

**E.T.S de ingeniería industrial,  
Informática y de telecomunicación**

**DISEÑO DE PANELES ESTRUCTURALES PARA LA AUTOMOCION  
MEDIANTE LA IMPRESIÓN 3D**



**Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico**

**Trabajo Fin de Grado**

**Iñaki Elizalde Zapater**

**Juan Ignacio Latorre Biel**

**Tudela, 25 de Marzo de 2015**

## INDICE

<b>1. SUMMARY.</b> ....	<b>3</b>
2. AGRADECIMIENTOS. ....	4
3. INTRODUCCION Y JUSTIFICACION DE LA NECESIDAD A RESOLVER. ....	5
5.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA ADITIVA. ....	7
5.2 PROCESO BÁSICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN AM.....	9
5.2.1 MODELO EN 3D:.....	10
5.2.2 CONVERSIÓN DEL DISEÑO 3D EN STL.....	10
5.2.3 TRANSFERENCIA A LA MÁQUINA DE AM.....	11
5.2.5 CONSTRUCCIÓN O FABRICACIÓN .....	12
5.2.6 EXTRACCIÓN DE LA PIEZA, LIMPIEZA Y POST PROCESO.....	12
5.2.7 DIFERENCIA ENTRE SLS Y SLM.....	13
5.3 PARÁMETROS.....	15
5.3.1 LASER.....	16
5.3.2 PARÁMETROS DE PROCESO.....	16
5.3.3 VELOCIDAD DE ESCANEO (SS).....	18
5.3.4 ALTURA DE CAPA DE POLVO (LT).....	18
5.3.5 ESTRATEGIA DE FABRICACIÓN .....	19
5.3.6 DEPOSICIÓN DE MATERIAL.....	20
5.3.7 ORIENTACIÓN EN LA FABRICACIÓN.....	22
6. TECNOLOGÍA Y MATERIALES DISPONIBLES.....	23
7. CHOICE JUSTIFICATION.....	25
8. DEFINITION OF STRUCTURAL SYSTEM OF THE PANEL.....	26
9. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL PROCESO DE DISEÑO.....	31
10. CALCULATION AND STRUCTURAL ANALYSIS USING ANSYS. ....	43
11. ANALISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS. ....	55
11.1 CONCLUSIONES DE LAS SIMULACIONES.....	59
11.2 CONCLUSIONES GENERALES .....	60
11.2 TRABAJOS FUTUROS.....	60
12. REFERENCIAS.....	61
ANEXO PLANOS. ....	62

## **1. RESUMEN.**

El trabajo fin de grado que se presenta a continuación forma parte de una serie de documentos que describen la metodología de diseño, análisis estructural y fabricación mediante la utilización de la tecnología aditiva metálica de las diferentes partes de las que se compone un panel estructural insertado en las puertas de un automóvil. En éste trabajo fin de grado se describen los pasos realizados para el diseño, análisis y fabricación de una puerta completa cuyo comportamiento es más favorable que las actuales y se presentan las conclusiones y resultados obtenidos después de su análisis.

En un primer lugar se estudió la necesidad de incrementar la seguridad en los automóviles debido a los impactos laterales y cómo incrementar la seguridad mediante la utilización de un panel estructural incluido en la estructura de la puerta.

Posteriormente se describen las características principales del proceso de fabricación. En éste apartado se explican los conceptos básicos para la utilización y fabricación mediante la tecnología de sintetizado metálico SLS y SLM.

Para realizar el diseño se partió de un modelo base de una puerta de automóvil, modificando su estructura interna para dar cabida a la colocación de un panel estructural que favorezca la seguridad y que no afectara al funcionamiento normal de la puerta y del vehículo.

Una vez concluida la fase de diseño, se estudió mediante un software de elementos finitos, ANSYS, el comportamiento de una parte del panel estructural ante diferentes cargas y los resultados obtenidos se compararon con los resultados obtenidos al realizar la misma simulación con una parte de una puerta convencional.

## **1. SUMMARY.**

The work presented below is part of a series of documents which describe the design methodology, structural analysis and manufacturing using the metal additive technology of the different parts of a structural panel which comprises inserted into the doors of a car. In this project are described the steps taken for the design, analysis and manufacture of a complete door whose behavior is more favorable than today doors and the conclusions and results after analysis are presented.

In a first step, the need to increase security in automobiles is studied due to side impacts and how to increase security by using a structural panel included in the structure of the door.

Later, the main features of the manufacturing process are described. In this section the basics of using and manufacturing are explained by sintering metal technology SLS and SLM.

To make the design, started from a basic model of a car door, changing its internal structure to accommodate the placement of a structural panel which promotes safe and does not affect the normal operation of the door and the vehicle.

Once the design phase is completed, are studied using a finite elements software, ANSYS, the behavior of a portion of the structural panel at different loads, and the results obtained were compared with the results obtained by performing the same simulation with a part of a conventional door.

## **2. AGRADECIMIENTOS.**

El presente Trabajo fin de grado se ha realizado bajo la supervisión de D. Juan Ignacio Latorre Biel, a quien me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento por haberme ayudado a la realización de este trabajo fin de grado.

Además agradecer su paciencia, tiempo y dedicación.

A mis padres Víctor y Esperanza, por haberme ayudado en todo lo que me he propuesto.

A mi hermano Ricardo, por haber estado siempre a mi lado.

A Silvia, por haberme ayudado en todo momento y no dejar de animarme para lograr esta nueva meta.

A todos los profesores que han compartido conmigo sus conocimientos y de una forma especial a D. Tomas Ballesteros, D, José Ramón Alfaro y D. Ángel Jaraba por su tiempo y dedicación a este trabajo fin de grado.

### 3. INTRODUCCION Y JUSTIFICACION DE LA NECESIDAD A RESOLVER.

El concepto Habitáculo de Seguridad no hace referencia, a diferencia de otros sistemas de seguridad pasiva (cinturón, airbag, ESP, ABS,...), a un dispositivo de seguridad electrónico o mecánico que se pueda instalar o desinstalar en un vehículo, sino que determina un espacio o zona del mismo. Se puede definir como la zona interior de la carrocería o estructura del vehículo donde viajan los ocupantes. En caso de accidente, debe dañarse y deformarse lo menos posible, puesto que de éste dependerá en gran medida la protección de los ocupantes.

Por la importancia que tiene el habitáculo de seguridad, es posible afirmar que se trata del principal sistema de seguridad pasiva que posee un vehículo. Sin embargo, hay que tener en cuenta un aspecto común que comparten todos los sistemas de seguridad pasiva, incluido éste, que es la necesidad de funcionar en conjunto con los otros sistemas para poder ofrecer un nivel de protección adecuado. El habitáculo de seguridad debe ser complementado por los sistemas de retención, puesto que sin ellos la protección para el ocupante se limitaría a evitar ser alcanzado por un objeto exterior, pero no impediría que su cuerpo colisionase con el interior del vehículo.

Existe un aspecto que diferencia al habitáculo de seguridad del resto de sistemas de seguridad del automóvil. En todos los demás sistemas de seguridad, tanto activa como pasiva, el conductor o usuario puede comprobar y experimentar como funcionan estos sistemas en cualquier momento, sin que el vehículo experimente ningún tipo de perjuicio ni deterioro. Sin embargo, la comprobación de la seguridad ofrecida por el habitáculo de seguridad sólo puede realizarse durante una colisión violenta. La eficacia, a grandes rasgos, se verá reflejada si el vehículo queda destrozado pero mantiene intacta la zona destinada a los ocupantes.

Los altos índices de siniestralidad en nuestras carreteras han hecho despertar la conciencia de los fabricantes de automóviles que no cesan de incorporar nuevas tecnologías con el fin de hacer más confortable el vehículo, al mismo tiempo que intentan aumentar la seguridad en caso de colisión. Todo ello con el fin de garantizar, en la medida de lo posible, la máxima protección no sólo de los ocupantes del propio vehículo, sino también de que los ocupantes de otros vehículos o los posibles peatones implicados en la colisión sufran las mínimas consecuencias

Tal y como se conoce hoy en día un automóvil, no sería posible sin la existencia de la informática aplicada en la industria. En todo el proceso, la informática es imprescindible. En la actualidad, los programas de CAD (Computer Aided Design) son utilizados como herramienta de apoyo para los ingenieros de la industria del automóvil ya que facilitan su tarea en todas las facetas del diseño.

Desde hace algunos años se trabaja en la industria automovilística, y en otras, en el diseño alternativo de la fabricación de los distintos componentes que conforman un automóvil, con el fin de mejorar los procesos productivos se está innovando constantemente en la búsqueda de nuevas tecnologías que se puedan aplicar, una de estas nuevas tecnologías es la impresión metálica 3D, ya que esta tecnología permite desarrollar piezas que hasta hoy no se pueden realizar utilizando los métodos de fabricación actuales.

La idea de realizar este trabajo fin de grado surgió después de haber asistido a charlas y jornadas de diseño sobre biomecánica realizadas en la universidad pública de navarra, concretamente en el campus de Tudela, donde se explicaba y contextualizaba como realizar diseños basándose en

los diseños existentes en la naturaleza. Esta idea se incremento con la realización de una beca de colaboración, que trataba de realizar prototipos desde el punto de vista de la ingeniera inversa.

La beca consistió, en realizar prototipos de una pelvis humana, a través del conocimiento adquirido, surgió la idea de realizar un panel estructural metálico siguiendo la morfología y estructura de los huesos, ya que son estructuras muy resistentes con un peso mínimo.

El trabajo fin de grado que se presenta tiene un objetivo final claro, la obtención del diseño de un panel metálico estructural válido para la fabricación de puertas para la automoción mediante la tecnología de impresión 3D, así como el estudio de su respuesta ante distintas cargas y/o pruebas a las que será sometido.

#### **4. CONTEXTO TECNOLOGICO.**

Las tecnologías por adición de capas, comúnmente llamadas impresoras 3D, se han introducido en el mercado para satisfacer la demanda de piezas personalizadas con una alta complejidad geométrica y de pequeñas series, es decir, productos con un alto valor añadido y que las actuales tecnologías, debido a su proceso de fabricación, tienen un alto coste o un tiempo de ciclo de producción muy largo.

La fabricación mediante la aportación de capas permite trasladar un diseño en 3D a un modelo físico de forma rápida y a través de un proceso relativamente simple. Primeramente, el diseño en 3D es dividido en distintas secciones 2D, paralelas entre ellas y con una altura de capa finita, después, esta información es enviada a la máquina, la cual, a partir de la superposición y unión de éstas secciones, finalmente se obtiene la pieza.

Desde mediados de los 80 s, cuando apareció la primera máquina de adición de capas, se han desarrollado multitudes de avances que han permitido expandir la aplicación de las tecnologías y utilizar las piezas obtenidas para prototipos e incluso para piezas totalmente funcionales.

Además, el proceso por adición de capas simplifica el proceso de producción para obtener piezas complejas ya que la fabricación se realiza directamente desde un modelo en 3D sin la necesidad de herramientas. Asimismo, en el proceso de sinterización o fundición selectiva es necesario estudiar cómo realizar las líneas, la superposición de líneas y finalmente la superposición de capas para obtener el objeto físico final. Consecuentemente, surge la necesidad de estudiar este proceso de producción ya que existe multitud de parámetros que tienen influencia y hace imperioso establecer, en cada uno de ellos, los valores adecuados para obtener el modelo.

Por este motivo, el objetivo general de este trabajo fin de grado se plantea contribuir en el aumento del conocimiento en la sinterización y la fundición selectiva por láser de piezas metálicas para la fabricación de componentes estructurales como el que se pretende realizar en el trabajo fin de grado.

## 5. TECNOLOGIA ADITIVA DE SINTERIZADO METALICO

El presente capítulo describe el estado del arte de la tecnología SLS y SLM, estableciendo las principales diferencias que existen entre los dos productos para obtener una correcta fabricación de los parámetros que se exponen se deben tener en cuenta los parámetros que se exponen y las interacciones que existen entre ellos.

### 5.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA ADITIVA.

La fabricación con la tecnología aditiva, comúnmente llamada AM, se caracteriza por la fabricación de piezas a partir de un modelo físico en 3D y mediante la acumulación y unión de capas de material se obtiene la pieza. Existen numerosas formas de clasificar las diferentes tecnologías que se dan en la fabricación aditiva, descartando así las tecnologías substractivas y de deformación.

Para hacer una clasificación de los distintos procesos se usa comúnmente el estado de la materia prima, liquido, polvo o solido, y el tipo de unión física que existe entre el material, así se pueden clasificar los distintos procesos de aportación del material. Según la norma ASTM F2792 ha propuesto como definición el sistema aditivo, el proceso mediante la aplicación de energía térmica funde de forma selectiva el polvo metálico encima de una plataforma.

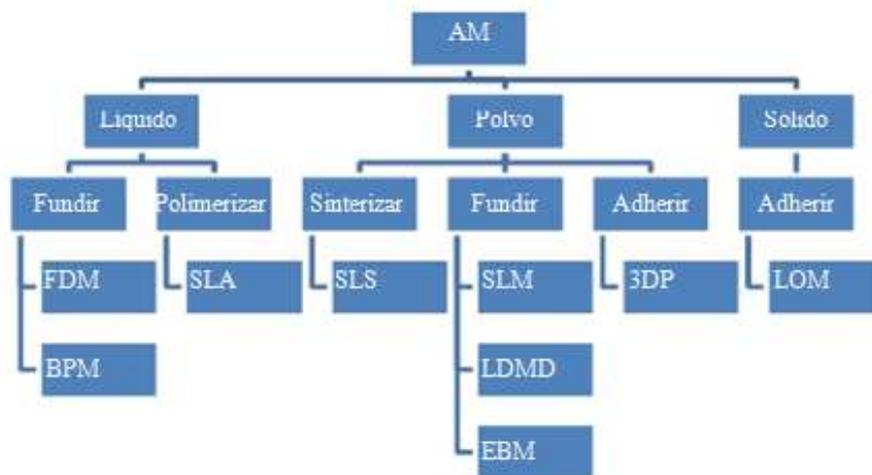


Figura 1 clasificación de las tecnologías de AM

Los distintos procesos permiten obtener ciertas piezas o prototipos con un bajo coste y unos grandes márgenes de beneficio, ya que podrían ser extremadamente caros si se produjeran con las tecnologías actuales. Además la tecnología de aditiva permite realizar cambios de una forma más fácil y rápida que las tecnologías actuales.

Los principales procesos de fabricación aditiva surgieron a mediados de los años 90, por lo que se puede considerar que esta tecnología es relativamente nueva. Durante este poco tiempo de vida, se ha producido un incremento en las ventas y se ha empezado a confiar en los sistemas

de AM como procesos de fabricación (Chua, C y Fua L, 1997). Este acercamiento a las tecnologías AM se puede deber al cambio de mentalidad de la sociedad que ha permitido una nueva revolución industrial con una nueva metodología de fabricación y un gran cambio en el diseño.

Dentro de las tecnologías AM podemos encontrar máquinas comerciales, entre ellas la DMLS o la EBM, bastante complejas, con gran resolución per o con un coste que puede superar los 800.000€. Este factor económico ha hecho aumentar el desarrollo y comercialización de impresoras 3D personales como son la Fabathome o la RepRap, con coste que ronda los 1.000€. Otro de los factores que han permitido el incremento del mercado de estas impresoras personales ha sido su flexibilidad y el hecho de no requerir personal con conocimientos muy específicos para la utilización de las máquinas, permitiendo que cualquier persona pueda diseñar y fabricar sus propias piezas. Una de las grandes ventajas de estas impresoras personales son las piezas estándar que las componen, reduciendo los costes asociados a posibles reparaciones. Además, estas impresoras utilizan un software de código abierto que permite a los usuarios expertos poder modificar y adaptar las máquinas a sus propias aplicaciones y necesidades.

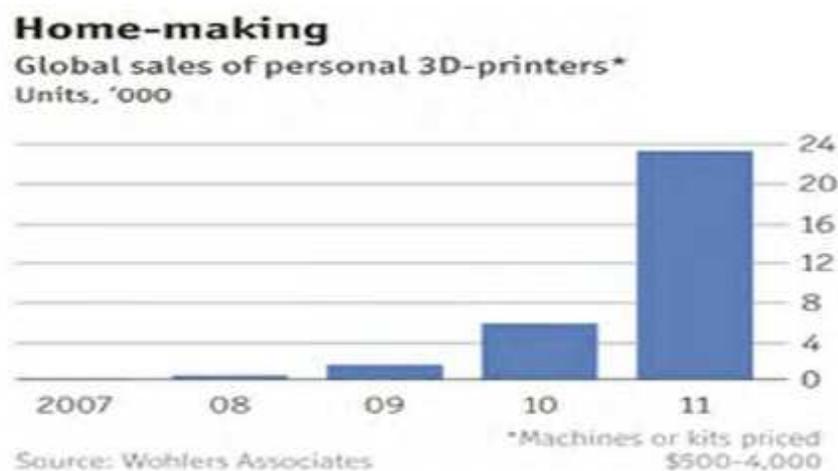


Figura 2: Evolución de las ventas impresoras 3D.

Por lo que hace referencia a las máquinas comerciales, se necesitan unos conocimientos previos para poder fabricar piezas con un comportamiento específico. Esto es debido a que se requiere de una preparación antes de la fabricación, un control previo del proceso y un mantenimiento específico de la máquina. La ventaja de utilizar máquinas comerciales es que los suministradores del material son los mismos fabricantes de la máquina, y por lo tanto, los parámetros de proceso proporcionados por el fabricante aseguran la obtención de la pieza deseada. No obstante, las máquinas comerciales no permiten la utilización de materiales ajenos al fabricante ni la modificación de ciertos parámetros del proceso por parte del usuario.

En el 2010, el porcentaje de facturación de las piezas finales fabricadas por AM respecto a la totalidad de las piezas fabricadas por AM fue del 30%. Las predicciones son que este porcentaje aumente hasta el 50% en el 2016 y en más del 80% en el 2020, dando a entender que la tecnología se usará ampliamente para fabricación de piezas finales o que las piezas fabricadas tendrán un alto valor añadido que incrementará su coste final.

Hoy en día, la tecnología AM está concebida especialmente para realizar pequeñas producciones en el sector aeronáutico (Hilton P.D et al., 2000), automovilístico y sobretodo personalizar piezas en el sector médico. Con la actual metodología de fabricación capa a capa se pueden producir piezas que antes eran consideradas imposibles de fabricar, abriendo un abanico de posibilidades en el mundo del diseño.

## 5.2 PROCESO BÁSICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN AM

La tecnología AM permite a ingenieros y diseñadores concebir físicamente los proyectos y detectar los errores de producción antes del lanzamiento de la serie final. La tecnología permite además reducir el número de tareas y, en algunos casos, el coste productivo disminuyéndolo cerca del 50% (Pham, D.T y Dimov S.S, 2001) .La mayoría de los procesos AM utilizan la misma metodología de fabricación para obtener una pieza final, sobre todo si se utiliza un material metálico para sinterizar o fundir.

El proceso que se describe a continuación es específico para los procesos de SLS y SLM aunque hay partes comunes para otros procesos de adición.

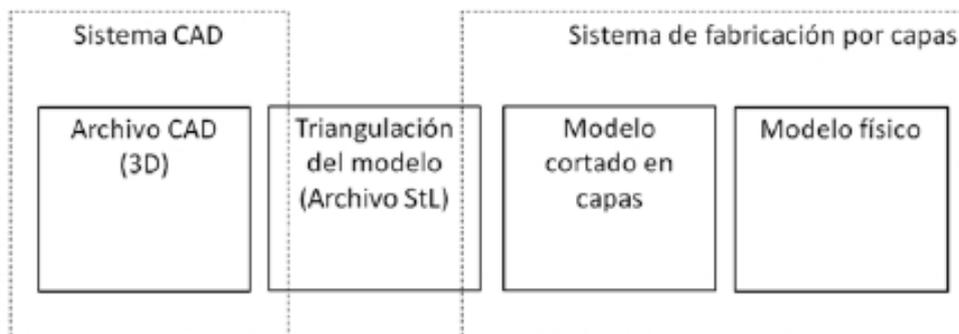


Figura 3: Esquema del proceso de fabricación.

### 5.2.1 MODELO EN 3D:

Actualmente, la mayoría de programas CAD permiten diseñar piezas en 3D. Además la ingeniería inversa, con software específico, permite importar imágenes obtenidas a partir de una tomografía computarizada (TC), imágenes por resonancia magnética (MRI), escáneres 3D entre otros y convertirlos en modelos 3D (Hilton P.D et al., 2000), Este proceso de ingeniería inversa o bien permite la obtención de la geometría deseada, o bien permite tratar la información para poder obtener la geometría deseada. En ningún caso se puede conseguir fabricar una pieza si anteriormente no se puede representar como un objeto sólido 3D en el ordenador.

El diseño, entendido como la obtención y/o modificación de la geometría, puede representar 2/3 del coste total de la pieza debido a su posible complejidad ((Hilton P.D et al., 2000),). Antes de la aparición de la tecnología aditiva, el ingeniero tenía 2 desventajas, una era solucionar la problemática de los requisitos y otra era pensar cómo fabricar la pieza mientras se realizaba el diseño. Por este motivo, antes de la aparición de la tecnología AM existía la limitación del proceso de producción. Actualmente, con la aparición de la tecnología AM, los ingenieros que utilizan la tecnología deben tener en cuenta las limitaciones en los materiales y en los programas de diseño, intercambiando así, los roles que habían jugado hasta la ahora.

La mayoría de programas de diseño mecánico están pensados para poder fabricar piezas con geometrías poco complejas, es decir geometrías ortogonales (planos, cilindros, esferas, arcos y en algunos casos superficies irregulares o Nurbs). No obstante, con la aparición de la tecnología AM se pueden realizar piezas con estructuras internas, microestructuras y macro estructuras difíciles de diseñar con los programas actuales.

### 5.2.2 CONVERSIÓN DEL DISEÑO 3D EN STL

El modelo en 3D es importado con un formato estandarizado, denominado StL. Este formato, utilizado por todos los sistemas de AM, describe únicamente las superficies de la geometría tridimensional. El formato no representa el color, textura u otros atributos de la pieza. Para describir la geometría se utilizan superficies de triángulos planos que se definen a través de tres vértices y un vector normal a la superficie. Los vértices son ordenados siguiendo la regla de la mano derecha y usando un sistema de coordenadas cartesiano para definir donde se encuentra el material. El formato StL describe cada uno de los triángulos generados indicando los vértices con cada una de las coordenadas y el vector normal a la superficie.

Como todos los formatos estándares existen unas normas para evitar múltiples interpretaciones de una geometría .Si embargo, la utilización de triángulos planos constituye un problema de precisión cuando es necesario definir un elemento curvado.

En estos casos, se necesita una gran cantidad de triángulos para disminuir el error, comportando, un aumento del tamaño de los archivos. Este problema fue más significativo durante los inicios de la tecnología AM cuando las capacidades de los ordenadores eran muy limitadas y se tenía que hacer un balance entre la precisión y la capacidad de gestión de los archivos.

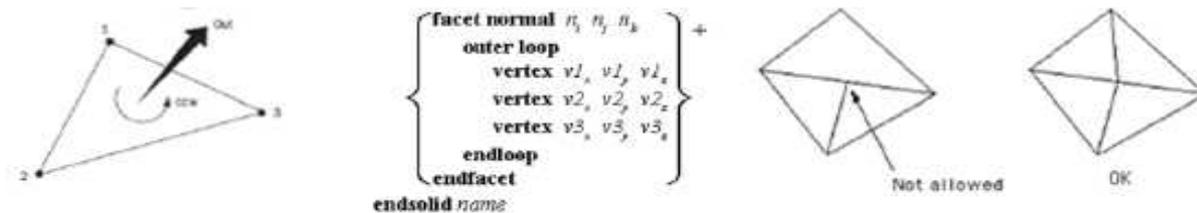


Figura 3: Esquema de la conversión STL.

Actualmente, El comité ASTM de Additive Manufacturing está desarrollando un nuevo formato estandarizado denominado additive manufacturing file (AMF). Este formato pretende mejorar la fidelidad de la geometría e introducir características de las piezas, como la utilización de múltiples materiales, texturas, degradados de colores e incluso escoger una macro estructura y una microestructura interna. Una de las principales características de AMF es la utilización de un lenguaje de marcas extensible (XML). Es decir, AMF es un formato de formatos que se puede hacer extensible en lugar de usar un lenguaje ASCII o binario, lo que permite introducir parámetros como el color, la textura, diversidad de materiales entre otros. Una de las principales ventajas de AMF es la mejora de la precisión debido a que permite curvar las líneas de los triángulos, de forma que se adapta mejor a la pieza así como, disminuir el número de triángulos necesarios.

### 5.2.3 TRANSFERENCIA A LA MÁQUINA DE AM

Antes de enviar el archivo StL a la máquina AM se deben realizar varias etapas, entre ellas cortes paralelos a la superficie de construcción. Para materiales metálicos normalmente, se realizan cortes de entre 20 y 50 micras aunque se puede encontrar nano capas de material con espesores de 0,7  $\mu\text{m}$ . El grosor de la capa se elige dependiendo de varias variables, entre ellas el tipo de material, la precisión del sistema y de las características que se quieran obtener en la pieza (precisión, tolerancia y propiedades de la pieza final).

Durante el proceso de transferencia también es necesario crear los soportes de la pieza. Los soportes ayudan a aguantar el peso del material durante el proceso de sinterización o fusión, ya que el propio polvo no es capaz de mantener el peso.

Previamente a la transferencia del archivo a la máquina se detallan los parámetros del proceso. En este apartado se incluyen la estrategia de fabricación, tipo de exposición, velocidad, potencia, superposición del láser, longitud del vector de escaneado, entre otros que dependen de la tecnología y del material utilizado. Todas las empresas que suministran este tipo de tecnología dan información sobre los parámetros de proceso a utilizar para asegurar la obtención eficiente de la pieza final siempre, y cuando se utilice el material que proporcionan.

La gran mayoría de máquinas AM comerciales disponen de software que permite obtener una aproximación del tiempo de construcción en función de los parámetros de fabricación, el área de la pieza y sobre todo teniendo en cuenta la altura de la pieza.

#### **5.2.4 PUESTO A PUNTO DE LA MÁQUINA**

Aunque el proceso de AM se considera un proceso automático es necesaria preparar la máquina antes de usarla. En esta parte del proceso interviene el factor humano que debe realizar la puesta a punto. En los procesos de SLS y SLM es necesario rellenar la plataforma de aportación de material, compactarlo y nivelarlo.

Por otro lado, se debe realizar la nivelación de la plataforma de fabricación con el elemento de barrido o de repartición del polvo con el objetivo de obtener una capa de polvo constante a lo largo de toda la base. Además, es necesario definir la primera altura de capa de polvo.

#### **5.2.5 CONSTRUCCIÓN O FABRICACIÓN**

Una vez se tiene a punto la máquina, el proceso de construcción sigue tres fases básicas. Inicialmente se esparce una fina capa de polvo en la superficie de construcción mediante el elemento de barrido o repartición del polvo. Una vez terminado, el láser irradia las secciones donde hay la pieza sólida, siguiendo las instrucciones geométrica que proporciona el archivo StL. Cuando ha terminado de irradiar todas las secciones, la plataforma de construcción desciende generando espacio a rellenar con la siguiente capa de polvo. El proceso se repite hasta conseguir toda la pieza (Pham, D.T y Dimov S.S, 2001).

#### **5.2. 6 EXTRACCIÓN DE LA PIEZA, LIMPIEZA Y POST PROCESO**

Una vez se ha terminado la construcción de la pieza es necesario retirarla, por lo tanto, es necesario separar la pieza de la base de construcción si no se utiliza la base como parte de la pieza. Normalmente el proceso de separación se realiza mediante la electroerosión por hilo o bien mecanizando parte de la plataforma. Además, si se precisa de soportes, es necesario eliminarlos. El proceso de eliminación de soportes en los materiales metálicos se realiza normalmente de forma manual y requiere de ciertas habilidades.

Asimismo, como ocurre con las tecnologías convencionales, se pueden procesar la pieza una vez fabricada para obtener las propiedades finales deseadas. Operaciones de mecanizado, roscado y trepado que permiten disminuir las tolerancias y mejorar el acabado superficial Existen otros procesos como el pulido y el rectificado que permiten obtener superficies más lisas. Existen otros procesos que además de mejorar el acabo superficial también mejoran las propiedades mecánicas de la pieza final. Es el caso de la galvanoplastia el impacto de perdigones (o la utilización de recubrimientos (Kalpakjian, 2007).

Si se utiliza la sinterización para fabricar piezas poliméricas, se puede realizar el post proceso de infiltración para aumentar su resistencia. Este proceso se realiza incrementando la temperatura por encima del punto de transición vítrea del polímero y substituyéndolo por otro material que es infiltrado. Una vez realizada la infiltración se pueden realizar los mismos post-procesos descritos anteriormente.

### 5.2.7 DIFERENCIA ENTRE SLS Y SLM

La sinterización selectiva por láser (SLS) y la fusión selectiva por láser (SLM) son dos mecanismos de fabricación aditiva utilizados para procesar metales (Yang et al. 2010). La SLS y la SLM se basan en una capa de partículas de polvo depositada en una plataforma de construcción que, a través de un láser, se sinteriza o funde a partir de la aplicación de la energía necesaria mediante un láser.

La sinterización o la fundición se caracterizan principalmente por el estado (sólido o líquido respectivamente) en que llegan las partículas de material después de aplicar la fuente de energía láser. Durante el proceso de sinterización y fundición ocurren varios fenómenos físicos, químicos y térmicos donde se incluyen, entre otros, la absorción de la energía del láser en la superficie del polvo, la transferencia calorífica, la modificación del estado de las partículas de material, la unión de las partículas, la interacción con la atmósfera y un enfriamiento repentino.

