



Universidad de Oviedo

Escuela politécnica de Ingeniería de Gijón

Máster en Ingeniería Mecatrónica



Anexo IV – Cálculo de Esfuerzos

Proyecto: **Sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos.**

Autor: **David Gómez Arias**

Tutor: **Ignacio Álvarez García**

Fecha: **24 de junio de 2018**



## ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Cálculo de esfuerzos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Análisis de la resistencia de la estructura.....	4
2.2. Análisis de los esfuerzos de corte en el taladrado .....	6
2.2.1. Acero inoxidable .....	7
2.2.1.1. Conclusiones .....	10
2.2.2. Acero .....	10
2.2.2.1. Conclusiones .....	14
2.2.3. Aluminio.....	14
2.2.3.1. Conclusiones .....	17
2.2.4. Plástico .....	18
2.2.4.1. Conclusiones .....	21
<b>3. Bibliografía .....</b>	<b>22</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se recogen los resultados obtenidos al analizar la resistencia de la estructura base desarrollada empleando el método de elementos finitos. Como se ha comentado a lo largo de la memoria del proyecto, para el diseño de la estructura que sustenta al resto del prototipo se han empleado perfiles comerciales del fabricante Bosch, concretamente los muy conocidos perfiles de aluminio “Rexroth”. Para garantizar el buen funcionamiento y la precisión necesaria en las operaciones es necesario que la estructura garantice que no se producen deformaciones excesivas.

Además, en una segunda parte del presente documento se analizará el resultado de las fuerzas de corte producidas por el husillo y la herramienta seleccionada sobre la superficie a mecanizar de armarios eléctricos de distintos materiales. Los materiales empleados en los armarios eléctricos serán los comentados anteriormente en la memoria, es decir, acero inoxidable, aluminio o polímero.

Finalmente, para justificar y dotar de mayor veracidad los resultados obtenidos, se contrastarán los que se obtienen empleando el módulo de simulación de Solid Works y los obtenidos empleando el conocido software de simulación ANSYS.

## 2. CÁLCULO DE ESFUERZOS

### 2.1. Análisis de la resistencia de la estructura

Uno de los aspectos más importantes del diseño es la resistencia de la estructura a los propios componentes (husillos, guías lineales, etc.) que la forman. En este apartado se realizará un análisis de la resistencia de la estructura formada por los perfiles del fabricante Bosch Rexroth. Para este ensayo se aplicarán sobre la estructura base los esfuerzos producidos por la presencia de las guías líneas y los husillos. Además, la fuerza de la gravedad también será considerada. En la siguiente imagen (fig. 2.1), se observa la estructura que se ha ensayado.

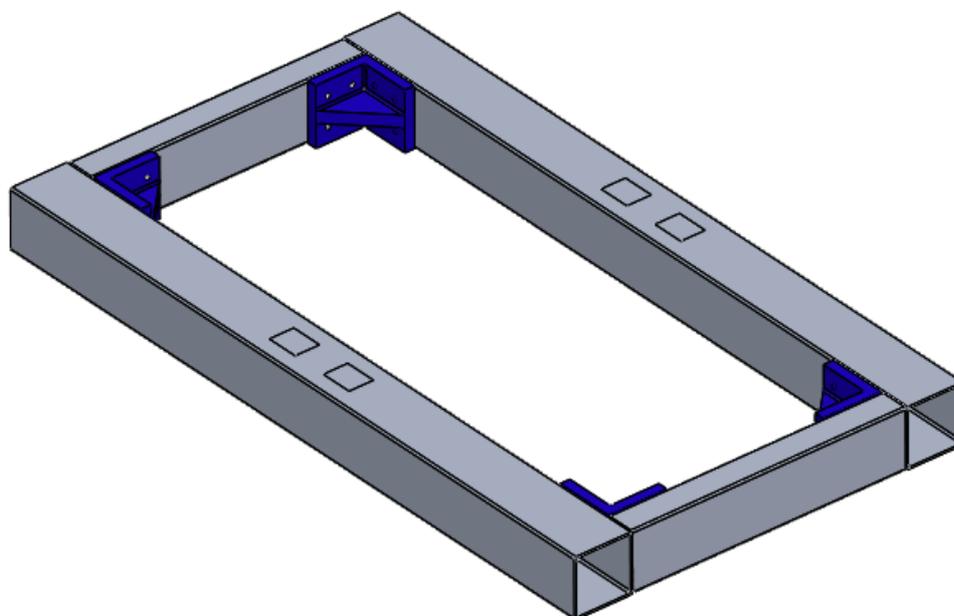


Figura 2.1- Estructura simplificada ensayada.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.1), se han simplificado los perfiles Bosch Rexroth para realizar el análisis. Se ha optado por emplear perfiles de la misma área y espesor prescindiendo del nervado interior. Si estos perfiles soportan los esfuerzos a los que serán sometidos, los perfiles reales cumplirán su función con creces.

Respeto a las marcas situadas en las superficies de los perfiles, corresponden a las áreas en las que descansa la parte superior del diseño sobre las guías lineales. En este parte también se ha realizado una simplificación. Sin embargo, las guías lineales absorberían parte

de estos esfuerzos y, por tanto, un buen resultado en este ensayo demostraría un comportamiento adecuado de la estructura.

Las escuadras en ABS que fijan los perfiles se han ensayado sin realizar ninguna simplificación. Debido a la gran cantidad de tornillos de acero (de diámetro sobredimensionado) que fijan los elementos, no se han tenido en cuenta los esfuerzos de cortadura sobre las uniones, se presupone un comportamiento adecuado con un factor de seguridad muy alto.

En la siguiente imagen (fig. 2.2), se observan los desplazamientos máximos de los nodos de la estructura.

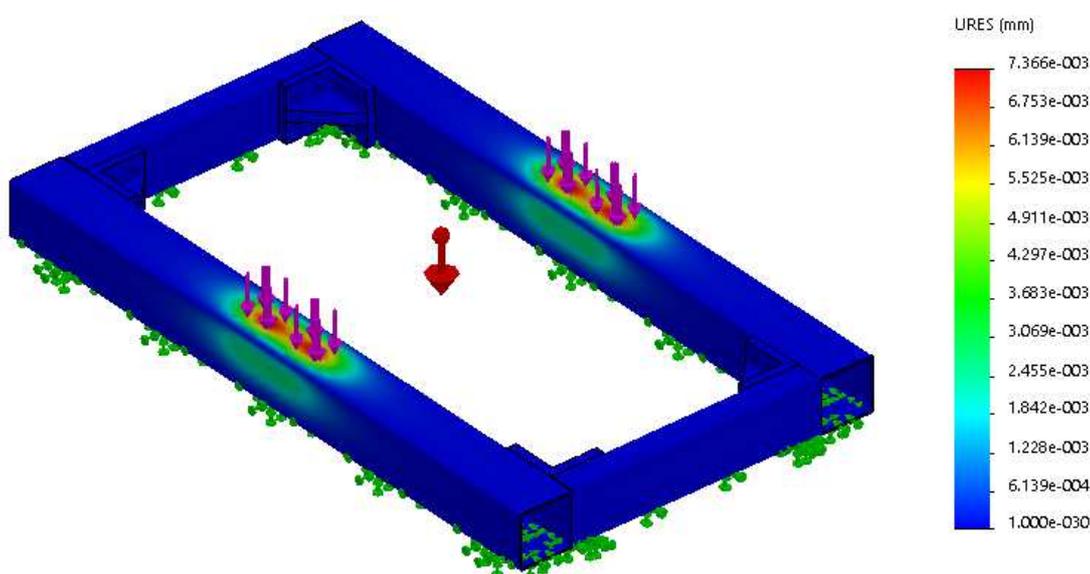


Figura 2.2- Desplazamiento de los nodos de la estructura.

