



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)



UPV EHU

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarias  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).

Tfno: +34 945 013222 / 013264

e-mail: [jm.valle@ehu.es](mailto:jm.valle@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>

# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF  
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de aplicaciones informáticas / **Software section**

# 2

<b>Información general / General information</b>		
TITULO:	Programa de modelado fotogramétrico (v. 2.0)	:TITLE
AUTORES:	Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA	:AUTORS
FECHA:	2003 / <b>2003</b>	:DATE
NUMERO:	LDGP_sof_002	:NUMBER
IDIOMA:	español / <b>Spanish</b>	:LANGUAGE

Resumen	
TITULO:	Programa de modelado fotogramétrico (v. 2.0)
RESUMEN:	A partir de fotografías que se cargan individualmente y coordenadas de puntos conocidos se pueden ir definiendo porciones de planos y generar así un modelo tridimensional con texturas fotográficas en formato VRML.
DESCRIPTORES NATURALES:	fotogrametría, modelos virtuales, VRML, rectificación, ortofotografía
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesauro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ]) Fotogrametría, Infografía
LENGUAJE:	Programado en Tcl (v.8). El fichero es un documento ASCII que se convierte en ejecutable si se dispone del intérprete Tcl que puede descargarse de forma gratuita por Internet (preferentemente en el paquete denominado "Active Tcl" [ <a href="http://www.activestate.com/activetcl/">http://www.activestate.com/activetcl/</a> ]).

Abstract	
TITLE:	Software for photogrammetric modelling (v. 2.0)
ABSTRACT:	The scope of this software is to obtain 3D virtual models in VRML from a set of photographs (taken one by one) and points of known coordinates defining planes.
NATURAL KEYWORDS:	photogrammetry, virtual models, VRML, rectification, orthophotograph
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ]) Photogrammetry, Computer graphics
CODE:	Programmed in Tcl (v.8). It is an ASCII file that becomes self-executable when the Tcl interpreter is available on the system. This interpreter can be freely downloaded from Internet (better with the "Active Tcl" package [ <a href="http://www.activestate.com/activetcl/">http://www.activestate.com/activetcl/</a> ]).

Derechos / Rights		
DERECHOS:	El código está inscrito en el registro de la propiedad bajo el número: 00/2004/4973. No obstante, se permite su utilización en las condiciones que establece una licencia Creative Commons de tipo "Reconocimiento-Comparteigual 3.0". / The copy of the can be found at the Spanish Registration Office with the number: 00/2004/4973. Nevertheless you can made use of it under a Creative Commons licence "Attribution-Share Alike 3.0".	:RIGHTS
		

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	Esta aplicación informática es una prueba de laboratorio, no ha sido completamente probado ni optimizado por lo que los resultados que proporciona pueden no ser correctos y el tiempo de ejecución de algunos procesos excesivamente largo. El uso de esta aplicación se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / This software is an internal test, it has not been thoroughly either checked or optimized, therefore the results may not be correct and the elapsing time too long. Its use will be done under the exclusive responsibility of the user.	:DISCLAIMER

Estructura / Framework		
PERMANENTE:	<p>ID</p> <p>http://hdl.handle.net/10810/6164</p>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_sof_002_modelado.pdf</b>: (este documento) descripción del programa / <i>(this document) description of the software.</i></li> <li>• <b>ldgp_sof_002_modelado.tcl</b>: código del programa principal / <i>code of the main application.</i></li> <li>• <b>ldgp_sof_002_ejemplo1.zip</b>: datos de ejemplo / <i>test data.</i></li> <li>• <b>ldgp_sof_002_ejemplo2.zip</b>: datos de ejemplo / <i>test data.</i></li> </ul>	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea) –LDGP-. <i>Programa de modelado fotogramétrico (v.2.0)</i>. 2003.</p>	:CITATION

# PROGRAMA DE MODELADO FOTOGRAMÉTRICO

(v. 2.0)

## 1.- Introducción

Esta versión 2.0, amplía las posibilidades de la anterior<sup>1</sup>. Al igual que antes, el programa genera modelos virtuales en formato VRML utilizando imágenes fotográficas para obtener las texturas que sitúa sobre un modelo geométrico tridimensional. Si bien, en la primera versión, este modelo tridimensional debía estar compuesto por porciones de planos, ahora es posible utilizar elementos de revolución y constituidos a partir de superficies malladas.

Como ya se comentaba en la documentación de la versión anterior, con el modelado fotogramétrico, se pretende reconstruir un elemento tridimensional a partir de fotografías, recortando porciones de imagen y ajustándolas a sus coordenadas tridimensionales. Esto, unido a un visor de escenas tridimensionales permite presentar modelos muy evocadores de los elementos a representar.

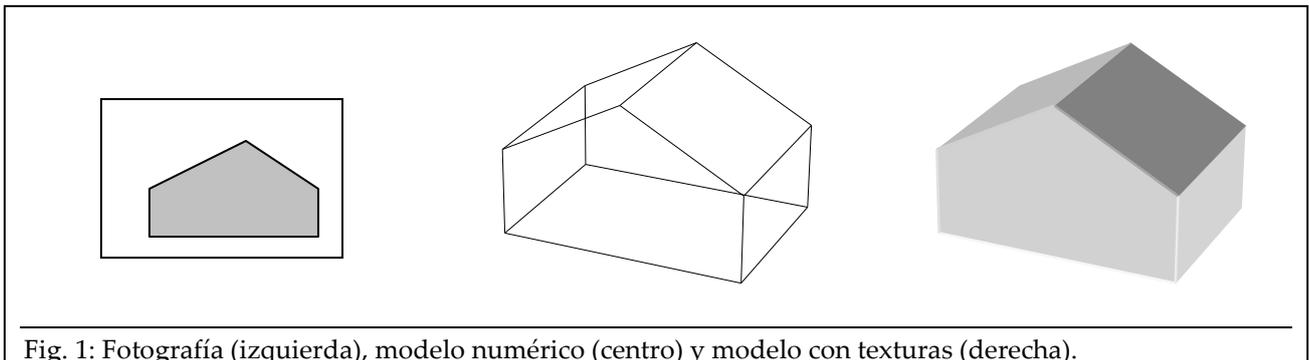


Fig. 1: Fotografía (izquierda), modelo numérico (centro) y modelo con texturas (derecha).

Las tres características principales del programa son:

- Modelo métrico, es decir, las texturas aparecerán corregidas de efecto perspectivo.
- Trabajo en coordenadas 3D reales (en el sistema objeto).
- Posibilidad de utilizar fotografía convencional evitando recurrir a cámaras métricas.

La primera de las características de la lista anterior, que el modelo sea métrico, requiere que los elementos utilizados sean del mismo tipo tanto en el espacio tridimensional del modelo geométrico, como en el espacio bidimensional de la fotografía donde se toma la textura. Ya que las porciones de fotografía son porciones de plano, deben corresponder también con porciones de plano en el modelo tridimensional, por lo tanto es necesario dividir el elemento tridimensional a representar en un conjunto de planos.

<sup>1</sup> Versión 1.0, solicitud de registro VI-85-02.

