

# APLICACIÓN DEL MODELADO SÓLIDO A LA RESOLUCIÓN DE CUBIERTAS DE EDIFICIOS

Barrera Vera, José Antonio

Universidad de Sevilla, España

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: [barrera@us.es](mailto:barrera@us.es)

## RESUMEN

La aplicación del modelado sólido a la edificación ha ofrecido alternativas metodológicas que por su reciente implantación carecen de protocolos de actuación estandarizados. Este es el caso de la resolución de cubiertas mediante modelado sólido como alternativa a la metodología tradicional basada en el sistema de planos acotados. Las aplicaciones específicas de arquitectura automatizan el proceso de resolución pero carecen de documentación que acredite el protocolo seguido y no abarcan la extensa casuística de circunstancias constructivas que pueden presentarse en una cubierta. La ponencia propone una metodología iterativa para la resolución de cubiertas inclinadas mediante operaciones booleanas de sólidos. En base a este proceso iterativo se ha desarrollado su implementación en una aplicación informática que permite su empleo de modo automático y semiautomático cuyas características se describen en el trabajo.

**Palabras clave:** CAD, modelado sólido, docencia, geometría descriptiva, cubiertas, aplicaciones verticales en CAD.

## ABSTRACT

The application of the solid modelling to architecture has offered methodological alternatives that, because of their recent implantation, lack standardized protocols of performance. This is the case of the resolution of roofs using solid modelling as an alternative to the traditional methodology based on the system of contour lines. The specific applications of architecture automate the resolution process but they lack documentation about the followed protocol and they do not include the extensive casuistry of constructive circumstances that can be appeared in a roof. The communication proposes an iterative methodology for the resolution of inclined roofs using Boolean operations with solids. We have started from this iterative process to make an implementation in a computer science application that has been developed allowing its use in an automatic and semiautomatic way and whose characteristics are described in this work.

**Key words:** CAD, solid modelling, teaching, descriptive geometry, roofs, development in CAD.

**Grupo temático:** CAD: Dibujo y Diseño Asistido por Ordenador.

## 1. Introducción

El trazado de cubiertas de edificios, tradicionalmente, se ha venido llevando a cabo de modo casi exclusivo mediante la aplicación de intersecciones de faldones resueltas en el sistema de planos acotados. Con la aparición de los sistemas de CAD en 3D las aplicaciones específicas de arquitectura comienzan a implementar procedimientos de resolución de cubiertas con funcionalidades bastante limitadas en sus primeras versiones (p.e. Architectural Desktop®, ArchiCad®). En los últimos años se han ido perfeccionando considerablemente, sin embargo carecen aún de protocolos de actuación estandarizados. En general dichas aplicaciones se basan en el empleo del modelado sólido como alternativa a la metodología tradicional basada en el sistema de planos acotados.

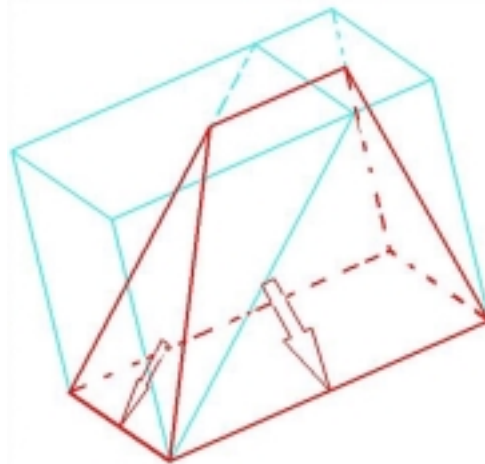
Las diversas aplicaciones específicas de arquitectura automatizan el proceso de resolución pero carecen de documentación que acredite el protocolo seguido y no abarcan la extensa casuística de circunstancias constructivas que pueden presentarse en una cubierta.

