

José María Gomis Martí
Universidad Politécnica de Valencia
Dpto. de Expresión Gráfica en la
Ingeniería
Camino de Vera S/N. E-46022,
VALENCIA

E-mail: jmgomis@degi.upv.es

Pedro Company Calleja
Universitat Jaume I
Dpto. de Tecnología
Campus de Penyeta Roja. E-12071,
CASTELLON

E-mail: pcompany@tec.uji.es

RECONSTRUCCIÓN GEOMÉTRICA TRIDIMENSIONAL

Resumen

A pesar de los importantes avances en CAD, los diseñadores todavía prefieren el lápiz y el papel. Especialmente en las fases más conceptuales del diseño, en las que se baraja una colección incompleta de requisitos e ideas abstractas sobre lo que el producto diseñado deberá ser. Los ingenieros diseñadores están “entrenados” en el empleo del lenguaje gráfico utilizado en los Gráficos de Ingeniería en general, y los planos normalizados en particular. Este lenguaje ha mostrado ser una herramienta potente y flexible para ayudar durante todo el proceso de diseño, y constituye un lenguaje casi universal para especificar gran parte de la información asociada a los diseños de ingeniería. Por tanto, parece razonable utilizar dicho lenguaje para eliminar la falta de flexibilidad en la comunicación entre los diseñadores y los sistemas CAD.

Por otra parte, los diseños ya existentes están especificados en el soporte tradicional: los planos normalizados. Mientras que los nuevos diseños deben ser desarrollados y validados utilizando toda la tecnología CAD disponible. En consecuencia, la tarea de actualización y modificación de viejos diseños requiere generar modelos sólidos de los objetos existentes. Por lo que automatizar dicha tarea supondría obtener ahorros importantes.

No obstante, conseguir sistemas capaces de interpretar la información técnica contenida en un plano de ingeniería es un problema muy complejo. Una de las partes en las que se suele descomponer dicho problema es la **reconstrucción** de modelos 3D a partir representaciones geométricas bidimensionales. En este trabajo hacemos una breve revisión histórica de los diferentes métodos de reconstrucción desarrollados hasta la actualidad, y describimos los métodos implementados por los autores.

Palabras clave: reconstrucción geométrica, dibujos de ingeniería.

1. Introducción

La comunicación entre los diseñadores y los sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD) está desequilibrada a favor de las necesidades de programación. En su estado actual, los sistemas CAD fuerzan al diseñador a controlar un flujo secuencial; dirigido desde las especificaciones hasta el diseño detallado. Desgraciadamente, dicha circunstancia puede incidir muy negativamente en la creatividad del diseñador.

La causa de la estructura secuencial de los sistemas CAD es la naturaleza secuencial de los lenguajes algorítmicos de programación (y se

debe resaltar que las interfaces gráficas de usuario –GUI’s- no son ninguna excepción a esta regla). La necesidad de que los programadores definan un modelo del proceso de diseño (o del proceso de “modelado para diseño de productos”) aumenta la tendencia a la secuenciación, porque, para los programadores, definir modelos conceptuales (lo que el sistema debe hacer), tan parecidos como sea posible a los modelos de implementación (la forma en la que el sistema debe hacerlo) es siempre la solución más simple. El resultado es que los sistemas CAD están constantemente pidiendo al usuario que especifique *acciones* (tareas secuenciales completamente especificadas). Y esta es una mala estrategia para la fase de síntesis, cuando el

diseñador está tratando de fijar “visiones”, es decir, ideas poco definidas y desordenadas.

Los comandos “transparentes” (esas órdenes que pueden ser invocadas en cualquier momento durante la ejecución de un programa interactivo guiado por comandos), pueden dar la falsa impresión de que el usuario puede hacer casi todo y en cualquier momento. De hecho, los sistemas CADD (los sistemas de *dibujo* asistido) son muy interactivos, porque imponen pocas limitaciones incluso a los usuarios más erráticos. Pero se debe recordar que esto es debido a que están basados en Geometría Descriptiva/Constructiva y en Dibujos Normalizados de Ingeniería, que son dos disciplinas no secuenciales. O, mejor dicho, dos disciplinas basadas en la utilización de dos aspectos de un *lenguaje gráfico* (no secuencial). Por tanto, lo que el usuario hace es utilizar un ordenador para construir una representación gráfica que, una vez acabada, será un documento que contendrá información interpretable sólo por el ser humano. Es decir, que el ordenador será incapaz de interpretar la información contenida en su propia base de datos para utilizarla como información útil para automatizar otras tareas de diseño. Y conviene matizar que el ordenador no sólo es incapaz de interpretar la información cuando esta está aun incompleta (lo cual sería muy deseable para el diseñador, dado que de este modo el ordenador podría ayudarle realmente a concretar y fijar sus ideas en la fase de síntesis), también es incapaz de interpretar representaciones completas, que cualquier humano con formación técnica puede entender de forma unívoca.

