

## CAPÍTOL VII

=====

M A L L A H I P E R E L À S T I C A

## 7.1 INTRODUCCIÓ AL TEMA

El sis primers capítols d'aquesta Tesi han versat sobre la teoria i el càlcul, i, finalment, sobre la creació d'un programa, per a la resolució d'estructures hiperelàstiques de barres.

Tanmateix, de la pròpia definició de barra hiperelàstica (feta a l'apartat 1.2), es desprèn que difícilment existirà una barra capaç de treballar a una gran compressió si és molt esbelta, és a dir, si té una longitud realment important respecte de la seva secció transversal, sense sofrir flexió lateral (panxeig). A nivell teòric, com ho hem fet fins ara, això podia ser possible. Tanmateix, davant un enfocament més pragmàtic dels propers capítols, haurem de tenir molt en compte aquest fenomen. D'aquí doncs la definició de Cable Hiperelàstic.

## 7.2 CABLE HIPERELÀSTIC.

Definirem com a Cable Hiperelàstic aquella Barra Hiperelàstica que no és capaç de suportar cap compressió, treballant d'una manera completament normal a tracció.

La imatge física d'aquest element ens ve perfectament donada per qualsevol cable existent d'acer utilit-

zat a la construcció, o per qualsevol corda, cordill, goma elàstica, etc. a un nivell més casolà.

### 7.3 CÀLCUL D'UNA ESTRUCTURA HIPERELÀSTICA AMB CABLES HIPERELÀSTICS.

Als capítols cinquè i sisè hem desenvolupat el programa TEP32 destinat a resoldre estructures hiperelàstiques. Naturalment, aquest programa està pensat per a estructures amb barres hiperelàstiques, és a dir, amb elements lineals que tant suporten compressions com traccions.

El fet de que un cable hiperelàstic sigui totalment incapaç de suportar compressions farà que el procés de càlcul del programa TEP32 no sigui perfectament vàlid i, per tant, hagi de ser reformat.

De fet això, però, no serà massa difícil. Cal tenir en compte que la creació de la Matriu Transformada d'una estructura, (que és en definitiva l'encarregada de resoldre el problema), aconseguida mitjançant el subprograma TES35, es realitza d'una manera sistemàtica repetint un procés barra per barra.

És evident, doncs, que si a mesura que anem analitzant les barres, anem despreciant aquelles que estiguin sotmeses a compressió, és a dir, ignorem les Rigideses Lineals i Transversals i la Tensió a la qual estaria sotmesa la barra hiperelàstica en qüestió, haurem aconseguit considerar aquest element lineal com un veritable Cable Hiperelàstic.

És per això que haurem de donar una mena de senyal per tal de que el programa TEP32 sàpiga que es tracta

d'una estructura amb cables hiperelàstics en lloc de barres hiperelàstiques.

Aquest senyal vindrà donat a la segona fitxa de les dades d'entrada (apartat 5.2.1). Si a la posició 29 d'aquesta fitxa hi col.loquem un "1", el programa tractarà els elements lineals com a cables hiperelàstics, si no hi posem res, els tractarà com a barres hiperelàstiques.

Aquest tractament diferenciat es materialitza en el subprograma TES35 (TES25) mitjançant una simple condició:

```
IF (N.EQ.1.AND.T(I).LT.0.) GO TO 5
```

### 7.3.1 EXEMPLE PRÀCTIC

A fi i efecte de fer més entenedor el diferent comportament d'una estructura amb cables hiperelàstics o una altra amb barres hiperelàstiques, a continuació hem calculat una mateixa estructura amb ambdues consideracions.

Suposem, doncs, una estructura senzilla, tipus WARREN, d'onze barres i set nusos, carregada simètricament cap dalt, amb dos nusos fixos com a suports.

En primer lloc calcularem l'estructura de la manera normal, tal com ho hem vingut fent fins ara, és a dir, considerant-la com si estigués constituïda per barres hiperelàstiques.

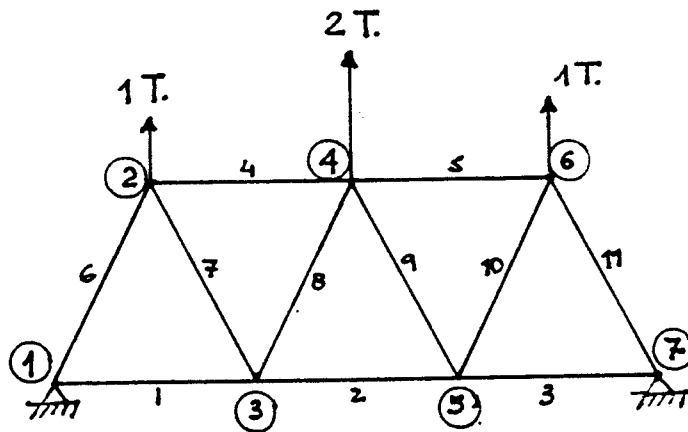


Fig. 7.1

A la figura anterior hem grafiat l'estructura que anem a calcular.

Vet aquí les característiques pròpies de l'estructura:

Longitud de les barres horitzontals: 2,0 metres.

Longitud de les barres inclinades: 2,236 metres.

Secció de les barres horitzontals: 10, cm<sup>2</sup>.

Secció de les barres inclinades: 5, cm<sup>2</sup>

Mòdul d'elasticitat del material: 1 T/cm<sup>2</sup>

Les càrregues ja venen grafiades a l'esquema.

Amb aquestes característiques establertes, passem a calcular, en primer lloc l'estructura formada a base de barres hiperelàstiques.

Els resultats fornits per l'ordinador es troben a les dues pàgines següents a aquesta. Veiem, així, com aquesta estructura tipus Warren es deforma de tal manera que les barres 7 i 10 treballen a compressió.

A continuació es grafia la deformatada de l'estructura a l'estat final d'equilibri.

MALLA HIPERELÀSTICA

VII

5

14- 8-80

DADFS D'ENTRADA: ESTRUCTURA EXEMPLE DE CODIFICACIO (WARREN 1IBARRES-7NUSOS)

\*\*\*\*\*

NUSOS BARRAS ELASTICITAT PFS.PKUPI PRESSIO VENT.X VENT.Y DILATACIO NEU PRECISIO NO.IIER.  
 7 11 1.00 0.00 0.00 0.0 0.0 0.000100 20  
 (T/CM2) (KG/M2) (KG/M2) (KM/H) (KM/H) (X) (KG/M2) (TONES) MAXIM

COORDENADES (METRES)

NUS	TIPUS	X	Y	Z	NUS	TIPUS	X	Y	Z
1	1	0.000	0.000	0.000	5	0	4.000	0.000	0.000
2	0	1.000	2.000	0.000	6	0	5.000	2.000	0.000
3	0	2.000	0.000	0.000	7	1	6.000	0.000	0.000
4	0	3.000	2.000	0.000					

BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)	BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)	BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)
1	3	10.0	5	4	6	10.0	2.000	2.236
2	5	10.0	6	1	2	5.0	2.236	2.236
3	5	10.0	7	3	2	5.0	2.236	2.236
4	2	10.0	8	3	4	5.0	2.236	2.236

