

RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL A PARTIR DE CONTORNOS BIDIMENSIONALES. PROTOTIPO DE LA HERRAMIENTA PINTCO VERSIÓN 1.0

por

J. D. Gil¹, Y. Torres² & A. Plata²

Resumen

Gil, J. D., Torres Y., & A. Plata.: Reconstrucción tridimensional a partir de contornos bidimensionales. Prototipo de la herramienta PINTCO versión 1.0. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(92): 393-399, 2000. ISSN 0370-3908.

Las técnicas avanzadas de adquisición y procesamiento de señales y la capacidad de las nuevas herramientas para obtener imágenes bidimensionales de una estructura, proveen la información básica sobre los contornos que conforman la estructura. Esta información unida a los conceptos de representación y simulación de espacios tridimensionales condujo al desarrollo del prototipo PINTCO. Este sistema permite la reconstrucción tridimensional y la visualización de la estructura como lo mostramos en este trabajo. El usuario puede también efectuar características paramétricas de cortes bidimensionales específicos de la estructura tales como distancias entre puntos, áreas y perímetros de objetos, por ejemplo.

Palabras clave: Óptica, reconstrucción de imágenes, procesamiento de imágenes, prototipo de software.

Abstract

The advanced techniques of acquisition and signal processing and the capacity of the new devices to obtain successive two-dimensional images of a structure, provides the basic information about the contours that compose the structure. This information together with representation concepts and simulation of three-dimensional spaces led to the development of the prototype PINTCO. This system allows the three-dimensional reconstruction and visualization of the structure, as we show in this paper. The user can also carry out parametric characteristics of specific two-dimensional cross sections of the reconstructed structure such as distances between points, areas and perimeters of objects.

Key words: Optics, image reconstruction, image processing, software prototype.

1 Escuela de Ingeniería de Sistemas, Informática y Computación, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga, Colombia.

2 Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales, Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga, Colombia. E-mail: ytorres@uis.edu.co

1. Introducción

En un trabajo previo^[1,2], se ha diseñado y construido un sistema de microscopía asistida por computadora que permite obtener los contornos cerrados de objetos tales como poros, gargantas o granos en una muestra de arenisca. Dichos contornos son un conjunto de curvas de nivel que representan cada objeto específico, y se obtienen a partir de cortes a diferentes alturas realizados sobre la muestra. Con base en dichos contornos es posible obtener una descripción paramétrica, estructural o morfológica de la muestra bajo análisis.

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema software capaz de emplear tal información sobre el objeto para reconstruirlo tridimensionalmente. Los algoritmos del sistema permiten además la visualización, manipulación y análisis del objeto reconstruido.

2. Reconstrucción tridimensional a partir de contornos bidimensionales

El contorno entregado por el sistema de microscopía asistida por computadora se representa empleando la sarta o código de Freeman^[3], el cual especifica el punto inicial $P(x, y)$ del contorno y un vector, cuyas componentes tendrán valores enteros entre 1 y 7. Tales componentes determinan la ubicación del siguiente pixel del contorno. Así, un contorno no es más que el polígono irregular que se obtiene al unir los puntos cuyas coordenadas se obtienen usando el código de Freeman.

Ya que pueden existir varios contornos en un mismo nivel Z (altura en la muestra microscópica), es necesario clasificarlos, asignándoles un número N_p a cada uno de ellos. El valor de N_p asociado a un contorno específico corresponde al número de contornos que lo envuelven (Figura 1).

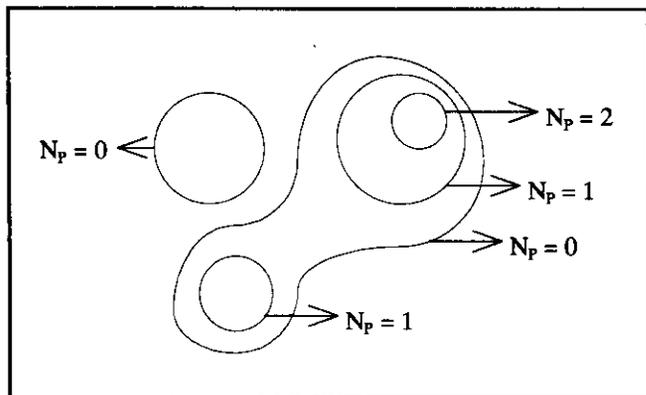


Figura 1. Nivel de pertenencia (N_p).