Además, desde el punto de vista del diseñador, en los sistemas CAD de modelado tridimensional (los sistemas de *diseño* asistido) la situación también es precaria. Con los sistemas CAD 3D se pueden crear modelos virtuales tridimensionales, los cuales pueden ser posteriormente mostrados por medio de imágenes tan realistas como se desee y/o por medio de planos normalizados obtenidos de forma casi automática. Los modelos pueden ser utilizados incluso como información de entrada para todo tipo de análisis y evaluaciones del diseño (estudio de la compatibilidad geométrica, de la resistencia mecánica, del comportamiento térmico, etc.). Pero la construcción de dichos modelos es

puramente secuencial. Se ejecuta una única acción tras cada comando, y el sistema vuelve al estado “neutro” (modo de espera para recibir y ejecutar una nueva orden). Además los modelos conceptuales utilizados para construir estos modelos están más próximos a los modelos internos del sistema CAD que a la forma de pensar del diseñador (modelos BRep, CSG, etc.).

En definitiva, no se cuenta con el soporte de un lenguaje que sirva para canalizar las ideas poco estructuradas que el diseñador tiene en las fases iniciales de especificación y síntesis de un nuevo diseño. Esta situación es opuesta a la que se da en el hábito consolidado de los diseñadores, que realizan la fase de síntesis mediante herramientas gráficas (Bocetos, Geometría Descriptiva y Dibujo Normalizado). Como se ha dicho anteriormente en los tres casos se trata de aspectos de un lenguaje no secuencial, siendo precisamente aquellas características derivadas de las posibilidades de dicho lenguaje como la sobrexposición de ideas, los solapes visuales (sobremuestras) y, en definitiva, la coexistencia de diferentes soluciones en un mismo marco de trabajo, las que hacen del mismo un vehículo muy apreciable para canalizar la creatividad del diseñador.

Resumiendo, el problema estriba en que el pensamiento gráfico (en el sentido de “no verbal”) no puede expresarse cómodamente a través de un lenguaje verbal. Definiendo el término verbal como sinónimo de secuencial. Es decir, entendiendo que los lenguajes verbales están basados en la variación de un conjunto de signos a lo largo del tiempo, sin importar que los signos sean símbolos gráficos o sonidos. Por el contrario, los lenguajes no verbales o visuales, y dentro de éstos los “gráficos”, son aquellos que basan la transmisión de la información, no sólo en el significado de un conjunto de símbolos gráficos predefinidos, sino también en las relaciones espaciales entre dichos símbolos. Es decir, que las relaciones de semejanza, orden, proporcionalidad y vecindad entre los símbolos tienen una importancia capital que hace inviable expresar oralmente una comunicación gráfica.

Por tanto, los potentes postprocesadores gráficos disponibles en la actualidad para tareas

de diseño asistido, deben complementarse con los correspondientes preprocesadores. Entonces, los postprocesadores se concentrarán en su verdadera tarea de ayudar al diseñador en la manipulación de los modelos virtuales 3D, *después* de que dichos modelos hayan sido creados con la ayuda de preprocesadores capaces de leer la información expresada por el diseñador en el lenguaje gráfico que a él le resulta cómodo emplear (en lugar del lenguaje secuencial, que resulta más cómodo al sistema).

Dada la complejidad del lenguaje gráfico empleado en diseño, el objetivo explicado arriba es casi utópico. Se trata, ni más ni menos que de dotar a un sistema informático de la capacidad de “leer” dibujos de ingeniería. Podemos detallar el problema diciendo que necesitamos capacidad para:

- Convertir un boceto (dibujo preliminar, con una descripción incompleta de la geometría) en una figura “vectorial” plana (figura bidimensional descrita por un conjunto de primitivas 2D). Se trata de obtener una base de datos que describa la figura bocetada en términos de elementos geométricos contenidos en el plano de la figura (“primitivas 2D”). Es importante recordar la distinción entre figuras *matriciales* (en donde la imagen completa se descompone en una nube de puntos situados según una retícula de más o menos densidad) y las figuras *vectoriales* en las que la imagen se descompone en elementos geométricos más complejos (tales como segmentos de recta, arcos de circunferencia, etc.). La importancia de la distinción estriba en que en la actualidad es posible convertir imágenes en figuras matriciales de forma automática (“escaneando”), pero no es posible obtener una figura vectorial a partir de una imagen en papel.
- Reconstruir un modelo geométrico tridimensional a partir de una o más figuras vectoriales. Se trata de recuperar la información sobre la geometría tridimensional de los objetos que está implícita o explícitamente contenida en las distintas representaciones bidimensionales de los mismos.

- Añadir a la base de datos del modelo 3D generado en la reconstrucción, toda la información complementaria a su propia forma geométrica. Es decir, la información que está expresada por medio de los símbolos normalizados habituales en los dibujos de ingeniería (como tolerancias, procesos de fabricación, etc.).

Cada una de las tres tareas apuntadas es suficientemente compleja, por lo que la consideración simultánea de todas ellas está de momento fuera del alcance de desarrollos prácticos. Además, ya hemos apuntado que lo ideal sería que la capacidad de “lectura” fuera interactiva. Es decir, que la información debería ser leída e incorporada al modelo tal como el diseñador la fuera introduciendo, de forma que se generasen modelos “provisionales” que permitiesen al diseñador ir comprobando algunos aspectos de la validez del diseño antes de tenerlo completamente especificado [1].

