



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

MEJORA EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE
DIGITALIZACIÓN, MODELADO Y PROTOTIPADO EN
INGENIERÍA INVERSA.

Alumno: Carlos Javier Gorgojo Díaz

Tutor: Tomás Ballesteros Egües

Tudela, 23 de febrero de 2010

Agradecimientos:

Gracias a mi tutor Tomás Ballesteros, por su ayuda durante todo el proyecto. Gracias también a Mitxelko Sánchez de Servicio Informático, y a Ángel Jaraba Técnico de taller.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	7
1.1- Cómo surge la idea de proyecto.....	8
1.2- Explicación del proyecto. Fases y tiempo.....	9
1.3- Explicación y muestra del objeto elegido.....	11
2. DESARROLLO DEL TRABAJO	15
2.1- DIGITALIZACIÓN	17
2.1.1- Explicación hardware y software.....	18
2.1.2- Fases en el proceso de digitalización 3D.....	21
2.1.3- Problemas surgidos y su resolución.....	47
2.2- MODELADO 3D	49
2.2.1- Explicación hardware y software.....	50
2.2.2- Fases en el proceso de modelado 3D.....	53
2.2.3- Problemas surgidos y su resolución.....	73
2.3- PROTOTIPADO 3D	75
2.3.1- Explicación del Hardware y Software.....	76
2.3.2- Preparación de la maquina Formiga P100.....	82
2.3.3- Tratamiento de datos para prototipar.....	87
2.3.4- Limpieza y montaje de piezas obtenidas.....	103
2.3.5- Problemas surgidos y su resolución.....	106
2.4- EDICIÓN DE IMÁGENES 2D	109
2.4.1- Introducción.....	110
2.4.2- Proceso de gestión de archivos 2D.....	110
2.4.3- Muestra de presentaciones realizadas con illustrator y Photoshop.....	113
3. ESTUDIO ECONÓMICO	119
3.1- Coste unitario de cada fase.....	120
3.2- Coste de todas las fases del proyecto.....	121
4. CONCLUSIÓN	125
5. MANUAL DE USUARIO	127
6. BIBLIOGRAFÍA	131



1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1- Cómo surge la idea de proyecto.

La Universidad Pública de Navarra impulsó en 2006 la creación de un nuevo campus situado en Tudela. El edificio del campus no había empezado a construirse todavía, pero el primer curso de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica, y de fisioterapia, comenzó en Septiembre de 2006. Entonces la UPNA comenzó a comprar máquinas y equipos nuevos para el campus de Tudela. Algunas de estas máquinas fueron instaladas para los primeros alumnos de ingeniería en el instituto ETI de Tudela, y otras en el Hospital Reina Sofía en el caso de equipamiento para la carrera de fisioterapia. Posteriormente todo el equipamiento comprado se instalaría en el nuevo edificio que se estaba construyendo para en nuevo campus.

El nuevo edificio estuvo listo en Septiembre de 2008. Para entonces ya se estaban impartiendo los tres cursos de las carreras de ingeniería y fisioterapia. El edificio fue dotado con todo el equipamiento que hasta entonces se guardaba en la ETI y en el hospital, además de nuevos aparatos adquiridos por la UPNA. El problema es que instalar tantas máquinas y hacer que funcionen conlleva su tiempo.

Había un digitalizador 3D de la marca KONICA MINOLTA, que después de ser probado en la ETI tras su compra, se almacenó en su caja. Como de momento muy pocos sabían usarlo, y de manera muy básica, su instalación no fue prioritaria.

También había en el nuevo edificio un brazo robótico de la marca Sensables. Ya estaba instalado pero nadie sabía usarlo.

En la zona de talleres existía una máquina de prototipado rápido llamada Formiga P100 de la marca EOS, que realiza modelos en plástico de poliamida, con buen nivel de detalle y bastante dureza. Ya estaba instalada, y el personal de taller se encargaba de su uso.

No es muy común ver cualquiera de estas tres máquinas en la industria. Principalmente por el elevado coste que supone adquirirlas. Y segundo, por las numerosas horas que se han de dedicar para aprender a usarlas. Por eso parece interesante que estas máquinas estén listas para ser utilizadas en cualquier momento, y que en la universidad haya gente que sepa utilizarlas. Bien sea para la formación de alumnos en el manejo de estas herramientas de diseño, o bien para que se den a conocer en el entorno industrial. Empresas dedicadas al diseño industrial podrían visitar el campus de Tudela para conocer estas herramientas, y a gente que sepa trabajar con ellas.

De esta manera surge la necesidad de instalar cuanto antes todas estas máquinas y formar a gente para su correcto uso. La UPNA no se puede permitir el lujo de tener algunas de estas máquinas, tan caras, paradas y sin nadie que las sepa utilizar. Además parece apropiado buscar una manera de implementar un método para relacionar el trabajo de las tres máquinas. Así se puede explotar mucho mejor el trabajo de estas herramientas, no solo limitándose a su software, sino, pudiendo exportar e importar archivos entre todas estas herramientas de diseño.

1.2- Explicación del proyecto. Fases y tiempo.

En este proyecto se trata de explicar la implementación de tres herramientas de diseño distintas, utilizando los distintos software's y hardware's para el tratamiento de datos y archivos.

Primero se digitaliza un objeto. Esto se realiza con un digitalizador 3D para capturar la superficie del objeto con el que se va a realizar el proyecto. Realizando varios escaneos, y tratando apropiadamente los archivos, se consigue en el ordenador el objeto en forma virtual, como una nube de puntos, no un sólido. Una vez digitalizado el objeto real el ordenador, y tratados los datos obtenidos, se convierte el archivo para ser exportado a la segunda herramienta de diseño.

Después se importa el archivo a la segunda herramienta de diseño, un lapicero robótico tridimensional, para modificar o rediseñar el objeto del proyecto. En el proceso de importación, el archivo llega al software como un sólido, no como nube de puntos. También se importan archivos de otros programas de diseño CAD. Una vez se realizan los cambios pertinentes en el objeto, se prepara el archivo para ser exportado a la tercera herramienta de diseño.

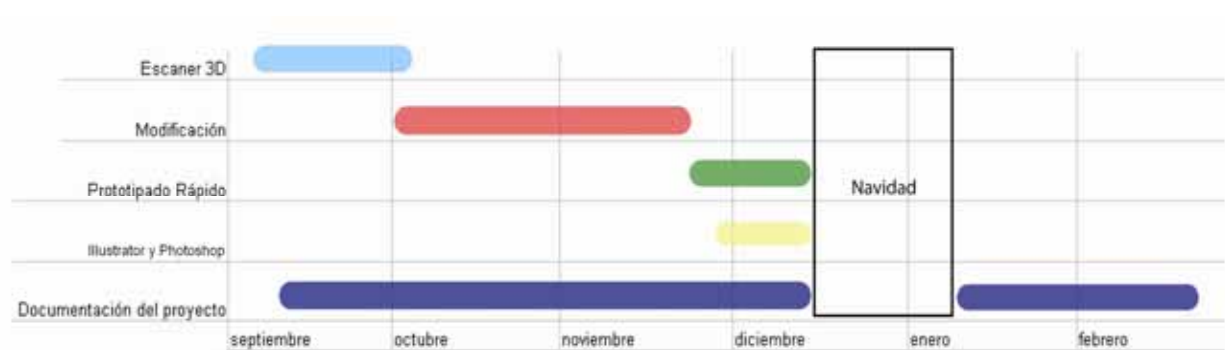
Los datos del archivo llegan al software de la máquina de prototipado rápido, o impresora 3D. Se tratan los datos, y se envían a la impresora 3D para obtener un modelo o prototipo de nuestro objeto.

Al igual que con la máquina de prototipado rápido se obtienen modelos físicos para presentar, también se pueden presentar modelos en 2D de diferentes versiones del objeto realizadas con software's de edición de imágenes. Con Illustrator y Photoshop se editan las imágenes (bidimensionales) del modelo que tenemos en es software de diseño 3D.

Como se puede observar, además de trabajar con cada herramienta, se han de trabajar los archivos de los distintos programas para ser importados y exportados con éxito a los otros programas. De esta manera se pueden utilizar todas estas máquinas en un solo proyecto.

También se observa que en este proyecto se siguen los pasos de la ingeniería inversa, puesto que no se crea un producto desde cero, sino que con el digitalizador obtenemos un objeto que ya existía. Este método de proyecto, con estas herramientas en particular, resulta eficaz cuando no se poseen los planos de algo que se quiere crear. Bien porque el objeto es muy antiguo, o simplemente porque es un objeto que no tiene planos, como por ejemplo elementos de la naturaleza.

Para la realización de este PFC se estima un tiempo de seis meses, planificándose tal y como indica el gráfico. Este es un reparto de tiempo teórico puesto que no se sabe exactamente cuanto puede costar cada etapa. En el caso de retrasarse el trabajo, se deberán realizar varias tareas al mismo tiempo. La fecha de entrega se plantea entre el 22 y el 26 de Febrero.



1.3- Explicación y muestra del objeto elegido.

Para la realización de este proyecto se ha elegido la maqueta de automóvil. Este será el objeto de trabajo, sobre el cual se explicará el proceso de implementación de las tres principales herramientas de diseño elegidas para el proyecto.

La elección de este objeto se ha realizado principalmente por tres razones:

- Un automóvil contiene numerosas piezas, por lo que es interesante desde el punto de vista de manejar más de un archivo con los diferentes componentes. Así como posicionar cada componente en su lugar utilizando los distintos programas de diseño (ruedas, chapas, chasis, etc). El problema es que las piezas de un coche real son muy grandes. Por eso se opta por una reproducción a escala 1/18 de un automóvil, y no uno real.
- Un coche tiene multitud de superficies curvas, que son extremadamente difíciles de crear en un programa de diseño 3D. Por lo tanto el digitalizador realiza aquí un trabajo muy importante del proyecto, puesto que nos permite obtener las superficies tan complicadas muy fácilmente y con mucho nivel de detalle.
- La industria del automóvil tiene un gran peso en la economía de Navarra. Por eso, todos los estudios y proyectos que se realicen, son beneficiosos para el sector.

En concreto el coche elegido es un BMW M3 E93 coupé.



BMW M3 E93 Coupé





Maqueta desmontada del BMW M3 E 93

Se modificarán las superficies, dándole nuevas formas a las chapas, parachoques, puertas, etc. Para conseguir una estética de coches de competiciones DTM "*Deutsche Tourenwagen Masters*" (Campeonato alemán de turismos).

Se ha elegido este tipo de estética por lo llamativo de las formas de difusores y aletas. La elección del modelo de coche (BMW M3) es un homenaje a la trayectoria que siguió BMW en el DTM desde que se inició la competición en 1984 hasta el 1996, año en el que se retiraron la mayoría de las marcas, y entre ellas BMW. La marca bávara siempre realizó sus prototipos para carrera con base en la serie 3, excepto los primeros años que se realizaban en base a la serie 6. El 9 de Agosto de 2009, Klaus Draeger, miembro de la junta directiva de BMW, dio a entender que la marca estaba planteando seriamente volver al DTM, competición actualmente compuesta por Audi y Mercedes-Benz. Si eso ocurriese, sin duda, la base para realizar sus coches sería el M3 E93 Coupé.

Aquí se muestra una imagen de cómo es un coche de serie, y cómo ha sido modificado para las carreras de DTM. En concreto se muestra el modelo A4 de Audi, a la derecha el modelo de calle y a la izquierda el de competición.



Modelo A4 de Audi, y a la izquierda su versión de competición DTM.



2. DESARROLLO DEL TRABAJO



2.1- DIGITALIZACIÓN

2.1.1- Explicación hardware y software.

HARDWARE:

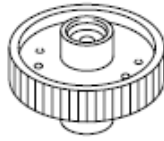
El escáner es un digitalizador 3D sin contacto. En este caso se trata de un digitalizador de la marca KONICA MINOLTA y el modelo es el VIVID 910 / VI 910.



Esta herramienta proporciona medidas 3D de alta velocidad y exactitud. Es útil para la evaluación de formas, cualificación de herramientas y matrices e inspección de calidad durante la producción. Es un método ideal de capturar datos de forma y dimensiones de modelos y prototipos. Usado para ingeniería inversa o CAE, el VI-910 convierte la superficie de un producto en datos digitales 3D. También se puede usar el escáner 3D para inspección o CAT, contribuye a la detección temprana de problemas de forma, facilitando el rediseño, y evitando trabajo innecesario en procesos posteriores. Como resultado, acelera todo el proceso de fabricación. La entrada y salida de datos digitales 3D es esencial para incrementar la eficiencia de trabajo durante los procesos de diseño, fabricación e inspección. Este digitalizador 3D puede ser interesante para una industria que necesita del uso de herramientas de procesamiento digital como CAD, CAM y CAE, para una mejor entrada y salida de datos y procesos, para reducir los tiempos de trabajo.

Este digitalizador posee tres tipos de lentes intercambiables que pueden ser seleccionadas para ajustarse al tamaño del objeto a medir.

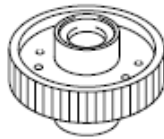
Lentes de ángulo ANCHO



Medida de la Distancia		600	800	1000	1200	2000
Tamaño del objeto	Horizontal	367.0	486.6	606.2	725.8	1204.2
	Vertical	275.2	364.9	454.6	544.4	903.2

Unidades(mm)

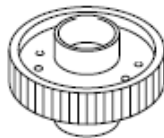
Lentes de ángulo MEDIO



Medida de la Distancia		600	800	1000	1200	2500
Tamaño del Objeto	Horizontal	204.7	270.6	336.5	402.4	830.6
	Vertical	153.6	203.0	252.4	301.8	622.9

Unidades (mm)

Lentes TELESCÓPICAS



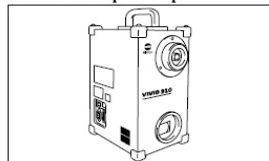
Medida de la Distancia		600	800	1000	1200	2500
Tamaño del objeto	Horizontal	113.9	151.0	188.0	225.1	465.9
	Vertical	85.4	113.2	141.0	168.8	349.4

Unidades (mm)

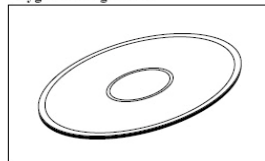
El láser se encarga de detectar la distancia del objeto a la lente, así como de hacer un barrido vertical del objeto para digitalizar una superficie. La potencia del láser se puede ajustar manualmente o dejar que se ajuste de manera automática.

Al comprar este aparato el paquete estándar es el siguiente:

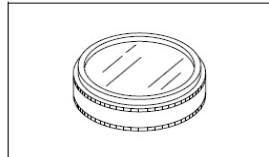
VIVID 910 Cuerpo Principal



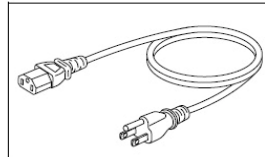
Polygon Editing Tool CD



Tapa de Balance de Blancos VI-A10

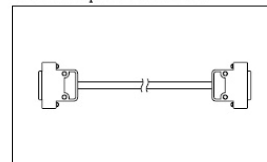


Cable de Alimentación

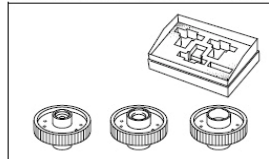


SCSI Cable VI-A20

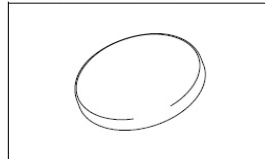
Cable SCSI-II con micropines, D-sub.
Conector 50 pin macho-hembra.



Lentes (3 tipos, con Caja para las Lentes)

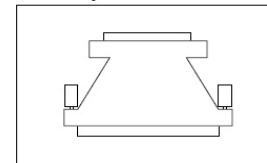


Tapón de la Apertura Láser



SCSI Conversion Connector VI-A21

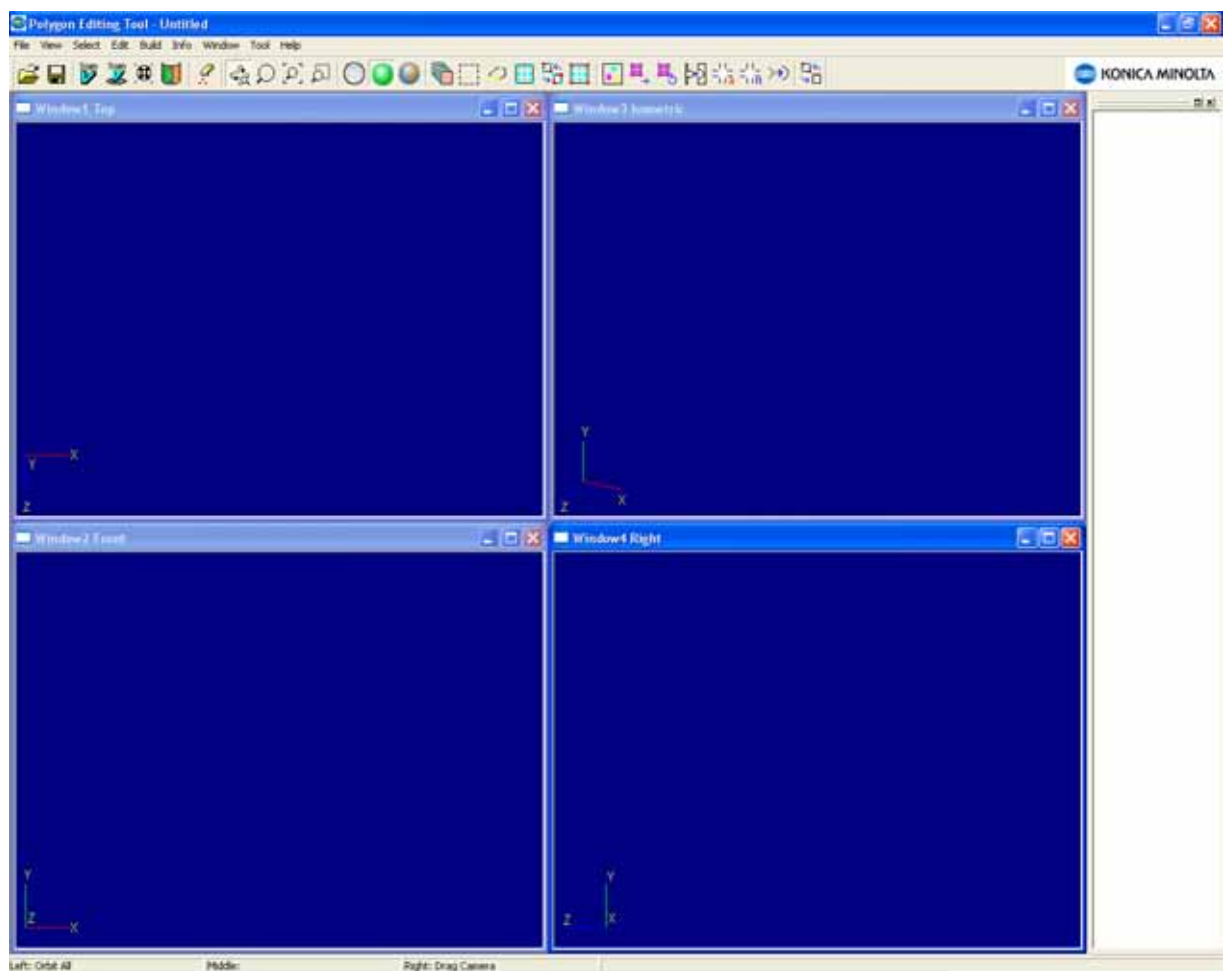
Adaptador SCSI-II - SCSI-III VIA2
Conector 50 pin macho-hembra.



SOFTWARE:

El programa 'Polygon Editing Tool 2.01' es el software encargado de la dirección remota del digitalizador, así como de gestionar y editar las capturas del digitalizador. No siempre es necesario un control del dispositivo por medio de un ordenador. Se pueden realizar los escaneos desde el mismo dispositivo gracias a una pantalla LCD que posee en la parte trasera, y posteriormente transportar los datos en una tarjeta de memoria. Posee una ranura para introducir dicha tarjeta pero su compra es opcional y en nuestro caso no se dispone de ella. De todas formas si se quiere transportar el digitalizador, se puede conectar a un ordenador portátil que tenga instalado el programa Polygon Editing Tool, y la llave de protección USB.

Así aparece el entorno del programa 'PET' (Polygon Editing Tool) cuando se abre:



Ventana inicial del software Polygon Editing Tool.

2.1.2- Fases en el proceso de digitalización 3D.

Fase 1- preparación del objeto.

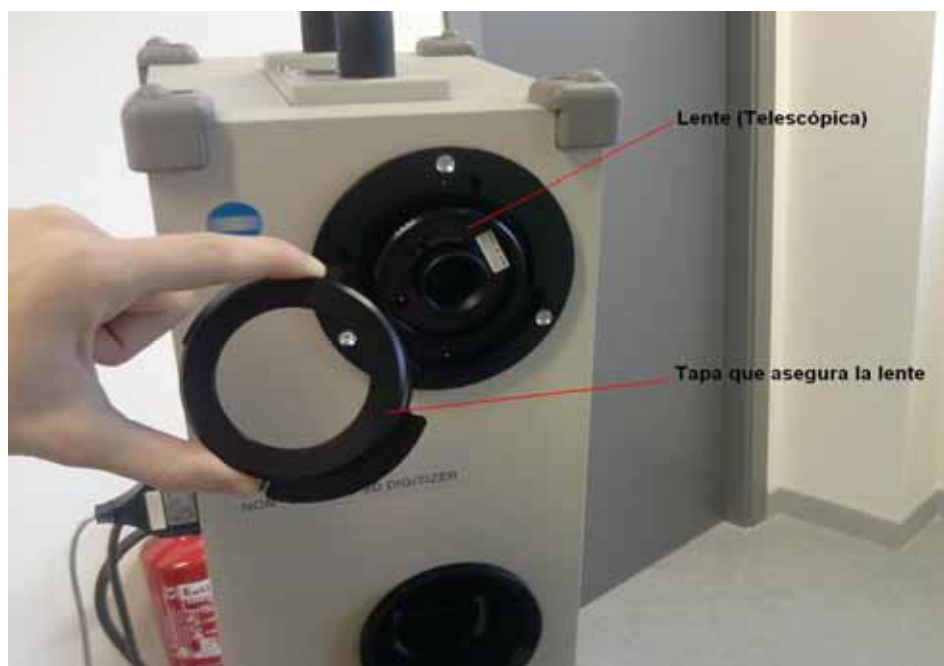
Antes de comenzar a tomar las capturas, se deben realizar unos pasos previos. Se han de preparar el objeto a escanear, así como el dispositivo hardware y el programa PET.

1: Antes de encender cualquier aparato, se ha de elegir la lente que enfocará apropiadamente nuestro de objeto dependiendo de su tamaño. Según sean las dimensiones del objeto, se mirará la tabla de los distintos rangos de distancia que posee cada lente, y así escoger la apropiada.

Primero se gira, a izquierdas, la tapa metálica del soporte de lentes. Esta gira unos 45 grados hasta que las pestañas de sujeción coinciden y la tapa puede retirarse. Una vez ha salido retirada la tapa de sujeción, se puede desenroscar, a izquierdas, la lente que estaba colocada, para colocar la elegida.



Lente del digitalizador.



Al introducir la nueva lente ha de asegurarse que la marca roja de la lente, coincide con la pestaña que le guía a su lugar correcto.



En este caso, para las piezas que se van a capturar, se empleará la lente telescópica, puesto que es la que permite enfocar objetos más pequeños. Esto nos obligará a colocar el objeto bastante cerca de la lente, teniendo en cuenta que el mínimo es de unos 500 mm. de distancia.

2: Antes de encender el ordenador que controlará el digitalizador, es imprescindible poner en marcha el digitalizador primero. Esto es para que el programa PET reconozca el dispositivo que está conectado y podamos controlarlo remotamente. Una vez encendido el digitalizador, se podrá encender el PC.

3: Con el ordenador encendido, se abre el programa Polygon Editing Tool. Una vez iniciado el programa se elige el modelo de digitalizador que está conectado, ya que esta software puede controlar varios modelos de hardware de la marca Konica Minolta. Para la selección del dispositivo: *File / Select Digitizer / VIVID 900/910(VI 900/910) / Ok*.

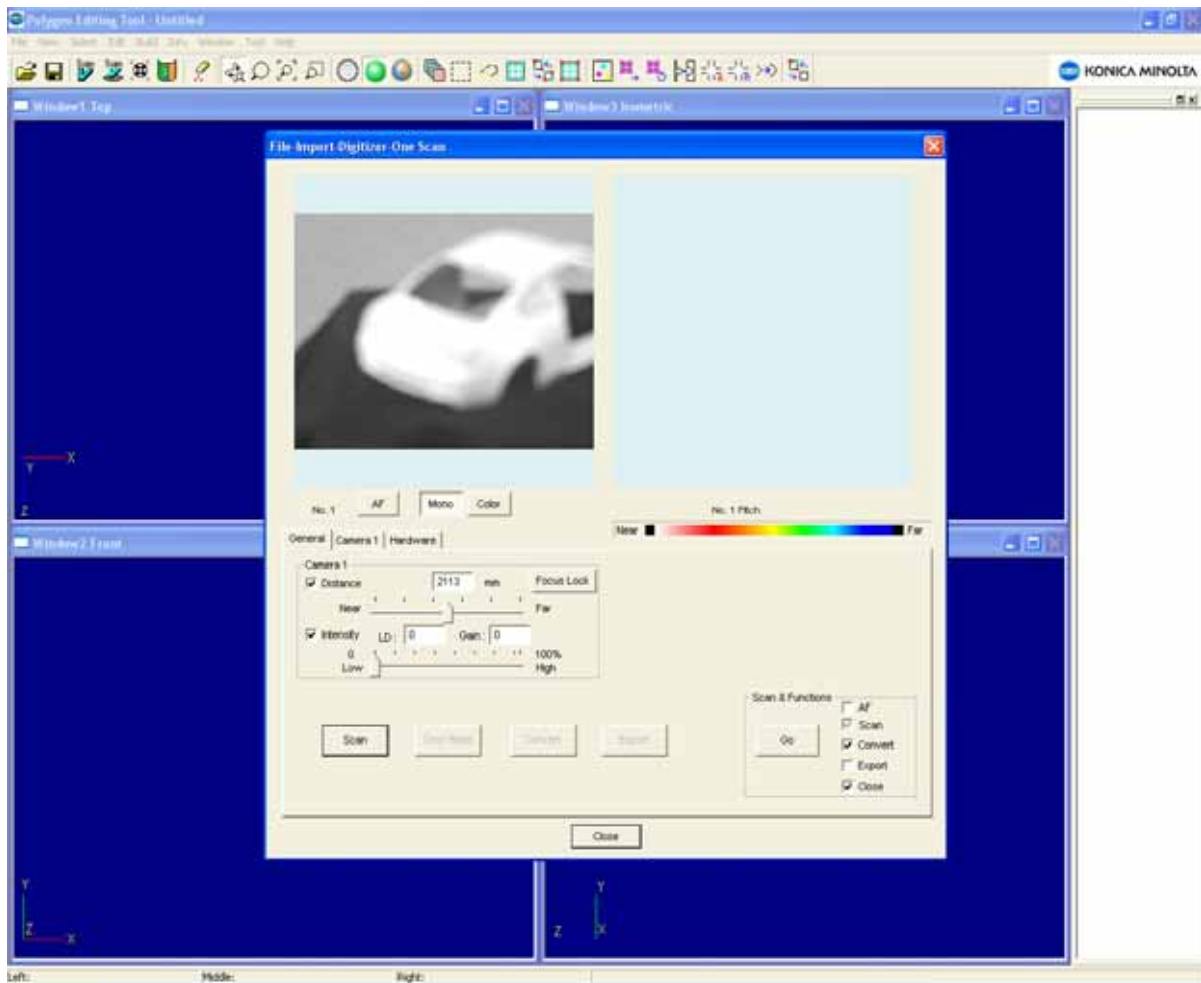
Para comprobar que ya hay un digitalizador seleccionado se observa que las pestañas de *One Scan* y *Steep Scan* están disponibles.



Fase 2- Proceso de digitalización de superficies.

En este apartado se va a explicar, como se escanean varias superficies con el dispositivo VIVID - 910. Se trata de tomar tantas fotos tridimensionales como se necesiten para tener todas las superficies del objeto. Cuanto más complicado sea un objeto, más capturas se deberán hacer.

1: Se selecciona 'One scan' (un escaneo) y aparece la siguiente ventana:



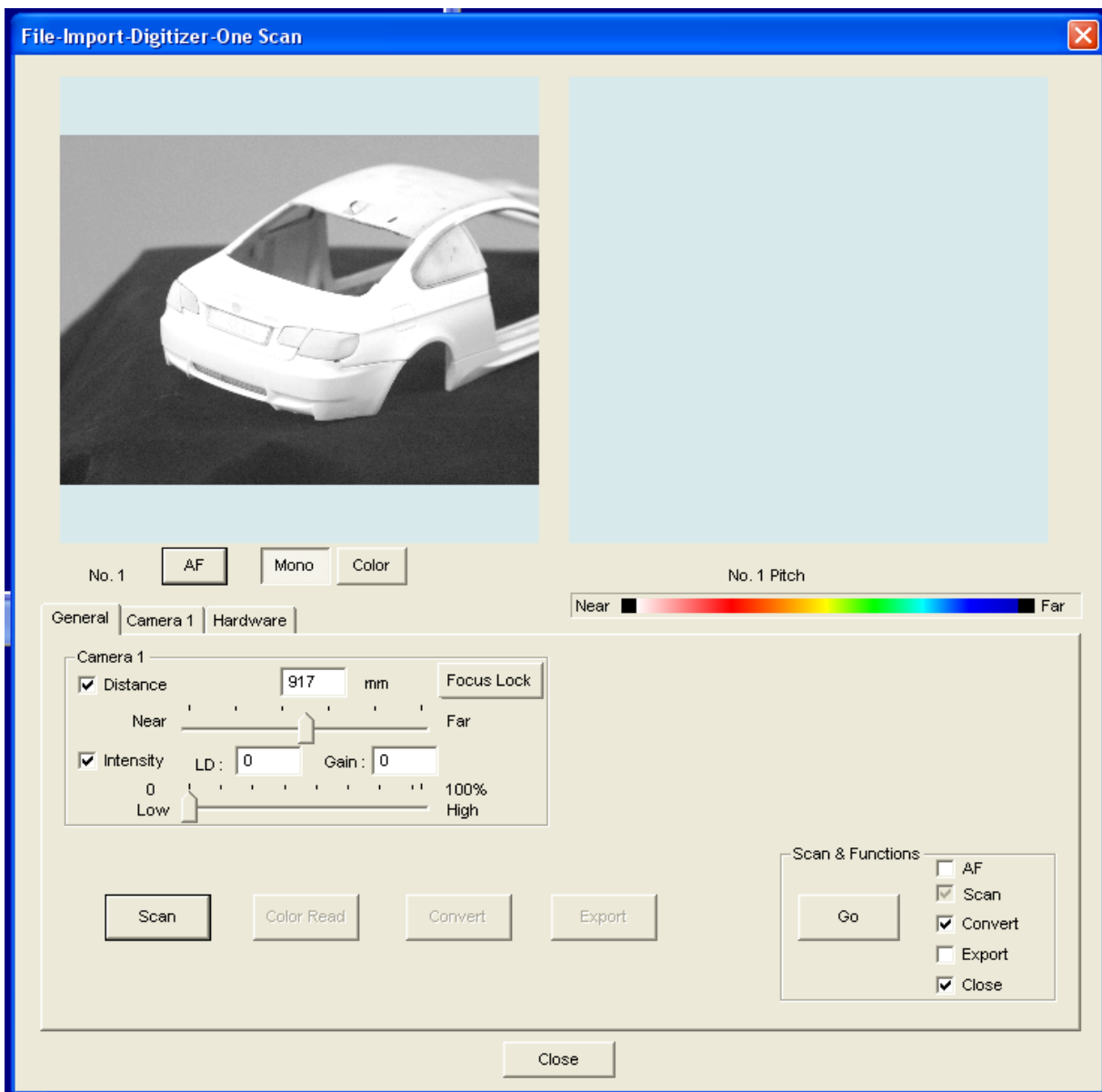
Ventana de One Scan.

En esta ventana, hay una pantalla que muestra a tiempo real que hay delante de la lente del digitalizador. Ahora es el momento de colocar nuestro objeto en la posición y distancia deseada. Hay que tener en cuenta que la superficie capturada es la que está dentro de la pantalla, todo lo que se quede fuera no será digitalizado.



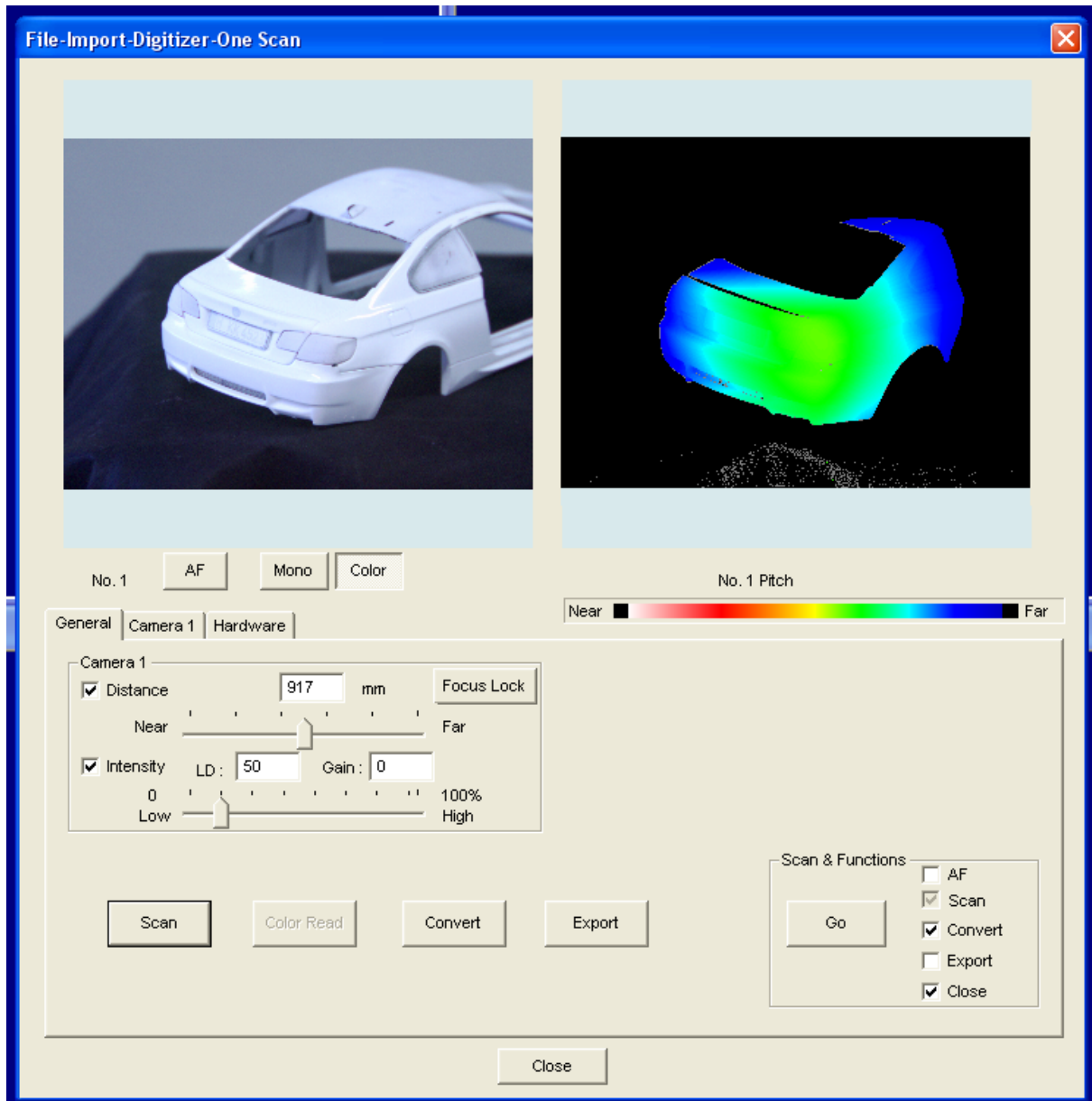
El objeto a escanear se coloca delante de la lente a la distancia adecuada.

2: Con el botón de (AF) *AutoFocus* (foco automático) Se deja al programa que calcule automáticamente la distancia del objeto a la lente (*Distance*), así como la intensidad del láser (*Intensity*). Los parámetros se ven reflejados en las barras de selección.



Objeto enfocado gracias a Auto Focus.

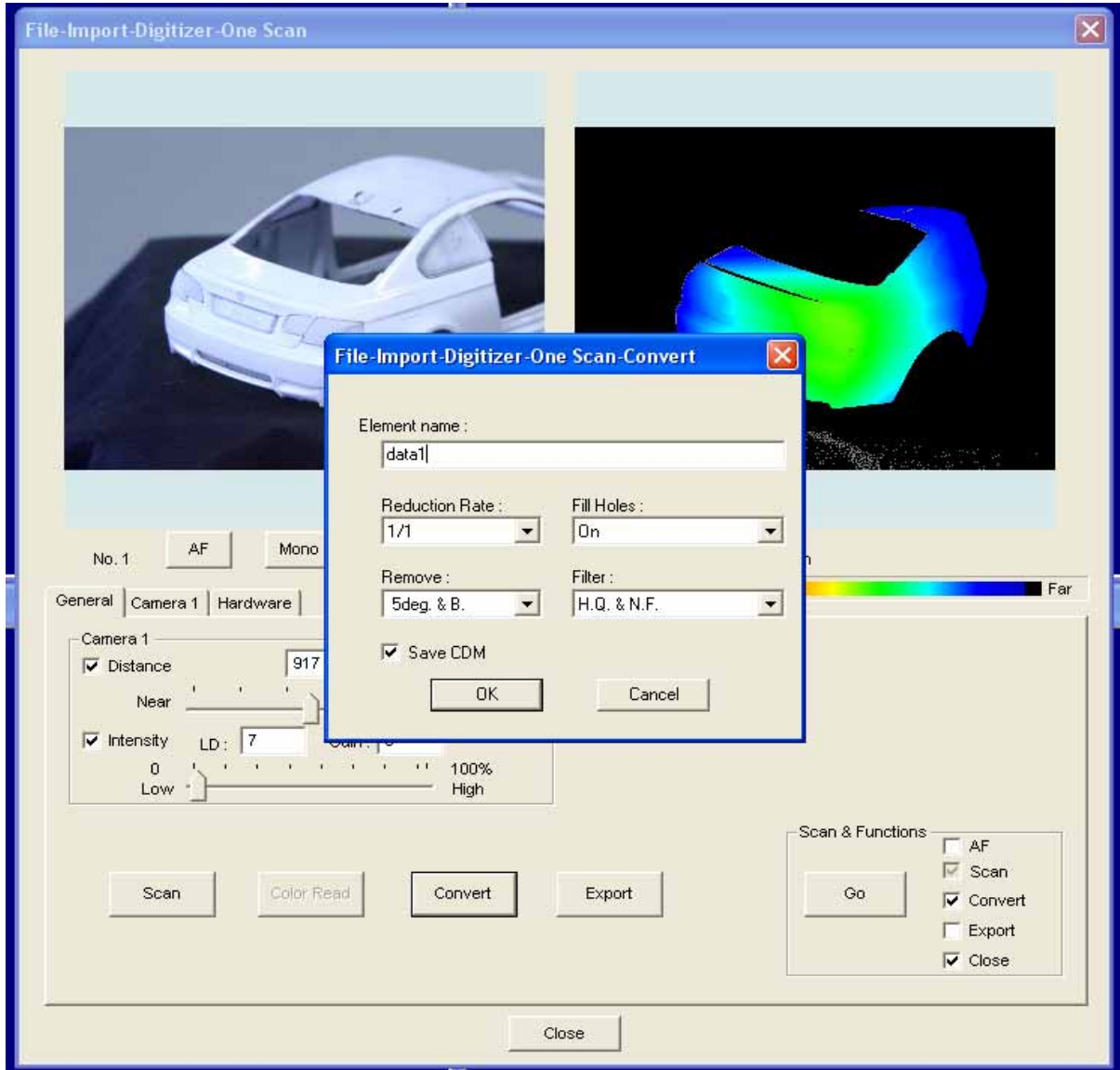
3: Una vez seleccionados los parámetros de escaneo, se selecciona el botón de *scan* para que el dispositivo comience el berrido láser.