Adicionalmente, es necesario aplicar una regla de correspondencia entre contornos localizados en niveles consecutivos Z_k y Z_{k+1} . El procedimiento es el siguiente:

- Ordenar los contornos de menor a mayor según el nivel.
- Determinar el nivel de pertenencia de cada contorno $N_p(C_i)$.
- Calcular el área encerrada por cada contorno (C_i).
- Comparar el área de cada contorno en el nivel Z_k con la de los contornos en el nivel Z_{k+1} y dibujar el contorno que encierre el área mayor.

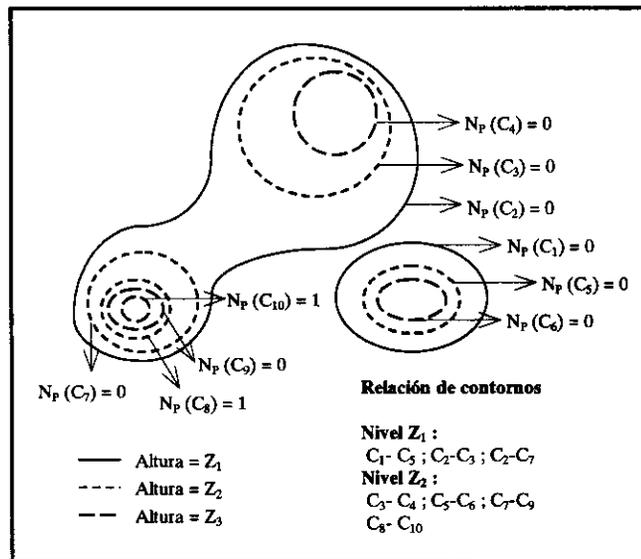


Figura 2. Correspondencia de contornos.

e) Recorrer el contorno dibujado pero empleando las coordenadas del contorno que encierra el área menor. Si existe un porcentaje elevado (superior al 80%) de puntos del contorno menor incluidos en el contorno mayor o en su interior, y el nivel de pertenencia N_p de ambos contornos es igual, se dice que los dos contornos son correspondientes (Fig. 2).

Ahora bien, para la generación del objeto es necesario que todos los contornos inicien en posiciones homólogas y sean generados en el mismo sentido. Por lo tanto:

- El punto inicial de cada contorno se define como el punto horizontal más a la derecha de su centroide. Esta definición homóloga los puntos iniciales, y se requiere puesto que, a la salida del sistema CAM, un punto cualquiera del contorno puede ser el punto inicial.