En este trabajo presentaremos la situación actual en la segunda de las tareas indicadas (la reconstrucción de los modelos geométricos) y nuestras propias aportaciones en dicha línea. En particular, resumiremos los resultados alcanzados en la reconstrucción a partir de varias vistas [2], y el método implementado por los autores para obtener, de forma casi automática, un modelo 3D de un objeto poliédrico, a partir de una axonometría del mismo [3].

2. **Ámbito de la reconstrucción geométrica**

La descripción de objetos tridimensionales en un plano, utilizando proyecciones bidimensionales, se remonta a más de dos mil años. Fue Monge el primero que sistematizó y simplificó los métodos existentes, dando lugar al nacimiento de la geometría descriptiva. El problema contrario de cómo reconstruir automáticamente la estructura de un objeto tridimensional (estructura geométrica y topológica) a partir de su proyección, empezó a atraer la atención sólo a finales de los 60, motivado por el desarrollo de los ordenadores digitales.

La *reconstrucción*, implica determinar la relación geométrica y topológica de las partes atómicas de un objeto. No debe confundirse con el *reconocimiento* o *restitución*, que se usa en visión artificial y que implica la identificación de un objeto mediante algún sistema de acoplamiento de plantillas.

Las clasificaciones existentes de los métodos de reconstrucción tienden a destacar los aspectos más críticos del problema. Así, algunos autores basan sus clasificaciones en aspectos tales como la representación interna usada en el proceso de reconstrucción, la naturaleza de los objetos reconstruidos, el número de vistas 2D requeridas, las premisas y el grado de interacción del usuario necesario para corregir la reconstrucción.

2.1. Naturaleza de los objetos y los modelos

Los primeros intentos de interpretación de dibujos 2D se limitaron a modelos predefinidos que sólo pretendían identificar objetos cuyas formas habían sido previamente definidas. Es decir, que estaban más cercanos a la restitución que a la reconstrucción.

Posteriormente se obtuvo una solución general para la reconstrucción de objetos poliédricos. Aunque, algunos métodos necesitaban distinguir entre poliedros eulerianos y no eulerianos. Además, la complejidad del poliedro (que se mide en función de la “valencia” de sus vértices, es decir, el número de aristas que confluyen en un vértice) puede limitar el alcance de algunos métodos. Para ilustrar la facilidad con que un objeto poliédrico puede tener vértices con una valencia elevada basta observar la figura 1.

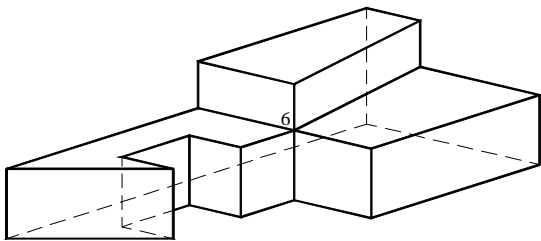


FIGURA 1. Objeto poliédrico con un vértice de valencia 6.

Otros intentos se encaminaron hacia la reconstrucción de objetos de revolución y objetos extruidos (dos casos especiales de la geometría de

“barrido” tan típica de los sistemas de modelado 3D). Inicialmente se imponían restricciones muy grandes en cuanto a formas y orientaciones. Desarrollos posteriores han suavizado y/o eliminado parte de dichas restricciones.

Actualmente se pueden reconstruir objetos pertenecientes a un dominio bastante amplio. Sin embargo, los procesos de reconstrucción aumentan su porcentaje de fallos cuando los objetos implicados incluyen partes poliédricas complejas y/o un número creciente de superficies curvas.

En cuanto al modelo generado tras el proceso de reconstrucción, las representaciones utilizadas son la Geometría Constructiva de Sólidos (CSG) y la Representación de Fronteras (BRep). La mayor parte de los trabajos de reconstrucción usan BRep.

2.2. Premisas y grado de interacción

Para simplificar el problema de la reconstrucción, generalmente se asume que en cualquier proyección de una “escena” (un volumen tridimensional, generalmente cúbico, que contiene uno o varios modelos geométricos) sólo se representan las aristas y los contornos. Es decir, se trabaja con vistas “normalizadas” (en el sentido de que los objetos se representan por medio de aristas y contornos). No se consideran la textura, la gama, el sombreado y otros parámetros adicionales que sí que se están usando en el reconocimiento de objetos. Si que cabe matizar que algunos sistemas distinguen entre aristas vistas y ocultas; otros no distinguen, y los hay que explícitamente exigen que no se empleen dichas aristas ocultas.