En la imagen anterior (fig. 2.2), se observa un gráfico con los desplazamientos de los nodos de la estructura. El valor de desplazamiento máximo obtenido es de 0,0074 mm en la zona de aplicación de la fuerza. Se puede concluir que el valor de desplazamiento máximo obtenido es totalmente asumible teniendo en cuenta la precisión buscada en el diseño.

En la siguiente imagen (fig. 2.3), se observa la representación del factor de seguridad en la estructura. El factor de seguridad es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor de requerimiento esperado real al que se verá sometido. Un valor superior a 1 indica que el material es seguro. Sin embargo, dependiendo de la operación a desarrollar por el equipo y por tanto, de la normativa, el valor requerido puede ser superior.

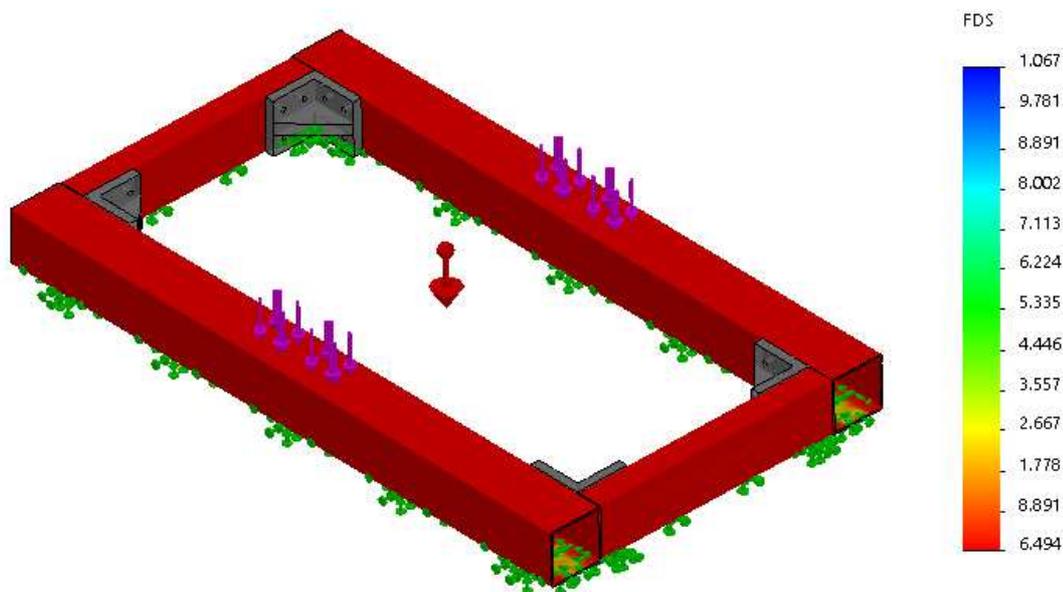


Figura 2.3- Representación del factor de seguridad.

En la imagen anterior (fig. 2.3), se observa la representación del factor de seguridad sobre la estructura del diseño. En la parte derecha de la imagen se observa que el factor de seguridad mínimo es de 6,5. Este resultado quiere decir que la estructura del diseño cumple con creces con la sollicitación a la que ha sido sometido.

## 2.2. Análisis de los esfuerzos de corte en el taladrado

A partir de los datos que se han mostrado anteriormente en la memoria, se calculará la fuerza de corte a la que se someterá inicialmente al armario eléctrico durante la primera penetración. Una fuerza excesiva producirá una deformación no admisible en el armario eléctrico. La fuerza de corte para la broca se define con la siguiente fórmula:

$$F_t = K_s \times a_p \times f_z \times z \quad (\text{ec. 2.1})$$

Siendo  $K_s$  la fuerza específica de corte en  $N/mm^2$  que se obtendrá de unas tablas dependiendo del material a cortar,  $a_p$  es el ancho de la viruta en  $mm$  y  $f_z$  el avance por diente en  $mm/rev$  y  $z$  el número de dientes.

La fuerza de empuje axial en el proceso de taladrado se define con la siguiente fórmula:

$$F_a = 11,4 \times K \times D \times (100 \times f_n)^{0,85} \quad (\text{ec. 2.2})$$

Siendo  $K$  el factor de material,  $D$  el diámetro de la broca en mm,  $fn$  el avance por revolución en avance/rev.

### 2.2.1. Acero inoxidable

A partir de las ecuaciones previas y con los datos que se han mostrado anteriormente en la memoria, se han calculado la fuerza de corte y la fuerza de empuje axial.

$$F_t = 850 \frac{N}{mm^2} \times 1 \text{ mm} \times 0,04 \frac{mm}{diente} \times 4 = 136 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.3})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.3), la fuerza específica de corte obtenida para la broca del fabricante WNT sobre el material en cuestión es de 850 N/mm<sup>2</sup>. El ancho de la viruta es de 1 mm para una broca de 2mm. Por último, 0,04 mm/diente es el avance por diente en una broca de 4 dientes en total.

$$F_a = 11,4 \times 1,9 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times fn)^{0,85} \quad (\text{ec. 2.4})$$

$$F_a = 11,4 \times 1,9 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times 6 \text{ mm})^{0,85} = 635 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.5})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.5), el factor de material es de 1,9 para el acero inoxidable. El diámetro de la broca es de 2 mm. Por último, el avance es de 6 mm/rev. Se debe tener en cuenta que para obtener los 635 N de resultado, se ha tenido que convertir a pulgadas el avance, puesto que la fórmula (ec. 2.4) espera este parámetro en esa unidad.

A partir de los valores obtenidos para las fuerza axial y tangencial calculados anteriormente, se ha realizado un análisis estático mediante la aplicación del MEF en el software Solid Works. Tras la aplicación de las cargas sobre una superficie de 2 mm de espesor del armario eléctrico, se ha determinado los daños que podría sufrir durante la operación de mecanizado. En la siguiente imagen (fig. 2.4), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

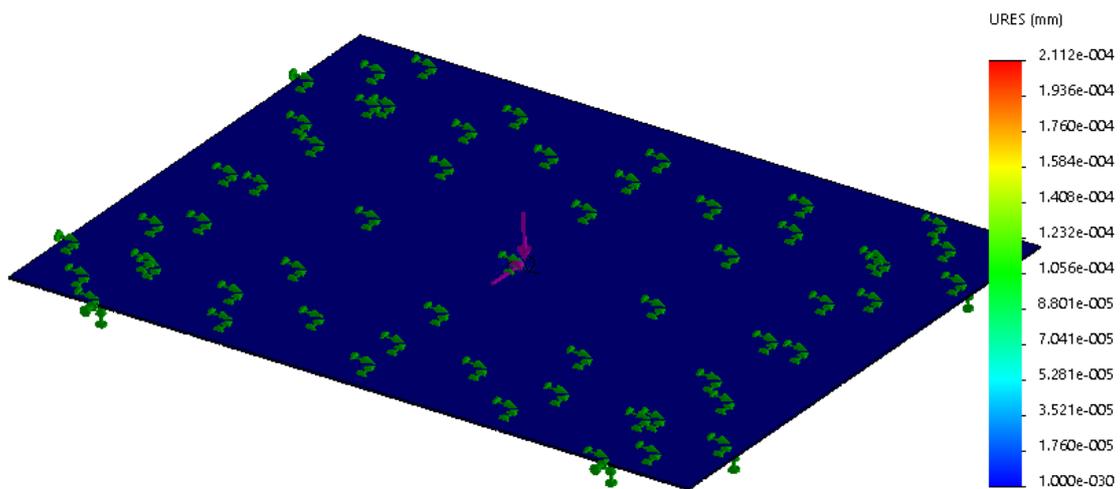


Figura 2.4- Desplazamientos en superficie de acero inoxidable.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.4), el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,0002 mm. Por tanto, la deformación que sufre la superficie es mínima. Además, se debe tener en cuenta que se está eliminando material por lo que parte de las fuerzas aplicadas serán absorbidas durante la operación.