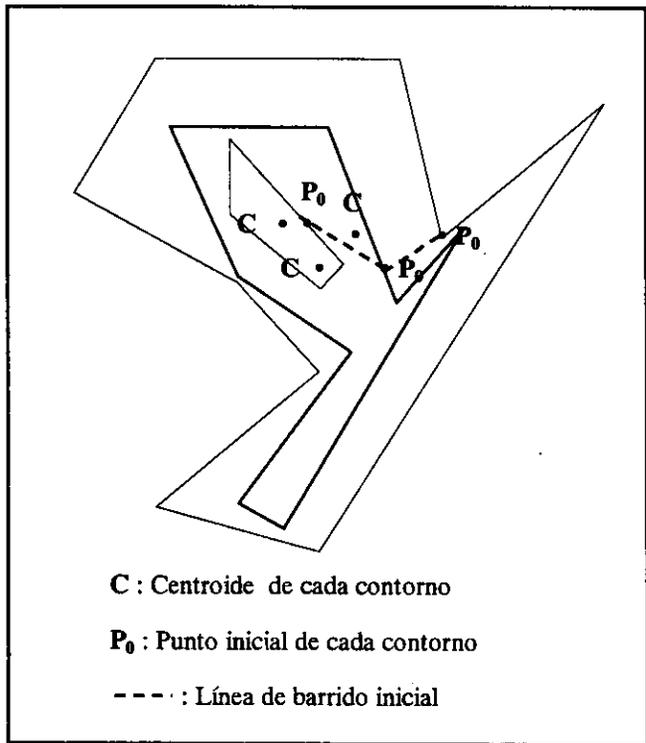


Figura 3. Línea de barrido inicial.

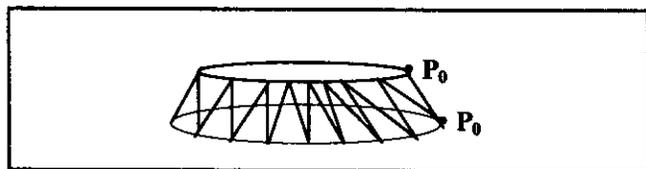


Figura 4. Malla entre contornos correspondientes.

- Todos los contornos deben poseer el mismo sentido de generación. Nuestro prototipo utiliza el sentido horario.

Estas condiciones permiten determinar la línea de barrido inicial (Figura 3), que resulta al enlazar los puntos iniciales P₀ de contornos correspondientes. Dicha línea de barrido inicial permite, a su vez, generar la malla que enlaza los contornos consecutivos (Figura 4), permitiendo visualizar el sólido correspondiente al objeto reconstruido (Fig. 5).

Para crear esta malla es necesario seleccionar la misma cantidad de puntos p'_i en todos los contornos. Así, cada punto de un contorno tendrá un punto homólogo en el contorno correspondiente, situado en el siguiente nivel.

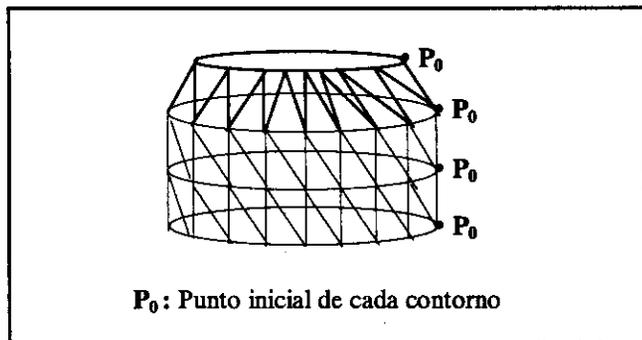


Figura 5. Enmallado para la generación de un sólido.

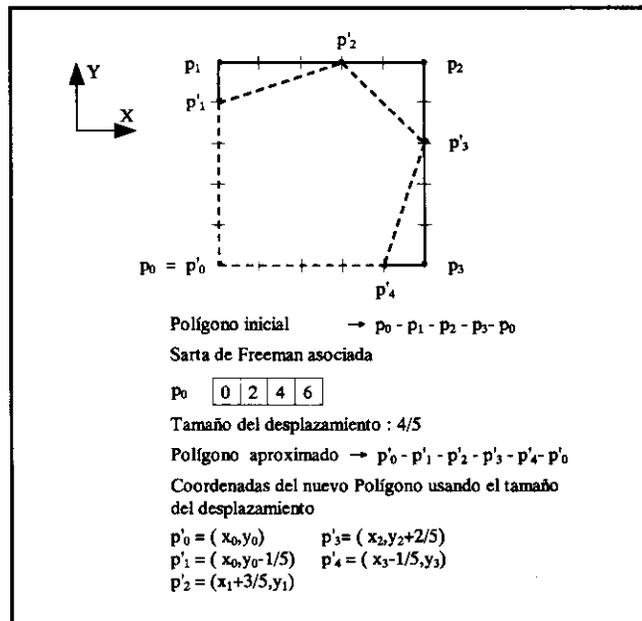


Figura 6. Uso de la sarta de Freeman en el cálculo de nuevos puntos.