Como se ha comentado anteriormente, la gran diferencia que existe entre estas dos tecnologías es el estado, parcial o total, en que llega el material. Si se realiza una clasificación de los materiales en función de sus estados encontramos distintas categorías. En primer lugar, la sinterización por estado sólido, donde el material se reblandece y las partículas se unen entre sí; en segundo lugar, se encuentra la sinterización por estado líquido, también conocida como fundición parcial, donde parte de las partículas son fundidas y finalmente, la fundición completa donde todas las partículas de polvo pasan a un estado líquido durante el proceso.

La sinterización por estado sólido ocurre mediante la unión de partículas sólidas. Esta unión se realiza a través de la difusión de los átomos a lo largo de la superficie del grano de polvo cuando está en contacto con otro grano, creando así, un cuello entre las dos partículas. Para que ocurra la unión se deben calentar las partículas (Kalpakjian, 2007) en un rango que va desde la mitad de la temperatura de fundición hasta un punto próximo a esta temperatura, con la condición de que nunca llegue a superarlo. Este tipo de proceso es muy lento debido a que la difusión de las partículas se alcanza en un período relativamente largo comparado con otros tipos de procesos.

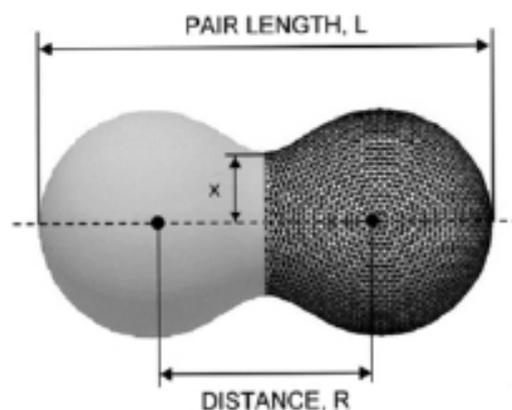


Figura 4: Vista de la unión mediante sinterización.

La sinterización parcial o la fundición parcial es un proceso donde parte del material es fundido a través de la acción de un láser. Este mecanismo de fabricación, comparado con el explicado anteriormente, es más rápido debido a que solamente se funde parte del material y a que el tiempo de interacción del láser es más corto. A partir de que se obtiene un campo de baño fundido, parte de las partículas están en estado líquido, lo que provoca que penetren en los espacios vacíos. Finalmente se enfría todo rápidamente para provocar la solidificación. Este proceso de unión se realiza mediante la fuerza de capilaridad, que viene determinada por el material utilizado, sin embargo, la velocidad de reacción del material viene determinada por la transformación del estado de sólido a líquido.

En el caso de la sinterización parcial se necesita que el material en cuestión tenga más de un componente. La fundición se realiza con uno o más componentes. El que tiene un menor punto de fundición se derrite, mientras que siempre queda un componente que no sufre ningún cambio de estado. El material fundido es denominado aglutinante mientras que el resto se conoce como material estructural.

En el proceso de sinterización parcial influyen principalmente la capilaridad y la tensión superficial del material, los cuales determinan que el proceso de sinterización sea satisfactorio. Por lo tanto, se debe tener un buen control de la viscosidad del material y del ratio de partículas sólidas/líquidas. En los procesos que intervienen dos tipos de materiales muy distintos, como pueden ser los materiales poliméricos (aglutinante) y los materiales metálicos (estructural), el proceso de sinterización dependerá sobretodo de las propiedades del polímero, debido a su punto bajo de fusión (Kalpakjian, 2007.).

El proceso de la fundición completo mediante láser, conocido habitualmente como SLM, es un proceso donde todas las partículas pasan de un estado sólido a un estado líquido en un período muy corto de tiempo. El proceso SLM es un poco más lento que el anterior y más difícil de controlar debido a problemas de tensiones térmicas que aparecen una vez se enfría la pieza y, también, por el llamado efecto bola. Las propiedades mecánicas que se obtienen utilizando este proceso son parecidas a las obtenidas mediante el proceso de forjado o de fundición tradicional.

Aunque la línea que divide los procesos de sinterización parcial y la fundición completa está muy bien definida en términos conceptuales, en la experimentación, es muy ambigua.

Las principales diferencias que existen entre los distintos procesos son el estado en que llegan las partículas y como se suministra el material. El material se puede suministrar o bien, depositándolo en la plataforma de construcción (SLS, micro-sintering y SLM), o bien inyectándolo a través de unos conductos hasta unos cabezales láseres especiales que focalizan el polvo en un punto donde incide el láser.

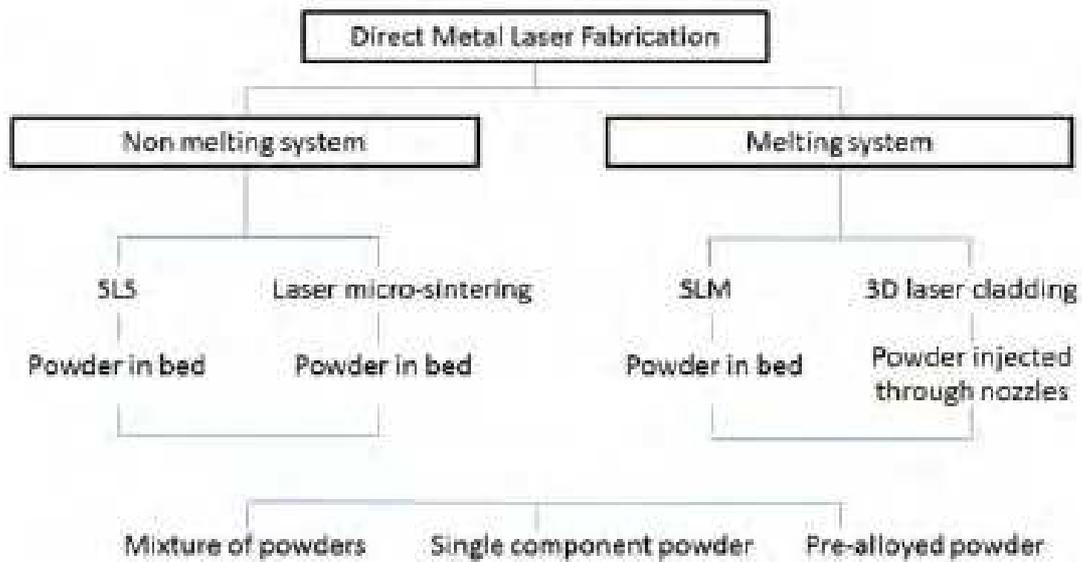


Figura 5: Esquema de las diferencias entre SLS y SLM.

### 5.3 PARÁMETROS

Los parámetros del proceso son las distintas variables que intervienen en el proceso, en este caso, en la sinterización o fundición, y que sirven para identificarlas y cuantificarlas. Aunque en el proceso de fabricación intervienen muchas variables, solo algunas son importantes en la afectación de las propiedades finales de la pieza, por este motivo, es importante conocer la relación que existe entre los distintos parámetros.

Las variables vienen definidas por los parámetros del láser, del material y del propio proceso y, sobre todo, por la relación o influencia que tienen entre ellos.



Figura 6: Elementos que intervienen en los procesos SLS y SLM.

### 5.3.1 LASER

Actualmente todos los láseres que se utilizan en el proceso de SLM son de fibra, esto es debido a que la mayoría de materiales metálicos tienen un alto porcentaje de absorción de energía generada con estos tipos de láseres. Por el contrario, los materiales poliméricos tienen una mejor absorción a la longitud de onda de los láseres de CO<sub>2</sub>.

Actualmente solo existen 5 grandes compañías que fabrican máquinas de SLM para usar con materiales metálicos EOS GmbH, 3D Systems, Concept Laser, MTT y Phenix. Por ello la variedad de los láseres utilizados no es muy grande.

Tabla 1: Variedades de tecnologías de SLM

Compañía	Tecnología	Tipo de láser	Potencia [W]
EOS	SLM	Fibra	200, 400
3D System	SLM	Fibra	100, 200, 400
Concept	SLM	Fibra	200
MTT	SLM	Fibra	100, 200, 400
Phenix	SLM	Fibra	100

### 5.3.2 PARÁMETROS DE PROCESO

La operación esencial en el proceso de SLM es la fundición del material metálico en forma de polvo que se ha depositado previamente en una superficie. Con la ayuda de un láser se realiza la fundición del polvo de forma controlada. Seguidamente, el polvo fundido se adhiere en la capa previamente fundida anterior. Debido a que el diámetro del haz del láser es pequeño, es necesario realizar varias pasadas del láser para rellenar toda la sección de la pieza provocando la formación de una masa de baño fundido que rápidamente se solidifica cuando el láser deja de incidir. Una vez se termina la fundición de toda la sección, se reparte otra capa de polvo y vuelve a empezar el proceso.

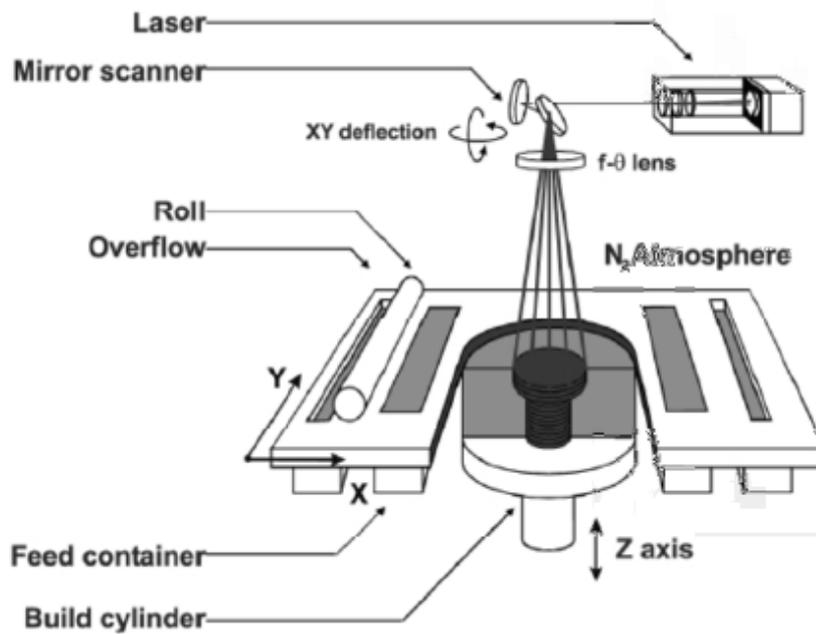


Figura 7: Partes y funcionamiento del proceso de SLM.

Aunque el proceso es conceptualmente muy fácil de comprender, la gran multitud de parámetros que intervienen e influyen hace que sea un proceso muy complejo y difícil de estudiar. La influencia de los parámetros afecta al resultado de la capa de polvo y, por lo tanto, también afectan al resultado final de la pieza.

Los parámetros de proceso que tienen una mayor influencia en el proceso son la velocidad de escaneo, la altura de la capa de polvo, la estrategia del láser, la orientación de las probetas y un ambiente inerte.

Si durante el proceso de SLM los parámetros utilizados son los correctos se obtiene un baño fundido que al solidificarse, debido al efecto de la tensión superficial del material, se transforma en un segmento cilindro circular. Si por el contrario, los parámetros no son los adecuados, pueden acontecer tres comportamientos:

- 1) Únicamente se calienta el material, esto significa que no existe unión entre partículas y tampoco entre partículas y la capa previamente fundida.
- 2) El cilindro se va rompiendo en bolas: inestabilidad del cordón llamada efecto bola, el cual provoca que no se cree un cordón estable.
- 3) El material se evapora debido a un exceso de temperatura.

### 5.3.3 VELOCIDAD DE ESCANEEO (SS)

La velocidad de escaneo es la velocidad en que se mueve el haz láser sobre la superficie de trabajo. En las tecnologías comerciales, el movimiento del haz del láser se realiza mediante unos espejos galvanométricos de gran precisión que son colocados en el centro de la plataforma de construcción. Para evitar que exista una modificación del diámetro del haz en los extremos de la plataforma, el focalizador se mueve para corregir la variación del haz teniendo en cuenta la posición donde se está enfocando.

Para poner de manifiesto la influencia de la velocidad de escaneo en las condiciones de fundición durante el proceso de SLM, varios autores han realizado distintas experimentaciones analizando la influencia de la velocidad de escaneo con propiedades geométricas. Durante la experimentación se utiliza un material y se modifica la velocidad de escaneo para observar cómo varía la dimensión de la piscina fundida. Los resultados muestran que a mayores velocidades de escaneo la piscina fundida disminuye debido a que el láser tiene menos tiempo de acción sobre el material. Además, se puede observar que el camino de material fundido que provoca el láser es menos profundo a medida que aumenta la velocidad. Asimismo, el ángulo de contacto cada vez va disminuyendo, es decir, el material tiene una capacidad de mojabilidad inferior.

### 5.3.4 ALTURA DE CAPA DE POLVO (LT)

La altura de capa de polvo (LT), es la altura que debe recorrer la plataforma para construir, capa a capa, los objetos en 3D. El proceso para determinar la altura de capa se obtiene de los cortes que se realizan en el modelo. Existen dos condiciones básicas en la realización del corte. En el primer caso los cortes generan los contornos con la intersección con el modelo y, en segundo caso, los planos son paralelos entre ellos.

Aunque la mayoría de tecnologías utilizan un altura de capa constante o uniforme normalmente unas 100 micras para polímeros y de 20 a 40 micras en el caso de materiales metálicos, también se puede utilizar una altura de capa adaptativa, donde la altura de capa va variando según el diseño o las características del modelo.

La mínima altura de capa de polvo que se puede esparcir en la plataforma de construcción debe ser más grande que el tamaño de las partículas del polvo. Esta limitación ocurre porque es necesario poder suministrarla correctamente de forma constante y uniforme a lo largo de toda la plataforma. También existe una altura de capa máxima, la cual viene limitada por la penetración del láser en el polvo y, en definitiva, es función de distintos parámetros del proceso como la potencia del láser, la densidad de energía, la dimensión de la partícula, la densidad de potencia, la capacidad calorífica y la conductividad térmica del polvo entre otros.

Cuando la geometría del modelo no contiene paredes verticales es necesario definir qué tipo de contorno se debe utilizar para ajustar la fabricación con el modelo. Esto hace que se obtenga un sobre grosor o reducción de la pieza, dando así, un error dimensional debido al ajuste de la geometría y a la altura de capa de polvo.

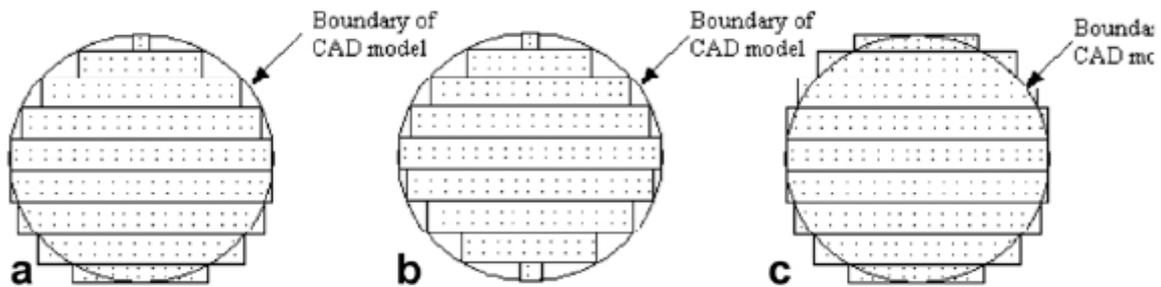


Figura 8: Tipo de tolerancia entre el diseño y la pieza final a) Negativa y positiva b) Negativa c) Positiva.

Además, la altura de capa genera el efecto escalón debido a la diferencia de dos capas consecutivas. Los escalones son más grandes a medida que se va incrementando la altura de capa, en este caso, también aumenta el error dimensional y la rugosidad. Por el otro lado, se reduce el tiempo de fabricación y el coste de la pieza.

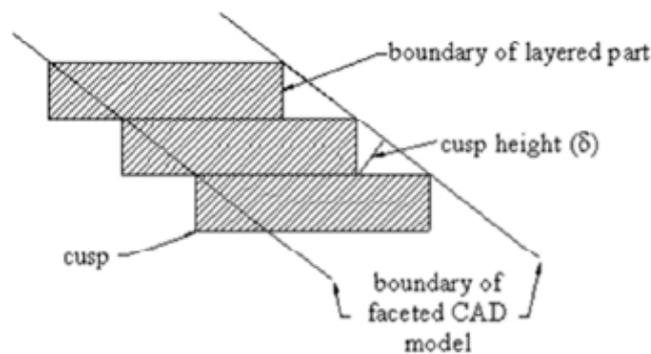


Figura 9: Esquema del efecto escalón entre capas consecutivas.

### 5.3.5 ESTRATEGIA DE FABRICACIÓN

La estrategia de fabricación es un conjunto de acciones que nos definen los caminos por donde debe pasar el láser así como la secuencia que debe seguir para fundir toda la sección de la pieza. Normalmente, cada una de las máquinas AM tienen un software específico que realiza este tipo de acciones y que se optimiza para cada uno de los materiales, reduciendo así el tiempo de escaneo o influenciando en las propiedades de la pieza final.

La estrategia es uno de los parámetros que influye más en la fabricación de la probeta, ya que es la que determina la velocidad, la dirección y como se debe ordenar el proceso de fundición. Las propiedades mecánicas, precisión, tensiones y el tiempo de escaneo se ven influenciados por este parámetro (Kalpakjian, 2007).

En este apartado se analiza cómo afecta la estrategia de fabricación y la utilización de distintas maniobras para evitar tener problemas debido a deformaciones térmicas. Muchas máquinas comerciales modifican los parámetros en una misma pieza de modo que la estrategia va variando dependiendo de la situación que se encuentre dentro de la sección. Así, la estrategia busca

obtener densidades altas cerca de la superficie externa de la pieza mientras que, en el interior de la pieza, se utilizan otros parámetros para conseguir menor densidad. Todo ello para obtener piezas mucho más económicas aumentando el volumen de construcción y reduciendo el tiempo de fabricación. Según las especificaciones de la pieza final, en algunos casos se utiliza únicamente la corteza para aumentar su densidad y su resistencia. Aunque los nombre varían dependiendo de la empresa se definen normalmente 4 tipos:

- 1 – Corteza
- 2 – Corteza exterior
- 3 – Corteza interior
- 4 – Núcleo

### 5.3.6 DEPOSICIÓN DE MATERIAL

La deposición de material se refiere al tipo de sistema utilizado para colocar una capa de polvo en la zona de construcción. Desde el inicio de la fabricación aditiva, se han patentado distintos sistemas para poder depositar las capas de polvo. Uno de los sistemas iniciales era el de pulverización del polvo. Otro utilizaba la técnica de Arcella, donde hay un recipiente que se va rellenando a medida que va aumentando el número de capas y el material se posiciona mediante movimiento.

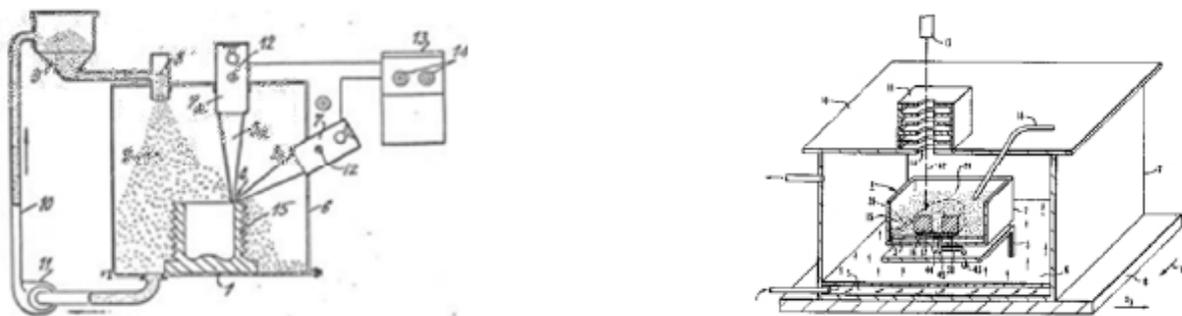


Figura 10: Esquema simplificado del proceso de fabricación.

Estos dos sistemas no fueron muy populares porque no permitían un control preciso de la altura y de la distribución de las capas de polvo. No obstante, aparecieron otros sistemas de distribución. La compañía EOS patentó su propio sistema de deposición de polvo mediante una escoba rígida. La empresa Trumpf desarrolló también un sistema que utilizaba una escoba rígida, la cual repartía el polvo de forma que se obtenían unas capas con una alta repetibilidad.

La densidad del polvo depositado se encuentra alrededor del 40%. Esta densidad del polvo tan baja es un problema debido a que cuando se realiza la fundición se requieren densidades cercanas al 99%. Es decir, la altura de la capa fundida es mucho más baja que la altura de polvo

depositada, o bien, que debería recolectar el polvo de los lados para poder rellenar el cordón. La densidad de las piezas fabricadas mediante SLS se ve afectada por la compactación inicial del polvo. En el caso de utilizar un sistema que aumente la compactación inicial el material fundido tiene más dificultades para moverse entre las partículas. No obstante, una mayor compactación significa una mayor transferencia térmica, es decir, una mejor transmisión de calor.

Las deposiciones típicas de un proceso de SLM suelen estar entre las 20 a 50 micras. No obstante, se han realizado piezas a escala micrométrica con capas del orden de nanómetros. Para poder llegar a estas precisiones de micras, la deposición de polvo se realiza mediante rodillos o bien a través de una rasqueta que desplaza el polvo de la plataforma de aportación de material a la de fabricación.

Dependiendo de las máquinas comerciales, las deposiciones se pueden realizar o bien en un solo sentido o bien en los dos sentidos. Esto afecta mayoritariamente al tiempo de fabricación y en la dimensión de la máquina ya que en el caso del doble sentido se requiere de la duplicación de algunos elementos dentro de la máquina: dos plataformas de aportación de material y de dos lugares para retirar el polvo sobrante. Los problemas que pueden acontecer con la aportación en doble sentido están relacionados con la suciedad que puede acarrear el rodillo de la plataforma de fabricación hacia las plataformas de aportación y viceversa.

Otro problema que existe en la deposición de material a través de rodillos, es que por debajo de un espesor de capa determinado, el mecanismo de rodillos tiende a desplazar las capas previamente sinterizadas, separándolas de la plataforma de trabajo y dificultando la creación de la geometría.

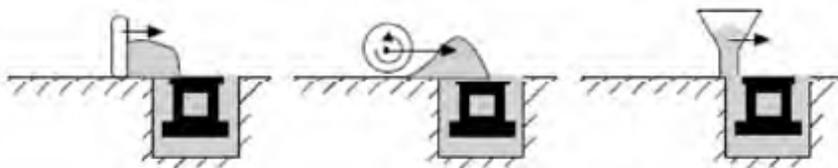


Figura 11: Diferentes sistemas de deposición del polvo. Fuente: (Van der Schueren & Kruth, 1995)

El primer sistema se basa en una escoba o rasqueta que moviliza una cantidad fija de material. Este material es subministrado por la plataforma de aportación y debe exceder al volumen de material necesario a repartir. La rasqueta se mueve de forma que reparte el material por la plataforma de construcción. Este sistema, capaz de depositar una capa de material, no permite compactar el material y en el caso que la pieza sobresalga puede provocar un impacto. Además, el material que todavía no se ha depositado puede friccionar contra la pieza. El problema de falta de compactación se puede solucionar utilizando el segundo mecanismo propuesto: un cilindro. En este caso, además de la rotación para ir avanzando, se realiza una vibración, de forma que compacta el polvo. Aun así, siguen sin solucionarse los demás problemas que se tenían en la rasqueta. La tercera propuesta consta de un mecanismo que utiliza una ranura de alimentación por gravitación, esta ranura contiene una cierta cantidad de polvo y lo esparce en aquellos lugares donde existe un hueco entre la ranura y la plataforma. Este mecanismo permite disminuir la fricción ya que el contacto es puntual. Aun así, este sistema no permite realizar una

compactación del material.

Una de las formas para evitar el contacto agresivo entre el dispensador de polvo y la herramienta de deposición, es la rotación de las piezas unos  $15^\circ$ , de esta forma, el dispensador tiene un contacto puntual inicial que va aumentando a medida que va realizándose el desplazamiento del rodillo o rasqueta.

### 5.3.7 ORIENTACIÓN EN LA FABRICACIÓN

La orientación en la fabricación de las piezas sirve para determinar el ángulo en que se va a fabricar la pieza. La fabricación de las piezas tiene tres grandes objetivos: la reducción de los soportes, la reducción del tiempo de fabricación y la mejora de las propiedades mecánicas de las probetas. Las propiedades mecánicas tienen anisotropía, es decir, no tienen un mismo valor según los ejes u orientación en la fabricación (UNE 116005).

Las propiedades mecánicas de las piezas creadas mediante SLM tienen un comportamiento distinto según la orientación en la fabricación ya que la unión entre las partículas de la misma capa no es igual que la unión entre capas ( Kalpakjian, 2007). La posición de la pieza dentro de la plataforma de construcción tiene, según el tipo de máquina, un efecto que perjudica las propiedades mecánicas debido a que no existe un reajuste de la focalización del láser según la posición en la placa. Si esto acontece y no se modifican los parámetros se obtiene una menor densidad de energía en las partes externas

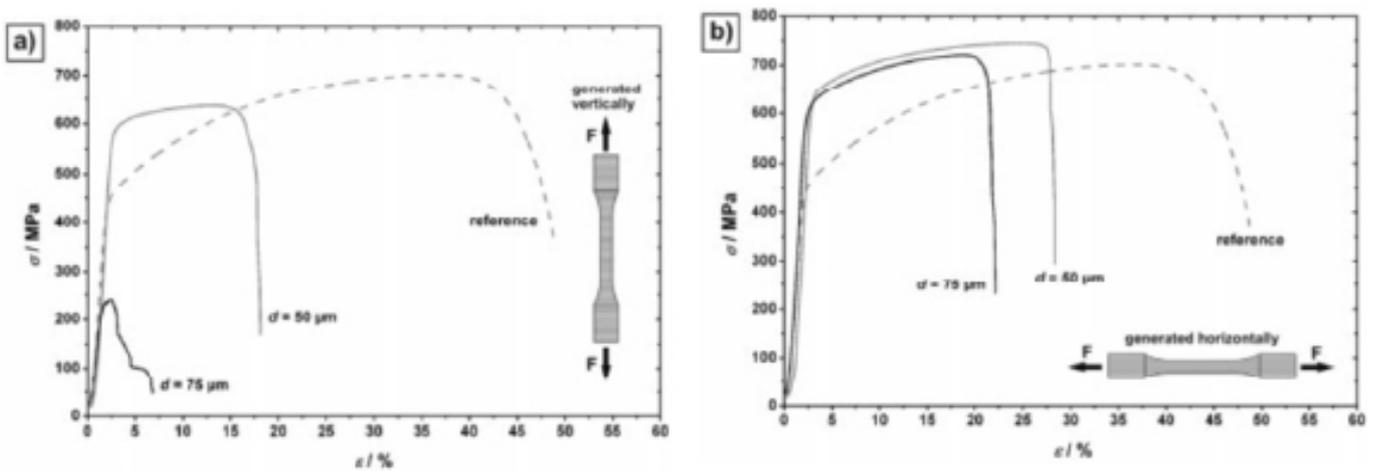


Figura 12: Propiedades mecánicas en función de la dirección de fabricación y grosor de la capa a)

Vertical b) horizontal.

A parte de las propiedades mecánicas y de la construcción de los soportes, es necesario estudiar la orientación de las piezas porque tiene una gran influencia en el tiempo de construcción que repercute en el precio final.

## 6. TECNOLOGÍA Y MATERIALES DISPONIBLES

Existen diversos fabricantes de este tipo de tecnología como se ha comentando anteriormente. En este apartado se va a ampliar los diferentes sistemas de producción aditiva de elementos metálicos y materiales disponible de marca EOS.

La Marca EOS dispone de varios sistemas de producción aditiva para elementos metálicos. Los principales sistemas son los siguientes.

- EOSINT M 280.
- EOSINT M 290.
- EOSINT M 400.

A continuación se muestran algunas imágenes de estos sistemas de producción aditiva para elementos metálicos.



Figura 12: Vista de la impresora EOS M 280. Fuente (EOS 2014).

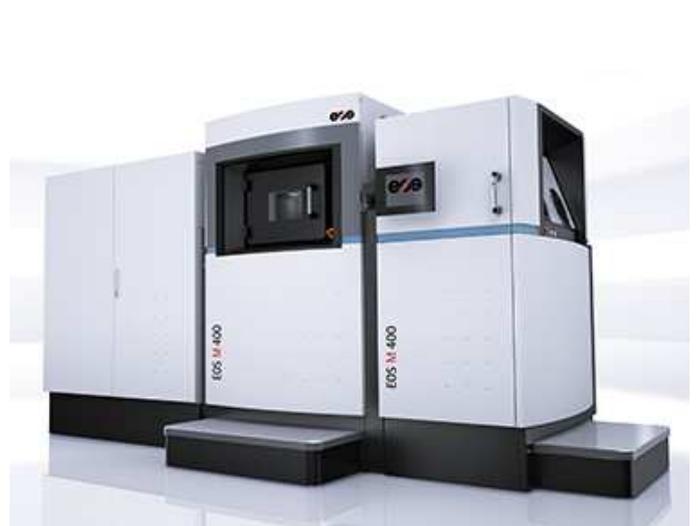


Figura 13: Vista de la impresora EOS M 400. Fuente (EOS 201)

Actualmente existe una amplia gama de metales en polvo con características muy concretas para desarrollar cualquier tipo de producto utilizando los sistemas de fabricación aditiva.

Para la producción de componentes de metal utilizando DLMS (Sinterización de Metal por Láser Directo), EOS dispone de una amplia selección de polvos metálicos que van de aluminio, acero martensítico envejecido, acero de alta calidad, titanio, níquel y aleaciones Cromo cobalto.

Esta amplia gama de materiales nos permite utilizar estos sistemas de producción prácticamente sin límite alguno, en lo que a materiales se refiere.

A continuación se muestra un listado de los materiales disponibles para esta tecnología de aditiva de polvos metálicos.

