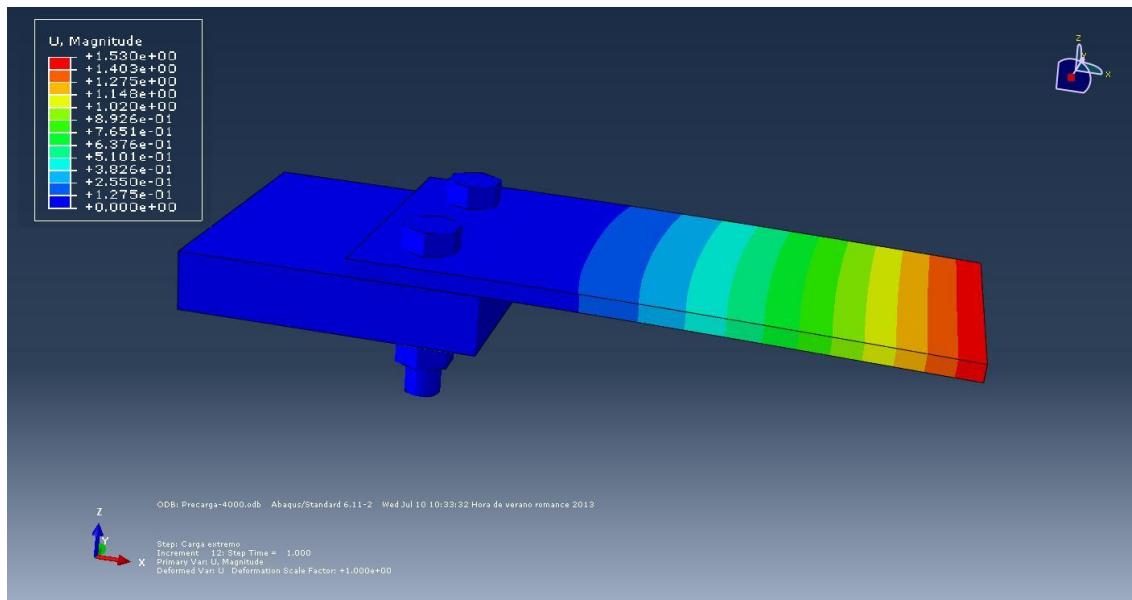
TENSIONES



(42)



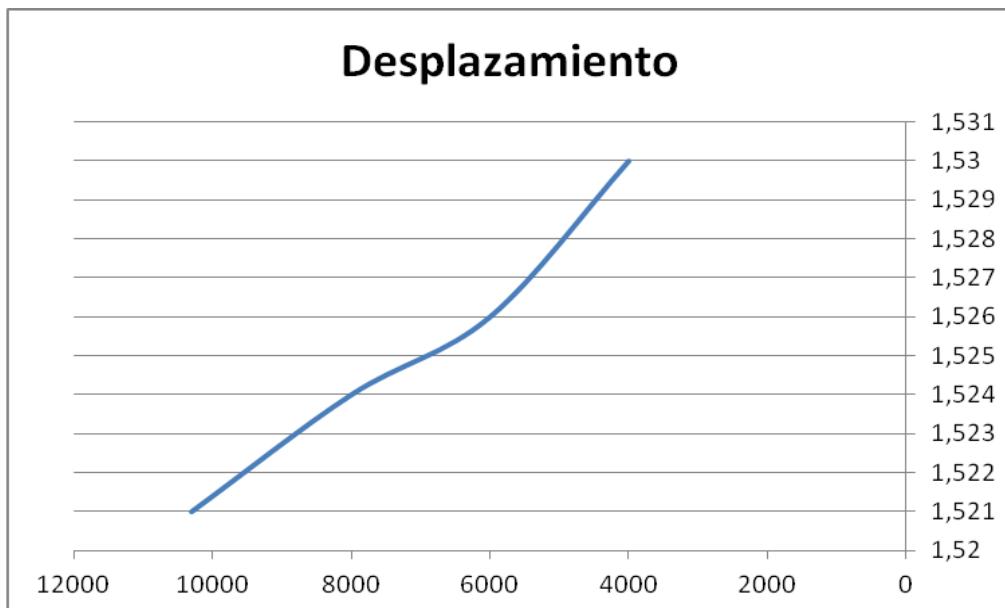
DEFORMACIONES



(43)

Una primera valoración que se puede realizar viendo las imágenes es que si nos fijamos en las fotos de las deformaciones, siempre se deforma la pieza por el mismo lugar y con una variación de magnitud pequeña.

Nos fijaremos principalmente en las deformaciones máximas, debido a que las mínimas no nos proporcionan ninguna información relevante. En primer lugar, se puede apreciar que aunque la disminución de la deformación sea mínima, es notable la gran importancia que tiene la fuerza ejercida por la precarga de los tornillos a la hora de contrarrestar el desplazamiento sufrido por una fuerza en un extremo.



Al ver el gráfico anterior –imagen 44-, notamos que el desplazamiento que se produce en el conjunto conforme la precarga de los tornillos va disminuyendo.

Esto sucede debido a que se va aflojando la unión, por lo que el juego entre las dos láminas será mayor. Por este motivo, al ejercer menos fuerza entre ellas y estar menos unidas, la fuerza ejercida en el extremo tendrá más influencia sobre el conjunto, por lo que sufrirá un aumento en el desplazamiento cuanto menor sea la precarga de los tornillos.

El motivo de que la deformación se produzca siempre en el mismo lugar es debido a que la *Lámina 1*, en este caso la lámina inferior, no termina su longitud justamente en los tornillos, sino que continúa unos milímetros pegada a la *Lámina 2*, por lo que la primera hace de tope en el desplazamiento; por dicho motivo, se prolonga en la lámina superior, el lugar donde se inicia la deformación.

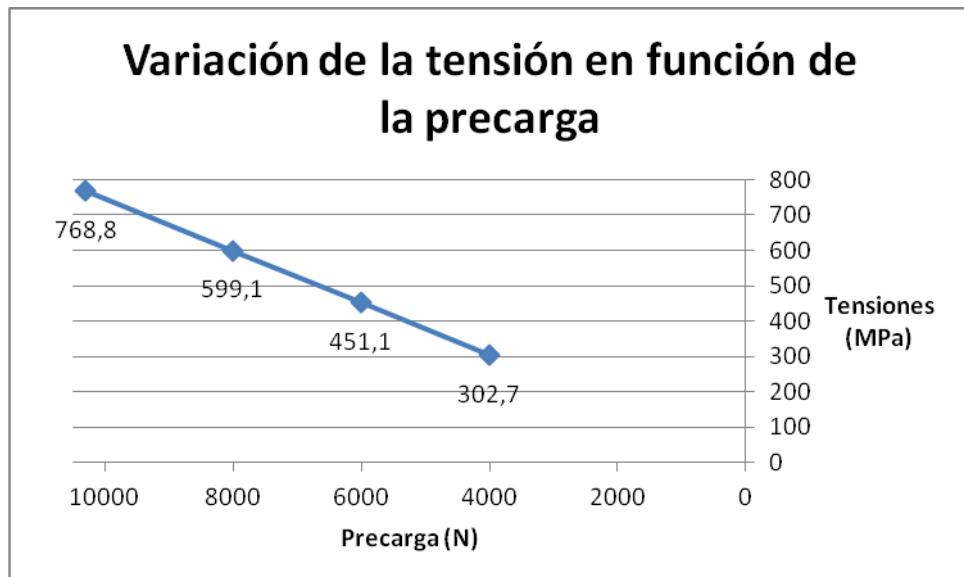


Al igual que hemos hecho con las deformaciones, vamos a realizar un breve comentario, a nivel general, de las imágenes adjuntadas de las tensiones; para después poder llevar a cabo un estudio más completo de las diferentes zonas en las que podemos apreciar que la pieza sufre un mayor número de concentración de tensiones.

Para comenzar el análisis general de las tensiones, inicialmente nos fijaremos en los colores de las imágenes, siendo el azul el color con menos tensión y el gris el de mayor tensión.

A simple vista, todas las imágenes tienen los mismos colores y sufren las tensiones en los mismos lugares, apareciendo una variación mínima a nivel gráfico; pero si nos fijamos en la leyenda, se puede observar una gran variación en las tensiones máximas pasando de 768.8 MPa con 10300 N de precarga a 302.7 MPa con una precarga de 4.000 N.

En la siguiente gráfica –imagen 45- se puede observar cómo van disminuyendo las tensiones en función de la precarga a la que está sometida la pieza:



(45)



Como se puede apreciar en la gráfica, ésta va disminuyendo linealmente, lo cual es lógico debido a que la precarga también disminuye de una manera lineal.

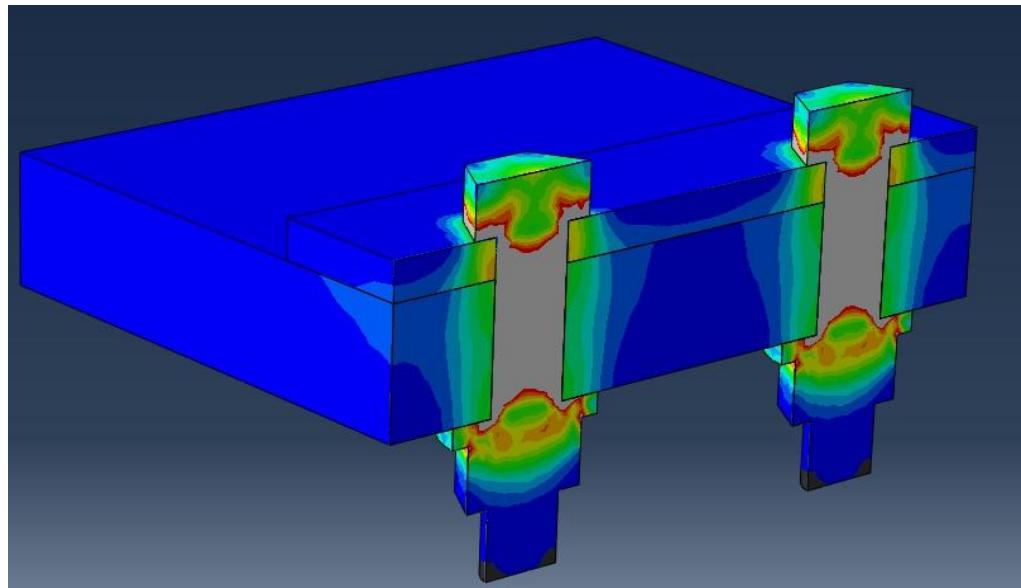
Una vez realizado el estudio de todas las tensiones a nivel general, nos vamos a centrar en profundizar en las zonas en las que existe un mayor número de concentración de tensiones; además de en aquellas que consideramos importantes:

- El tornillo en su conjunto –tornillo, tuerca y arandela-.
- La zona coincidente de la *Lámina 1* con la *Lámina 2*.
- La *Lámina 2*.

Para abordar este estudio, vamos a observar las distintas partes mencionadas anteriormente y las compararemos unas con otras según la precarga a la que han sido sometidas.

Es decir, no se va a realizar un análisis completo de la pieza en función de la precarga, sino que en función de la precarga se irá viendo el comportamiento que adopta la pieza.

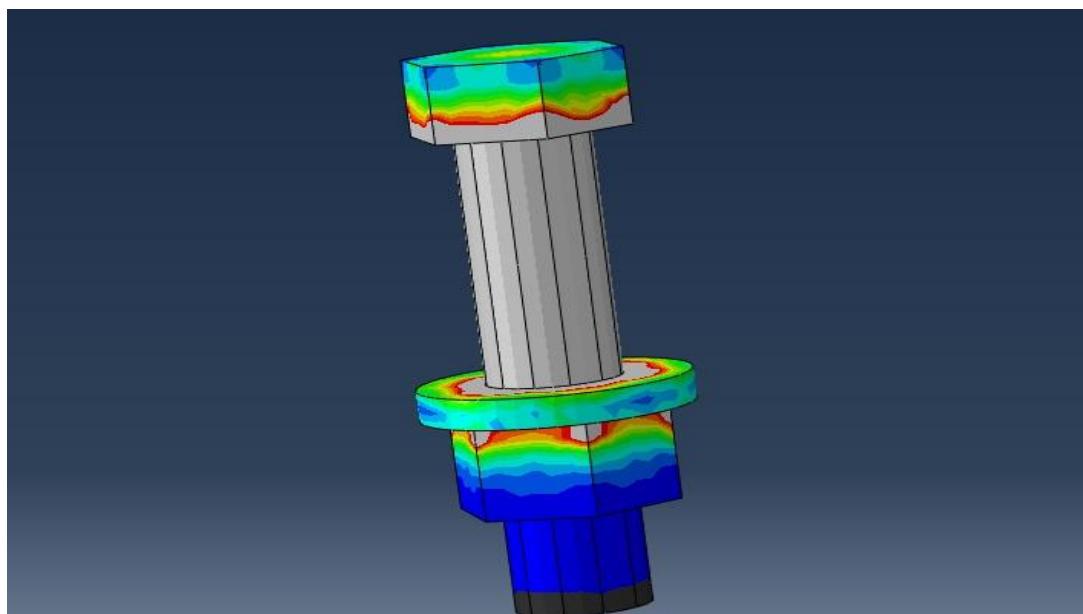
Gráficamente, vamos a poder observar dónde se encuentran las mayores tensiones en la pieza –imagen 46-, independientemente de la precarga; y así, de esta forma, descubriremos donde se encuentran dichas tensiones:



(46)

5.1 Tornillo

Para evaluar el tornillo en todo su conjunto, es decir, junto con la tuerca y la arandela; es necesario observar individualmente el tornillo para ver donde concurren las tensiones máximas –imagen 47-.