CARRREGUES (TONES)

NUS	PX	PY	PZ
2	0.000	1.000	0.000
4	0.000	2.000	0.000
6	0.000	1.000	0.000

DEFORMACIONS (METRES)

NUS	DX	DY	DZ
2	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000

ESTRUCTURA PLANA  
 NOMBRE TOTAL D'INCOCGNITES = 10  
 AMPLI DE BANDA = 5

RESULTATS FINALS ESTRUCTURA EXEMPLE DE CODIFICACIO (WARREN 11BARRES-7NUSOS)

COORDENADES  
(METRES)

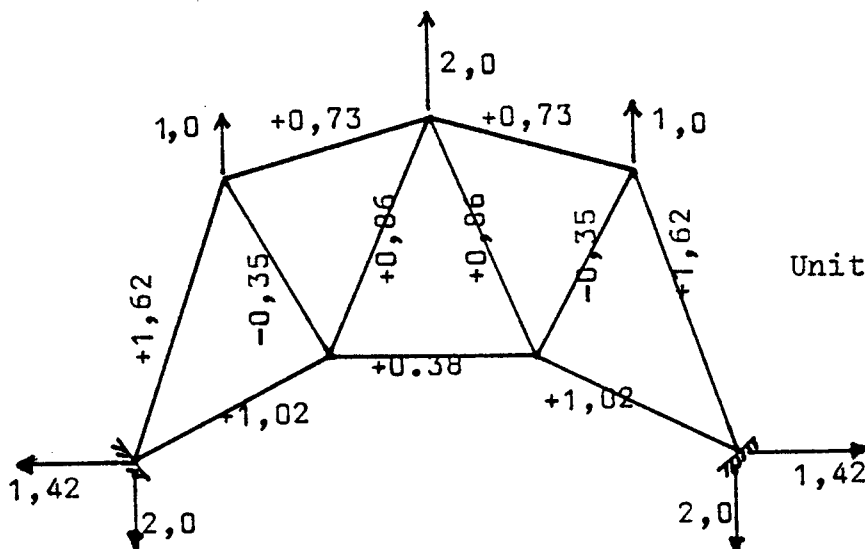
DEFORMACIONS  
(METRES)

REACCIONS  
(TONES)

NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z
1	0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	-1.425	-2.000	0.000
2	0.942	2.805	0.000	2	-0.058	0.805	0.000	2	-0.000	-0.000	0.000
3	1.962	1.006	0.000	3	-0.038	1.006	0.000	3	0.000	0.000	0.000
4	3.000	3.414	0.000	4	-0.000	1.414	0.000	4	-0.000	0.000	0.000
5	4.038	1.006	0.000	5	0.038	1.006	0.000	5	-0.000	0.000	0.000
6	5.058	2.805	0.000	6	0.058	0.805	0.000	6	0.000	-0.000	0.000
7	6.000	0.000	0.000	7	0.000	0.000	0.000	7	1.425	-2.000	0.000

BARRA	TENSIU (TONES)	L.FINAL (METRES)	BARRA	TENSIU (TONES)	L.FINAL (METRES)	BARRA	TENSIU (TONES)	L.FINAL (METRES)
1	1.023	2.205	4	0.730	2.146	7	-0.375	2.068
2	0.383	2.077	5	0.730	2.146	8	0.864	2.622
3	1.023	2.205	6	1.617	2.959	9	0.864	2.622
						10	-0.375	2.068
						11	1.617	2.959

30 SEGONS  
4 ITERACIONS  
0.0000002 MAXIM ESF. DESEJ.



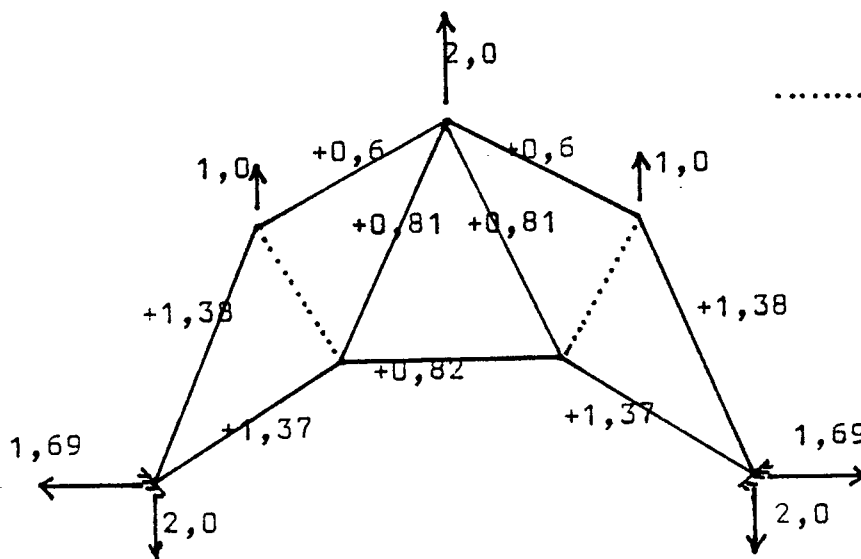
Unitats en Tones.

Fig. 7.2

Què passaria si les barres fossin cables hiperelàstics, en lloc de ser barres hiperelàstiques ?

Bé, en primer lloc no podria haver-hi cap barra sotmesa a compressió, per tant les barres 7 i 10 que a l'exemple anterior treballen a una compressió de 0.35 tones serien fictícies. Per tant, la deformada final seria també diferent.

A les pàgines següents es troben els resultats fornits per l'ordinador al considerar l'estructura formada per cables hiperelàstics. A continuació en ve grafiada la deformada:



..... barra fictícia (destensada)

Fig. 7.3





MALLA HIPERELÀSTICA

VII

9

RESULTATS FINALS ESTRUCTURA EXEMPLE DE CODIFICACIO (WARREN 11HARRES-7NUSOS)

\*\*\*\*\*

DEFORMACIONS (METRES)

NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z
1	0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	-1.685	-2.000	0.000
2	1.106	2.628	0.000	2	0.106	0.628	0.000	2	-0.000	-0.000	0.000
3	1.918	1.219	0.000	3	-0.081	1.219	0.000	3	0.000	0.000	0.000
4	3.000	3.579	0.000	4	0.000	1.579	0.000	4	0.000	0.000	0.000
5	4.082	1.219	0.000	5	0.081	1.219	0.000	5	-0.000	0.000	0.000
6	4.890	2.628	0.000	6	-0.106	0.628	0.000	6	0.000	-0.000	0.000
7	6.000	0.000	0.000	7	0.000	0.000	0.000	7	1.685	-2.000	0.000

REACCIONS (TONES)

BARRA	TENSIO (TONES)	L.FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L.FINAL (METRES)
4	0.597	2.119	10	0.000	1.626
5	0.597	2.119	11	1.376	2.851
6	1.376	2.851			

BARRA	TENSIO (TONES)	L.FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L.FINAL (METRES)
7	0.000	0.000	7	0.000	1.626
8	0.805	2.596	8	0.805	2.596
9	0.805	2.596	9	0.805	2.596

14 SEGONS  
5 TIFRACIONS  
0.0000260 MAXIM ESF. DESEO.

7.4 MALLA HIPERELÀSTICA

Definirem com Malla Hiperelàstica, a aquella estructura hiperelàstica formada **EXCLUSIVAMENT** per cables hiperelàstics, de tal manera que no existeixi cap triangulació espacial entre els nusos hiperelàstics que la formen.