Superficie capturada.

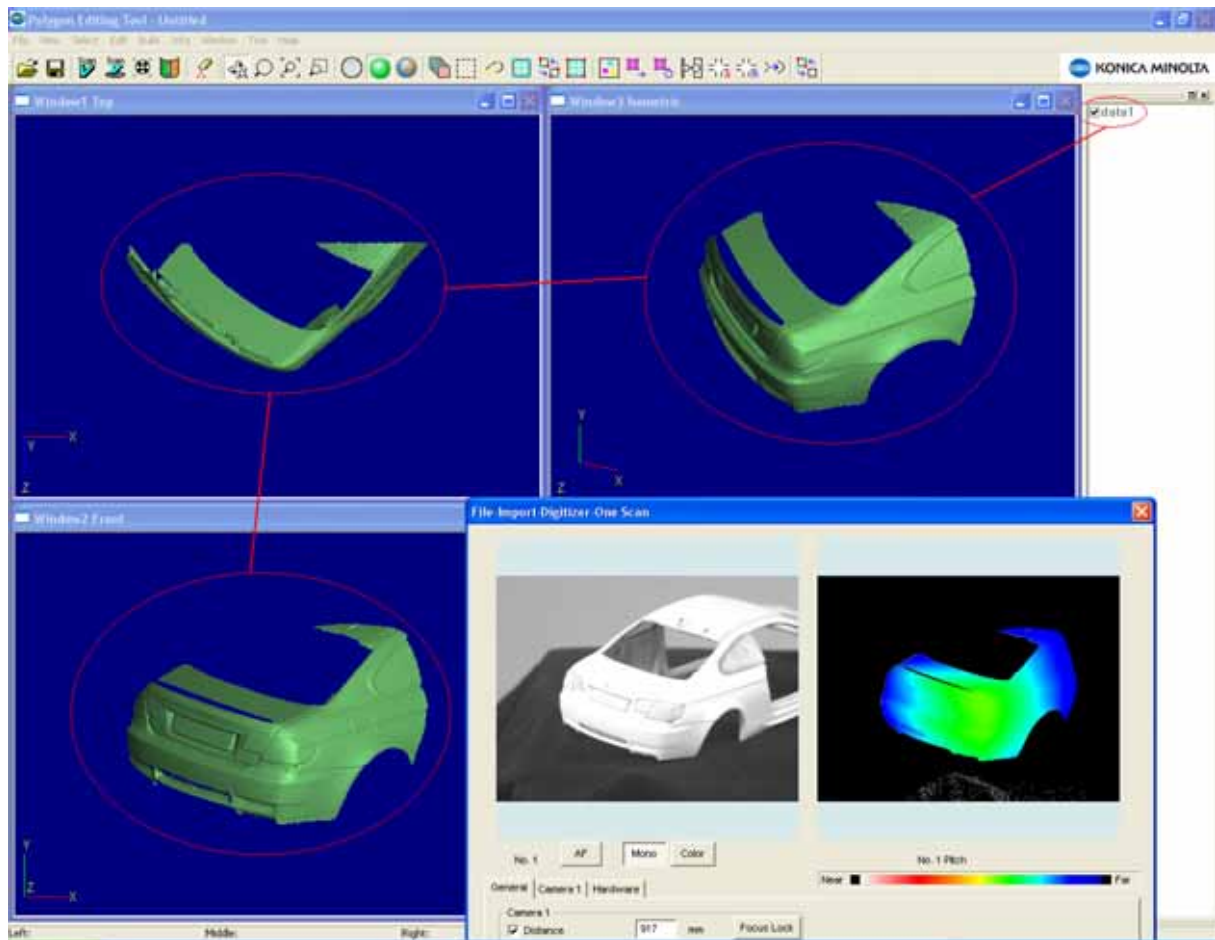
Los colores de la imagen de la derecha muestran la distancia a la que se encuentra cada parte de la superficie digitalizada. De esta manera, lo que estaba más cerca a la lente se muestra en color rojo claro, y a medida que se aleja de la lente cambia de color hasta el azul oscuro.

4: Una vez capturada la superficie, se guarda, presionando el botón *Convert*. Lo que el programa hace es guardar un archivo en el directorio que se le diga. Son archivos NTI cdm, pero con los que no se puede trabajar. Estos datos sólo sirven para que el programa pueda manejar la captura tomada. Se recomienda dejar los parámetros de *Convert*, tal y como vienen por defecto.



Ventana de Convert.

5: Una vez convertida la captura, aparece inmediatamente en las ventanas del programa. Así como en la lista vertical de la derecha donde se seleccionan las diferentes capturas que se tomen. Si la captura tiene una marca activada, será visible en las ventanas azules.

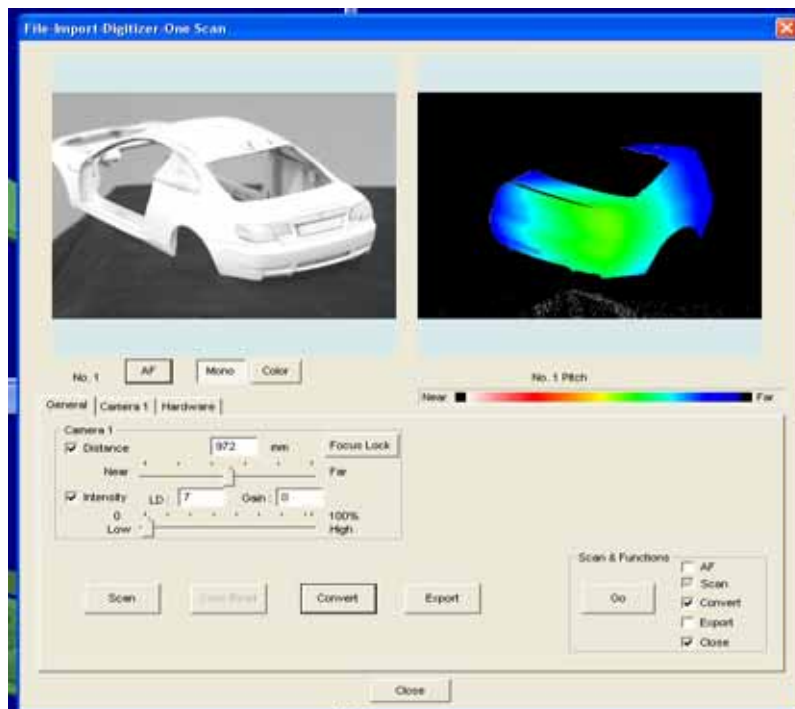


Aparecen las distintas vistas de la captura realizada.

6: Para realizar la siguiente captura, si fuese necesaria, se mueve el objeto manualmente, encuadrándolo en la pantalla hasta colocarlo en el ángulo deseado. A partir de aquí se repiten los pasos anteriormente explicados, hasta obtener el número de capturas necesarias.

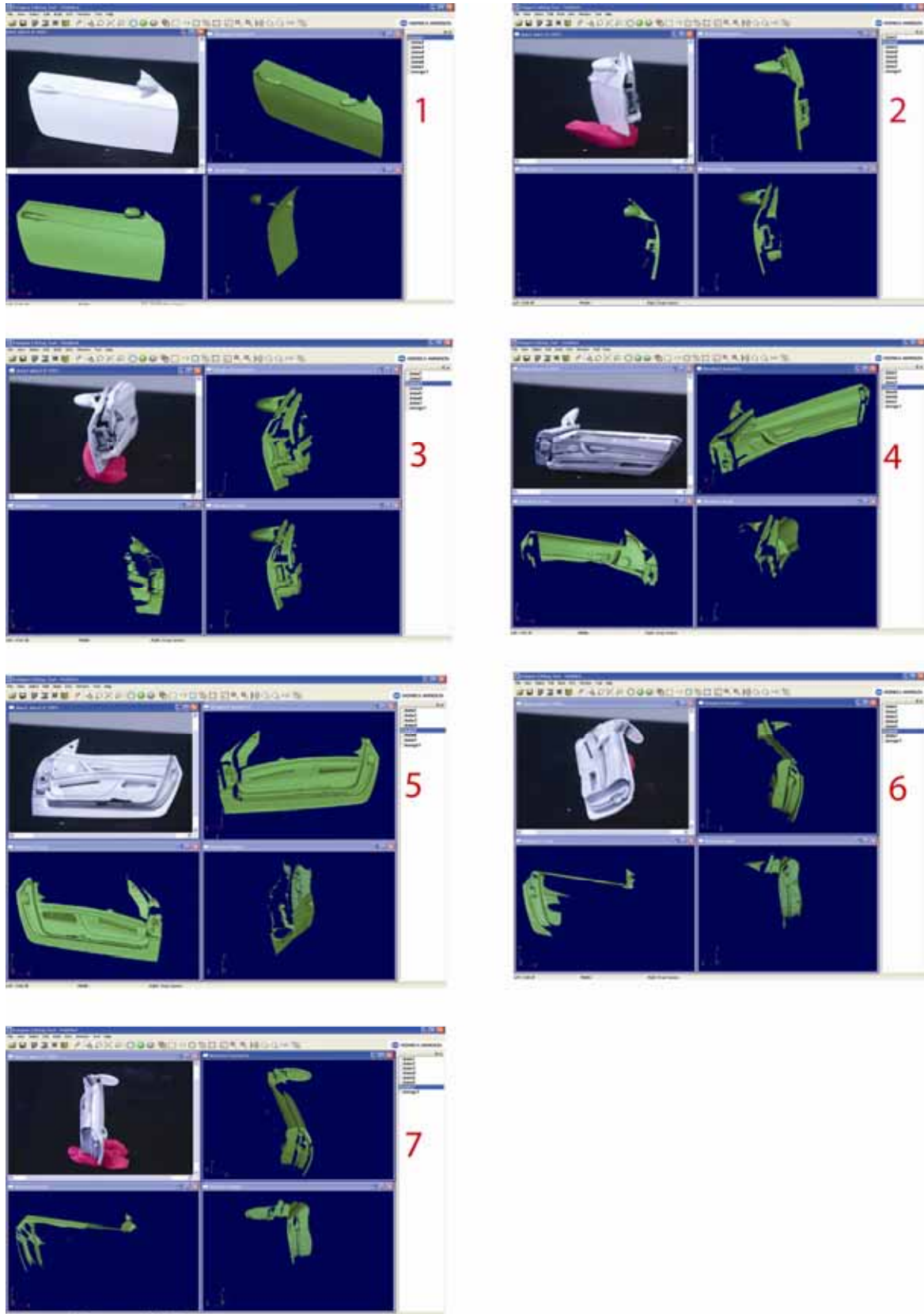


Manualmente se mueve el objeto para la nueva captura.



El objeto se representa a tiempo real en la pantalla de one scan.

Para poner un ejemplo, a continuación se muestran todas las capturas que se realizaron, con sus respectivas imágenes, para digitalizar la superficie completa de la puerta del copiloto. Fueron necesarias 7 imágenes para formar la puerta entera:



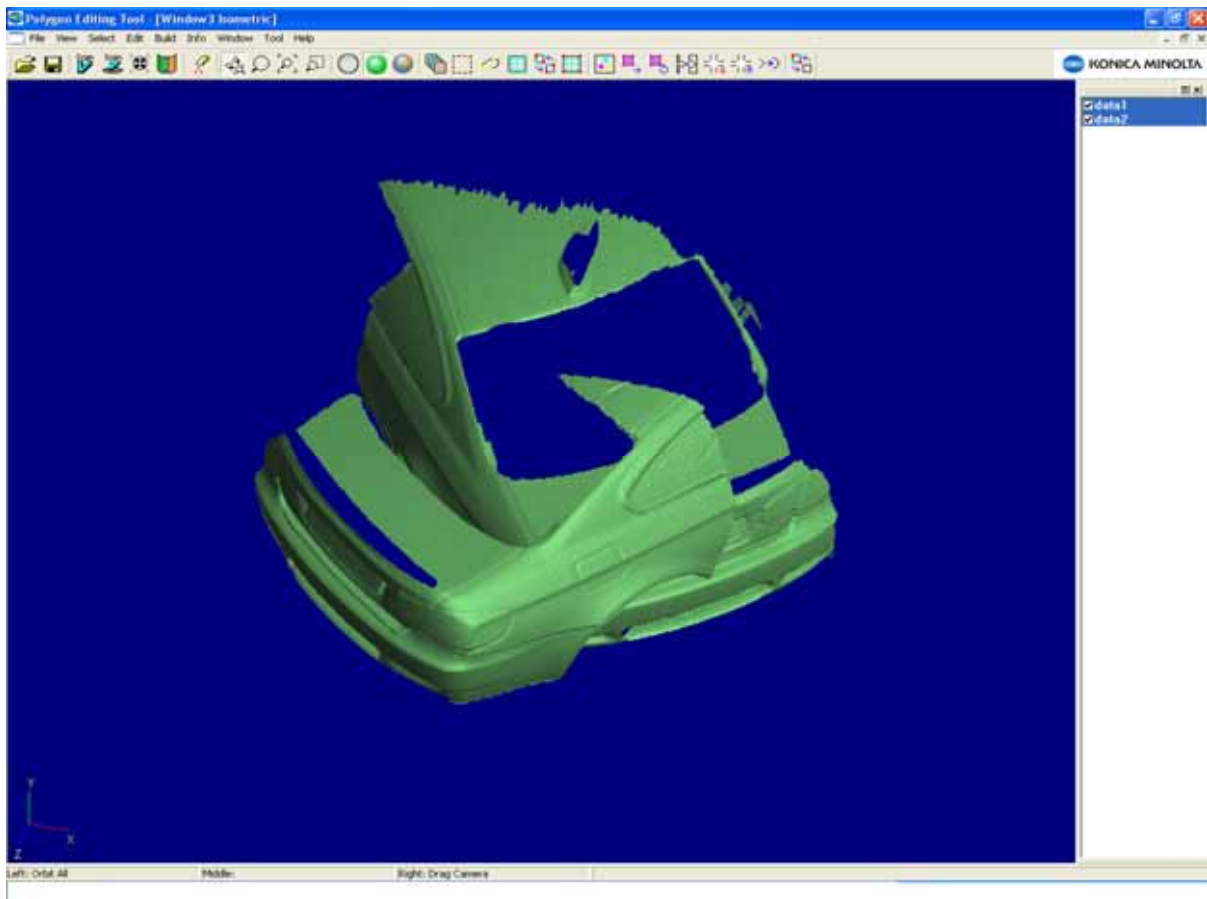
Fase 3- Tratamiento de piezas digitalizadas:

Una vez obtenidas las superficies con las diferentes capturas, deben ser tratadas para crear los objetos, y que parezcan un sólido, aunque en realidad sea una imagen creada con una nube de puntos.

Alineación Automática:

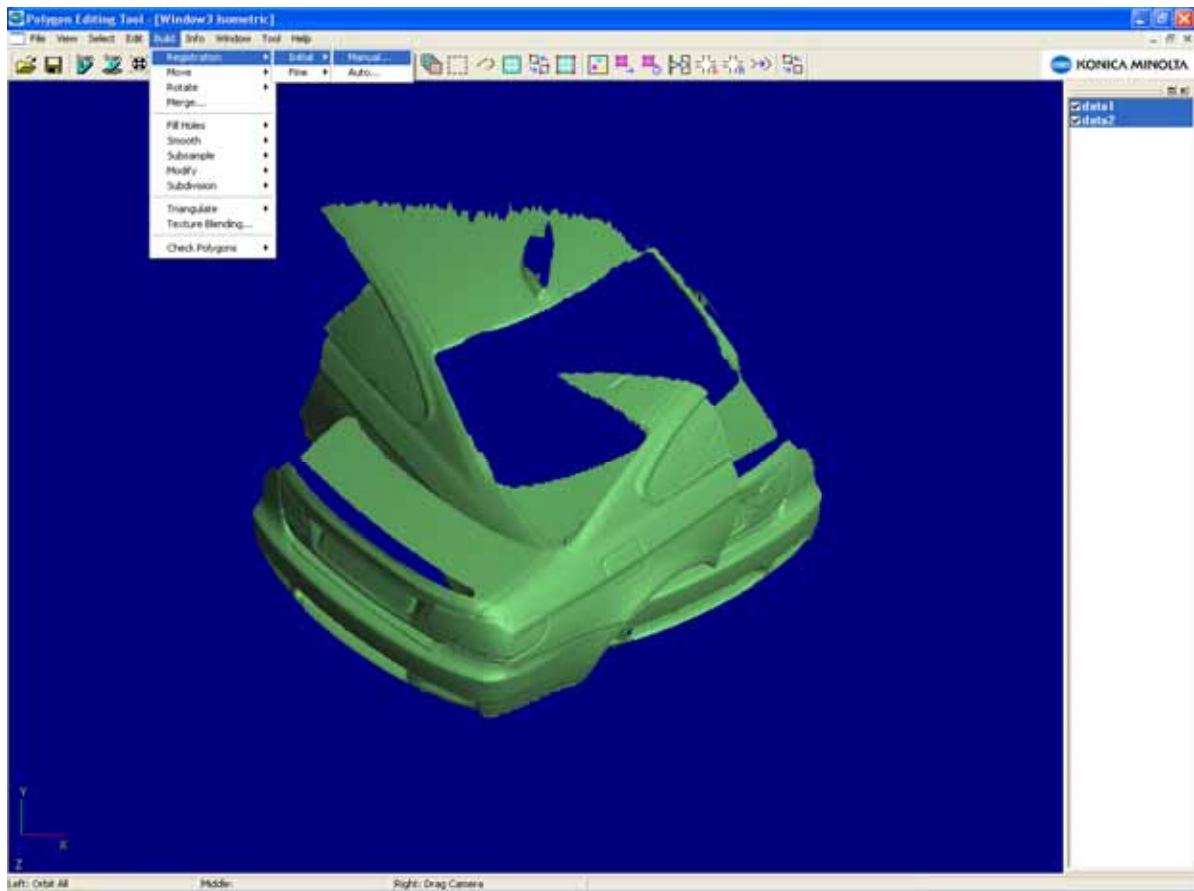
Las diferentes capturas tomadas, han de ser posicionadas relativamente entre si, ya que por defecto aparecen en la ventana isométrica con la orientación en la que estaba cuando al imagen fue tomada.

Aquí se muestran dos capturas de la parte trasera del coche, que aun no han sido orientadas. Para hacerlo es necesario elegir tres puntos de una de las imágenes, y tratar de elegir los mismos puntos de la otra imagen.



Dos capturas para ser alineadas.

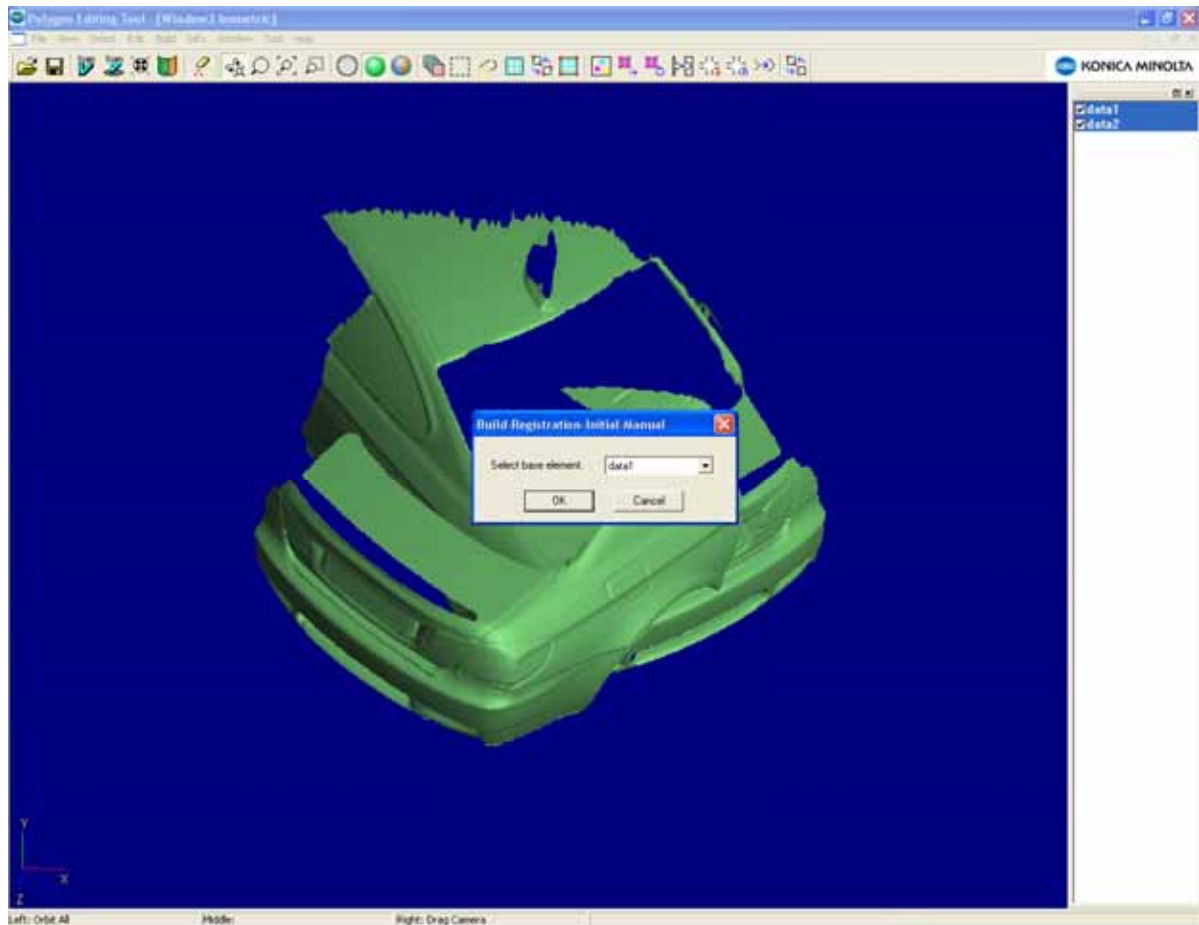
1: Primero se abre el comando para alinear manualmente las dos imágenes. Así pues se abre: *Build / Registration / Initial / Manual*.



Se abre Build / Registration / Initial / Manual.

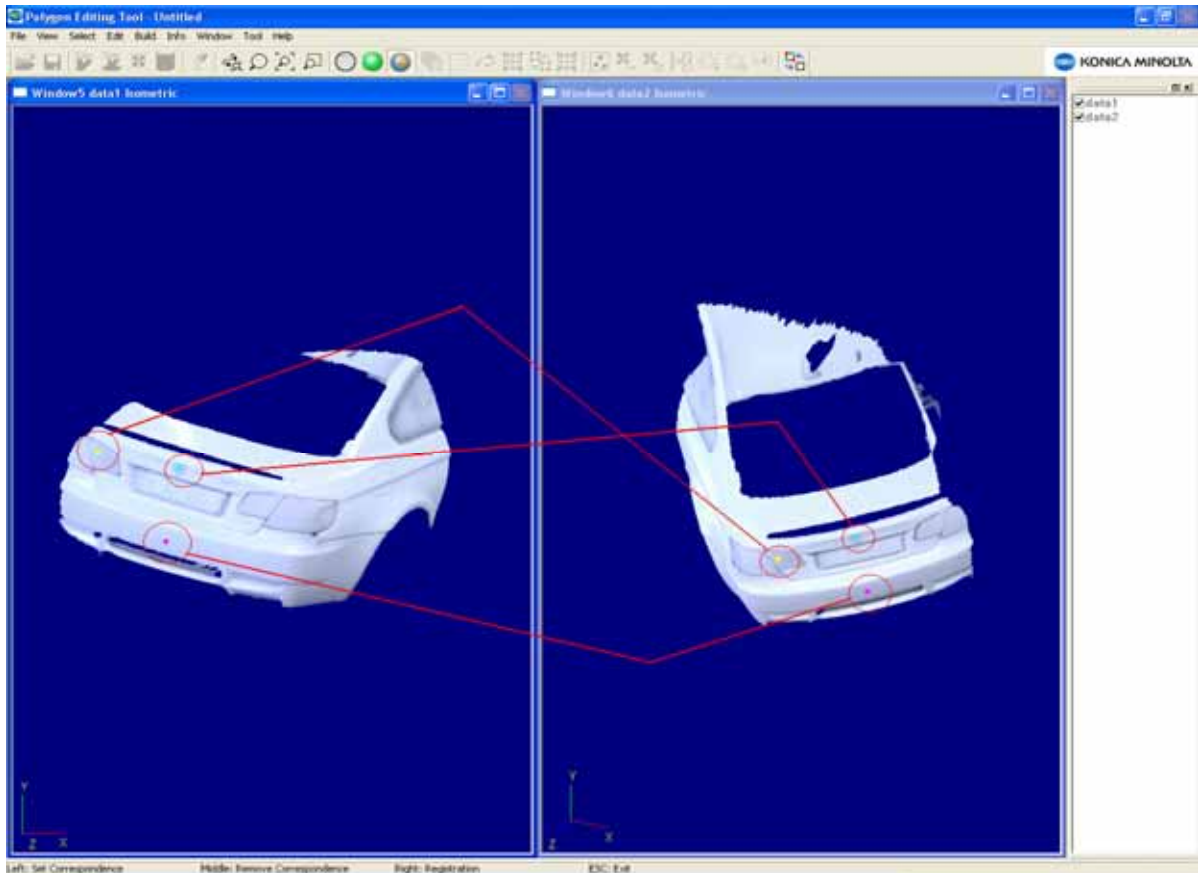
En esta operación solo se pueden alinear dos imágenes. En el caso de haber más de dos capturas, se ha de elegir una, que será la base para todas.

2: Una vez seleccionado el comando, se ha de elegir que captura será la base. La imagen que no sea la base será la que se mueva a la posición que se le indique.



Selección del elemento base.

3: Una vez dentro del comando, aparecen las dos imágenes que se van a alinear. Para ello se tienen que elegir tres puntos. (Se indican en rosa, azul y amarillo).

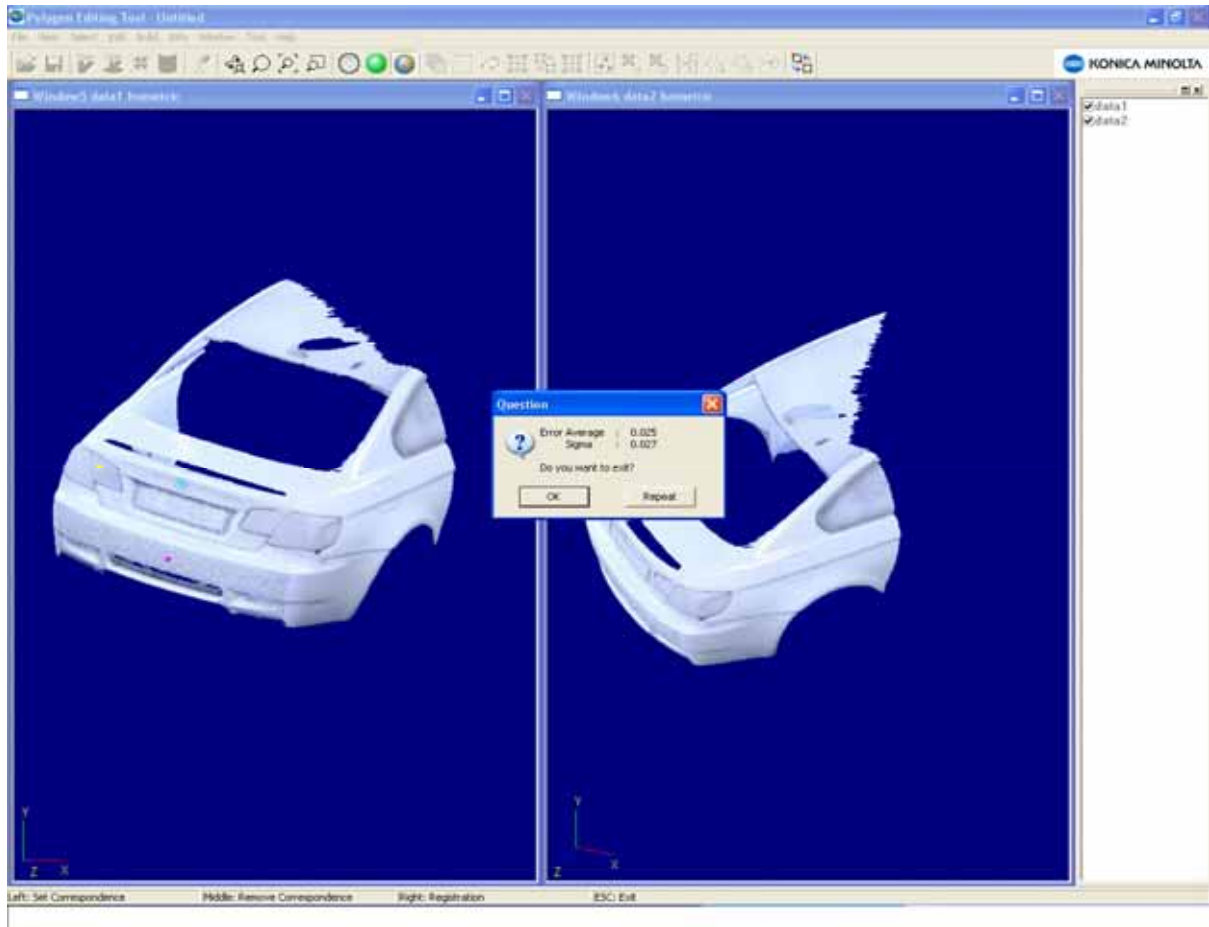


Puntos seleccionados.

Primero se elige un punto en una imagen, y luego se correlaciona con el de la otra imagen. Por eso es adecuado coger puntos que se puedan ver claramente en las dos imágenes. En este caso, el símbolo del coche está bien definido en ambas. Cada par de puntos asociados aparecen con el mismo color (rosa, azul y amarillo, colores predeterminados por el software). De esta manera, los puntos que representan la posición del logotipo de la marca aparecen en azul, los del la luz derecha se representan en amarillo, y los que indican la posición del centro del parachoques se representa en rosa. Para que el software no tenga problemas, es mejor que los puntos elegidos no sean colineales.

En ocasiones, es muy difícil relacionar los puntos de dos imágenes porque no tenemos ninguna referencia (en nuestro caso tenemos las luces, o el símbolo de la marca). En caso de tener una superficie lisa, sin referencias, le podemos colocar al modelo a digitalizar unas marcas que nos ayuden en el alineamiento de capturas. El digitalizador es muy sensible, por lo que no es aconsejable colocar en el modelo pegatinas o plastilinas. Es mejor pintar algún punto con un rotulador aconsejable para la superficie del modelo a escanear.

4: Una vez elegido los tres puntos, se presiona el botón derecho del ratón, y las dos imágenes se alinean en su sitio.



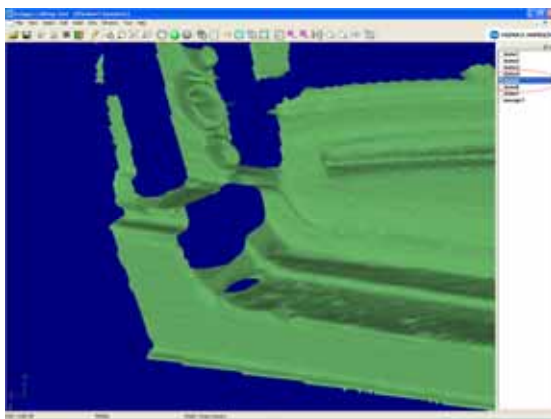
Ventana que muestra la precisión del alineamiento.

En general es aconsejable que los tres puntos que se eligieron fueran lo más exactos posible. Pero el programa realiza cálculos de las dos superficies para unir el máximo número de puntos posible. Los valores de "Error Average" y "Sigma" son indicadores de la perfección de la alineación. En general, cuanto más se aproximen a cero, más precisa será la alineación.

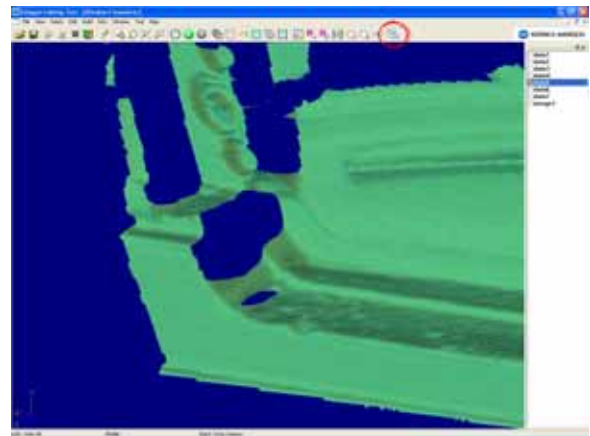
Tapado de agujeros:

Normalmente aparecen algunos agujeros en las capturas de cada superficie. Estos agujeros suelen estar en los bordes de la superficie digitalizada, ya que al láser confunde la pieza con el fondo. Es necesario el tapado de estos agujeros para crear el objeto sin problemas. Para ello se tiene que realizar una búsqueda en cada archivo de superficie individualmente.

1: Para que el programa sepa donde buscar los agujeros, se han de seleccionar los puntos de una sola imagen, seleccionándolas en la ventana vertical de la derecha. Luego pasar a la siguiente, y así hasta analizar los agujeros de todas las capturas. Existen muchas formas de visualización de las piezas, seleccionando la que más guste. En caso se representa la superficie en monocromo verde, y a la derecha los puntos de malla deseleccionados (en azul).



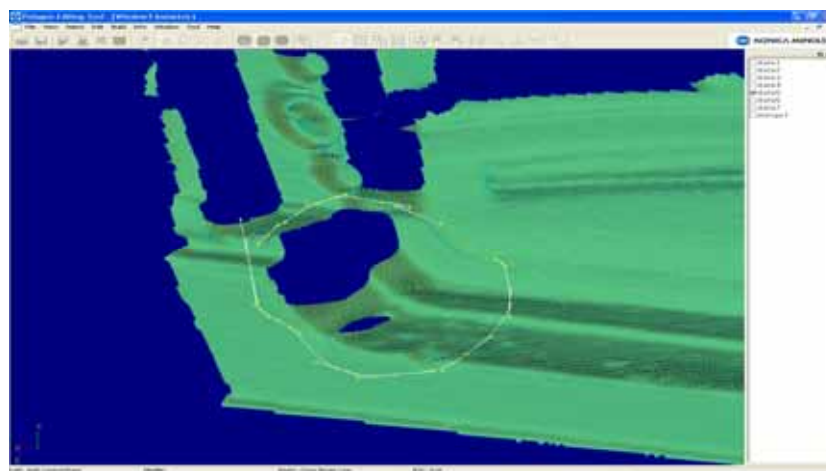
Visualización en malla monocromo



Visualización con puntos deseleccionados y visibles.

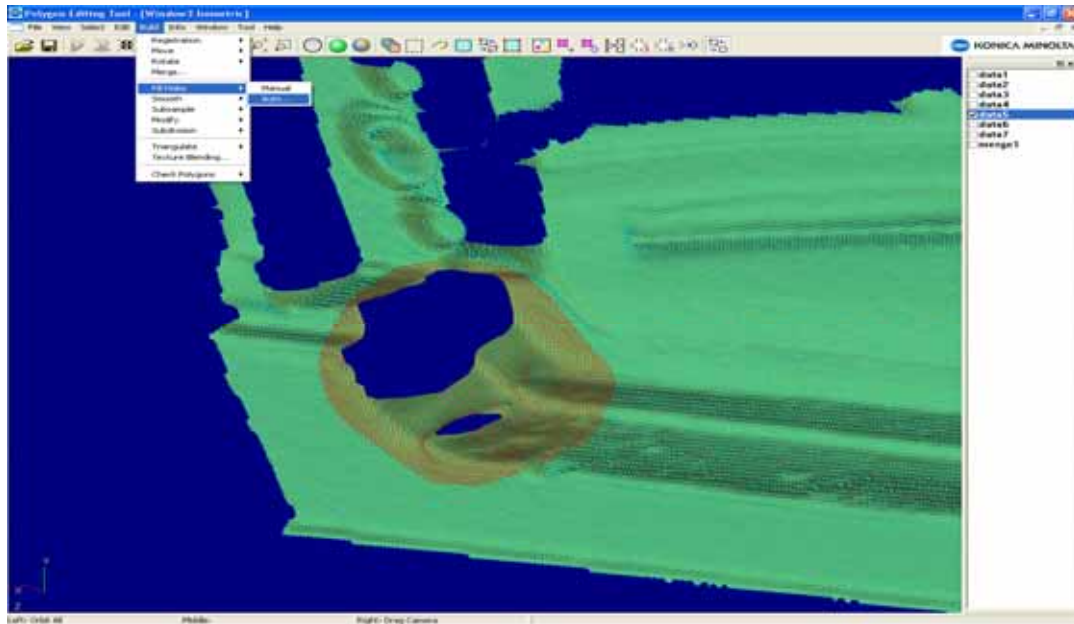
Se pueden seleccionar todos los puntos de la superficie con: *Select / Select by Elements*. De esta manera todos los puntos azules se vuelven rojos.

