



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA

**3D RECONSTRUCTION OF VESSELS
USING 'CGVIEW'**

Director
Riccardo Scateni

Autor
Héctor Hernández Gómez

CURSO ACADÉMICO 2011-2012

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a Riccardo Scateni, mi director del proyecto, por su apoyo y dedicación durante el desarrollo del mismo, así como a mis compañeros del grupo de Computación Gráfica de la Universidad de Cagliari. También agradecer a mi co-tutor en la Universidad Carlos III, Antonio Berlanga de Jesús, ya que sin su apoyo nada de esto hubiese sido posible.

No puedo olvidarme tampoco de Daniel Borrajo y Giorgio Giacinto, mis coordinadores académicos en España e Italia respectivamente, por ayudarme en todo lo que he necesitado este año.

Gracias a todos los Erasmus y a la gente de Cagliari que he conocido durante esta maravillosa experiencia.

Agradecer a mi familia porque sin ellos no estaría aquí y a toda la gente que he conocido durante mi vida universitaria, que ha cambiado mi manera de pensar y de ver las cosas.

Finalmente, no quiero olvidarme de una persona muy especial, que ahora mismo se sentirá muy orgullosa desde ahí arriba y a veces pensó que nunca acabaría. Todo este trabajo es para ti.

Índice de contenido

1. Introducción	5
2. Diseño arqueológico de cerámicas	6
2.1 Establecimiento del diseño	6
2.2 Diseño de vasijas enteras	7
2.3 Diseño de fragmentos	7
3. CGView	8
3.1 Objetos	8
4. Proyecto	9
4.1 Funciones implementadas	9
4.2 Lectura de entrada	10
4.3 Puntos característicos	10
4.4 Trazado	11
4.5 Resultados	11
5. Resumen y futuros desarrollos	13
5.1. Valoración final	13
5.2. Mejoras y desarrollos	13
6. Bibliografía	14

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: (a) Fragmento arqueológico - (b) Lugar de la fractura - (c) Sección del perfil	5
Ilustración 2: Perfil de la cerámica	5
Ilustración 3: Establecimiento del diseño	6
Ilustración 4: Ánfora.....	7
Ilustración 5: Vasija rota	7
Ilustración 6: Objeto, malla, bounding box y ejes.....	8
Ilustración 7: Lectura de la entrada del perfil de la vasija	10
Ilustración 8: Fiale con sus vértices.....	12
Ilustración 9: Ánfora con sus vértices	12
Ilustración 10: Reconstrucción del fiale	12
Ilustración 11: Reconstrucción del ánfora	12
Ilustración 12: Reconstrucción de la vasija con puntos característicos.....	13

1. Introducción

Un gran número de fragmentos de cerámica se encuentran en cada excavación arqueológica. Estos fragmentos se registran dibujándolos, fotografiándolos y midiéndolos. Los hallazgos arqueológicos se suelen agrupar por la tipología. El dibujo y la interpretación de fragmentos de cerámica es un trabajo lento y muy costoso en el tiempo, requiriendo dibujantes capacitados y cualificados. Puede haber errores en el proceso de medición (el diámetro o la altura pueden ser inexactos), e inconsistencias en el dibujo del fragmento o la vasija completa. Sin embargo, no es posible conseguir un estilo consistente, ya que es muy difícil hacer un dibujo de un objeto sin analizarlo.

Debido a que los métodos de registro convencionales no se adecuan a la perfección, el interés en encontrar una solución automática incrementó un enfoque automatizado para la estimación de modelos polinomiales con el fin de ensamblar vasijas virtuales a partir de mediciones 3D de sus fragmentos. Nuestra perspectiva en la reconstrucción de cerámica se basa en las siguientes tareas: Empezamos con la clasificación del fragmento basada en su sección de perfil, que da una vista sistemática del material encontrado y nos permite decidir a qué clase pertenece un objeto. En la fase de reconstrucción se pueden detectar las similitudes de los perfiles y las vasijas completas pueden ser reconstruidas basándose en los datos ya almacenados en la descripción.

Los fragmentos de cerámica son objetos finos, por lo tanto los datos en 3D de los bordes de los fragmentos no son exactos. Además estos datos, no se pueden obtener sin colocar y fijar el fragmento manualmente, lo que consume tiempo y no es viable. Idealmente el fragmento se coloca en el área de medición, se calcula un rango de la imagen, el fragmento se gira, y de nuevo se vuelve a calcular otro rango de la imagen. Esto nos conduce al método de reconstrucción del perfil, el cual nos permite este tipo de adquisición rápida.

