

ANEXO_III

EJERCICIO PRÁCTICO: METODOLOGÍA ESCANEADO Y PROCESADO 3D

1. EJERCICIO PRÁCTICO: Metodología Escaneado y Procesado 3D de 2 Fragmentos Cerámicos

La motivación base que ha propiciado la puesta en práctica de esta tecnología sobre unos fragmentos cerámicos concretos, se centra en la problemática que este tipo de hallazgos arqueológicos supone tanto a la hora de plantear su intervención restaurativa, presentando importantes problemas de manipulación y pre-montaje¹ (dificultad de mantener provisionalmente los fragmentos unidos por medio de los sistemas tradicionalmente empleados como cintas adhesivas libres de ácidos, cosido por medio del empleo de resinas termoplásticas, etc.), así como a la hora de efectuar su correcto estudio tipológico-morfométrico.

1.1. ESTUDIO PREVIO

De manera previa al propio proceso de trabajo, se han de estudiar muchos de los aspectos contemplados en el cuerpo del trabajo principal: tipo de información que se quiere poder extraer del modelado digital 3D de la pieza, el rango de precisión requerido, tipo de escáner a emplear, estudio visual y documentación fotográfica detallada de cada ítem, (*Imágenes_III.1-3*; mediciones manuales: nº6 $\pm 22/31,50 \times 49$ cm.; nº33 $\pm 15,5/21 \times 36,5$ cm.), dimensiones y morfología, etc. Todo ello determinará un proceso de toma de datos eficiente y correcto, al tiempo que disminuirá el volumen de información registrada al realizar únicamente el número de tomas estrictamente necesario.

Disposición Fragmentos: En cuanto a la disposición de estos sobre la plataforma rotatoria (auto-posicionador), y dadas sus características morfológicas, se optó por situarlos horizontalmente, a pesar de que se era conscientes de que, la documentación consultada, aconseja una disposición lo más perpendicular posible al escáner, para de este modo favorecer un muestreo correcto, y lo más amplio posible, de la superficie. La decisión se justifica en base al hecho de tratarse de un objeto de superficies bastante homogéneas, sin apenas irregularidades y/o aspectos a destacar.

Número Registros: Ya que el objetivo es lograr escanear el ítem desde todos los ángulos, abarcando la mayor cantidad de superficie en cada escaneo, para disminuir el total de tomas, se optó por la opción de escaneo de 360°, con un total de 8 divisiones por cara de cada fragmento, (cifra que determina el grado de rotación, al establecerse la regla $360^\circ/\text{n}^\circ$ divisiones). Así cada registro tomará los datos de una porción de la pieza dentro del rango angular de 60°, completando el giro total de 360° tras realizar 8 tomas, (obteniendo un total de 16 registros por fragmento, agrupados en dos familias, anverso y reverso, de 8 tomas).

¹ ...por medio del cual analizaremos la ubicación física y espacial de cada fragmento, tanto a nivel individual como en conjunto, y en particular en lo que se refiere a la correspondencia de cada uno con respecto a los otros. CARRASCOSA, B. *La Conservación y Restauración de Objetos Cerámicos Arqueológicos*, p.126



Imagen_III.1 Vista Lateral-
Espesor paredes fragmento
nº 33



Imagen_III.2 Vista Anverso
fragmento nº 33

Imagen_III.3 Vista Reverso
fragmento nº 33

Precisión: El escáner a emplear se ajustaba perfectamente a los requisitos contemplados de partida en cuanto a precisión deseada, <1mm., para lo cual se ha trabajado con la máxima resolución de captura ofrecida por el aparato.

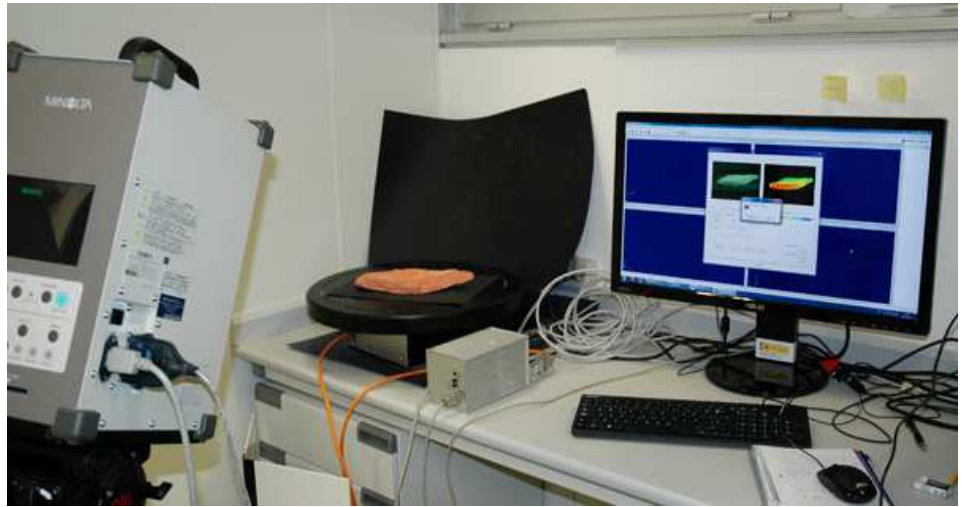
Distancia Escáner-Pieza: Dentro del rango de trabajo contemplado por el dispositivo (0,6-2,5 m.), situándolos en torno a los 30 cm.

Rango Escáner-Dimensión Pieza: En base a las opciones que ofrece y los tamaños medios de ambas piezas, $\pm 30 \times 20$ cm., se consideró el testar dos de las distancias focales con las que cuenta este dispositivo (Modo *Midle f*/14mm, fragmento nº 6, y Modo *Wide f*/8mm fragmento nº33), obteniendo así una densidad de registro que se traduce en un archivo total para el fragmento nº 6 de 86,5 MB, frente a los 142 MB del nº33, en ambos casos densidad que, como se verá más adelante, ha supuesto una malla poligonal muy tupida y pesada (amplio registro de detalle).

Puntos Referencia: Uso de dianas o elementos de referencia no fue contemplado dada la simplicidad morfológica de la pieza a documentar.

Otros: en cuanto a las condiciones lumínicas, no hubo necesidad de intervenir en las mismas dada que el ámbito lumínico de operación óptica de este sistema se encuentra dentro del rango “ambiente de oficina” (por debajo de los 500 lx).

Imagen_III.4 Proceso de escaneo de los fragmentos, laboratorio de IRP.



1.1. ESCANEADO 3D: TOMA DE DATOS

Escáner Konica Minolta VI 900®

La importancia de la meticulosidad y precisión en esta fase tiene como objetivo evitar la acumulación de errores, que de otro modo tendrían que ser subsanados en fases siguientes, con la consiguiente inversión de tiempo, esfuerzo, y un exceso innecesario de procesamiento digital de datos iniciales.