Això equival a dir que una Malla Hiperelàstica serà sempre assimilable a una superfície plana o ondulada que la conté.

Cal fixar-se, però, en el fet de que hem impossibilitat l'existència de triangulacions espacials dels nusos i que això no comporta, i així es constata, el fet que sí pugui haver-hi triangulacions dins la superfície associada a la Malla Hiperelàstica en qüestió.

A continuació, a tall d'exemple, s'exposen uns esquemes de diferents tipus de malles hiperelàstiques.

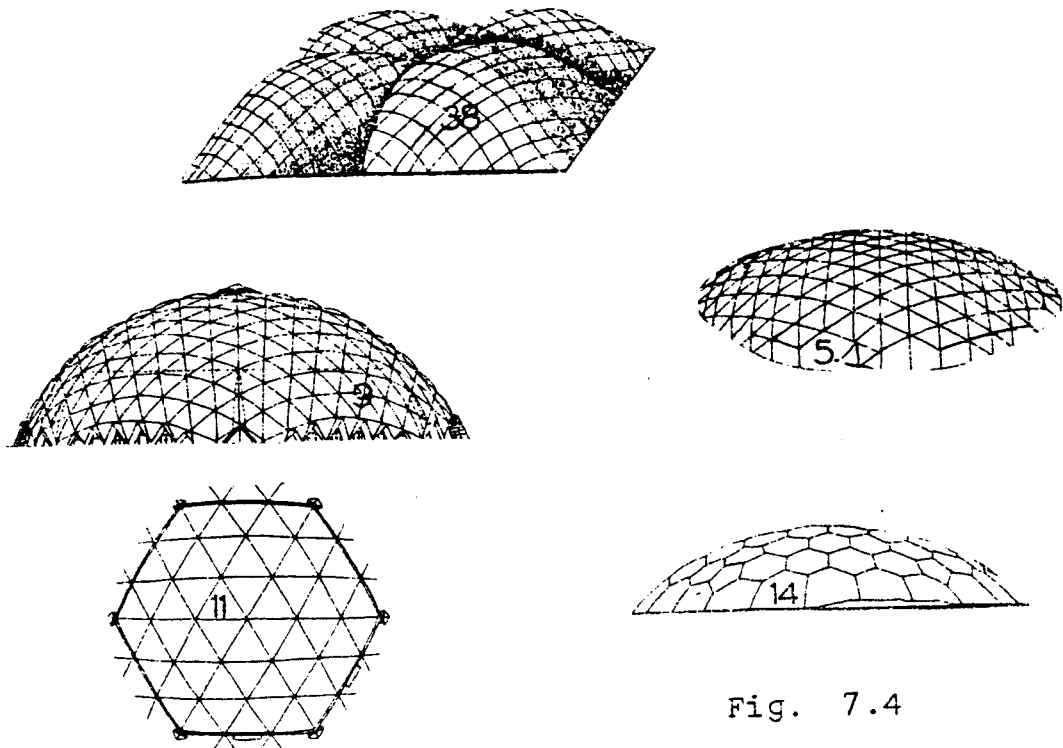


Fig. 7.4

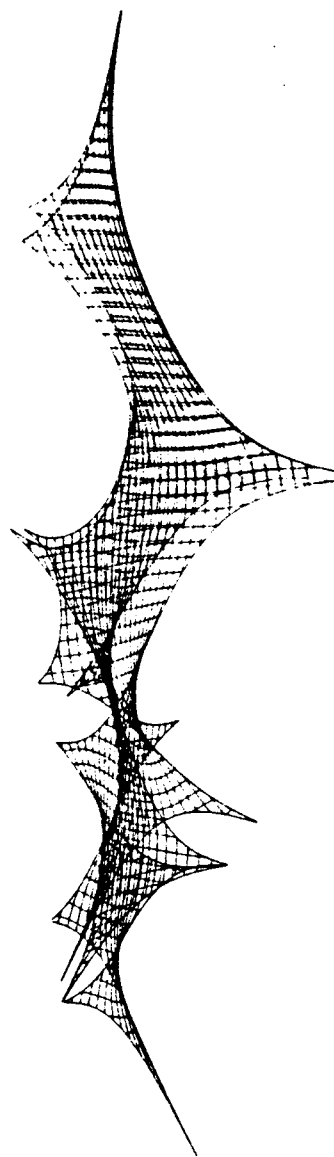
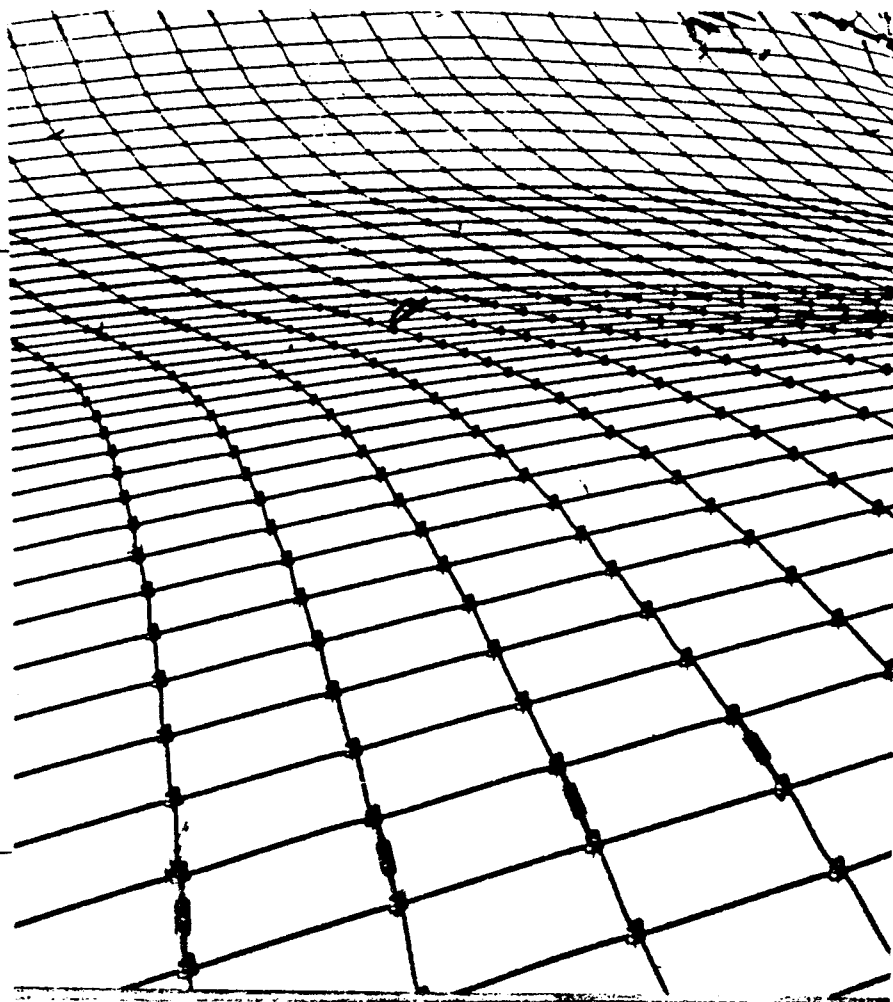
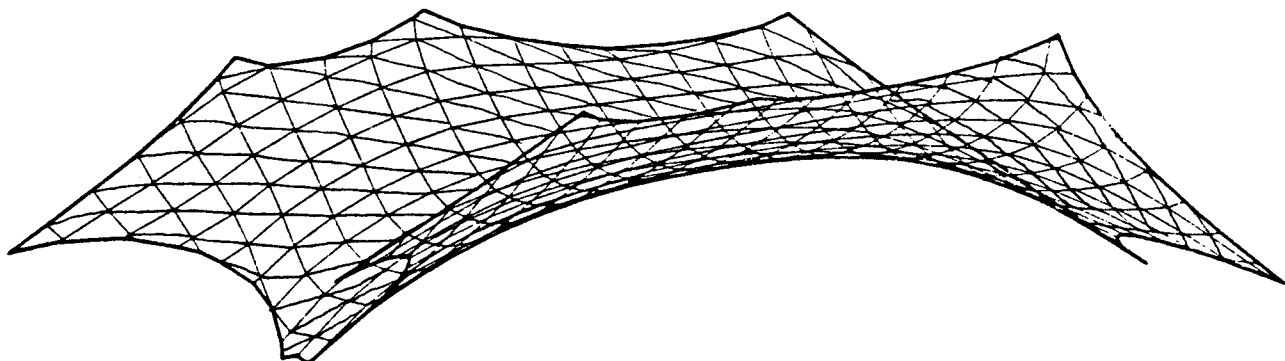