(47)



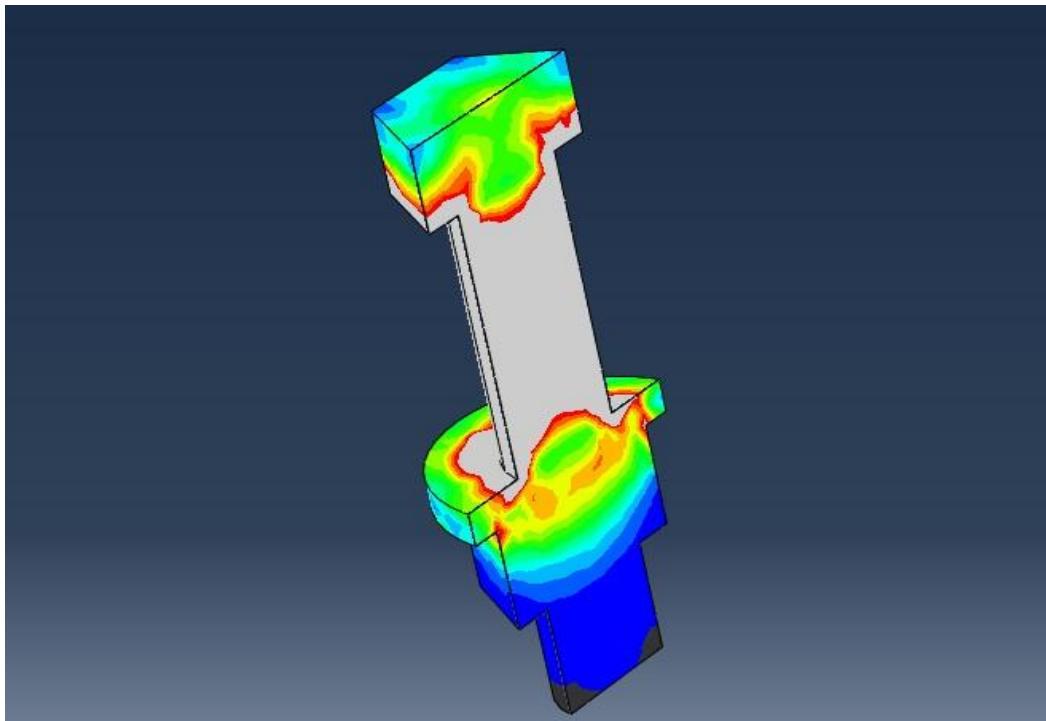
Podemos apreciar en la imagen anterior, que las mayores concentraciones se van a encontrar en el cilindro central, en la cabeza hexagonal del tornillo, en la arandela –tanto en su parte superior como en la inferior- y en la parte coincidente de la tuerca con la arandela.

En un principio, lo visto en la imagen anterior es lógico, debido a que el tornillo está sometido a una precarga inicial, y dicha precarga está situada en el centro del mismo, por lo que se expandirán a lo largo de éste originando las máximas tensiones mencionadas.

Por otro lado, también existe la misma magnitud tanto en la cabeza hexagonal del tornillo como en la arandela y la tuerca; esto se produce debido a una fuerza involuntaria pero existente, llamada *contacto*.

Dicho contacto lo que produce es que cuanto mayor sea la precarga en el centro del tornillo, mayor será dicha fuerza, ya que la carga en el centro del tornillo debe ser contrarrestada para que se cumpla la ley de *Newton* de acción-reacción; puesto que la precarga es una fuerza de tracción, mientras que la fuerza en los contactos de las piezas nombradas es de compresión.

Para comprobar que internamente también se cumple lo dicho con anterioridad, es necesario fragmentar la pieza, para justificar que todas las tensiones están distribuidas de forma análoga en todo el tornillo –imagen 48-, así como en la en la cabeza del tornillo, la arandela, y la parte superior de la tuerca:



(48)

En este caso, no es necesario poner la variación de las tensiones debido a que son las mismas tensiones con las que está realizada la tabla adjuntada, ya que hablábamos de tensiones máximas, y en este caso, dichas tensiones se encuentran en el tornillo.

5.2 Zona coincidente Lámina 1 con Lámina 2

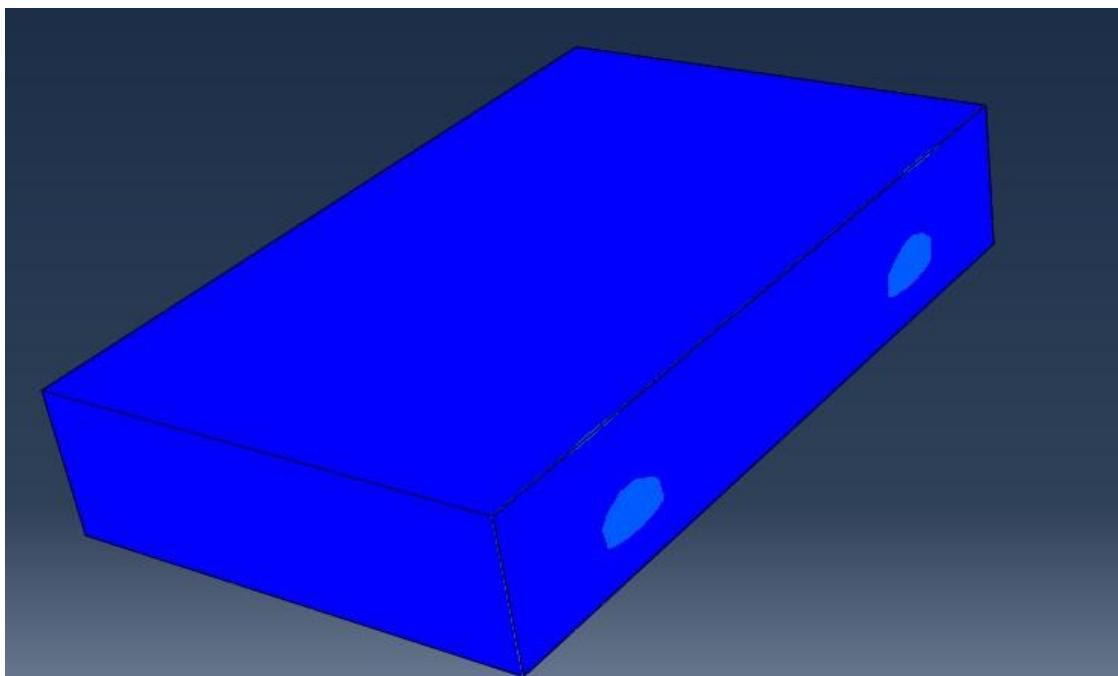
Para iniciar el estudio de esta zona, en primer lugar vamos a explicar el porqué de su selección como método de análisis.

Esta sección, presenta la característica de que concurren dos láminas que están unidas mediante dos tornillos; que estén unidas significa que habrá rozamiento entre ellas y por tanto, habrá tensiones; y que existan tornillos para conseguir dicha unión quiere decir que aparecerán unas cargas extras, y por consiguiente, nuevas tensiones.



Para comenzar el análisis, vamos a comentar brevemente cómo lo vamos a llevar a cabo; inicialmente haremos un estudio de la *Lámina 1*, viendo las distintas características de las que se compone, y lo concluiremos realizando la investigación de la *Lámina 2* individualmente.

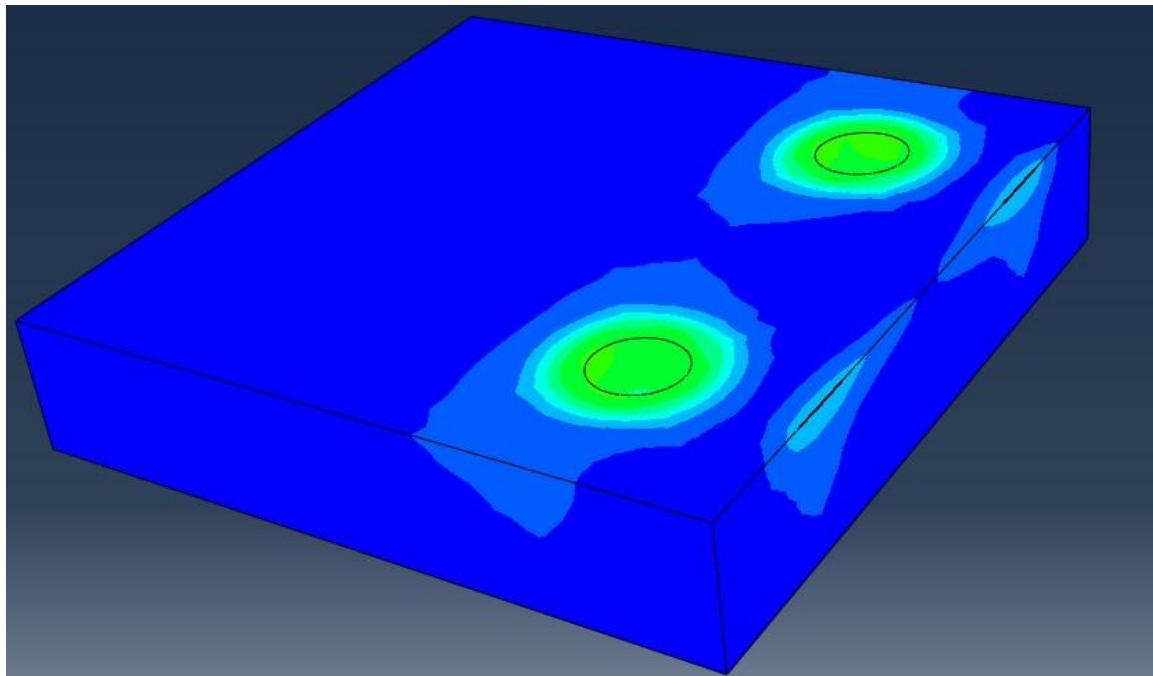
La siguiente imagen -49- de la *Lámina 1* está cortada por el milímetro 42:



(49)

En ella se puede observar que empiezan a aparecer las primeras tensiones, las cuales son debidas a las precargas de los tornillos.

El punto de máxima tensión de esta pieza se encuentra en la zona en la que aparecen los tornillos, es decir, en los agujeros creados –imagen 50-. Esto se produce debido a que la mayor carga que vamos a introducir en todo el conjunto es la precarga de los tornillos, y ésta se va a expandir por todas las piezas que lo rodean.



(50)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, los colores más destacados y que resaltan son los verdes de los orificios –en el que el color azul indica una menor tensión y el verde una mayor–.

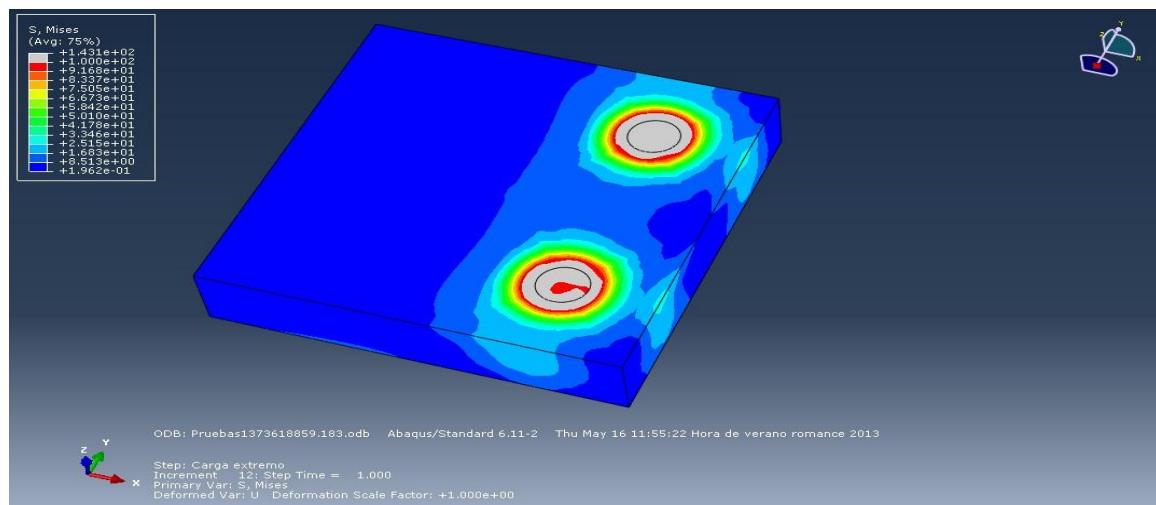
También es necesario comentar las tensiones que aparecen en el extremo derecho de la pieza. Dichas tensiones son producidas por la *Lámina 2*, puesto que el esfuerzo que sufre es a flexión en dirección vertical descendente, y ese punto resaltado en esta pieza es el límite que prorrogará el inicio del desplazamiento.

Un dato muy importante que debe ser explicado es el de la magnitud de las tensiones, ya que gráficamente es muy visual ver dónde se encuentran las mayores, pero a diferencia de lo que nos pasaba con los tornillos, en este caso no estamos hablando de las tensiones máximas de todo el conjunto, sino que esta lámina dispone de unas tensiones máximas diferentes.



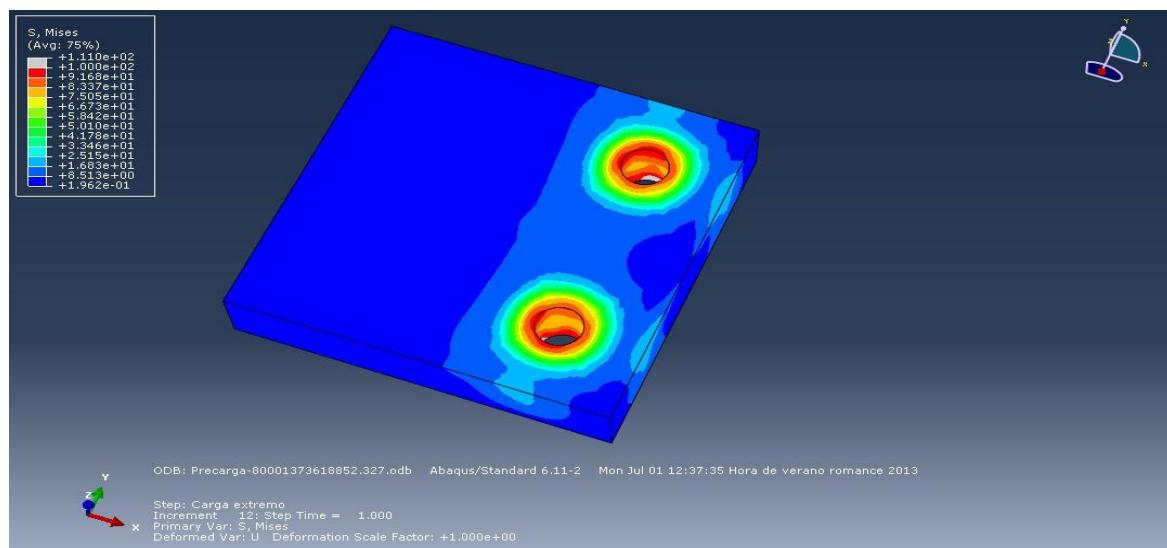
A continuación vamos a comprobar la variación de las tensiones que se producen, mediante la visión de las distintas imágenes de dicha pieza con las distintas precargas introducidas.