En la versión 1.0, esta división de planos se realizaba de forma manual, en la presente versión, además, pueden utilizarse divisiones a partir de un elemento de revolución o trabajar con superficies malladas, como puede apreciarse en la siguiente figura.

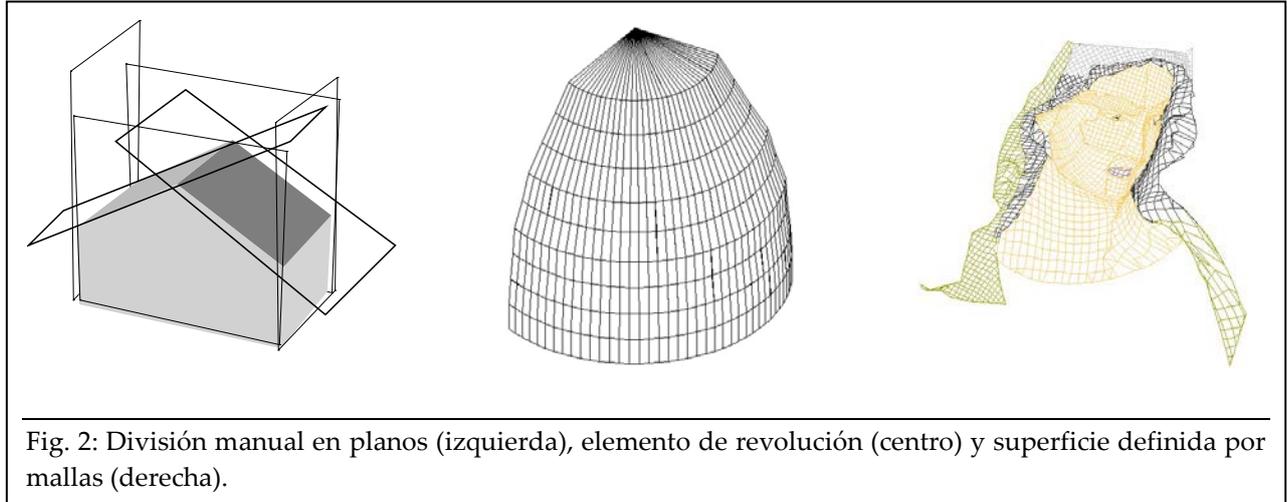


Fig. 2: División manual en planos (izquierda), elemento de revolución (centro) y superficie definida por mallas (derecha).

Entre estos planos y las coordenadas imagen de las fotografías se pueden establecer transformaciones proyectivas que corrigen el efecto de la perspectiva y, una vez calculados los parámetros correspondientes, los dibujos sobre las fotografías pueden situarse en el espacio tridimensional.

Como las transformaciones proyectivas se van calculando para cada plano se puede cubrir todo el objeto manteniendo la independencia de los parámetros internos de la cámara en el momento de la toma, con lo que se satisface la tercera de las características buscadas.

Cuando la división en planos es manual, sobre las fotografías se define el perímetro de una parte del objeto (que esté contenida en el plano definido por la transformación proyectiva). El programa rectifica la porción de fotografía utilizando los parámetros de la proyección y genera dos archivos: el primero contiene la textura, es decir, la porción de imagen rectificadas (formato .jpeg) y el segundo la información espacial, es decir, la situación de esa textura en el espacio (extensión .ele). En cualquiera de los otros dos casos (elementos de revolución y mallas) los perímetros vienen definidos por la propia división en teselas del objeto, siendo necesario realizar un proceso previo de orientación que permita situar la representación de los vértices de estas teselas en la fotografía.

Existe un segundo módulo del programa que genera una escena tridimensional a partir de un conjunto de elementos seleccionado por el usuario, en realidad, este módulo sólo convierte la información de los archivos .ele a formato VRML (extensión .wrl), la escribe en un único fichero y agrupa todos los ficheros de textura en el mismo directorio del archivo generado.

Los archivos VRML son ascii, por lo que pueden editarse; además es un estándar y las escenas pueden visualizarse en cualquier navegador de internet sin más que instalar el correspondiente visor, la mayoría de los cuales son gratuitos.

## 2.- Resumen del proceso de cálculo

Se pueden diferenciar dos partes dentro del cálculo:

- Definición sobre la fotografía de los puntos que forman la porción del plano. Nótese que el modelo tridimensional está previamente definido por lo que la selección de puntos sólo se realiza en la fotografía.
- Relación entre la porción de fotografía y la porción de plano en el espacio tridimensional del objeto en la que se ha de incluir la corrección del efecto perspectivo.

### 2.1.- Selección de los puntos sobre la fotografía

En el caso de la división manual en planos, los puntos que forman el perímetro a recortar de la fotografía se seleccionan directamente sobre la fotografía según puede apreciarse en la siguiente figura:

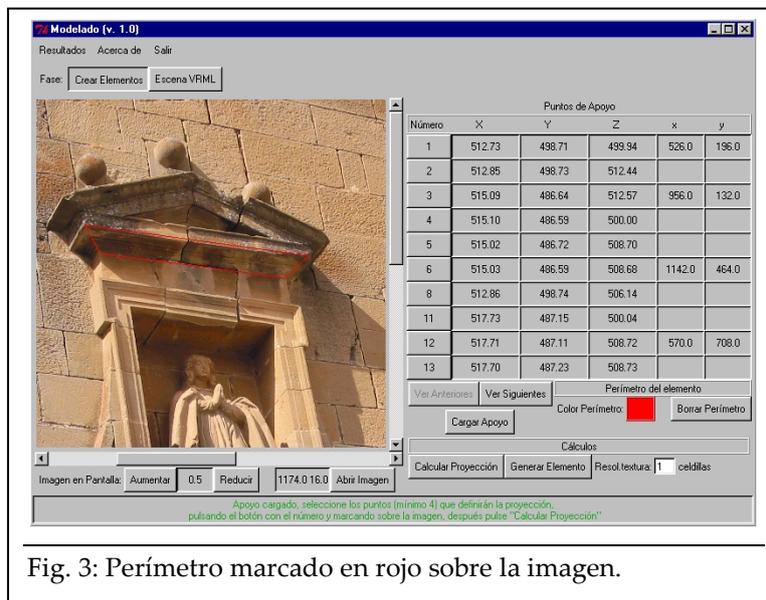


Fig. 3: Perímetro marcado en rojo sobre la imagen.

Si, en cambio, se trabaja con elementos de revolución, los perímetros serán directamente los de las teselas en que se divida el propio elemento de revolución y, por lo tanto, no será necesario definirlos. Por el contrario, se deberá realizar un proceso de orientación externa de la imagen de tal forma que se pueda conocer la representación sobre la fotografía de los vértices de estas teselas de las que se conocen sus coordenadas tridimensionales. El proceso empleado se basa en el análisis dimensional perspectivo (puntos de fuga, se supone que el eje de revolución es paralelo al eje  $-y$ - y además está centrado en la imagen) y requiere que se señalen sobre la fotografía 4 puntos característicos.