Otra manera de seleccionar puntos es escogiéndolos uno a uno, o seleccionando los deseados encerrándolos dentro de un polígono. La forma más cómoda de selección es crear un polígono con el comando Lazo. *Select / Bezier*. Como se muestra a continuación.



Selección de puntos con Bezier.

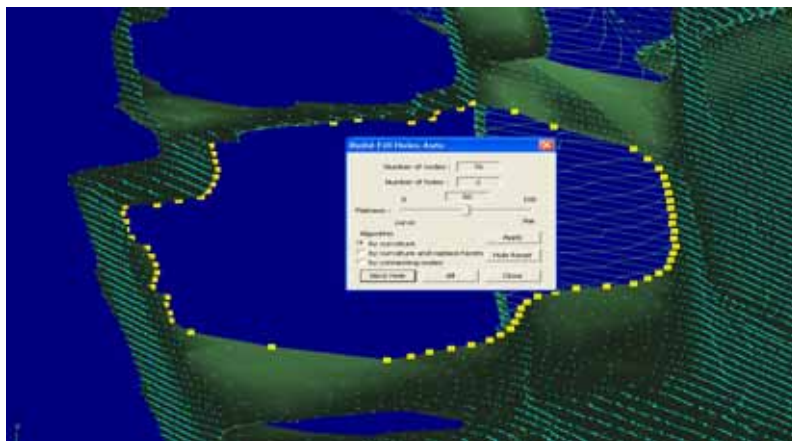
2: Una vez seleccionados los puntos de la superficie donde se quiere rellenar agujeros, se elige el comando de tapado automático de agujeros. *Build / Fill Holes / Auto*.



Puntos seleccionados.

El programa indica cuantos agujeros hay en la superficie seleccionada, y el número de nodos que tiene ese agujero. A más nodos para unir, más trabajo le cuesta realizar la operación al programa. Tampoco es recomendable tapar automáticamente agujeros muy grandes porque la superficie nueva que se crea, no es igual a la de la superficie del objeto real. Si el agujero es muy grande (más de 120 nudos aproximadamente) es preferible realizar una nueva digitalización de la superficie.

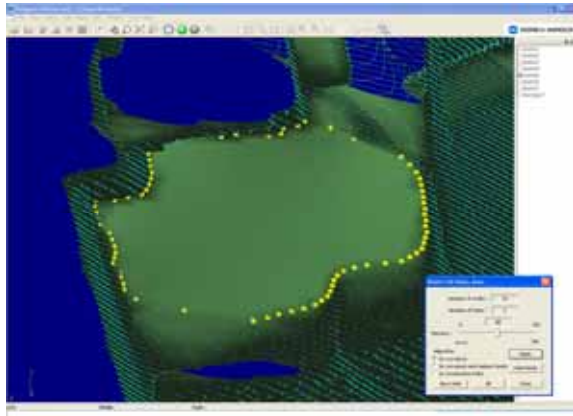
Para que el programa cierre el agujero que se muestra se presiona el botón *Apply* y se espera hasta que se crea una nueva malla en el agujero. Entonces se presiona *Next Hole* en el caso de haber más agujeros, o bien *Ok* si ya no quedan más.



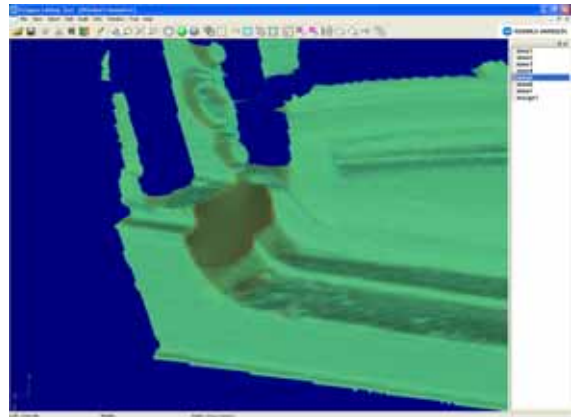
Muestra de la información de los agujeros.

A veces la superficie del agujero a tapar es muy irregular, y el algoritmo que viene por defecto (*by curvature*) no puede taparlo. En ese caso se deberá elegir otro algoritmo de los que se posee (*by curvature and replace facets*, o *by connecting nodes*). En el caso de no funcionar ninguno, se aconseja realizar una nueva captura de la zona, para insertarle la nueva malla, pero si no fuese posible, se puede dejar el agujero sin cerrar puesto que en el siguiente software que se emplea (Freeform Modeling) existe la posibilidad de tapar todos los agujeros.

Una vez tapados los agujeros con la creación de nueva malla, su aspecto es el siguiente:



Primer agujero tapado.



Todos los agujeros tapados.

Para deseleccionar los puntos que están en rojo: *Select / Unselect by Elements*. Todos los puntos de malla se volverán azules.

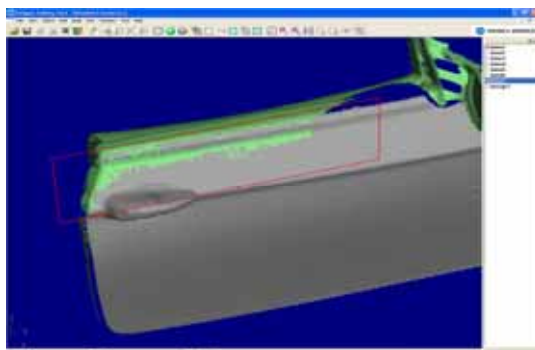
Limpieza de superficies:

Al realizar varias capturas para digitalizar toda la superficie del objeto siempre hay trozos de superficie que coinciden en varias capturas. Esto es necesario para la fase de alineación explicada anteriormente. Pero a la hora de unir, cosiendo todas las capturas en una sola, no es aconsejable que mucha de la superficie de dos capturas distintas coincidan. Por eso siempre es bueno limpiar los bordes de cada imagen, eliminando mallas que representen la misma superficie y que están repetidas, dejando una sola malla. Da igual que coincidan unos cuantos puntos, pero cuantos menos sean, mejor.

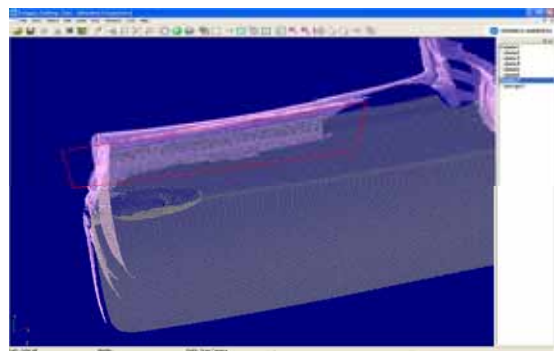
Para el proceso de limpieza es mejor ir inspeccionando mallas de dos en dos. Ocultando las demás y dejando visibles y activas las dos capturas a inspeccionar. Para ocultar las mallas que no hacen falta, se presiona el recuadro de la ventana vertical de la derecha. La marca significa que ese elemento está visible, si no hay marca el elemento estará oculto.



Según la visualización de superficie que escojamos, se ve mejor o peor la solapación de las mallas.

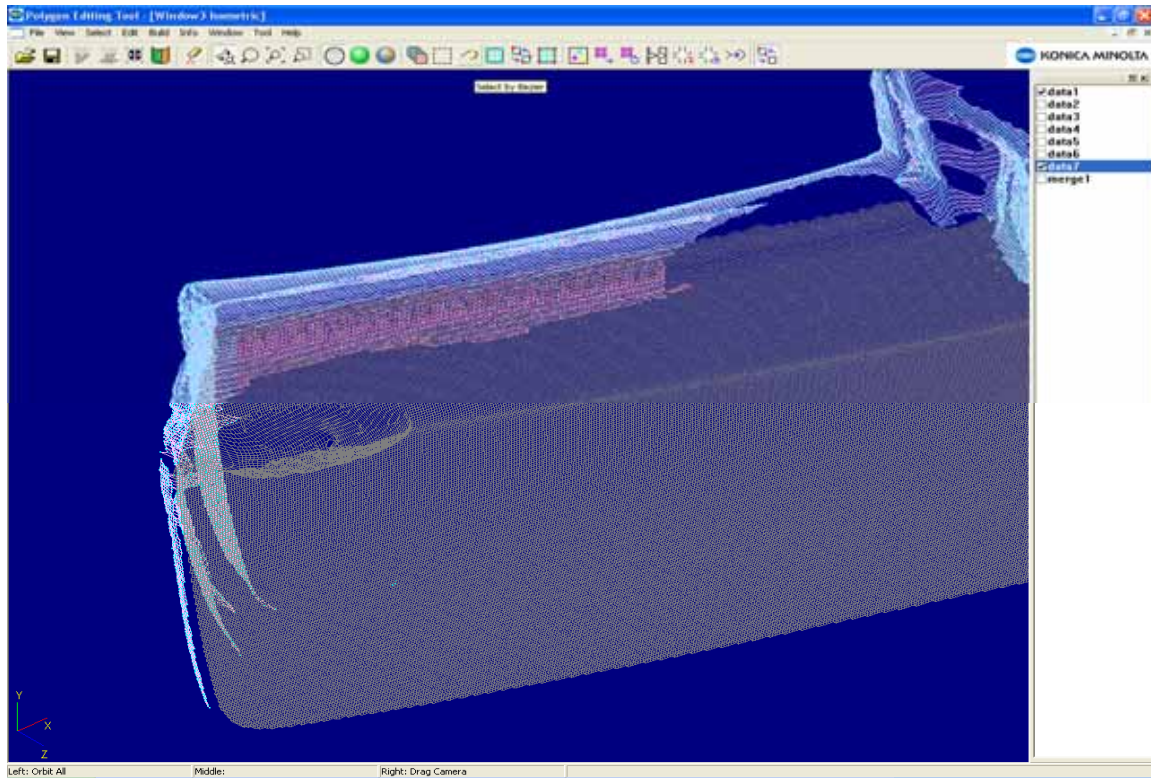


Visualización en malla monocromo



Visualización en malla transparente.

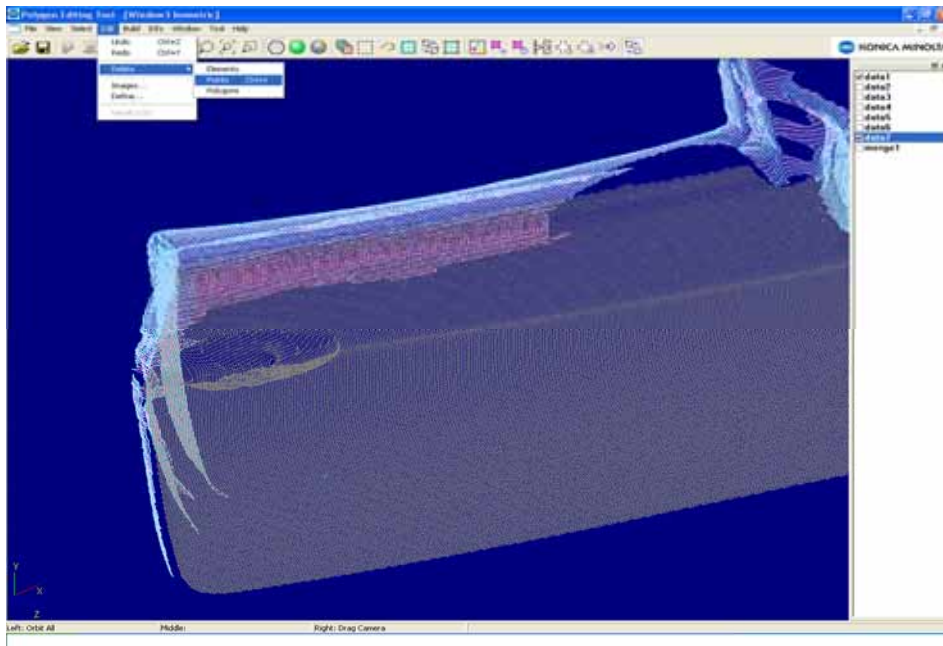
1: Para borrar puntos de superficie, primero han de ser seleccionados con las distintas herramientas de selección. Al igual que para el tapado de agujeros, el mejor comando de selección es el Select / Bezier.



Puntos para borrar seleccionados.

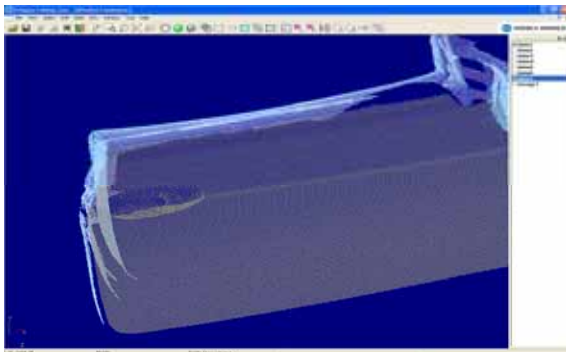
Es importante que en el momento de seleccionar los puntos, solo esté activa la captura que queramos limpiar. Si hay más de una captura seleccionada en la ventana vertical de la izquierda, se borrarán los puntos seleccionados de todas las capturas.

2: Una vez seleccionados los puntos a borrar aparecen en rojo. Entonces se coge el comando: *Edit / Delete / Points*. De esta manera los puntos desaparecerán.

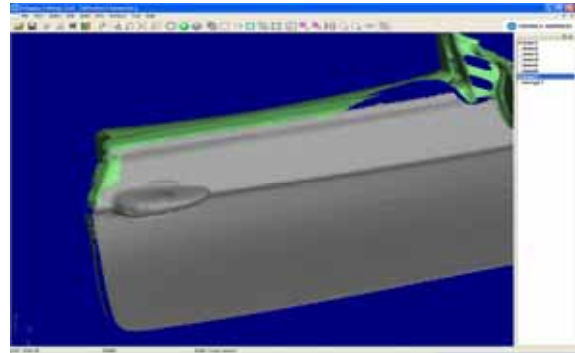


Selección de la opción para borrar puntos.

Borrada ya la malla repetida, se puede ver que ya solo coinciden unos pocos puntos de ambas mallas. Si son pocos no tiene importancia ya que al realizar el cosido del conjunto, el programa realiza bien el trabajo.



Visualización en malla transparente.

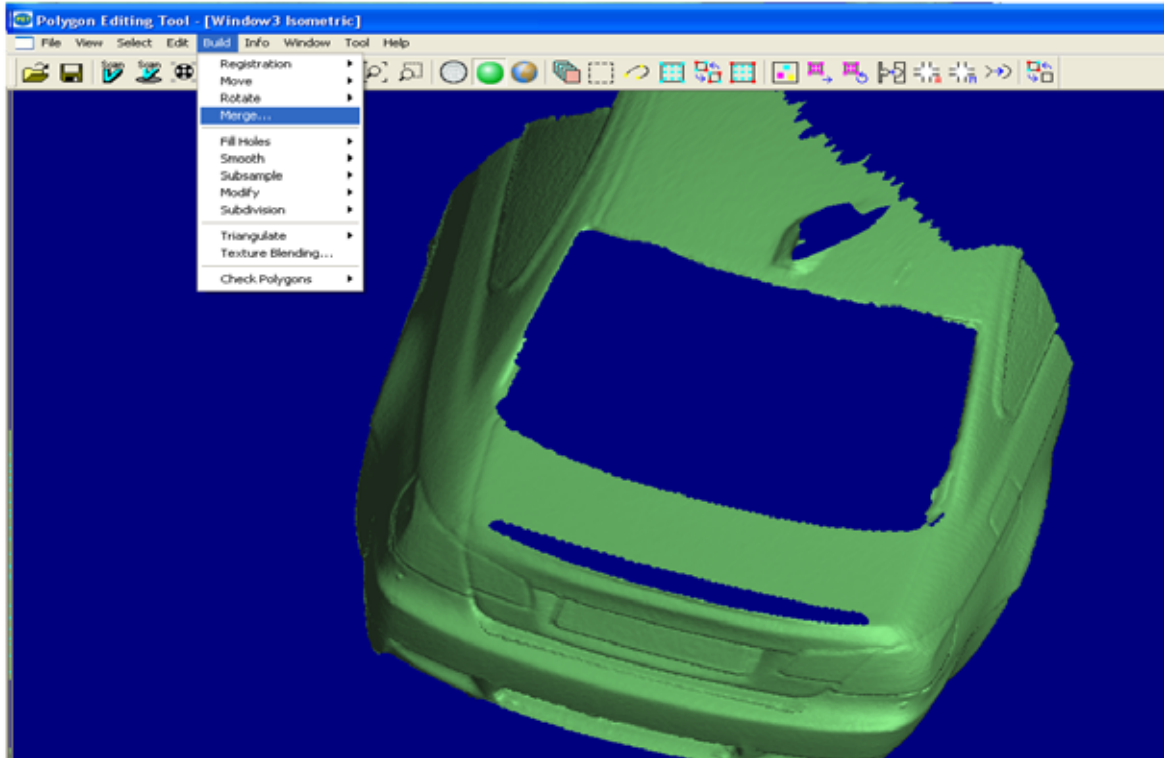


Visualización en malla monocromo.

Cosido de mallas.

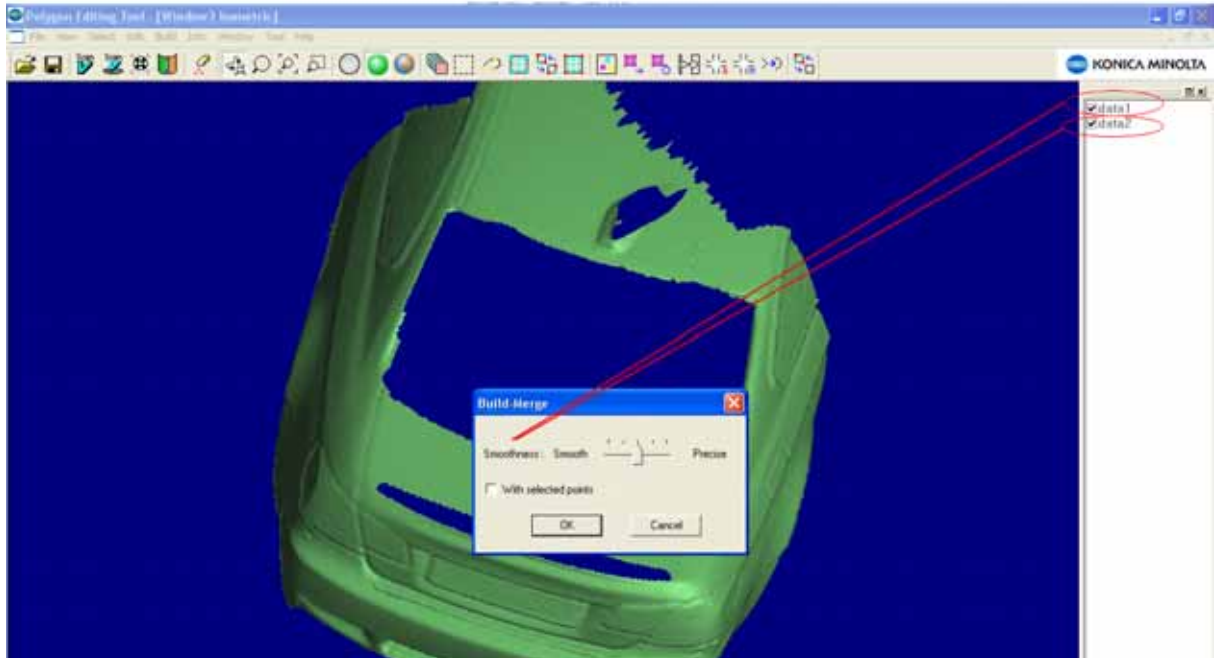
En esta operación se transforman todas las mallas, que teníamos de las capturas anteriores, para formar una sola malla. Se recomienda coser todos los elementos que tengamos a la vez.

1: Se pueden coser las mallas de dos o más capturas. Para ello se selecciona el comando de coser: *Build / Merge...*



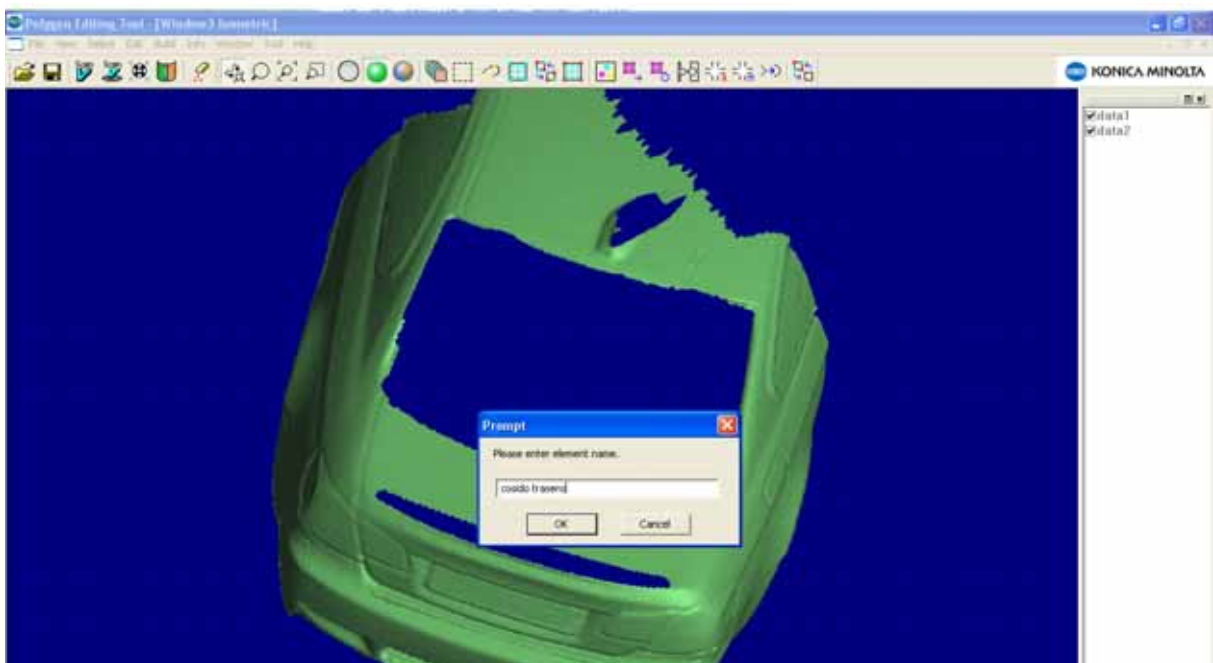
Capturas listas para ser cosidas.

2: Una vez dentro del comando, se nos pide el tipo de unión que se realizará en las diferentes capturas. Aquí se muestra como se van a coser dos capturas (Data1 y Data2). El tipo de unión elegida ha sido un intermedio ente *Smooth* y *Precise*. Estos parámetros representan la calidad de unión. *Smooth* suaviza las uniones entre mallas, mientras que *Precise* deja las uniones lo más aproximadas a la captura de la que vienen.



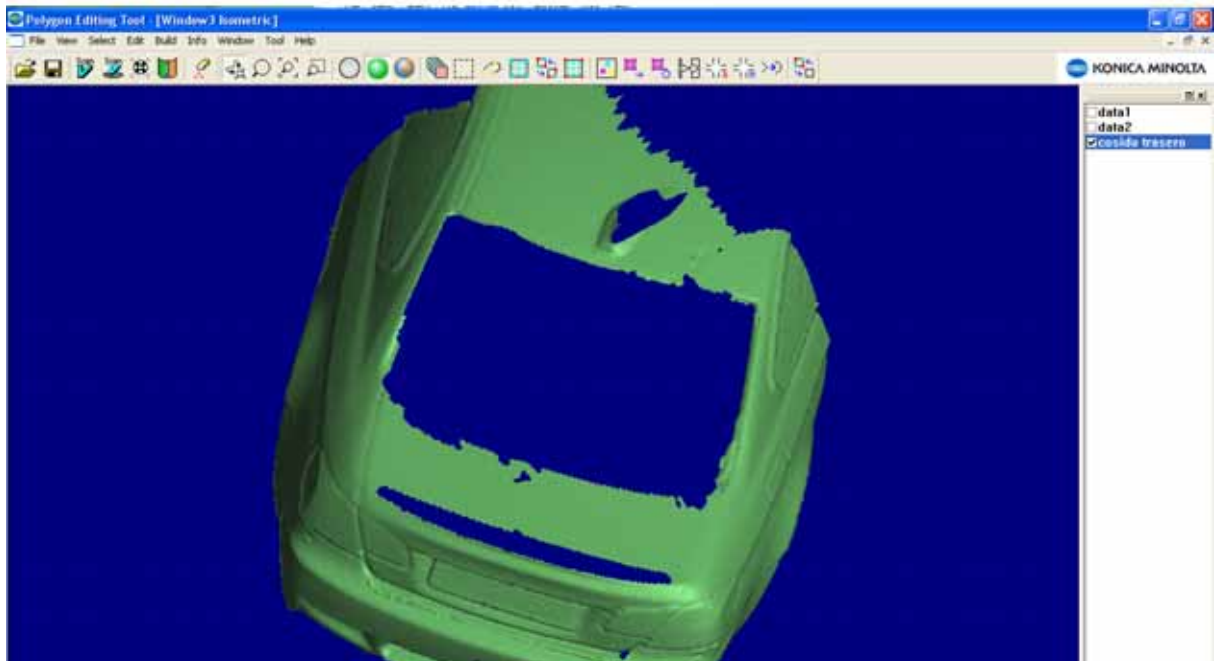
Selección de la calidad de cosido.

3: Después de presionar *Ok* se introduce el nombre de del nuevo elemento que se va a crear a partir de los elementos anteriores.



Nombre del nuevo elemento cosido.

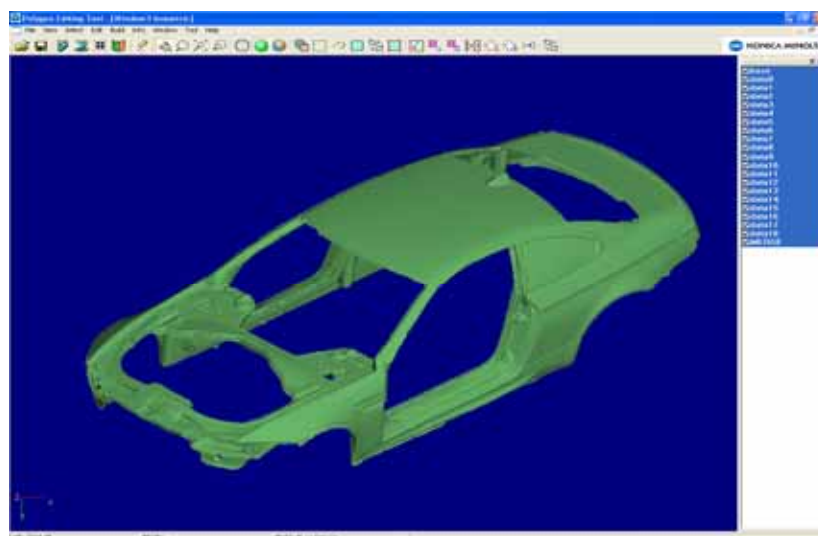
4: Como se puede observar, el nuevo elemento aparece debajo de las anteriores capturas, en la ventana vertical de la derecha.



Visualización de la malla cosida.

La calidad de la nueva malla no es tan buena como la de las dos de la que provienen, por eso, cuanto mejor calidad tengan las capturas, mejor será el resultado de la obtenida.

Así es como queda el armazón del coche, una vez cosidas sus 18 capturas. Puede ser interesante tapar los posibles agujeros que hayan quedado al hacer el cosido, procediendo como se explicaba anteriormente. Pero en el momento de importar los datos al siguiente software, aparecerá de nuevo la opción de tapado de agujeros. Por eso no es necesario cerrar todos los agujeros de la malla, aunque si la mayoría, y sobre todo los más grandes.



Muestra del armazón completamente cosido.

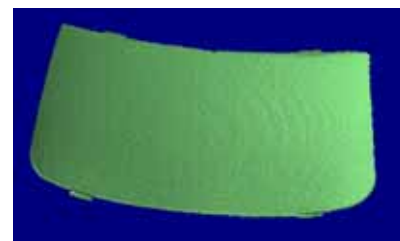
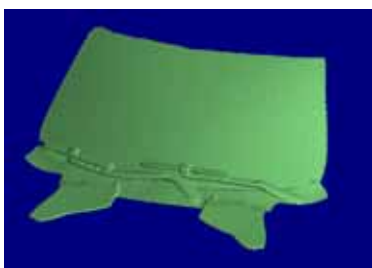
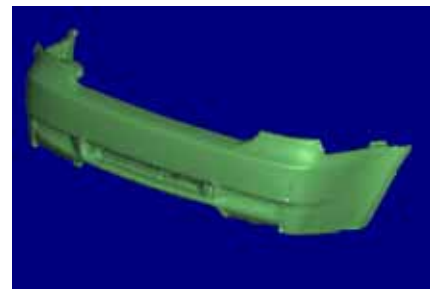
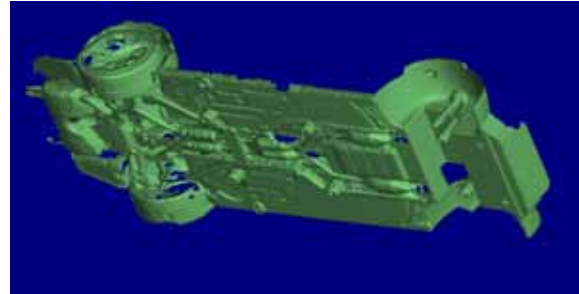
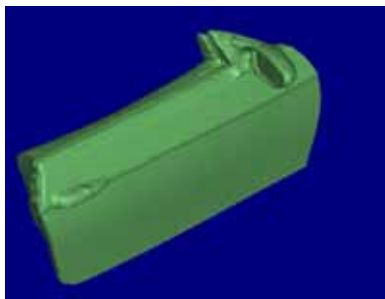
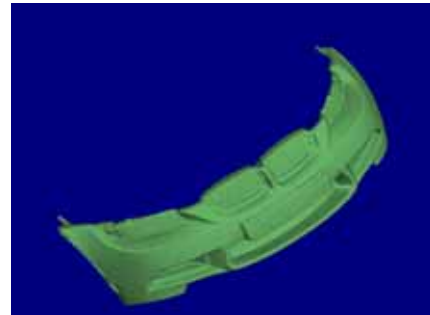
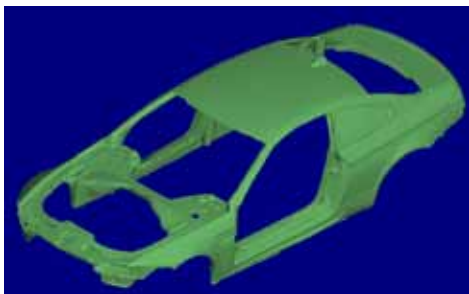
Guardado de datos.

Las capturas que se tomaron no importantes para los procesos siguientes. El archivo importante es el de la malla total, el conjunto de todas las capturas y que representan la superficie total del objeto como una nube de puntos. Si bien es cierto que es recomendable guardar todas las capturas por si hay que realizar posibles modificaciones.

Para guardar las diferentes capturas y la malla cosida, se emplea el formato vvd. , que es el formato de archivos que maneja el programa Polygon Editing Tool. Para ello: *File / Save / Elements*.

Se ha de seleccionar el directorio donde se guardarán los archivos. Para cada elemento que se va a guardar se introduce un nombre y se presiona *Save*. Automáticamente aparece el segundo elemento a guardar.

Aquí se muestran las piezas de la maqueta que fueron digitalizadas:



Fase 4- Exportación de datos.

Para poder utilizar los datos de las superficies digitalizadas en otros software's, se tienen que exportar los archivos que contienen toda la información de la superficie del objeto, estas son las mallas que fueron cosidas, no las capturas individuales. Como tenemos ocho piezas, se exportarán ocho archivos al formato STL. Para ello: *File / Import / Elements*.

2.1.3- Problemas surgidos y su resolución.

El tiempo necesario para la digitalización de un objeto depende del tamaño del mismo. Cuantas menos capturas se necesiten para el escaneo de toda la superficie, más rápido se realiza todo el proceso. En este caso, para el objeto más complicado, el chasis, se necesitaron 2 horas para la digitalización de la superficie (interior y exterior). Luego, en la fase de tratamiento de los datos se emplearon otras 3 horas.

El tiempo total para la fase de escaneo estaba estimado en un mes, desde la primera semana de Septiembre hasta la primera semana de Octubre. En realidad, el digitalizador se comenzó a instalar en el aula 02 de la planta baja, el jueves 24 de septiembre (2 semanas de retraso). Esto fue debido a que todavía no se había decidido donde colocar el digitalizador.

Cuando se comenzó a instalar el digitalizador se echó en falta una llave de seguridad USB, con la licencia del software. Se buscó esa llave durante 1 semana, debatiendo que se tendría que hacer si no aparece (pedir una nueva a la casa Konica Minolta en Valencia, con un coste de 500€, era la única solución). Al final apareció la llave de seguridad en un cajón de una mesa de los talleres. Ya se habían acumulado más de tres semanas de retraso.

Durante los meses de realización de este proyecto, coincidiendo con el primer cuatrimestre del curso, se dio la circunstancia de que no había ninguna persona en el campus de Tudela que supiera manejar perfectamente el digitalizador VIVID 910, así que siguiendo el manual se fueron realizando las primeras capturas de superficies. Apareció el problema de que las superficies del objeto que se escaneaba eran muy brillantes. Esto hacía que el láser del digitalizador no capturara correctamente las superficies. Para solucionar este problema se decidió pintar el objeto con una pintura blanca con base acuosa (témpera) para reducir los brillos de la superficie metálica de la maqueta.



Pintado de la maqueta en blanco, con un aerógrafo.

La última pieza se terminó de digitalizar el martes 17 de noviembre, un mes más tarde de lo estimado al principio del proyecto.



2.2- MODELADO 3D

2.2.1- Explicación hardware y software.

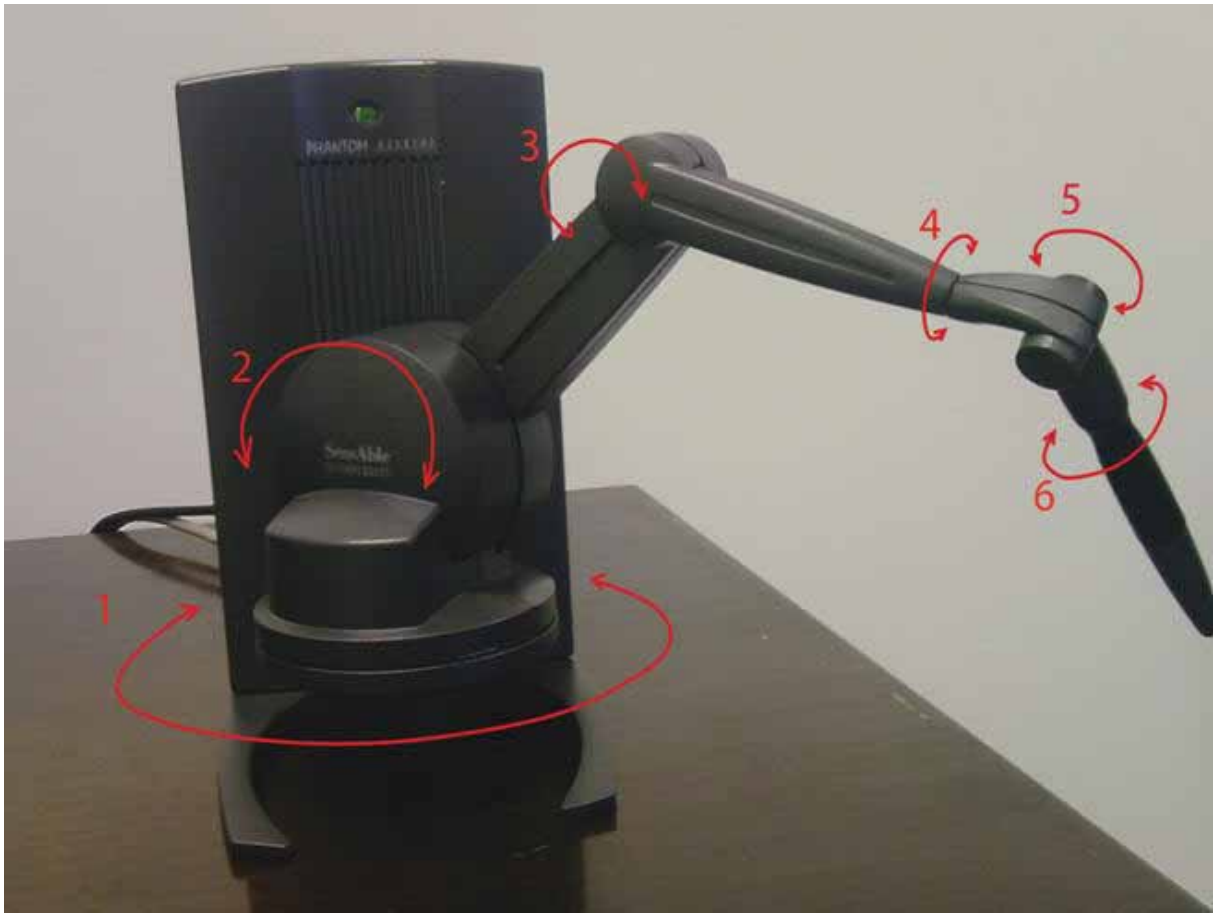
HARDWARE:

El lapicero robótico tridimensional (*Desktop*) es un interface háptico. Esto significa que este dispositivo permite al usuario sentir o manipular objetos simulados en entornos virtuales. Además de provocar en el usuario esta sensación de inmersión, también permite interactuar con el medio virtual, pudiendo establecer entre el usuario y el entorno virtual una transferencia bidireccional y en tiempo real de información.

En concreto, nuestro interface es el PHANTOM Desktop, de la marca Sensable Technologies.



