

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



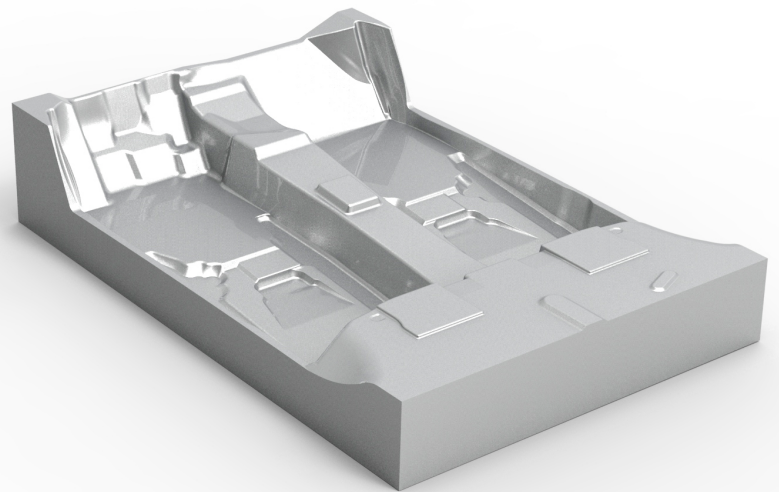
Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

INEGENIERÍA INVERSA Y RECONSTRUCCIÓN 3D CON CATIA V5



ELISA PÉREZ AGÚNDEZ

TUTOR, JUAN MANUEL SANZ ARRANZ



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

**Ingeniería Inversa y Reconstrucción 3D
con Catia V5**

Autor:

Pérez Agúndez, Elisa

Tutor:

**Sanz Arranz, Juan Manuel
Dpto. de CMelM / Expresión
Gráfica en la Ingeniería**

Valladolid, Junio 2016.

RESUMEN

Las técnicas de Ingeniería Inversa y Reconstrucción 3D permiten, partiendo de un objeto físico y utilizando las herramientas necesarias, obtener un modelo CAD 3D de dicho objeto. El siguiente documento trata sobre el desarrollo de un caso práctico en el que se utilizan las técnicas de Ingeniería Inversa y reconstrucción 3D aplicadas sobre un objeto. Para llevar a cabo el caso práctico se decidió realizar la reconstrucción de un molde, utilizado para fabricar la moqueta de un automóvil. Mediante un escáner 3D se realiza una digitalización del molde, de la cual se obtiene una malla. Utilizando módulos específicos del software Catia V5 se trabaja sobre dicha malla, hasta obtener un modelo CAD en tres dimensiones que defina con la mayor exactitud posible la geometría real del molde. Finalmente se realizaron los debidos análisis para poder comprobar la exactitud de la reconstrucción.

Palabras Clave: Ingeniería Inversa, Reconstrucción 3D, malla, Catia V5, digitalización

SUMMARY

The Reverse Engineering and 3D Reconstruction allow you to obtain a 3D CAD model of a physical object. The following document explains the development of a case in which the techniques of reverse engineering and 3D reconstruction are applied in an object. To implement the case, it was decided to make the reconstruction of a mold that is used to manufacture the carpet of a car. The scan of the mold was made by a 3D scanner, in which the mesh was obtained. Using specific modules of software Catia V5 is possible to work with the mesh and obtain a 3D CAD model as accurately as possible. Finally, to check the accuracy of the reconstruction, the necessary analysis were performed.

Keywords: Reverse Engineering, 3D Reconstruction, mesh, Catia V5, scan

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi Tutor Juan Manuel Sanz Arranz, por su constante esfuerzo y dedicación durante el desarrollo del Proyecto.

A la empresa AEDI Ingenieros S.L., sin ellos no habría sido posible llevar a cabo el Proyecto. En especial he de agradecer a Martín Molina toda su atención y ayuda.

Por último, no me puedo olvidar de mi familia y amigos, pero en especial he de mencionar a Marta, Raquel y Mario, de ellos me llevo lo mejor de estos años de carrera.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Enunciado y objetivos del proyecto	3
1.2. Estructura del documento	4
2. INGENIERÍA INVERSA	7
2.1. Descripción	7
2.2. Antecedentes	7
2.3. Aplicaciones	8
2.4. Ventajas e Inconvenientes	9
2.5. Aspectos Legales y Normativa	9
3. RECONSTRUCCIÓN 3D	13
3.1. Descripción y Objetivos	13
3.2. Metodología	13
3.2.1. Toma de datos. Escáneres 3D	14
3.2.2. Tratamiento de Datos	18
4. CASO PRÁCTICO	21
4.1. Introducción	21
4.2. Descripción del objeto a reconstruir	21
4.3. Explicación del problema	23
4.4. Realización del escaneo y medios utilizados	24
4.5. Tratamiento de datos con Catia V5	26
4.5.1. Molde Superior	26
4.5.1.1. Importación de las mallas	27
4.5.1.2. Alineación de las mallas	28

4.5.1.3.	Análisis y tratamiento de las mallas	35
4.5.1.4.	Eliminación de errores	37
4.5.1.5.	Reconstrucción de zonas poco definidas	45
4.5.1.6.	Suavizado del mallado	50
4.5.1.7.	Unión de las mallas	54
4.5.1.8.	Creación del sistema de ejes	55
4.5.1.9.	Generación de las superficies	62
4.5.1.10.	Unión de las superficies y corrección de errores	90
4.5.1.11.	Aplicación de los redondeos y generación del sólido	97
4.5.1.12.	Comparación del molde reconstruido con la malla	101
4.5.1.13.	Comparación del molde reconstruido con el molde teórico	106
4.5.2.	Molde Inferior	112
4.5.2.1.	Importación de las mallas	112
4.5.2.2.	Alineación de las mallas	113
4.5.2.3.	Análisis y tratamiento de las mallas	116
4.5.2.4.	Eliminación de errores	118
4.5.2.5.	Reconstrucción de zonas poco definidas	119
4.5.2.6.	Suavizado del mallado	122
4.5.2.7.	Unión de las mallas	124
4.5.2.8.	Creación del sistema de ejes	125
4.5.2.9.	Generación de las superficies	128
5.	CONCLUSIONES	131
6.	BIBLIOGRAFÍA	135
7.	ANEXOS. IMPRESIÓN 3D	141



INTRODUCCIÓN





1. INTRODUCCIÓN

1.1. ENUNCIADO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

La Ingeniería Inversa y la Reconstrucción 3D son técnicas de trabajo muy utilizadas actualmente. Sus diversas aplicaciones cada día están en aumento, y la tecnología que utilizan crece y evoluciona a gran velocidad.

Por ello se ha decidido realizar el presente proyecto sobre dichos temas, los cuales se definirán y explicarán de forma detallada, tanto en aplicaciones como en metodología que utilizan.

Se ha observado que en el campo de la Reconstrucción 3D, el escáner con el que se realiza la digitalización de un objeto, suele utilizar su propio programa o software para poder visualizar la digitalización en un ordenador, la cual suele aparecer en forma de nubes de puntos o mallas. Pero el problema surge cuando se desea generar un modelo CAD editable partiendo de la nube de puntos o malla. La mayoría de los software que traen los escáneres 3D no son capaces de realizar dicha operación. En algunos casos pueden generar un modelo CAD, pero difícilmente editable.

Por ello, el objetivo del presente proyecto es desarrollar un caso práctico de Ingeniería Inversa y Reconstrucción 3D, siguiendo sus técnicas y métodos. Para ello se utilizará el software Catia V5, con el que se realizará el trabajo de reconstrucción 3D partiendo de una malla, proveniente de una digitalización con un escáner, con el fin de obtener un modelo CAD 3D editable, lo más fiel posible a la geometría del objeto real.

Posteriormente se realizará un estudio para evaluar la exactitud del proceso, en el que se analizarán las desviaciones del modelo reconstruido respecto del modelo físico o teórico.

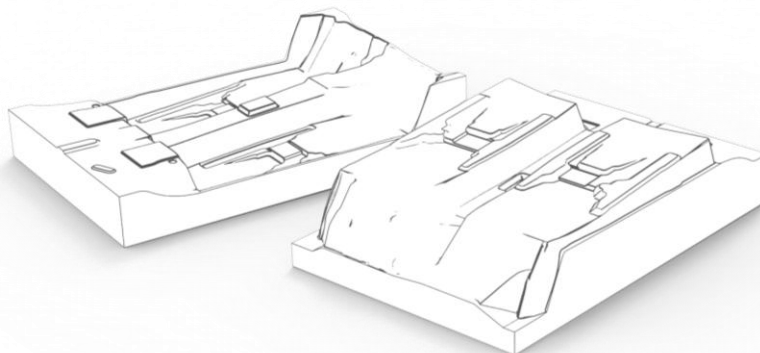


Imagen 1



1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se ha dividido en diferentes partes, en primer lugar consta de una breve instrucción para situar al lector en materia.

A continuación se tratan los temas de ingeniería inversa y reconstrucción 3D, en qué consisten, herramientas que se utilizan o aplicaciones.

La siguiente parte de la memoria explica de forma detallada un caso práctico de reconstrucción 3D.



2

INGENIERÍA INVERSA





2. INGENIERÍA INVERSA

2.1. DESCRIPCIÓN

La ingeniería Inversa se basa en el análisis de un producto del cual no se tiene información técnica referente a su diseño, fabricación o funcionamiento, con el objetivo de obtener toda la información posible del mismo, para posteriormente, poder recrear su proceso de diseño. Es una metodología que pasa del producto al diseño, con el fin de obtener un nuevo producto que cumpla las mismas funciones que el original, pero sin ser una copia del mismo.

Hay que destacar una gran división existente en la actualidad en la ingeniería inversa: Ingeniería Inversa de Producto e Ingeniería Inversa de Software. La primera está enfocada a todo tipo de productos físicos y la segunda a códigos de programas informáticos, principalmente.

La ingeniería Inversa se puede considerar un método de aprendizaje, debido a que su principal objetivo es comprender el funcionamiento y el papel que desempeñan cada una de las partes del producto a estudiar, hasta el punto de ser capaces de modificar y mejorar dicho funcionamiento o incluso comenzar de cero en su diseño.

En lo que a la ingeniería inversa de producto se refiere, uno de los puntos importantes del proceso, sería la obtención de un archivo CAD 3D con la correspondiente geometría, puesto que partiendo de esa información 3D se pueden realizar múltiples tareas, como por ejemplo, realizar un análisis, para realizar mejoras en los aspectos que se considere oportunos, posibilidad de realizar prototipos, para una posible validación, fabricación del productos, o diseño de piezas que vayan ensambladas sobre el producto, entre otras funciones.

2.2. ANTECEDENTES

La ingeniería inversa, aparentemente una técnica moderna utilizada en la actualidad, se remonta muchos años atrás.

La primera aparición de la ingeniería inversa, surge en los tiempos de las guerras entre tribus, en las que al final de cada batalla los miembros de la tribu analizaban las armas y utensilios arrebatados al enemigo con el fin de estudiar cómo fueron contruidos y poder realizarlos ellos mismos.

Con el comercio, cuando un producto originario de una zona era comercializado en otra en la que se desconocía su existencia, ese producto se estudiaba para intentar crear otro similar.



Pero sin duda el momento en el cobró notable importancia la ingeniería inversa, fue durante la época de la Revolución Industrial. Fue una época de gran evolución tecnológica, en la que los inventores debían estudiar los nuevos modelos que iban surgiendo con el fin de entender su funcionamiento y poder sacar al mercado un nuevo modelo mejorado. Por ello, la situación favoreció que surgieran diferentes leyes de patentes y de la propiedad industrial.

También durante la Segunda Guerra Mundial se llevaron a cabo prácticas de Ingeniería Inversa, cuando uno de los dos bandos se hacía con armamento o tecnología del bando opuesto. Se dedicaban a estudiarlo exhaustivamente, para encontrar puntos débiles en sus enemigos.

Actualmente, la ingeniería inversa es una metodología mundialmente extendida, pese a que muchos países tienen leyes que prohíben dicha práctica.

2.3. APLICACIONES

Las aplicaciones de la ingeniería inversa son numerosas, y variadas en cuanto a los campos en que se aplica:

- Su principal aplicación, que ya se ha comentado en apartados anteriores, es el análisis de productos, estudio de su funcionamiento y de las piezas que lo componen.
- Se utiliza en muchas empresas para investigar tecnología fabricada por la competencia. Se puede hacer con dos fines, uno puede ser para poder desarrollar productos similares, y otro, para investigar si se infringe alguna patente perteneciente a sus productos.
- Es utilizado en controles de calidad, evaluando la conformidad del producto real frente al modelo en 3D.
- Desarrollo de productos compatibles con otros, de los cuales se carece de información técnica.
- En el ámbito militar, como forma de investigación de las tecnologías de otras naciones.
- Como método de comprobación de la seguridad de un producto.
- En la reconstrucción de superficies con geometrías complejas.
- Obtención de información en formato CAD de un producto, del cual se carecía de información o dicha información fue perdida, y así poder fabricar de nuevo el producto o realizar un análisis con el fin de mejorarlo.
- Digitalización del terreno.
- En el campo del prototipado rápido.





- Benchmarking o comparación con el mercado. Se basa en el análisis del competidor más fuerte del mercado, para adaptar sus métodos y procesos de trabajo, dentro de la legalidad. También se puede enfocar como una forma de obtener nuevas ideas y estrategias.
- En el ámbito informático tiene infinidad de aplicaciones, como es el caso de muchos software libres, que nacieron tras realizar un proceso de ingeniería inversa.
- En la conservación de arte y patrimonio, generando modelos informatizados de obras de arte, museos virtuales, producción de réplicas, restauración o digitalización de fósiles para su análisis.



Imagen 2

- En medicina se aplica para la generación de archivos digitales tridimensionales de partes del cuerpo, dispositivos de ortopedia y prótesis, en estética y cirugía plástica, mediciones de partes del cuerpo, así como reproducciones, diagnósticos y seguimientos.
- Para el campo del entretenimiento y el mundo multimedia. Digitalización de rostros o del cuerpo para obtener una representación humana realista, efectos especiales o para reemplazar rostros (dobles). Digitalización de objetos o entornos reales inanimados, para un efecto de realismo óptimo, producción de decorados a escala real con la digitalización de maquetas a pequeña escala.

2.4. VENTAJAS DE LA INGENEIRÍA INVERSA

Tras analizar el concepto de Ingeniería Inversa y ver sus múltiples aplicaciones, a continuación se tratará sobre las ventajas que posee la misma.



Dentro de los campos de la medicina, el arte y la restauración, así como en el mundo del entretenimiento, la ingeniería inversa está facilitando el trabajo de muchas personas y cada día surgen nuevos avances.

Dentro del ámbito industrial se pueden obtener grandes ventajas a la hora de realizar un primer estudio sobre las diferentes vías de fabricación un producto.

En primer lugar realizar un proceso de ingeniería inversa sobre un producto similar al que se desea fabricar, sirve para reducir la complejidad del proceso, saber qué materiales son adecuados, tanto funcional como económicamente, sin necesidad de realizar numerosos ensayos y pruebas ahorrando tanto tiempo como dinero. Analizar qué procesos de fabricación son más adecuados para su producción, y barajar qué alternativa es la adecuada. Conociendo previamente el producto y el proceso es posible prevenir errores que puedan suceder.

Pero al igual que la ingeniería inversa posee ventajas, también posee algunos inconvenientes, que surgen de un mal uso de la misma.

Por ejemplo, si en vez de ser utilizada como forma de investigación para obtener nuevos conocimientos se utiliza para realizar plagios. Debido a esto muchos países tienen limitada su práctica.

2.5. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVA

Si la ingeniería inversa se utiliza adecuadamente, no tiene porqué surgir ningún problema legal. Un buen uso de la misma implica cumplir los objetivos que establece, los cuales se basan en analizar en profundidad un producto, para entender a la perfección su funcionamiento, y así poder fabricar uno nuevo que cumpla las mismas funciones pero sin ser una copia del primero.

Pero lo anterior no siempre se lleva a cabo, puesto que se divide de lo ilegal por una delgada línea que es muy fácil de traspasar. Tras observar que un mal uso de la ingeniería inversa es posible, surgieron normas y patentes para, de alguna forma, establecer unos límites.

Las patentes impiden que se fabrique o venda un determinado producto durante un periodo de tiempo establecido. Los secretos industriales abarcan un abanico más amplio, pueden proteger un producto, una mejora, un método, a los cuales se protege de no ser conocidos de forma pública, sino que solo pueden tener acceso a ello aquellos que el dueño de la propiedad industrial decida.

Los secretos industriales no impiden que un tercero desarrolle el mismo producto, por ejemplo utilizando ingeniería inversa, sin embargo las patentes sí lo impiden.





RECONSTRUCCIÓN 3D







3. RECONSTRUCCIÓN 3D

3.1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

El proceso de Reconstrucción 3D se basa en la digitalización de la geometría de un objeto físico. El objetivo es obtener un algoritmo capaz de conectar el conjunto de puntos representativos del objeto para que se forme una superficie o una malla. Los elementos pueden ser triángulos, cuadrados u otras formas geométricas, y la eficiencia del algoritmo influye directamente en la calidad de la malla.

Se podría descomponer el proceso de Reconstrucción 3D en diferentes pasos. En primer lugar se realiza un escaneo de un producto u objeto físico, para el cual se pueden emplear diferentes tipos de escáner. A continuación, la información recogida por el escáner es importada a un software informático, apto para el tratamiento de dicha información. La información obtenida de la digitalización, generalmente presenta la forma del objeto a través de nubes de puntos o mallas. El objetivo es transformar esas nubes de puntos o mallas en superficies que definan cada parte que compone el objeto, para así obtener un modelo tridimensional en formato digital.

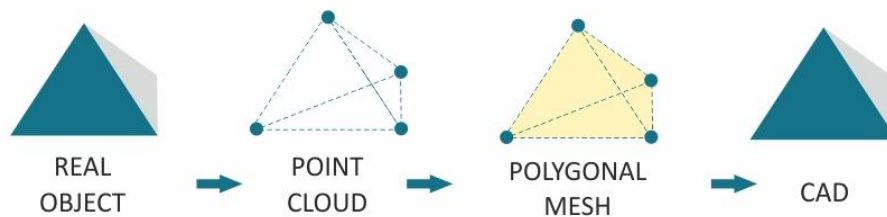


Imagen 3

El proceso de reconstrucción 3D es un proceso que requiere mucha dedicación y paciencia si se desean obtener resultados precisos.

La reconstrucción 3D es una metodología que se utiliza en múltiples casos de Ingeniería Inversa. Sus aplicaciones abarcan infinidad de campos, como por ejemplo, se utiliza en automoción, aeronáutica, medicina, odontología, metrología y controles de calidad, en criminología e investigación, en el campo del prototipado rápido, con fines educativos, como forma de conservación del arte y el patrimonio, y en el campo audiovisual y multimedia.

3.2. METODOLOGÍA

Para realizar un proceso de Reconstrucción 3D es necesario realizar una serie de pasos, los cuales fueron comentados en el apartado anterior. Para poder llevar a





cabo cada una de las etapas por las que se pasa al realizar un proceso de Reconstrucción 3D, es necesario utilizar unos medios muy concretos. A continuación se realizará un análisis de los posibles medios a emplear durante la digitalización y toma de datos.

3.2.1. TOMA DE DATOS. ESCÁNERES 3D

La toma de datos es la primera etapa del proceso, para ello se emplean unos instrumentos adecuados a cada situación, los cuales tienen diferentes formatos de salida en cuanto al resultado de la digitalización.

Para realizar una digitalización 3D de un objeto físico es necesario emplear un instrumento adecuado, un escáner 3D.

Un escáner 3D es un aparato capaz de capturar la forma y características físicas de un objeto real, explorando su superficie y tomando medidas en ella respecto a unos puntos de referencia. El objetivo de los escáneres 3D es generar nubes de puntos o mallas, con la precisión requerida en cada caso.

Los factores que intervienen en el proceso de escaneo son ambientales, propios de la configuración y calibración del escáner así como del objeto a escanear. Los más influyentes y que se deberían tener siempre en cuenta son los siguientes:

- La iluminación ambiental, importante si se quiere recoger la textura y el color.
- El material del objeto. Los materiales brillantes o reflectantes son más difíciles de escanear que los materiales mate, con los que se obtienen muy buenos resultados.
- El Color del objeto. El haz de luz que proyectan los láseres es de color rojo y el software de segmentación utiliza este color para capturar los puntos del objeto a escanear. Por lo tanto, los objetos de color rojo pueden dar problemas al ser escaneados. También los objetos de colores claros pueden generar problemas, sobre todo en espacios altamente iluminados, al igual que los objetos de colores oscuros que dan malos resultados al ser escaneados en ambientes con poca luz.
- La forma del objeto. Se debe tener en cuenta que para obtener buenos resultados en zonas con geometría compleja, es necesario realizar varios escaneos de las mismas.
- Los parámetros del escáner se deben ajustar en función de los factores mencionados. Los principales son: brillo, contraste, saturación, exposición del láser, exposición del color, resolución y distorsión.





TIPOS DE ESCÁNERES 3D

Los escáneres 3D se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Escáneres 3D por Contacto
Estos escáneres examinan la superficie del objeto por medio de un palpador, el cual se apoya sobre la superficie a examinar. Los palpadores suelen ser de acero duro o zafiro.
Algunos ejemplos de escáneres 3D por contacto son las máquinas de medición por Coordenadas: Se trata de una máquina que emplea componentes móviles que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas de los puntos X, Y, Z de la misma. Es muy importante la existencia de un origen para determinar la posición. Se utiliza para medir dimensiones y desviaciones geométricas. Pueden utilizar palpador manual o palpador en máquina CNC.
- Escáneres 3D sin Contacto
Los escáneres sin contacto funcionan de manera que no es necesario llegar a tocar físicamente el objeto a digitalizar. Utilizan algún tipo de radiación, tanto emitida por el escáner como capturada directamente del ambiente. Se distinguen dos tipos:
 - Activos
Los sistemas activos emiten un tipo de onda que se dirige al objeto que se desea escanear. Éste refleja la onda y el resultado es captado por los sensores del sistema que recogen los datos. Una vez finaliza el proceso completo, se envía al software que se encarga de generar una nube de puntos o malla en el espacio tridimensional, es decir, un modelo 3D. Hay diferentes tipos:
 - Escáner 3D de Tiempo de Vuelo
Los escáneres 3D de tiempo de vuelo utilizan un pulso láser emitido y lanzado a través de un espejo rotatorio. Este pulso es reflejado en la superficie escaneada y su reflejo retorna al escáner. A partir del tiempo de ida y vuelta de dicho pulso es calculada la distancia, por esa razón se les denomina de tiempo de vuelo. Dependiendo del grado de inclinación y giro del espejo se conocen los ángulos de incidencia de





dicho pulso láser, necesarios para poder calcular una posición en un sistema cartesiano XYZ.

Son los más extendidos dentro de la documentación del patrimonio arquitectónico debido a su versatilidad tanto por su larga distancia de adquisición en exteriores, como por su calidad y depuración en la toma de datos. Suelen incorporar una cámara integrada que proporciona el valor fotocromático RGB a cada punto adquirido.

- Escáner 3D de Triangulación

El escáner 3d de triangulación es un escáner activo que usa la luz láser para examinar un objeto. El brillo del láser en el objeto se examina mediante una cámara fotográfica para determinar su posición. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.

Ésta tecnología se llama de triangulación porque el punto donde brilla el laser, el emisor laser y la cámara forman un triangulo. De éste triangulo se conoce el lado que une la cámara con el emisor láser, el ángulo de la esquina del emisor láser también es conocido, y el ángulo de la esquina de la cámara se puede determinar examinando la localización del punto en el campo visual de la cámara. Así con estos tres valores se obtiene la forma y tamaño del triángulo formado y se determina la posición tridimensional de cada punto del objeto. En la mayoría de los casos, en lugar de analizar un solo punto, se analiza un segmento, con lo que se acelera el proceso de captura. Los escáneres de triangulación son más precisos que los de tiempo de vuelo, pero tienen un campo de acción más reducido.

- Holografía Conoscópica

Ésta técnica consiste en hacer pasar un rayo reflejado en una superficie a través de un cristal que posee dos índices de refracción, uno fijo y otro dependiente del ángulo de incidencia, el resultado son dos rayos paralelos que se hacen interferir con una lente cilíndrica, ésta interferencia es capturada por un sensor de una cámara, obteniendo un patrón de franjas. La frecuencia de esta interferencia determina la posición del objeto en el que se proyectó el rayo láser. Ésta técnica permite alcanzar precisiones superiores a una micra.

- De Luz Estructurada

Los escáneres 3D de Luz estructurada proyectan un patrón de luz en un objeto, y analizan la deformación del patrón producida por la geometría de la escena. El reflejo se captura con una cámara





fotográfica y posteriormente mediante unos algoritmos se determina la posición de cada punto en el espacio 3D.

El patrón de luz suele consistir en un conjunto de líneas paralelas generadas por interferencia laser o por proyección. Mediante el análisis de la deformación de las líneas, se obtienen los puntos 3D.

La ventaja de los escáneres 3D de luz estructurada es la velocidad. En vez de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o el campo entero de visión inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación por movimiento.

- De Luz Modulada

Los escáneres de luz modulada emiten una luz continuamente cambiante en el objeto. Normalmente la fuente de luz cicla la amplitud en un patrón, una cámara detecta la luz reflejada y la cantidad que el patrón de luz cambia para determinar la distancia que viaja la luz.

- Pasivos

Los escáneres pasivos no emiten ninguna clase de radiación por sí mismos, sino que se basan en detectar la radiación reflejada del ambiente. Son métodos más económicos de digitalización que los escáneres activos, pero tienen una precisión más baja. Los principales tipos son los siguientes:

- Estereoscópicos

Los sistemas Estereoscópicos emplean dos cámaras de vídeo, ligeramente separadas, examinando la misma escena. Analizando las diferencias entre las imágenes capturadas por cada cámara, es posible determinar la distancia de cada punto en las imágenes. Es un método basado en la visión estereoscópica humana.

- Silueta

Escáneres 3D que usan bosquejos creados de una sucesión de fotografías alrededor de un objeto tridimensional contra un fondo muy bien contrastado. Estas siluetas se estiran y se cruzan para formar la aproximación visual del objeto. Sus principales inconvenientes son su baja precisión y sus limitadas aplicaciones.

- Modelado Basado en Imágenes

Se basa en la toma de fotografías de un objeto en un espacio tridimensional. Es una metodología similar a la de la fotografía panorámica. Utilizado para construir aproximaciones de edificios.





3.2.2. TRATAMIENTO DE DATOS

Una vez se ha realizado la digitalización de un objeto, la información ha de ser debidamente tratada con el software correspondiente.

Cada escáner suele incorporar su propio software para gestionar la captura de datos y generar la malla a partir de la nube de puntos, para exportarlo a un STL como fichero estándar. Existen software específicos con herramientas potentes para el tratamiento de las nubes de puntos, con herramientas para poder realizar ingeniería inversa, y generar un fichero CAD.





CASO PRÁCTICO







4. CASO PRÁCTICO

4.1. INTRODUCCIÓN

Para aplicar la teoría desarrollada en apartados anteriores, se ha realizado un caso práctico de reconstrucción 3D.

Es un proceso de ingeniería inversa, en el partiendo de un objeto real, se pretende llevar a cabo su reconstrucción con un software informático, Catia V5, para obtener su geometría en formato CAD.

El objeto a reconstruir es un molde, que sirve para fabricar la moqueta que va colocada en la base de un automóvil.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL OBJETO A RECONSTRUIR

Como se acaba de mencionar, el objeto con el que se va a realizar el caso práctico de reconstrucción 3D es un molde de aluminio, que sirve para fabricar la moqueta de la base de un automóvil. La moqueta es de fibras de polipropileno y otros termoplásticos.

Los pasos que se siguen para la fabricación de la moqueta son los siguientes:

En primer lugar se coloca una plancha de fibras de polipropileno sobre un carril. En dicho carril se calienta la plancha y posteriormente se introduce entre las dos cavidades del molde.

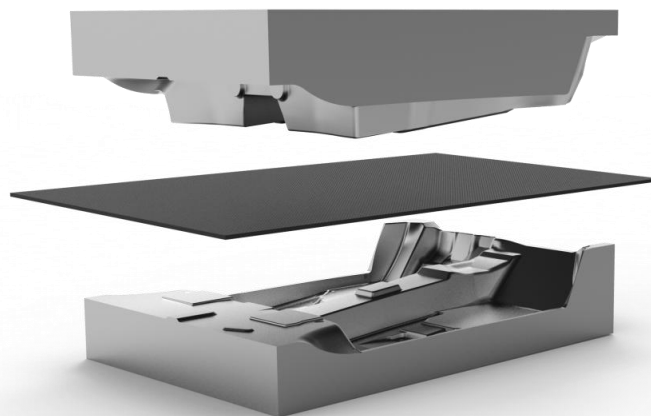


Imagen 4



Se cierra el molde y se mantiene cerrado bajo presión.



Imagen 5

Transcurrido el tiempo necesario se abre el molde y se extrae la plancha, la cual tiene, todos los pliegues que se observan en el molde, pero sin agujeros.

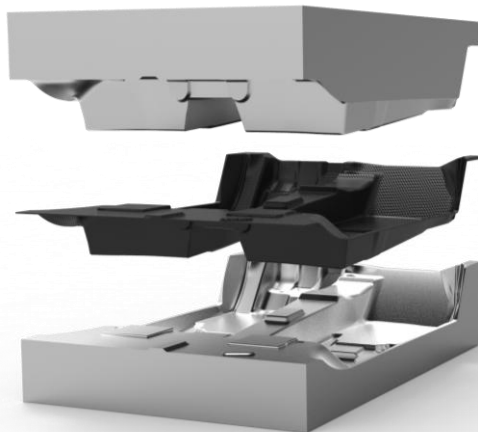


Imagen 6

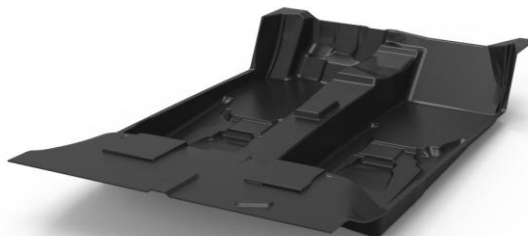


Imagen 7



Para realizar el mecanizado de los agujeros se utiliza el corte con láser.
Para añadir un refuerzo en la zona de apoyo de los pies del conductor, se suelda por ultrasonidos dicho refuerzo.

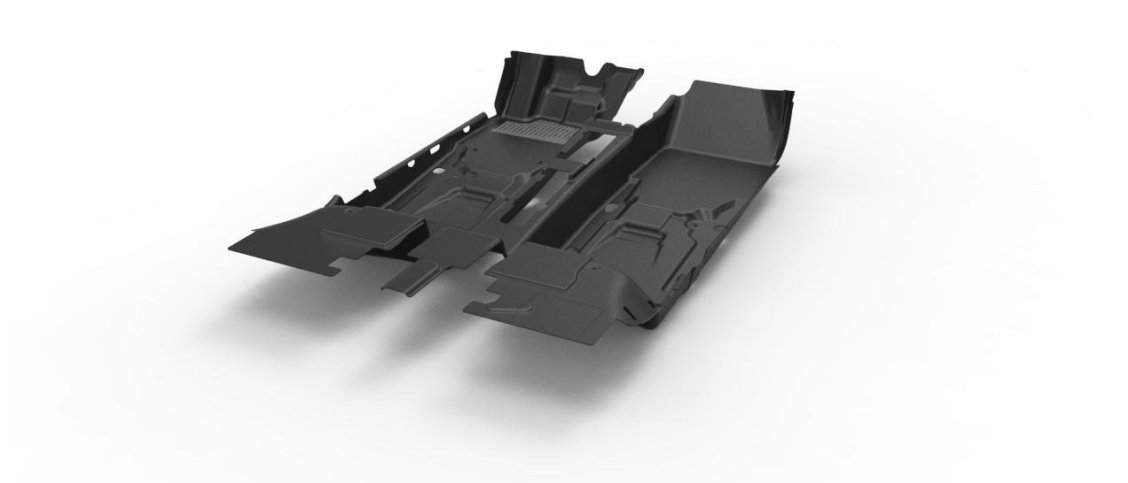


Imagen 8

4.3. EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

La causa por la que fue necesario llevar a cabo un proceso de ingeniería inversa con el molde, fue debido a que se realizaron modificaciones sobre el mismo. Por lo tanto la geometría real de éste no coincidía con la geometría del 3D teórico.

Debido a las modificaciones realizadas la moqueta salía con zonas que presentaban arrugas, por lo tanto se realizó un escaneo 3D del molde para poder comparar éste con la geometría teórica, y ver en qué zonas había desviaciones. La empresa AEDI Ingenieros S.L. fue la encargada de realizar dicha tarea, utilizando para ello un software propio del escáner con el que se realizó. Obtuvieron así un 3D en formato CAD del molde, pero sin ser éste editable.

El presente proyecto se centrará únicamente en la reconstrucción del molde partiendo del escaneo para realizar el proceso de reconstrucción 3D. Para ello se utilizará el software Catia V5, con el objetivo de conseguir un 3D en formato CAD editable del molde. Posteriormente se comparará con el modelo teórico para ver las zonas en las que aparecen desviaciones y poder evaluar los resultados.

El proyecto fue realizado por la empresa AEDI Ingenieros S.L. El proceso de reconstrucción con Catia V5 desarrollado en el presente proyecto, se realizó bajo su supervisión y como forma de investigación de un nuevo método a utilizar.



4.4. REALIZACIÓN DEL ESCANEEO Y MEDIOS UTILIZADOS

Para hacer el escaneo se utilizó un brazo Nikon MCAX escáner láser.



Imagen 9



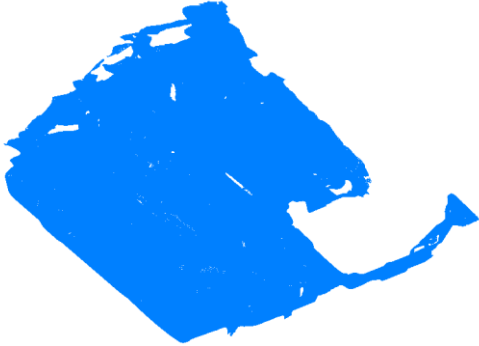
Imagen 10

Especificaciones del Escáner Láser con Brazo Nikon MACX

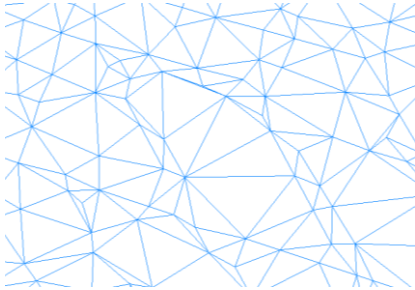
Anchura de línea (Y) (mm):	200
Rango de medición de inicio (mm):	110
Rango de medición (Z) (mm):	150
Precisión (1 σ) (μ m):	16
Velocidad de datos a pleno FOV (Hz):	60
Velocidad de datos máxima (Hz):	150
Rendimiento Mejorado del Sensor:	ESP3
Puntos por línea:	1000
Compensación de la temperatura:	Sí
Peso del sensor (g):	400 (+/-20)
Potencia del Láser:	Clase 2



El formato de salida en el que obtenemos los escaneos son mallas en Stl. Las mallas son conjuntos de triángulos unidos entre sí. En la siguiente imagen se puede visualizar uno de los escaneos.



La malla es muy densa, ya que está formada por más de 4 millones de triángulos. Si se aplica zoom se pueden apreciar perfectamente los triángulos por los que se compone.



Para mejorar la visualización de las mallas y trabajar de forma más eficiente pudiendo apreciar la geometría de éstas, se desactiva la visualización como “Triangles” y se activa la visualización “Smooth”.

La parte superior del molde se dividió en tres escaneos y la parte inferior en dos, puesto que por razones de tamaño no era posible obtener los escáneres de una sola vez.

Mallas molde superior:



Mallas molde inferior:



4.5. TRATAMIENTO DE DATOS CON CATIA V5

Una vez realizado el escaneo se procede al tratamiento de los datos. Partiendo de una malla, el objetivo es llegar a obtener una pieza en formato CAD con posibilidad de modificar su geometría.

Para ello se utilizará el programa Catia V5, el cual cuenta con módulos específicos para el tratamiento de datos digitalizados.

El objeto del que se va a proceder a hacer la reconstrucción 3D está compuesto por dos piezas: La parte superior del molde y la parte inferior del molde. Se explicará de forma detallada todos los pasos y herramientas utilizadas para ambas reconstrucciones. Las herramientas utilizadas son las mismas en ambos casos, y los pasos seguidos muy similares, pero para facilitar su comprensión se han separado. En primer lugar se explicará la reconstrucción del molde superior y en segundo lugar la del molde inferior.

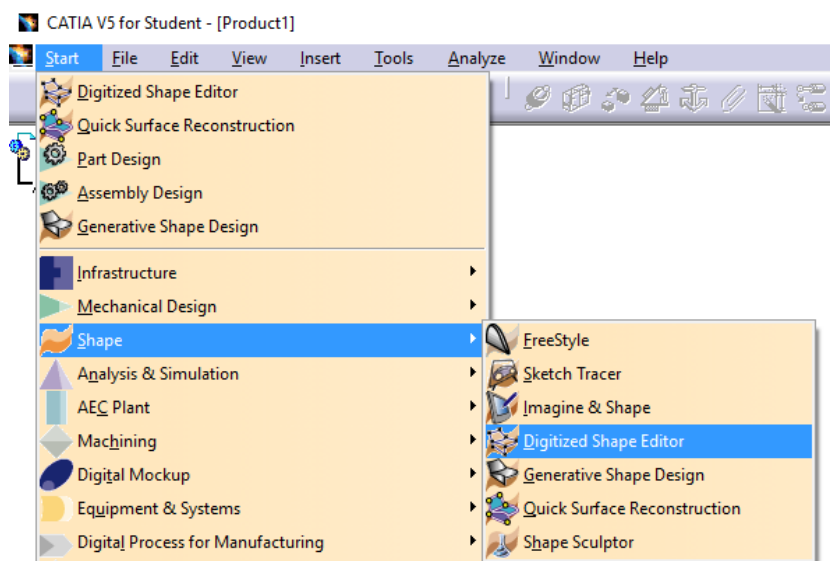
Debido a la similitud entre los procesos, se realizará la reconstrucción completa del molde superior hasta obtener un modelo sólido. En cuanto al molde inferior, se trabajará con la malla hasta dejar la misma preparada para comenzar a realizar las superficies, deteniendo ahí el trabajo, ya que como se ha mencionado, los pasos seguidos son muy similares y no aportarían información nueva al proyecto que se está realizando.

4.5.1. MOLDE SUPERIOR

Para realizar la primera parte del proceso de reconstrucción se utilizará el módulo de Catia V5 Digitized Shape Editor.

Para acceder a dicho módulo:

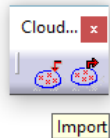
Start/Shape/Digitized Shape Editor





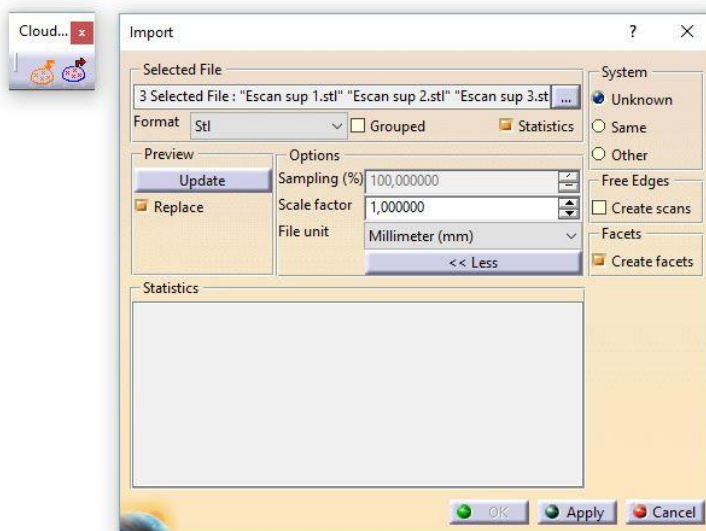
4.5.1.1. IMPORTACIÓN DE LAS MALLAS

El primer paso es importar las mallas a través de la herramienta “Import” de la barra de herramientas “Cloud Import”.



Es mejor utilizar ésta herramienta para importar mallas o nubes de puntos en vez a través de file/open, ya que esa forma puede producir errores.

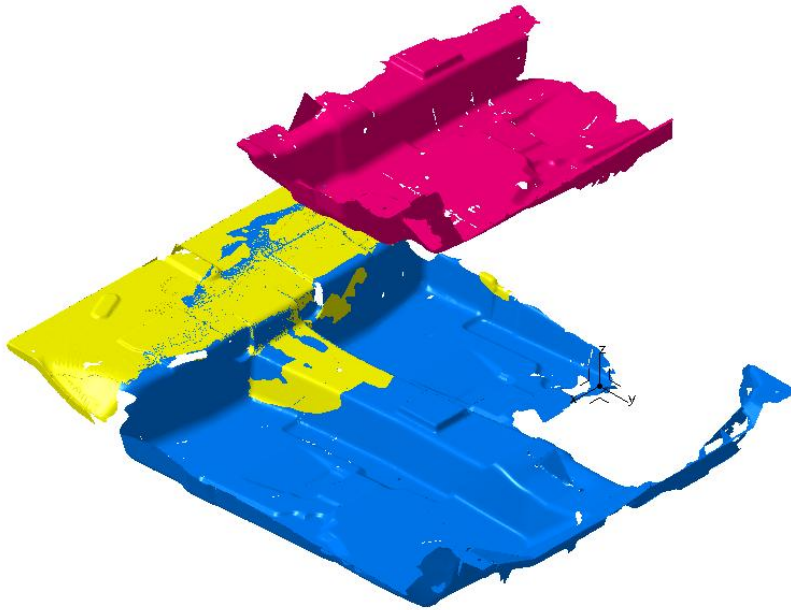
Al hacer clic en el icono “Import”, aparece el siguiente menú:



En la casilla “selected file” se selecciona el archivo o archivos que se desea importar. Pueden agruparse si se activa la casilla “grouped”. En éste caso no se activa, ya que se necesita tratar las mallas de forma independiente. Los archivos que se han importado son “Escan sup 1.stl”, “Escan sup 2.stl” y “Escan sup 3.stl”.

En el menú desplegable de “Format” se elige el formato de entrada del escaneo. En éste caso se elige Stl, que es el formato de los escaneos.





Como se puede ver en la imagen, las mallas no aparecen alineadas unas con otras. Esto ocurre porque se hicieron tres escaneos para poder abarcar todas las zonas. Para facilitar la comprensión del proceso se ha decidido dar a cada malla un color diferente para poder identificarlas fácilmente.

“Escan sup 1” (malla azul), “Escan sup 2” (malla amarilla) y “Escan sup 3” (malla rosa).

4.5.1.2. ALINEACIÓN DE LAS MALLAS

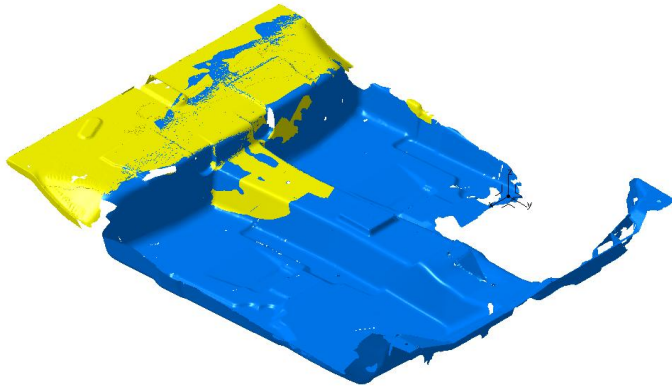
A continuación se procederá a la alineación de las mallas. Para ello se utiliza la barra de herramientas “Cloud Reposit”, de la cual se utilizarán en éste caso los comandos “Align using the compass” y “Aling by Best Fit”.



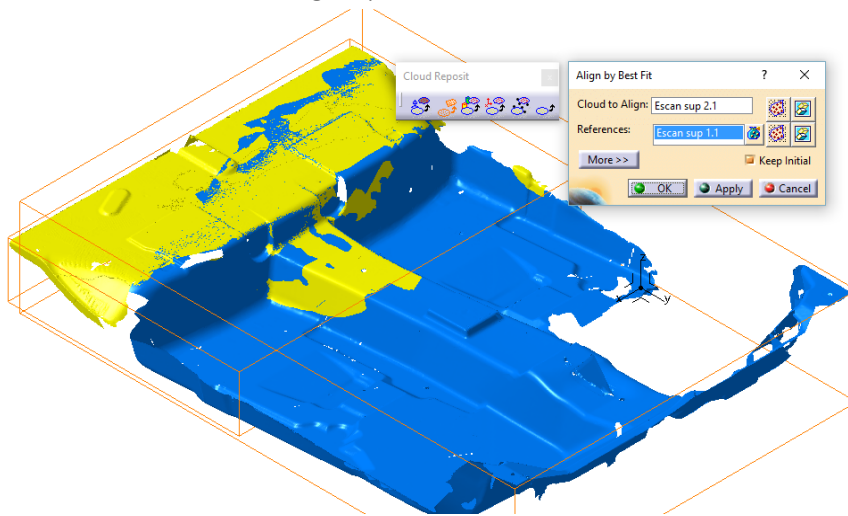
Cuando se realizaron los escaneos, no se tomaron puntos de referencia, como RPS o esferas, algo muy recomendable, ya que facilita mucho el trabajo de alinear.

Para alinear las mallas se ha decidido quedar la malla “Escan sup 1” fija, que es la que tiene geometría común con las dos otras mallas.

En primer lugar se alinearán “Escan sup 1” y “Escan sup 2”

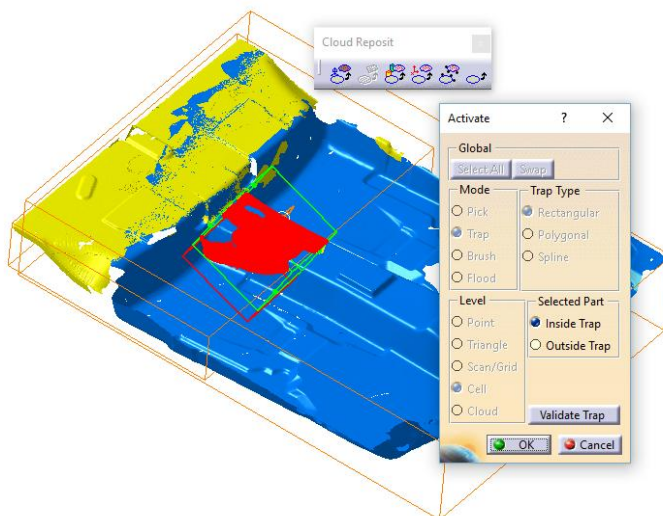


Aparentemente no presentan una desalineación muy pronunciada, por lo que se utilizará el comando “Align by Best Fit”.

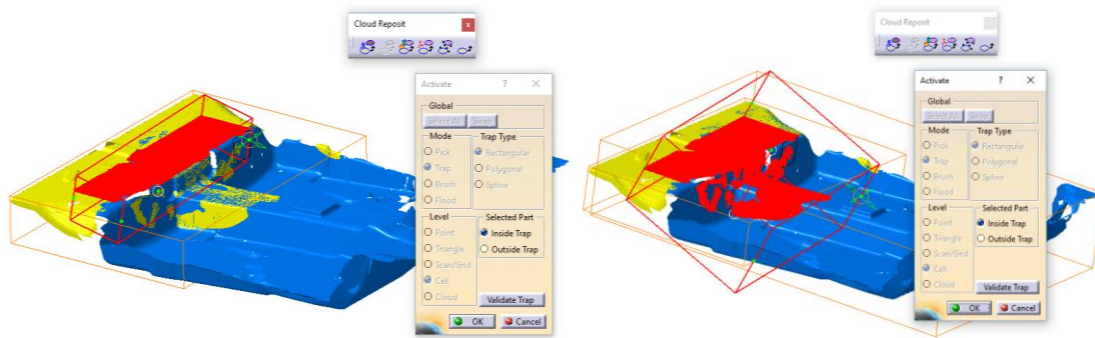


En “Cloud to Align” se selecciona la malla “Escan sup 2”, que es la que se moverá, y en “References” se selecciona “Escan sup 1”, la cual permanecerá fija.

Para obtener una mayor precisión se puede utilizar la opción “Activate”, que permite seleccionar la zona concreta a alinear. En ésta opción es recomendable seleccionar la geometría que es común a ambas mallas.



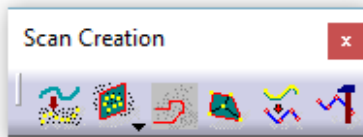
En la siguiente imagen se puede ver que la zona seleccionada es la parte sombreada en color rojo.



Se realizaron un total de tres operaciones hasta conseguir una alineación con resultado satisfactorio.

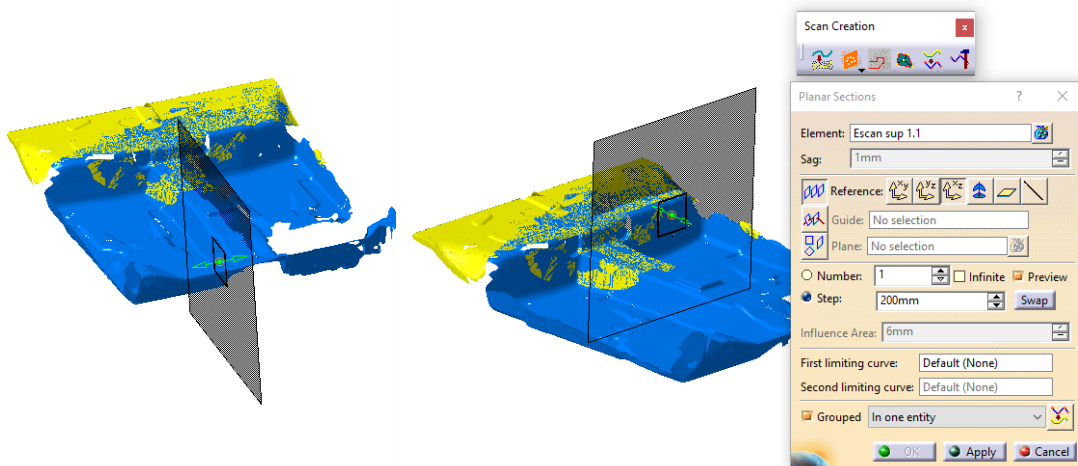
Comprobación Alineación

Para poder evaluar el resultado de la alineación se han hecho diferentes cortes utilizando el comando "Planar Sections" de la barra de herramientas "Scan Creation".



El comando "Planar Sections" crea una curva intersección, o varias, según sea necesario, entre un plano dado y la malla correspondiente. Para hacer la siguiente comprobación se han tomado tres planos de referencia a través de los cuales hacer la intersección. Las correspondientes intersecciones se hacen independientemente con cada malla.

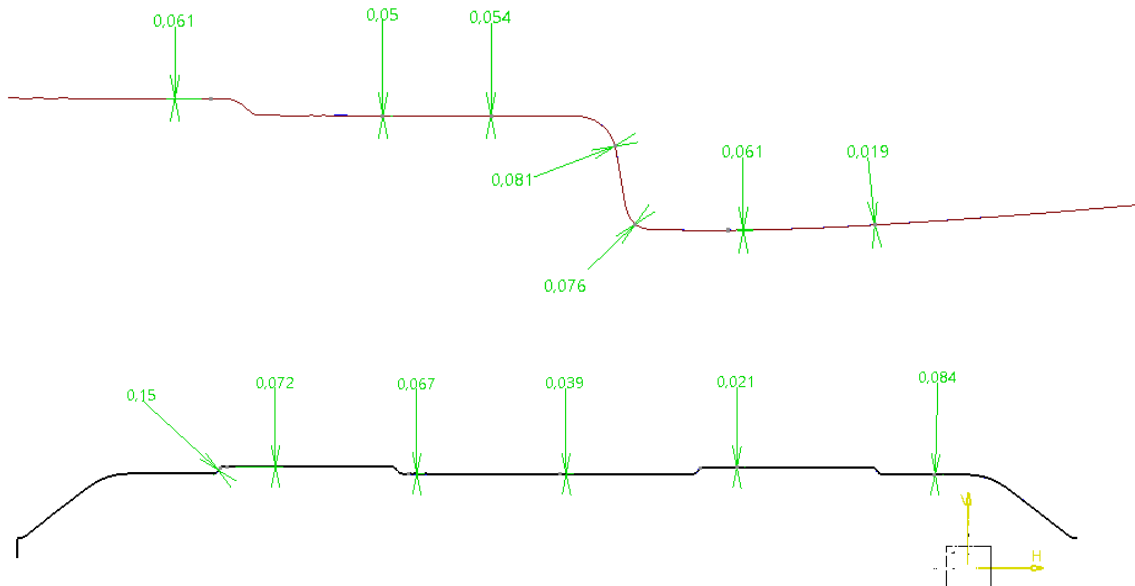
En las siguientes imágenes se pueden ver los diferentes planos.