Se suele añadir una limitación adicional sobre la dirección de la proyección en proyecciones paralelas y sobre el centro de la proyección en proyecciones perspectivas. En las proyecciones paralelas, la dirección de la proyección no debe ser paralela a ninguna cara, ni paralela a ningún par de aristas no colineales. En las proyecciones perspectivas, el centro de la proyección no debe ser coplanar con ninguna cara ni coplanar con ningún par de aristas no colineales. A esta limitación se la denomina “Supuesto de Punto de Vista General” y generalmente elimina casos de

degeneración potenciales en los que, por ejemplo, una cara se puede proyectar como una línea, o dos aristas distintas se pueden proyectar sobre una misma línea (ver Sugihara [4]). La reconstrucción a partir de una única proyección no tiene mucho sentido sin este supuesto. En la figura 2 se muestran dos axonometrías distintas del mismo objeto poliédrico. Se puede observar que la representación isométrica es más difícil de “leer” que la dimétrica, porque no respeta la convención del punto de vista general.

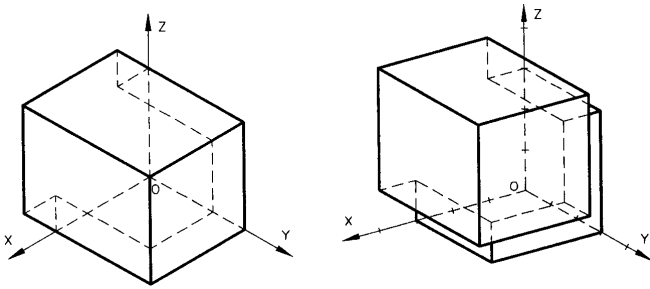


FIGURA 2. Proyecciones de un objeto poliédrico sin respetar (izquierda) y respetando (derecha) la convención del punto de vista general.

Los sistemas existentes también se pueden clasificar en función de la colaboración que requieren por parte del usuario. La distinción básica es entre sistemas automáticos y sistemas guiados. Aunque algunos sistemas guiados requieren tanta participación del usuario que son sistemas de modelado inteligentes, más que sistemas de reconstrucción.

2.3. Número de vistas y número de soluciones

Por el número de vistas requeridas al dibujo de entrada, existen dos grandes categorías: métodos de vistas múltiples y métodos de vista única.

Los métodos basados en vistas múltiples están más adelantados. Obviamente, en general, es mucho más fácil reconstruir objetos 3D a partir de proyecciones de vistas múltiples que a partir de proyecciones de vista única. No obstante dichos métodos suelen estar limitados a considerar las vistas en alzado, planta y perfil, y no aceptan convencionalismos normalizados (cortes, vistas particulares, etc.).

La reconstrucción a partir de una única vista presenta más ambigüedades.

En cuanto al número de soluciones, es importante destacar que, en algunos casos, la figura de partida puede corresponder a más de un objeto. Un método se llama de “solución múltiple” si encuentra todos los objetos que puedan corresponderse con la(s) vista(s) 2D, y de “solución única” si se para después de encontrar un primer objeto válido.

3. Estado del arte en reconstrucción geométrica

Los primeros estudios sobre este tema se pueden encontrar resumidos en unas pocas referencias [4-10]. El libro de Sugihara [4] es la referencia más completa a la historia inicial de la interpretación automática de dibujos técnicos. Najendra y Gujar [5] publicaron un resumen de varios artículos que trataban la reconstrucción de objetos tridimensionales a partir de sus vistas 2D. Wang y Grinstein [6] completaron el trabajo, realizando una taxonomía de la reconstrucción de objetos 3D a partir de dibujos lineales de proyección bidimensional. La referencia a Yan y otros [7] se debe a que estos autores completaron y sistematizaron uno de los métodos más desarrollados y efectivos hasta la fecha, para reconstrucción de poliedros a partir de vistas múltiples. Por último, las referencias [8-10] trazan los orígenes del prometedor método de reconstrucción por optimización de regularidades.

3.1. Análisis de los métodos de vistas múltiples

Se han llevado a cabo distintos intentos para obtener modelos CSG a partir de vistas múltiples. Todos los métodos de este tipo tienen en común que asumen que el objeto 3D puede ser construido a partir de cierto conjunto de primitivas combinadas siguiendo una cierta jerarquía. Los métodos difieren en las estrategias que proponen para “extraer” dichas primitivas de las vistas de partida. Pero, hasta la fecha, en todos ellos se requiere mucha participación del usuario. Por tanto, se trata de métodos de construcción asistida, más que de reconstrucción automática.

Como hemos indicado arriba, el trabajo de Yan y otros [7], contiene una completa y detallada descripción del método de reconstrucción de poliedros más efectivo hasta la

fecha. Dicho método sigue la secuencia de pasos que resumimos a continuación:

1. Generación de vértices “candidatos”, a partir de los nodos 2D.
2. Generación de aristas “candidatas”, a partir de los vértices candidatos y los segmentos lineales de la figura de partida.
3. Construcción de caras, a partir de las aristas. (Primero se construyen los “bucles de cara”, candidatos a describir caras en el modelo 3D, y después se filtran dichos bucles).
4. Se forma el modelo BRep, a partir de los bucles de cara.

La secuencia descrita resume con bastante aproximación la mayoría de los métodos basados en “ensamblar” una representación BRep del objeto a partir de una colección de elementos geométricos, los cuales deben identificarse previamente en las figuras de partida. Las diferentes propuestas se centran en aumentar la efectividad de los algoritmos y en tratar los casos patológicos.