En la siguiente imagen (fig. 2.5), se observa la representación del factor de seguridad obtenida a partir del presente estudio estático.

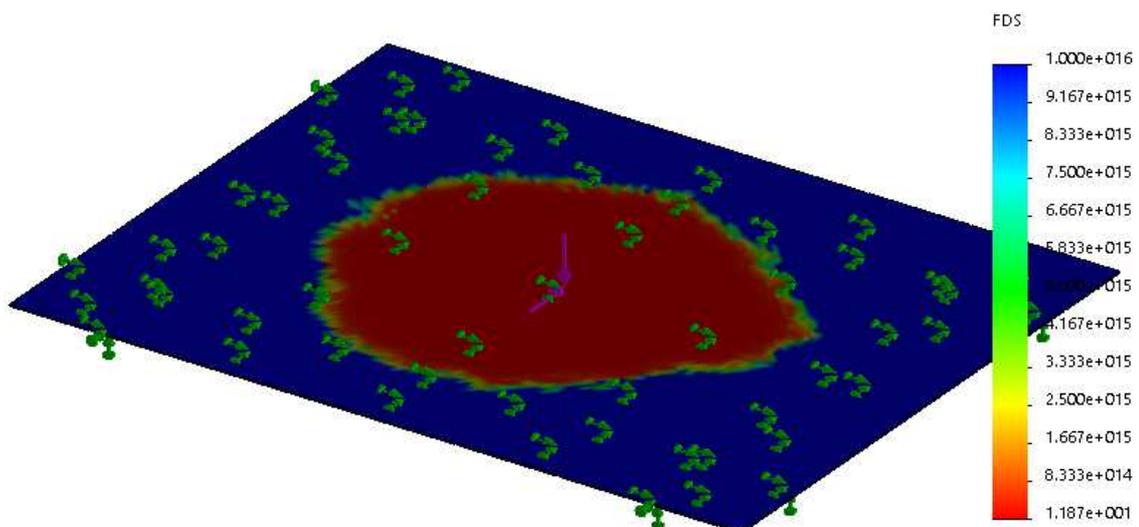


Figura 2.5- Factor de seguridad en superficie de acero inoxidable.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.5), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 11. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 11 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar con creces los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado.

Como se ha comentado anteriormente y para contrastar los resultados obtenidos en el software SolidWorks, se ha realizado un análisis con idénticos parámetros en el software de simulación por elementos finitos ANSYS. En la siguiente imagen (fig. 2.6), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

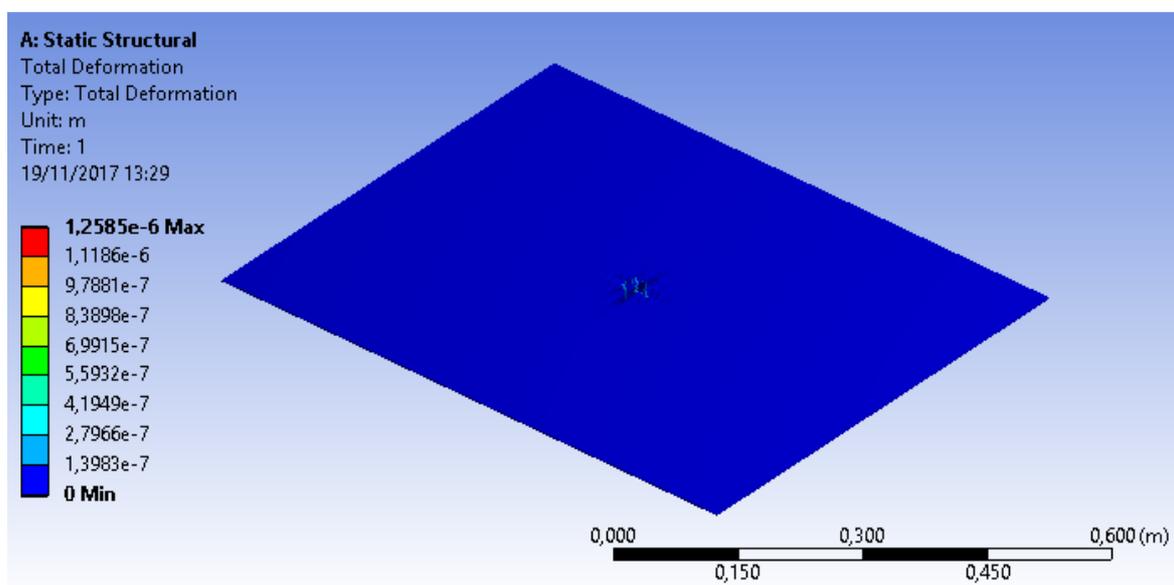


Figura 2.6- Desplazamientos en superficie de acero inoxidable.

En la imagen anterior (fig. 2.6), se observa que el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,0012 mm. Sin embargo, si se observan los resultados en detalle se puede determinar que en este punto hay un concentrador de tensiones, por lo que un resultado más adecuado sería el de 0,0009 mm. Este resultado está en el mismo orden de magnitud que el resultado obtenido con el software SolidWorks. Sin embargo, un mayor refinamiento de la malla en este análisis confirma que éste es el resultado correcto.

En la siguiente imagen (fig. 2.7), se observa la representación del factor de seguridad para el presente análisis.

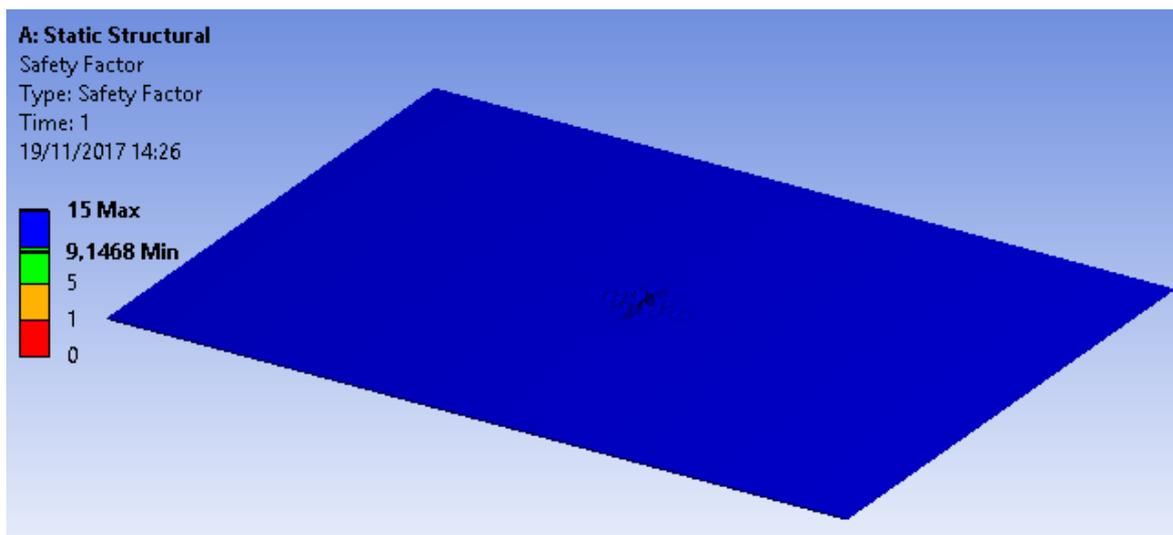


Figura 2.7- Factor de seguridad en superficie de acero inoxidable.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.7), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 9. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 9 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar con creces los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado. Este resultado es ligeramente inferior al que se obtenía con el análisis realizado en SolidWorks. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, el refinamiento de la malla en este caso es superior.