10300 N

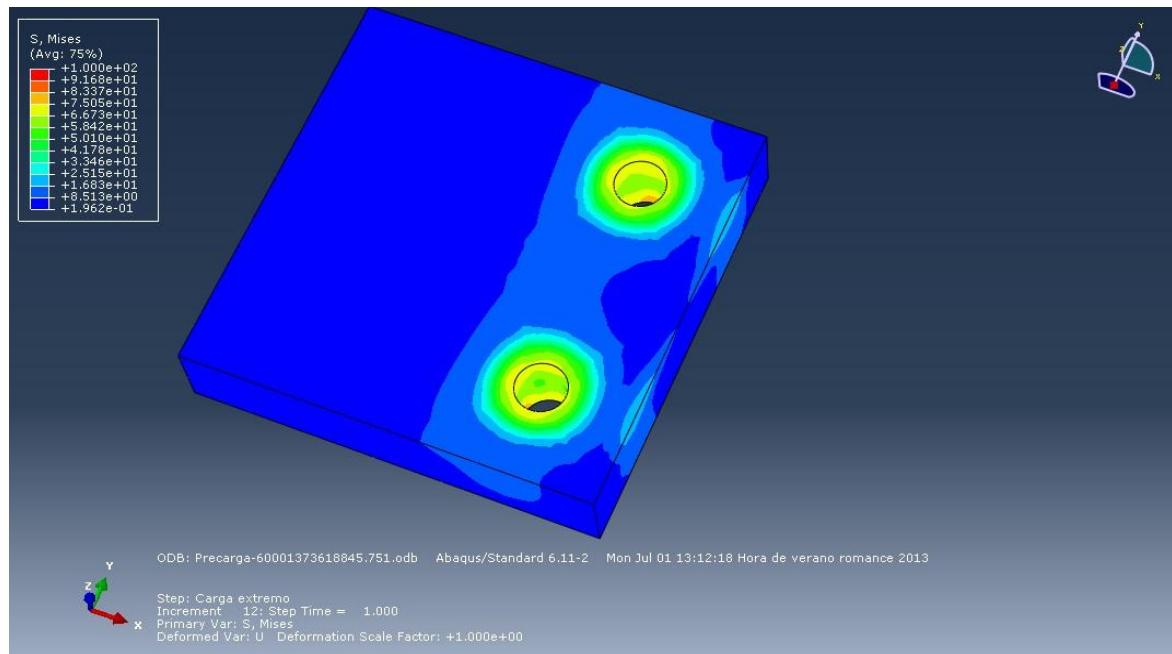


(51)

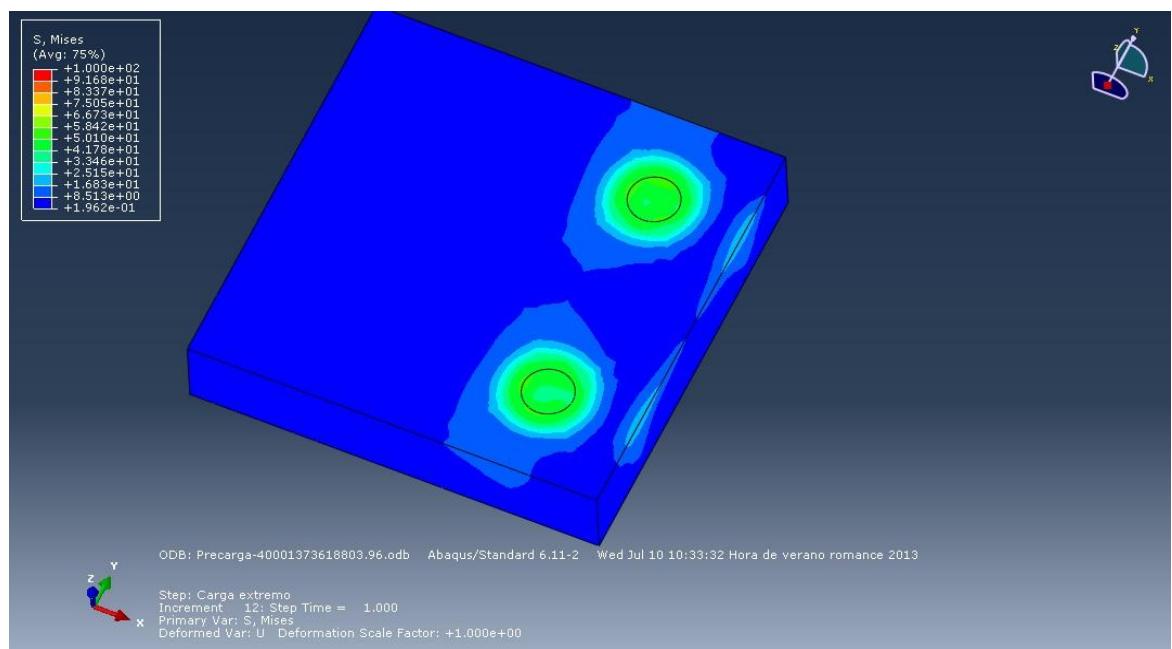
8000 N



(52)

6000 N

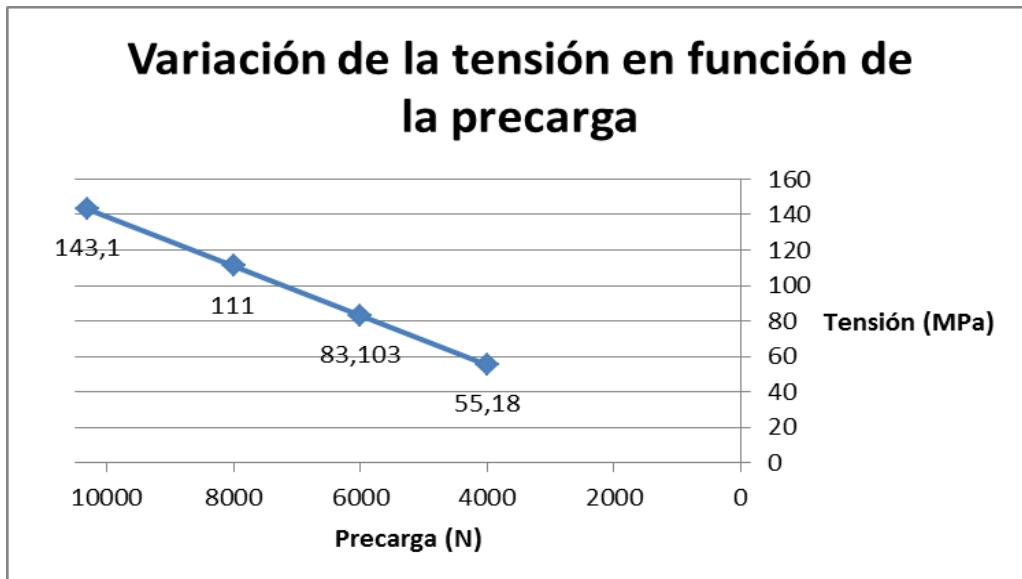
(53)

4000 N

(54)



Con las siguiente gráfica –imagen 55- se puede observar cómo va disminuyendo la concentración de tensiones en función de la precarga utilizada:



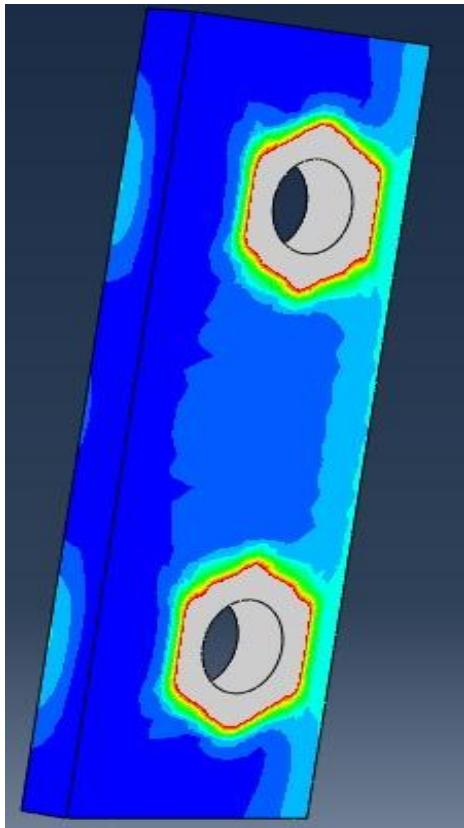
(55)

El descenso que sufren las diferentes tensiones es lineal, pero se puede comprobar que no existe una gran diferencia entre las tensiones máximas ya que la diferencia entre la precarga de 10.500 N y de 4.000 N no llega a los 100 MPa.

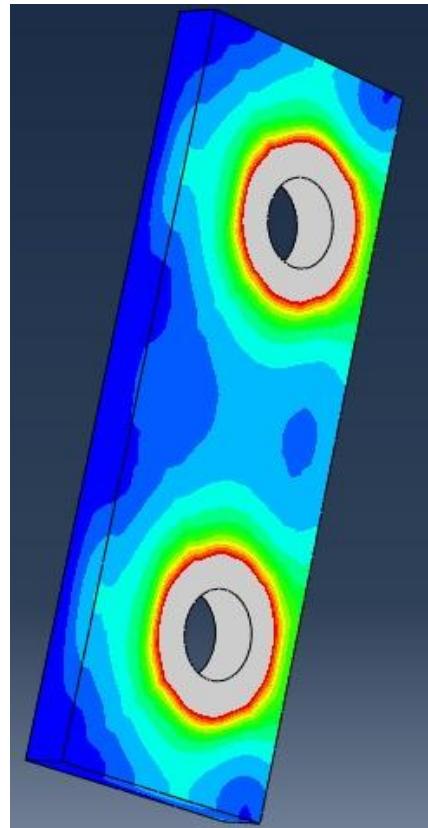
5.3 Lámina 2

A continuación vamos a proceder a realizar el estudio de la *Lámina 2*; y con todo lo explicado anteriormente en la memoria nos podemos hacer una idea de dónde y cómo pueden estar las tensiones.

En primer lugar, voy a mostrar dónde comienzan las tensiones; y una vez que sepamos su lugar podremos sacar la conclusión de qué es debida a la tensión aparecida.



(56)

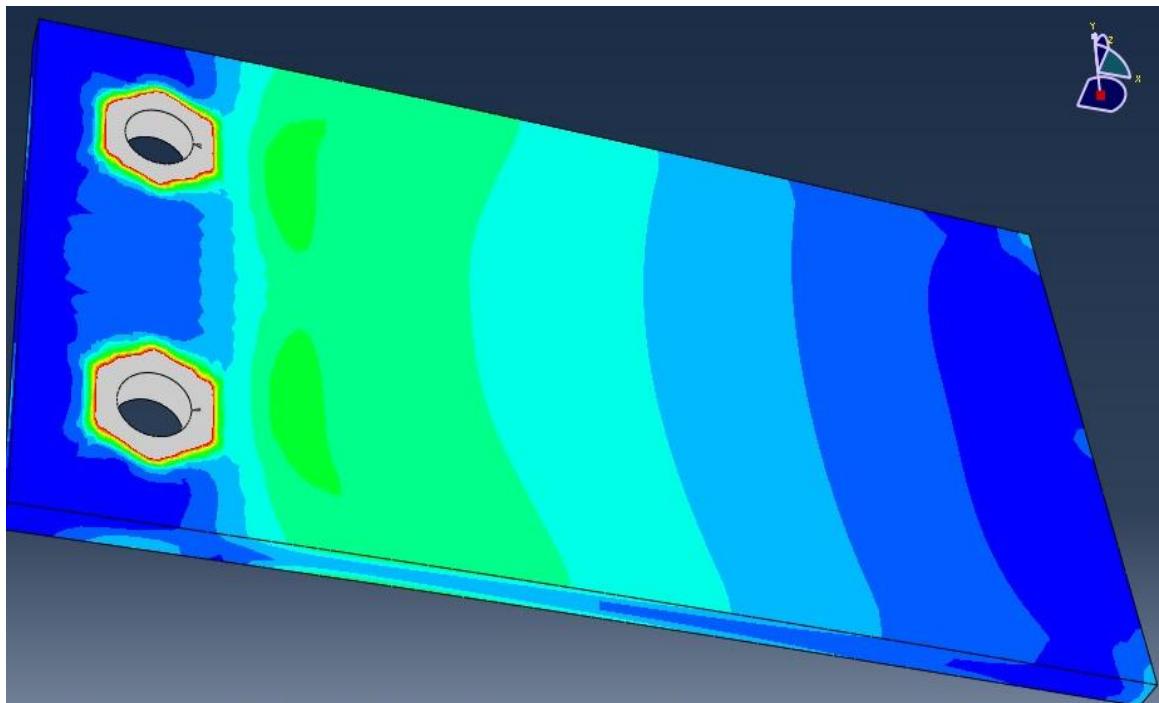


(57)

La primera imagen –56– es la cara superficial de la lámina, la cual está sometida a altas tensiones; pero si nos fijamos en la cara lateral mostrada, aparecen tensiones en su zona inferior, lo que nos hace pensar que la cara inferior de la pieza va a estar sometida a más tensiones que la superior. Para corroborarlo disponemos de la segunda imagen –57–, en la que podemos apreciar que hay mayores tensiones.

La gran cantidad de colores que aparecen en la imagen, indica que en la parte inferior significa que la aparición de las tensiones en esta lámina no es debido sólo a la acción de los tornillos, sino que también aparece por la existencia de la *Lámina 1*, la fuerza de unión que ejerce el tornillo entre ellas y el contacto.

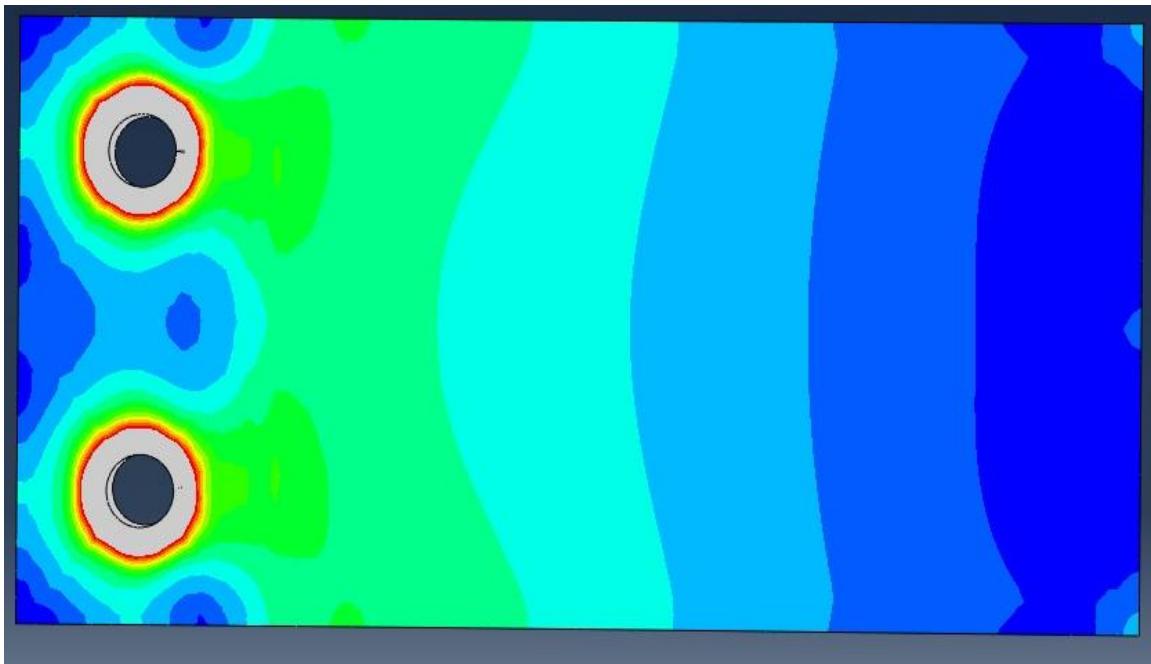
Ahora vamos a profundizar en la pieza –imagen 58- para descubrir dónde se encuentran las tensiones máximas y así poder deducir a qué son debidas.