Fig. 7.5

### 7.5 ASSIMILACIÓ D'UNA MALLA HIPERELÀSTICA A UNA SUPERFÍCIE CONTÍNUA.

A l'apartat anterior hem contemplat la possibilitat d'assimilar una Malla Hiperelàstica a una superfície contínua. Naturalment, aquesta assimilació seria totalment certa quan hi hagués una malla de cables hiperelàstics tan tupida que no existissin els buits entre ells, i quan, a més, existissin cables en totes les direccions, de tal manera que la malla es comportés isotropament.

La utilitat d'aquesta assimilació és òbvia, ja que permetria d'estudiar el comportament de superfícies molt deformables. Tanmateix el nombre exagerat de cables hiperelàstics que les formarien, farien pràcticament inestudiable tal malla.

És per això, que en cada cas real caldrà saber fer la discretització d'aquesta malla en un nombre concret de cables hiperelàstics i amb unes característiques particulars d'aquests cables, de forma que el comportament de la malla pogués ser realment assimilable al de la superfície contínua.

Aquest procés de discretització és un camp que mereixeria una Tesi exclusivament per a ell sol. Nosaltres, a nivell d'exemple, mostrarem un dels possibles, (el més senzill), mètodes de discretització a través d'un cas concret.

Es tracta de la discretització d'una superfície mitjançant una trama de cables ortogonals, gairebé en tota la seva àrea.

### 7.6 FORMACIÓ D'UNA ESTRUCTURA SUPERFICIAL TENSADA.

El problema tracta de plantejar la formació d'una superfície tensada (una membrana) tal que:

- a- la seva projecció en planta sigui un hexàgon regular.
- b- tres dels seus vèrtexs alternats, ocupin una posició a ran de terra.
- c- tres dels seus vèrtexs, els altres, ocupin una posició elevada, igual per tots tres vèrtexs.
- d- des del centre de l'hexàgon fins als vèrtexs situats a ran de terra es formin uns aigües de secció transversal en "v".
- e- que el punt central de l'hexàgon estigui a una altura, més o menys, igual a la meitat de la dels vèrtexs elevats.

Vet aquí en un grafisme, l'esquema de la superfície que es vol aconseguir:

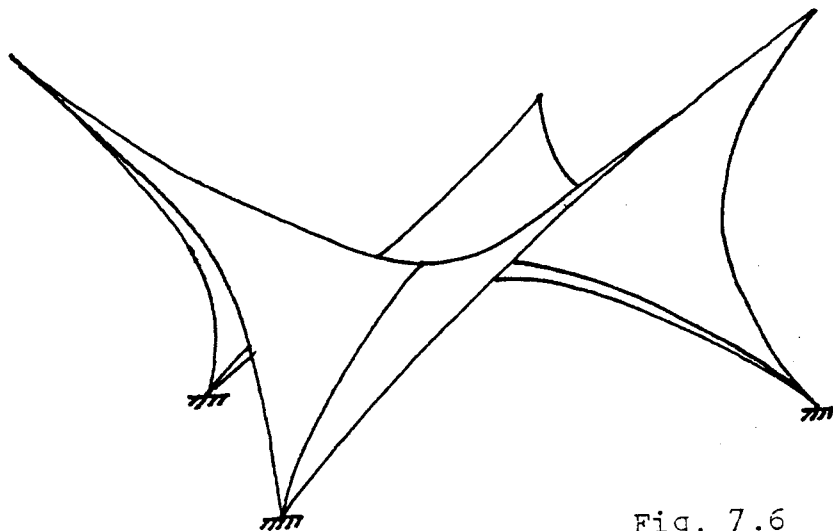


Fig. 7.6

Existeixen, està clar, diverses formes d'actuar. Des de col·locar una superfície hexagonal fixada a terra pels vèrtexs, elevant-ne tres d'alterns, (potser aquesta fóra la forma més senzilla), passant per altres més complexes, a partir de superfícies diferents.

La forma que hem fet servir en aquesta Tesi, no és aquesta tan senzilla, sinó una altra molt semblant, que tot i ser una mica més rebuscada, mostra més abastament les possibilitats del programa TEP32. Vet-la aquí:

7.6.1 Superfície de partida.

El mètode emprat parteix d'una malla hiperelàstica de forma triangular equilàtera.

