Geometría descriptiva. Geometría Constructiva

La Geometría Descriptiva es esencialmente una asignatura de primer curso, es decir, una asignatura de base, formativa, pero no específicamente tecnológica. De acuerdo, pero ¿es posible asociarla un componente tecnológico y convertirla así en una asignatura aplicada?

Luis Sánchez-Cuenca.
Dr Arquitecto. CEU Escola Politécnica Superior
Universitat de Girona

JUSTIFICACIÓN

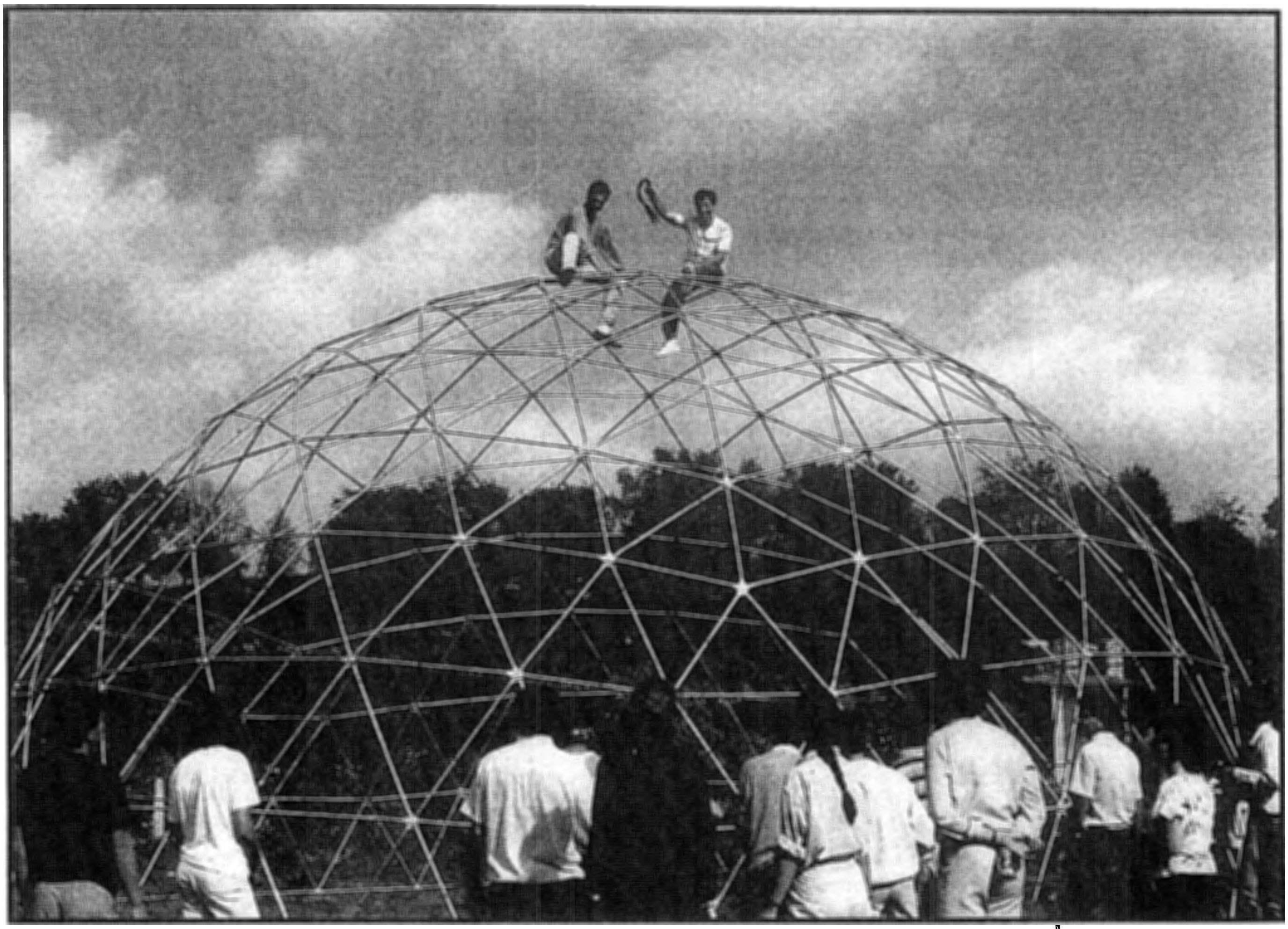
La **Geometría Descriptiva** es esencialmente una asignatura de primer curso, es decir, una asignatura de base, formativa, pero no específicamente tecnológica. De acuerdo, pero ¿es posible asociarla un componente tecnológico y convertirla así en una asignatura aplicada?

Lo que presento en este artículo es un intento por dar una respuesta positiva a esta pregunta en el sentido de acercar la **Geometría Descriptiva** a algunos problemas reales con el fin de encontrar aplicaciones directas a lo que en ella estudiamos. El intento en sí mismo no es ninguna novedad. En otras Escuelas se han hecho sobre el tema aportaciones de interés. Por mi proximidad conozco bien, por ejemplo, las experiencias de la ETS de Arquitectura de Barcelona. La diferencia estaría en que en Barcelona se han centrado más bien en temas de "representación" y en Gerona nos hemos dirigido a aspectos más "constructivos".

Todo ello tiene relación naturalmente con lo que estudiamos en esta asignatura. Y ¿qué es lo que estudiamos en ella?. Pues básicamente dos cosas a la vez inter-relacionadas: geometría y representación. De hecho la **Geometría Descriptiva** es geometría de la "descripción", es decir, de la "representación", y efectivamente la representación es su aplicación más directa e inmediata. Pero, no es la única. Si hacemos una lectura inversa la **Geometría Descriptiva** se convierte en "descripción de la geometría" o, lo que es lo mismo, "descripción de geometrías". Esta es, pues, otra aplicación de nuestra asignatura, y en ella vamos a fijar nuestra atención: la **Geometría Descriptiva** como "descripción de geometrías", en este caso de geometrías que puedan tener aplicaciones en el campo de la edificación.

A continuación presento algunos ejemplos de cuáles pueden ser estas geometrías y cuáles pueden ser sus campos de aplicación.

Antes, sin embargo, una pequeña reflexión: la geometría prácticamente ha desaparecido en las carreras técnicas. En Arquitectura Técnica el estudiante se va a encontrar escasamente con ella en sólo dos asignaturas, la Topografía y la Geometría Descriptiva. Por tanto parece importante aprovechar al máximo las oportunidades que tengamos para recuperarla. Porque la Geometría ha estado siempre presente en el proceso constructivo. Desde el inicio de la Arquitectura la geometría ha tenido en ella un papel relevante, ya sea en las soluciones constructivas, o bien como elemento simbólico con el fin de proporcionar trascendencia a las formas y al diseño.



Desde el inicio de la Arquitectura la geometría ha tenido un papel relevante.

Desde las primeras arquitecturas mesopotámicas y egipcias, pero también en las arquitecturas más recientes. Baste recordar a **Le Corbusier** con sus trazados reguladores y su Modulor, o a **Foster, Piano, Rogers, Rice, Calatrava** y demás representantes de la "high tech".

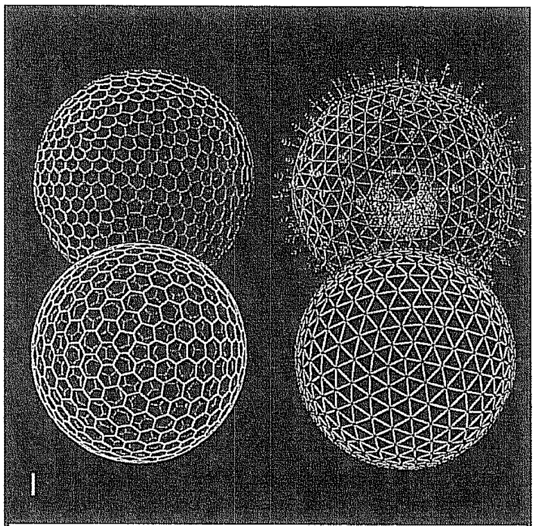
Volviendo a lo que decíamos, a la Geometría Descriptiva como "descripción de geometrías", ¿cuáles son las geometrías que pueden interesarnos? Nos limitaremos a citar algunas:

- Poliedros
- Geometrías para tramas estructurales
- Tensegrity
- Geometrías extensibles

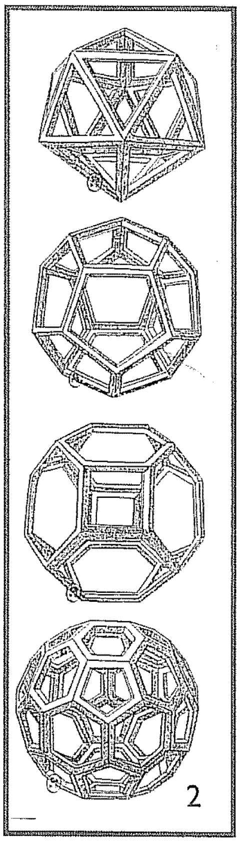
En estos cuatro campos hemos estado trabajando en la asignatura desde hace algunos años. Hemos desarrollado un cierto número de pequeñas experiencias con la participación activa de los alumnos, que han contado con su interés y que pensamos que pueden seguir siendo fuente de curiosidad y estímulo para ellos.

La geometría prácticamente ha desaparecido en las carreras técnicas. En Arquitectura Técnica, el estudiante se va a encontrar escasamente con ella en sólo dos asignaturas, la Topografía y la Geometría Descriptiva. Por tanto, parece importante aprovechar al máximo las oportunidades que tengamos para recuperarla.

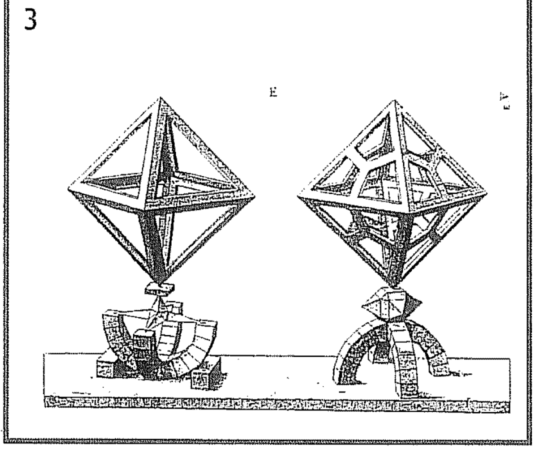
Maestros trabajando. Rodericus Zamorensis.



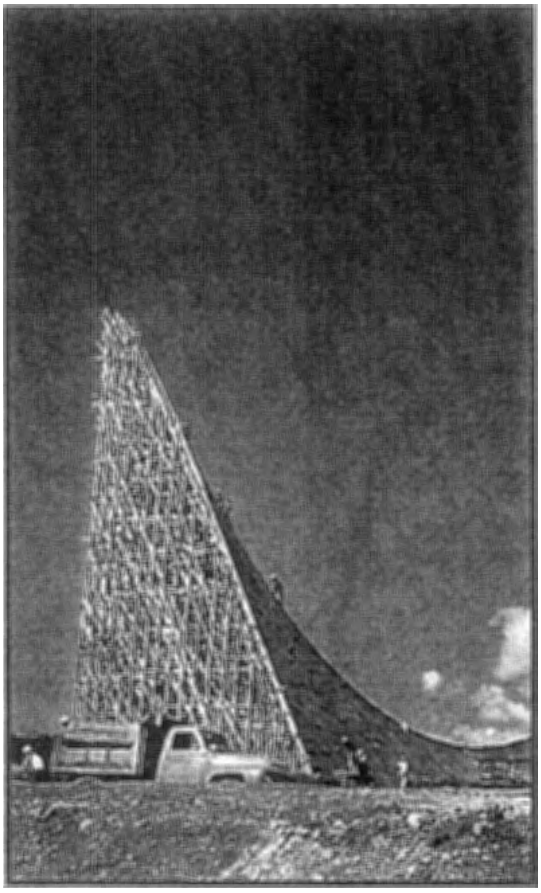
1



2



3



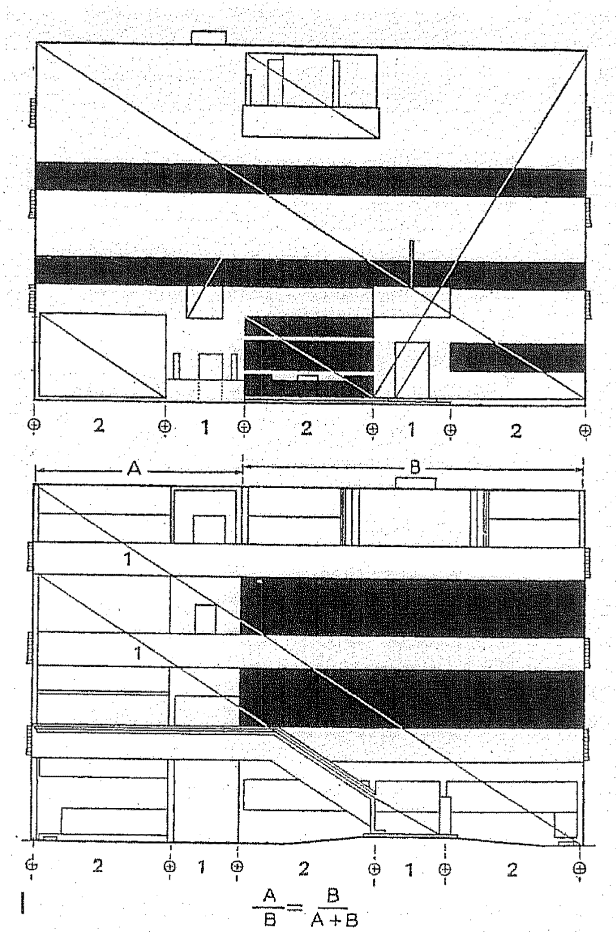
Félix Candela. Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México, 1958