(58)

En este caso, hemos escogido la cara superior de la lámina, aunque la cara inferior tenga mayores tensiones; las tensiones máximas se van a encontrar en los mismos lugares tanto por arriba como por abajo, ya que aparecen en los agujeros creados para los tornillos. Esto es lógico, ya que el contacto entre las dos láminas nos está generando una serie de tensiones altas, pero la mayor carga a la que está sometida la pieza es a la de los tornillos, la cual actúa y se expande a lo largo de todo el orificio, generando de esta manera las tensiones máximas.

Además de las tensiones máximas ya comentadas, es necesario explicar alguna concentración de tensiones que aparecen y estudiar el porqué se produce dicha tensión. Para ello, adjunto la imagen 59:



(59)

En primer lugar hay que comentar que esta imagen se corresponde con la cara inferior de la lámina, porque ya hemos dicho anteriormente que en este lugar es donde encontramos un mayor número de tensiones.

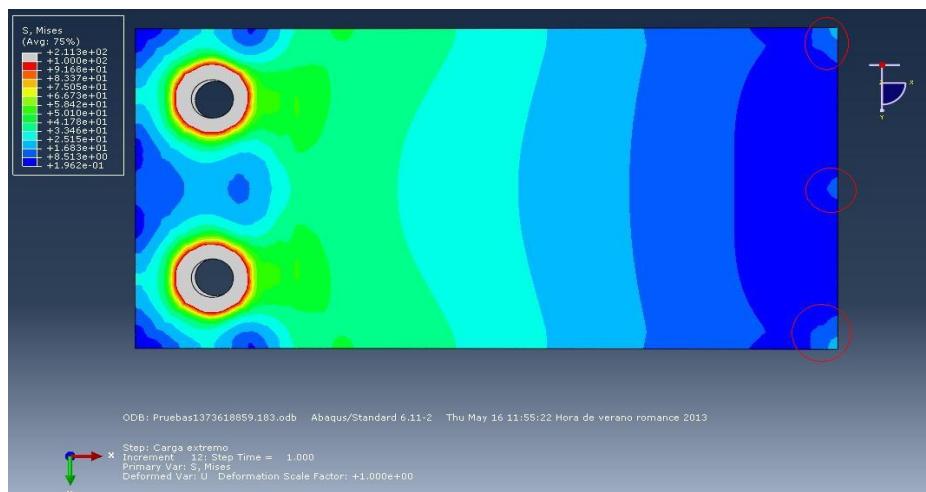
Si la analizamos de izquierda a derecha, podremos ver como las primeras tensiones que aparecen, además de las de los agujeros, que ya han sido comentadas previamente a este apartado; son las que aparecen desde el extremo derecho del agujero hasta el final de la pieza en este eje.

Para explicar la imagen, comenzaremos comentando que el color azul oscuro representa las zonas de menor tensión, mientras que el gris muestra las de mayor tensión.

Podemos comprobar como una vez que hemos superado los orificios, la pieza va adquiriendo diferentes tonalidades de colores, disminuyendo de esta manera la concentración de tensiones. Esto se produce por la propagación de las tensiones desde el orificio hacia el resto de la pieza, hasta que finalmente en la zona final de la pieza las tensiones son mínimas.



Por otro lado, observamos cómo en el extremo de la lámina, donde las tensiones ya casi han desaparecido, hay unos colores claros puntuales en zonas concretas. Si comparamos dichas zonas con la imagen adjuntada -60- de las cargas, podremos comprobar y ratificar que esas tensiones que aparecen son debido a las cargas que sufre la pieza en el extremo.

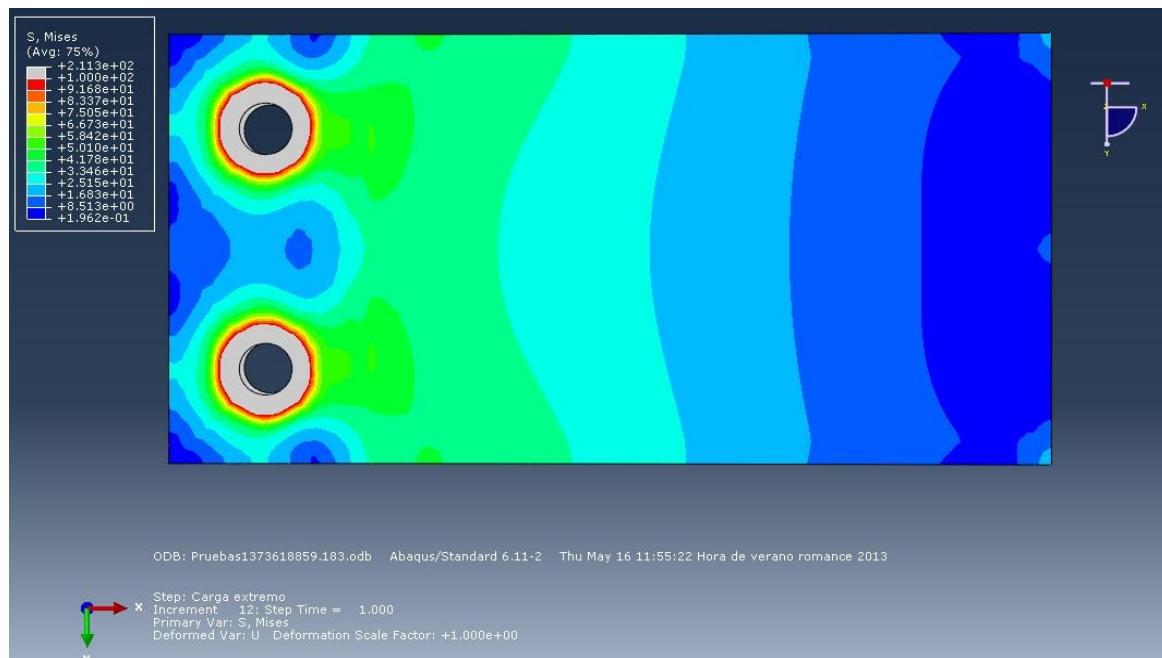


(60)

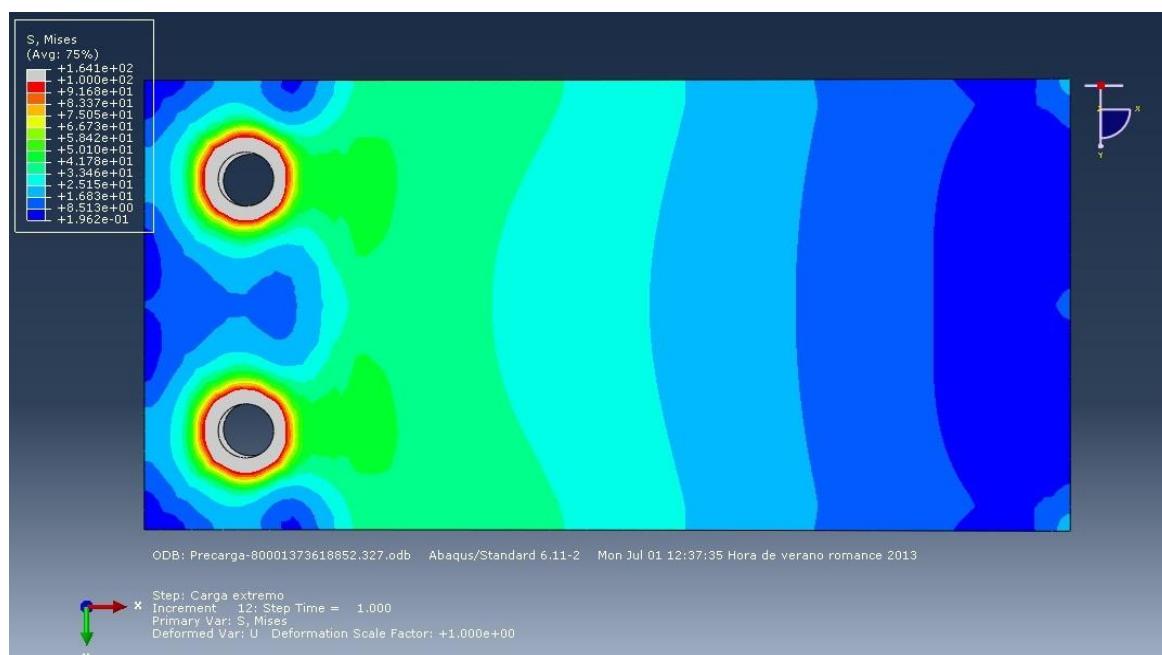
Seguidamente, hay otra zona muy importante que es necesario comentar, que es aquella que se encuentra justo a la derecha de cada agujero. Como se puede apreciar, mientras que toda la sección va adquiriendo un color verde claro, hay dos zonas que mantienen el color verde intenso; esta zona es en la que finaliza la *Lámina 1*, y por tanto es el lugar de mayor interés para nuestro estudio.

Finalmente nombrar que no existe la misma concentración de tensiones en toda la sección, ya que los tornillos ejercen una fuerza extra que hace que a la hora de que la pieza flecte, sufren más las zonas alineadas con los tornillos que el resto de la sección.

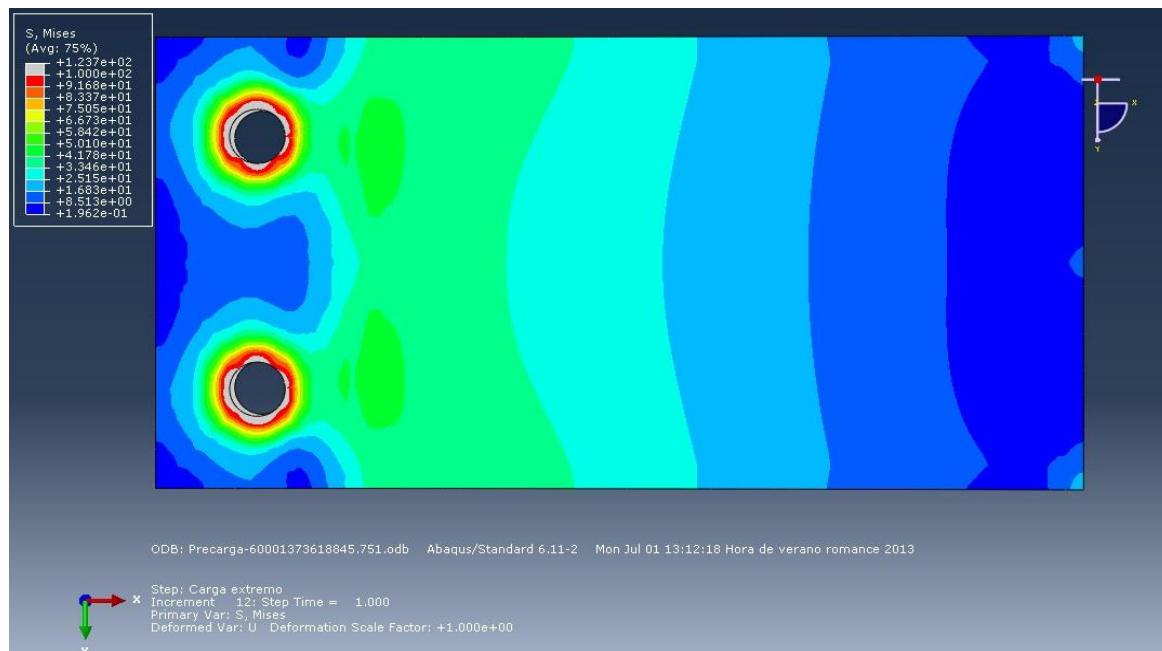
Las siguientes imágenes que presentamos, verifican gráficamente cómo varían las tensiones en la pieza; para ello, añadiremos imágenes de la cara inferior de la lámina, ya que, como hemos mencionado antes, esta zona dispone de un mayor número de tensiones.

10300 N

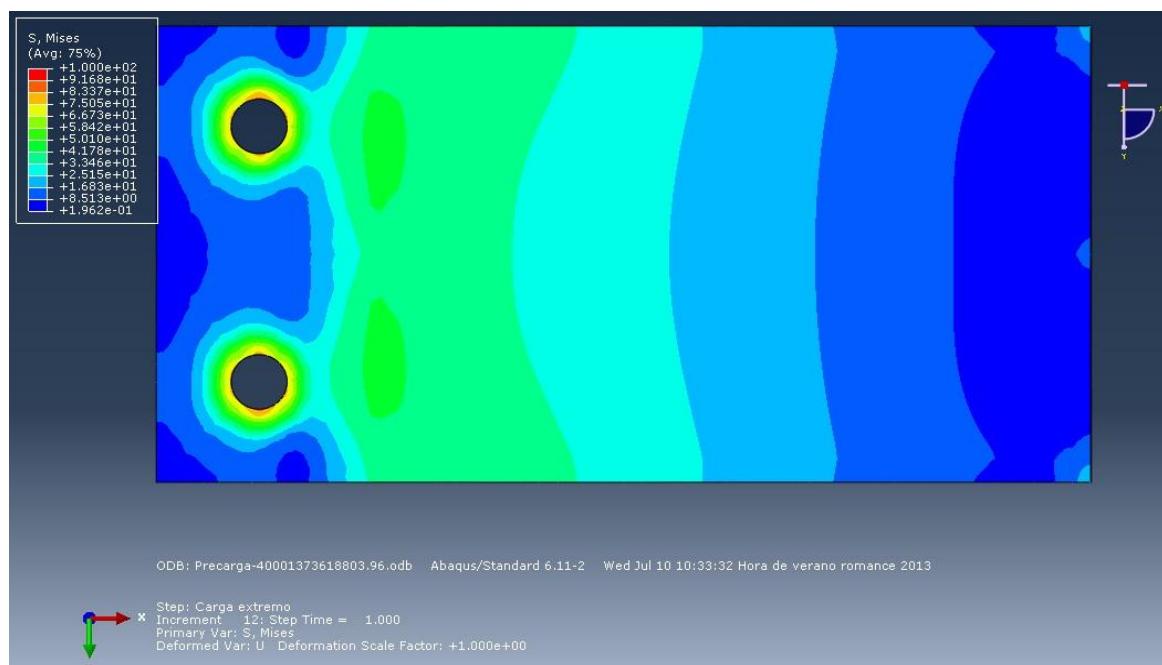
(61)

8000 N

(62)

6000 N

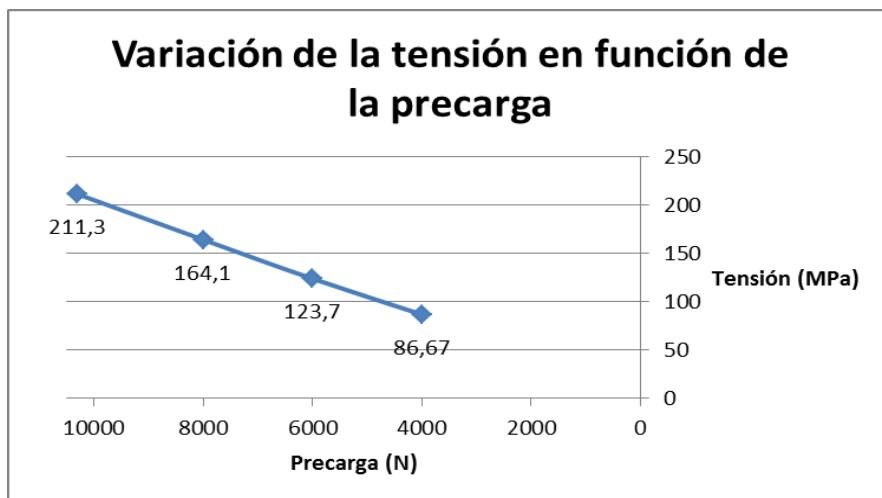
(63)

4000 N

(64)



Al igual que nos pasaba con la lámina anterior, ésta no dispone de las tensiones máximas de todo el conjunto, sino que tiene unas tensiones máximas propias inferiores. Para saber cómo varían las tensiones máximas en función de las cargas a las que hemos sometido al conjunto, adjunto el siguiente gráfico –imagen 65–:



(65)

Como se puede apreciar la tensión va disminuyendo linealmente y la diferencia entre máximos en función de la precarga es considerablemente mayor que en la otra lámina, puesto que en esta lámina la diferencia supera los 120 MPa.