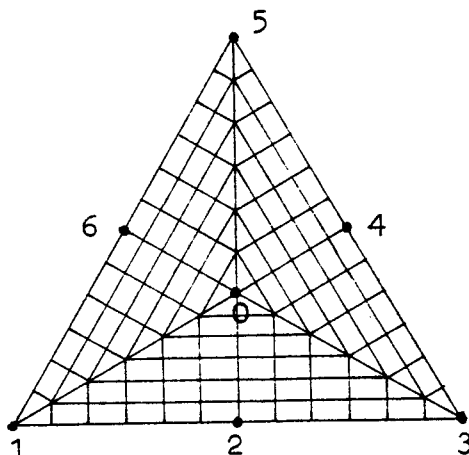


Fig. 7.7

Tal com mostra la figura anterior, la xarxa de cables té una distribució tri-ortogonal, és a dir, ortogonal en cada una de les zones en què queda dividit el triangle equilàter per les seves bisectrius. Aquesta distribució dels cables s'ha fet per tal que el comportament de la malla sigui isòtrop al deformar-se en forma hexagonal.

### 7.6.2 Mètode d'actuació

Els vèrtex 1, 3, 5 romandran a terra.

Els punts mig dels costats del triangle: 2,4,6 seran elevats fins al límit que desitgem que romanguin al final, i desplaçats en planta, de tal manera que formin amb els vèrtexs 1,3,5 un hexàgon regular en planta.

Les barres hiperelàstiques (cables) que uneixen els vèrtexs 1,3,5 amb el centre "0" seran més rígides que la resta. D'aquesta forma la seva deformació serà molt més forçada, i crearà, per tant, els aiguafons que volem aconseguir.

Amb aquest procés obtindrem una forma tal com la que desitjàvem. L'únic que no haurem controlat serà l'altura atesa pel punt central "0". Evidentment, la magnitud d'aquesta altura estarà en funció de la rigidesa de les barres que uneixen aquest punt central amb els vèrtex 1,3,5. Per tant, si aquesta altura atesa no ens és adient, repetirem la deformació canviant la rigidesa d'aquelles barres. Repetirem, interpolant, aquest procés tantes vegades com calgui fins que obtinguem la figura que ens plagui.

### 7.6.3 Procés de càlcul mitjançant el programa TEP32.

Degut a la simetria que presenta aquesta malla hiperelàstica, en calcularem només la meitat. Cal advertir que la simetria ho és tant en forma quant en càrregues (en aquest cas deformacions).

Procedim, doncs, a la numeració dels nusos i dels cables que formen la dita semimalla hiperelàstica.

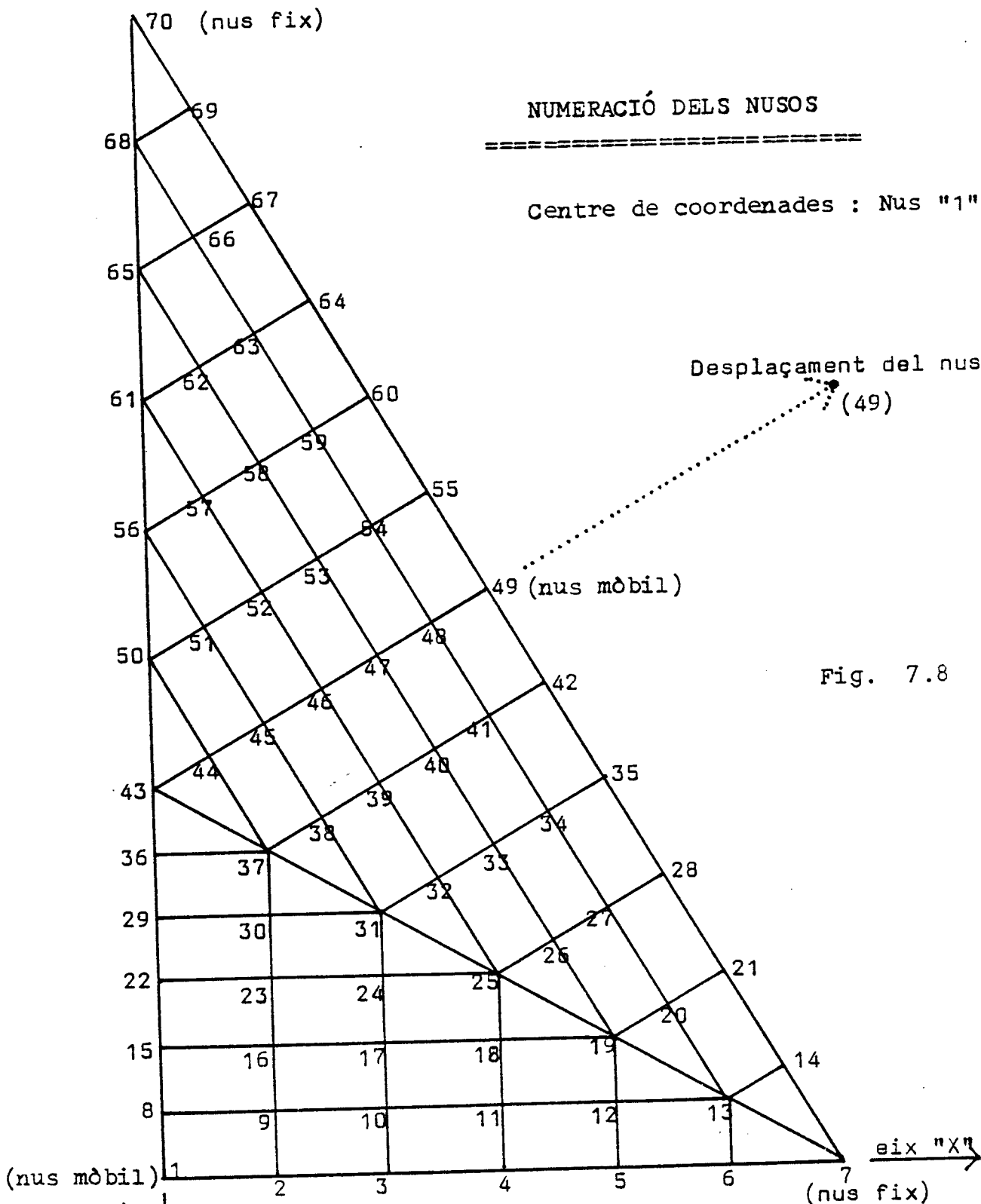
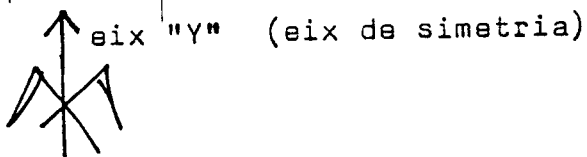