Con tal fin se aplica el siguiente algoritmo de interpolación bidimensional x-y (Fig. 6):

- Definir el número N de puntos p_i que constituyen los vértices de cada contorno.
- Obtener sus coordenadas (x, y) empleando el código de Freeman.
- Calcular la longitud del contorno L y el tamaño del desplazamiento (L/N) para determinar los puntos seleccionados p'_i para la construcción de la malla.
- Obtener las coordenadas de los puntos p'_i a partir de los puntos p_i, las direcciones dadas en la sarta de

Freeman y el tamaño del desplazamiento, comenzando el recorrido en el punto inicial P_0 del contorno.

Una vez determinados los puntos p'_i en todos los contornos, se enlazan los homólogos. De esta manera se genera la malla, conformada por pequeños planos (componentes del sólido reconstruido) que serán analizados y proyectados en el monitor.

El número de contornos suministrados para hacer reconstrucción está en función de la resolución axial (eje z); pero generalmente por razones prácticas en la adquisición de datos, el paso de muestreo es más grande que el óptimo (criterio de Nyquist); lo que hace necesaria la creación de contornos intermedios, por métodos de interpolación. Con tal fin, se pueden utilizar las proyecciones de los contornos en los planos $x-z$ y $y-z$ (Figura 7) a los cuales se les aplica el algoritmo de aproximación B-spline⁽⁴⁾ bidimensional en cada plano para obtener nuevas coordenadas (x_i, z_i) , (y_i, z_i) . Promediando las z_i correspondientes, se obtienen las coordenadas (x_i, y_i, z_i) de los vértices de los contornos intermedios así generados.

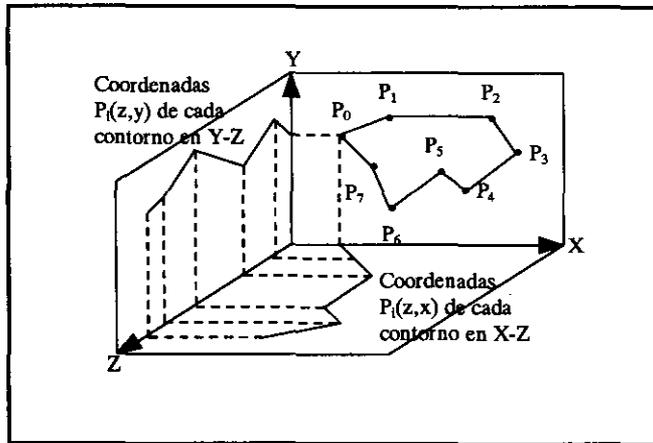


Figura 7. Obtención de los puntos para su aproximación 3D.

Si este procedimiento no se aplica, la resolución tridimensional sería bastante limitada ocasionando discontinuidades en la representación; que además de ser poco agradables a simple vista para el usuario, no permitiría manipular el sólido ni efectuar análisis 3D como, por ejemplo, obtención de contornos sintéticos.

3. Representación de objetos tridimensionales

Puesto que el monitor de la computadora es un espacio bidimensional, no es posible visualizar objetos tridimensionales en él, pero si es posible proyectarlos. La Figura 8 muestra la proyección central, usualmente aplicada en computación gráfica. El problema es determinar la proyección de un punto objeto, ubicado en cualquier lugar del espacio tridimensional, sobre un plano de este espacio, llamado plano imagen (pantalla del monitor).

Aplicando una relación de triangulación se obtienen las siguientes coordenadas de proyección⁽⁵⁾:

$$X = \left(\frac{z_0}{z_0 - z} \right) x = \left(\frac{1}{1 - \frac{z}{z_0}} \right) x, \quad (1)$$

$$Y = \left(\frac{z_0}{z_0 - z} \right) y = \left(\frac{1}{1 - \frac{z}{z_0}} \right) y$$

Así, un sólido situado en este espacio virtual está constituido por pequeños planos. Estos son el elemento primordial de la simulación y su proyección en el plano imagen es el enlace entre el mundo virtual tridimensional y el usuario.