6. CONCLUSIONES

La primera conclusión a la que llegamos con los resultados obtenidos es que la pieza se deforma visualmente poco, pero entrando en detalle en estas deformaciones se va notando la gran importancia de estas deformaciones.

Dicha deformación irá aumentando en función de que la precarga vaya disminuyendo, puesto que la unión entre las láminas se supone inicialmente inamovible, por lo tanto, si partimos desde ese supuesto en el que en dicha sección el desplazamiento es nulo, se prorrogará a lo largo de las láminas, especialmente de la Lámina 2, haciéndola más rígida y firme, y por lo tanto, disminuyendo el desplazamiento.

Otra conclusión que se obtiene, es que la pieza sufre el desplazamiento debido a la fuerza vertical descendente en el extremo, ya que la lámina se encuentra en voladizo y la fuerza ejercida le produce una flexión.

Hemos observado durante toda la explicación de la evaluación que, pese a que la precarga en los tornillos es alrededor de unas cien veces mayor –en el caso de la mayor precarga-, no consigue que la unión atornillada quede perfectamente unida sin desplazarse. Esto es debido a la geometría de la pieza y a la posición de las láminas; ya que por muy poca carga que haya en el extremo, siempre se va a deformar, puesto que al estar en voladizo y a tanta distancia de los tornillos y de la otra lámina, facilita dicha deformación.



Finalmente, para terminar con las conclusiones, es necesario comentar que si comparamos las concentraciones de tensiones que aparecen en las piezas, se ve con claridad que el lugar donde más aparecen es en los tornillos, debido a los motivos explicados anteriormente. Pero, por otro lado, a la hora de examinar y comparar las láminas entre sí, se aprecia que la *Lámina 2* sufre mayores tensiones que la primera; esto se produce porque dicha lámina sufre una deformación, lo que provoca que las tensiones que aparecen en contacto con la otra lámina, aumenten.



7. BIBLIOGRAFÍA

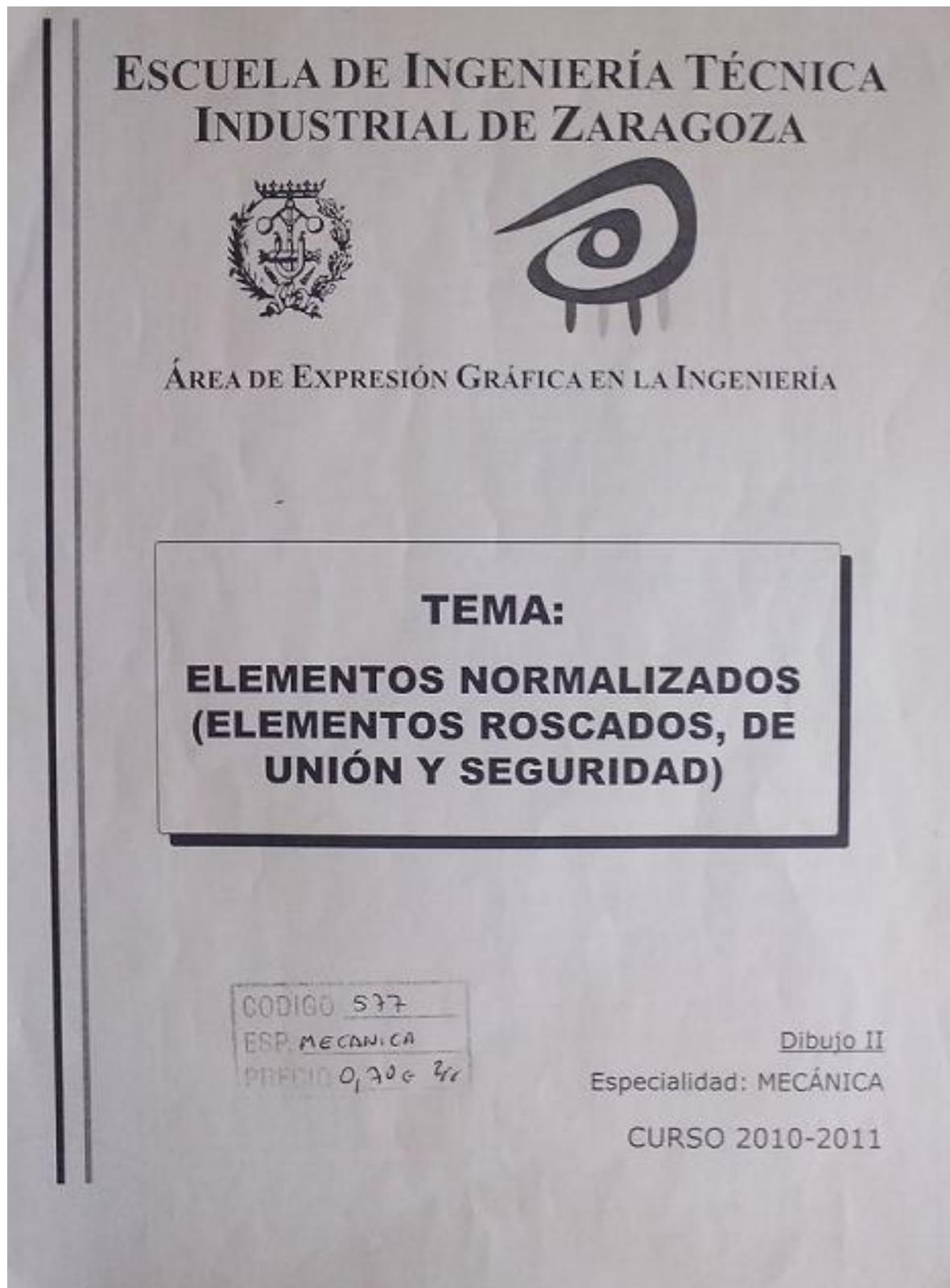
HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, COP. (2002): *Abaqus : release notes : versión 6.3.* Farmington Hills, Estados Unidos.

HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, COP. (2002): *Abaqus/Standard user's manual : versión 6.3.* Farmington Hills, Estados Unidos.

BARBERO, ENRIQUE; SINC (SERIVIO DE INFORMACIÓN Y NOTICIAS CIENTÍFICAS), UC3M (2011): *Tecnologías: tecnología e ingeniería mecánicas.* Madrid.

ZAYAS FIGUERAS, ENRIQUE; MARTÍNEZ MIRALLES, JORDI (2008): *Tecnologías de fabricación y tecnologías de máquinas.* Barcelona.

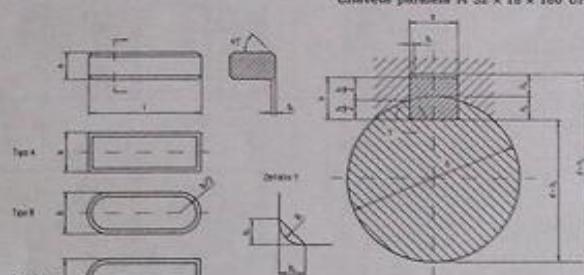
8. ANEXOS



CHAVETAS PARALELAS

Serie normal

Esta norma establece las medidas y tolerancias de las chavetas paralelas, de sección cuadrada o rectangular, utilizadas en mecánica general, así como las de los chavetones en que se apoyan.



Medidas en mm

Sección $b \times h$	Ancho b		Altura h		Chaveta h_1		Longitud (l)	
	Nominal	Tolerancia $\pm t$	Nominal	Tolerancia (1)	Mínimo	Máximo	de	a
2 x 2	2	0	2	0	0,26	0,25	6	20
3 x 3	3	-0,025	3	-0,025	0,26	0,25	6	36
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	6	45
5 x 5	5	-0,030	5	-0,030	0,26	0,40	10	56
6 x 6	6	-0,030	6	-0,030	0,26	0,40	14	70
(8 x 7)	8	0	7	0	0,35	0,40	18	90
10 x 8	10	-0,036	8	0	0,40	0,60	22	110
12 x 8	12	-0,036	6	-0,036	0,43	0,60	28	140
14 x 8	14	0	9	-0,036	0,45	0,60	36	150
16 x 10	16	-0,043	10	0	0,45	0,60	45	180
18 x 11	18	-0,043	11	0	0,40	0,60	50	200
20 x 12	20	-0,043	12	0	0,00	0,60	56	220
22 x 14	22	0	14	0	0,00	0,60	63	250
25 x 14	25	-0,062	14	-0,110	0,00	0,60	70	280
28 x 15	28	-0,062	15	0	0,00	0,60	80	300
32 x 18	32	-0,062	18	0	0,00	0,60	90	360
36 x 20	36	0	20	0	1,00	1,25	100	400
40 x 22	40	-0,062	22	0	1,00	1,20	—	—
45 x 25	45	-0,062	25	-0,130	1,00	1,20	—	—
50 x 28	50	-0,062	28	0	1,00	1,30	—	—
56 x 32	56	-0,062	32	0	1,00	2,00	—	—
63 x 32	63	0	32	0	1,60	2,00	—	—
70 x 36	70	-0,074	36	0	1,60	2,00	—	—
80 x 40	80	-0,074	40	0	2,50	3,00	—	—
90 x 45	90	0	45	-0,180	2,50	3,00	—	—
100 x 50	100	-0,087	50	0	2,50	3,00	—	—

(1) Tolerancia sobre la altura h de la chaveta; 0,0 para las de sección cuadrada, y 0,10 para las rectangulares.

(2) Las longitudes recomendadas son: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 150, 180, 200, 220, 250, 280, 300, 350 y 400.

MATERIAL

Generalmente se emplea acero P-114 UNE 36-011 (CR).

Observaciones:

Hay que tener en cuenta las observaciones siguientes:

- Para los ensamblados normales es de aplicación la relación entre el diámetro del eje y la sección de la chaveta.

Se permite el empleo de chavetas de acción más débil si su resistencia es suficiente para el esfuerzo transmitido. En este caso, las profundidades h_1 y h_2 se calculan para mantener las alturas portantes laterales iguales a $h/2$. No se permite el empleo de chavetas de sección más fuerte.

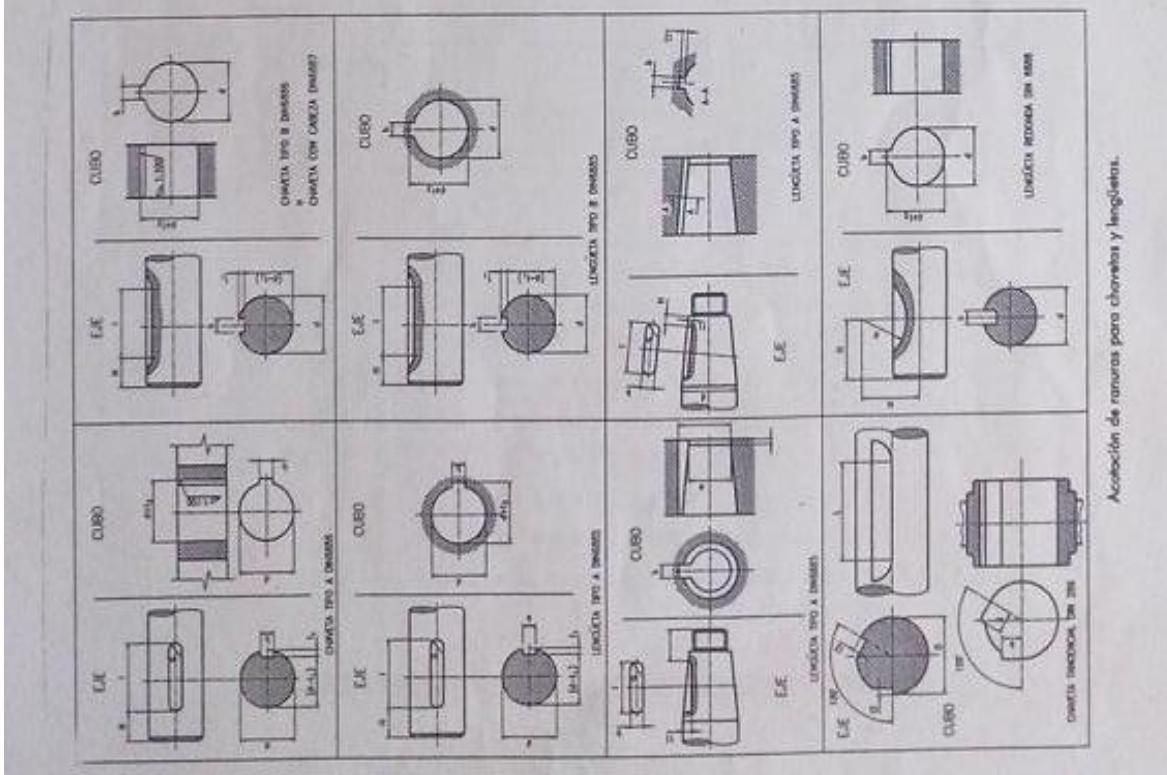
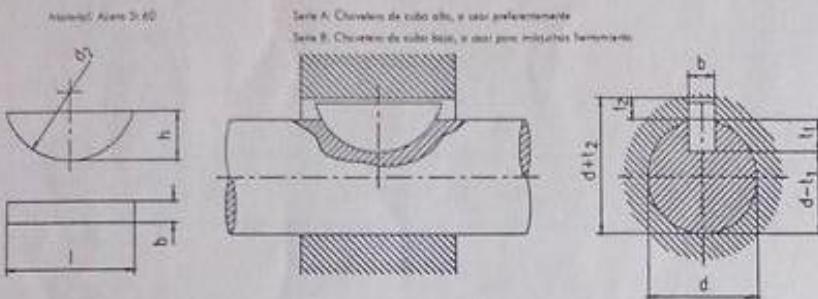
- La profundidad de la profundidad de los tornillos en el eje y en el chasis se efectúa por medida directa, o por medición de los dimensiones $d - h_1 + t_1 + t_2$. Las tolerancias debidas para h_1 y h_2 sirven para estos casos. La tolerancia sobre h_1 , que figura en el cuadro de medidas de diseño, es la tolerancia que se aplica a la profundidad de los tornillos en el eje.