Esta falta de universalidad supone un inconveniente importante cuando se presentan casos no contemplados por la aplicación puesto que el usuario no tiene la opción de intervenir en el proceso. La ponencia propone una metodología iterativa para la resolución de cubiertas inclinadas mediante operaciones booleanas de sólidos susceptible de implementación en la práctica totalidad de aplicaciones de CAD 3D del mercado. Como caso concreto de puesta en práctica se presenta una de las opciones más interesantes en función del grado de implantación en el mercado: implementación como aplicación vertical en AutoCAD®.

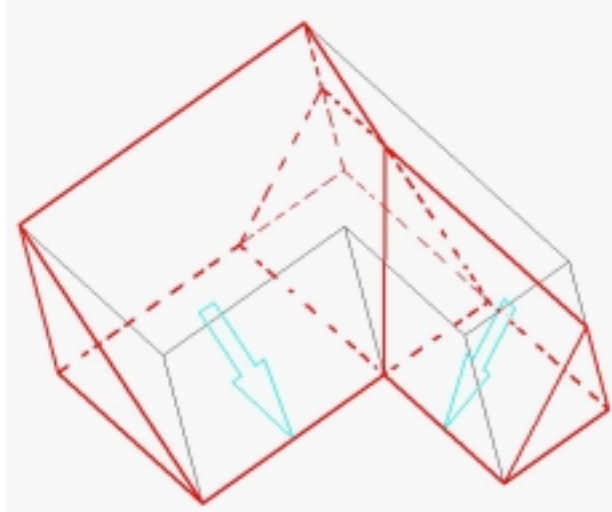
## 2. Desarrollo de la propuesta

La relativa dificultad del modelado de una cubierta inclinada radica en que la interacción existente entre los distintos faldones es función de la topología de los aleros que la definen, que deriva en la formación de las distintas limas.

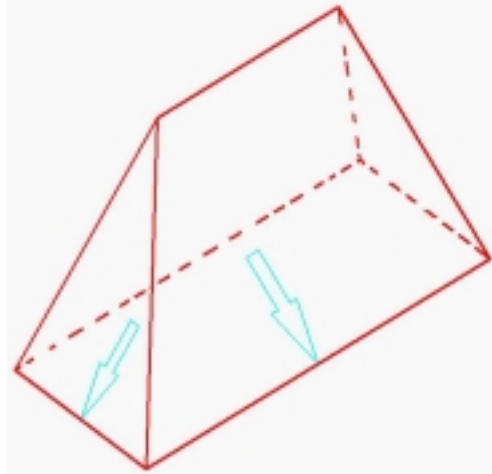
La resolución de cubiertas con plantas convexas no supone dificultad alguna puesto que se trataría de efectuar los cortes respectivos por cada uno de los aleros prescindiendo de la parte del sólido con mayor cota. Las intersecciones de los distintos planos irán configurando las limas de la cubierta, que en ese caso serán siempre limatesas, es decir, convexas. Fig. 1



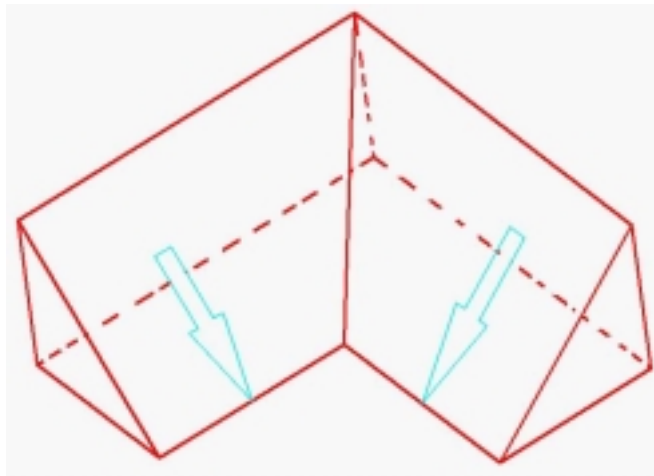
Cuando se trata de recintos con vértices cóncavos el tema se complica considerablemente puesto que siguiendo el método anterior, al eliminar la parte indicada estaríamos deshaciendo parte de la cubierta ya resuelta. Fig. 2



