

# EMPARRILLADO PLEGABLE

LINA PUERTAS DEL RIO (\*)

**RESUMEN.** Este artículo trata de la descripción y las características de un emparrillado que se puede transformar fácilmente en un paquete plegado de barras cuando se le transforma en un mecanismo. Para que esta operación sea sencilla, el diseño posee unas características determinadas. Como estructura, cubre el mismo campo de uso que los tipos convencionales, siendo altamente eficaz aunque no es la solución que emplee mínimo material.

**ABSTRACT.** *This article describes the properties of a grid: it can be easily transformed into a compact bars object when we transform it in a mechanism. To make it easier the design has proper characteristics. As a structure, it has the same use than standard grids, becoming efficient even it is not the solution that uses the minimum material.*

## 1. INTRODUCCION

Se presenta un emparrillado de barras metálicas representado en la figura 1: las barras que contiene en los planos horizontales de la cara superior e inferior (cordones) están dispuestas en ángulo de 45° respecto a los bordes, y las que forman el alma están contenidas en planos verticales ortogonales y dispuestas como en las vigas de celosía de  $x$ , es decir, compartiendo un nudo en la mitad del canto.

Por esta disposición de las barras de alma y con una definición adecuada de nudos, el emparrillado se puede convertir en un mecanismo plegable que obedece a un único movimiento.

## 2. UNIDAD ELEMENTAL

El componente mínimo que se repite comprende las barras que se muestran en la figura 2: cuatro diagonales  $x$ , cuatro medias diagonales  $x$  que continúan en las unidades adyacentes, ocho tramos de cordones y catorce nudos.

Los nudos son piezas con entidad propia siempre, porque la unión barra/nudo (enlace) es móvil: siempre hay una libertad de giro por cada enlace. Esto se consigue bien materializando el eje de giro en la pieza de nudo y ensartando la barra en él, o bien materializando como eje de giro la intersección de la barra y el nudo.

Las diagonales en  $x$  son barras enteras entre cara y cara que están enlazadas a tres nudos, los dos extremos y el central, cruzándose en éste en forma de tijeras. Los cordones están formados por barras que van de un nudo a otro adyacente.

Esta unidad se transforma en un mecanismo que se puede plegar, si se «sueltan» de sus enlaces los cordones de ambas caras, en los nudos que caen en el centro de la unidad. Esta operación se puede hacer dividiendo el

nudo en dos partes, de tal forma que en una queden las barras de alma y en la otra las de cara (figura 3). En los nudos periféricos se mantienen todos los enlaces. Se repite en las unidades que se añaden.

También puede optarse por quitar la totalidad de los cordones completamente, retirando las barras una a una o, en el emparrillado, como líneas enteras de una dirección de la cuadrícula y como barras sueltas en la otra. Lo que queda, barras de alma y nudos, es la cantidad de componentes mínima necesaria que debe permanecer montada para que no se desorganice el conjunto durante el movimiento de plegado.

## 3. MOVILIDAD DEL MECANISMO

La descripción de este movimiento es la siguiente: cuando se gira una barra en  $x$ , se varía el canto, aumentando durante el plegado y disminuyendo en el de desplegado. Esta variación que implica una nueva posición de sus nudos extremos es seguida por el resto de las barras enlazadas a ellos, y éstas obligan a sus adyacentes y así sucesivamente moviéndose todo a la vez: el cambio de canto es global en cada instante del movimiento en todo el mecanismo. Tiene un único grado de libertad.

El resultado próximo es la variación del perímetro de la unidad base en que se giró la  $x$ , y el remoto la del contorno total exterior, que va transformándose en sus semejantes hasta acabar en un paquete de barras casi verticales ocupando el centro del rectángulo.

Todas las barras diagonales y todos los nudos del emparrillado forman la base del mecanismo que se pliega, para que éste conserve la cualidad de tener un movimiento único, ya que es el mínimo conjunto de barras y enlaces que da un grado de libertad: en la posición de desplegado final de este mecanismo base quedan «replanteados» los nudos, dispuestos para añadir los cordones.

Si se prefiere, dependiendo del tamaño y la manejabilidad del conjunto, se pueden dejar enlazados los cordones a los nudos de cada cara. La condición para que

(\*) Prof. Titular Interino. Departamento de Estructuras. E.T.S. Arquitectura. U.P. Madrid.