Geometría en la naturaleza y en el arte

1 Radiolaria

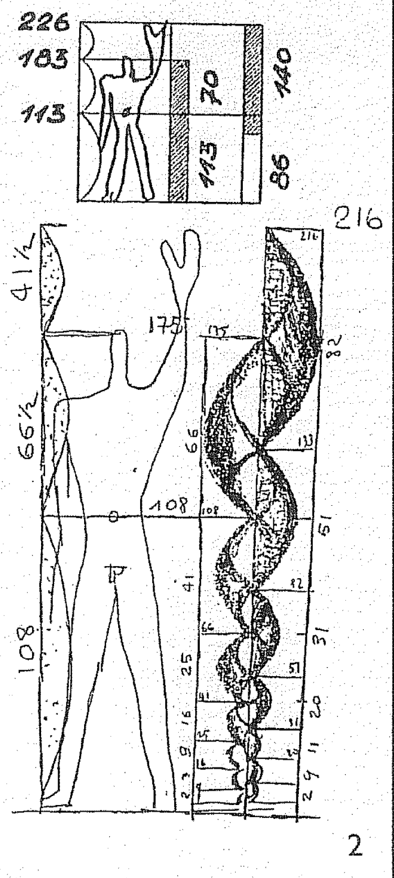
2 Dibujos de Leonardo de Vinci

3 Figuras de W. Jammitzer. 1568



1

$$\frac{A}{B} = \frac{B}{A+B}$$



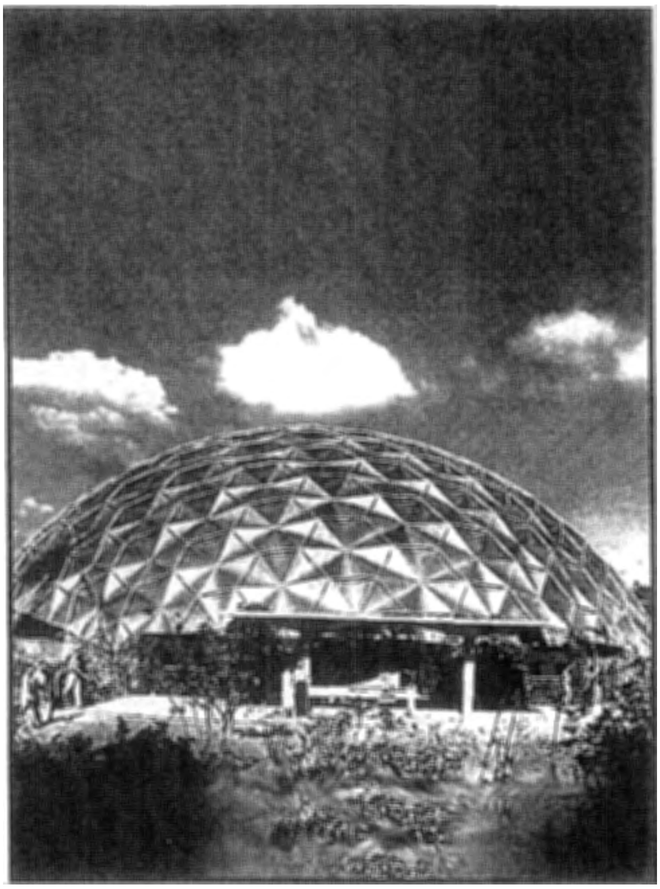
2

Le Corbusier

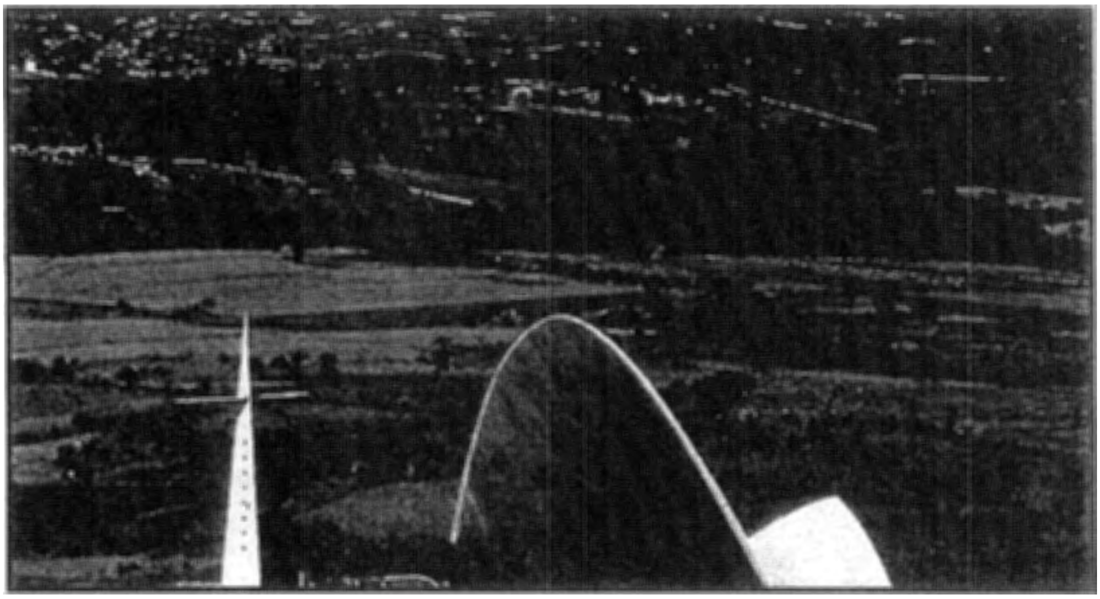
1 Trazados reguladores. Villa en Garches (Francia). 1927

2 El Modulor. Aplicación de la sección aurea. 1947

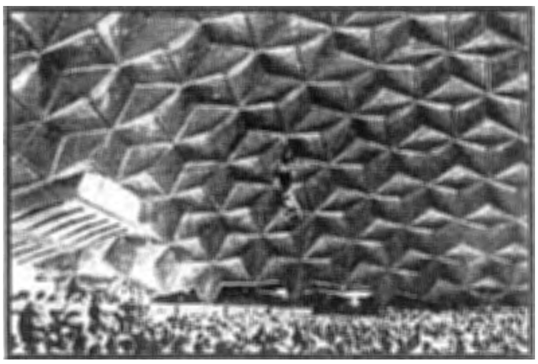
Buckminster Fuller



Buckminster Fuller



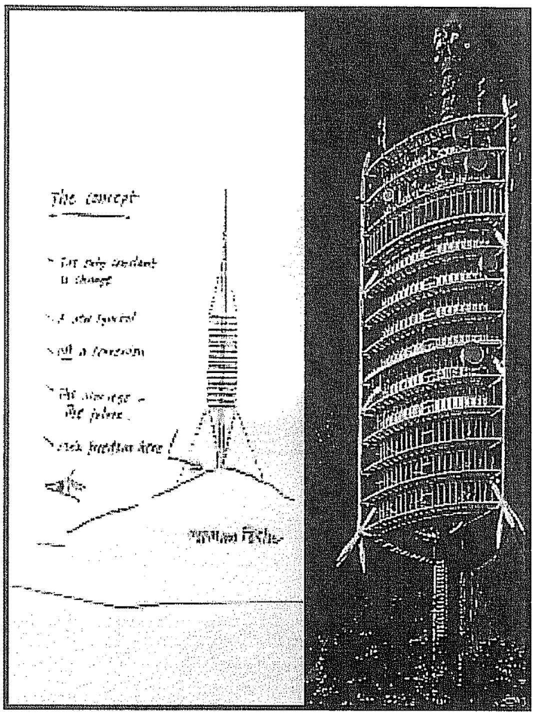
Félix Candela.
Capilla abierta.
Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México, 1958

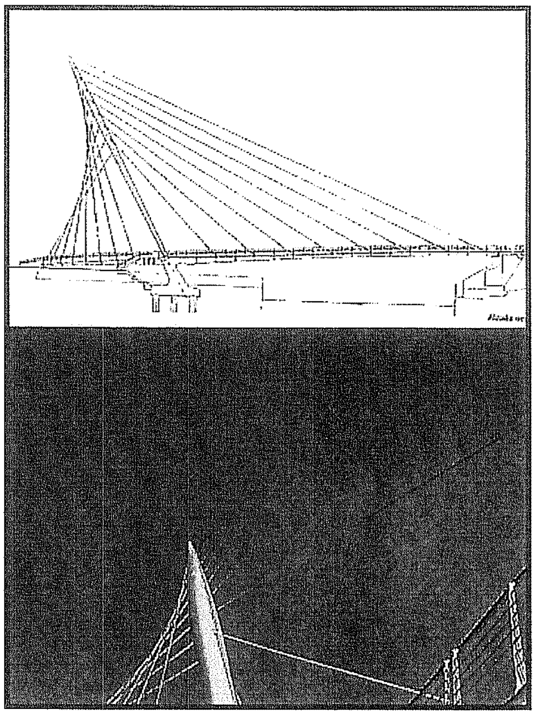


Buckminster Fuller

Izquierda.
Foster.
Torre de comunicaciones. Barcelona. 1992

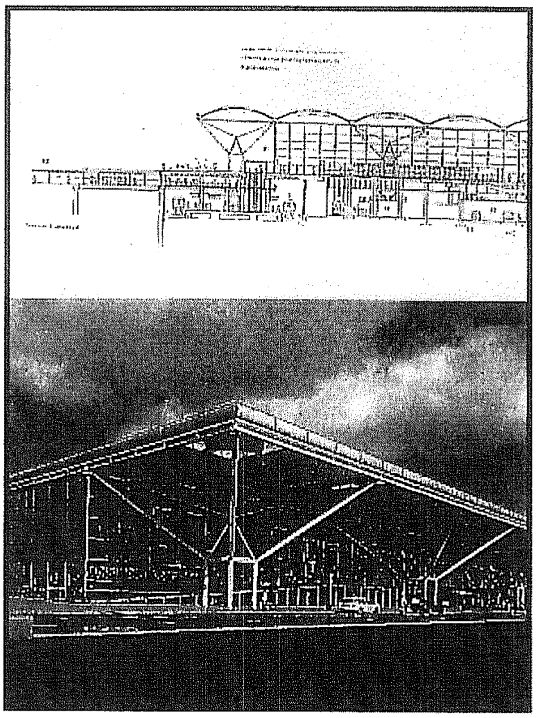
Derecha
S. Calatrava.
Pont Trinity. Salford (UK). 1995