La tolerancia sobre h_1 y h_2 es aproximadamente igual a la calidad N 12 que se obtendrá trabajando como cosa normal la altura h de la chaveta.

Aplicación

Diámetro del eje d	Sección de la chaveta $b \times h$	Chavetas										
		Ancho b				Profundidad						
		Nominal	Tolerancia			Chave de ajuste del ensamblado			Ajustado			
			Libre	D 10	D 12	Eje N 9	Cubo D 10	Eje N 9	Cubo D 12	Nominal	Tolerancia	
6	8	2 x 2	2 x 2	—	—	—	+ 0,025	+ 0,000	- 0,004	- 0,006	1,2	—
8	10	3 x 2	3 x 2	—	—	—	0	+ 0,020	- 0,008	- 0,014	1,8	+ 0,1
10	12	4 x 4	4 x 4	—	—	—	0	+ 0,020	+ 0,079	—	2,5	—
12	17	5 x 5	5 x 5	—	—	—	0	+ 0,020	+ 0,035	- 0,012	3	—
15	22	6 x 6	6 x 6	—	—	—	0	+ 0,020	+ 0,086	— 0,015	4	—
20	32	8 x 7	8 x 7	—	—	—	0	+ 0,020	+ 0,040	- 0,016	5	—
24	36	10 x 6	10 x 6	—	—	—	10	0	+ 0,020	- 0,008	6	—
28	44	12 x 8	12 x 8	—	—	—	12	0	+ 0,020	- 0,018	6,5	—
34	50	14 x 9	14 x 9	—	—	—	14	+ 0,043	+ 0,130	0	5,5	—
38	58	16 x 10	16 x 10	—	—	—	16	0	+ 0,050	- 0,040	6,6	—
58	65	18 x 11	18 x 11	—	—	—	18	0	+ 0,020	- 0,016	6	—
65	75	20 x 12	20 x 12	—	—	—	20	0	+ 0,020	+ 0,120	7,5	—
75	85	22 x 14	22 x 14	—	—	—	22	+ 0,020	+ 0,140	0	9	—
85	95	25 x 14	25 x 14	—	—	—	25	0	+ 0,020	- 0,016	8	—
95	110	28 x 18	28 x 18	—	—	—	28	0	+ 0,020	- 0,020	10	—
110	120	32 x 18	32 x 18	—	—	—	32	0	+ 0,020	- 0,016	11	—
120	150	36 x 20	36 x 20	—	—	—	36	+ 0,060	+ 0,180	0	12	—
155	170	40 x 22	40 x 22	—	—	—	42	0	+ 0,060	- 0,010	13	—
170	200	45 x 25	45 x 25	—	—	—	45	0	+ 0,060	- 0,010	15	—
200	230	50 x 28	50 x 28	—	—	—	50	0	+ 0,060	- 0,010	17	—
230	260	56 x 32	56 x 32	—	—	—	56	+ 0,074	+ 0,220	0	20	+ 0,3
260	290	63 x 32	63 x 32	—	—	—	63	+ 0,074	+ 0,100	- 0,074	22	—
290	330	70 x 36	70 x 36	—	—	—	70	0	+ 0,100	- 0,074	25	—
330	380	80 x 40	80 x 40	—	—	—	80	0	+ 0,100	- 0,074	26	—
380	440	80 x 45	80 x 45	—	—	—	85	+ 0,087	+ 0,260	0	27	—
400	500	100 x 50	100 x 50	—	—	—	100	0	+ 0,120	- 0,087	31	—

Dimensiones de la lengüeta		Lengüetas de ajuste																									
Sectores de la lengüeta		ancho x 1																									
altura x 2		3 4 5 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54																									
ancho		altura x 3																									
Fija ellemento		ancho x 4																									
por su		ancho x 5																									
Dimensiones de la ranura del eje		ancho x 6																									
Ancho x 7		ancho x 7																									
ancho x 8		ancho x 8																									
Profundidad x 9		ancho x 9																									
Dimensiones de la ranura del eje		ancho x 10																									
Ancho x 11		ancho x 11																									
ancho x 12		ancho x 12																									
Profundidad x 13		ancho x 13																									
ancho x 14		ancho x 14																									
Dimensiones de la ranura del eje		ancho x 15																									
Ancho x 16		ancho x 16																									
ancho x 17		ancho x 17																									
Profundidad x 18		ancho x 18																									
ancho x 19		ancho x 19																									
Lengüetas adhesivas		ancho x 20																									
ancho x 21		ancho x 21																									
ancho x 22		ancho x 22																									
ancho x 23		ancho x 23																									
ancho x 24		ancho x 24																									
ancho x 25		ancho x 25																									
ancho x 26		ancho x 26																									
ancho x 27		ancho x 27																									
ancho x 28		ancho x 28																									
ancho x 29		ancho x 29																									
ancho x 30		ancho x 30																									
ancho x 31		ancho x 31																									
ancho x 32		ancho x 32																									
ancho x 33		ancho x 33																									
ancho x 34		ancho x 34																									
ancho x 35		ancho x 35																									
ancho x 36		ancho x 36																									
ancho x 37		ancho x 37																									
ancho x 38		ancho x 38																									
ancho x 39		ancho x 39																									
ancho x 40		ancho x 40																									
ancho x 41		ancho x 41																									
ancho x 42		ancho x 42																									
ancho x 43		ancho x 43																									



Chaveta plana
DIN 10500 met. C43K

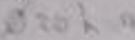


Longitudes
mm. 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000

Longitudes

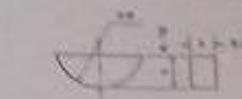


Chaveta media luna
DIN 10500 met. C43K



10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100

Chaveta con cabeza
DIN 2887 met. C43K

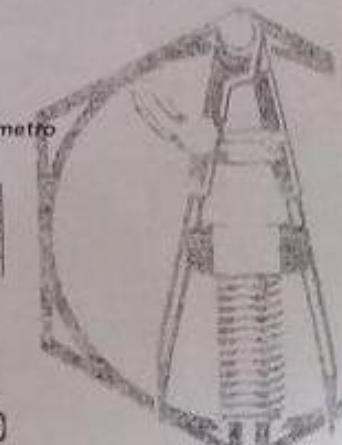


Longitudes
mm. 32 40 48 56 64 72 80 88 96 104 112 120 128 136 144 152 160 168 176 184 192 200 208 216 224 232 240 248 256 264 272 280 288 296 304 312 320 328 336 344 352 360 368 376 384 392 396 400 408 416 424 432 440 448 456 464 472 480 488 496 504 512 520 528 536 544 552 560 568 576 584 592 596 600 608 616 624 632 640 648 656 664 672 680 688 696 704 712 720 728 736 744 752 760 768 776 784 792 796 800 808 816 824 832 840 848 856 864 872 880 888 896 904 912 920 928 936 944 952 960 968 976 984 992 1000

Longitudes
mm. 32 40 48 56 64 72 80 88 96 104 112 120 128 136 144 152 160 168 176 184 192 196 200 208 212 216 220 224 228 232 236 240 244 248 252 256 260 264 268 272 276 280 284 288 292 296 298 300 308 312 316 320 324 328 332 336 340 344 348 352 356 360 364 368 372 376 380 384 388 392 396 398 400 408 412 416 420 424 428 432 436 440 444 448 452 456 460 464 468 472 476 480 484 488 492 496 498 500 508 512 516 520 524 528 532 536 540 544 548 552 556 560 564 568 572 576 580 584 588 592 596 598 600 608 612 616 620 624 628 632 636 640 644 648 652 656 660 664 668 672 676 680 684 688 692 696 698 700 708 712 716 720 724 728 732 736 740 744 748 752 756 760 764 768 772 776 780 784 788 792 796 798 800 808 812 816 820 824 828 832 836 840 844 848 852 856 860 864 868 872 876 880 884 888 892 896 898 900 908 912 916 920 924 928 932 936 940 944 948 952 956 960 964 968 972 976 980 984 988 992 1000

Barra de chaveta calibrada de un metro
DIN 6380 met. C43K

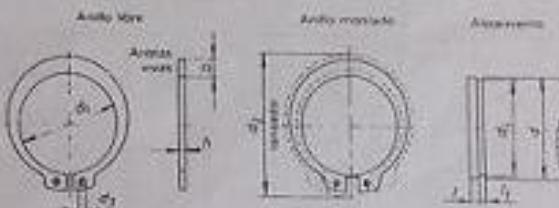
3x3	4x4	5x5	12x8	14x10	18x12	25x14	45x25	53x33	73x36
3x3	3x3	10x8	12x10	14x14	20x12	25x18	50x25	75x36	
4x6	8x5	10x8	12x12	16x16	20x20	30x18	50x20	80x40	
3x5	8x6	10x10	14x8	16x16	22x14	35x20	55x32		
5x6	8x7	12x8	14x9	18x11	24x14	40x22	60x35		



Anillos elásticos de seguridad UNE 26074 2.0

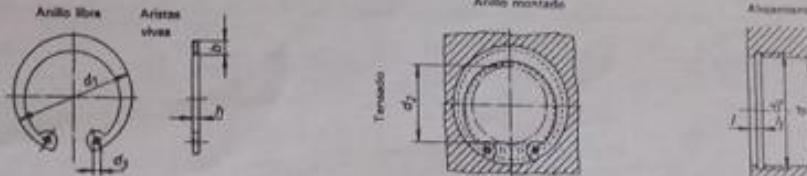
Técnico:

Se incluye con el eje interior.



Designación convencional Diámetro del eje <i>d</i>	Anillo						Alojamiento			Designación convencional Diámetro del eje <i>d</i>	Anillo						Alojamiento		
	<i>h</i> Tol. 0 -0,05	<i>b</i> =	<i>d₁</i> Tol.	<i>d₁</i> +	<i>d₁</i> Tol. + 0,2 0	<i>d₂</i> Tol.	<i>t</i> Tol. + 0,2 0	<i>t</i>	<i>h</i> Tol. 0 -0,05	<i>b</i> =	<i>d₁</i> Tol.	<i>d₁</i> + 0,2 0	<i>d₂</i> Tol.	<i>t</i> Tol. + 0,2 0	<i>t</i>				
12			11,0		19	11,5			50		45,8		64	47					
13			11,5		20	12,4			52		47,8		66	49					
14		1,8	12,9		22	13,4			55		50,8	+ 0,5 0	69	52					
15			13,8		23	14,3			58		53,8		73	55					
16			14,8		24	15,3			60		55,8		75	57					
17			15,7		25	16,2			62		57,8		79	59					
18		2,3	16,7	+ 0,2 0	27	17,2			65		60,8		80	62					
19			17,5		28	18			68		63,5		84	66					
20			18,5		29	19			70		65,5		86	67					
21	1,2	2,5	19,5		30	20			75		70,5		91	72					
22			20,5		31	21			80		74,5		98	75					
24			22,3		34	22,8			85		79,5		103	81,5					
25			23,3		35	23,8			90		84,5	+ 0,5 0	110	86,5					
26			24,3		36	24,8			95		89,5		114	91,5					
28			25,9		38	26,6			100		94,5		120	96,5					
30			27,9		42	28,6			105		99		132	101					
32	1,5		29,5	+ 0,3 0	44	30,3			110		103		136	106					
34			31,5		46	32,3	0		115		108		142	111					
35			32,2		46	33	-0,3		120		113		146	116					
36			33,2		49	34			125		118		152	121					
38			35,2		51	36			130		123	+ 1,0 0	158	126					
40	1,75	4,5	36,5		53	37,5			135		128	0	164	131					
42			38,5		55	39,5			140		133		168	136					
45		4,8	41,5		56	42,5			145		138		176	141					
48			44,5		62	45,5			150		143		180	146					

Anillos elásticos de seguridad UNE 26075



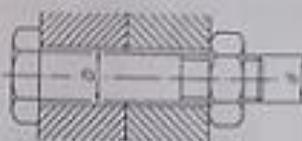
Designación convencional Diámetro del eje <i>d</i>	Anillo					Alojamiento			Designación convencional Diámetro del eje <i>d</i>	Anillo					Alojamiento			
	<i>h</i> <i>Tol.</i> <i>0</i> <i>- 0,05</i>	<i>b</i> <i>=</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃ <i>Tol.</i> <i>+ 0,2</i> <i>0</i>	<i>d</i> ₄	<i>t</i> ₁ <i>Tol.</i> <i>+ 0,2</i> <i>0</i>	<i>t</i>		<i>h</i> <i>Tol.</i> <i>0</i> <i>- 0,05</i>	<i>b</i> <i>=</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃ <i>Tol.</i> <i>+ 0,2</i> <i>0</i>	<i>d</i> ₄	<i>t</i> ₁ <i>Tol.</i> <i>+ 0,2</i> <i>0</i>	<i>t</i>	
12			13,0		4		12,5		50		54,2		37		53			
13		1,6	14,1				13,6		52		56,2		39		55			
14			15,1				14,6		55		59,2		41		58			
15			16,2		7	1,7	15,7		58		62,2		44		61			
16			17,3	0	8		16,8		60		64,2		45		63			
17	1	2	18,3	- 0,2	9		17,8	+ 0,2 0	62		66,3		47	2,5	65			
18			19,3		10		19		65		69,3		50		66	+ 0,5 0		
19		2,4	20,5		11		20		68		72,5		52		71			
20			21,5				21		70	2,5	74,5		55		73		2,8	2,5
22			23,5		13		23		72		76,5		56		75			
24		2,7	25,8		15	2	25,2		75		79,5		57		78			
25			26,8				26,2		78		82,5		62		81			
26			27,8		16		27,2		80		85,5		64	2,5	83,5		2,8	2,5
28			30,1		18		29,4		85		90,5		69		88,5			
30		3	32,1		19		31,4		90	3	95,5		73		93,5		3,3	3
32			34,4	0	21		33,7		95		100,5		77		98,5			
34			36,5		23		35,7		100		105,5		81		104			
35			37,8				37		105		112		84	3	109			
36	1,5	3,5	38,8		25		38	+ 0,3 0	1,7		110	8,5	89		114			
37			39,8		26		39		115		9	122	92		119	+ 0,5 0		
38			40,8				40		120		127		96		124			
40		4	43,5		28	2,5	42,5		125	4	132	0	99		129		4,3	4
42			45,5		30		44,5		130		137	- 1,0	105		134			
45		1,75	48,5		32		47,5		135		142		110		139			
47		4,5	50,5		33		49,5		140		147		115		144			
48			51,5		34		50,5		145		152		120		149			