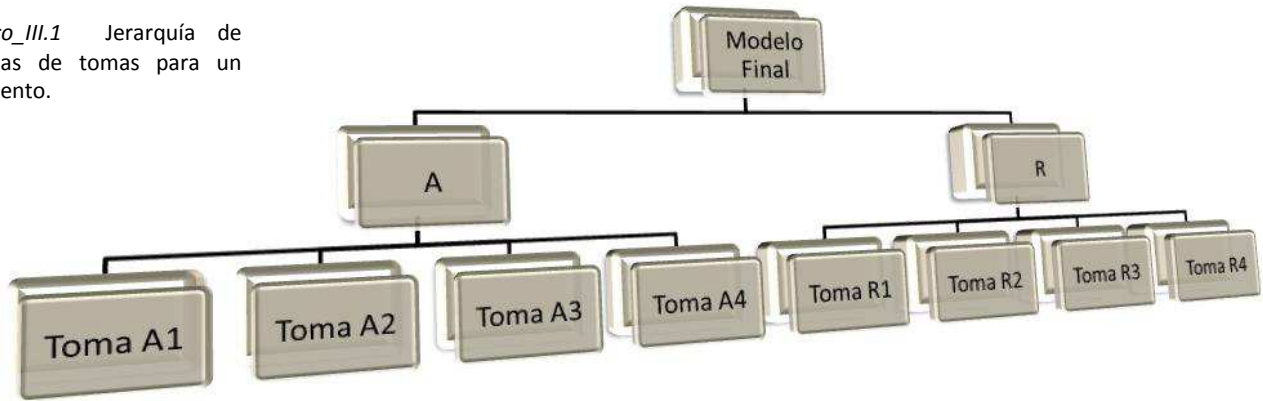
El escaneado se hizo en modo automático, ajustando los parámetros en base a las consideraciones planteadas de partida (*Imagen_III.4*).

Dado que lo que se desea obtener es un objeto no plano, se requerirán efectuar una serie de escaneos separados, cuyo número dependerá tanto de la geometría de la pieza a documentar como de las dimensiones de la misma. Para este caso concreto, y tras la realización de una serie de pruebas previas, se consideró que como número mínimo de tomas por cara, de cada fragmento, se precisaban 16 registros.

Posteriormente la información se ordenará en base a familias de escaneo, esto es aquellas perteneciente a cada una de las caras del fragmento en cuestión, denominándolas A (Anverso) y R (Reverso) + el número del ítem al que corresponden (*Gráfico_III.1*).

El formato de salida de todos ellos ha sido .STL compatible para trabajar con el software seleccionado para el posterior procesamiento de los datos, Geomagic Studio®.

Gráfico_III.1 Jerarquía de Familias de tomas para un fragmento.



1.2. PROCESADO 3D DE DATOS

El objetivo de esta fase es lograr el que, a partir de la adquisición de datos primarios en forma de nube de puntos, el objeto adquiera propiedades geométricas con superficies claramente definidas, esto generalmente supone su conversión a malla de triángulos, al ser esta la figura resultante más sencilla al unir puntos colindantes, y su posterior refinado y procesamiento para lograr el sólido sin por ello verse alteradas en ningún momento precisión y/o otras características. Es por ello el que operaciones realizadas durante esta fase y generalmente consideradas como sencillas, adquieren gran importancia en cuanto a la calidad del resultado final que se pueda obtener.

Aunque, tal y como sucede con la mayoría de escáneres, este posea un software específico para el tratamiento de las imágenes generadas, se optó por acudir a programas externos que se ajustaran más a los requisitos de partida, determinado finalmente el uso de Geomagic Studio® por presentar un entorno fácilmente comprensible, (explicación clara y precisa de cada una de sus herramientas).