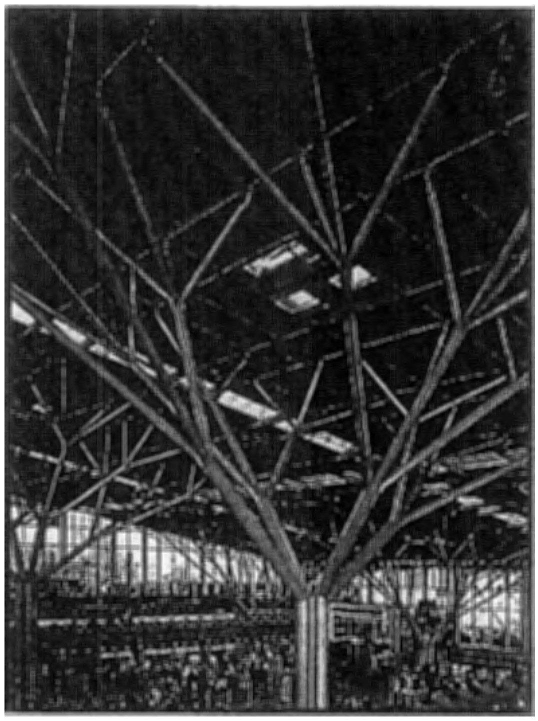




Izquierda.
Foster.
Aeropuerto de Stansted (UK). 1991

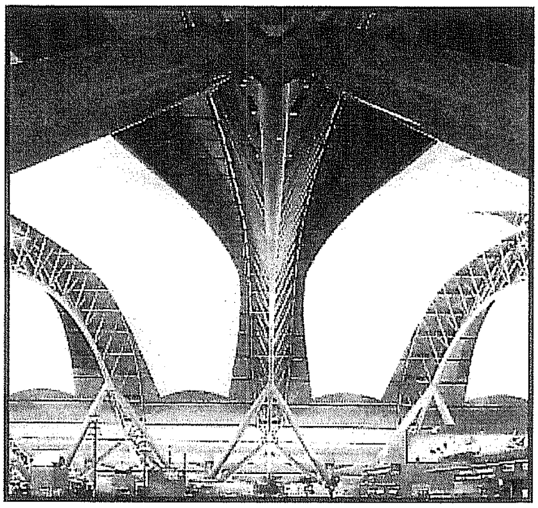
Derecha
Von Gerkan.
Aeropuerto de Stuttgart (Alemania). 1991

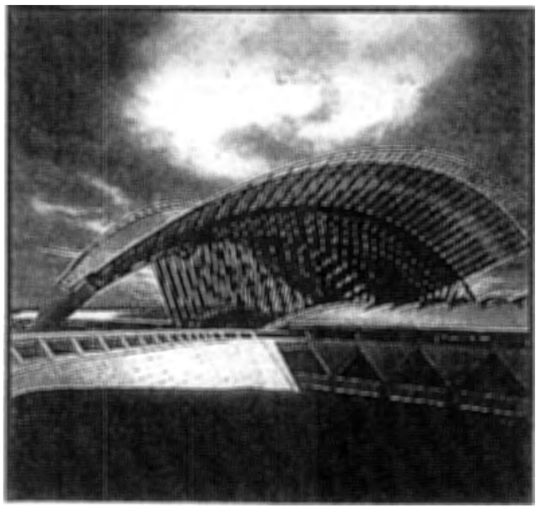




Izquierda.
R. Piano.
Aeropuerto de Kansai (Japón). 1994

Derecha
S. Calatrava.
Estación del TGV. Lyon (Francia). 1995



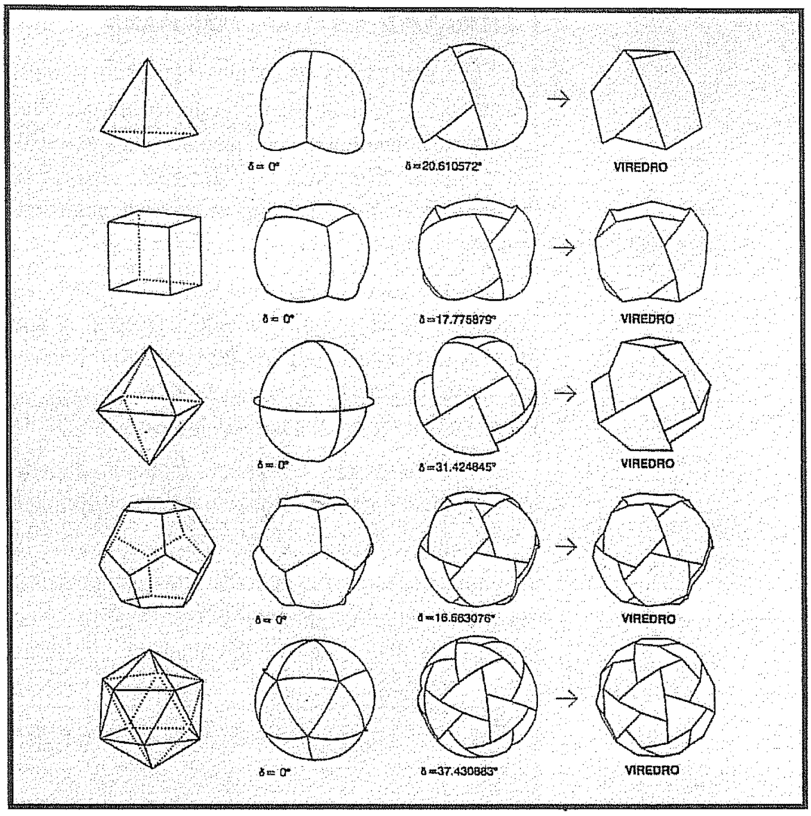


POLIEDROS

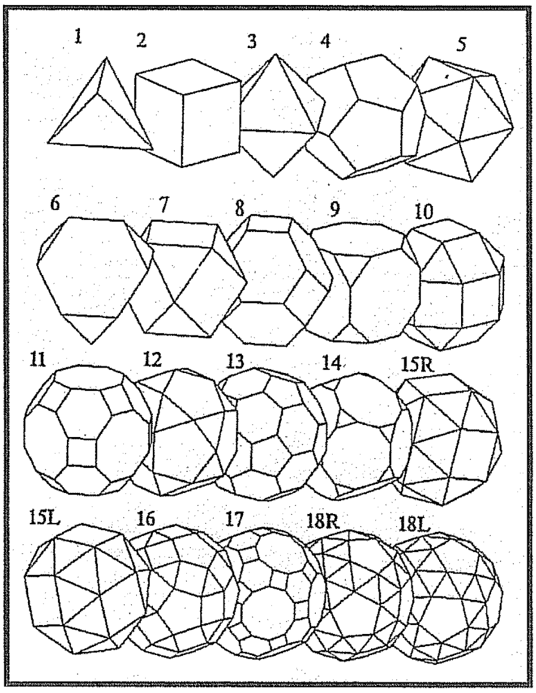
Se ha dicho que cuando **Euclides** escribió sus *Elementos* no lo hizo como un compendio sobre geometría, sino como una simple introducción a los cinco poliedros regulares. Comienza con la construcción de un triángulo equilátero y acaba con la construcción del icosaedro.

Eso quiere decir simplemente que los poliedros eran para **Euclides** como la quintaesencia de la geometría. En lo que a nosotros se refiere los poliedros son (lo han sido siempre) la materia prima de nuestra asignatura. Y no es por casualidad, sino que la estricta y elemental geometría de los poliedros es la mejor piedra de toque para poner a prueba las herramientas que utilizan los sistemas de representación.

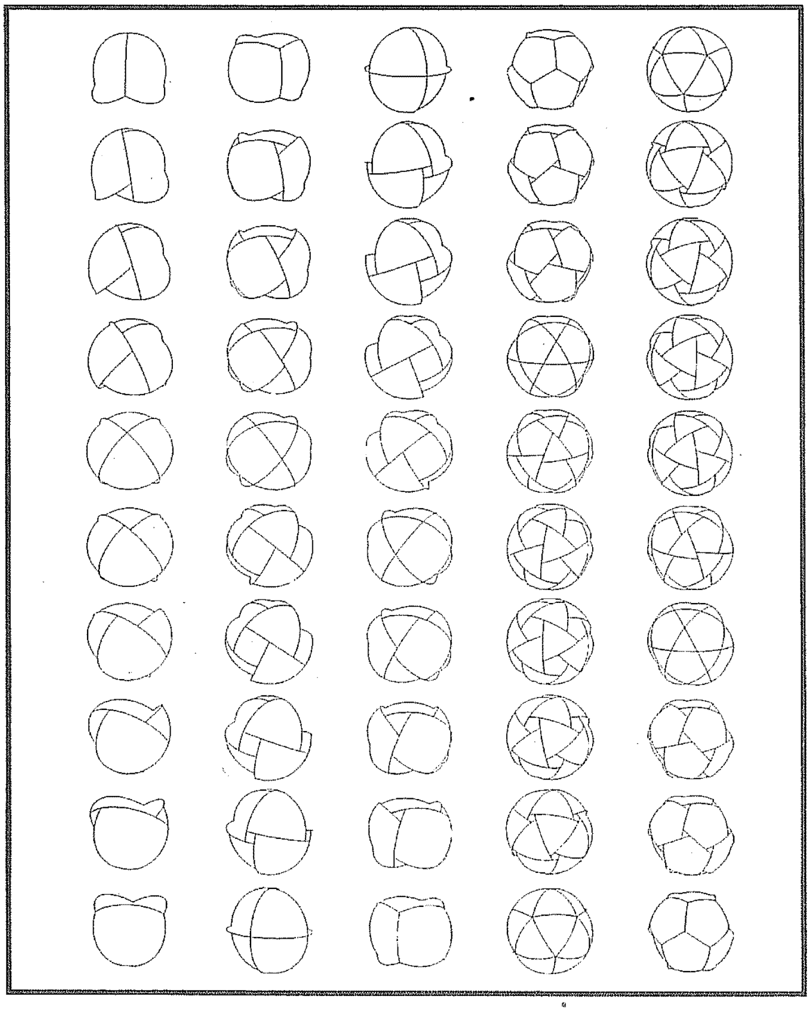
Al mismo tiempo los poliedros, que son estructuras cerradas, estrictas, ideales, pueden producir geometrías abiertas, flexibles y muy prolíficas. Desde siempre los poliedros han sido utilizados a través de muy diferentes medios como fuente para las tramas espaciales más diversas. Desde métodos tan sencillos como el truncamiento de vértices o como el biselamiento de aristas, hasta métodos mucho más sofisticados. **Buckminster Fuller**, por ejemplo, utilizó la subdivisión de las caras de un icosaedro y su proyección sobre una superficie esférica para crear la espectacular geometría de sus cúpulas geodésicas. Personalmente, he utilizado con algunos resultados el método del giro de las aristas, un procedimiento que conduce primero a la geometría "flexible" y después a la geometría "extensible". De ello trataremos con más detalle más adelante.



Geometría flexible. Obtención de los "viredros" de los 5 poliedros regulares



P. Huybers. Los 20 poliedros regulares (platónicos) y semirregulares (arquimedianos)



Geometría flexible. El giro de las aristas en los 5 poliedros regulares

TRAMAS ESTRUCTURALES

Las estructuras espaciales necesitan siempre plantearse a partir de una cierta geometría. Métodos geométricos diferentes conducen a tramas estructurales también diferentes. Aquí describiré algunos de estos métodos al tiempo que se exponen sus resultados.

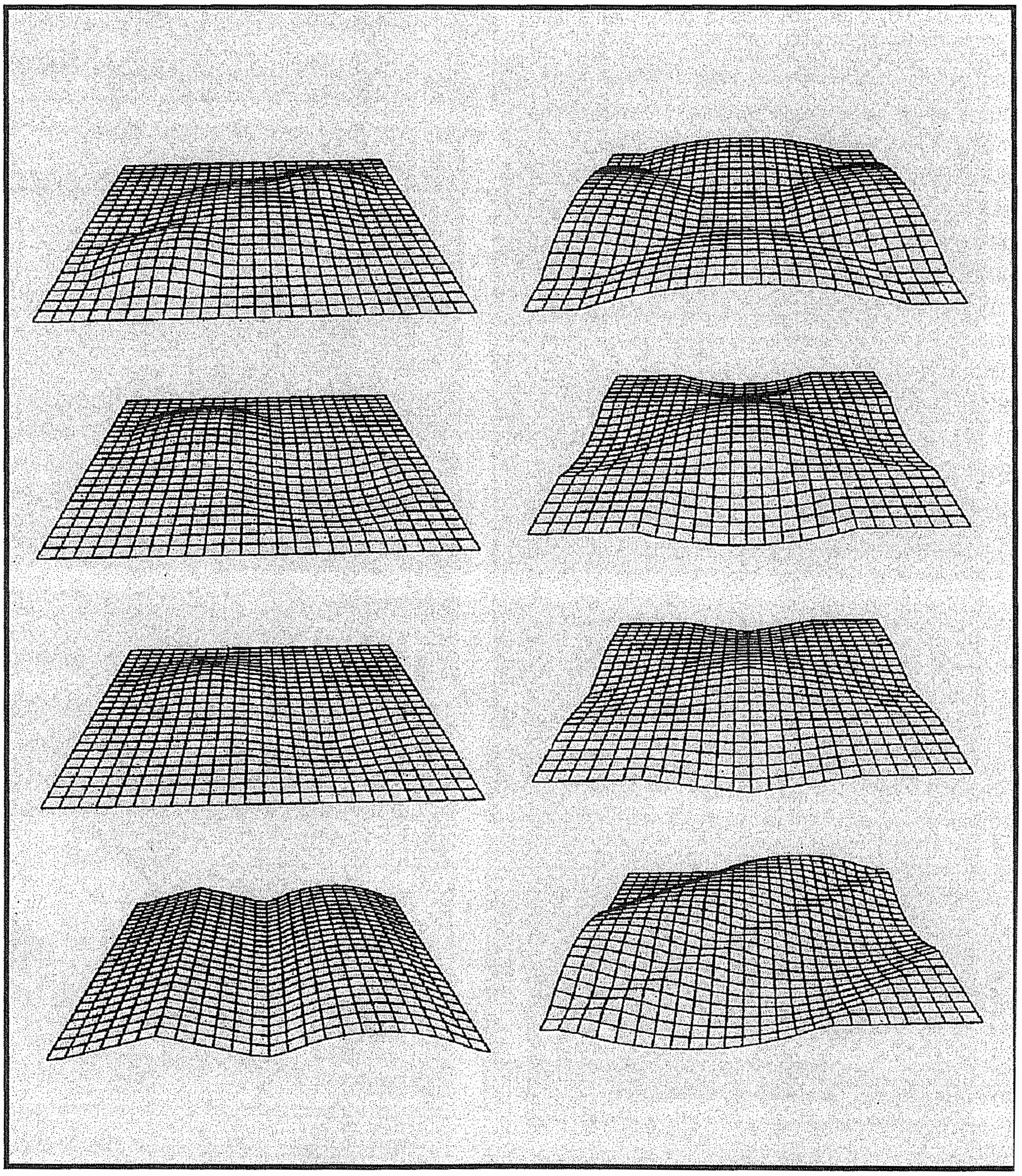
Tramas modulares. Generalmente a partir de triángulos, rectángulos, cuadrados, rombos, si son de una sola capa. O a partir de tetraedros (tramas de malla triangular) o semioctaedros (tramas de malla cuadrangular) si son de doble capa.