Fig. 7.8



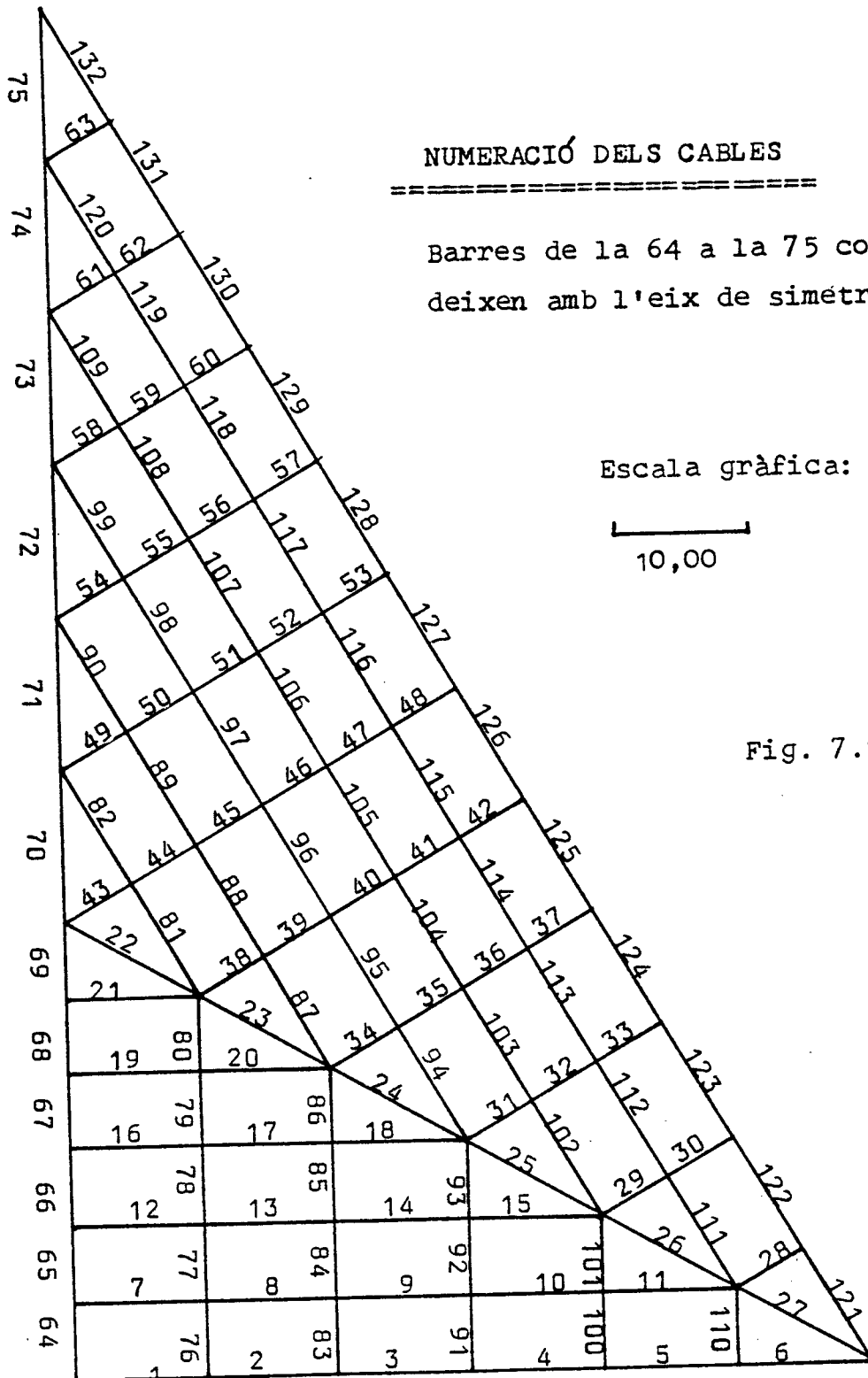


Fig. 7.9

D'acord amb els criteris generals que s'han d'aplicar a l'estudi d'una meitat de qualsevol estructura simètrica de forma i càrrega, establím:

a- les barres compreses dins aquest eix de simetria es consideraran amb una secció meitat de la que realment poseeixen.

b- els nusos situats sobre aquest eix, només podran desplaçar-se dins el pla vertical que conté aquest eix, en el present cas es tracta del pla "YZ".

c- el punt "43", per ser centre de simetria, haurà de tenir un desplaçament restringit únicament al sentit de l'eix "Z". (això serà una dada a comprovar dels resultats fornits per l'ordinador).

Així doncs, atesos els punts anteriors, tindrem:

- Secció de les barres: 1 cm<sup>2</sup>.  
excepte: 64 fins 69 igual a 0,5 cm<sup>2</sup>.
- Secció de les barres més rígides que formaran els aiguafons: 10 cm<sup>2</sup>. ( 22 fins 27 )
- Secció de les barres: 70 fins 75 = 5 cm<sup>2</sup>.
- Nusos fixos: 7 i 70
- Nusos desplaçats i després fixos: 1 i 49
- Nusos fixos en el sentit "X" : 8,15,22,29,36,43  
50, 56,61,65,68
- Nusos totalment lliures: la resta.
- Desplaçaments obligats: Nus 1 sentit "Y" -34, 641
- Nus 49 sentit "X" 30,0 ; sentit "Y" 17,321

Aquí procedeix el càlcul a través del programa TEP32.

Dels resultats obtinguts de l'ordinador, (els quals no transcrivim en aquesta Tesi, ja que no tenen cap valor), podem grafiar la forma resultant de la deformació de la Malla Hiperelàstica estudiada (fig. 7.7). A la pàgina següent es troba aquesta figura. (Fig. 7.10)

Veiem allí que el nus nº 43 corresponent al punt "0" de la fig. 7.7 ateny un desplaçament vertical, que d'acord amb els resultats fornits per l'ordinador, té un valor de 46,213.

Aquest desplaçament no és més o menys la meitat del valor de l'altura dels vèrtexs 2,4,6 (valor = 60;0), que de fet era el que volíem aconseguir. Es a dir, el nus nº 43 s'ha desplaçat en excés. I això no ens ha d'estranyar, ja que la relació entre les rigideses de les barres de la malla hiperelàstica inicial (fig. 7.7) era arbitrària.

¿ Quin serà, doncs, el mitjà per tal d'evitar aquest desplaçament excessiu ?

És ben senzill. Farem més rígides les barres que uneixen els vèrtexs 1,3,5 amb el punt "0", és a dir, les barres que formen els aiguafons.

Així doncs, repetirem tot el càlcul a través de l'ordinador, canviant solament les següents dades:

Barres (cables) 22 fins 27 : Secció 60,0 cm<sup>2</sup>.

Barres (cables) 70 fins 75 : Secció 30,0 cm<sup>2</sup>.

Dels resultats fornits per l'ordinador, a través del programa TEP32, podem grafiar la deformada de la Malla Hiperelàstica. (Fig. 7.11) .