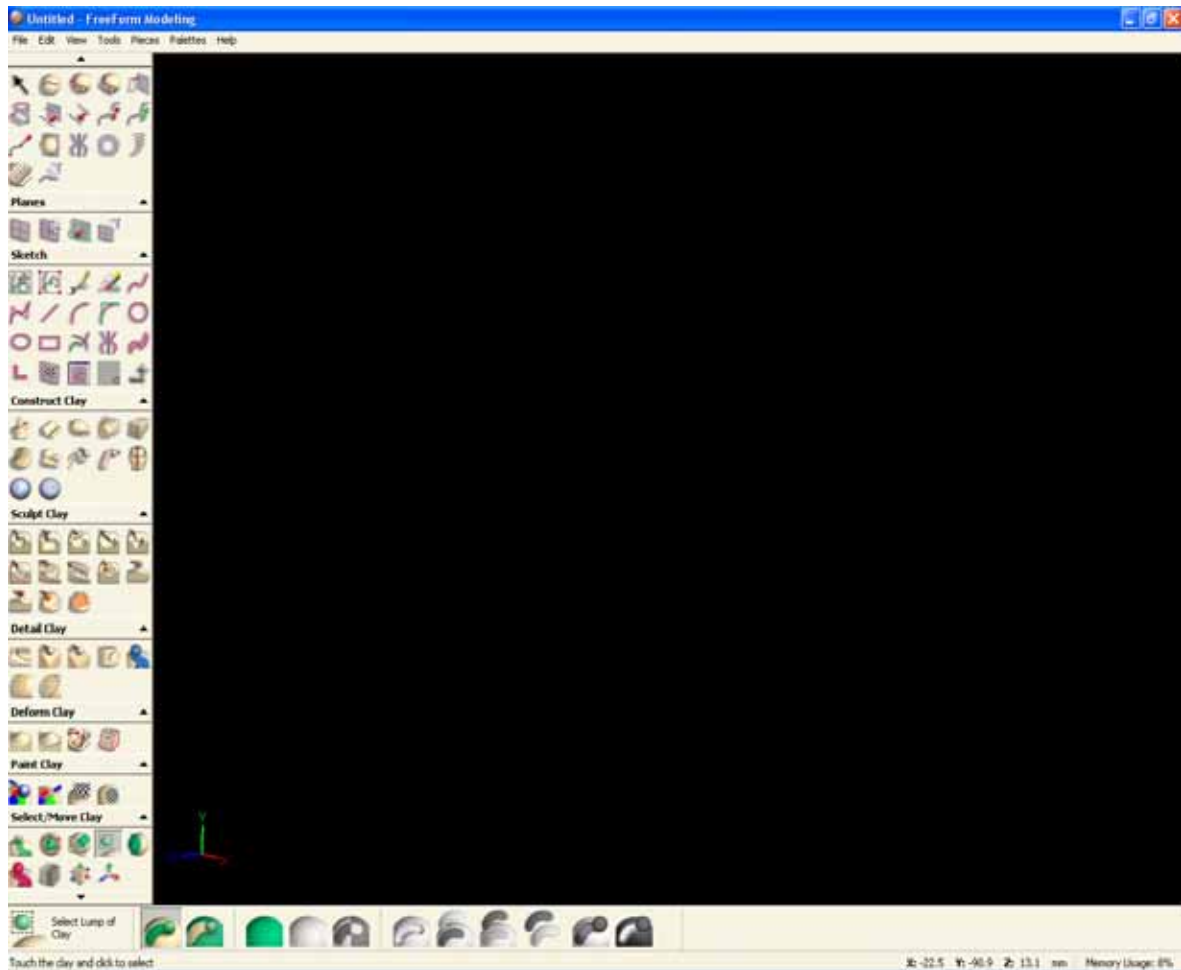
Este dispositivo tiene 6 grados de libertad de posicionamiento, pudiendo recibir force feedback (fuerza máxima de 22N) a lo largo de todos o algunos de estos grados de libertad. El Phantom renueva el estado de sus fuerzas cada milisegundo, y presenta una alta resolución posicional.



Seis grados de libertad.

SOFTWARE:

Con la adquisición de esta herramienta de diseño se dispone de el software llamado FreeForm Modeling, con el que se pueden modelar objetos virtuales. Aquí se muestra la ventana inicial al abrir el programa.



Pantalla inicial del Software FreeForm Modeling.

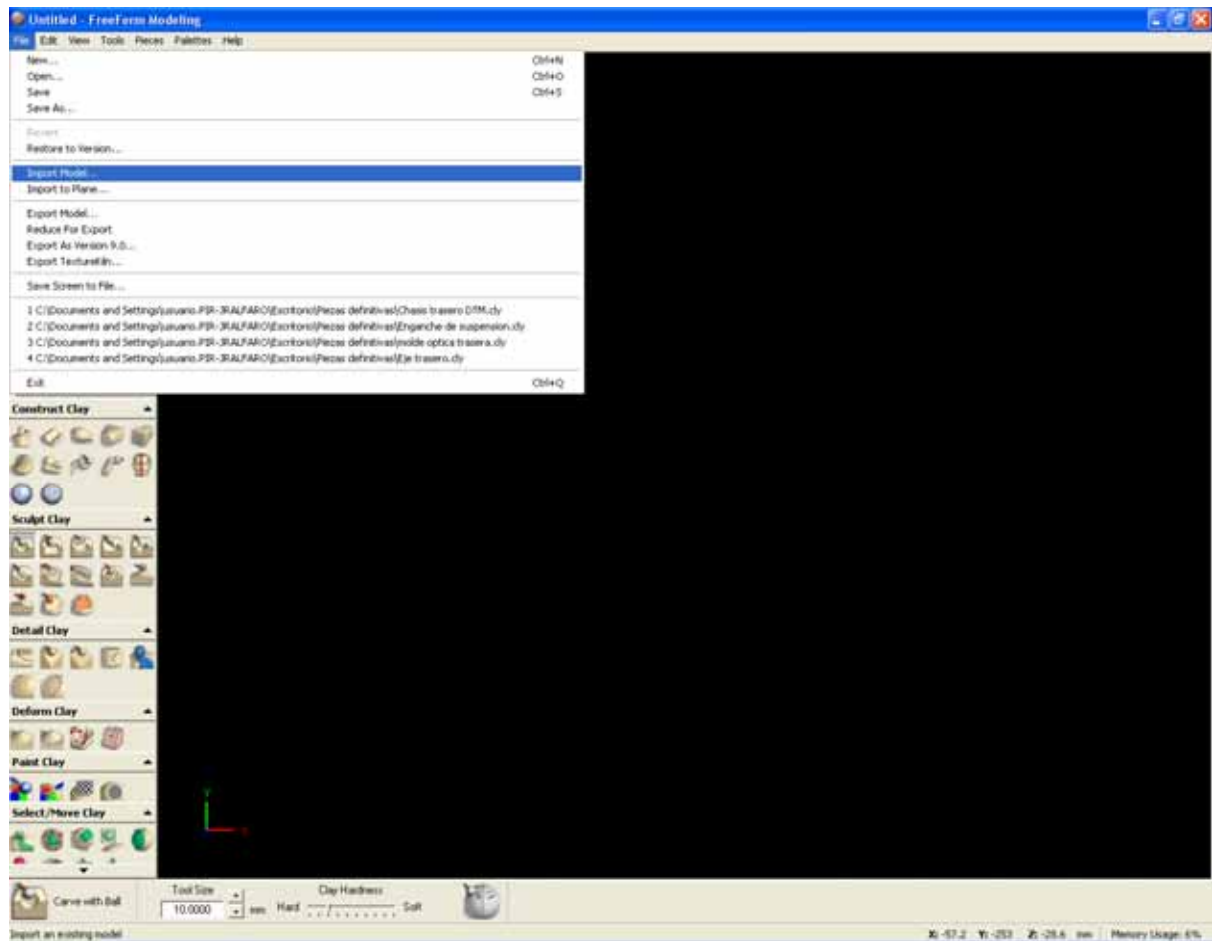
En este programa se crean o modifican elementos como si fuesen de material *Clay*, que en la realidad es como una plastilina. A la hora de modelar, este programa se diferencia del resto de software's de diseño 3D en que usa herramientas para esculpir las piezas, de una forma artística, además de poseer los típicos comandos de diseño de los demás programas de diseño 3D (protusión, vaciado, redondeo, simetría, etc).

2.2.2- Fases en el proceso de modelado 3D.

Fase1: Importar archivos.

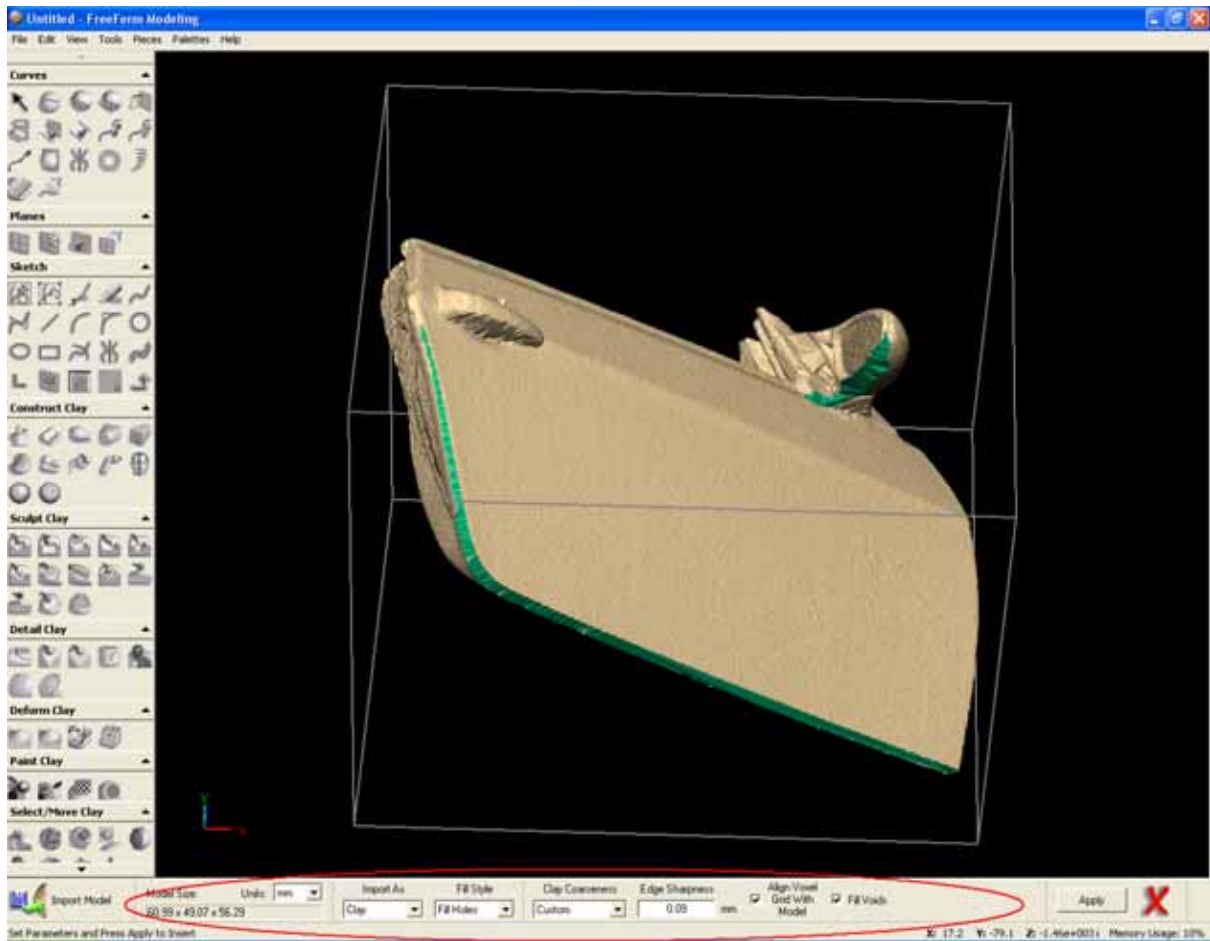
Para abrir con el software FreeForm Modeling los archivos STL que exportamos del software Polygon Editing Tool, o de programas de diseño 3D como Solid Edge, tenemos que importar los datos del archivo para obtenerlos en el formato con extensión *.cly*.

1: Una vez iniciado el programa FreeForm Modeling, se abren los archivos STL que contienen los datos de las digitalizadas. *File / Import Model...*



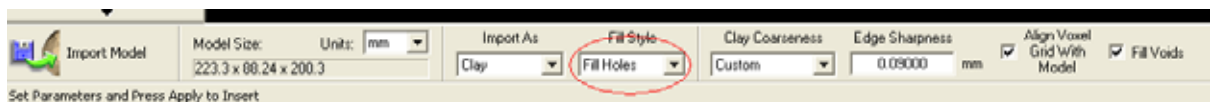
Ventana Import Model

2: En este caso se van a importar los datos de la puerta del copiloto. En la parte inferior de la ventana aparecen los parámetros para la importación. Es importante saber que el modelo que se crea en este programa no es una nube de puntos, sino un sólido con el que se puede trabajar.



Parámetros de Import Model.

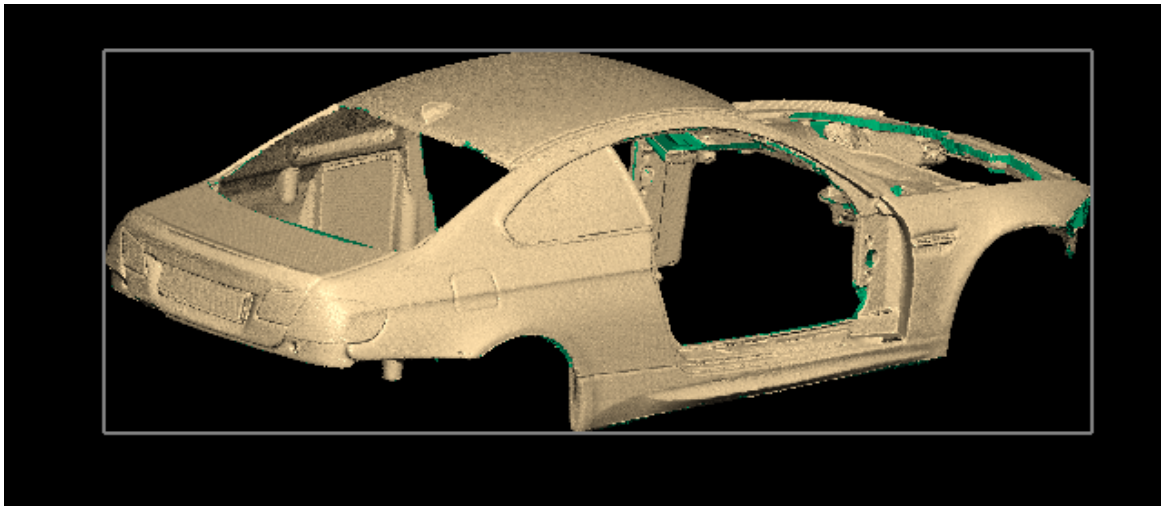
Lo que aparece pintado de verde son los agujeros que no fueron tapados en el programa Polygon Editing Tool. En este caso, el tapado de agujeros no es tan preciso como en el otro software puesto que la nueva superficie creada no se ajusta a las curvas que tiene a su alrededor. Para que los agujeros se tapen se debe seleccionar la opción *Fill Holes*.



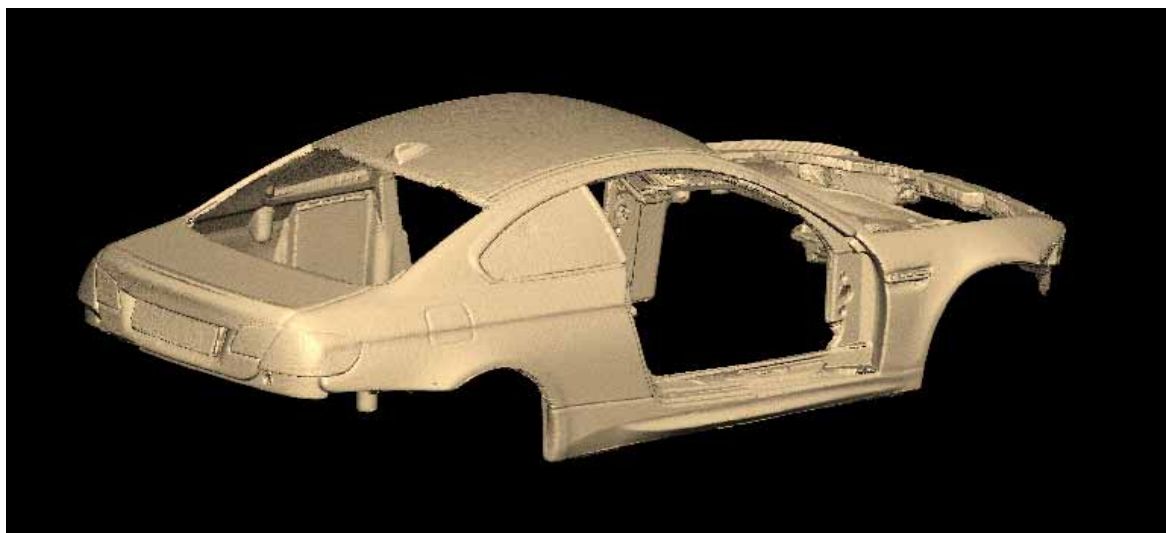
La información de estos modelos *Clay* no es vectorial, sino que cada objeto se compone de muchas partículas de *Clay*. Cuantas más partículas tiene un elemento, más pequeñas son, y más detalle tiene el elemento. La calidad de las piezas se determina con *Clay Coarseness*. Se pueden elegir las calidades predeterminadas, o con la opción *Custom* elegimos nosotros el tamaño de partícula. Esto se determina con *Edge Sharpness*, el problema es que cuanto más pequeño es este parámetro, más memoria RAM usa el ordenador. En este caso se ha elegido un tamaño de 0,09 mm, que es suficiente para el tamaño de nuestras piezas.



Los demás parámetros se dejan como vienen por defecto. Para finalizar, se presiona el botón *Apply*, y el objeto aparecerá en la pantalla. En el inferior de la pantalla aparece el cuadro de opcionales para reposicionar piezas, puede que haga falta mover la pieza o no.



Importación de pieza con los agujeros tapados (verde).

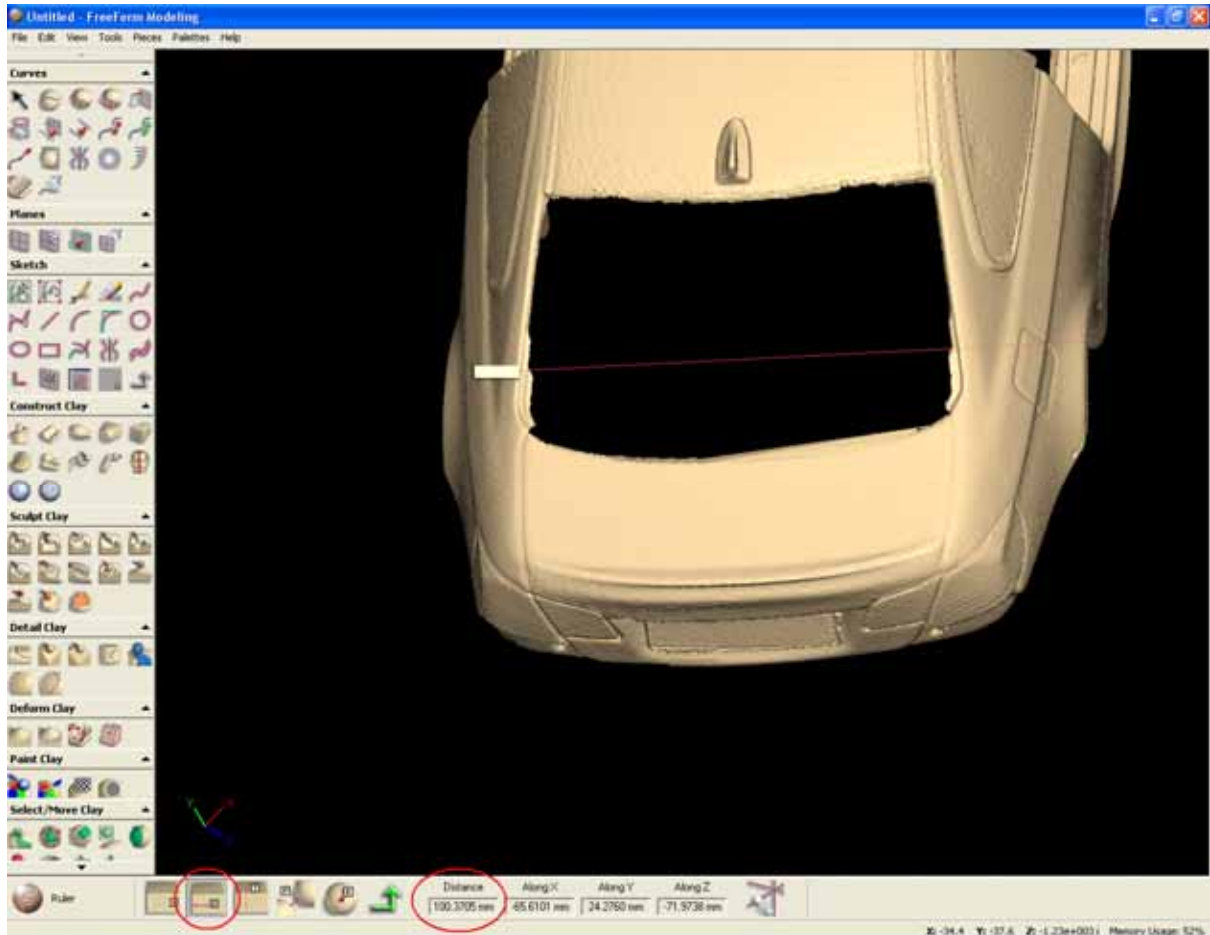


Pieza ya importada con los agujeros tapados.

Fase 2: Preparación de las piezas.

1: Lo primero que se realiza es un cambio de escala, para que obtengamos un modelo que se pueda fabricar en la fase de prototipado rápido. Esta operación se puede realizar en cualquier momento de la fase de modelado.

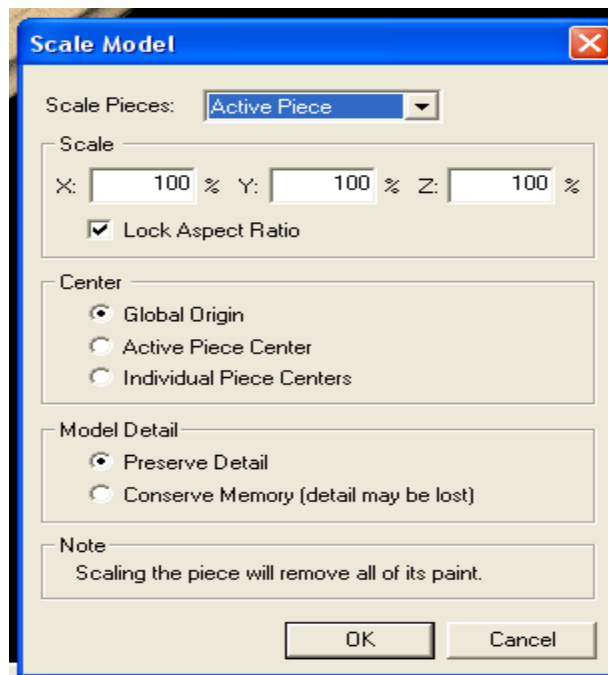
Para que posteriormente podamos verificar que el cambio de escala se realizó con éxito, se mide una cota conocida del objeto. *Tools / Ruler.*



Medición de una distancia con Ruler.

Se selecciona el botón para medir distancias. Con el lapicero Phantom se toca un punto desde el que se quiere medir, y se toca el siguiente punto de destino. La distancia aparece en el cuadro de abajo (100,3705 mm.). Esta distancia coincide con la de la maqueta que escaneamos puesto que las medidas de las superficies digitalizadas de transportan de un software a otro. Hay que tener en cuenta que la maqueta era una reproducción a escala 1/18 de un coche.

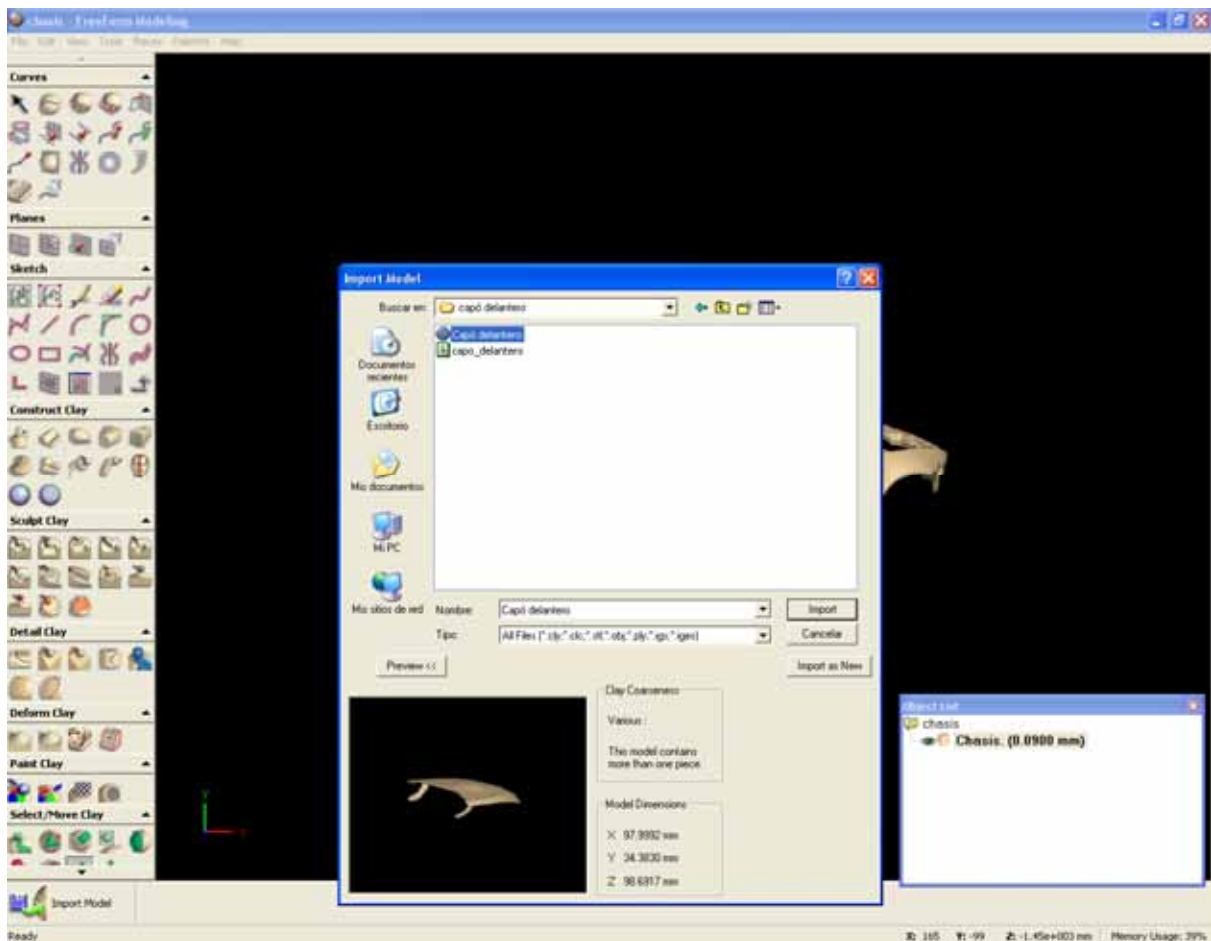
2: Ahora ya se puede hacer el cambio de escala. Para ello: *Tools / Clay Properties / Escale...* Así aparece la siguiente ventana, en la que hay que introducir el factor de escala.



En este caso queremos un modelo de automóvil real a escala 1/10. Como el que tenemos ahora está a una escala 1/18, haciendo una regla de tres obtenemos el factor de escala que tenemos que introducir como parámetro. Introducimos el factor de escala 180%. Con el recuadro de *Lock Aspect Ratio*, la escala de 180% es la misma para los ejes X, Y, Z.

Al presionar *Ok*, la pieza cambia de tamaño. Para verificar se puede volver a medir la pieza con el comando *Ruler*, explicado anteriormente.

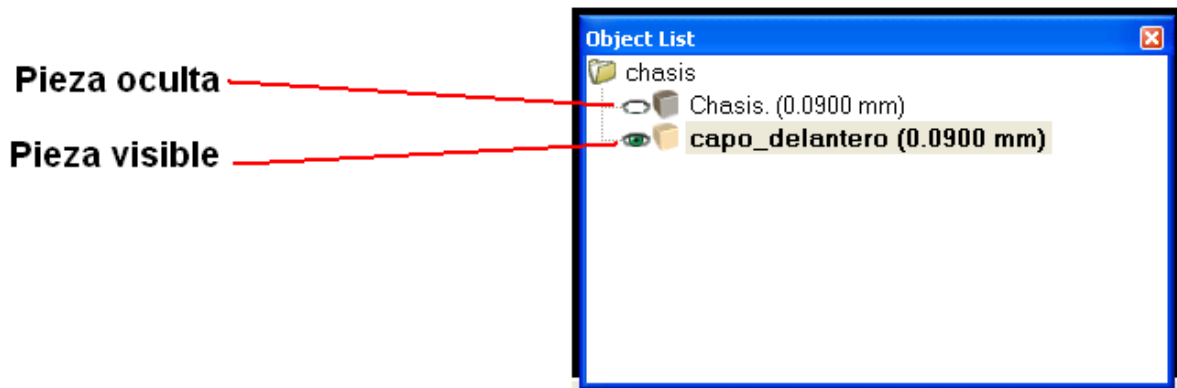
3: Una vez cambiada la escala de todas las piezas, es recomendable posicionar todas en su sitio para que a la hora de modificar una pieza, se haga teniendo en cuenta las de alrededor. Para ello se abre una pieza y se le añade otra con *File / Import Model*.



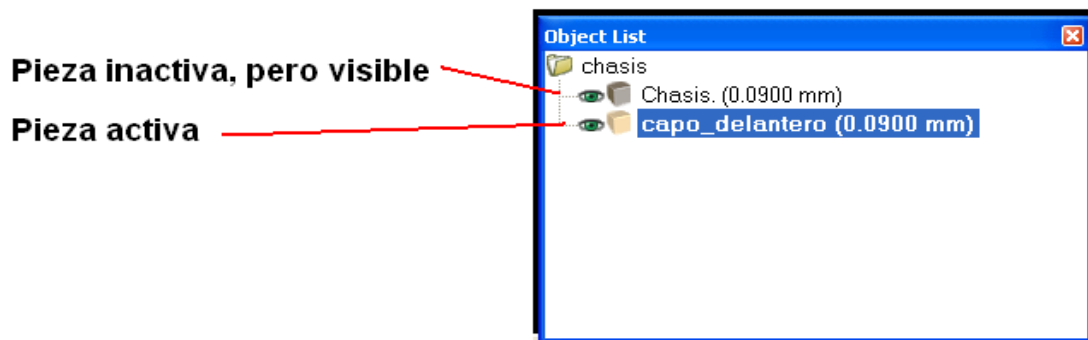
Ventana para seleccionar las piezas para abrir.

En esta caso se va a posicionar el capó delantero respecto al chasis. Se necesitan gestionar todas las piezas que se van introduciendo, para ello se ha de abrir la lista de elementos. *View / Object List*.

Para hacer visibles las piezas, ha de estar seleccionado el ojo verde, en caso de estar apagado, la pieza no se verá. Para cambiar esto, simplemente se presiona el ojo, y cambia el estado.



Para seleccionar piezas tenemos que elegirla en la lista y presionar *Activate*. De esta manera solo se puede modificar la pieza seleccionada, que se representa por defecto en color veis. Las piezas no seleccionadas, se muestran en gris. La pieza seleccionada no puede estar oculta.

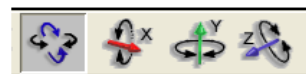


Con la pieza que queremos mover activada, de presiona sobre ella en la lista y se elige *Reposition Piece*. De esta manera, con mucha habilidad se coloca la pieza en su sitio, con el botón de mover y rotar.

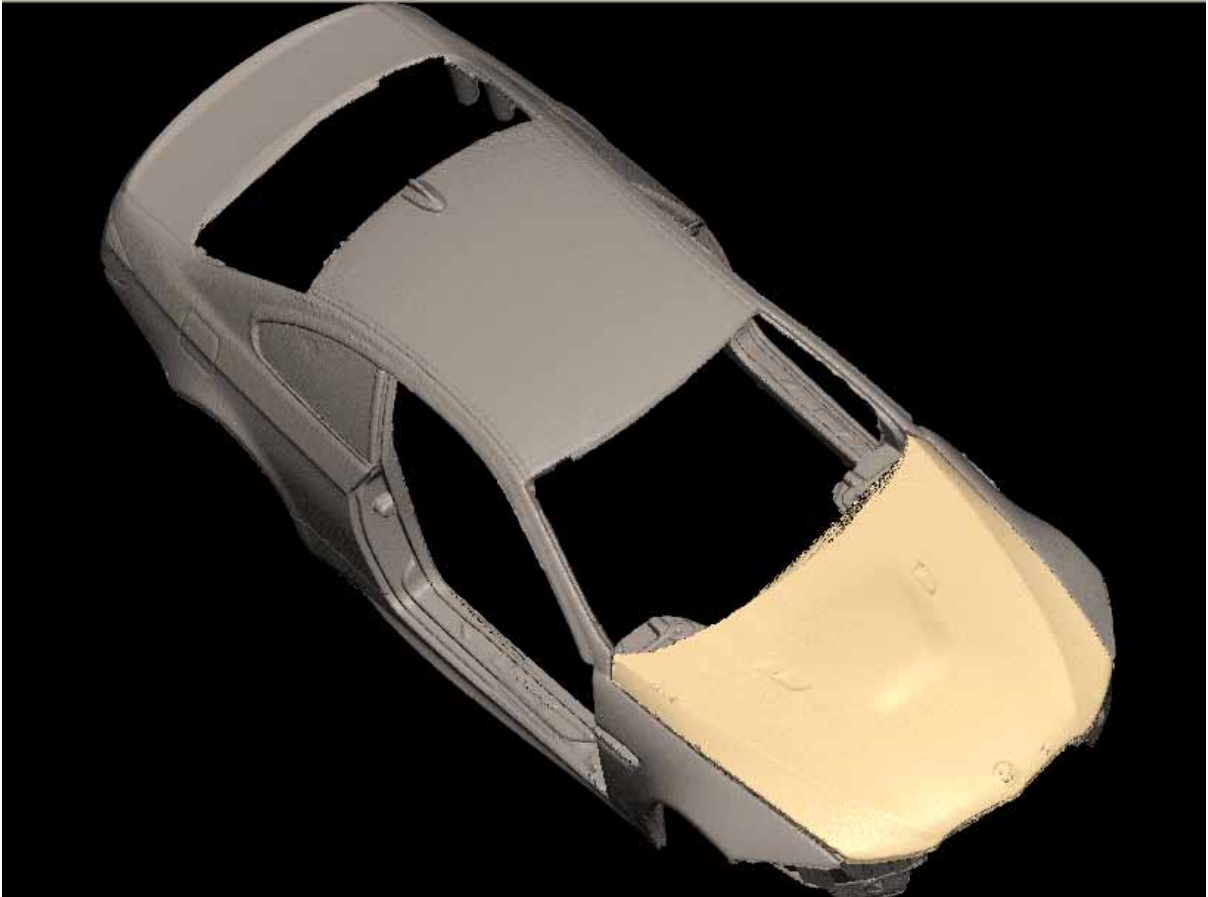
Mover



Rotar



Una vez que la pieza está en su sitio, se presiona el botón verde. Así se posicionan todas las piezas, una a una en el chasis, hasta que en una misma ventana se tienen todas posicionadas. Es recomendable que en una misma ventana se modifiquen todas las piezas, y cuando estén acabadas, se guarden individualmente.



Capó correctamente posicionado en el chasis.

Fase 3: Modelado.

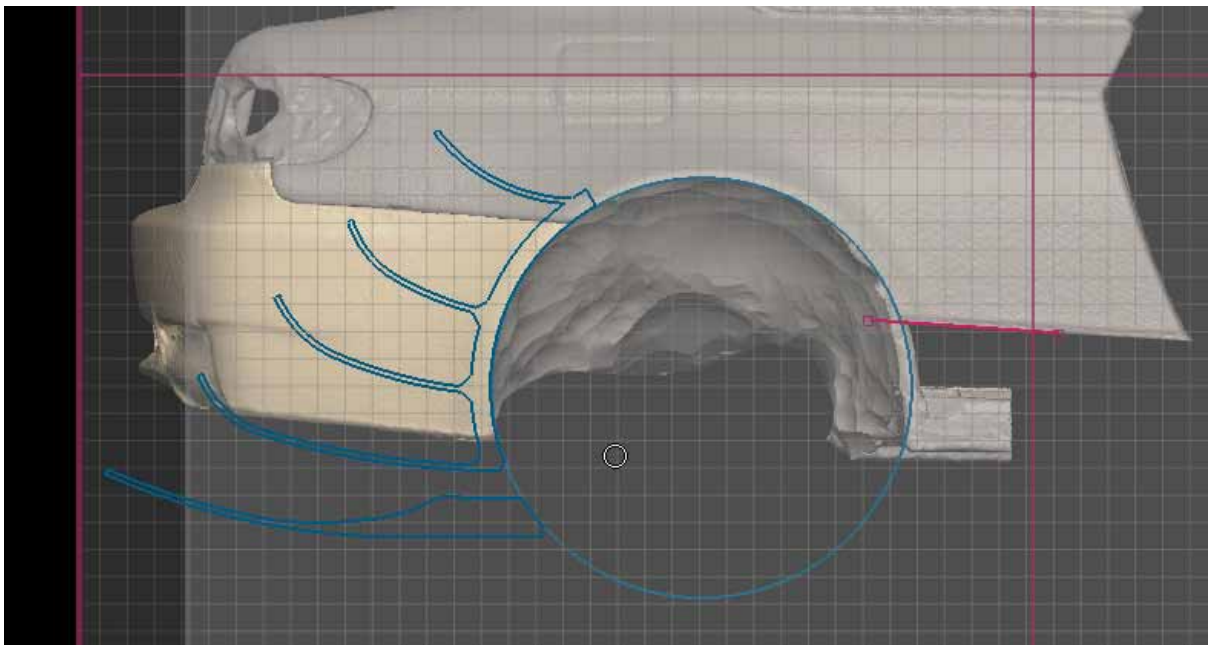
Se pueden distinguir dos formas de trabajar con piezas. Una manera de trabajar es modificar piezas que fueron digitalizadas, y que por tanto ya tenemos una base sobre la que empezar. Otra manera de proceder es crear piezas completamente nuevas. Bien realizándolas desde cero en FreeForm Modeling, o empezando de cero en programas de diseño 3D, y exportarlas a FreeForm Modeling. Los cristales fueron digitalizados, pero no serán piezas que se modelen para formar parte del prototipo, sino que serán los moldes para las distintas piezas transparentes que tiene el coche. Sobre estos moldes se termoconformará metacrilato transparente.

Existe un manual, que explica todas las herramientas de este software, así como un manual de tutoriales. Por este motivo no se van a explicar. A continuación se muestran algunas de ellas para observar las posibilidades del software.