Estas tramas son útiles sobre todo para superficies planas o para superficies de simple curvatura.

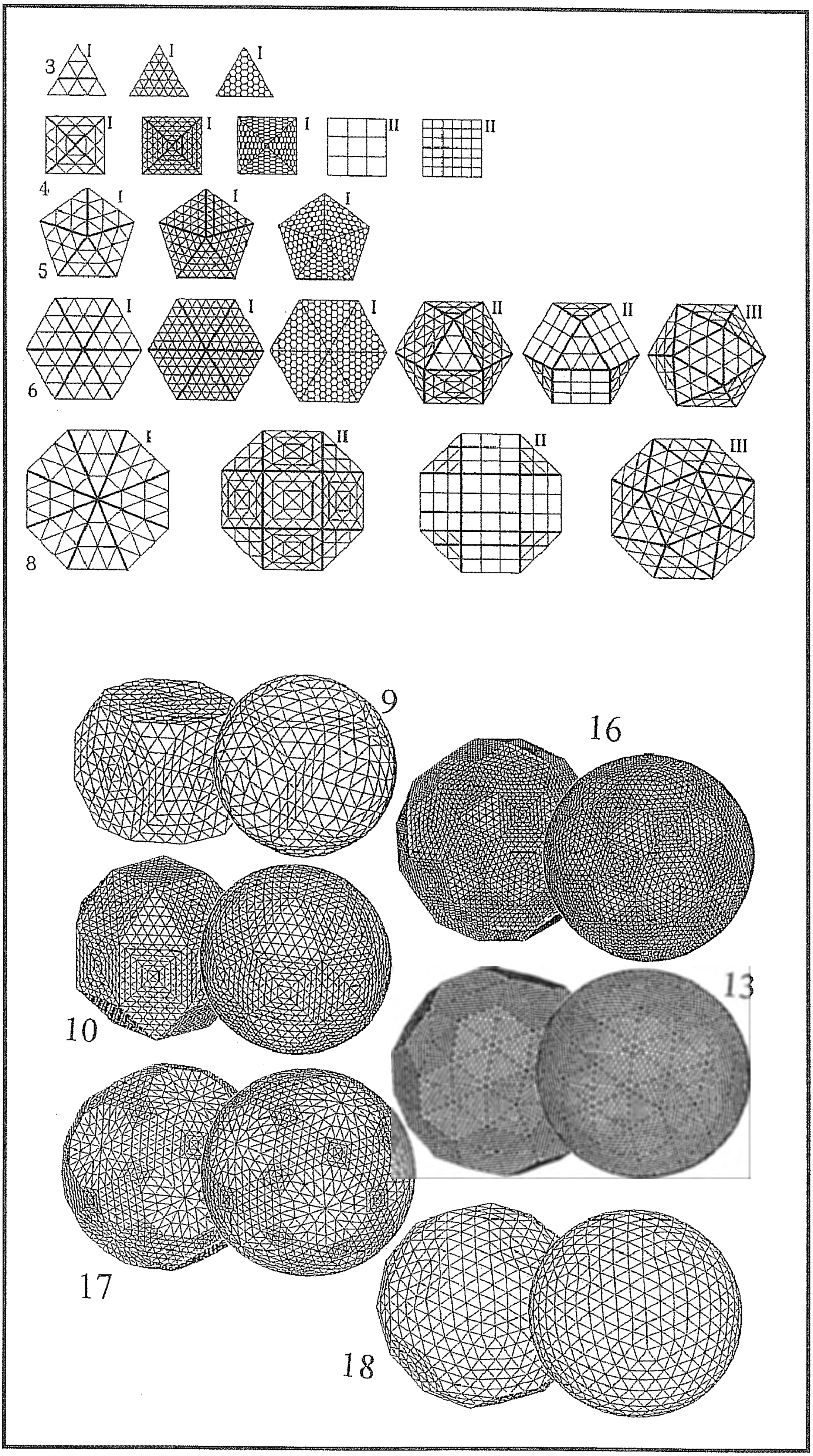
Tramas de traslación. Se obtienen trasladando una línea poligonal a lo largo de otra línea poligonal igual o diferente a la primera. El método tiene como ventaja su gran facilidad de obtención. Además estas tramas tienen una ventaja añadida porque, como luego veremos, pueden ser fácilmente extensibles.

Tramas geodésicas. Su iniciador fué **Fuller.** Utilizó un sistema de proyección. Proyectaba las caras subdivididas de un icosaedro regular sobre su esfera circunscrita. El resultado fué sus conocidas cúpulas geodésicas. El procedimiento es fácilmente generalizable creándose un amplísimo campo de posibilidades: si se trata de proyectar una cierta "malla" desde un cierto "centro" sobre una determinada "superficie", rápidamente deduciremos que modificando la malla a proyectar, variando el centro de proyección, o cambiando la superficie sobre la que se hace la proyección, tendremos para cada uno de los casos tramas bien diferentes.

Todas estas tramas, desarrolladas en una sola o en varias capas, son fácilmente tratadas con ordenador.

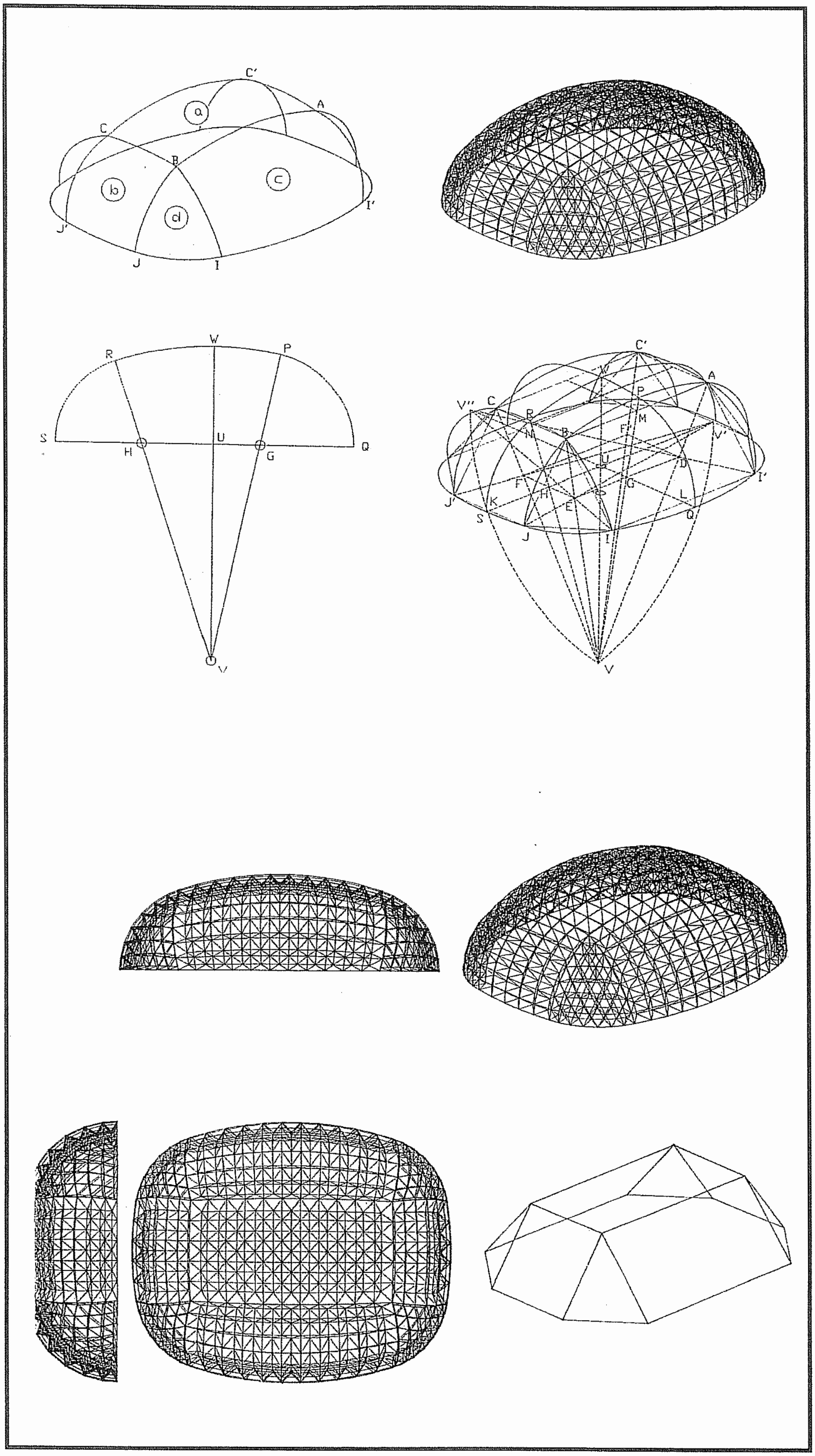


H. Nooshing. Modificación de tramas mediante ordenador

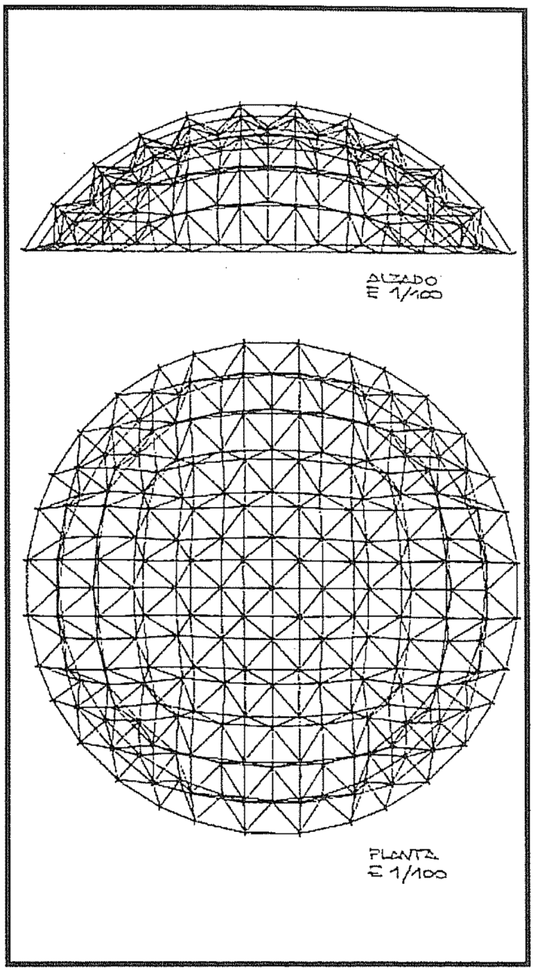


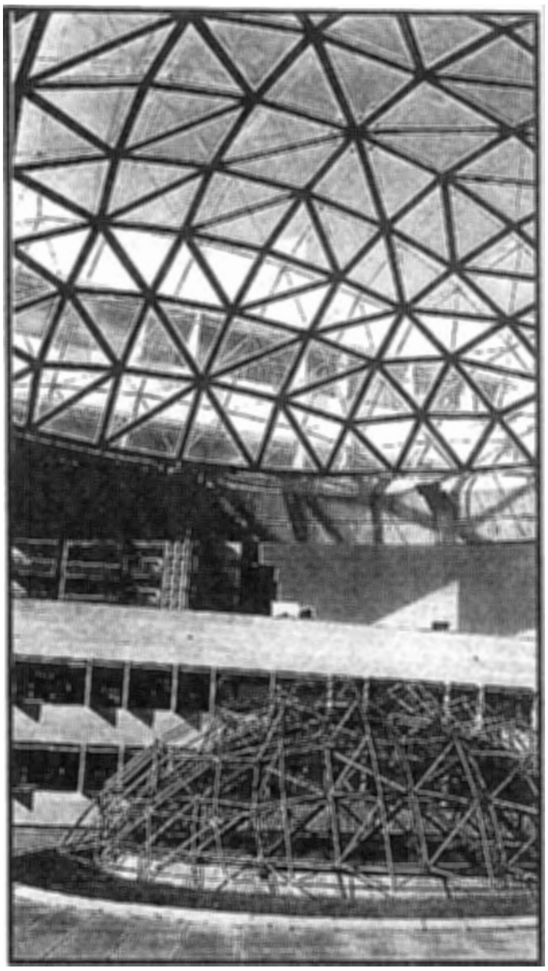
P.Huybers.