#### 2.2.1.1. Conclusiones

La deformación máxima sufrida en la superficie es de 0,0009 mm. Este valor, es perfectamente asumible teniendo en cuenta que parte de los esfuerzos de la operación serán absorbidos por la eliminación del material.

El factor de seguridad es de aproximadamente 9 (11 es el valor obtenido para el análisis realizado en SolidWorks). Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro.

#### 2.2.2. Acero

A partir de las ecuaciones mostradas anteriormente y con los datos que se han mostrado anteriormente en la memoria, se han calculado la fuerza de corte y la fuerza de empuje axial.

$$F_t = 1200 \frac{N}{mm^2} \times 1 \text{ mm} \times 0,06 \frac{mm}{diente} \times 4 = 288 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.6})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.6), la fuerza específica de corte obtenida para la broca del fabricante WNT sobre el material en cuestión es de 1200 N/mm<sup>2</sup>. El ancho de la viruta es de 1 mm para una broca de 2mm. Por último, 0,06 mm/diente es el avance por diente en una broca de 4 dientes en total.

$$F_a = 11,4 \times 1,4 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times f_n)^{0,85} \quad (\text{ec. 2.7})$$

$$F_a = 11,4 \times 1,4 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times 6 \text{ mm})^{0,85} = 470 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.8})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.8), el factor de material es de 1,4 para el acero inoxidable. El diámetro de la broca es de 2 mm. Por último, el avance es de 6 mm/rev. Se debe tener en cuenta que para obtener los 470 N de resultado se ha tenido que convertir a pulgadas el avance, puesto que la fórmula (ec. 2.7) espera esta variable en esa unidad.

A partir de los valores obtenidos para las fuerza axial y tangencial calculados anteriormente, se ha realizado un análisis estático mediante la aplicación del MEF en el software Solid Works. Tras la aplicación de las cargas sobre una superficie de 2 mm de espesor del armario eléctrico, se ha determinado los daños que podría sufrir durante la operación de mecanizado. En la siguiente imagen (fig. 2.8), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

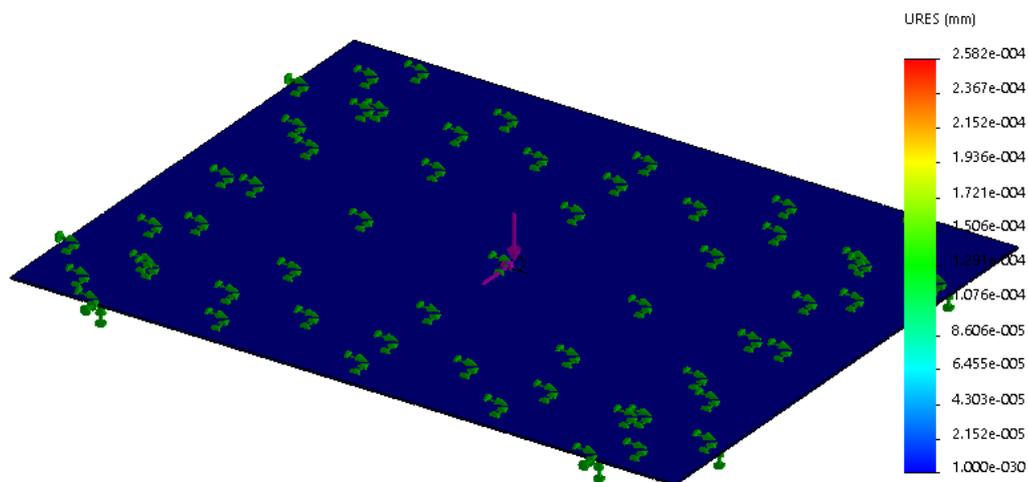


Figura 2.8- Desplazamientos en superficie de acero.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.8), el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,00025 mm. Por tanto, la deformación que sufre la superficie es mínima. Además, se debe tener en cuenta que se está eliminando material por lo que parte de las fuerzas aplicadas serán absorbidas durante la operación.

En la siguiente imagen (fig. 2.9), se observa la representación del factor de seguridad obtenida a partir del presente estudio estático.

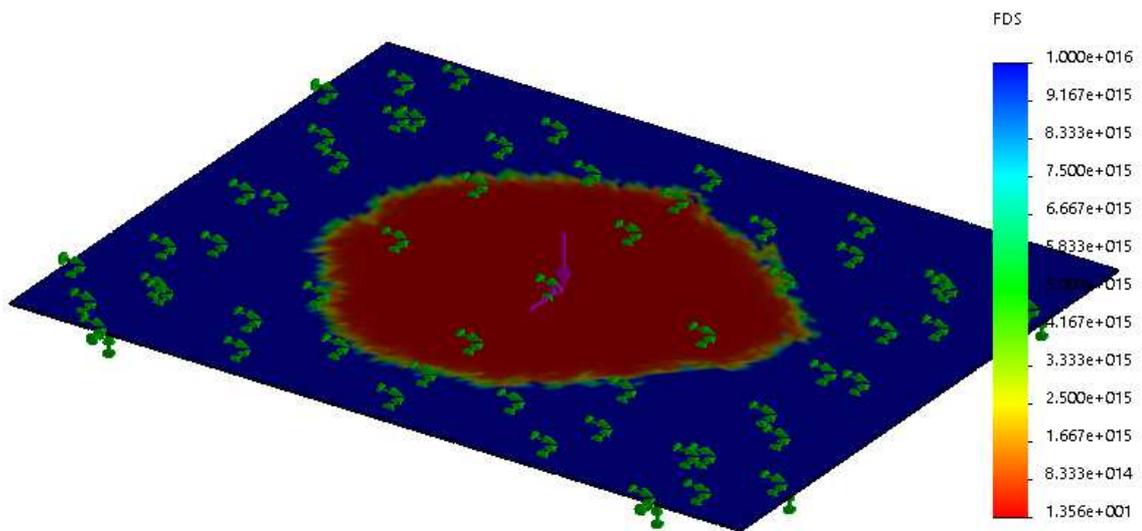


Figura 2.9- Factor de seguridad en la superficie de acero.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.9), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 13. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 13 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar con creces los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado.