Ejecuciónes m, mil. 2			
Superficie	en medida	mg (semi-basta)	E (basta)
Profundidad en superficie P_s en μ (máx.)			
Flancos de rosca en tornillos y tuercas Núcleo de rosca en tornillos Superficies de acero	25	25	40
Extremos arrancantes	100		
Núcleo de rosca en tuercas Diámetro exterior de rosca en tornillos	arrancante	arrancante	arrancante
Otras superficies	25		

Sistema de designación de las características métricas de los tornillos DIN 202, Anexo 2

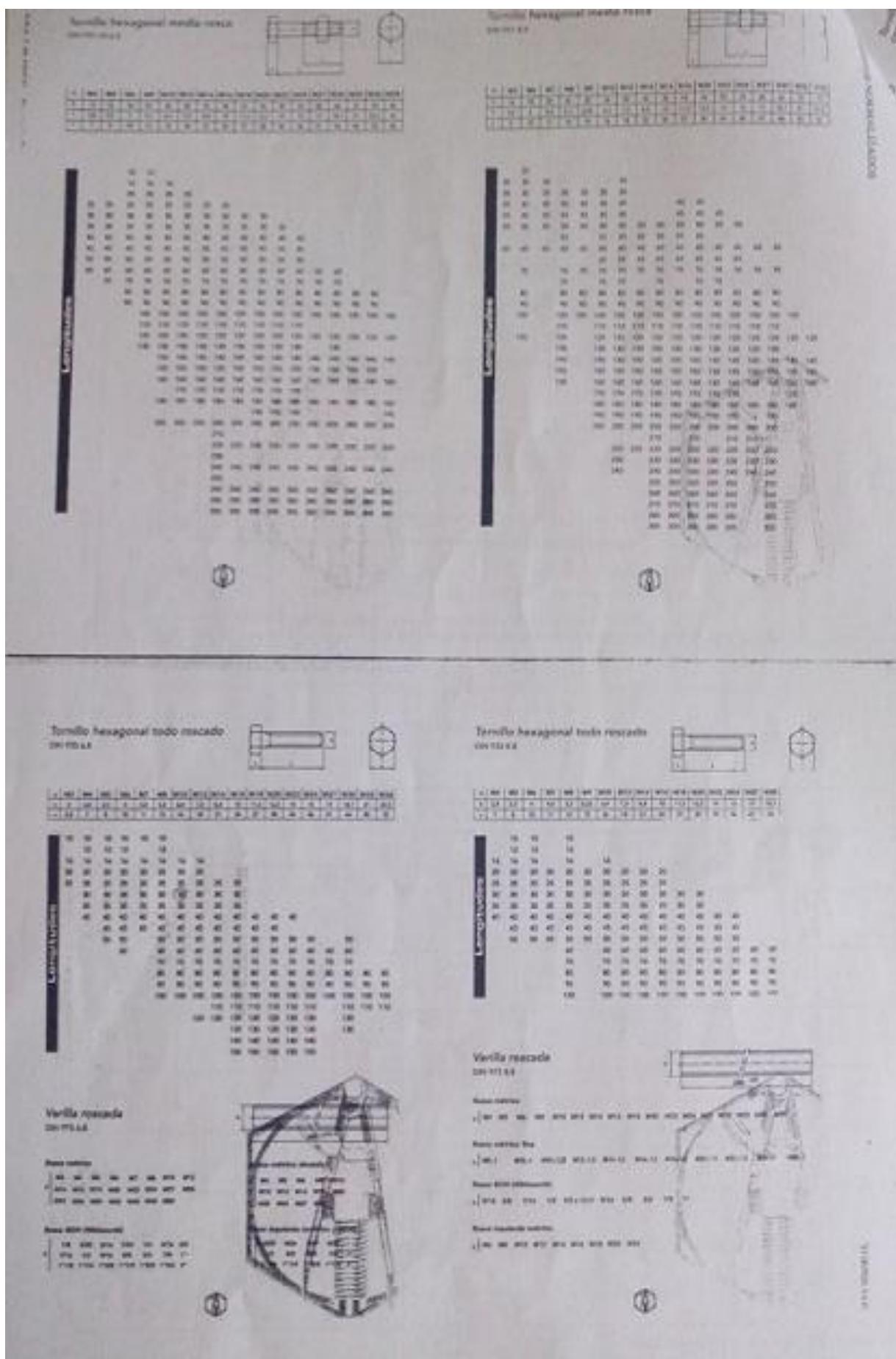
Marcas para tornillos		0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0
Clase	Resistencia a la tensión a tracción (kg/mm²)	34	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
	Cierre de apriete en N/mm²	10	20	32	30	40	30	40	54	64	64	80	90	100	100	100	100	100	100	
Marcas para tuercas		4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

Ajagujeros pasantes para tornillos de rosca métrica UNE 17-058-7G



Diámetro nominal <i>d</i>	Diámetro del agujero <i>D</i> Serie					
	Fina		Media		Basta	
	Medida	Tol. H12	Medida	Tol. H13	Medida	Tol. H14
1,6	1,2		1,8		2	+ 0,250
2	2,2	+ 0,100	2,4	+ 0,140	2,6	0
2,5	2,7	0	2,9	0	3,1	
3	3,2		3,4		3,6	+ 0,300
4	4,3	+ 0,120	4,5	+ 0,160	4,8	0
5	5,3	0	5,5	0	5,8	
6	6,4		6,6		7	+ 0,300
7	7,4	+ 0,150	7,6	+ 0,220	8	0
8	8,4	0	9	0	10	
10	10,5		11		12	
12	13	+ 0,180	14	+ 0,220	15	+ 0,400
14	15	0	16	0	17	0
15	17		18		19	
18	19		20		21	
20	21		22		24	+ 0,625
22	23	+ 0,210	24	+ 0,330	26	0
24	25	0	26	0	28	
27	28		30		32	
30	31		33		35	+ 0,625
33	34	+ 0,250	36	+ 0,390	38	0
37	37	0	39	0	42	
	40		42		45	

Esta norma se aplica con la ISO R 273-1962



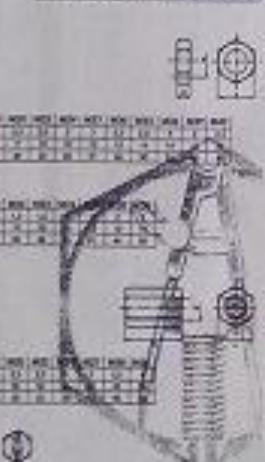


TABLA DE REFERENCIA

	D	B	Referencia		D	B	Referencia		D	B	Referencia
	45	35	7210		45	35	3020		45	35	3020
	50	35	7209		50	35	3029		50	35	3029
	55	40	7210		55	40	3030		55	40	3030
	60	40	7211		60	40	3031		60	40	3031
	65	40	7211		65	40	3031		65	40	3031
	65	40	7211		65	40	3031		65	40	3031
	70	45	7212		70	45	3032		70	45	3032
	75	45	7213		75	45	3033		75	45	3033
	75	45	7213		75	45	3033		75	45	3033
	80	50	7214		80	50	3034		80	50	3034
	85	50	7214		85	50	3034		85	50	3034
	85	50	7214		85	50	3034		85	50	3034
	90	55	7215		90	55	3035		90	55	3035
	95	55	7215		95	55	3035		95	55	3035
	100	60	7216		100	60	3036		100	60	3036
	100	60	7216		100	60	3036		100	60	3036
	105	65	7217		105	65	3037		105	65	3037
	110	65	7217		110	65	3037		110	65	3037
	110	65	7217		110	65	3037		110	65	3037
	115	70	7218		115	70	3038		115	70	3038
	120	70	7218		120	70	3038		120	70	3038
	120	70	7218		120	70	3038		120	70	3038
	125	75	7219		125	75	3039		125	75	3039
	130	75	7219		130	75	3039		130	75	3039
	135	80	7220		135	80	3040		135	80	3040
	140	80	7220		140	80	3040		140	80	3040
	140	80	7220		140	80	3040		140	80	3040
	145	85	7220		145	85	3041		145	85	3041
	150	85	7220		150	85	3041		150	85	3041
	155	90	7221		155	90	3042		155	90	3042
	160	90	7221		160	90	3042		160	90	3042
	165	95	7222		165	95	3043		165	95	3043
	170	95	7222		170	95	3043		170	95	3043
	175	100	7223		175	100	3044		175	100	3044
	180	100	7223		180	100	3044		180	100	3044
	185	105	7224		185	105	3045		185	105	3045
	190	105	7224		190	105	3045		190	105	3045
	195	110	7225		195	110	3046		195	110	3046
	200	110	7225		200	110	3046		200	110	3046
	205	115	7226		205	115	3047		205	115	3047
	210	115	7226		210	115	3047		210	115	3047
	215	120	7227		215	120	3048		215	120	3048
	220	120	7227		220	120	3048		220	120	3048
	225	125	7228		225	125	3049		225	125	3049
	230	125	7228		230	125	3049		230	125	3049
	235	130	7229		235	130	3050		235	130	3050
	240	130	7229		240	130	3050		240	130	3050
	245	135	7230		245	135	3051		245	135	3051
	250	135	7230		250	135	3051		250	135	3051
	255	140	7231		255	140	3052		255	140	3052
	260	140	7231		260	140	3052		260	140	3052
	265	145	7232		265	145	3053		265	145	3053
	270	145	7232		270	145	3053		270	145	3053
	275	150	7233		275	150	3054		275	150	3054
	280	150	7233		280	150	3054		280	150	3054
	285	155	7234		285	155	3055		285	155	3055
	290	155	7234		290	155	3055		290	155	3055
	295	160	7235		295	160	3056		295	160	3056
	300	160	7235		300	160	3056		300	160	3056
	305	165	7236		305	165	3057		305	165	3057
	310	165	7236		310	165	3057		310	165	3057
	315	170	7237		315	170	3058		315	170	3058
	320	170	7237		320	170	3058		320	170	3058
	325	175	7238		325	175	3059		325	175	3059
	330	175	7238		330	175	3059		330	175	3059
	335	180	7239		335	180	3060		335	180	3060
	340	180	7239		340	180	3060		340	180	3060
	345	185	7240		345	185	3061		345	185	3061
	350	185	7240		350	185	3061		350	185	3061
	355	190	7241		355	190	3062		355	190	3062
	360	190	7241		360	190	3062		360	190	3062
	365	195	7242		365	195	3063		365	195	3063
	370	195	7242		370	195	3063		370	195	3063
	375	200	7243		375	200	3064		375	200	3064
	380	200	7243		380	200	3064		380	200	3064
	385	205	7244		385	205	3065		385	205	3065
	390	205	7244		390	205	3065		390	205	3065
	395	210	7245		395	210	3066		395	210	3066
	400	210	7245		400	210	3066		400	210	3066
	405	215	7246		405	215	3067		405	215	3067
	410	215	7246		410	215	3067		410	215	3067
	415	220	7247		415	220	3068		415	220	3068
	420	220	7247		420	220	3068		420	220	3068
	425	225	7248		425	225	3069		425	225	3069
	430	225	7248		430	225	3069		430	225	3069
	435	230	7249		435	230	3070		435	230	3070
	440	230	7249		440	230	3070		440	230	3070
	445	235	7250		445	235	3071		445	235	3071
	450	235	7250		450	235	3071		450	235	3071
	455	240	7251		455	240	3072		455	240	3072
	460	240	7251		460	240	3072		460	240	3072
	465	245	7252		465	245	3073		465	245	3073
	470	245	7252		470	245	3073		470	245	3073
	475	250	7253		475	250	3074		475	250	3074
	480	250	7253		480	250	3074		480	250	3074
	485	255	7254		485	255	3075		485	255	3075
	490	255	7254		490	255	3075		490	255	3075
	495	260	7255		495	260	3076		495	260	3076
	500	260	7255		500	260	3076		500	260	3076
	505	265	7256		505	265	3077		505	265	3077
	510	265	7256		510	265	3077		510	265	3077
	515	270	7257		515	270	3078		515	270	3078
	520	270	7257		520	270	3078		520	270	3078
	525	275	7258		525	275	3079		525	275	3079
	530	275	7258		530	275	3079		530	275	3079
	535	280	7259		535	280	3080		535	280	3080
	540	280	7259		540	280	3080		540	280	3080
	545	285	7260		545	285	3081		545	285	3081
	550	285	7260		550	285	3081		550	285	3081
	555	290	7261		555	290	3082		555	290	3082
	560	290	7261		560	290	3082		560	290	3082
	565	295	7262		565	295	3083		565	295	3083
	570	295	7262		570	295	3083		570	295	3083
	575	300	7263		575	300	3084		575	300	3084
	580	300	7263		580	300	3084		580	300	3084
	585	305	7264		585	305	3085		585	305	3085
	590	305	7264		590	305	3085		590	305	3085
	595	310	7265		595	310	3086		595	310	3086
	600	310	7265		600	310	3086		600	310	3086
	605	315	7266		605	315	3087		605</td		

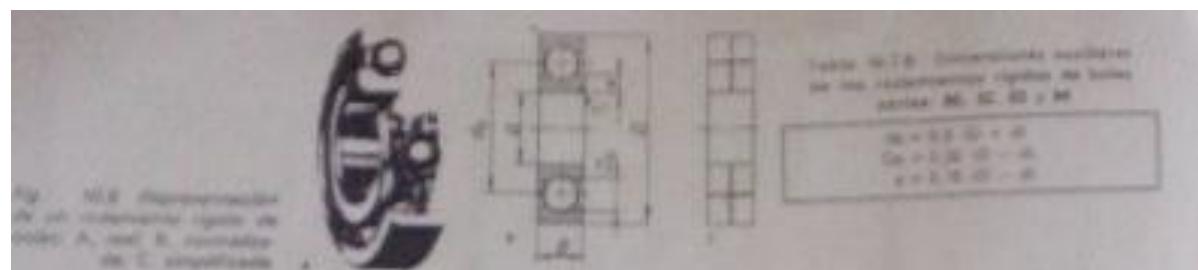


Fig. 10.2.2 Dimensionierung der auf Wälzlagern ruhenden Teile nach DIN 10000. A und B entsprechen den C-Werten.

