

# PALOS DE MADERA COMO ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS ESPACIALES (1)

PIETER HUYBERS (\*)

**RESUMEN.** La madera no se utiliza frecuentemente en barras de estructuras espaciales de dos capas y particularmente no en forma de palos redondos. La mitad de la producción de madera tiene diámetros inferiores a los 15 cm. La mayor parte de este material se obtiene como subproducto en el mantenimiento normal de los bosques. Se ha desarrollado una herramienta específica y una técnica especial para las uniones. Atados con alambre de acero fueron utilizados, durante los últimos años, en la construcción de algunas estructuras espaciales: 2 estructuras de doble capa en Holanda y una similar en Inglaterra. Fueron construidas con palos de pino común o de alerce, de 10 cm de diámetro. Otra se va a construir en un futuro próximo. El diseño y los cálculos se hicieron en una estructura con forma de torre y en una cúpula.

**ABSTRACT.** *Timber is not often used as the material for struts in doublelayer space structures, and particularly not in the form of round poles. Half of the production of wood has diameters of less than 15 cm. Most of this is gained as a by-product in the normal maintenance of forests. A specific tool and special connection techniques have been developed. Steel wire bindings were used during the recent years for the construction of a few space structures: 2 double-layer grid structures in the Netherlands and a similar one in England. They were constructed of 10 cm thick round poles of larch wood or pine wood. Another, diagonal, space structure will be executed in the near future. Designs and calculation were made for a tower shaped structure and for dome structures.*

## 1. LOS PALOS DE MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

La mayor parte de la madera para la construcción en Holanda debe ser importada. Sólo el 8 % de la demanda total del país es de producción nacional. Por tanto, es importante encontrar métodos mediante los cuales se pueda utilizar la madera disponible de la forma más económica posible. En particular, es interesante el aprovechamiento de aquella parte de la producción que hasta ahora se ha considerado menos apropiada, al objeto de utilizarla más frecuentemente y de forma más duradera. Nos referimos a los troncos de pequeño diámetro.

La producción anual de troncos de pequeño diámetro es considerable en muchos países. Por ejemplo, en Gran Bretaña (1), la producción de árboles jóvenes de desecho, residuos de las explotaciones forestales, asciende a más de 2 millones de toneladas anuales. Esto sería suficiente para la construcción de 30.000 casas, siempre que fuesen disponibles las técnicas apropiadas de construcción.

Korsh y Burke (2) indican que en los Estados Unidos los troncos de pino para la construcción de viviendas de

campo son una de las formas más extendidas en la comercialización de la madera, aunque históricamente infrutilizada. Los troncos son tipificados por su longitud, diámetro y número de nudos. Tal vez la mitad del volumen de los árboles no llega a las 7,5 pulgadas de diámetro. Se han realizado experimentos de los cuales se saca la conclusión de que los palos poco trabajados son más resistentes y más rígidos que los elementos aserrados de la misma sección. Esta mayor resistencia y rigidez de los palos se explica por el hecho de que la mayor parte de las fibras permanece intacta y contribuye a las propiedades mecánicas del conjunto (Tabla 1).

## 2. UNIONES

Se ha introducido una solución especial para la transferencia de las fuerzas longitudinales de unos elementos estructurales a otros. En cada extremo del palo se coloca una pletina metálica de 6 mm de espesor en una ranura realizada previamente en los mismos. A continuación se colocan dos pasadores cilíndricos huecos en sendas perforaciones, realizadas previamente en cada extremo del palo. Finalmente se introduce por ellos un alambre que a su vez rodea el palo (figs. 1 y 2).

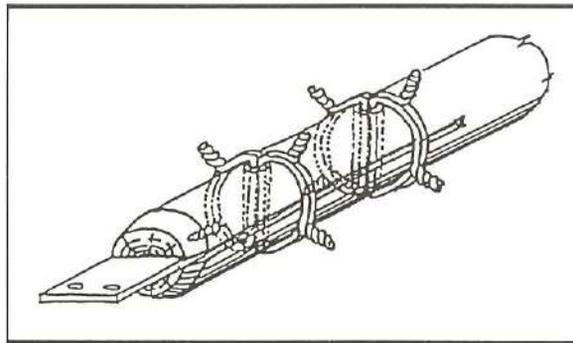
Los alambres se colocan con la ayuda de una herramienta especial que se opera manualmente, tensa los alambres, los retuerce y corta las puntas. Esta herramienta se ha utilizado para todas las estructuras construidas hasta el momento y las uniones realizadas con la

(1) Ponencia del Congreso de IASS, Madrid 1989

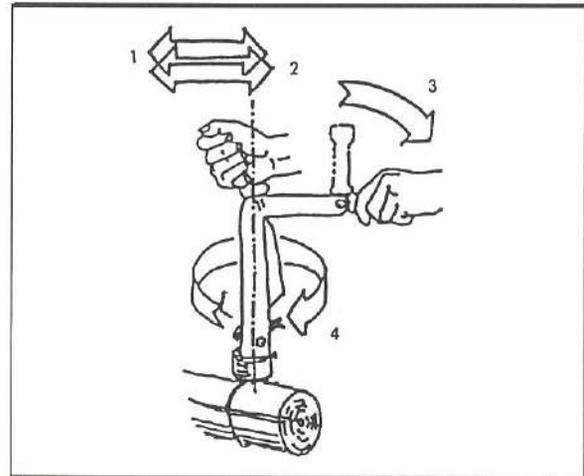
(\*) Universidad Técnica de Delft, Holanda.