3.2. Análisis de los métodos de vista única

En el ámbito de los métodos de vista única, las primeras aproximaciones fueron los “métodos de etiquetado”, que se basan en definir “circuitos” con todos los segmentos de la figura 2D que son candidatos a corresponder con aristas del modelo 3D. Los segmentos que forman cada circuito son clasificados (o “etiquetados”) con unos códigos (signos + o -) que posteriormente sirven para decidir si los diferentes circuitos pueden corresponder con caras del modelo 3D (e incluso si la figura corresponde a la representación de algún modelo válido).

Los métodos de etiquetado son métodos de interpretación más que de reconstrucción: ofrecen sólo las condiciones necesarias para que un dibujo lineal 2D represente un sólido 3D válido. Además, un dibujo lineal que se puede etiquetar adecuadamente no necesariamente representa un sólido 3D verdadero.

Los métodos de *programación lineal* fueron los primeros métodos con una aplicación práctica en reconstrucción. Se basan en plantear y resolver

las ecuaciones lineales que describen las condiciones que un poliedro debe satisfacer. Sugihara [4] consiguió dar una condición necesaria y suficiente que permitía que un dibujo lineal representase un objeto poliédrico en términos del problema de programación lineal. Su formulación permite resolver el problema de discriminar entre dibujos lineales correctos e incorrectos. Sin embargo, el método de Sugihara no es práctico para realizar la reconstrucción. La condición es tan precisa matemáticamente que algunos dibujos son rechazados simplemente porque los vértices se desvían ligeramente de las posiciones correctas. Además, la implementación del método requiere la solución de un gran problema de programación lineal de $3m+n$ variables, donde m es el número de caras visibles del poliedro y n el número de vértices visibles.

Frente a la rigidez de la programación lineal, se propuso el *método perceptual*. En este método, el algoritmo toma como dato un dibujo axonométrico, y utiliza los invariantes que aseguran que las líneas paralelas aparecen paralelas, y que las aristas paralelas a los ejes principales se dibujan con longitudes proporcionales a las dimensiones reales. El objetivo del algoritmo es asignar coordenadas 3D a todos los vértices del grafo. El algoritmo preprocesa el dibujo generando un gráfico de adyacencia (un mapa de vértices y aristas) y después etiqueta el dibujo.

Este modelo tiene limitaciones en el uso de las reglas de percepción heurísticas. Estas son ciertas en muchos casos, pero no siempre. Por ejemplo, este método corregirá líneas con una ligera inclinación y las hará horizontales o verticales, incluso aunque esta inclinación sea intencionada. Otro problema surge de la determinación precisa de si dos planos son paralelos, o si dos objetos son simétricos. A menos que exista algún supuesto sobre el mundo del objeto (como la rectitud), estas propiedades no se pueden determinar antes de que se asignen las coordenadas. Así pues, este modelo no ofrece una reconstrucción exacta del objeto 3D.

En el campo de la reconstrucción de una representación CSG (método de *identificación de primitivas*), se ha avanzado poco hasta fechas

recientes. Ya se ha dicho que la construcción de una representación CSG a partir de vistas múltiples todavía depende mucho de la interacción con el usuario. En la reconstrucción automática de la representación CSG a partir de un sólo dibujo la aportación más importante es la de Wang y Grinstein [11], quienes presentaron un algoritmo para extraer automáticamente los bloques primitivos de un poliedro. Posteriormente, Wang amplió el algoritmo para abarcar objetos semi-rectilíneos (los que tienen una dirección axial y cualquier superficie cuya normal no sea perpendicular al eje, es ella misma perpendicular al eje) y algunos objetos curvilíneos. Wang también introdujo los cilindros como primitivas, y dio una solución completa para encontrar la representación CSG de un dibujo lineal de un poliedro general con el tetraedro como nueva forma primitiva.

El último método introducido es el método de *optimización*, donde la aportación más significativa es la de Lipson y Shpitalni [10]. Su método de reconstrucción por “inflado” de una representación plana se basa en definir como variables las coordenadas Z de todos los vértices definidos por sus coordenadas (X,Y) en la representación plana. La función objetivo es una formulación matemática de las “regularidades” observables en el dibujo 2D. Los autores distinguen tres tipos de regularidades: (a) las que reflejan alguna relación espacial entre entidades individuales (por ejemplo el paralelismo), (b) las que reflejan alguna relación espacial entre un grupo de entidades (por ejemplo una simetría oblicua en las aristas que definen el contorno de una cara) y (c) las regularidades que afectan a todo el dibujo (como la proporcionalidad entre las longitudes del dibujo y las longitudes reales). Su método tolera las imperfecciones y permite reconstruir una gran variedad de objetos, incluyendo caras planas y cilíndricas. Pero el porcentaje de fallos aumenta al considerar objetos con superficies curvas.

4. Algoritmos desarrollados por los autores

Los autores del presente trabajo desarrollan una línea de investigación en el campo de la

reconstrucción geométrica tridimensional, dentro de la cual se están abordando paralelamente la reconstrucción de objetos poliédricos dados a partir de vistas múltiples y a partir de una sola vista. En ambos casos se han obtenido resultados y en estos momentos se encuentran perfilados los objetivos a desarrollar en el futuro en cada uno de ellos. De todo ello se da breve cuenta a continuación.