1: Las herramientas *Construct Clay* crean piezas como en los programas de diseño 3D normales (protusión, vaciado, vaciado por revolución, protusión por trayectoria, etc).

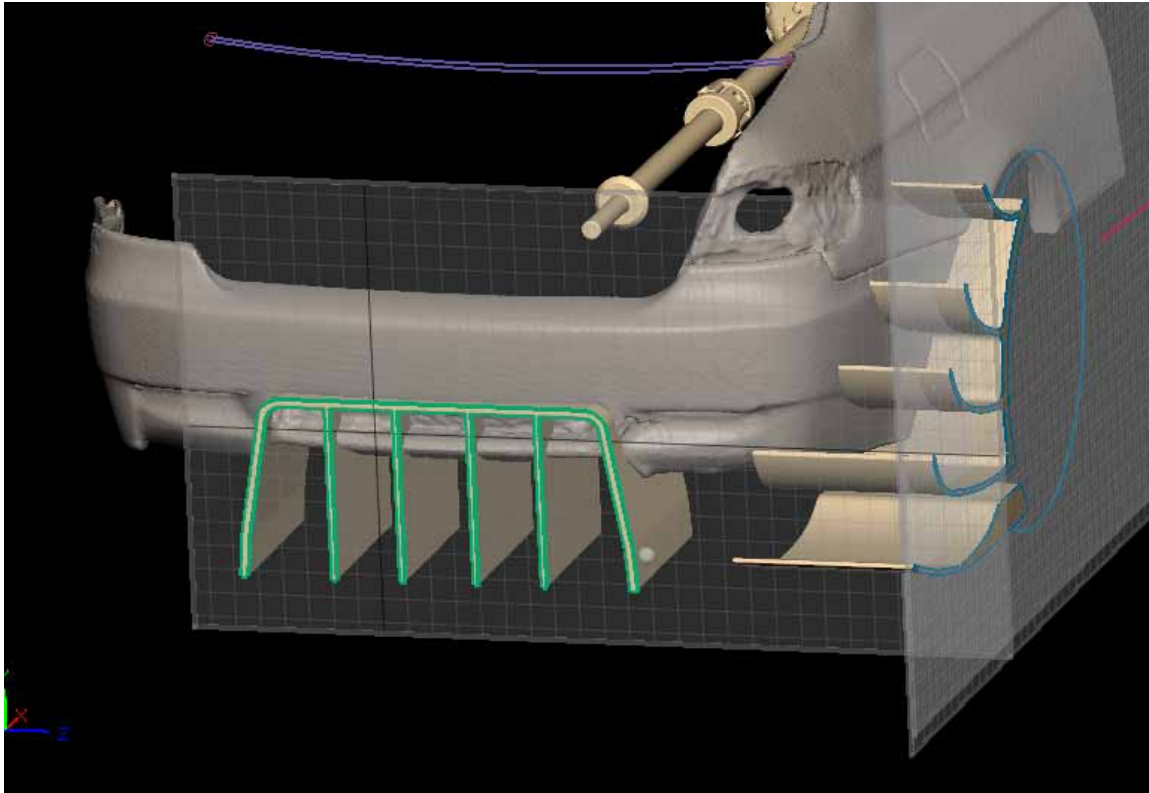


Aquí se muestran dos protusiones para crear los difusores del modelo.



Protusión con un boceto de las aletas laterales del parachoques trasero.

Para hacer estas protusiones solo tenemos que crear un boceto en el plano que queramos, y extruir con la profundidad deseada dicho boceto.

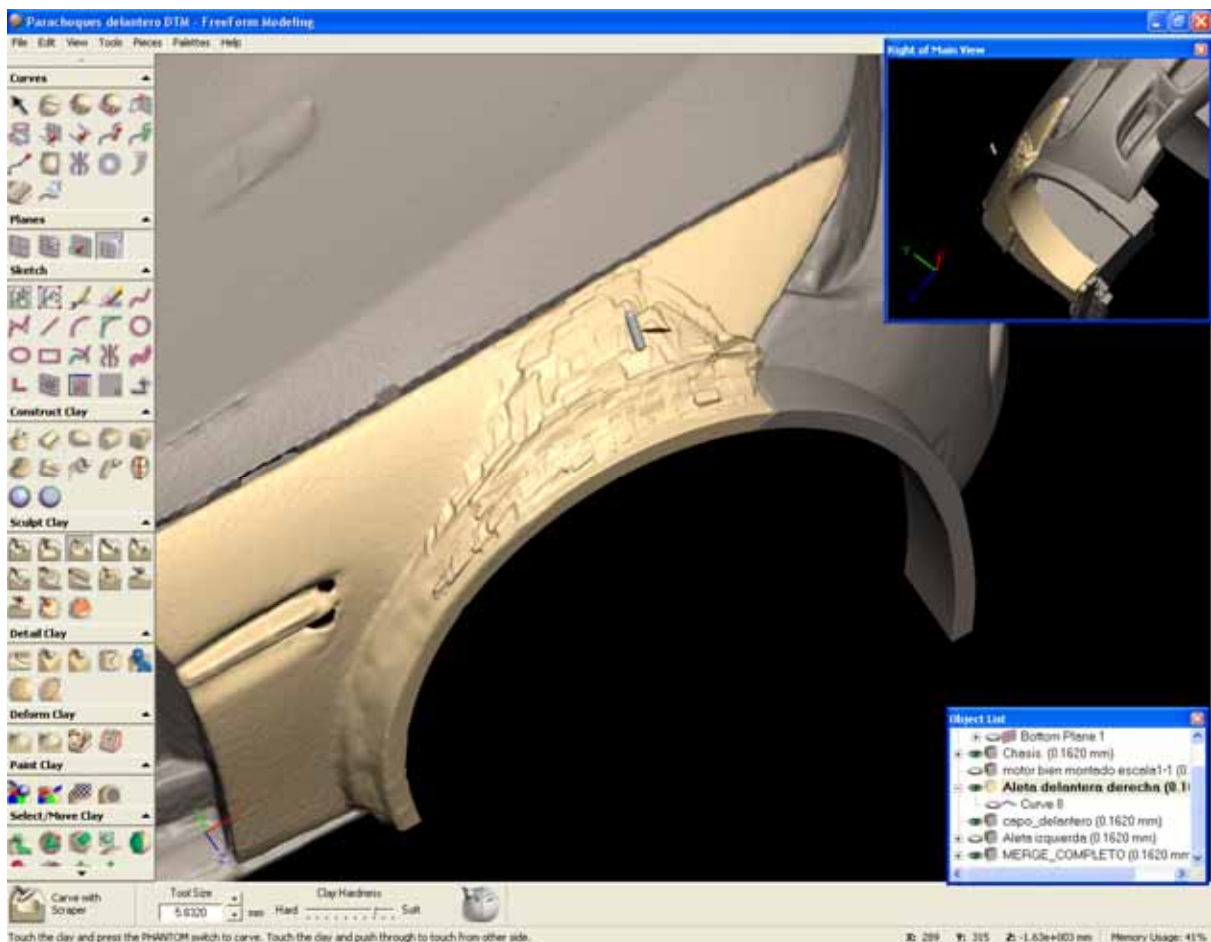


Muestra de las protusiones para los difusores traseros.

2: Las herramientas del cuadro *Sculpt Clay* son las que no se encuentran en otros programas de diseño 3D. Su finalidad es más artística.

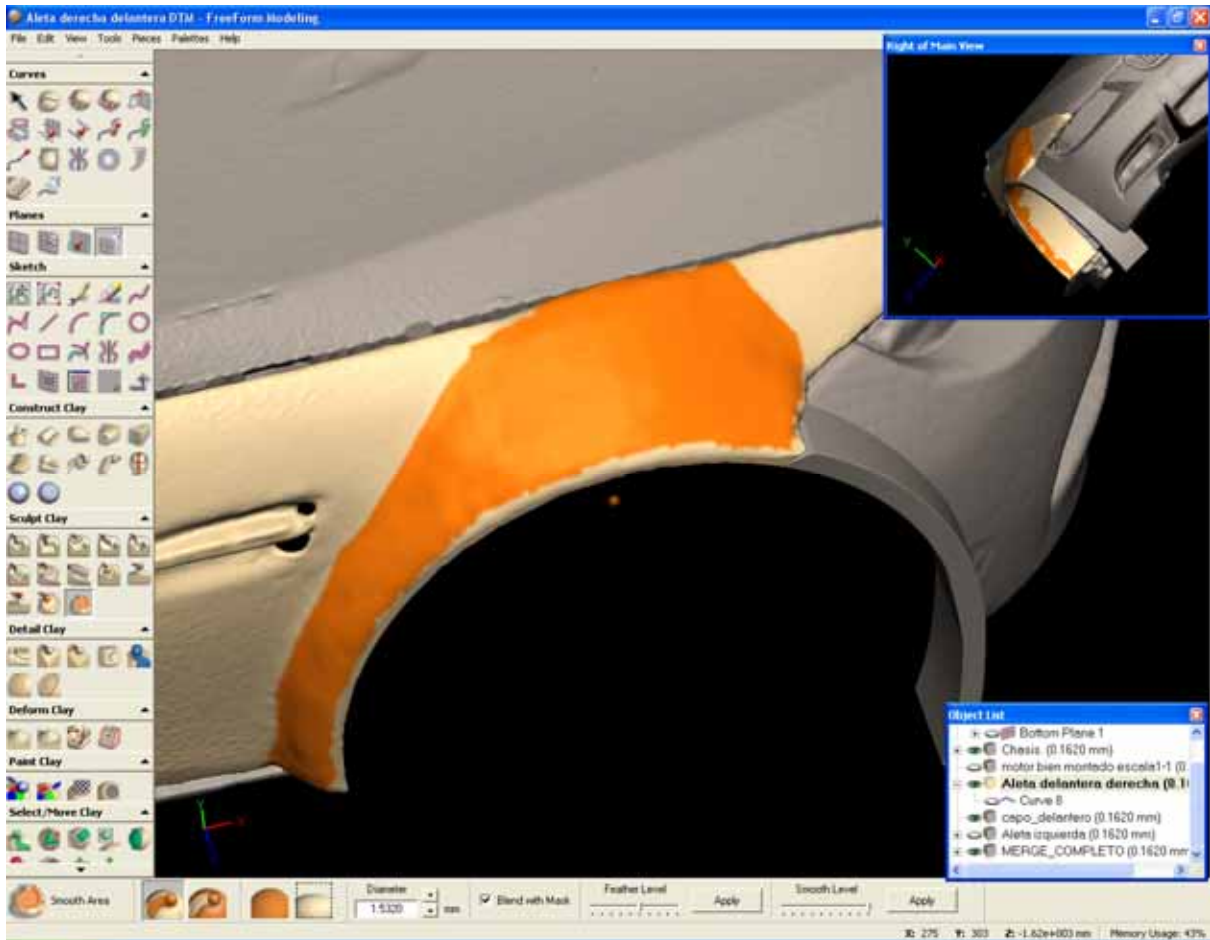


Por ejemplo, a continuación se muestra como se da volumen en la aleta delantera derecha. Para que resulte más fácil el modelado, se abre una ventana pequeña con otra vista del objeto, esto se hace con F6, F7 y F8.



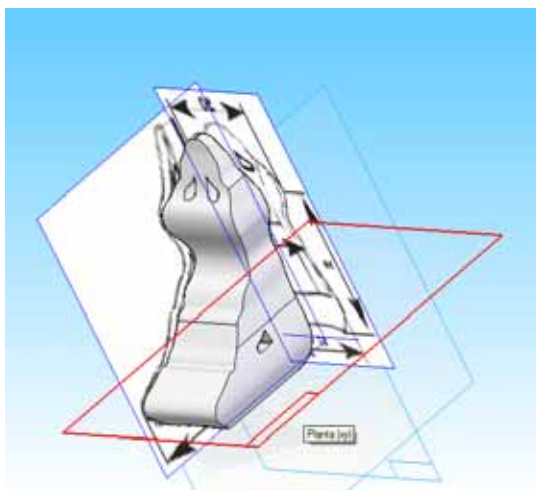
Una vez elegida la anchura elegida, se rellena el hueco.

Para finalizar se suaviza la superficie.

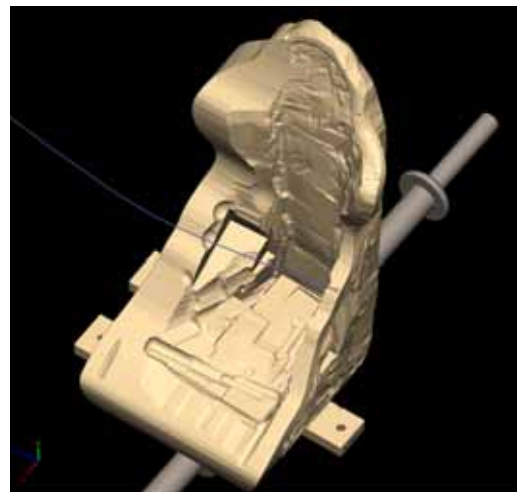


Seleccionar lo que se quiera pulir con la herramienta Smooth Area.

También se pueden tallar nuevas piezas desde cero, o importando un archivo de otro software de diseño. En este caso se ha traído la geometría de un asiento del programa Solid Edge, y en FreeForm Modeling se termina de modelar.

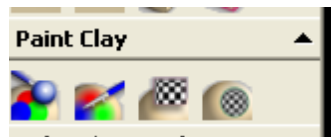


Muestra de la geometría creada en Solid Edge



En FreeForm Modeling se talla la forma final

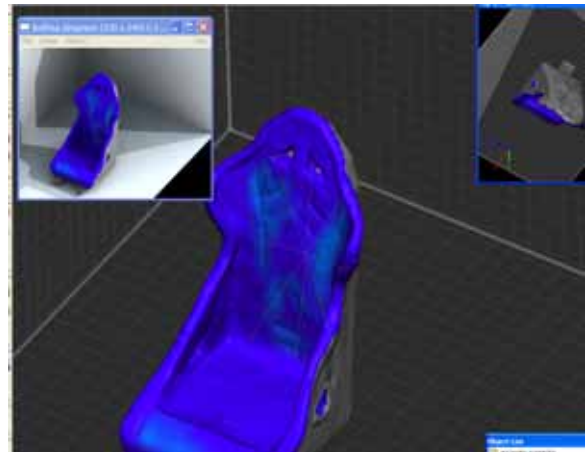
Una vez finalizado el modelo, se puede pintar con una aerógrafo o con un pincel, pero esta opción se encuentra en *Paint Clay*.



Aquí se muestra el asiento con su forma final, y con una posible presentación de pintura con aerógrafo.



Con una simetría se finaliza el asiento.



Asiento pintado y con la aplicación de un render

3: En el cuadro *Detail Clay*, se encuentra la opción de crear relieves en superficies. Cualquier imagen se puede insertar sobre una pieza para crear formas tridimensionales según la imagen.



A continuación se muestra como se hace un texto en relieve sobre la matrícula del coche.



Matrícula trasera con relieve.

Primero se escribe el texto en Paint. Y se guarda la imagen como "mapa de bits". Para crear relieves el FreeForm Modelin se selecciona el comando *Emboss Area*. Una vez dentro del comando se presiona el botón *Custom* para seleccionar el directorio donde se encuentra la imagen mapa de bits que queremos usar, en nuestro caso un texto.



Muestra en miniatura de la imagen elegida.

En el caso de elegir *Solid* en vez de *Custom*, se podrán elegir imágenes que el programa tiene por defecto en su biblioteca.



Una vez elegida la imagen (en nuestro caso con texto), se elige el tamaño adecuado para nuestro objeto con *Diameter*. Luego se coloca la imagen en su sitio, y se presiona el botón para dejar la huella de la imagen en la pieza.



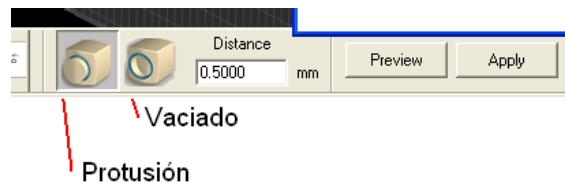
Posicionado de la imagen y ajuste de tamaño



Seleccionado de azul lo que se va a modificar

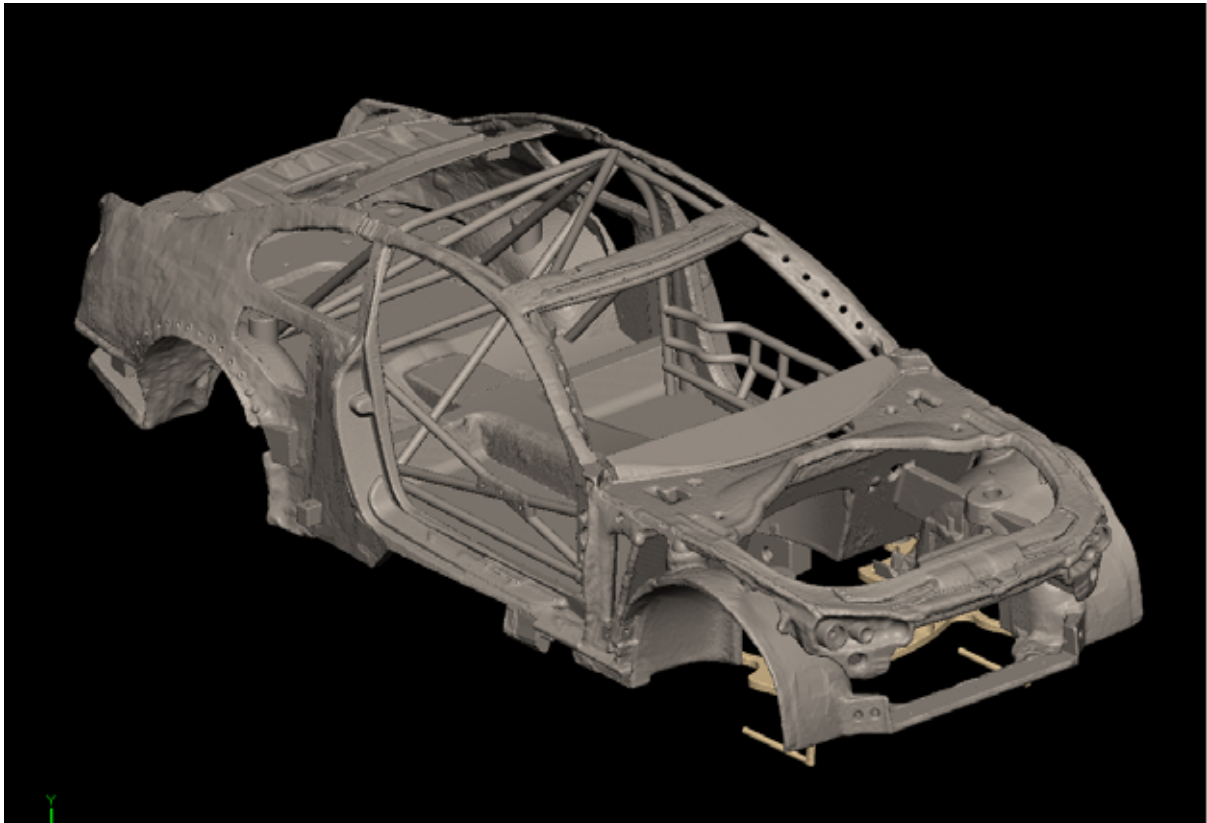
Lo marcado en azul es lo que quedará en relieve. Si se quiere modificar se puede añadir o eliminar azul. Esto se realiza con los botones que hay en la barra de abajo.

Por último se selecciona hacia donde se quiere realizar el relieve, como si fuese una extrusión, o como un vaciado. Así como el grosor del relieve. Se presiona *Apply*.

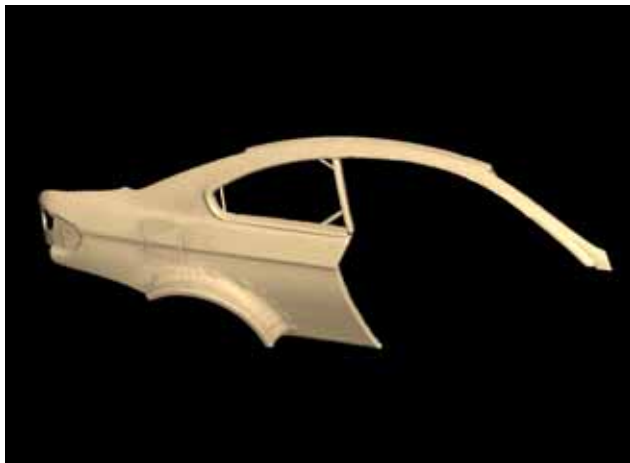


4: Finalizado el proceso de modelado, se tienen todas las piezas en su sitio y con su forma. Pero ahora se tienen que separar las piezas en archivos individuales, para exportarlas una a una al formato STL. Para ello se borran todas las piezas desde la lista de objetos, exceptuando la pieza que se quiere guardar. Una vez la pieza individual, se guarda, *File / Save as...* Se pone el nombre de la pieza, teniendo en cuenta que no se repitan dos piezas con el mismo nombre.

A continuación se muestran todas las piezas que se tienen en el coche, así como los moldes para las partes transparentes. Las figuras indicadas con una (S) señalan que esa pieza tiene otra simétrica.



Chasis del prototipo escala 1/10



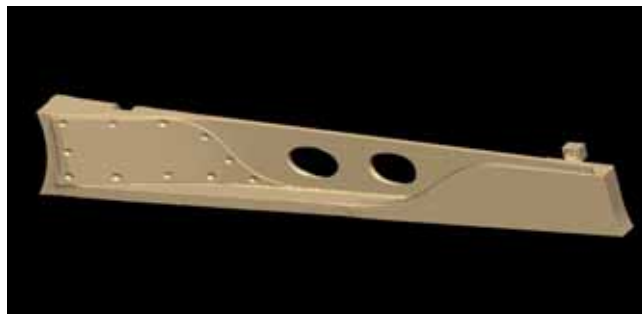
Aleta trasera derecha (S)



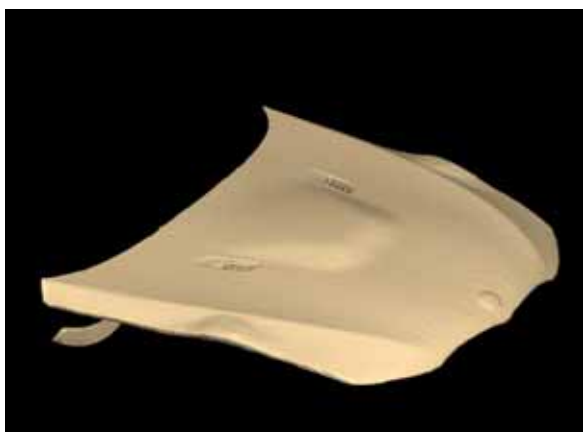
Aleta delantera derecha (S)



Baquet de piloto



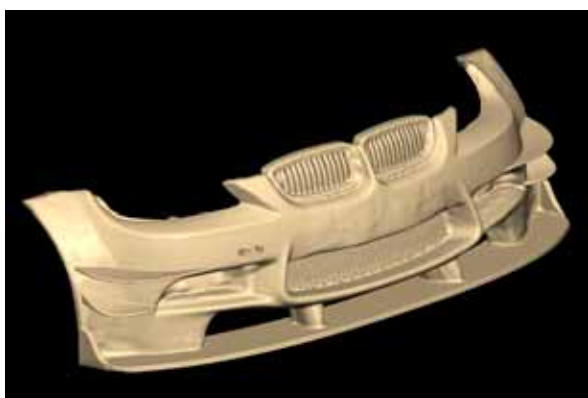
Difusores laterales (S)



Capó delantero



Capó trasero



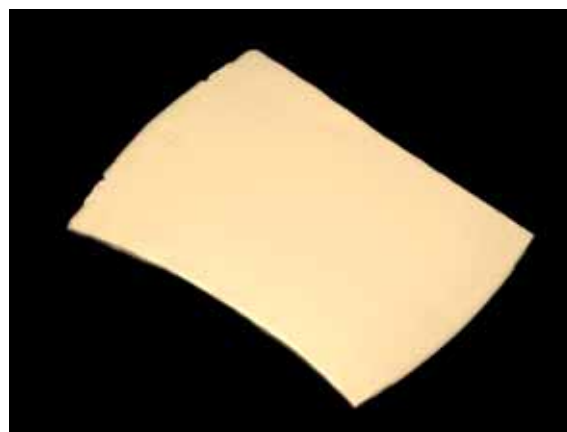
Parachoques delantero



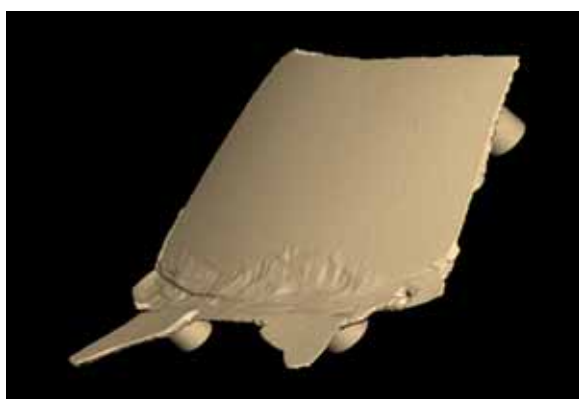
Parachoques trasero



Puerta de copiloto (S)



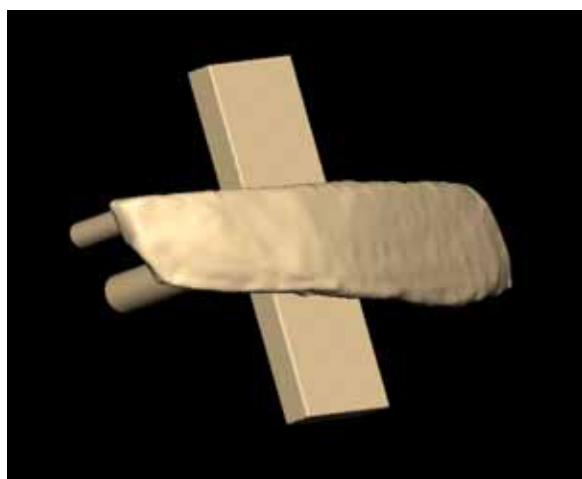
Techo



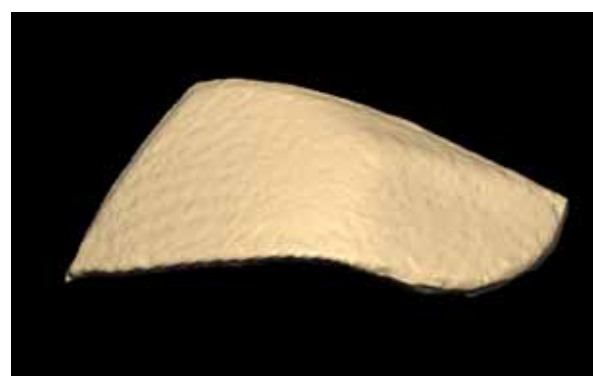
Molde para cristal delantero



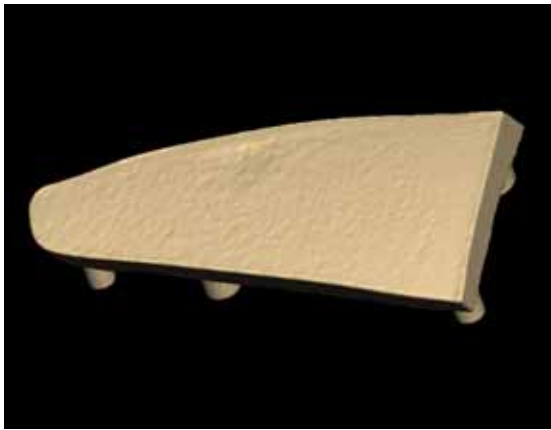
Molde para cristal trasero



Molde para ópticas delanteras



Molde para ópticas traseras



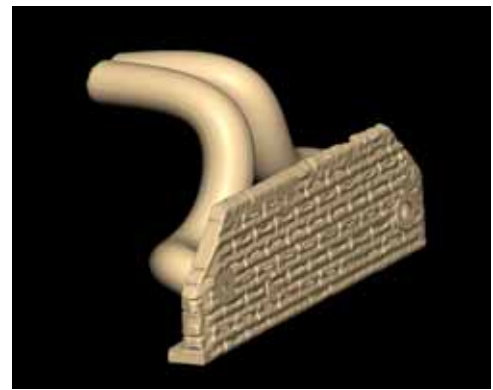
Molde para cristal lateral posterior de copiloto (S)



Soporte del motor



Tubo de escape derecho (S)



Radiador

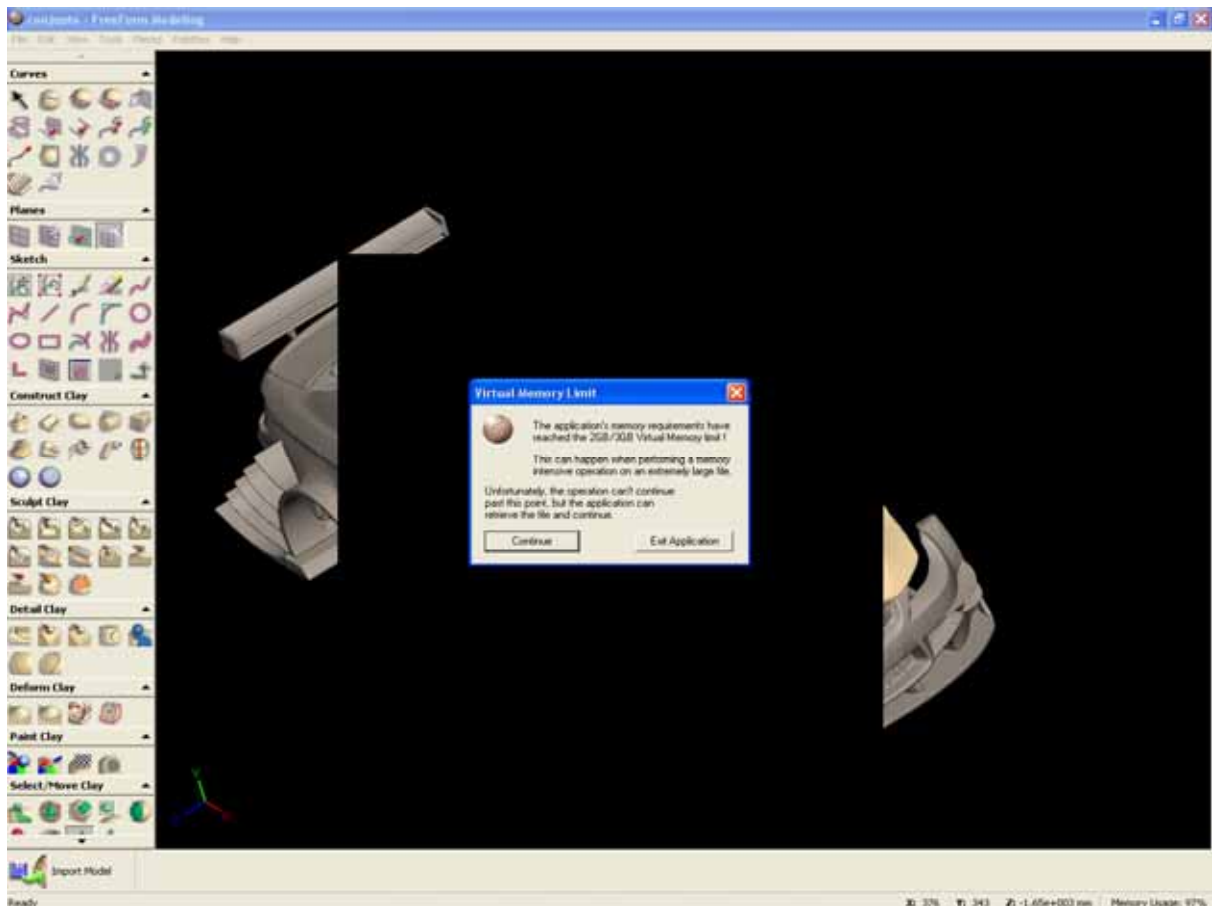
Fase 4: Exportar los archivos.

Una vez que tenemos todas las piezas guardadas individualmente, tenemos que exportarlas, una por una al formato STL. Para ello: *File / Export Model ...*

2.2.3- Problemas surgidos y su resolución.

En principio, esta fase de modelado estaba pensada para abarcar casi dos meses. Se empezó el Miércoles 18 de Noviembre, con más de un mes de retraso conforme a lo estipulado inicialmente, a causa de los retrasos acumulados en la fase de escaneo 3D. En realidad, el tiempo de modelado se puede cambiar, acortándolo en el tiempo. Esto es a costa de no realizar tantas modificaciones en el objeto. Al final se terminó de modelar la última pieza el viernes 18 de diciembre, un poco más de medio mes de retraso.

1: El primer problema surgido en el software fue que las piezas del coche tienen un alto nivel de detalle, por lo que son archivos muy pesados. El ordenador en el que estaba instalado el Software FreeForm Modeling, no disponía de la suficiente memoria RAM para manejar archivos tan grandes. Por este motivo no se podían visualizar todas las piezas a la vez. Al ir abriendo elementos, llega un momento en el que el ordenador se bloquea.



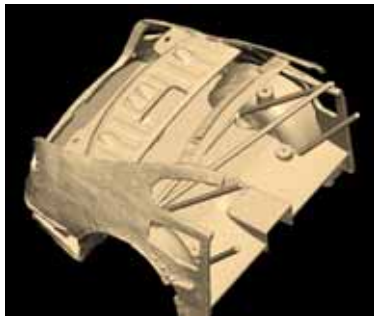
Información que aparece al sobrecargar la ventana con piezas.



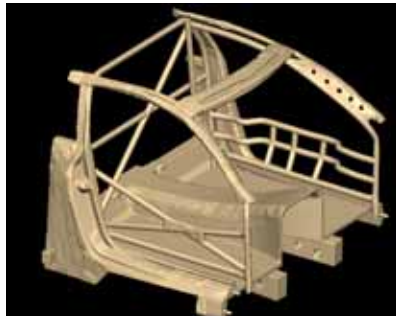
2: El segundo gran problema fue que se tuvo que buscar una solución para que el modelo se pudiera prototipar en la máquina Formiga P100, ya que el chasis, que era la pieza más grande, no cabía en la cubeta de 200 mm. x 250 mm. x 330 mm. Teniendo en cuenta que no se quería cambiar la escala de 1/10, se cortó el chasis en tres partes para modelarlas cada una por separado.



Chasis completo



Parte trasera del chasis.



Parte media del chasis.



Parte delantera del chasis.



2.3- PROTOTIPADO 3D

2.3.1- Explicación del Hardware y Software.

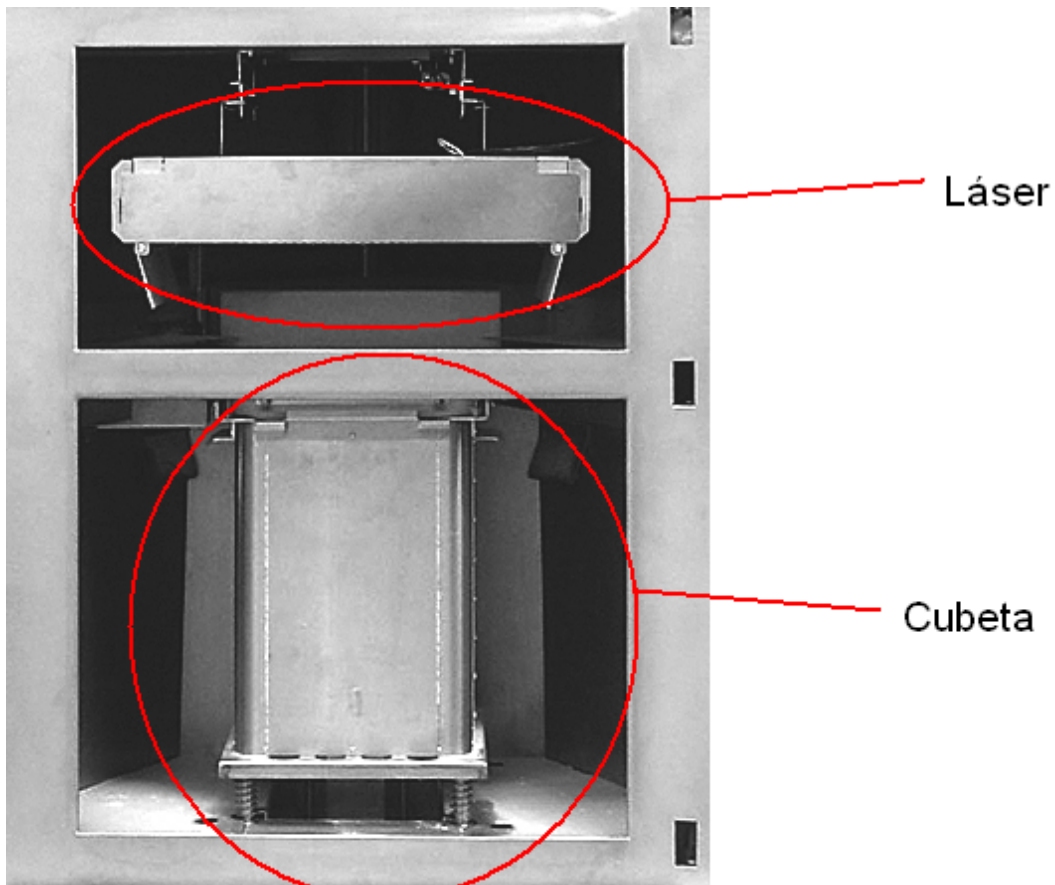
HARDWARE:

Para obtener un prototipo de las piezas que se modelaron, se emplea una máquina de prototipado rápido llamada Formiga P100, de la marca EOS.



Esta máquina imprime, capa por capa, las piezas sólidas. Cada capa tiene un grosor de 0,1 mm. El material con el que se realizan los modelos es el plástico poliamida.

El tamaño de la pieza para prototipar viene limitado por el tamaño de la cubeta donde se crea el modelo. La cubeta es de 200 mm x 250 mm x 330 mm (x, y, z). Su velocidad de construcción es de 24 mm. de altura por hora.



La base de cubeta es una plataforma que baja para dejar hueco al material plástico en polvo. Así, cuando la plataforma baja una décima de milímetro, un brazo metálico barre la superficie de la cubeta, y de esta forma se deposita una capa de 0,1mm de polvo plástico. Sobre esa capa actúa un láser que funde el área de la sección de la pieza a modelar.

Como complemento de la prototipadora, están las máquinas de limpieza de piezas. Una de ellas se encarga de vaciar las cubetas con piezas que vienen de la prototipadora. Separa las piezas, del polvo plástico que las rodea. Este polvo se tamiza para ser reutilizado en posteriores construcciones.