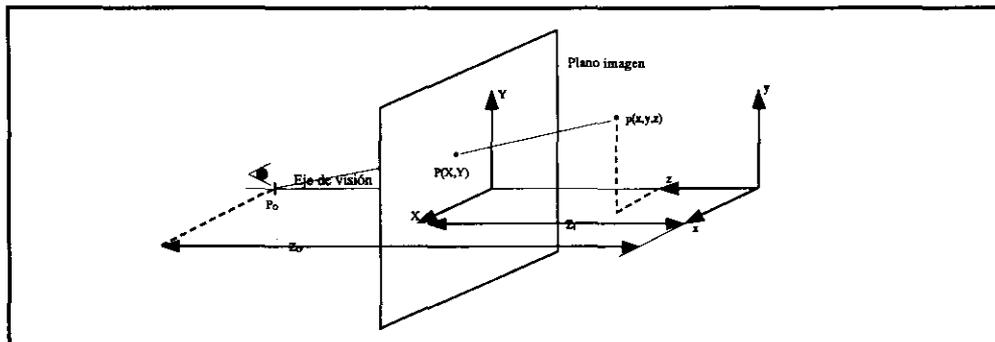


Figura 8. Proyección central de un punto $p(x,y,z)$ sobre el plano imagen.

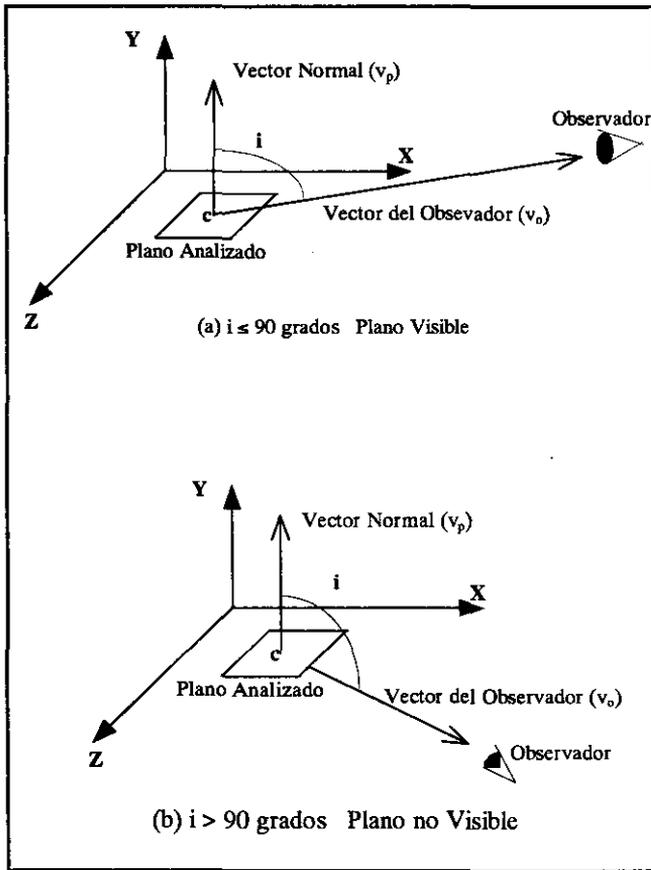


Figura 9. Análisis de visibilidad.

Uno de los pasos cruciales en la representación es determinar las partes del sólido virtual visibles para el observador. Ello se logra a partir de un análisis o prueba de visibilidad^[4,5] a cada uno de los planos elementales (Figura 9).

