

XIII ADM - XV INGEGRAF
Congreso International sobre



INGEGRAF

**HERRAMIENTAS Y METODOS EN
DISEÑO DE INGENIERÍA**



Cassino, 3 de Junio del 2003
Napoli, 4 y 6 de junio del 2003
Salerno, 5de junio del 2003

**Ampliación del método de inflado axonométrico
para la reconstrucción de poliedros**

J. Conesa⁽¹⁾, P. Company⁽²⁾, A. Piquer⁽²⁾ y N. Aleixos⁽²⁾

⁽¹⁾Universidad Politécnica de Cartagena
Departamento de Expresión Gráfica
julian.conesa@upct.es

⁽²⁾ Universidad Jaume I de Castellón
Departamento de Tecnología
mondrago@tec.uji.es;

SUMARIO

El método de inflado axonométrico permite la reconstrucción directa de modelos tridimensionales a partir de dibujos lineales de poliedros ortogonales o cuasi-ortogonales (de tipologías normalón y cuasi-normalón). Sin embargo dicho método no es válido cuando el dibujo del modelo cuasi-normalón está formado por varios grafos no conexos. En este trabajo se presenta un algoritmo capaz de conectar de forma adecuada dichos grafos permitiendo de esta forma su reconstrucción mediante inflado axonométrico. Esta mejora supone un importante avance en el rango de modelos que pueden ser reconstruidos de manera directa.

Palabras clave: Reconstrucción geométrica, Dibujo lineal, Dibujos axonométricos y Modelado Geométrico.

ABSTRACT

The axonometric inflation approach allows a direct reconstruction of three-dimensional models from line drawings of orthogonal or quasi-orthogonal polyhedra (i.e. normalon and quasi-normalon typologies). However, such approach is not valid whenever the drawing of the quasi-normalon model is made of various non-connected graphs. In this work, we present an algorithm able to connect in a proper way such graphs, allowing in this way its reconstruction by means of axonometric inflation. This improvement implies an important advance in the range of models that can be reconstructed in a direct way.

Key words: Geometrical Reconstruction, Line drawings, Axonometric drawing and Geometrical Modeling.

1. Introducción

Este trabajo pertenece al campo de la reconstrucción geométrica, que tiene como objetivo la obtención automática de modelos tridimensionales a partir de dibujos lineales. La reconstrucción geométrica, que forma parte del área de la Visión por Computador, tiene sus orígenes hace más de 30 años con el trabajo pionero de Roberts [Roberts 1963]. La evolución posterior puede seguirse en los trabajos de Sugihara [Sugihara 1986], Nagendra y Gujar [Nagendra 1988] y Wang y Grinstein [Wang 1993]. Cabe destacar que Los métodos de reconstrucción geométrica han sido clasificados en función de la entrada. Dicha entrada puede estar constituida por dos o más dibujos lineales que usualmente se corresponden con vistas ortográficas del modelo (métodos de vistas múltiples) [Gujar 1989], o por un sólo dibujo lineal que suele corresponder con una vista axonométrica del modelo (métodos de vista única) [Leclerc 1992]. Nuestro trabajo se centra en los algoritmos de reconstrucción de vista única.

También la salida del algoritmo ha servido para clasificar los métodos de reconstrucción. Los modelos geométricos tridimensionales obtenidos, pueden ser representaciones CSG (Geometría Constructiva de Sólidos) o representaciones B-rep (modelos de fronteras, y como caso particular, representaciones alámbricas).

Para permitir salidas hacia otros programas comerciales, hemos implementado formatos de salida para exportar el modelo resultante como un modelo alámbrico (dxf), como un modelo de superficies (vrml) y como un modelo b-rep (step).

1.1 Tipología Normalón y cuasi-normalón

Una conclusión que empieza ser ampliamente aceptada es que la eficiencia del método de reconstrucción depende de la tipología del modelo que vaya a ser reconstruido. Por ello, este trabajo se centra en los poliedros “casi” ortogonales. Los hemos denominado de tipología cuasi-normalón. Este nombre parte de la definición dada por Dori [Dori 1995], que clasifica un polígono (2D) como normalón cuando todas sus esquinas son ortogonales. Dicho de otro modo, todas las aristas del modelo normalón que se cortan en un vértice forman entre sí 90° , definiendo así las direcciones de un triedro ortogonal (figura 1).