La clasificación arqueológica tradicional y la reconstrucción se basan en el perfil del objeto, el cual es el corte transversal del fragmento en la dirección del eje de simetría rotacional. Este plano de dos dimensiones contiene toda la información necesaria para llevar a cabo la investigación arqueológica.

El correcto perfil y eje de rotación son esenciales para reconstruir y clasificar los objetos de cerámica.



Ilustración 1: (a) Fragmento arqueológico - (b) Lugar de la fractura - (c) Sección del perfil

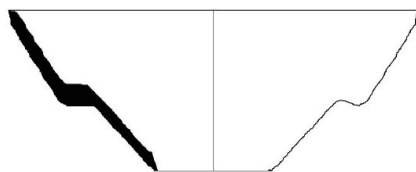


Ilustración 2: Perfil de la cerámica

2. Diseño arqueológico de cerámicas

La clasificación de cerámica de la antigüedad ha sido hecha siempre por arqueólogos que usaban como herramientas solamente sus propias manos. Esto provocaba que el resultado no fuera perfecto y se gastara mucho tiempo en realizarlo. Es esencial un correcto entendimiento de los diferentes tipos de materiales y de las técnicas de elaboración para comprender el objeto antes de dibujarlo. La tendencia en la actualidad es liberar al dibujo de la información redundante y hacer una clasificación general de la cerámica.

2.1 Establecimiento del diseño

El diseño de cerámicas involucra la transposición de un objeto de 3 dimensiones en un plano a través de una proyección ortogonal. Hay información primaria para ilustrar la forma (una o más secciones de la cerámica) y el tamaño (diámetro del borde o fondo, altura), e información secundaria que depende de lo primero y que añade más datos (vista en perspectiva, decoración).

El cambio a dibujo de 2 dimensiones consiste en establecer una (fragmentos) o dos (en el caso de que se conserve todo el perfil) líneas horizontales (horizontal y luego paralela si la cerámica no está deformada) y una línea ortogonal, la mediana, que divide el espacio en dos áreas: la izquierda para el diseño de la sección de la vasija e información eventual sobre la superficie interna; la derecha para esbozar la vista en perspectiva de la superficie externa.

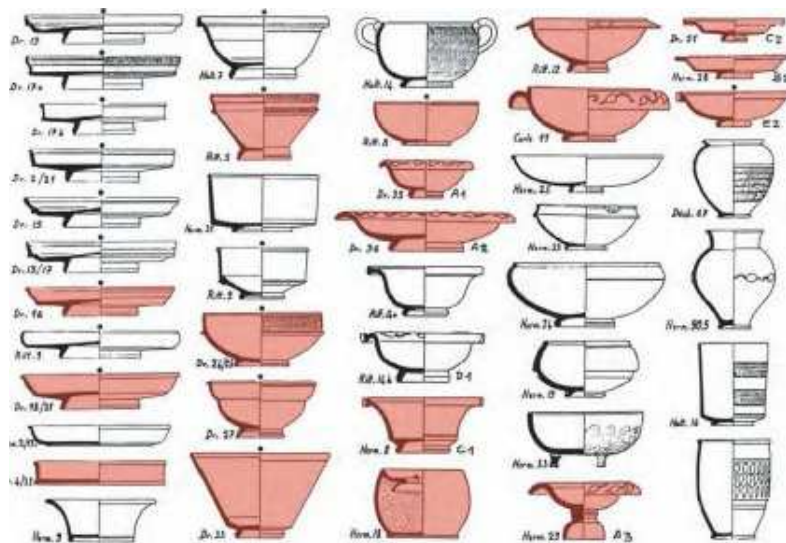


Ilustración 3: Establecimiento del diseño

La distancia entre las dos líneas horizontales está dada por la altura de la vasija. Estas líneas determinan la inclinación del objeto. El diseño debe estar orientado respecto al plano horizontal, y debe documentar el perfil en un punto de máxima conservación.

2.2 Diseño de vasijas enteras

En el dibujo de vasijas enteras se utilizan tres datos fundamentales: la medida externa de los diámetros inferior y superior, y la altura. El perfil de inclinación es dado por la diferencia entre los dos diámetros. El procedimiento de dibujo va desde abajo hacia arriba: se establece primero la línea horizontal, luego la altura y por último la línea horizontal superior (paralela a la línea de abajo si la vasija no tiene deformaciones).