EN P.S.I. (N/mm <sup>2</sup> )	MODULOS DE RUPTURA	MODULOS DE ELASTICIDAD
3 PULGADAS	11290 (79.0)	1 469 000 (110220)
5 PULGADAS	12050 (84.3)	1 860 000 (113020)
4 x 4 PULGADAS ASERRADA	7060 (49.4)	1 250 000 ( 8750)
4 x 6 PULGADAS ASERRADA	6410 (44.9)	1 250 000 ( 8750)

**TABLA 1.** Propiedades mecánicas de los palos comparadas con la madera aserrada rectangular (Ref. 1).



**FIGURA 1.** Extremo de un palo con los elementos de la unión: pletira, pasador cilíndrico y alambres de atado.



**FIGURA 2.** Herramienta de accionamiento manual.

misma han resultado fiables y fuertes. Por otro lado, este método necesita una gran cantidad de mano de obra. Para producir estructuras a escala comercial es de vital importancia el desarrollo de métodos que ahorren trabajo, por ejemplo máquinas eléctricas que lleven a cabo la producción automatizada de los elementos. En aquellas situaciones en las que no se disponga de energía eléctrica podría seguir usándose la herramienta manual, como puede ser en países en vías de desarrollo.

Numerosos ensayos se han realizado con palos de 80 cm de longitud sometidos a fuerzas axiales, así como en palos de la longitud total de los elementos estructurales. Hasta el momento se han ensayado dos clases de

madera, el pino y el alerce, este último en dos diámetros diferentes (4-6). En un futuro se deberán tener en cuenta variaciones en las dimensiones de los elementos metálicos y en el número y dimensiones de los alambres.

En la tabla 2 se muestran los resultados de los ensayos con madera de pino y alerce obtenidos en Austria y Escocia. Es de destacar la similitud de los resultados obtenidos para el pino en Holanda por la DUT y en Inglaterra por el MAFF.

	D	n	d	N	P <sub>ave</sub>	s	V <sub>s</sub>	w	P <sub>adm</sub>	Lab.
PINO A	100	4	4	9	71.11	9.85	0.139	2.91	24.44	DUT
PINO S	100	4	4	16	68.90	10.21	0.148	3.00	23.97	MAFF
ALERCE	100	4	4	10	96.16	14.21	0.148	3.00	32.09	DUT
	120	4	5	8	124.60	10.15	0.082	2.74	45.47	DUT
	120	2	5	8	107.42	4.03	0.038	2.74	39.20	DUT

**TABLA 2.** Datos de resistencia en ensayos de tracción, hechos por la Universidad Técnica de Delf DUT y por TRADA, la última por el Farm Building Group del Ministerio Inglés de Agricultura, Pesca y Alimentación.

El significado de los símbolos en la tabla es:

- $D$  = diámetro del palo en milímetros;
  - $n$  = número de uniones por pasador;
  - $dZL$  = grosor del alambre en milímetros;
  - $N$  = número de pruebas hechas;
  - $P_{ave}$  = media de la resistencia última;
  - $s$  = desviación estándar;
  - $V_s$  = coeficiente de variación
- $$T_g = \text{Coef. de seguridad} = \frac{(1 + (1 - 0.9375(1 - 6.25 V_s^2)))}{1 - 6.25 V_s^2}$$
- $w$  = 2.736 (por  $V_s < 0,12$ )
  - $Tg$  = factor tiempo = 1,8;
  - $P_{adm}$  = resistencia de diseño.

En el caso de los palos de 120 mm de diámetro, se tomaron alambres más gruesos, pasadores de mayor diámetro y paredes más gruesas. Los últimos ensayos se realizaron con fuerza controlada en lugar de con control de deformaciones, siguiendo las recomendaciones del Comité RILEM/CIB-3TT (7). Después de elevar la carga hasta  $0,4 F_{est}$  y bajarla hasta  $0,1 F_{est}$ , se vuelve a elevar hasta la carga máxima, o hasta una deformación de 15 mm. Todos los ensayos se realizaron a una temperatura de  $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de  $60\% \pm 5\%$ .

La dispersión en los resultados de estos ensayos se puede reducir aún más con una selección cuidadosa de los palos en relación con el diámetro, peso por unidad de longitud y número de nudos. Un comité de la Asociación Holandesa de Ingenieros de Estructuras de Madera está preparando unas Recomendaciones con el fin de obtener la resistencia y la deformación admisible en función de las dimensiones escogidas y de las condiciones durante la fabricación y el ensamblaje.

Generalmente hablando, la conclusión a retener es que las estructuras de palos descritas pueden alcanzar considerables dimensiones y ser seguras y fiables. Durante los próximos años podría construirse un buen número de estas estructuras, particularmente con fines agrícolas. En los próximos apartados pasaremos revista a algunos edificios construidos y a otros que están aún en fase de proyecto.

### 3. APLICACIONES ESTRUCTURALES

#### PABELLON PARA EXPOSICIONES

**Realización.** Octubre 1984, en Amsterdam y una versión revisada en enero 1987 en Delft, inventado y llevado a cabo por la DUT.