Entonces, decimos que un modelo es de tipología cuasi-normalón, si puede ser reducido a un modelo normalón (normalón equivalente) eliminando todas las aristas no paralelas al triedro ortogonal, sin que ello suponga la pérdida de ningún vértice del modelo [Conesa 2001][Company 2001] (figura 2).

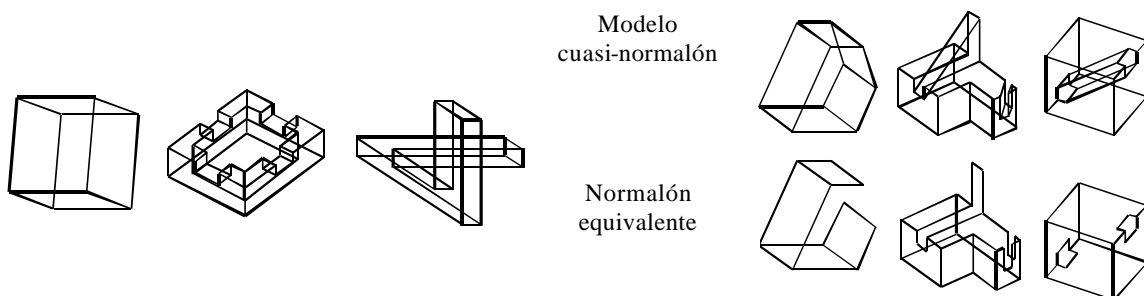


Figura 1. Modelos tipología normalón Figura 2. Modelos de tipología cuasi-normalón

1.2 Requerimientos para la aplicación del método de inflado.

La operatividad de nuestra implementación del método de inflado axonométrico puede verse en [Conesa 1999]. Como antecedentes mas cercanos al método podemos citar a Kanatani [Kanatani 1986] y Lamb y Bandopadhyay [Lamb 1990].

En su estado actual, el algoritmo esta basado en el recorrido de un árbol ortogonal definido por vértices de valencia 3 (número de arista que concurren en un vértice), a los que denominamos vértice centrales. Por tanto, no es precisa la información sobre las caras definidas en el modelo, y la única restricción existente, es la existencia de los vértices centrales. Desde dicho árbol debe existir conexión con el resto de vértices de valencia menor que 3 (vértices laterales). La valencia de los vértices laterales es irrelevante. Es decir, el método puede ser aplicado siempre que pueda definirse un árbol formado por vértices centrales, desde el que pueda accederse al resto de vértices laterales.

En otras palabras, el inflado axonométrico puede ser aplicado a modelos de tipología cuasi-normalón en los que pueda definirse un árbol de propagación. Por extensión, el método también puede ser aplicado a modelos de tipología cuasi-normalón (como el que se muestra en la figura 3), en los que la eliminación temporal de las aristas no paralelas a las tres direcciones principales dan como resultado un modelo normalón (normalon equivalente) en el que pueda definirse el árbol de propagación. La transformación de un modelo cuasi-normalón a normalón equivalente deberá verificar a) ningún vértice desaparece como consecuencia de la eliminación y b) todos los vértices del grafo quedan conectados (grafo conexo).

En la figura 3, el árbol de propagación comienza en el vértice 10, a partir del cual pueden determinarse las coordenadas de los vértices 5, 7 y 9. Entonces, el vértice 9 se convierte en el nuevo vértice central. Desde él, pueden ser calculadas las coordenadas de los vértices 8 y 11. Sin embargo, el proceso no puede continuar desde los vértices 8 y 11, dado que estos no pueden ser vértices centrales por ser su valencia 2. La evaluación continua por el resto de vértices que estaban conectados al vértice 10. Desde el vértice 5, se determinan las coordenadas de los vértices 3 y 6. Entonces hacemos vértice central 6, obteniendo la coordenada del vértice 4. Un nuevo movimiento haciendo vértice central 4 nos permite determinar la coordenada del vértice 2. Por último la coordenada del vértice 1 puede ser determinada haciendo 3 vértice central, concluyendo la definición de modelo.