- EOS Aluminio AlSi10Mg – Aplicaciones para sector automovilístico y Aeronáutico.
- EOS Aluminio AlSi10Mg / 200 ° C – Aplicaciones para el sector Automovilístico y Aeronáutico.
- EOS CobaltChrome MP1 - CoCrMo Super Alloy. Aplicaciones para altas temperaturas y Biomédicas.
- EOS CobaltChrome SP2 - CE-Certificado CoCrMo Super Alloy. Aplicaciones dentales.
- EOS MaragingSteel MS1 - Acero de alto rendimiento para Herramientas y Mecánica en Ingeniería.
- EOS NickelAlloy HX - níquel-aleación para el sector aeroespacial e Industria.
- EOS NickelAlloy IN625 – Aleación Cromo níquel para el sector aeroespacial, Automovilismo e Industria.
- EOS NickelAlloy IN718 - aleación de níquel para la Industria Aeroespacial e Industria.
- EOS StainlessSteel GP1 - Acero inoxidable para aplicaciones de Ingeniería Mecánica y medicina.
- EOS StainlessSteel PH1 - Acero endurecible inoxidable para aplicaciones de Ingeniería Mecánica y Tecnología Médica.
- EOS StainlessSteel 316L - Aleación de acero inoxidable resistente a la corrosión para el sector médico y Aeroespacial.
- EOS titanio Ti64 - Ti6Al4V- Metal ligero para el sector aeroespacial y aplicaciones Biomédicas.
- EOS titanio Ti64ELI- Aleación de Titanio para medicina y sector Aeroespacial.

## 7. CHOICE JUSTIFICATION.

Because of the importance of cabin safety, it can be said that this is one of the main passive safety systems possessing a vehicle; Due to this reason we have tried to make a system that promotes safe vehicle and the occupants in a crash.

Studying the parts of how a vehicle is made, has come to the conclusion that one of the most critical points of the vehicle are side impact and is at this point that the protection offered by the doors of a vehicle are of great importance. This has resulted in the design of a new concept in the field of automotive, the design of a door with a greater degree of protection from any kind of accident and specifically against side impacts. The idea is based on doing a door of a vehicle with a structural panel to absorb and minimize impacts suffered during an accident.

The panel is based on the structures that form the bones, they are formed by an outer skin, very dense, while the core consists of a honeycomb structure which gives a minimum weight as well, thus the bones are structures capable withstand large forces with a relatively low weight.

Due to this structural and morphological complexity of the panel, among the many existing manufacturing processes has opted for the application of TECHNOLOGY OF SINTERIZED METALLIC, allowing more degrees of freedom in the design process and can get designs that not applying this technology would be more complex processes or even impossible to perform it.

The main features that have made the choice of this technology are as follows.

- Existing technology today.
- Existence of materials according to the requirements and needs of the system.
- Freedom in the design process.
- The raw material losses are greatly reduced.
- Possibility of designs that with other technologies or industrial processes can not be performed.
- Greater versatility when making changes during the design phase and manufacture.
- Elimination of auxiliary systems during the manufacturing process.
- High degree of precision in obtained parts.

## 8. DEFINITION OF STRUCTURAL SYSTEM OF THE PANEL.

The idea of a structural panel for car doors in the automotive sector emerged from the structural morphology of a bone.

From this idea, was performed a structural panel based on three main components:

- Superior crust formed by a metal surface.
- Nucleus formed by metal cylinders forming a three dimensional structure based on triangles.
- Bottom crust formed by a metal surface

The panel design consist in make a panel with high mechanical strength and light weight. To join these two concepts has chosen to make a design based on a simple geometric shape, such as triangles, triangles are the basic elements of the structure of the soul.

He has chosen this as a basic building block for the property to maintain its shape and withstand large loads. The core has is being a rigid element and the simplest structure that meets these requirements is the triangle.

The concept of "rigid" no means no deformed anything but very small deformations experienced maintaining its original shape almost completely.

The triangles are formed by simple elements, these elements are cylinders of constant section that are arranged in different directions to form triangles, in turn, the binding of triangles three-dimensional structural lattice form.

To make the structure begins with a cylinder with section of 2 mm and a height of 35 mm.

Here are the steps to follow for the realization of this structure.

First, a grid is made along the surface of bottom skin, this grid is arranged in a pattern of 30 x 30 mm.

Then the design process is shown by explanatory images

1. A grid is performed along the surface of the bottom crust, this grid is arranged in a pattern of 30 x 30 mm. Each of the formed vertices are a starting points, from which depart the cylinders to form triangles and three-dimensional lattice. Below is a picture which explains this step.

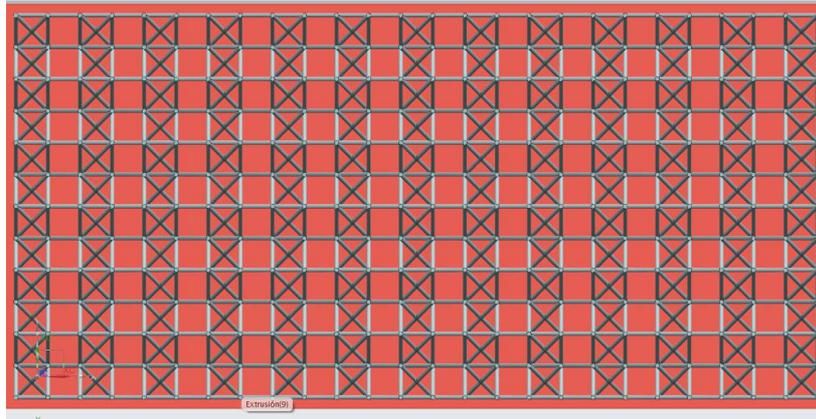


Figura 14: vista del nucleo y piel inferior.

2. This same operation is performed on the upper skin, thus being a symmetrical image of the lower skin.
3. Then, vertical cylinders are made from each of the vertices of the lower skin to the top skin, obtaining a vertical structure of separate pillars 30 x 30 mm and with a distance of 35 mm. Corresponding this separation to the panel thickness.
4. In this and in the following steps, it will proceed to completion of the cylinders in different directions to go shaping the structure. In the next picture you can see how starting two consecutive vertices of the upper skin, cylinders are joined with vertices located a grid ahead (vertical direction in the image), thereby obtaining a sloping cylinders and forming a triangle with cylinders from previous step. As you can see in the picture (sections marked in red), the sections jump out a grid, this is because the cylinders are in those locations will be made in reverse order to the selected in red, this has been done to ensure the bracing of the structure in both directions.

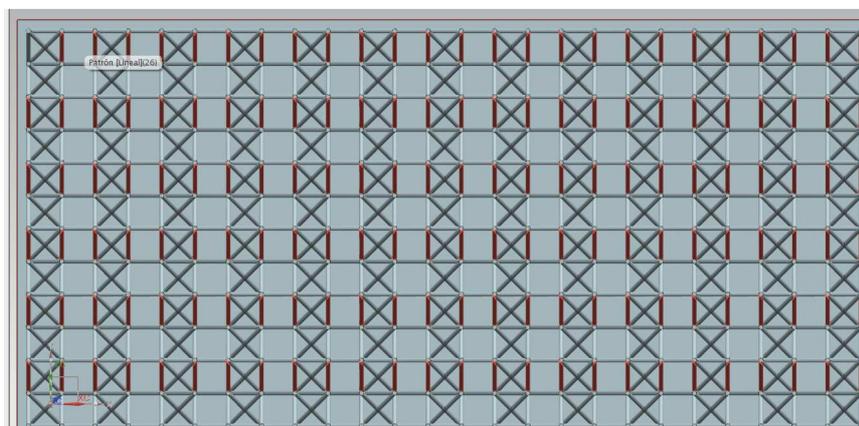


Figura 15: Proceso de formación del alma del panel. (Celosía estructural)

5. In the picture below you can see that selected sections in red are arranged in the following pattern, from an upper vertex join with the next lower, so in this way we get another disposición triangles with a sense from left to right, just as can be seen in sections marked red. The sections are amongst the sections marked in red, will be made inversely of this way, so we will have a triangular section from right to left, thus obtaining a full bracing in that direction

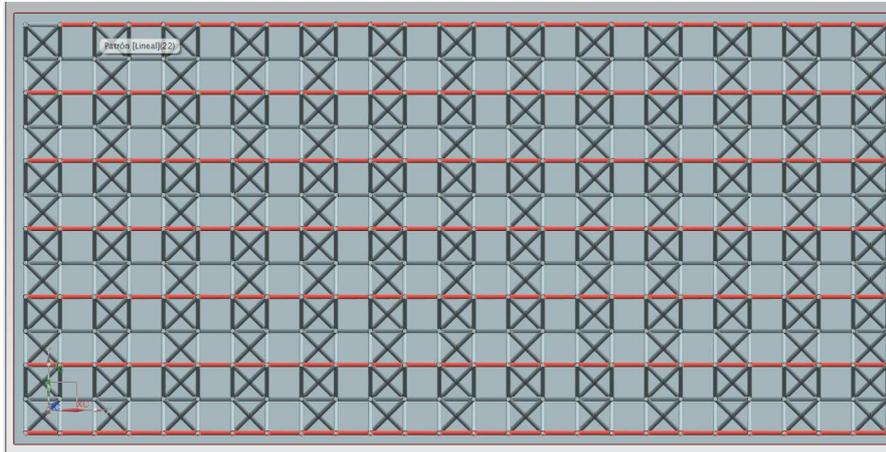


Figura 15: Proceso de formación del alma del panel. (Celosía estructural)

6. In the following two images we see as cylinders are intercalated following a disposición in X. This provision has been made on non-consecutive cells, thus achieving optimal design and weight and obtain a decrease weight in the structure. We chose this way in X to ensure bracing in that direction, thereby obtaining a structure that is bracing in any direction.

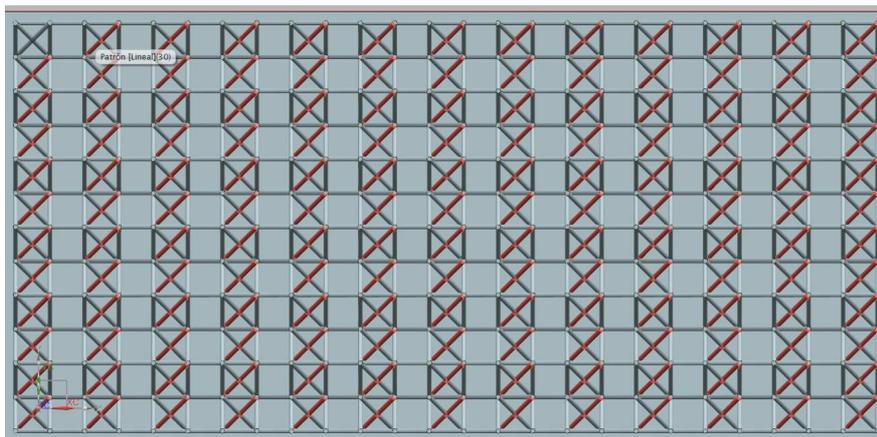


Figura 16: Proceso de formación del alma del panel. (Celosía estructural)

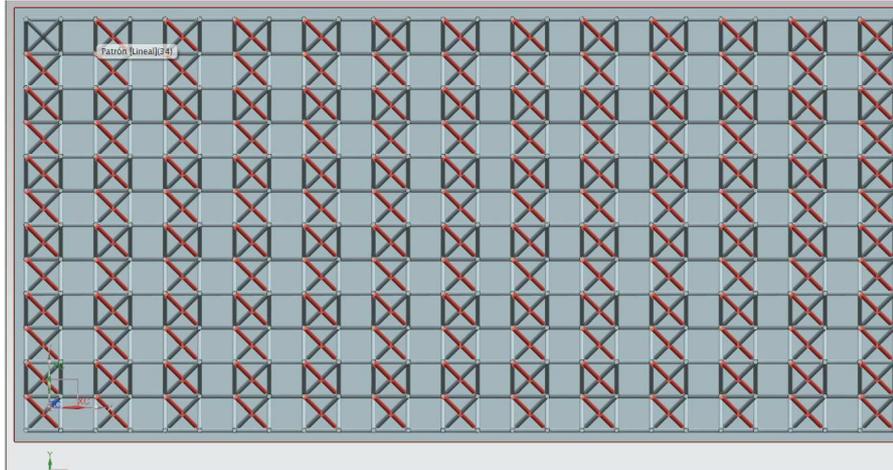


Figura 17: Proceso de formación del alma del panel. (Celosía estructural)

7. Once all these steps are done, we get a three dimensional structure which is divided into triangles, which allow a distribution and deduction when transmitting submitted efforts, thereby obtaining a resistant structure and weighing very light. (the resitencia panel will look at a specific section).

Below some pictures where you can see the panel structure and morphology of the finished panel are shown.

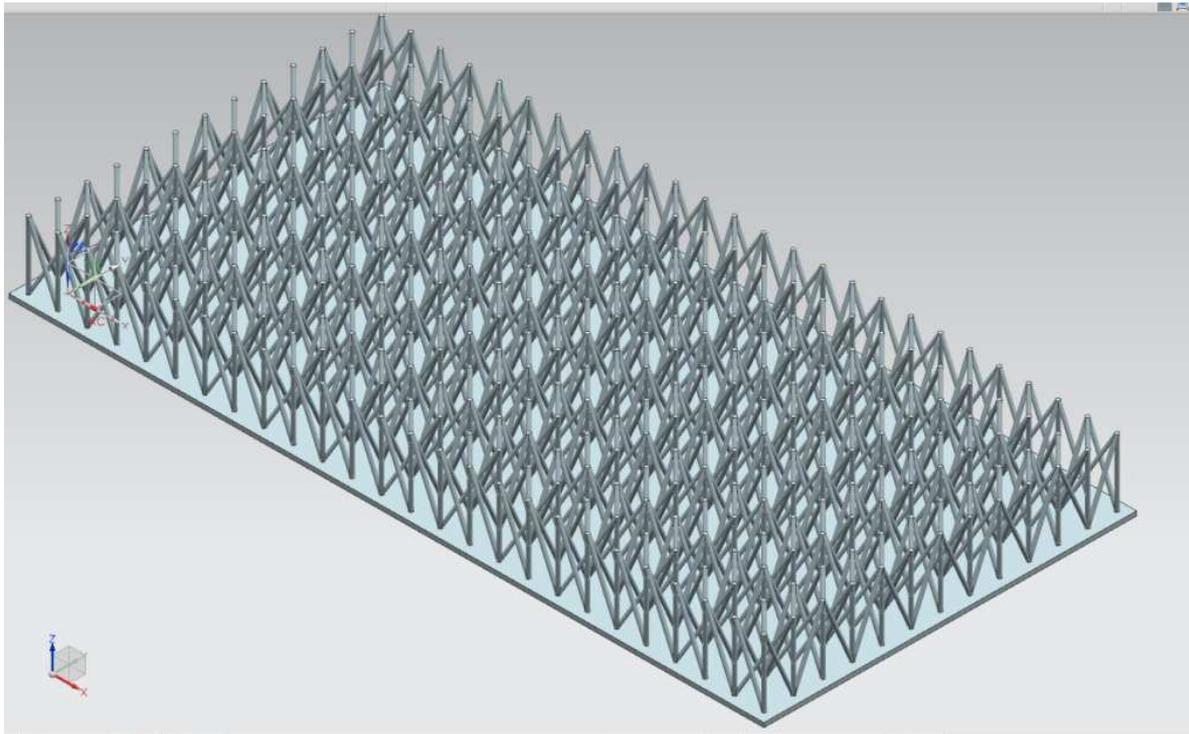


Figura 18: Vista del alma estructural del panel

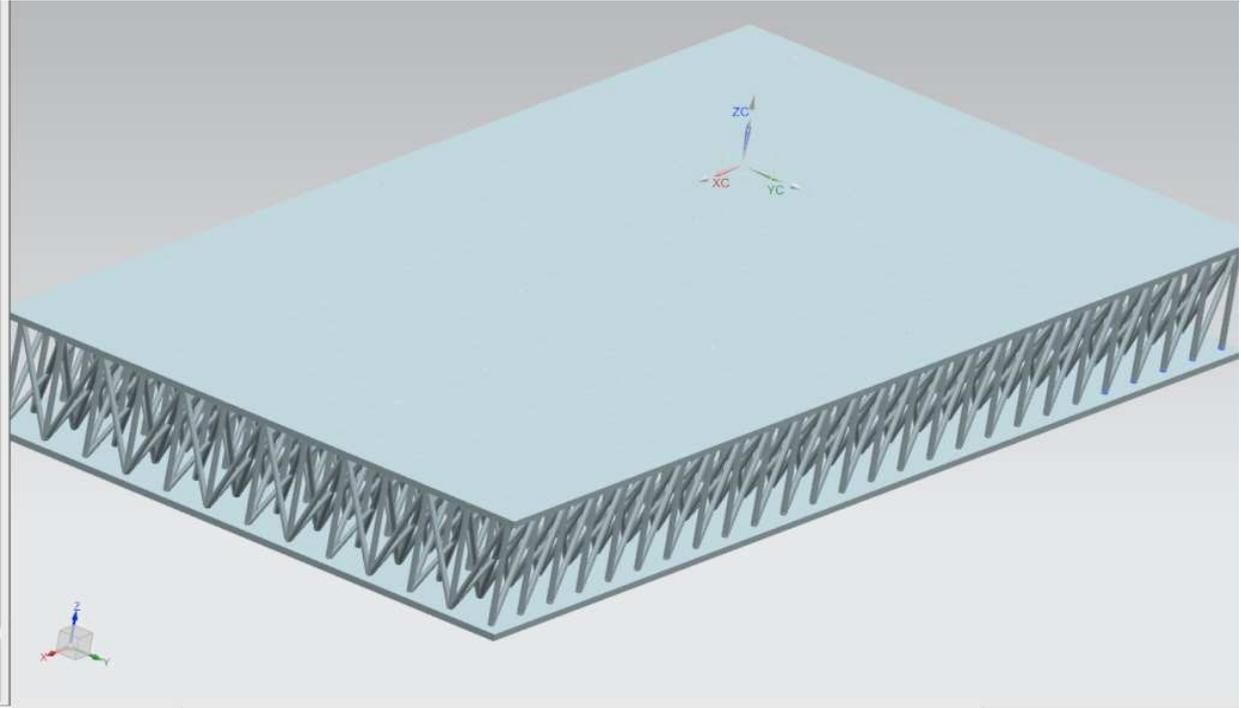


Figura 19: Vista completa de una sección del panel.

## 9. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL PROCESO DE DISEÑO

### Que es Nx

NX es un software de diseño ingenieril en 3D que está desarrollado para realizar, diseños, simulaciones, pruebas en cualquier campo de la ingeniería. Se ha decidido utilizar este software informático ya que es uno de los más complejos y completos, permitiéndonos realizar operaciones complejas.

### Diseño de la puerta y panel estructural.

El objetivo de este apartado es explicar paso a paso el proceso seguido para desarrollar tanto la puerta como el panel estructural mediante el software utilizado.

1. Realización de croquis. Este paso es el punto de inicio para comenzar el diseño de cualquier elemento. Para comenzar se optó por realizar lo croquis de panel principal de la puerta, definiendo su forma. Para realizar estas operaciones debemos clicar **“Croquis”**. Una vez estemos dentro del croquis, realizamos los croquis de la puerta con las herramientas habilitadas. A continuación se muestran una serie de imágenes explicativas de este proceso.

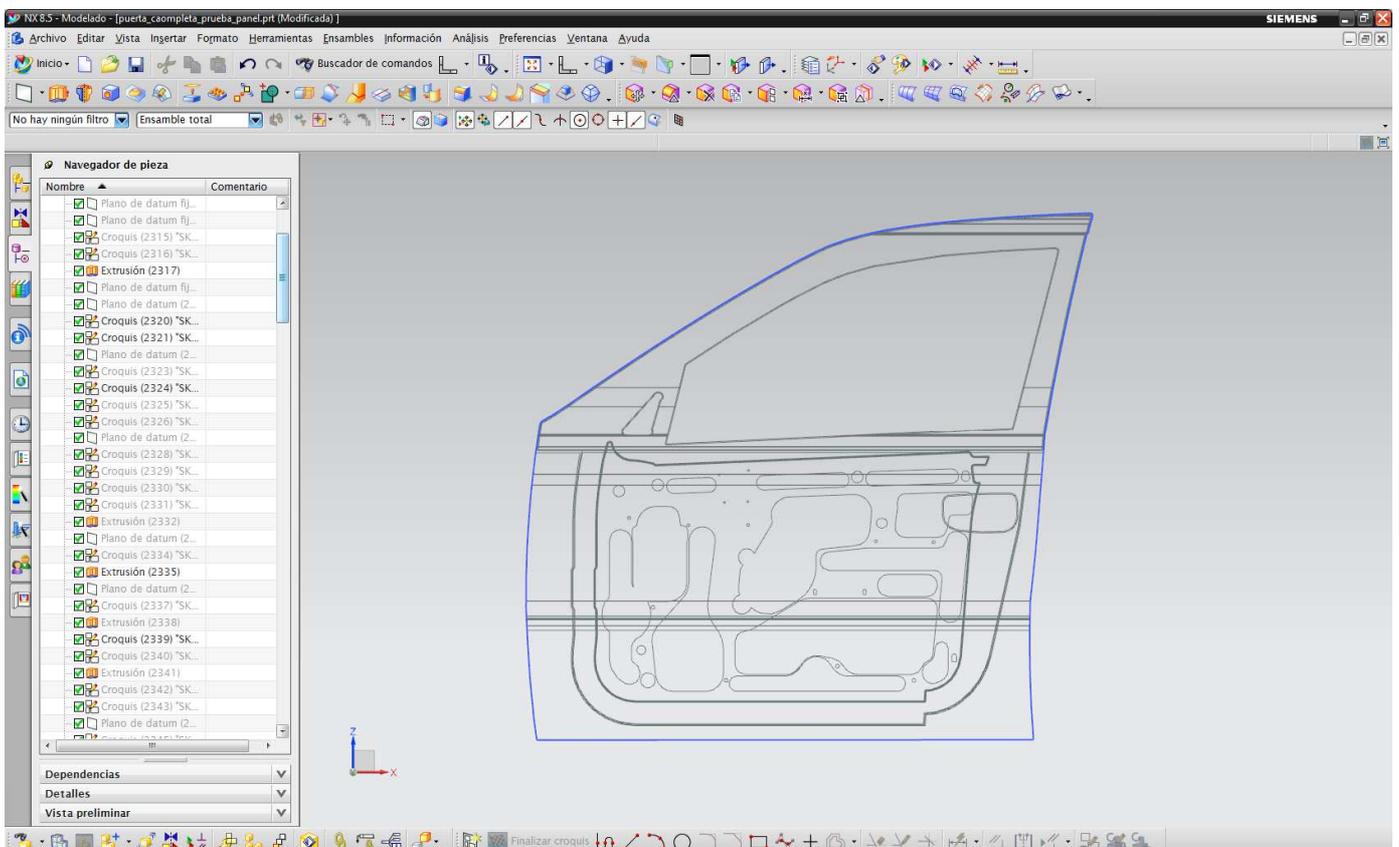


Figura 20: Vista frontal del croquis en NX del panel (Señalado en azul).

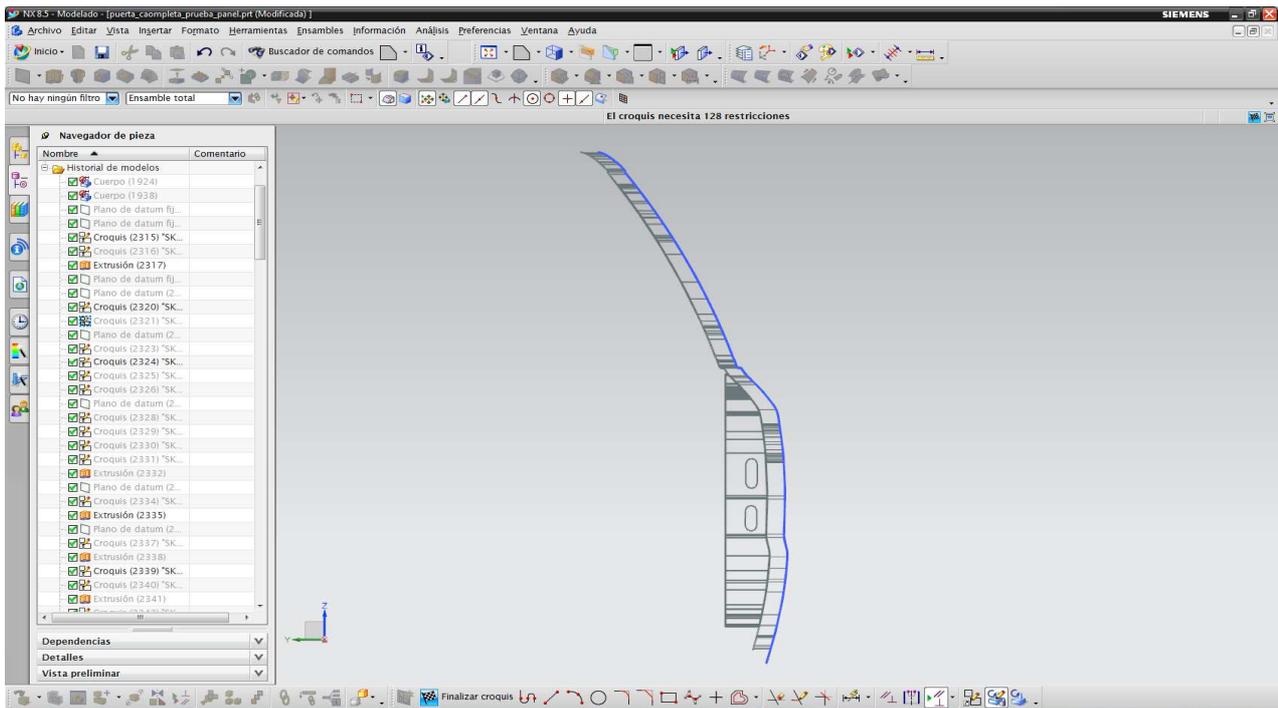


Figura 21: Vista lateral del croquis en NX del panel frontal (Señalado en azul).

Una vez definido la geometría del panel principal, tal y como se observan en las imágenes tenemos que clicar en “finalizar Croquis”. Una vez situados en la pantalla principal podemos ver los croquis generados, ahora bien para obtener una superficie delimitada por estos dos croquis debemos ir “superficie”\_”**Curvas por barrido**”, habilitado esta opción el programa realizara una superficie basándose en los croquis seleccionados. El resultado de esta operación la podemos ver en la siguiente imagen.

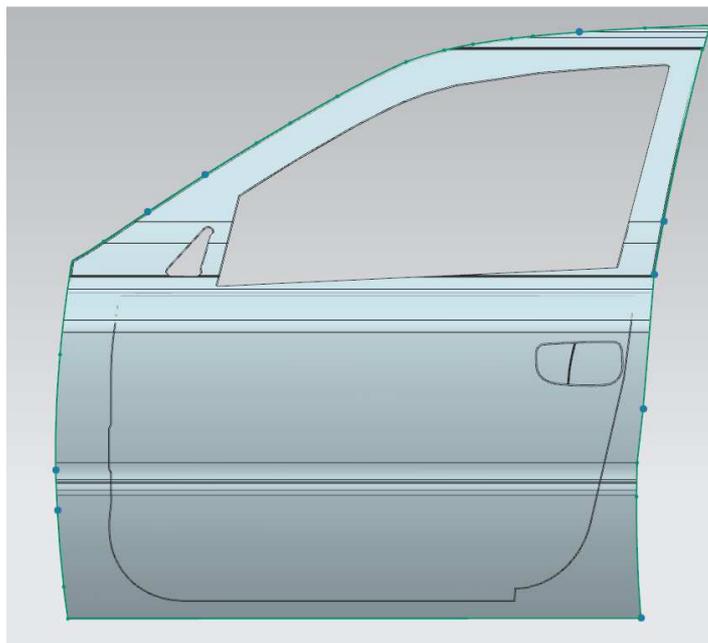


Figura 22: Vista Frontal de los límites de la superficie (Señalado en verde).

2. En este paso realizaremos los mismo pasos para duplicar la geometría realizada en paso anterior, en este paso se va a realizar dándole un “**offset**” de 35 mm. Consiguiendo obtener una geometría idéntica pero separada 35 mm. Sobre esta nueva geometría se realizan operaciones de “**Recorte**” para conseguir el diseño y forma deseados. Otro de los factores a tener en cuenta es el cambio “**Radio de Redondeo**”, Cambios necesarios para poder proyectar la geometría a la distancia requerida. Esta separación servirá como limites para realizar la estructura interna del panel, este proceso se explicara más adelante. En la siguiente imagen se muestra una imagen de este proceso.

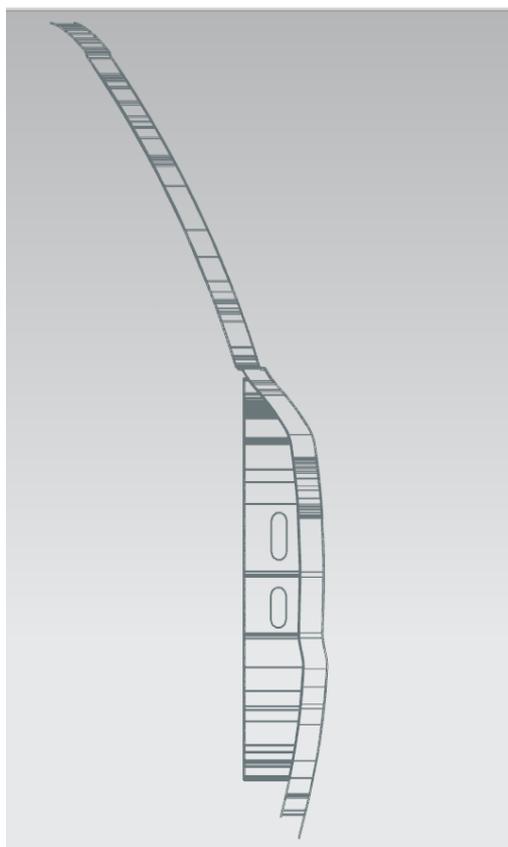


Figura 22: Vista lateral de la puerta.