4.1. Algoritmo de reconstrucción a partir de vistas múltiples

En este caso se ha obtenido un algoritmo de reconstrucción que obtiene el modelo BRep, siguiendo un esquema semejante al de Yan [7].

El algoritmo tiene como aportación más original la utilización de una axonometría oblicua (obtenida por un método basado en el Teorema de Pohlke y en el método Eckhart), para guiar y validar el proceso de reconstrucción de vértices y aristas del modelo tridimensional (figura 3). Es decir, que el algoritmo realiza la generación automática de axonometrías oblicuas a partir de las tres proyecciones diédricas de un objeto poliédrico. Lo cual, además de consistir en si un método operativo en el campo del dibujo en dos dimensiones, es útil para determinar la topología del objeto a reconstruir.

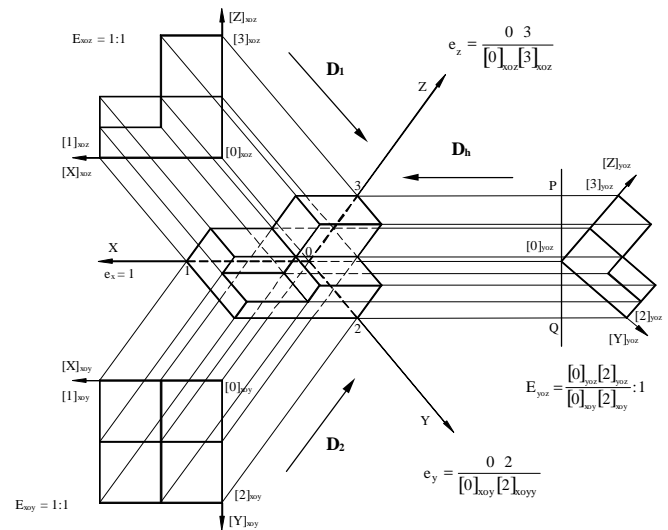


FIGURA 3. Generación automática de la axonometría oblicua.

Nuestro objetivo más inmediato es reducir la participación del usuario en el proceso de resolución. De momento, dicha reducción se debería concentrar en que el sistema decida automáticamente las direcciones válidas necesarias para obtener la axonometría.

Una de las fases más críticas del método de reconstrucción desarrollado se encuentra en la eliminación de elementos ficticios. El método de vistas múltiples debe aumentar sus prestaciones en dicha fase, de manera que permita la reconstrucción de objetos de mayor complejidad con la menor interacción

También a medio plazo se debe capacitar a este método para reconstruir algunos poliedros no eulerianos (por ejemplo los provistos de agujeros prismáticos).

Finalmente, a más largo plazo, se plantea como objetivo incorporar la información dimensional contenida en la acotación, y la información de fabricación contenida en todo tipo de símbolos normalizados (tolerancias, acabados superficiales, procedimientos de fabricación, etc.)

4.2. Algoritmo de reconstrucción a partir de vista única

En este ámbito se ha obtenido un algoritmo de reconstrucción 3D de modelos BRep para objetos poliédricos eulerianos, a partir de una sola perspectiva axonométrica. El algoritmo ha sido implementado y se han reconstruido con éxito varios ejemplos. Se ha comprobado que es tolerante a representaciones que no cumplen el supuesto de punto de vista general. Se ha estudiado la problemática de la proyección axonométrica oblicua, la obtención del modelo alámbrico asociado a esa axonometría y la generación de las caras implícitas en ese objeto alámbrico.

El modelo de superficies obtenido mediante el algoritmo propuesto, resuelve completamente los inconvenientes derivados de la presencia de caras cóncavas en los objetos poliédricos procesados.

Se han presentado problemas añadidos al proceso descrito, no previstos en un principio, tales como el incremento de complejidad asociado al aumento de la valencia de los

vértices, que ha requerido un estudio detallado de la casuística derivada.

En comparación con otros métodos referenciados en el estado del arte, en los que se utilizan algoritmos de búsqueda de caras capaces de trabajar con poliedros eulerianos pero con un mayor coste temporal y con la posibilidad de fallos y de aparición de soluciones múltiples, el algoritmo que proponemos supone un método alternativo cuya principal ventaja radica en la simplificación de la definición topológica del objeto.

El objetivo inmediato es reducir la participación del usuario en el proceso de resolución. Para que el sistema detecte automáticamente las direcciones principales, la idea de utilizar los “gráficos de distribución angular” apuntada por Lipson y Shpitalni [10] parece prometedora. Para evitar que el usuario tenga que decidir sobre “caras candidatas”, parece interesante la vía de obtener las múltiples soluciones que cada problema pueda tener. De esta forma el usuario sólo tiene que hacer una elección final. Y, al mismo tiempo, puede visualizar alternativas que le hubieran quedado “enmascaradas” en las dos dimensiones de la perspectiva de partida.