Como ya se ha comentado, se dispone de un modelo en coordenadas terreno del elemento, en este caso, este modelo vendrá definido por:

- Eje: coordenadas X, Y, Zmin y Zmax.
- Radios: R1, R2, R3, R4, R5, . . . (desde Zmax a Zmin a intervalos regulares).

```
# Eje: X Y Zmin Zmax
0 0 0 5.25
# Radios a incrementos constantes
# de arriba a abajo
0
1.67
2.18
2.50
2.80
3.00
3.00
3.00
```

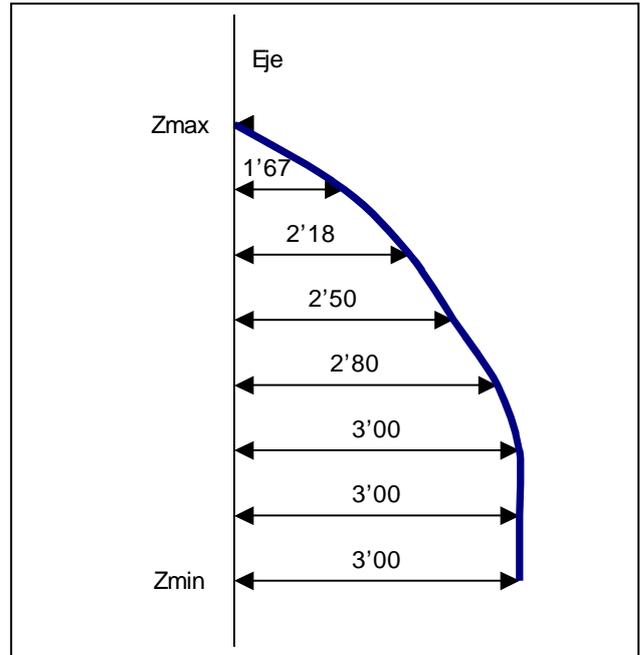


Fig. 4: Definición del modelo geométrico de un elemento de revolución.

Según la figura (fig. 5), los puntos necesarios para la definición completa de la representación del modelo tridimensional sobre la fotografía son cuatro, señalados en la imagen como [A], [C], [V] y [D]. De estos, los dos primeros corresponden a una sección determinada (radio seleccionado entre los del modelo) y señalan la tangencia y el punto más cercano al observador, el punto [V] corresponde a la Zmax, bien sobre el propio eje en el caso de elementos en forma de cúpula, bien en el exterior en elementos cilíndricos. Finalmente, es necesario un cuarto punto, [D], para orientar la geometría de revolución, por ejemplo que indique la dirección del norte (o cualquier otra dirección preestablecida).

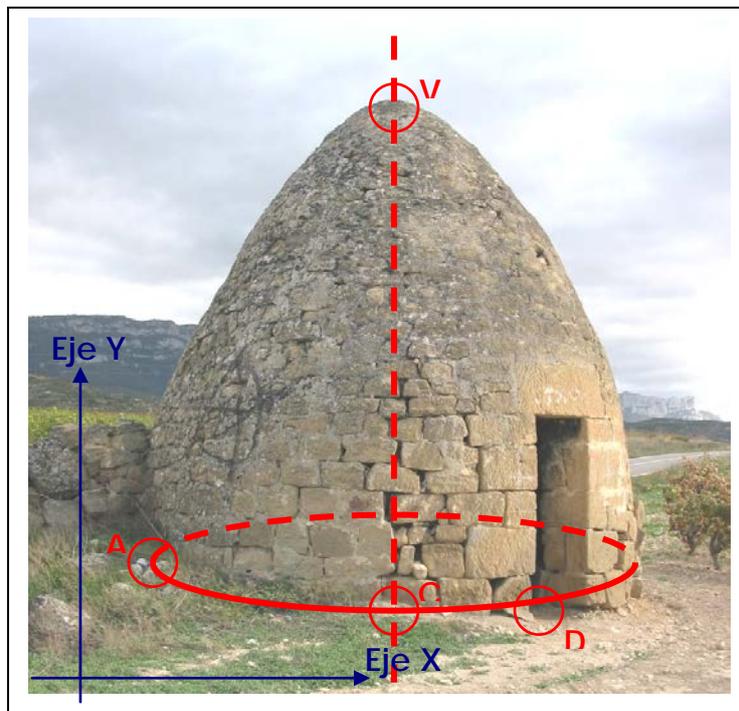


Fig. 5: Puntos que permiten relacionar la geometría de revolución con la fotografía.

Finalmente, si se trabaja con elementos mallados se recurre a realizar una orientación mediante el algoritmo de Transformación Lineal Directa (DLT) que puede consultarse en cualquier texto de fotogrametría de objeto cercano o de visión por ordenador y para el cuál es necesario marcar sobre la fotografía un mínimo de 6 puntos de coordenadas conocidas.

El proceso que se detalla a continuación, de relación entre la fotografía y el plano en el espacio tridimensional, es común para las tres variantes anteriores, bien para el plano seleccionado manualmente, bien para cada una de las teselas en que se compone el elemento de revolución o la superficie mallada.

2.2.- Relación entre la fotografía y el plano en el espacio tridimensional

A partir de una serie de coordenadas tridimensionales (en el objeto):

$$1, 2, 3, 4, \dots, n \rightarrow (X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), (X_3, Y_3, Z_3), (X_4, Y_4, Z_4), \dots, (X_n, Y_n, Z_n)$$

se calcula el plano medio; un plano en el espacio se representa por:

$$AX + BY + CZ + D = 0$$

siendo (A, B, C, y D) los parámetros a calcular, la resolución por mínimos cuadrados proporciona la siguiente expresión homogénea:

$$\begin{cases} A \sum X^2 + B \sum XY + C \sum XZ + D \sum X = 0 \\ A \sum XY + B \sum Y^2 + C \sum YZ + D \sum Y = 0 \\ A \sum XZ + B \sum YZ + C \sum Z^2 + D \sum Z = 0 \\ A \sum X + B \sum Y + C \sum Z + nD = 0 \end{cases}$$

El número de puntos mínimo será de cuatro, aunque sólo se necesitan tres para definir el plano, es necesario un cuarto para la transformación proyectiva posterior, además, disponer de este cuarto punto permite conocer la precisión del ajuste de los puntos al plano.

De estas cuatro relaciones sobra, por lo menos una, ya que si se multiplican A, B, C y D por una constante el plano resultante es el mismo, por lo tanto, uno de estos cuatro parámetros puede igualarse a la unidad (o a cualquier otro valor) y resolver el sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas (si se fija un valor, la ecuación correspondiente, que proviene de un diferencial, se elimina). El problema es que determinados planos tienen alguno de sus parámetros igual a cero y, si se iguala ese parámetro a la unidad, la resolución falla.

Por ejemplo, que D sea igual a cero, significa que el plano pasa por el origen, esta es una situación que, eligiendo correctamente el sistema de referencia y en objetos de geometría sencilla no tiene porqué darse, pero cuando el objeto se complica (gran cantidad de planos en cualquier orientación) no hay garantías de que no vaya a suceder.