Banco de tamizado de polvo.

La segunda máquina de limpieza se encarga de rociar las piezas con un abrasivo con el objetivo de limpiarlas del polvo que ha quedado adherido. La limpieza se realiza dentro de una cámara cerrada provista de unos guantes y una pistola de abrasivo. Por las aberturas con guantes se introducen las manos para manejar las piezas a limpiar.

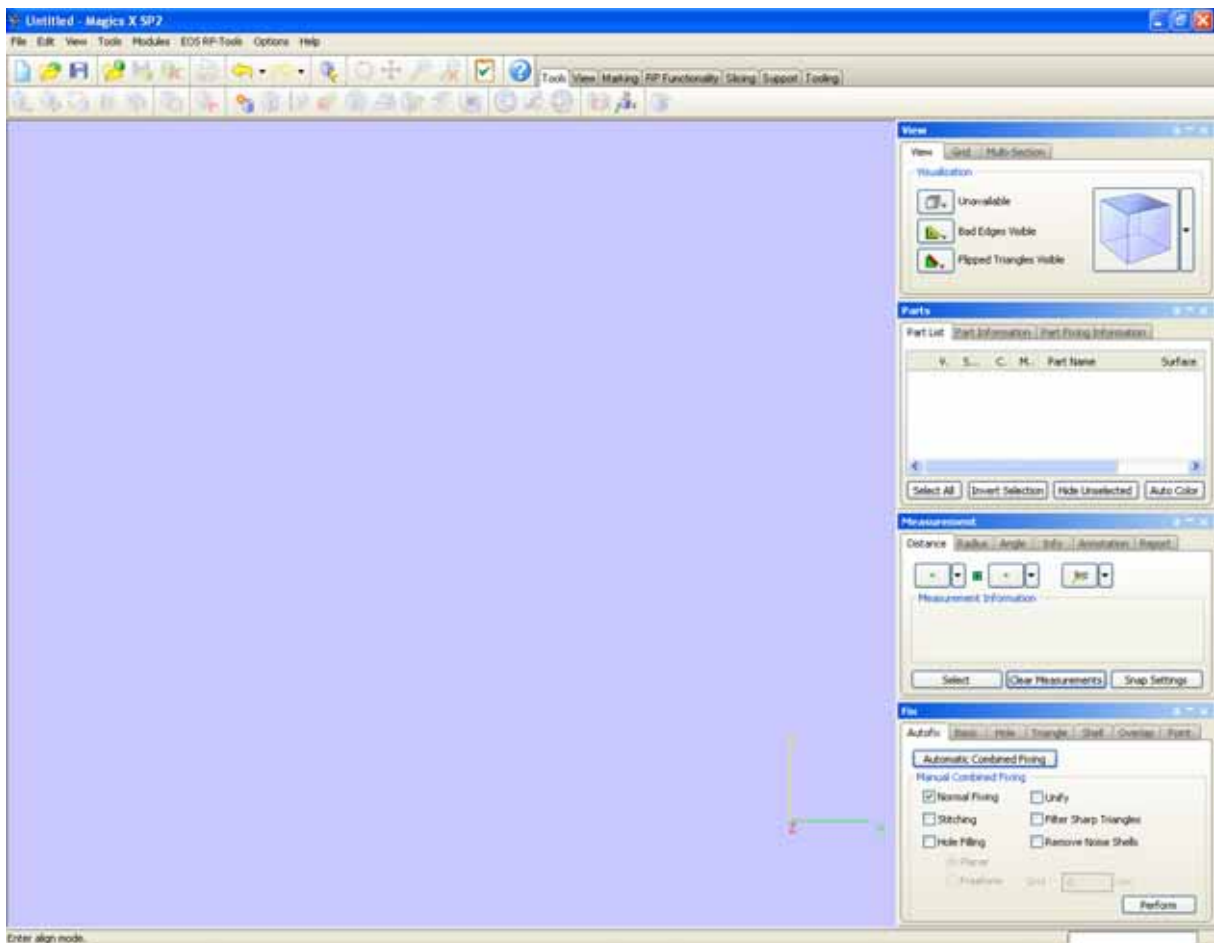


Banco de limpieza con abrasivo.

SOFTWARE:

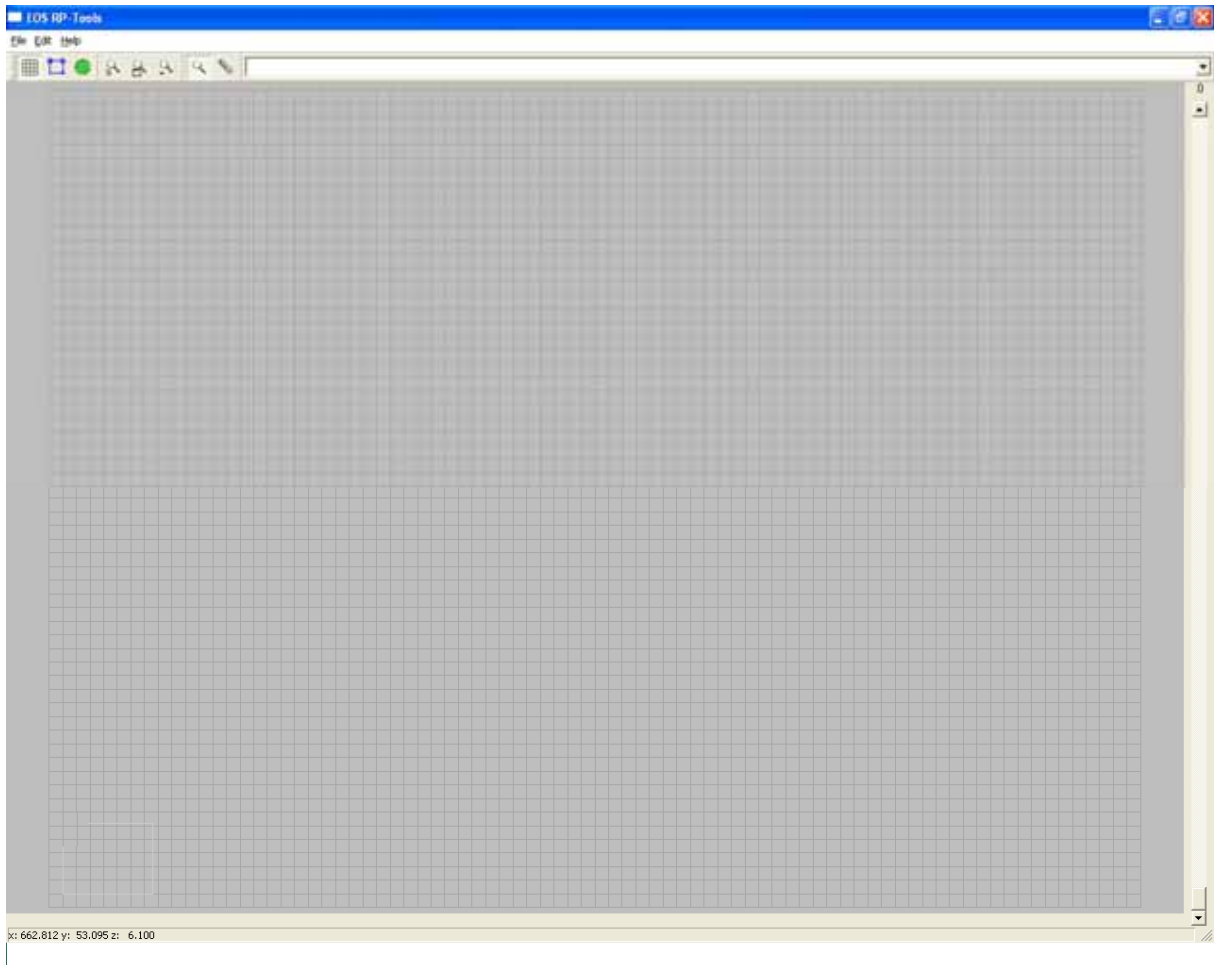
Para prototipar piezas en la máquina Formiga P100 se necesitan tres software's distintos, para tratar los archivos de STL y mandarlos al dispositivo con éxito. Estos tres software's vienen incluidos con la adquisición de la prototipadora Formiga P100.

-Magics X SP2. Este software se encarga de abrir los datos en STL de las piezas, para orientarlas, escalarlas y distribuirlas en la cubeta de la máquina. El espacio de trabajo se puede guardar como un archivo con la extensión *.magics, pero las piezas han de pasar al siguiente programa exportándolas al formato sti. La ventana que aparece al iniciar el programa es la siguiente:



Ventana inicial de Magics X SP2.

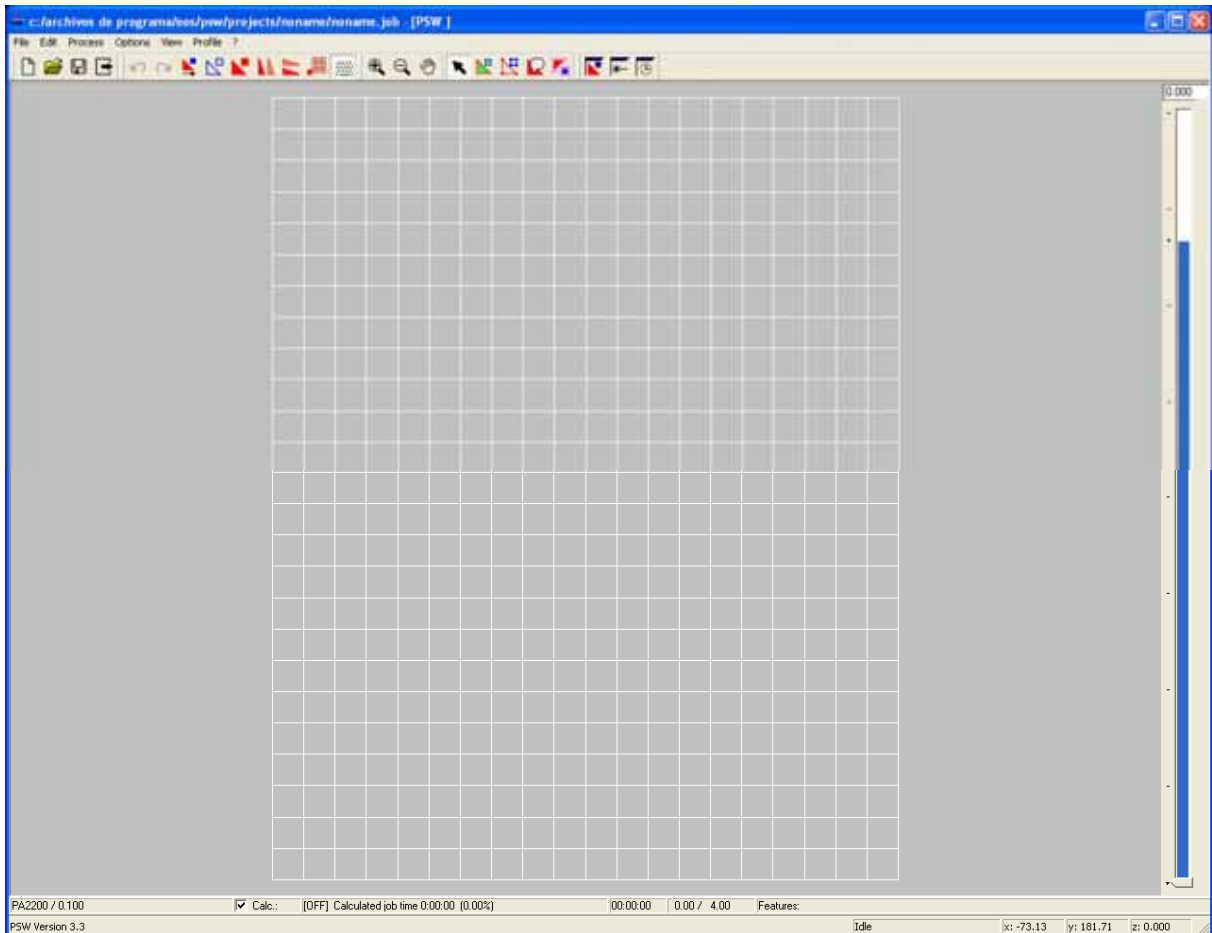
-EOS RP Tools. Con este software se convierten los datos sti de las piezas, a datos de capas bidimensionales. De esta forma, una pieza se divide en capas de 0,1mm de grosor. La ventana que aparece al iniciar el programa es la siguiente:



Ventana inicial de EOS RP Tools.

La cuadrícula representa una vista superior de la cubeta. Con el cursor vertical de la derecha nos podemos desplazar por las distintas capas que se han generado para crear una pieza.

-SPW 3.3 P100. Con este software se procesa la información para mandarla a la máquina de prototipado. Es el que se encarga de comunicarse con la máquina. Los archivos en los que se guardan las piezas para mandarlos a la máquina se guardan con extensión *.jz. A continuación se muestra la ventana que aparece cuando se inicia el programa.



Ventana inicial de SPW 3.3 P100.

La cuadrícula representa una vista superior de la cubeta, y con el cursor de la derecha se puede desplazarse a través de todas las capas de la pieza.

2.3.2- Preparación de la maquina Formiga P100.

Antes de enviar los datos de las piezas para prototipar a la máquina Formiga P100, se deben realizar una serie de pasos para preparar la prototipadora. Esta preparación ha de ser llevada a cabo por el personal cualificado del taller.

1: Se debe asegurar de que los depósitos para polvo plástico tengan material, y no estén vacíos.



2 depósitos para el material plástico.

2: Se introduce la cubeta metálica en su sitio.



Emplazamiento donde asienta la cubeta.

3: Se debe abrir las llaves de paso del aire a presión. Este aire acciona los diferentes sistemas neumáticos de la máquina.

4: Con todas las comprobaciones realizadas se conecta la máquina. El botón se encuentra en un lateral de la prototipadora.



Botón para encender en estado conectado.

5: Una vez que la maquina ya tiene corriente se enciende con un botón azul situado en la parte frontal de la máquina. Girando la llave que está debajo del botón azul, hacia la derecha se conecta el láser.



Encender la máquina y el láser.

6: Con la máquina lista, se eleva la plataforma de la cubeta hasta el nivel del brazo, y se prepara la cama para la construcción de las piezas. Para ello se realizan varias pasadas con el brazo metálico, así se colocan varias capas en el fondo. Las operaciones se controlan desde la pantalla táctil.

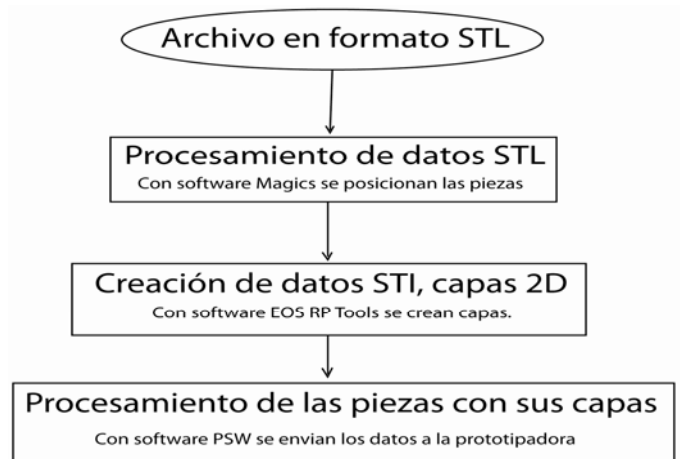


Pantalla táctil.

Una vez realizados estos pasos, ya se puede proceder a enviar los datos de las piezas para construir.

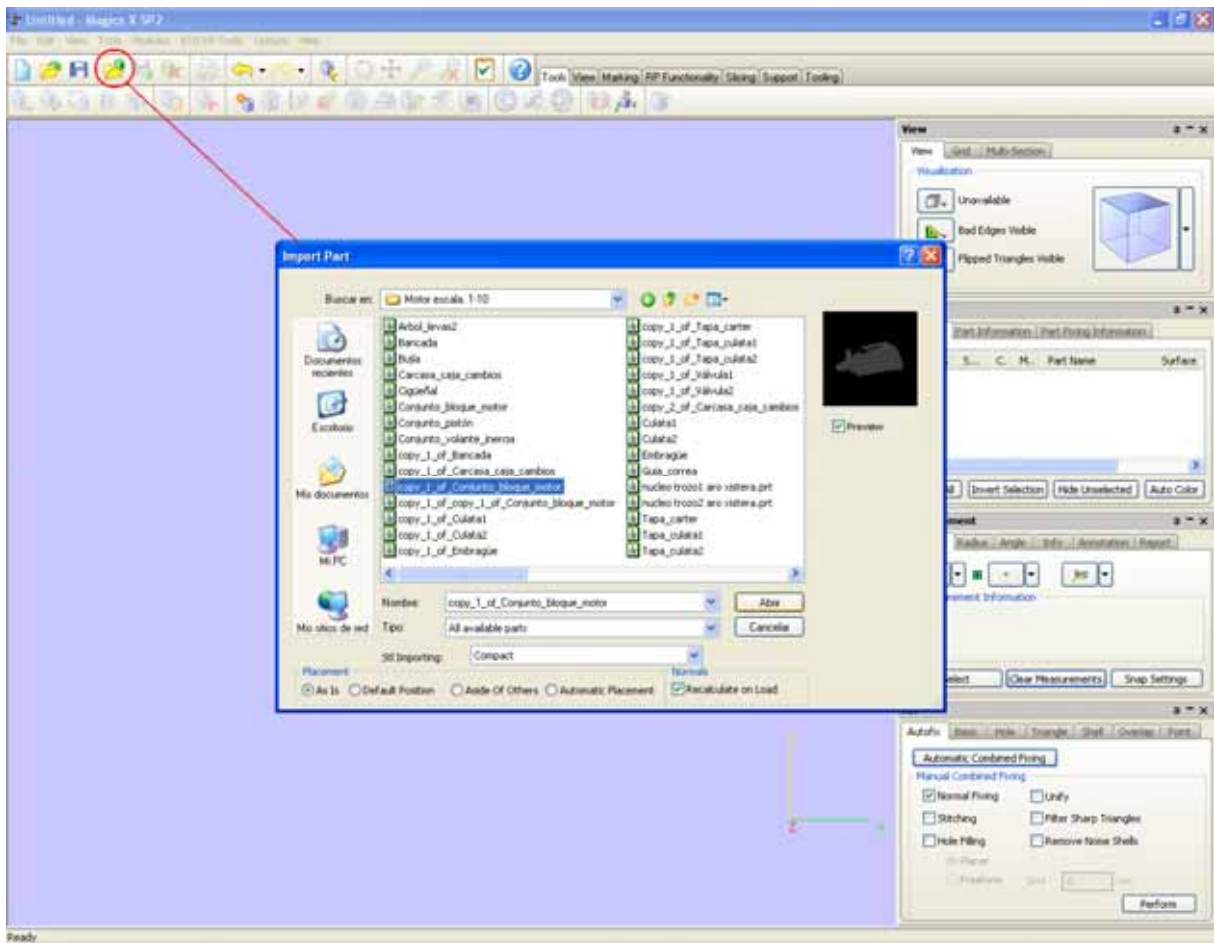
2.3.3- Tratamiento de datos para prototipar.

Desde que se tiene un archivo STL para obtener un modelo, hasta que la máquina comienza a construir, han de tratarse los datos para que la prototipadora realice las piezas con éxito. A continuación se muestra un diagrama de lo que hace cada software y en qué momento ha de usarse.



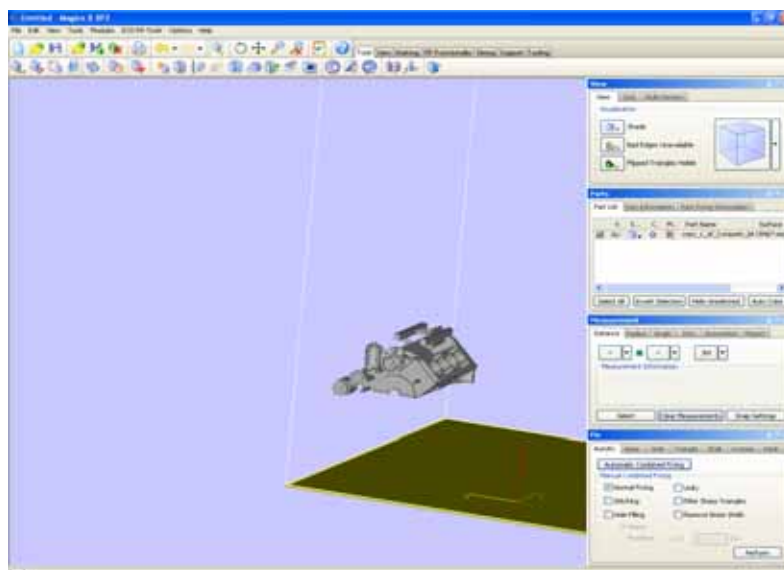
A continuación se explican los pasos que se deben seguir a través de cada uno de los software`s para prototipar piezas.

1: Para abrir un archivo de datos STL se selecciona el botón *Import part*. Una vez seleccionado el archivo se presiona el botón de abrir.



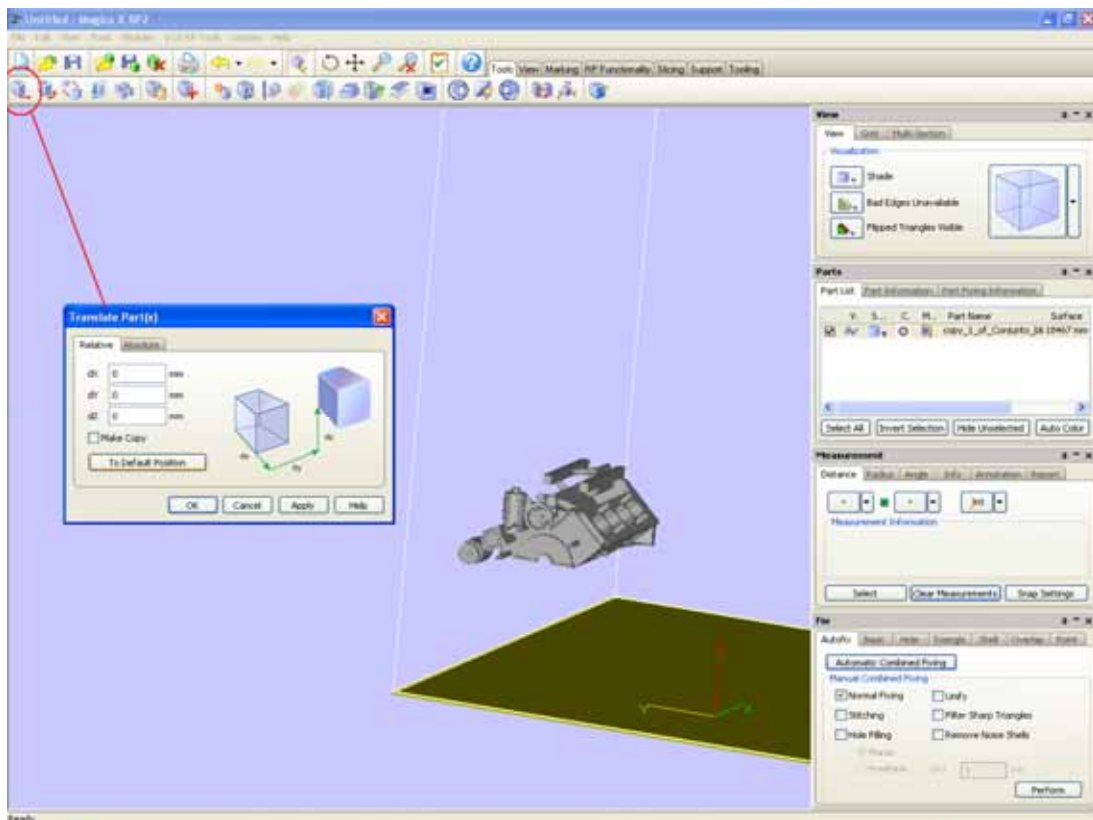
Import Part.

La pieza aparecerá automáticamente en la pantalla. En este caso es el bloque motor creado en Solid Edge.



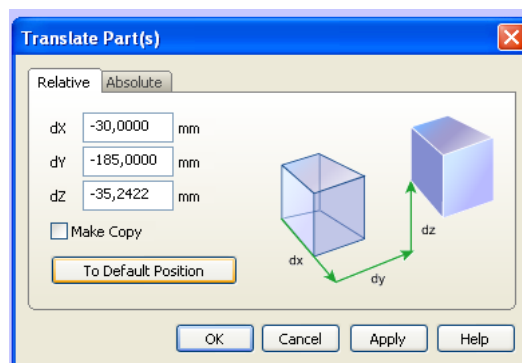
2: Para la fabricación de una pieza, la máquina de prototipado comienza poniendo capas que servirán de superficie para que no haya problemas de construcción. A esta base se le llama cama, y es recomendable que sea de 6mm.

A partir de esta cama se comienza a construir, por lo que es aconsejable que la pieza reposicione de tal forma que esté lo más cerca de la cama e intentar que no suba mucho en el eje Z, puesto que esto supone más horas de trabajo. Normalmente al abrir una pieza, no aparece en el mejor lugar. Para posicionar la pieza se selecciona el botón *Translate Part(s)*.

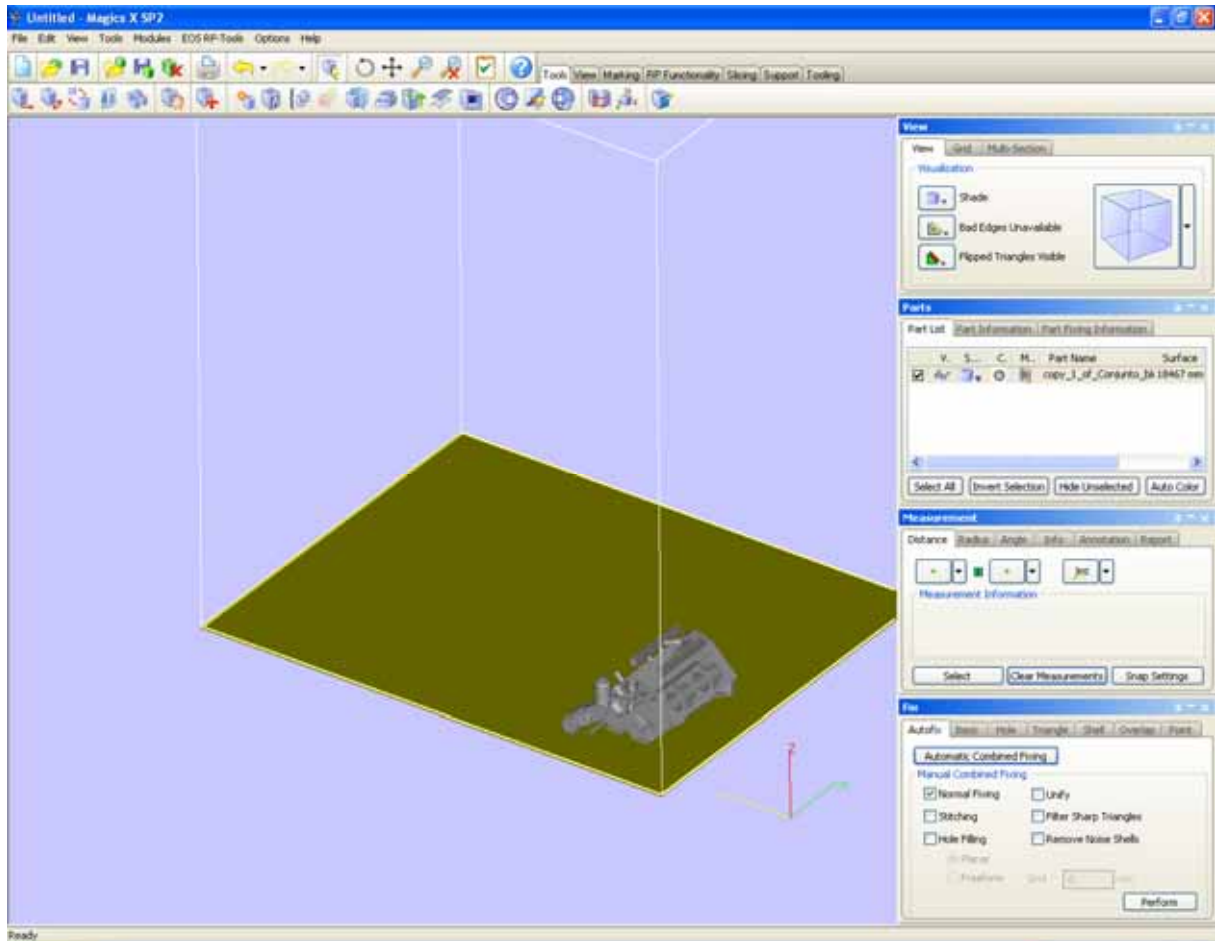


Translate Parts.

Con el botón *To Default Position* la pieza se coloca en un buen lugar, que busca el programa. Las distancias en los ejes X, Y, Z, aparecen en el cuadro, indican el nuevo lugar de la pieza. Para aceptar se presiona el botón OK.



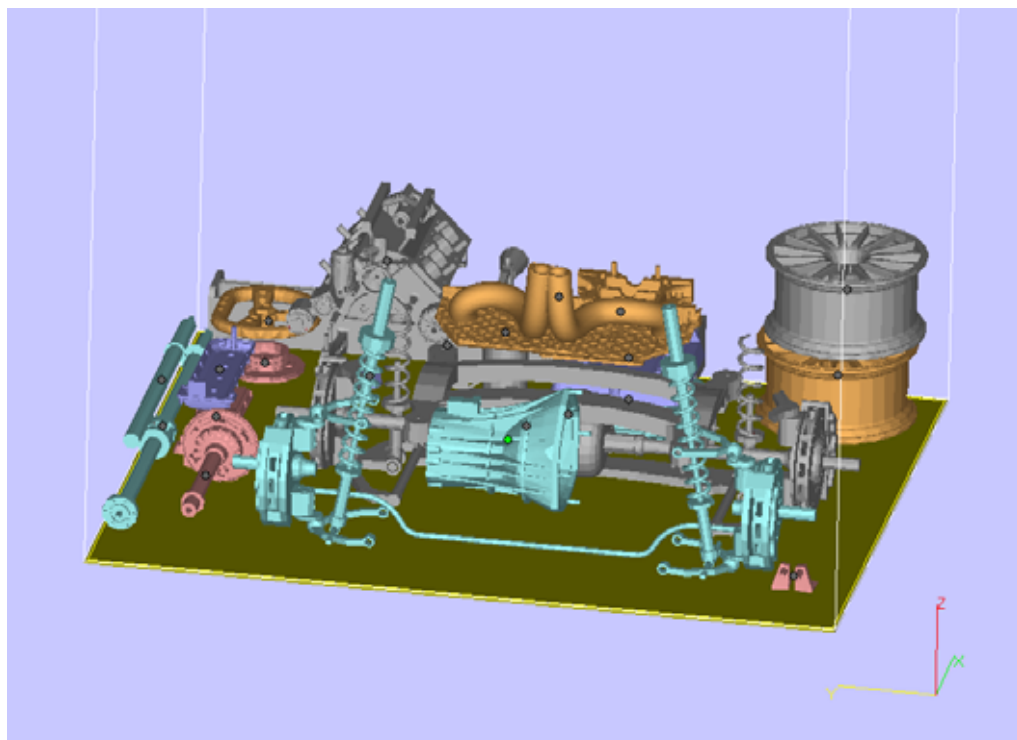
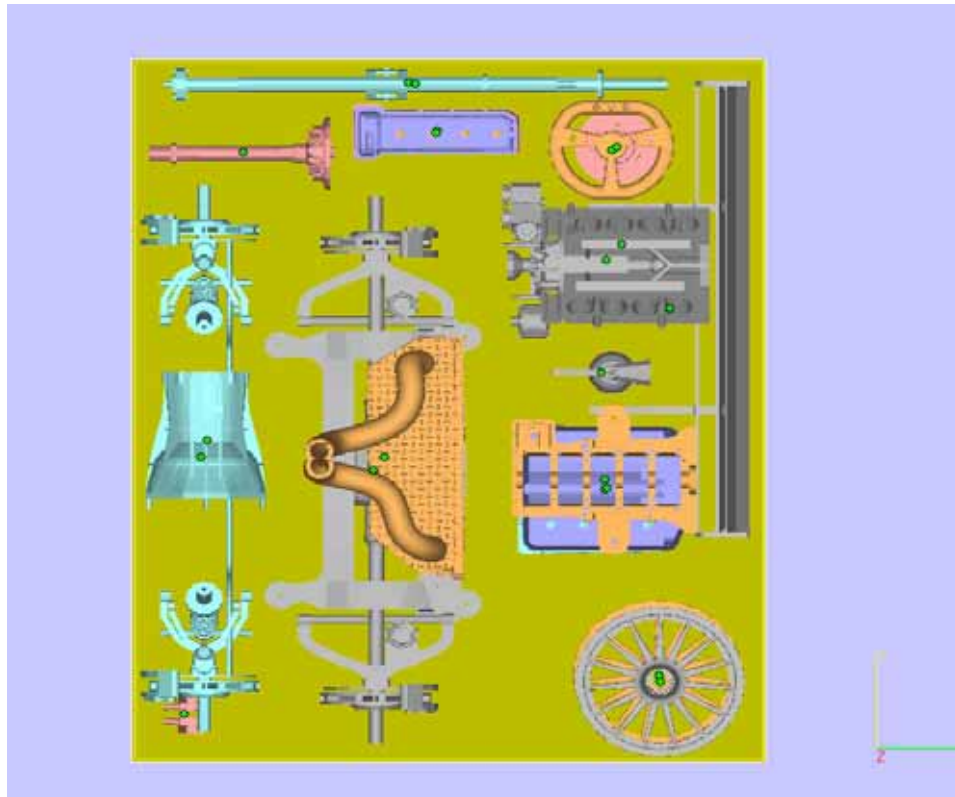
Una vez aceptado, la ventana de posicionamiento se cierra, y la pieza se coloca en su nuevo sitio. Se puede observar que se ha colocado cerca de la cama y a una esquina para hacer hueco a otras piezas.



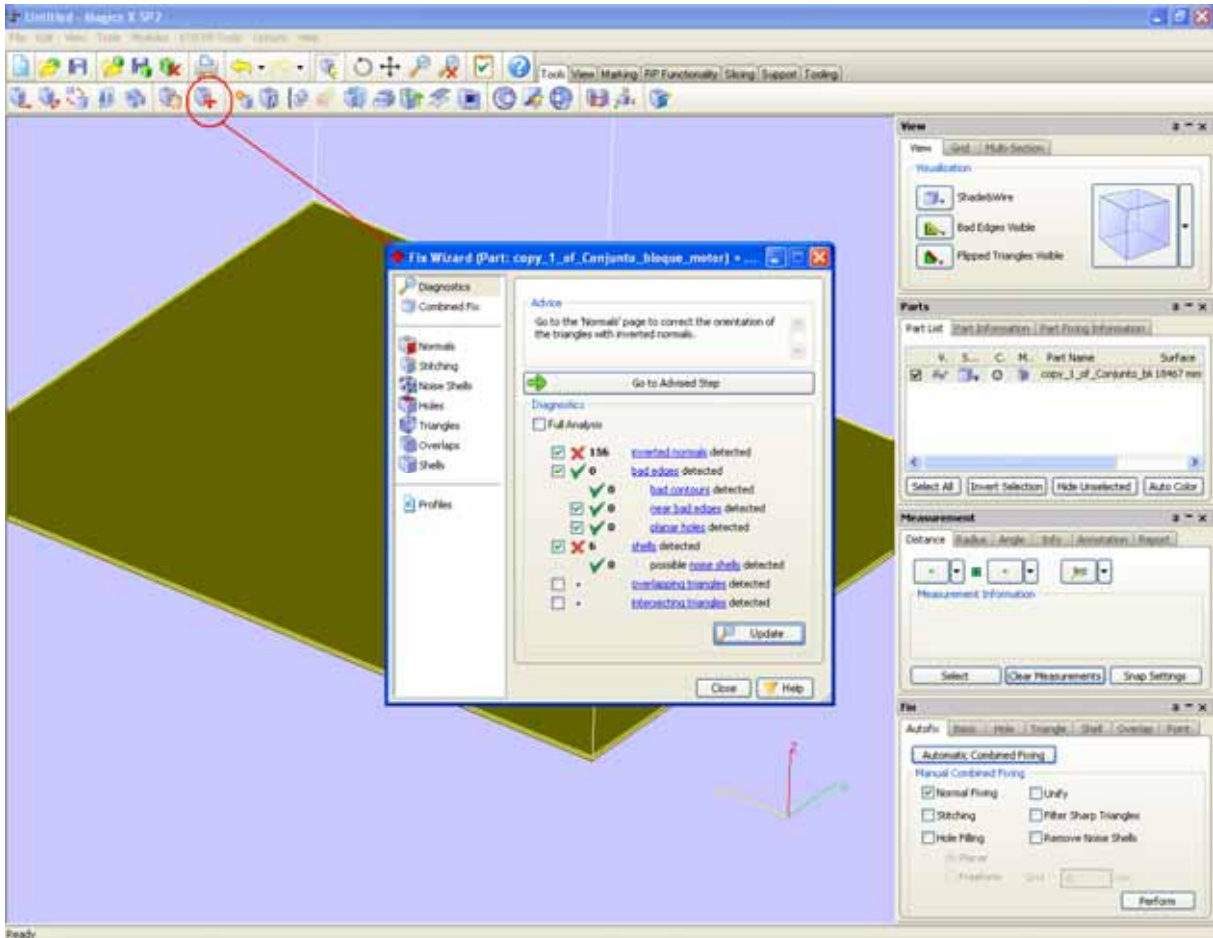
Pieza en su nuevo lugar.

Es importante saber que al introducir otra pieza y darle a *To Default Position*, la pieza se coloca en la misma esquina que la anterior. Aun así es recomendable elegir esta opción y luego mover la nueva pieza manualmente. Lo importante de esta opción es la colocación de las piezas a una distancia óptima de la cama. Para mover las piezas manualmente se introducen las distancias X, Y, Z, manualmente en el cuadro.

Una vez posicionada una pieza se introducen más para que en la cubeta quedan los menos huecos posibles sin construir. Esto es recomendable para optimizar el trabajo de la prototipadora, puesto que se ahorra mucho material plástico, así como un ahorro de electricidad. A continuación se muestran dos imágenes de como se aprovechan los huecos de la cubeta.