3. En este paso procedemos a realizar el croquis de la chapa que se ubicara en la parte interior de la puerta, para realizar este paso seguiremos los pasos explicados anteriormente para realizar un croquis. En el diseño de este elemento se ha tenido en cuenta la ubicación, fijación, y colocación de los componentes mecánicos que se alojaran dentro de la puerta, tales como, sistemas de elevación de la luna lateral, paso de instalaciones eléctricas, la luna de la ventana, etc. El Espacio generado entre el panel y esta chapa, Implementado con diseño de esta permitirá el alojamiento, manipulación, operaciones de mantenimiento de cualquier componente integrado en la puerta, además de servir como punto de fijación para la colocación de los paneles de decoración que se integraran en operaciones posteriores. A continuación se muestra imágenes explicativas de estos pasos.

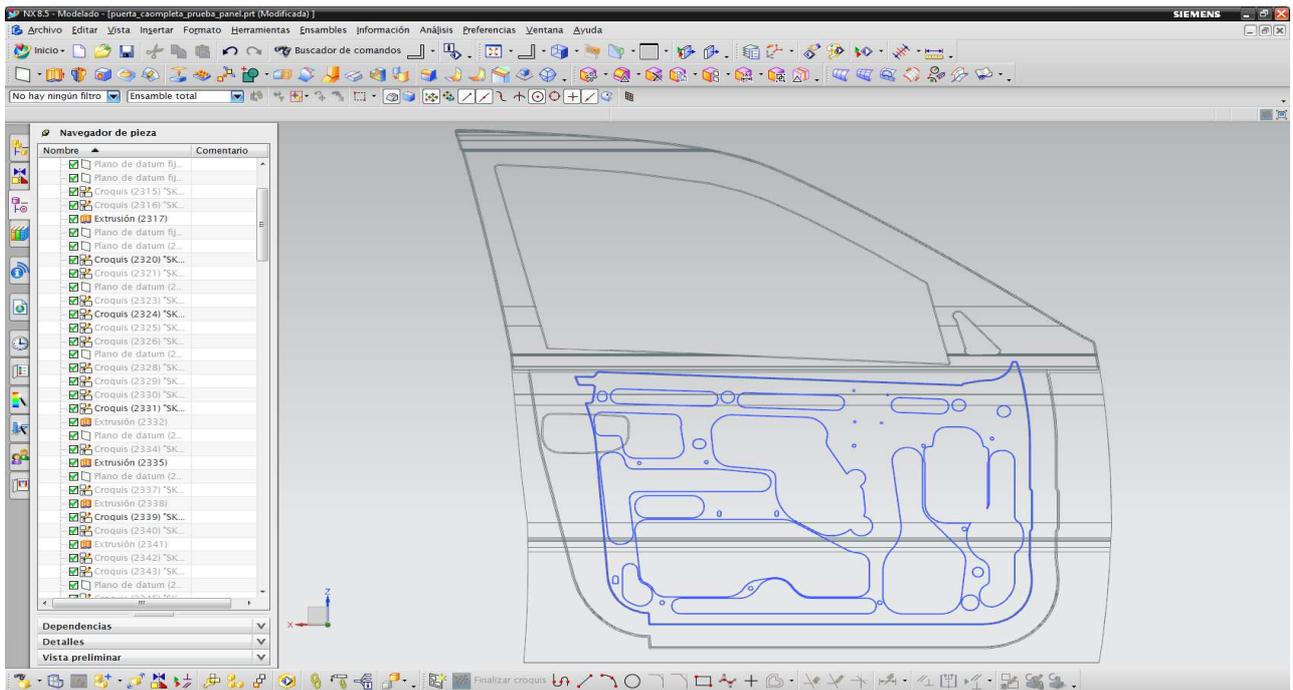


Figura 23: Vista posterior del croquis del panel de acceso componentes.

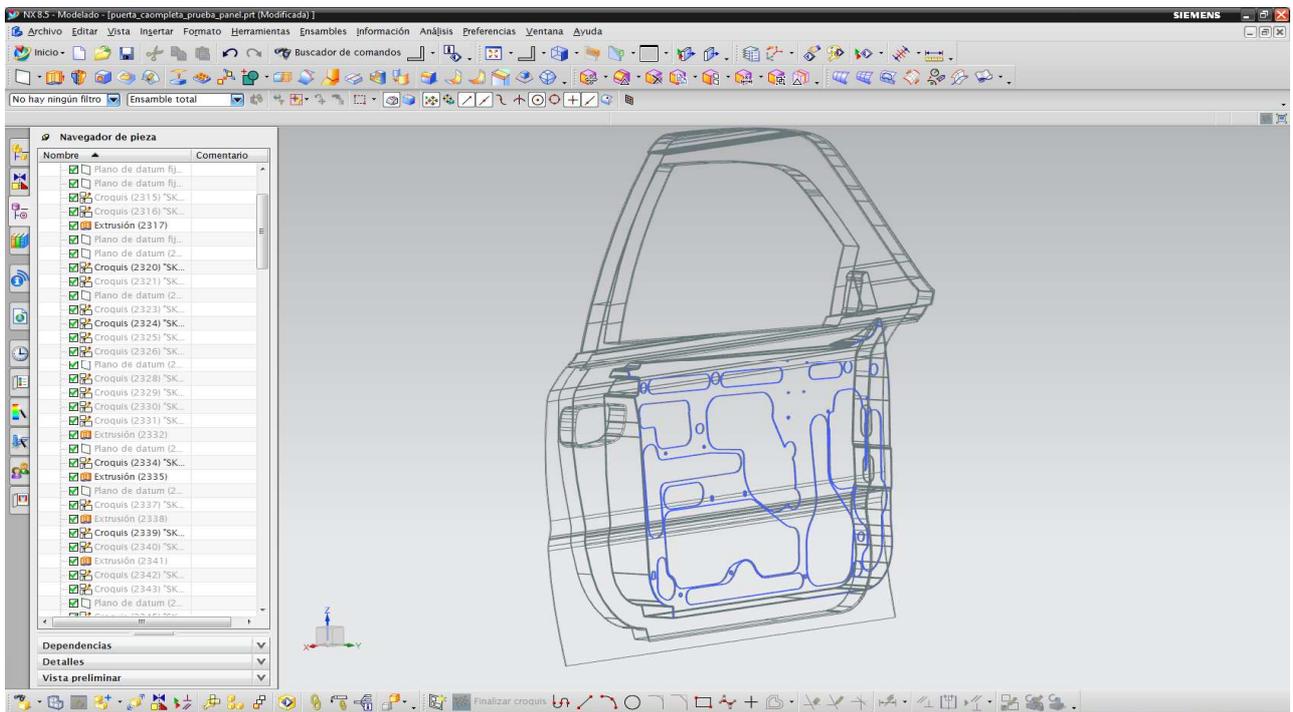


Figura 24: Vista trasera general

4. En este paso procederemos a realizar los croquis de otros elementos que forman parte de la puerta que hay que definir para el proceso de fabricación mediante la impresión Metálica en 3D. Estos elementos son, el espacio donde se ubicara la maneta de apertura de la puerta y su mecanismo, además de la ubicación para colocar la estructura del espejo retrovisor de la puerta. A continuación de muestra imágenes explicativas de este proceso.

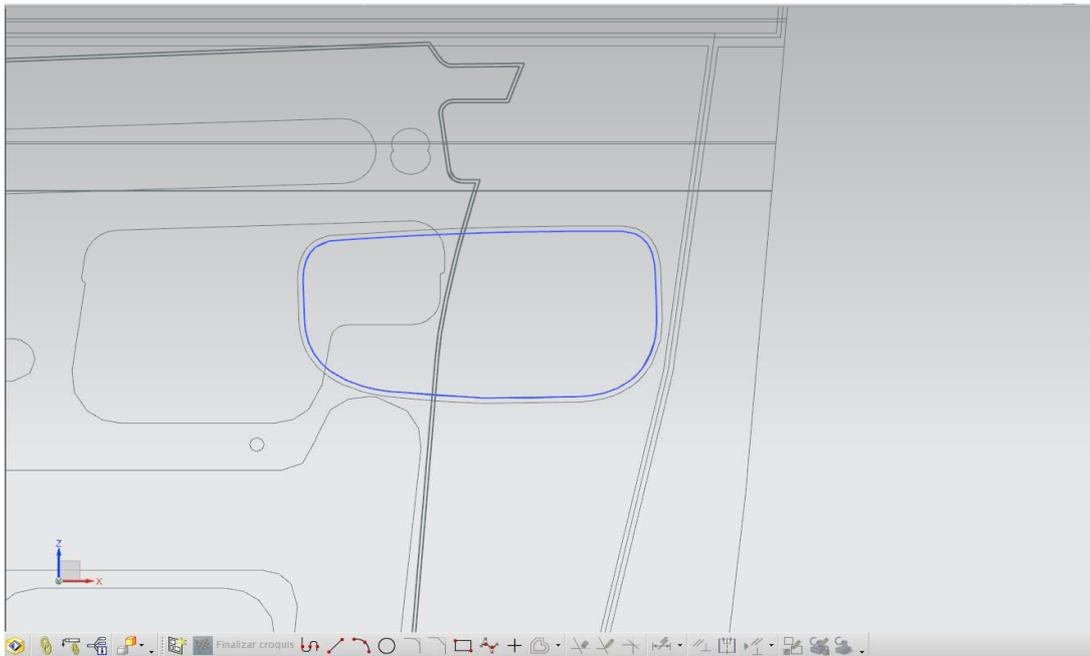


Figura 25: Croquis de la manilla de la puerta.

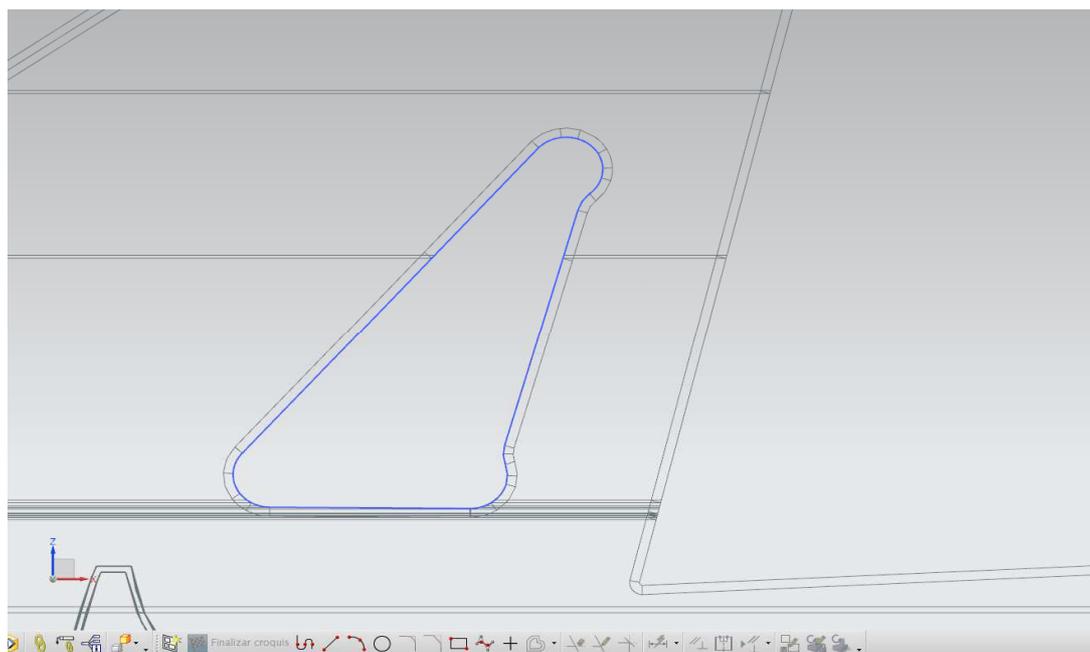


Figura 26: Croquis de la sección ubicación retrovisor.

5. Llegados a este punto tenemos definidos varios elementos constitutivos de la puerta, pero estos no son elementos sólidos, para hacer que estos elementos sean sólidos y puedan ser interpretados por el software como elementos reales debemos darles espesores. Para realizar esta operación en la pantalla principal utilizamos la herramienta **“Extrusión”**. Esta herramienta permite crear cuerpos mediante el barrido de una sección de curvas en una dirección lineal especificada y a una distancia determinada.

Una vez seleccionado el icono **“Extrusión”**, no aparecerá el cuadro completo de dialogo, los parámetros más importantes de este cuadro son: **“Sección”**, **“Dirección”**, **“Booleano”** Y **“límites”**. Utilizando estos parámetros podremos realizar la operación de extrusión según nuestros criterios de diseño.

A continuación se muestran una serie de imágenes donde se explica este proceso con diferentes componentes de la puerta y panel.

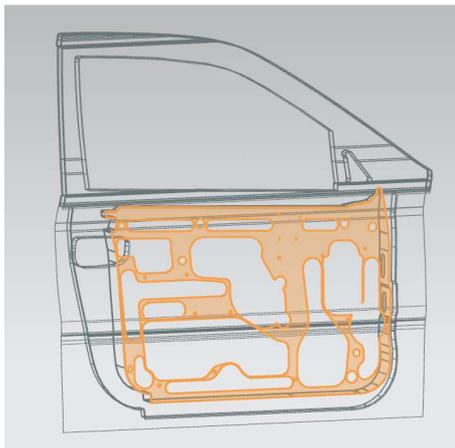


Figura 27: Extrusión del panel posterior.

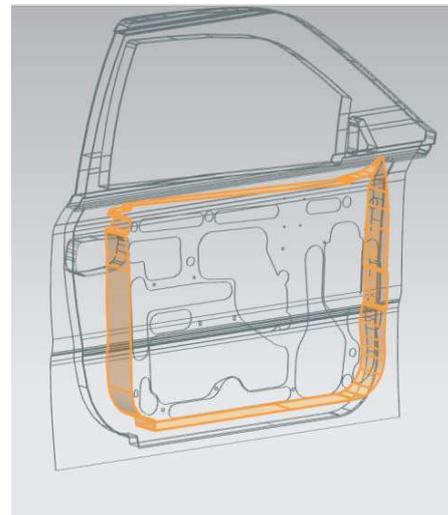


Figura 28: Extrusión lateral del panel posterior

En la primera imagen se ha realizado la operación de extrusión seleccionando el croquis generado con anterioridad, luego seleccionamos la dirección en este caso queremos realizar una extrusión perpendicular al plano de dibujo, elegimos el sentido y la distancia. Una vez realizado, el resultado es el de la imagen un cuerpo sólido.

En la figura siguiente se ha utilizado una variante para realizar el sólido, una vez seleccionado la operación de “extrusión”, se ha generado un nuevo croquis siguiendo el contorno del sólido anterior. De igual manera elegimos los parámetros de dirección, sentido y distancia y obtenemos el sólido de la imagen. De esta manera podemos darle una envolvente al sólido

De una de estas dos formas explicadas, procederemos a realizar todos los sólidos que necesitemos para realizar todas las partes que componen la puerta.

A continuación se muestran imágenes de los demás sólidos constituyentes del diseño.

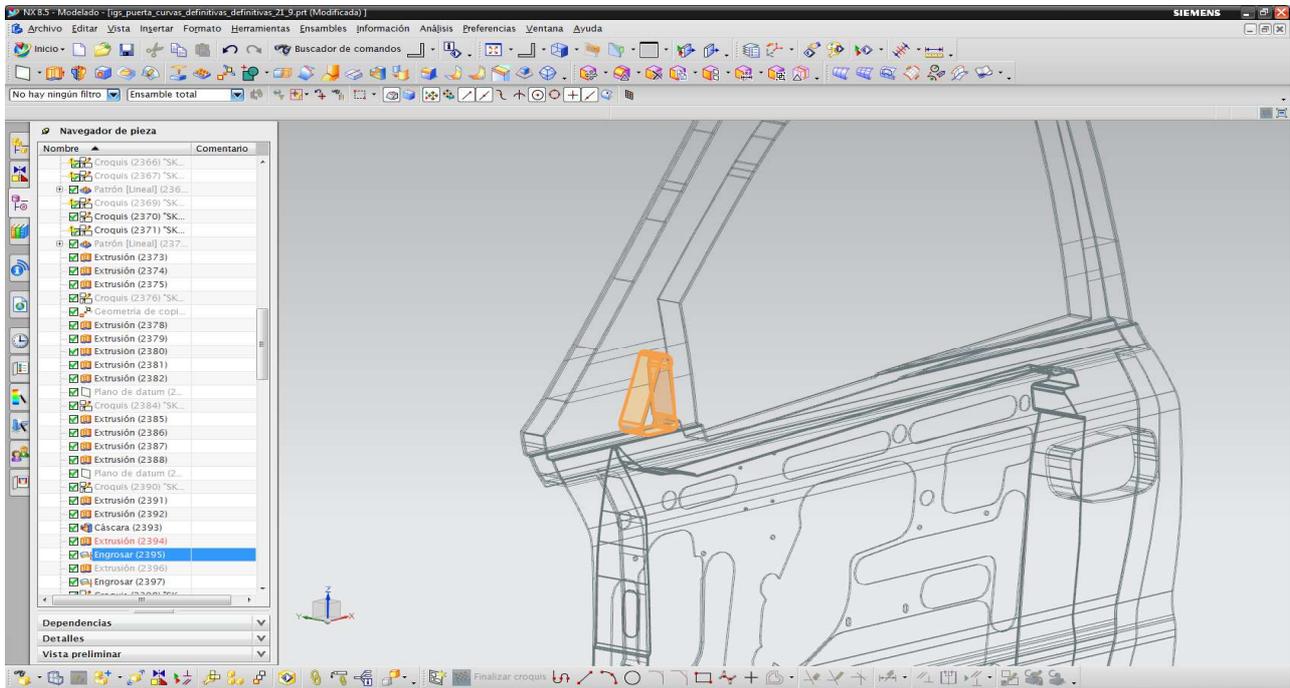


Figura 29: Vista de la extrusión del retrovisor.

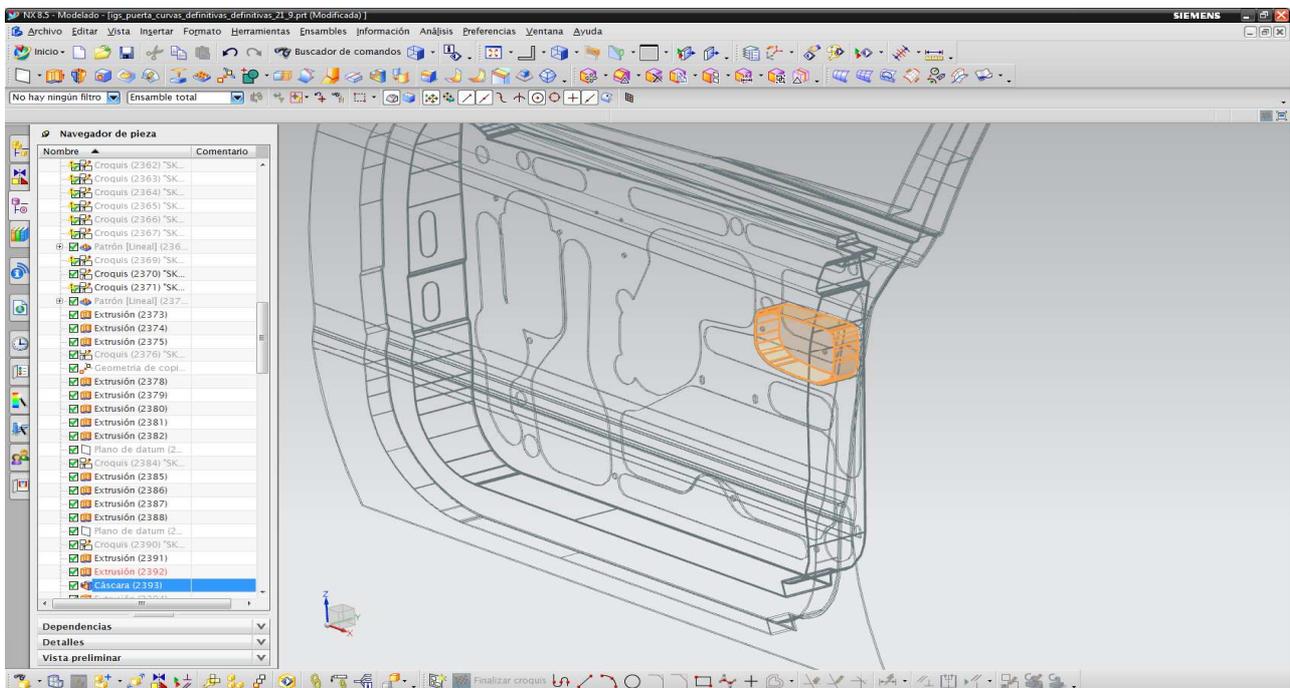


Figura 29: Vista de la extrusión de la manilla de la puerta.

6. Llegados a este punto el proceso de diseño de todos los componentes que integran la puerta ha terminado, pudiendo ver el resultado de todas las fases del diseño. A continuación se muestran unas imágenes con los resultados del diseño completo de la puerta.

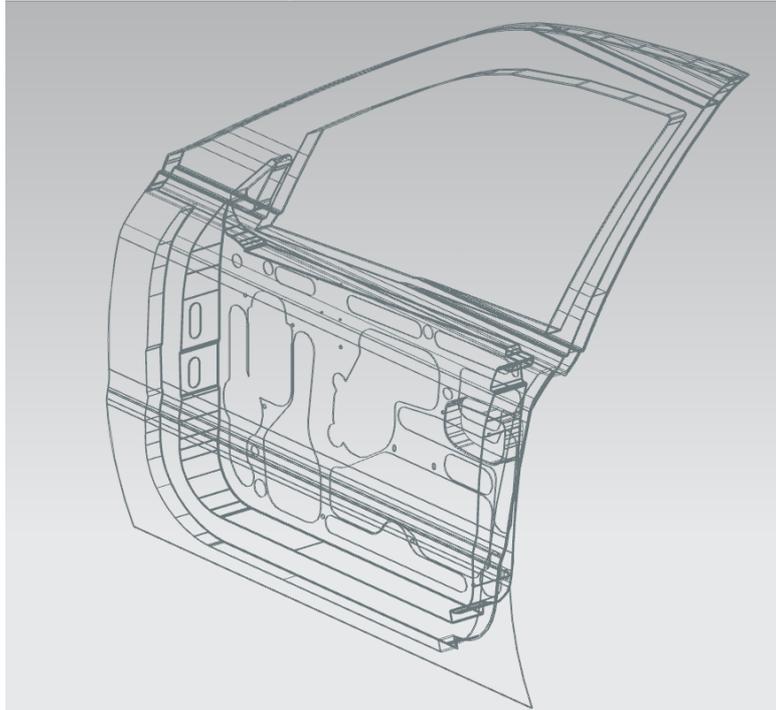


Figura 30: Vista inalámbrica frontal de la puerta completa.

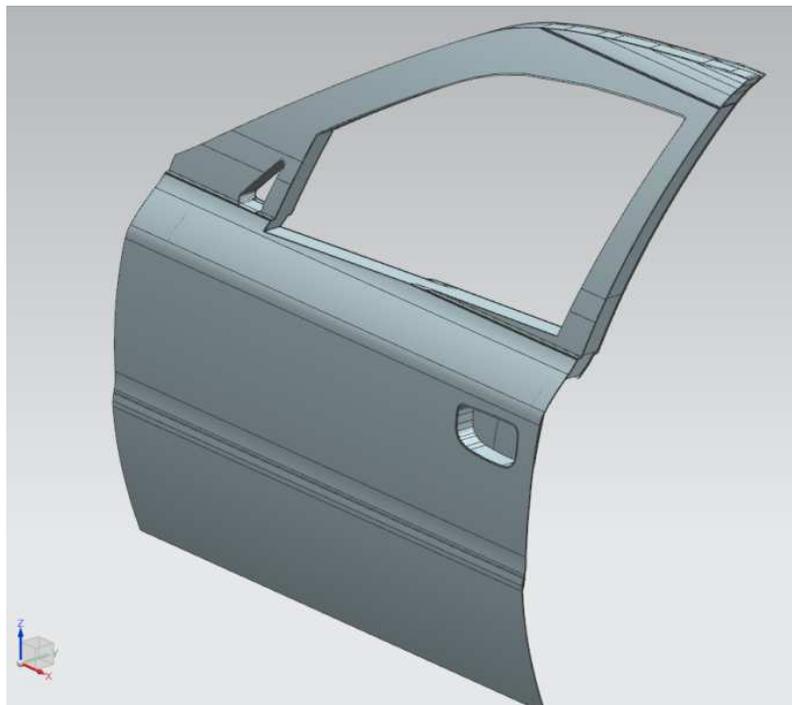


Figura 31: Vista frontal de la puerta completa.

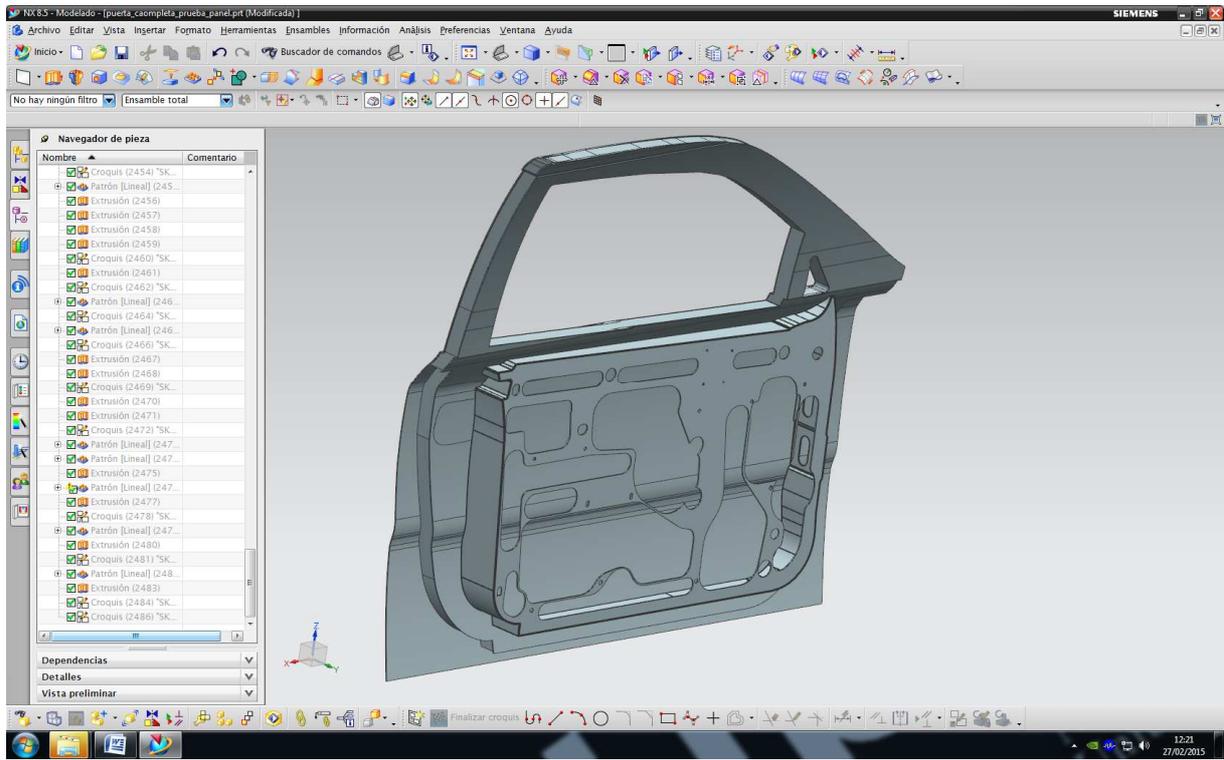


Figura 32: Vista posterior de la puerta completa.