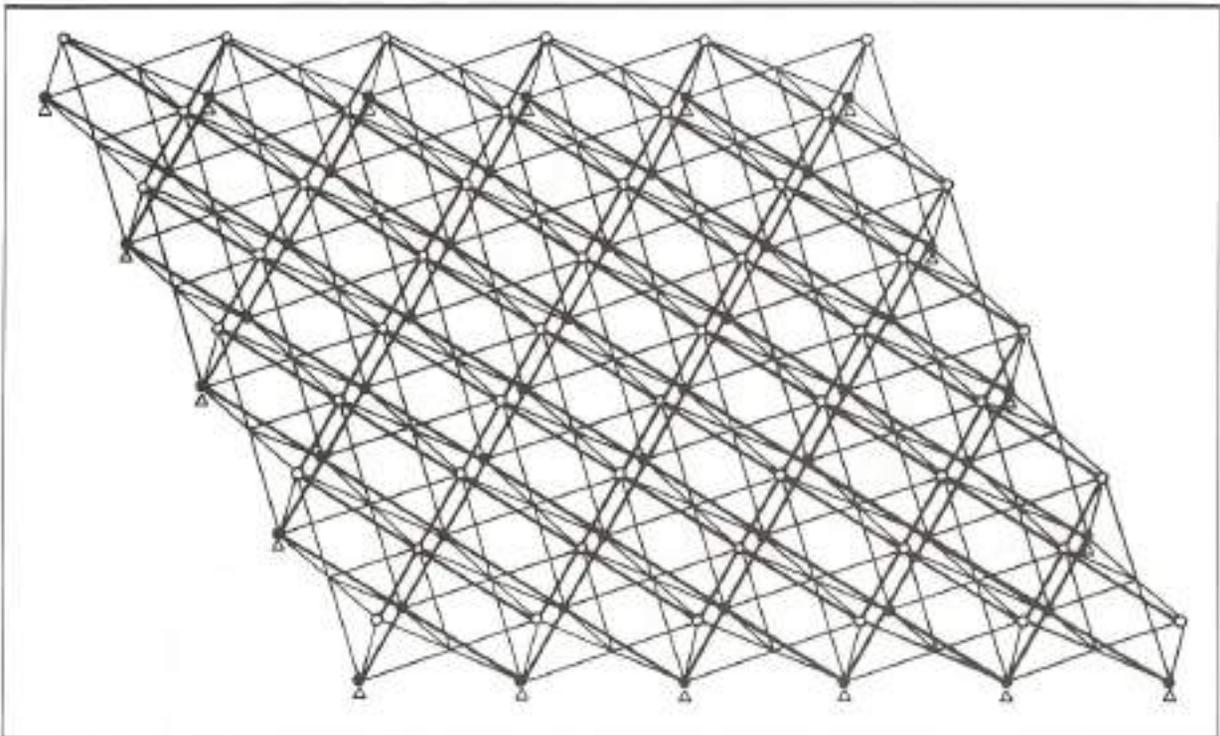


FIGURA 1. Emparrillado.

estas barras, enlazadas a sólo dos nudos, acompañen el movimiento del mecanismo, es que se mantengan enlazadas por un extremo a su nudo y sueltas por el otro. Ejecutado en grupos de cuatro, uno por cada unidad, «materializan» pirámides de base cuadrada, la cual va disminuyendo durante el plegado.

#### 4. COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA DE CELOSIA EN X

Los elementos empleados para formar el emparrillado figuran todos en este tipo de vigas. Sus características más sobresalientes son:

Desde el punto de vista de barras componentes, una

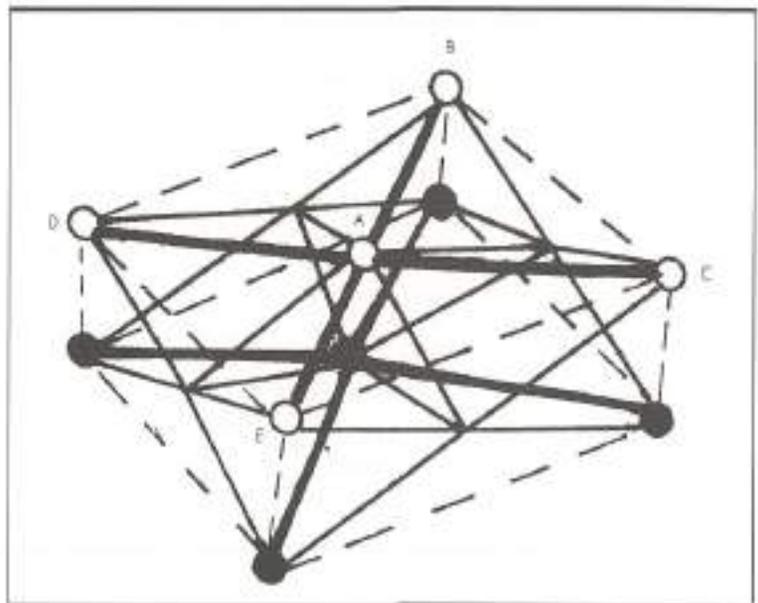


FIGURA 2. Unidad elemental componente.

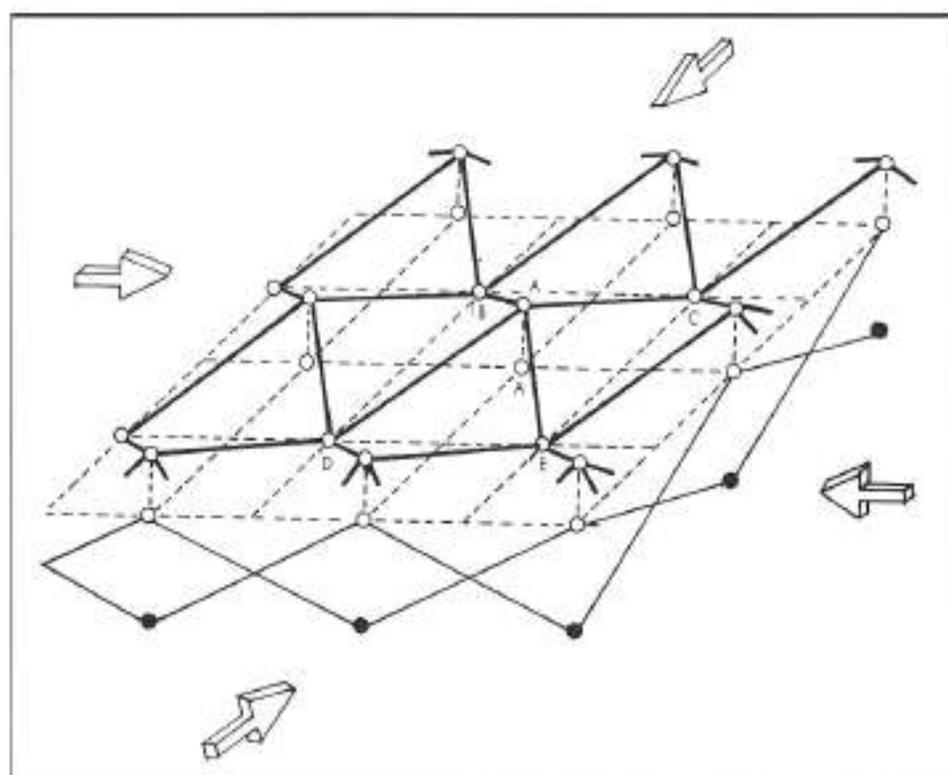


FIGURA 3. Mecanismo plegable mostrando las barras de la cava superior.

viga de este tipo no es un diseño «mínimo». Son diseños mínimos los que se consiguen adosando triángulos que abarquen todo el canto, como las que se conocen por vigas «de montantes y diagonales» y «de diagonales».

Desde el punto de vista de la estabilidad, constituida sólo por cordones y barras en x en el alma y con todos

los nudos idealizados como rótulas, es un mecanismo de un grado de libertad (figura 4). Esto nunca está aparente porque la forma usual de ejecución hace que los nudos sean rígidos, y las barras de alma, enteras entre cordones. Para que fuera estable sería necesario añadir al menos un montante en cualquier lugar.