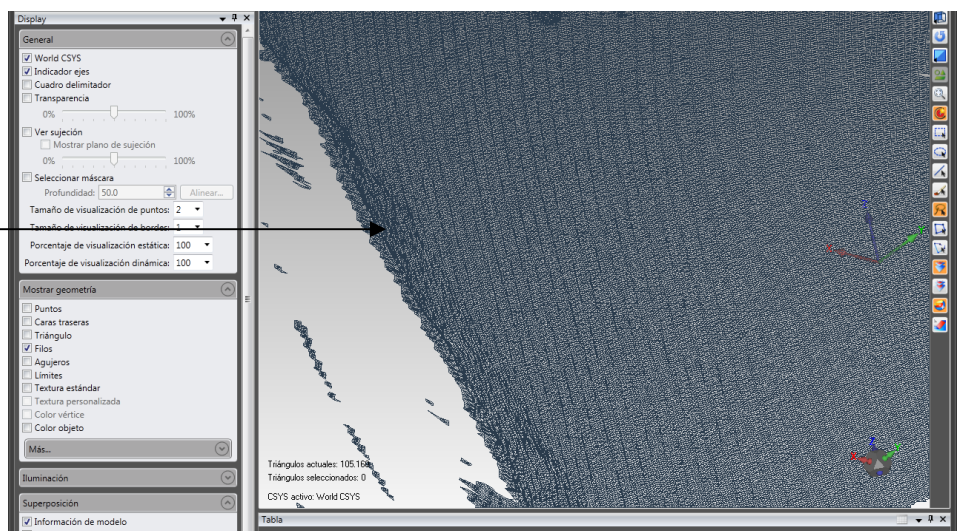
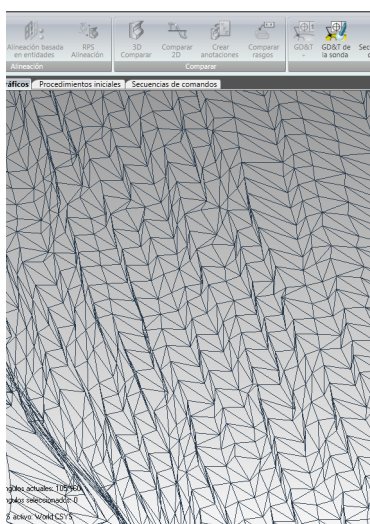
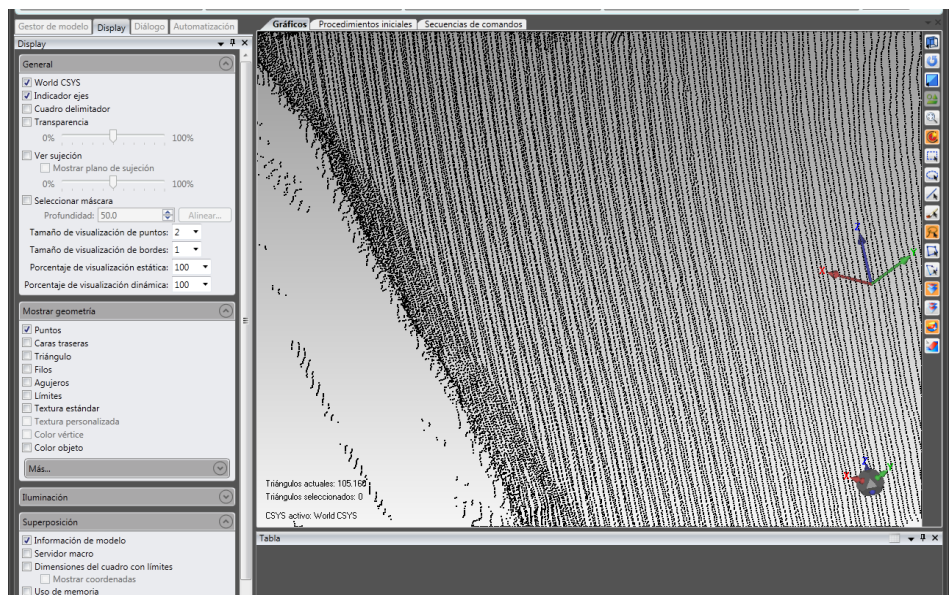
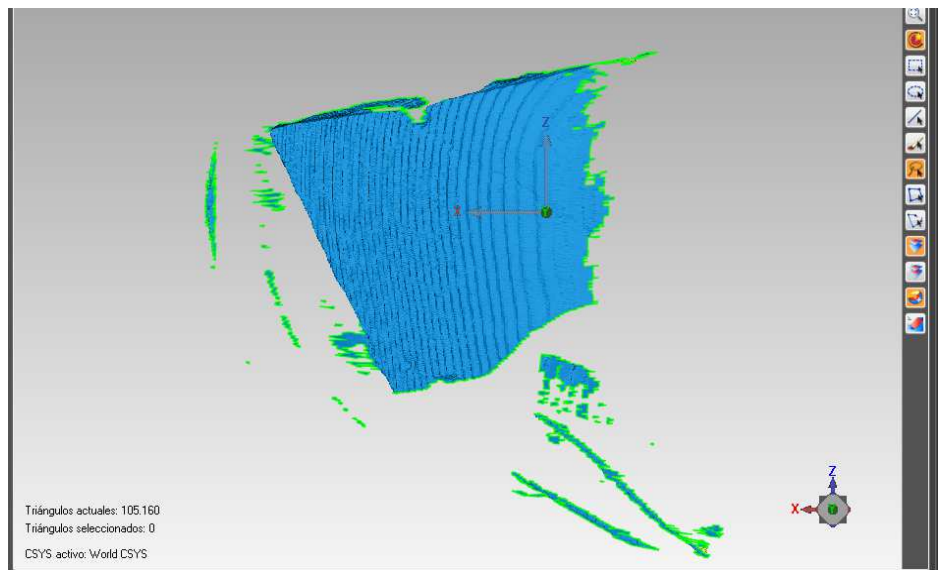
Este software por defecto, una vez importado el archivo .STL lo muestra ya directamente como malla poligonal rellena (color sólido estándar azul con iluminación por defecto desde 2 puntos), sin tener que realizar proceso alguno de manera manual (*Imagen_III.5*). Con todo ofrece distintos modos de visualización posibles, panel *DISPLAY*: *Puntos*, *Triángulos*, *Puntas*, *Textura Estándar*, etc. (*Imágenes_III.6-8*).

Uso del ratón: mover y rotar el objeto en diferentes direcciones (rueda presionada), así como alejar o acercarlo (rueda). Arrastrándolo mientras se presiona el botón izquierdo se seleccionará el área que se desee (deseleccionándola del mismo modo si se añade la tecla CTRL).

Imagen_III.5 Vista inicial del1 registro (por defecto).

Imagen_III.6 Vista del mismo fragmento, aumentado, opción **PUNTOS** (obsérvese la densa nube de puntos).

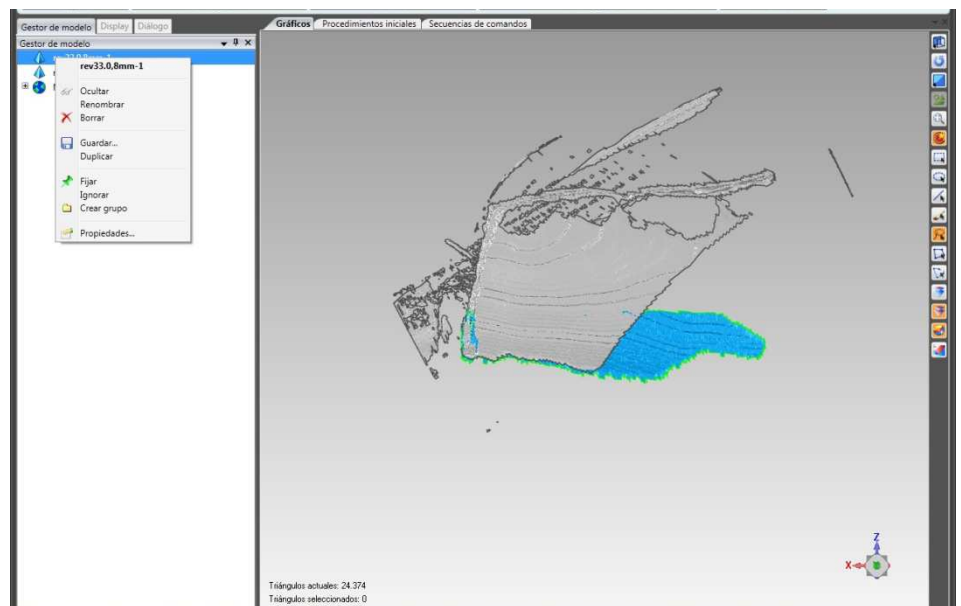
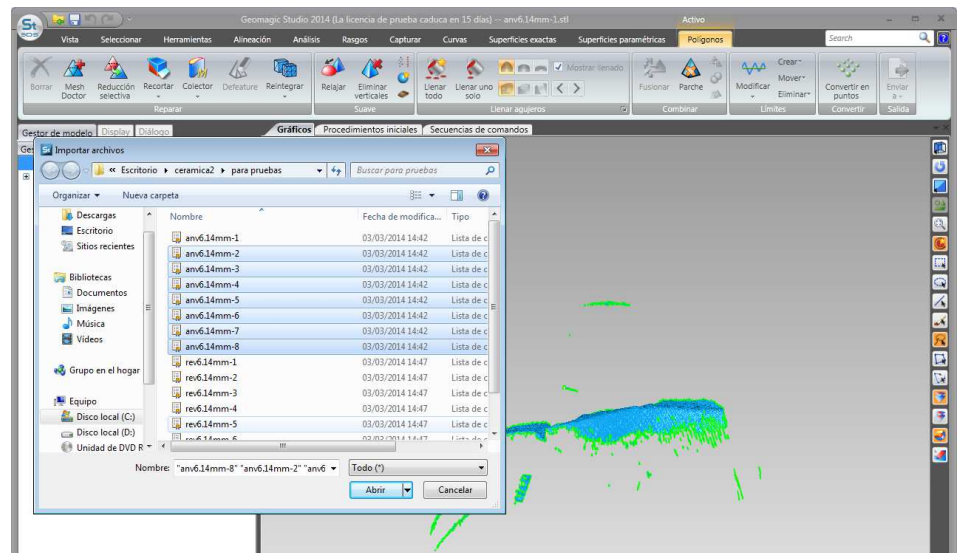
Imagen_III.7 Vista en posición **PUNTAS**, con pequeña área de la misma, (obsérvese la densa malla creada).