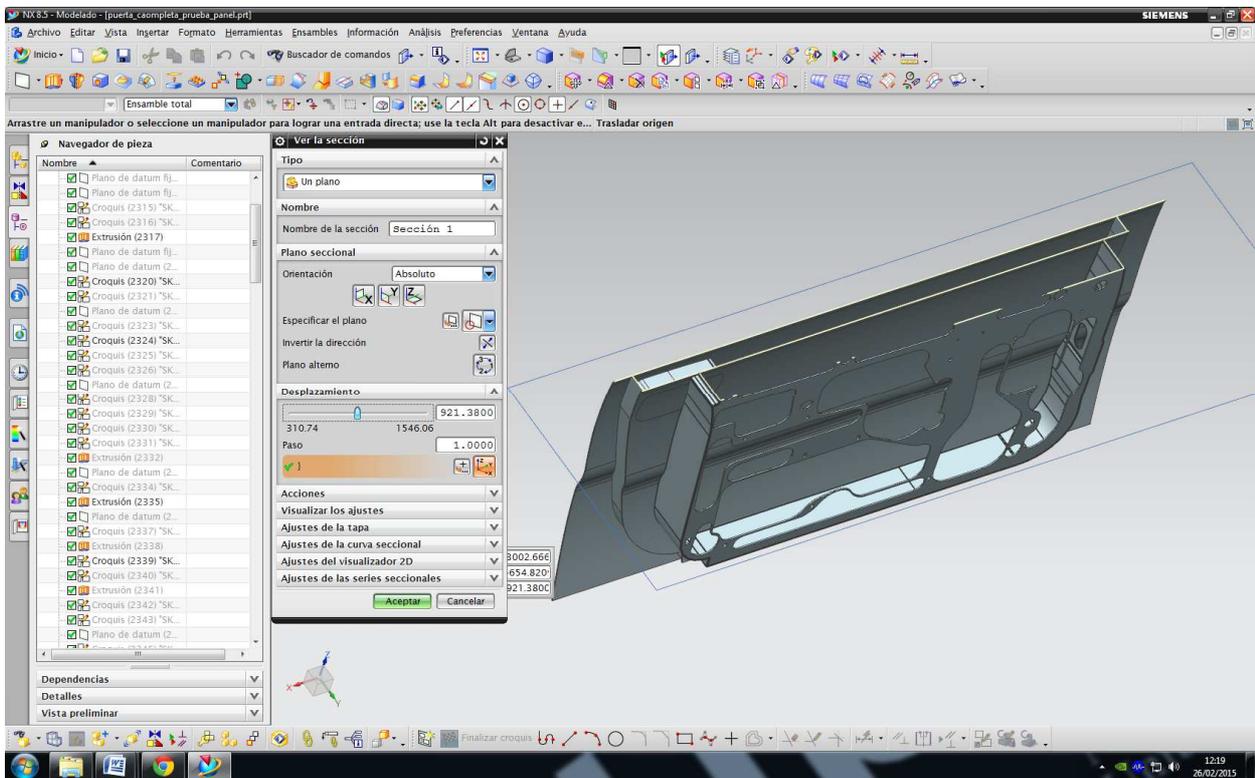


Figura 33: Sección horizontal plano XY

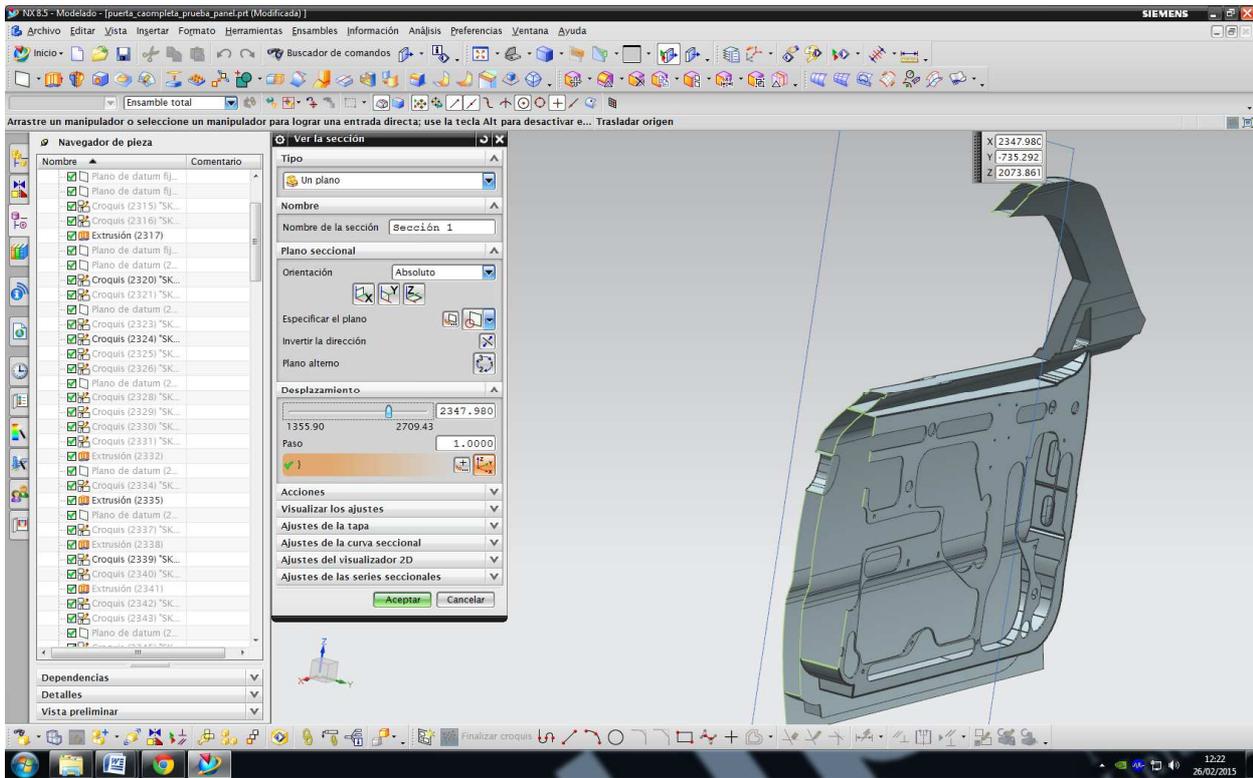


Figura 34: Sección vertical, plano YZ

7. Una vez realizado todos los pasos para definir la puerta del vehículo, tenemos que proceder a la incorporación de su elemento diferenciador, el alma estructural de la forma que se ha definido en el apartado anterior N° 8. Definición del sistema estructural del panel.

En este apartado se va explicar mediante imágenes los pasos realizados para incorporar el alma estructural a la puerta del vehículo. Para ello nos ayudaremos del espacio generado entre las dos pieles metálicas que forman parte de la estructura de la puerta, tal y como se puede observar en las figuras 33 y 34. En estas figuras se puede ver claramente el espacio reservado para incorporar la parte estructural a la puerta del vehículo, concepto explicado en apartados anteriores.

La metodología empleada para realizar este apartado es similar a la realizada en la descripción de la puerta del vehículo anteriormente vista.

Para Explicar este proceso me ayudare de imágenes explicativas, que ayudaran a entender los pasos seguidos.

En imagen siguiente figura 35, podemos ver inicio de la incorporación del alma estructural, partiremos de los conceptos explicados en el apartado N° 8 Definición del sistema estructural del panel.

Se parte de realizar una cuadrícula de 30 \*30 mm. Sobre las dos chapas metálicas que delimitan el espesor del panel, en este caso se ha optado por un espesor de 35 mm. Primeramente introduciremos las secciones cilíndricas de Ø 2 mm. De forma perpendicular a las dos superficies metálicas, siguiendo en todo momento su diseño. Este paso se realizara a lo largo de toda la superficie entre las dos pieles metálicas.

Acabado este paso, deberemos introducir las de mas secciones que formaran la geometría completa de la estructura del panel, consiguiendo la incorporación dota a la puerta de un incremento de su función estructural.

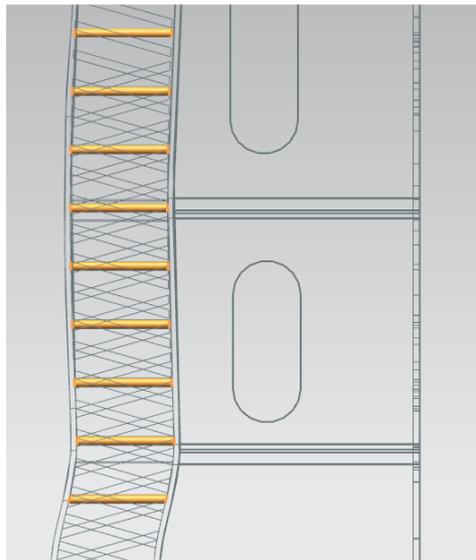


Figura 35: Sección vertical de panel estructural.

A continuación se muestran de forma resumida los pasos seguidos para realizar la estructura completa del panel.

En la imagen se la figura 36 y 37, se observa cómo se van añadiendo más secciones con direcciones diferentes, para ir completando la geometría completa de la estructura del panel.

8. Una vez concluido este último paso, la geometría de la estructura del panel estará finalizada, dando por finalizado el diseño completo del panel y de la puerta. A continuación se muestra una imagen del diseño completo.

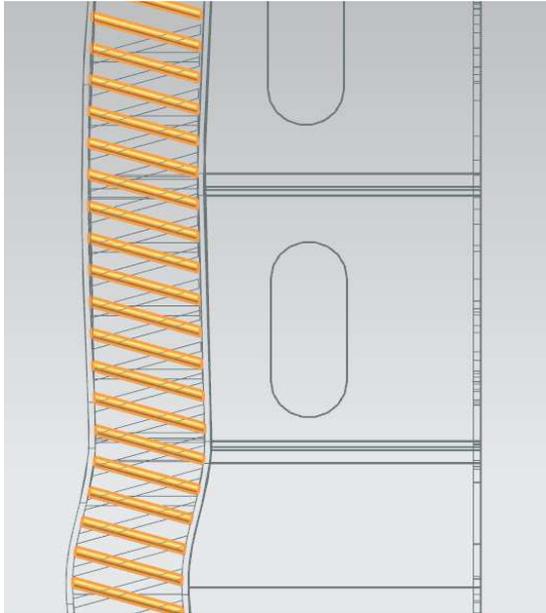


Figura 36: Sección de la estructura del panel.

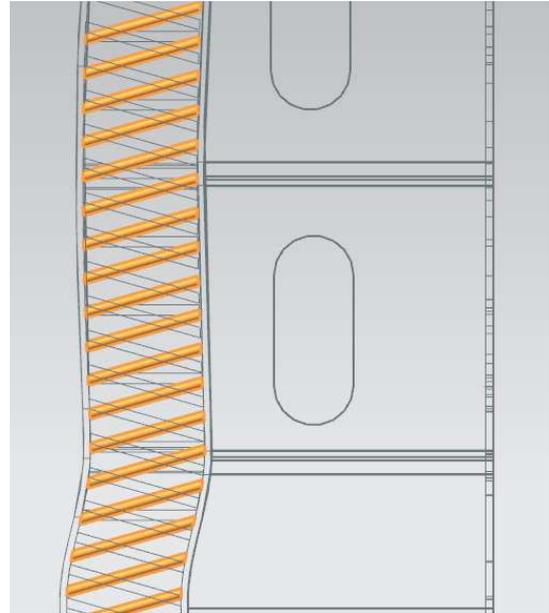


Figura 37: Sección de la estructural del panel.

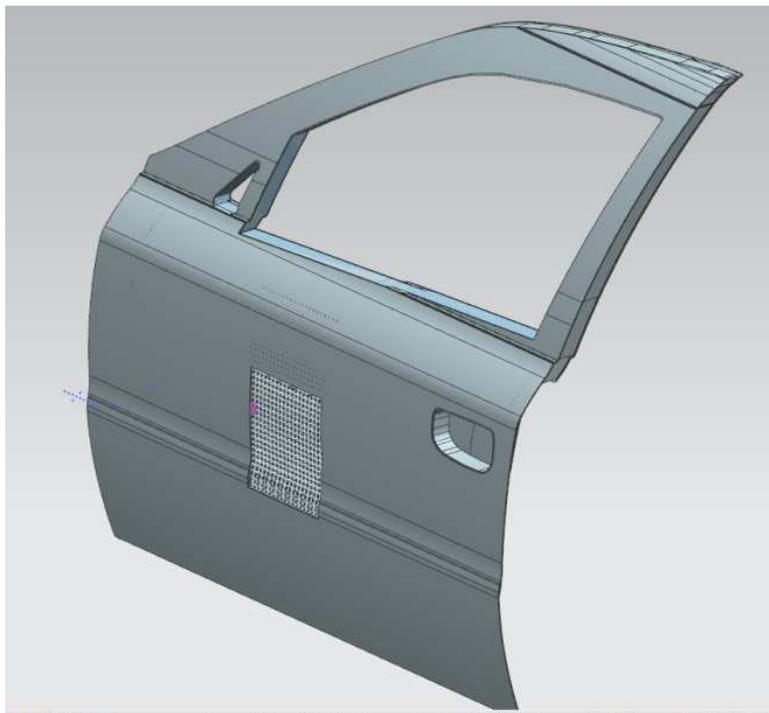


Figura 38: Vista y detalle de la puerta y el panel estructural.

## 10. CALCULATIONS AND STRUCTURAL ANALYSIS USING ANSYS.

### WHAT IS ANSYS

Ansys is a simulation software to predict how a given object will work and react under a real environment. ANSYS is an engineering simulation software, and is developed to operate under the theory of finite elements for structures and finite volume for fluids

### STRUCTURAL SIMULATION OF THE PANEL

The aim of this section is to explain step by step the simulations performed to the panel to determine the own structural behaviour subject to different forces and boundary conditions (support, embedment).

1. When starting the program on your computer, the following screen appears, as you can see in the picture below:

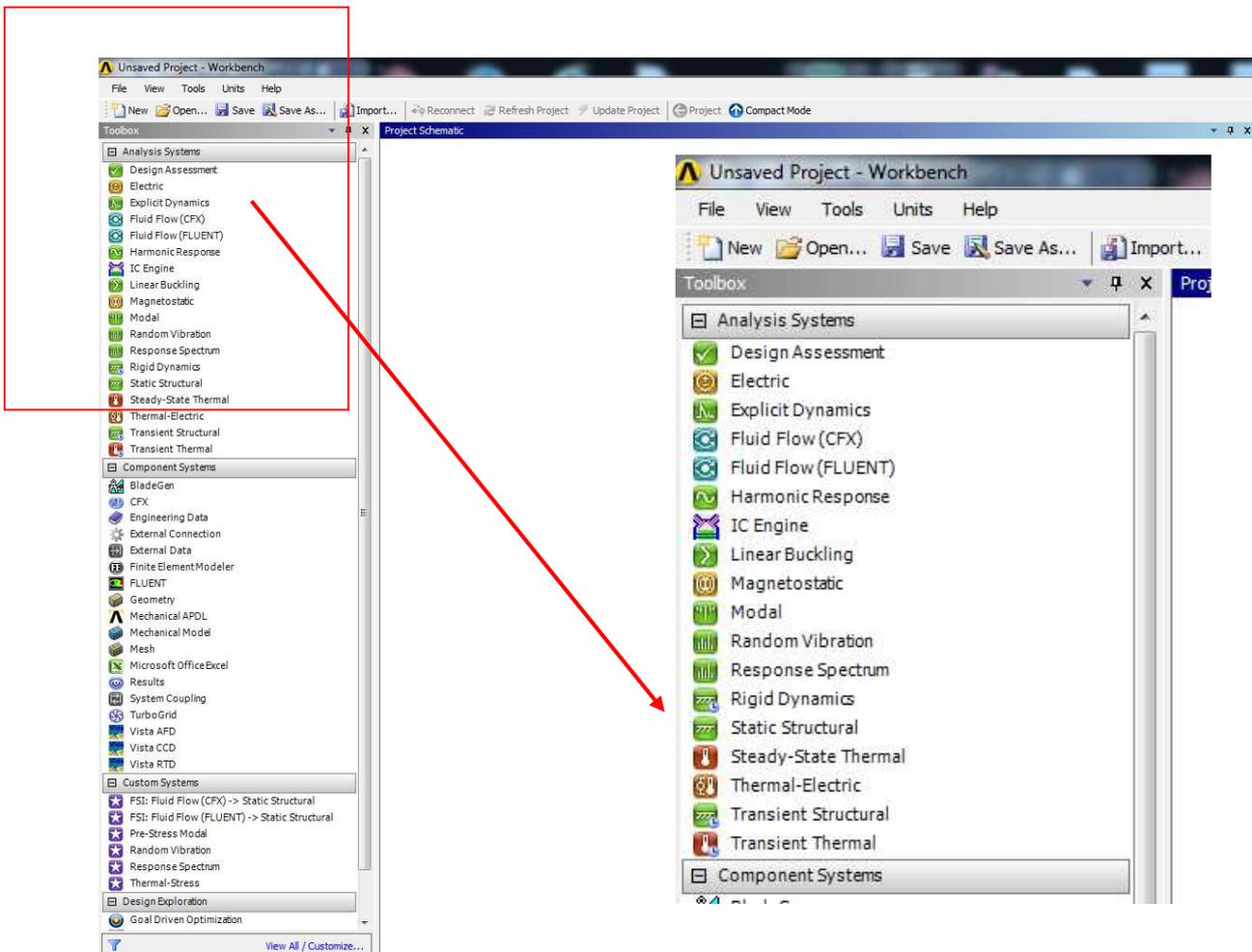


Figura 39: Pantalla de inicio software de elementos finitos ANSYS.

2. The right side we can see a menu where particular simulation options appear. In this case we choose the "**Static structural**" option as it corresponds to the simulation of static charges, which checks the structural strength of the panel to study, as you can see in the picture:

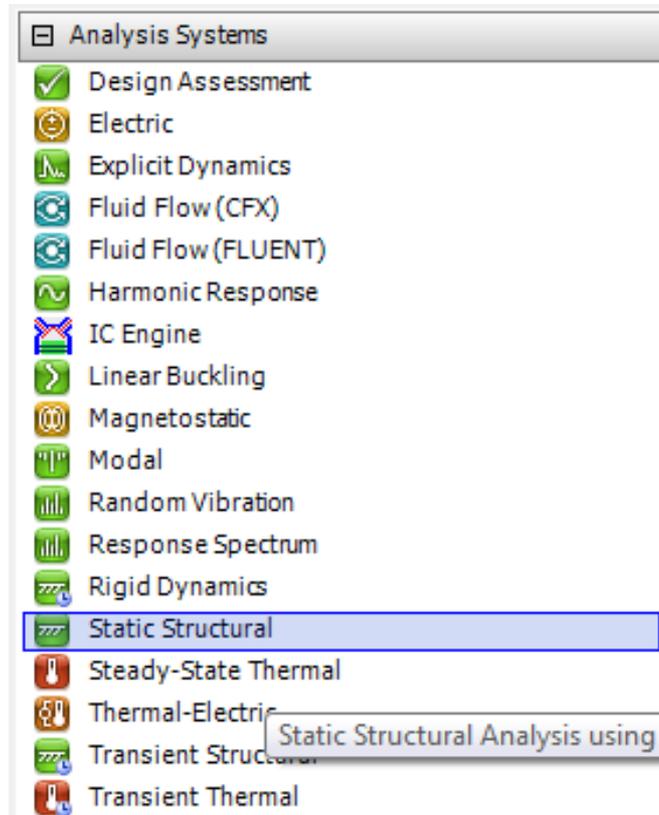


Figura 40: Opciones de simulación, software de elementos finitos ANSYS.

In the central part of the screen will appear us a table with options to insert to perform the complete simulation, as you can see in the picture below.



Figura 41: Esquema de las operaciones a realizar, software de elementos finitos ANSYS.

- What we have to do is insert the geometry of the panel that we have generated by the 3D software used in this case NX with STP extension. We are going to the "**Geometry**" tab - "**Import Geometry**" - "**Browse**", we choose the file corresponding to our panel. Once imported geometry, the scheme icon "Geometry" will appear a green mark, indicating that the geometry is loaded correctly. Below are images that explain these steps to follow:

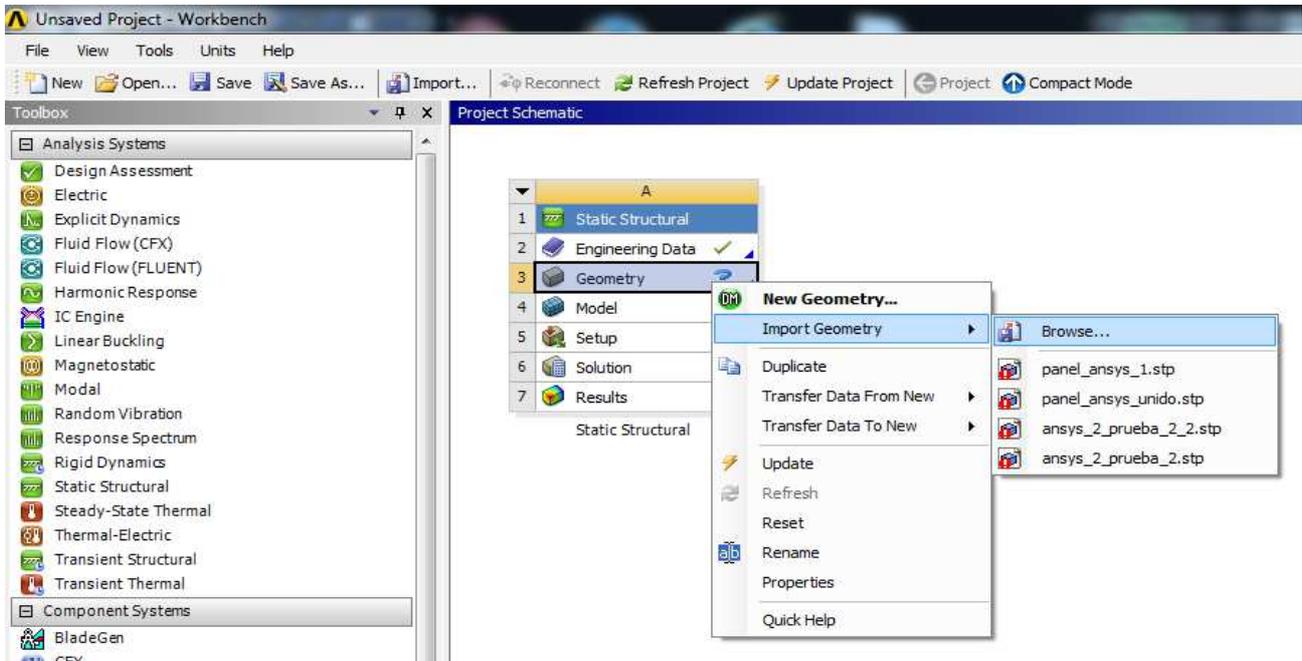


Figura 42: Esquema para la importación de los modelos 3D, software de elementos finitos ANSYS.

- In this step we have to go to paragraph outline "**Model**" \_ "**Edit**". This section opens a new window. It is in this new window where we have to enter all simulation variables we want to make to the panel

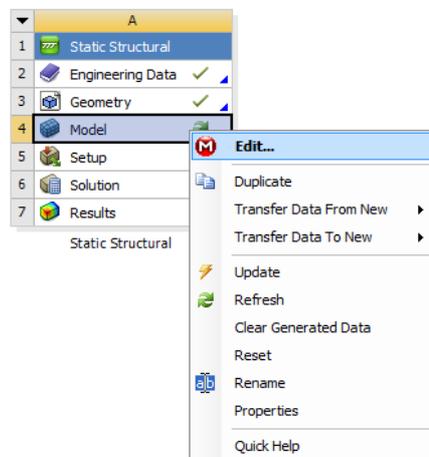


Figura 43: Apertura de inicio de condiciones de simulación.

- Now we can see the geometry of the panel to simulate. On the right side we can see that there is a scheme with different options to be completing, in this way we will take all the steps to complete the simulation.

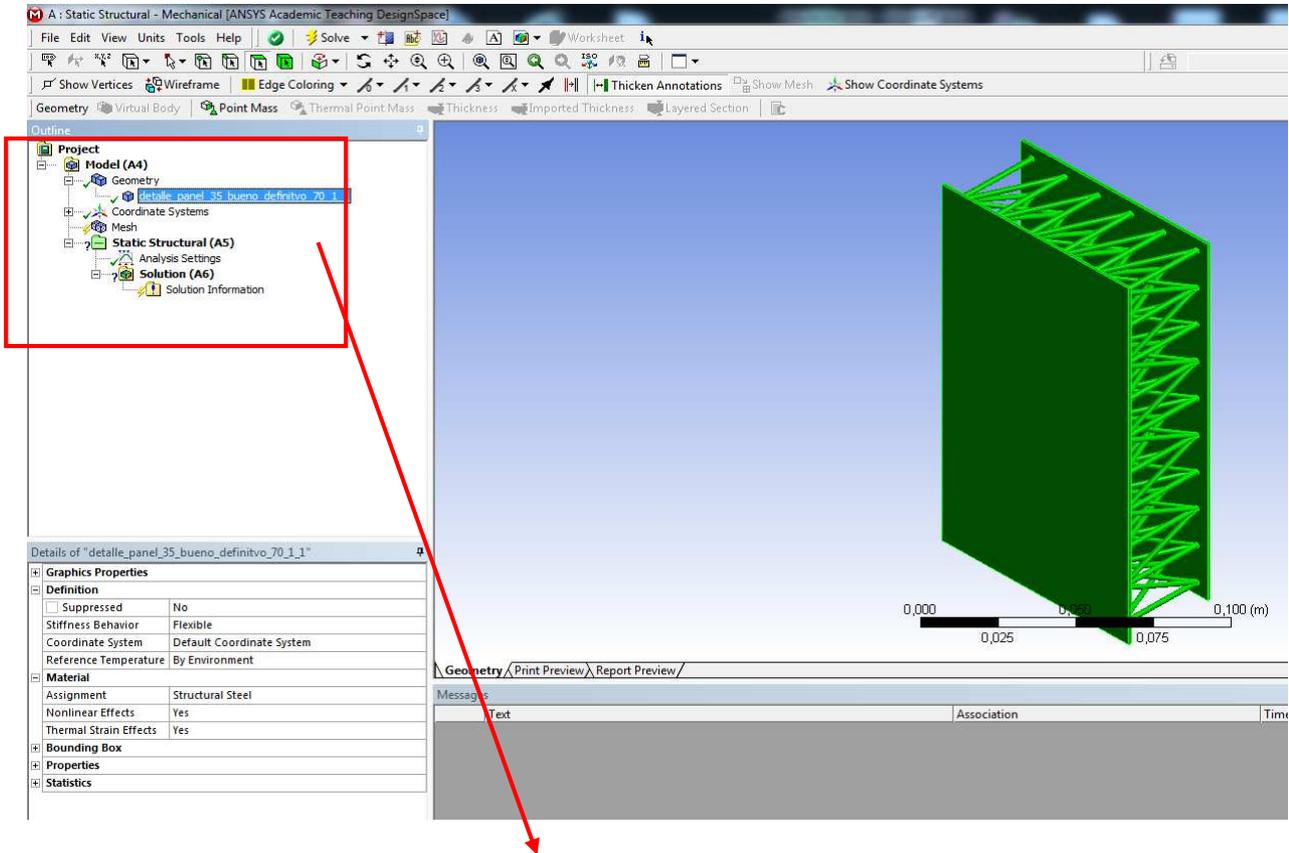


Figura 44: Imagen de introducción del modelo 3D.

As you can see in these images, importing geometry has been performed correctly, as a green mark appears, if this does not happen indicate that the geometry contains errors and should return to the design process to rectify.

6. Now is the time to enter the parameters of "**Malla**" \_ "**Mesh**". In the bottom right we have a scheme to modify the values of the mesh generation according to the simulation we want to perform, in this case we will use a mesh like "**Mechanical**". One of the most important parameters to consider is the "**Relevance**", this parameter indicates the precision with which you want to make the mesh, the default is tabulated at 0, and has a range of  $\pm 100$ , to more rank more definition.

In this simulation was chosen parameter -100, because if another range is used, the program and computer ran out of memory to generate the mesh, it is due to such a large number of elements of the geometry.

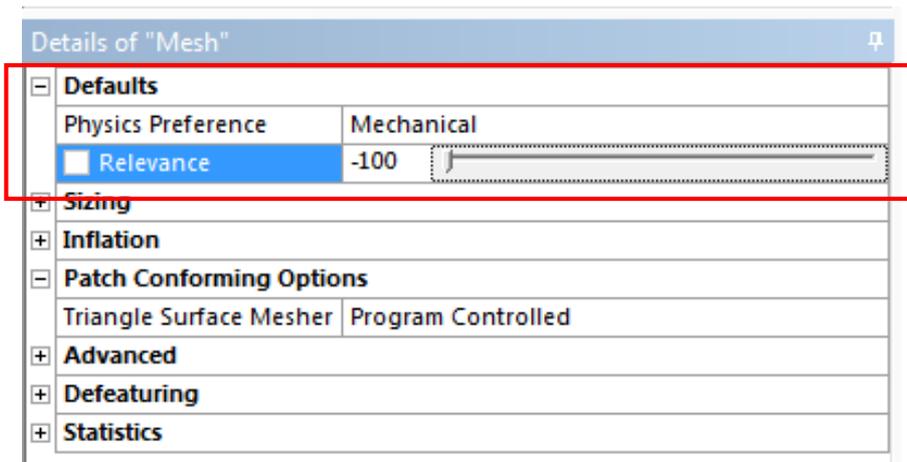


Figura 45: Opciones de configuración para generar la malla.

After completing these steps, we can generate the mesh, so we must go to the diagram on the right part, to press in "**Mesh**" \_ "**Generate Mesh**". This option can take some hours depending on the geometry used for the simulation. In the pictures below you can see the steps to take.

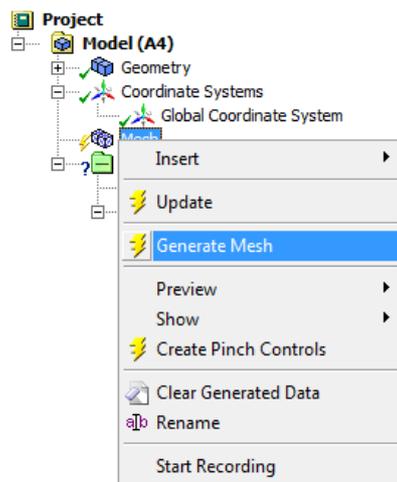


Figura 46: Imagen de generación de la malla.

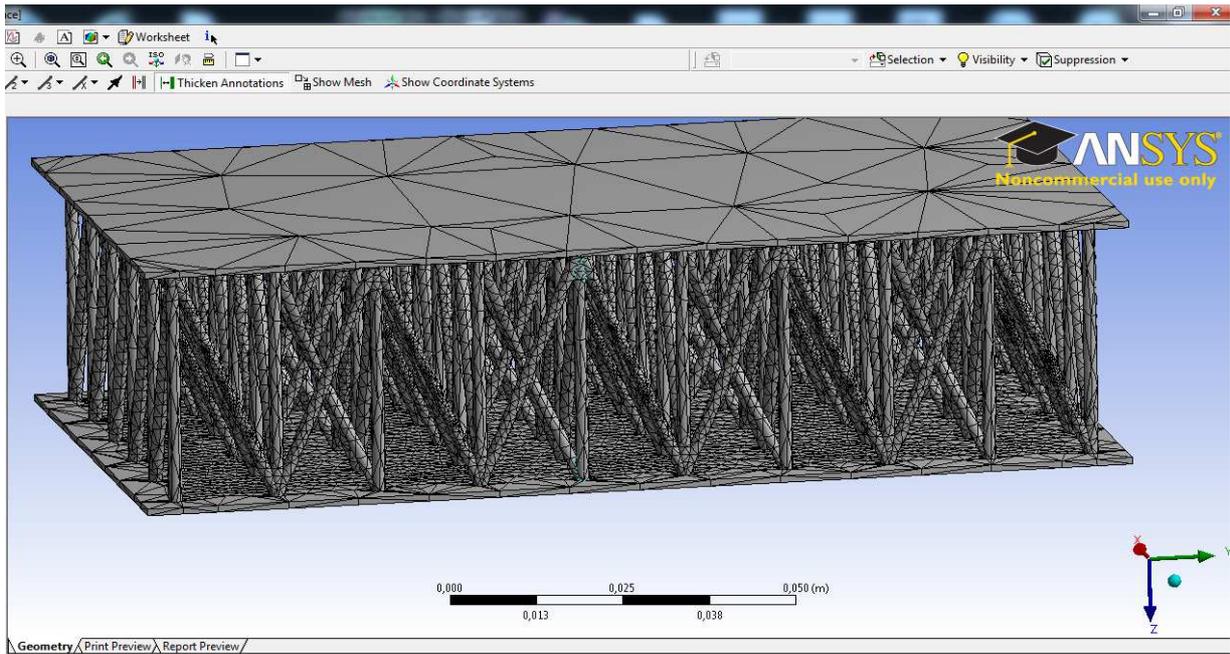


Figura 47: Imagen de la malla generada.