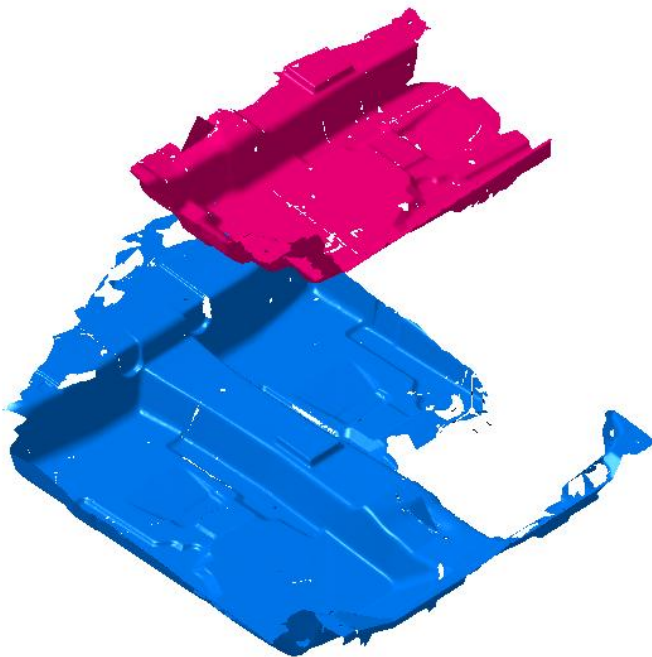
Una vez hechas las correspondientes operaciones, el resultado son cuatro curvas, dos por cada malla. Dichas curvas se comparan dos a dos, según el plano con el que fueron hechas.

Curvas intersección con el primer plano:

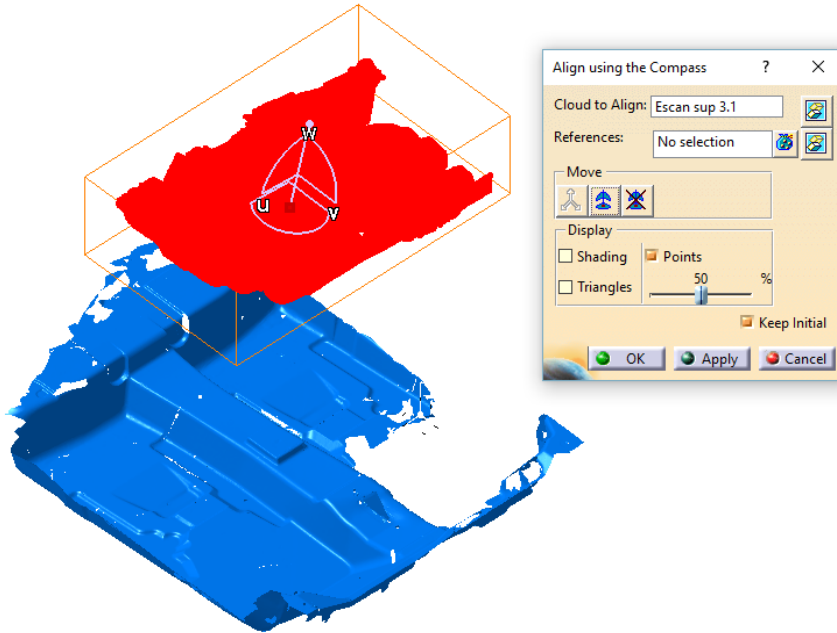


Se ha hecho un análisis de las desviaciones entre ambas curvas. Las desviaciones encontradas son del orden de centésimas de milímetro, exceptuando una zona en la que es de décimas de milímetro, por lo que se da como válido el resultado.

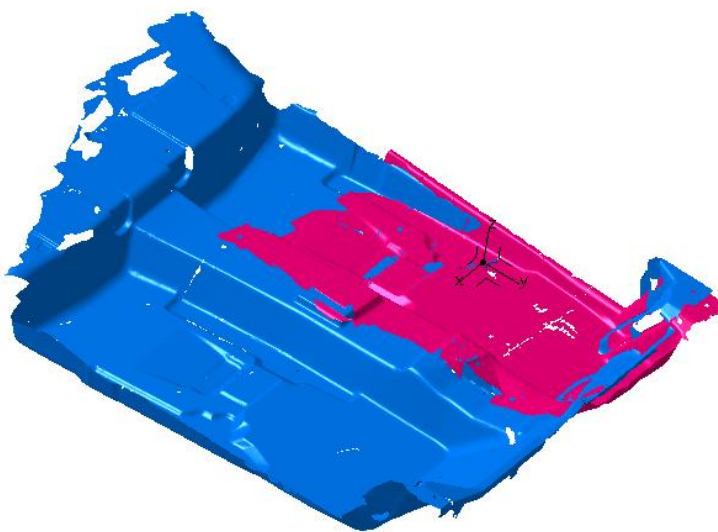
Una vez finalizada la alineación de las dos primeras mallas, se procederá a la alineación de las mallas "Escan sup 1" y "Escan sup 3".



En éste caso las mallas aparecen más desordenadas que en el caso anterior, debido a ello se utilizará el comando “Align Using the Compass”, el cual, permite hacer una alineación aproximada de forma rápida. Al igual que en el caso anterior, la malla “Escan sup 1” permanecerá fija y se moverá la malla “Escan sup 3”.

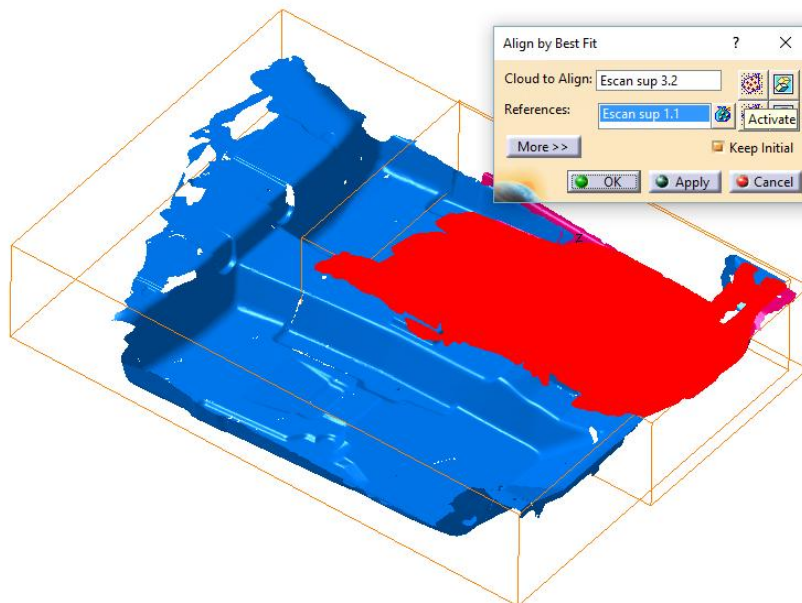


En la opción “Cloud to align” se selecciona la malla que se desea mover, “Escan sup 3”, y en la opción “Move” se selecciona el compás. Moviendo los ejes del compás se coloca de forma aproximada dicha malla con respecto a la malla fija.



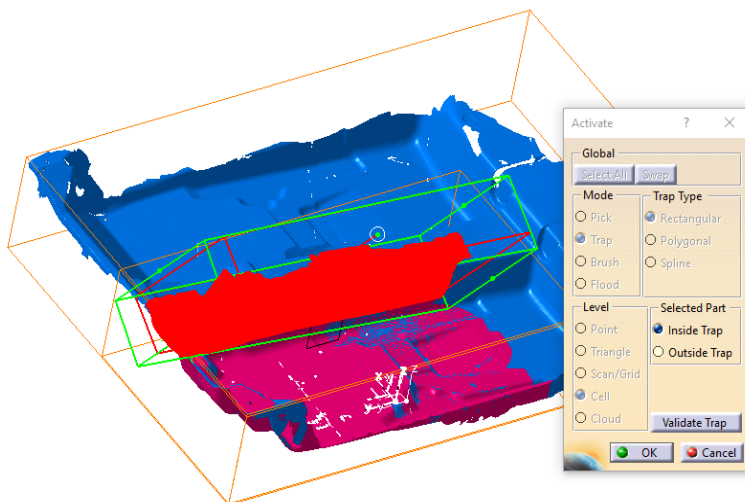


Una vez posicionadas las mallas de forma aproximada se utilizará el comando “Align by Best Fit”.



Dentro de la opción “Cloud to align”, se selecciona la malla a mover, y en “Reference” la malla que permanecerá fija.

Utilizando la casilla “Activate” se selecciona la zona de la malla que se considere oportuna, la de mayor geometría común con la referencia, es lo recomendable.



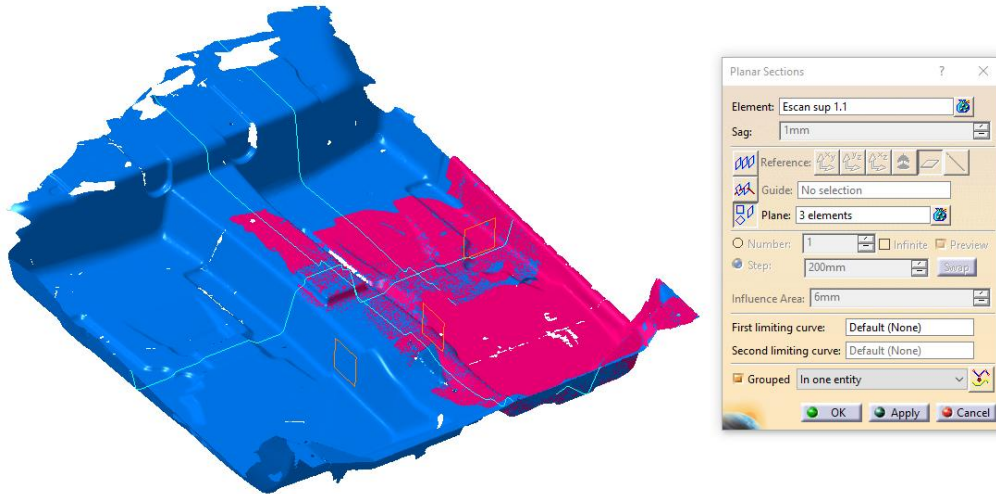
Se han hecho ocho operaciones con este comando activando diferentes zonas en cada caso hasta llegar a un resultado satisfactorio.

Comprobación Alineación

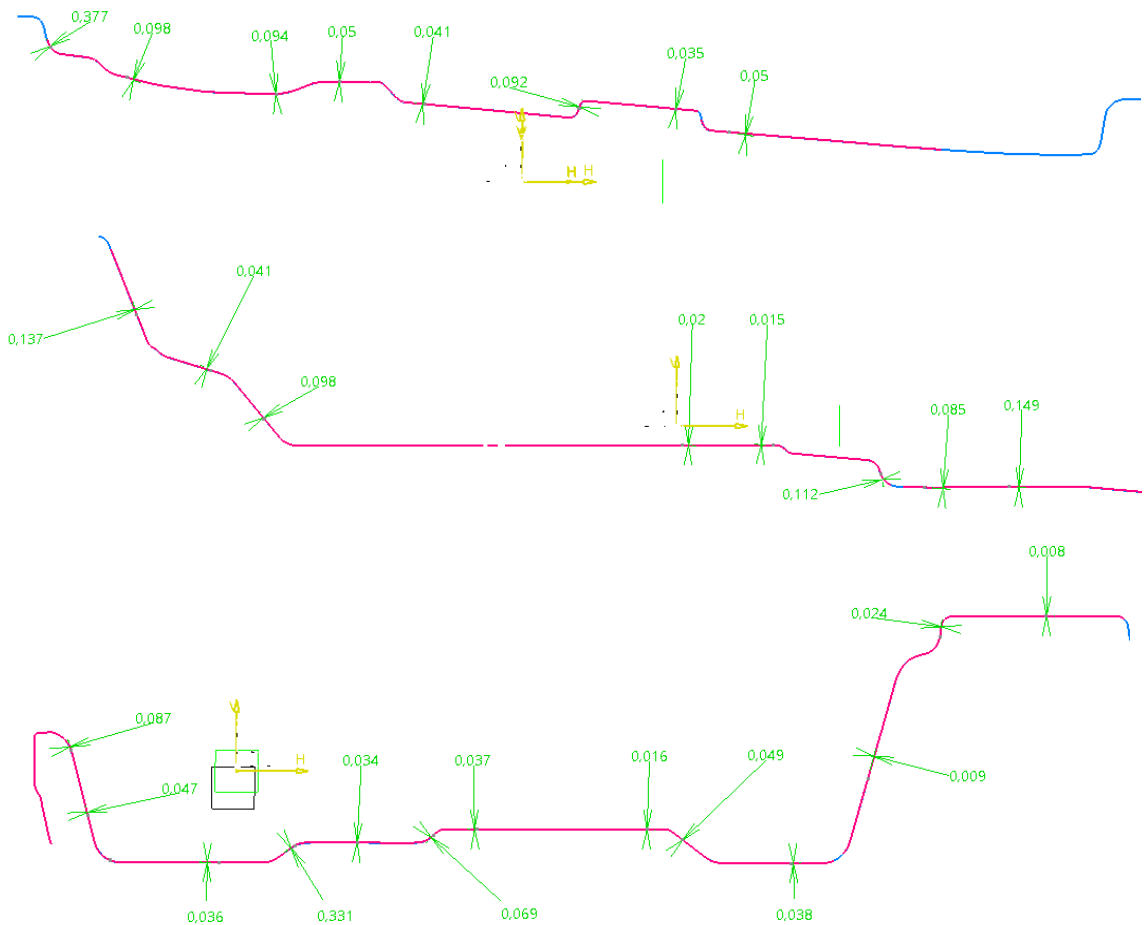
Para hacer la comprobación de la alineación se ha seguido el mismo método que en la comprobación entre las mallas “Escan sup 1” y “Escan sup 2”.



En primer lugar se han creado los planos a través de los cuales se obtendrán las intersecciones. Se ha utilizado el comando “Planar Sections”.

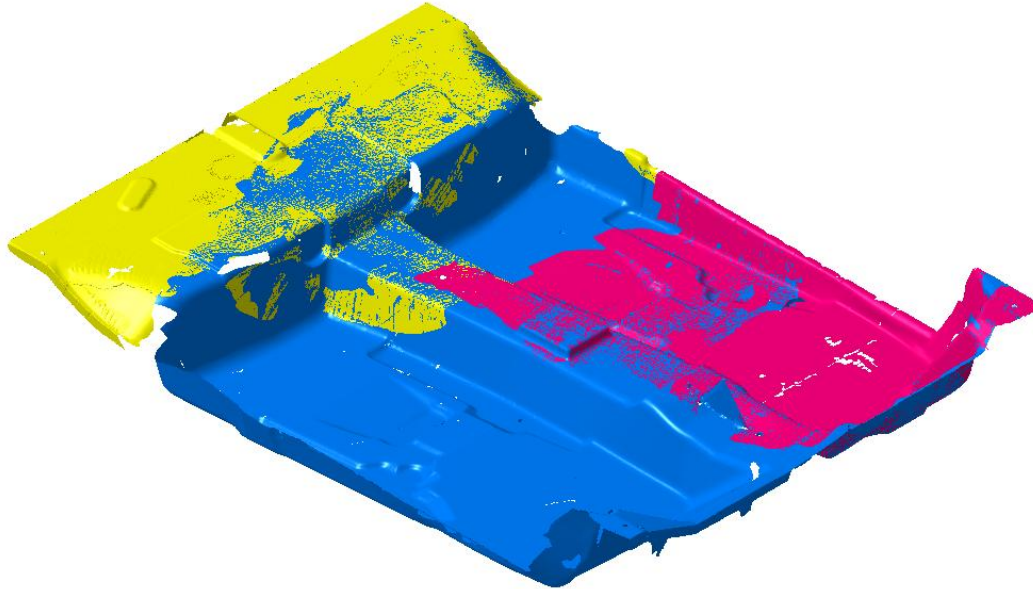


En la imagen anterior se pueden ver las intersecciones con los tres planos creados. Al igual que en el caso anterior, dos intersecciones por plano, una con cada malla. Hacen un total de seis curvas intersección. Dichas curvas se han comparado dos a dos, para verificar que sus desviaciones son adecuadas.



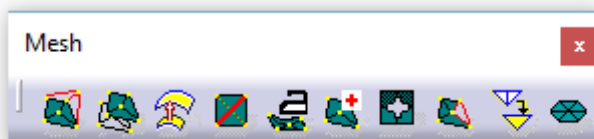


Como se ha podido observar, las desviaciones son de centésimas en la mayoría de los casos y de décimas en algunas zonas. Por lo tanto se da la alineación como válida. Llegados a éste punto las tres nubes están alineadas entre sí. En la siguiente imagen se puede observar el resultado:



4.5.1.3. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LAS MALLAS

Una vez colocadas las mallas en su posición correspondiente, se procederá a su limpieza, ya que al realizar el escaneo es normal que se produzcan errores y sea necesario corregirlos antes de seguir con la reconstrucción. En primer lugar se utilizará el comando “Mesh Cleaner” el cual se encuentra en la barra de herramientas “Mesh”.



El comando “Mesh Cleaner” permite eliminar defectos que presenta la malla. Dentro de los defectos que detecta dicho comando se encuentran:

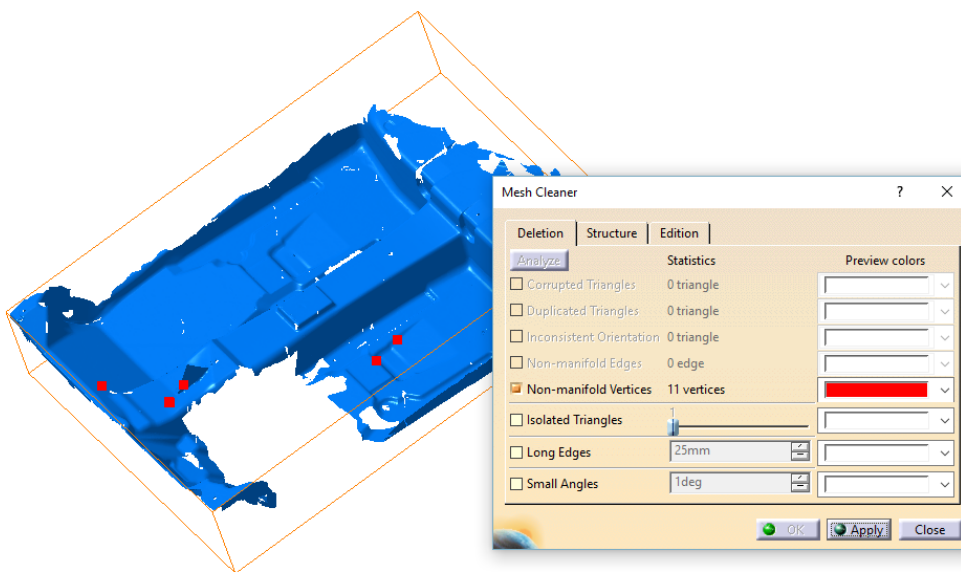
- Corrupted Triangles (Triángulos corruptos), aquellos que tienen el mismo vértice dos veces.
- Duplicated Triangles (Triángulos duplicados), aquellos que comparten los mismos tres vértices.



- Inconsistent Orientation (Orientación incoherente), triángulos que presentan una orientación desacomode con el resto.
- Non-manifold Edges , bordes compartidos por más de dos triángulos.
- Non-manifold Vertices, vértices compartidos por varias mallas separadas.
- Isolated Trialgles (triángulos aislados)
- Long Edges, identifica vértices de mayor longitud a la especificada.
- Small Angles, ángulos de menor tamaño al especificado.

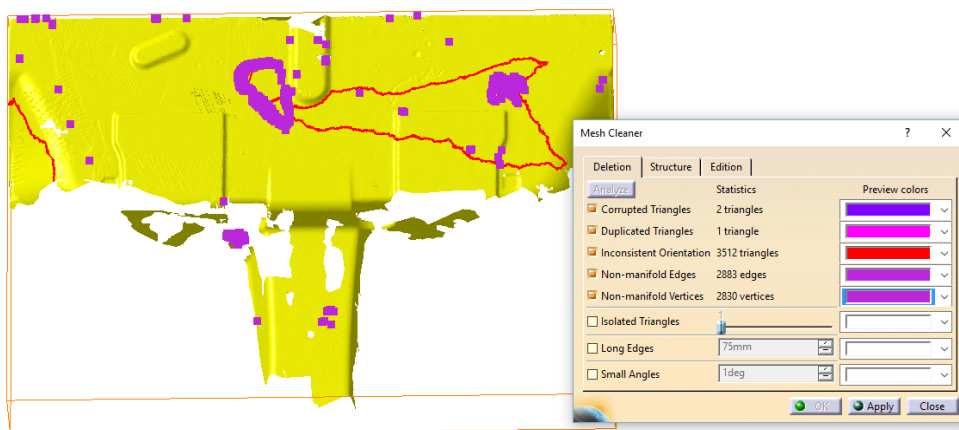
Una vez aclarados los anteriores conceptos, se explicarán los defectos detectados por el comando “Mesh Cleaner” en cada malla.

En primer lugar se aplicó sobre la malla “Escan sup 1”.



Los defectos que se encontraron fueron 11 vértices Non-manifold, que posteriormente fueron eliminados.

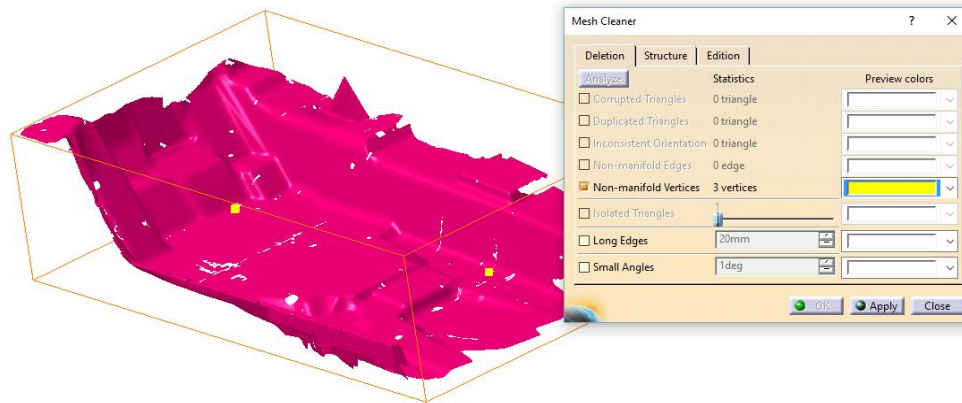
A continuación se aplicó el comando sobre la malla “Escan sup 2”.





En éste caso se encontraron 2 triángulos corruptos, un triángulo duplicado, 3512 triángulos con orientación incoherente, 2883 bordes non-manifold y 2830 vértices non-manifold, los cuales se eliminaron.

Por último se aplico el comando sobre la malla “Escan sup 3”.



En ésta malla solo se encontraron 3 vértices non-manifold, que se eliminaron con el comando.

El siguiente paso fue utilizar el comando “Decimate” de la barra de herramientas “Mesh”.



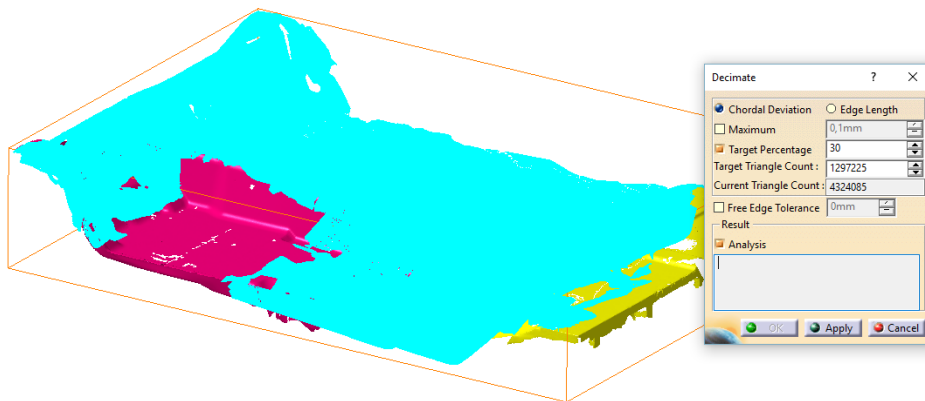
Éste comando se utiliza para reducir el número de triángulos de una malla. En mallas muy grandes, como es éste caso, sirve para poder manipular mejor la malla y para reducir su tamaño en referencia a la memoria que necesita.

Para poder aplicar el comando “Decimate”, es necesario que la malla esté libre de elementos non-manifold. Por ello en el paso anterior se utilizó el comando “Mesh Cleaner” cuya función, entre otras, es detectar elementos non-manifold.

Como en casos anteriores se aplicará el comando a cada una de las mallas por separado.

En primer lugar se muestra en la imagen la aplicación de “Decimate” a la malla “Escan sup 1”.



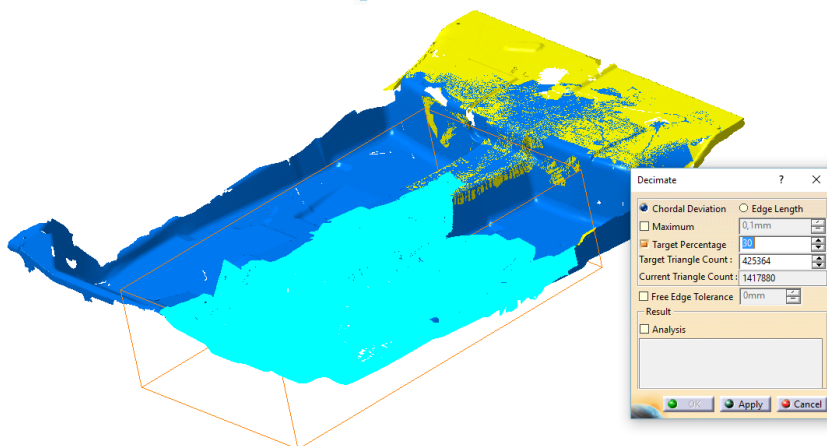
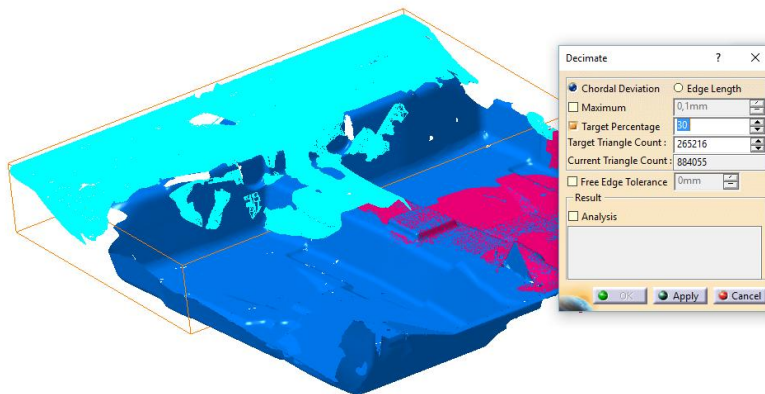


Dentro del comando encontramos dos opciones: Chordal Deviation, que respeta la geometría original del modelo y Edge Length, la cual crea una malla con triángulos uniformes pero puede ocasionar cambios en la geometría. La primera es la utilizada en este caso.

En la casilla Target Porcentaje se especifica el porcentaje final de triángulos que se desea obtener. En las casillas Target Triangle Count y Current Triangle Count, se muestra el número final de triángulos tras aplicar el porcentaje y el número inicial respectivamente.

El comando se aplicó sobre las tres mallas con un valor de Target Porcentaje de un 30%, puesto que las mallas eran demasiado densas.

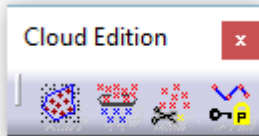
En las imágenes se puede ver el número inicial y final de triángulos.





4.5.1.4. ELIMINACIÓN DE ERRORES

A continuación se utilizó el comando “Remove” de la barra de herramientas “Cloud Edition”.

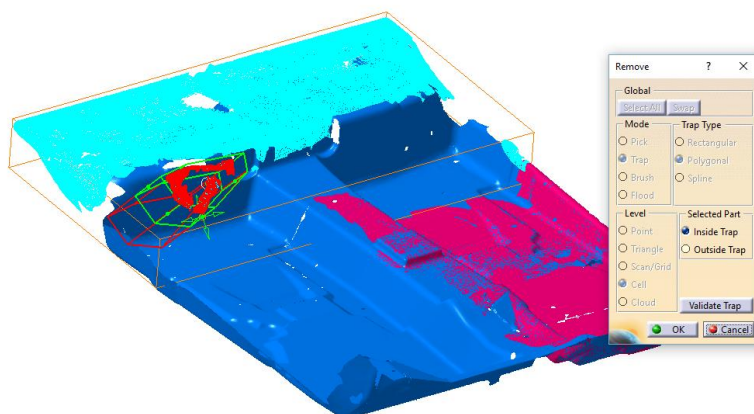
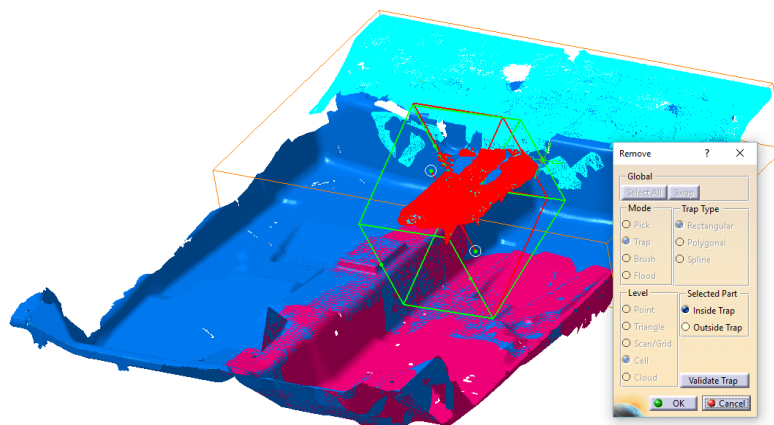


“Remove” sirve para eliminar zonas de la malla. Para seleccionar dichas zonas se puede utilizar selección con brocha, con rectángulos o polígonos.

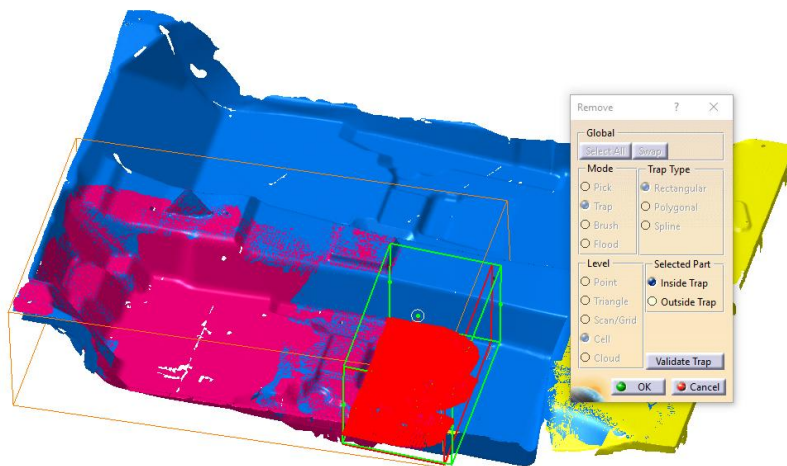
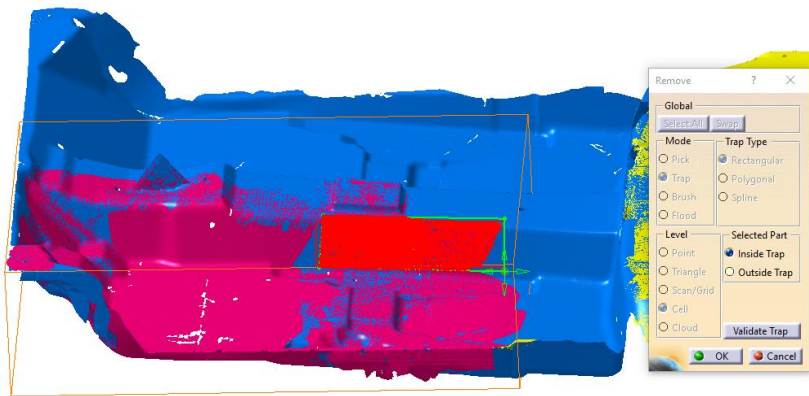
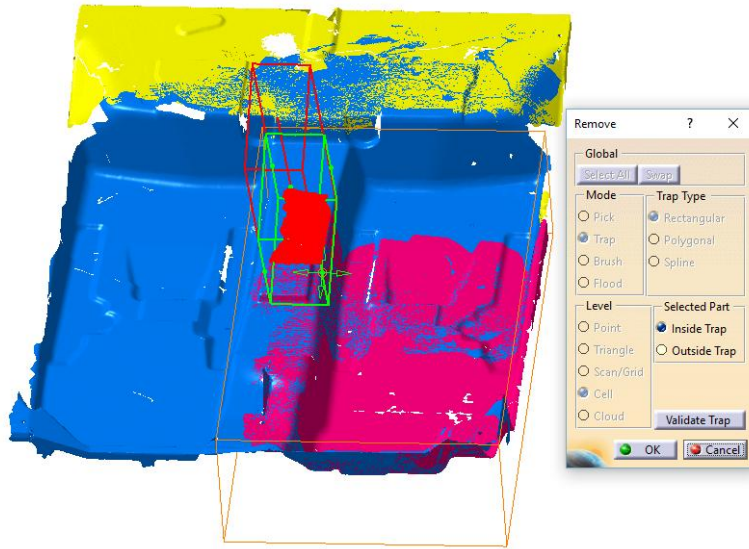
Las zonas que se han eliminado son las que estaban superpuestas en las mallas, al estar repetidas se ha decidido eliminar las zonas de peor calidad o de menor definición. Se han eliminado zonas relativamente grandes.

En las siguientes imágenes se pueden observar las zonas eliminadas en cada una de las mallas:

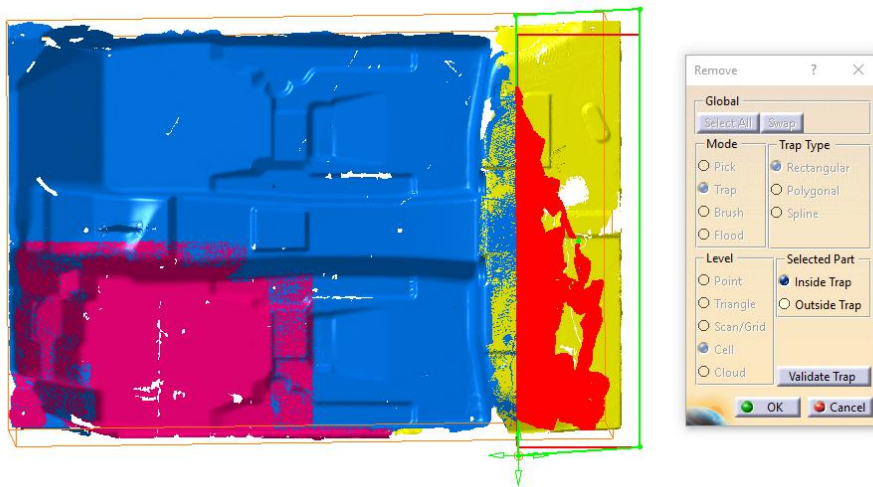
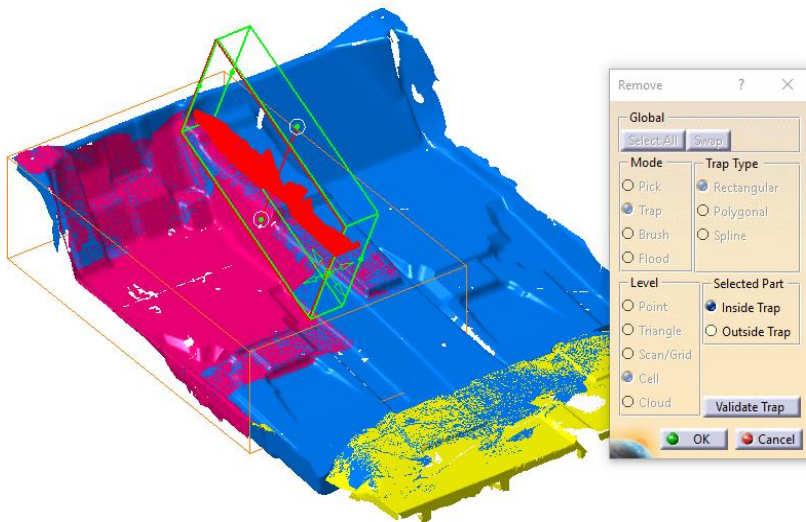
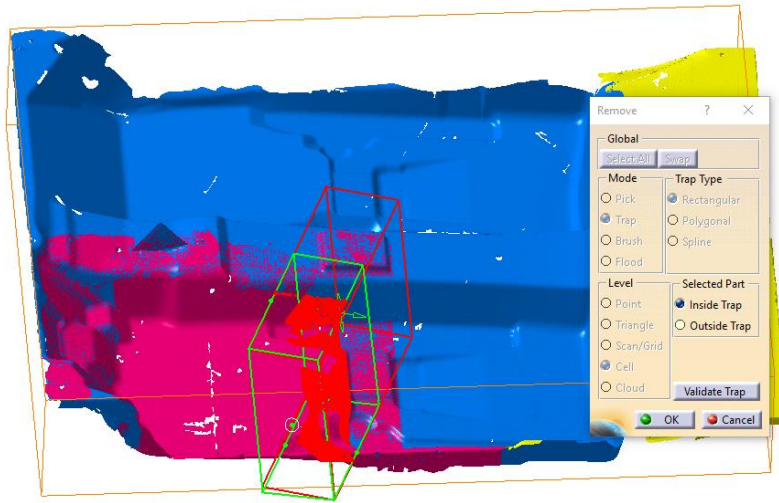
Zonas eliminadas en “Escan sup 2”:



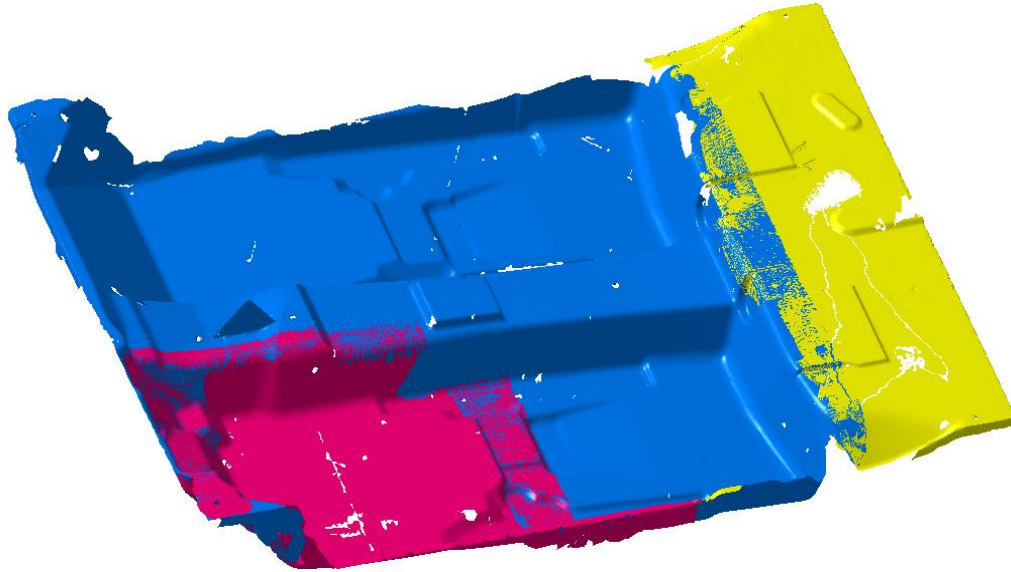
Zonas eliminadas en "Escan sup 3":



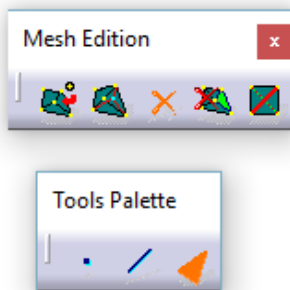
Zonas eliminadas en "Escan sup 1":



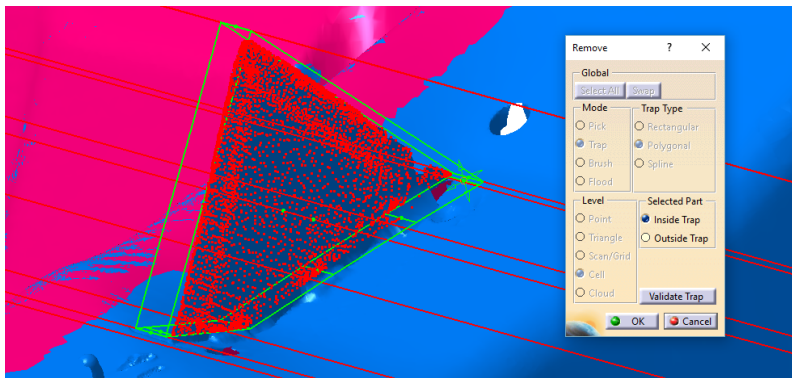
En la siguiente imagen se puede observar el resultado tras utilizar el comando “Remove” en las diferentes mallas:



Posteriormente se ha procedido a eliminar detalles. Para ello las herramientas más apropiadas son los comandos “Remove”, utilizado anteriormente para la eliminación de áreas mayores, y el comando “Remove Element” que se encuentra en la barra de herramientas “Mesh Edition”. Éste último permite eliminar de forma muy precisa, se puede elegir el elemento que se desea borrar: punto, línea o triángulo.



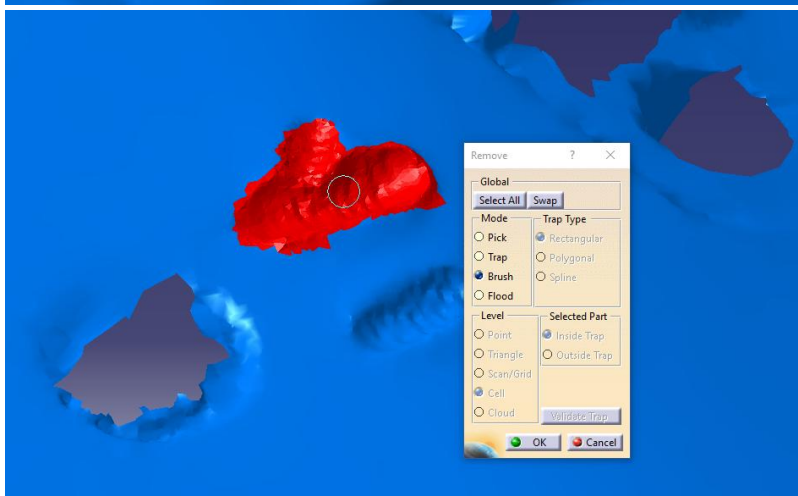
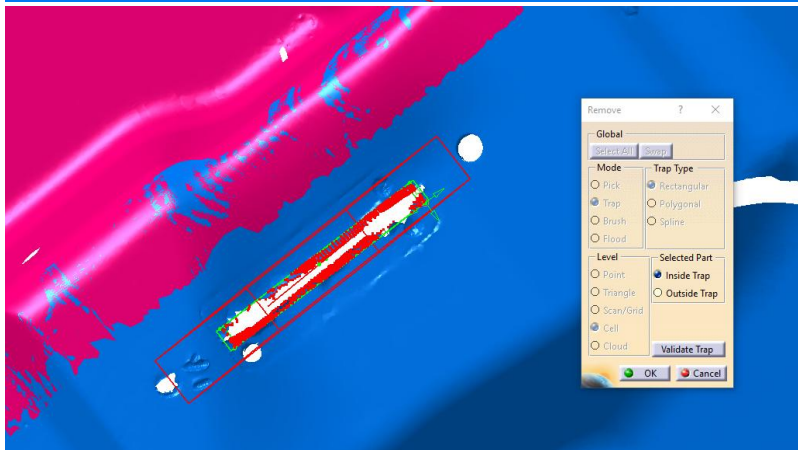
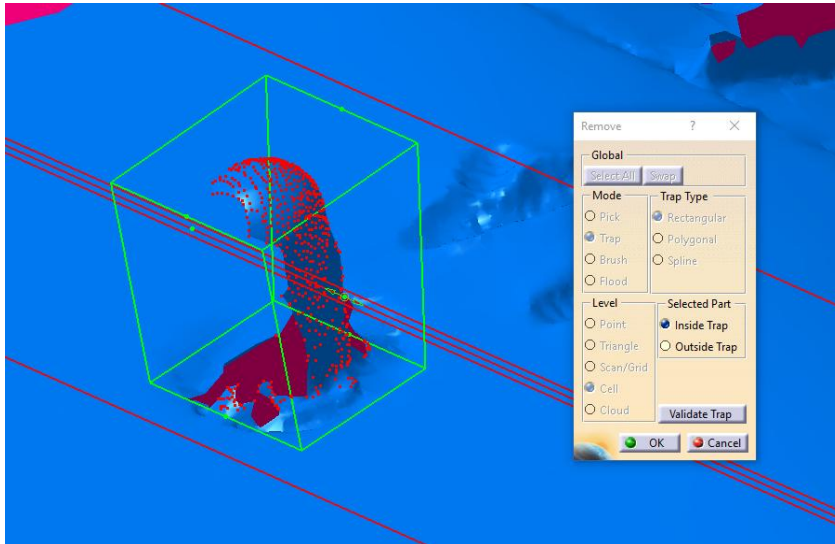
Utilizando ambos comandos se han eliminado diferentes zonas de las tres mallas, las más amplias con “Remove” y las más precisas y pequeñas con “Remove Element”.

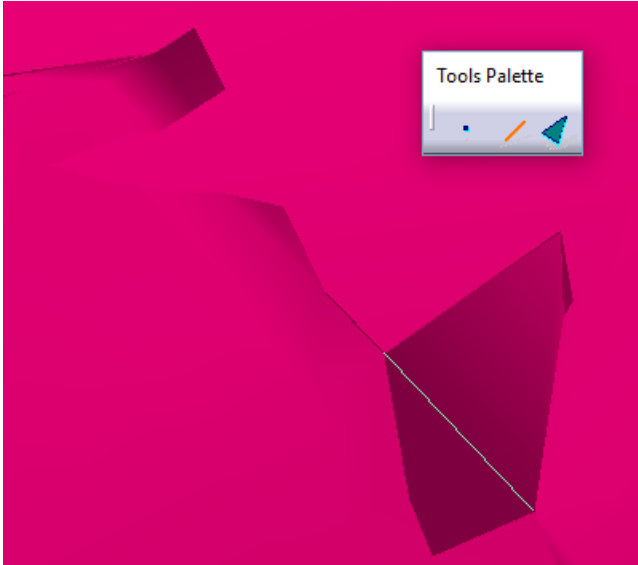




El triángulo que aparece en la imagen anterior aparece en el escaneo debido a que fue colocado en ese lugar con el fin de facilitar la alineación de las diferentes mallas, pero no pertenece a la geometría del molde.

Lo ideal habría sido colocar diferentes esferas de referencia para poder alinear las mallas con mayor precisión.





La aparición de zonas mal definidas o con una superficie excesivamente rugosa e irregular se debe a diferentes factores, como por ejemplo la velocidad a la que se pasa el escáner, una velocidad elevada no es capaz de captar correctamente la geometría y deja áreas en blanco. La distancia del escáner al objeto, la perpendicularidad con la que se enfoca y el material de la pieza a escanear son factores que en mayor o menor medida influyen en la calidad de la malla.

En éste caso al tratarse de un objeto de elevadas dimensiones, probablemente el escaneo fue realizado de forma rápida, por lo que como se puede observar su calidad en algunas zonas no es tan elevada como se desearía que fuese.



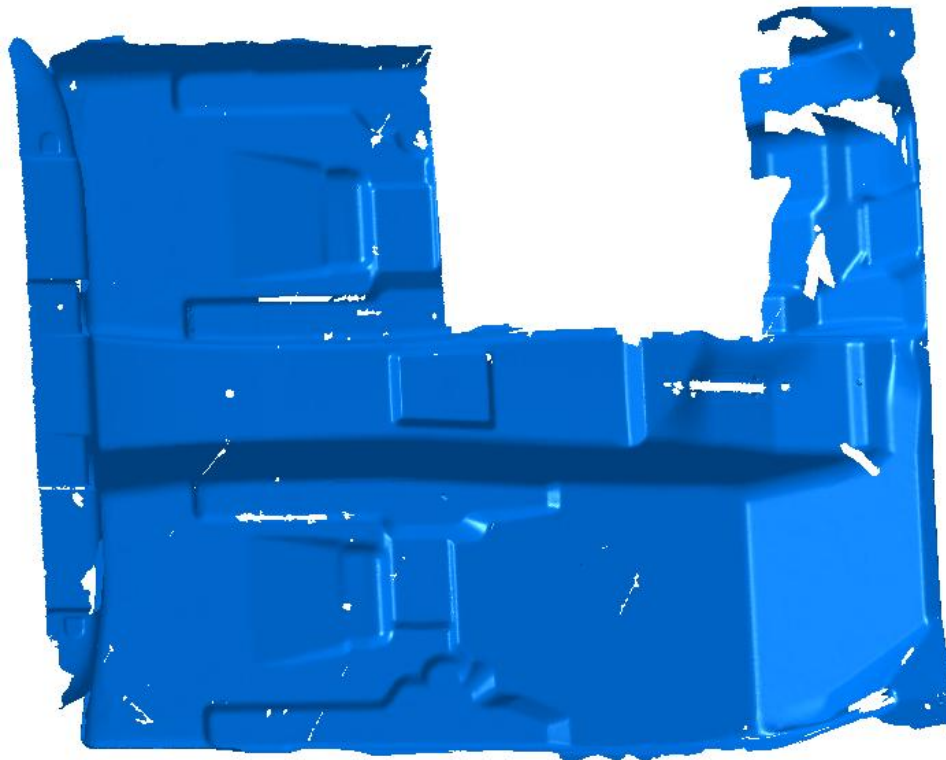


4.5.1.5. RECONSTRUCCIÓN DE ZONAS POCO DEFINIDAS

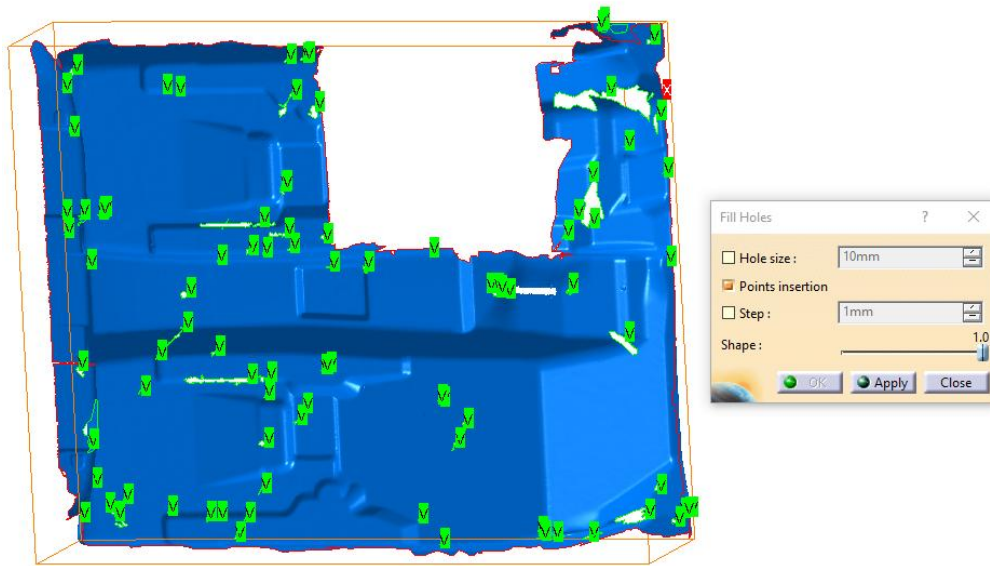
En las tres mallas se pueden encontrar áreas escasamente definidas, ya sea por que el escáner no llegó a ellas o porque han sido eliminadas durante las operaciones de limpieza de la malla. Para solucionarlo y mejorar la definición de las mallas se utilizó el comando “Fill Holes” perteneciente a la barra de herramientas “Mesh”.