**Características.** Forma de cúpula, 575 cm de ancho y 552 cm de alto.

**Materiales.** Palos de pino austriaco trabajados a má-

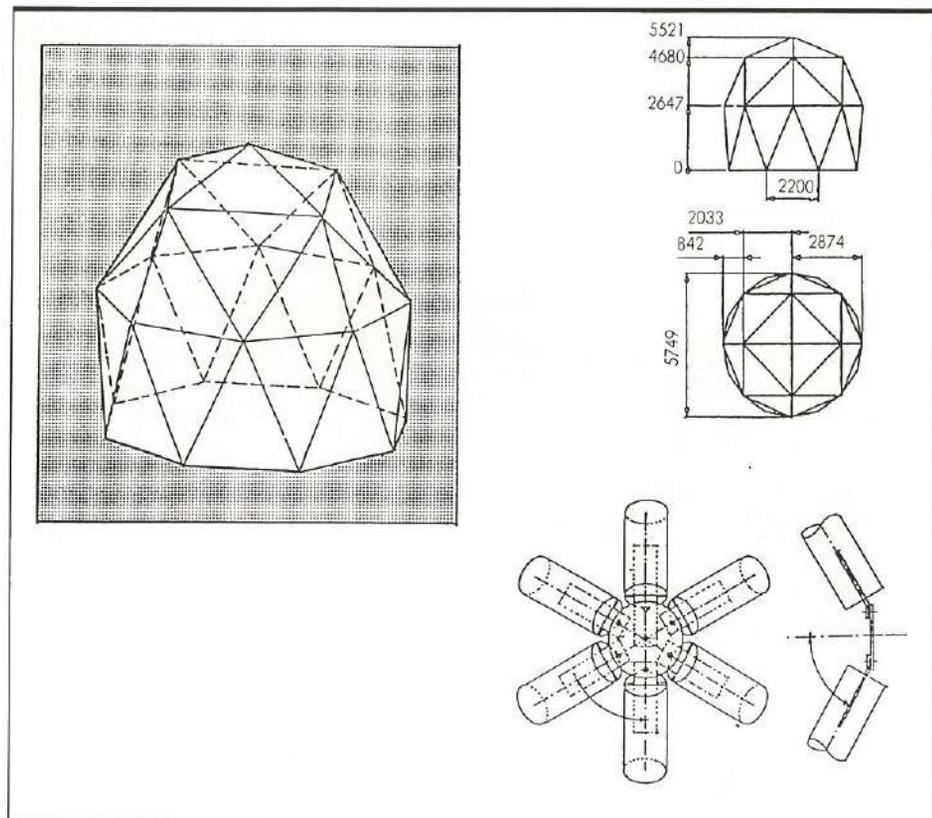


FIGURA 3.  
Detalles de la cúpula del  
Pabellón para Exposiciones.

quina, de 10 cm de diámetro, de 220 ó 287 cm de largo, con pletinas de acero en ambos extremos de 50 × 6 mm, y 260 ó 335 mm de largo; y placas circulares de conexión de 6 y 200 mm de diámetro (fig. 3).

**COBERTIZO PARA EQUIPAMIENTO EN LELYSTAD**

**Realización.** Enero 1986, por DUT en colaboración con el Institute of Agricultural Engineering, IMAG, del Ministerio holandés de Agricultura y Pesca.

**Características.** 10,80 × 16,20 m de superficie cubierta sobre soportes de 3,85 m de alto.

**Material.** Palos descortezados de alerce de 10 cm de grosor para la cubierta y 15 cm de grosor para las columnas, impregnados con CCA, con pletinas de acero galvanizadas de 6 × 90 × 263 mm en sus extremos; placas de acero circulares de 6 mm de grosor en los nudos con 4,2 ó 1 pestañas.

La cubierta se ensambló a nivel del suelo y posteriormente fue izada sobre los soportes. Se colocaron elementos para facilitar el ajuste en horizontal y vertical. Una vez colocada se realizó una prueba de carga de la que se pudo sacar la conclusión de que la flecha máxima por carga muerta no debe ser mayor de 1/1.000 de la luz (figs. 4, 5 y 6).

**ALMACEN PARA PAJA EN WINCHESTER, INGLATERRA**

**Realización.** Mayo 1986, por H. J. Darby de MAFF con DUT como consultor para la estructura.

**Características.** 8,10 × 18,90 m de superficie cubierta con soportes de 6 m de altura.

**Material.** Palos de pino escocés trabajados a máquina de 10 cm de diámetro para la cubierta y de 20 cm para los soportes. Detalles constructivos similares a los de

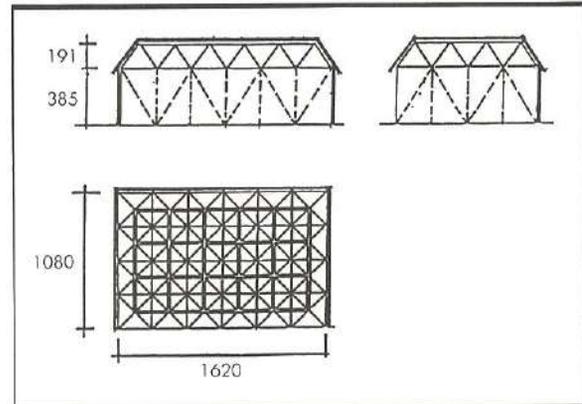


FIGURA 4. Alzados y planta de un cobertizo agrícola en Leeuwarden.

estructura de Lelystad pero con placas octogonales en los nudos (fig. 7).

**COBERTIZO DE MADERA EN DRONTEN**

**Realización.** Octubre 1986, por Staatsbosbeheer con diseño y asesoría de la DUT.

**Características.** Espacio cubierto de 8,10 × 16,20 m sobre soportes de 3,78 m de longitud.

**Material.** Palos de pino austriaco descortezado, de 10 cm de diámetro para la cubierta y 15 cm para los soportes: detalles generalmente similares a los de Winchester (fig. 8).