In this picture we can see how Ansys decomposed geometry in a triangulated mesh, the mesh will be used for all calculations and simulation processes.

As can be observed depending on the size and complexity of the geometry, Ansys takes a more or less dense meshing depending the needs of the imported geometry.

7. Then we must to define the loads or forces acting on the panel, the piece can be subjected to different types of loads, either a pressure on a surface, a force on a surface or a point force.

To define the loads, we will make the following steps, in the scheme of the top right we select **"Static Structure" \_ "Insert" \_ "Force"**.

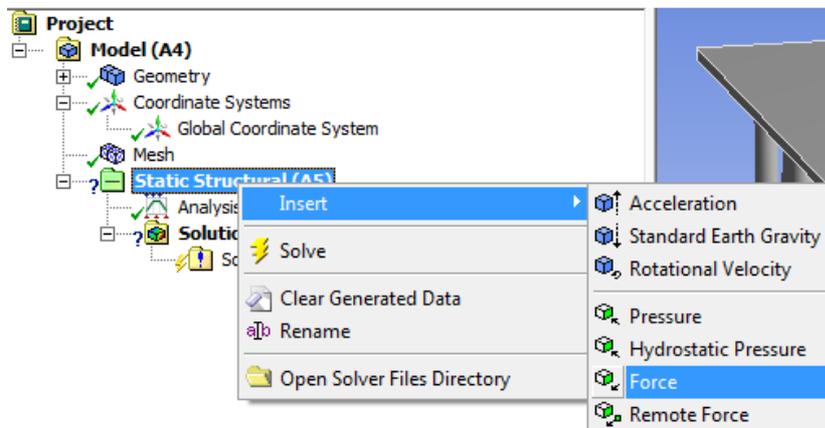


Figura 48: Aplicación de la fuerzas sobre el modelo.

Now we have to choose the surface where we want applied the force, which in this case will be a force on the upper surface evenly applied. Later we will introduce more strength to make comparisons between simulations. Below are several explanatory images of this step.

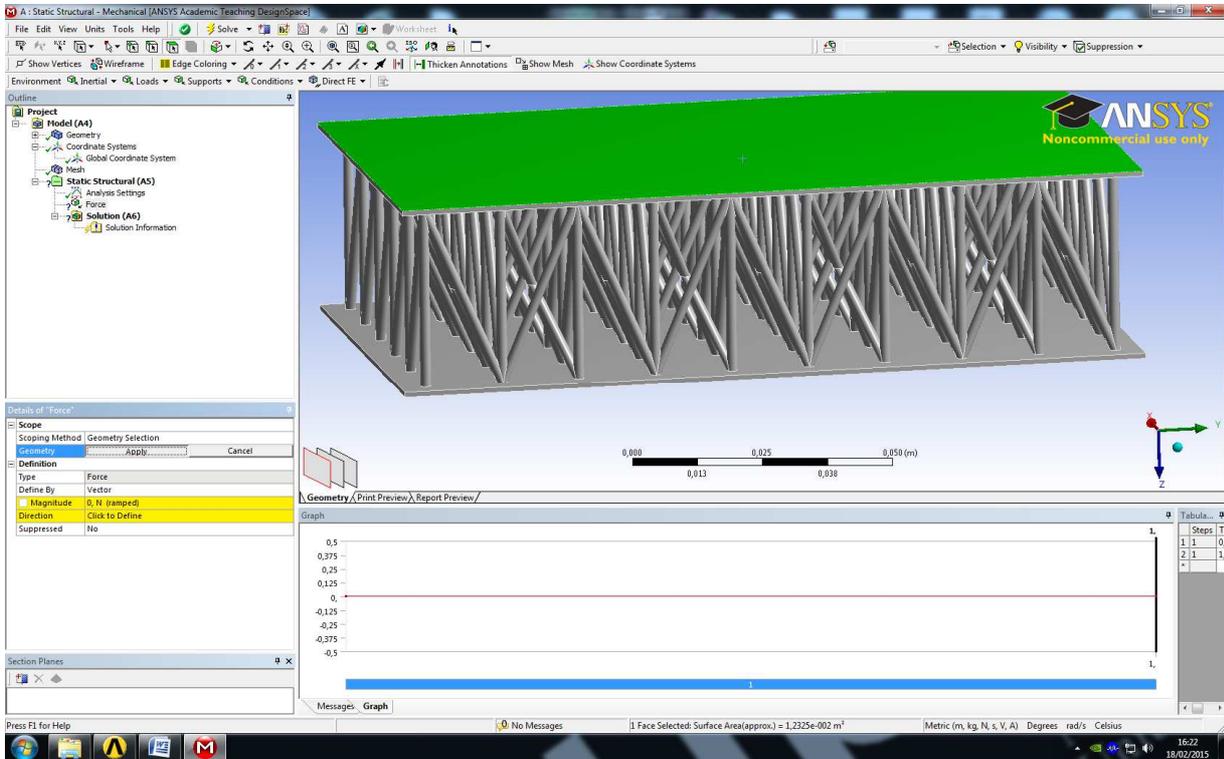
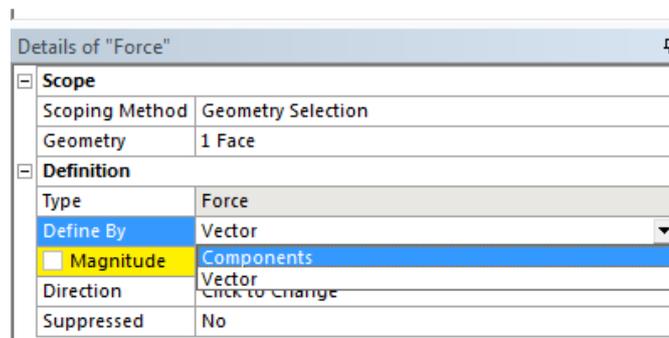


Figura 49: Superficie y distribución de la Fuerza.

After entering the force, we must define its magnitude and direction, Ansys allows to do it in two ways, by defining force by means of a vector or by its components X, Y, Z. In this case we have chosen to enter values using the components X, Y, Z, as it is a simple and clear way to do it.

First we select at the side bottom right "Magnitude" \_ "Components", we introduce the values in each direction, in this case it was decided by a force perpendicular to the surface, a value of 30,000 N (3,000 kg). Then several explanatory images are displayed.



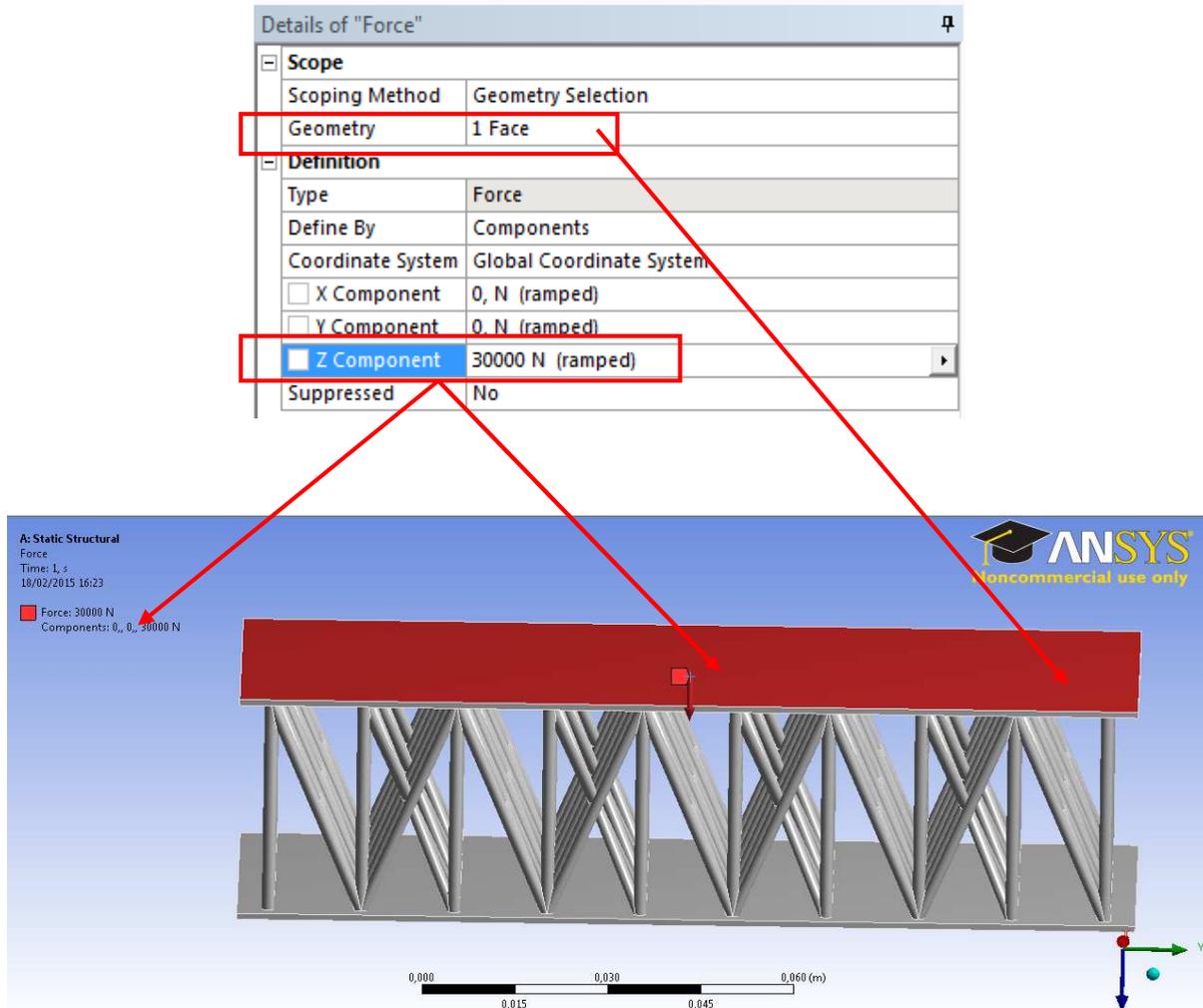


Figura 50: Dirección, sentido y magnitud de la fuerza.

8. In this step the support points are defined or points which remain fixed to apply force. Ansys allows you to choose different types of support, choosing the one that best suits the real situation that shall be subject the panel in the simulation.

In the upper right we click on "**Static Structure**" \_ "**Fix Support**", we selected the surface we want to remain fixed, in this case the lower surface of the panel. We opted for this type of support because I think that is better suited to the actual conditions. (Later different types of support will be introduced to make a comparison of the simulations.)

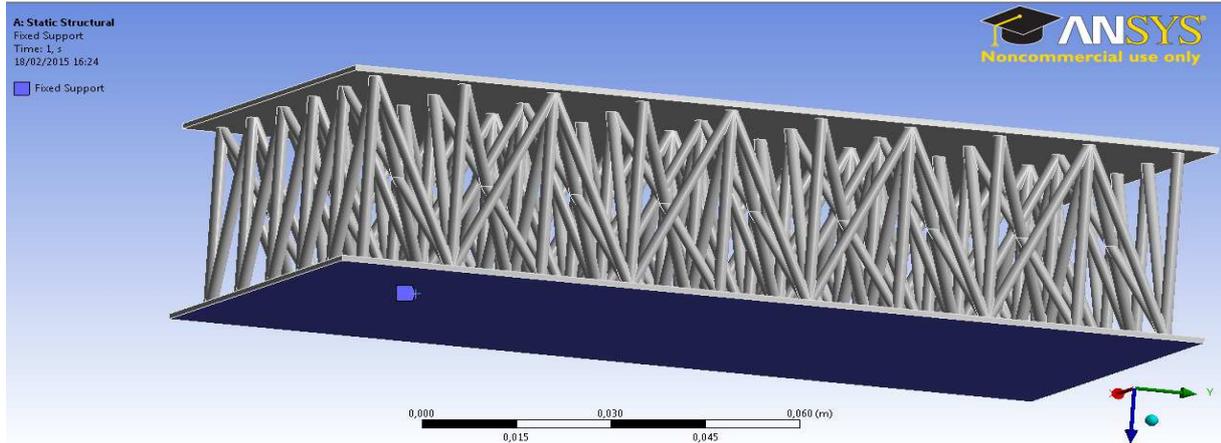


Figura 51: Superficie de fijación.

- Once defined all the above parameters, we need to define the materials of the model. To do this, Ansys has a library of materials each with its characteristic properties. To choose the material we have to perform the following steps.

First you'll have to return to the initial window of Ansys and press in "**Engineering Data**", as shown in the following image.

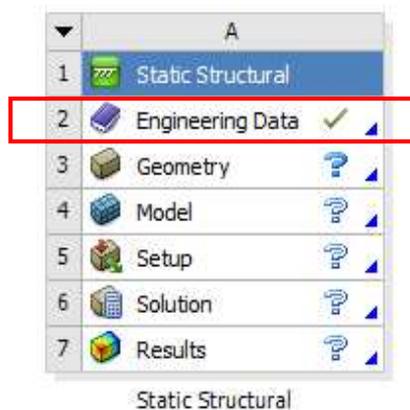


Figura 52: Herramienta para modificarlos materiales.

So, in this way, we entered the library-owned materials Ansys within this library can choose different types of materials, properties, and even modify them. After choosing the materials we press "**Refresh Project**", Ansys will upload the selected materials that they are available to define the panel material. In our case we have chosen two types of materials, "Structural Steel" and "Aluminum alloy". A series of explanatory images of this process is shown.

Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	Structural Steel	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Aluminum Alloy NL	<input type="checkbox"/>	General Materials Non-	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
5	Structural Steel NL	<input type="checkbox"/>	General Materials Non-	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
6	Aluminum Alloy	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
*	Click here to add a new material			

Figure 53: Selección de materiales.

Having defined the material and its properties, we have to introduce it in the model for simulation, to do this we press in the top right "**Geometry**", expand and press on the filename. As shown in the following image.



Figura 54: Asignación de material al modelo 3D.

Now, if we go to the schema located in the bottom left we see in "assignment" that the established material is "Structural Steel", we click on it and we will appear materials previously loaded and can set the material's properties to the panel to do the simulation.

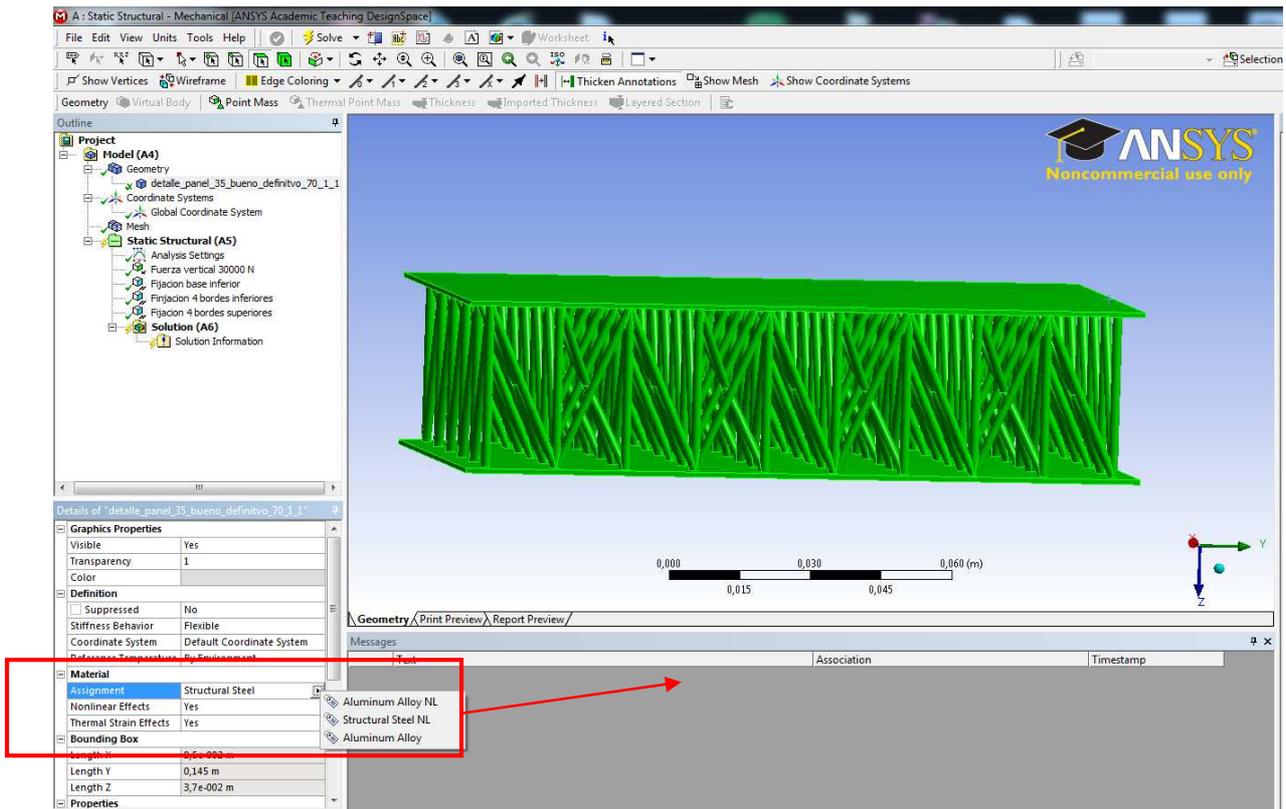
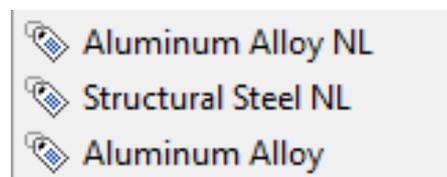


Figura 55: Selección de materiales definidos.

10. Having performed all the steps above, we only need to perform the simulation, and view the results in order to obtain the conclusions of the simulation. To perform this last step we have to go to the menu at the top right and press on **"Solution"**. Once obtained the solution, Ansys allow us to obtain independent results, that is to say only we will get the results we indicate as the suppositions established for our simulation. For this simulation, we considered four parameters of solutions, **"Equivalent Elastic Strain"** **"Equivalent Stress"** **"Total Deformation"** and **"Directional Deformation"**. Then this process explanatory illustrations is shown.



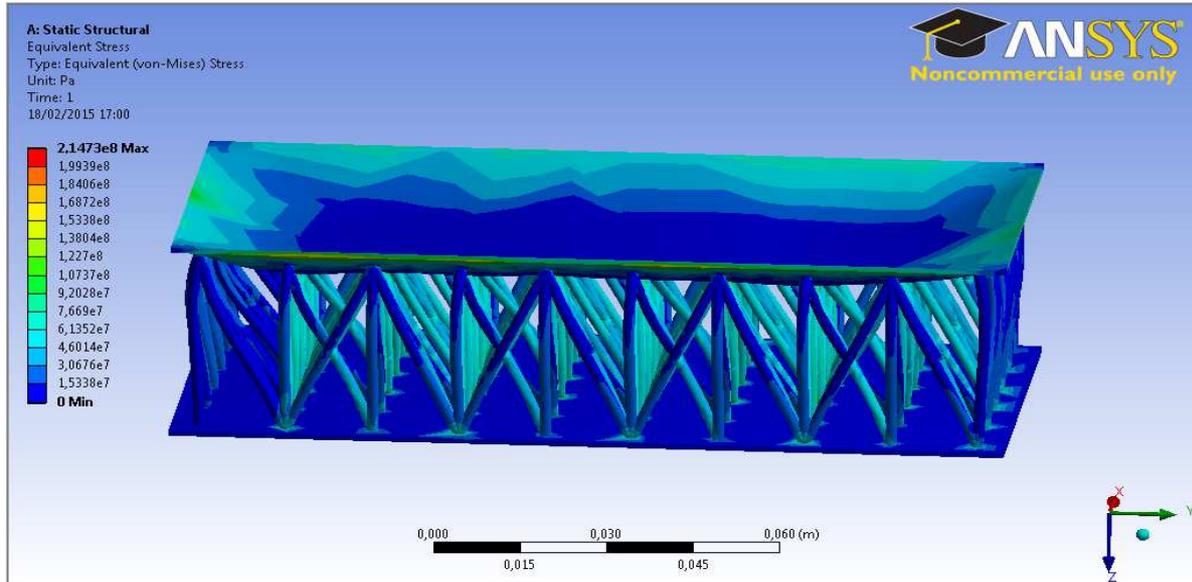


Figura 56: Imagen de la distribución de la Tensión Equivalente.

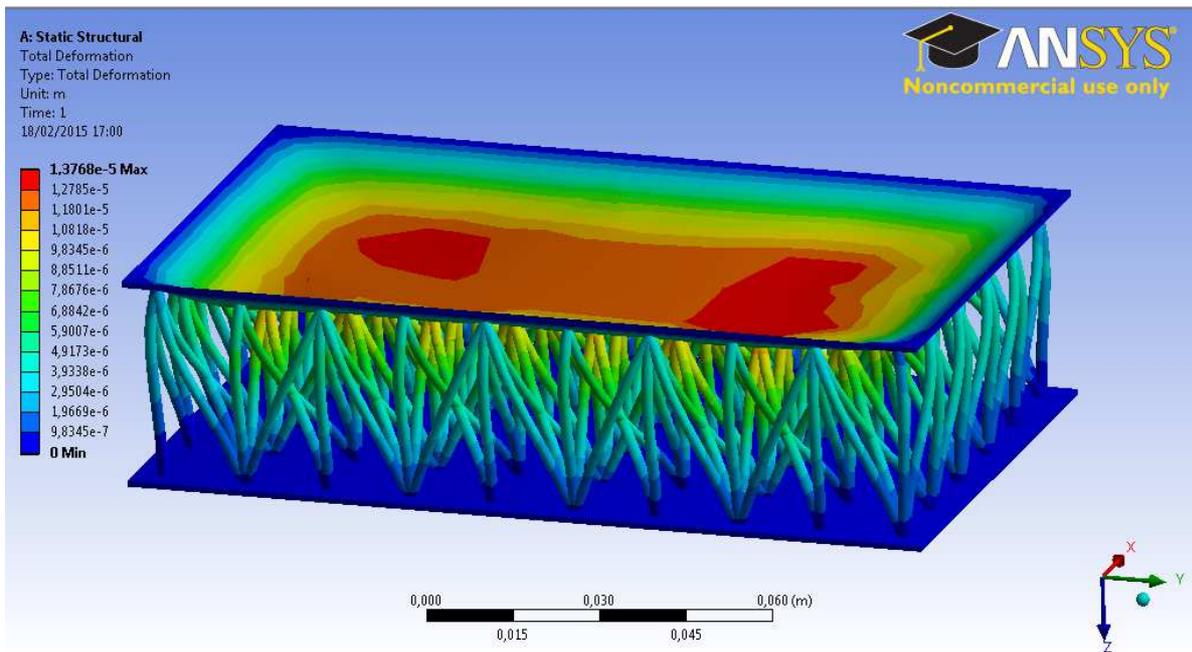


Figura 57: Imagen de la distribución de la deformación total en eje Z.

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

En este apartado se va explicar las simulaciones realizadas mediante ANSYS, y el análisis de los resultados obtenidos realizando una comparativa entre una porción del panel y una porción de una puerta convencional.

Las hipótesis de las simulaciones se han establecido sobre una parte del panel estructural, y no sobre la puerta completa, debido a la imposibilidad de realizar los cálculos necesarios con los equipos utilizados, ya que, para estos casos se debería contar con una licencia profesional y no académica, como es el caso de la Universidad Pública de Navarra.

Estas simulaciones se han establecido sobre una porción del panel estructural cuyas dimensiones son 8 x 14 cm. Se ha optado por este tamaño por dos razones, la primera es una sección rectangular, siguiendo el patrón geométrico del panel de la puerta, y la segunda debido a que es la mayor superficie que se ha podido obtener soluciones en las simulaciones realizadas en ANSYS.

Se van a realizar dos simulaciones, en las que se van a recrear las condiciones ideales que simulen el comportamiento real que sufriría la puerta de un vehículo durante un impacto lateral.

### 1. Simulación estructural del panel estableciendo las siguientes condiciones.

- Fuerza aplicada: 30000 N – 3000 Kg, con una dirección perpendicular a la superficie de contacto, simulando un impacto lateral.
- Material: acero estructural con una resistencia a tracción de valor  $2,5 \times 10^8$  Pa y una resistencia a rotura de valor  $4,6 \times 10^8$  Pa.
- Condiciones de fijación: Apoyo en los 4 bordes de la piel inferior y superior simulando un apoyo en todo el contorno de puerta.

### 2. Simulación estructural del panel estableciendo las siguientes condiciones.

- Fuerza aplicada: 30000 N – 3000 Kg, con una dirección perpendicular a la superficie de contacto, simulando un impacto lateral.
- Material: acero estructural con una resistencia a tracción de valor  $2,5 \times 10^8$  Pa y una resistencia a rotura de valor  $4,6 \times 10^8$  Pa.
- Condiciones de fijación: Apoyo en los 4 bordes de la piel inferior, simulando un apoyo en la parte interna de la puerta.

### 3. Simulación estructural de una chapa estableciendo las siguientes condiciones.

- Fuerza aplicada: 30000 N – 3000 Kg, con una dirección perpendicular a la superficie de contacto, simulando un impacto lateral.
- Material: acero estructural con una resistencia a tracción de valor  $2,5 \times 10^8$  Pa y una resistencia a rotura de valor  $4,6 \times 10^8$  Pa.
- Condiciones de fijación: Apoyo en los 4 bordes de la piel inferior y superior simulando un apoyo en todo el contorno de puerta.

Para introducir las condiciones de la simulación se realizara siguiendo los pasos establecidos en apartado anterior N° 10 cálculo y análisis estructural mediante ansys, En este apartado solo se van a mostrar los resultados obtenidos en las simulaciones.

### 1. Resultados de la primera simulación.

A continuación se muestran los resultados obtenidos siguiendo las hipótesis marcadas para el punto N° 1.

En la primera imagen se muestra la distribución de esfuerzo “**Equivalent (von Mises) Stress**”, que muestran las tensiones a las que está sometida esta porción de panel. Como se puede apreciar en la imagen, las zonas donde se sitúan los máximos esfuerzos son en las zonas de los apoyos y en las uniones entre la celosía estructural y la piel metálica superior. Estableciéndose un valor máximo de  **$4,601 \times 10^8$  Pa**.

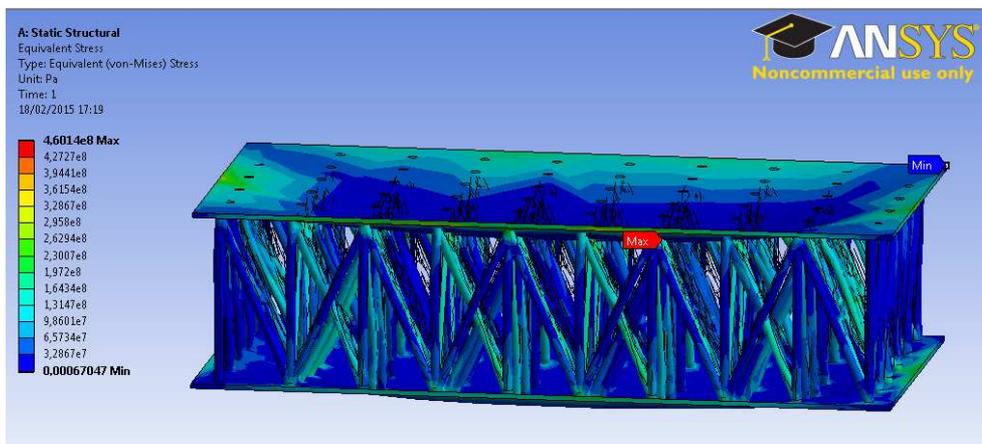


Figura 58: Distribución de tensiones en Pa (Von Mises).

En la siguiente imagen podemos ver la deformación total sufrida por el panel en el eje z (dirección de aplicación de la fuerza), como se puede comprobar en la imagen se ve claramente la deformación sufrida por el panel, siendo las zonas de los apoyos, las zonas donde menos deformación hay. Vemos que en la parte central del panel es donde se da la máxima deformación, obteniendo un valor máximo de  **$7,564 \times 10^{-5}$  m**. Si realizamos la conversión a milímetros **0,07564 mm**.