Se comenzó por definir la malla “Escan sup 1”, la cual presentaba el siguiente aspecto:

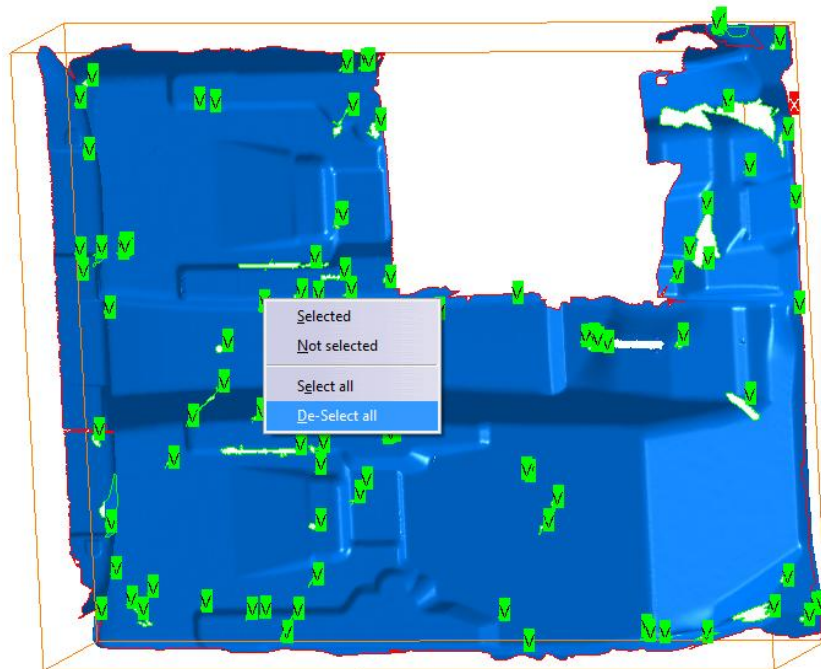


Aplicando el comando "Fill Holes" se muestran todos los agujeros presentes en la malla, con opción a que sean rellenados:



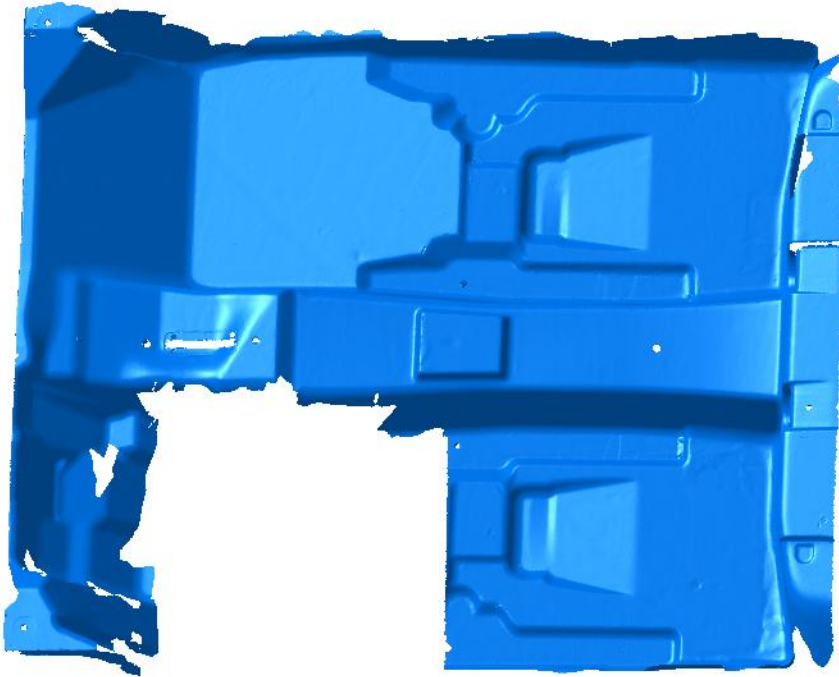
Utilizando la casilla de Hole size, se puede regular el tamaño de los agujeros que se mostrará. En éste caso no se utilizó ese filtro, puesto que interesaba que fueran señalados todos los agujeros que presentaba la malla, independientemente de su tamaño.

Utilizando el menú desplegable del botón derecho, se puede elegir que agujeros seleccionar para que sean rellenados, ya que rellenar todos los que muestra el comando produciría errores en la geometría creada.

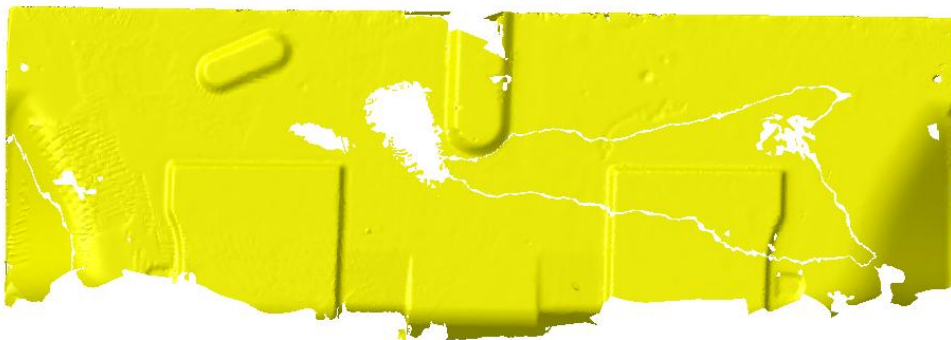




Algunos de los agujeros mostrados presentaban errores a la hora de realizar su eliminación, para ello se utilizó el comando “Remove element”, utilizado anteriormente, para deshacerse de los triángulos o aristas que presentaban el error. Una vez finalizado el proceso de reconstrucción de las zonas poco definidas, el aspecto de la malla es el siguiente:

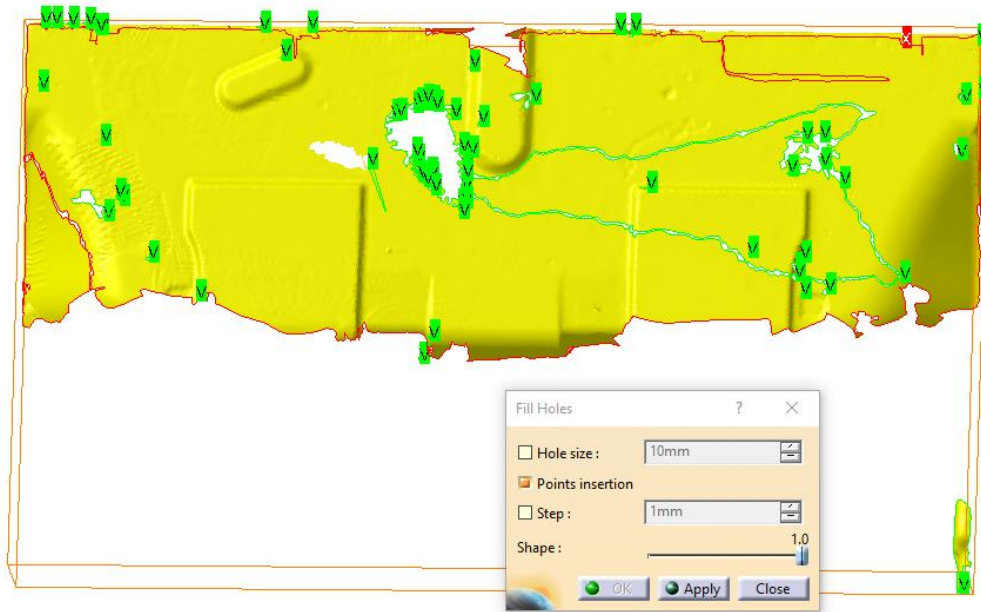


Como se puede observar en la imagen, los agujeros propios de la geometría del molde no fueron eliminados, así como los agujeros de gran tamaño o presentes en zonas de curvatura pronunciada, los cuales creaban un mallado erróneo al ser rellenados. A continuación se realizó el proceso sobre la malla “Escan sup 2”, la cual presentaba el siguiente aspecto antes de su tratamiento:



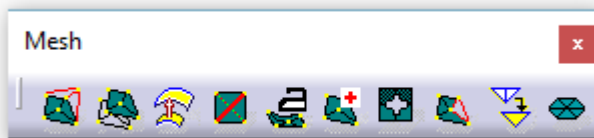
Los agujeros detectados por el comando “Fill Holes” fueron los siguientes:





En éste caso había un agujero de gran tamaño, el cual se decidió dividir en varias partes para mejorar la precisión de su reconstrucción.

Para crear triángulos sobre las mallas de forma precisa se utiliza el comando “Interactive Triangle Creation”, perteneciente a la barra de herramientas “Mesh”



Para utilizar el comando simplemente se seleccionan dos aristas sobre las que crear el triángulo, o bien, una arista y un punto (vértice).





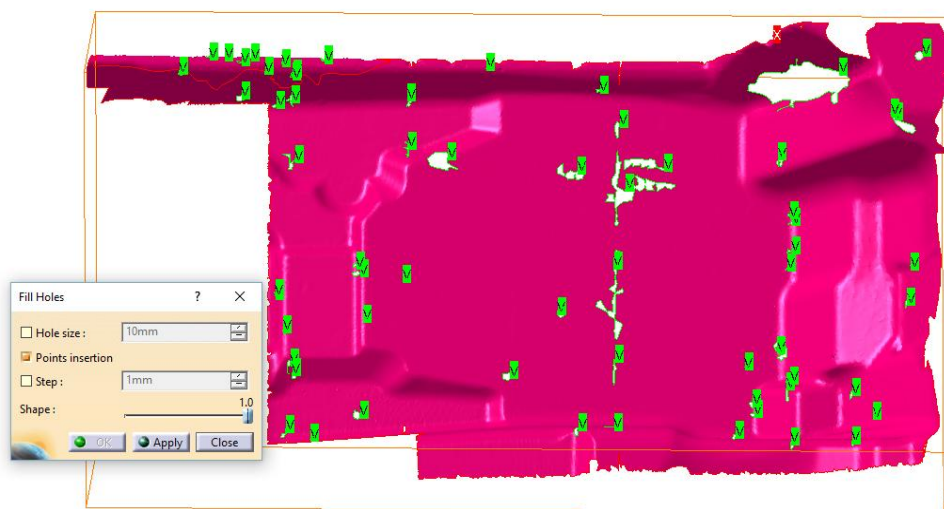
Utilizando el comando citado y el comando “Remove Element” se preparó la malla para proceder a rellenar los agujeros seleccionados con “Fill Holes”, como se puede observar en la imagen:



Por último se trataron las correspondientes zonas de la malla “Escan sup 3”:



Los agujeros detectados por el comando “Fill Holes” fueron los siguientes:





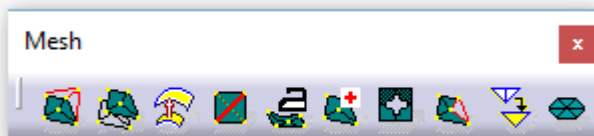
Al igual que se realizó con las mallas anteriores, se utilizaron los comandos “Interactive Triangle Creation” y “Remove element”, para posteriormente aplicar “Fill Holes” para definir las zonas correspondientes. Se dejaron sin rellenar agujeros propios de la geometría del molde, como en los casos anteriores, y agujeros cuya definición con el comando utilizado producía una definición de la malla errónea. En la imagen se observa el aspecto final de la última malla tras la definición de las correspondientes zonas.



4.5.1.6. SUAVIZADO DEL MALLADO

Una vez realizados los pasos anteriores, se observa que las mallas han mejorado su calidad notablemente. Pero tienen un gran defecto, su estructura interna de triángulos es irregular y desordenada.

Para solucionar éste problema se utiliza el comando “Optimize”, que se encuentra en la barra de herramientas “Mesh”.

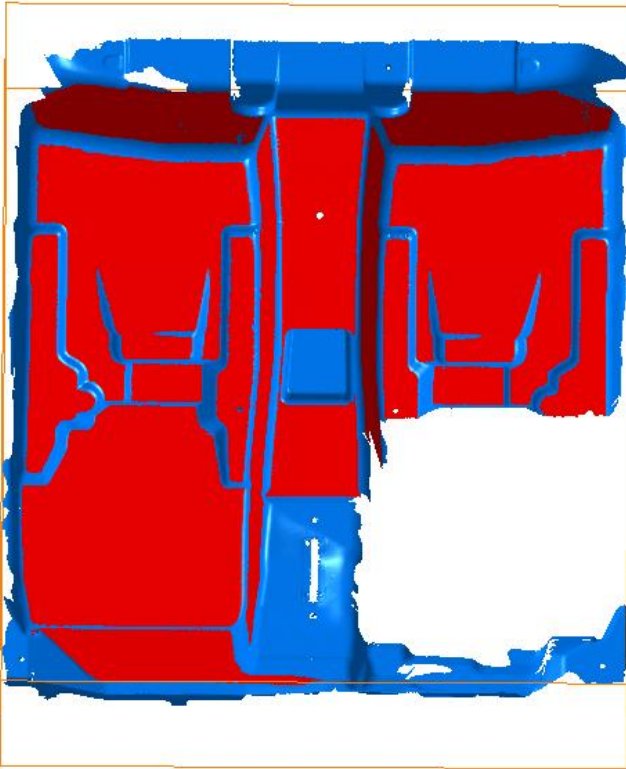


Dicho comando permite optimizar mallas, dotándoles de una estructura ordenada y más homogénea. Pero se debe tener cuidado con las zonas sobre las que se aplica, puesto que puede modificar la geometría original de la malla. Para ello se utiliza el comando “Activate”, utilizado en otras ocasiones, para seleccionar exactamente las zonas que se deseen tratar.

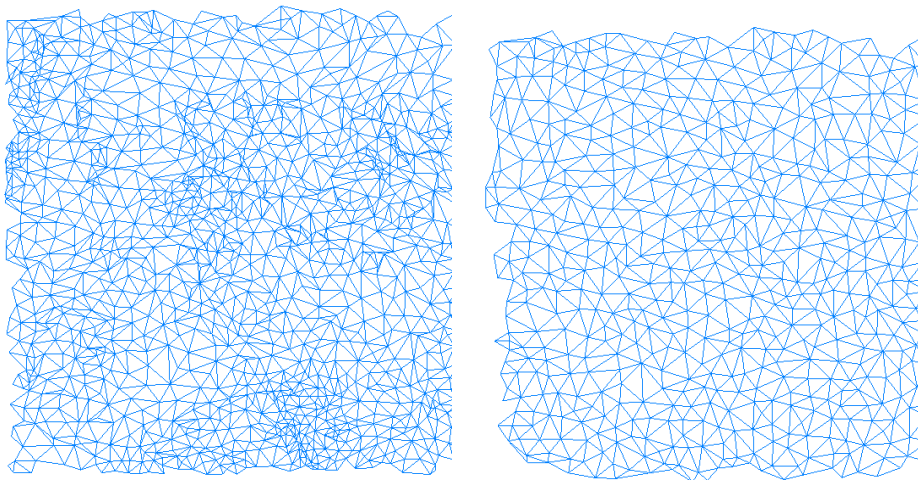


Para evitar errores se han seleccionado de las diferentes mallas zonas relativamente planas, cuya geometría es sencilla, evitando en todo caso aristas y zonas con curvatura pronunciada.

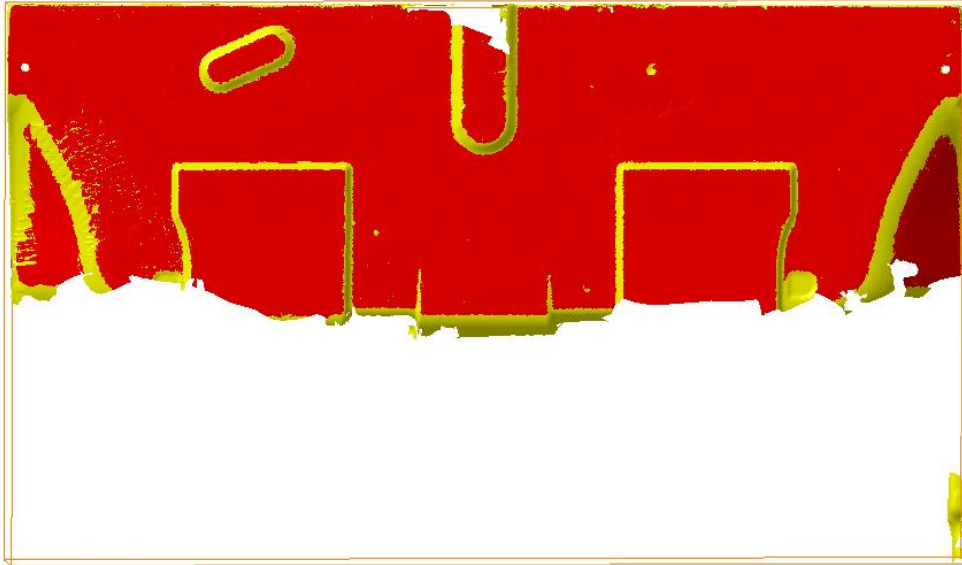
De la malla "Escan sup 1" se seleccionaron para optimizar las zonas coloreadas en rojo, eligiendo para cada una de ellas unos parámetros diferentes en el comando "Optimize", que permite regular las longitudes máximas y mínimas de las aristas de los triángulos.



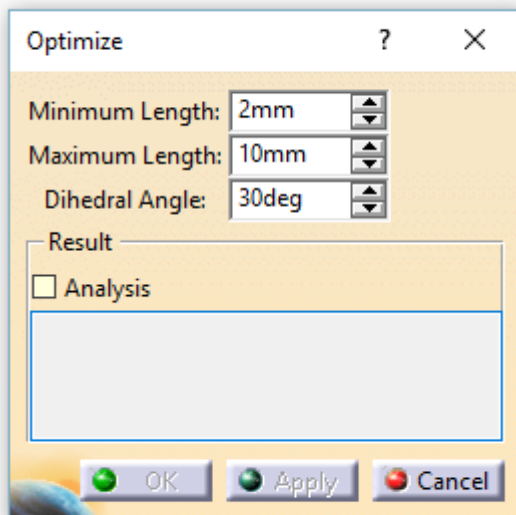
Para poder apreciar la labor que se realiza con el comando "Optimize", se han tomado dos muestras ampliadas de la malla en la misma zona antes de la aplicación del comando y después.



A continuación se aplicó el comando sobre “Escan sup 2”, siguiendo los mismos criterios que fueron utilizados con la malla anterior. Las zonas en las que se aplicó fueron las señaladas en color rojo:



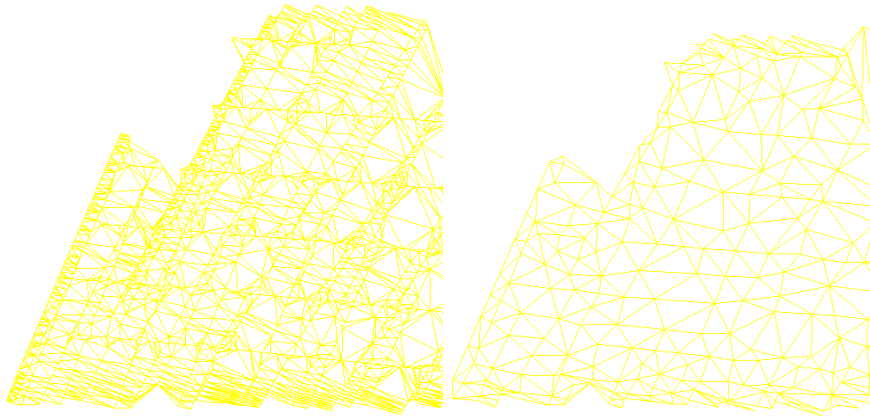
Se evitaron las zonas redondeadas o con geometría compleja y se aplicó el comando en las diferentes zonas por separado variando los parámetros del comando.



Para zonas de geometría compleja se aumenta el rango de valores de arista máximos y mínimos, evitando deformaciones indeseadas.



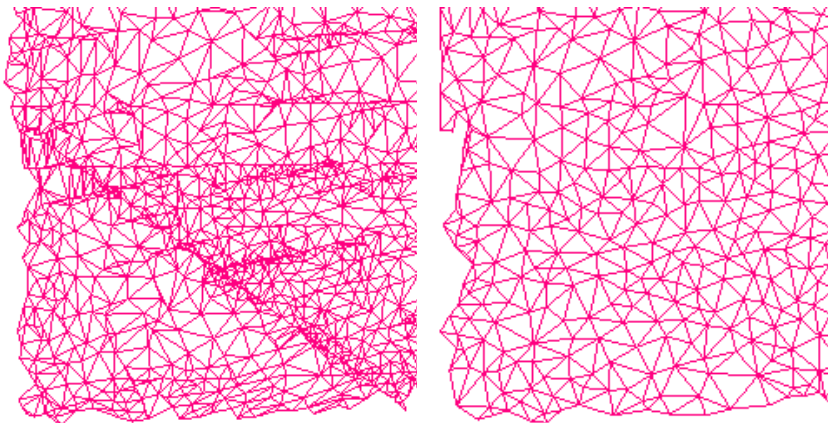
En las siguientes imágenes se puede apreciar la diferencia en una misma zona de la malla antes y después de su optimización:



Por último se optimizó la malla “Escan sup 3”, siguiendo los mismos pasos y criterios citados anteriormente. Las zonas sobre las cuales se aplicó fueron las marcadas en color rojo:



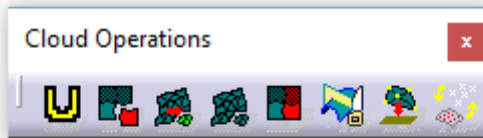
Los cambios sufridos en una zona de la malla tras realizar las operaciones especificadas sobre ella fueron los siguientes:



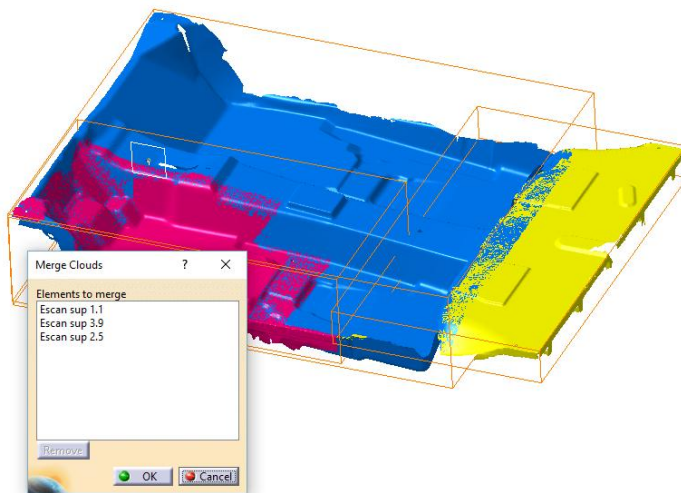
4.5.1.7. UNIÓN DE LAS MALLAS

Una vez finalizado el tratamiento de las diferentes mallas de forma independiente se unirán para pasar a ser una sola malla.

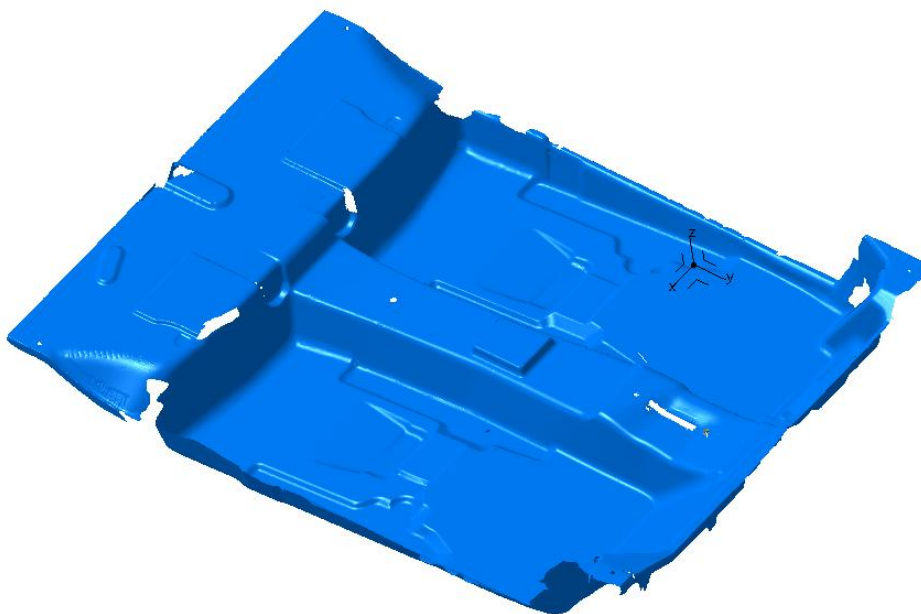
Para realizar ésta operación se utilizó el comando “Merge Clouds”, perteneciente a la barra de herramientas “Cloud Operations”.



Para utilizar éste comando simplemente se seleccionan las mallas que se desea unir y éste crea una malla nueva resultado.



Malla unida:



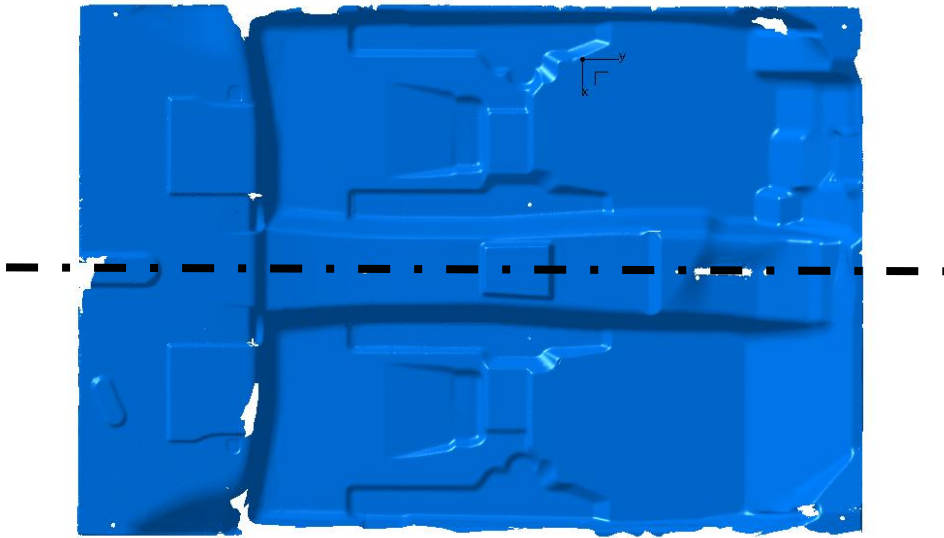


4.5.1.8. CREACIÓN DEL SISTEMA DE EJES

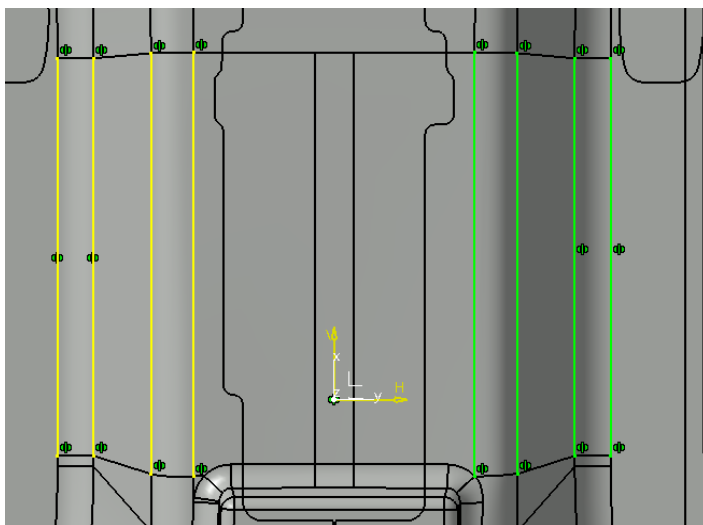
El sistema de ejes que aparece por defecto no está centrado en función de la malla, sino que aparece descolocado en el espacio, por lo tanto no es válido para trabajar con él.

Para crear el nuevo sistema de ejes lo primero que se debe hacer es crear el plano de simetría de la malla, la cual no es simétrica con su totalidad, pero sí lo es en la mayoría de las zonas.

Dicho plano se debería encontrar en la zona que se marca en la imagen.



Se identificó una zona de la malla con elementos simétricos a ambos lados del eje de simetría, la cual, se comprobó en la geometría teórica del molde.

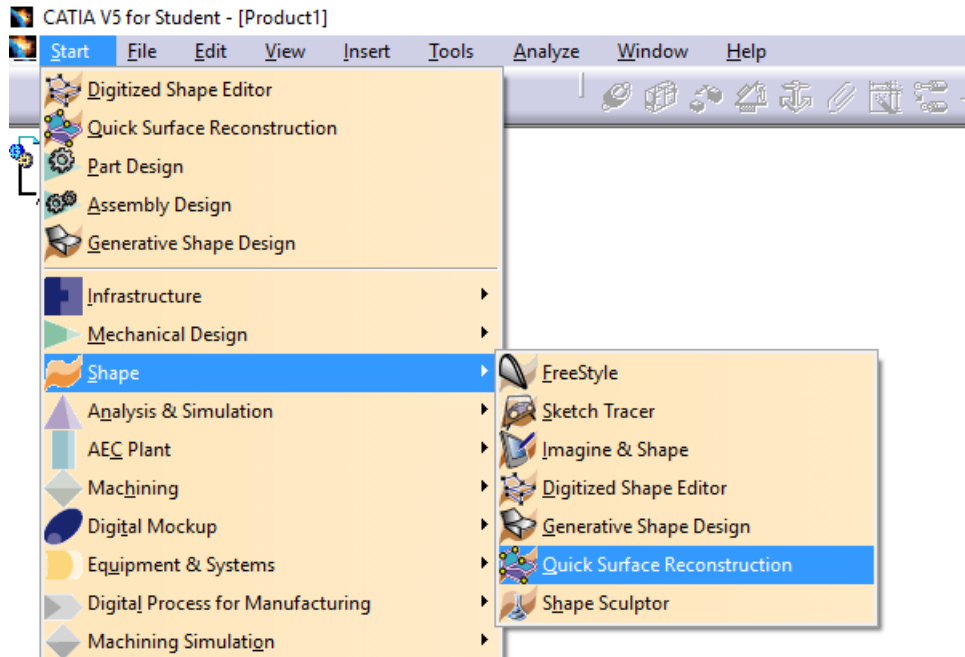


Para la operación que se realizó a continuación es necesario cambiar de módulo de Catia.

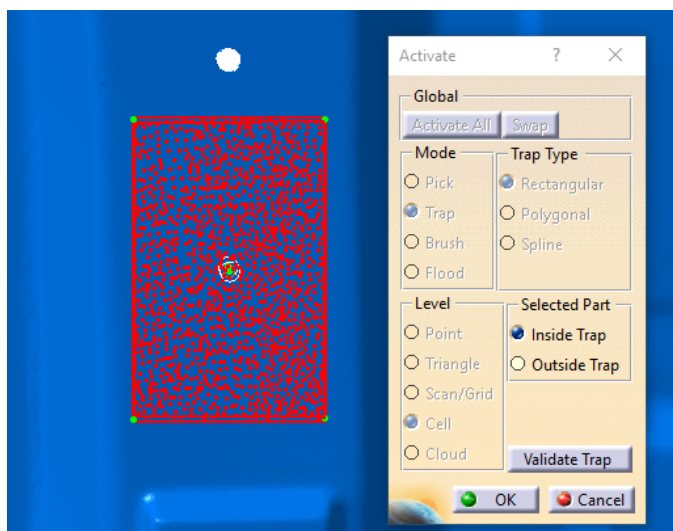


Hasta el momento solo se han utilizado comandos pertenecientes al módulo “Digitized Shape Editor”, pero para realizar las próximas operaciones sobre las mallas será necesario utilizar comandos del módulo “Quick Surface Reconstruction”.

Para acceder al siguiente módulo de Catia:
Start/Shape/Quick Surface Reconstruction



Continuando con el proceso de elaboración de un plano de simetría, se utilizará el comando “Activate” para seleccionar como activa una zona en el plano de simetría y sobre los elementos simétricos identificados con anterioridad.



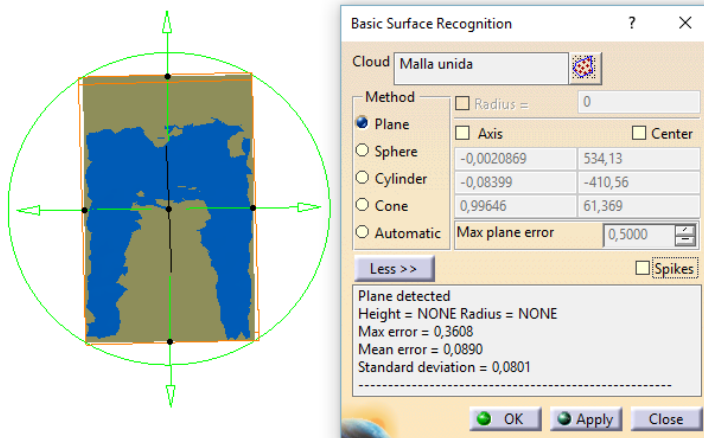


A continuación se utilizará el comando “Basic surface recognition”, perteneciente a la barra de herramientas “Surface Creation”.

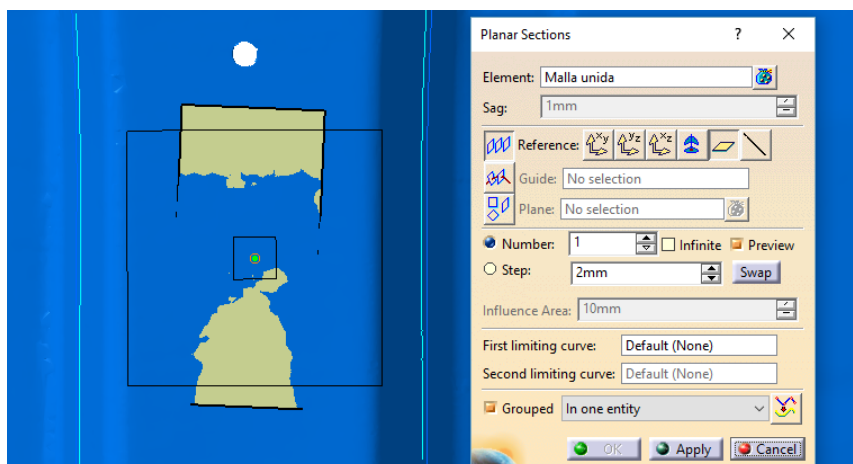


Éste comando se utiliza para reconocer formas geométricas presentes en las mallas. Las formas que puede reconocer son: Zonas planas, esferas, cilindros o conos.

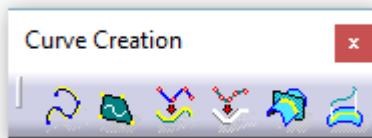
En éste caso la figura elegida es un plano. Como se observa en la siguiente imagen se crea una superficie plana de acuerdo con la geometría de la malla.



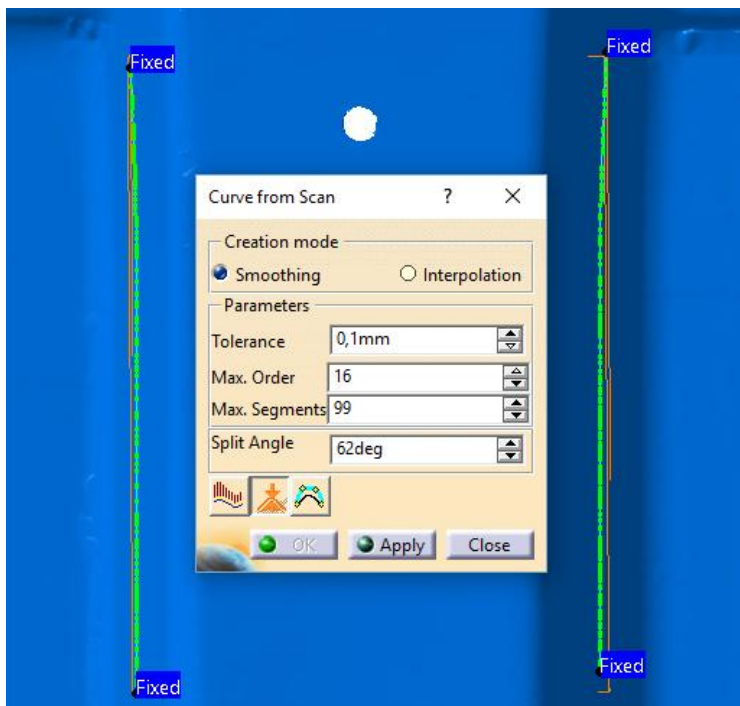
El siguiente paso es crear una intersección entre la malla y un plano paralelo al creado, con el objetivo de obtener dos curvas simétricas, utilizando para ello el comando “Planar Sections”.



Las líneas de color azul celeste que se observan en la imagen anterior son intersecciones de planos con la malla. Para que el programa permita tratarlas como curvas, es necesario aplicar el comando “Curve from Scan”, el cual crea curvas a partir de escaneos. El comando se encuentra en la barra de herramientas “Curve Creation” y está presente tanto en el módulo Digitized Shape Editor, como en Quick Surface Reconstruction.

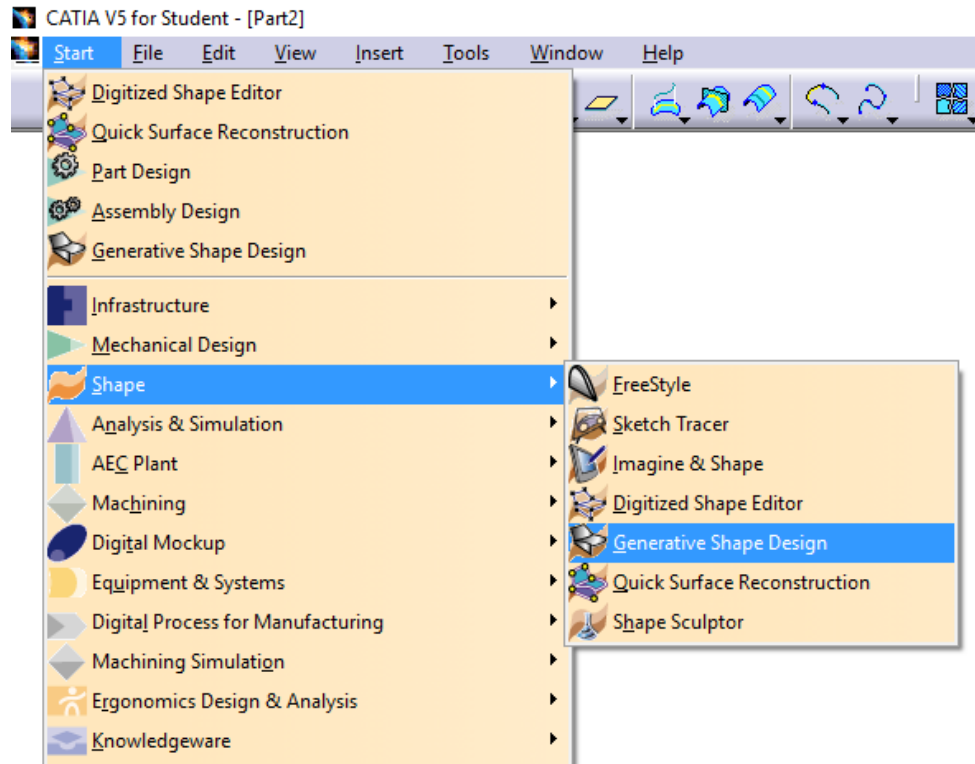


Para utilizar el comando basta con seleccionar la intersección que se desea convertir en curva. En este caso la tolerancia de la curva creada con respecto a la intersección será inferior a 0.1mm, ya que interesa la mayor precisión posible.

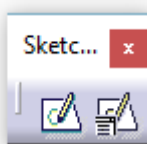




Una vez convertidas las curvas es necesario utilizar un comando perteneciente al módulo Generative Shape Design. La forma de acceder a él es la siguiente: Start/Shape/Generative Shape Design



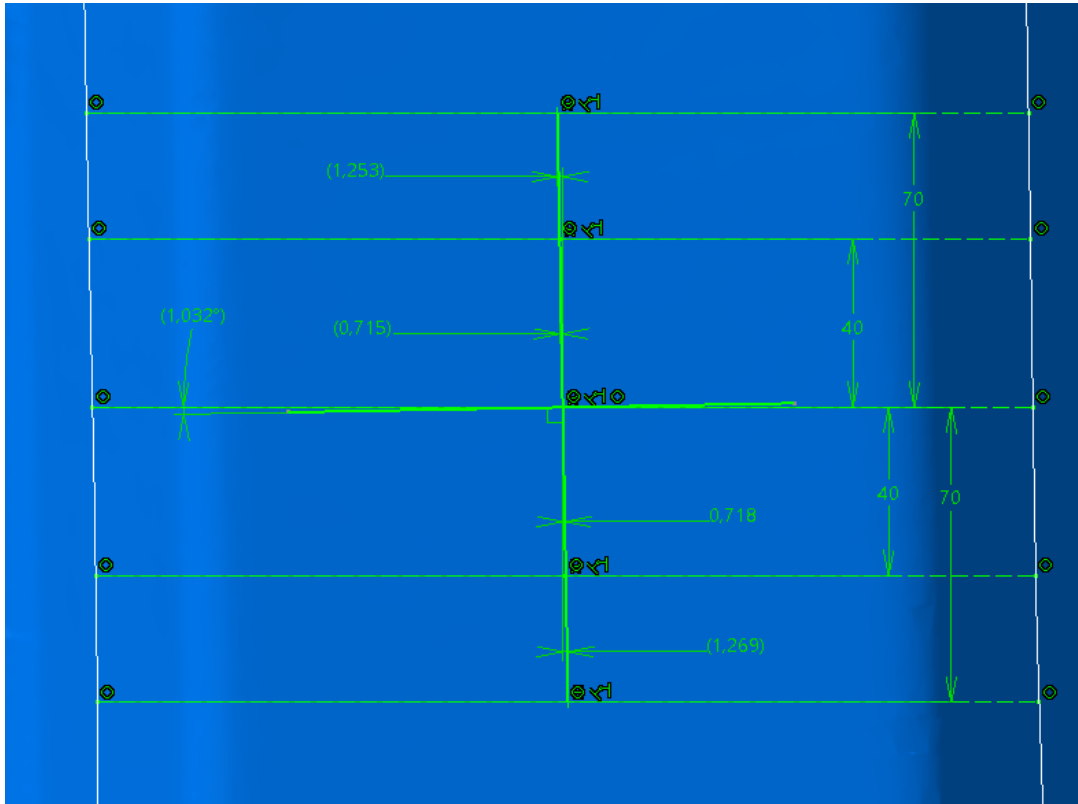
El comando que se necesita utilizar es “Positioned Sketch” de la barra de herramientas Sketcher.



Con éste comando es posible hacer croquis eligiendo el plano sobre el que se hace. En el presente caso, el plano sobre el que se creó el croquis es la superficie plana generada para llevar a cabo en la intersección con la malla.

El croquis creado consistía en cinco líneas horizontales que cortaban con las curvas anteriores. En cada una de las líneas se determinó su punto medio. Tomando la línea número tres (línea central) como referencia, se midieron las desviaciones entre los puntos medios del resto de líneas respecto del punto medio de la línea tres.



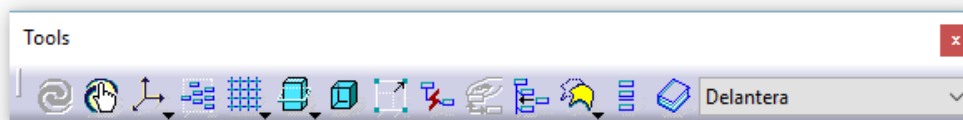


Se observó que los puntos uno y dos se desviaban a la izquierda, mientras que los puntos cuatro y cinco se desviaban hacia la derecha. Las desviaciones de los puntos coincidían en valor entre los puntos uno y cinco, -1.2 y 1.2 respectivamente, y -0.71 y 0.71 en los puntos dos y cuatro. Al observar los resultados se determinó que el eje vertical estaba desviado. En concreto su desviación era de 1.032°.

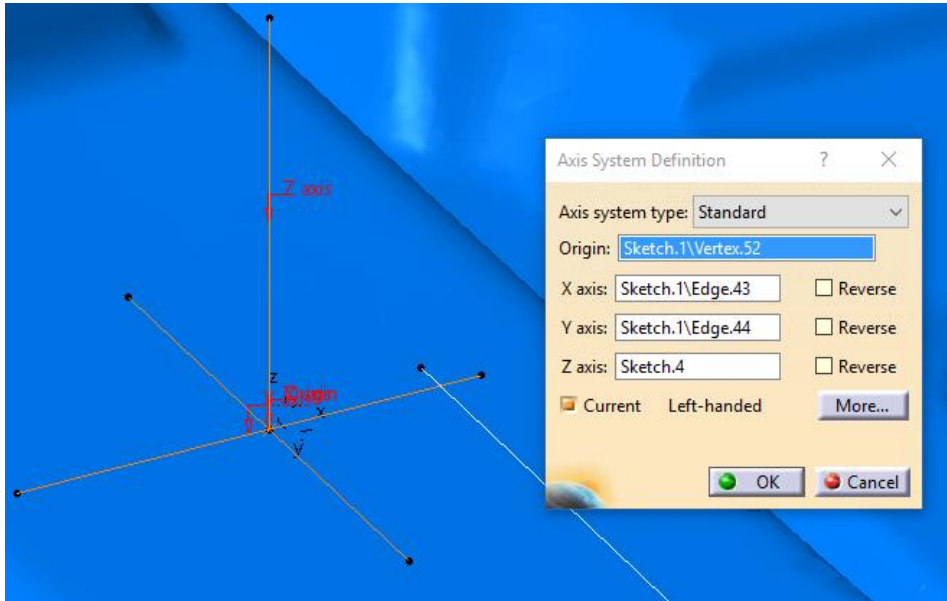
Gracias a dicho resultado se modificaron los ejes X e Y.

Una vez realizadas las operaciones anteriores se creó el nuevo sistema de ejes, con las correcciones necesarias y centrado en el plano de simetría del molde.

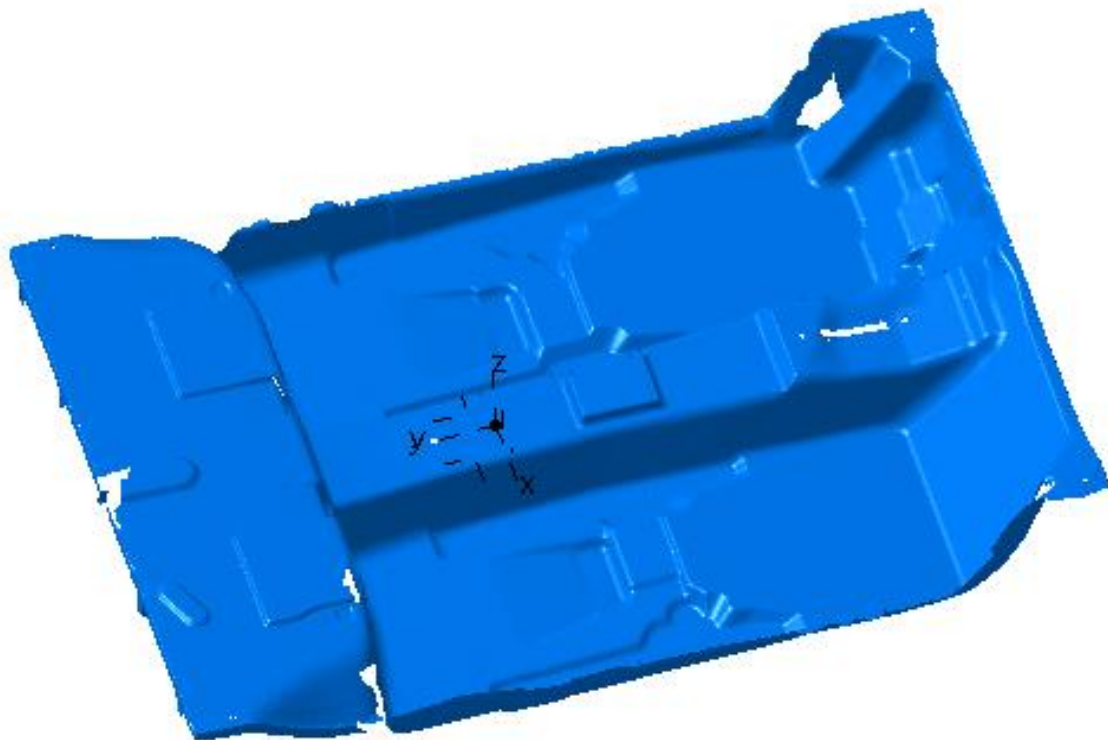
Para crear el nuevo sistema de ejes se utilizó el comando “Axis System” perteneciente a la barra de herramientas Tools.



Se tomaron de ejes las rectas anteriormente creadas y su intersección como origen de coordenadas.



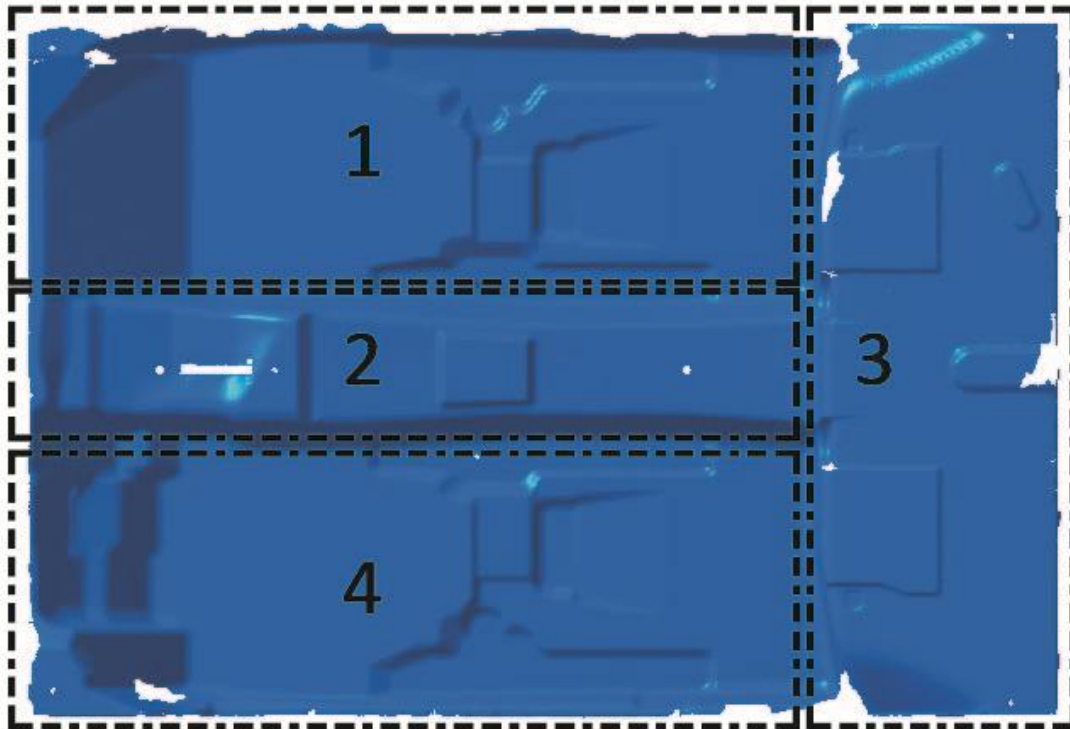
La posición del nuevo sistema de ejes en la malla es la siguiente.



4.5.1.9. GENERACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Para comenzar a reconstruir todas las superficies que definen el molde, fue necesario trabajar por zonas, para tener una mejor organización de las operaciones que se realizaban.

Se decidió trabajar en cuatro zonas. En la imagen siguiente se detalla las diferentes zonas.



- 1 Zona Copiloto
- 2 Zona Central
- 3 Zona Maletero
- 4 Zona Conductor

Para la reconstrucción de las superficies fue necesario utilizar de forma combinada los módulos Quick Surface Reconstruction y Generative Shape Design.

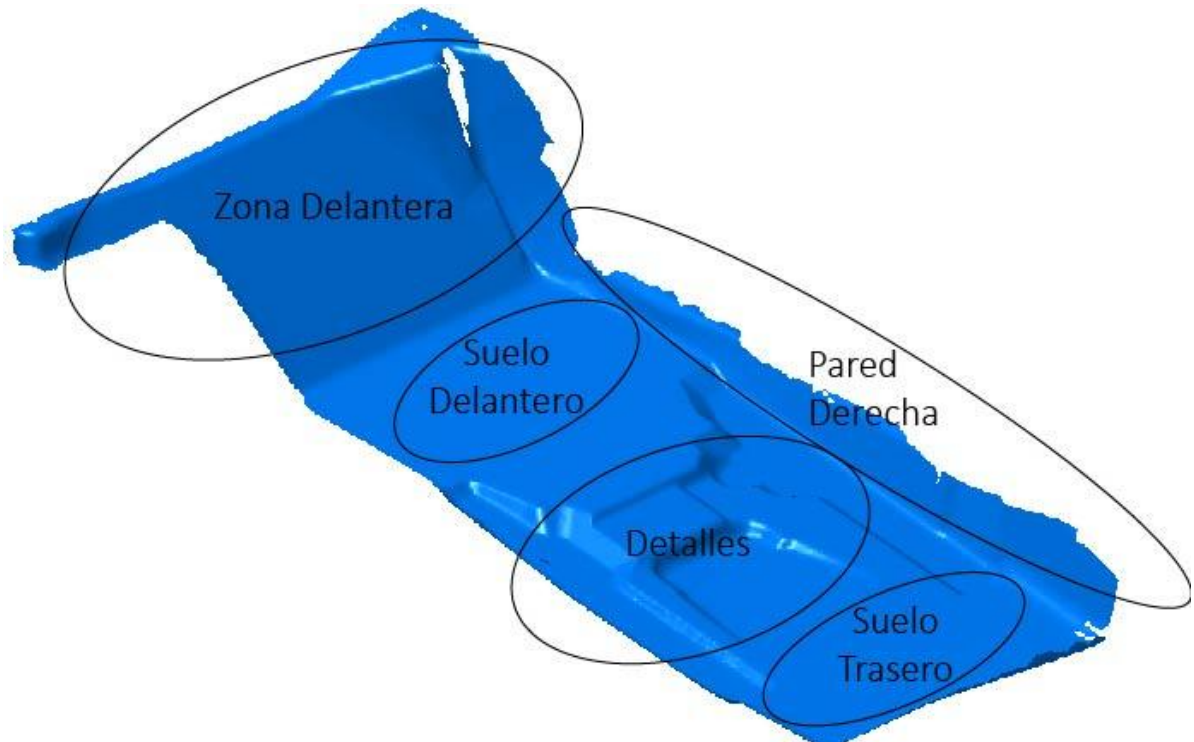
Para proceder a la explicación de la reconstrucción de las superficies de forma ordenada, se explicará cada una de las zonas anteriormente mencionadas de forma individual.