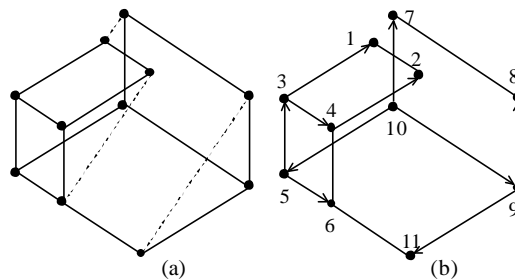


Figura 3. Transformación de a) cuasi-normalón, a (b) normalón por eliminación de aristas, y árbol de propagación, en el que todos los vértices centrales son de valencia 3.

Sin embargo algunos modelos de tipología cuasi-normalón no pueden ser reconstruidos a pesar de su transformación a normalón equivalente porque algunos de sus vértices laterales no son accesibles desde los vértices centrales del árbol de propagación. Este es el caso que se muestra en la figura 4b donde el vértice 3 solo esta conectado al vértice 4 que no puede ser vértice central dado que su valencia es dos. Los mismo ocurre con el vértice 7 por estar solo conectado al vértice 6. En estos casos, se asume que el modelo corresponde a una representación normalón, por lo que se añaden aristas ficticias en todos aquellos vértices laterales que se precisa convertir en vértices centrales. Estas aristas ficticias son definidas de longitud unidad y orientadas de acuerdo con las direcciones principales que no aparecen en el vértice lateral. En la figura 4c, se han

definido las aristas ficticias, F1 en el vértice 4, F2 en el vértice 12 y F3 en el vértice 6, haciendo estos vértices centrales.

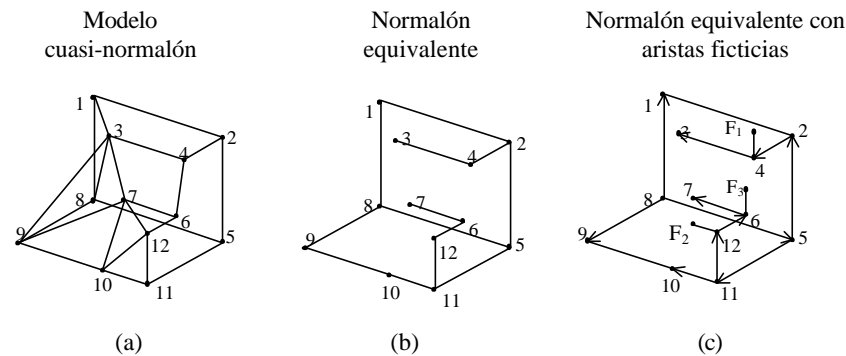


Figura 4: Modelo cuasi-normalón no evaluable

Otro requerimiento para que el modelo pueda ser reconstruido es que el grafo sea conexo, es decir, que todos los vértices de grafo sean accesibles desde cualquier otro vértice. Sin embargo, la obtención del normalón equivalente de un modelo de tipología cuasi-normalón, no garantiza que grafo resultante sea conexo. Por ello hemos diferenciado, dentro de los modelos de tipología cuasi-normalón, dos clases: clase 1, si tras su transformación a normalón, el grafo sigue siendo conexo, y clase 2, si tras su transformación a normalón el grafo ha dejado de ser conexo. En la figura 5 se muestran algunos modelos de los que hemos definido de tipología cuasi-normalón clase 2.