Como se ha comentado anteriormente y para contrastar los resultados obtenidos en el software SolidWorks, se ha realizado un análisis con idénticos parámetros en el software de simulación por elementos finitos ANSYS. En la siguiente imagen (fig. 2.10), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

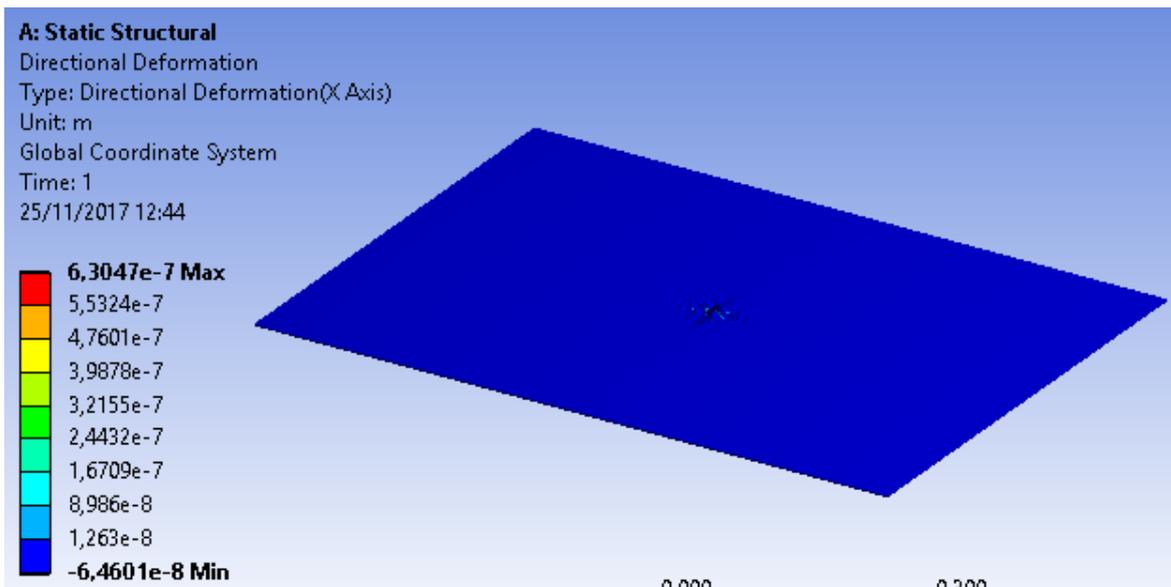


Figura 2.10- Desplazamientos en superficie de acero inoxidable.

En la imagen anterior (fig. 2.10), se observa que el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,006 mm. Sin embargo, si se observan los resultados en detalle se puede determinar que en este punto hay un concentrador de tensiones, por lo que un resultado más adecuado sería el de 0,0009 mm. Este resultado está en el mismo orden de magnitud que el resultado obtenido con el software SolidWorks. Sin embargo, un mayor refinamiento de la malla en este análisis confirma que éste es el resultado correcto.

En la siguiente imagen (fig. 2.11), se observa la representación del factor de seguridad para el presente análisis.

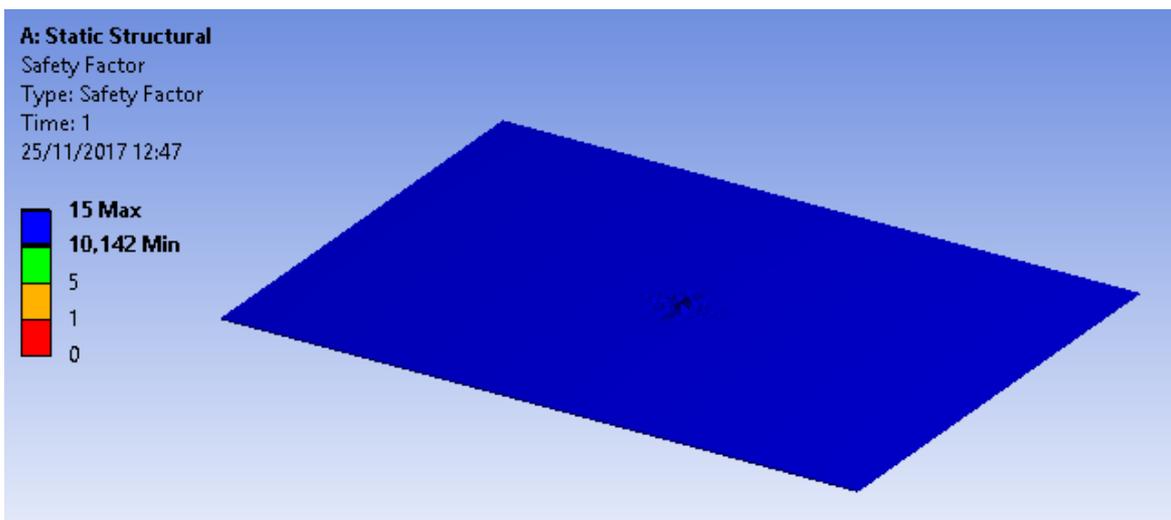


Figura 2.11- Factor de seguridad en superficie de acero.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.7), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 10. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 10 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar con creces los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado. Este resultado es ligeramente inferior al que se obtenía con el análisis realizado en SolidWorks. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, el refinamiento de la malla en este caso es superior.

### 2.2.2.1. Conclusiones

La deformación máxima sufrida en la superficie es de 0,0009 mm. Éste valor, es perfectamente asumible teniendo en cuenta que parte de los esfuerzos de la operación serán absorbidos por la eliminación del material. Respecto al acero inoxidable, la deformación es ligeramente mayor. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la velocidad de la operación es mayor en el acero debido a una mayor resistencia del material.

El factor de seguridad es de aproximadamente 10 (13 es el valor obtenido para el análisis realizado en SolidWorks). Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro.

### 2.2.3. Aluminio

A partir de las ecuaciones mostradas al principio de este capítulo y con los datos que se han mostrado anteriormente en la memoria, se han calculado la fuerza de corte y la fuerza de empuje axial.

$$F_t = 250 \frac{N}{mm^2} \times 1 \text{ mm} \times 0,04 \frac{mm}{diente} \times 4 = 40 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.9})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.9), la fuerza específica de corte obtenida para la broca del fabricante WNT sobre el material en cuestión es de 250 N/mm<sup>2</sup>. El ancho de la viruta es de 1 mm para una broca de 2mm. Por último, 0,04 mm/diente es el avance por diente en una broca de 4 dientes en total.

$$F_a = 11,4 \times 1,4 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times f_n)^{0,85} \quad (\text{ec. 2.10})$$

$$F_a = 11,4 \times 0,6 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times 6 \text{ mm})^{0,85} = 201 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.11})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.11), el factor de material es de 0,6 para el aluminio. El diámetro de la broca es de 2 mm. Por último, el avance es de 6 mm/rev. Se debe tener en cuenta que para obtener los 201 N de resultado se ha tenido que convertir a pulgadas el avance, puesto que la fórmula (ec. 2.10) espera esta variable en esa unidad.

A partir de los valores obtenidos para las fuerza axial y tangencial calculados anteriormente, se ha realizado un análisis estático mediante la aplicación del MEF en el software Solid Works. Tras la aplicación de las cargas sobre una superficie de 2 mm de espesor del armario eléctrico, se ha determinado los daños que podría sufrir durante la operación de mecanizado. En la siguiente imagen (fig. 2.12), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