Otro aspecto de importancia en la representación tridimensional es el análisis o prueba de tonalidad^[4,5], que da lugar al procedimiento de coloreado. Su resultado es la definición del tono del color escogido para plano. La prueba consiste en:

- Asignar al plano analizado un vector normal v_p .
- Determinar el centroide c del plano y, con base en las coordenadas de ubicación de la fuente de luz respecto al centroide, asignar al plano un nuevo vector v_r .
- Calcular el ángulo i entre los vectores v_p y v_r .
- Si el ángulo $i \leq 90$ grados el tono del color variará de blanco para $i = 0$ grados hasta el color puro para $i = 90$ grados.

- Si el ángulo $i > 90$ grados el tono del color variará del color puro para $i = 90$ grados, hasta el color negro para $i = 180$ grados.

Por último, el procedimiento para proyectar un sólido en el plano imagen es el siguiente:

- Aplicar las pruebas de visibilidad y de tonalidad a cada uno de los planos componentes.
- Determinar las proyecciones de cada plano en el plano imagen.
- Hallar la distancia del centroide de cada plano al observador.
- Ordenar en forma decreciente las proyecciones de cada plano según la distancia del centroide al observador.
- Dibujar en el plano imagen las proyecciones obtenidas en el orden generado usando las siguientes condiciones:

Si el plano es visible dibujar su proyección en el tono obtenido en la prueba de tonalidad.

Si el plano no es visible entonces se multiplica su respectivo vector normal v_p por -1 de tal forma que se analiza la cara visible del plano volviendo a realizar la prueba de tonalidad. Por último se dibuja la proyección con su respectivo tono de color.

Todo el procedimiento anterior se aplica siempre que el sólido generado realice un movimiento de traslación, rotación, o ambos.

Para generar y visualizar la línea de corte entre un sólido y un plano elemental se debe verificar si cada uno

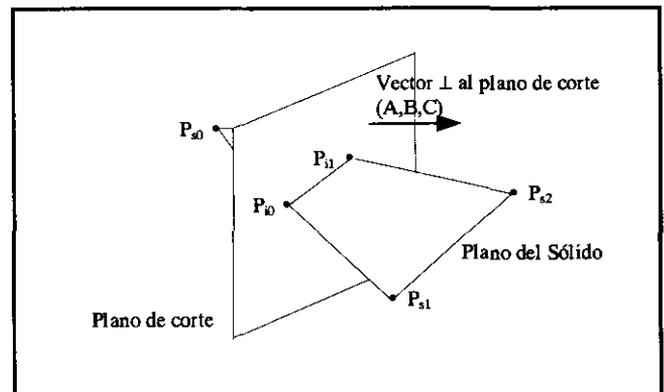


Figura 10. Intersección del plano de corte con un plano elemental.

de ellos corta el plano de corte, calcular los puntos de intersección (P_{30} y P_{11} , Figura 10) y por último proyectarlos en el monitor como una línea al mismo tiempo que se proyecta su respectivo plano elemental.

4. Prototipo PINTCO. Primera versión

La versión 1.0 fue realizada en lenguaje de programación Visual Basic 5.0™ y es portable en plataformas Windows 3.x™ o superiores. El sistema utiliza un archivo tipo texto de entrada con la siguiente estructura:

- Un encabezado con la unidad de medida y el factor de escala de los contornos
- A continuación todos los contornos, uno en cada línea en el formato, con las siguientes especificaciones:

nivel del contorno,

coordenadas del primer punto,

número de componentes del vector de Freeman,

vector de Freeman propiamente dicho.

El prototipo está compuesto por tres módulos, a saber: módulo del sólido, módulo de manipulación y módulo de cálculo. Las funciones de cada uno de los módulos están descritas en la figura 11.

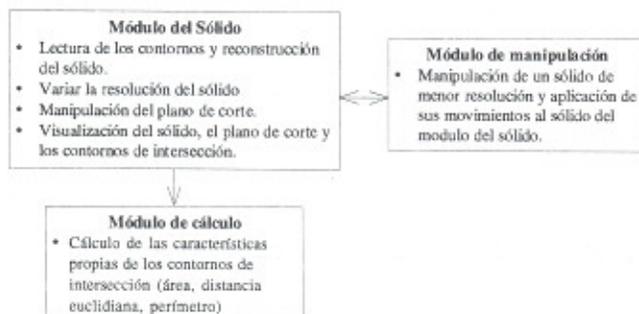


Figura 11. Esquema general de PINTCO.