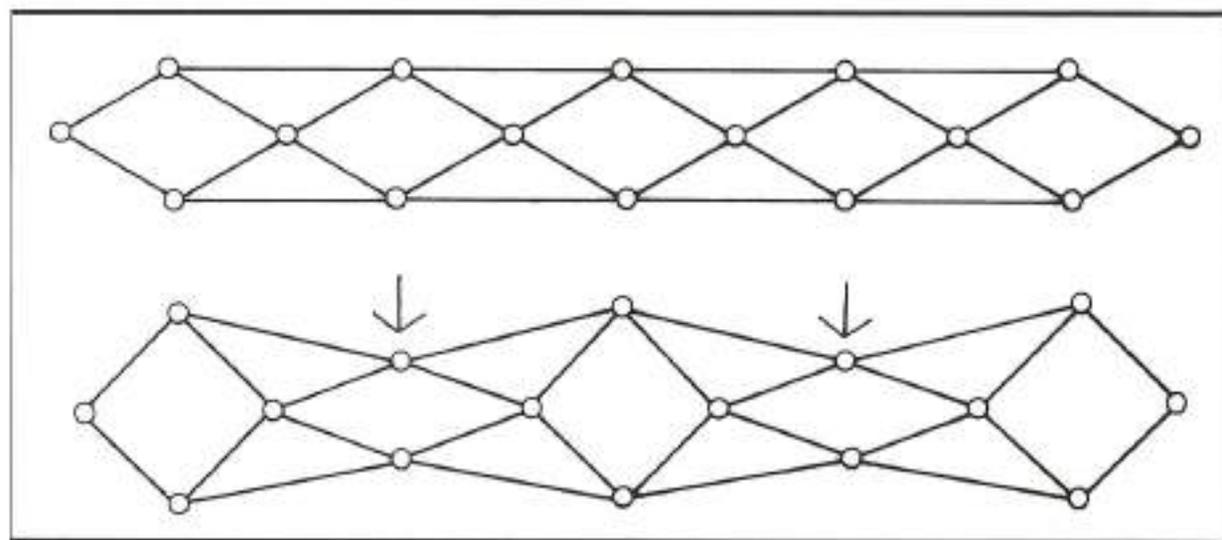


FIGURA 4. Viga de celosía en x.

Desde el punto de vista del comportamiento estructural, situado el montante entre dos nudos del eje de simetría o encima de los apoyos, estas vigas de  $x$ , lo mismo que los diseños mínimos, son internamente isostáticas: el número y posición de barras de esfuerzo nulo en los extremos depende de la situación de los apoyos.

Para cargas normales a su directriz, el tipo de sollicitaciones que corresponde a las diagonales es el mismo que en las llamadas «de diagonales»: un zig-zag de tracción-compresión, pero en este caso doble, en el sentido de que es como si se superpusieran dos vigas «de diagonales» desfasadas.

### 5. COMPORTAMIENTO DEL EMPARRILLADO

Este emparrillado tiene el material responsable de las deformaciones por cortante (diagonales), en planos paralelos a los bordes, y el material responsable de las

deformaciones por flexión (cordones), a 45 grados de esas direcciones.

En el ejemplo que se muestra en la figura 5, con apoyo en todo el contorno, se puede apreciar que las máximas sollicitaciones en las barras de las caras están rodeando el centro y que en las esquinas hay esfuerzos de tracción. En cuanto a las diagonales de alma, entregan sus máximos esfuerzos en el centro de los bordes de apoyo, pero hay un gran tramo de muy poca pendiente en el diagrama de reacciones que se trazaría.

El comportamiento es el esperado para un emparrillado con vigas de longitudes diferentes: es como si las más cortas, cercanas a las esquinas, por ser más rígidas recogen parte de las cargas que llevan las más largas, las que son casi como las diagonales del rectángulo, sirviéndolas de apoyo hasta el punto de cambiar su curvatura e invertir el tipo de sollicitación, es decir, con