En aquest cas el nus nº 43 ha sofert un desplaçament igual a 24,085. Aquest valor tampoc és exacta-

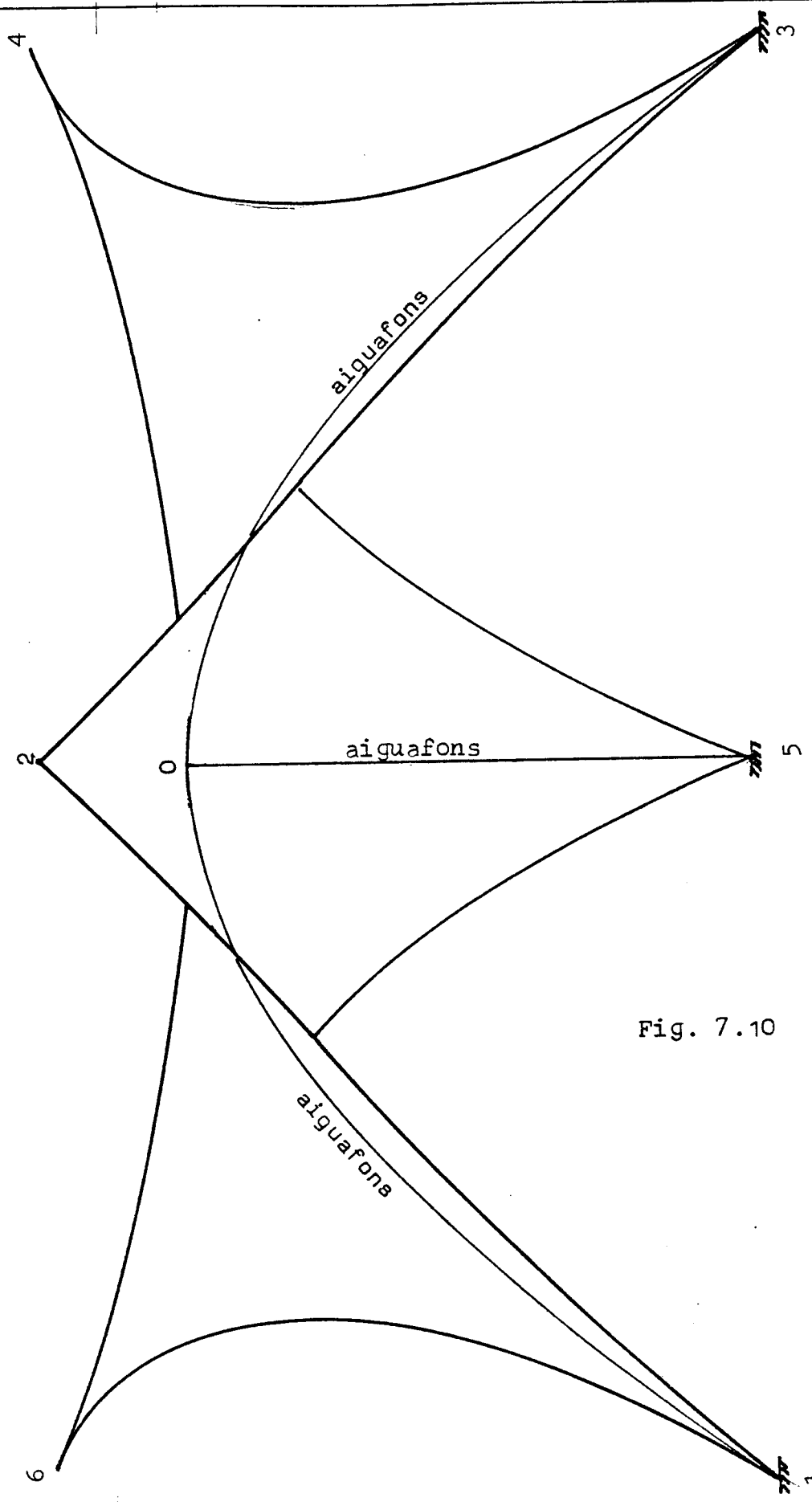


Fig. 7.10

ment la meitat de l'altura dels nusos (vèrtexs 2,4,6) elevats. Tanmateix s'hi assembla prou com perquè pugem donar-lo per vàlid, ja que no hem d'oblidar que l'exigència de disseny demanava que l'altura del punt mig fos "més o menys" la meitat de la dels vèrtexs elevats, i això ja ho hem aconseguit.

Així doncs, en aquest cas sí que considerem interessants els resultats fornits per l'ordinador i, per tant, els afegim a les pàgines que segueixen.

Al mateix temps, a través de la figura 7.11, podem copsar amb un cop d'ull la forma generada per la deformació de la Malla Hiperelàstica de la figura 7.7.

#### 7.7 ESPECEJAMENT D'UNA SUPERFÍCIE LAMINAR.

Una vegada obtinguda qualsevol forma de superfície ondulada, mitjançant un procés de deformació (forçada per uns desplaçaments fixos d'uns nusos o sota l'acció d'unes càrregues determinades) d'una Malla Hiperelàstica originària, coneixerem, d'acord amb les dades obtingudes pel programa TEP32, les noves coordenades espacials dels nusos hiperelàstics d'aquesta Malla.

Si coneixem aquestes noves coordenades, a través d'un programa adequat (\$), podrem cercar els patrons o peces que, correctament compostos, formen aquella super-

(\$) : L'autor d'aquesta Tesi ha utilitzat un programa d'ordinador propi d'abatiment de triangles espacials contigus sobre un pla, el qual s'afegeix com annex al present Capítol VII.