Las medidas de los diámetros se miden fácilmente con una regla en la vasija completa. La altura se mide también con una escuadra o con una regla. Se utilizan también otras técnicas como el "Rim Diameter Chart" para reconstruir la medida de los diámetros, el perfilómetro para perfilar los bordes de las vasijas.

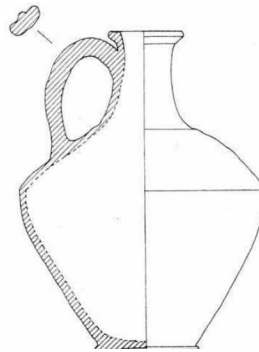


Ilustración 4: Ánfora

2.3 Diseño de fragmentos

Un fragmento se dibuja si contiene información útil para una posterior clasificación. Debe tener un borde o una base que determinen con suficiencia la orientación. Para el diseño de un fragmento se necesita una única línea horizontal, que se corresponde con el borde o la parte inferior. El procedimiento de dibujo va desde abajo hacia arriba para la base y de arriba abajo para el borde.

Para el diseño de la base, la medida del diámetro será reconstruida como una línea horizontal en la parte baja. La línea media vertical se corresponderá con el eje del objeto para una altura equivalente al grado de conservación del fragmento. Con una escuadra las coordenadas correspondientes con el punto de máxima conservación pueden ser conocidas. El perfil externo se puede hacer con la ayuda de un perfilómetro.

Para el diseño del borde, se dibuja una línea horizontal en la parte superior y una línea en el medio con la altura correspondiente a la máxima conservación del fragmento. La medida de reconstrucción del diámetro será una línea horizontal. Con una escuadra se pueden hallar las coordenadas correspondientes al punto de máxima conservación.

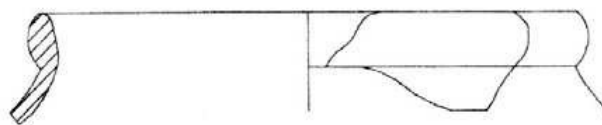


Ilustración 5: Vasija rota

3. CGView

CGView es un visor de 3D para gráficos por ordenador diseñado por los estudiantes e investigadores de la Universidad de Cagliari. Se centra en dos objetivos principales: dar al estudiante la posibilidad de ver y explorar el entorno en 3D con el entendimiento directo del código involucrado y permitir al programador desarrollar algoritmos de procesamiento de mallas sin tener que lidiar con interfaces complejas.

CGView se basa en la biblioteca VCG para procesamiento de mallas y el kit de herramientas Qt para su interfaz. Es capaz de abrir y gestionar otros tipos de datos como voxel grids o esqueletos topológicos. La aplicación puede añadir materiales en la representación. Además se puede visualizar toda la información principal sobre la malla. En cuanto al procesamiento de la malla, la aplicación se aprovecha de los métodos proporcionados por la biblioteca VCG junto con algunos algoritmos añadidos desarrollados por investigadores y estudiantes de la Universidad de Cagliari.

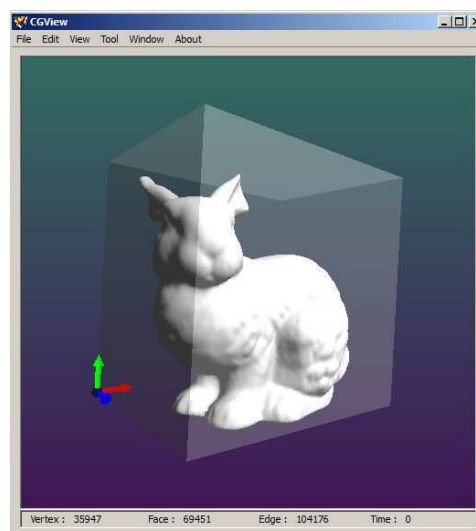


Ilustración 6: Objeto, malla, bounding box y ejes

3.1 Objetos

En cuanto a los objetos se definen los puntos, los vértices, las caras, la malla, y la caja delimitadora o bounding box:

- **Punto** es un conjunto de 3 valores (x, y, z) , que indican un punto o un vector en el espacio cartesiano.
- **Vértice** es una evolución del tipo Punto, tiene una posición en el espacio, una normal, un color y varias banderas.
- **Cara** es una colección de 3 vértices, una normal, un color y varias banderas.
- **Malla** es una colección de vértices, bordes y triángulos. Los vértices y las caras en la malla deben estar organizados en el vector.
- **Bounding box** es una caja delimitadora que delimita el objeto que se va a representar.