Si C es igual a cero, significa que el plano es perpendicular al plano -XY-, esta situación es relativamente frecuente si se elige un sistema de coordenadas objeto -XY- plano horizontal y -Z- vertical: todas las fachadas tendrán valores de C próximos a cero.

Por último, que A o B sean cero significa que son planos perpendiculares a los planos -XZ- e -YZ- respectivamente. Cuando dos de los parámetros (A, B, C) son iguales a cero, estamos ante un plano paralelo a uno de los planos coordenados.

Como no es posible saber qué tipo de plano vamos a tener y con el fin de disponer de un algoritmo lo más universal posible se resuelve el sistema de dos formas independientes: con A=1 y con B=1 y se elige la mejor entre ambas (o, en su caso, la que no dé problemas de cálculo), por mejor solución se considera la que ofrezca menores residuos en el ajuste. Los únicos planos que fallan en las dos suposiciones son los que cumplen que A=B=0, es decir, planos paralelos a -XY- como el suelo, suponemos que no se fotografían este tipo de planos, aunque si se quieren considerar sólo hay que añadir una tercera posibilidad C=1.

Para A=1 tenemos:

$$\begin{pmatrix} \sum Y^2 & \sum YZ & \sum Y \\ \sum YZ & \sum Z^2 & \sum Z \\ \sum Y & \sum Z & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum XY \\ -\sum XZ \\ -\sum X \end{pmatrix}$$

y para B=1:

$$\begin{pmatrix} \sum X^2 & \sum XZ & \sum X \\ \sum XZ & \sum Z^2 & \sum Z \\ \sum X & \sum Z & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum XY \\ -\sum YZ \\ -\sum Y \end{pmatrix}$$

Se calculan, a continuación, la proyección de los puntos sobre este plano medio según:

$$\begin{cases} X'_i = X_i - d \cdot A \\ Y'_i = Y_i - d \cdot B \\ Z'_i = Z_i - d \cdot C \end{cases} ; d = \frac{AX_i + BY_i + CZ_i + D}{A^2 + B^2 + C^2}$$

Este plano se rota en el espacio para convertirlo en otro con Z=cte (así sólo quedan coordenadas -XY- que son las que se relacionarán los las -xy- de la fotografía en la transformación proyectiva):

$$\begin{pmatrix} X''_i \\ Y''_i \\ Z''_i = cte \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \chi & \operatorname{sen} \chi & 0 \\ -\cos \omega \operatorname{sen} \chi & \cos \omega \cos \chi & \operatorname{sen} \omega \\ \operatorname{sen} \omega \operatorname{sen} \chi & -\operatorname{sen} \omega \cos \chi & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z'_i \end{pmatrix}$$

siendo:

$$\begin{cases} \chi = \operatorname{arctg}\left(-\frac{a}{b}\right) \\ \omega = \pm \operatorname{ar} \cos(c) \end{cases}$$

y (a,b,c) los cosenos directores de la recta normal al plano, que se obtienen según:

$$\begin{cases} a = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \\ b = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \\ c = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \end{cases}$$

Como el valor de Z'' es igual para todas las coordenadas, se les puede restar quedando el plano coincidente con -XY- (esto es interesante a la hora de generar el elemento VRML).

Las coordenadas  $X'', Y''$  pueden relacionarse con las  $-xy-$  de la fotografía a través de la transformación proyectiva:

$$\begin{cases} x = \frac{a_1 X'' + a_2 Y'' + a_3}{c_1 X'' + c_2 Y'' + 1} \\ y = \frac{b_1 X'' + b_2 Y'' + b_3}{c_1 X'' + c_2 Y'' + 1} \end{cases}$$

que, en forma matricial, se expresa:

$$\begin{pmatrix} X'' & Y'' & 1 & 0 & 0 & 0 & -xX'' & -xY'' \\ 0 & 0 & 0 & X'' & Y'' & 1 & -yX'' & -yY'' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

A partir de cuatro puntos, puede resolverse este sistema (si se dispone de más por mínimos cuadrados, por ejemplo). Con estos ocho coeficientes se completa el paso de coordenadas  $-XYZ-$  objeto a  $-xy-$  fotografía.

Para recorrer el camino en sentido contrario, de  $-xy-$  fotografía a  $-XYZ-$  objeto, sólo hay que calcular los parámetros de la transformación proyectiva inversa:

$$\begin{pmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -xX'' & -yX'' \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -xY'' & -yY'' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ a'_3 \\ b'_1 \\ b'_2 \\ b'_3 \\ c'_1 \\ c'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \end{pmatrix}$$

y realizar el paso de  $(X'', Y'', Z'')$  a  $(X', Y', Z')$  a través de la matriz transpuesta (la rotación es ortogonal) poniendo como valor en  $Z''$  la separación al plano  $-XY-$  ya calculada.

$$\begin{pmatrix} \cos \chi & -\cos \omega \operatorname{sen} \chi & \operatorname{sen} \omega \operatorname{sen} \chi \\ \operatorname{sen} \chi & \cos \omega \cos \chi & -\operatorname{sen} \omega \cos \chi \\ 0 & \operatorname{sen} \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X''_i \\ Y''_i \\ Z''_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z'_i \end{pmatrix}$$

Estos valores  $(X', Y', Z')$  son los que se consideran ya en el objeto, puesto que se partía de que la separación al plano medio era pequeña.

### 3.- Ejemplo

Se desarrolla, a continuación, unos ejemplos de aplicación del programa. El primero de ellos, que corresponde a la división manual del elemento tridimensional, está tomado de la versión anterior ya que no ha variado en esta versión.

En primer lugar, al iniciar el programa aparece la siguiente pantalla:

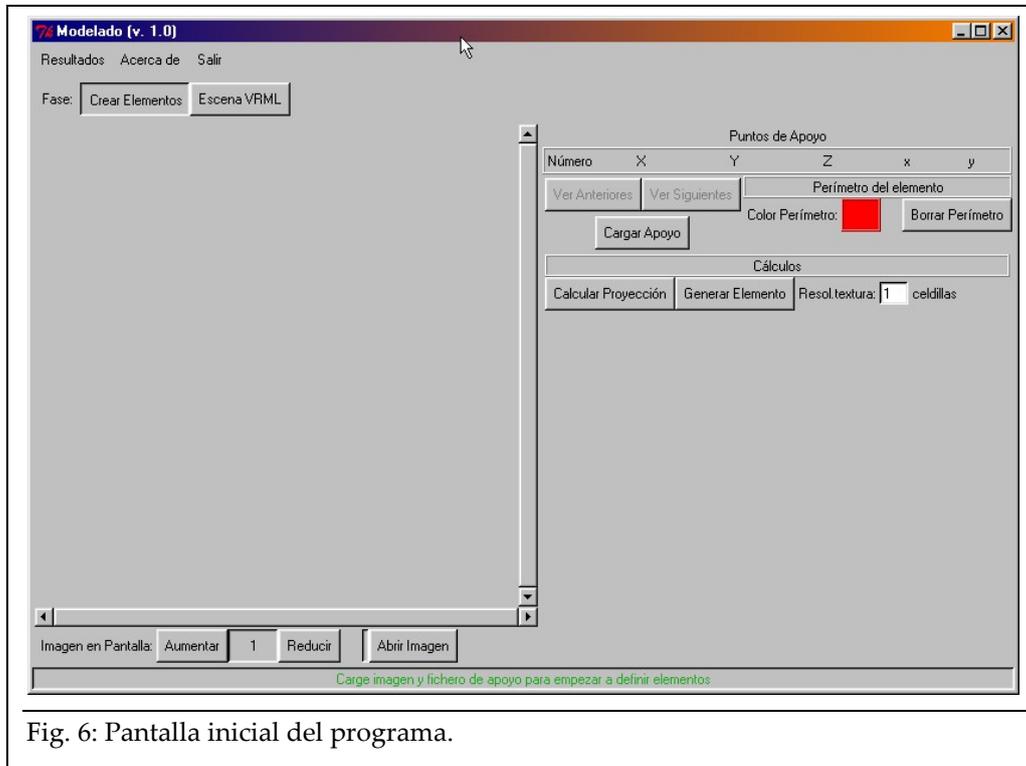


Fig. 6: Pantalla inicial del programa.

En la parte superior hay una barra con dos botones que indican en qué fase del trabajo nos encontramos, en la de [Crear Elementos] o cuando ya se dispone de los elementos y se quiere generar una [Escena VRML].

Para crear elementos, se debe cargar el fichero con las coordenadas objeto de los puntos de apoyo, su formato es Np X Y Z (separados por espacios o tabulaciones), por ejemplo:

```
100 493.62 487.90 503.46
101 493.79 488.09 504.35
102 494.03 488.46 504.35
103 494.13 488.63 503.42
201 495.07 490.06 503.35
202 495.17 490.21 505.93
```

Este apoyo puede obtenerse de un volumétrico o a partir de unas medidas aproximadas del tamaño del objeto (tener en cuenta la correcta orientación del sistema XYZ para que sea directo).

También hay que cargar la fotografía, por defecto, intenta cargar imágenes .gif, pero puede trabajar con otros formatos como .jpeg (que es el más recomendable pues los archivos son de menor tamaño), .tiff o .bmp entre otros.

El siguiente paso consiste en seleccionar los puntos que forman el plano en el que está contenido el elemento a representar (mínimo 4), para ello, se pulsa el botón correspondiente en la lista de coordenadas y se marca sobre la imagen. Cuando se hayan marcado suficiente puntos se procede a calcular la proyección entre el plano en el sistema objeto y la fotografía [Calcular Proyección], en la parte baja de la ventana aparecerá un mensaje indicando cuál ha sido la distancia máxima respecto al plano medio de alguno de los puntos. En la pantalla de resultados aparece información más detallada de todo el proceso de cálculo según aparece en el apartado anterior. Los parámetros de proyección son válidos hasta que se calculen otros nuevos.

Una vez calculada la proyección, ya se pueden relacionar elementos de la fotografía con elementos en el espacio objeto. Para dibujar el perímetro sobre la fotografía hay que ir pulsando con el botón derecho del ratón. Cada vez que se pulsa el botón derecho, se añade un nuevo vértice al perímetro, para definir un perímetro desde cero hay que pulsar el botón de [Borrar Perímetro]. Recordar, por otra parte que el programa no permite eventos del ratón sobre imágenes que se estén visualizando (zoom) a tamaño menor que la ventana (en este caso en la ventana donde aparecen las coordenadas del ratón sobre la imagen se presentan las dimensiones de la imagen).

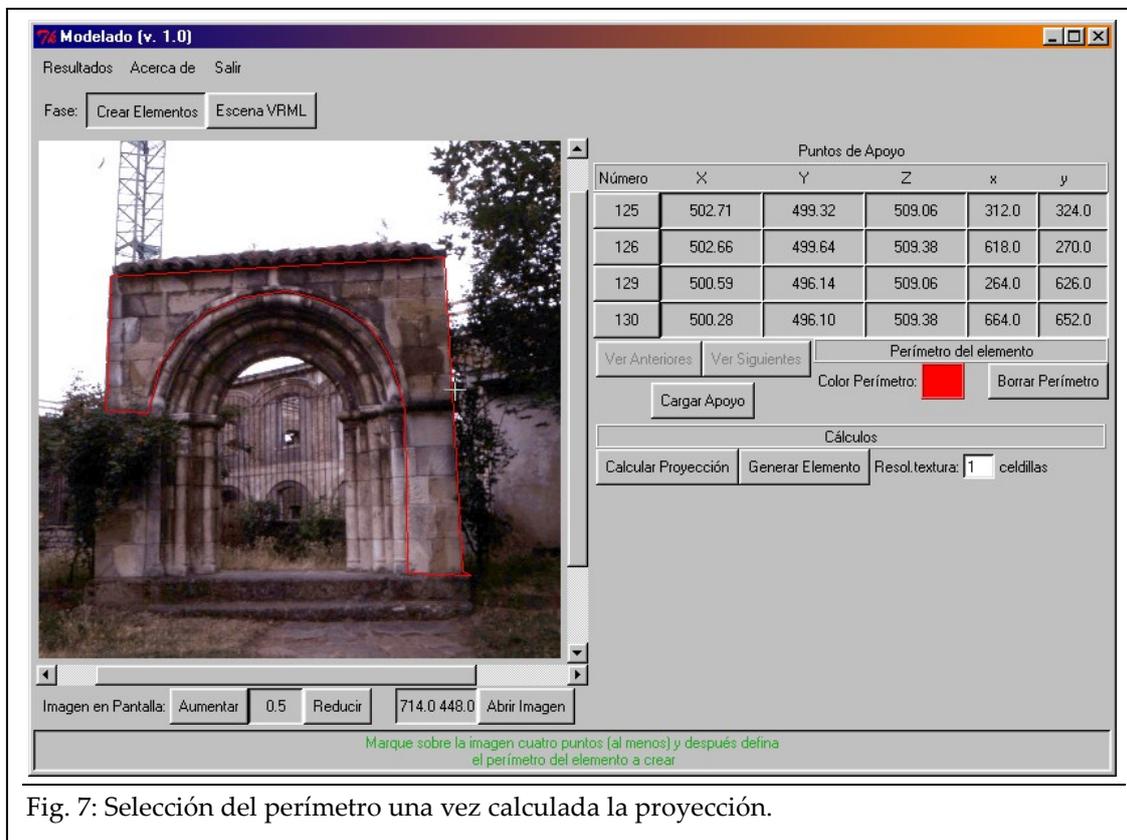


Fig. 7: Selección del perímetro una vez calculada la proyección.

Uno de los factores fundamentales al generar las texturas es su resolución, el programa calcula el área del elemento en el espacio objeto y en píxeles, calcula así qué superficie corresponde (unidades objeto) a cada celdilla y ese es el tamaño que utiliza para muestrear la textura. Si se desea un muestreo a mayor o a menor resolución hay que modificar la casilla correspondiente que aparece en la esquina inferior derecha de la pantalla (valores mayores que 1 generan texturas de menor resolución y menores que 1 texturas de mayor resolución).