Tramas triangulares y cuadrangulares y sus proyecciones sobre la esfera.

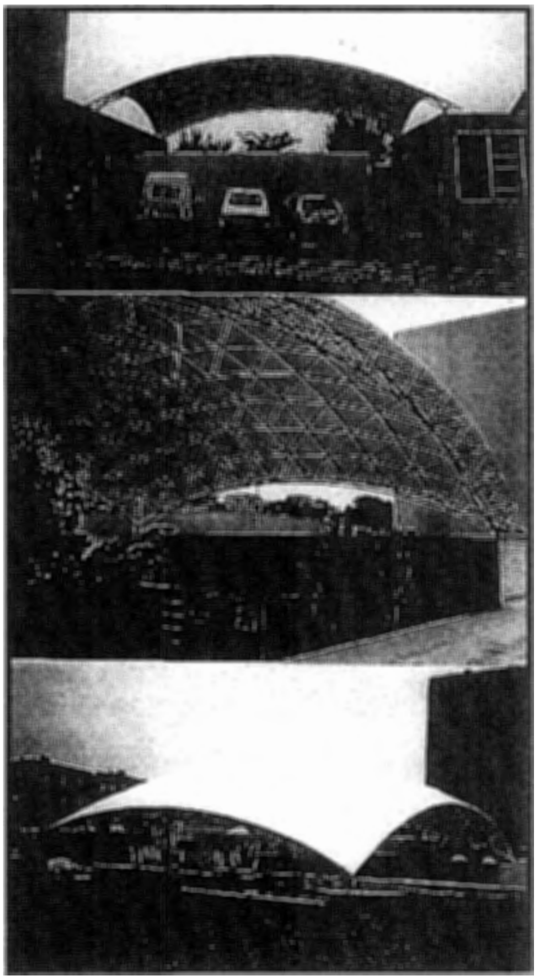


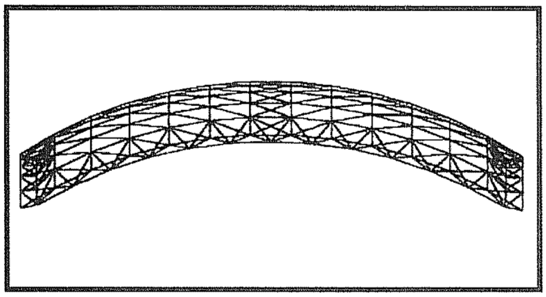
Tramas Geodésicas. Geometría completa de una cúpula geodésica de proyección, compuesta y de doble capa, sobre base rectangular

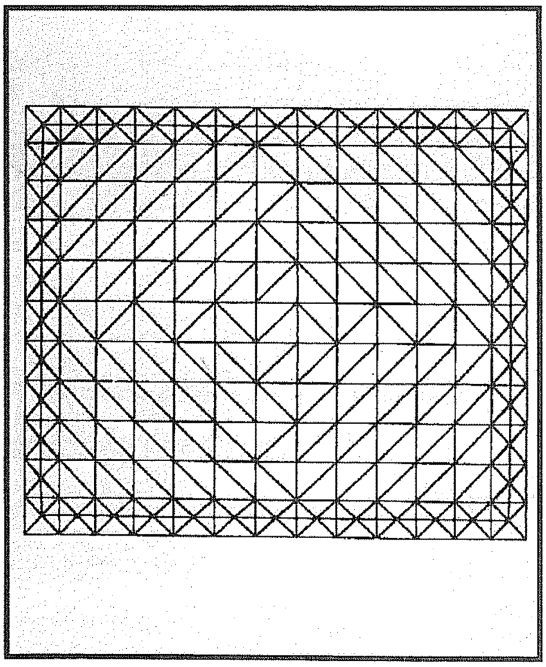




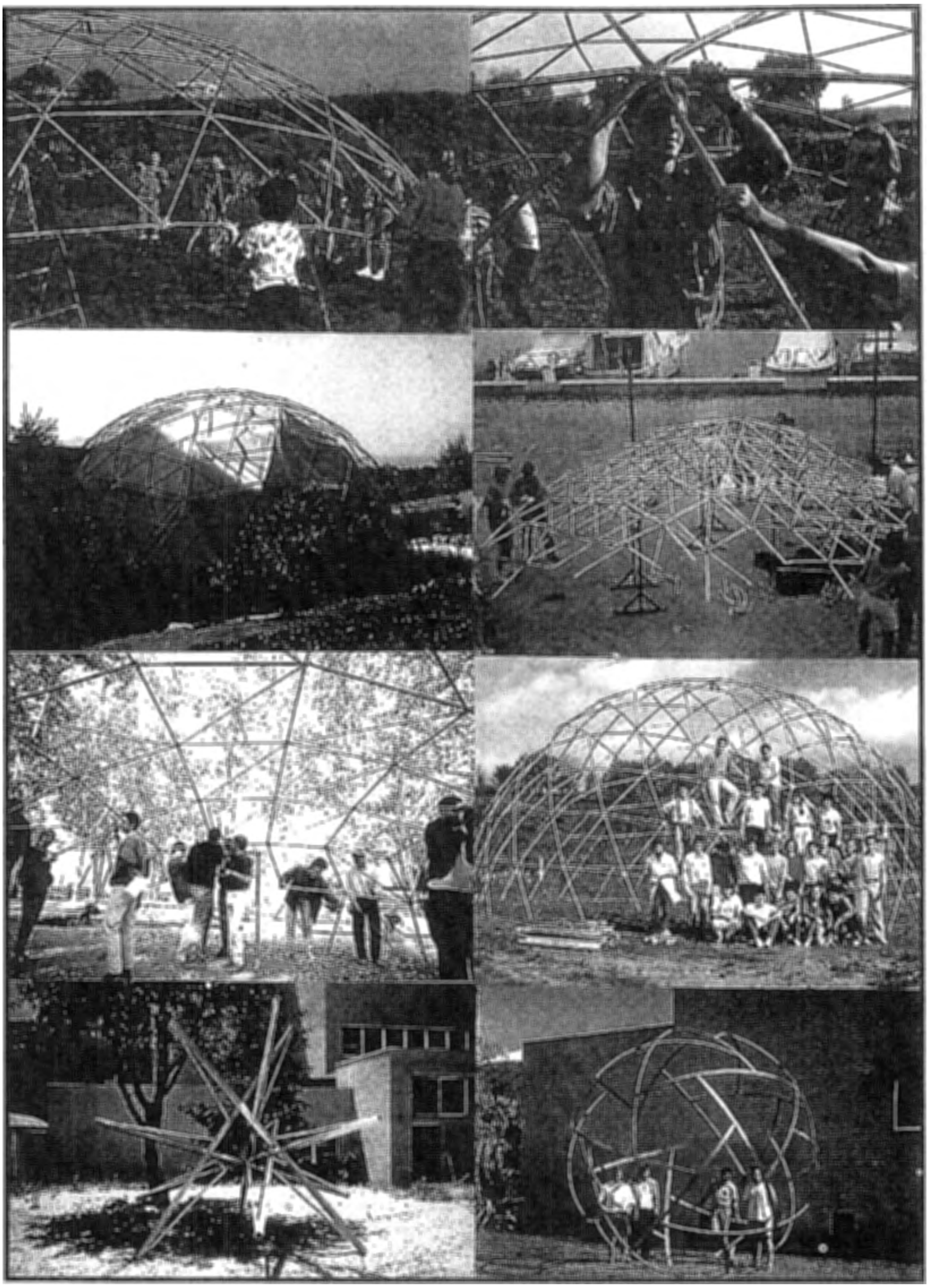
Cúpula de projección.
Figueras. 1993





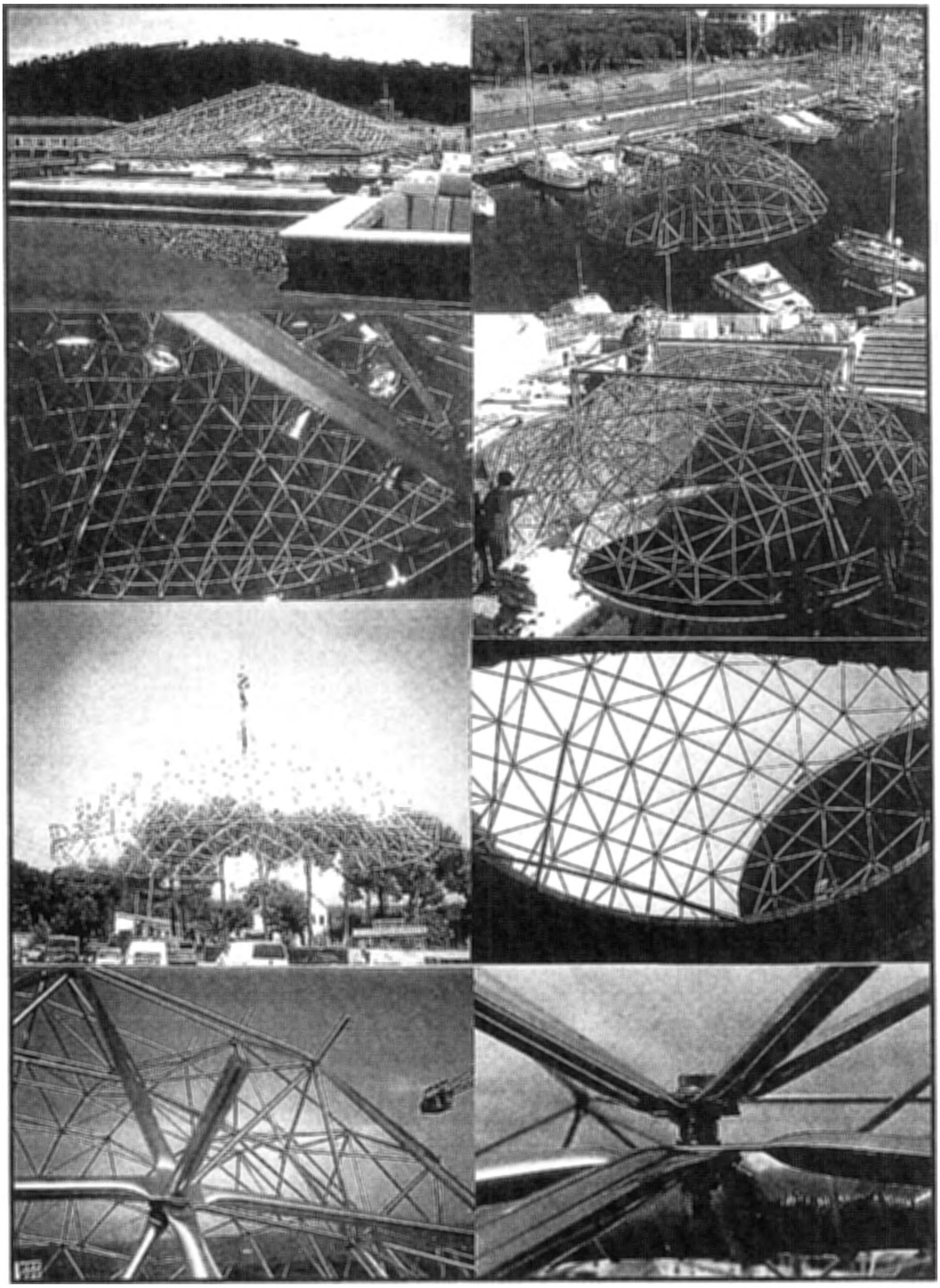


Cúpula de traslación.
EPS Girona. 1993



Diferentes realizaciones con los los alumnos de Geometría Descriptiva de Arquitectura Técnica. EPS Girona. 1989 - 1994

Las estructuras espaciales necesitan siempre plantearse a partir de una cierta geometría. Métodos geométricos diferentes conducen a tramas estructurales también diferentes. Aquí describiré algunos de estos métodos al tiempo que se exponen sus resultados.