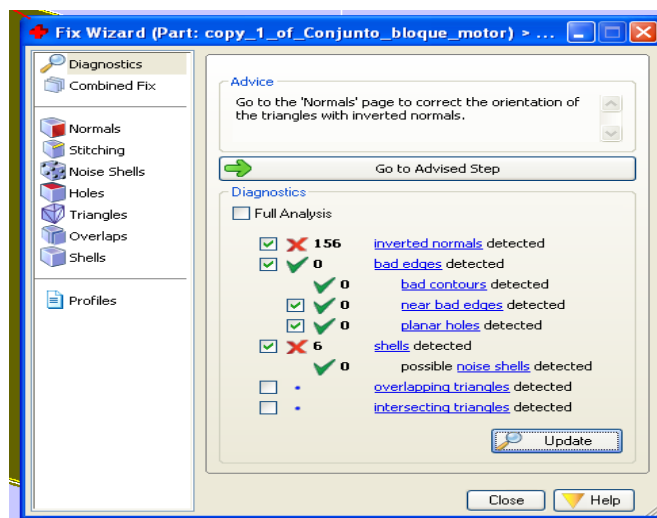


4: Una vez puesta la pieza en su sitio, se realiza un chequeo y reparado de los posibles problemas que pueda tener la pieza a la hora de ser construida. Para ello se elige la opción *Fix Wizard*.



Fix Wizard.

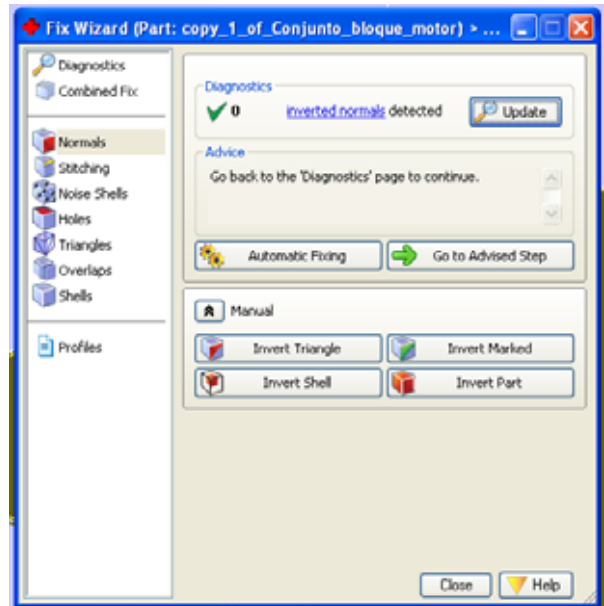
Las cruces rojas indican problemas de la pieza que hay que solucionar. En este caso indica que hay 156 errores de *Inverted Normals*, y 6 *Shells*. Para reparar se selecciona *Update*.



Una vez seleccionado *Update*, aparece la ventana para reparar los problemas. Se selecciona el botón *Automatic Fixing*. De esta forma desaparecen los 156 errores de *Inverted Normals*, así como los 6 errores *Shells*.

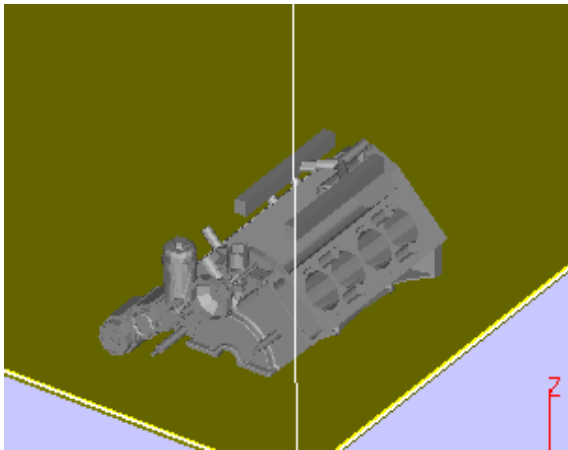


Antes de seleccionar *Automatic Fixing*.

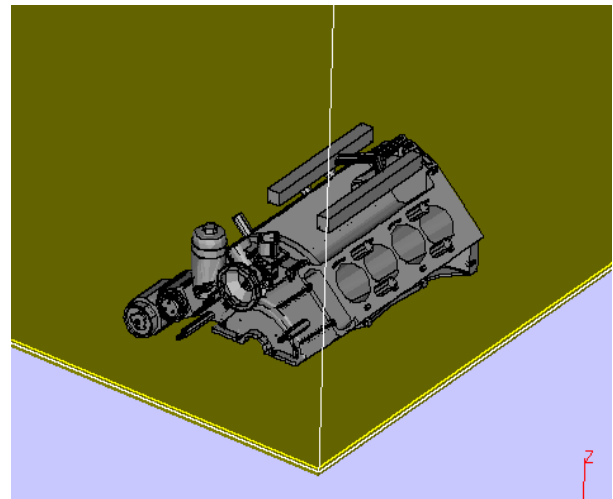


Errores ya solucionados.

Con los errores ya solucionados se presiona el botón *Close*. La visualización de la pieza ha cambiado ligeramente. Ahora las aristas se ven de negro.

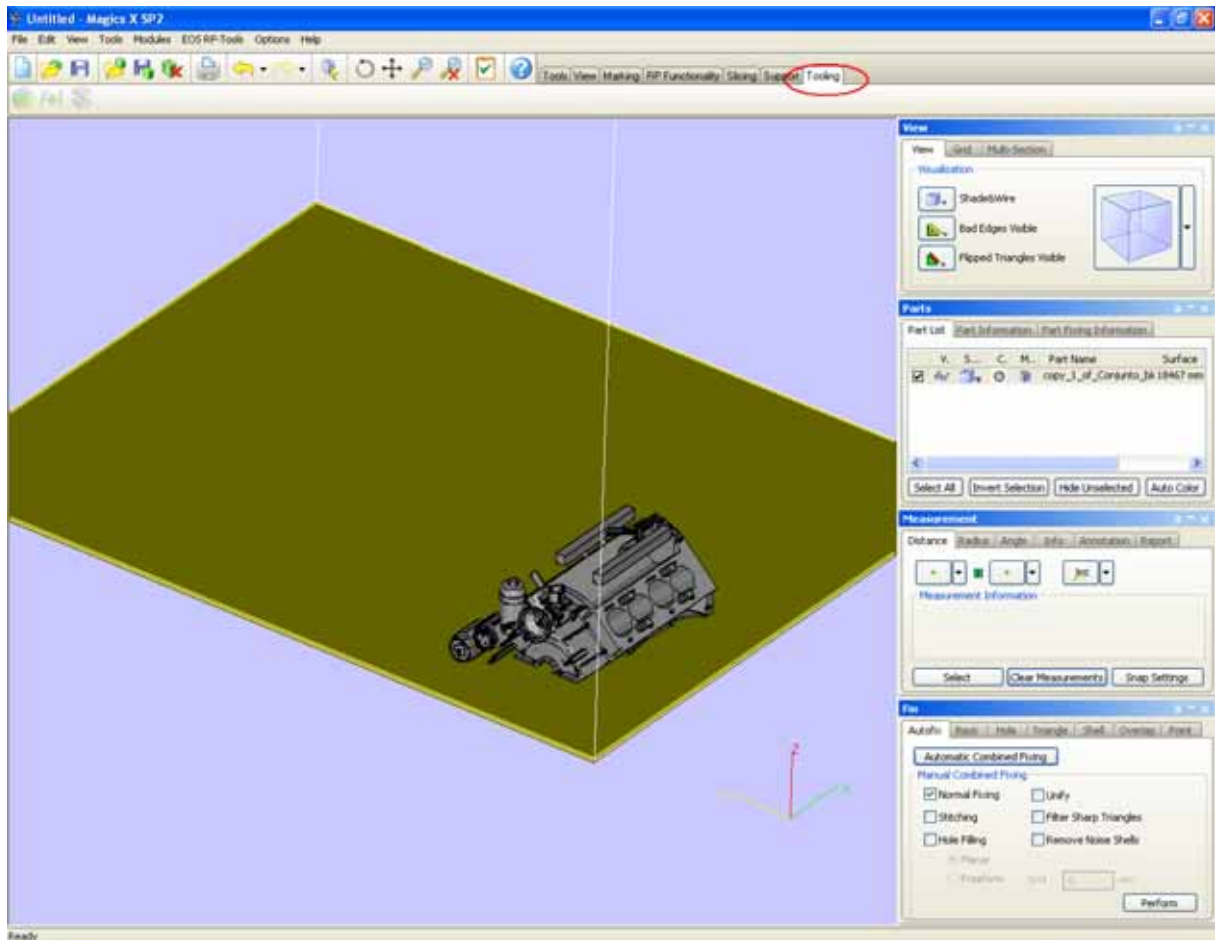


Antes de la reparación



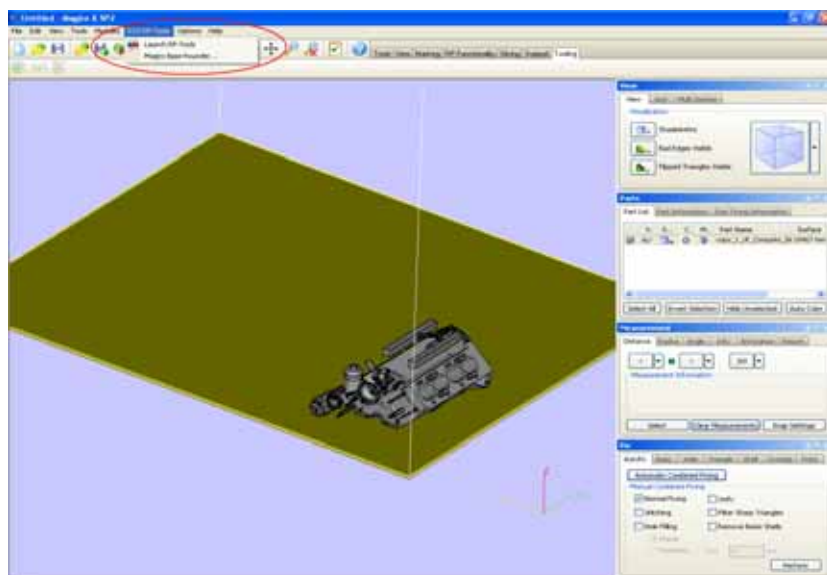
Después de la reparación.

5: Ahora se procede a pasar la pieza al siguiente software. Para ello se selecciona la pestaña *Tooling*.

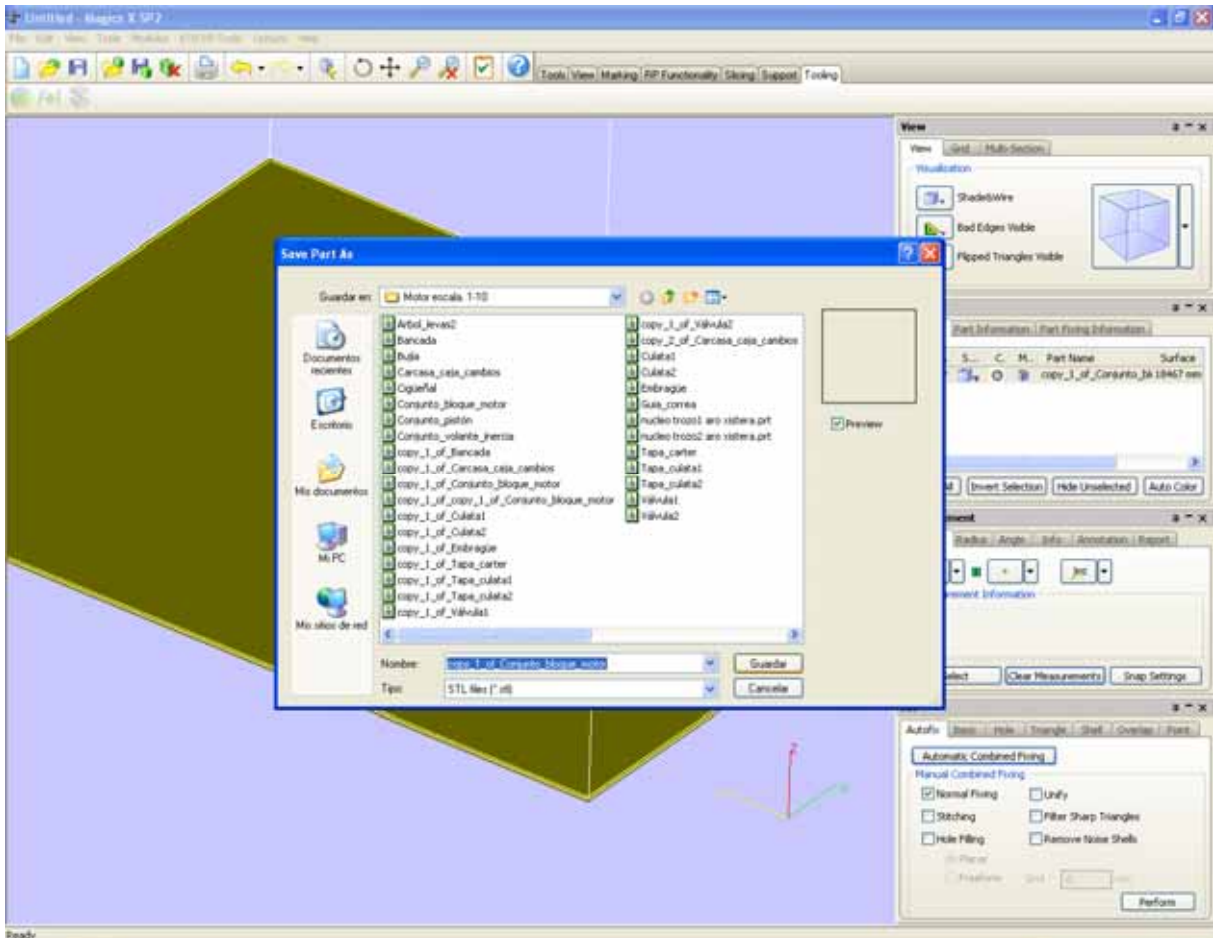


Pestaña Tooling seleccionada.

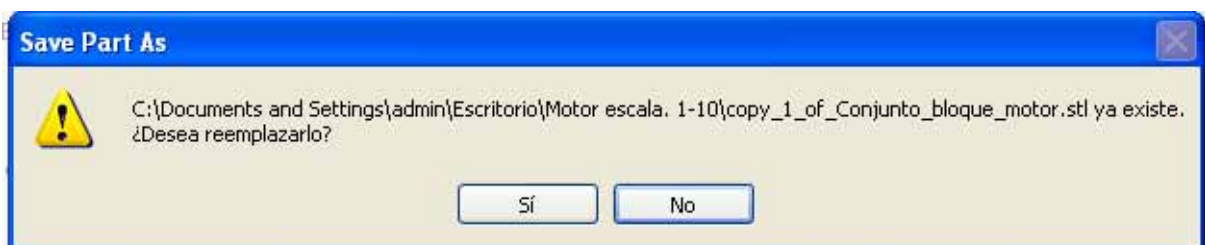
Posteriormente se envía la pieza al software EOS RP Tools. Para ello se selecciona el botón: *EOS RP Tools / Launch RP-Tools*.



Antes de que se abra la ventana del siguiente software, aparece automáticamente la opción de de guardar la pieza. Esto es necesario para salvar la pieza en STL sin errores, puesto que ya han sido reparados, y de esta manera no se transportan al siguiente software. Lo mejor es sobrescribir el archivo nuevo sobre el viejo para que no haya dos piezas con el mismo nombre.

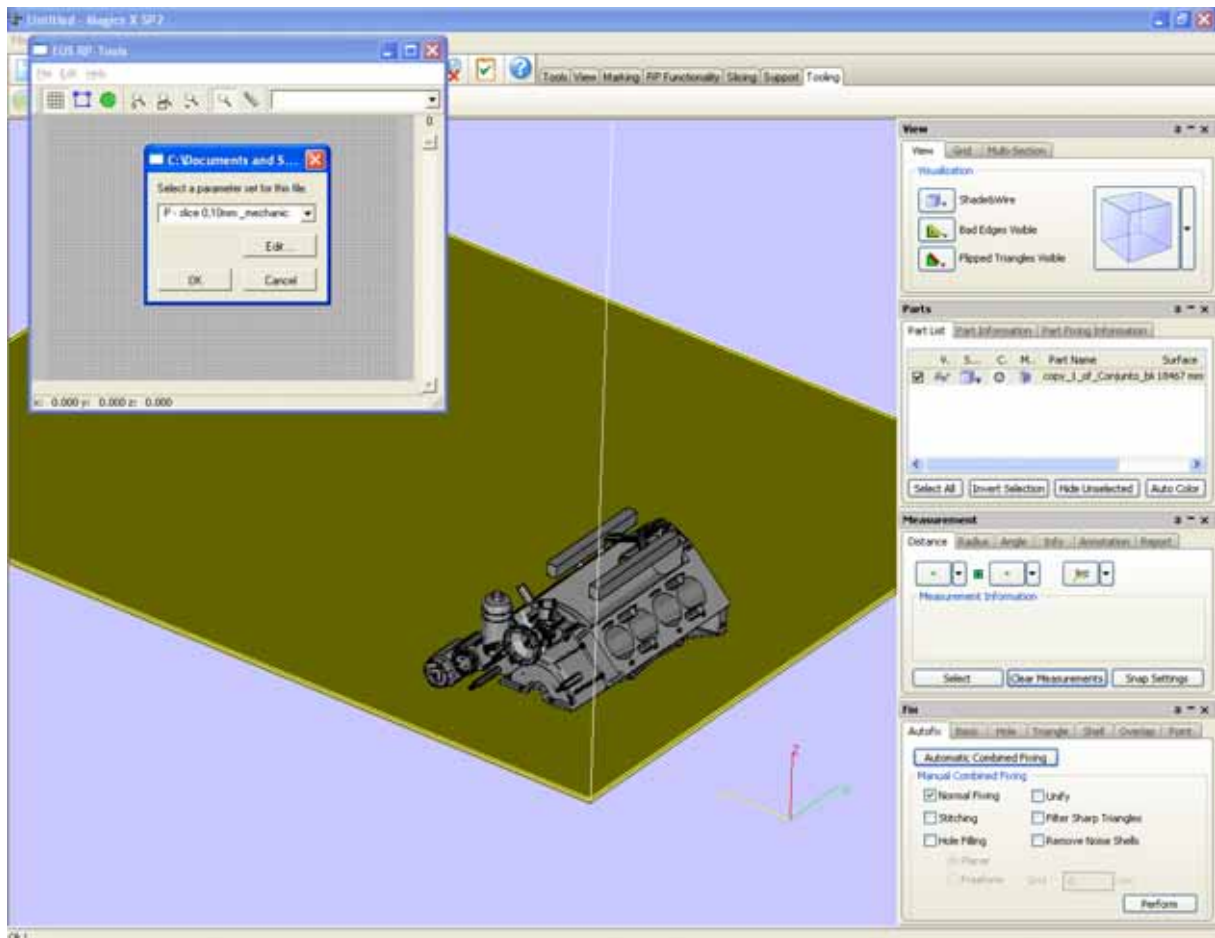


Ventana Save Parts As.



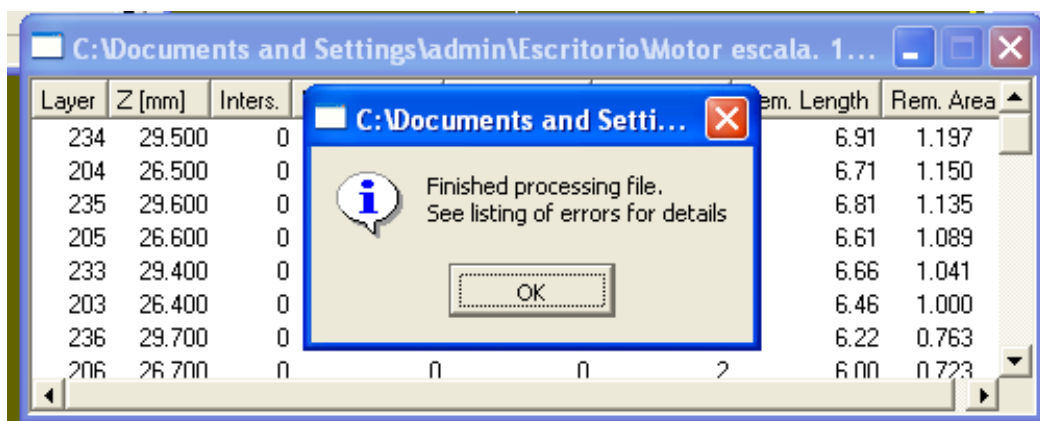
Notificación de que se esta reemplazando el archivo original, se presiona Sí.

6: Una vez guardada la pieza aparece la ventana del software EOS RP Tools. Primero se nos pide que seleccionemos el parámetro de laminado de piezas. Se recomienda confirmar el parámetro que el programa ofrece por defecto, presionando *Ok*.

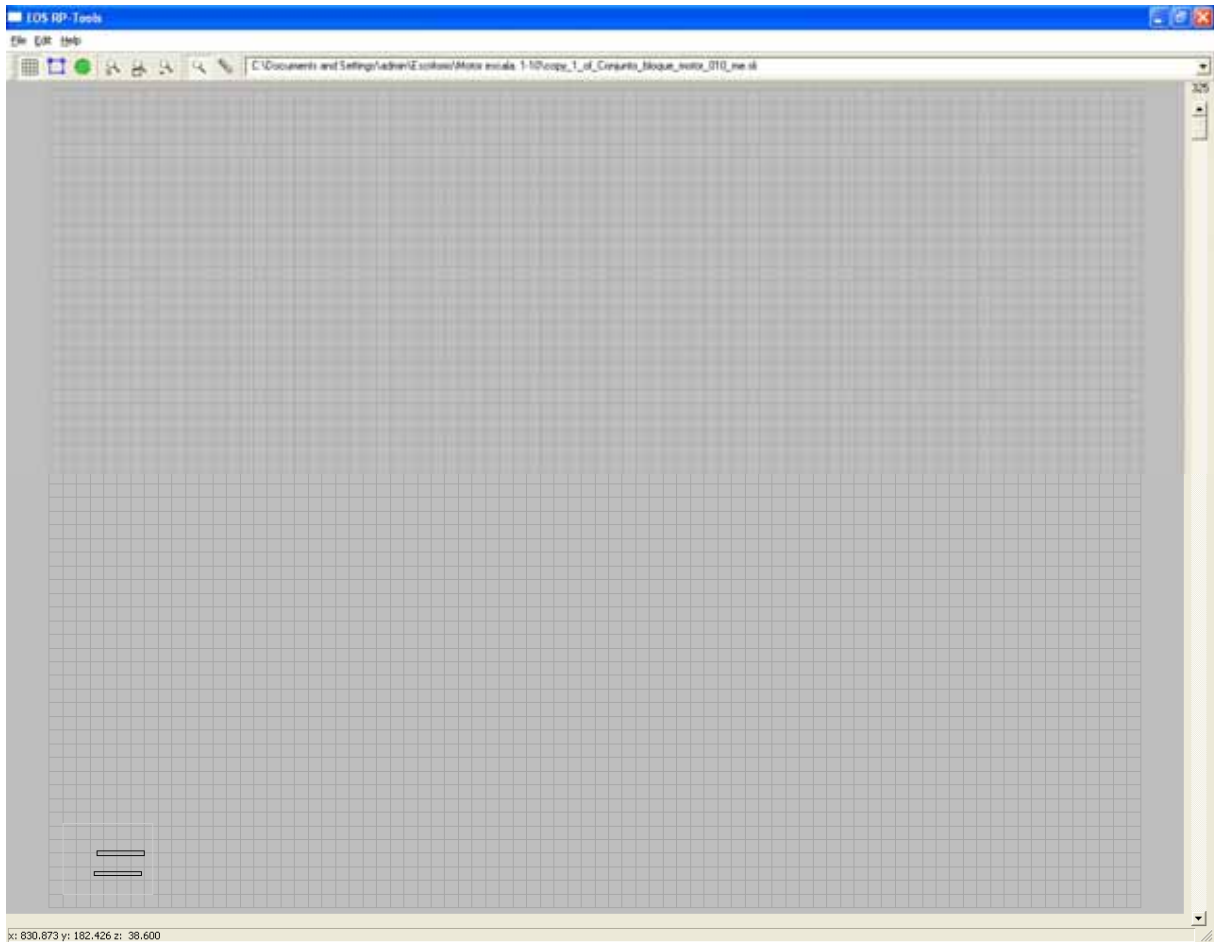


Se confirman los parámetros por defecto.

A continuación, el programa comienza a dividir la pieza en capas de 0.1 mm de grosor. Se muestra una lista con la información de cada capa y cuando termina, aparece la ventana para confirmar que ya ha terminado el proceso automático. Se presiona *Ok*.



En la ventana de EOS RP Tools se puede observar cada lámina que se ha creado. Para ello se mueve el cursor vertical de la derecha, de arriba a bajo para seleccionar la capa que se quiere ver, el dibujo de la sección de la pieza se observa abajo a la izquierda. A continuación se muestra la capa 325, que es la última que se creará porque es la más alta en el eje Z.

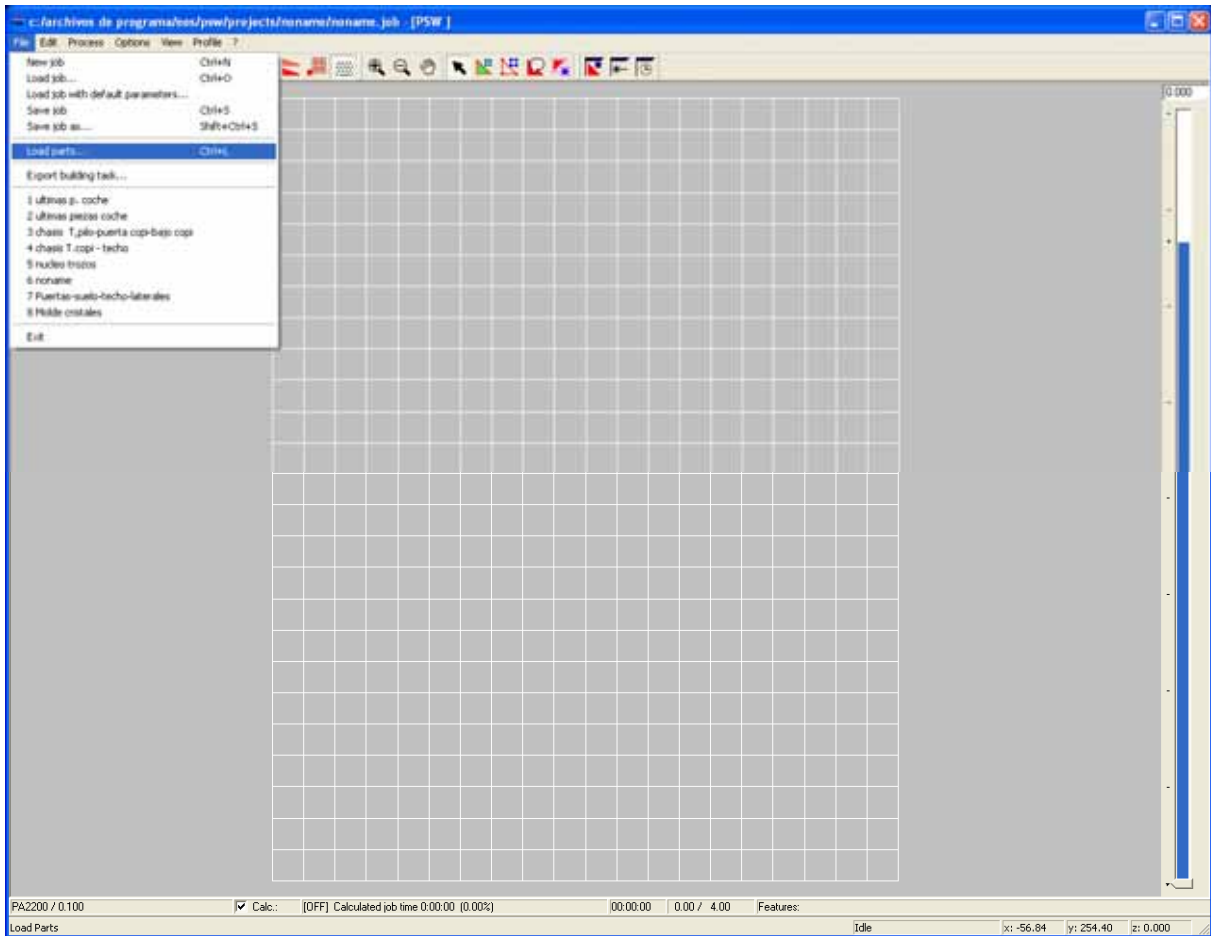


EOS RP Tools con la información de geometría de cada capa.

La capa cero mostraría la primera sección de la pieza.

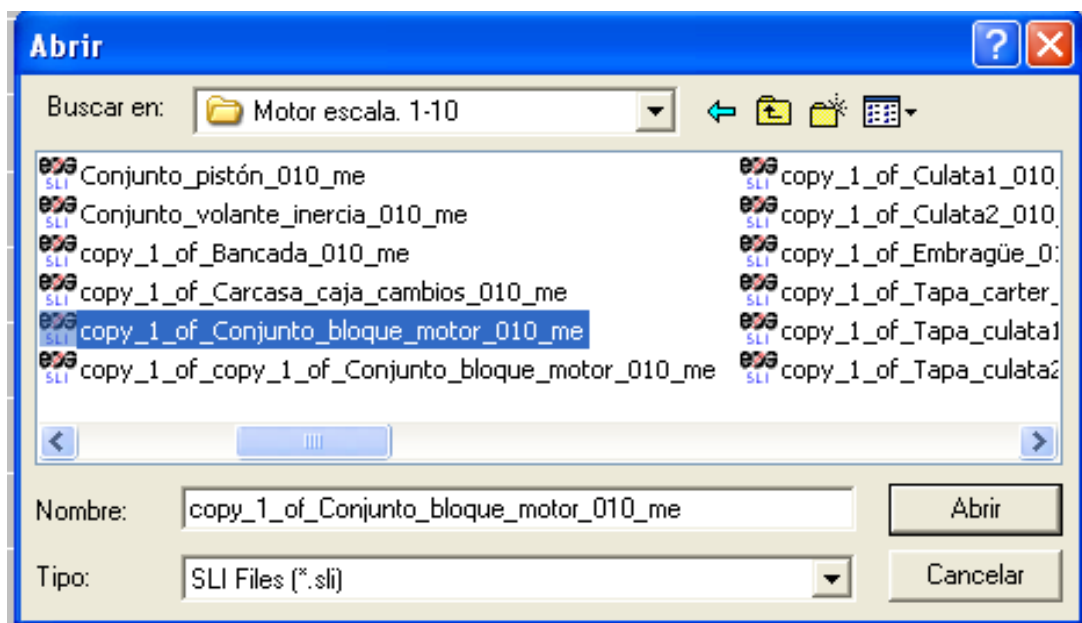
Para finalizar, con el programa EOS RP Tools se guardan los datos en formato con extensión *.sti. Para ello: *File / Save*. Eligiendo el directorio deseado. Ahora ya se puede cerrar el programa.

7: Ya se puede abrir el programa PSW, y cargar los datos *.sti , obtenidos antes. Para ello: *File / Load Parts*.

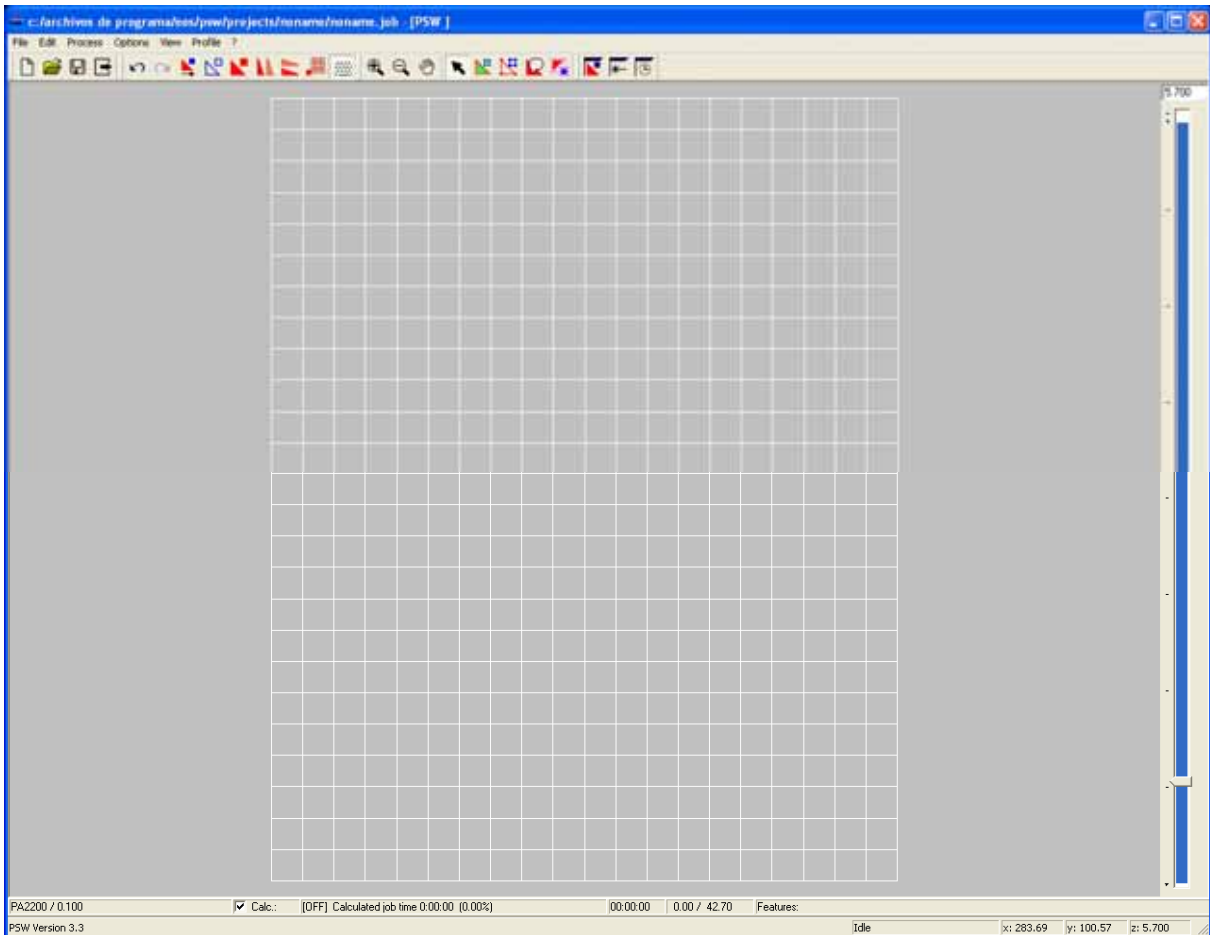


Se abre Save / Load Parts.

A continuación se abre la pieza guardada en formato *.sti .



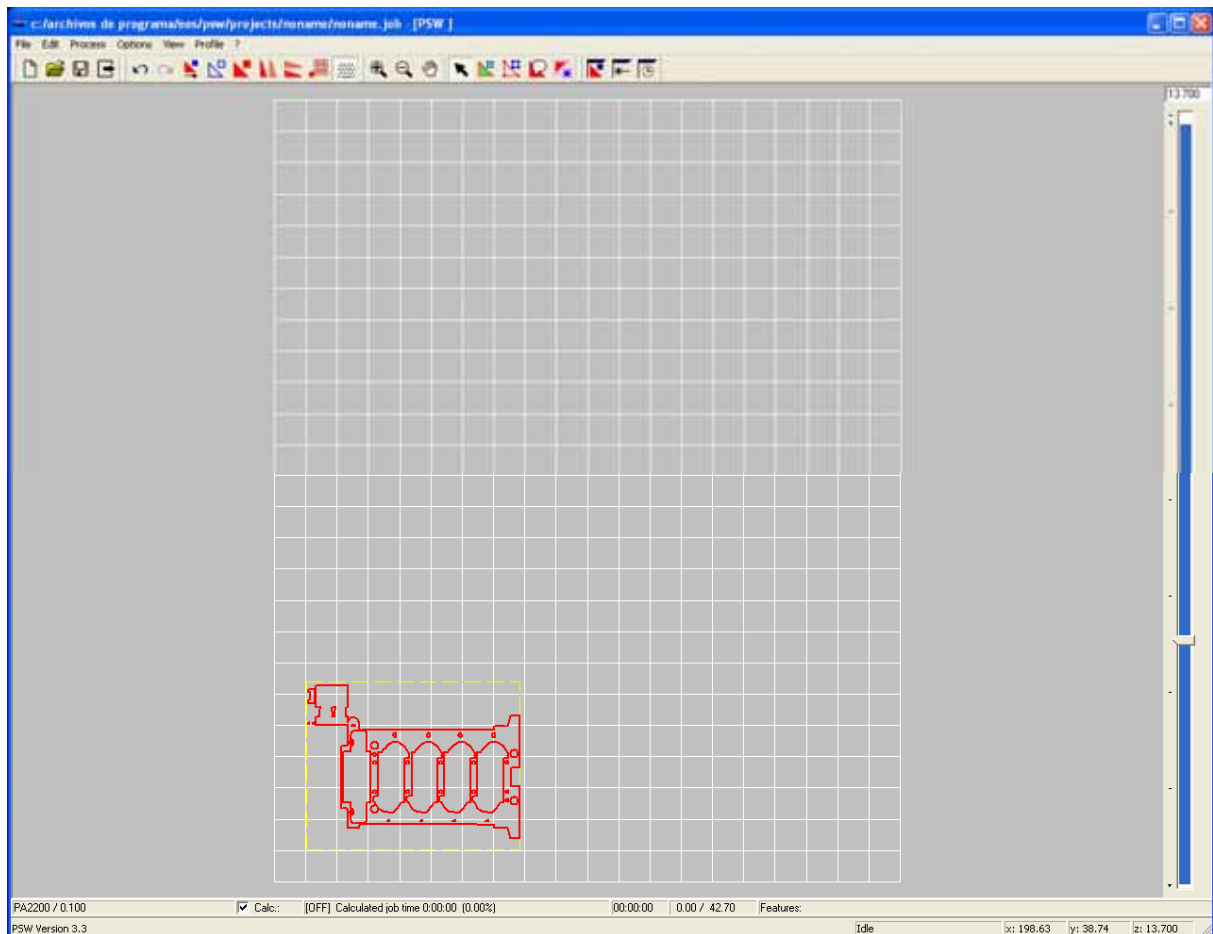
8: Con los datos ya abiertos, se puede visualizar como va a ser el proceso de trabajo para la construcción de la pieza. La cuadrícula representa una vista superior de la cubeta, y los dibujos en rojo son la información de cada capa. Con el cursor vertical derecho se visualizan las distintas capas.



Visualización de la capa 57 que corresponde a 5,7 mm de altura.