1.2.1. Importar Archivos

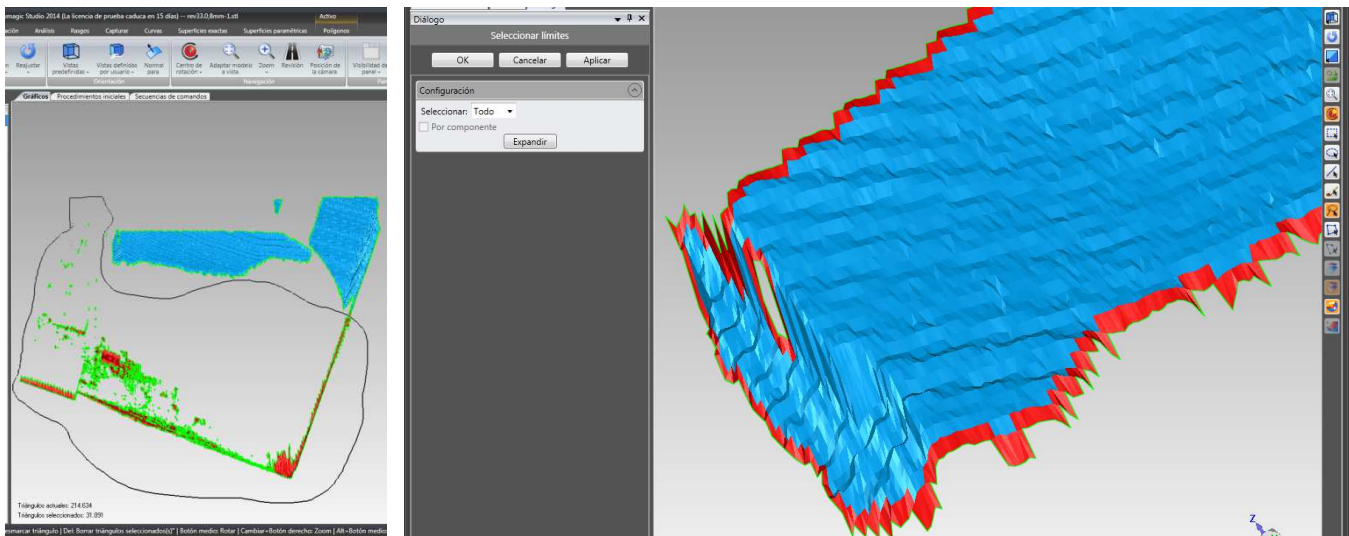
Acción que se puede efectuar de diversas maneras, siendo quizá las más habituales: por defecto al iniciar el programa da varias opciones entre las que se encuentra importar; una vez iniciado el programa desde el *Botón de Geomagic* ► Importar ► Carpeta Correspondiente ► Selección de todos los archivos correspondientes a una misma familia (*Imagen_III.8*).

Una vez todos los archivos abiertos se pueden activar o desactivar, (para evitar una visualización de todos a la vez, y poder trabajar toma a toma) ► click botón derecho OCULTAR ► click de nuevo sobre el archivo oculto vuelve a visualizarse (*Imagen_III.9*).



Imagen_III.8 Proceso de importado Familia de Archivos.

Imagen_III.9 Ventana opciones visualización/oculta, etc. de un archivo concreto.



Imagen_III.10 Selección de datos innecesarios con herramienta LAZO.

Imagen_III.11 Detalle uso herramienta **SELECCIONAR LÍMITES**.

1.2.2. Depurado: Eliminación Ruido y Datos Innecesarios

El objetivo de esta fase es el de eliminar toda aquella información registrada en la fase previa, pero que no aporta información alguna al modelo a representar (ej. parte de la plataforma giratoria, etc.). De este modo se favorecerá, además, la realización de fases posteriores al no contar con datos que puedan confundirnos durante procesos como el alineado de tomas por familia, al tiempo que reducirá parcialmente los datos registrados=disminución peso del archivo=mejor rendimiento del programa.

Esta fase se llevó a cabo inicialmente de forma manual, (mediante la herramienta de selección LAZO, que permite seleccionar áreas irregulares y así adaptarnos perfectamente a los contornos de la pieza y superficies de puntos a eliminar, Imagen_III.10), después simplemente tecla SUPR. Posteriormente se hizo uso de una de las opciones automáticas para la selección de datos, **SELECCIONAR LÍMITES+SUPR**, logrando de este modo un depurado del contorno del objeto, evitando así posibles deformaciones en dichas áreas que posteriormente servirán de contacto entre fragmentos (Imagen_III.11).

El resultado tras este primer proceso de depurado por registro es la obtención de un contorno mucho más claro de nuestro fragmento, y una significativa disminución de datos, (dependiente de cada caso en particular y el ruido que contenga).