El objetivo a medio plazo es capacitar el método para reconstruir poliedros no eulerianos más complejos, como son poliedros provistos de agujeros prismáticos, conos, cilindros, esferas y sus derivados.

Un objetivo final es conseguir una herramienta que permita al diseñador, una vez haya plasmado sus ideas en bocetos “virtuales” (trabajando directamente sobre el sistema CAD), pedir una “solidificación” de los mismos. Ello permitiría comprobar la “bondad geométrica” y/u otro tipo de requisitos funcionales del diseño. De este modo, el sistema permitiría actuar sobre el boceto y/o sobre el modelo 3D, en refinamientos posteriores, hasta fijar el diseño definitivo.

4.3. Interpretación de bocetos

En este ámbito el equipo de investigación está trabajando en la selección y adaptación de un algoritmo de vectorización de los muchos disponibles en el mercado (tanto en el ámbito

puramente comercial como en el académico). La intención es disponer de una herramienta que permita discriminar figuras geométricas (que sirvan como datos de entrada a los algoritmos de reconstrucción) y símbolos normalizados (para utilizar en algoritmos de interpretación de símbolos que se puedan desarrollar y/o adaptar en un futuro).

5. Ejemplos

En las figuras 4 y 5 se muestran las diferentes fases del proceso de reconstrucción de un objeto poliédrico dado a partir de sus tres vistas principales. La figura 4 permite ver las vistas diédricas utilizadas para inicialmente obtener una axonometría oblicua y a continuación reconstruir el modelo alámbrico del poliedro. En la figura 5 se muestra una representación realista del poliedro reconstruido.

Por su parte, en las figuras 6, y 8 se muestran las perspectivas que se han introducido como datos para realizar la reconstrucción de otros poliedros a partir de una única vista (el primero es un poliedro euleriano simple, pero no convexo; mientras que el segundo es un poliedro euleriano complejo). Las figuras 6 y 8 muestran también los modelos alámbricos reconstruidos. Por el contrario, las figuras 7 y 9 muestran una representación realista de los modelos BRep obtenidos finalmente.

Se puede observar que los modelos alámbricos se “elevan” desde el plano XY, en el cual están contenidas las figuras de partida

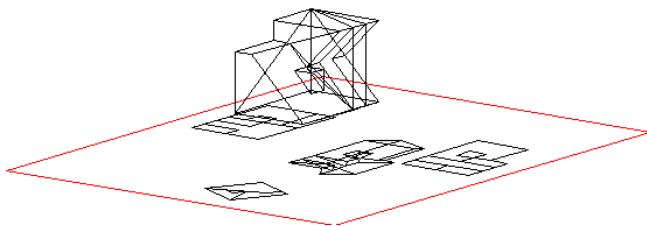


FIGURA 4 Reconstrucción de un poliedro euleriano a partir de tres vistas diédricas.



FIGURA 5 Representación realista del poliedro euleriano reconstruido

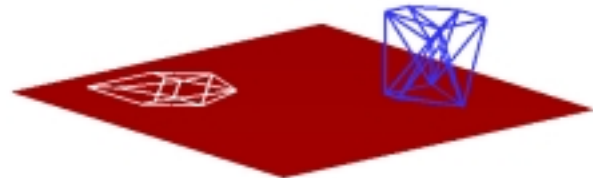


FIGURA 6. Reconstrucción de un poliedro euleriano simple, pero no convexo

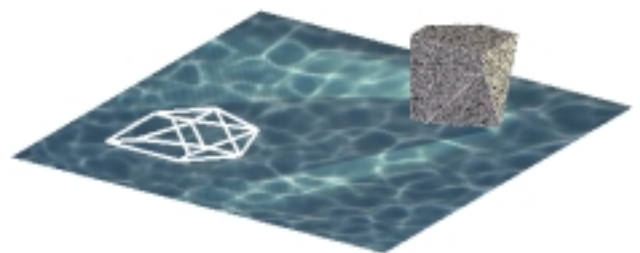


FIGURA 7. Representación realista del poliedro euleriano simple, pero no convexo.

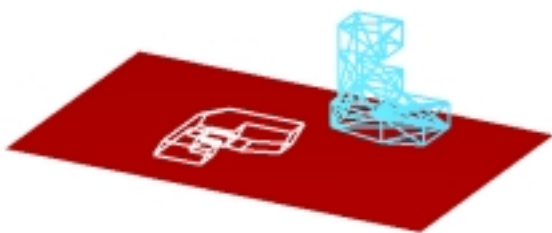


FIGURA 8. Reconstrucción de un poliedro euleriano complejo



FIGURA 9. Representación realista del poliedro euleriano complejo.

6. Conclusiones

Los postprocesadores gráficos para sistemas CAD están muy desarrollados y empiezan a tener una implantación masiva. Estos postprocesadores tienen una gran capacidad para manipular modelos virtuales asociados al diseño de productos industriales, por lo que su introducción ha supuesto una mejora impresionante en las fases de análisis y evaluación del proceso de diseño, así como en la generación automática de planos técnicos para intercambio de información durante dicho proceso de diseño.