**4. PROYECTOS FUTUROS**

**ESTRUCTURA ESPACIAL DIAGONAL PARA UNA GRANJA DE ANIMALES, ROTTERDAM**

**Planes de realización.** Agosto 1989, por Servicios Públicos de Rotterdam.

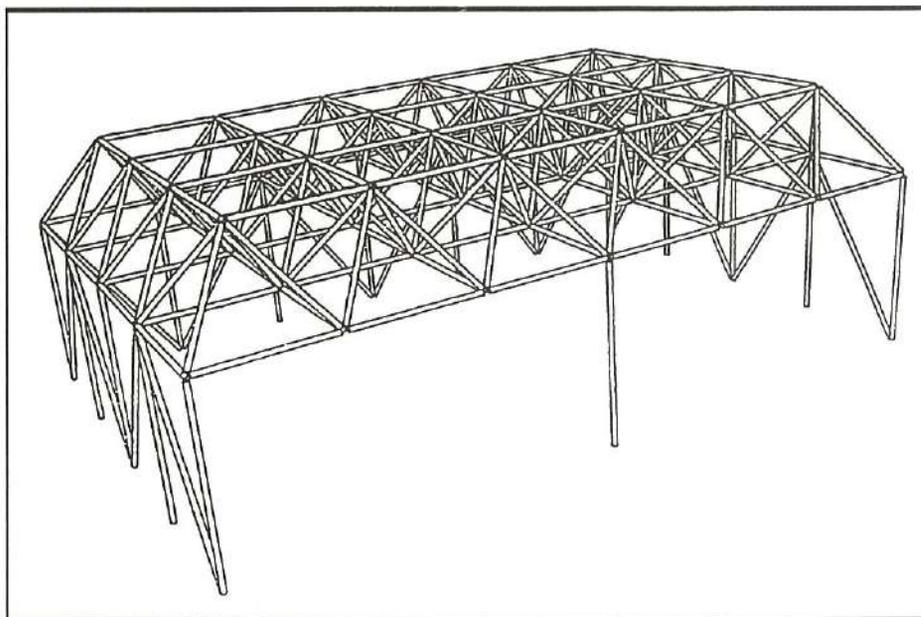
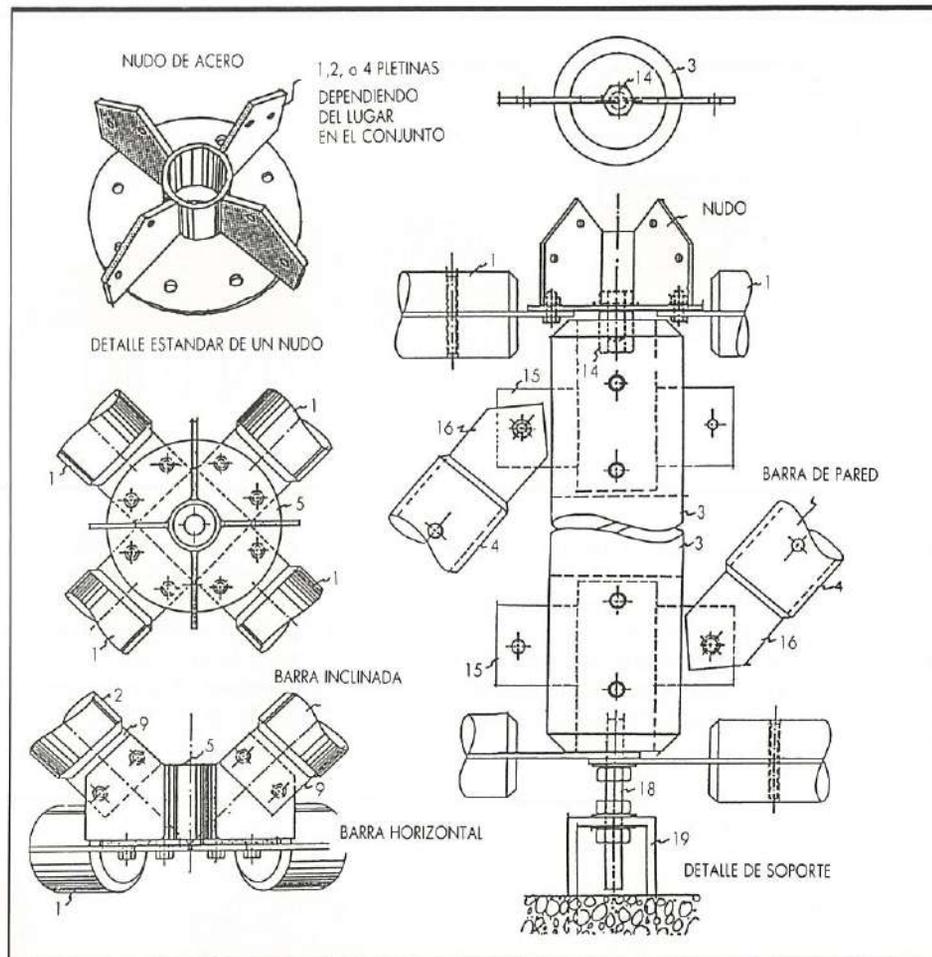
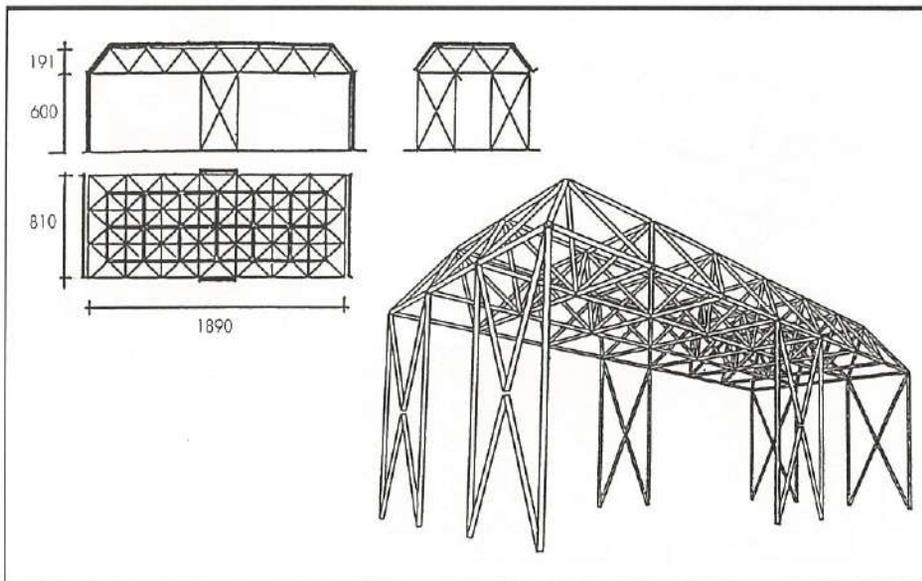