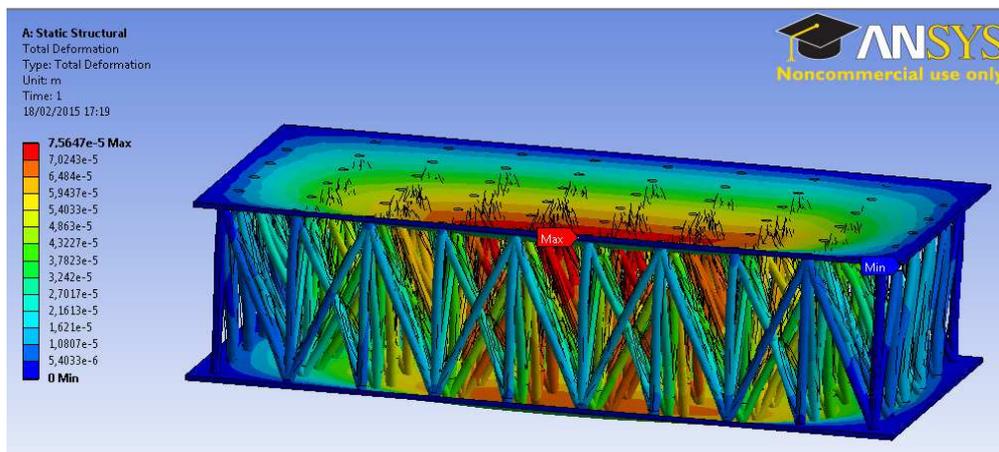


Figura 58: Deformación total panel eje Z en m.

## 2. Resultados de la segunda simulación.

A continuación se muestran los resultados obtenidos siguiendo las hipótesis marcadas para el punto N° 2.

En la primera imagen se muestra la distribución de esfuerzo “**Equivalent (von Mises) Stress**”, que muestran las tensiones a las que está sometida esta porción de panel. Como se puede apreciar en la imagen, las zonas donde se sitúan los máximos esfuerzos son en las zonas inferiores de los apoyos y en las uniones entre la celosía estructural. Estableciéndose un valor máximo de  **$6,11 \times 10^8$  Pa**. En esta simulación se pueden ver diferencias significativas con respecto a la anterior simulación, observamos que la piel superior soporta menos tensión que la piel inferior, esto es debido a que esta parte al no estar restringida por un apoyo puede deformarse con más grados de libertad.

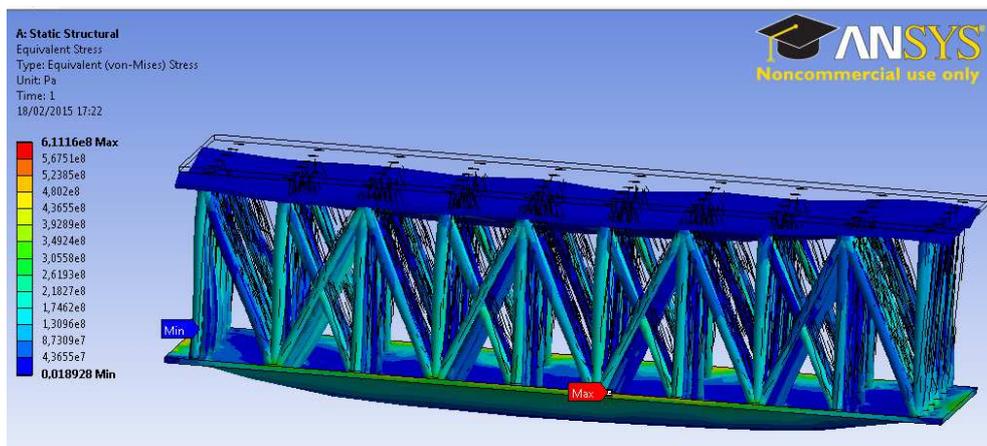


Figura 59: Distribución de tensiones panel en Pa (Von Mises).

En la siguiente imagen podemos ver la deformación total sufrida por el panel en el eje z (dirección de aplicación de la fuerza), como se puede comprobar en la imagen se ve claramente la deformación sufrida por el panel desde su posición inicial, en este caso al estar apoyado en los bordes inferiores observamos que la deformada del panel es diferente a la presentada en la hipótesis N° 1. En esta hipótesis se observa que hay un aplastamiento en toda la superficie del panel, también podemos ver, que las zonas centrales de la estructura y piel inferior son las que presentan una deformación mayor.

En las zonas de los apoyos, tal y como sucedía en la primera hipótesis, es donde existe una deformación menor, debido que como se ha indicado es la zona que sirve de apoyo.

En esta segunda simulación, obtenemos unos valores de deformación total en el eje Z, mayores que en la primera simulación, debido a que como se ha indicado, los apoyos solo se realizan en la parte inferior de la piel, obteniéndose unos valores máximos de  **$10,331 \times 10^{-4}$  m**.

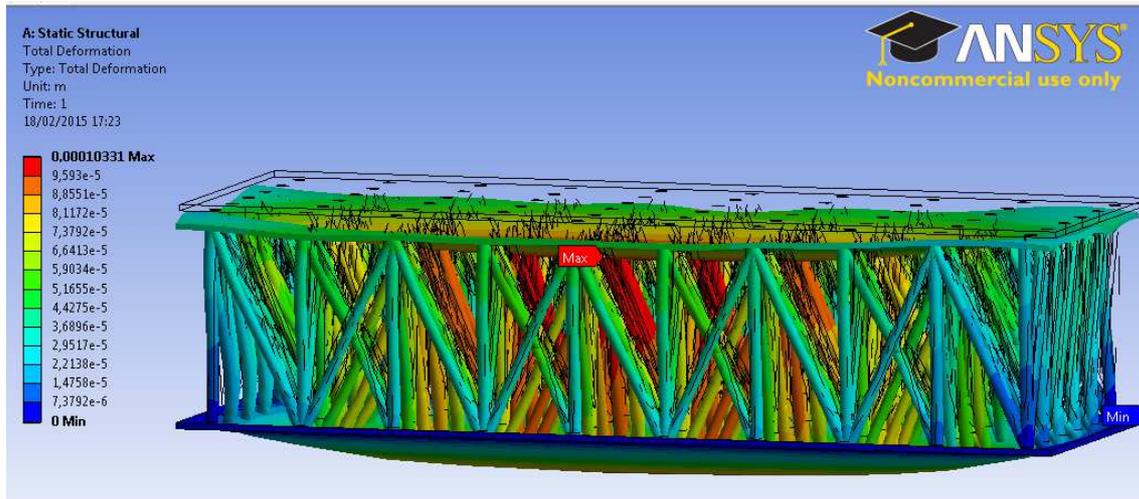


Figura 60: Deformación total panel eje Z en m).

Como podemos observar por los resultados obtenidos tras la simulación, la opción más desfavorable es la definida en el punto N°2, ya que obtenemos mayores resultados de tensiones y deformaciones sufridas por el panel. Observando los resultados y las condiciones de las simulaciones parece razonable concluir que la opción N° 2 sea más desfavorable, ya que la superficie de apoyo es menor.

### 3. Resultados de la tercera simulación.

A continuación se muestran los resultados obtenidos siguiendo las hipótesis marcadas para el punto N° 3.

En la primera imagen se muestra la distribución de esfuerzo “**Equivalent (von Mises) Stress**”, que muestran las tensiones a las que está sometida esta porción de chapa. Como se puede apreciar en la imagen, las zonas donde se sitúan los máximos esfuerzos son en las zonas inferiores de los apoyos y en la parte central de la chapa. Determinándose un valor máximo de **9,02 x 10<sup>9</sup> Pa**.

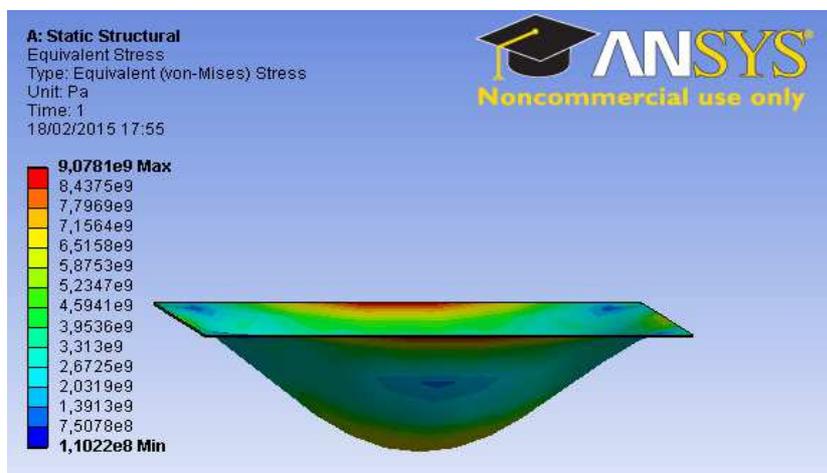


Figura 61: Distribución de tensiones chapa en Pa (Von Mises).

En la siguiente imagen podemos ver la deformación total sufrida por la chapa en el eje Z, como se puede comprobar la deformación máxima se encuentra en la zona media, siendo prácticamente nula en la zona de los apoyos, tal y como sucedía también en las simulaciones anteriores. Con un valor máximo obtenido en la parte central de **0.04 m**.

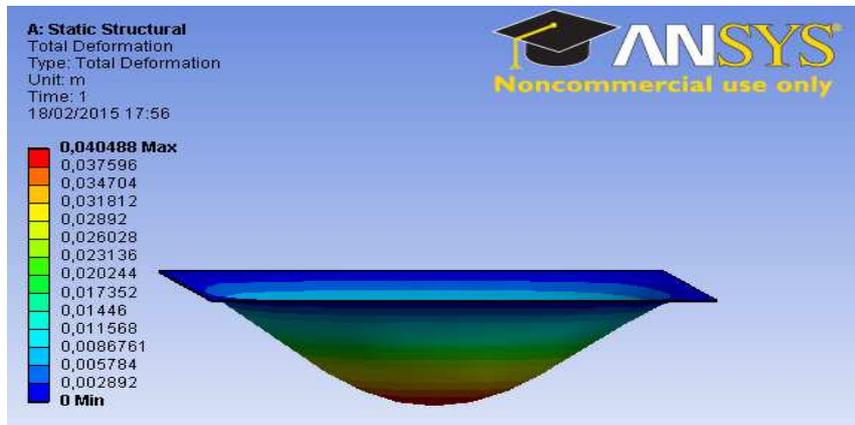


Figura 62: Deformación total chapa eje Z en m).

## 11.1 CONCLUSIONES DE LAS SIMULACIONES

Como podemos observar en los resultados obtenidos podemos concluir que el panel estructural realizado tiene un mejor comportamiento que la sección tipo de una puerta genérica. Obteniendo un 97 % menos de deformación entre la sección del panel más desfavorable y la sección genérica de una puerta.

Podemos afirmar que también existe una mejor distribución de las tensiones a las que se ve sometida la sección del panel frente a la sección de chapa convencional, esto permite que el panel disponga de más capacidad para absorber la energía producida durante los impactos.

Como se puede apreciar, en los diagramas de tensiones de la sección genérica, los valores de tensión máxima antes de la rotura del material se alcanzan con más rapidez y en los puntos más desfavorables del sistema, ya que como se puede apreciar aparecen en los bordes de los apoyos, esto derivara en una rotura del sistema de una forma más rápida que si se utilizase la sección de panel explicada.

Se puede comprobar que las zonas de los apoyos no influyen significativamente en la distribución de tensiones sometida a las dos secciones del panel, sin embargo los apoyos son muy determinantes en la deformación sufrida, influyendo en la capacidad de absorber energía durante el impacto.

Se puede concluir que el comportamiento de la sección del panel es mucho más favorable que la sección genérica de una puerta.

## **11.2 CONCLUSIONES GENERALES**

El trabajo fin de grado que se ha presentado describe la metodología de diseño, análisis estructural y proceso de fabricación empleados. Llegando a las siguientes conclusiones sobre estos aspectos.

El diseño se ha realizado siguiendo la tendencia existente en la actualidad de incrementar la seguridad en el mundo de la automoción, tal y como se ha podido comprobar el diseño explicado tiene un comportamiento notablemente mejor que los diseños empleados en la actualidad, esta mejora se ha conseguido solamente modificando el diseño conceptual existente hoy en día.

El proceso de fabricación elegido, sinterizado metálico es un proceso válido ya que como se ha expuesto, es una tecnología existente en la actualidad, que dispone de una gran selección de materiales de aplicación en el mundo de la ingeniería, como automoción, aeronáutica, la existencia de numerosas empresas que están apostando por su desarrollo, como la empresa EOS líder en la fabricación de sistemas de sinterizado metálico.

Los campos de aplicación de este diseño y tecnología aplicada son muy amplios, creemos que a día de hoy, sería un proceso viable para la producción de prototipos y en vehículos de alta gama, viendo la progresión podríamos afirmar que en un plazo relativamente corto, este diseño de podría aplicar a la producción de vehículos comerciales y otros componentes metálicos.

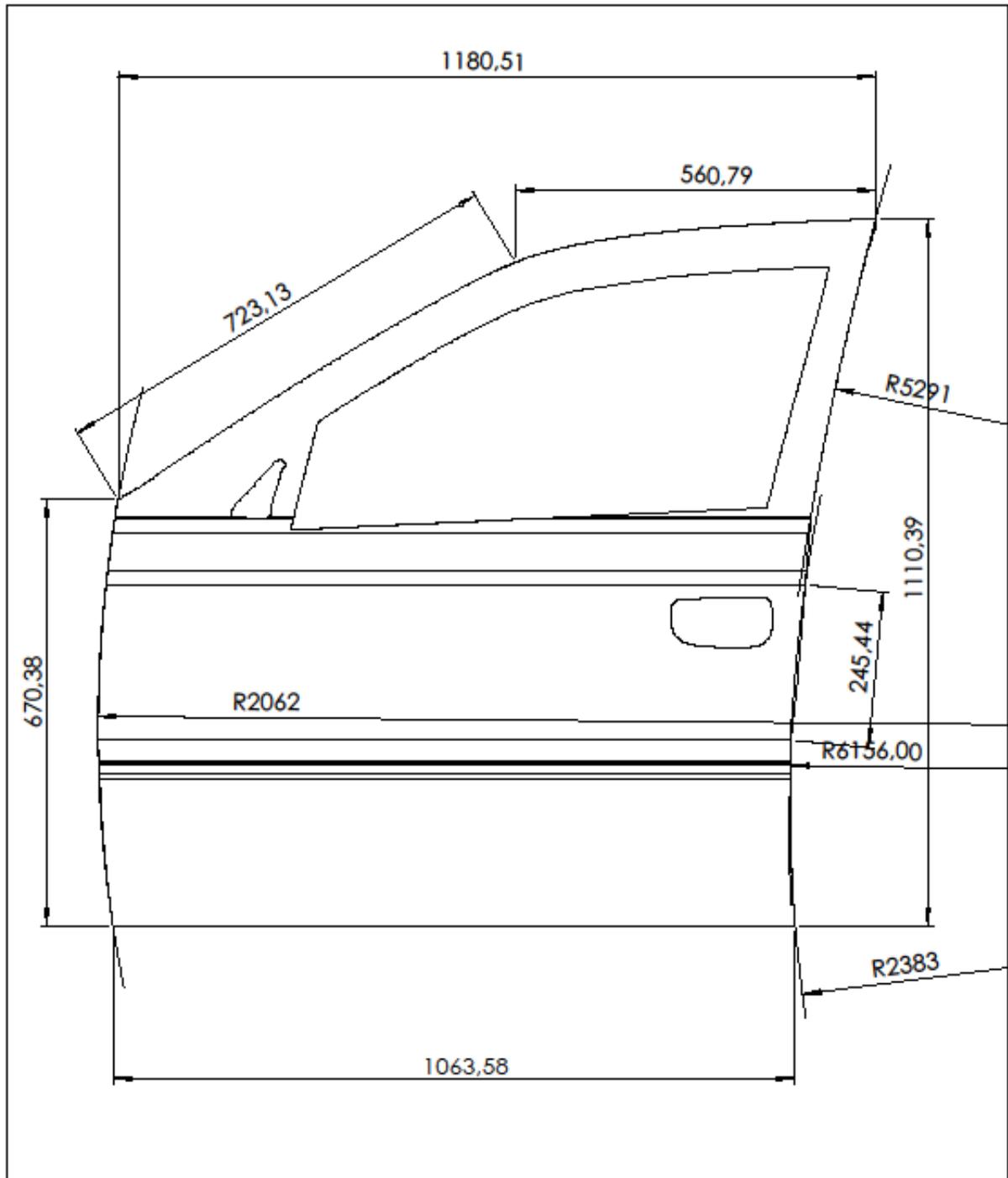
## **11.2 TRABAJOS FUTUROS**

Una de las líneas de trabajo que abre este trabajo fin de grado, es la de realizar una simulación completa del diseño presentado, que mostrara el comportamiento de una forma más realista.

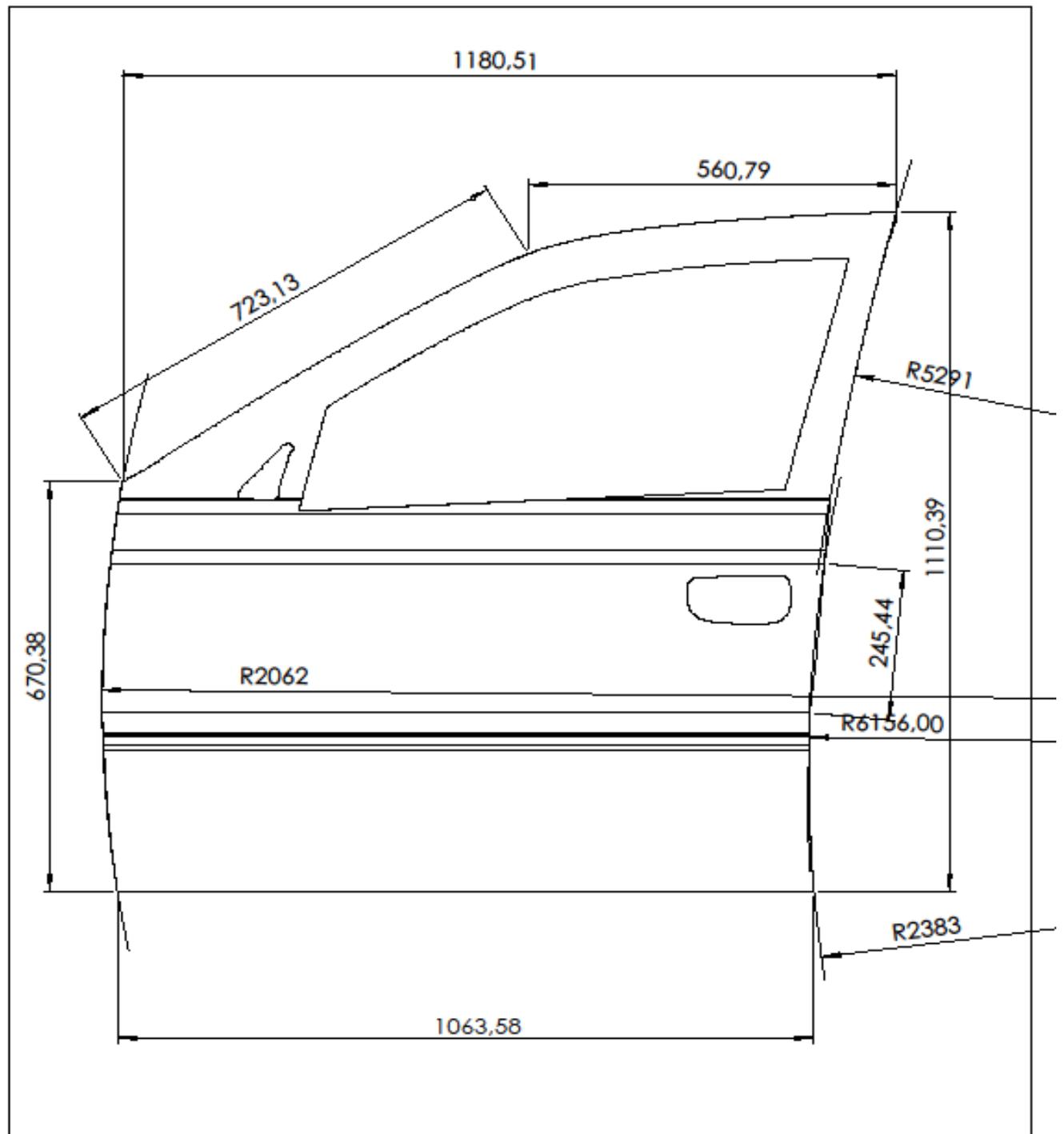
## 12. REFERENCIAS

- Chua, C. K y Fua, L.K, Rapid prototyping: Principles and Applications,1997.
- Hilton, P.D y Jacobs, P.D, Rapid Tooling: Technologies and Industrial Applications, 2000.
- Pham, D.T y Dimov, S.S, rapid tooling: The Technologies and applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling, 2001.
- Serope Kalpakjian y Steven R. Schmid. Manufactura. Ingeniería y Tecnología , 2008 quinta edicion.
- Manual practico NX6 Cad.
- Manual Practico ANSYS
- [www.eos.info](http://www.eos.info)
- [www.3dsystem.com](http://www.3dsystem.com)
- [www.concept.com](http://www.concept.com)
- [www.mtt.com](http://www.mtt.com)

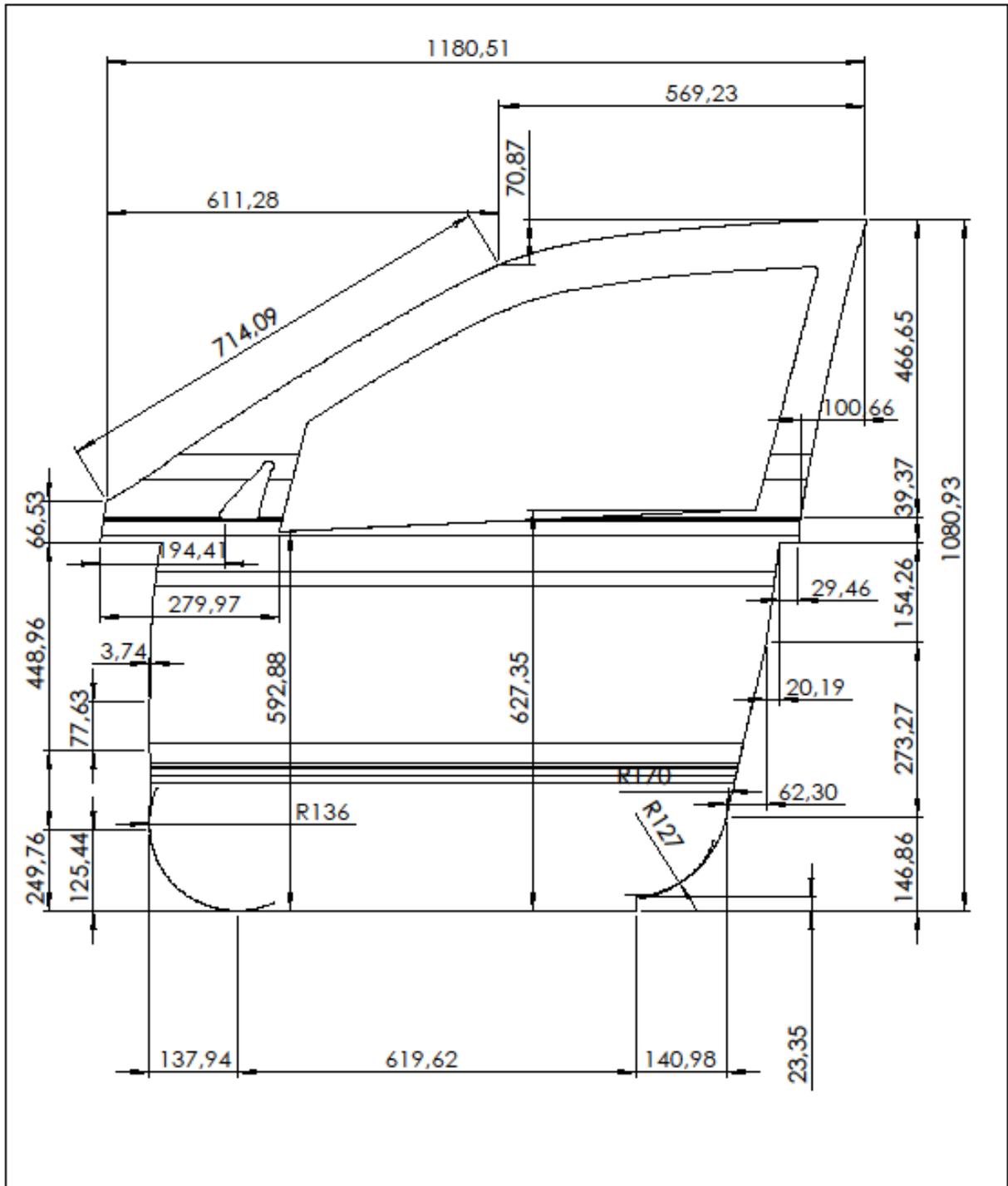
**ANEXO PLANOS.**



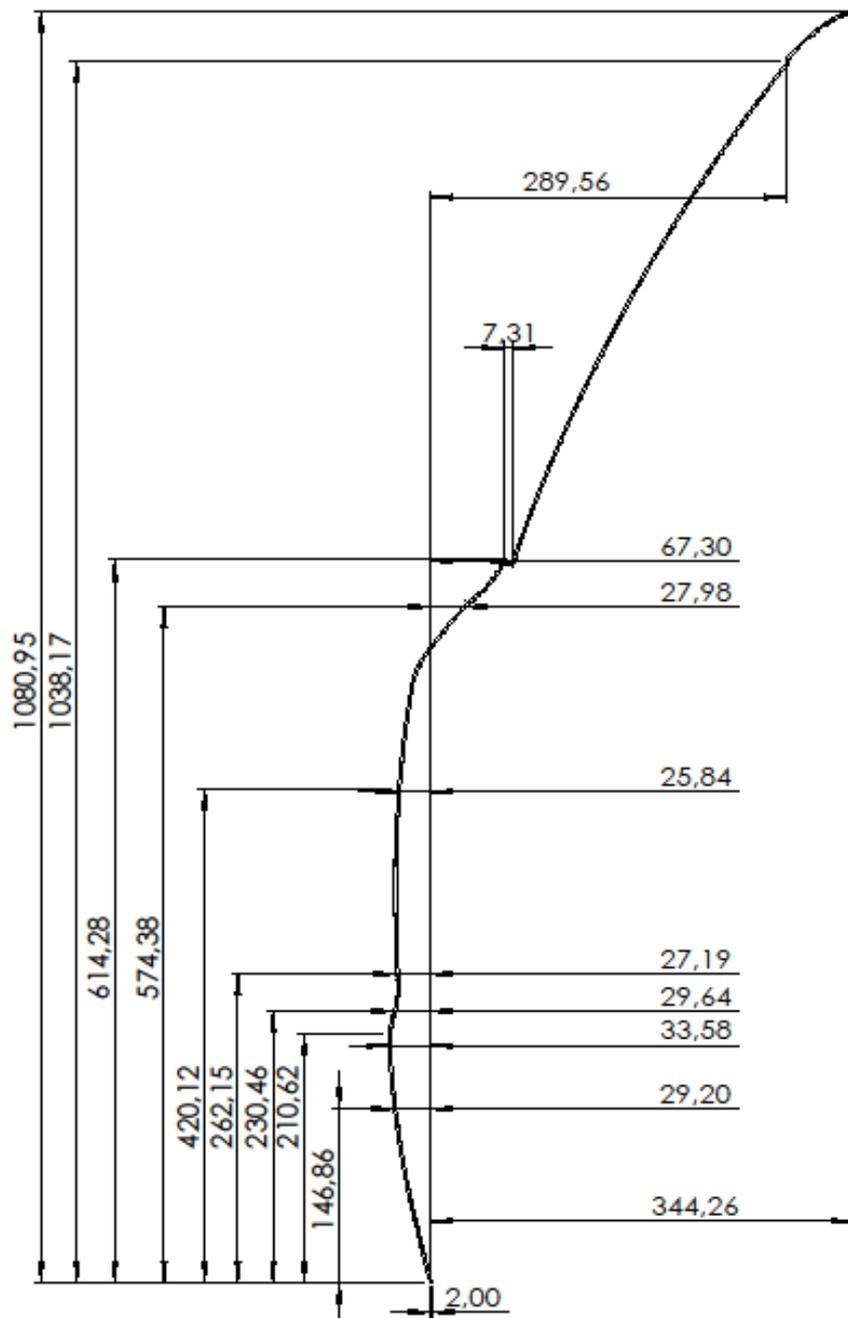
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VVVVS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FECHA		TÍTULO:		PANEL FRONTAL EXTERIOR	
VERIF.		RIBMA				N.º DE DIBUJO		1	
APROB.		FECHA				MATERIAL:		A4	
FABR.						PESO:		ESCALA 1: 10	
CALID.								HOJA 1 DE 2	



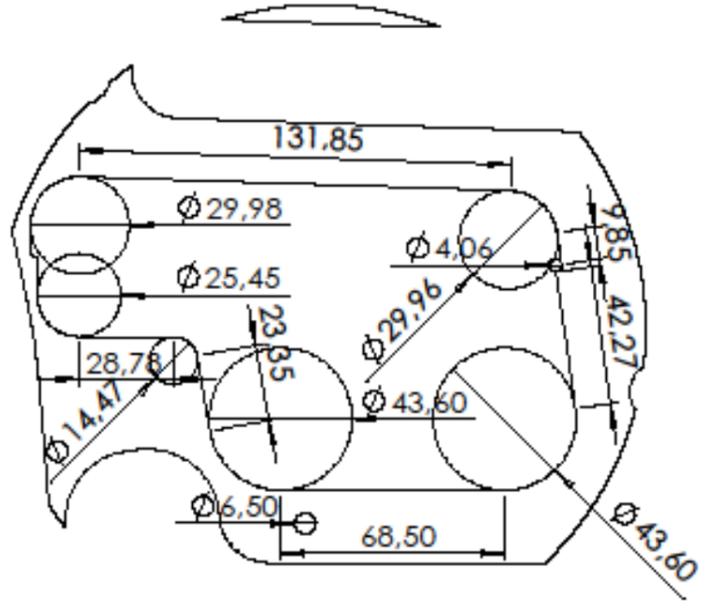
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		RESBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>PANEL FRONTAL EXTERIOR</b>			
DIBUJ.	Paki Elizalde					N.º DE DIBUJO		A4	
VERIF.	Paki Elizalde					1			
APROB.	Paki Elizalde								
FABR.	Paki Elizalde					MATERIAL:			
CAUD.	Paki Elizalde					PESO:		ESCALA 1: 10	
								HOJA 1 DE 2	