En general podemos decir que la intersección convexa de varios faldones (limatesa) se obtiene por INTERSECCIÓN de los sólidos generados por extrusión de la planta y sendos cortes definidos por los aleros y la pendiente de cada faldón. Fig. 3

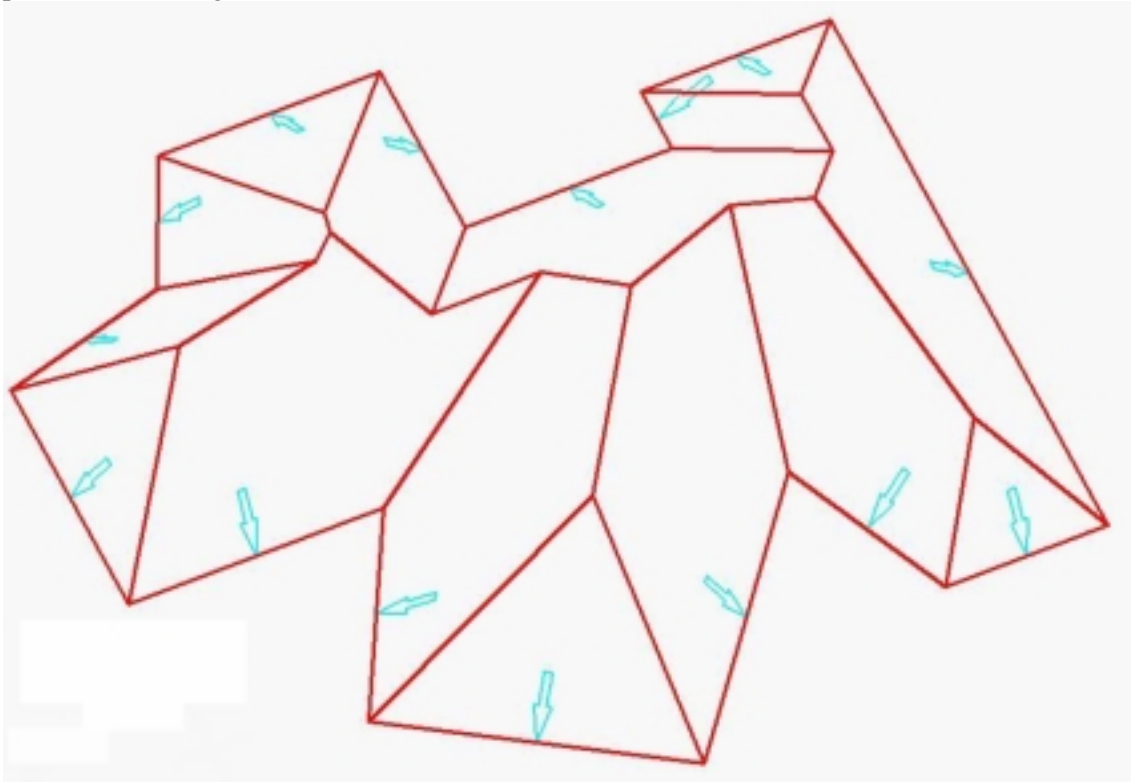


Del mismo modo la intersección cóncava de varios faldones (limahoya) puede obtenerse mediante la UNIÓN de los sólidos generados con el mismo procedimiento del caso anterior. Fig. 4



Alcanzado este punto podríamos concluir que el procedimiento de resolución de la cubierta completa consistiría en su descomposición y clasificación por grupos homogéneos de aleros contiguos del mismo tipo (cóncavos o convexos). A cada uno de estos grupos individualmente aplicaríamos la técnica descrita anteriormente para limahoyas (cóncavos) o limatesas (convexos) y finalmente aplicar el mismo procedimiento para obtener el sólido del conjunto

tratando a cada sólido obtenido como si fuese un alero a efectos de aplicación del procedimiento. Fig. 5



La aplicación del modelado sólido mediante cortes y operaciones booleanas a la resolución de cubiertas sería, a priori, contraproducente como instrumento didáctico y de dudosa eficacia en el ámbito del diseño y del proyecto arquitectónico, dada la complejidad que puede alcanzarse en cubiertas de cierta entidad y el esfuerzo de visión espacial que demandaría. Su puesta en práctica por tanto no estaría justificada frente a la metodología tradicional: el sistema de planos acotados.