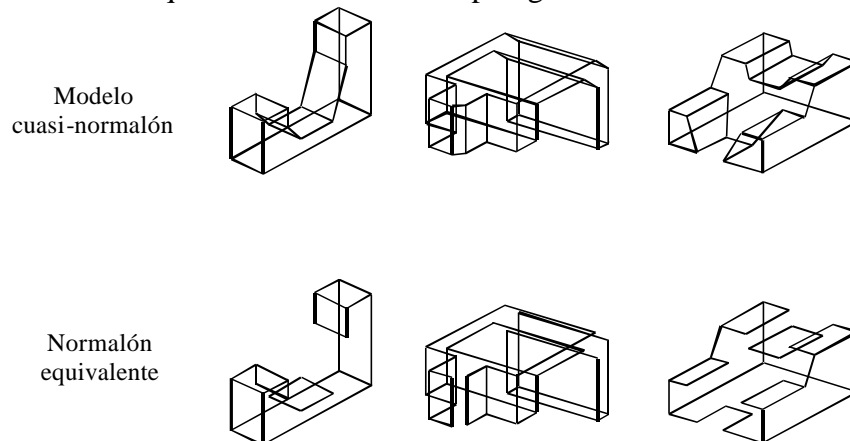


Figura 5. Algunos modelos de tipología cuasi-normalón clase 2

2. Aplicación del método de inflado axonométrico a modelos de tipología cuasi-normalón clase 2.

Nuestro método consiste básicamente en unir los grafos que han quedado aislados como consecuencia de la transformación a normalón equivalente. La unión de los grafos no puede realizarse de una manera arbitraria, sino que deberá verificar:

- Que las aristas de unión sean paralelas a las direcciones que definen el triedro ortogonal (para asegurar que el método de inflado axonométrico pueda propagarse).
- Que las aristas de unión y los vértices que se utilicen para conectar los grafos sean coplanarios, para asegurar la posición relativa de los distintos grafos una vez reconstruidos.

2.1 Nuestro algoritmo.

El algoritmo puede ser considerado como un pre-proceso de reconstrucción en el que el dibujo lineal de partida es modificado para asegurar la propagación del inflado axonométrico.

El algoritmo se realiza en las siguientes fases:

1. La primera fase tiene como objetivo seleccionar una arista proyectante que enlace los grafos independientes resultantes de la transformación a normalón equivalente. Entre el conjunto de aristas candidatas, la selección se realiza de forma arbitraria, si bien esto no supone pérdida de generalidad del método (figura 6a).
2. En esta segunda fase el objetivo del algoritmo es sustituir la arista proyectante por dos aristas que resulten paralelas al triedro ortogonal, creando un nuevo vértice en el grafo de partida. Nuestro problema se centra en seleccionar las dos direcciones a tomar de las tres posibles del triedro ortogonal.

La elección de las direcciones viene condicionada por el criterio de coplanaridad. Es decir, deben existir aristas en el modelo paralelas a dos direcciones del triedro que sean coplanarias con la arista proyectante. Dicho criterio de coplanaridad nos obliga a detectar caras a partir de la información contenida en la imagen para lo que utilizamos una versión adaptada del algoritmo de Courter y Brewer [Courter 1986]. Pese a que un fallo en la detección de caras invalida el método propuesto de reconstrucción de cuasi-normalones de clase 2, no es objeto de este trabajo discutir el método de detección de caras. Baste decir que el método utilizado es rápido y eficiente en la mayoría de los casos ensayados.

El proceso comienza detectando una cara que contenga a la arista proyectante y al menos a dos aristas paralelas a dos direcciones del triedro principal. Esta es una condición necesaria y suficiente para que la arista proyectante pueda ser sustituida.

Determinada la cara el proceso de sustitución se realiza de acuerdo con los siguientes criterios:

- Si en los vértices de la arista proyectante concurren aristas paralelas a dos direcciones del triedro distintas entre sí, bastará con alargar las aristas convergentes hasta que se intercepten entre sí. En el ejemplo dado en la figura 6, se seleccionan las direcciones d_1 y d_2 , dado que las aristas a_1 y a_2 verifican el criterio expuesto, creándose dos nuevas aristas y un vértice, que sustituyen a la arista proyectante.