4. Proyecto

El objetivo del proyecto es hacer una reconstrucción virtual de una cerámica original en 3 dimensiones usando el software de visualización gráfica CGView. En realidad se trata de hacer un plugin de CGView para visualizar una vasija en 3D desde su perfil.

Uno de los problemas de representación automática de vasijas es la infinita variedad de tipos de cerámicas que existen y las particularidades que cada una de ellas puede mostrar. Las piezas son hechas a mano, y esto hace que tengan unas características únicas, y que sea realmente complejo para los arqueólogos representarlas. Por lo tanto, en base a esto, se han tenido en cuenta las siguientes premisas:

- La vasija es completamente circular.
- No se representan irregularidades particulares.
- Se ignora la decoración.

Estas premisas disminuyen en gran medida la complejidad del proyecto, y hacen que las cerámicas se puedan clasificar con mayor facilidad.

4.1 Funciones implementadas

Para modificar nuestra malla o salida, se deben crear nuevos vértices y conexiones entre ellos (caras). Para conseguir esto, se han implementado las siguientes funciones:

- **InitialRadix:** Determina el radio de la vasija. Generalmente será la mitad de la altura y la mitad del perfil.
- **DrawBase:** Dibuja la base de la vasija, creando un número de caras en la base, por lo que queda cerrada.
- **AddVertices:** Crea nuevos vértices de nuestra malla. Añade 360 vértices para cada uno que estaba en el principio y los hace girar 360 grados para formar un círculo entero.
- **AddFaces:** Crea las diferentes caras de nuestra malla. Una cara es formada por la unión de 3 vértices.
- **UpdateBoundingBox:** Necesitamos añadir con la función CGView "*bbox.Add()*" todos los vértices que fueron creados para nuestra malla.
- **AdequateLight:** Para tener una buena visualización de nuestra malla, desactivaremos la luz con la función "*disable (GL_LIGHT)*" y activaremos BLEND para tener una buena vista de la vasija.
- **CharacteristicPoints:** Calcula los diferentes puntos donde la curvatura de la vasija cambia.

4.2 Lectura de entrada

La lectura de la entrada se hace desde un archivo “.ply” que representa un número de puntos en el espacio que dibujan el perfil de una vasija. Sabiendo que el perfil está en 2D se trabaja en el plano (X, Y), dejando la coordenada Z a 0.

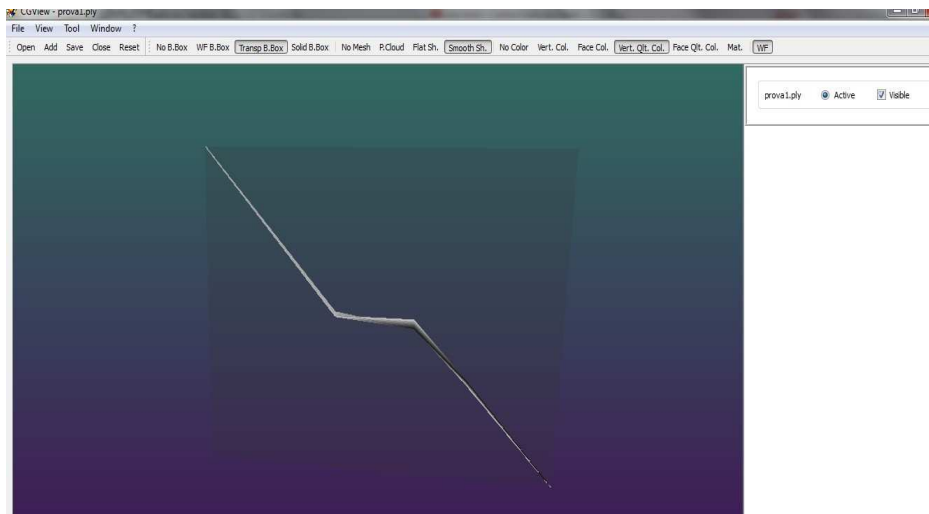


Ilustración 7: Lectura de la entrada del perfil de la vasija

4.3 Puntos característicos

El problema del cálculo de los puntos característicos del perfil es un problema trivial. No podemos calcular los puntos de discontinuidad en un sentido matemático, puesto que no hay manera de calcular exactamente cuando la curva hace un cambio notorio.