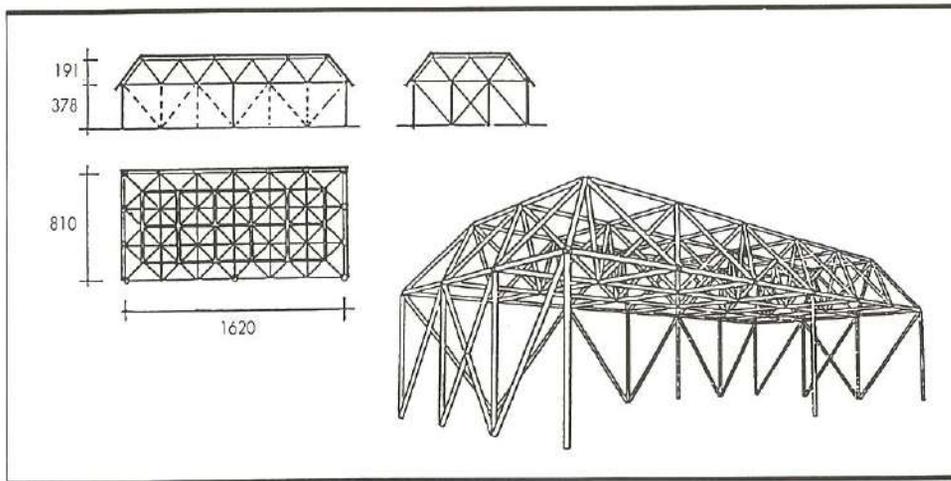
FIGURA 5. Croquis en 3 dimensiones de la estructura de Lelystad, hecho con el método CABLOS-MEDUSA.



**FIGURA 6.** Detalles principales de la estructura de Lelystad. Los de Winchester y Dranten son similares.



**FIGURA 7.** Alzados y croquis del almacén para paja en Winchester.



**FIGURA 8.**  
Alzados y croquis de un  
cobertizo de madera en  
Dronen.

**Diseño.** P. Figdor y J. Fekkes, diseño estructural de la DUT.

**Características.** Cubierta espacial diagonal de  $11,46 \times 11,46$  y  $15,28 \times 11,46$  m.

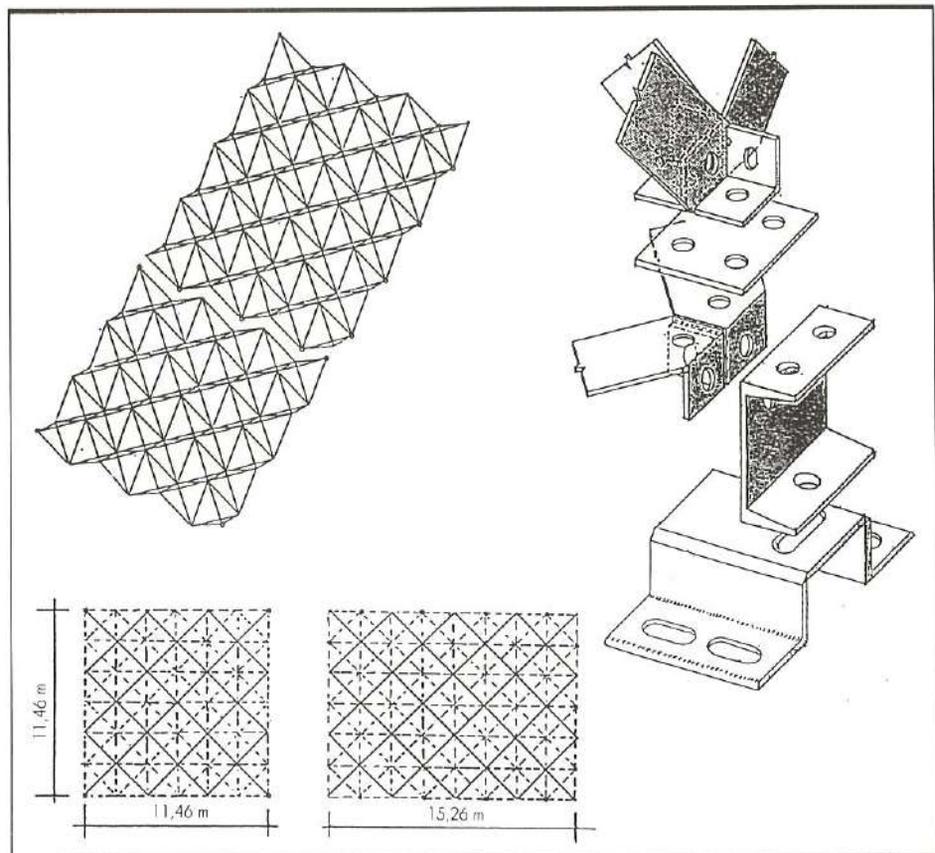
**Material.** Palos descortezados de alerce de 10 cm de diámetro. Piezas de acero galvanizado especialmente diseñadas en los extremos de los palos, sin otros elementos en los nudos (fig. 9).