1.2.3. Alineación de Familias

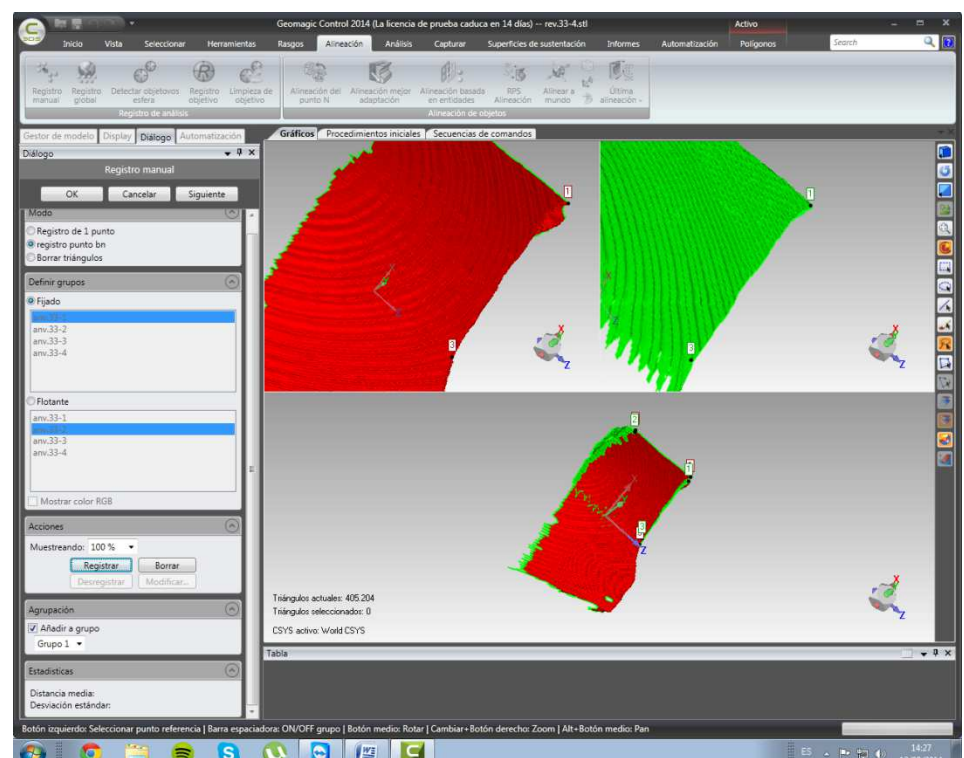
El objetivo de esta fase es proceder a restablecer la conexión más exacta entre las distintas tomas que hasta ahora se encontraban totalmente descohesionadas, para de este modo obtener el sólido final completo.

Inicialmente se procederá por familia, logrando una vista completa del anverso (familia A) y reverso (familia R). El siguiente paso consiste en alinear estas dos familias para lograr el modelo global.

El proceso seguido: seleccionar objetos a alinear ► barra herramientas **ALINEACIÓN** ► **REGISTRO MANUAL** ► *Registro punto bn*. Proceso manual que trabaja en base a un fragmento *Fijo*, al que se le van alineando el resto de fragmentos (*Flotantes*) para lo cual precisa de la determinación de puntos en común entre ambos ítems, (el número de puntos necesarios dependerá de la complejidad y dimensiones de cada pieza, siendo siempre preciso el empleo de al menos 3 posicionadores que se van identificando con un número según el orden de disposición) (*Imagen_III.12*). Una vez alineado el primer fragmento se pulsará el botón *Siguiente* hasta completar la alineación de todos los fragmentos, entonces se pulsará el botón *OK*.

Durante todo el proceso la ventana **DIÁLOGO** va ofreciendo información acerca de la Distancia Media y Desviación estándar entre los fragmentos alineados.

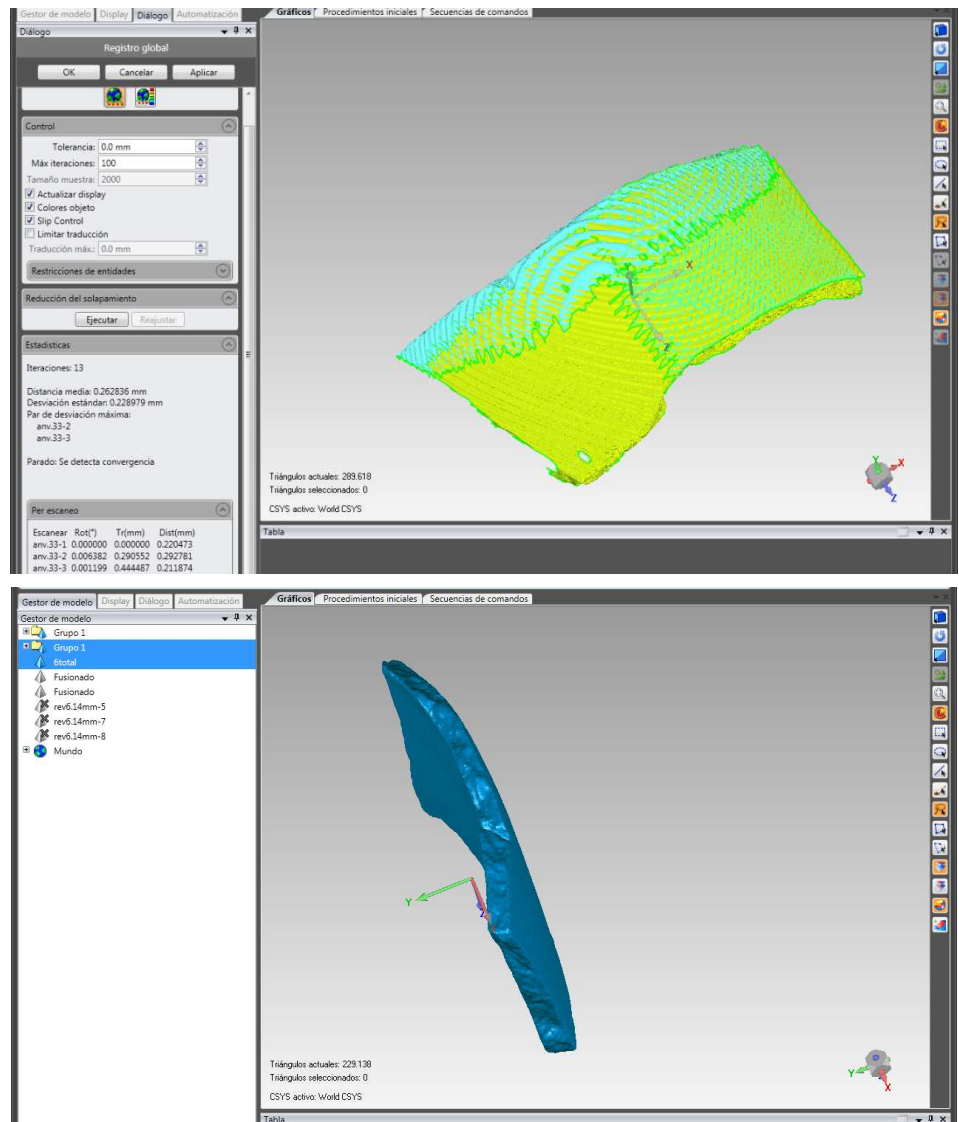
Una vez alineadas ambas familias, se llevarán a cabo el ensamblaje de ambas, primero manualmente según los pasos anteriores; finalmente se procederá con la herramienta automática **REGISTRO GLOBAL**, que permite un alineado más preciso y ajustado, pudiendo reducir el solapamiento (*Imagen_III.13*).