Tafel 10.2.3 Dimensionierungswerte für die Auflagerweite $d_{\text{A}} \text{ mm}$ bei einer Temperatur $\Delta t = 0^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} d_{\text{A}} &= 0.05 \cdot d_{\text{B}} + 10 \\ d_{\text{A}} &= 0.25 \cdot d_{\text{B}} - 10 \\ d_{\text{A}} &= 2.00 \cdot d_{\text{B}} - 10 \end{aligned}$$

Tafel 10.2.4 Dimensionierungswerte der Achse D_{A} nach DIN 10000

Dimension der auflagernde Teile mit einem Wert	Dimensionen			Dimensionen am Lager		Dimensionen am Lagerende		
	d	D_{A}	x	d_{B}	D_{B}	Spannung durch Druck in N/mm ²	Spannung durch Zug in N/mm ²	Spannung durch Schub in N/mm ²
60.00	10	10	0	10	20	35.000	35.000	10.000
60.01	10	10	0	10	20	25.000	22.000	10.000
60.02	10	10	0	10	20	22.000	20.000	10.000
60.03	10	10	0	10	20	20.000	18.000	10.000
60.04	10	10	0	10	20	18.000	16.000	10.000
60.05	10	10	0	10	20	16.000	14.000	10.000
60.06	10	10	0	10	20	14.000	12.000	10.000
60.07	10	10	0	10	20	12.000	10.000	10.000
60.08	10	10	0	10	20	10.000	8.000	10.000
60.09	10	10	0	10	20	8.000	6.000	10.000
60.10	10	10	0	10	20	6.000	4.000	10.000
60.11	10	10	0	10	20	4.000	2.000	10.000
60.12	10	10	0	10	20	2.000	1.000	4.000
60.13	10	10	0	10	20	1.000	0.500	2.000
60.14	10	10	0	10	20	0.500	0.250	1.000
60.15	10	10	0	10	20	0.250	0.125	0.500
60.16	10	10	0	10	20	0.125	0.0625	0.250
60.17	10	10	0	10	20	0.0625	0.03125	0.125
60.18	10	10	0	10	20	0.03125	0.015625	0.0625

Tafel 10.2.5 Toleranztabelle nach DIN 10000

Dimension der auflagernde Teile	Dimensionen							Toleranz der auflagernden Teile
	d_{A}	D_{A}	x	d_{B}	D_{B}	Δd	ΔD	
KM 0	10	10	0	10	20	0	0	M 0
KM 1	10	10	0	10	20	0.05	0.05	M 1
KM 2	10	10	0	10	20	0.10	0.10	M 2
KM 3	10	10	0	10	20	0.15	0.15	M 3
KM 4	10	10	0	10	20	0.20	0.20	M 4
KM 5	10	10	0	10	20	0.25	0.25	M 5
KM 6	10	10	0	10	20	0.30	0.30	M 6
KM 7	10	10	0	10	20	0.35	0.35	M 7
KM 8	10	10	0	10	20	0.40	0.40	M 8
KM 9	10	10	0	10	20	0.45	0.45	M 9
KM 10	10	10	0	10	20	0.50	0.50	M 10
KM 11	10	10	0	10	20	0.55	0.55	M 11
KM 12	10	10	0	10	20	0.60	0.60	M 12
KM 13	10	10	0	10	20	0.65	0.65	M 13
KM 14	10	10	0	10	20	0.70	0.70	M 14
KM 15	10	10	0	10	20	0.75	0.75	M 15
KM 16	10	10	0	10	20	0.80	0.80	M 16
KM 17	10	10	0	10	20	0.85	0.85	M 17
KM 18	10	10	0	10	20	0.90	0.90	M 18

Tabla 10.46. Arandales de seguridad serie MB

Denominación abreviada	Dimensiones						Tuerca correspondiente
	d	D ₁	D	l mm	r	R	
MB 0	10	21	13,5	1	3	8,5	3 KM 0
MB 1	12	25	17	1	3	10,5	3 KM 1
MB 2	15	28	21	1	4	13,5	4 KM 2
MB 3	17	32	24	1	4	15,5	4 KM 3
MB 4	20	36	26	1	4	18,5	4 KM 4
MB 5	25	42	32	1,25	5	23	5 KM 5
MB 6	30	49	38	1,25	5	27,5	5 KM 6
MB 7	35	57	44	1,25	6	32,5	6 KM 7
MB 8	40	62	50	1,25	6	37,5	6 KM 8
MB 9	45	68	56	1,25	6	42,5	6 KM 9
MB 10	50	74	61	1,25	6	47,5	6 KM 10
MB 11	55	81	67	1,25	6	52,5	7 KM 11
MB 12	60	86	73	1,5	8	57,5	7 KM 12
MB 13	65	92	79	1,5	8	62,5	7 KM 13
MB 14	70	98	85	1,5	8	66,5	8 KM 14
MB 15	75	104	90	1,5	8	71,5	8 KM 15
MB 16	80	112	95	1,75	10	76,5	8 KM 16
MB 17	85	119	102	1,75	10	81,5	8 KM 17
MB 18	90	126	108	1,75	10	86,5	10 KM 18

¹⁾ La medida E puede tomarse como cota mínima del ancho de la ranura en ejes.

Tabla 10.47. Manguitos de montaje serie H2

Denominación abreviada	Dimensiones					Accesorios		Rodamientos correspondientes al manguito de montaje		
	d	d ₁	l mm	D	c mm	Tuerca tensora	Arandela de seguridad			
H 204	20	17	24	32	7	KM 4	MB 4	12 04 K		
H 205	25	20	26	38	8	KM 5	MB 5	12 05 K	202 05 K	
H 206	30	25	27	45	8	KM 6	MB 6	12 06 K	202 06 K	
H 207	35	30	29	52	9	KM 7	MB 7	12 07 K	202 07 K	
H 208	40	35	31	58	10	KM 8	MB 8	12 08 K	202 08 K	
H 209	45	40	33	65	11	KM 9	MB 9	12 09 K	202 09 K	
H 210	50	45	35	70	12	KM 10	MB 10	12 10 K	202 10 K	
H 211	55	50	37	75	12	KM 11	MB 11	12 11 K	202 11 K	
H 212	60	55	38	80	13	KM 12	MB 12	12 12 K	202 12 K	
H 213	65	60	40	85	14	KM 13	MB 13	12 13 K	202 13 K	
H 214	70	65	41	92	14	KM 14	MB 14	12 14 K	202 14 K	
H 215	75	65	43	98	15	KM 15	MB 15	12 15 K	202 15 K	
H 216	80	70	46	105	17	KM 16	MB 16	12 16 K	202 16 K	
H 217	85	75	50	110	18	KM 17	MB 17	12 17 K	202 17 K	
H 218	90	80	52	120	18	KM 18	MB 18	12 18 K	202 18 K	

¹⁾ En la denominación abreviada se incluyen el manguito de montaje, la tuerca y el dispositivo de seguridad.

Tabla 10.2 Anillos de retención de aceite UNE 26077

se entra en el interior y el exterior de la pieza en la parte (anillo) y la parte (almacenamiento)

Designación convencional $d + d_1 + l$	d	d_1	Tol.			Designación convencional $d + d_1 + l$	d	d_1	Tol.			l	$Tol.$ mm ± 0,2
			Anillo	Alojamiento H8	l Tol. mm ± 0,7				Anillo	Alojamiento H8	l Tol. mm ± 0,2		
6 × 22 × 8	6					24 × 50 × 12	24						
7 × 22 × 8	7					25 × 50 × 12	25						
8 × 22 × 8	8	22				26 × 50 × 12	26						
9 × 22 × 8	9					28 × 50 × 12	28						
10 × 22 × 8	10					30 × 50 × 12	30						
8 × 30 × 10	8					32 × 50 × 12	32						
9 × 30 × 10	9					35 × 56 × 12	35						
10 × 30 × 10	10					32 × 56 × 12	32						
11 × 30 × 10	11	30				35 × 56 × 12	35						
12 × 30 × 10	12					38 × 56 × 12	38						
13 × 30 × 10	13					35 × 62 × 12	35						
14 × 30 × 10	14					38 × 62 × 12	38						
11 × 25 × 10	11					40 × 62 × 12	40						
12 × 25 × 10	12					42 × 62 × 12	42						
13 × 25 × 10	13					45 × 62 × 12	45						
14 × 25 × 10	14					40 × 72 × 12	40						
15 × 25 × 10	15					42 × 72 × 12	42						
16 × 25 × 10	16					45 × 72 × 12	45						
17 × 25 × 10	17					48 × 72 × 12	48						
18 × 25 × 10	18					50 × 72 × 12	50						
19 × 25 × 10	19					52 × 72 × 12	52						
20 × 25 × 10	20					48 × 80 × 13	48						
21 × 25 × 10	21					50 × 80 × 13	50						
22 × 25 × 10	22					52 × 80 × 13	52						
19 × 47 × 10	19					55 × 80 × 13	55						
20 × 47 × 10	20					58 × 80 × 13	58						
21 × 47 × 10	21					60 × 80 × 13	60						
22 × 47 × 10	22	47				62 × 80 × 13	62						
24 × 47 × 10	24					65 × 90 × 13	65						
25 × 47 × 10	25					68 × 90 × 13	68						
26 × 47 × 10	26					70 × 90 × 13	70						
28 × 47 × 10	28					62 × 100 × 13	62						
						65 × 100 × 13	65	100					

Designación de un anillo de retención de aceite (retén), tipo normal, para árbol de diámetro $d = 20$ mm, alojamiento de diámetro $d_1 = 40$ mm y ancho 10 mm:

Anillo de retención de aceite 20 × 40 × 10 UNE 26077

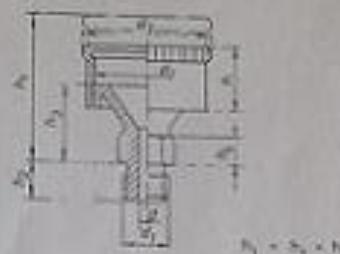
Según DIN sería:

Retén radial A 20 × 40 DIN 6503

siendo A la designación de la ejecución corriente con caja de acero.

El alojamiento para el retén será de calidad H8. Por otro lado, el acabado superficial del árbol variará en función de su velocidad periférica según los valores siguientes:

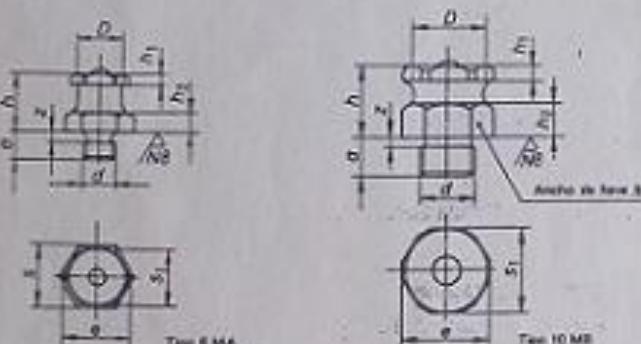
- $v < 4 \text{ m/s}$, rugosidad $R_a = 0,8$
- $4 \text{ m/s} \leq v \leq 8 \text{ m/s}$, rugosidad $R_a = 0,5$
- $v > 8 \text{ m/s}$, rugosidad $R_a = 0,3$



卷之三

Engrasador Stauffer 6 FW apero UNE 18069

Tabla 10.76 Engratadores a presión de cabeza plana UNF 26030



Designación convencional, d	a	D Tol. h 17	e máx.	h	A ₁ Tol. e -0,7	A ₂	z Tol. h 17	s ₁		
6 MA	4,5	7,5	0 - 0,050	10	10	2	3,5	10	0 - 0,000	9
10 MB	6	12,5	0 - 0,110	16,5	12	2,5	6	14	0 - 0,110	14

Engrasador de cabeza plana 5 MA UNE 26.030

Engrasadores hidráulicos

SIM. DIN 71412



Recto

Recto sin rosca

Acodado 45°

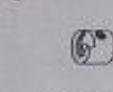
Acodado 90°

Largo

Braza	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37	M38			
Peso	1	1	1	1,25	1	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,75	1,75	2	2	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Base	SAE10	SAE11	SAE12	SAE13	SAE14	SAE15	SAE16	SAE17	SAE18	SAE19	SAE20	SAE21	SAE22	SAE23	SAE24	SAE25	SAE26	SAE27	SAE28	SAE29	SAE30	SAE31	SAE32	SAE33	SAE34	SAE35	SAE36	SAE37	SAE38	SAE39	SAE40	SAE41	SAE42			
Peso	20	24	24	26	26	18	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Engrasadores cabeza planaTecalmit s/nm. DIN 3404
hex. 15 mm

Doble hexágono

Cabeza redonda
ø16 mm
y cabeza redonda
ø22 mmLub.
S/nm. DIN 3405Para maquinaria
industrialStauffer
S/nm. DIN 3411**Boquillas de engrase****Racores rígidos y flexibles**

Hidráulico

Para cabeza plana
diámetro 16 y 22

Punta

Aceiteras

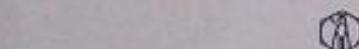
Bombas

Inyectores
valvolinaPistolas
petrolearEquipo
neumáticos

Palanca

Pedal

Grasa, taladrina, barniz de taladrina, lubricantes en spray, etc.

**Cánccamo roscado macho**

DIN 580



Braza mínima	M6	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M32	M33	M34	M35	M36	M37	M38
Base mínima	171	218	212	214	216	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
Carga de trabajo (kg)	140	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
Largo mínimo (mm)	13	17	20,5	20,5	21	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24
Altura (mm)	76	45	53	53	42	42	71	71	90	90	109	109	128	128	147	148	148	148

Cánccamo roscado hembra

DIN 582



Braza mínima	M6	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M26
Base mínima	170	230	240	250	260	270	280	290	300	310
Carga de trabajo (kg)	140	230	240	250	260	270	280	290	300	310
Largo mínimo (mm)	36	45	53	53	42	71	90	109	128	148

Grillete recto

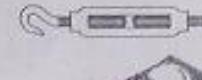
DIN 82101



Braza mínima	58	102	116	156	184	198	218	237	257	276	295
Base mínima	470	650	1000	1600	2000	2500	3100	4000	5000	6000	7000
Carga de trabajo (kg)	25	35	55	85	115	145	175	225	275	325	385
Largo	9,5	13,7	14	16	19	22	25	27	30	34	36
A	28	24	28	32	35	44	48	56	54	76	76
B	40	40	56	66	76	88	96	112	128	152	152

Tensor abierto con cánccamo redondo y gancho

DIN 1480



Braza mínima	376	514	516	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528
Base mínima	75	150	160	200	200	400	500	400	500	500	500	500	500	500
Carga de trabajo (kg)	25	50	100	200	200	400	500	400	500	500	500	500	500	500
Largo total (mm)	110	130	160	190	190	245	260	230	230	230	230	230	230	230
Largo del estante (mm)	70	100	125	170	170	310	310	210	210	210	210	210	210	210

Sujetacables

DIN 741



Braza mínima	376	514	516	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528
Base mínima	4	5	8	10	11	12	14	14	15	19	25	25	31	37
Para cable de	4	5	8	10	11	12	14	14	15	19	25	25	31	37

Guardacables

DIN 6899



Largo de	3/4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Cord. de	3	6	8	9	10	11	12	13	15	17	19	21	23	25