Para generar el elemento (con la proyección calculada y el perímetro dibujado) se pulsa el botón [Generar Elemento], al hacerlo, se abre una ventana para seleccionar el nombre del elemento y en la barra de mensajes (parte inferior de la ventana, en verde) aparece el tamaño de cada celdilla en unidades objeto y las dimensiones de la textura resultante (entre paréntesis).

Con esto se generan dos ficheros, el primero de extensión .ele contiene la información geométrica del elemento y un segundo fichero con el mismo nombre y extensión .jpg contiene la textura rectificada.

```
# Parámetros Externos
Om: 1.545538
Ka: 0.966551
zp: 141.718
# Parámetros de visualizado
ccw: FALSE
# Perímetro
681.874 499.791
681.934 500.044
682.132 500.039
682.183 500.915
682.387 500.935
682.610 500.925
682.603 500.025
682.893 500.008
682.800 499.755
# Textura
0.000 0.031
0.059 0.245
0.253 0.241
0.303 0.983
0.503 1.000
0.722 0.992
0.715 0.229
1.000 0.214
0.909 0.000
```

Se pueden generar nuevos elementos en el mismo plano (mientras no se realice una nueva proyección), calcular un nuevo plano con nuevos puntos o generar elementos a partir de otras imágenes.

Una vez que se hayan extraído los elementos, se juntan en una escena VRML, la pantalla que aparece es la siguiente:

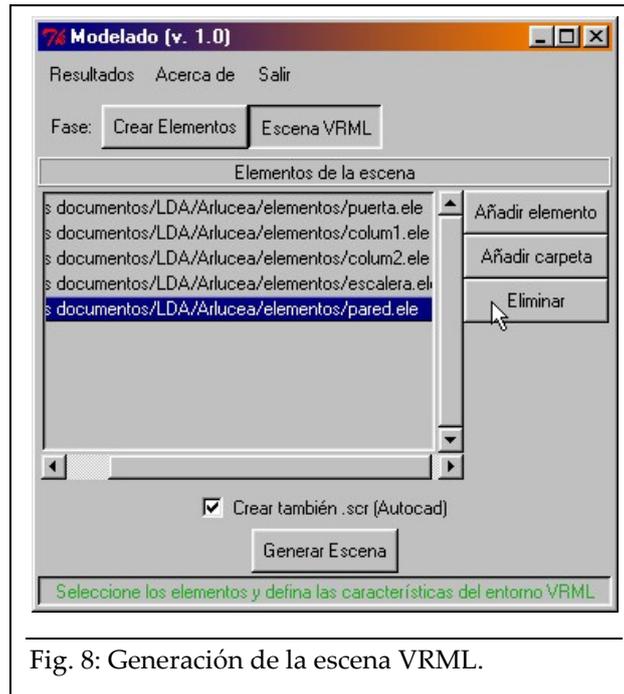


Fig. 8: Generación de la escena VRML.

Se van añadiendo elementos bien de forma individual o todos los que contenga una carpeta (se selecciona uno de ellos y el programa coge los demás). Al generar la escena, aparece una ventana donde se selecciona el archivo destino que contiene toda la información de los ficheros .ele en formato VRML (es recomendable que sea en una carpeta aparte ya que además del este archivo se copian las texturas).

Para visualizar la escena se utiliza cualquiera de los visores VRML disponibles. A este respecto es interesante que dispongan de una opción de encuadre ya que los elementos se presentan en el sistema de coordenadas objeto que puede estar muy distante del punto de vista por defecto del visualizador y no ser fáciles de localizar.

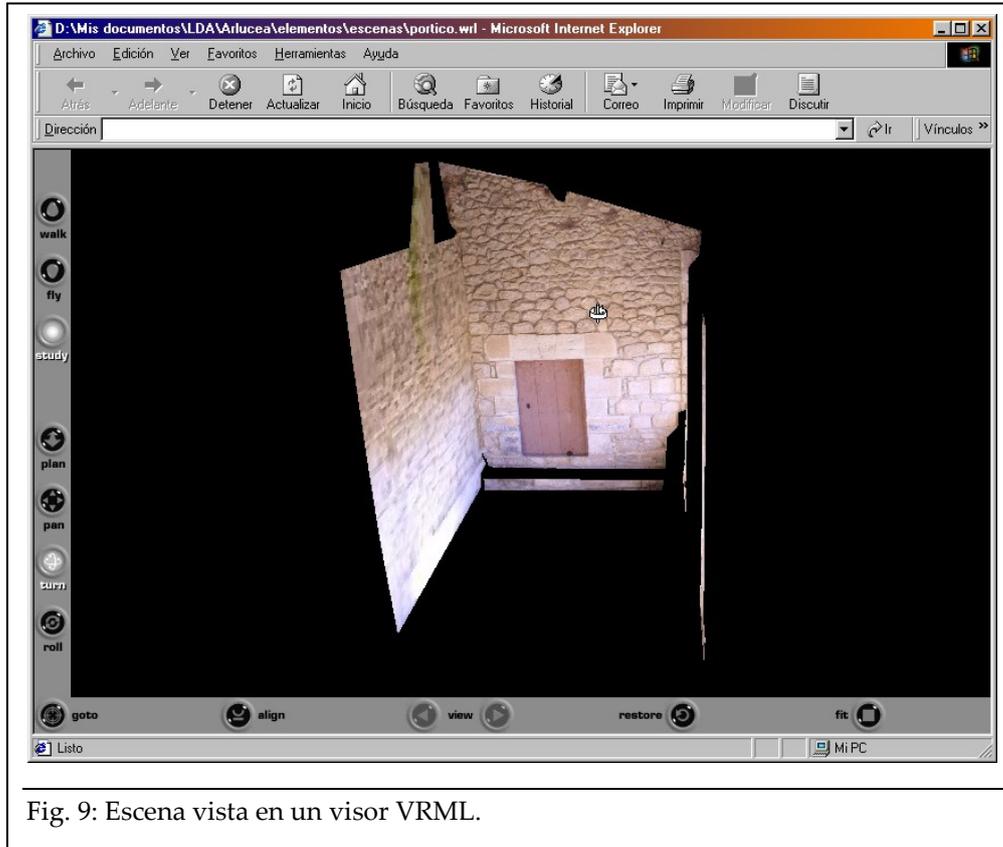


Fig. 9: Escena vista en un visor VRML.

Al guardar la escena se puede, además, obtener un archivo con el mismo nombre y extensión .scr de Autocad®, este archivo sólo contiene los perímetros en coordenadas objeto y su finalidad es poder completar el modelo en las zonas que no se hayan fotografiado (se puede generar un fichero VRML aparte y unirlos posteriormente).

La pantalla que aparece en la versión 2.0 es ligeramente diferente a la presentada anteriormente, por ejemplo, en la parte inferior derecha aparece una menú en el que se indica con qué tipo de elemento tridimensional se está trabajando.