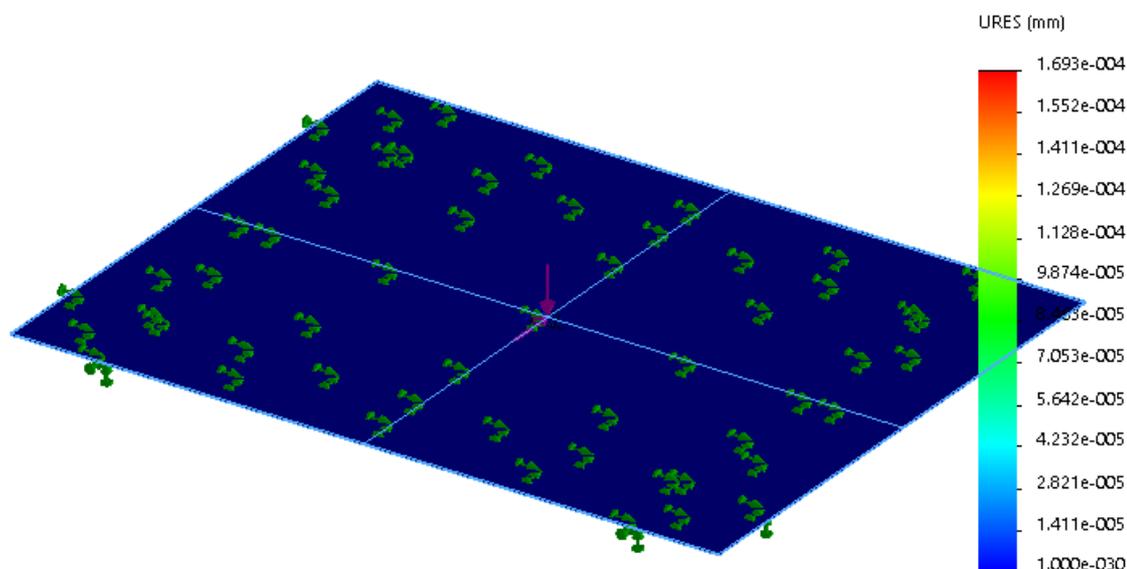


Figura 2.12- Desplazamientos en superficie de aluminio.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.12), el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,00017 mm. Por tanto, la deformación que sufre la superficie es mínima. Además, se debe tener en cuenta que se está eliminando material por lo que parte de las fuerzas aplicadas serán absorbidas durante la operación.

En la siguiente imagen (fig. 2.13), se observa la representación del factor de seguridad obtenida a partir del presente estudio estático.

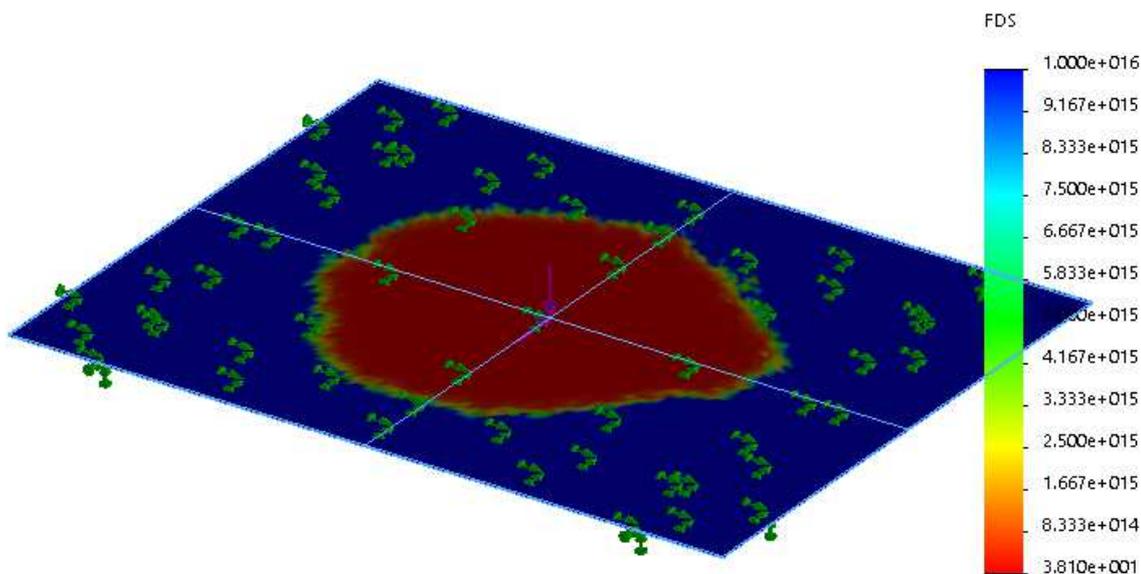


Figura 2.13- Factor de seguridad en la superficie de acero.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.13), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 38. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro.

Como se ha comentado anteriormente y para contrastar los resultados obtenidos en el software SolidWorks, se ha realizado un análisis con idénticos parámetros en el software de simulación por elementos finitos ANSYS. En la siguiente imagen (fig. 2.14), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

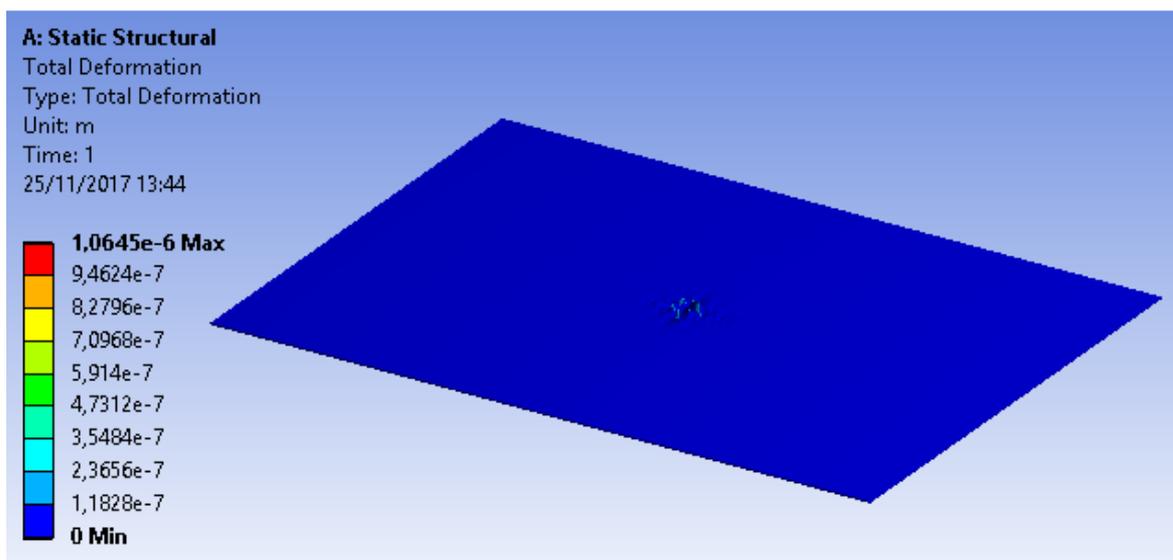


Figura 2.14- Desplazamientos en superficie de acero inoxidable.

En la imagen anterior (fig. 2.14), se observa que el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,001 mm. Sin embargo, si se observan los resultados en detalle se puede determinar que en este punto hay un concentrador de tensiones, por lo que un resultado más adecuado sería el de 0,00095 mm. Este resultado está en el mismo orden de magnitud que el resultado obtenido con el software SolidWorks. Sin embargo, un mayor refinamiento de la malla en este análisis confirma que éste es el resultado correcto.

En la siguiente imagen (fig. 2.15), se observa la representación del factor de seguridad para el presente análisis.