1. ZONA COPILOTO

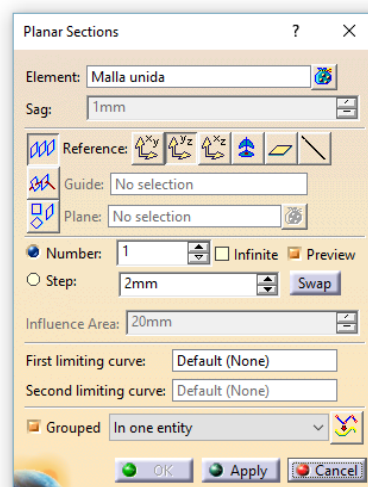
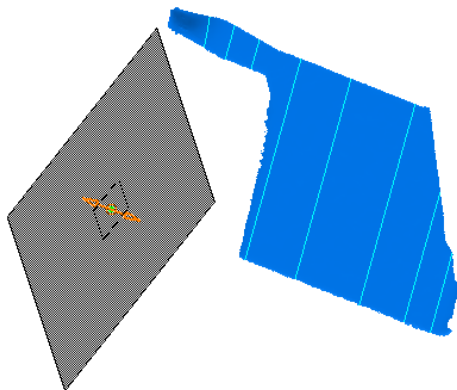
Se comenzará por la zona 1, nombrada como zona Copiloto.

Dentro de la misma se volvió a realizar una división para facilitar las tareas.

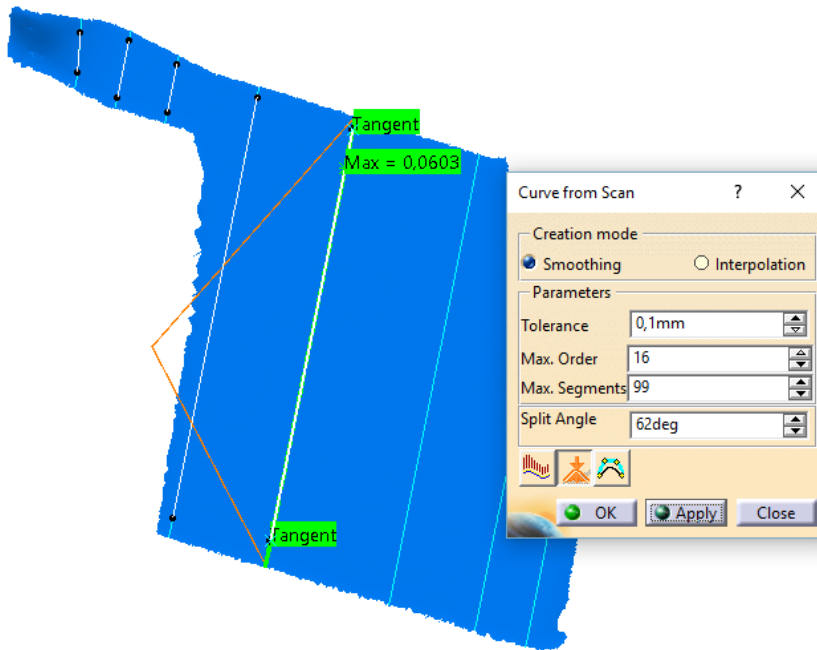


Se comenzó a trabajar con la zona Delantera.

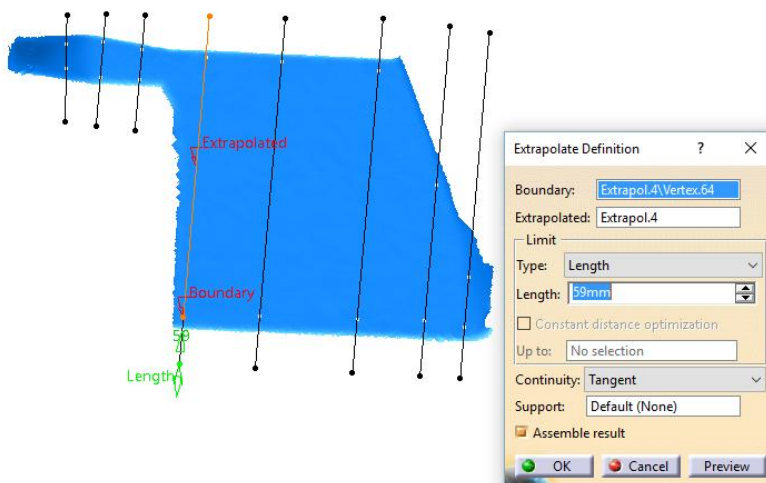
La forma de trabajo seguida fue activar como zona de trabajo con el comando "Activate" la zona de la cual se iba a reconstruir la superficie. Posteriormente se realizaron intersecciones de la malla con un plano y planos paralelos al mismo con el objetivo de generar secciones, utilizando para ello el comando "Planar Sections"



Las secciones generadas se convertirán en curvas con el comando “Curve from Scan”. Se seleccionaron como puntos de inicio y final de la curva puntos alejados una pequeña distancia de los extremos de la sección, con el objetivo de evitar la curvatura del redondeo que poseen las mismas en los extremos.



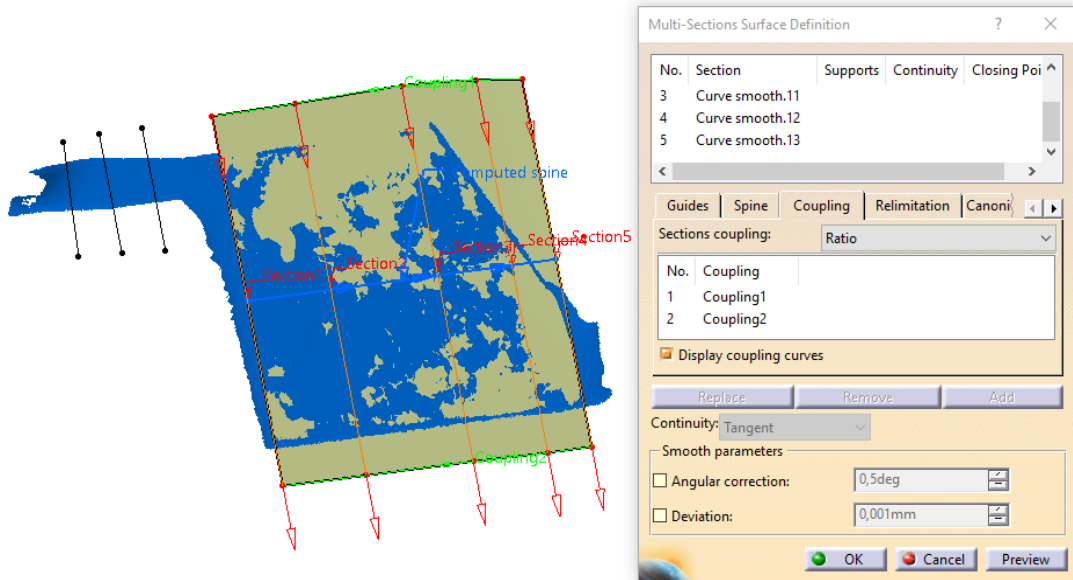
Posteriormente cada una de las curvas generada fue alargada ligeramente con el comando “Extrapolate” por cada uno de sus extremos.



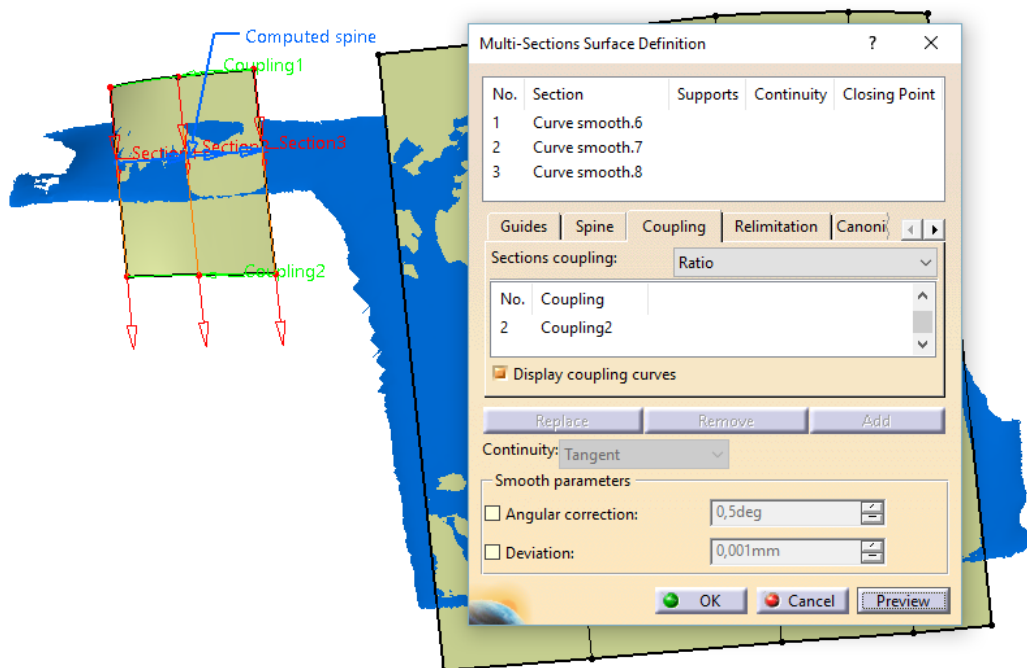
El siguiente paso fue suavizar las curvas con el comando “Curve Smooth”, gracias al cual se pueden obtener curvas con continuidad en curvatura, para mejorar el resultado de la superficie creada posteriormente y evitar que aparezcan costuras innecesarias.



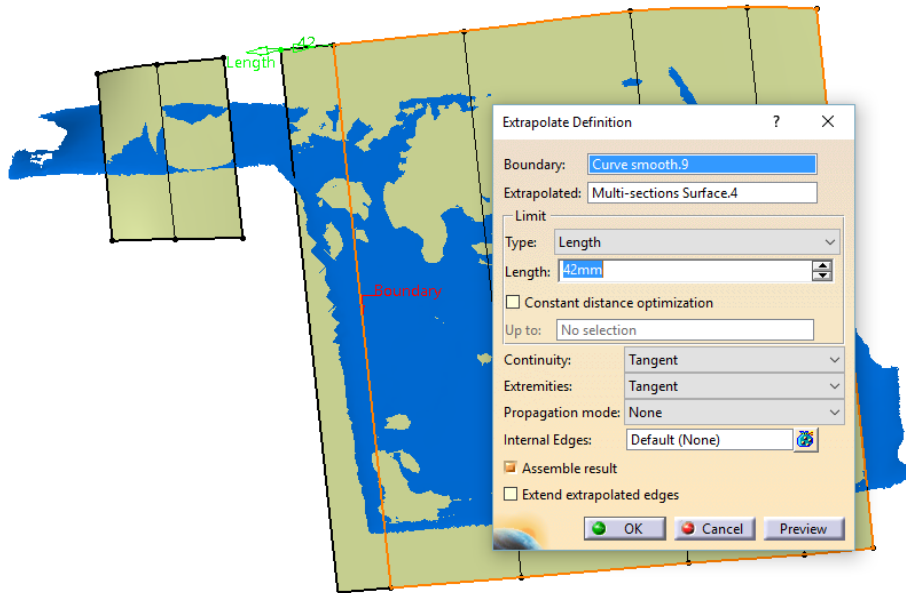
Para generar la superficie se utilizó el comando “Multi-Sections Surface”. Como secciones se eligieron las curvas generadas anteriormente.



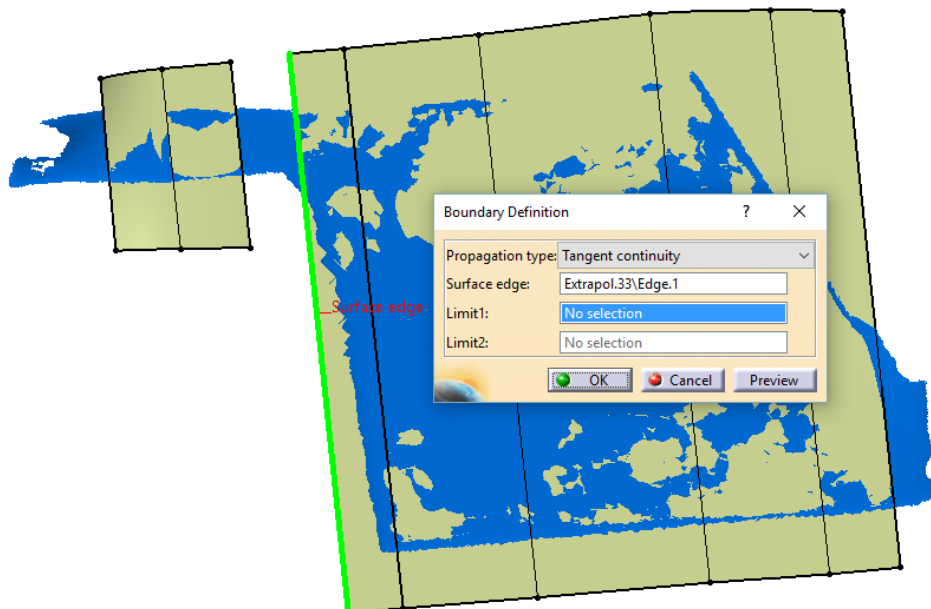
A continuación se generó otra superficie en una zona próxima a la anterior siguiendo pasos similares. Para ello se utilizó el comando de “Multi-Sections Surface” y utilizando las correspondientes secciones.



El siguiente paso fue alargar la primera superficie por uno de sus bordes, ya que interesa que las superficies sean más grandes que la superficie a reconstruir, para evitar errores posteriores que pueden surgir al realizar el paso de recortar. Para ello se utiliza el comando “Extrapolate”.

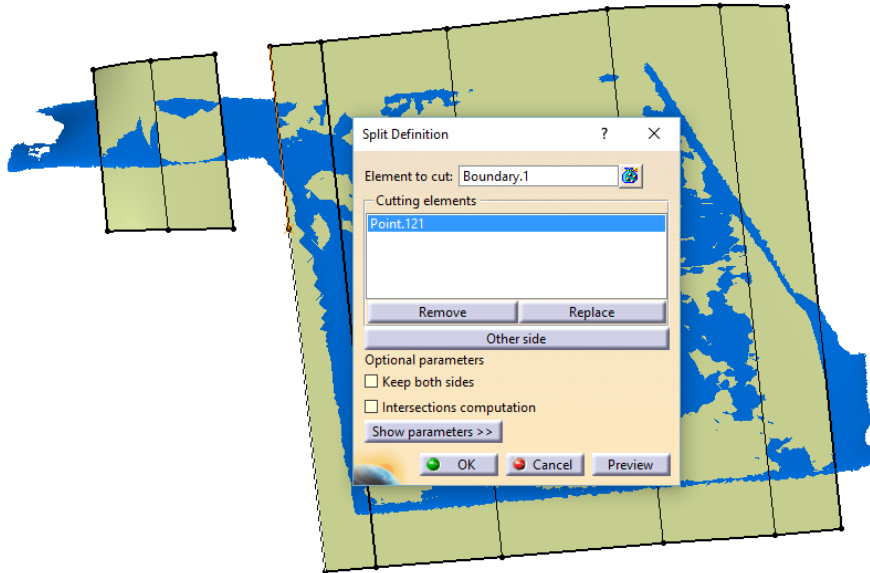


Después se utilizó el comando “Boundary” para obtener el borde de la superficie anteriormente alargada.

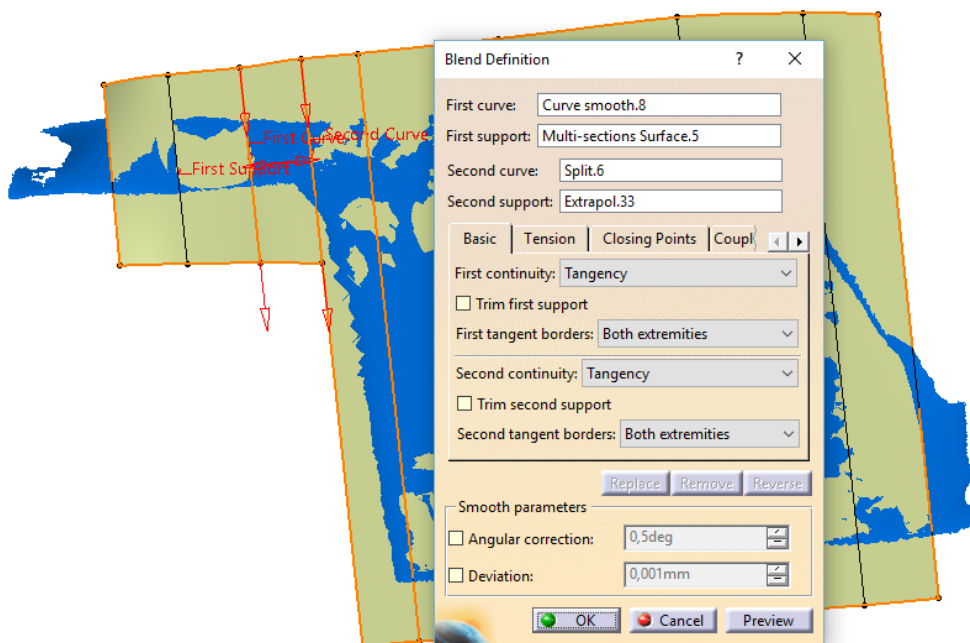




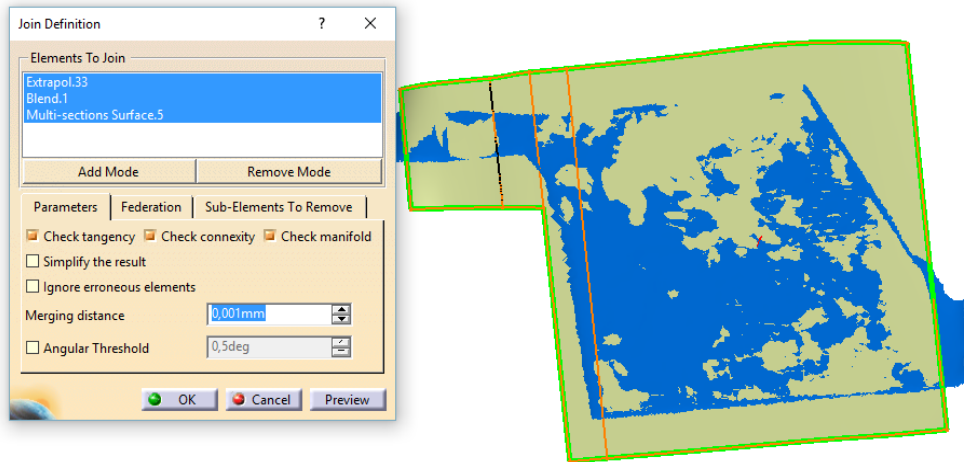
A continuación se recortó en por un punto dado perteneciente al Boundary, utilizando el comando “Split”.



La operación de recorte de la curva fue realizada para mejorar el resultado de la siguiente superficie. Dicha superficie fue generada utilizando el comando “Blend”. Con éste comando se generó una superficie cuyos extremos eran el recorte de la curva anterior y el borde de la superficie creada en segundo lugar, la superficie resultado tiene continuidad en tangencia con ambas superficies.

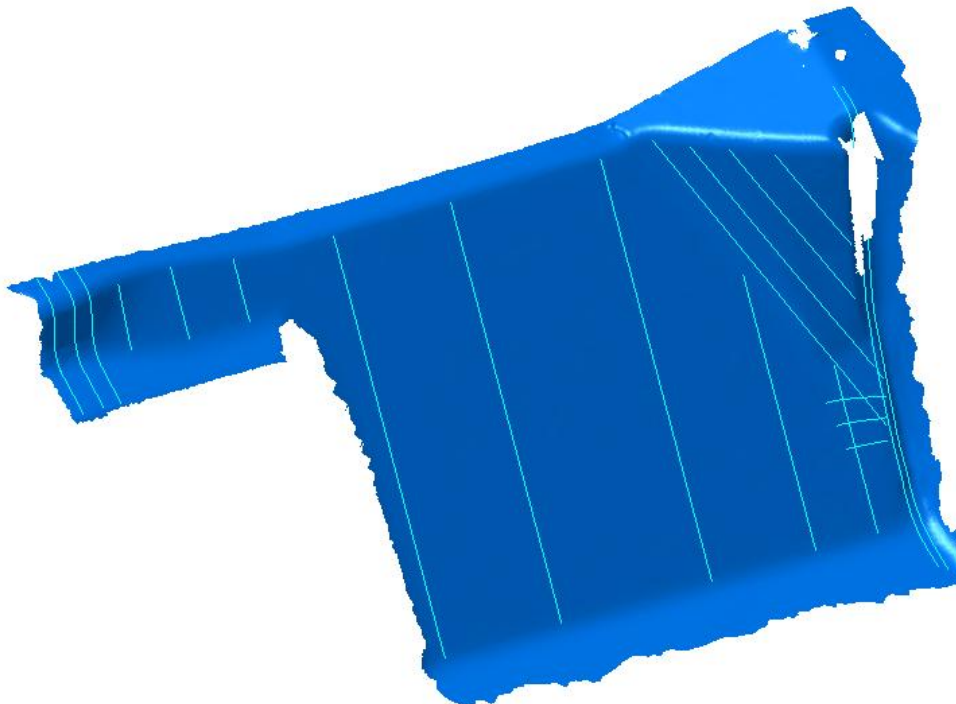


Posteriormente las tres superficies son cosidas con el comando “Join”, con el cual se puede verificar que son tangentes entre sí y presentan conexión adecuadamente.



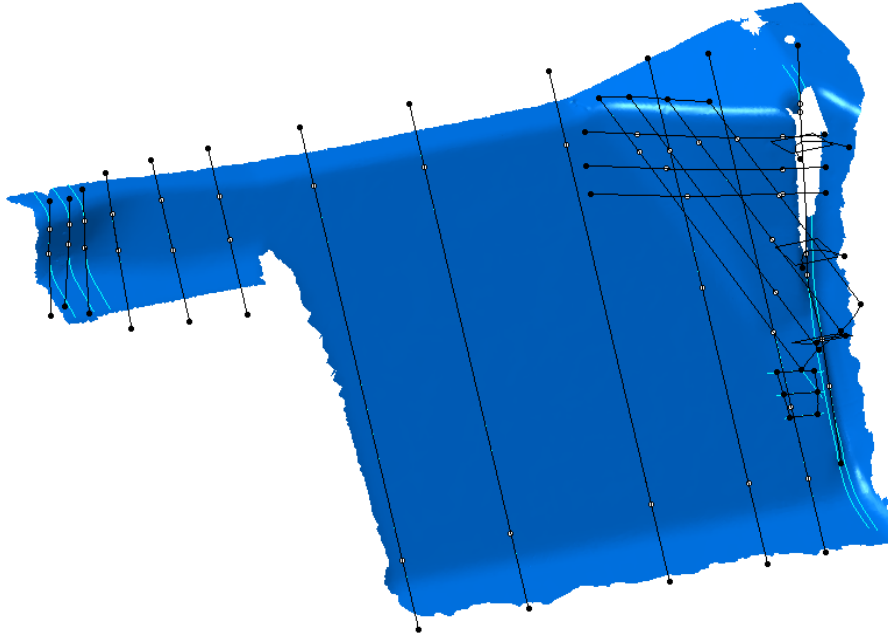
Una vez explicada de forma detallada la construcción de una de las superficies de la zona, se explicará de forma general la obtención del resto.

En la siguiente imagen se observan las secciones creadas. Fueron generadas con el comando “Planar Sections”. Los planos elegidos para realizar la intersección con la malla fueron diferentes dependiendo de la superficie con la que se trabajaría posteriormente.

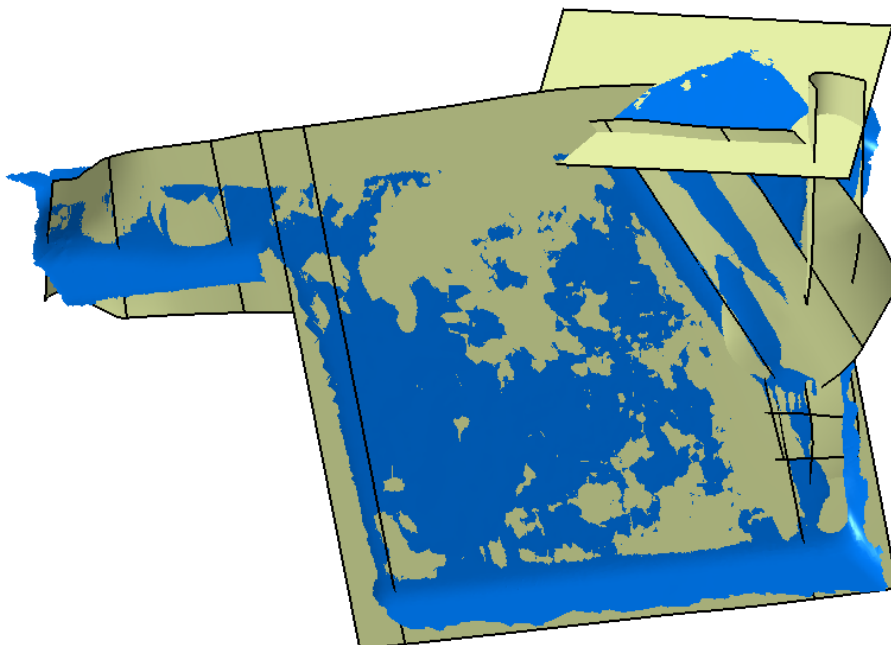




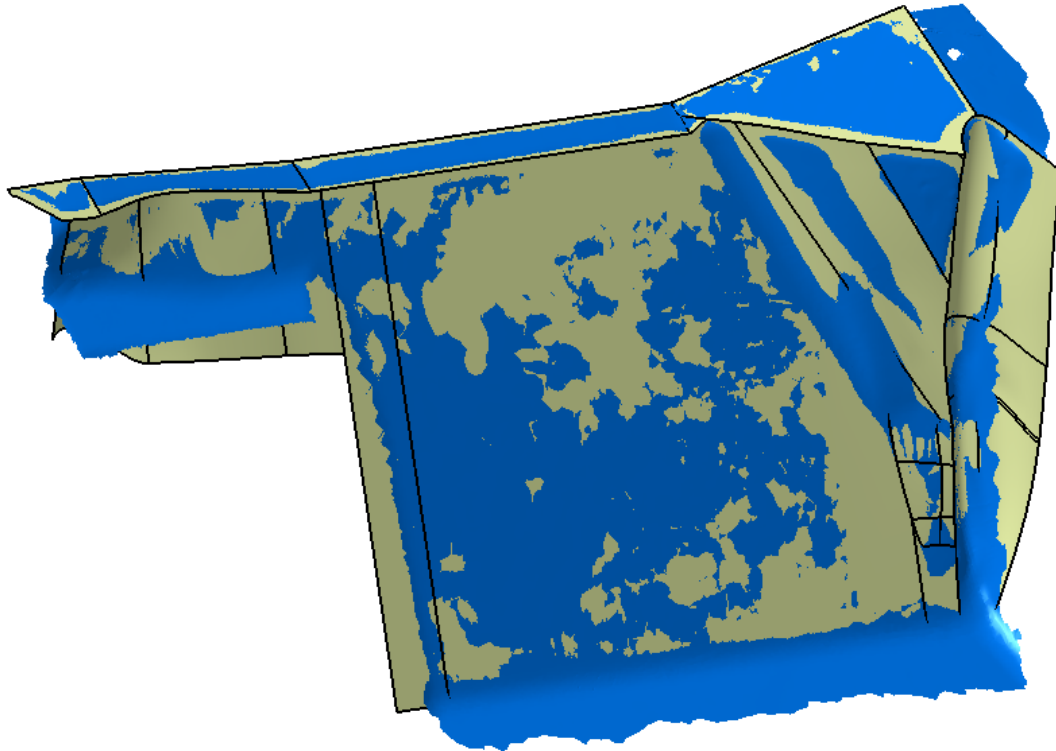
Después las secciones fueron convertidas en curvas con el comando “Curve From Scan”, a continuación alargadas con “Extrapolate” la distancia necesaria en cada caso y por último suavizadas con “Curve Smooth”.



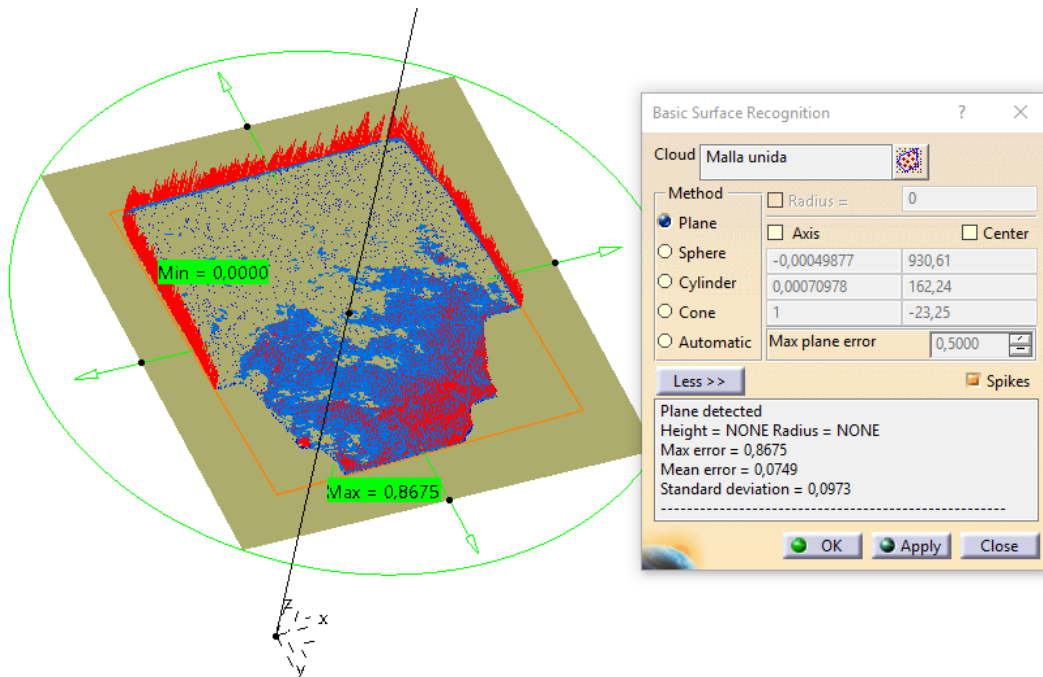
El siguiente paso fue generar las superficies, para ello se utilizaron los comandos “Multi-Sections Surface” y “Sweep” dependiendo del caso. Las superficies que eran completamente planas se generaron con el comando “Basic Surface Recognition”.



El último paso fue recortar las superficies para coserlas posteriormente. La operación de recorte se realizó con el comando “Split” y la operación de cosido se realizó con el comando “Join”. El resultado de reconstruir la zona delantera de la parte del copiloto fue el siguiente:

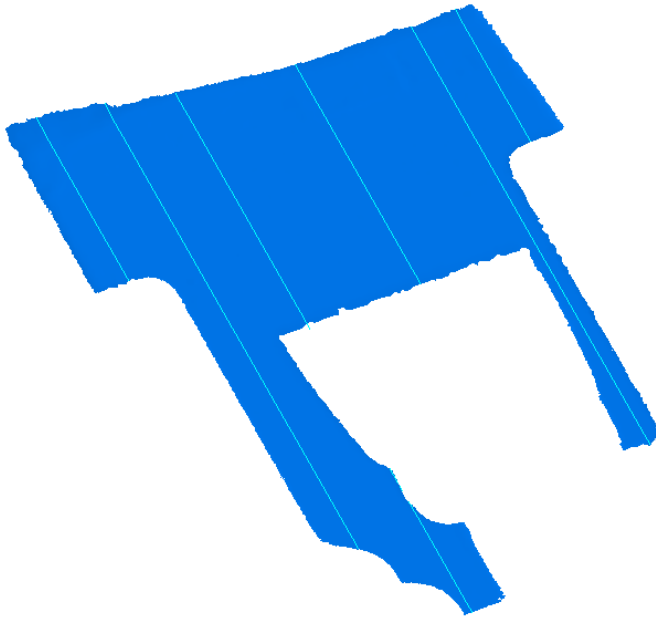


Para realizar el suelo delantero, simplemente se utilizó el comando “Basic Surface Recognition”, ya que ésta zona es totalmente plana.

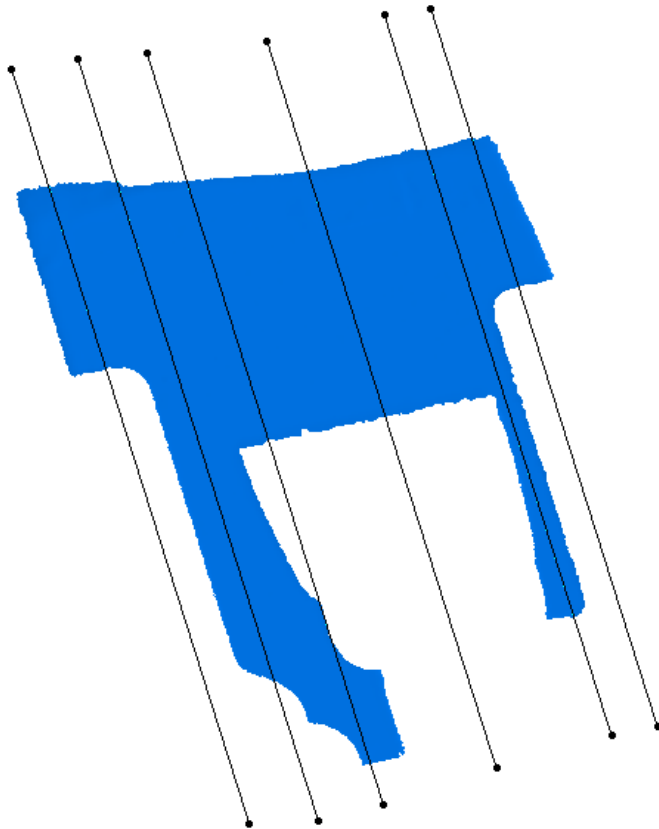




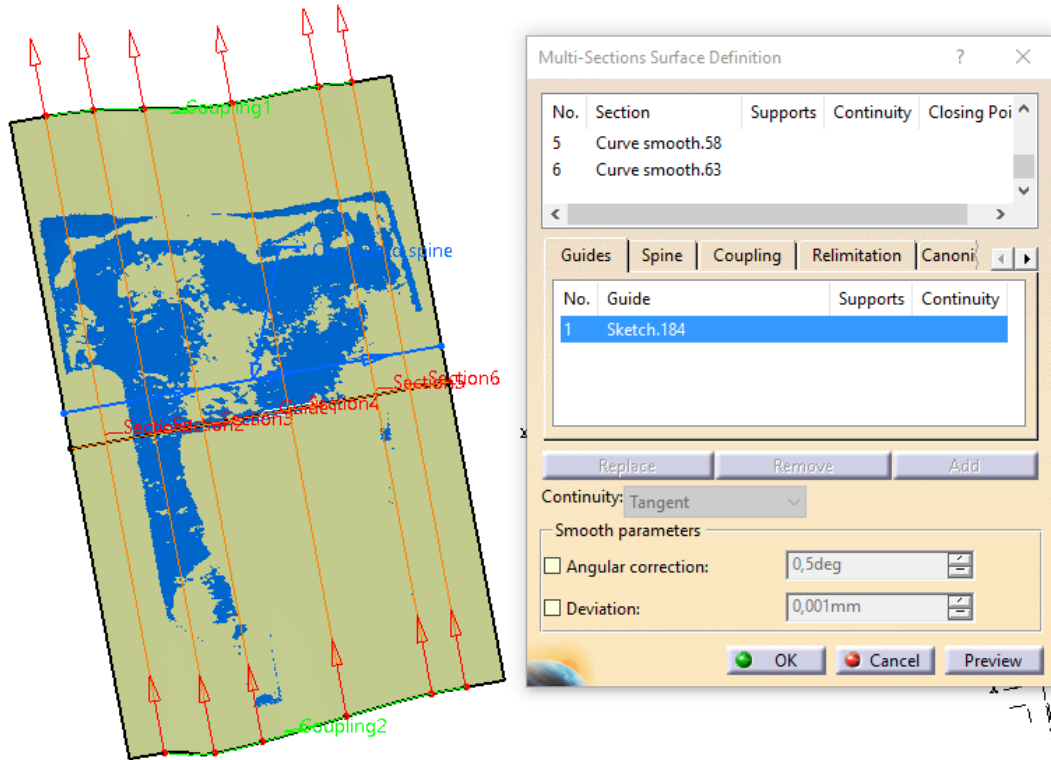
Para realizar el suelo trasero fue necesario utilizar secciones, puesto que no era plano. En primer lugar se obtuvieron las secciones intersección entre la malla y el plano YZ a diferentes alturas.



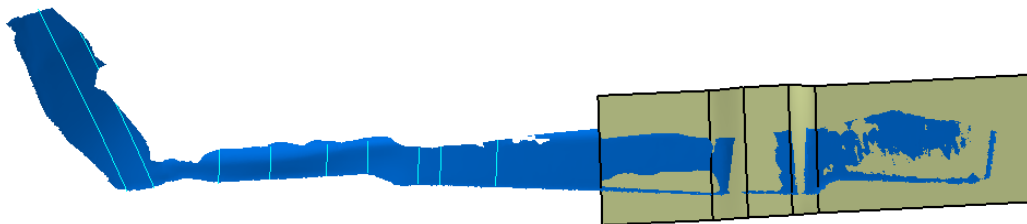
A continuación se procedió al tratamiento de las curvas, transformación en curvas, en primer lugar, conexión de las curvas que aparecían divididas y posterior unión, y suavizado de todas ellas para que tuvieran continuidad en curvatura.



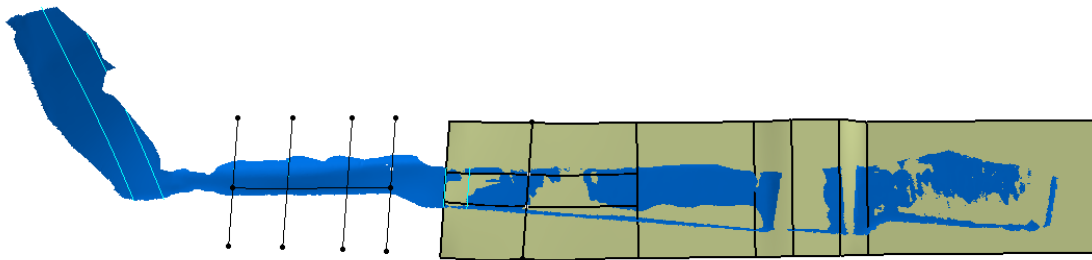
Por último se creó una curva que pasara por las anteriores y tuviera la forma de la malla, con el objetivo de cumplir la función de curva guía en la posterior operación de generación de la superficie, la cual se realizó con una multisección.



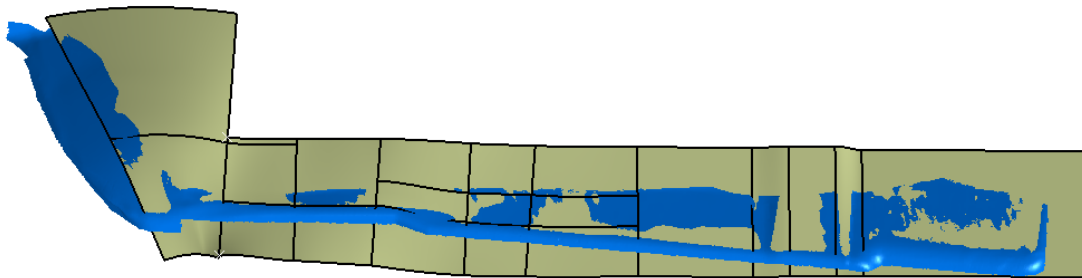
Se continuará explicando la construcción de la Pared Lateral Derecha. Para ello se identificaron las superficies planas, las cuales fueron generadas con “Basic Surface Recognition”. Las superficies que no eran planas se obtuvieron a través de multisecciones, sacando para ello las correspondientes secciones y curvas.



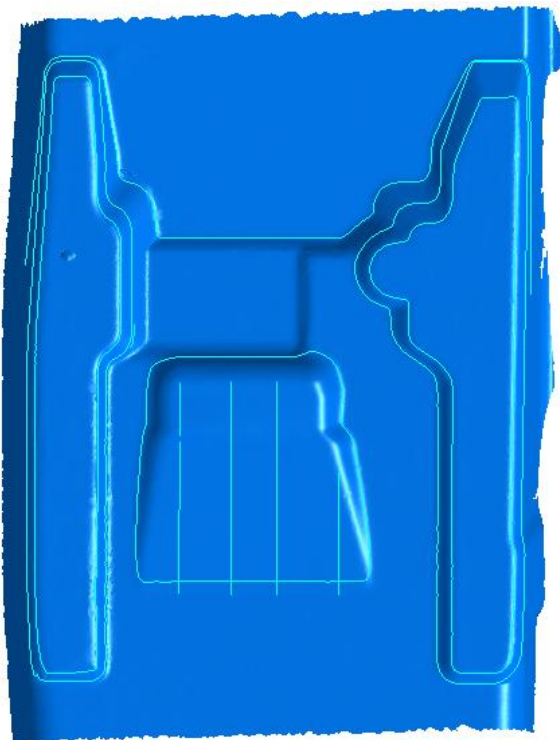
Para proceder a la unión entre las superficies, éstas en primer lugar, fueron cortadas por una superficie plana generada con el comando “Extrude” y posteriormente unidas entre sí con el comando “Blend”.



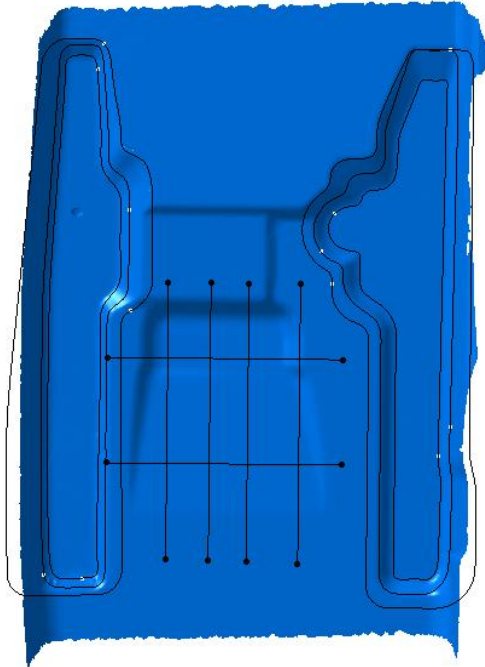
En la siguiente imagen se observa el resultado de la superficie ya cosida.



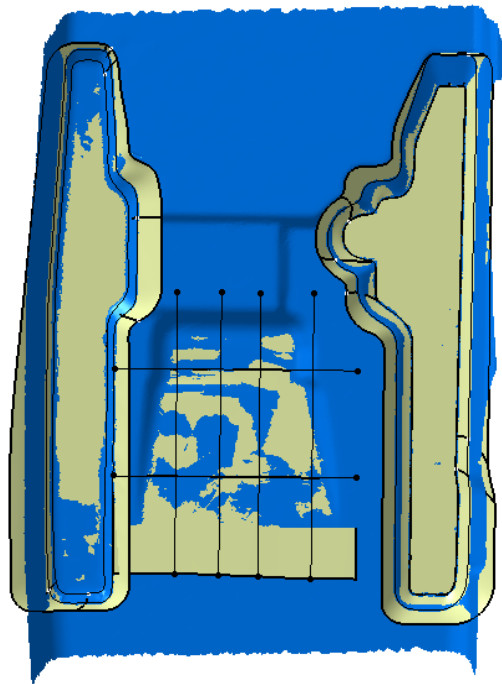
Para finalizar la reconstrucción de la zona del Copiloto, se realizaron los Detalles Centrales. Se obtuvieron secciones utilizando para ello diferentes planos con los que generar las intersecciones con la malla en cada caso.



Posteriormente se procedió a tratar dichas secciones para obtener curvas de ellas. Éstas curvas fueron tratadas para poder ser utilizadas en la generación de superficies. A mayores se crearon otras curvas que se consideró eran necesarias. Para su creación se utilizó el comando “Positioned Sketch”.



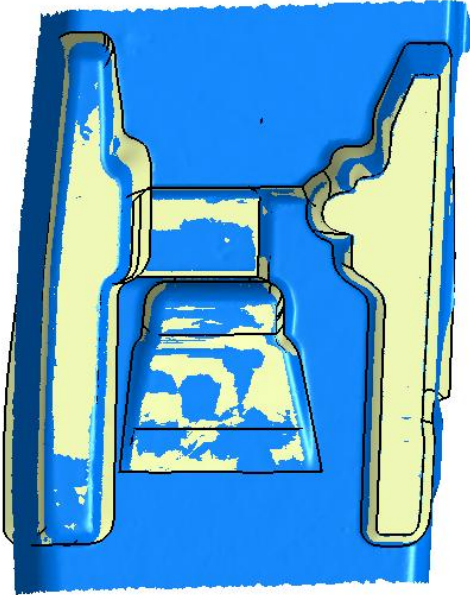
Utilizando las curvas anteriores se obtuvieron las diferentes superficies, exceptuando las superficies planas, que fueron generadas como en ocasiones anteriormente explicadas.



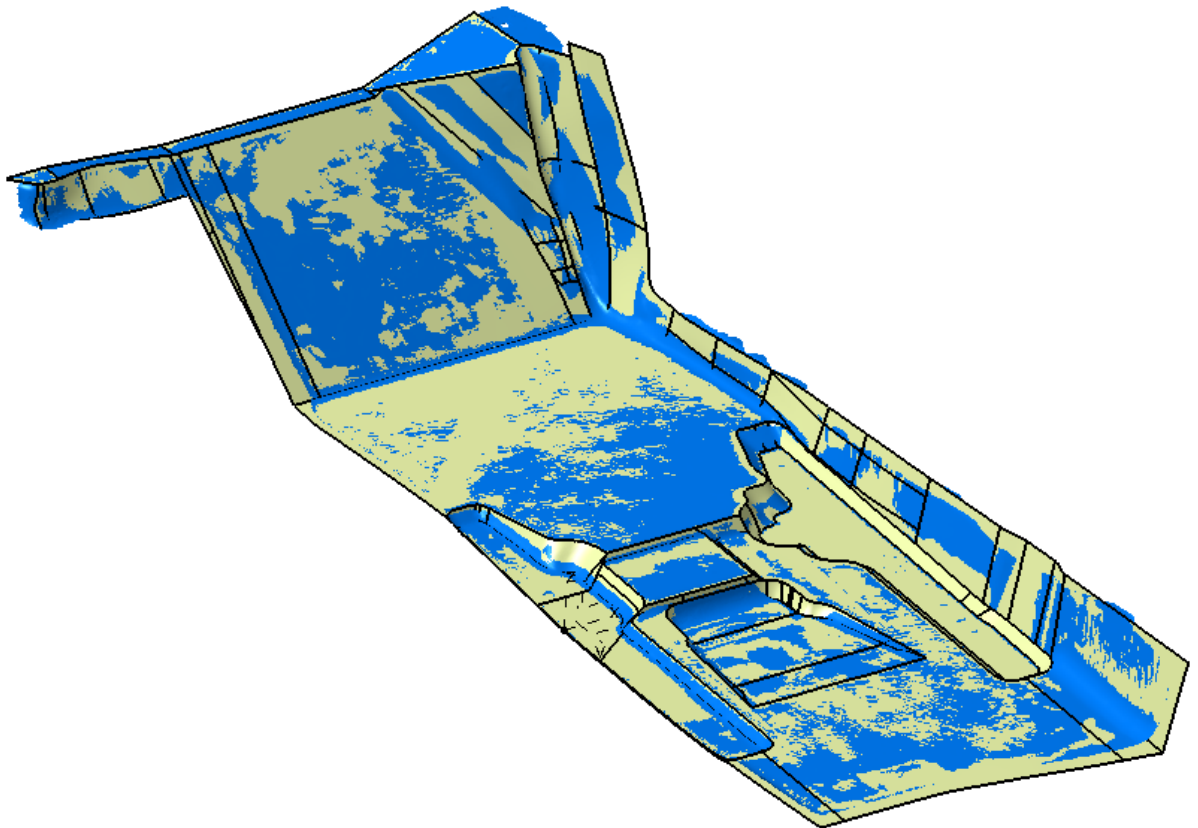


Por último se recortaron las superficies, con las zonas Suelo Delantero y Suelo Trasero, así como con la pared lateral derecha en algún caso.

El resultado tras el recorte y posterior cosido fue el siguiente:

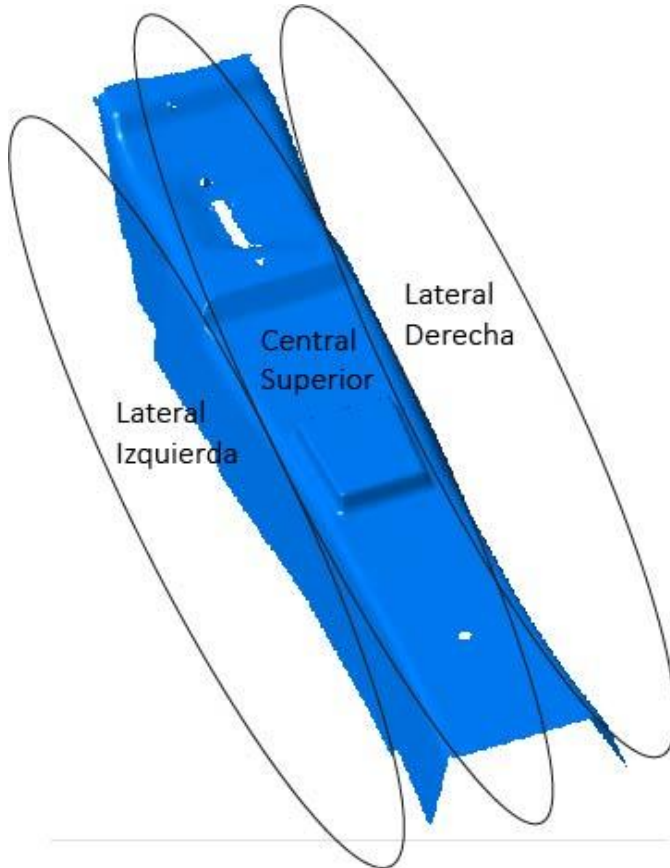


Una vez obtenidas todas las superficies de la zona del copiloto, se procedió a su recorte y unión, solventando en algún caso problemas que fueron surgiendo al realizar éstas operaciones.