**ESTRUCTURAS DE UNA TORRE**

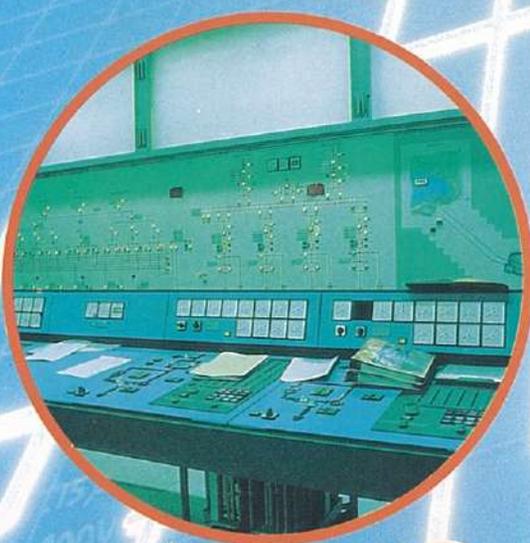
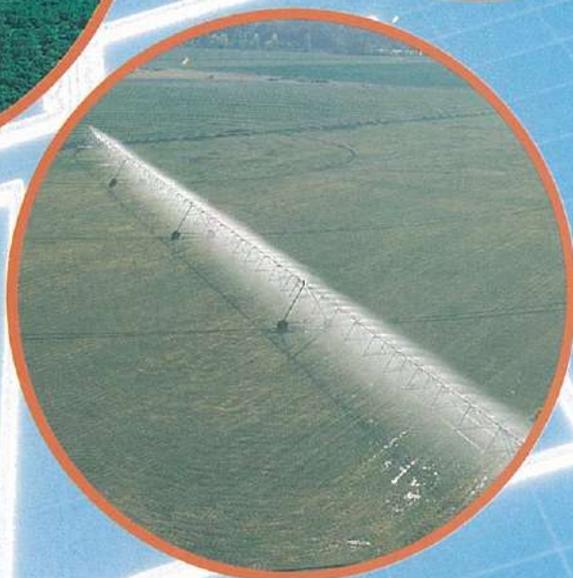
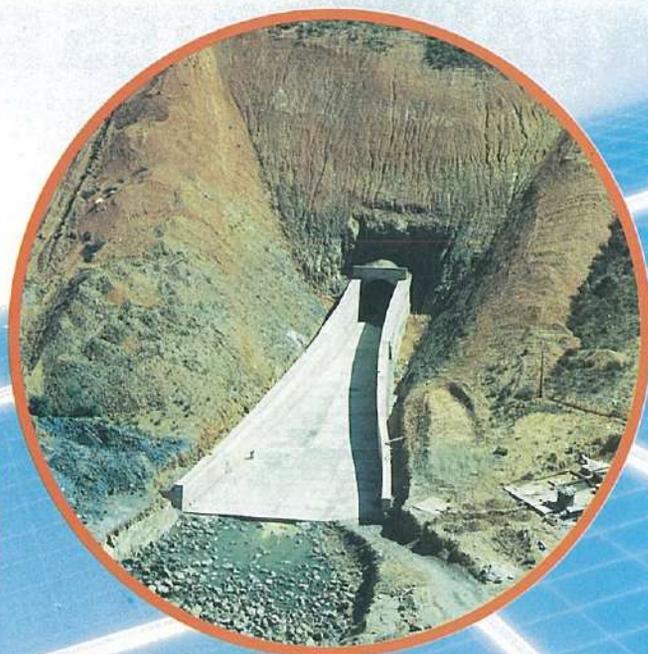
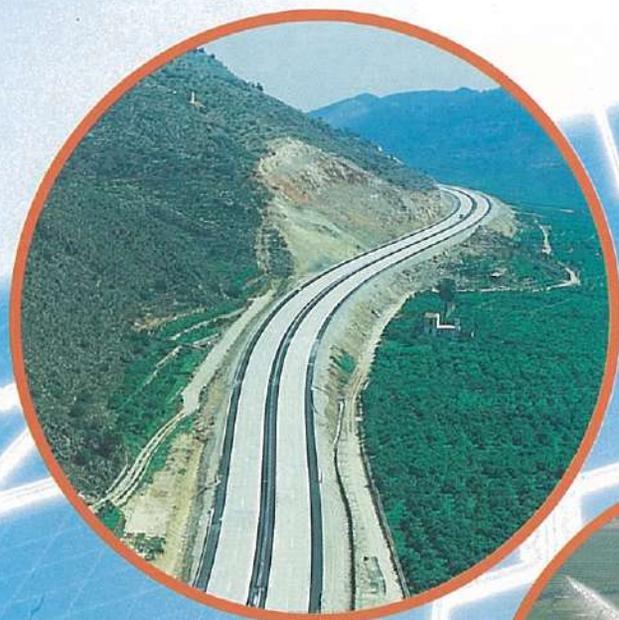
**Fecha provisional de realización.** Mediados 1990.

**Características.** Superposición vertical de parrillas espaciales de  $8,10 \times 8,10$  m en planta baja y una altura total de 27,00 m.

**Material.** Palos descortezados de alerce de 12, 15 y 20 cm de diámetro y 2,50 ó 3,60 m de longitud. Placas de acero en los extremos de los palos de 10 mm de



**FIGURA 9.**  
Detalles de la grana de  
animales en Rotterdam.



CENTRALES ELECTRICAS • AGRONOMIA • OBRAS HIDRAULICAS  
• CARRETERAS • PUERTOS Y COSTAS • ARQUITECTURA Y URBANISMO •  
GEOLOGIA Y GEOTECNIA • MEDIO AMBIENTE • PLANTAS INDUSTRIALES



# inypsa

INFORMES Y PROYECTOS, S.A.