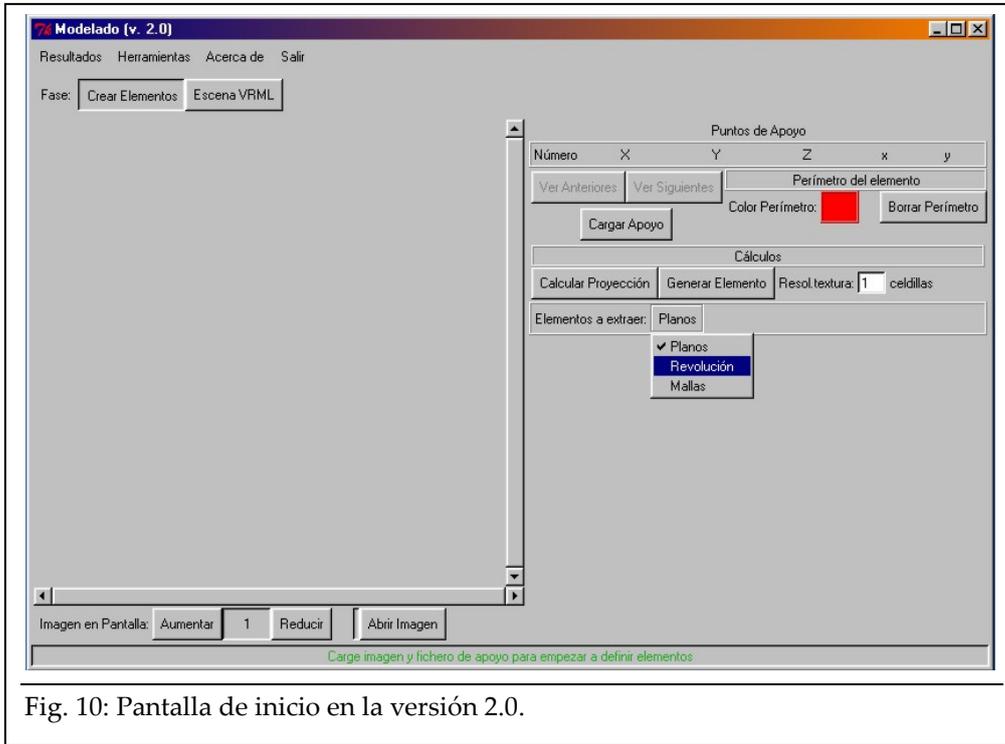


Fig. 10: Pantalla de inicio en la versión 2.0.

Según se ha comentado el trabajo con planos corresponde al ejemplo anterior, cuando se trata de elementos de revolución la pantalla pasa a ser la siguiente:

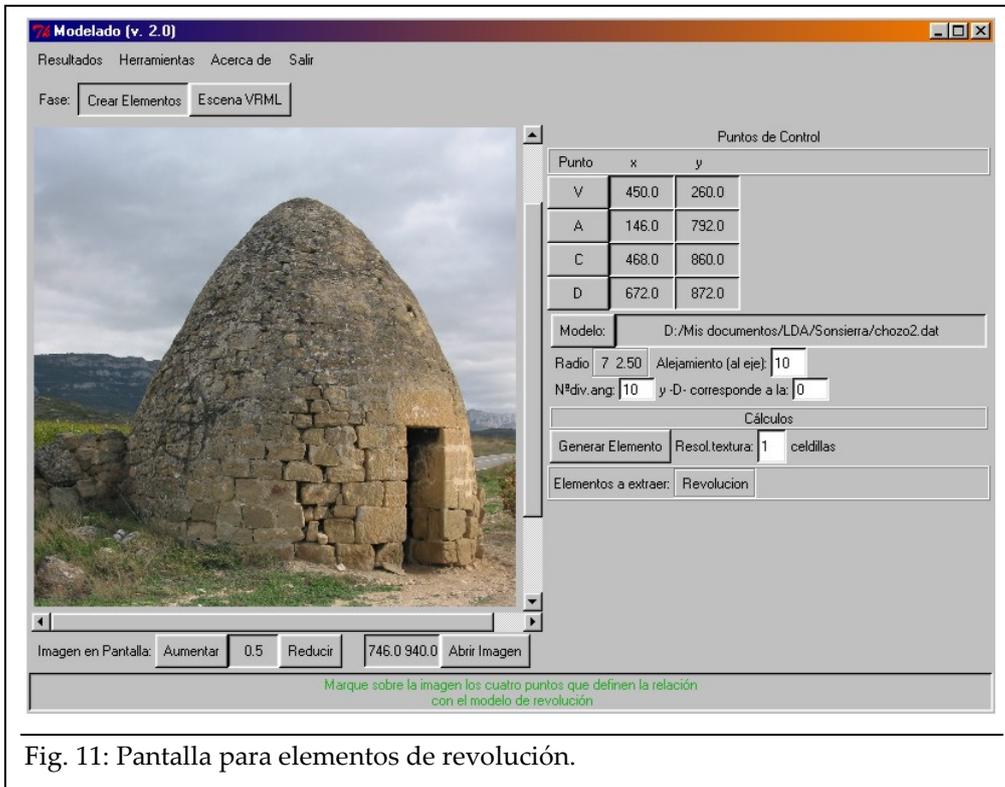


Fig. 11: Pantalla para elementos de revolución.

En esta pantalla (fig. 11), se van marcando los cuatro puntos que se utilizan para relacionar el modelo tridimensional con la fotografía pulsando primero en el botón correspondiente y posteriormente sobre la fotografía para coger sus coordenadas. También debe cargarse el modelo según la estructura vista anteriormente e indicar a cuál de sus secciones corresponden los puntos [A] y [C] así como la orientación del punto [D]. El botón de [Generar Elementos] nos pedirá la carpeta donde se generarán los archivos individuales para cada tesela .ele y .jpg, es necesario introducir el nombre raíz del primero, al que se le añade automáticamente dos números (fila y columna dentro del elemento de revolución).

En lo que se refiere a las superficies malladas, la pantalla es prácticamente idéntica a la que corresponde a los elementos planos, se diferencia en los botones de la parte inferior derecha que pasan a ser [Orientar Imagen] y [Dibujar Mallas]. El proceso es también similar, teniendo en cuenta que esta vez es necesario marcar seis en vez de cuatro puntos para poder efectuar la orientación. Una vez que se disponga de la orientación se procede a la extracción de texturas con el botón de [Dibujar Mallas], el programa pedirá entonces en fichero con las mallas en formato de 3dcaras en un archivo .dxf de Autocad® 2000 y la carpeta donde se generarán los archivos .ele y .jpg con las texturas. Al igual que en el caso anterior hay que introducir un nombre raíz al que se le añadirá un número de forma automática para diferenciar las diferentes teselas.