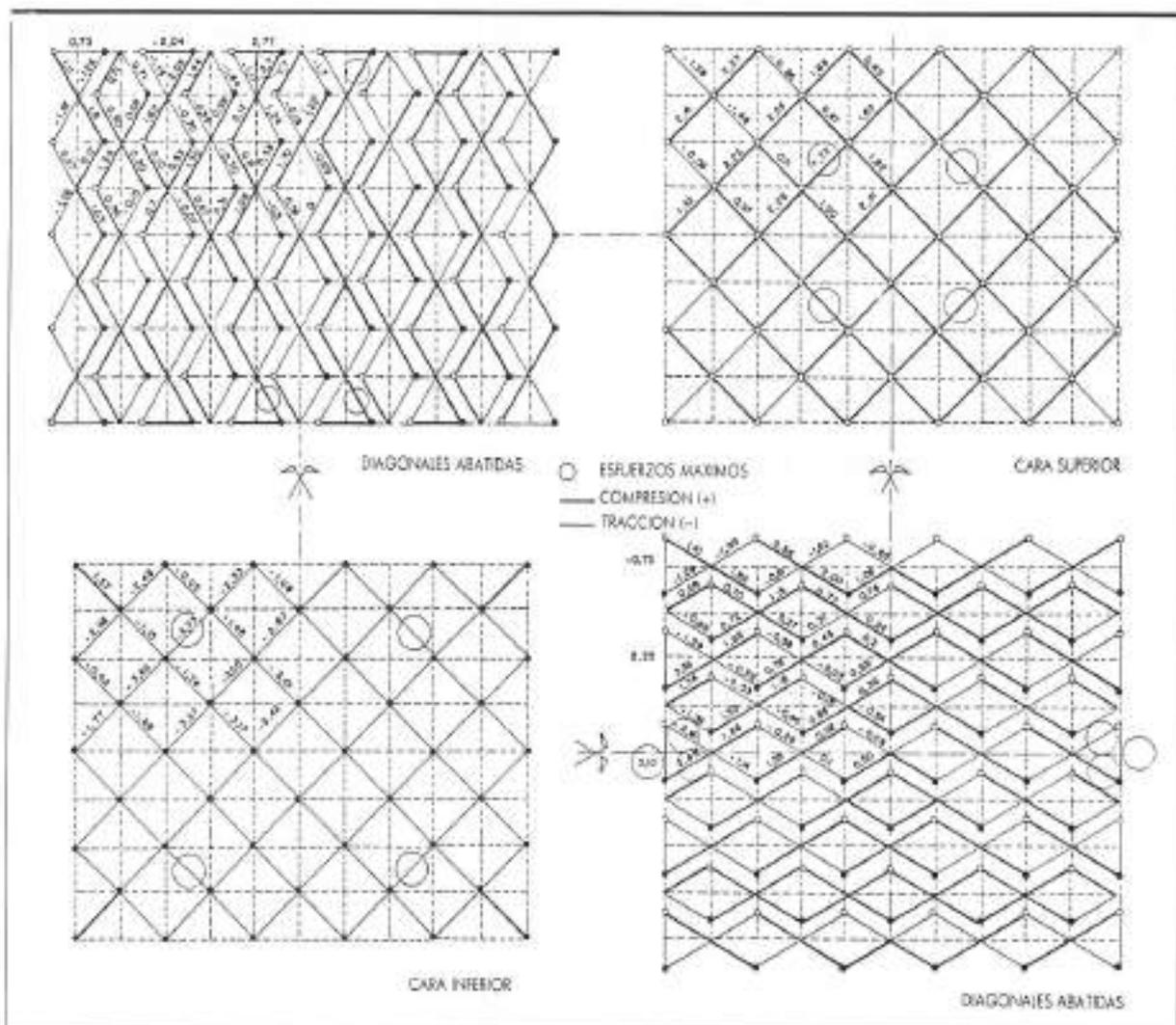


FIGURA 5. Emparrillado. Ejemplo.

momentos positivos en el centro del «vano» y negativos en el «apoyo» y el «voladizo».

Se puede decir que el emparrillado está compuesto por vigas en diagonal que tiene sus cordones en un mismo plano y las diagonales fuera de él, compartidas con las vigas que se les van cruzando en la dirección perpendicular.

Es una disposición ventajosa desde el punto de vista de la cuantía de los valores de sollicitación: son más bajos que en cualquier otra disposición en dos direcciones porque en todos los puntos cercanos a los bordes (bastantes) la carga situada en un nudo de la cara superior se encuentra con dos vigas de rigidez muy desigual y un gran porcentaje se irá al apoyo por donde deforme menos, es decir, por la longitud más corta.