Imagen_III.12 Proceso
ALINEACIÓN manual.

Imagen_III.13 Proceso
ALINEACIÓN automática.

Imagen_III.14 Vista tras
FUSIONADO.



1.2.4. Fusionado

Mediante esta fase ambas familias ya alineadas se convertirán en un solo objeto.

El proceso seguido: seleccionar objetos a fusionar (ya que tras la fase anterior ambas familias se habrán convertido en dos nuevos archivos) ► barra herramientas **POLÍGONOS** ► **COMBINAR** ► **FUSIONAR**. Proceso automático que ofrece una serie de parámetros manipulables que determinarán las propiedades del objeto final. En este caso se trabajó con los ofrecidos de manera estándar por el programa: *Reducción Local de Ruido: Ninguna* y parámetros tipo en cuanto a *Tolerancia 0,0 mm.*), *Interacción*, *Eliminar Solapamientos*, etc.

El resultado final es un nuevo archivo del sólido completo, (Imagen_III.14)

1.2.5. Corrección Geometría de la Superficie

A partir del modelo general, obtenido en la fase anterior, todavía no se ha logrado la pieza final, se trata de un modelo con posibles irregularidades y errores en sus superficies, zonas con vacío de información (debidos a problemas en la fase de escaneado o durante el propio procesamiento de datos, por una eliminación de datos errónea), intersecciones, caras redundantes (número de caras y lados que poseen un mismo vértice siempre han de ser iguales), vértices demasiado agudos (lo que da lugar a una superficie irregular no concordante con la original), caras *no-manifold* (lados constituidos por más de dos caras), etc.

En esta fase se procederá a aplicar todas aquellas herramientas que el software proporciona para corregir este tipo de situaciones, existiendo la posibilidad de solventar caso a caso de manera manual, o emplear la herramienta *MESH DOCTOR*, que de manera automática detecta irregularidades y las solventa.

El proceso seguido: seleccionar el objeto (ya que tras la fase anterior se habrá creado un nuevo archivo *Fusionado*)  barra herramientas *MESH DOCTOR*  *Aplicar (Imagen_III.15)*. Para su ejecución el programa abre una ventana *DIÁLOGO* en el que se detallan todos los errores encontrados.

Posteriormente, siendo aun la superficie del sólido demasiado irregular se procederá a su suavizado de manera manual empleando las herramientas que ofrece el panel *POLÍGONOS*  *SUAVE*  *Relajar y Reducir Ruido*.

Con respecto a la ésta, se ha de prestar especial atención al rango de suavizado a generar, pues puede llegar a generar tal grado de relajación de las irregularidades, que las superficies lleguen a perderse (*Imagen_III.16*). Finalmente se optó por un rango, ± 6 , que, si bien aun permitía la permanencia de ciertas irregularidades en superficie, también era el que mejor resultados ofrecía en cuanto al grado de detalle de los cortes de los fragmentos, al tiempo que presentaba un rango de desviación aceptable, 0,081 mm. para el fragmento nº33; 0,044 mm. para el fragmento nº6.

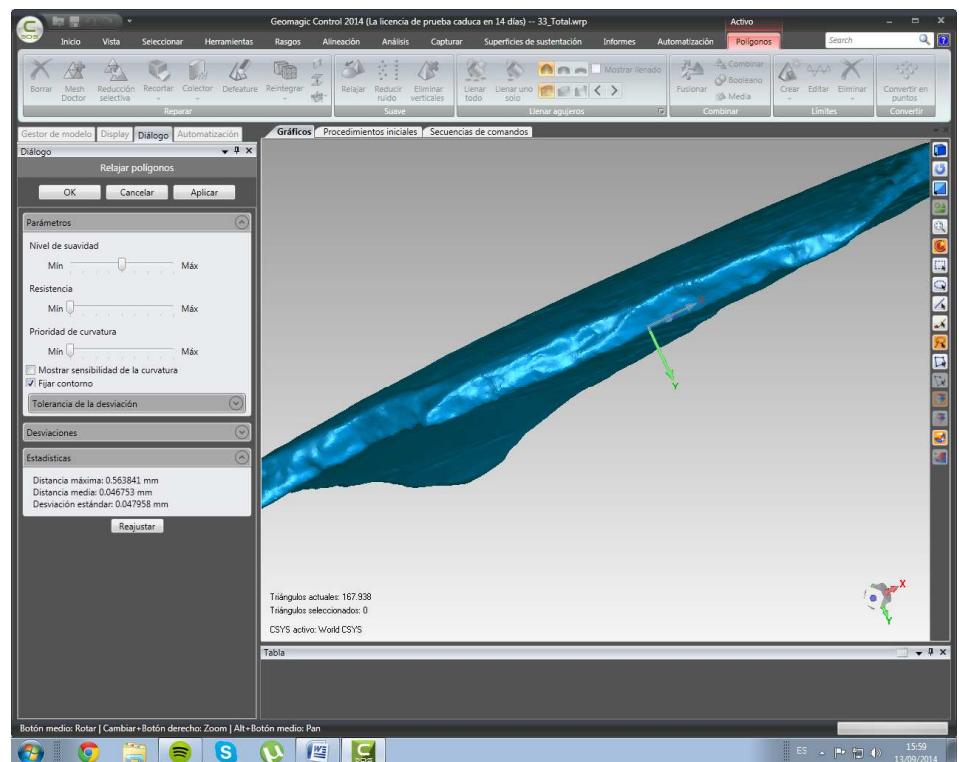
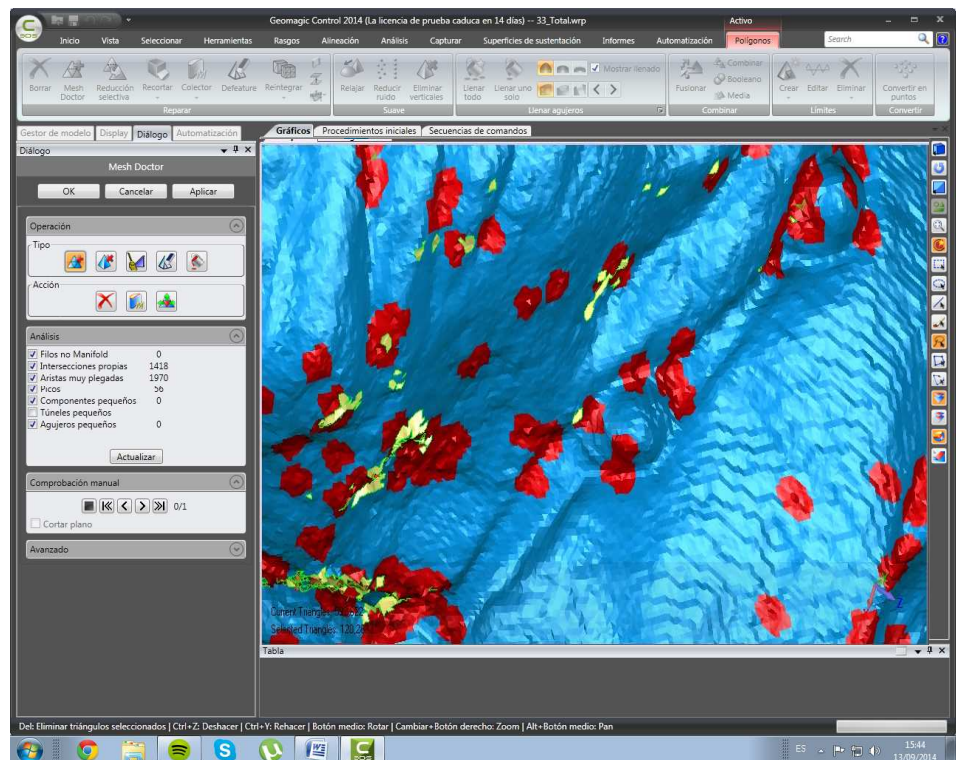
1.2.6. Simplificado