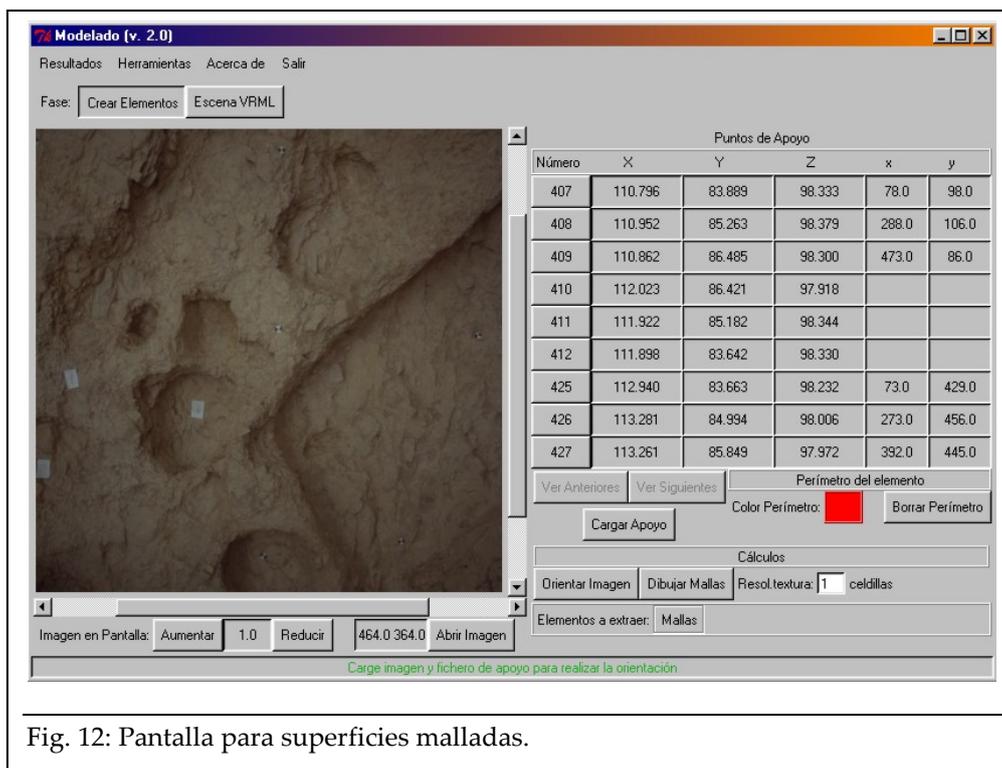


Fig. 12: Pantalla para superficies malladas.

Como se puede apreciar en cualquiera de estos dos últimos casos lo que se hace es generar elementos .ele y .jpg que pueden unirse en una escena VRML con el módulo de generar escenas que no ha variado de la versión anterior.

Finalmente, comentar que se ha añadido un menú de [Herramientas], parte superior izquierda, que incluye una aplicación que permite la conversión de formato 3dcaras en .dxf de Autocad® 2000 a VRML, esto es útil para complementar el modelo fotográfico con elementos diseñados externamente y de los cuales no se cuenta con imagen fotográfica.

Este menú de [Herramientas] permite también que en los métodos de elementos de revolución y superficies malladas, en vez de generar los archivos .ele y .jpg se marque simplemente la situación de los vértices sobre la imagen con el fin de comprobar si el proceso de orientación ha sido correcto.

**Bibliografía**

- BRYAN P.G., CORNER I., STEVENS D. (1999); Digital rectification techniques for architectural and archaeological presentation. *Photogrammetric Record*, 16(93); págs. 399-415.
- DICJ A., TORR P., CIPOLLA R. (2000); Automatic 3D Modelling of Architecture. *BMVC (The British Machine Vision Conference)*; 10 págs.
- EOS System Inc. (2000); *Photomodeler Pro 4.0. Manual de Usuario*. EOS System Inc.
- GÁMEZ I., MARTÍN M. (2001); *VRML Curso de Iniciación*. Inforbook's S.L. Barcelona; 415 págs. ISBN: 84-95318-70-9
- GHOSH S.K. (1987); *Analytical Photogrammetry*. Pergamon Press, New York; 308 págs. ISBN: 0-08-036103-X.
- GRUBER M., PASKO M., LEBREL F. (1995); Geometric versus texture detail in 3D models of real world buildings. En *Automatics extractions of man made objects*. Monte Veritas. Birkhäuser Verlag Basel; págs. 189-198. ISBN: 3-7643-5264-7.
- HEUVEL F.A. (2001); Object reconstruction from a single architectural image taken with an uncalibrated camera. *Photogrammetric Fernerkundung Geoinformation, Vol 4*; págs. 247-260.
- KINDLE J.H. (1970); *Geometría Analítica*. Colección Schaum, Mc. Graw Hill. México; 150 págs. ISBN: 0-07-09610-1.
- KWON Y.H. (2001); *DLT method*. <http://www.kwon3d.com/index.html> [consulta: junio de 2002].
- WILLIAMSON J.R., BRILL M.J. (1990); *Dimensional Análisis Through Perspective, a reference manual*. ASPRS, Iowa; 256 págs. ISBN 0-8403-5673.
- ZIZHUO W. (1990); *Principles of photogrammetry (with remote sensing)*. Press of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping. Beijing; 575 págs. ISBN: 7-81030-000-8/P.

**Anexo I: Notas**

- Para ver los resultados que se van obteniendo, hay que visualizar la pantalla de resultados: [Resultados] [Mostrar Pantalla], esta es una pantalla de texto desde la que se pueden coger los resultados y guardarlos en otros archivos.
- Cuando se observa la imagen con un factor de zoom en el que la imagen es menor en alguna de sus dimensiones que el tamaño de la ventana, no se pueden marcar coordenadas (en la ventana donde se presenta la posición del cursor aparece el tamaño de la imagen).
- Los sistemas de coordenadas tridimensionales utilizados son directos con sentido de giros contrarios al movimiento de las agujas del reloj.
- Para evitar problemas de cálculo (singularidades), es interesante que las coordenadas de los puntos de apoyo no sean valores enteros (0, 8, -7, . . . ); cuando las coordenadas provienen de medidas topográficas no suele haber problemas, pero pueden surgir cuando se utilizan medidas aproximadas (dimensiones de 5x2x3 m, por ejemplo); una posible solución es añadir una parte decimal aleatoria por debajo de las precisiones esperables (pasar de coordenadas (3,5,4) y (3,5,0) a (3'01, 5'02, 3'98) y (2'99, 5, 0'01)).
- Se obtienen mejores resultados en los casos de los diferentes elementos si se marcan los puntos que forman parte de la proyección sobre las esquinas de un perímetro ya dibujado en vez de calcular la proyección y posteriormente dibujar el perímetro (en el caso de que los puntos que sirven para calcular la proyección pertenezcan también al perímetro).
- Para borrar unas coordenadas imagen incorrectas hay que pulsar dos veces el botón correspondiente al punto en la lista de puntos de apoyo.
- Cuando se importan ficheros .scr en Autocad® debe deshabilitarse la referencia a objetos para que los puntos se sitúen en los valores numéricos del fichero y no se asignen a puntos próximos ya dibujados.
- El separador decimal de los ficheros de entrada y salida es el punto “.”.



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**

Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarias  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).  
Tfno: +34 945 013222 / 013264  
e-mail: [jm.valle@ehu.es](mailto:jm.valle@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>



UPV EHU