## INGENIEROS CONSULTORES

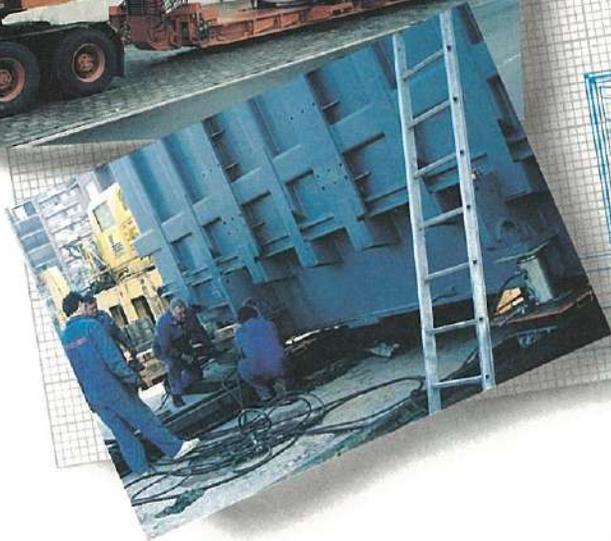
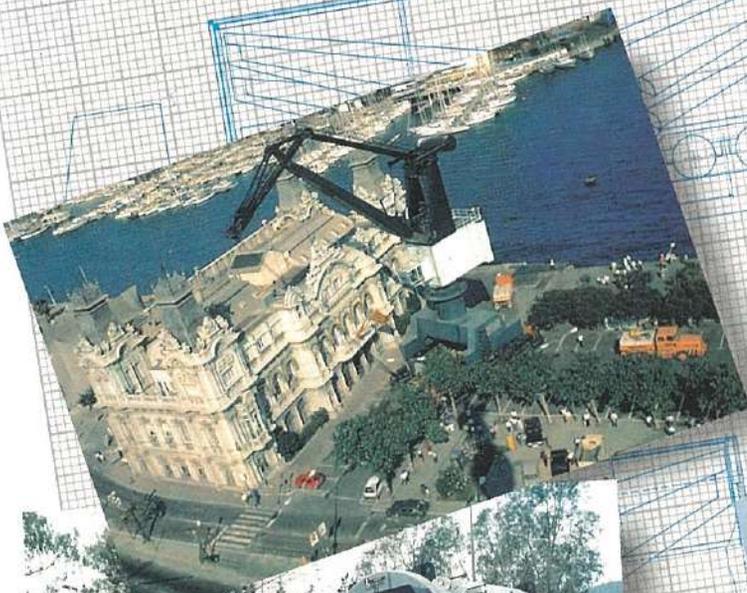
### MADRID

General Díaz Porlier, 49  
Teléfono: (91) 402 45 92\*  
Télex: 42496 inyp E  
28001 MADRID

### BARCELONA

Gran Vía de Carlos III, 124  
Teléfono: (93) 205 08 62  
Télex: 97809 inyp E  
08034 BARCELONA

# ¿TRANSPORTES ESPECIALES?



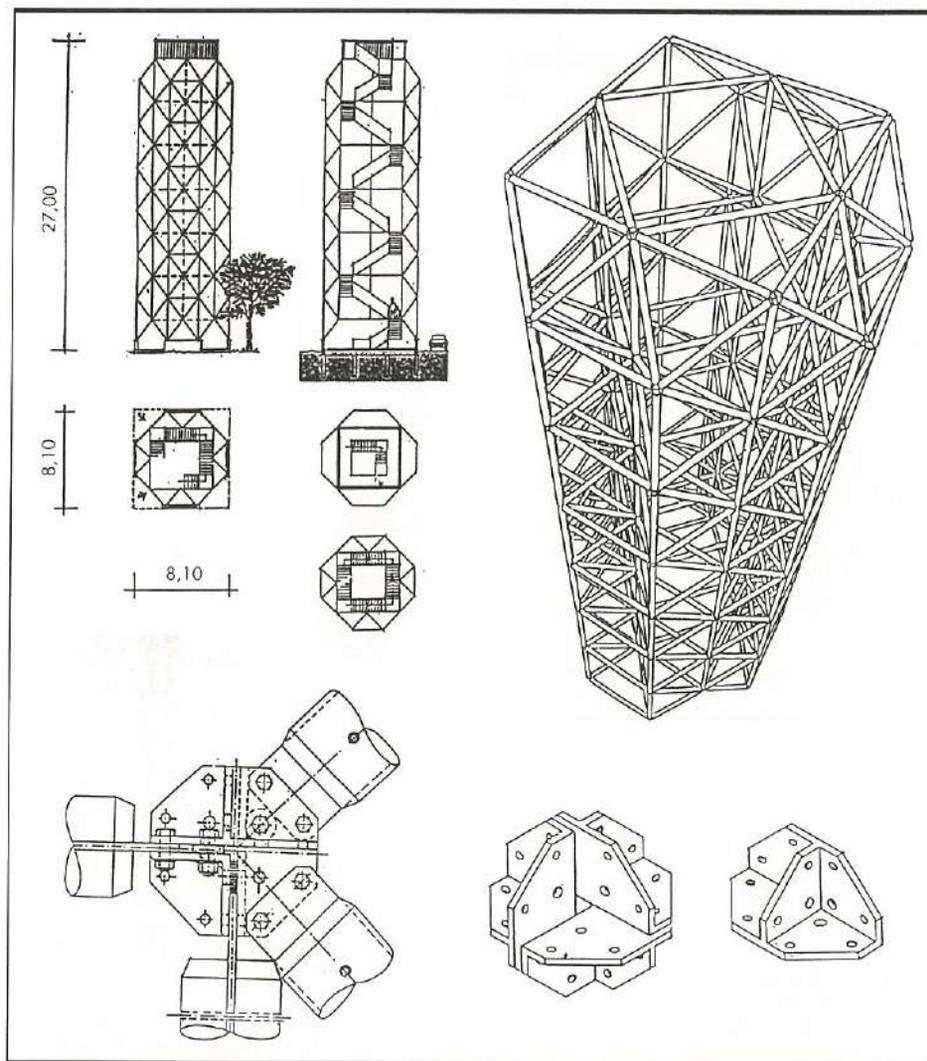
Kibrenget

# SOMOS ESPECIALISTAS

- INGENIERIA DE TRANSPORTE
- TRANSPORTES ESPECIALES
- MOVIMIENTO DE MAQUINARIA
- TRANSPORTES VOLUMINOSOS
- ALMACENAJE Y DISTRIBUCION
- TRANSPORTES INTERNACIONALES Y GROUPAGE

ZONA INDUSTRIAL - SECTOR AUTOPISTA • P<sup>o</sup> Fluvial, s/n. • 08150 PARETS DEL VALLES (BARCELONA)  
☎ (93) 562 16 62 • Telex 94234 BGT • Fax (93) 562 09 11





**FIGURA 10.**  
Detalles de la estructura de una torre.

espesor. Nudos de acero compuestos de tres partes iguales (fig. 10).