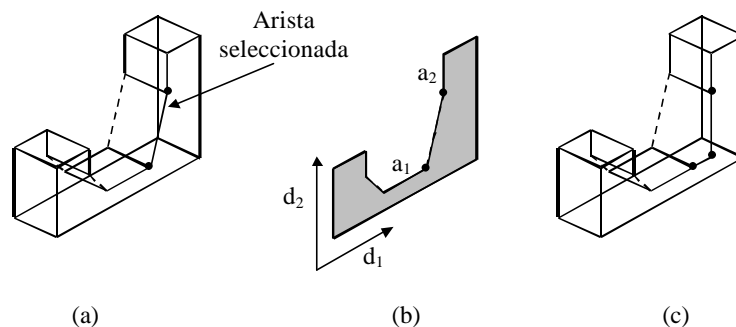


Figura 6. Sustitución de la arista según direcciones concurrentes en vértices

- Si en los vértices de la arista proyectante concurren aristas paralelas a una misma dirección del triedro ortogonal, se utiliza la dirección paralela al triedro no concurrente en el vértice de la arista proyectante para determinar el nuevo vértice (figura 7a y 7b). Nótese que en estos casos, son posibles dos

configuraciones válidas. La elección arbitraria de una de ellas no influye en la generalidad del método (figura 7c y 7d).

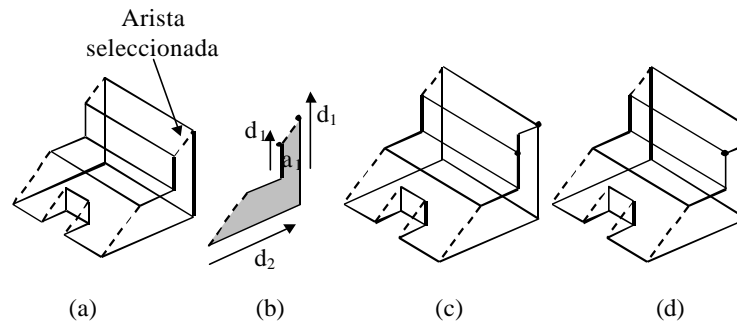


Figura 7. Elección de direcciones no concurrentes en vértices de aristas proyectantes

- Si en alguno de los vértices de la arista proyectante, no concurre ninguna arista paralela a las direcciones del diedro, por dicho vértice se trazará una arista paralela a la dirección del triedro que no existe en el otro vértice de la arista proyectante (Figura 8).

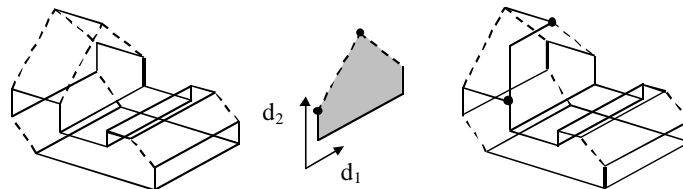


Figura 8. Sustitución de arista proyectante según dirección concurrente en un solo vértice

3. La tercera fase consiste en una simple comprobación de la tipología del modelo, que se ejecuta cada vez que una arista proyectante es sustituida por un par de arista paralelas al triedro ortogonal. A partir de dicha comprobación se siguen los siguientes pasos:
 - Si el nuevo modelo resulta de tipología cuasi-normalón clase 1, se reconstruye.
 - Si el nuevo modelo sigue siendo de tipología cuasi-normalón clase 2, se vuelve a ejecutar el paso 1 mientras queden aristas proyectantes en el modelo.

2.2 Ajuste del modelo reconstruido.

Una vez que el modelo ha sido convertido a una tipología que ha permitido su reconstrucción, y ha sido reconstruido, se precisa convertir el modelo a su forma inicial. Es decir, hay que eliminar las aristas y vértices creados, y añadir los vértices y aristas que fueron eliminados.

Es fácil comprobar que este proceso es inmediato, pues se reduce a una simple actualización de la base de datos.

2.3 Detección de las direcciones del triedro ortogonal.

En modelos de tipología normalón queda suficientemente claro que las direcciones del triedro ortogonal quedarán definidas por las tres únicas direcciones existentes en el dibujo lineal. Sin embargo, cuando el modelo es de tipología cuasi-normalón, se precisa de un algoritmo que sea capaz de percibir, de entre el conjunto de ternas de posibles direcciones, aquellas que “realmente” se corresponden con direcciones ortogonales en el

modelo. El problema no es geométrico, puesto que las limitaciones que la geometría proyectiva impone a la proyección de tres ejes ortogonales no son suficientes para resolverlo. El planteamiento está principalmente basado en las reglas de la percepción. Para ello hemos implementado un algoritmo de detección que determina dichas direcciones a partir de los siguientes criterios:

1. Frecuencia de las direcciones en el dibujo lineal. Este criterio ha sido aplicado como una particularidad de la idea propuesta por Lipson y Shpitalni [Lipson 1996] (the angular distribution graph, o ADG), dado que nuestro dibujo lineal de partida para la aplicación del inflado axonométrico, se trata de un dibujo lineal geoméricamente perfecto por haber sido tratado en un preproceso. De acuerdo con este criterio, se seleccionan aquellas direcciones que se repiten con una mayor frecuencia en el dibujo lineal.

Sin embargo este criterio no resulta suficiente como se pone de manifiesto en el modelo de la figura 9.

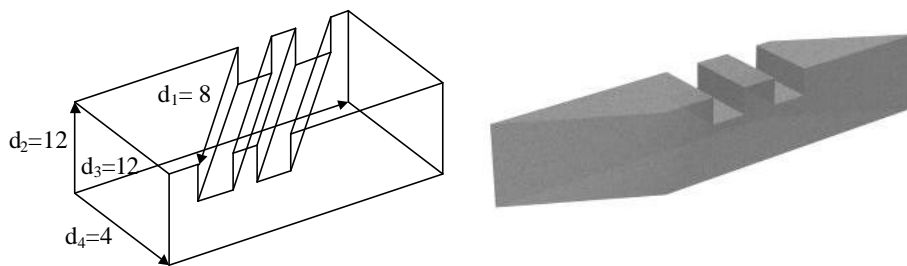


Figura 9. Detección de direcciones según la frecuencia con que se repiten

2. Exigencia proyectiva. Las direcciones deben corresponder a una proyección axonométrica. Dicho de otro modo, los ángulos que forman entre sí cada una de las direcciones deben ser inferiores a 90° [Perkins 1976].

Este criterio permite determinar correctamente las direcciones en un elevado número de modelos, sin embargo, y dado que las imágenes de partida provienen de un preproceso del dibujo lineal, puede ocurrir que pequeñas desviaciones en las aristas ocasionen errores como el que se muestra en el ejemplo de la figura 10; donde la arista 3 no ha quedado paralela a las aristas 8 y 12 tras el procesado del dibujo lineal.

3. Preferencia de la perspectiva isométrica. Este criterio establece que de entre todas las ternas que se verifiquen los criterios anteriores, se consideren como preferentes aquellas que correspondan con una proyección isométrica del modelo.

La aplicación de este criterio, permite reconstruir modelos como el mostrado en el boceto inicial de la figura 10. El resultado se muestra en la figura 11.

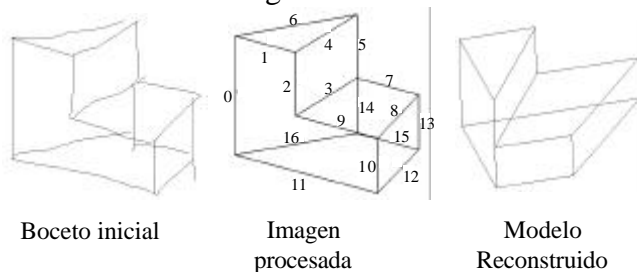


Figura 10. Detección de direcciones según la frecuencia y exigencia proyectiva

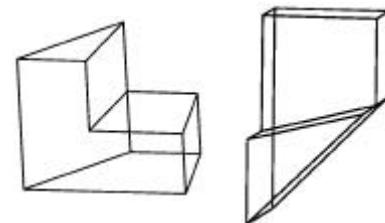


Figura 11. Detección de direcciones según todos los criterios

3. Resultados.

Cuando se parte de dibujos imperfectos (bocetos), el porcentaje de éxito depende de la bondad del dibujo lineal que se obtenga al preprocesar el boceto. No obstante, nuestros primeros resultados muestran que un boceto razonablemente bueno, tras un proceso de “limpieza” (tidying) simple, da lugar a modelos muy precisos (figura 12).