La Figura 12 muestra un ejemplo de una imagen tridimensional reconstruida usando el módulo del sólido. Este módulo permite realizar variaciones en la resolución, cortes al sólido (incluso cortes sintéticos) y su visualización, mediante los botones en la parte superior. El módulo de manipulación (ventana pequeña) permite realizar movimientos de traslación y rotación sobre el objeto, utilizando los botones a la derecha.

La Figura 13 presenta el módulo de cálculo, el cual recibe la información del módulo del sólido relacionado



Figura 12. Módulo de Manipulación (ventana pequeña) y módulo del sólido.

con los cortes bidimensionales a ser aplicados sobre el sólido, y realiza la detección de contornos cerrados, áreas y perímetros, además de evaluar distancias euclidianas entre puntos preseleccionados sobre el contorno.

5. Resumen y conclusiones

En este trabajo se ha presentado el primer prototipo de software para la reconstrucción y análisis tridimensional a partir de un conjunto de contornos bidimensionales del objeto.

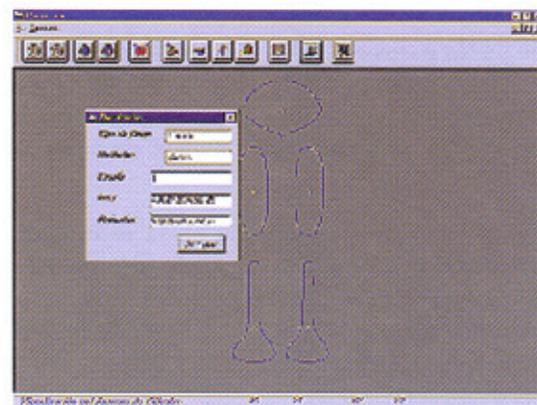


Figura 13. Módulo de Cálculo.

La reconstrucción tridimensional permite una interacción más real del usuario con el objeto. El usuario puede manipular y obtener desde cualquier ángulo de visión una perspectiva del objeto reconstruido. El proceso de interpolación permite mejorar la calidad estructural del sólido. Dicho proceso puede ser invocado a voluntad por el usuario.

Cortes bidimensionales sintéticos pueden ser obtenidos por el usuario de una manera sencilla y precisa. Estos cortes se realizan sobre el objeto en zonas donde no ha sido posible realizarlos físicamente por razones de manipulación de la muestra. Cada corte cerrado es parametrizado automáticamente (determinación de su perímetro y del área que encierra). Para cortes no cerrados, el usuario puede calcular las características específicas del corte.

Con la base teórica desarrollada se puede ampliar un segundo prototipo que sea capaz de fraccionar el sólido en objetos tridimensionales, a los cuales se les podrán calcular características como su volumen, su superficie, etc.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Colciencias y a la DIF de Ciencias de la Universidad Industrial de Santander por su ayuda financiera.

Referencias

1. E. I. Gómez y Y. Torres. 1993. "Técnicas de reconstrucción de contornos en microscopía asistida por computador", Anales XV Congreso Nacional de Física, Armenia, Colombia, septiembre 6-10, p. 243-246.
2. L. Beleño, Y. Torres, D. Colegial & J. Guerrero, 1999. "Segmentation technique for microscopic images sandstones", to appear in Proceedings SPIE Vol. 3572.
3. L. E. Ibáñez, O. Gualdrón and Y. Torres. 1993. "Computer Assisted Microscopy Applied to Rock Porosity Measurement", Óptica Pura y Aplicada, Vol. 26, p.703.
4. Jhon R. Rankin. 1989. Computer Graphics Software Construction, Prentice Hall.
5. Wolfgang K. Golob. 1978. Interactive Computer Graphics, Prentice Hall.