Sin embargo con esta pequeña sistematización del proceso justifica la aplicación del método no solo con fines didácticos sino como herramienta de resolución y diseño de cubiertas. A la rapidez de resolución que se consigue con este procedimiento hay que añadir el valor didáctico del análisis previo de la geometría del recinto a cubrir (planta de la edificación) y la cualificación del resultado obtenido: sólido 3D.

### 3. Implementación informática

A la hora de rentabilizar el proceso a efectos de productividad, abandonando ya el aspecto docente, sería fundamental sistematizar el proceso a un nivel que permita su implementación informática.

En el procedimiento descrito se recoge una tarea elemental desde el punto de vista humano pero complejo desde el punto de vista informático. Se trata de la clasificación de los aleros en función de su topología para así aplicar el procedimiento descrito de INTERSECCIÓN o UNIÓN en cada caso.

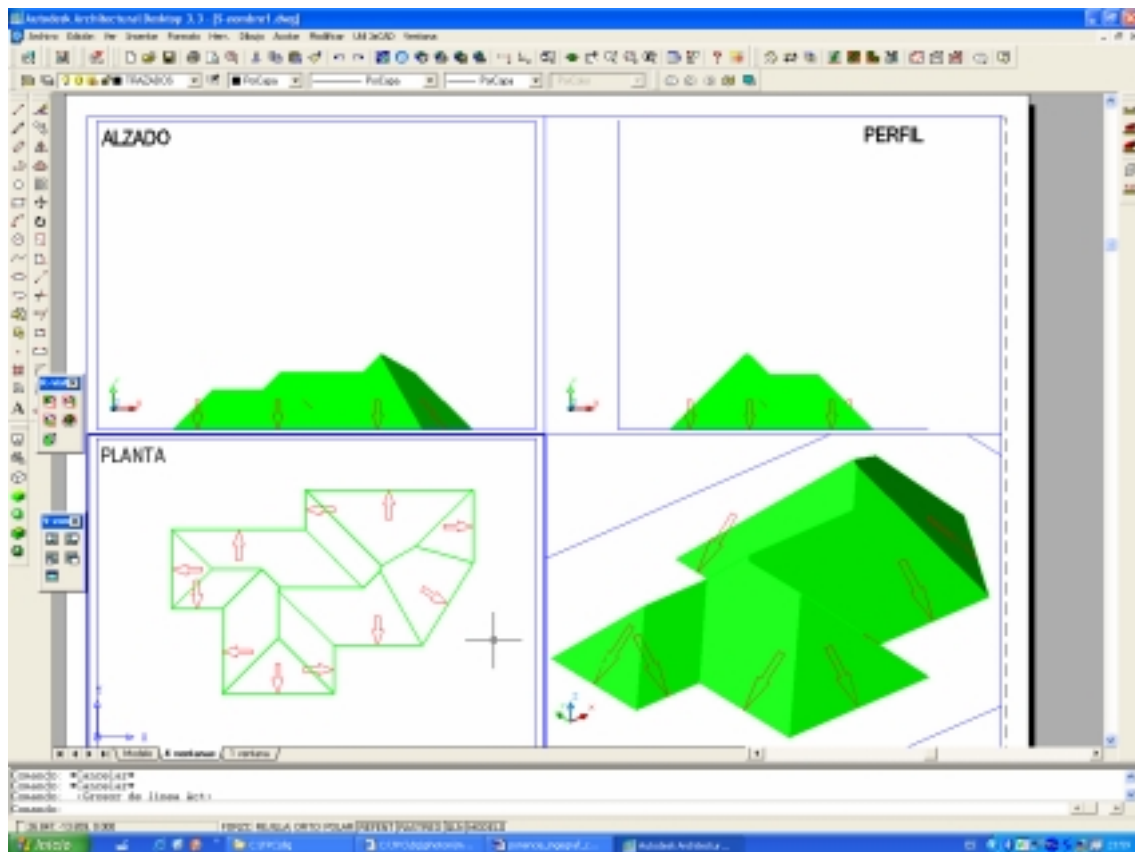
Esta cuestión podría abordarse desde la óptica de la inteligencia artificial, particularmente el reconocimiento de patrones [Maravall, 1993]. Sin embargo, en nuestro caso, dado que habitualmente partimos de una planta en CAD, un análisis vectorial ha bastado para obtener dos rutinas que permiten por una parte saber en si un punto está o no dentro de un recinto y