Otro factor que hace más difícil este complejo cálculo es que las vasijas están hechas a mano, así que no siguen ninguna regla matemática y pueden ser muy irregulares. La entrada es un vector de puntos y no una función matemática, así que es más difícil hacer el análisis. El concepto de punto característico es cuestionable y relativo a la experiencia de los arqueólogos que siguen el diseño o el contexto donde la vasija ha sido encontrada.

Por estas razones, se ha decidido hacer diferencia entre los puntos característicos de una manera empírica. Esta metodología tiene la ventaja de ser simple y la seguridad del trabajo bien hecho para ciertos tipos de puntos de interés. Pero tiene la desventaja de que no es una teoría matemática fuerte, y podría fallar para algunos perfiles específicos.

Algunas características típicas en una vasija son las siguientes:

- **EP:** Límites de la vasija. Los puntos más alto y más bajo del objeto. Estos son los primeros vértices, los últimos y el punto medio en la coordenada Y.
- **VT:** Tangentes verticales. Puntos de máxima o mínima curvatura.
- **IP:** Puntos índice. Puntos donde la curvatura significa cambios.
- **CP:** Esquina. Intercambio de puntos de curvatura pronunciada.

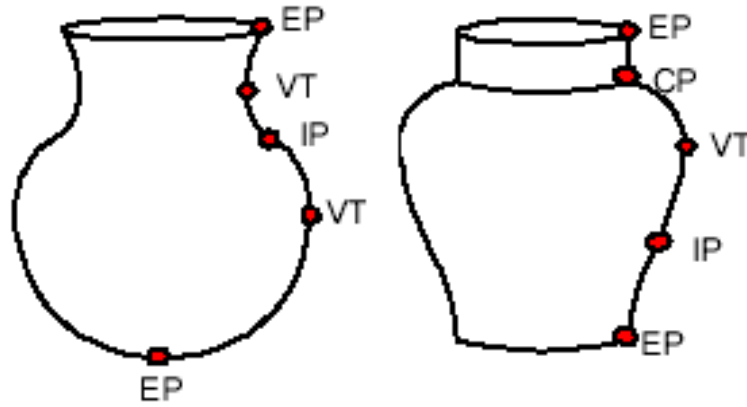


Ilustración 8: Puntos característicos de la vasija

4.4 Trazado

Para nuestra vasija en 3D debemos cambiar cada uno de los vértices del perfil (entrada) respecto de un eje de rotación y de un cierto radio. Para asignar este centro de rotación, debemos hacer una traslación en el eje 'x' de la base de la vasija. El valor de esta traslación será el valor del radio de la vasija (ya que no tenemos más detalles sobre el radio original y hay diferentes tipos de vasijas, hemos asignado el radio inicial como la mitad de su altura). Una vez determinado el radio, se debe hacer un cambio de todos los vértices del perfil respecto al eje de rotación de esta manera:

Para cada vértice del perfil se crea un nuevo vértice mientras se guarda la coordenada Y pero modificando la X y la Z.

La creación de caras se hace juntando 3 vértices (caras triangulares). Cada cara debe tener un color con la función "`vcg:Color4b()`". Esta función debe tener 4 parámetros Float type en formato RGBA. Una variante del color marrón se ha seleccionado para las caras con valores en RGBA = (215,180,50,0). Si el vértice es un punto característico, se procede a dibujar la cara con color negro RGBA = (0,0,0,255) para diferenciarlo de los otros puntos.

Una vez creados todos los vértices y sus caras coincidentes, se procede a dibujar la base de la vasija creando diferentes caras con los vértices inferiores del objeto.

Cuando la creación del objeto está hecha, el Bounding Box (Caja delimitadora) se actualiza, añadiendo todos los vértices creados con la función "`bbox.Add()`".

Finalmente, los parámetros de la luz y la cámara se cambiarán para ver con más claridad el objeto resultante con las funciones `GL_BLEND()` y `GL_LIGHT()`.