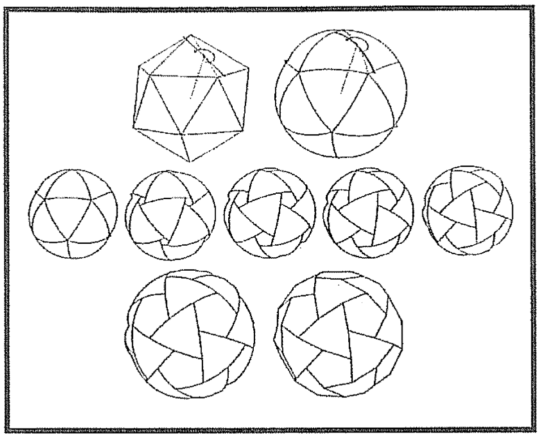
Estructuras de barras realizadas con participación de los alumnos. 1991 - 1995

Las tramas modulares se forman geneneralmente a partir de triángulos, rectángulos, cuadrados, rombos, si son de una sola capa. O a partir de tetraedros (tramas de malla triangular) o semioctaedros (tramas de malla cuadrangular) si son de doble capa.

TENSEGRITY

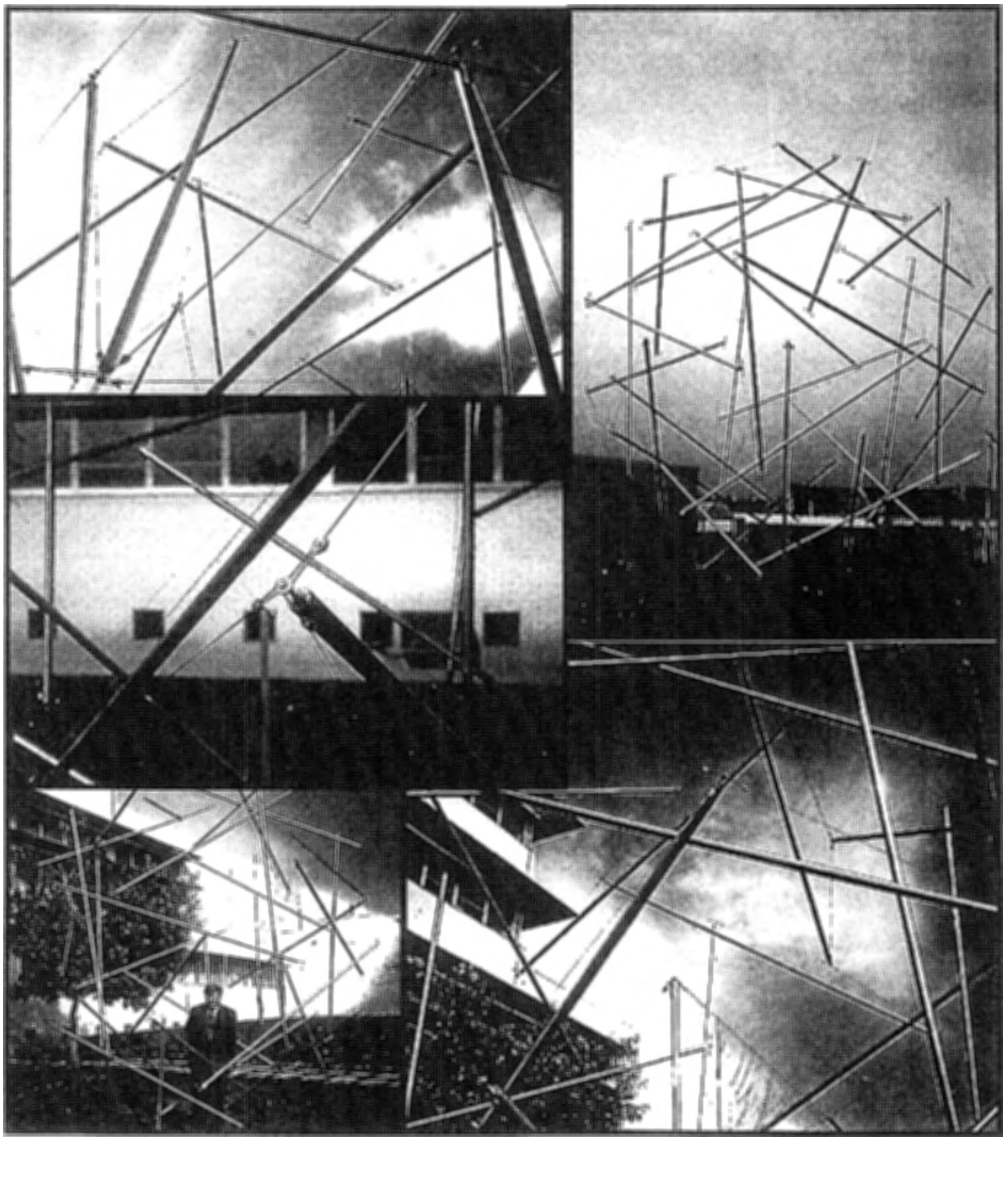
Es un concepto que introdujo **Buckminster Fuller** en la década de 1950. Se puede definir como un sistema estructural autotensado en el que los elementos a compresión son un conjunto discontínuo (las barras a compresión no se tocan), mientras que los elementos a tracción son un conjunto contínuo (los tensores se enlazan entre sí al tiempo que enlazan los extremos de las barras comprimidas).

Una característica esencial de una estructura en tensegrity es que en ella los elementos a compresión y los elementos a tracción mantienen esta condición cualquiera que sea el estado de cargas a que esté sometido el conjunto. Lo que permite que en una estructura de este tipo se puedan diferenciar con toda nitidez los elementos a compresión (barras) de los elementos a tracción (tensores). Estos últimos pueden entonces resolverse mediante cables con el consiguiente ahorro de peso propio.



Obtención del "viredro" del icosaedro regular, figura que puede construirse en tensegrity.

No hace falta insistir en que una estructura en tensegrity requiere una geometría especialmente rigurosa.

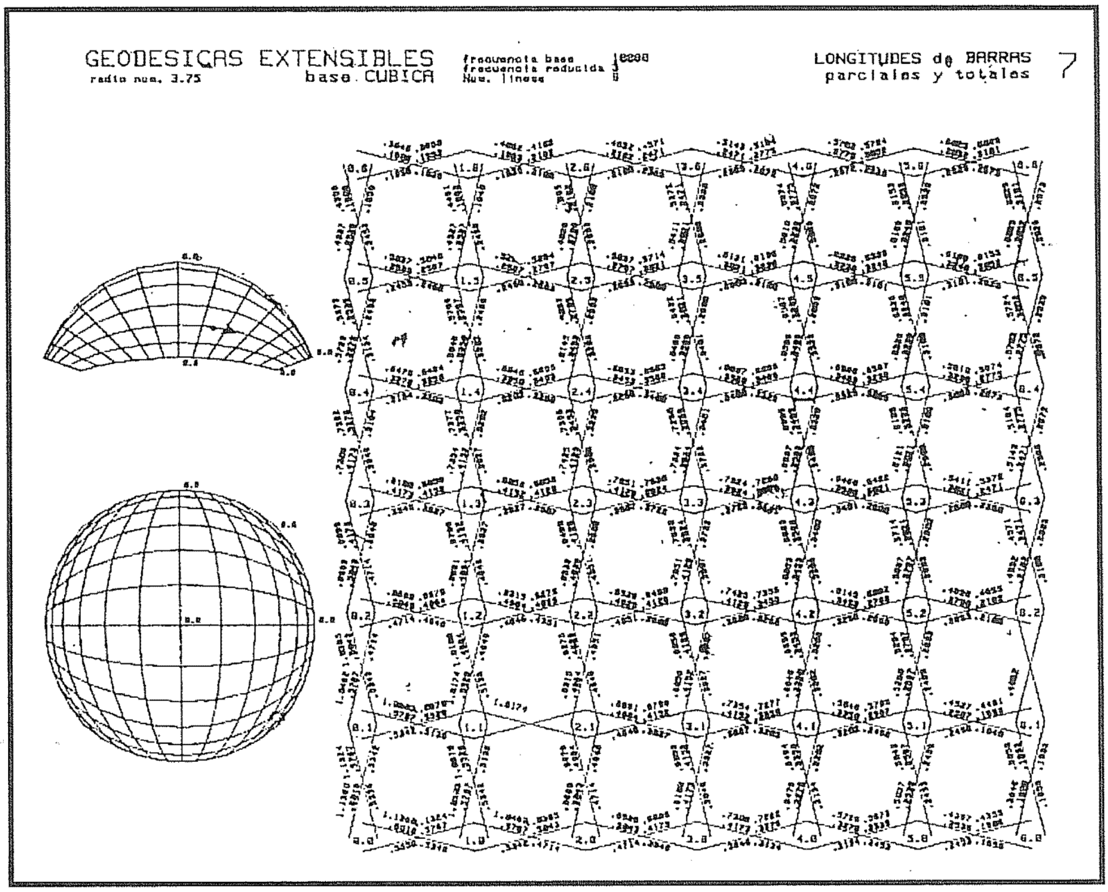


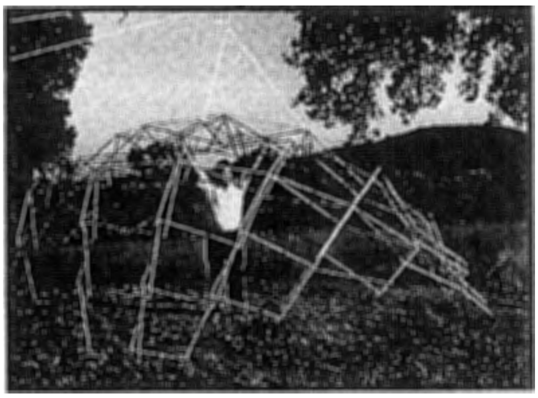
Tensegrity. "Viredro del icosaedro regular. Figura en tensegrity construída por alumnos de Geometría Descriptiva y financiada por el Patronato de la Escola Politecnica Superior. Girona 1996.

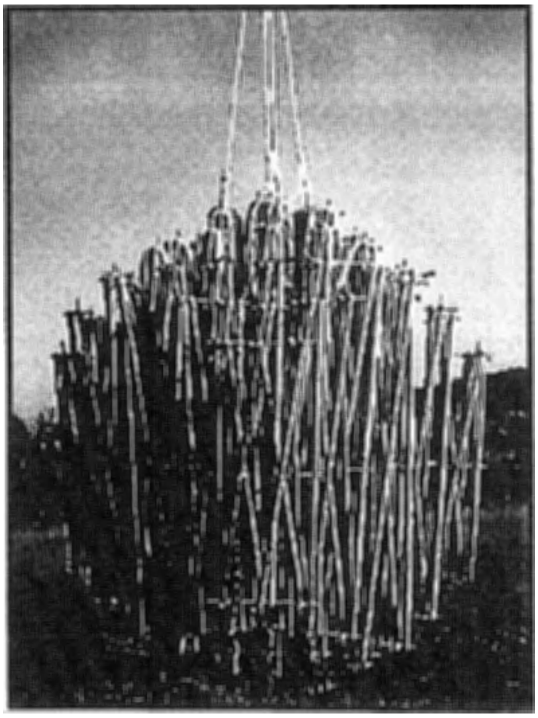
GEOMETRIAS EXTENSIBLES

La geometría variable tiene relación con los procesos en los que se producen cambios de forma o cambios de tamaño. La geometría extensible es un caso particular de la geometría variable y tiene directa relación con los cambios de tamaño, aunque en ocasiones ello puede suponer a la vez cambios de forma.

En las estructuras extensibles se pasa de una situación inicial comprimida a una situación final extendida (o viceversa). Tanto en estas situaciones inicial y final como en cualquiera de las situaciones intermedias se pueden producir condiciones de forma diferentes. Una condición indispensable es que haya una geometría coherente durante todo el proceso.