cuándo dos segmentos son cóncavos o convexos. Para esta última disyuntiva es fundamental la primera puesto que la concavidad o convexidad depende de si se mira desde un lado u otro. En nuestro caso siempre consideramos que estamos situados en una posición exterior al recinto, a efectos del establecimiento de la concavidad o convexidad.

La técnica empleada es muy elemental: en un recinto que estamos recorriendo en el sentido de las agujas del reloj, a la izquierda estaremos fuera, y a la derecha, dentro. Y viceversa si lo recorremos en sentido contrario.

La determinación del sentido del recorrido se ha resuelto aplicando el método de Gauss para el cálculo de áreas de polígonos, según sea positivo o negativo el resultado implica un sentido u otro al recorrer el recinto.

El resultado es una aplicación informática implementada en Autolisp® que resuelve cubiertas con este método obteniendo el modelado sólido de la cubierta de modo automático. Para la resolución de casuísticas específicas como patios, bajantes, medianeras, etc. la aplicación dispone de una serie de herramientas para la resolución semiautomática cuyo diseño tiene su origen en el aspecto didáctico que inspira esta propuesta.



La elección de Autolisp® como lenguaje de programación tiene su origen en nuestro interés por integrar la aplicación en un entorno de trabajo con amplia implantación en el ámbito de la arquitectura, como es AutoCAD®.

La aplicación vertical bajo AutoCAD® forma parte de un conjunto de utilidades desarrolladas por el autor de esta investigación que bajo el nombre de JaCAD intentan acercar el estudio de la geometría descriptiva y el empleo del CAD. JaCAD es freeware para la comunidad universitaria pudiéndose descargar de la Web [www.personal.us.es/barrera](http://www.personal.us.es/barrera). La barra de herramientas correspondiente a las utilidades de cubiertas (Fig. 6) contiene las siguientes funciones que se

describen a continuación, indicando entre paréntesis el nombre del comando que, introducido directamente por teclado, surte el mismo efecto que el icono.

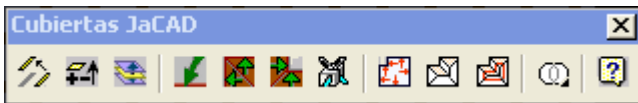


Fig.6  
Utilidades para la resolución de cubiertas en CAD 3D. (c) José Antonio Barrera. 2004.

### Utilidades para la resolución en sistema de planos acotados con resultado en 3D

La primera secuencia de comandos contempla funciones para la resolución de la cubierta por el método tradicional, empleando el sistema de planos acotados pero con la particularidad de situar cada horizontal con su cota real en el espacio, de tal forma que al tiempo que se resuelve en planta, queda resulta en 3D.



**3D-OFFS:** realiza una copia de los elementos seleccionados, a una unidad de cota más alta y a una distancia en planta igual al módulo ó intervalo correspondiente a la pendiente indicada.  
**Sube (sube):** aumenta la cota de los elementos seleccionados el valor especificado por teclado  
**Eleva (eleva):** cambia la altura de los objetos seleccionados a la cota indicada por teclado

### Utilidades para la resolución manual mediante por sólidos 3D

La segunda secuencia de comandos contiene órdenes para el diseño y/o resolución de cubiertas empleando sólidos de AutoCAD de manera manual y semi-automática



**Faldón manual (dfal) :** Define un faldón plano mediante una flecha en 3D con la pendiente indicada y con un tamaño tal que la diferencia de cota entre sus extremos sea la unidad de cota empleada de modo que en planta se mostrará con la longitud de un módulo correspondiente a dicha pendiente. Los datos a proporcionar son:

Unidad de cota: en función de la cual se determinará el tamaño de la flecha.