4.5 Resultados

El plugin genera una imagen en 3D donde se puede ver la vasija reconstruida con sus correspondientes puntos característicos. CGView permite ver solo los vértices (ver ilustraciones 8 y 9), o todas sus diferentes caras dibujadas (ver ilustraciones 10 y 11), con su correspondiente color.

Para ver el funcionamiento del plugin se debe abrir el archivo ".ply" con el correspondiente perfil de la vasija a tratar, y una vez abierto se selecciona la etiqueta con nuestro plugin.

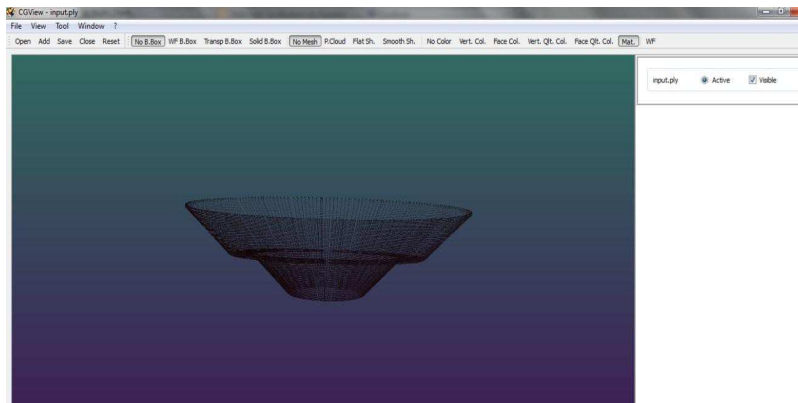


Ilustración 8: Fiale con sus vértices

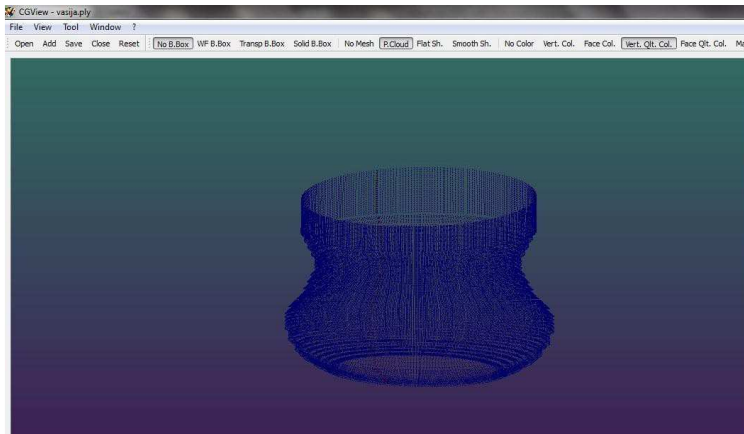


Ilustración 9: Ánfora con sus vértices

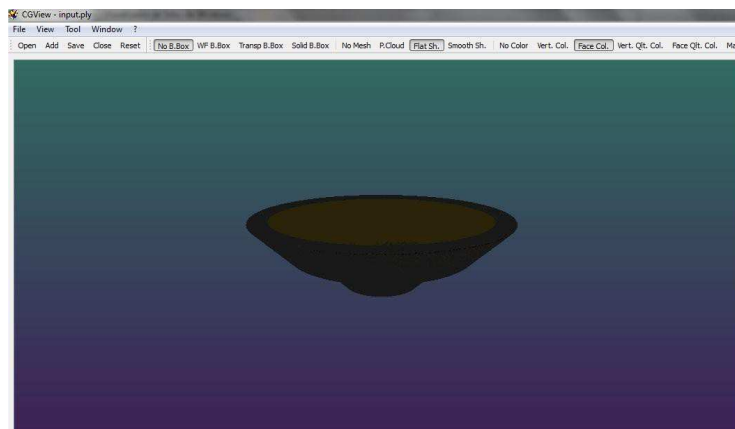


Ilustración 10: Reconstrucción del fiale

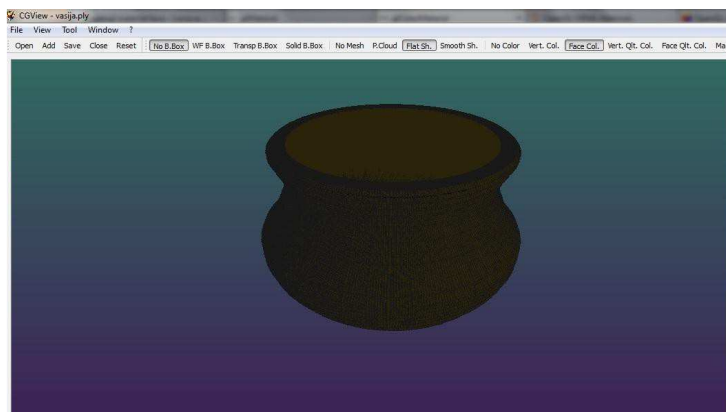


Ilustración 11: Reconstrucción del ánfora

5. Resumen y futuros desarrollos

5.1. Valoración final

Esta versión del software resuelve con éxito el problema inicialmente propuesto, y su diseño es de buena calidad para poder visualizar correctamente la estructura básica de cómo sería la vasija original dado su perfil. La función de cálculo de puntos característicos no está totalmente desarrollada y podría dar algunos errores al detectar puntos en alguna vasija especial.

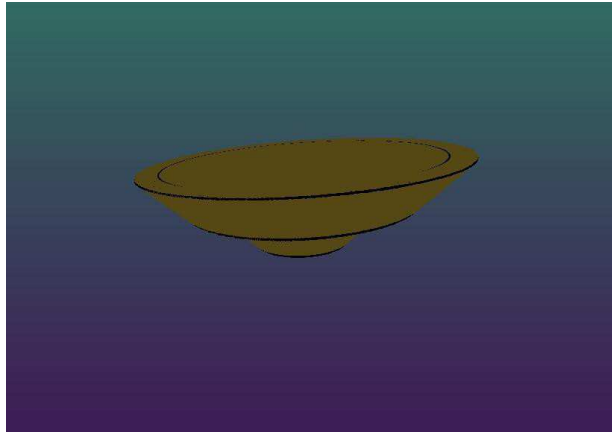


Ilustración 12: Reconstrucción de la vasija con puntos característicos

5.2. Mejoras y desarrollos

Una posible mejora sería modificar la función de puntos característicos para dar un correcto resultado para todos los tipos de vasijas y todos los puntos característicos. El cálculo de la base de la vasija, el cual hemos especificado que es un círculo perfecto, se puede mejorar también porque hay vasijas cuyas bases son elípticas.

Se debería implementar un sistema que hiciera una representación circular o elíptica de la cerámica dependiendo del perfil. El radio de la vasija debería estar establecido, ya que solo con los parámetros del perfil es imposible determinar cuál es el radio original de la vasija.