#### ESTRUCTURA DE UNA CUPULA

**Fecha de realización.** Aún en fase de proyecto.

**Características.** 25,00 m de diámetro, 12,50 m de altura, nudos en anillos horizontales.

**Material.** Palos de 12 cm de grosor. Placas de acero en los extremos de los palos como las de las columnas de Lelystad y nudos semiesféricos huecos (fig. 11).

#### 5. DESARROLLO FUTURO

El método de enlace con alambres ha sido o está siendo usado para otras estructuras en varios sitios por todo el mundo, no solamente para palos, sino que parece apropiado también para el bambú.

En Jamshedpur, India, ha sido construida por V.R. Sontí, de la firma ASCU, una cúpula de bambú de

18,00 m de diámetro, la mayor del mundo, con la ayuda de la herramienta antes descrita. En Colombia, Costa Rica y Perú las consecuencias de su uso se están estudiando. Ejemplares de la herramienta han sido enviados a Escocia, Australia, Nueva Guinea y Tanzania. En la mayoría de los casos se ha aplicado o estudiado la unión con vuelta simple.

#### 6. RECONOCIMIENTOS

La herramienta para unir con alambres ha sido desarrollada por Jaap Lanser en colaboración con Sier Th. van der Reijken. Las medidas fueron hechas por Gerrit van der Ende. J. Blom evaluó de los resultados de las pruebas como parte del trabajo de fin de carrera en la Facultad de Ingeniería Civil. H. Bijsterbosch y D. Bijl hicieron el diseño tridimensional con el sistema de la CABLOS-MEDUSA.

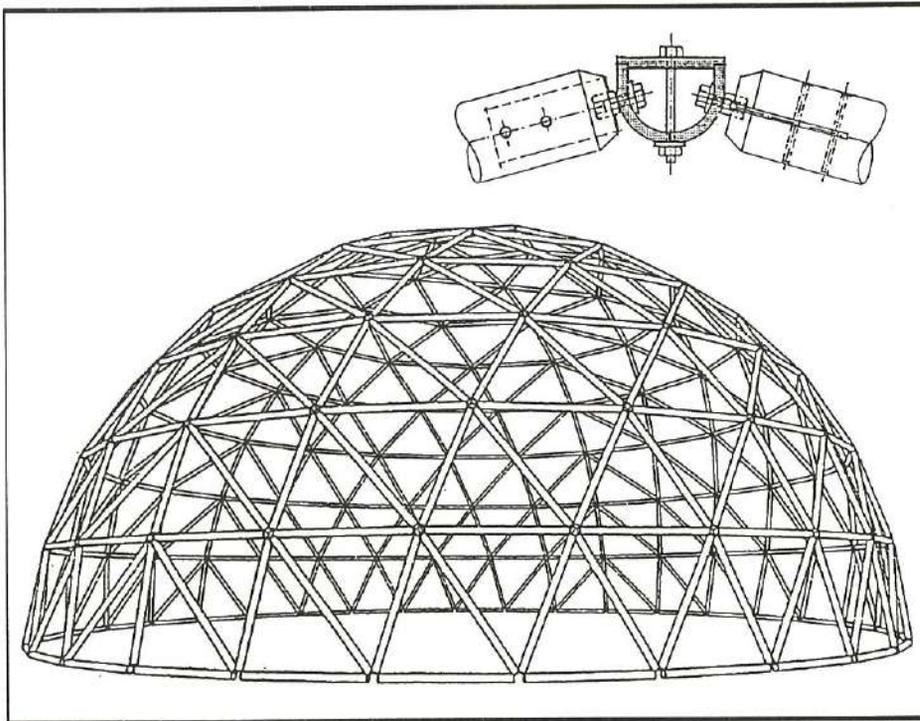


FIGURA 11.  
Croquis de una cúpula  
de 25 m.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Fresh technology. Building, 4 oct. 1985, pp. 30-31.
2. ROCH, P., y BURKE, E. J. Strength of prefabricated joints with flanges of minimally machined whole or half stems of lodge-pole pines, Forests Products Journ (35 núm. 1, jan. 1985, pp. 39-41.
3. HUYBERS, P. The use of ROUNDWOOD poles for agricultural building structures. Proc. Conf. on wooden buildings in agriculture, Vaksjo, Sweden, 14-17 november 1988, p. 6:1-6:11.
4. DARBY, H. J. (1987). Bulding with home-grown round timber, Farm Building Engineering (3), 3, pp. 18-21.
5. BLOM, J. Proefnemingen aan met staaldraad versterkte stiftverbindingen in larix rondhout, DUT-Report C4-88-02, june 1988.
6. JAYANETTI, D. L. Test on wire laced joints in round timber for Farm Building Group of MAFF, oct. 1985, Hughenden Valley.
7. RILEM/CIB-3TT, joint committee. Testing methods for joints with mechanical fasteners for load-bearing timber structures.
8. BIJSTERBOSCH, H. Koppeling ICES-STRUDL aan MEDUSA ten behoeve van modelvisualisatie, DUT-Report C4-88-05, august 1988.
9. BIJL, D. Berenkening van een brandtoren/uitzichttoren van rondhout te Gorssel. DUT-Report C4-88-03, september 1988, 79 pp.
10. BIJL, D. Berekening van een koepelkonstruktie van rondhout DUT-Report C4-88-07, december 1988, 71 pp.
11. HUYBERS, P. A timber pole dome structure, Proc of 3-rd Conf. on Space Structures, Guildford, 11-14 sept. 1984, pp. 896-900.