Pendiente: expresada en tantos por uno.

Punto de inserción: preferiblemente en el punto medio de la horizontal que define el alero.

Dirección: extremo derecho del alero visto desde el exterior del recinto a cubrir.

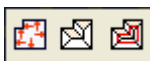
**Limatesa (limat):** crea un sólido ajustado a una serie de faldones convexos.

**Limahoya (limah):** crea un sólido ajustado a una serie de faldones cóncavos.

**Multicorte (cts):** proporciona cortes sucesivos de un sólido determinados por elementos planos (flechas), eliminando la porción exterior.

### Utilidades para la resolución automatizada con sólidos 3D

El tercer bloque de comandos permite asignar pendientes y resolver cubiertas de manera automatizada mediante sólidos de AutoCAD



**Asignación automática de pendientes (autop):** solicita la selección de una polilínea cerrada y a partir de ahí, alero por alero, se nos pedirá la pendiente. Pendiente cero equivaldría a no colocar faldón en ese alero y, consecuentemente, tampoco en los aleros colindantes cóncavos con él.

Resolver cubierta (autof): obtiene el sólido que define la cubierta a partir de una polilínea cerrada a la que previamente se hayan asignado pendientes con las órdenes dfal ó autop .

Marcar horizontales (hz) : dibuja las horizontales de cotas indicadas sobre la superficie de la cubierta.

Para solucionar cubiertas con problemas de medianeras pueden resolverse ignorando dichos problemas, para posteriormente crear los faldones de forma manual y después crear las limahoyas y limatesas necesarias, obteniendo el sólido final mediante operaciones booleanas con sólidos.



Booleanas: Despegable que contiene las órdenes de AutoCAD® SUMA, DIFERENCIA e INTERSECCIÓN de sólidos, SEPARAR SÓLIDO y orden de visualización.

#### 4. Conclusión

Desde el punto de vista docente, tras haber experimentado el empleo de esta metodología para la resolución de cubiertas con alumnos de la E.U. de Arquitectura Técnica de la Universidad de Sevilla, hay que decir que existen aspectos positivos y negativos:

En lo relativo al proceso de diseño y del dominio de la percepción espacial, la experiencia es muy positiva ya que proporciona al alumno una herramienta que le facilita enormemente la comprensión de la teoría de cubiertas desde el punto de vista geométrico, siempre que el proceso de aprendizaje sea monitorizado por el profesor que a de supeditar el empleo de los comandos automatizados al conocimiento previo de los procedimientos “manuales” y semiautomáticos.

Sin embargo, hay un aspecto en que el sistema tradicional mantiene ventajas indudables que hacen referencia al aspecto constructivo por el paralelismo existente entre los sistemas constructivos habituales en las cubiertas y el sistema de planos acotados. En este sentido sería el trazado tradicional, mejorado con su resolución tridimensional [Barrera, 1995] la mejor opción didáctica.

No obstante la versatilidad de la aplicación, que al emplear comandos y objetos de AutoCAD ® no exige aprendizaje alguno, y la posibilidad de adaptarse a diversas tipologías de cubiertas mediante los comandos de trazado semiautomático, consideramos que justifican el empleo de la esta metodología tanto en el ámbito docente como profesional.

#### 5. Bibliografía

- Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stork. *Pattern Clasification, 2nd edition*. John Wiley & Sons, 2000.
- Maravall, *Reconocimiento de formas y visión artificial*, Rama, 1993.
- Barrera, J.A. et alt. “Resolución tridimensional de cubiertas mediante el empleo del C.A.D. 3D” en *Actas del III Congreso de Expresión Gráfica en la Edificación*. La Coruña, 1995.
- Barrera , J.A.; Pastor, M. *Prácticas Resueltas de Geometría Descriptiva*. Sevilla, 1999.
- Tajadura, J.A. et alt. *Programación con AutoCAD*. Mc. Graw Hill, Madrid, 1999.