Otro posible desarrollo software sería la creación de una base de datos para registrar los diferentes tipos o familias de perfiles, así podríamos obtener más detalles acerca de la figura, las dimensiones, la decoración o el material desde un perfil, y obtener más entradas de datos para hacer una representación 3D más realista. Con esta base de datos podríamos hacer estudios estadísticos de los diferentes tipos de vasijas que existen y reconocer sus propiedades específicas.

Una mejora del plugin sería hacer la reconstrucción de la vasija desde una pieza de la vasija en 3D, donde la entrada debería ser un fichero formato “.ply” pero con datos reales de las 3 coordenadas X, Y, Z. Si tenemos datos de la curvatura de la vasija, sería posible hacer una estimación real del eje de rotación y su radio.

Hay muchas evoluciones y diferentes cambios que se podrían hacer al plugin y al proyecto, pero por ahora se espera crear una segunda versión que se ocupe del problema de la clasificación de cerámicas arqueológicas a través de otro software de desarrollo más rápido y preciso que esta versión para proporcionar una herramienta útil a aquellos que trabajan en este campo.

6. Bibliografía

- [1] T.Davis, J.Neider, and M.Woo, *OpenGL Programming Guide*. Addison- Wesley, 1993.

- [2] D.Zuddas, "*Clasificazione automatica di cocci di vasi antichi*". Cagliari, 2009

- [3] M.Kampel and R.Sablatnig, "*Computer aided classification of ceramics*" in VAST'00, 200.

- [4] F.Melero, A.León, F.Contreras, and J.Torres, "*A new system for interactive vessel reconstruction and drawing*" April 2003

- [5] C.Maiza, "*Classification d'objets de révolution: application aux poteries sigillées*". Toulouse, December 2008

- [6] Mara & Sablating. "*Determination of ancient manufacturing techniques of ceramics by 3D shape estimation*". 2006