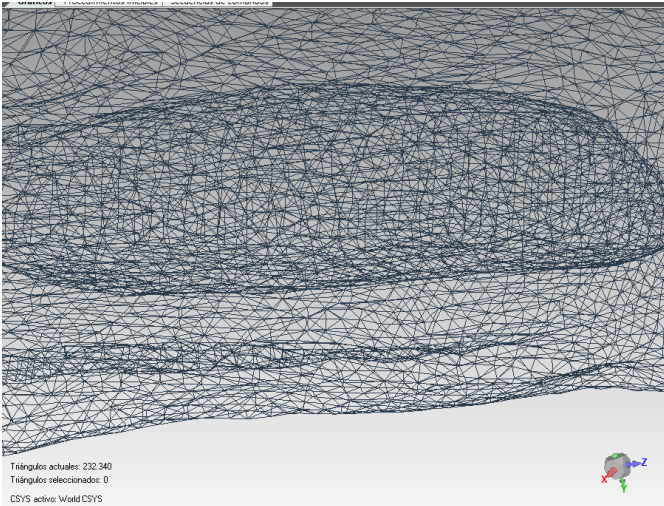
Si las superficies tomadas son demasiado densas sin por ello dar lugar a imágenes más precisas, es conveniente aplicar herramientas de simplificado, (disminución del número de triángulos) de este modo pasaremos a disminuir el peso del archivo generado, que puede ralentizar tanto los propios software de procesamiento de datos, como, y una vez finalizado, aquellos formatos en los que se les haya dado salida, haciéndolos mucho más manipulables.

Tras probar varios porcentajes de reducción (desde un elevado 90% a un mínimo probado del 50%), no viéndose afectado el resultado formal final del objeto en ninguno de ellos, se consideró la aplicación de este último para ambos fragmentos. Así se reducían a la mitad los iniciales 229.138 (nº6) y 232.340 (nº33), (*Imágenes_III. 17-18*).

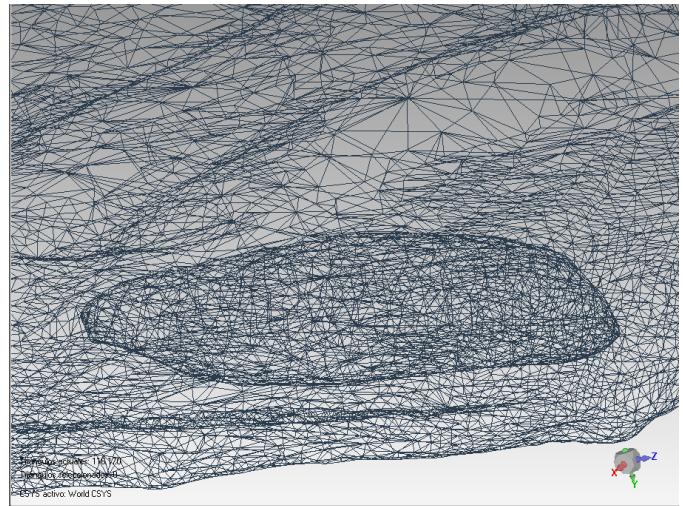
Imagen_III.15 Detalle irregularidades detectadas con la herramienta *MEHS DOCTOR*.

Imagen_III.16 Detalle de excesiva pérdida del registro morfológico de la superficie tras aplicación herramienta *RELAJAR*.





Imagen_III.17 Detalle malla previo simplificado.



Imagen_III.18 Mismo detalle tras simplificado al 50%.

1.2.6. Guardar y Exportar

Desde el mismo comando de *Importar* anteriormente comentado, el programa ofrece distintas posibilidades tanto de *GUARDAR/GUARDAR COMO*, seleccionando el formato que más se ajuste a nuestras necesidades, como de *EXPORTAR*, en este caso se hizo uso de la opción interactiva de PDF para facilitar un completo visionado de la pieza lograda (ANEXO_III.6 y ANEXO_III.33)

1.3. OTROS: EXTRACCIÓN DE DATO A PARTIR DEL SÓLIDO 3D

A partir del modelo 3D generado el programa empleado (*Geomagic Studio y Control®*) ofrece distintas herramientas muy útiles en cuanto al objeto de estudio de este trabajo se refiere, posibilidades de estas tecnologías en su aplicación a la C.-R. de BB.CC.