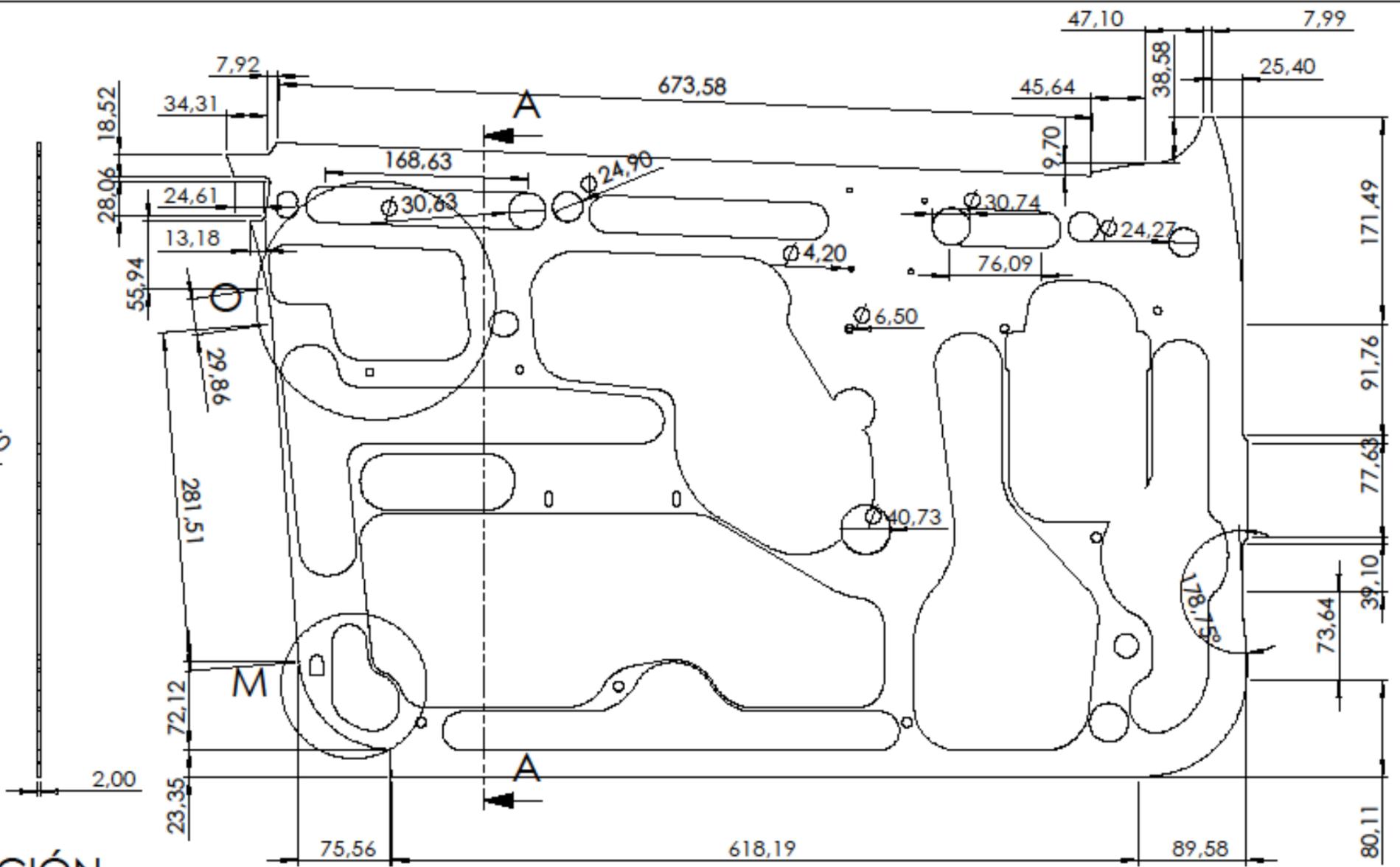
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>PANEL FRONTAL TRASERO</b>			
DIBUJ.		IRAKI ELIZALDE							
VERIF.		IRAKI ELIZALDE							
APROB.		IRAKI ELIZALDE							
FABR.		IRAKI ELIZALDE							
CALID.		IRAKI ELIZALDE				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO <b>3</b>	
								A4	
						PESO:		ESCALA 1:10	
								HOJA 1 DE 2	



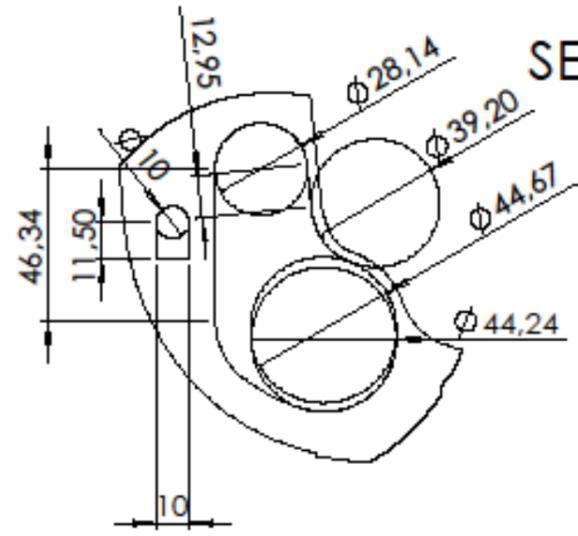
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
						TÍTULO: <b>PANEL FRONTAL TRASERO 2 SECCION</b>	
DIBUJ.	IRAKI ELIZALDE	IRMA	FECHA			N.º DE DIBUJO	<b>4</b>
VERIF.	IRAKI ELIZALDE					ESCALA 1: 10	
APROB.	IRAKI ELIZALDE						HOJA 2 DE 2
FABR.	IRAKI ELIZALDE						
CALID.	IRAKI ELIZALDE						
					MATERIAL:		
					PESO:		
							<b>A4</b>



DETALLE O  
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5



DETALLE M  
ESCALA 1 : 2

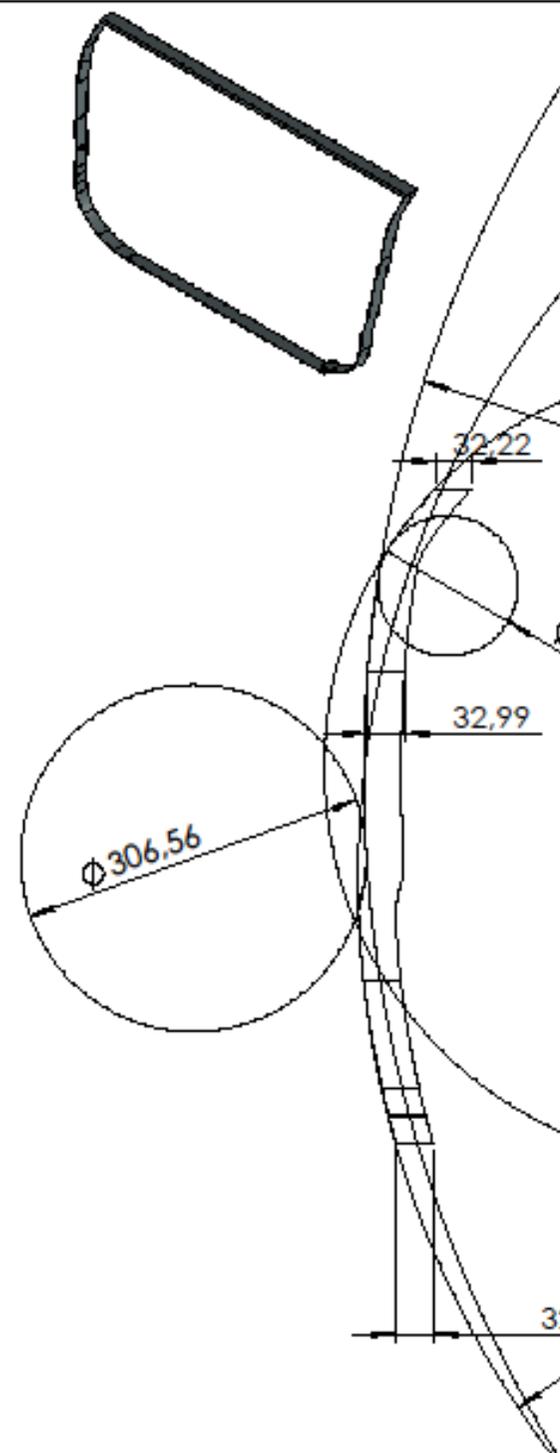
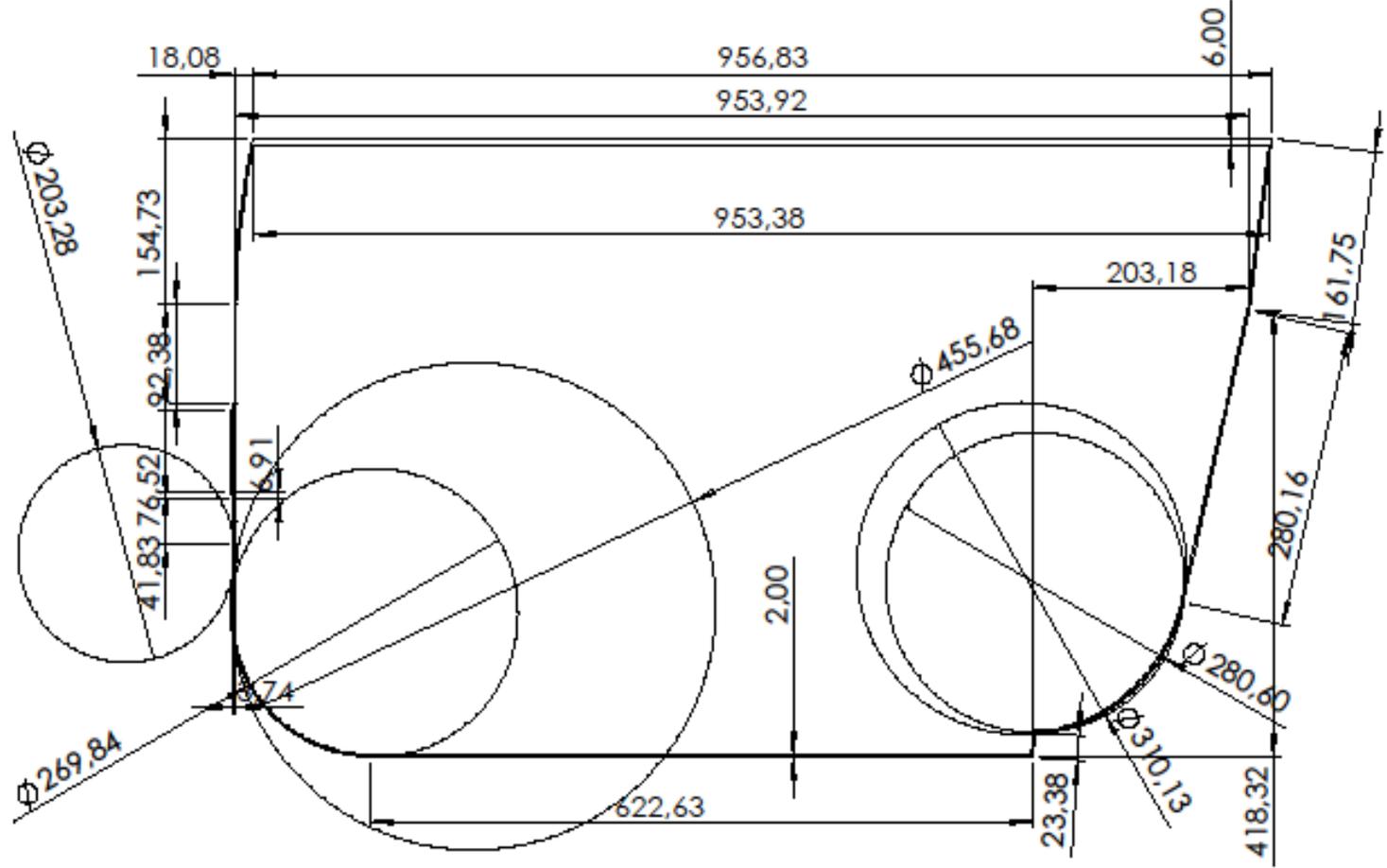
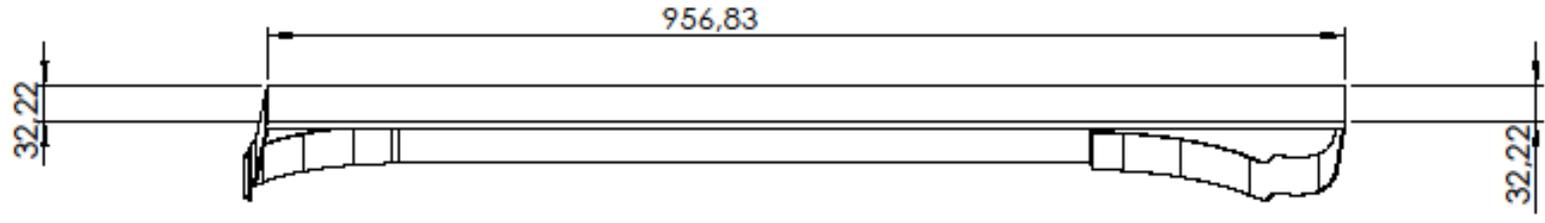
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.		IRAKI ELIZALDE						PANEL TRASERO	
APROB.		IRAKI ELIZALDE							
FABR.		IRAKI ELIZALDE						N° DE DIBUJO	
CAUD.		IRAKI ELIZALDE				MATERIAL:		5	
						PESO:		ESCALA: 1:10	
								HOJA 1 DE 1	
								A3	



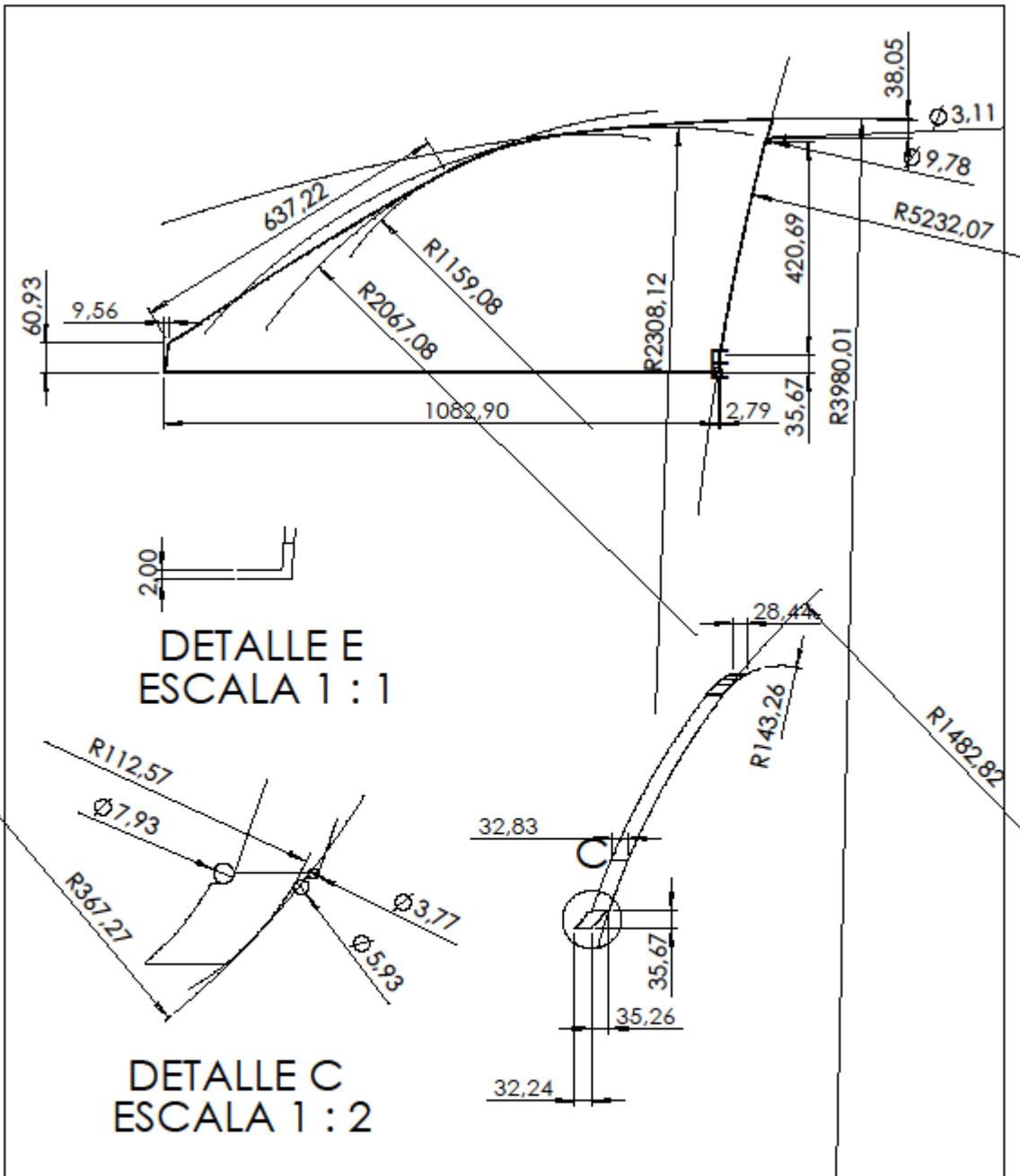








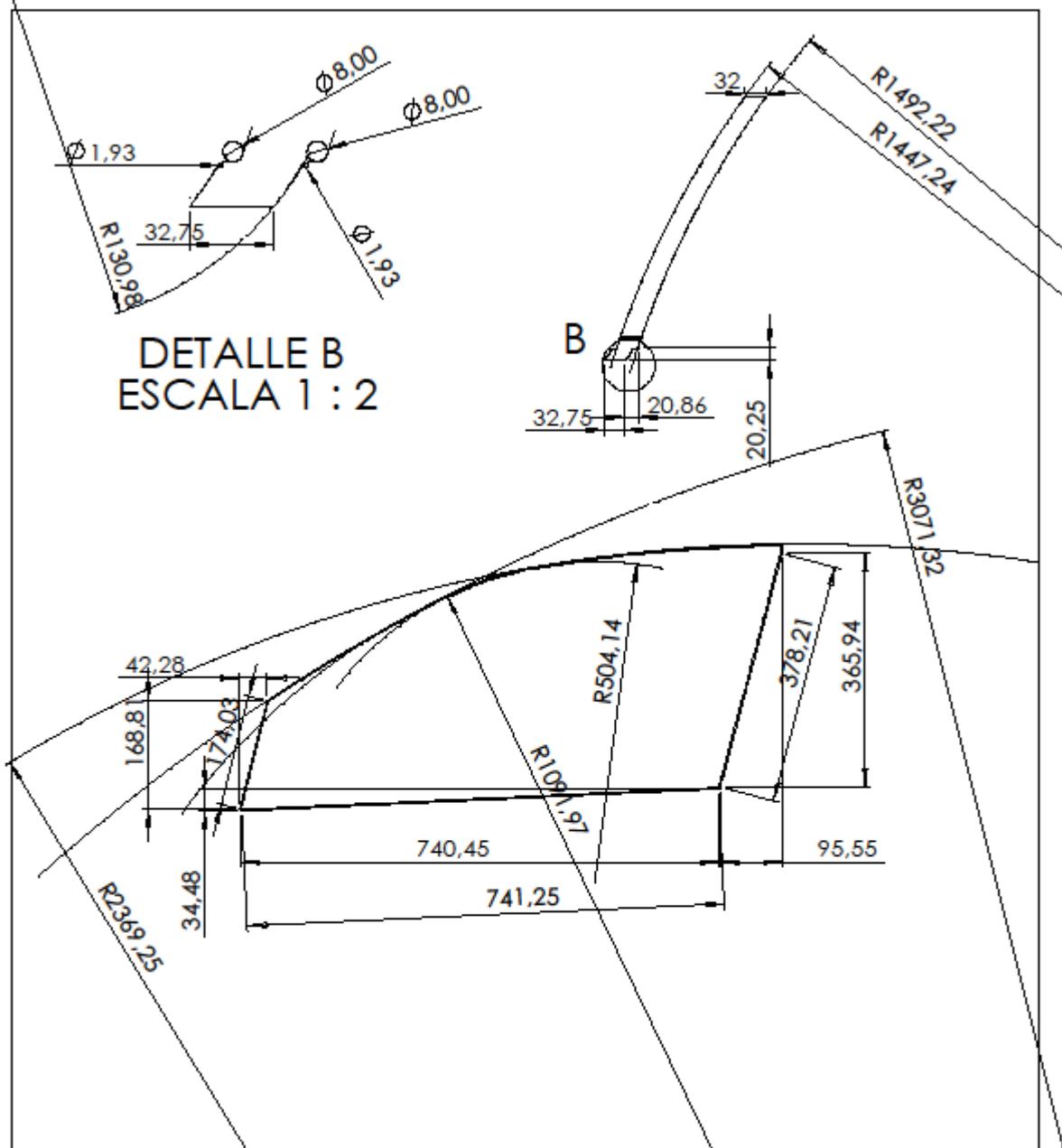




DETALLE E  
ESCALA 1 : 1

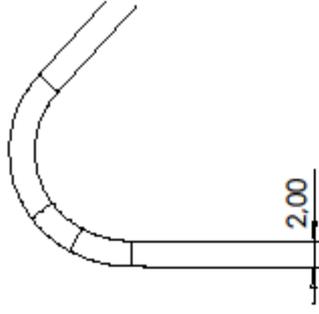
DETALLE C  
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER A RISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO: <b>BORDE LATERAL PUERTA</b>							
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:		N.º DE DIBUJO <b>9</b>	A4
VERIF.	IRAI EIZALDE						
APROB.	IRAI EIZALDE						
FABR.	IRAI EIZALDE						
CALD.	IRAI EIZALDE						
				PESO:		ESCALA 1:10	HOJA 1 DE 1

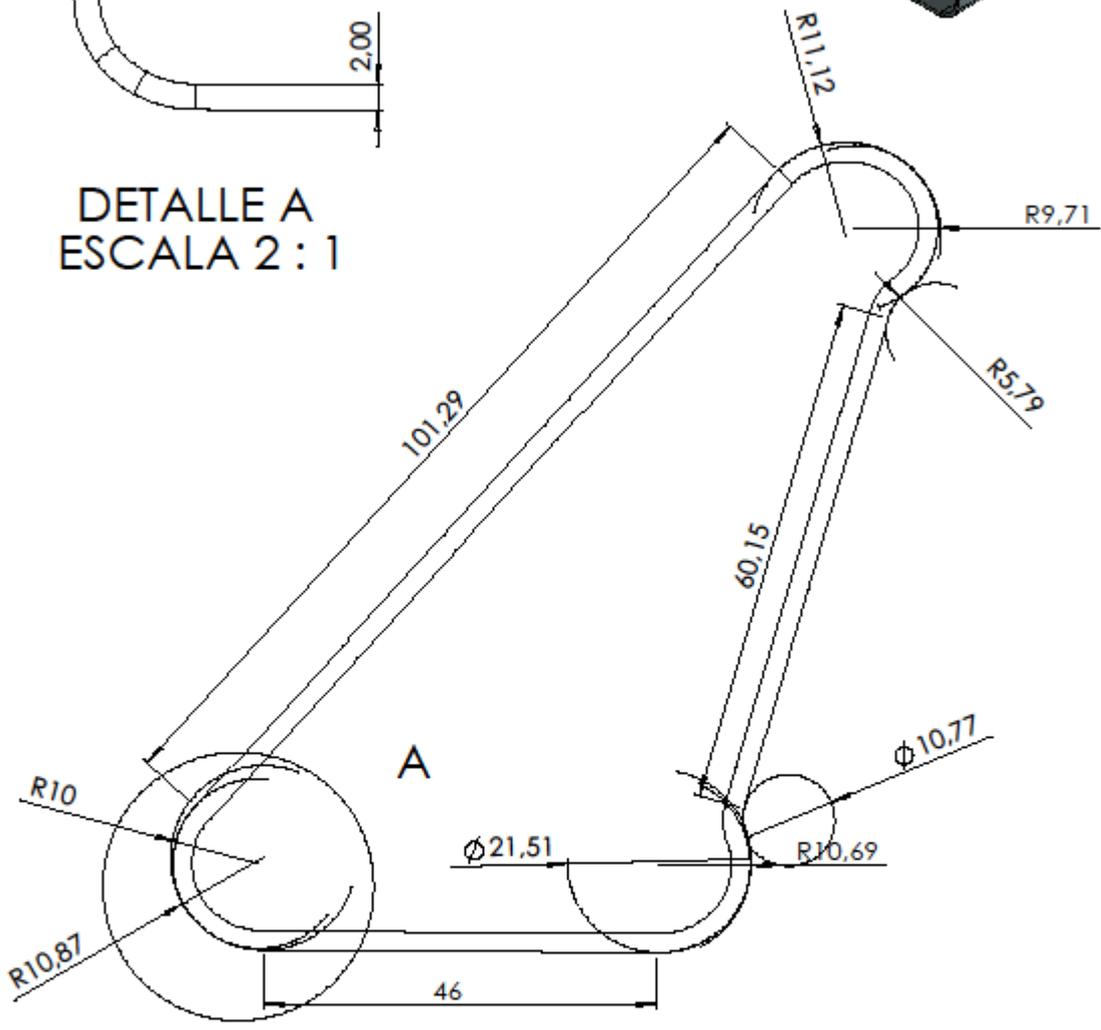


DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

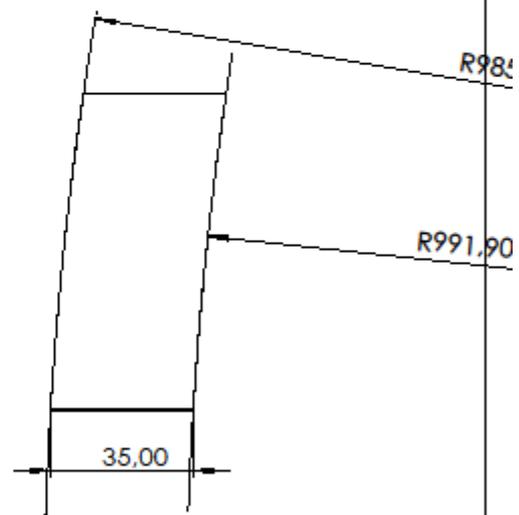
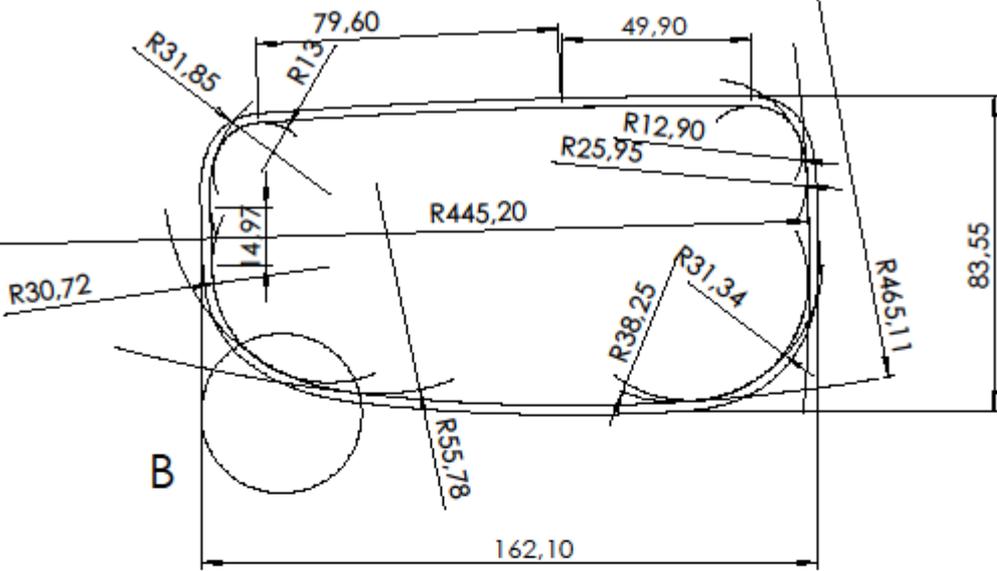
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARSTIAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						TÍTULO:  <b>BORDE LATERAL VENTANA</b>	
	NOMBRE	IRMA	FECHA				
DIBUJ.	IRAKI ELIZALDE						
VERIF.	IRAKI ELIZALDE						
APROB.	IRAKI ELIZALDE						
FABR.	IRAKI ELIZALDE						
CALD.	IRAKI ELIZALDE			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	10
							A4
				PESO:		ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER A RISTAS VIVAS			NO CAMBIE LA ESCALA			REVISIÓN		
NOMBRE						TÍTULO:								
DIBUJ. IRAKI ELIZALDE						BORDE LATERAL ESPEJO								
VERIF. IRAKI ELIZALDE														
APROB. IRAKI ELIZALDE														
FABR. IRAKI ELIZALDE														
CALD. IRAKI ELIZALDE						MATERIAL:			N.º DE DIBUJO			A4		
PESO:						ESCALA:1:2			HOJA 1 DE 1					



**DETALLE B**  
**ESCALA 2 : 1.5**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER A RISTAS VIVAS			NO CAMBE LA ESCALA			REVISIÓN		
NOMBRE						TÍTULO:								
DIBUJ. IRAKI ELIZALDE						<b>MANETA PUERTA</b>								
VERIF. IRAKI ELIZALDE														
APROB. IRAKI ELIZALDE														
FABR. IRAKI ELIZALDE														
CALD. IRAKI ELIZALDE						MATERIAL:			N.º DE DIBUJO			A4		
PESO:						ESCALA:1:5			HOJA 1 DE 1					