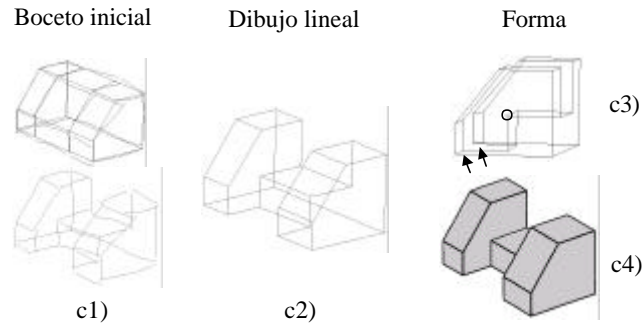


Figura 12. Cuasi-normalón de clase 1 bocetado y reconstruido por REFER

Finalmente, y dada la condición de coplanaridad precisa entre aristas proyectantes y arista paralelas a las direcciones del triedro ortogonal, el método no puede ser aplicado con generalidad a cualquier tipo de poliedro. En la figura 13 se muestra un ejemplo, donde los grafos independientes obtenidos tras la transformación a normalón equivalente, no pueden ser unidos dado que no se verifica la condición de coplanaridad que se precisaba para sustituir las aristas proyectantes.

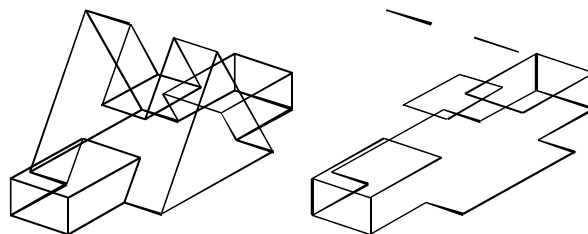


Figura 13. Modelo cuya tipología no puede ser definida del tipo cuasi-normalón

El único inconveniente significativo es que se precisa una detección previa de caras en el dibujo (es decir, en dos dimensiones), y esta tarea es compleja cuando el dibujo contiene tanto las aristas vistas como las ocultas, y sólo está resuelta en los casos más simples. En la figura 14 se muestra un caso de poliedro en el que la detección de caras basada en el método de Courter y Brewer falla. El fallo es debido a que el grafo que representa al objeto es “2D conectado”, es decir, que eliminando sólo dos aristas (la 1-2 y la 3-4) quedaría separado en dos grafos inconexos. Nuestra aplicación está preparada para detectar cuando un poliedro es “2D conectado” y determina las caras definidas mediante el algoritmo de Lipson y Shpitalni [Shpitalni 1996], que aunque supone un mayor coste computacional, da una solución válida.

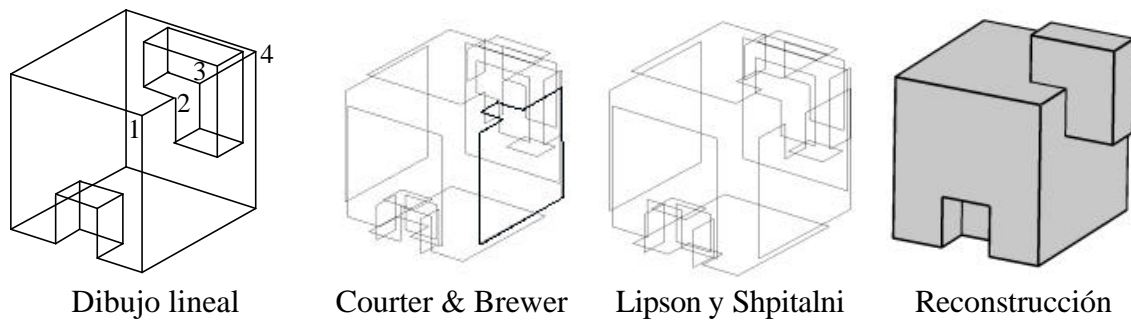


Figura 14. Fallos en la detección de caras de poliedros biconexos

4. Conclusiones

La introducción de los cuasi-normalones de clase 2, amplía de forma importante el conjunto de modelos que pueden ser reconstruidos por inflado axonométrico. Esto supone una ventaja, dado que el inflado axonométrico es un proceso más rápido y preciso que otros métodos de reconstrucción 3D (tales como la reconstrucción mediante optimización).