Obviamente los efectos se notan todavía más en la cuantía de los valores de deformación, por cuanto que es la disposición del material que soporta las sollicitaciones de momento quien determina el comportamiento del emparrillado, y es responsable de casi toda la deformación total. En este ejemplo, la flecha máxima es 1/463 de la luz menor, para una carga de 1 t/m<sup>2</sup>.

Dicho en otras palabras, en una disposición con un porcentaje pequeño de vigas muy largas y grande de cortas y medianas, la parte de flecha en que colaboran las últimas viene dada en función de un fuerte porcentaje de carga pero con unos valores pequeños a la cuarta potencia de la luz, al contrario que las muy largas.

Todavía se pueden añadir filas de barras en las caras superior e inferior, paralelas a uno de los bordes. Ambas caras quedan trianguladas con triángulos isósceles, reuniendo seis barras por nudo en vez de cuatro. Se tiene una estructura con material capaz de resistir los esfuerzos de flexión y torsión propios de una placa.

## 6. CONCLUSION Y COMPARACIONES

Se han definido estructuras que se comportan como emparrillados o placas de nudos articulados en que las ba-

rras enlazadas deben tener realmente libertad de giro respecto a las piezas de nudo y que se pueden plegar con todas sus barras o, como mínimo, con los nudos y las barras del alma.

Importa poco cómo esté dispuesto su material de alma. Importaría más que tuviera poca cantidad. Pero la ventaja de la plegabilidad está penalizada por el empleo de doble material de alma, así como de un número mayor de piezas de nudo. En este sentido, el diseño «mínimo» dentro del tipo podría corresponder al emparrillado de pirámide cuadrada (vigas componentes de diagonales dispuestas en planos inclinados) girado 45 grados, o quizá a alguna otra disposición que usase menos diagonales, por ejemplo mezclando nudos que recojan cuatro con nudos que recojan dos.

Hablando de una determinada superficie a cubrir, diseños tan rígidos permiten emplear barras relativamente delgadas, aligerando el peso propio del empaquetado plegado a transportar.

Hay pocas limitaciones al tamaño de la superficie a cubrir, tanto si el uso esporádico de la estructura es en el mismo sitio o se transporta y monta en lugares diferentes. En este último caso, se puede trocear y transportar en varios paquetes, puesto que es simple enlazar y desenlazar las barras de las piezas de nudo, así como pensar en apoyos puntuales lo suficientemente estables en lugar del apoyo de contorno.

## REFERENCIAS

- PEREZ PIÑERO, E. (1968). «Pabellón desmontable y extensible, estructura tubular de aluminio»: *Rev. Arquitectura* n.º 110. Febrero 1968, págs. 54 y 55. «Pabellón transportable de exposiciones»: *Rev. Arquitectura* n.º 112. Abril 1968, pág. 5.
- CALATRAVA, S. (1981). *Zur Faltbarkeit von Fachwerken*. Tesis Doctoral. U. P. Zurich.
- PUERTAS DEL RÍO, L. (1989). *Estructuras espaciales desmontables y desplegadas*. Tesis Doctoral. U. P. Madrid.

# TELCOGRAVA, HACIENDO CAMINO.

TELCOGRAVA es un sistema basado en la técnica de la Grava-emulsión, que ofrece soluciones técnicas y económicas adaptadas a la necesidad de cada tipo de carretera.

Fabricada con una emulsión de betún que, en función de la calidad de los áridos y el porcentaje de ligante, permite conseguir desde mezclas de altas prestaciones hasta estabilizaciones de coste reducido, con utilización de materiales locales, no válidos en muchos casos para otros tipos de mezclas.

Un nuevo sistema de gran versatilidad y técnicamente idóneo para usos en capas de bases en carreteras.

TELCOGRAVA, UN MATERIAL QUE HACE CAMINO.