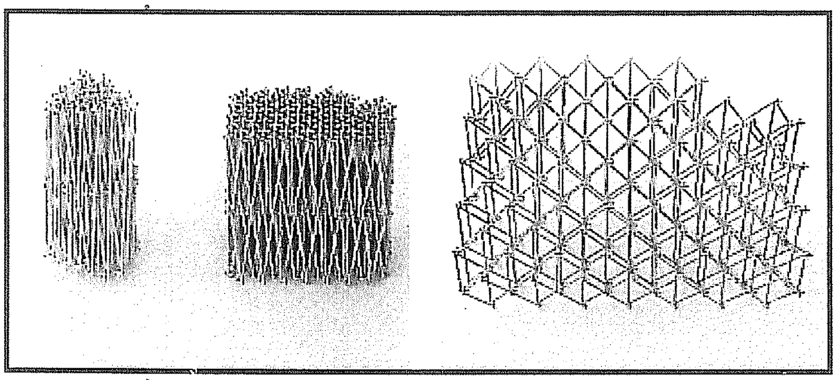


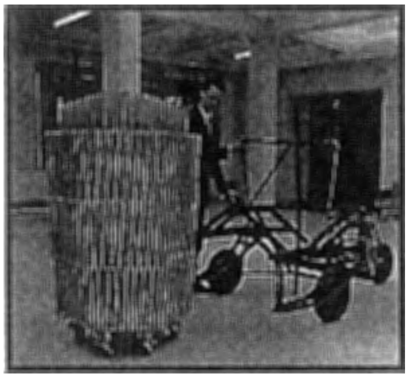
Estructura extensible de barras en "X". EUP Girona. 1986

El método más habitual para conseguir estructuras extensibles es el de las barras en "X". Este es precisamente el método que utilizó el arquitecto español **Emilio Perez Piñero**, que fué el iniciador mundial de este tipo de estructuras.

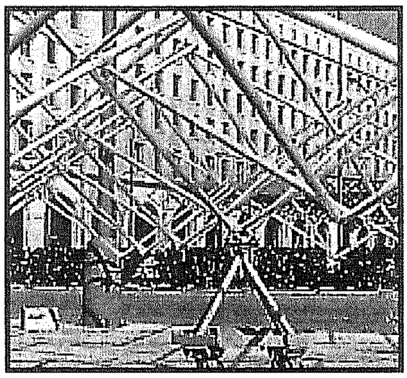
En este método cada par de barras giran entre sí alrededor de un punto intermedio. Las barras en "X" pueden ser rectas (se extienden hacia el exterior) o angulosas (se extienden hacia el interior). Las primeras son las que utilizó **Perez Piñero**. Las segundas las comenzó a utilizar el norteamericano **Chuck Hoberman**. De manera que se puede hablar del "modelo de Perez Piñero" o del "modelo de Hoberman" como de dos modelos característicos.

En relación con el modelo de Perez Piñero en Gerona hemos desarrollado un procedimiento gráfico a base de elipses contigüas tangentes que permite conseguir una geometría coherente que garantice el proceso extensible. Esta geometría conduce a la conclusión que son precisamente las superficies de traslación, tal como habíamos comentado antes, las más fácilmente extensibles. A partir de ahí hemos desarrollado un catálogo de formas elementales coherentes enre sí que pueden ser extensibles y que pueden acoplarse para producir superficies extensibles más complejas.

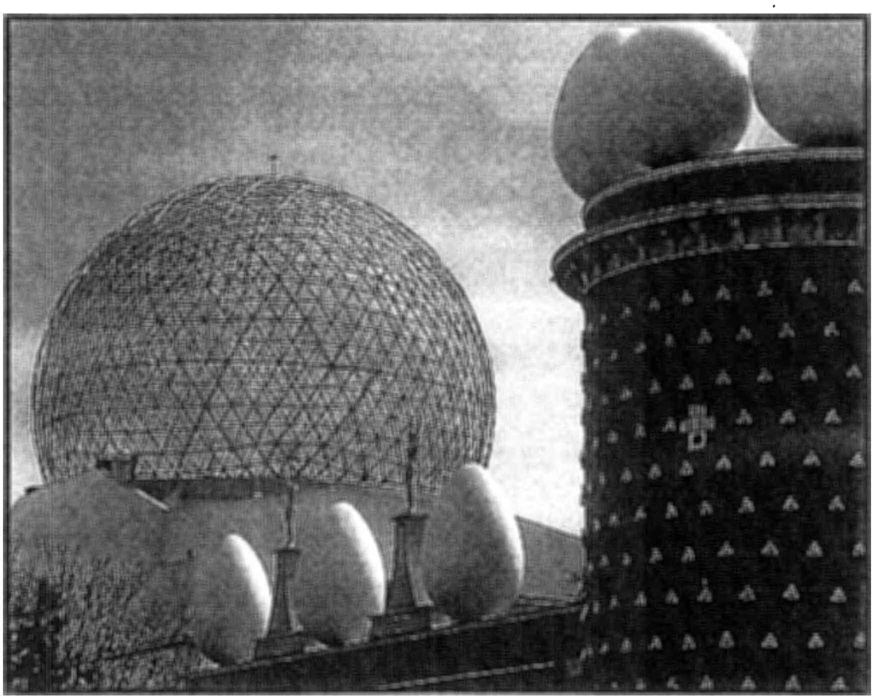


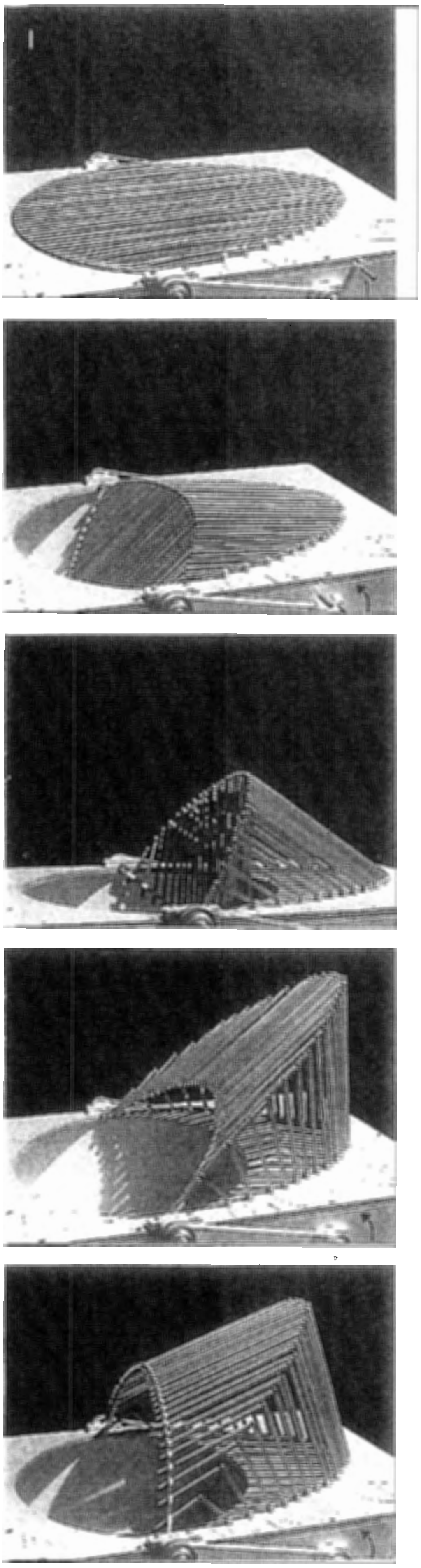


Emilio Pérez Piñero
Cubierta con módulos extensibles. Madrid. 1963

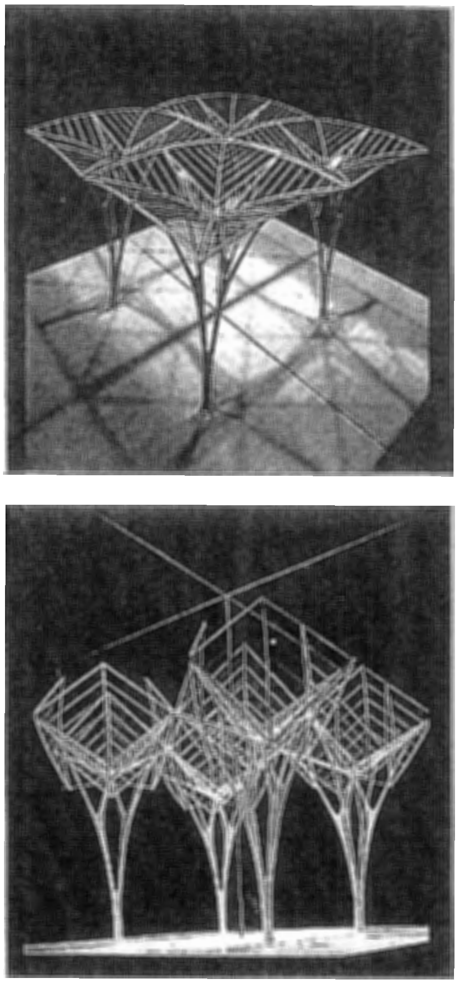


Cúpula del Museo Dalí. Figueras. 1972

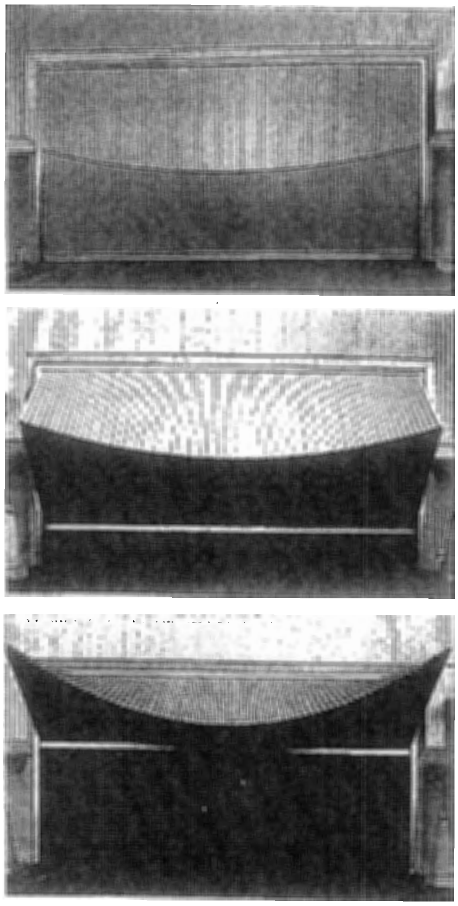




2



3

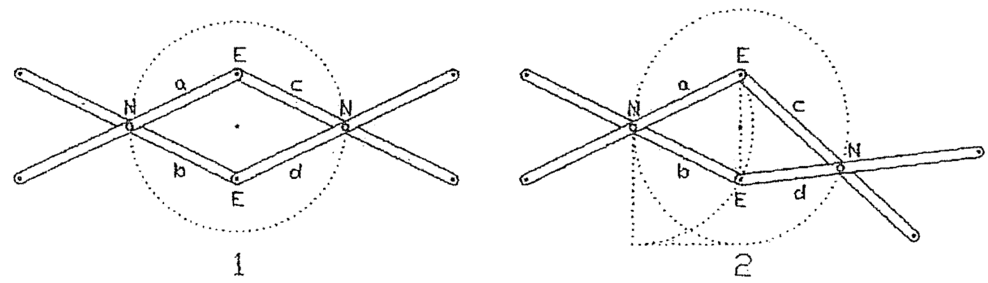


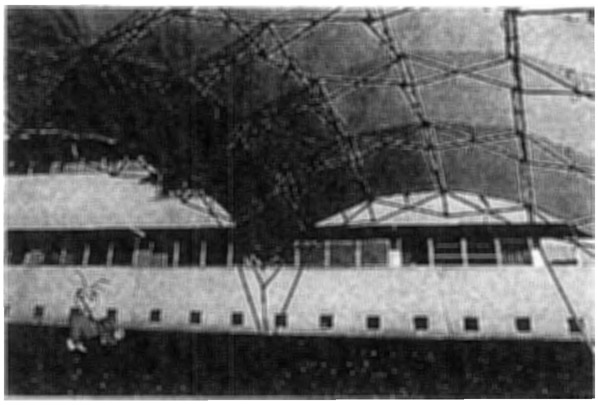
Geometría variable. Santiago Calatrava.