El único inconveniente significativo es que se precisa una detección previa de caras en el dibujo (es decir, en dos dimensiones), y esta tarea es compleja cuando el dibujo contiene tanto las aristas vistas como las ocultas, y sólo está resuelta en los casos más simples

El método se ha implementado en nuestro sistema REFER, y se está utilizando no sólo para mejorar la comunicación entre los diseñadores y los sistemas CAD comerciales, sino para entrenar a los nuevos diseñadores y proyectistas, es decir, para contribuir a la adquisición de visión espacial y la destreza en el bocetado para sintetizar nuevos diseños [Company 2003].

5. Agradecimientos

Este trabajo ha estado parcialmente financiado por la Fundació Caixa Castelló-Bancaixa, a través del programa de Proposición de la Investigación de la Universitat Jaume I (Proyecto P1-1B2002-08, titulado “Del boceto al modelo: nuevas interfaces de usuario para sistemas CAD”, “From sketch to model: new user interfaces for CAD systems”).

Bibliografía

Company, P., Conesa, J and Aleixos, N. Axonometric Inflation in Line Drawings Reconstruction. Regeo Technical Report 01/2001.

Company P.; Contero M; Piquer A; Conesa J., y Naya F. 2003. Aplicación docente de un programa de modelado 3D mediante bocetos axonométricos. XIII ADM - XV INGEGRAF. Pendiente de publicación.

Conesa J., Company P. and Gomis J.M. 1999. Initial Modeling Strategies for Geometrical Reconstruction Optimization-Based Approaches. 11th ADM International Conference on Design Tools and Methods in Industrial Engineering. Conference Proceedings. Volume A, pp. 161-171.

Conesa, J. Tesis Doctoral Reconstrucción Geométrica de Sólidos utilizando técnicas de optimización. Universidad Politécnica de Cartagena. Nov 2001 (in spanish only).

Courter S.M. and Brewer J.A. Automated Conversion of Curvilinear Wire-Frame Models to Surface Boundary Models: A Topological Approach. *Comm. of ACM*, Vol. 20 (4). pp. 171-178. 1986.

Dori D. 1995. From engineering drawings to 3D CAD models: are we ready now? *Computer Aided Design*, vol. 27 No. 4, pp. 243-254.

Gujar U.G and Nagendra I.V. 1989. Construction of 3D solid objects from ortographic view. *Computer & Graphics*. Vol 13, No 4, pp505-521.

Kanatani, K. The Constraints on Images of Rectangular Polyhedra. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, N° 4.pp.456-463. 1986.

Lamb, D. and Bandopadhyay, A. 1990. Interpreting a 3D object from a rough 2D line drawing *Proceedings of Visualization'90*, pp.59-66.

Leclerc, Y. and Fischler M., 1992. An Optimization-Based Approach to the Interpretation of Single Line Drawings as 3D Wire Frames. *International Journal of Computer Vision*. Vol. 9, No. 2, pp. 113-136.

Lipson H. and Shpitalni M. 1996. Optimization-Based Reconstruction of a 3D Object from a Single Freehand Line Drawing. *Computer Aided Design*. Vol. 28, No. 8, pp. 651-663.

Nagendra I.V. and Gujar U.G. 1988. 3-D Objects From 2-D Orthographic Views – A Survey. *Computers & Graphics*. Vol. 12, No. 1, pp. 111-114.

Perkins D.N. 1976. How good a bet is good form? *Perception*, volume 5, pp 393-406.

Roberts L.G. 1963. *Machine Perception of Three-Dimensional Solids*. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology.

Shpitalni M. and Lipson H. Identification of Faces in a 2D Line Drawing Projection of a Wireframe Object. *IEEE Transactions on Patten Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 18, No. 10, pp. 1000-1012. 1996.

Sugihara K.1986. *Machine interpretation of Line Drawings*. The MIT Press.

Wang W. and Grinstein G. A. 1993. Survey of 3D Solid Reconstruction from 2D Projection Line Drawings. *Computer Graphics Forum*. Vol. 12, No 2, pp. 137-158.