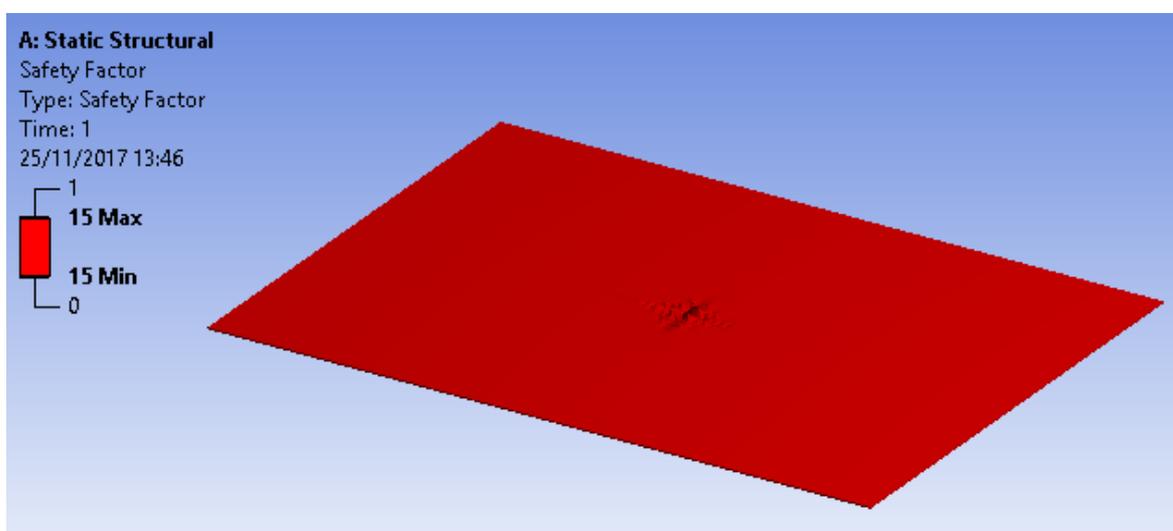


Figura 2.15- Factor de seguridad en superficie de acero.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.15), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 15. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 15 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar con creces los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado. Este resultado es inferior al que se obtenía con el análisis realizado en SolidWorks. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, el refinamiento de la malla en este caso es superior.

### 2.2.3.1. Conclusiones

La deformación máxima sufrida en la superficie es de 0,00095 mm. Este valor es perfectamente asumible teniendo en cuenta que parte de los esfuerzos de la operación serán absorbidos por la eliminación del material. Respecto al acero, la deformación es mayor,

debido a una menor resistencia del material a pesar de que los esfuerzos son menores que en anteriores casos.

El factor de seguridad es de aproximadamente 15 (38 es el valor obtenido para el análisis realizado en SolidWorks). Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro.

#### 2.2.4. Plástico

A partir de las ecuaciones mostradas al principio de este capítulo y con los datos que se han mostrado anteriormente en la memoria, se han calculado la fuerza de corte y la fuerza de empuje axial.

$$Ft = 1000 \frac{N}{mm^2} \times 1 \text{ mm} \times 0,02 \frac{mm}{diente} \times 4 = 80 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.12})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.12), la fuerza específica de corte obtenida para la broca del fabricante WNT sobre el material en cuestión es de 100 N/mm<sup>2</sup>. El ancho de la viruta es de 1 mm para una broca de 2mm. Por último, 0,02 mm/diente es el avance por diente en una broca de 4 dientes en total. Se debe tener en cuenta que no se dispone de datos de corte sobre la broca para plástico. Sin embargo, se emplearán los que se han encontrado en foros técnicos.

$$Fa = 11,4 \times 1,4 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times fn)^{0,85} \quad (\text{ec. 2.13})$$

$$Fa = 11,4 \times 0,6 \times 2 \text{ mm} \times (100 \times 3 \text{ mm})^{0,85} = 112 \text{ N} \quad (\text{ec. 2.14})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 2.14), el factor de material es de 0,6 para el plástico. El diámetro de la broca es de 2 mm. Por último, el avance es de 3 mm/rev. Se debe tener en cuenta que para obtener los 112 N de resultado se ha tenido que convertir a pulgadas el avance, puesto que la fórmula (ec. 2.13) espera esta variable en esa unidad.

A partir de los valores obtenidos para las fuerza axial y tangencial calculados anteriormente, se ha realizado un análisis estático mediante la aplicación del MEF en el software Solid Works. Tras la aplicación de las cargas sobre una superficie de 2 mm de espesor del armario eléctrico, se ha determinado los daños que podría sufrir durante la operación de mecanizado. En la siguiente imagen (fig. 2.16), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

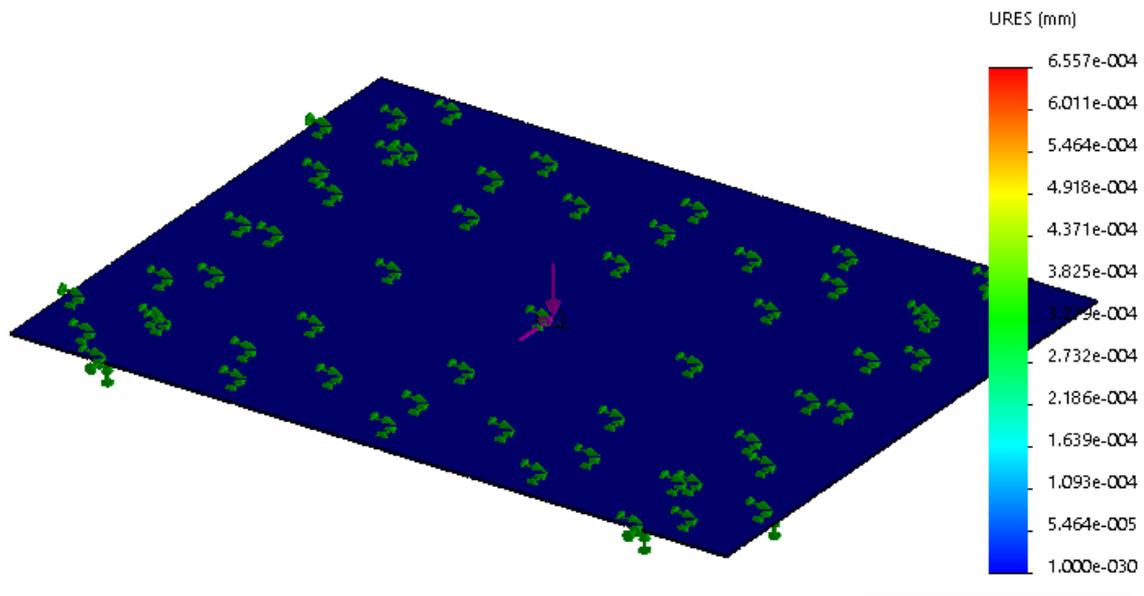


Figura 2.16- Desplazamientos en superficie de plástico.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.16), el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,00065 mm. Por tanto, la deformación que sufre la superficie es mínima. Además, se debe tener en cuenta que se está eliminando material por lo que parte de las fuerzas aplicadas serán absorbidas durante la operación.

En la siguiente imagen (fig. 2.17), se observa la representación del factor de seguridad obtenida a partir del presente estudio estático.

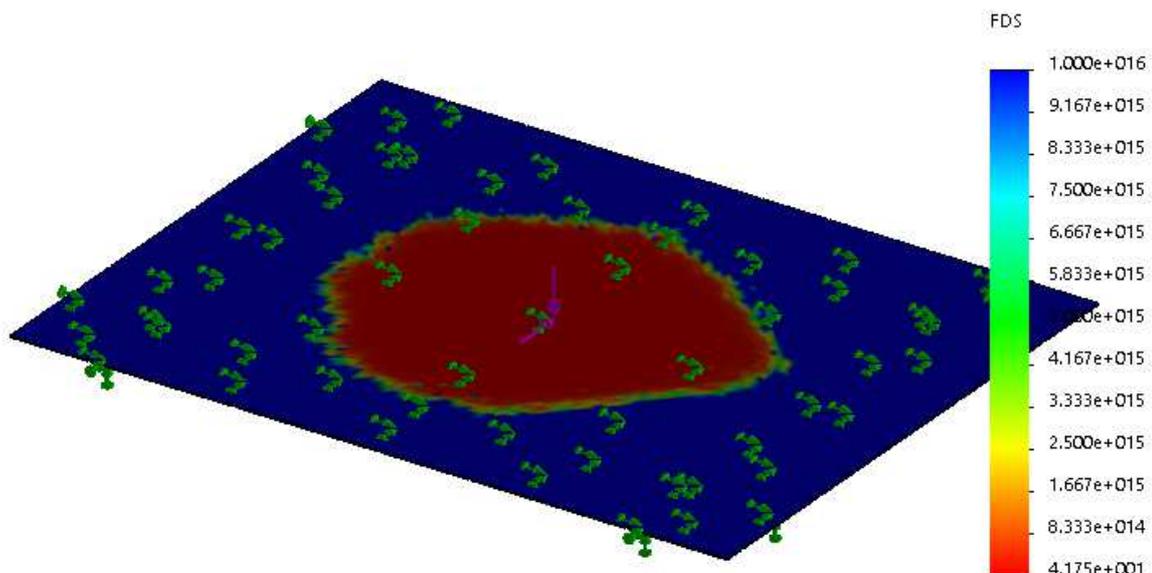


Figura 2.17- Factor de seguridad en superficie de plástico.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 2.17), el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 42. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro.