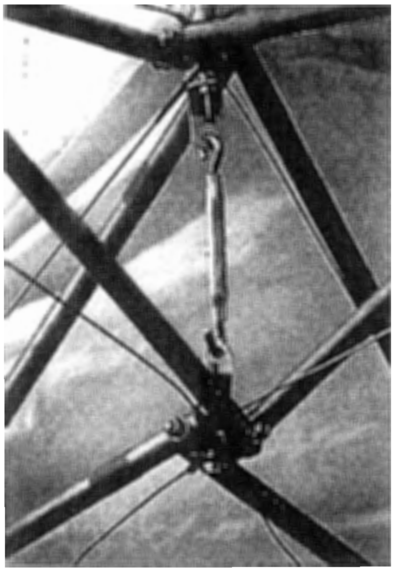
1 Plaza de España. Alcoy. 1995

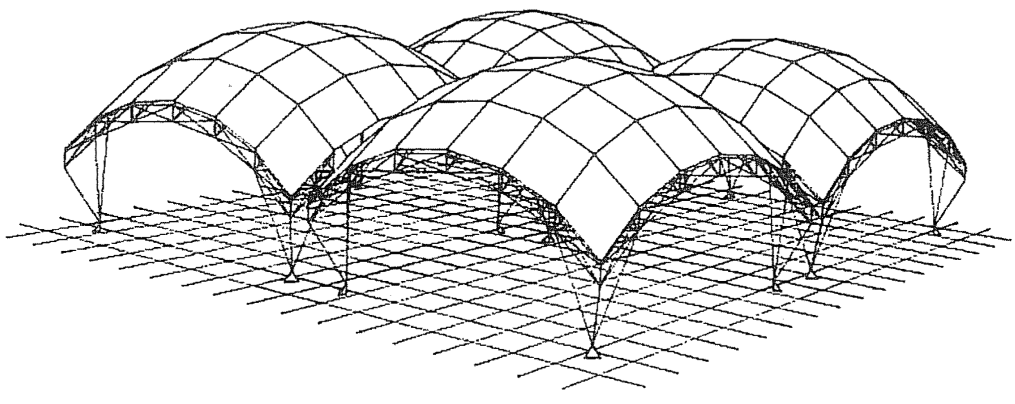
2 Restaurant Bauschänzli. Zurich (Suiza). 1988

3 Fábrica Ernsting. Coesfeld (Alemania). 1985



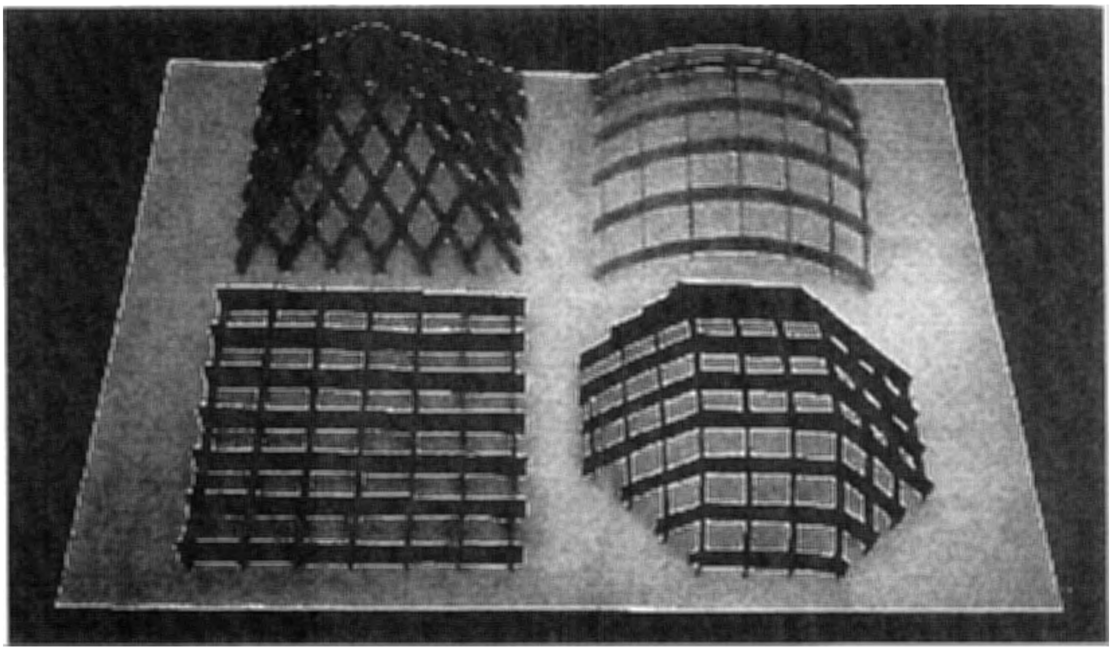


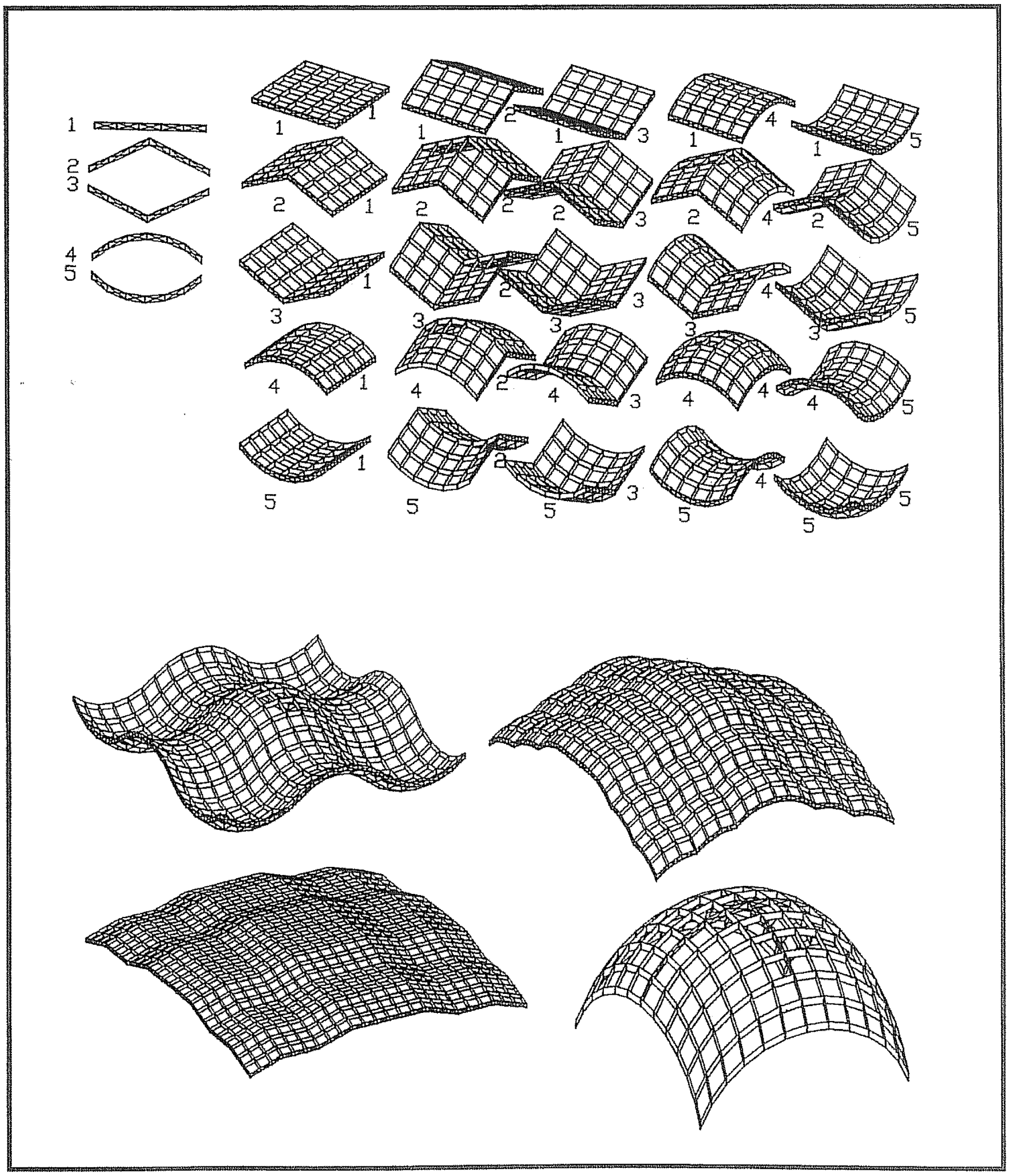




Geometría extensible

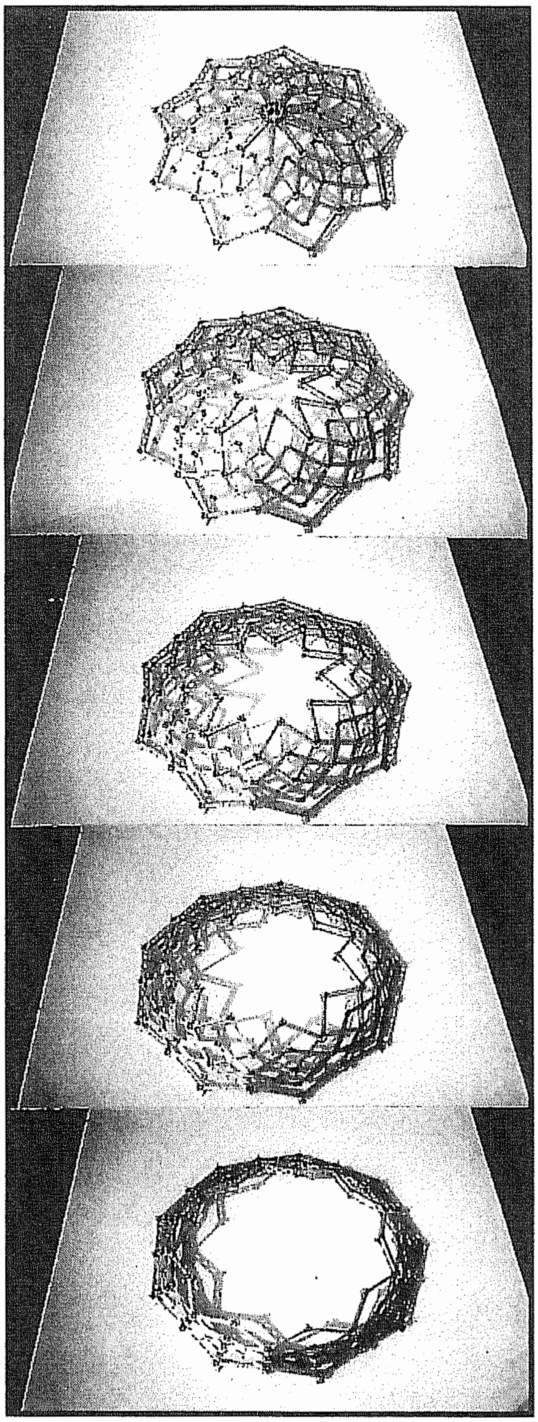
Cúpula extensible con barras en "X" realizada con los alumnos de Geometría Descriptiva. EPS Girona. 1993





Geometría extensible

Modulos extensibles y su acoplamiento para obtener formas compuestas



Geometría extensible
Cúpula extensible sobre base circular realizada con una ayuda de la UdG. 1996

El método más habitual para conseguir estructuras extensibles es el de las barras en "X". Este es precisamente el método que utilizó el arquitecto español Emilio Perez Piñero, que fué el iniciador mundial de este tipo de estructuras.

BIBLIOGRAFIA

Sobre **geometría en general:**

R.Williams. The geometrical foundation of nature structure.

Dover Publications. New York. 1979

H. M. Cundy. Mathematical models.

Tarquin Publications. Norfolk. 1981

Matila C. Ghyka. El número de oro.

Poseidón. Barcelona. 1984

Sobre **estructuras y tramas estructurales:**

John McHale. R. Buckminster Fuller.

George Braziller. New York. 1962

Z. S. Makowski. Constructions spatiales.

Centre d'information de l'acier. Bruxelles. 1964

Hugh Kenner. Geodesic Math. How to use it.

University of California Press. Los Angeles. USA. 1976

P.Huybers, H. Nooshing y otros. Beyond the cube. The architecture of space frames and polihedra. Ed. J. F. Gabriel. New York. 1997.

Sobre **Tensegrity:**

Anthony Pugh. An introduction to tensegrity.

University of California Press. Los Angeles. USA. 1976.

H. Hanaor, R. Motro y otros. Deployable space structures. Nº especial del International Journal of space Structures. Vol. 8, nº 1 y 2. IASS. 1993

Sobre **geometría extensible:**

Estructuras desplegables de Emilio Pérez Piñero.

Pabellón de Murcia. Expo 92. 1992

Felix Escrig y otros. Arquitectura transformable.

ETS Arquitectura de Sevilla. 1993

S. Pellegrino y otros. Deployable space structures. Nº especial del International Journal of Space Structures. Vol. 8, nº 1 y 2. IASS. 1993.

Sobre el conjunto de los temas expuestos se pueden además consultar artículos publicados por L. Sánchez-Cuenca en las revistas:

La Punxa. Col.legi d'aparelladors de Girona. Nº 10. 1990. Nº 13. 1991

Informes de la Construcción. Madrid. Vol.45, nº 430. 1994

Scientia Gerundensis. Girona. Vol. 21. 1995 y Vol. 22. 1996.

RE Revista de Edificación. Pamplona. Nº 23. 1996.