Sin embargo, la capacidad de síntesis se ve poco mejorada, o incluso entorpecida, por dichas herramientas de modelado. Para solucionar este problema, parece razonable seguir utilizando el

lenguaje gráfico que ha estado asociado al proceso de diseño desde los orígenes del mismo. No obstante, los sistemas de diseño actuales no tienen capacidad para interpretar la compleja información contenido en un plano de ingeniería. La investigación en métodos automáticos o semi-automáticos de reconstrucción geométrica pretende aportar soluciones a una fase importante de dicho proceso de interpretación de planos técnicos.

Se ha visto, que hasta la fecha existen desarrollos “académicos” (sin implantación comercial) para el proceso de reconstrucción. Pero los métodos propuestos son bastante dispares y no se ha encontrado un método lo suficientemente potente y general para permitir la reconstrucción automática de cualquier figura geométrica de las que habitualmente se emplean en el diseño de ingeniería. En la actualidad, los métodos basados en la optimización de una función objetivo que considera todas las “regularidades” que se pueden detectar en las figuras de partida parecen ser los más prometedores.

Por otra parte, la importancia de éste problema es obvia, dado que los dibujos de ingeniería (que proceden de proyecciones de objetos 3D) son el mecanismo estándar de comunicación entre los departamentos de diseño y fabricación. La reconstrucción de modelos 3D a partir de los dibujos lineales de ingeniería es crítica para el mantenimiento y desarrollo continuado de los objetos representados. La automatización de esta actividad permitiría tomar los objetos existentes e incorporarlos a paquetes de modelado de sólidos, donde se podrían modificar gradualmente para fabricar objetos más nuevos y modernos.

Es importante destacar que el estudio explícito del problema de “lectura” e interpretación de planos de ingeniería también debe servir como vehículo de reflexión para hacer explícitas las capacidades que habitualmente se usan (y se enseñan) para “leer” planos técnicos. Esa mezcla de “capacidad de visión espacial”, conocimiento de los invariantes de los sistemas de representación, habilidad para descubrir “buenas formas” (tales como simetrías totales o parciales, ángulos rectos, etc.) y conocimiento de las

normas y de las “normativas” a que conduce la práctica. Es decir, que puede y debe servir para reflexionar sobre la vigencia de ciertas normas y de ciertas enseñanzas del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería.

7. Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “Reconstrucción de objetos tridimensionales a partir de representaciones bidimensionales” financiado por la Generalitat Valenciana (proyecto GV97-TI-04-39).

En la implementación de los algoritmos citados como aportación propia del grupo de investigación, han tenido una participación destacada los alumnos de proyecto final de carrera D. José García Resta y D. Javier Vejarano Pastora.

8. Referencias

- [1] Company P. "Integrating Creative Steps in CAD Process". *International Seminar on Principles and Methods of Engineering Design*, Napoli, 1.997. Vol. 1, pp. 295-322.
- [2] Gomis J.M.; Company P., and Contero M. "Reconstrucción de modelos poliédricos a partir de sus vistas normalizadas". *Anales de Ingeniería Mecánica*, Año 11, vol. 1, 1.997, pp. 383-391.
- [3] Gomis J.M., Company P. y García J., "Preprocesador para modelado geométrico tridimensional a partir de la delineación 2D de axonometrías". *Actas del IX Congreso internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería*. Volumen 2, 1997, pp. 345-354.
- [4] Sugihara K. *Machine interpretation of Line Drawings*. MIT Press 1986.
- [5] Nagendra I.V. and Gujar U.G.. "3-D Objects From 2-D Orthographic Views – A Survey". *Computers & Graphics*. Vol 12, No. 1, 1988. pp. 111-114.
- [6] Wang W. and Grinstein G. "A Survey of 3D Solid Reconstruction from 2D Projection Line Drawings". *Computer Graphics Forum*. Vol. 12, No 2, 1993, pp. 137-158.
- [7] Yan Q.W., Philip Chen C.L. and Tang Z. "Efficient algorithm for the reconstruction of 3D objects from orthographic projections". *Computer Aided Design*. Vol. 26, No 9, 1994, pp. 699-717.
- [8] Marill, T. "emulating the Human Interpretation of Line-Drawings as Three-Dimensional Objects". *International Journal of Computer Vision*. Vol. 6, No. 2, 1991, pp. 147-161.
- [9] Leclerc, Y. and Fischler M. "An Optimization-Based Approach to the Interpretation of Single Line Drawings as 3D Wire Frames". *International Journal of Computer Vision*. Vol. 9, No. 2, 1992, pp. 113-136.
- [10] Lipson H. and Shpitalni M. "Optimization-Based Reconstruction of a 3D Object from a Single Freehand Line Drawing". *Computer Aided Design*. Vol. 28, No. 8, 1996, pp. 651-663.
- [11] Wang, W. and Grinstein, G. "A polyhedral object's CSG-Rep reconstruction from a single 2D line drawing," *Proc. of 1989 SPIE Intelligent Robots and Computer Vision III.- Algorithms and Techniques*, vol. 1192, pp. 230-238, (Nov 1989).