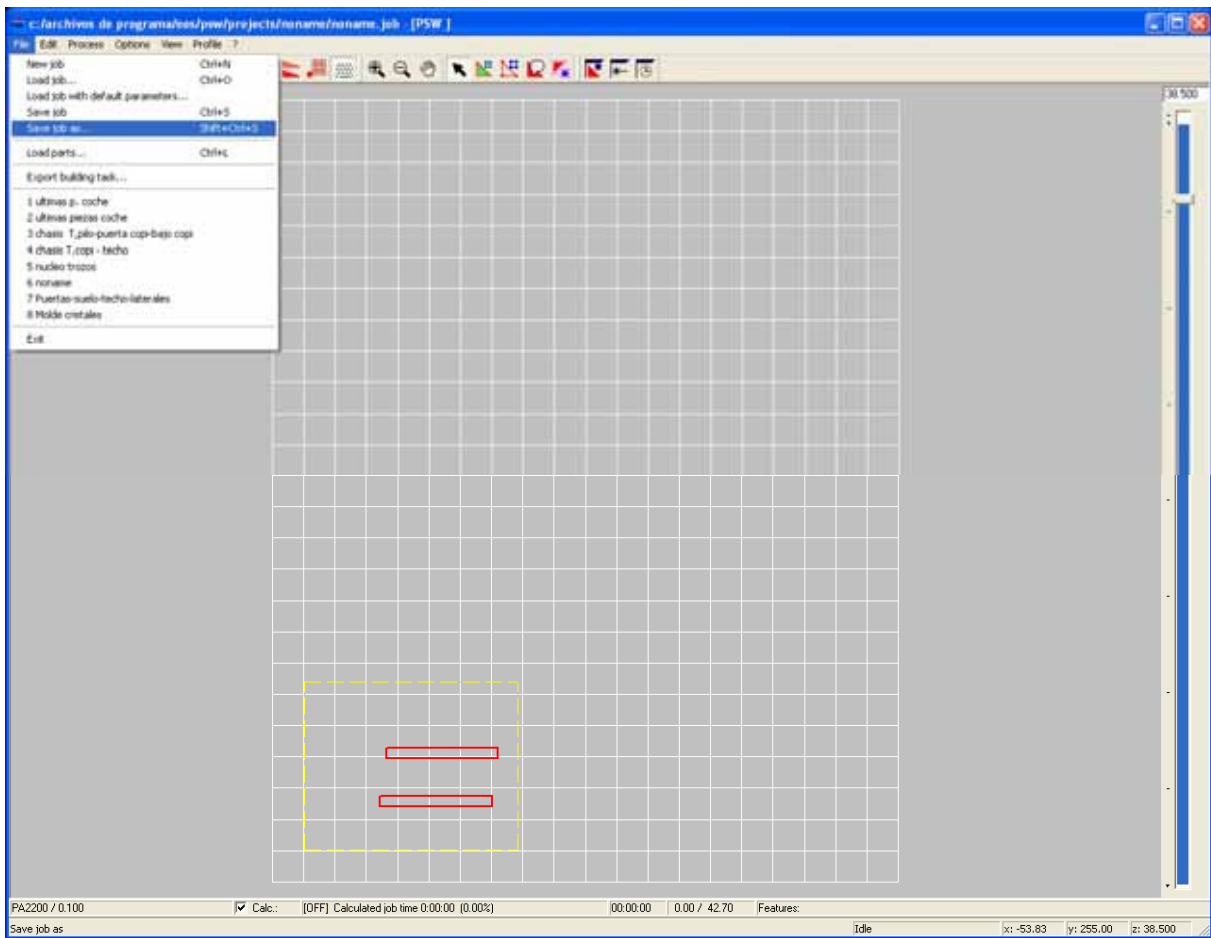
Como se explico anteriormente, para una construcción correcta de las piezas se necesita crear una cama de 6 mm. Esto lo hace el software SPW automáticamente. Por eso en la imagen anterior no se observa ninguna información en rojo.

Aquí se muestra la capa 137, que corresponde a la capa 77 de la pieza. Se puede ya observar información en rojo. El perímetro amarillo representa el volumen total de la pieza, en el plano X, Z.



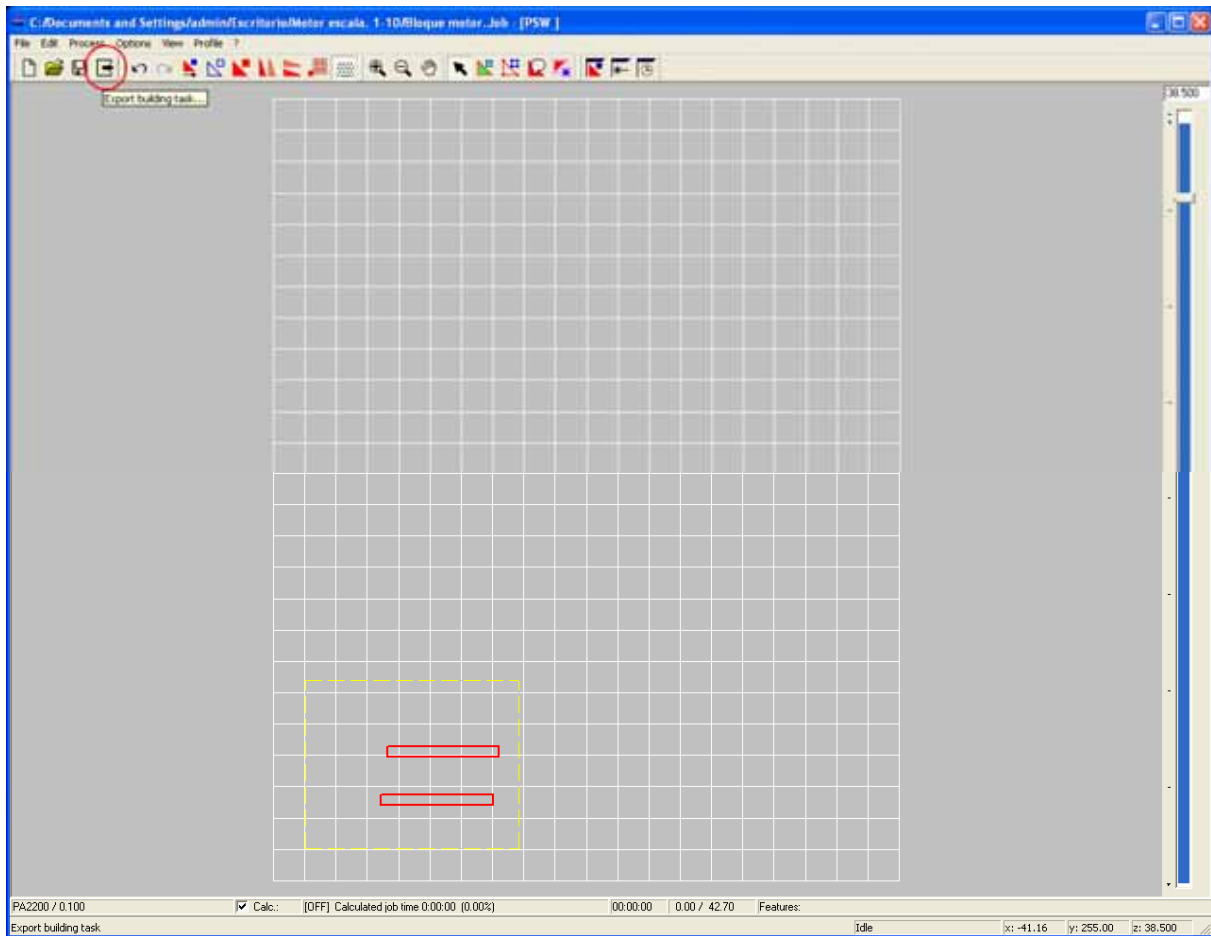
Muestra de una de las capas de la pieza.

9: Es recomendable guardar los datos en el ordenador, aunque no sería necesario puesto que si se manda el trabajo inmediatamente a la máquina, el trabajo queda guardado en la memoria de la prototipadora. Para salvar los datos: *File / Save job as*. Se elige un nombre y los datos se guardan con la extensión *.jz propia del software SPW.



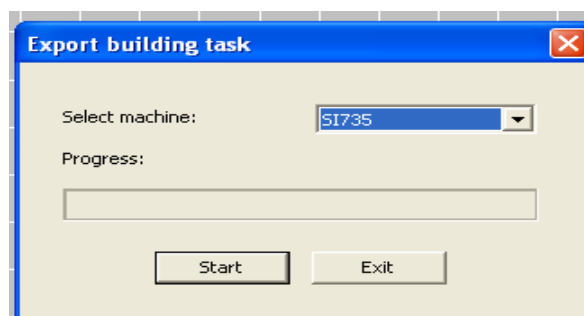
Guardado de datos en el programa SPW.

10: El último paso es enviar los datos a la máquina. Para ello se presiona el botón *Export building task...*



Export building task.

A continuación se nos pide elegir el nombre de la máquina de prototipado que se va a utilizar. Se elige la que viene por defecto y se presiona *Start*. Es imprescindible que la máquina de prototipado este encendida y lista para construir antes de presionar *Start*.



Después de que finalice el proceso, aparecerá una ventana con los posibles errores que puedan aparecer. Si se han seguido todos los pasos correctamente no debe haber errores.

2.3.4- Limpieza y montaje de piezas obtenidas.

Una vez que la máquina de prototipado ha terminado de construir las piezas de la cubeta, se deben dejar reposar dentro de la máquina unas 2 horas para que las piezas se enfríen bien y no adquieran deformaciones. Una vez pasado ese tiempo, se siguen los siguientes pasos para finalizar el proceso de obtención de prototipos. Como recomendaciones de seguridad se aconseja el uso de guantes a la hora de manipular la cubeta para evitar quemaduras y heridas por atrapamientos. También es recomendable el uso de gafas protectoras en el momento de la limpieza de piezas.

1: Se saca la cubeta llena de la máquina de prototipado, y se coloca en la máquina de vaciado de cubetas. Con el pedal que posee se eleva la base de la cubeta para dejar libre las piezas recubiertas del polvo que no ha sido empleado.



Las piezas se encuentran entre el polvo que no ha fundido.

Manualmente se secan las piezas de entre el polvo. Se recomienda no separar todavía el polvo adherido a las piezas puesto que el material más próximo a ellas pierde mucha calidad y no se debe reutilizar. El resto del material en polvo si que se reutilizará en otras construcciones, mezclándose con polvo nuevo a partes iguales.



2: Cuando las piezas ya están separadas, se introducen en el banco de limpieza, donde se limpian. Con esta máquina se proyecta un abrasivo que elimina el polvo adherido a las piezas y que se debe eliminar.



Limpieza de una pieza dentro del banco de abrasivo.

Una vez se han limpiado todas las piezas se puede abrir la puerta para sacarlas.

3: Normalmente suele ser necesario una segunda limpieza para limpiar bien los agujeros. Se puede realizar con una pistola de aire a presión, pero si el agujero es muy pequeño, se puede introducir una broca para sacar el polvo que hay acumulado.



Aquí se muestra como se vacía un agujero con un taladro y una broca de 1mm.

4: Por último se realiza el montaje de todas las piezas.



Para ensamblar las piezas se han utilizado tornillos de diferentes métricas, realizando los agujeros con un taladro provisto de brocas apropiadas. También se ha empleado pegamento para ensamblar algunas uniones de forma permanente. Se recomienda pegamentos de resinas epoxi, ya que las piezas son porosas, y ofrece una unión fuerte. Para un secado rápido se aplica un activador para cianocrilato.

En el caso de que dos piezas no coincidan exactamente, se limarán un poco las uniones.



2.3.5- Problemas surgidos y su resolución.

El principal objetivo a la hora de ordenar las piezas en la cubeta es dejar el mínimo hueco entre ellas para aprovechar al máximo el espacio de trabajo. Esto se debe a que el polvo que queda sin fundir alrededor de las piezas pierde calidad a causa del calentamiento, aunque no llegue a fundir. Cuanto menos polvo plástico se desaproveche mejor, puesto que es bastante caro.

Otro motivo importante por el que se deben evitar huecos vacíos a la hora de repartir el trabajo en la cubeta, es que cuanto más trabajo en altura Z tiene la máquina, más horas tiene que estar trabajando, y más electricidad y material se desaprovecha.

Atendiendo a estas dos razones para ordenar las piezas en la cubeta, se pretendía introducir el máximo número de piezas posible en la cubeta. El problema surgido fue que las piezas del coche que se modelan en FreeForm Modeling son archivos muy pesados. A la hora de utilizar los archivos en los software's para prototipado, al ordenador conectado a la máquina Formiga P100 le costaba mucho manejar las piezas grandes. En el caso de abrir con el software Magics más de 3 o 4 piezas grandes, el ordenador se bloquea y se debe reiniciar el ordenador, perdiendo el trabajo. Esto limita el número de piezas que se pueden meter en la cubeta para construir. Con la consecuente pérdida de calidad de un gran volumen de polvo plástico. La mejor solución hubiese sido mejorar la potencia de los equipos que controlan los software's.

Otro problema que surgió fue causado por el brazo metálico que deposita las capas de 0,1 mm. de polvo. Al no soldarse bien las anteriores capas de una pieza, cuando el brazo metálico pasó para poner una nueva capa, arrastró todo el trabajo de capas inferiores, atascándose la máquina y perdiendo el trabajo de esa cubeta. Este problema aparece sin previo aviso y se debe a causas de caída temperatura de trabajo de la máquina que no se puede controlar, de todas formas son suele ser habitual.

A veces, a la hora del enfriamiento, aparecen deformaciones en las piezas. Para evitar este problema se recomienda colocar las piezas con la menor altura posible en el eje Z. En caso de que no se pueda se deberá dejar enfriar durante más de 2 horas la cubeta.



2.4- EDICIÓN DE IMÁGENES 2D

2.4.1- Introducción.

Además presentar propuestas de lo modelado en 3D, también se pueden realizar varias presentaciones de un objeto en 2D con software,s para el tratamiento de imágenes. En este caso se realiza el diseño de la pintura y pegatinas de la carrocería. Para ello se va a emplear illustrator y Photoshop.

2.4.2- Proceso de gestión de archivos 2D.

En cualquier momento del proyecto se pueden obtener archivos de datos de imágenes. Con una cámara fotográfica digital se consiguen imágenes del objeto inicial, o del objeto prototipado. Con capturas de pantalla se pueden conseguir imágenes del objeto digital, esté en el software que esté. Además los software's tienen la opción de exportar los datos del modelo a archivos de imagen.

1: Fotografiado, con cámara digital, de un objeto material. La imagen se abre con illustrator o Photoshop para editarla.

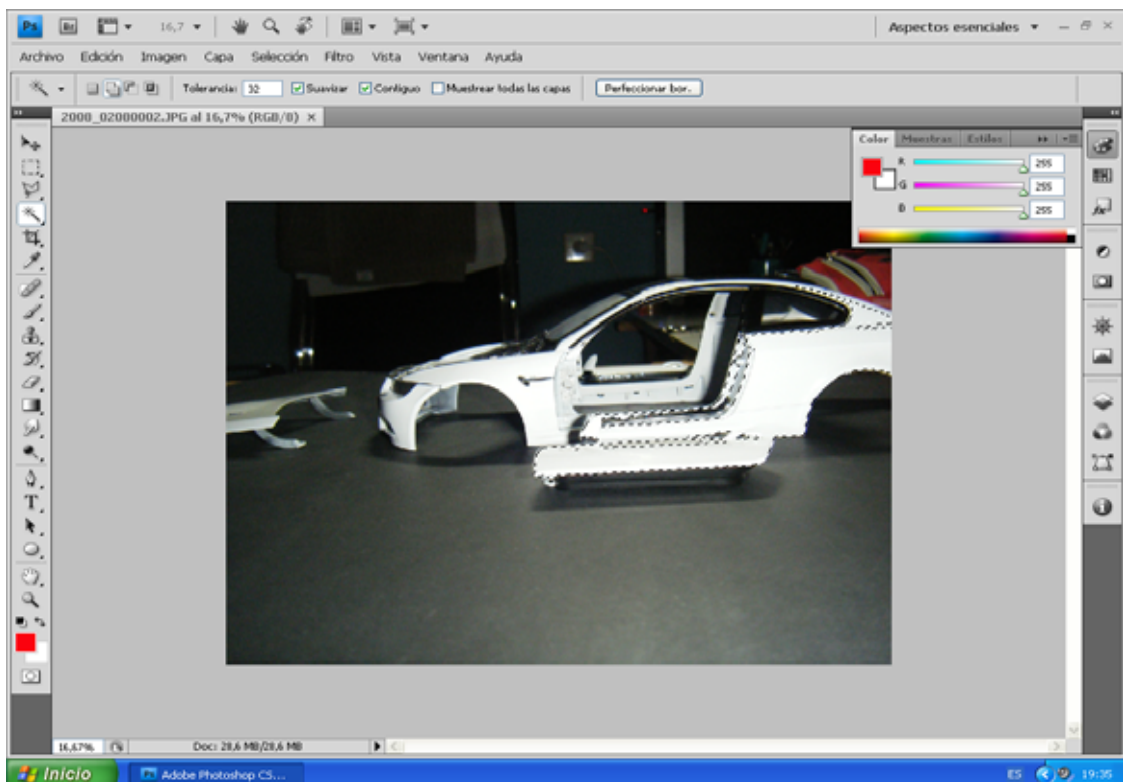
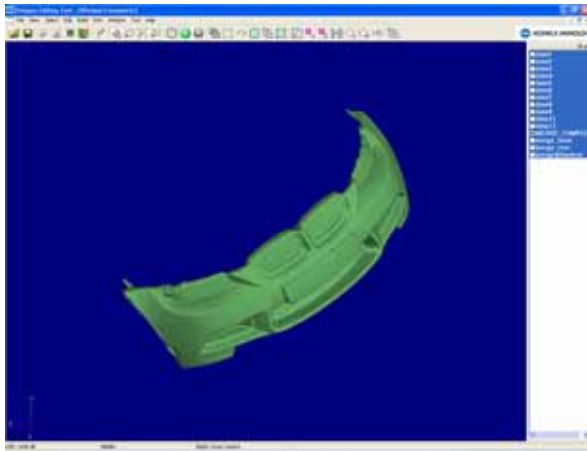
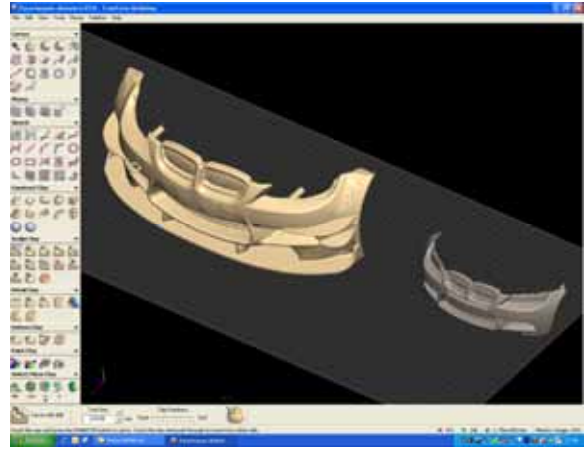


Imagen realizada con una cámara digital, para editar en Photoshop.

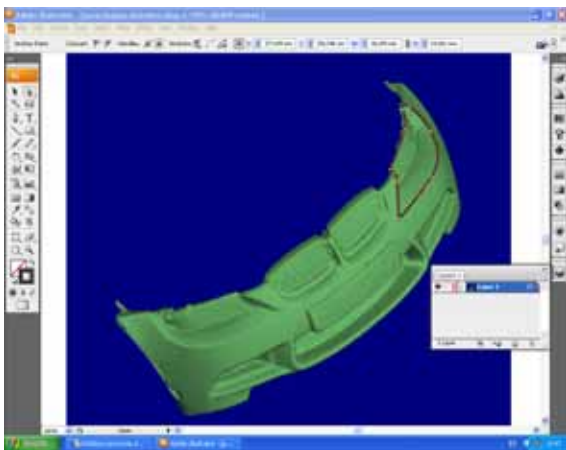
2: Con una captura de pantalla, en cualquier momento se puede editar con illustrator o Photoshop un objeto que en realidad era un sólido virtual del software de donde se hizo la captura.



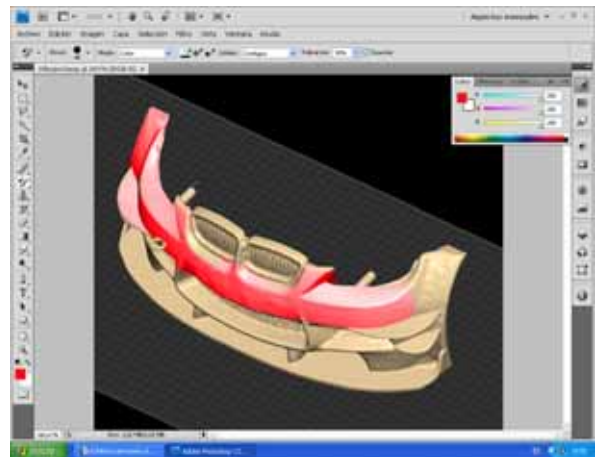
Parachoques delantero de Polygon Editing Tool



Parachoques delantero de FreeForm Modeling



Modificación con illustrator de una captura de Software PET

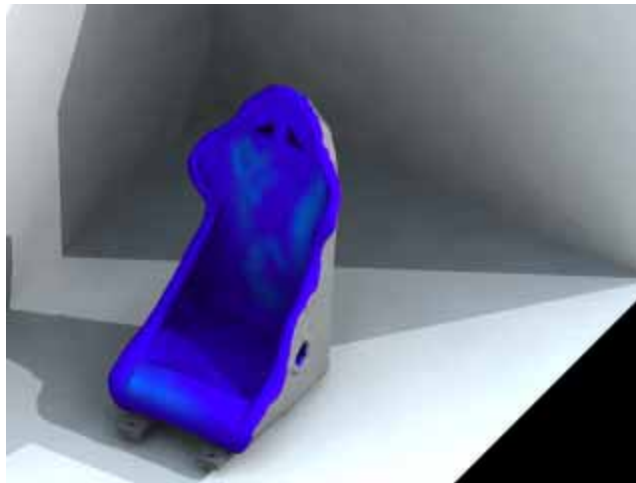


Modificación con Photoshop de una captura de FreeForm

3: Desde los software's de diseño 3D se pueden exportar datos de sólidos a archivos de datos de imagen.

En el software Polygon Editing Tool existe la opción de guardar las capturas de superficie como imágenes. Para ello *File / Export / Images*. De esta forma se guardan archivos de datos de imagen con extensión JPEG.

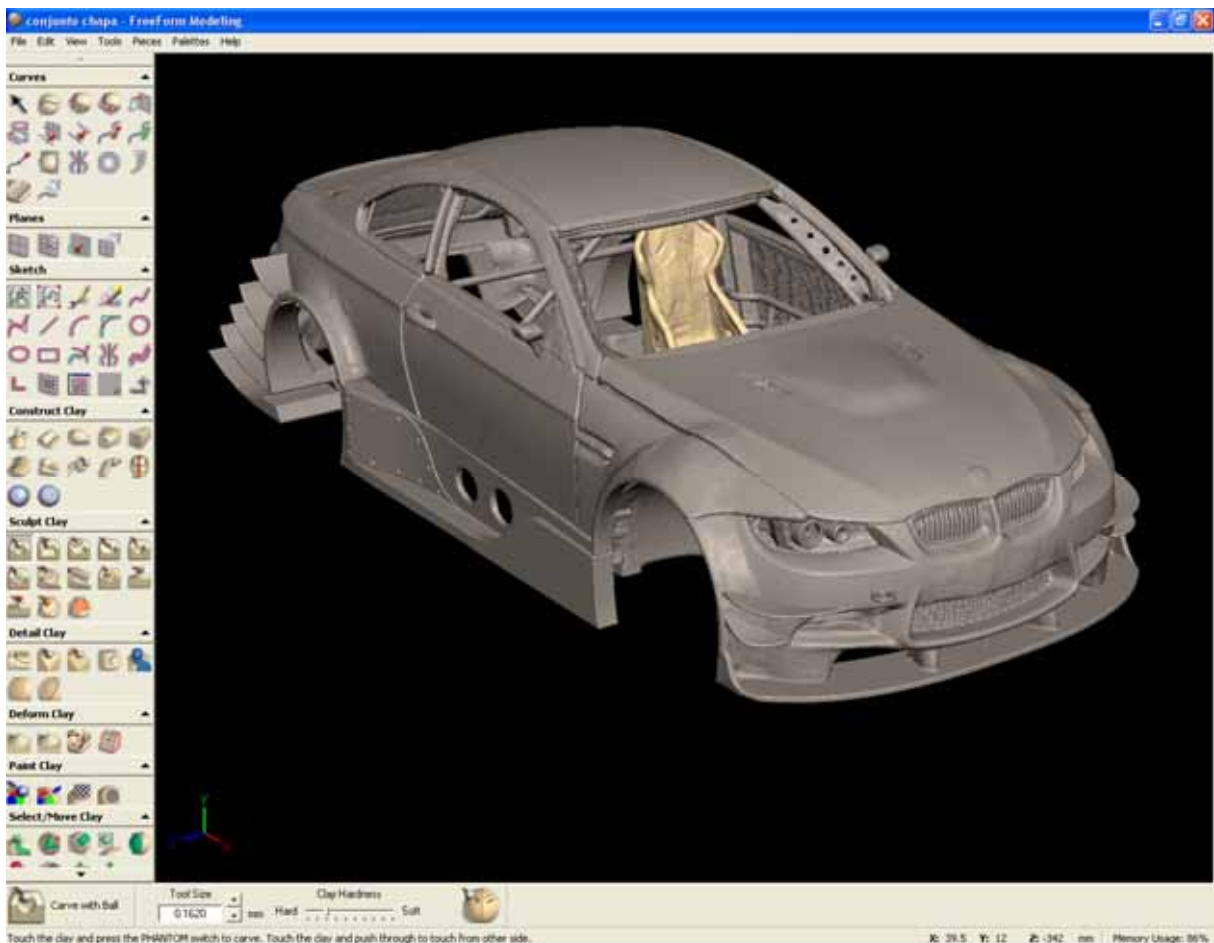
Con el software FreeForm Modeling se pueden exportar datos como archivos JPEG utilizando el render que posee el programa. La calidad de las imágenes es muy buena, y con fotorrealismo. El problema es que se necesita un ordenador potente en el caso de tener piezas con gran detalle, por eso en nuestro caso no se utilizó. A continuación se muestra una pieza pequeña a la que se le ha aplicado el render simplemente como muestra.



2.4.3- Muestra de presentaciones realizadas con illustrator y Photoshop.

El método que se recomienda para conseguir imágenes es la captura de pantallas del software FreeForm Modeling, ya que al final de la fase de modelado se tiene el objeto con la forma final. Editar estas imágenes tiene la finalidad de presentar varias alternativas de como se puede decorar la pintura de la carrocería que ya ha sido modelada.

Para realizar las diferentes versiones se ha elegido esta imagen del software FreeForm Modeling porque muestra el modelo en una buena vista para poder ver el lateral, el frontal, y el techo a la vez.



Esta es la captura de pantalla con la que se comienzan a realizar las diferentes propuestas.

A continuación se muestran las diferentes versiones que se han creado, trabajando cada imagen con los programas, illustrator y Photoshop:

Versión 1:



Versión 2:



Versión 3:



También se pueden plantear posibles ambientes para nuestro modelo de automóvil.

Versión 1:



Versión 2:





3. ESTUDIO ECONÓMICO

Para realizar un análisis económico del proyecto, se va a hacer una estimación del costo de los diferentes procesos en los que intervienen hardware's.

3.1- Coste unitario de cada fase.

Fase de Digitalización 3D:

Funcionamiento digitalizador 3D VIVID 910:	13€ / h.
Mantenimiento:	2€ / h.
<u>Trabajo de digitalización:</u>	<u>60€ / h.</u>
TOTAL	75€ / h.

Fase de modelado 3D:

Funcionamiento Phantom Desktop:.....	4€ / h.
Mantenimiento:	2€ / h.
<u>Trabajo de modelado 3D:</u>	<u>60€ / h.</u>
TOTAL	66€ / h.

Fase de prototipado:

Funcionamiento máquina:	25€ / h.
Mantenimiento máquina:	3€ / h.
Trabajo de elaboración del técnico:	60€ / h.
<u>Gasto de material plástico:</u>	<u>60€ / Kg.</u>
TOTAL	88€ / h. + material

3.2- Coste de todas las fases del proyecto.

A continuación se realiza una Consideración en función de horas invertidas en las piezas de cada fase del proceso.

FASE DE DIGITALIZACIÓN 3D:

Pieza	Prep. de piezas (Minutos)	Escaneado (Hor)	Prep. de mallas (Horas)	Total
Chasis	15 min	2 h	3 h	5,25 h
Capó delantero	10 min	0,5 h	1 h	1,67 h
Puerta	10 min	0,5 h	1 h	1,67 h
Base	15 min	1,5 h	0,5 h	2,25 h
Parachoques delantero	10 min	0,5 h	1 h	1,67 h
Parachoques trasero	10 min	0,5 h	1 h	1,67 h
Cristal trasero	10 min	0,1 h	0,1 h	0,37 h
Cristal delantero	10 min	0,1 h	0,1 h	0,37 h
TOTAL HORAS				14,92 h
Precio hora 75€x TOTAL HORAS				1.119,00 €

FASE DE MODELADO 3D:

Pieza	Tiempo de modelado FreeForm Modeling
Chasis	31 h
Aleta derecha delanteras	10,5
Aleta derecha trasera	15,5 h
Asiento	4 h
Bajo lateral derecho	12,5 h
Capó delantero	3 h
Capó trasero	5 h
Molde para cristal lateral derecho	2 h
Molde para cristal delantero	3 h
Molde para cristal trasero	1 h
Molde para óptica delantera derecha	2 h
Molde para óptica trasera derecha	2 h
Parachoques delantero	14,5 h
Parachoques trasero	14 h
Puerta derecha	5 h
Radiador	3,5 h
Suelo medio	3,5 h
Suelo trasero	4 h
Techo	5 h
T e escape derecho	3 h
Soporte del motor	4 h
Realizar copias de piezas simétricas	3 h
TOTAL HORAS	151 h
Precio hora 66€x TOTAL HORAS	9.966,00 €

FASE DE PROTOTIPADO:

Cubetas	Tiempo de construcción	Vol. de las piezas (mm)	Coste de cubeta
1	3h 04min	82.320,0	356,86 €
2	7h 58min	182.379,9	594,32 €
3	7h 13min	203.417,7	554,98 €
4	13h 14min	268.482,9	631,50 €
5	5h 17min	13.958,2	465,81 €
6	00min	191.829,6	64
7	3h 10min	57.321,3	361,83 €
8	56min	143.118,5	48
9	8h 02min	112.594,8	582,76 €
10	07min	174.155,4	50
11	2h 26min	150.281,8	342,63 €
TOT			5.522



4. CONCLUSIÓN

Con la realización de este proyecto se desarrolla el procedimiento de trabajo que se debe realizar para realizar el proceso de escaneo tridimensional, mejora del diseño y posterior prototipado del mismo. En este caso las herramientas de diseño utilizadas han sido el digitalizador 3D VIVID-910 de Konica Minolta, un dispositivo háptico Phantom Desktop, y la prototipadora rápida Formiga P100. También se emplean varios Software's adicionales para la mejora del proceso, entre estos software's se encuentran Solid Edge para diseño 3D, así como illustrator y Photoshop para la edición de imágenes 2D.

Por una parte se obtienen modelos reales tridimensionales como resultado del prototipado 3D, y por otra parte se muestran varias propuestas de diseño 2D como resultado de los software's de edición de imágenes.

Todo el proceso de trabajo se sintetiza en un manual sencillo que el usuario puede consultar en caso de duda. Este manual puede servir tanto para consultar todo el proceso de implementación de Hardware's y Software's, o en caso de duda, para la resolución de diversos problemas surgidos en alguna fase.

También se ha realizado un estudio económico de todo el proceso. Viéndose así que costos aparecen en cada momento.

La realización de este proyecto ha durado 6 meses, pero con la ayuda de la documentación que se recoge, se puede realizar todo el proceso de digitalización y prototipado en un par de días, dependiendo del volumen y cantidad de archivos que se manejan. En cuanto a la fase de Modelado 3D y edición de imágenes no es posible estimar un tiempo concreto puesto que depende del esfuerzo personal que se quiera invertir.



5. MANUAL DE USUARIO

Para realizar consultas rápidas sobre algún aspecto del proyecto, se realiza un manual con un resumen del proceso de tratamiento de datos desde la digitalización de superficies de la maqueta, hasta la obtención de un prototipo con la máquina de prototipado rápido.

DIGITALIZACIÓN

1. Encender Digitalizador 3D VIVID 910.
2. Encender el ordenador conectado al digitalizador.
3. Iniciar el Software PET (Polygon Editing Tool).
4. Selección del modelo de digitalizador 3D:
File / Select Digitizer... VIVID 900-910 / Vi 900-910.
5. Abrir la ventana para realizar un escaneo:
File / Import / Digitizer / One Scan.
6. Colocar un objeto delante de la lente del digitalizador 3D.
7. Con el botón *AF* se configuran automáticamente los parámetros necesarios.
8. Presionar el botón *Scan*.
9. Una vez realizado un barrido se presiona el botón *Convert* y con los parámetros que vienen predeterminado se aceptan con el botón *Ok*.
10. En el caso de necesitar más capturas, se rota el objeto y se repiten los pasos del 4 al 6.
11. Una vez tomadas las capturas necesarias se alinean, colocando todas en su sitio.
Build / Registration / Initial / Manual.
12. Selección del elemento base para la alineación y aceptar con el botón *Ok*.
13. Elegir tres puntos correlativos de las dos imágenes y pulsar el botón derecho del ratón. Presionar *Ok* para aceptar la alineación.
14. Para tapar agujeros de una malla primero se han de seleccionar los puntos de la malla que contienen al agujero.
Select / Select By Elements.
15. Una vez seleccionada los puntos de la malla se tapan los agujeros.
Build / Fill Holes / Auto.
16. Para aceptar el algoritmo de tapado de agujeros se presiona el botón *Apply* y luego el botón de *Next Hole – Ok*.

17. Deseleccionar los puntos de malla que se habían cogido antes.
Select / Unselect By Elements.
18. Para la limpieza de los puntos sobrantes de las mallas, primero se seleccionan los puntos que se quieren borrar.
Select / Bezier. Se han de rodear con el lazo los puntos a borrar.
19. Eliminar los puntos seleccionados.
Edit / Delete / Points.
20. Para coser todas las capturas visibles en ese momento.
Build / Merge...
21. Presionar el botón *Ok* para aceptar la calidad del cosido, se introduce un nuevo nombre para el elemento, y se vuelve a presionar *Ok*.
22. Una vez que se tiene una malla con los datos de todas las capturas tomadas se exportan los datos al formato STL.
File / Import / Elements.

MODELADO 3D

1. Iniciar el software FreeForm Modeling.
2. Importar un archivo en formato STL.
File / Import Model.
3. Seleccionar los parámetros de importación deseados y presionar el botón verde.
4. Cambiar la escala del sólido.
Tools / Clay Properties / Escala...
5. Para visualizar la lista de las piezas que hay:
View / Object List.
6. Para reposicionar una pieza se selecciona en la lista y se presiona *Reposition Piece.*
7. Modelar y modificar las piezas con las distintas herramientas que se encuentran en las ventanas de la izquierda.
Construct Clay.
Sculpt Clay.
Detail Clay.
Deform Clay.
Select / Move Clay
8. Exportar los datos de cada pieza al formato STL.
File / Export Model.

PROTOTIPADO 3D

1. Preparar la máquina de prototipado rápido Formiga P100 para trabajar.
2. Abrir el software Magics X.
3. Importar una pieza STL con el botón *Import Part*.
4. Colocar la pieza en el lugar deseado con el botón *Translate Part(s)* y con el botón *Rotate Part(s)*. Se introducen las distancias y ángulos para los ejes X, Y, Z.
5. Repetir los pasos 3 y 4 para introducir y ordenar en la cubeta todas las piezas deseadas.
6. Realizar un chequeo de las piezas para que sea posible la construcción con la prototipadora, con el botón *Fix Wizard*. Para que el software encuentre los problemas se presiona el botón *Update*. Para reparar los problemas seleccionar *Automatic Fixing*.
7. Con el botón *EOS RP Tools / Launch RP Tools*, las piezas se exportan automáticamente al software EOS RP Tools en el formato STL.
8. Antes de que aparezca automáticamente la ventana del software EOS RP Tools, aparece la opción de guardar las piezas en el formato STL. Se sobrescriben los nuevos archivos sobre los antiguos.
9. En el software EOS RP Tools se presiona el botón *Ok* para aceptar los parámetros que vienen por defecto, para la construcción de las capas de piezas.
10. Una vez que ha terminado el proceso de creación de las piezas sólidas en capas, Se presiona el botón *Ok*, y se cierra la ventana de información de las distintas capas de la pieza.
11. Importar los datos de las piezas al formato Sti con e botón *File / Save*.
12. Cerrar el software EOS RP Tools.
13. Abrir el software PSW.
14. Importar los archivos de las piezas en el formato Sti, con el botón *File / Load Parts...*
15. Una vez abiertas todas las piezas que se quieren construir, mandarlas a la prototipadora con el botón *Export Building Task...*
16. Presionar el botón *Start*.
17. Esperar a que la máquina termine de construir, y sacar las piezas.



6. BIBLIOGRAFÍA

- **Manual de operaciones básicas para Polygon Editing Tool.**
- **PET manual de instrucciones.**
- **Digitalizador 3D sin contacto VIVID 910 / Vi-910 manual de instrucciones (hardware).**
- **Manual Software FreeForm Modeling.**
- **Guía tutorial de Software FreeForm Modeling.**
- **Training Documentation Formiga P100.**
- **Machine-Basics Formiga P100 (preliminary Version).**
- **Manual práctico de Solid Edge V18.**
Autor: PINILLOS GORDON, Asier
Editorial: Servicios Informáticos DAT S.L. (2009)
- Revista:
AUTOMOVIL número 355 Agosto 2007 "Todo sobre el M3'.
- Documento del XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica:
" Interfaces hápticos, aplicación en entornos virtuales'.
Autor: MARTÍN OÑATE, Cristina
- Documento:
"Registro mediante la utilización de escáner láser 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones".
Autores: LAMOLDA ÁLVAREZ, Francisco y CANO OLIVARES, Pedro

PÁGINAS WEB:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/DTM>

<http://www.bmw.es>

<http://www.konicaminolta.com>

<http://www.formulakit.es>

<http://www.museodelcoche.com>

<http://www.sensable.com>

<http://www.racingpasion.es>

<http://www.eos.info>

<http://www.audiworld.com/news/05/040805/content.shtml>