Como se ha comentado anteriormente y para contrastar los resultados obtenidos en el software SolidWorks, se ha realizado un análisis con idénticos parámetros en el software de simulación por elementos finitos ANSYS. En la siguiente imagen (fig. 2.18), se observan los desplazamientos máximos sufridos en los nodos de la superficie.

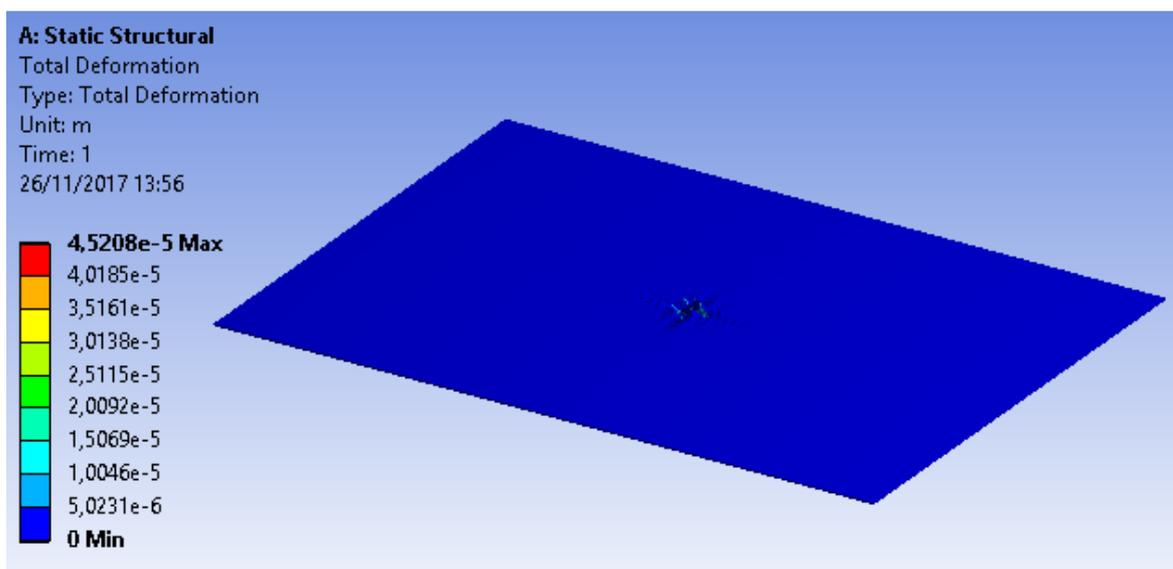


Figura 2.18- Desplazamientos en superficie de plástico.

En la imagen anterior (fig. 2.18), se observa que el máximo desplazamiento que sufre un nodo de la superficie es de 0,00045 mm. Este resultado está en el mismo orden de magnitud que el resultado obtenido con el software SolidWorks. Sin embargo, un mayor refinamiento de la malla en este análisis confirma que éste es el resultado correcto.

En la siguiente imagen (fig. 2.19), se observa la representación del factor de seguridad para el presente análisis. En la ilustración, se observa que el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 4. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material es seguro. Por lo tanto, un factor de seguridad de 4 como mínimo en toda la pieza demuestra que el material puede soportar los esfuerzos solicitados por la operación de mecanizado. Este resultado es inferior al que se obtenía con el análisis realizado en SolidWorks. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, el refinamiento de la malla en este caso es superior.

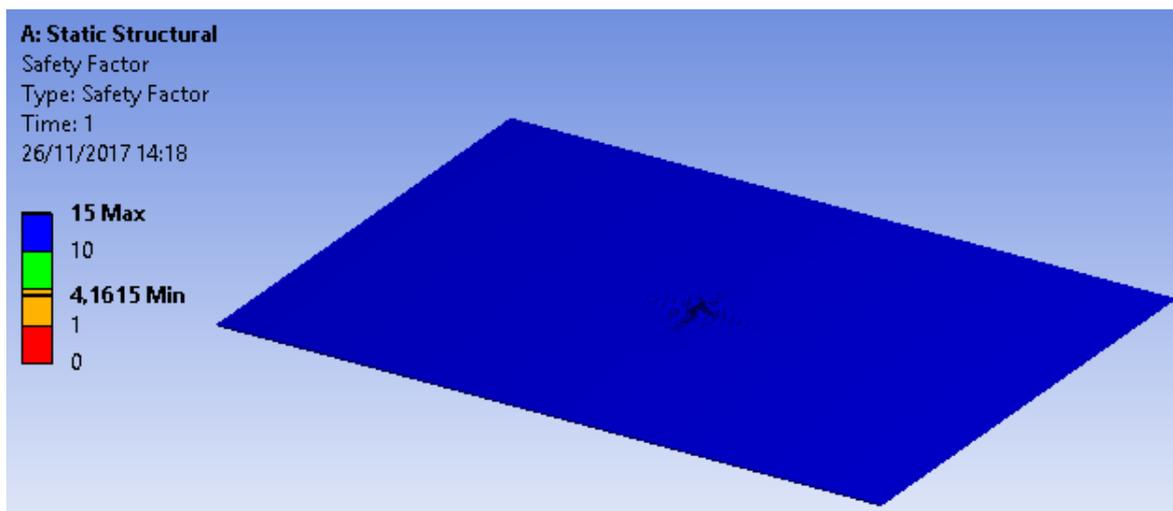


Figura 2.19- Factor de seguridad en superficie de plástico.

#### 2.2.4.1. Conclusiones

La deformación máxima sufrida en la superficie es de 0,00045 mm. Este valor es perfectamente asumible teniendo en cuenta que parte de los esfuerzos de la operación serán absorbidos por la eliminación del material. Respecto al resto de materiales, las fuerzas de corte son menores, debido a esto no se han producido deformaciones considerables.

El factor de seguridad es de aproximadamente 4 (42 es el valor obtenido para el análisis realizado en SolidWorks que claramente es un valor no realista). Un factor de seguridad superior a 4 significa que el material es seguro.



### 3. BIBLIOGRAFÍA

#### Apuntes:

- (1) <https://es.slideshare.net/anita0909/catalogo-dormer>. Fecha de visita a la web: 15 de noviembre de 2017.
- (2) [http://isa.umh.es/asignaturas/tf/Tema9\\_3.pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/tf/Tema9_3.pdf). Fecha de visita a la web: 15 de noviembre de 2017.

#### Sitios Web:

- (1) <https://www.wnt.com/es/>. Fecha de visita a la web: 25 de abril de 2017.