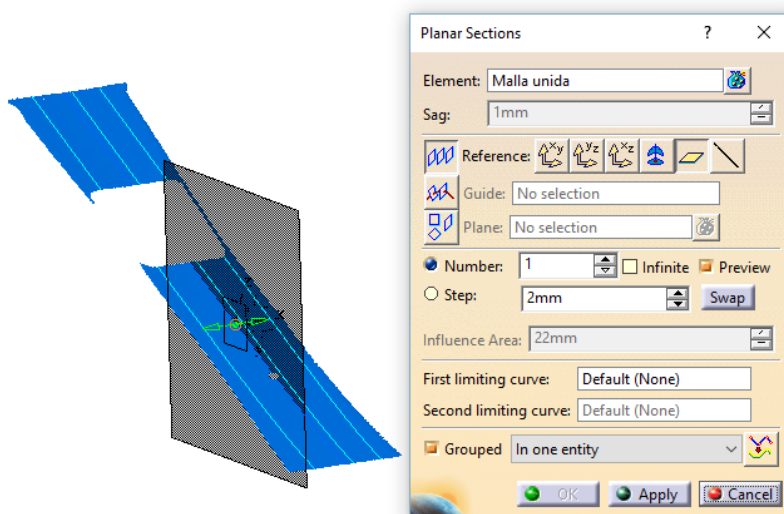


2. ZONA CENTRAL

La zona central se subdividió en tres áreas de trabajo:

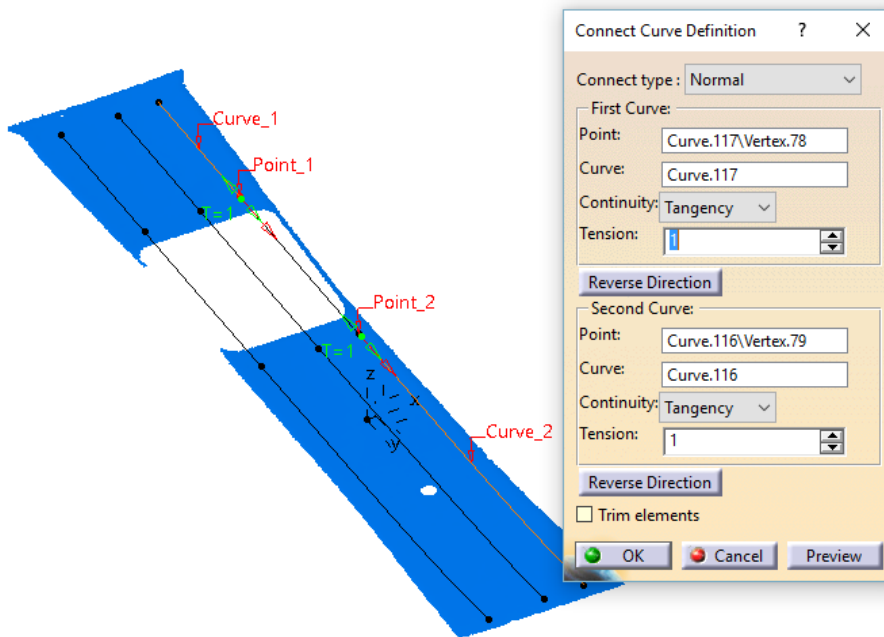


Se comenzó a trabajar por la zona superior. Para ello se activó como zona de trabajo el primer tramo, con el comando "Activate". A continuación se obtuvieron las secciones intersección entre la malla y el plano YZ, a diferentes alturas, utilizando el comando "Planar Sections".

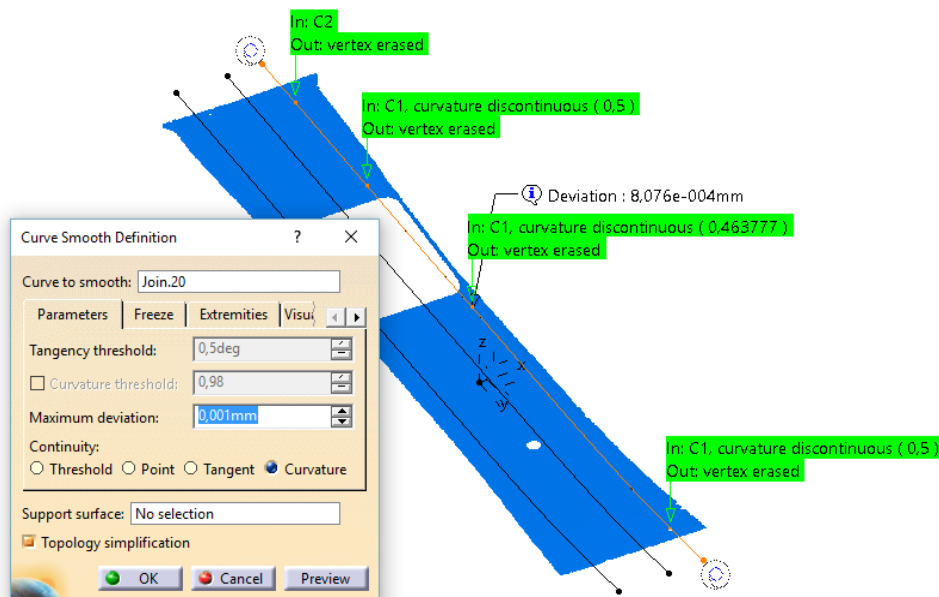




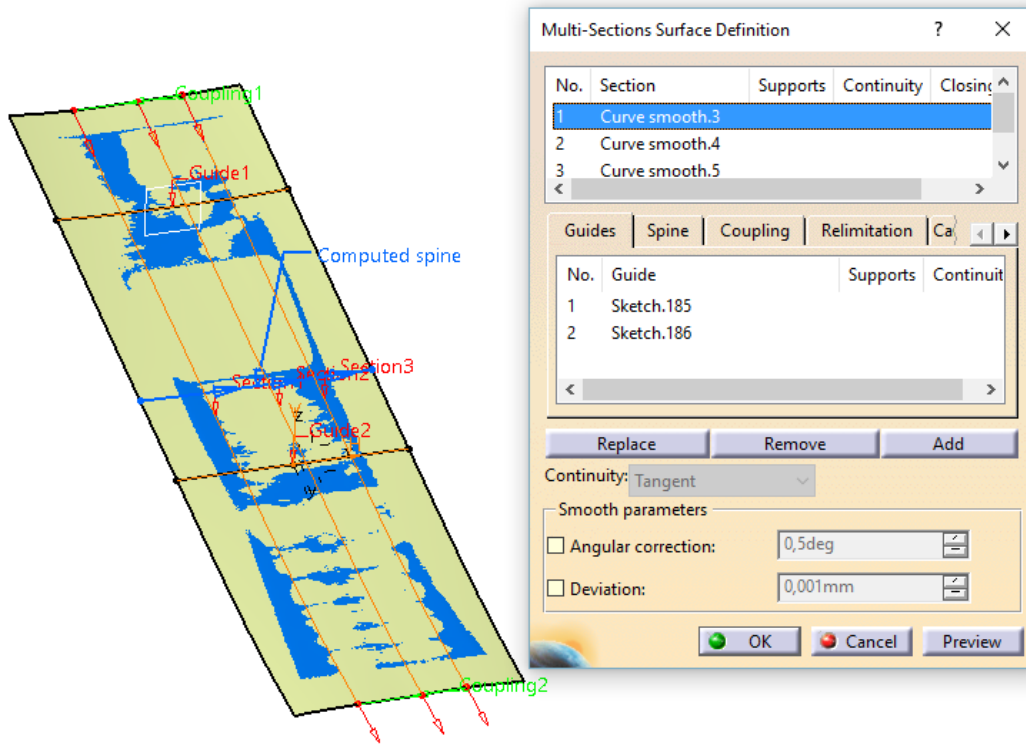
Tras convertir las secciones en curvas con el comando “Curve from Scan”, se realizó una conexión entre las diferentes curvas que aparecían divididas. Esta división se debe a que en esa zona hay un saliente con forma rectangular, pero para realizar la reconstrucción es preferible trabajar en los detalles más adelante. Las curvas se conectaron con el comando “Conect Curve”, el cual crea conexiones entre curvas con continuidad en tangencia.



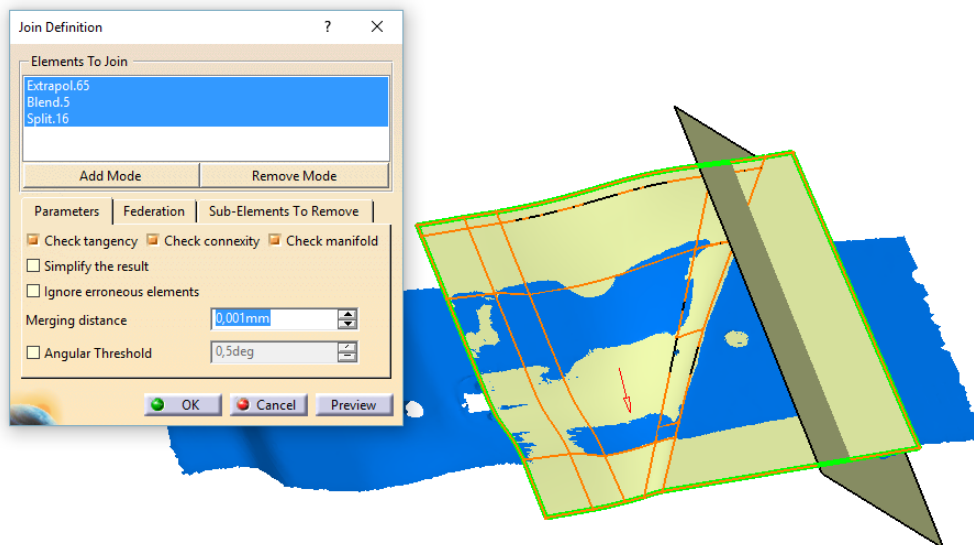
Después es necesario unir las curvas con el comando “Join”, verificando la continuidad en tangencia y posteriormente, utilizando el comando “Curve Smooth”, se dotó a las curvas de continuidad en curvatura.



Una vez preparadas las curvas se procedió a la generación de la superficie. Previamente se crearon dos curvas que pasaban por las tres secciones y poseían la forma de la malla, para ser utilizadas como curvas guía y mejorar la precisión de la superficie. A través de una Multisección se generó la superficie utilizando las curvas previamente creadas, las secciones y las curvas guía.



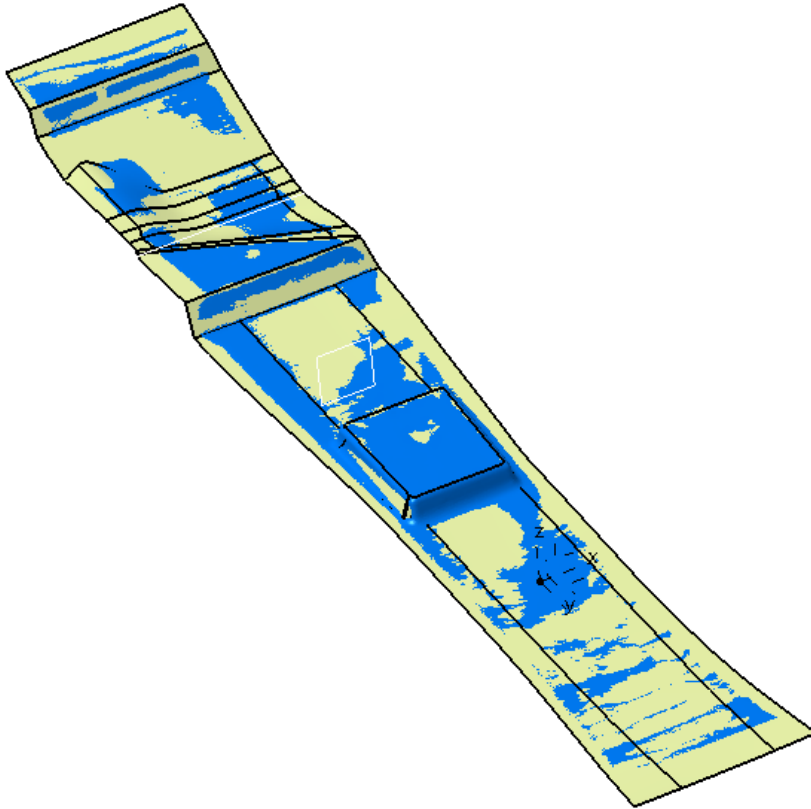
El resto de superficies pertenecientes a ésta zona, fueron generadas utilizando los comandos "Multi-Section Surface", "Blend" y "Basic Surface Recognition", dependiendo de la superficie con la que se trabajaba.





Una vez obtenidas todas las superficies se procedió a su recorte, con “Split” y posteriormente a su cosido con “Join”.

En último lugar se realizó el detalle del saliente rectangular.



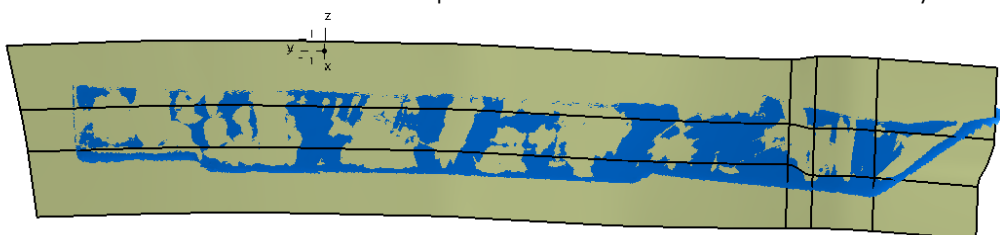
A continuación se explicará el proceso de construcción de la superficie lateral derecha. El primer paso fue obtener las secciones intersección entre la malla y el plano XY a diferentes alturas.



Dichas intersecciones se convirtieron en curvas para posteriormente ser alargadas con “Extrapolate”, unidas con “Join” y suavizadas con “Curve Smooth”.



A continuación se obtuvieron las superficies con “Multi-seccion Surface” y “Blend”.

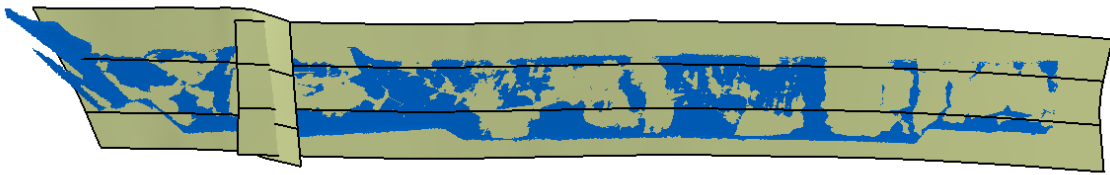




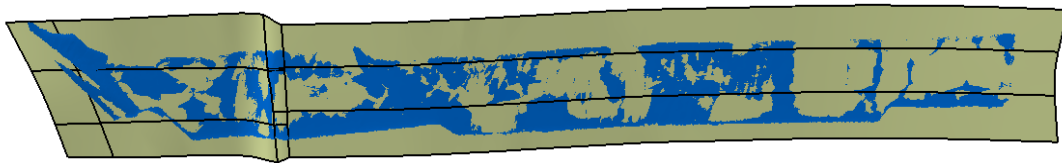
La obtención de la zona lateral izquierda fue muy similar. No fue posible hacer una simetría de la zona derecha, puesto que tenía zonas distintas. La obtención de las secciones se realizó con “Planar Sections”.



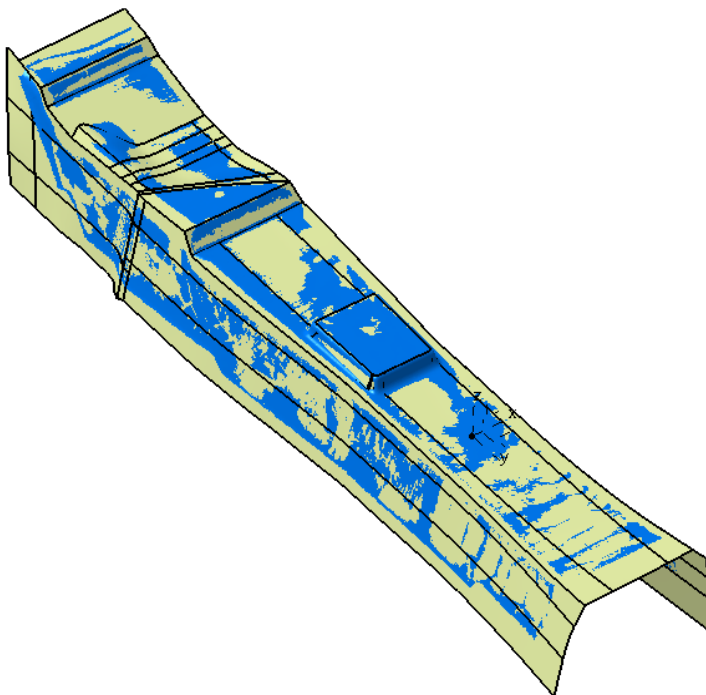
Se realizó la conversión de las secciones a curvas y su posterior tratamiento. Se generaron dos superficies con multisección.



Se recortaron ambas superficies entre sí y se redondeó el punto de unión con el comando “Edge Fillet”.



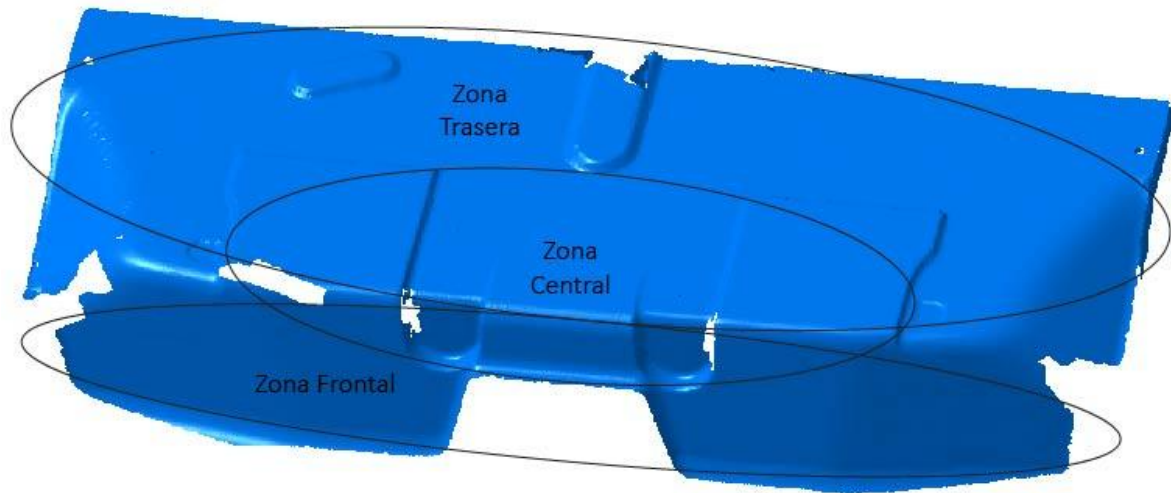
Una vez obtenidas las superficies de las tres zonas, éstas fueron recortadas entre sí, para posteriormente ser cosidas. El resultado se puede observar en la imagen siguiente.





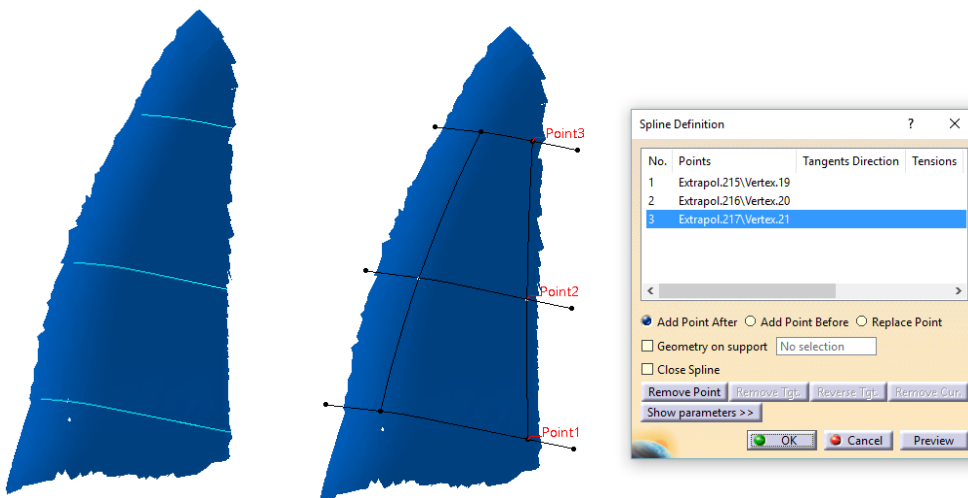
3. ZONA MALETERO

Para realizar el trabajo de reconstrucción en la parte trasera del molde se realizaron las siguientes divisiones del trabajo por zonas.

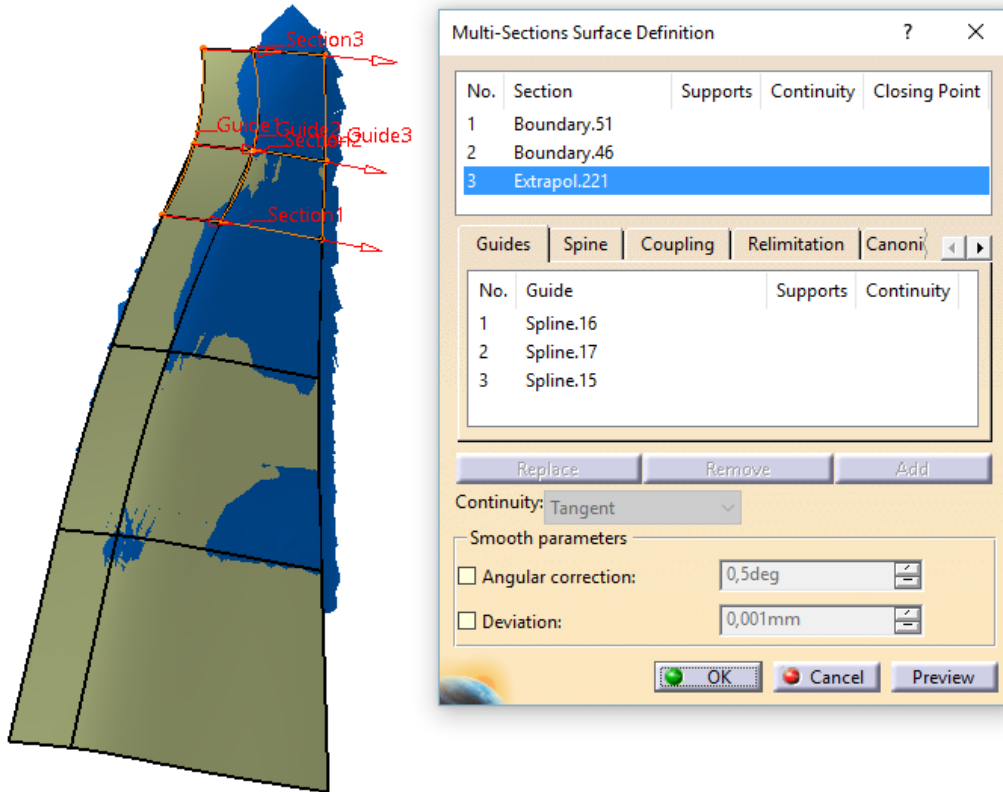


Se comenzará explicando la Zona trasera, dentro de la cual se comenzó a trabajar por las superficies de los laterales.

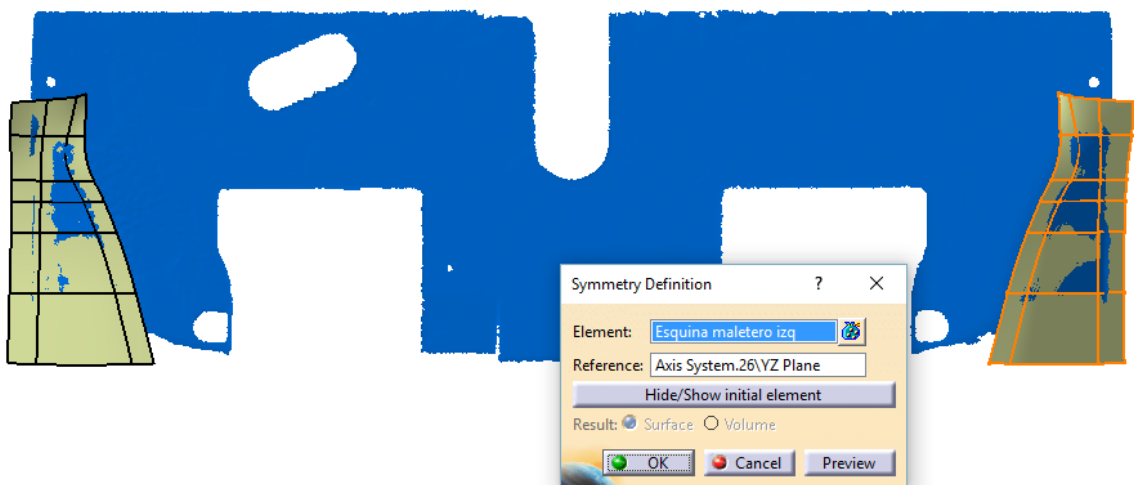
El método de trabajo fue el explicado en ocasiones anteriores. Obtener en primer lugar las secciones intersección, y su posterior tratamiento y conversión a curvas, además de la obtención de curvas auxiliares.



Una vez obtenidas las curvas, se realizó la superficie utilizando dos operaciones de multisección.

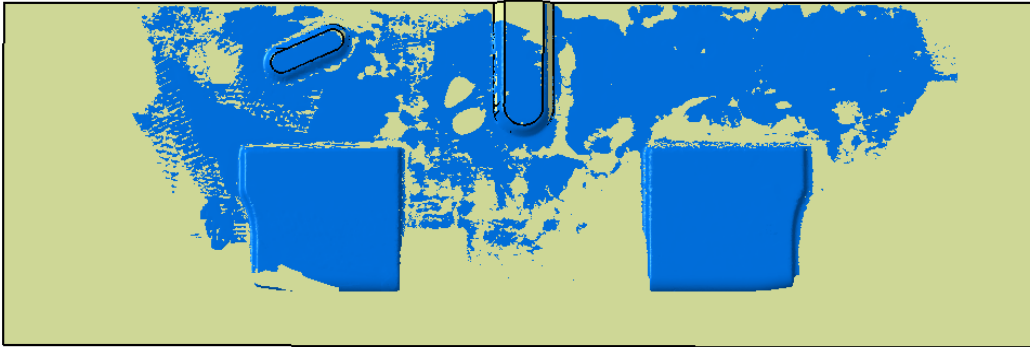


Puesto que existía simetría de la superficie reconstruida respecto del plano YZ, se realizó solamente la superficie en el lado en el cual la malla tenía una mejor definición, y gracias al comando "Symetry" se obtuvo la superficie del lado opuesto.





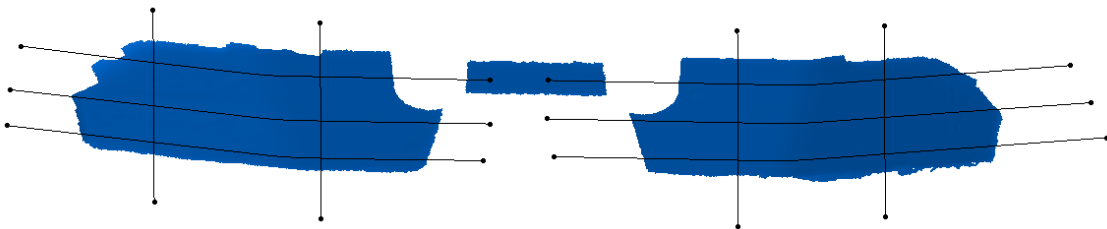
El resto de la Zona Trasera es una superficie plana, excepto algunos detalles.



La Zona Frontal se realizó obteniendo primero las secciones correspondientes, las cuales se generaron a través de planos paralelos al XY.



A continuación se realizó como en anteriores ocasiones, la conversión de las secciones a curvas y su unión, suavizado y alargamiento, así como la generación de más curvas de referencia.

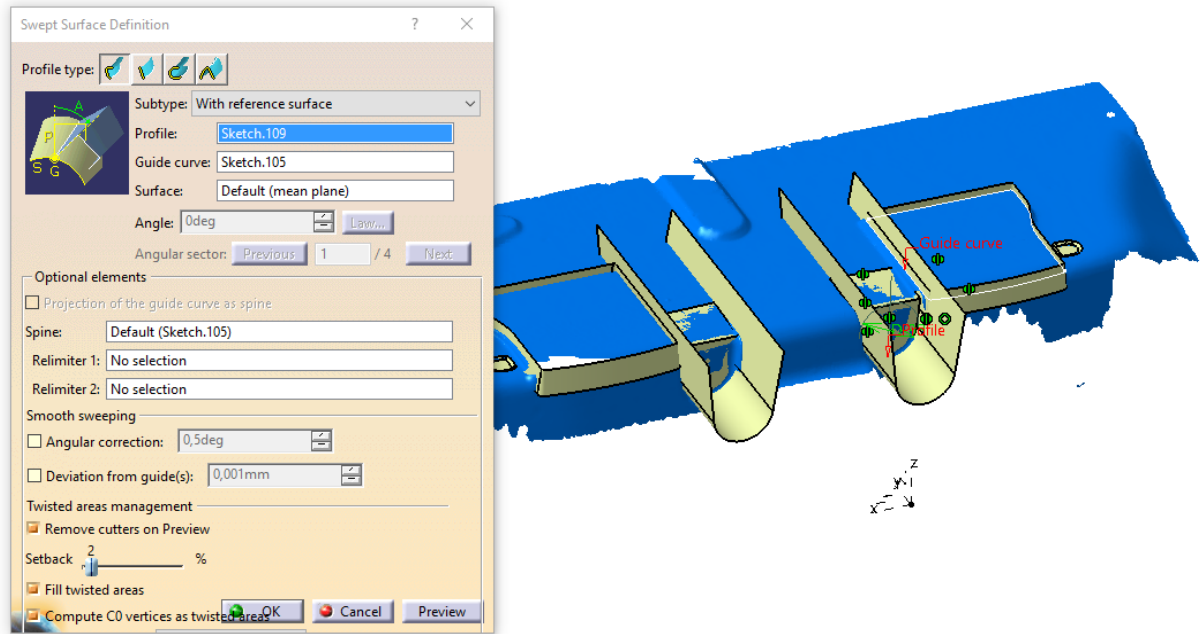


Una vez listas las curvas, se realizaron diferentes operaciones para finalmente obtener una superficie continua y unida.

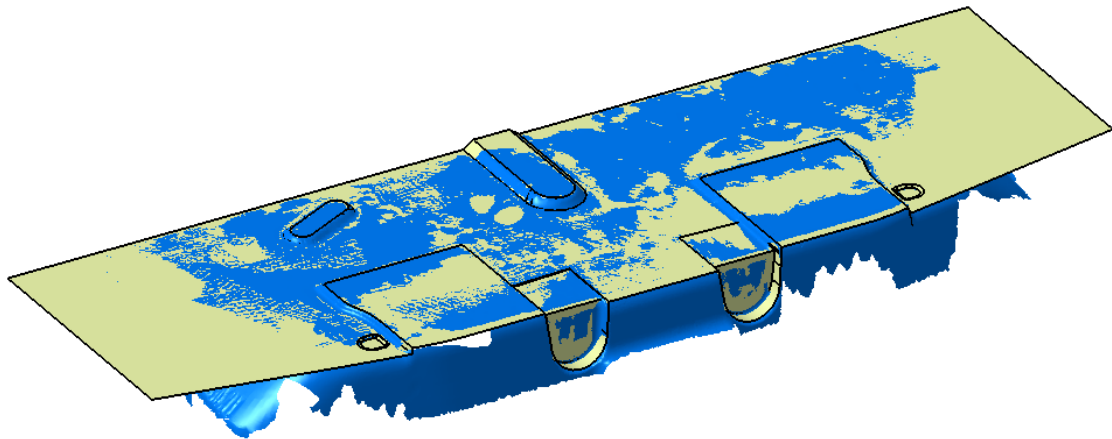


Por último se realizaron los detalles de la Zona Central.

Para ello se utilizó principalmente el comando “Sweep”, utilizando un perfil y una curva guía.

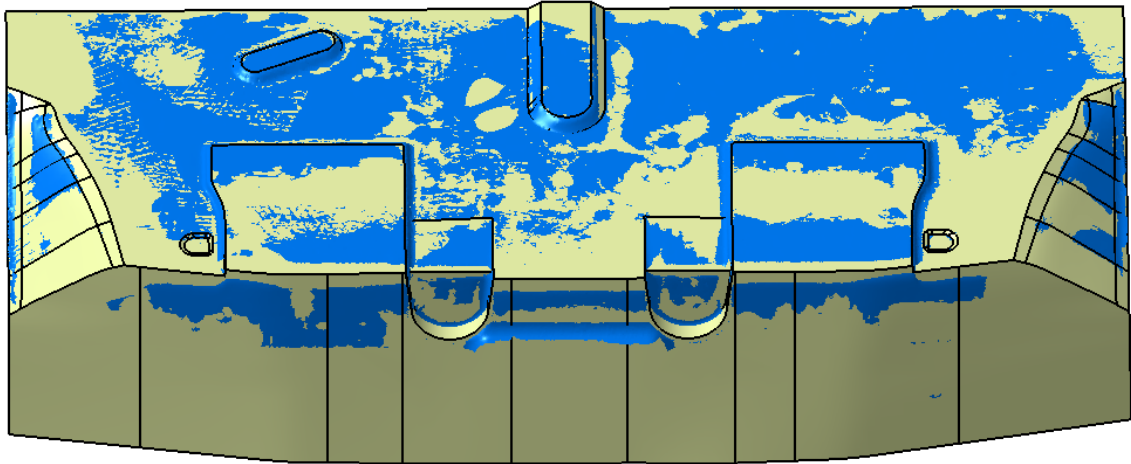


Tras realizar todos los detalles que presentaba la malla, se procedió a recortarlos con las superficies anteriores.



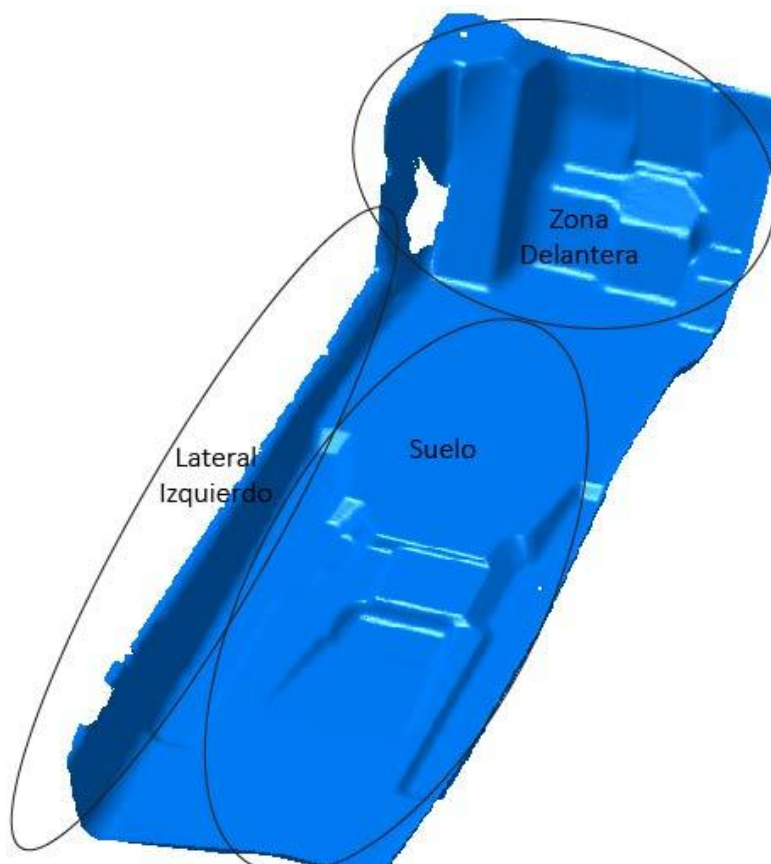


El resultado tras realizar los recortes correspondientes, y su posterior cosido fue el siguiente:

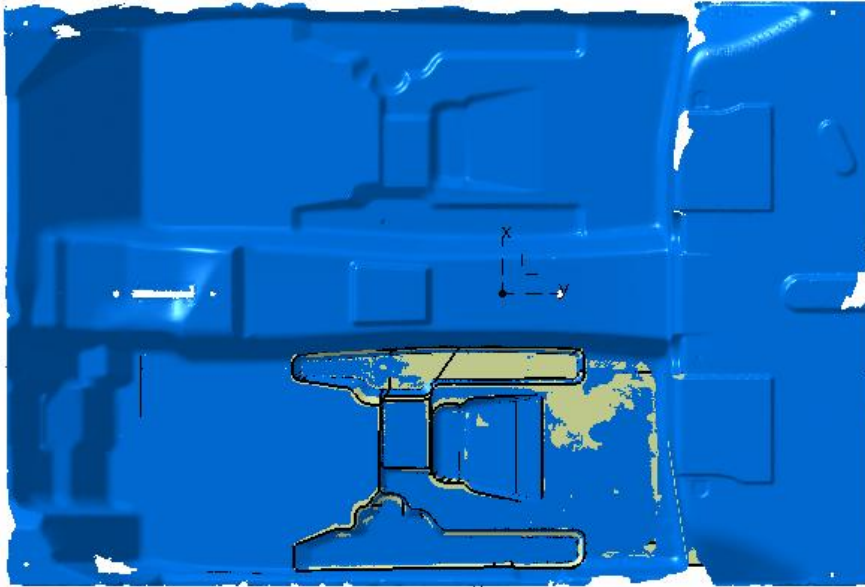


4. ZONA CONDUCTOR

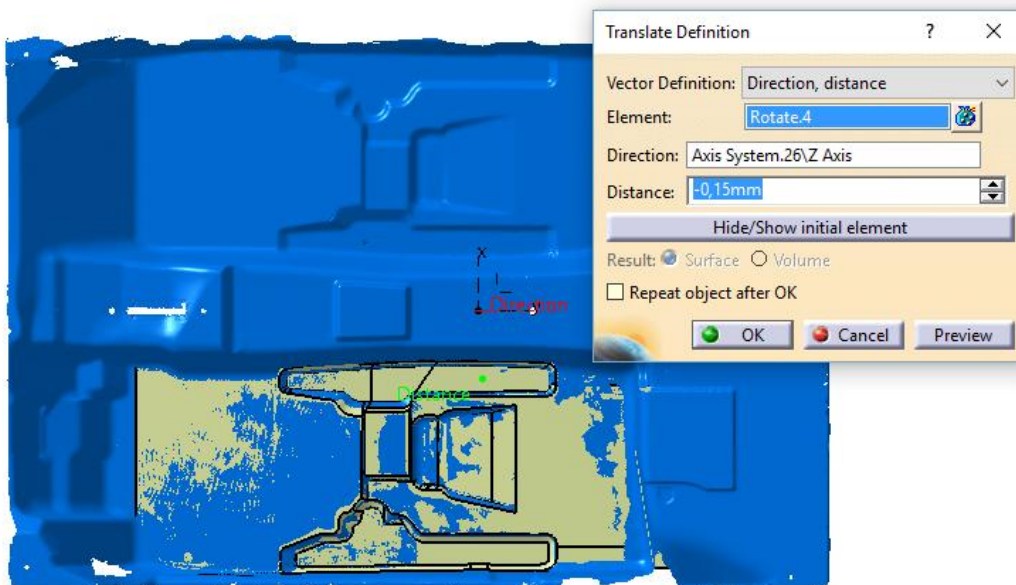
En último lugar, se trabajó en la reconstrucción de la zona del conductor. Igual que en ocasiones anteriores, ésta fue subdividida en diferentes zonas de trabajo.



Para realizar la zona del suelo, al ser igual que el suelo de la zona del conductor se utilizó una simetría respecto del plano YZ, para ahorrar tiempo de trabajo.

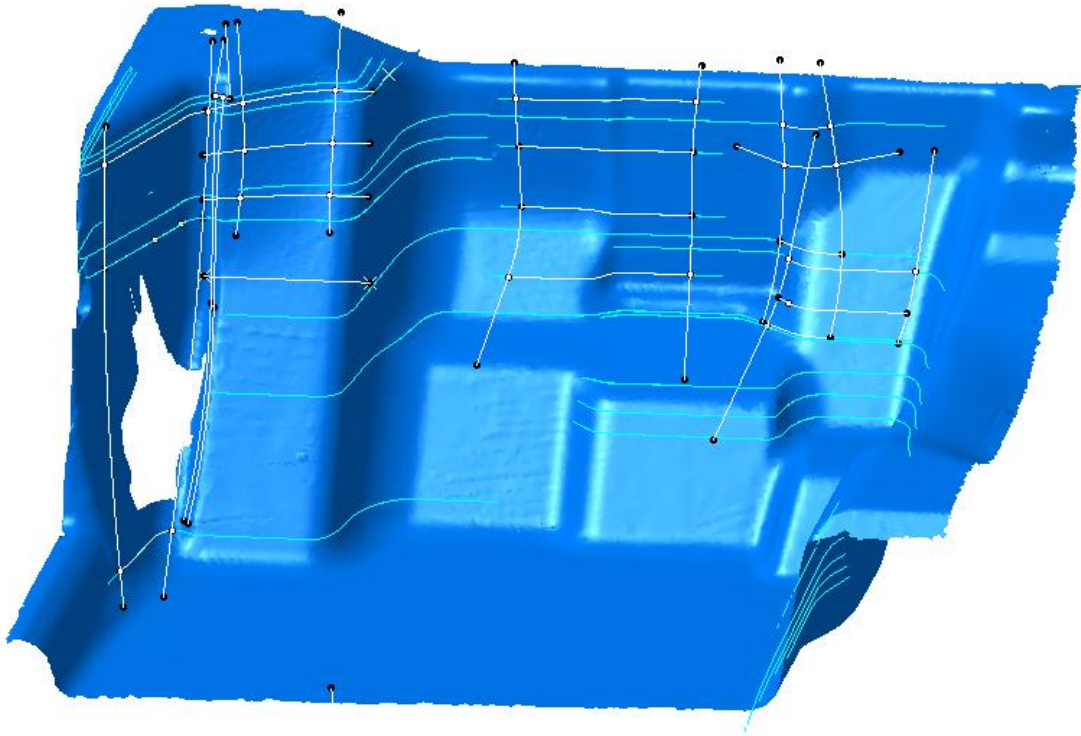


La superficie no se ajustaba del todo a la malla, por lo que se movió ligeramente para perfeccionar el ajuste con el comando "Rotate" y "Translate".

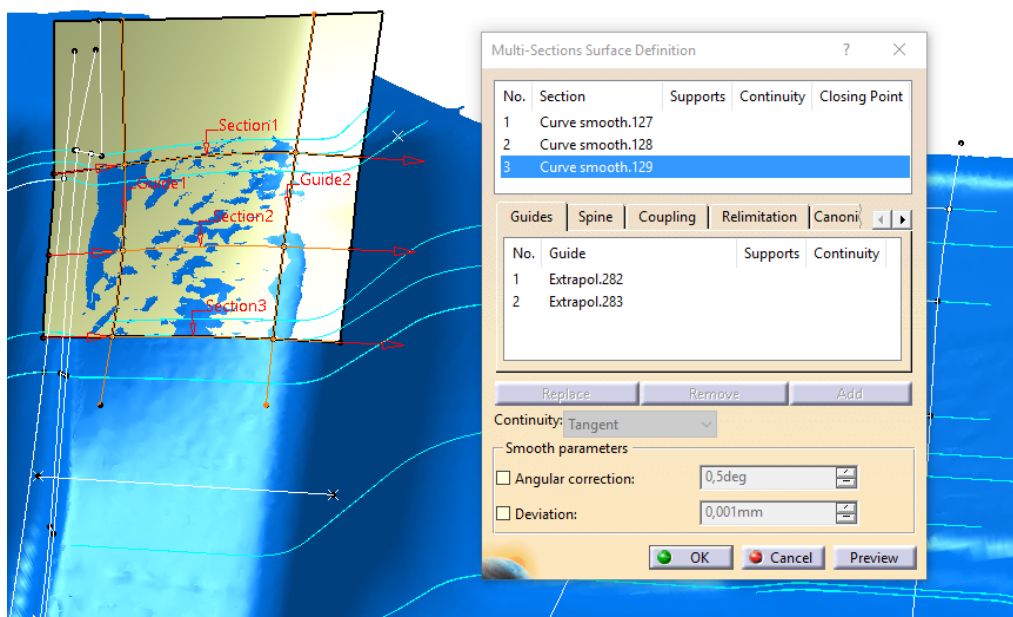




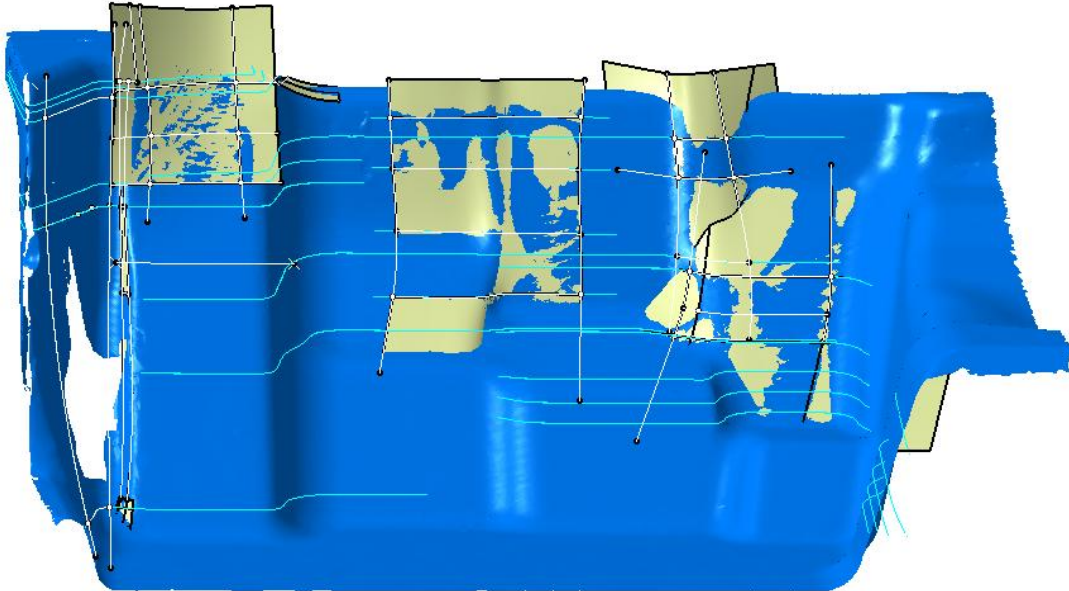
La zona delantera de la parte del conductor estaba formada por superficies planas, que se generaron con el comando “Basic Surface Recognition”, y por superficies que no eran planas, para las cuales se utilizó el comando “Multi-Section Surface”. Para ello en primer lugar se generaron las secciones y curvas de referencia.



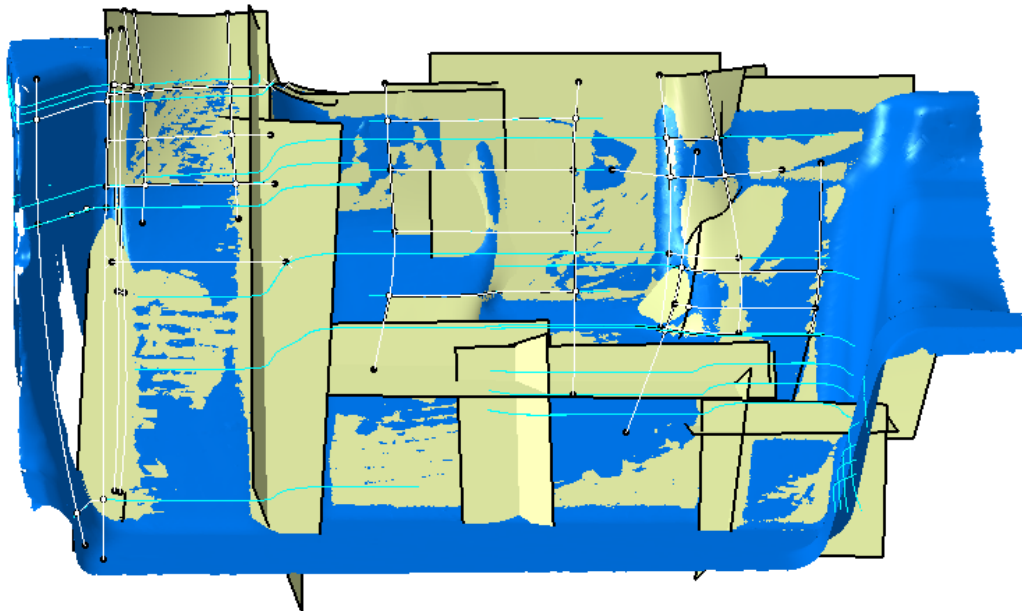
Las zonas que no eran superficies planas se realizaron utilizando multisecciones, definiendo las secciones y las guías para obtener un mayor control de las superficies. Por ejemplo la generación de una de ellas fue de la siguiente forma:



En la siguiente imagen se pueden observar todas las superficies que no eran planas y fueron generadas de forma similar al ejemplo mostrado.

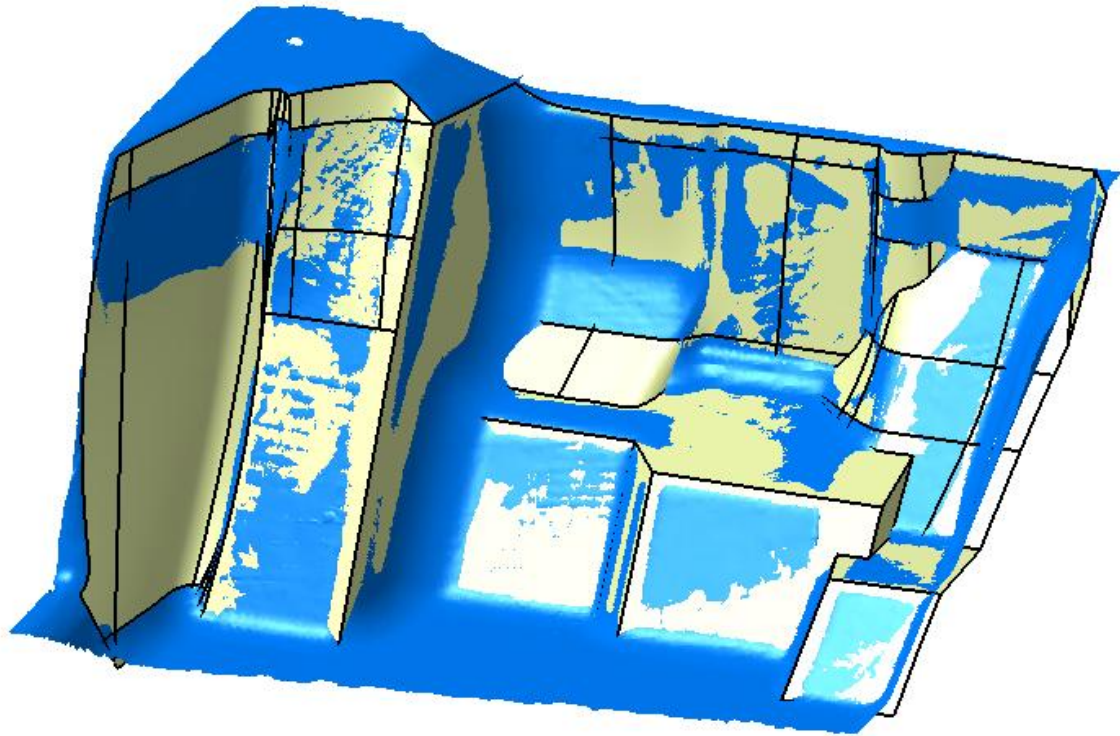


A continuación se obtuvieron las superficies planas, para posteriormente realizar los recortes necesarios.

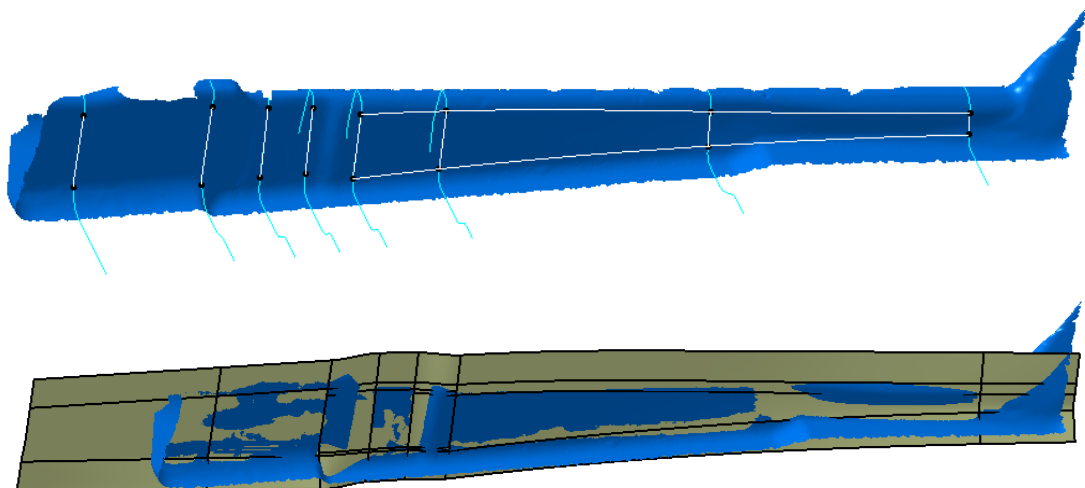




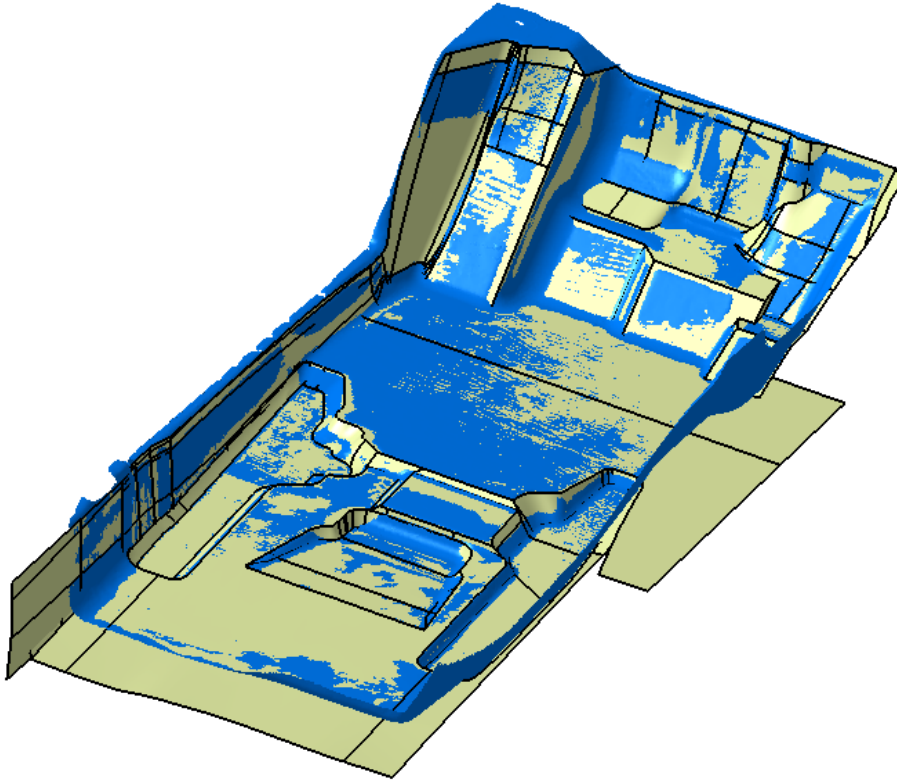
Tras realizar los recortes con el comando “Split” entre las superficies, se cosieron todas ellas para pasar a ser una superficie única.