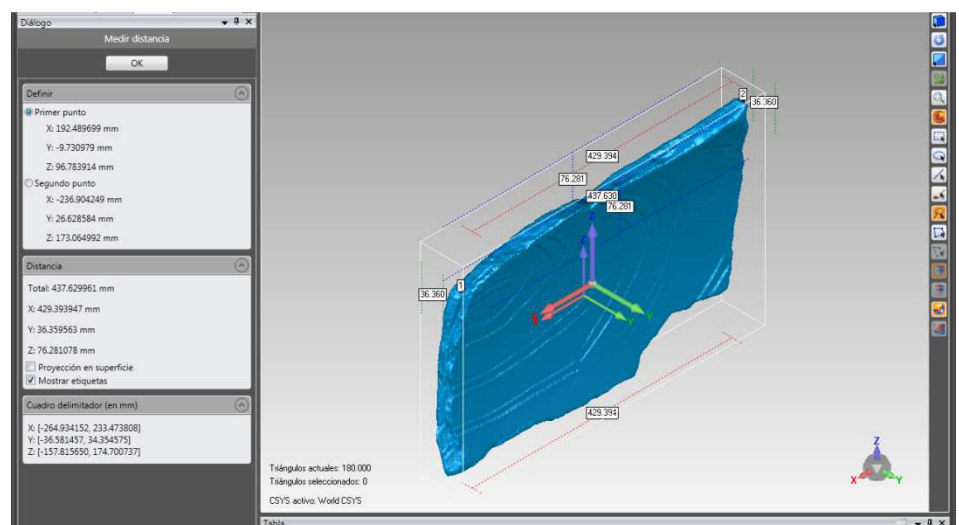
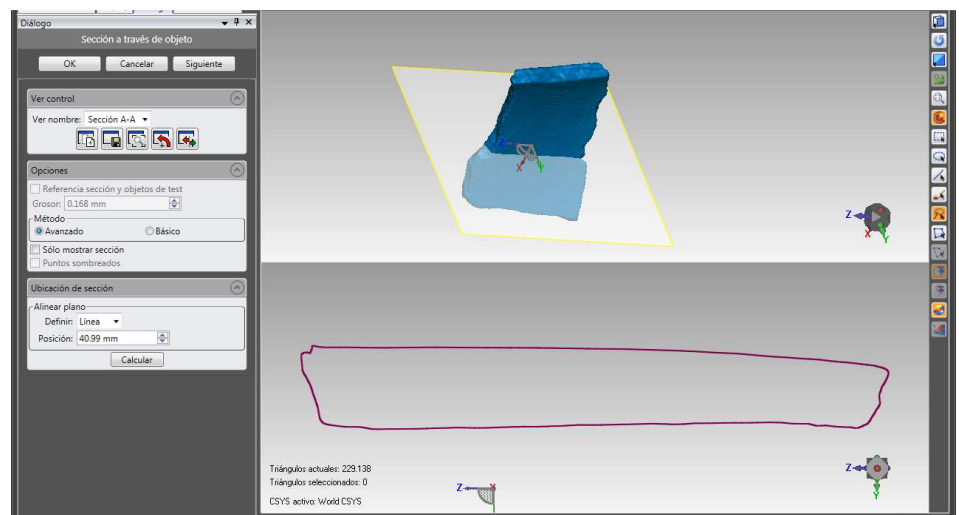
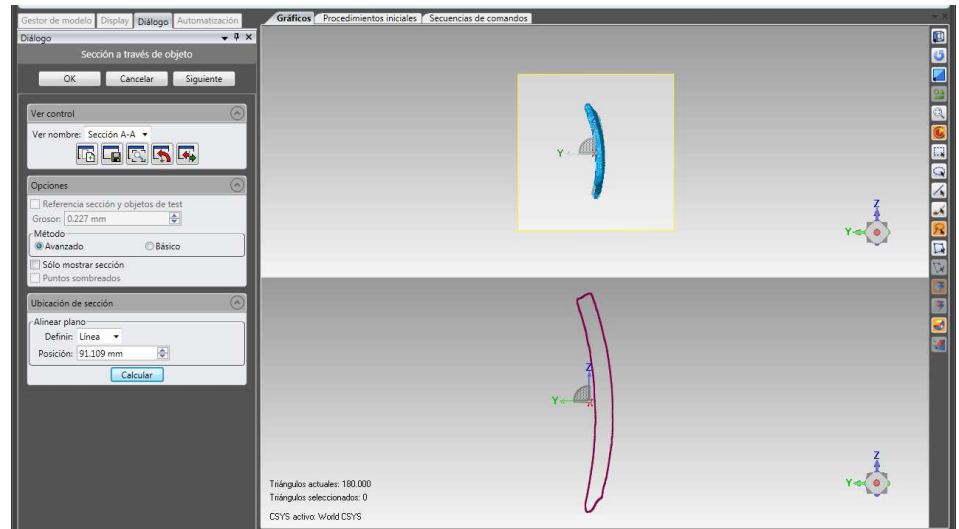
Las que a continuación se exponen se centran principalmente en aquellos aspectos más relacionados con la información proporcionada por el tradicional Dibujo Arqueológico, como son medidas y secciones, todas dispuestas en la aplicación *ANÁLISIS*.

Sección a través del objeto, y pensando en fragmentos fácilmente orientables sobre un plano, como bordes o bases, agilizaría la toma de este tipo de registro gráfico (*Imágenes_III.19-20*).

Medidas de las distancias seleccionadas y/o grosores y Cálculo de Área, (que podría ser empleado en caso de seleccionar por ejemplo las zonas faltantes, para calcular cuánto porcentaje de pieza se ha perdido) (*Imagen_III.21*).

Imágenes_III.19-20 Ejemplo extracción de secciones.

Imagen_III.21 Toma de distancias.



1.3. CONCLUSIONES

A partir de la aplicación directa de este tipo de tecnología se han podido establecer una serie de conclusiones y observaciones concretas al respecto de este dispositivo y metodología de trabajo, aspectos que de manera teórica ya se habían planteado en apartados anteriores.

Con respecto al escáner: se han confirmado los aspectos relacionados con la velocidad y precisión en la captura de datos, si bien es cierto que también se ha podido observar la necesidad de un correcto establecimiento de los parámetros del escáner previo a su puesta en marcha, a saber resolución a emplear que cumpla nuestras expectativas de trabajo, y demás parámetros comentados, entre los que podemos incluir el vigilar que la pieza no sufra vibración alguna durante el proceso de escaneado, que puede dar lugar a ciertas irregularidades en el registro de la superficie, como es muy posible que haya sido lo ocurrido en nuestro caso.

En cuanto al procesamiento de datos: gracias al programa empleado, de fácil compresión, la ejecución de las fases aquí expuestas, en su forma más simple, se ha realizado de manera fácil y sencilla, si bien es cierto que no se ha logrado poner en práctica el máximo de posibilidades que el programa brinda (aplicar textura realista; extraer datos contrastables como en el caso de las mediciones, etc.), para lo cual se precisaría de un estudio mucho más en detalle del mismo.

Con todo apuntar la dificultad que a veces ha supuesto la alineación de determinados fragmentos (dificultad a la hora de determinar puntos comunes), por lo que se consideraría útil el emplear elementos de referencia en un futuro.

En cuanto a los modelos finales obtenidos: se ha cumplido la premisa de partida de precisión en torno al mm., al trabajar siempre con desviaciones por debajo de esta cifra.

Con respecto a las superficies, si bien es cierto que anverso y reverso han registrado leves irregularidades, en las zonas de fracturas o cortes el registro de la morfología obtenido es mucho más aceptable con respecto a, por ejemplo, posibles aplicaciones como ejecutar los modelos en programas de ensamblaje de fragmentos de piezas.