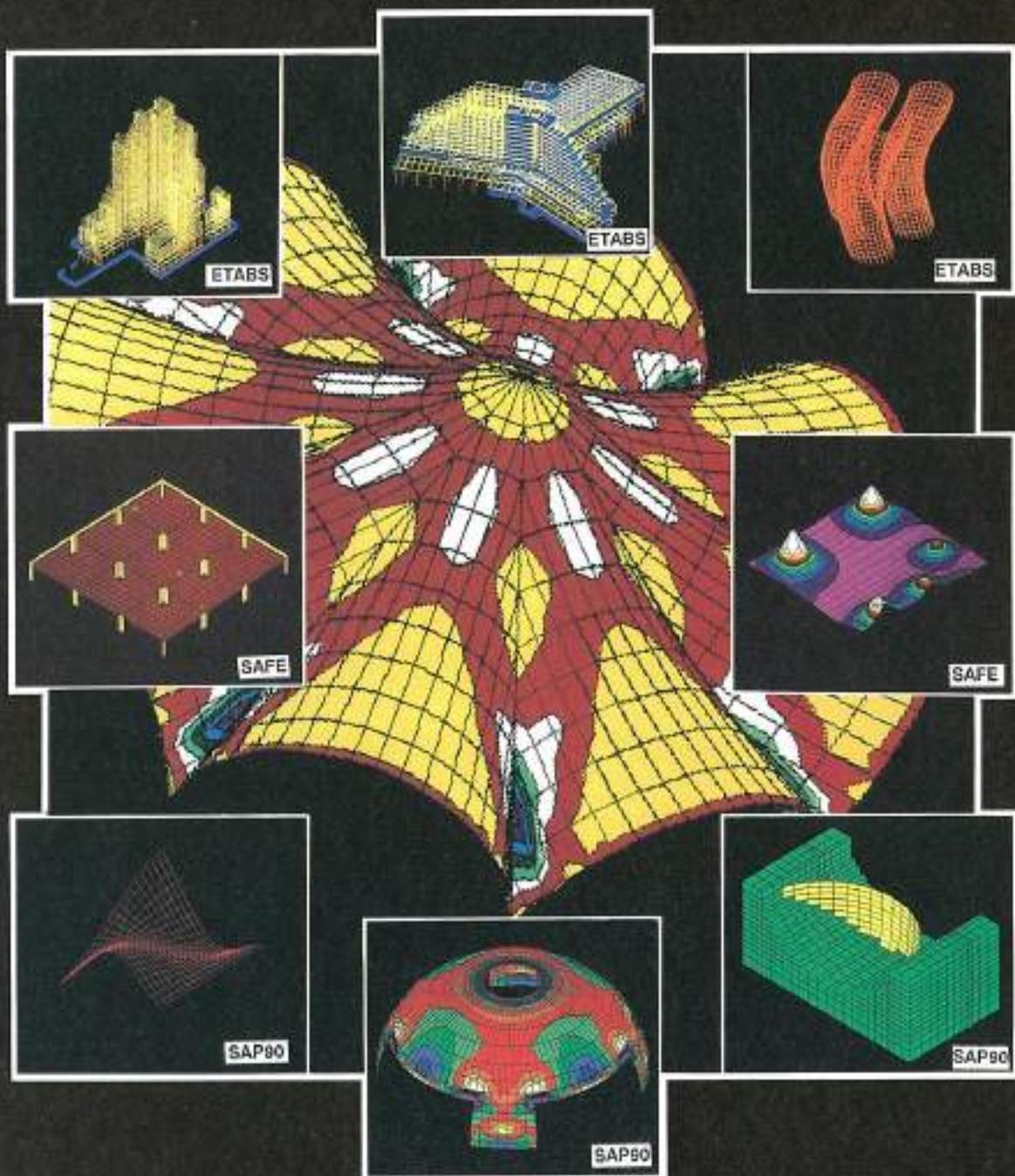
Carrera de San Jerónimo, 14 • 28014 MADRID  
Tels. 522 64 90 - 531 75 07 • Fax: 522 27 87



**CSI** *España*  
ORDENADORES, SISTEMAS & INGENIERÍA, LDA.

# SAP90

## Programas de cálculo para ingenieros y arquitectos



### Una imagen vale más que un millón de números

AVENIDA DE ALFONSO XIII, 139 - 28016 MADRID - TELEFONOS: 259 07 42 y 457 01 52 - FAX: 259 43 39