La última zona que falta por reconstruir es la pared lateral izquierda. Para ello se realizaron en primer lugar, las secciones y curvas de referencia, y a continuación las superficies.

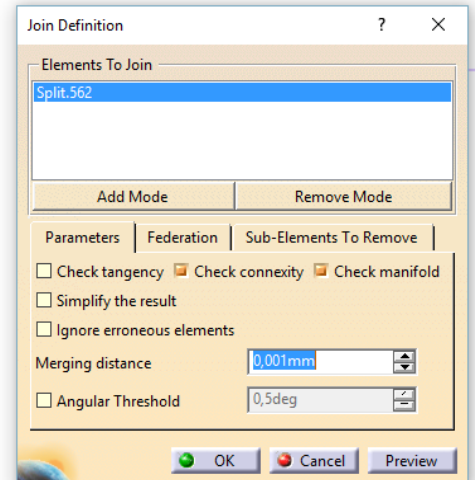
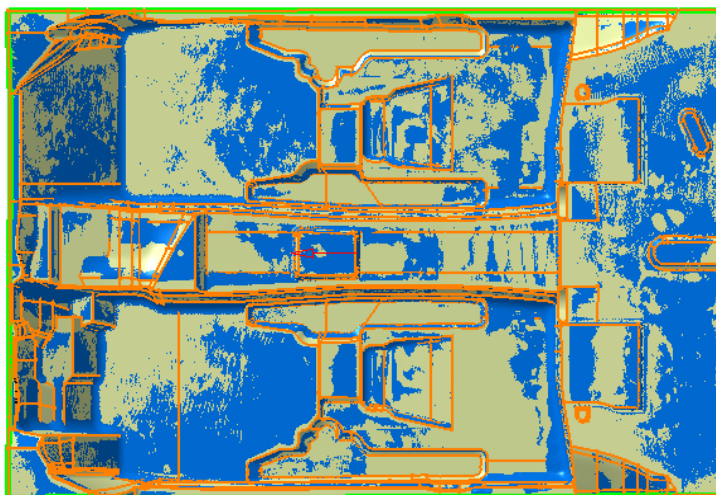


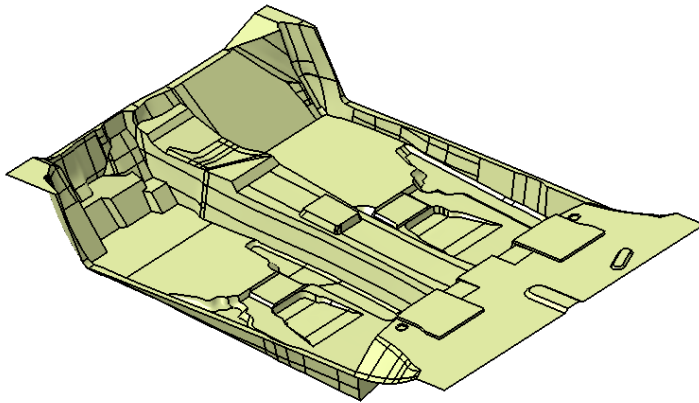
Una vez finalizadas las tres zonas se procedió a su recorte y unión.



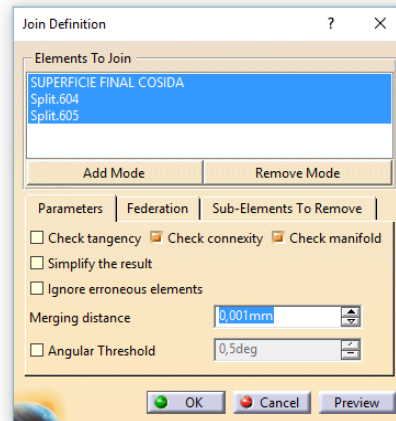
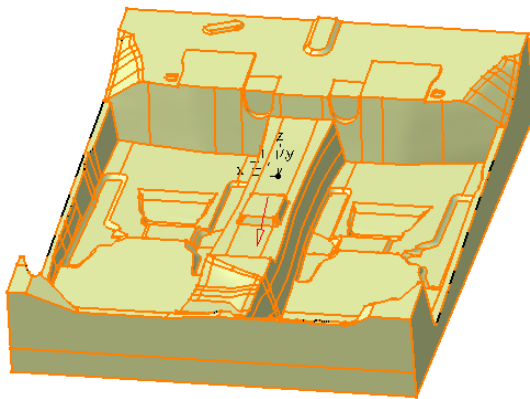
4.5.1.10. UNIÓN DE LAS SUPERFICIES Y CORRECCIÓN DE ERRORES

Una vez obtenidas las superficies de las zonas de forma individual, se realizó un recorte entre ellas, de forma que no quedaran agujeros entre medias. A continuación se procedió al cosido de las mismas a través del comando “Join”, verificando la conexión entre ellas.

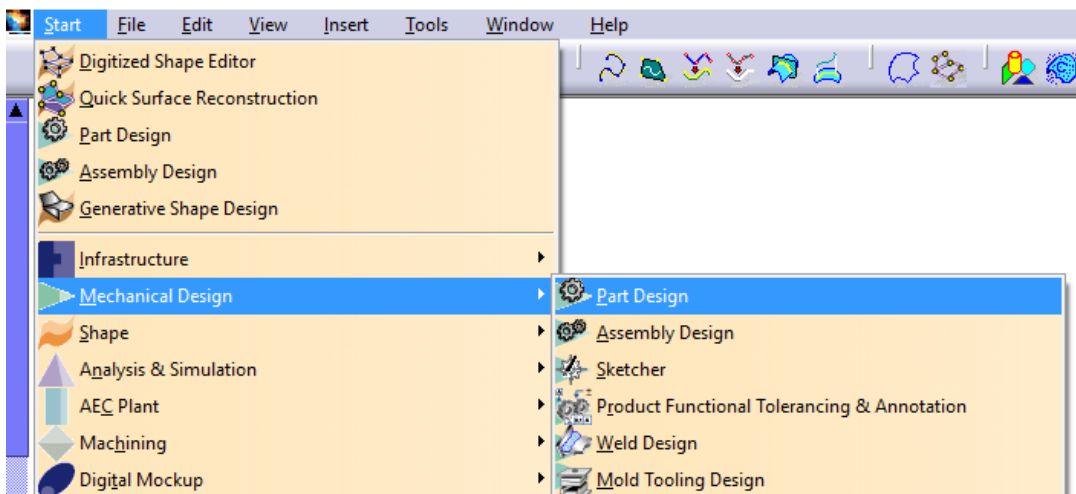




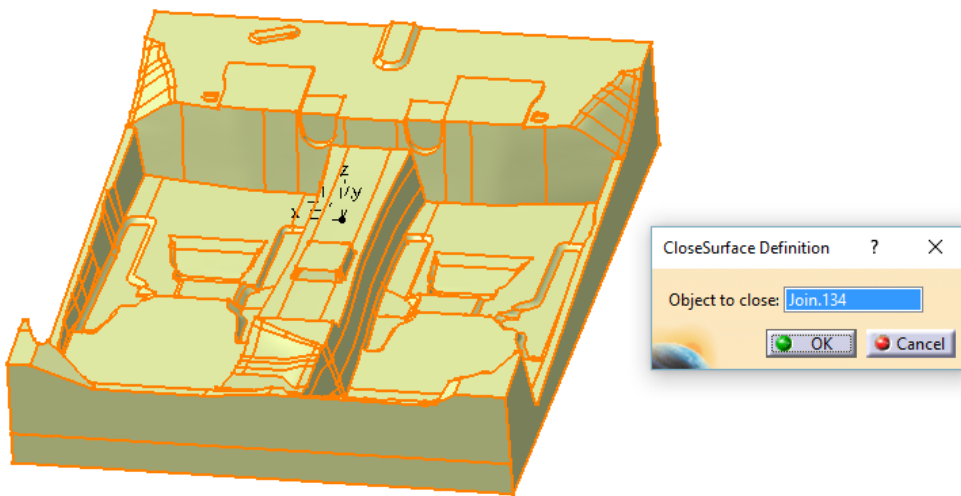
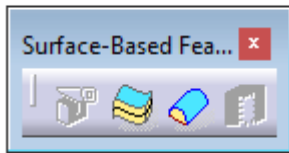
Se realizaron las paredes exteriores del molde de la forma más aproximada posible, puesto que en la malla esas paredes no están presentes.



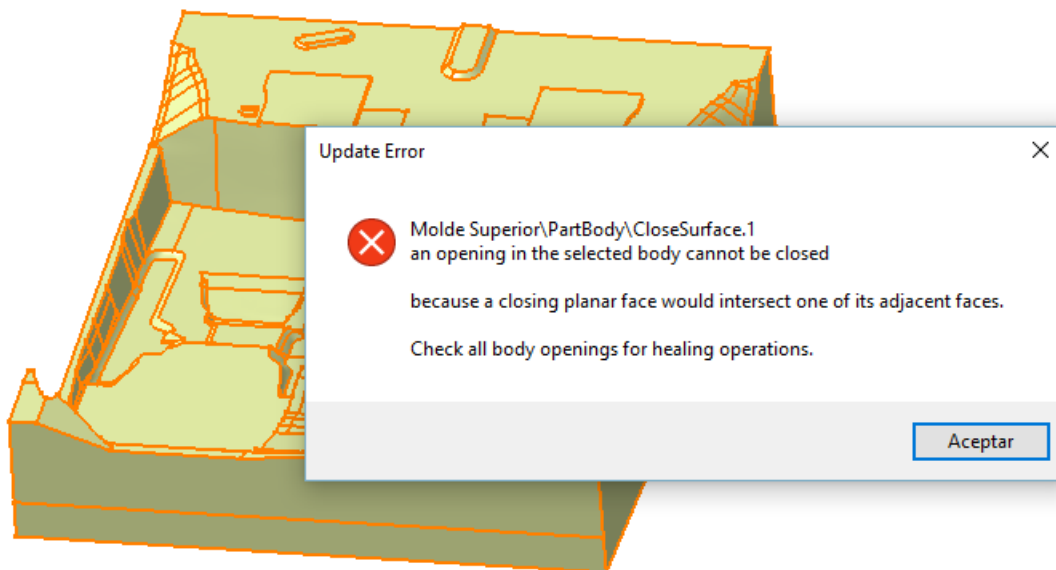
Una vez hecho éste paso, se comenzó a trabajar con el módulo de “Part Design”, para poder convertir en sólido el molde. Se accede al módulo de la siguiente manera: Start/Mechanical Design/Part Design



Dentro de éste módulo se utilizó la herramienta “Close Surface”, perteneciente a la barra de herramientas “Surface-Based Features”, la cual convierte en sólido superficies que forman las caras de una figura cerrada.

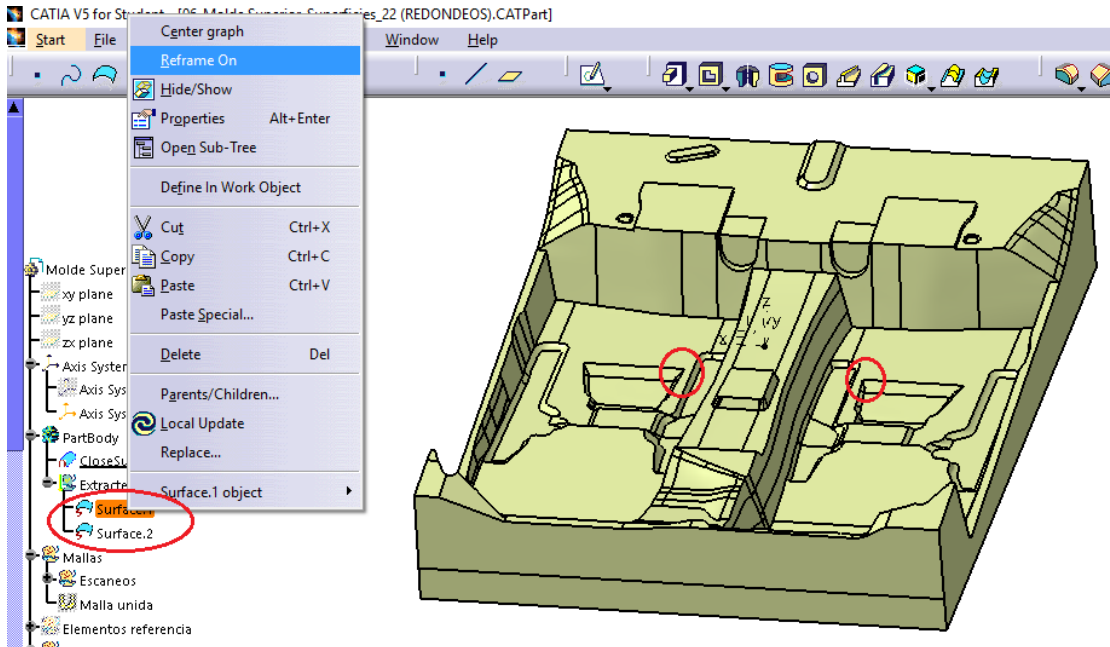


Pero al intentar realizar la operación surgen problemas. Sale un mensaje de error.

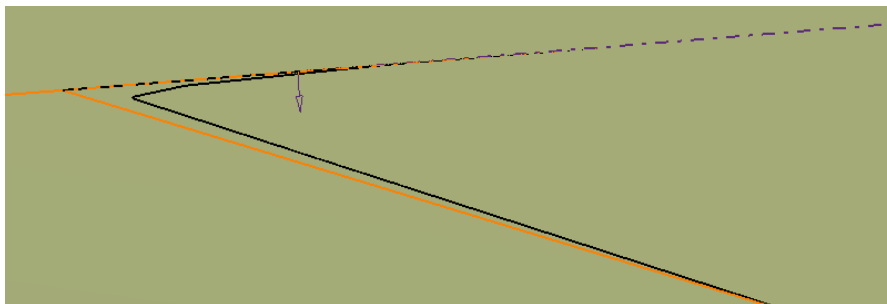




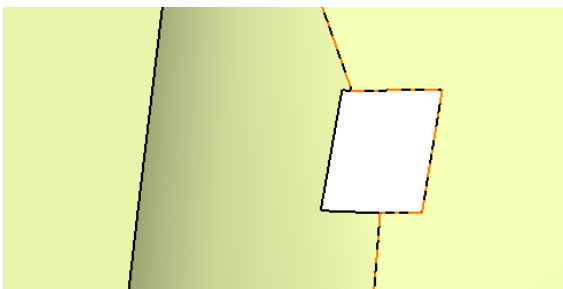
Los errores aparecen en el árbol, para localizarlos se utiliza la opción reframe on del menú desplegable que aparece al hacer clic con el botón derecho sobre uno de los errores. Se han señalado con un círculo rojo para localizarlos con facilidad. Al encontrarse en la zona de simetría, el error es el mismo en cada lado.



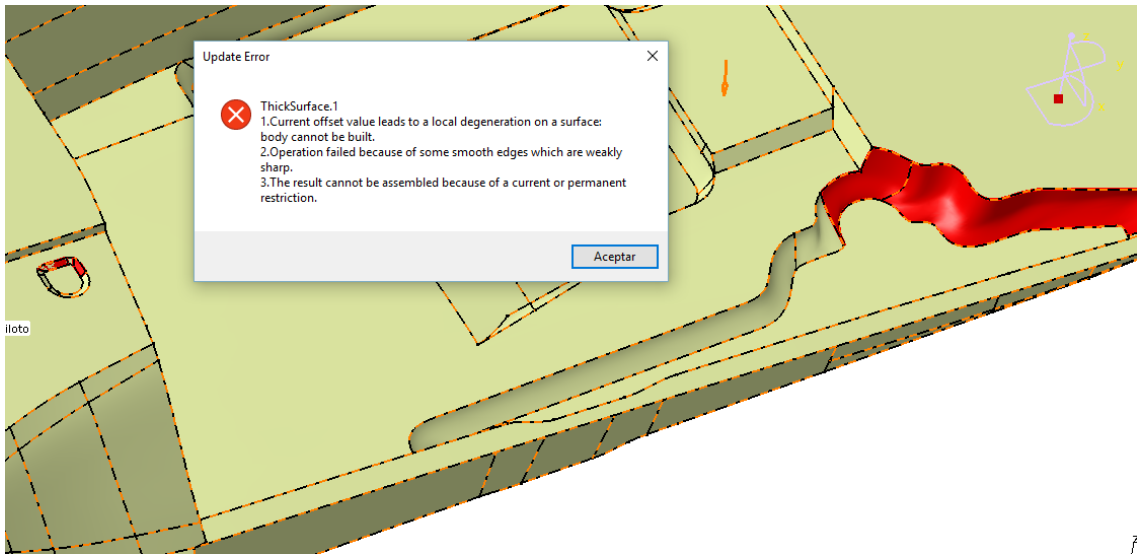
Ampliando la zona en la que se encuentra el error se puede observar éste de forma detallada. Son dos superficies superpuestas, que han podido surgir al realizar los recortes.



Se procedió a la eliminación del error y su posterior arreglo volviendo al módulo de superficies.



Con el fin de encontrar otros posibles errores se probó a aplicar espesor sobre la superficie con el comando “Thick Surface”.



Surgieron así dos nuevas zonas con error, que aparecen coloreadas en rojo en la imagen anterior. Los nuevos errores se debían a que la superficie no tenía una forma adecuada y no era posible generar espesor.

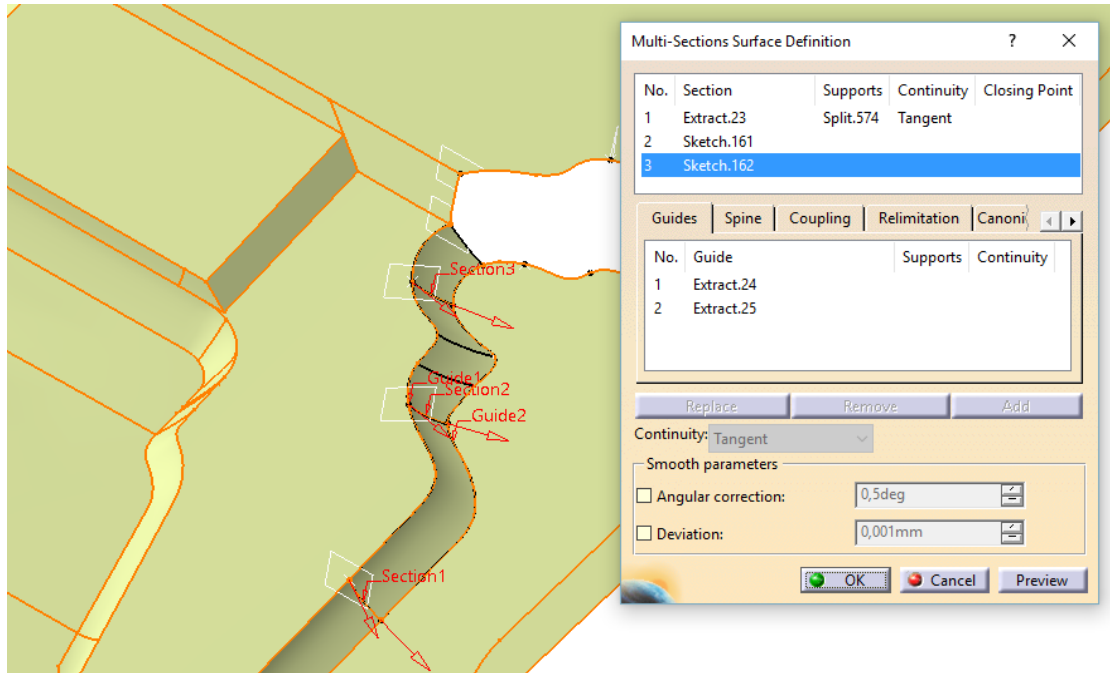
Por ello se decidió mejorar dichas zonas, aun que la herramienta “Close Surface” no las considerara como erróneas.

En primer lugar se eliminaron las zonas conflictivas.

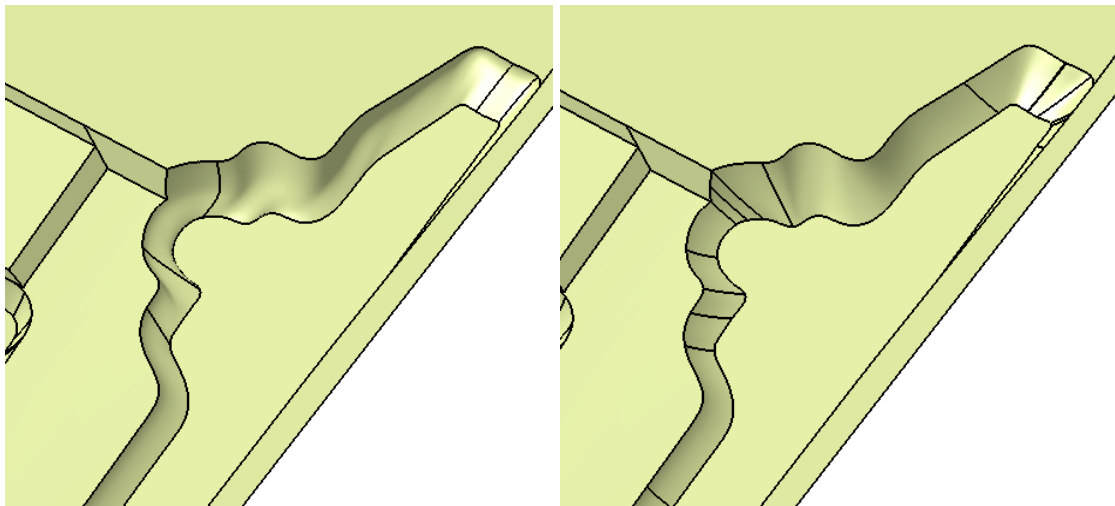




Se volvieron a realizar con una multisección, utilizando secciones y curvas guía.



La operación explicada se realizó de igual forma en la zona simétrica de la superficie. Se muestran una imagen de la zona antes de realizar la mejora y una imagen tras realizar la mejora, para apreciar el error que existía y como ha mejorado.

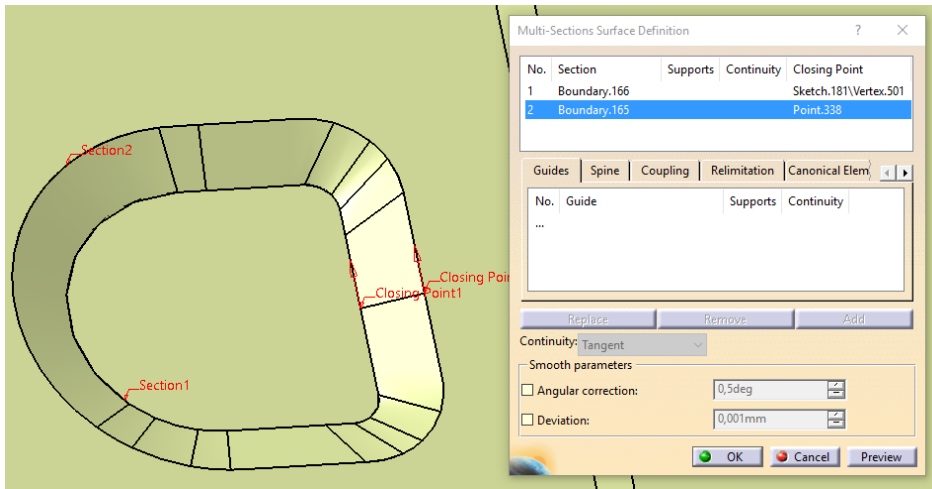


Antes

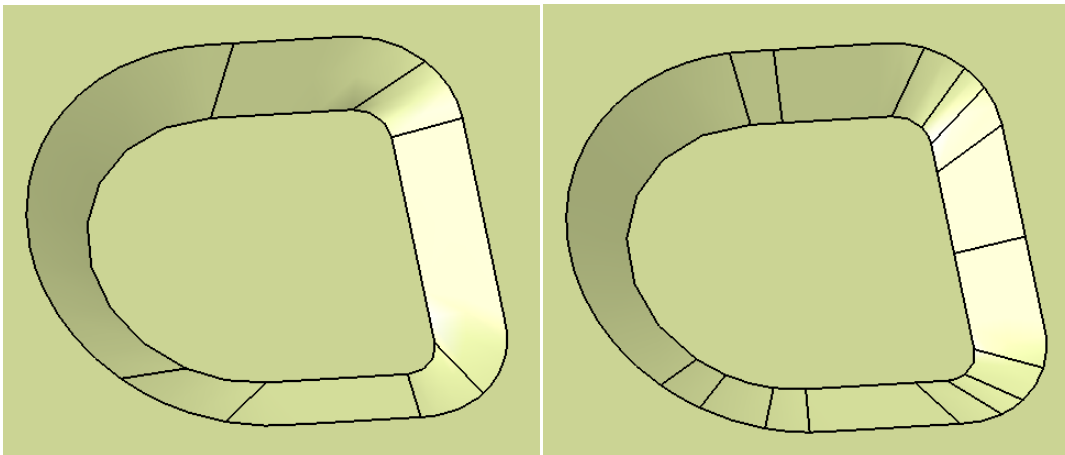
Después



A continuación se eliminó la otra zona conflictiva. Se realizó una multisección con las secciones y los Closing Points adecuados.



Al igual que con el error anterior, se han recogido dos imágenes para apreciar la mejora.



Antes

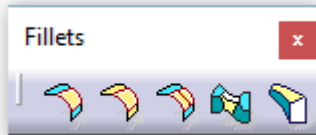
Después

Una vez corregidos los errores se volvió a coser la superficie y a intentar hacer sólido, y efectivamente se podía realizar la operación, pero previamente al solidificado, se realizaron los redondeos.



4.5.1.11. APLICACIÓN DE LOS REDONDEOS Y GENERACIÓN DEL SÓLIDO

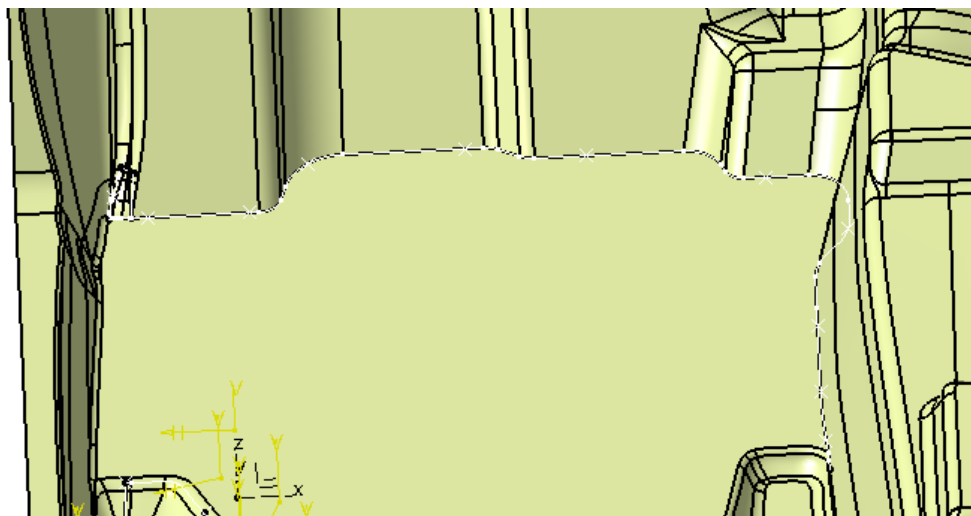
La mayoría de las aristas que componen el molde poseen redondeos, hay más de cien operaciones de redondeo realizadas. Para ello se utilizó el comando “Edge Fillet” que se encuentra en la barra de herramientas “Fillets”.



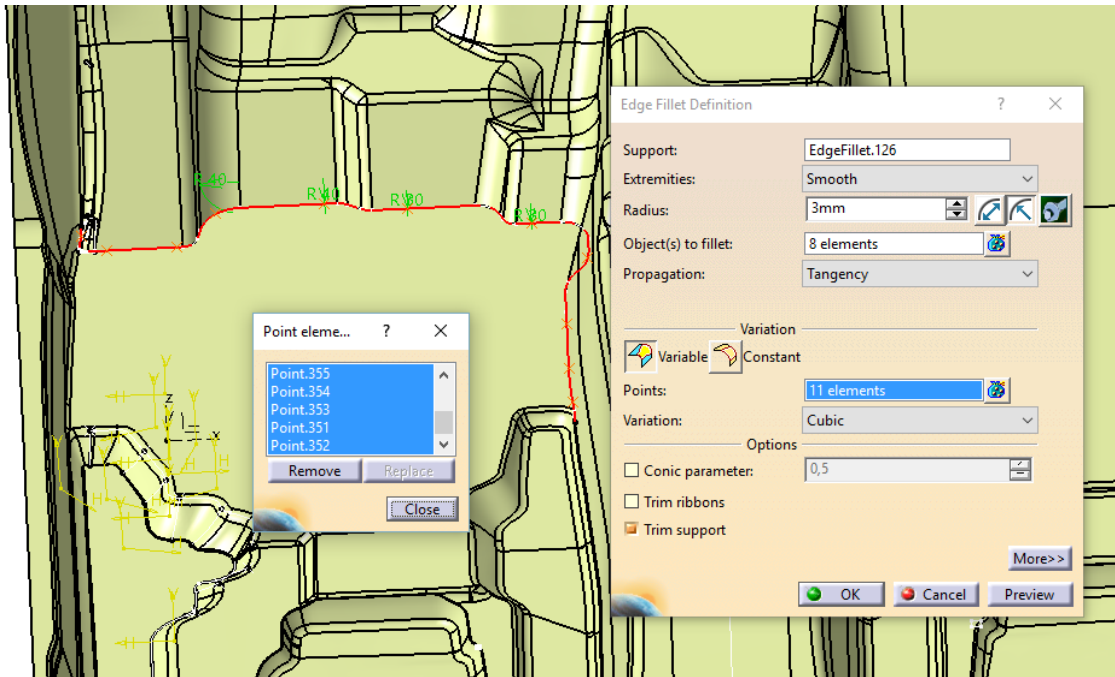
Con éste comando se pueden realizar redondeos de valor constante o redondeos de valor variable.

Se muestra a continuación un ejemplo de un redondeo variable, ya que son más complejos que los redondeos constantes.

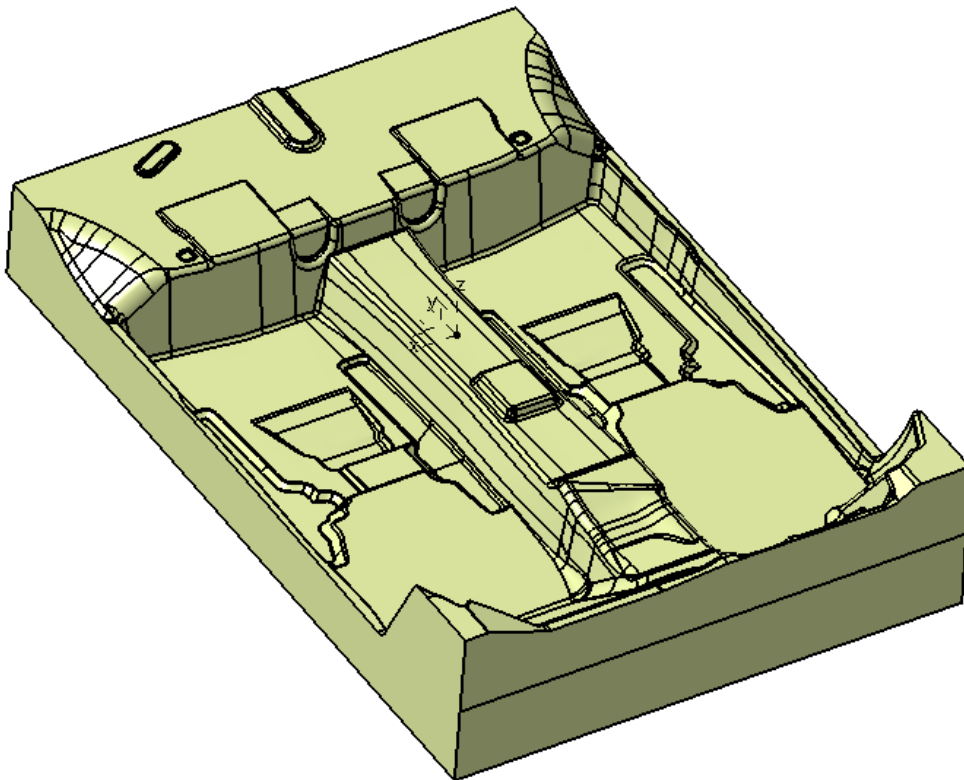
Para ello se realizó en primer lugar un “Extract” de la arista a redondear, y posteriormente se realizaron puntos sobre dicho extract. Los puntos se crearon en los lugares donde cambiaba el redondeo, pero para cambios muy bruscos es necesario crear puntos intermedios.

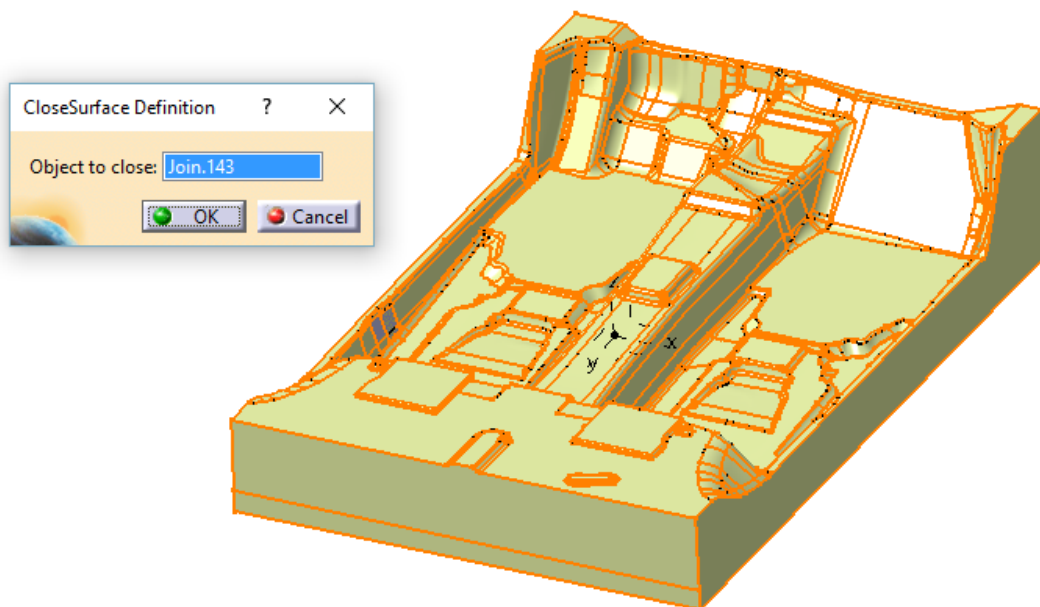


Después se procede a la ejecución del comando. Utilizando los puntos y el extract anterior.

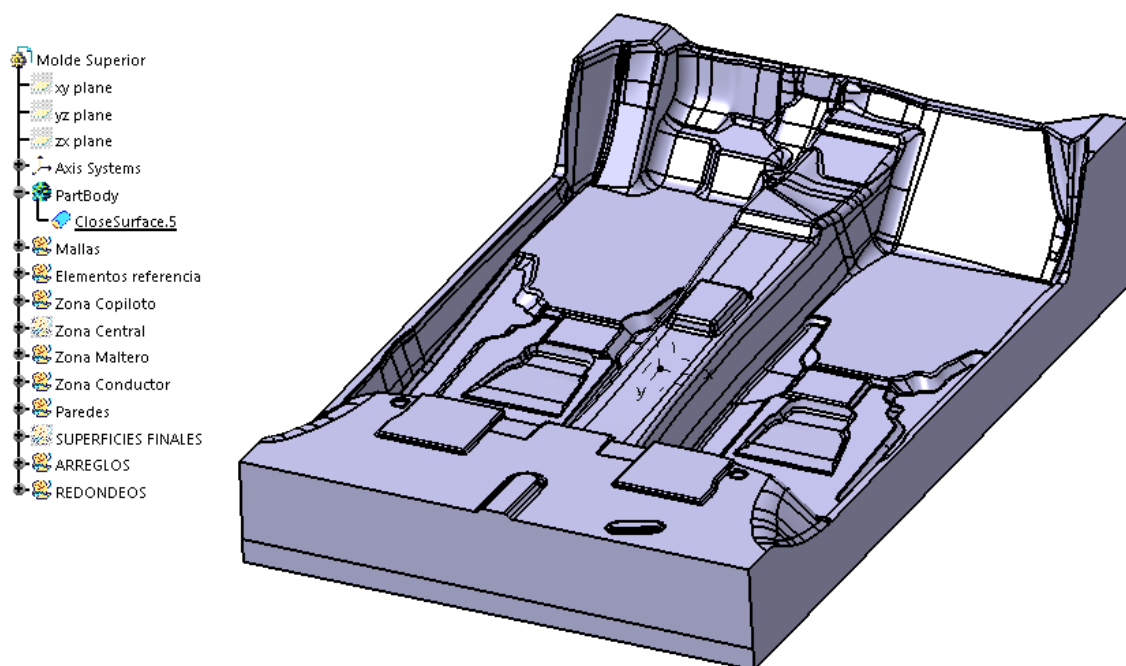


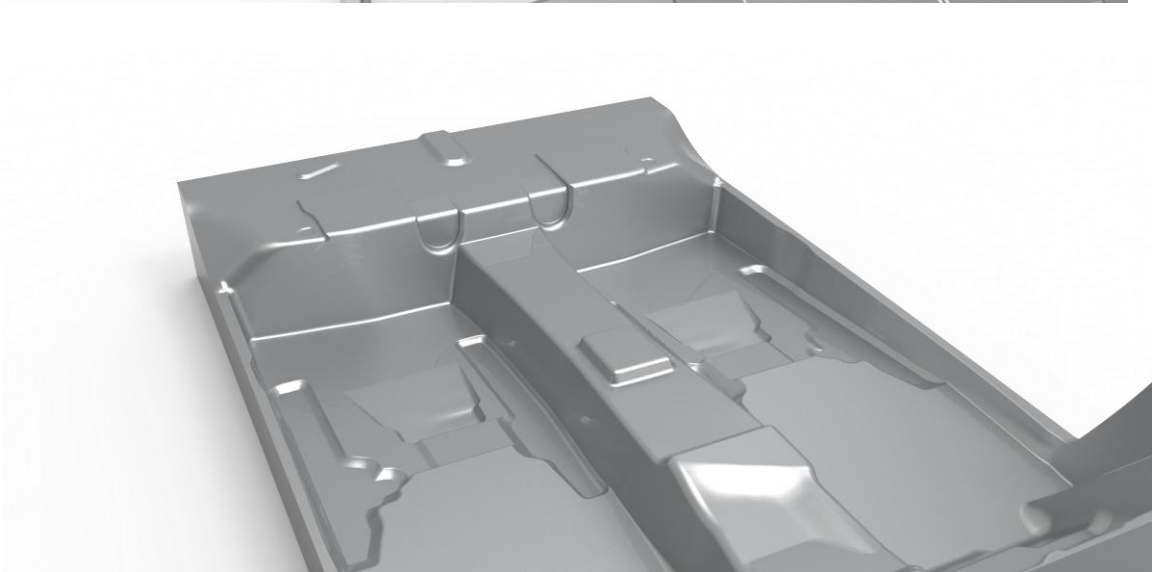
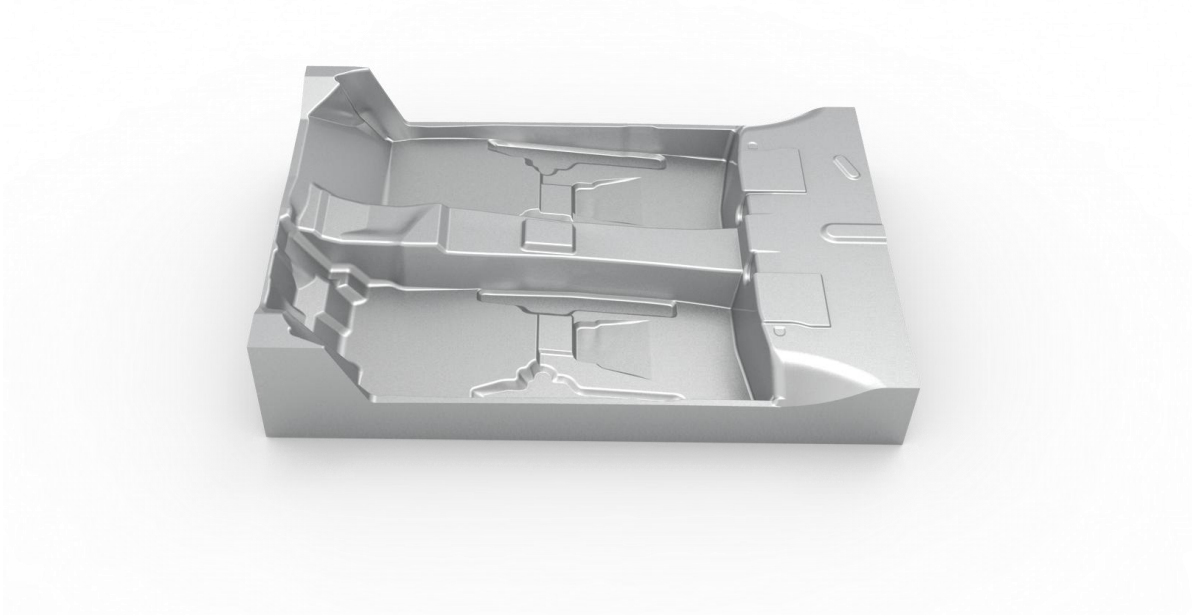
Tras finalizar las operaciones de redondeo, se generó el sólido del molde, utilizando el comando anteriormente explicado "Close Surface".





Al haber realizado los arreglos correspondientes no hay ningún problema al generar el sólido.

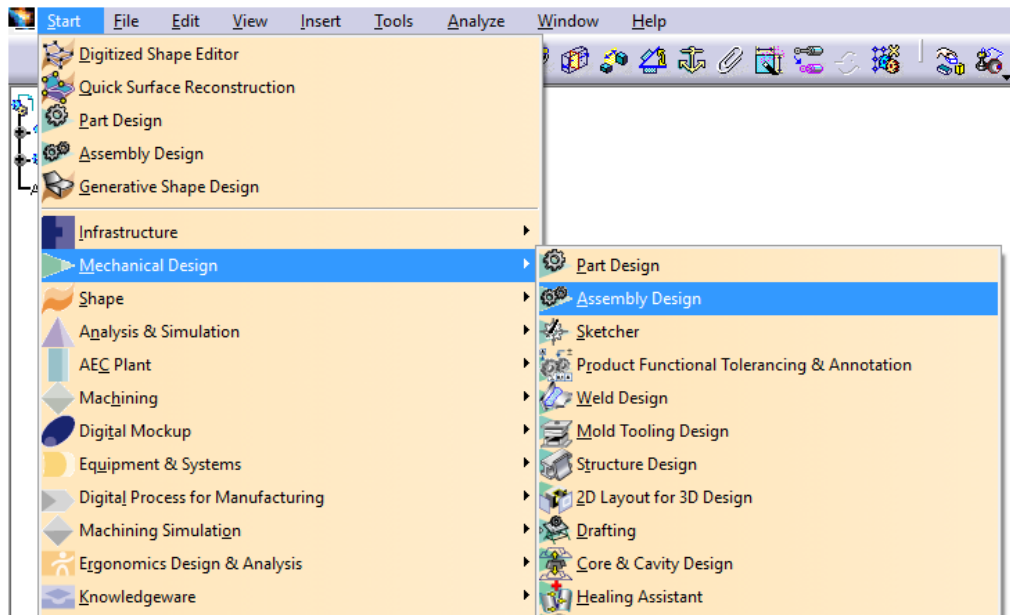




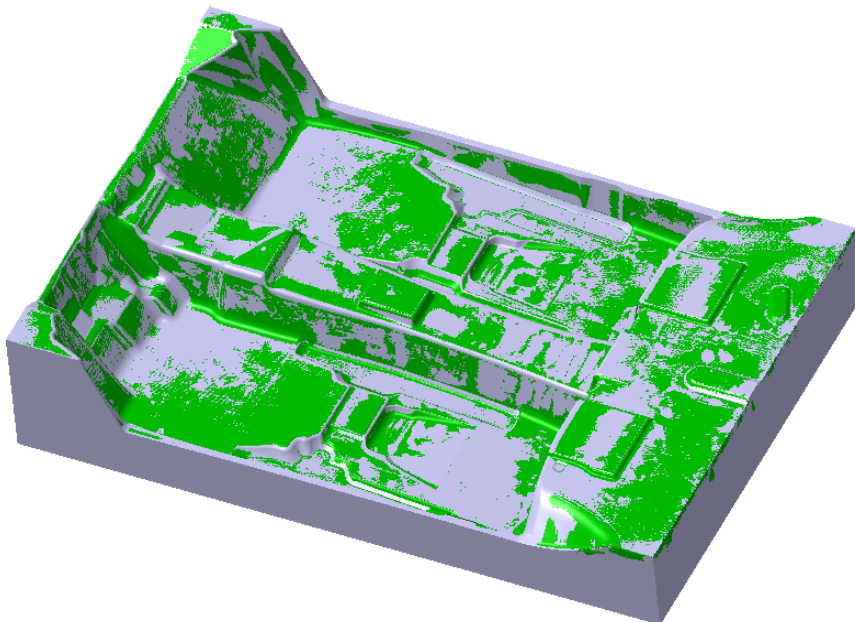


4.5.1.12. COMPARACIÓN DEL MOLDE RECONSTRUIDO CON LA MALLA

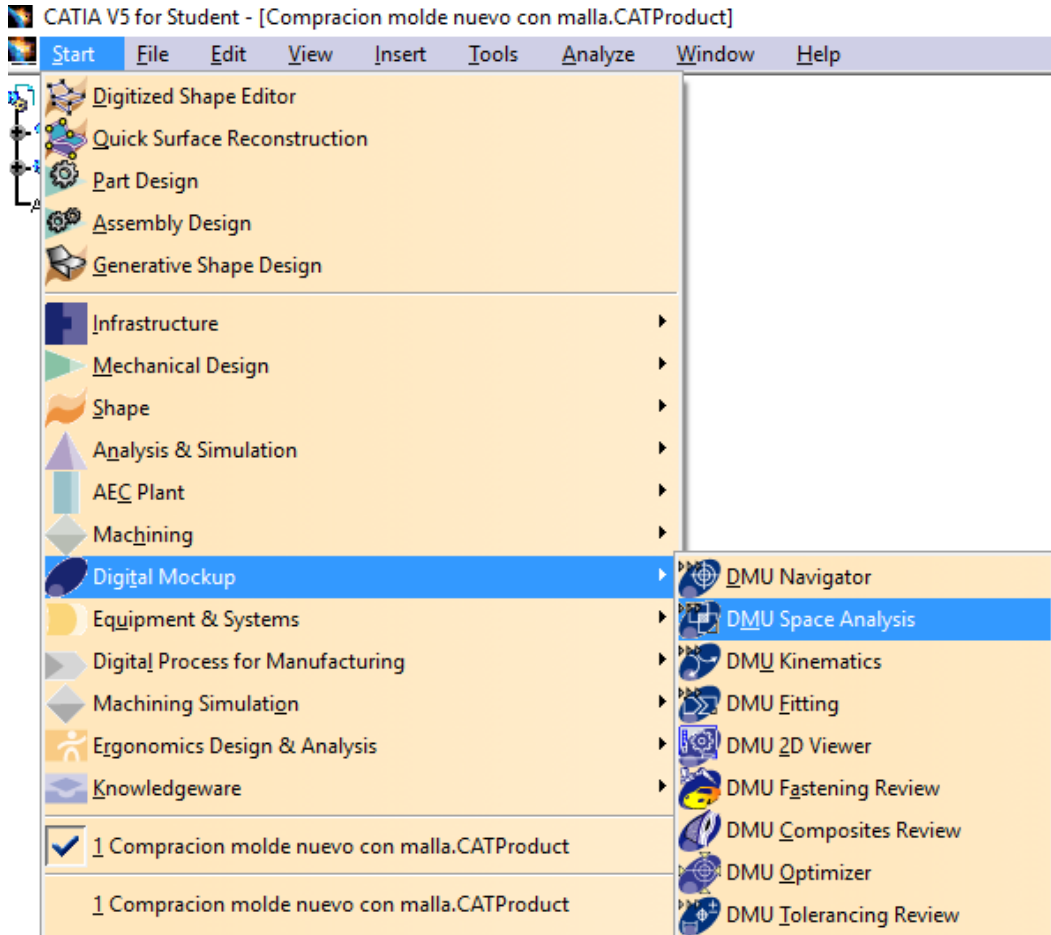
Una vez finalizada la reconstrucción, se decidió realizar un estudio de comparación entre la Malla y el Sólido reconstruido, para poder evaluar el resultado. En primer lugar fue necesario crear un ensamblaje que contuviera ambos elementos. Para ello se utilizó el módulo Assmby Design, al cual se accede de la siguiente forma: Start/Mechanical Design/Assembly Design



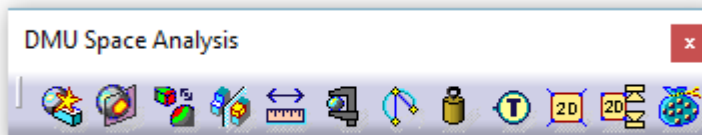
Se realiza el ensamblaje de la malla y la pieza, que aparecen perfectamente colocados.



Para realizar el estudio de comparación se utiliza otro módulo de Catia llamado “Space Analysis”, al cual se accede de la siguiente forma:
Start/Mechanical Design/Assembly Design

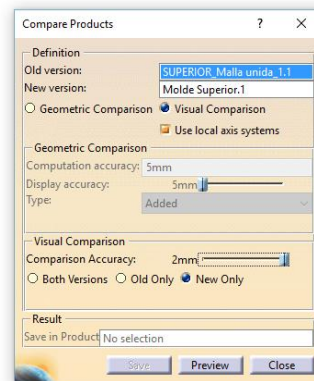
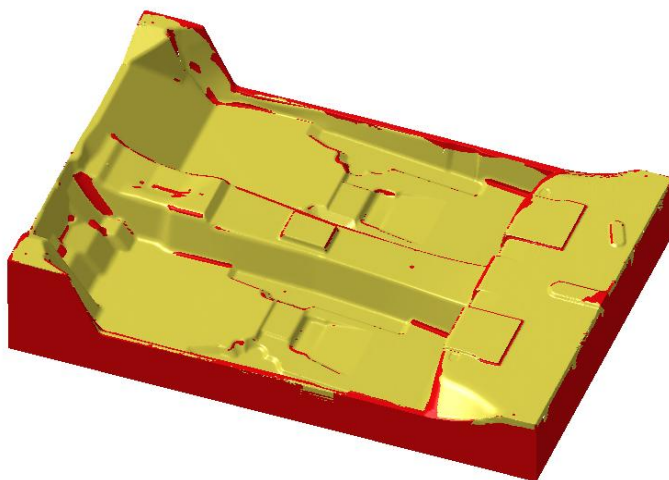
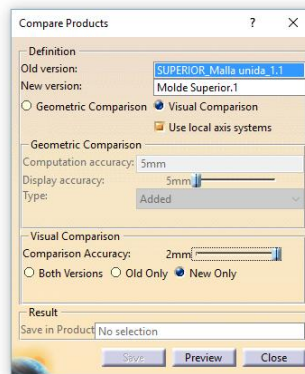
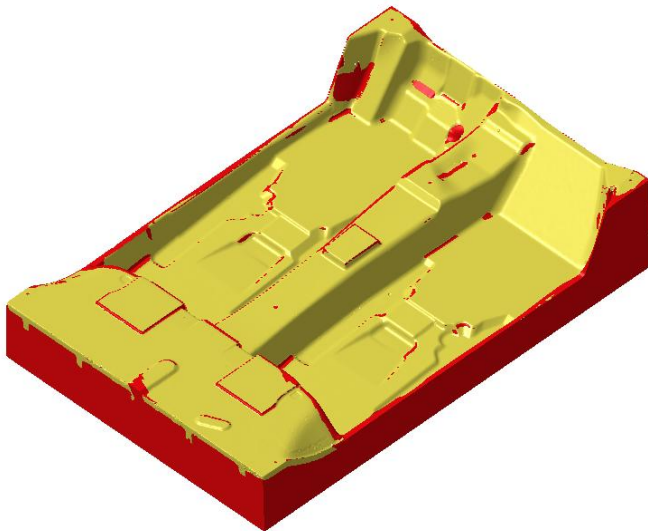
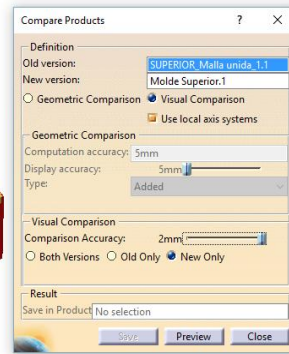
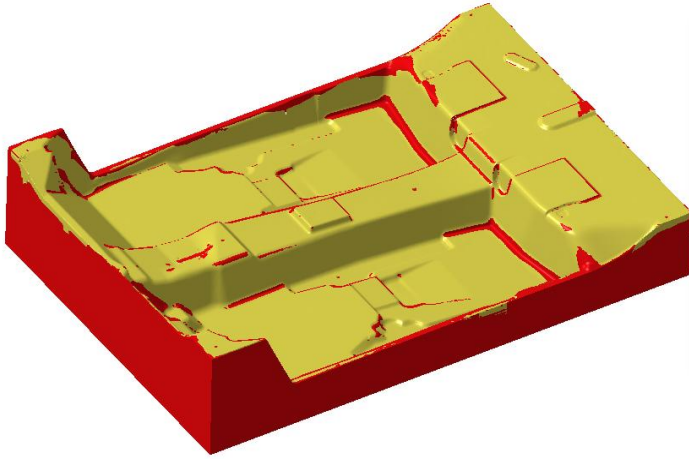


Dentro del módulo, se utilizó el comando “Compare Products”.

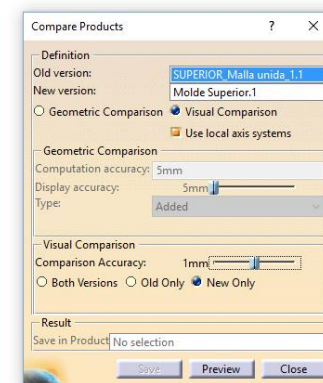
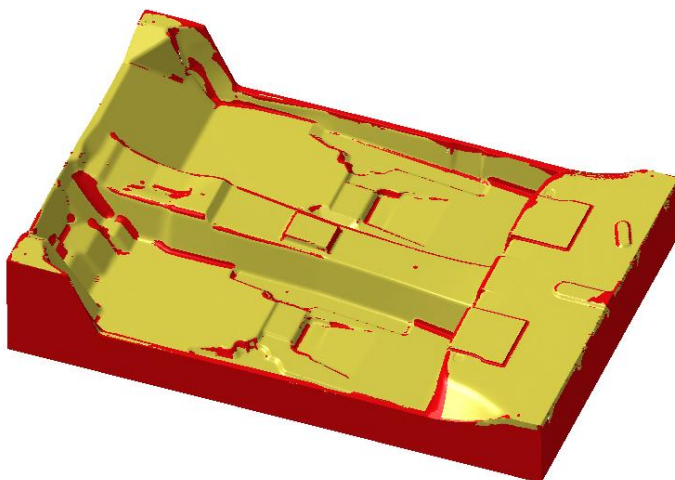
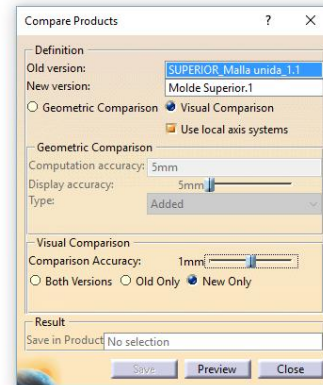
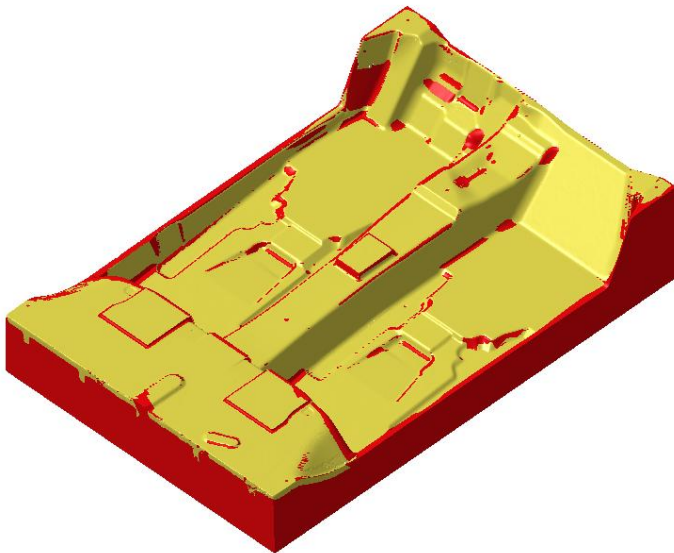
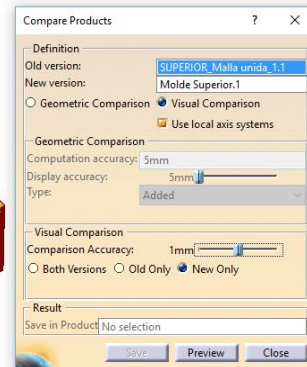
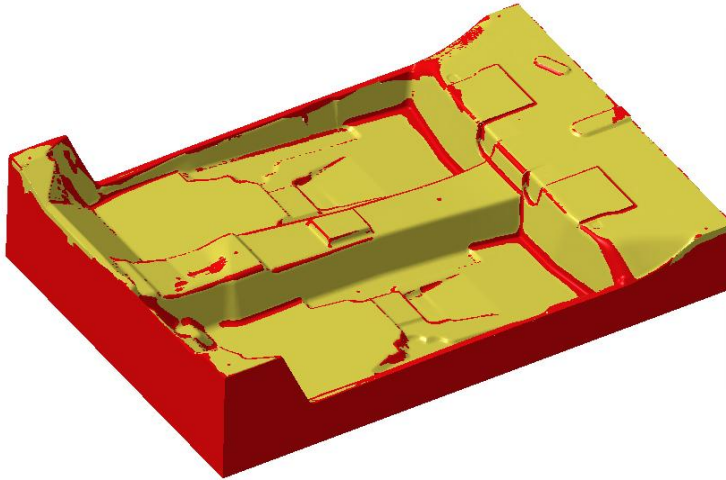




Se realizaron tres comparaciones, modificando en cada una de ellas la tolerancia. En primer lugar se muestran las imágenes en las que se aplicó una tolerancia de 2 mm. Aparecen sombreadas en rojo las zonas del sólido que distan más de 2 mm con respecto de la malla.

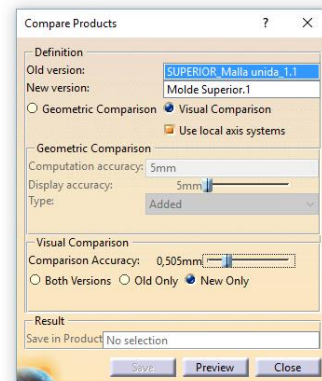
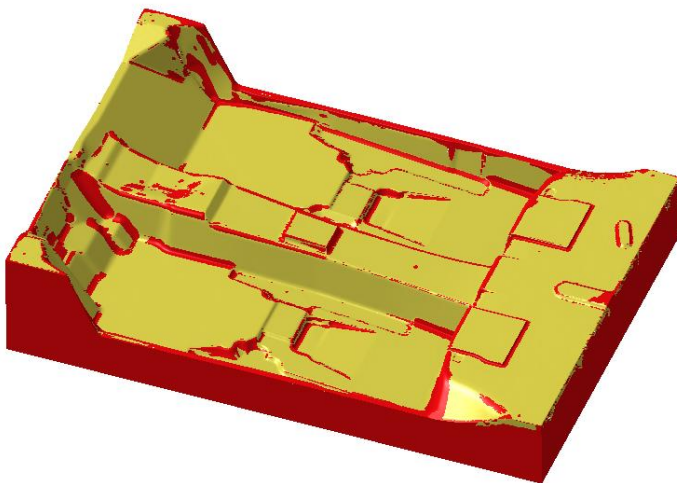
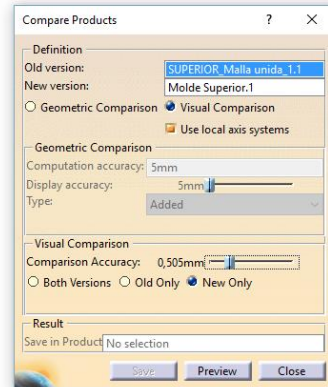
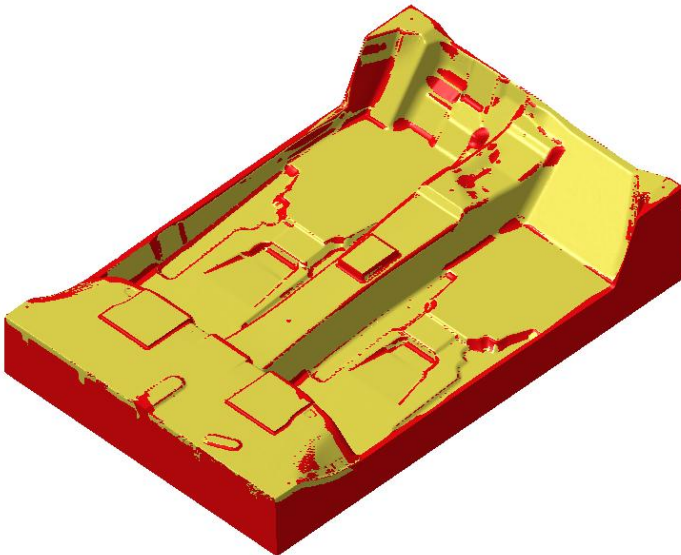
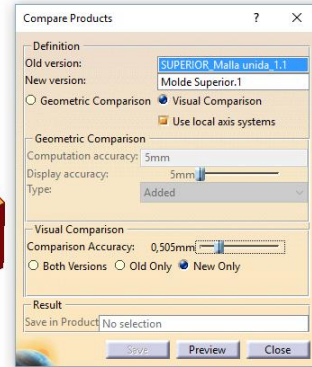
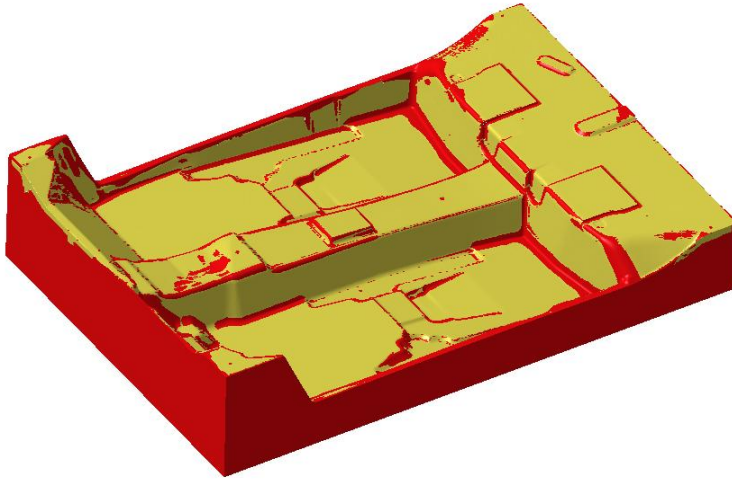


A continuación se estableció una tolerancia de 1mm. En las imágenes siguientes aparecen sombreadas en rojo las zonas del sólido que distan más de 1 mm de la malla.





En último lugar se ajustó la tolerancia a 0.5mm. Se pueden observar sombreadas en rojo las zonas del sólido que distan más de 0.5mm de la malla.



CONCLUSIONES TRAS EL ANÁLISIS

Tras realizar la comparación entre el sólido reconstruido y la malla de la cual se partió para la reconstrucción, se comentarán las conclusiones a las que se ha llegado tras el análisis.

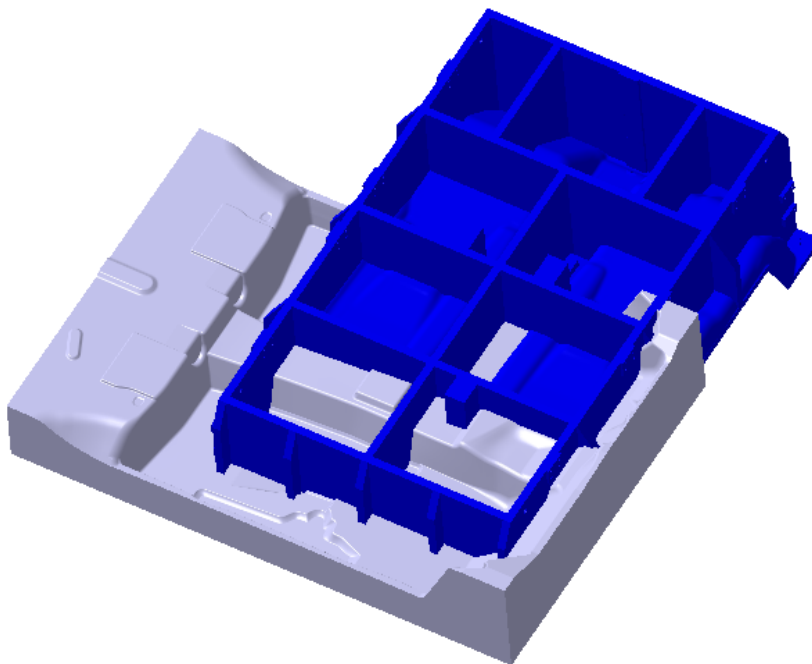
En primer lugar cabe destacar que la mayoría de las zonas afectadas por las desviaciones, son zonas que no existían en la malla. Por ejemplo todas las paredes laterales del exterior no fueron recogidas en el escaneo, pero sí se han realizado en el sólido. También hay que destacar que la malla tenía algunos agujeros y zonas poco definidas, las cuales aparecen también sombreadas en rojo, pero sin ser erróneas.

Por otra parte el resto de zonas que deberían coincidir con la malla y aparecen como erróneas, se concentran mayormente en los bordes y esquinas, por lo que el error se puede deber a una mala aproximación del valor del redondeo.

De todo esto se puede sacar la conclusión de que las superficies generadas se aproximan de forma satisfactoria a la geometría real de la malla. Exceptuando algunas zonas de las esquinas que difieren en su mayor parte en décimas de milímetro.

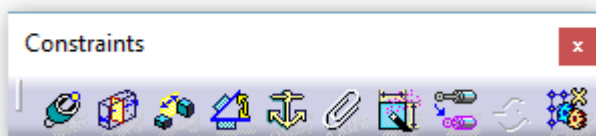
4.5.1.13. COMPARACIÓN DEL MOLDE RECONSTRUIDO CON EL MOLDE TEÓRICO

Al igual que en la comparación que se acaba de explicar, es necesario crear un ensamblaje con las dos piezas. El inconveniente que surge en éste caso es que el 3D del molde teórico y el 3D del molde reconstruido no aparecen colocados o alineados uno respecto del otro, sino que presentan la siguiente disposición:

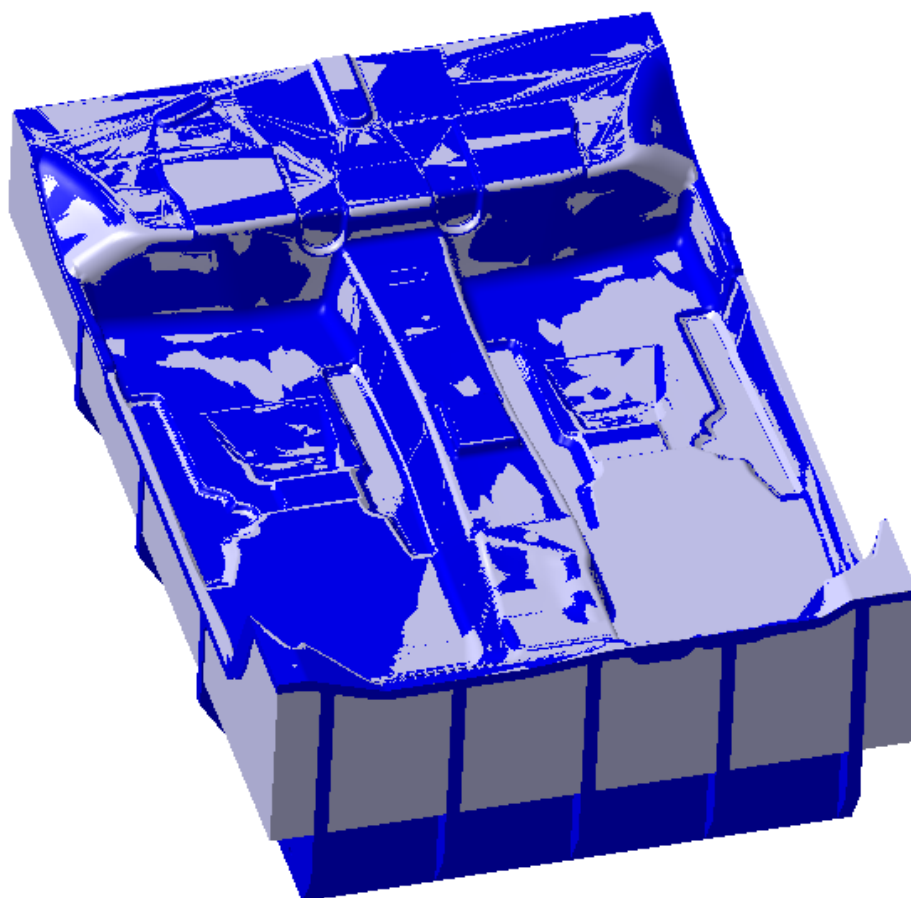




Para alinearlos se utilizaron comandos de las siguientes barras de herramientas.

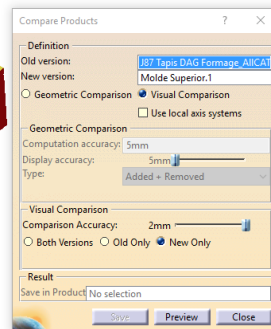
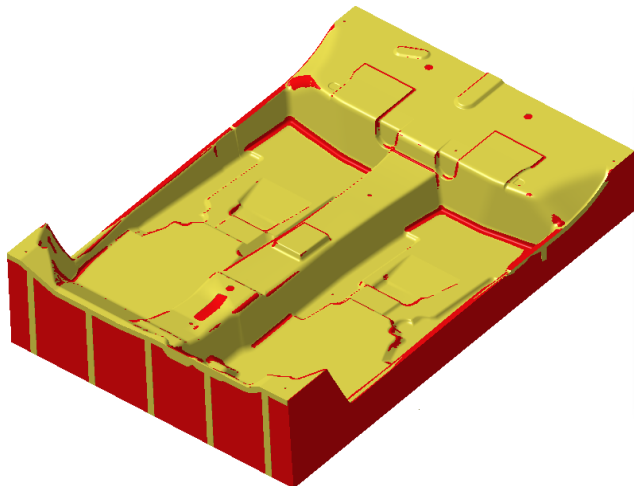
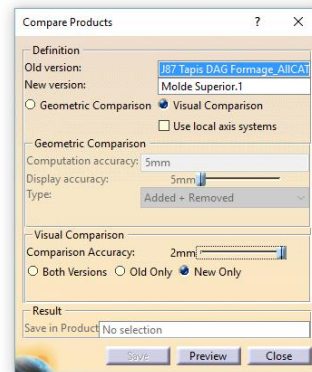
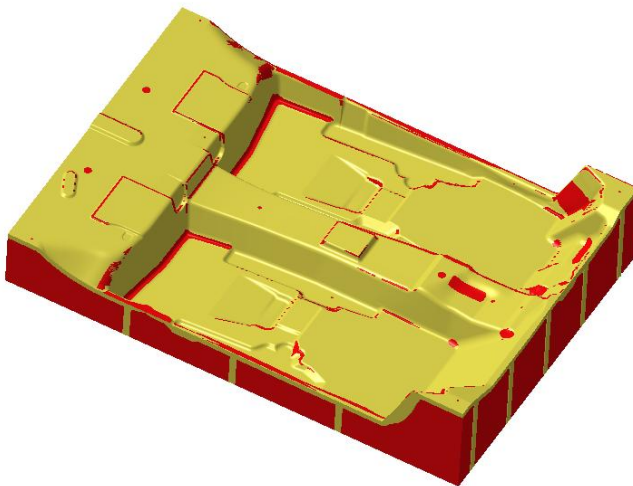
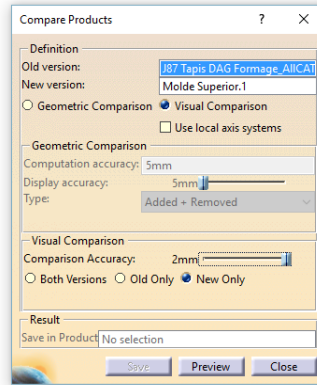
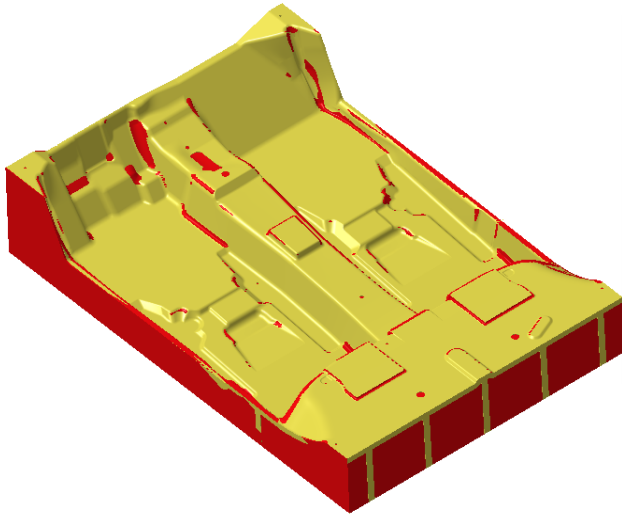


En primer lugar se tomó como fijo el molde teórico, y se alineó el molde reconstruido en función de éste. Primero con el comando "Manipulation" se colocó la pieza reconstruida de forma aproximada, para a continuación, utilizando las herramientas de la barra "Constraints", afinar la alineación, utilizando el contacto entre caras planas.



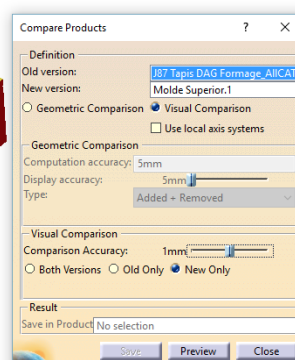
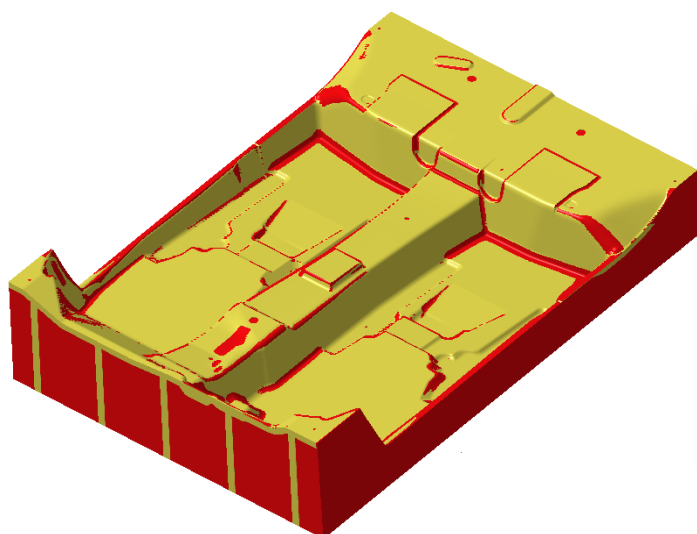
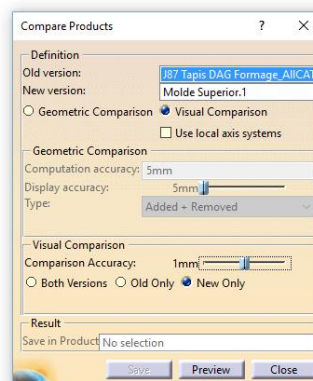
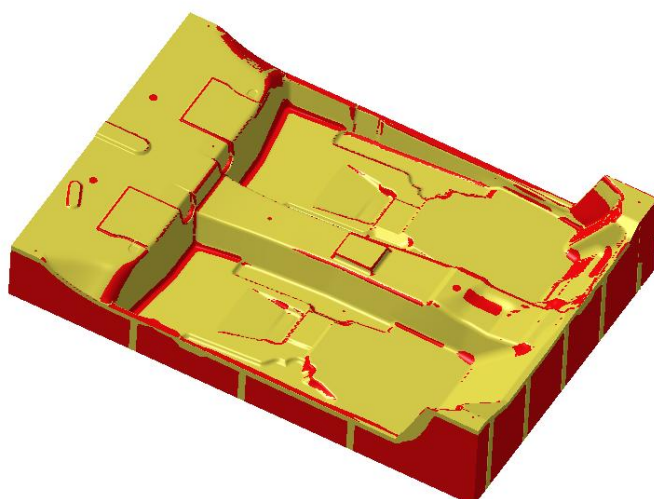
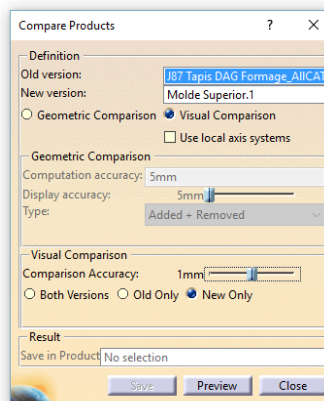
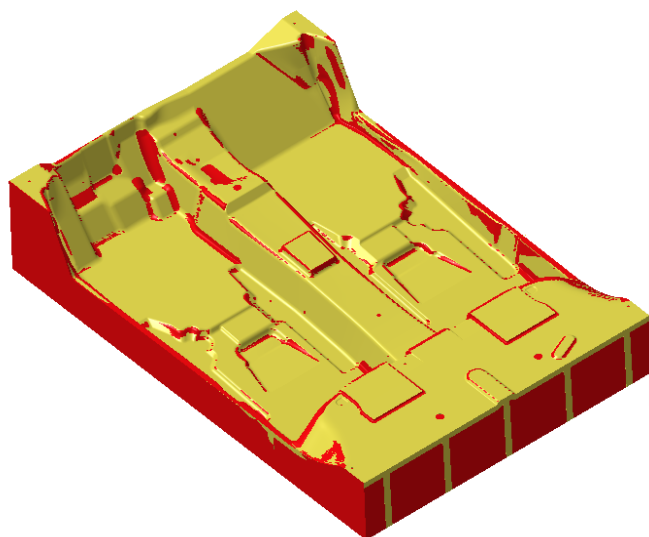
Una vez alineadas las dos partes se realizó el estudio, con el módulo “Space Analysis”. Se realizaron tres comparaciones modificando la tolerancia, como en el caso anterior, utilizando el mismo comando, “Compare Products”.

En el primer análisis se estableció una tolerancia de 2mm. Apareciendo sombreadas en rojo las zonas del molde reconstruido que distaban en más de 2mm del molde teórico.

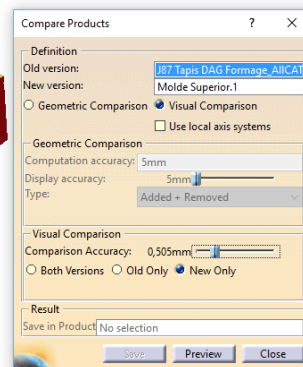
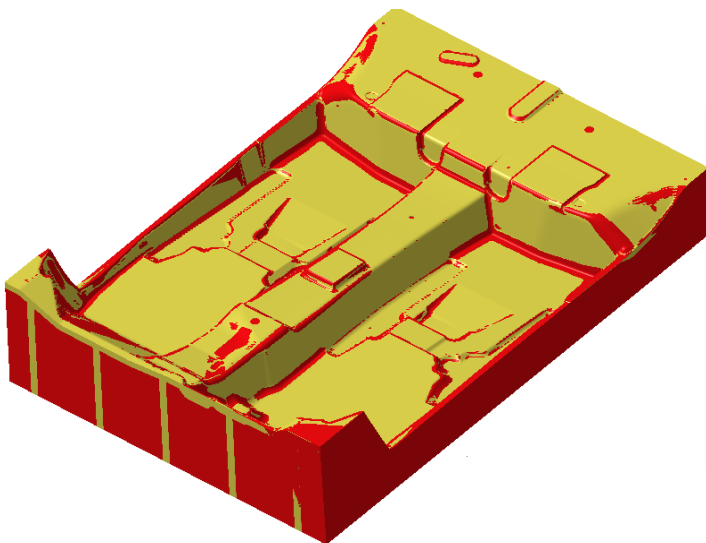
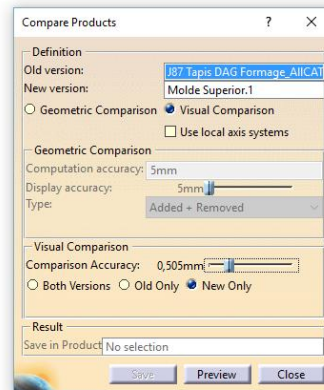
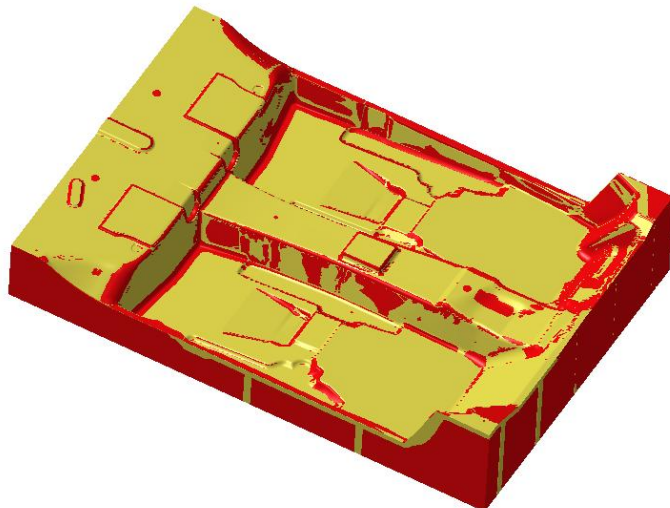
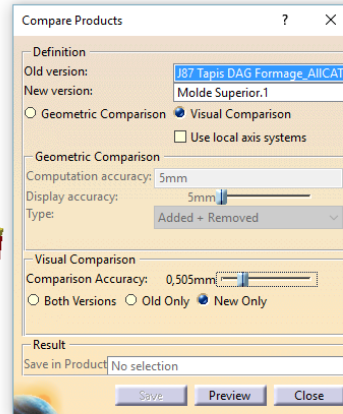
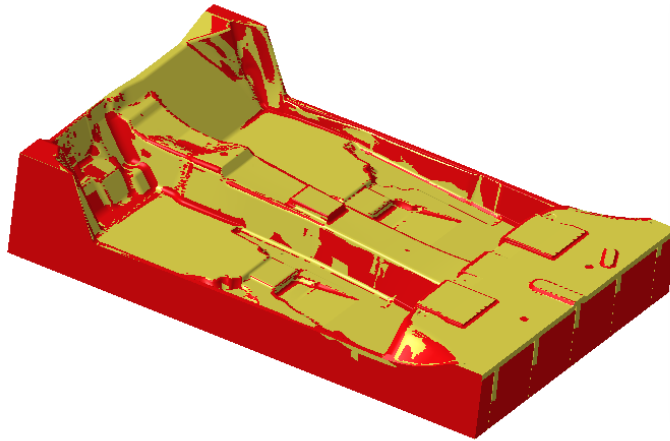




El segundo análisis realizado tenía una tolerancia de 1 mm, por lo tanto las zonas sombreadas en rojo en el molde reconstruido distan más de 1 mm del molde teórico.



Por último se realizó el análisis más exigente, en el que la tolerancia establecida era de 0.5mm.





CONCLUSIONES TRAS EL ANÁLISIS

Para poder obtener conclusiones del análisis hay que tener en cuenta algunos factores.

En primer lugar el molde reconstruido se ha generado tomando como referencia una malla, la cual fue obtenida por medio de un escaneo 3D. El instrumento con el que se realizó el escaneo, un escáner láser con brazo Nikon MCAX, tenía una precisión de centésimas.

Por otra parte hay que tener en cuenta que el molde difiere del 3D teórico debido a que se realizaron modificaciones en el mismo. Para comprobar ésto, se intentó comparar el molde teórico con la malla proveniente del escaneo, pero resulto imposible. Los dos elementos aparecían descolocados en el espacio, su alineación solo era posible de forma aproximada, por los que el resultado no iba a ser lo suficientemente fiable.

Y en último lugar, es necesario tener en cuenta que el molde no fue escaneado en el 100% de su geometría, sino que algunas zonas como las paredes externas o ciertas superficies no fueron recogidas en el escaneo.

Tras realizar el análisis se puede considerar que el modelo del molde reconstruido se aproxima con bastante exactitud al 3D original. Por lo que las modificaciones que se realizaron sobre él no han sobrepasado los 2 mm.

En los análisis con tolerancias de 2 y 1 mm apenas hay zonas señaladas. En análisis en el que se estableció una tolerancia de 0.5mm, sin embargo aparecen más zonas que se encuentran fuera de la tolerancia. Aún así la mayor parte de éstas zonas se concentran en lugares donde no había malla de referencia o en las aristas y redondeos, que como se explicó en la anterior comparación entre el molde reconstruido y la malla, esas zonas se realizaron de forma aproximada y podría ser posible en un futuro realizar mejoras en las mismas.



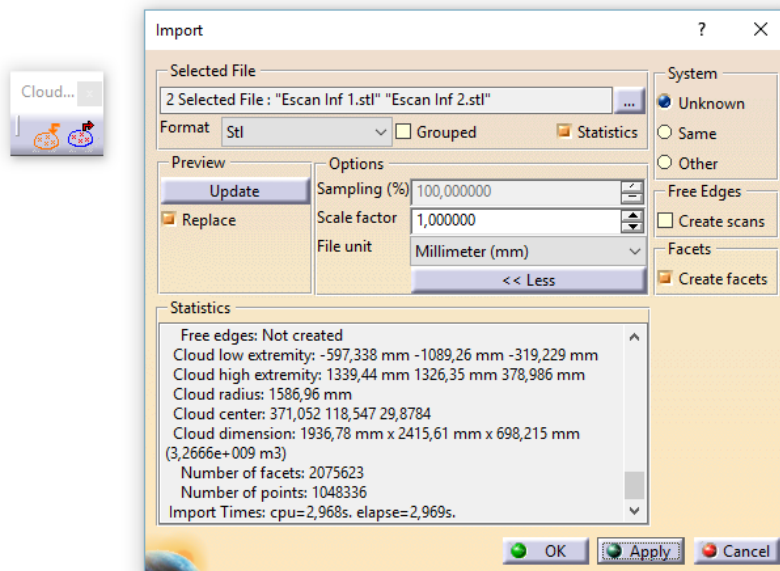
4.5.2. MOLDE INFERIOR

A continuación se procedió a realizar la reconstrucción de la parte inferior del molde. Para ello se utilizó el software Catia V5, al igual que para el molde superior. Se realizaron una secuencia de operaciones similares a las llevadas a cabo en el molde superior. Por ello su explicación será menos detallada que en el caso anteriormente expuesto.

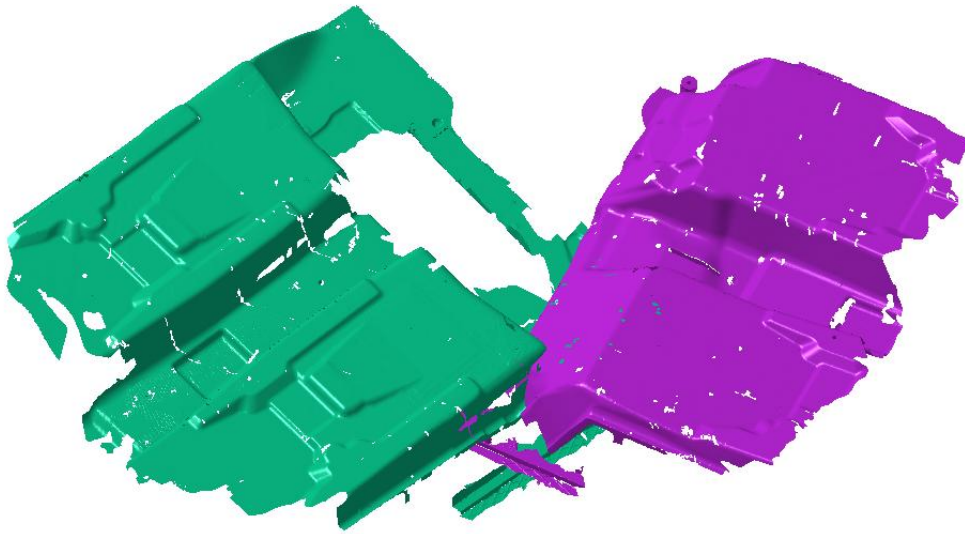
4.5.2.1. IMPORTACIÓN DE LAS MALLAS

El primer paso es la importación de la malla, tarea que se realiza en el módulo Digitized Shape Editor.

El molde superior se compone de dos escaneos. Para proceder a su importación se utiliza el comando "Import":



En las opciones del comando se deja sin marcar la casilla grouped, ya que es necesario que las mallas sean independientes para poder realizar sobre cada una de ellas las diferentes operaciones.



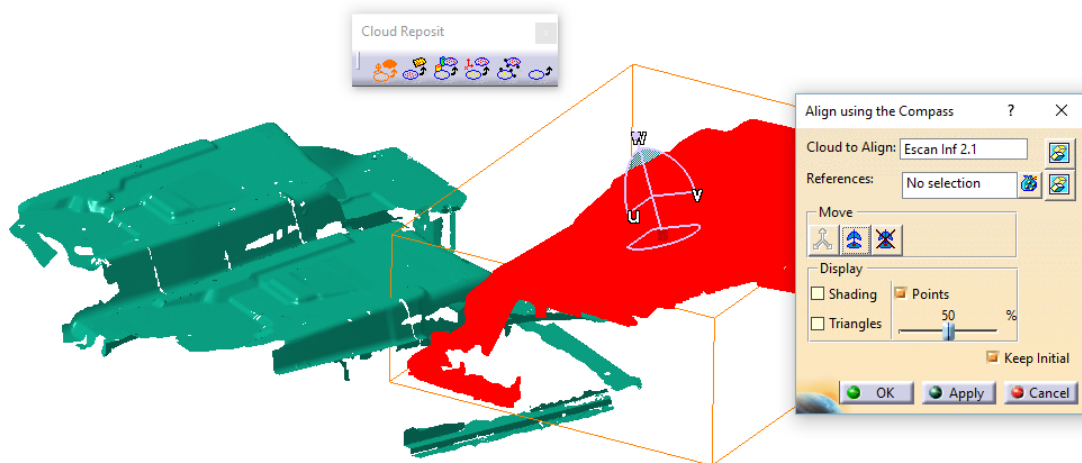
Una vez importadas a Catia, las mallas presentan éste aspecto. Para una mejor diferenciación se ha dotado de color a las mallas, “Escan Inf 1” es la malla verde y “Escan Inf 2” es la malla morada.

Como se puede observar aparecen descolocadas, por lo que el siguiente paso a realizar es la alineación.

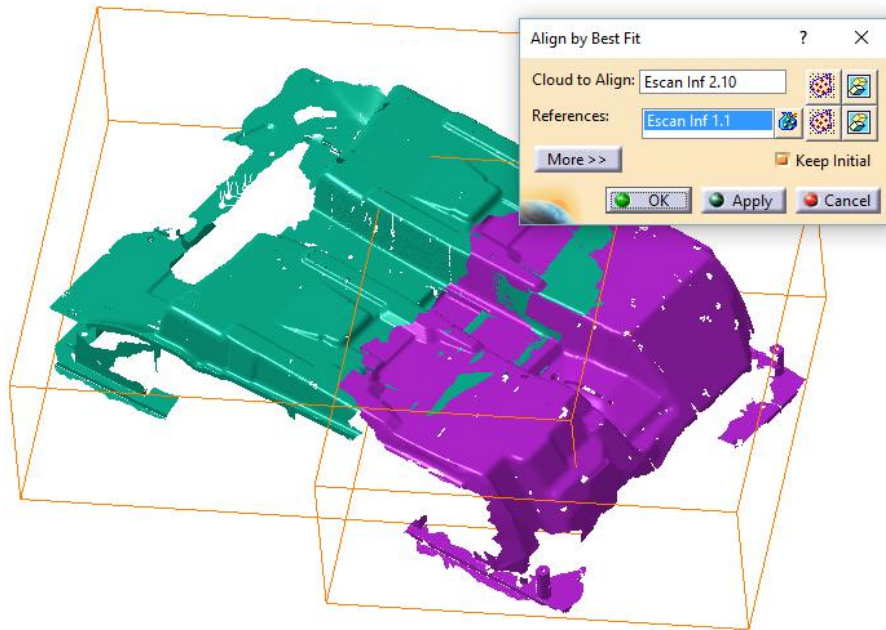
4.5.2.2. ALINEACIÓN DE LAS MALLAS

En primer lugar se posiciona la malla de forma aproximada a través del comando “Align using de Compass”, el cual, gracias al compás permite mover y girar en torno a los ejes X, Y, Z.

Se decidió que la malla “Escan Inf 1” permaneciera fija, y por tanto, mover “Escan inf 2” para colocarla con respecto a ella.

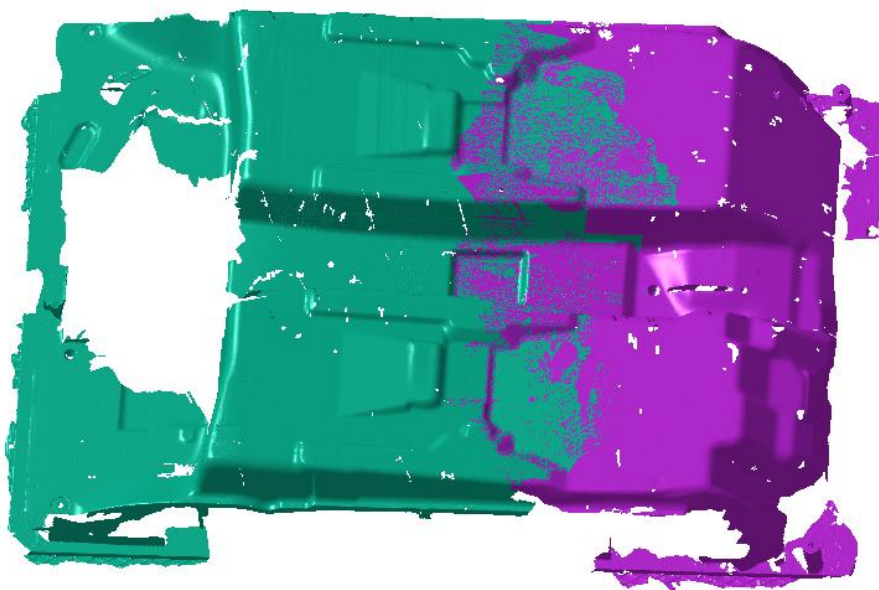


Una vez colocadas las mallas en una posición aproximadamente correcta, se utilizó el comando “Align by Best Fit”, tomando como referencia la malla “Escan Inf 1” y como malla a alinear “Escan Inf 2”.



Tras realizar cuatro operaciones diferentes con el comando, utilizando la opción “Activate” en diferentes áreas en las que las mallas tienen geometría común, se dio por finalizada la alineación.

Las mallas presentaban la siguiente disposición:

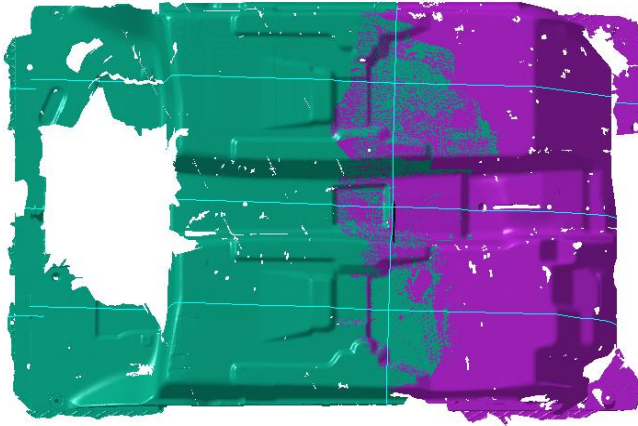




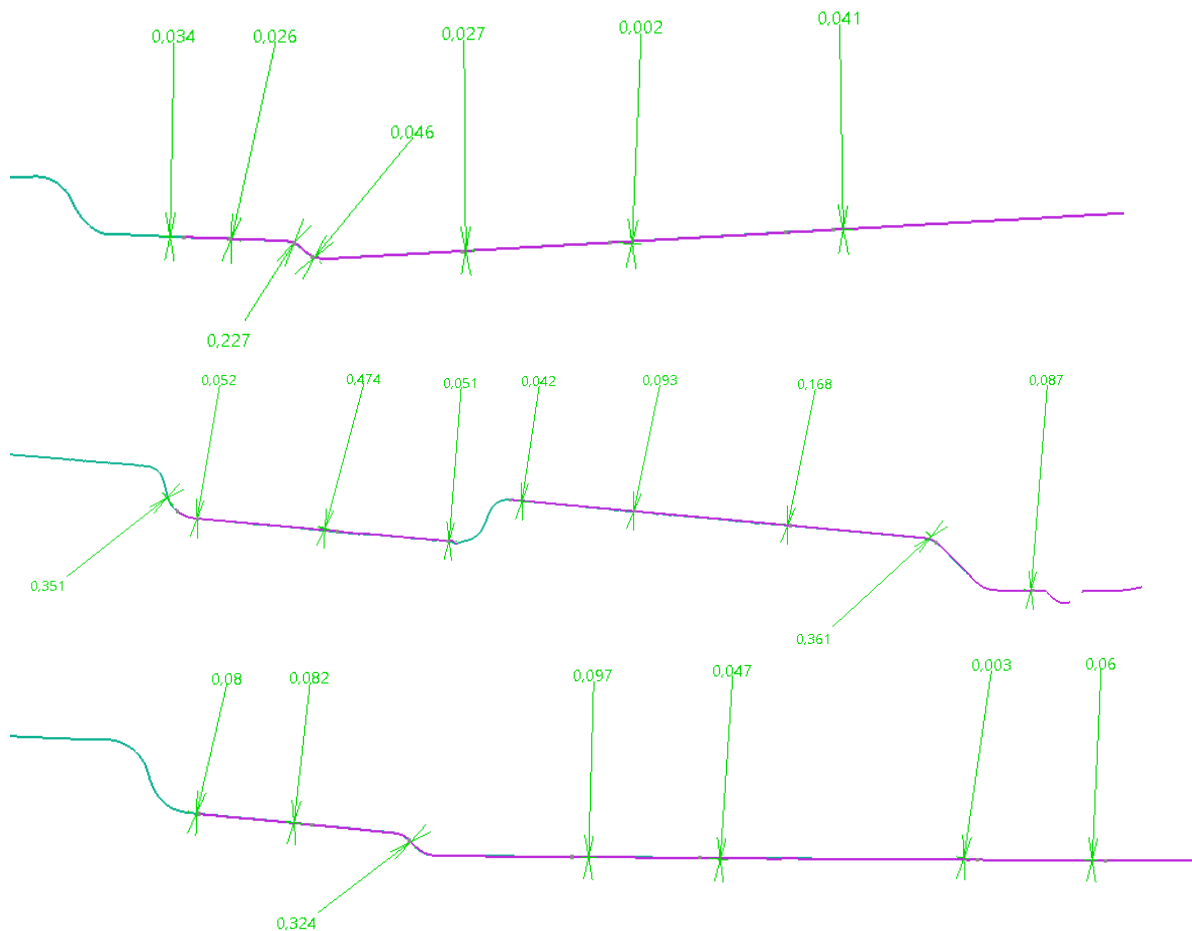
Comprobación Alineación

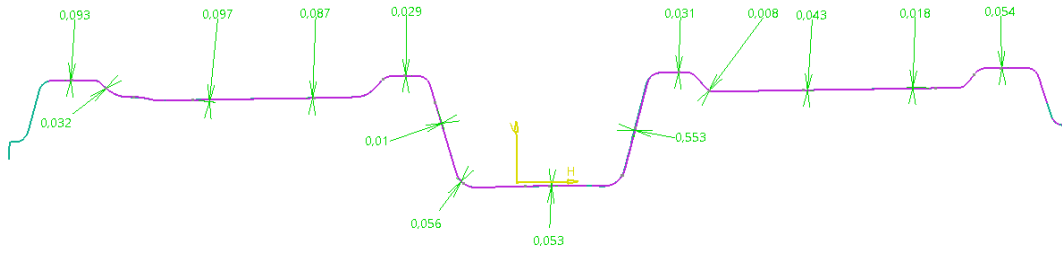
Par poder validar la alineación fue necesario hacer ciertas comprobaciones.

Se realizó la intersección de diferentes planos con las mallas, comparando las curvas intersección de cada plano con las mallas y así poder observar las desviaciones existentes. En la imagen se puede observar cómo están localizadas las cuatro intersecciones que se realizaron:



A continuación están los resultados de la comparación de las curvas.

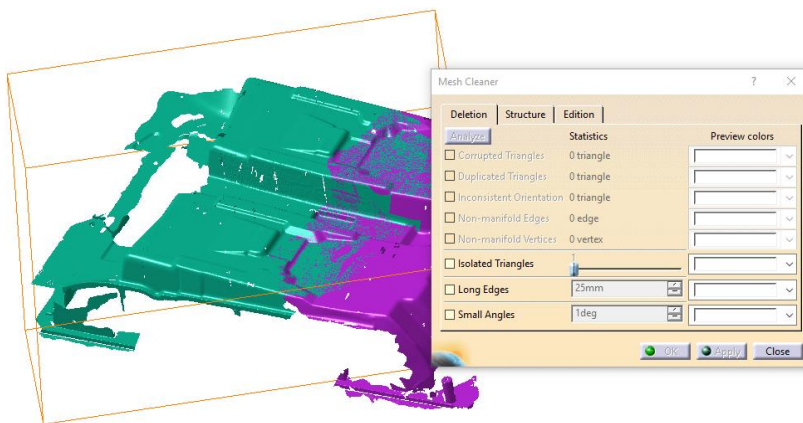




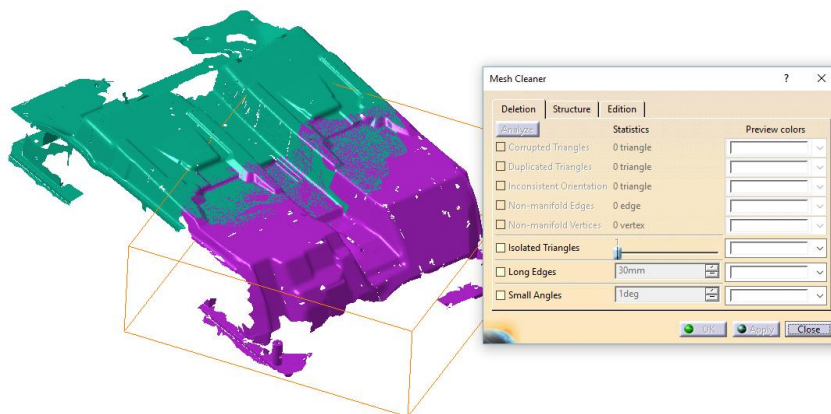
Las desviaciones encontradas son en la mayoría de los casos de centésimas de milímetro, exceptuando zonas puntuales en las que se observan desviaciones de décimas de milímetro. Por lo que la alineación se consideró correcta para seguir trabajando.

4.5.2.3. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LAS MALLAS

Se realizó un análisis de las mallas, para detectar posibles errores que éstas pudieran tener. Dicho análisis se realizó con el comando “Mesh Cleaner”. Primero se analizó la malla “Escan Inf 1”. El análisis fue satisfactorio, puesto que no se detectó ningún error en el mallado.



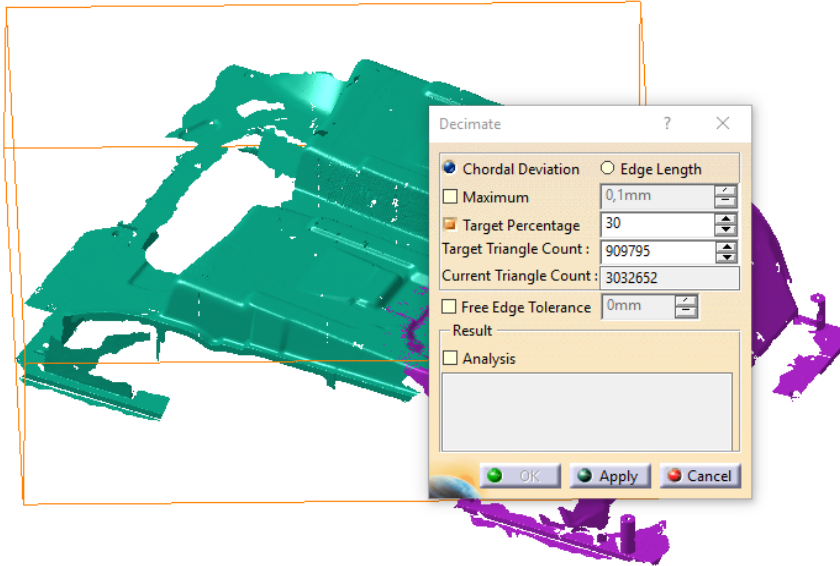
A continuación se realizó el mismo análisis sobre la malla “Escan Inf 2”, cuyos resultados fueron positivos al igual que en el caso anterior.



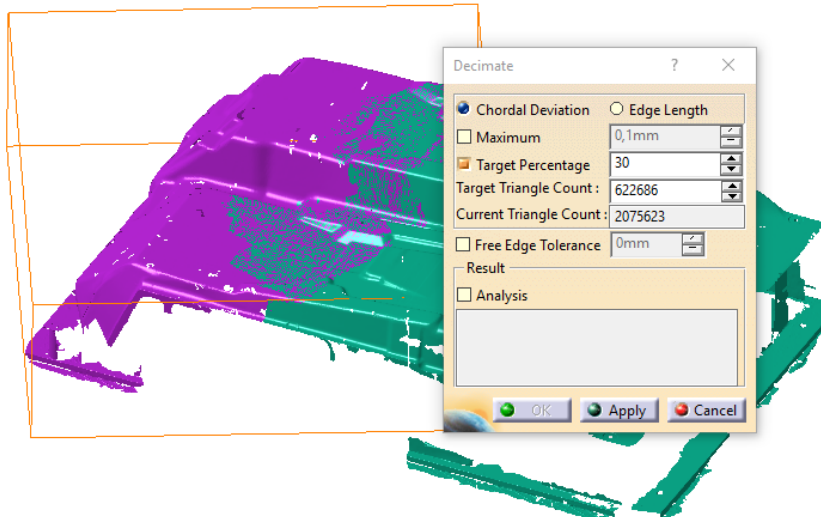


Después de realizar el análisis se procedió a tratar las mallas. Debido a que su composición de triángulos era muy elevada se redujo utilizando el comando “Decimate”.

En ambos casos se aplicó un porcentaje final de triángulos del 30%.



La malla “Escan Inf 1” paso de tener 3032652 triángulos a estar compuesta por 909795.



La malla “Escan Inf 2” se componía de 2075623 triángulos y pasó a tener 622686 triángulos.

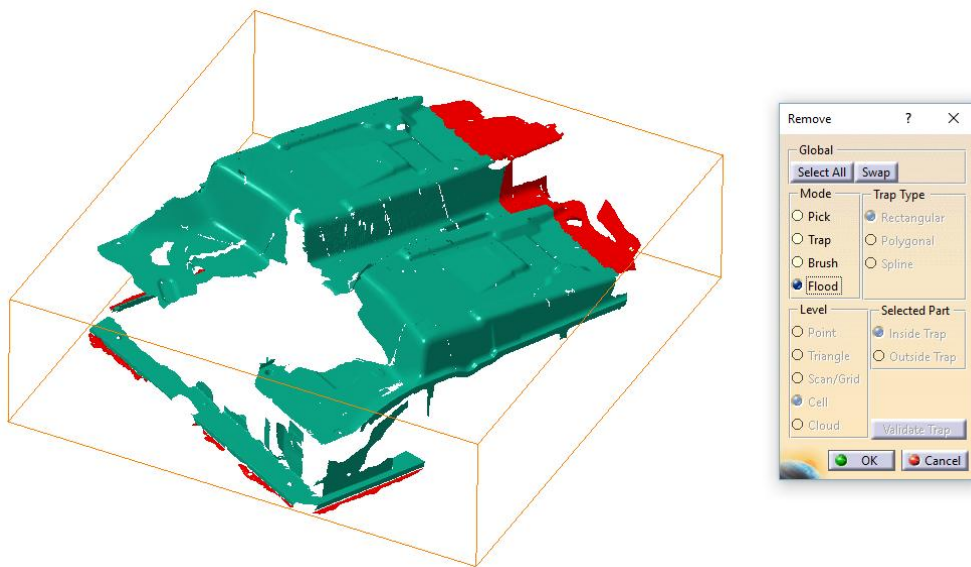
Con ésta reducción de triángulos las mallas son menos densas y se trabajaba de forma más eficiente con ellas.



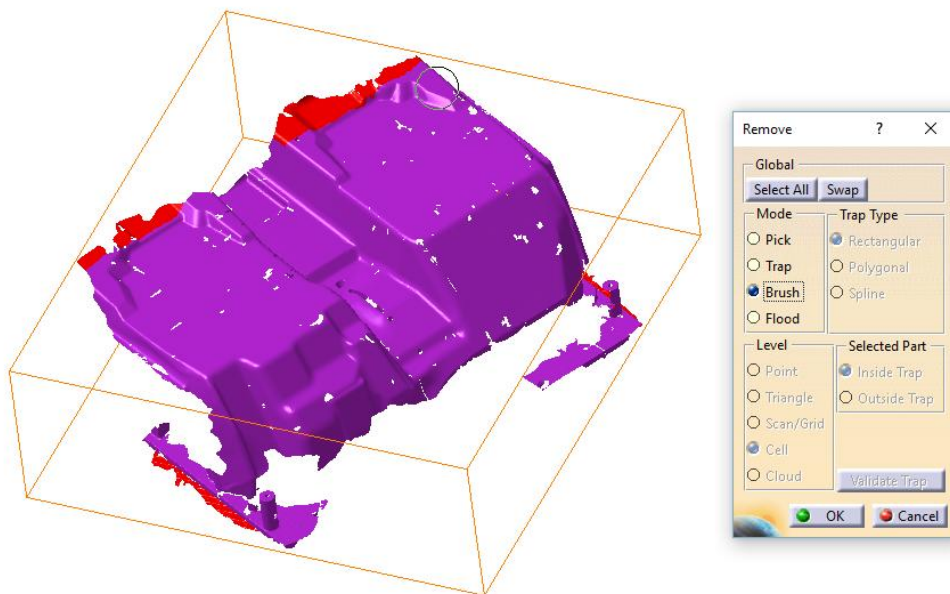
4.5.2.4. ELIMINACIÓN DE ERRORES

Debido a que hay interferencia entre las mallas y hay geometría repetida, se decidieron eliminar algunas zonas. Esta función se llevó a cabo con el comando "Remove".

Se eliminaron las zonas que estando repetidas en ambas mallas tenían una peor calidad y las zonas que se consideraron innecesarias para realizar la reconstrucción, como pueden ser apoyos sobre los que se encontraba el molde.



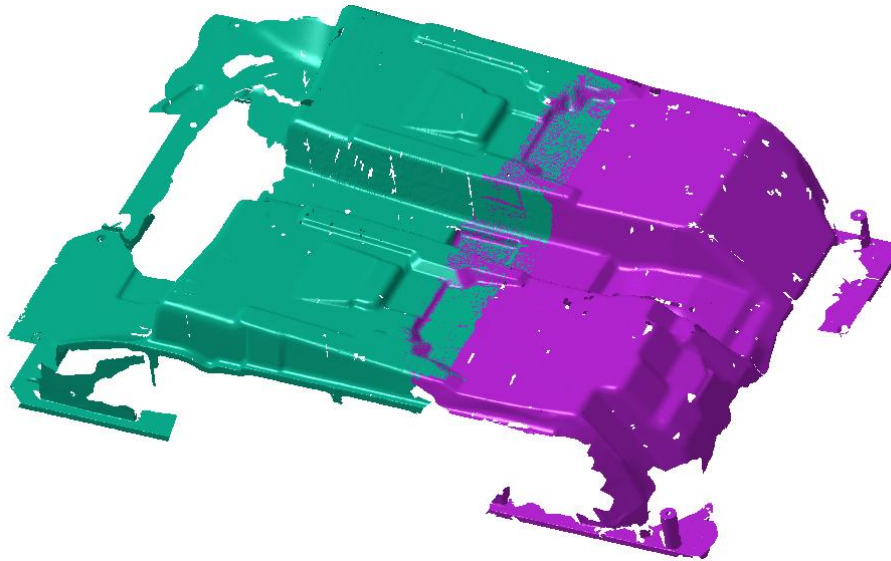
Las zonas sombreadas en color rojo fueron las zonas eliminadas de la malla "Escan Inf 1".





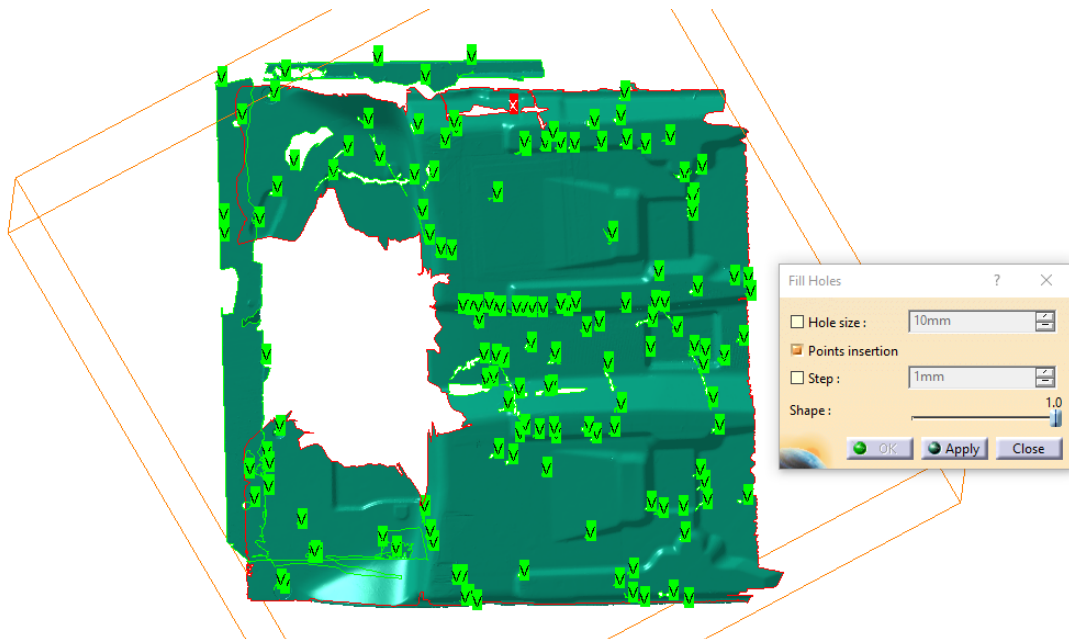
Las zonas eliminadas de la malla "Escan inf 2" son las señaladas en color rojo en la imagen.

Las mallas tienen el siguiente aspecto al haber quitado las zonas comentadas:



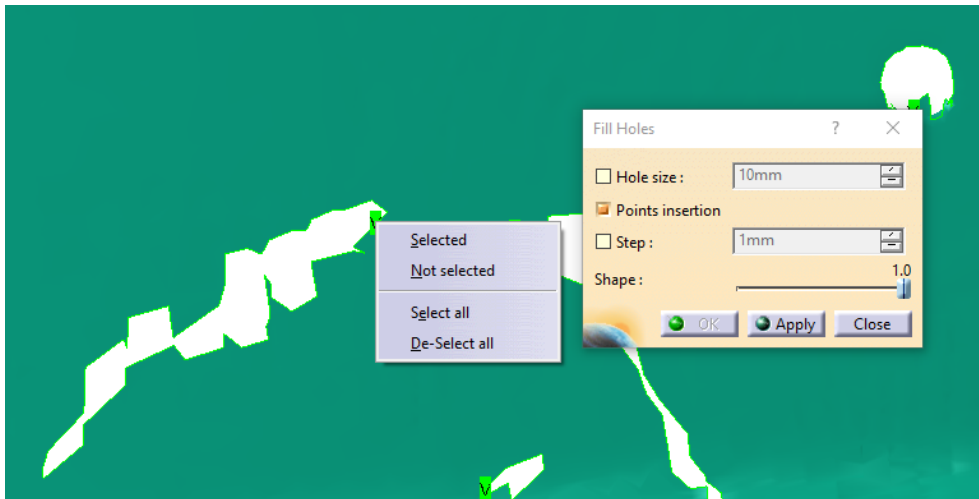
4.5.2.5. RECONSTRUCCIÓN DE ZONAS POCO DEFINIDAS

Como se ha podido observar las mallas presentan diferentes agujeros o zonas sin definir. Algunas de éstas zonas pueden definirse gracias al comando "Fill Holes". Al aplicar el comando a la malla "Escan inf 1" se muestran todos los agujeros presentes en la malla:



Los agujeros presentes en zonas relativamente planas y que no tengan un tamaño excesivamente grande, son los principales candidatos a ser reconstruidos.

Para seleccionar que agujeros reconstruir se utiliza el menú desplegable que aparece al hacer clic derecho sobre un agujero. Los que adquieran borde rojo no se cerrarán, los que presenten borde verde serán reconstruidos.



Para poder realizar la reconstrucción de un agujero éste debe estar cerrado, si presenta bordes libres el comando mostrará un mensaje de error.

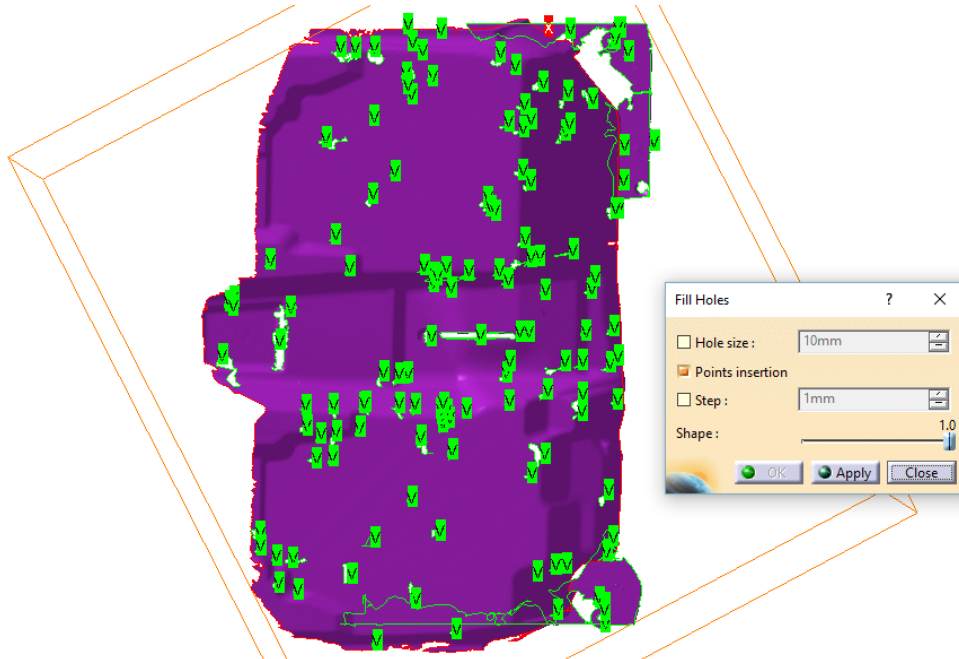
Para solucionar este problema, se utilizan los comandos “Interactive Triangle Creation”, que permite crear triángulos de forma precisa, o “Remove Element”, que sirve para eliminar vértices, aristas o triángulos completos.

Una vez finalizada la reconstrucción de los detalles, la malla “Escan Inf 2” tiene el siguiente aspecto:

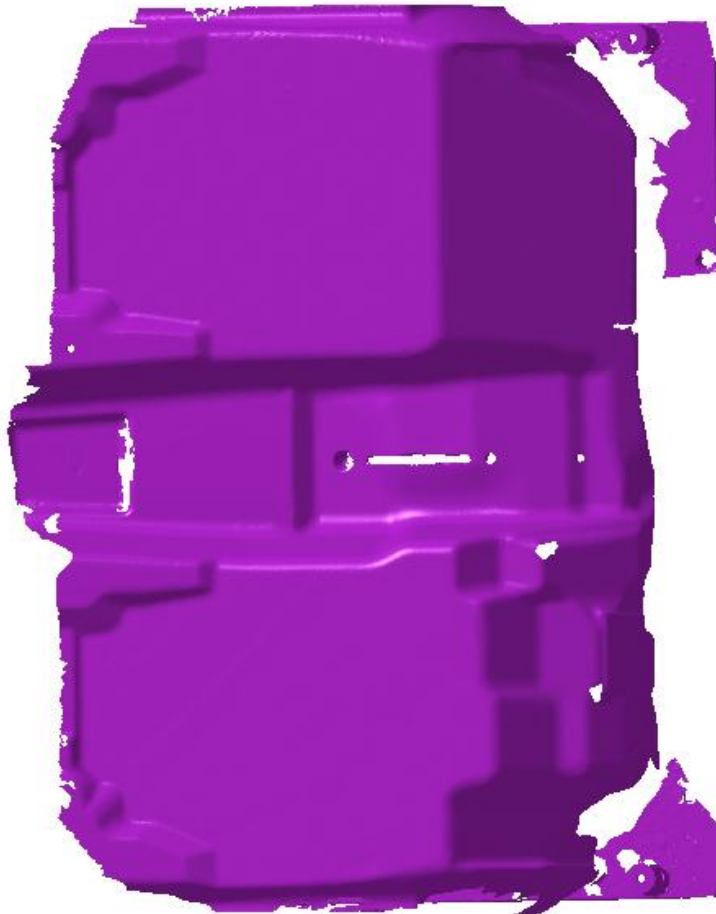




En cuanto a la malla "Escan Inf 2" se siguieron los mismos pasos y criterios. Los agujeros que presentaba inicialmente:



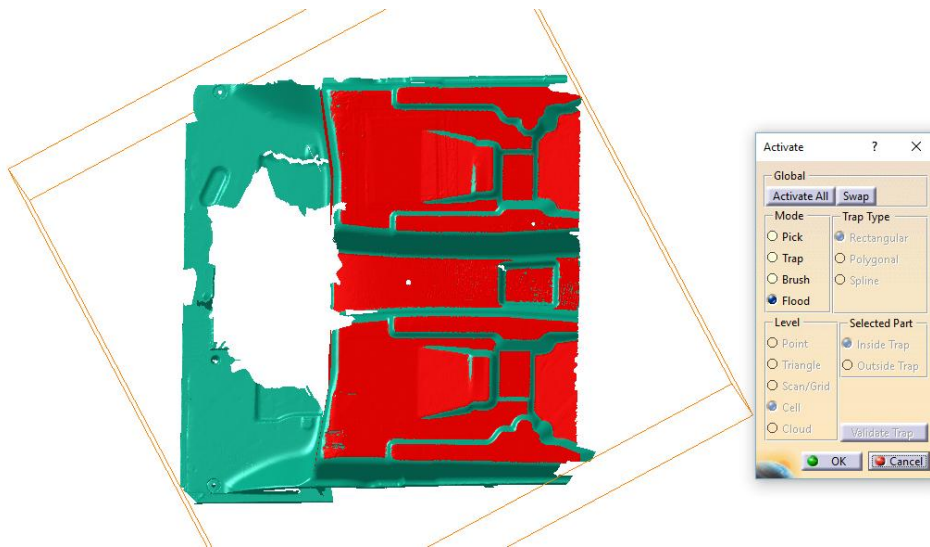
El resultado tras su reconstrucción con "Fill Holes":



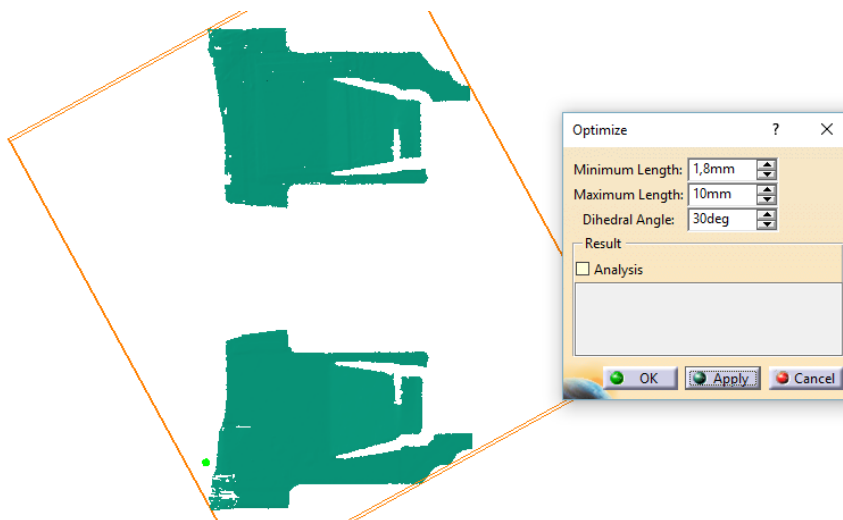
4.5.2.6. SUAVIZADO DEL MALLADO

La malla está formada por triángulos, pero cada uno de ellos tiene una forma y un tamaño totalmente diferentes. Con la herramienta “Optimize” se puede solucionar el problema. Para ello se seleccionan las zonas sobre las que se desea aplicar, teniendo en cuenta que las zonas planas o con reducida curvatura son ideales para ello, así como las de gran curvatura o geometría compleja no son recomendables, ya que éste comando puede modificar la geometría de la malla.

Las zonas que fueron seleccionada en la malla “Escan Inf 1” gracias al comando “Activate”, fueron las marcadas en color rojo.



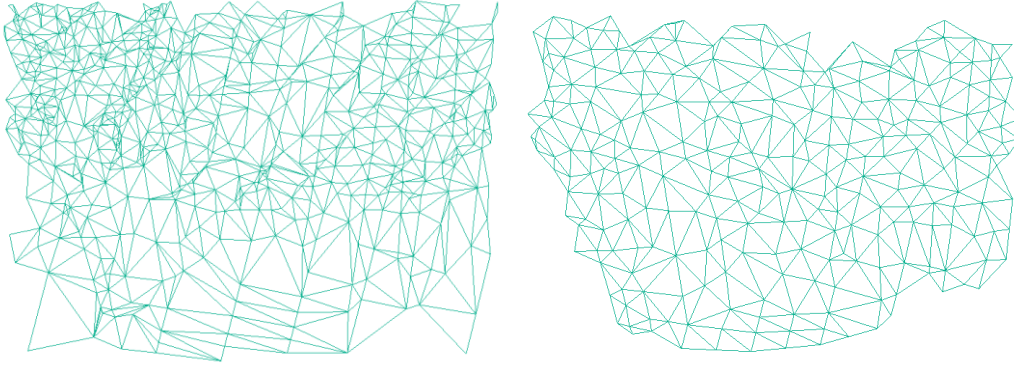
En la imagen siguiente se puede observar una de las zonas sobre la que se aplica el comando “Optimize”. Los triángulos creados serán en mayor o menor medida uniformes dependiendo de los parámetros que se especifiquen, cuanto menor sea la diferencia entre Minimum Length y Maximum Length más uniforme será el tamaño de los triángulos y viceversa.



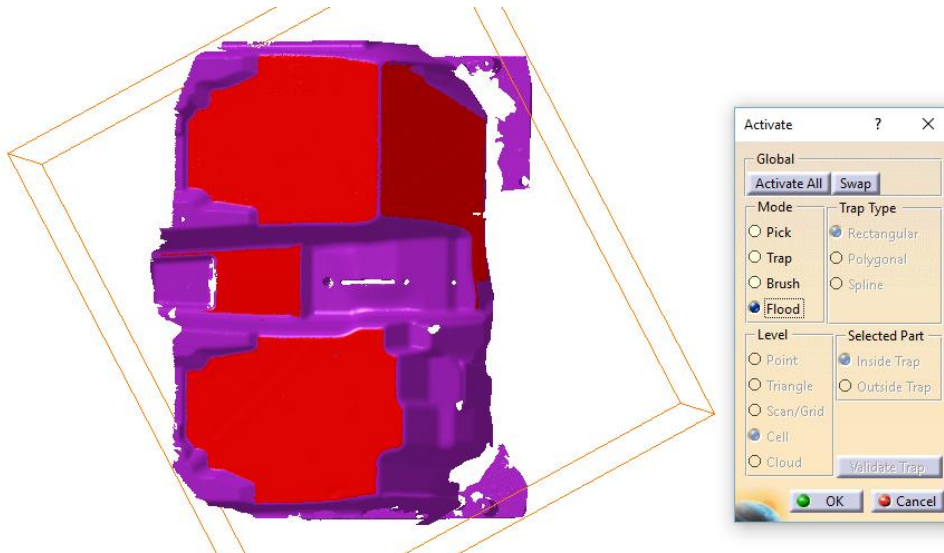


Para poder apreciar realmente la función que realiza el comando es necesario ampliar alguna zona sobre la que se haya aplicado.

En las siguientes imágenes se puede apreciar el antes y después de la utilización del comando en una misma zona.

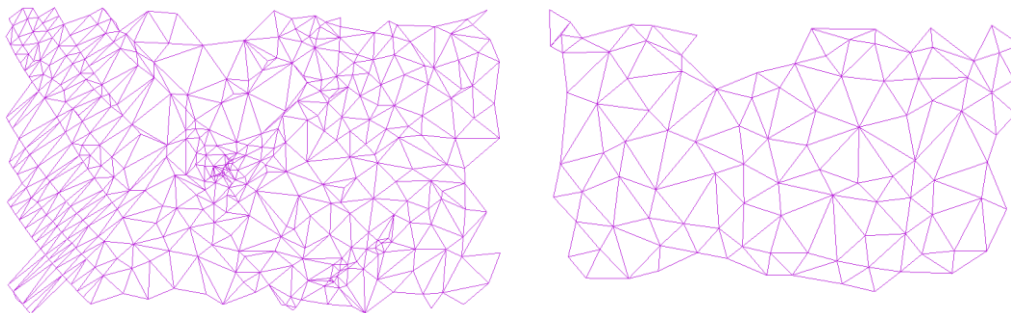


En la segunda malla se realizaron las mismas operaciones. En la imagen se observan coloreadas de rojo las zonas sobre las que se aplicó el comando.



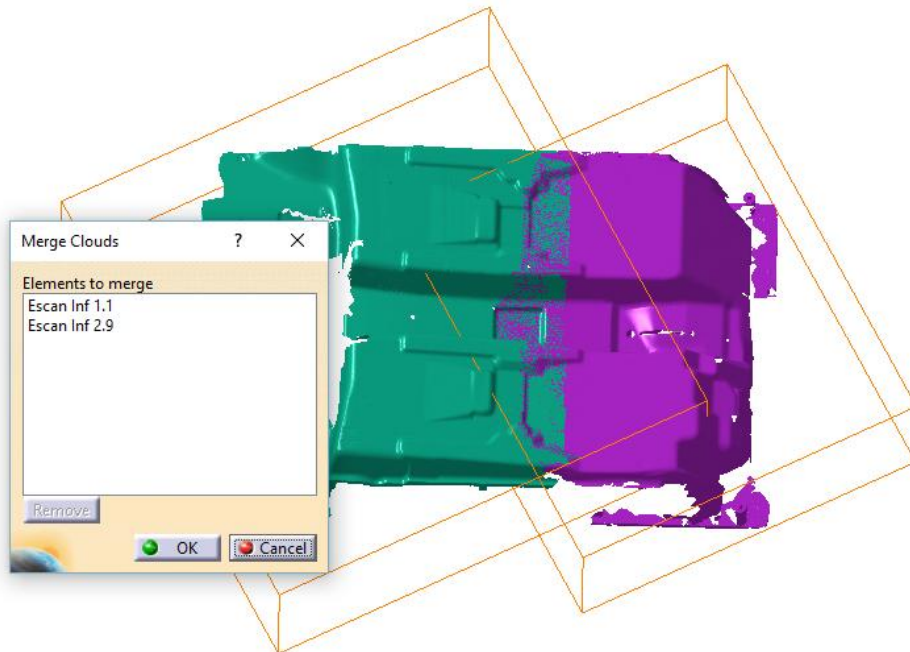
Siguiendo los consejos citados anteriormente se eligieron zonas relativamente planas.

En la siguiente imagen se pueden observar dos imágenes de la misma zona de la malla antes y después de aplicar el comando.



4.5.2.7. UNIÓN DE LAS MALLAS

Una vez finalizado el tratamiento de la malla se procede a su unión. El comando que se encarga de dicha operación es “Merge Clouds”. Es una tarea sencilla en la que simplemente se seleccionan las mallas a unir tras activar el comando.



El resultado es una única malla resultado de unión de las dos iniciales.





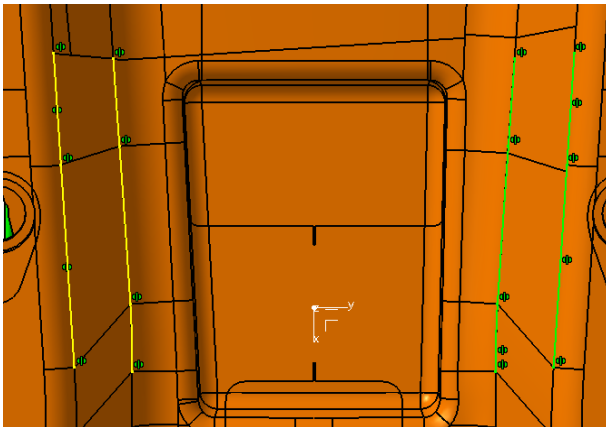
4.5.2.8. CREACIÓN DEL SISTEMA DE EJES

Al igual que ocurrió en la malla del molde superior, en este caso el sistema de ejes aparece descentrado.

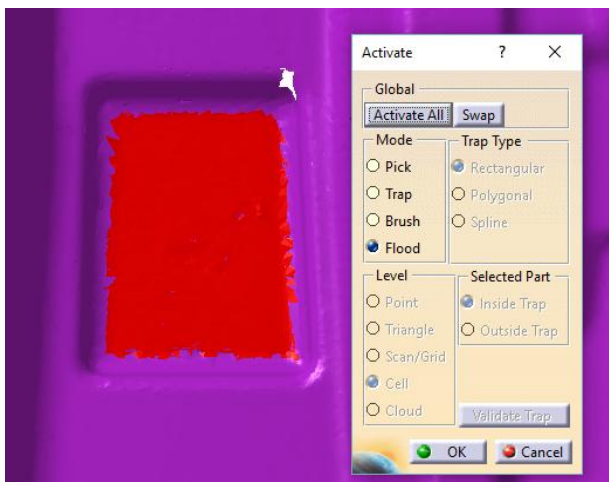


Para crear un sistema de ejes centrado en el plano de simetría es necesario crear referencias.

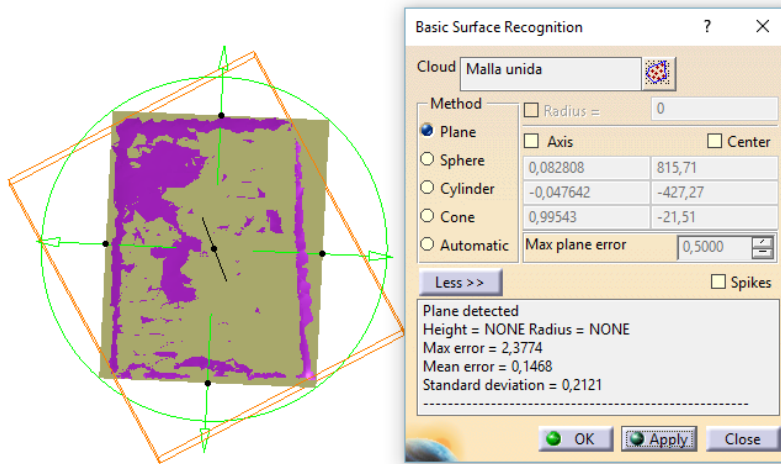
En primer lugar se localizó una zona del molde con geometría simétrica. Las zonas marcadas con líneas se ha comprobado que son simétricas.



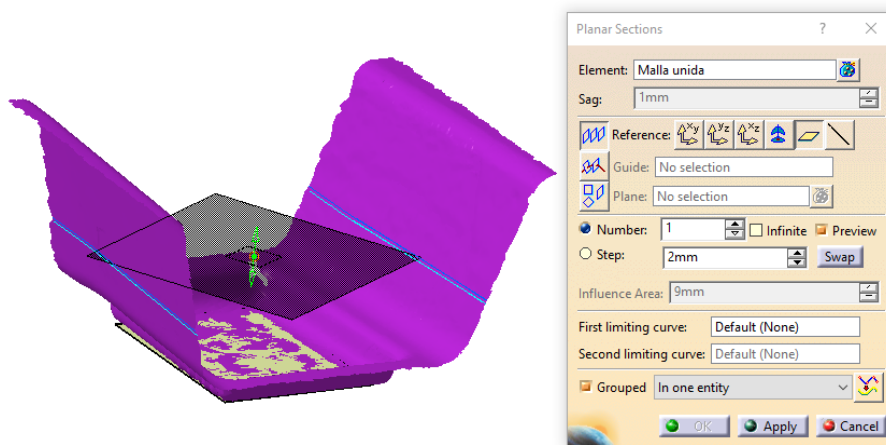
En primer lugar se selecciona con “Activate” una zona que se encuentre en el plano de simetría, entre las dos zonas simétricas localizadas anteriormente.



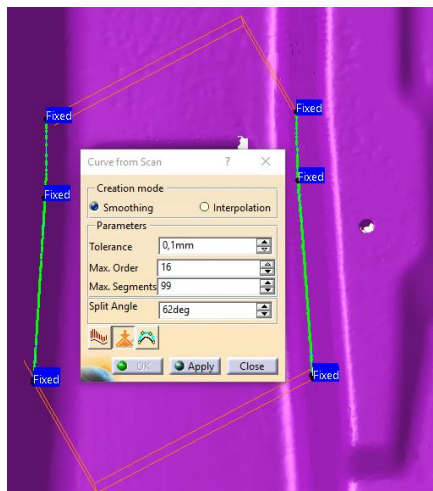
A continuación se utilizó el comando “Basic Surface Recognition” con la opción Plane. De ésta forma se creó un plano en la zona elegida.



La siguiente operación fue generar la intersección entre la malla en la zona que se comprobó que existe simetría y un plano, paralelo al anterior. Para generar dicha intersección se utilizó el comando “Planar Sections”



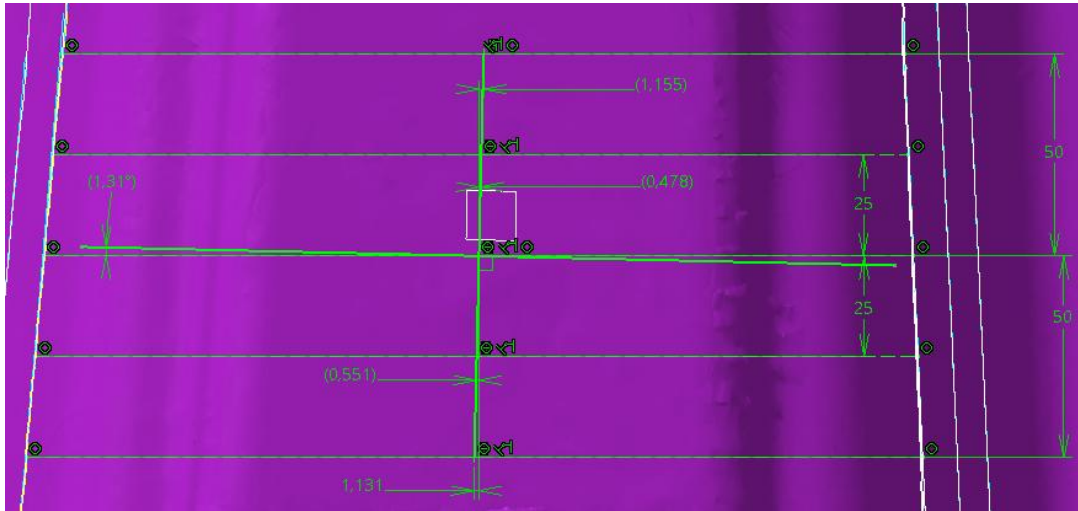
Después la intersección se convirtió a curva con el comando “Curve from scan”.





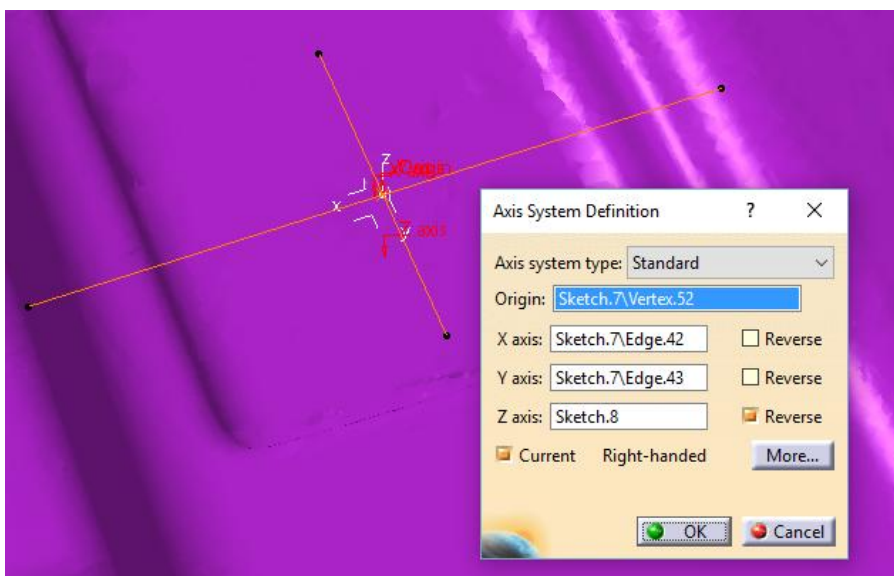
A continuación se creó un croquis con el comando “Positioned Sketch” sobre la superficie plana generada anteriormente.

Se siguió el mismo proceso que en la malla anterior, crear cinco líneas horizontales con extremos en las curvas simétricas, y los puntos medios de cada una de ellas. Después medir las desviaciones de los puntos medios en función del punto medio de la línea inicial.

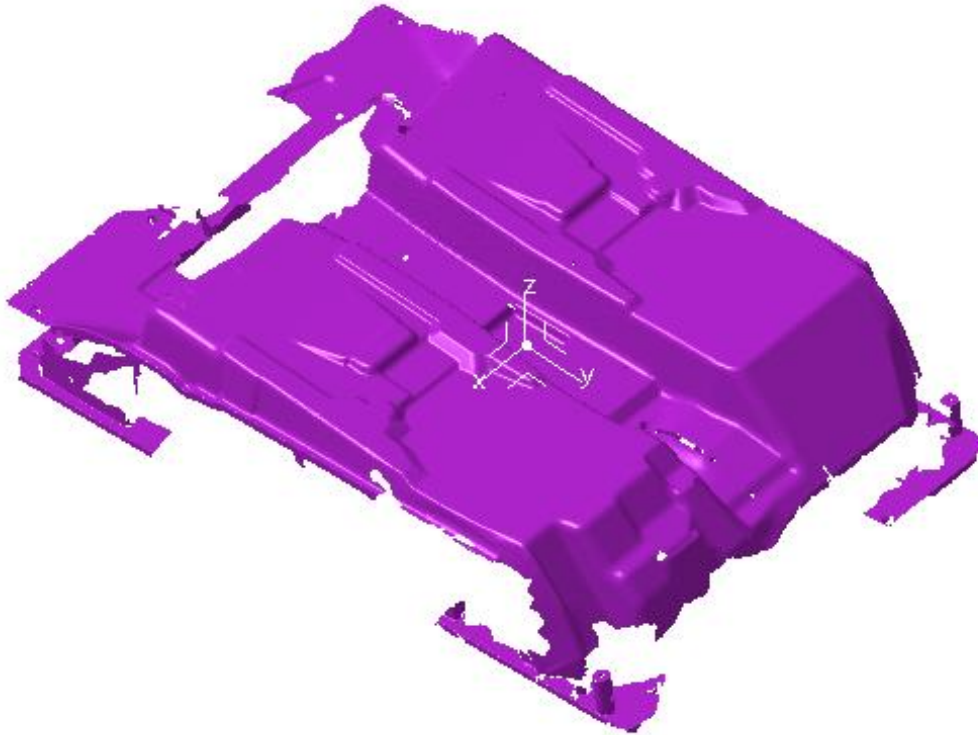


Los resultados muestran lo visto en el molde superior, las desviaciones superiores e inferiores coinciden en valores. Por los que el eje vertical está desviado 1.31°.

Una vez corregida la desviación se creó el nuevo sistema de ejes X e Y corregidos, así como el origen de coordenadas, que se posicionó en el plano de simetría del molde.



La posición del nuevo sistema de ejes respecto de la malla es la siguiente.



4.5.2.9. GENERACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Llegados a éste punto, la malla se encuentra tratada debidamente y con un sistema de ejes en la posición adecuada. Las siguientes operaciones a realizar serían las mismas que las explicadas en el caso de la reconstrucción del molde superior, las cuales no se llevarán a cabo en éste proyecto, puesto que no aportarían información nueva al caso y habría que dedicar para ello mucho tiempo de trabajo. Puesto que la malla del molde superior poseía una mejor definición y menor número de zonas con agujeros, se decidió realizar el proceso completo sobre ésta parte.



5

CONCLUSIONES







5. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el presente proyecto, se puede concluir que se han llevado a cabo los objetivos establecidos en un principio de forma satisfactoria.

Se ha desarrollado un caso práctico siguiendo la metodología de la reconstrucción 3D. En el proceso se ha partido de una malla, proveniente de una digitalización con un escáner 3D, sobre la cual se ha trabajado hasta obtener un modelo CAD 3D editable, según se estableció en los objetivos iniciales.

El análisis realizado para comprobar la exactitud del proceso se ha considerado satisfactorio, puesto que las desviaciones en la mayor parte de la geometría no superan 1 mm.

Cabe destacar también, que hay aspectos del proyecto que se podrían mejorar, sobre todo para tener en cuenta de cara a futuros proyectos de reconstrucción 3D.

En primer lugar para realizar un escaneo 3D de un objeto es imprescindible posicionarlo en el espacio, utilizando RPS o esferas, para garantizar la exactitud a la hora de realizar las alineaciones entre las diferentes mallas que lo componen, o para compararlo con su 3D teórico. En éste caso las mallas con las que se ha realizado la reconstrucción no estaban referenciadas con ningún tipo de RPS o esfera. Aunque éste aspecto es algo que no estaba en mi mano, puesto que yo no realicé el escaneo sino que comencé a trabajar con la malla, pero es un detalle que hay que destacar, puesto que ha complicado y alargado las tareas de alineación.

En segundo lugar tras observar los resultados de la comparación entre el 3D reconstruido y la malla, a pesar de ser satisfactorios, se podría afinar la precisión modificando algunas zonas como por ejemplo algunas aristas redondeadas.







6

BIBLIOGRAFÍA







6. BIBLIOGRAFÍA

Ingeniería Inversa

<http://www.creaform3d.com/es/aplicaciones/productos-para-el-consumidor/ingenieria-inversa-y-diseno-de-nuevos-productos>
(05/04/2016)

<https://www.xing.com/communities/posts/que-es-la-ingenieria-inversa-1003685192>
(05/04/2016)

<https://prezi.com/3c9ipwfwntqet/la-ingenieria-inversa-es-el-proceso-de-descubrir-los-princip/>
(09/04/2016)

<http://es.slideshare.net/stpcingenieriaydiseno/tcnicas-de-ingeniera-inversa-para-diseo-producto>
(05/04/2016)

<http://www.alegsa.com.ar/Dic/ingenieria%20inversa.php>
(05/04/2016)

<https://www.xing.com/communities/posts/que-es-la-ingenieria-inversa-1003685192>
(05/04/2016)

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/5443/1/668412083.pdf>
(20/06/2016)

<https://debitoor.es/glosario/definicion-de-benchmarking>
(20/06/2016)

https://fabcross.jp/news/2016/02/20160203_einscan.html
(20/06/2016)

http://ing-inv.blogspot.com.es/p/ingenieria-inversa_13.html
(09/04/2016)

<https://prezi.com/trgidqdrpatq/ingenieria-inversa-e-ingenieria-concurrente/>
(09/04/2016)

<http://blogingenieria.com/general/ingenieria-inversa/>
(05/04/2016)

<http://www.eoi.es/blogs/pedroismaelvegazo/2011/12/16/aplicacion-de-la-ingenieria-inversa-en-las-organizaciones/>
(05/04/2016)

<http://www.neoteo.com/esto-es-legal-ingenieria-inversa>
(05/04/2016)

http://www.wipo.int/sme/es/ip_business/trade_secrets/patent_trade.htm
(11/04/2016)





Reconstrucción 3D

http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Investiga/GCII/personal/lrodriguez/web3D/reconstruccion_3d.htm

(06/04/2016)

<http://www.asorcad.es/Servicios/Servicios/Escaneado-3D-Modelado-3D-y-Digitalizado-3D-por-AsorCAD.html>

(12/04/2016)

Guía Para un Escaneo Óptimo (HORUS)

Introducción a la Metrología. Capítulo equipos de metrología dimensional. Rafael Muñoz Bueno.

<http://formizable.com/todo-sobre-tecnologias-escaner-3d/>

(19/06/2016)

<http://tecnitop.com/es/tiempo-vuelo/>

(20/06/2016)

<https://prezi.com/t7ocoyrk7n2p/escaneres-3d/>

(20/06/2016)

<http://www.asorcad.es/Blog/Digitalizado-3D/Que-es-el-digitalizado-3D.html>

(12/04/2016)

Especificaciones Escáner

<http://www.sariki.es/productos/info/877/escaner-laser-3d-nikon-mmdx-para-brazo-portable/#&panel1-1>

(20/06/2016)

<http://www.industic.es/prod/brazo-medicion-portable-nikon-metrology-1977>

(20/06/2016)

Caso Práctico

CATIA V5-6R2014 : Surface Design. Autor: Koh Jaecheol

3D Surface Reconstruction. Autores: Francesco Bellocchio, N. Alberto Borghese, Stefano Ferrari, Vincenzo Piuri

<https://www.youtube.com/watch?v=oRElMGa29EU>

(24/04/2016)

Trabajo de Fin de Grado, Reconstrucción de Superficies a partir de Nubes de Puntos con Catia V5. Autor: Daniel Esteban López.

https://www.youtube.com/watch?v=Se2GUfs_TI8

(24/04/2016)



<https://www.youtube.com/watch?v=Fg2EstV4HgU>
(24/04/2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=wM-ndt32vBk>
(10/04/2016)

Anexos. Impresión 3D

<http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>
(19/06/2016)

<http://ultra-lab.net/tienda/impresora-3d-ultimaker-2>
(19/06/2016)







ANEXOS IMPRESIÓN 3D







7. ANEXOS. IMPRESIÓN 3D

Se ha imprimido en 3D un prototipo del modelo reconstruido. Se ha realizado para poder observar físicamente el resultado de la reconstrucción y también poder verificar que a partir del molde reconstruido se pueden fabricar prototipos del mismo. Para realizar la impresión se ha aplicado un escalado de reducción sobre el 3D, en concreto escala 1:165, debido a las elevadas dimensiones que posee el 3D sin escalar. Desde Catia se ha exportado con formato .STL, para poder ser abierto en el programa CURA 3D, el cual se utiliza para establecer los parámetros de impresión y enviar la información a la impresora.

Los principales parámetros a definir son la calidad, el espesor de capas y el panel interior. La impresora utilizada fue un modelo Ultimaker 2.

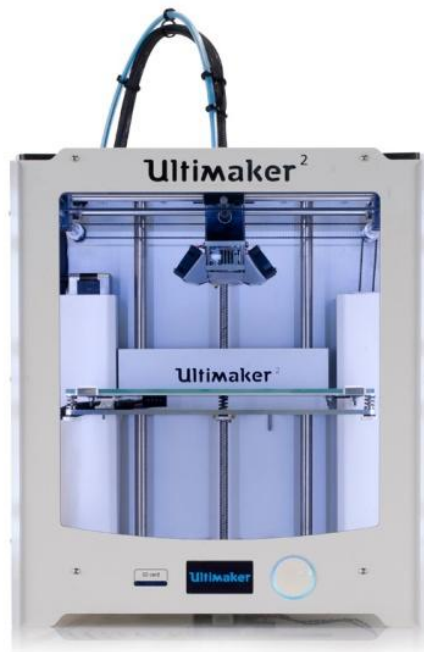


Imagen 11

Para la impresión de prototipo se utilizó como material bobinas de PLA, un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón.

Se emplearon 15.2 metros de hilo y la duración del proceso fue de 15 horas y 40 minutos.



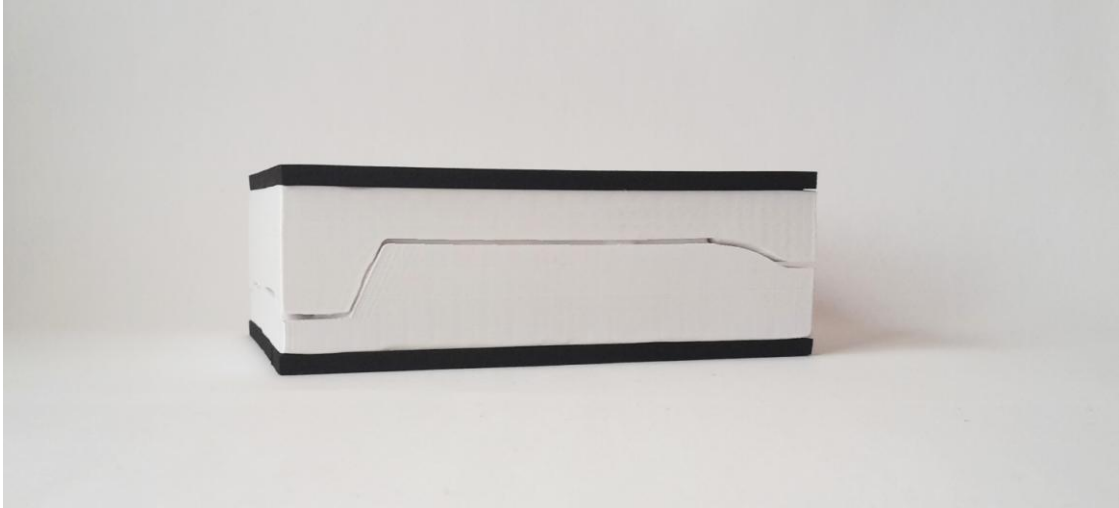


Imagen 12

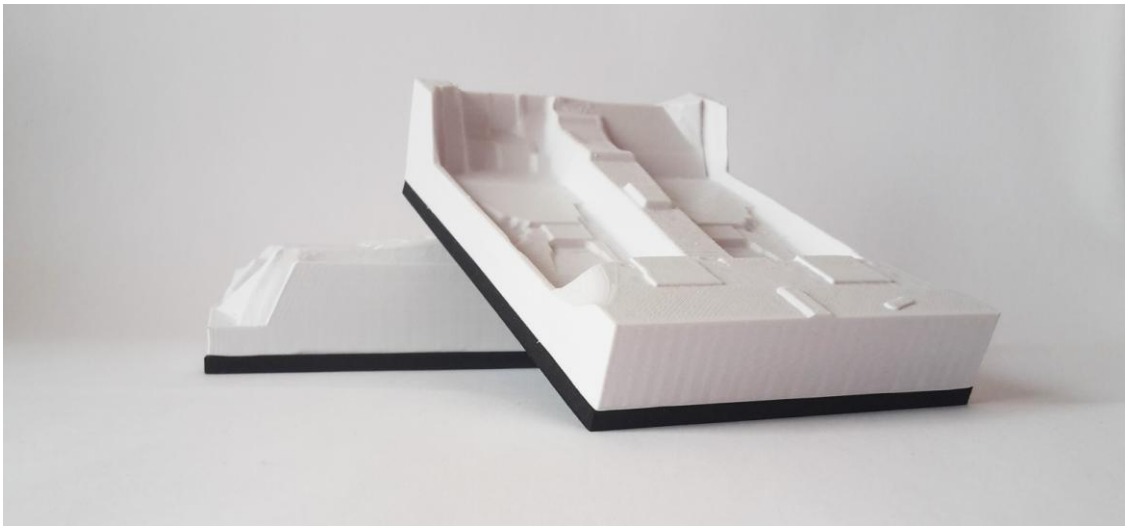


Imagen 13



Imagen 14