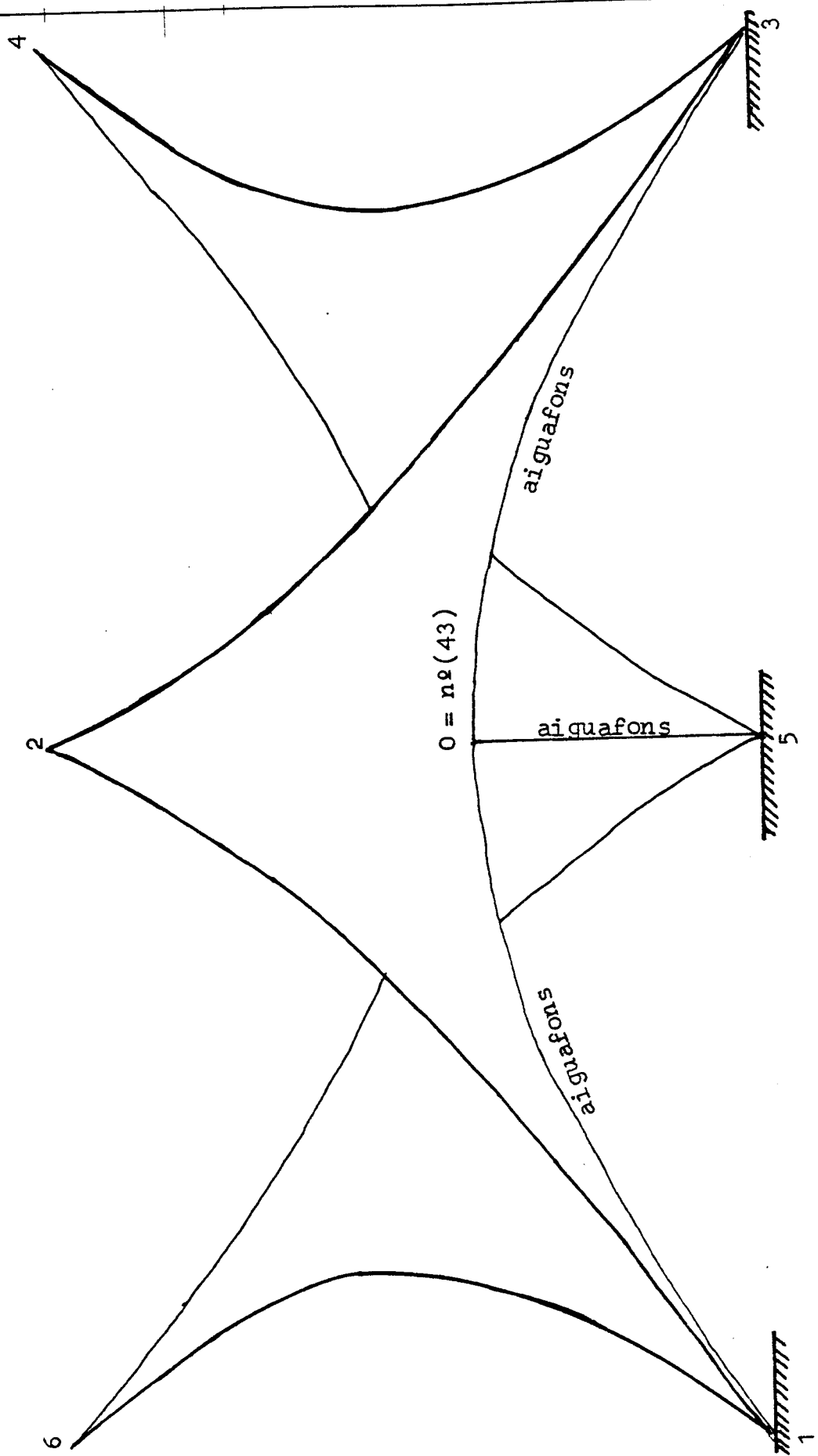


Figura 7.11

7-FEB-81

DADES D'ENTRADA: CREACIO DEL MODEL-MAGUETA TESI DOCTORAL AGOST-80  
\*\*\*\*\*

BARRES HIPERELASTIGUES

NUSOB	BARRES	ELASTICITAT	PES. PROPI	PRESSID	VENT. X	VENT. Y	NEU	DILATACIO	PRECISIO	NO. ITER.	DEF. MAX.
70	132	(T/CM2)	(KG/M2)	(KG/M2)	(KM/H)	(KM/H)	(KG/M2)	(%)	(TONES)	80	(METRES)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.000100	0.000	30.000
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.000100	0.000	30.000

COORDENADES (METRES)			COORDENADES (METRES)						
NUS	TIPUS	X	Y	Z	NUS	TIPUS	X	Y	Z
1	1	0.000	0.000	0.000	36	7	0.000	28.868	0.000
2	0	10.000	0.000	0.000	37	0	10.000	28.868	0.000
3	0	20.000	0.000	0.000	38	0	15.000	31.754	0.000
4	0	30.000	0.000	0.000	39	0	20.000	34.641	0.000
5	0	40.000	0.000	0.000	40	0	25.000	37.528	0.000
6	0	50.000	0.000	0.000	41	0	30.000	40.415	0.000
7	1	60.000	0.000	0.000	42	0	35.000	43.301	0.000
8	7	0.000	5.773	0.000	43	7	0.000	34.641	0.000
9	0	10.000	5.773	0.000	44	0	5.000	37.528	0.000
10	0	20.000	5.773	0.000	45	0	10.000	40.415	0.000
11	0	30.000	5.773	0.000	46	0	15.000	43.301	0.000
12	0	40.000	5.773	0.000	47	0	20.000	46.188	0.000
13	0	50.000	5.773	0.000	48	0	25.000	49.075	0.000
14	0	55.000	8.660	0.000	49	1	30.000	51.962	0.000
15	7	0.000	11.547	0.000	50	7	0.000	46.188	0.000
16	0	10.000	11.547	0.000	51	0	5.000	49.075	0.000
17	0	20.000	11.547	0.000	52	0	10.000	51.962	0.000
18	0	30.000	11.547	0.000	53	0	15.000	54.848	0.000
19	0	40.000	11.547	0.000	54	0	20.000	57.735	0.000
20	0	45.000	14.434	0.000	55	0	25.000	60.622	0.000
21	0	50.000	17.321	0.000	56	7	0.000	57.735	0.000
22	7	0.000	17.321	0.000	57	0	5.000	60.622	0.000
23	0	10.000	17.321	0.000	58	0	10.000	63.508	0.000
24	0	20.000	17.321	0.000	59	0	15.000	66.395	0.000
25	0	30.000	17.321	0.000	60	0	20.000	69.282	0.000
26	0	35.000	20.207	0.000	61	7	0.000	69.282	0.000
27	0	40.000	23.094	0.000	62	0	5.000	72.169	0.000
28	0	45.000	25.981	0.000	63	0	10.000	75.056	0.000
29	7	0.000	23.094	0.000	64	0	15.000	77.942	0.000
30	0	10.000	23.094	0.000	65	7	0.000	80.829	0.000
31	0	20.000	23.094	0.000	66	0	5.000	83.716	0.000
32	0	25.000	25.981	0.000	67	0	10.000	86.602	0.000
33	0	30.000	28.868	0.000	68	7	0.000	89.488	0.000
34	0	35.000	31.754	0.000	69	0	5.000	92.376	0.000
35	0	40.000	34.641	0.000	70	1	5.000	95.263	0.000
								103.923	0.000

MALLA HIPERELÁSTICA

BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)	BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)	BARRA DEL AL	SECCIO (CM2)	LONGITUD (METRES)
1	1.0	10.000	45	45 46	5.774	89	45 51	10.000
2	1.0	10.000	46	47	5.773	90	51 56	10.000
3	1.0	10.000	47	48	5.774	91	4 11	5.774
4	1.0	10.000	48	49	5.773	92	11 18	5.774
5	1.0	10.000	49	50	5.774	93	18 25	5.774
6	1.0	10.000	50	51	5.773	94	25 32	10.000
7	1.0	10.000	51	52	5.774	95	32 39	10.000
8	1.0	10.000	52	53	5.773	96	39 46	10.000
9	1.0	10.000	53	54	5.774	97	46 52	10.000
10	1.0	10.000	54	55	5.774	98	52 57	10.000
11	1.0	10.000	55	56	5.773	99	57 61	10.000
12	1.0	10.000	56	57	5.774	100	5 12	5.774
13	1.0	10.000	57	58	5.773	101	12 19	5.774
14	1.0	10.000	58	59	5.774	102	19 26	10.000
15	1.0	10.000	59	60	5.773	103	26 33	10.000
16	1.0	10.000	60	61	5.774	104	33 40	10.000
17	1.0	10.000	61	62	5.774	105	40 47	10.000
18	1.0	10.000	62	63	5.773	106	47 53	10.000
19	1.0	10.000	63	64	5.774	107	53 58	10.000
20	1.0	10.000	64	65	5.774	108	58 62	10.000
21	1.0	10.000	65	66	5.774	109	62 65	10.000
22	60.0	11.547	66	67	5.774	110	6 13	5.774
23	60.0	11.547	67	68	5.773	111	13 20	10.000
24	60.0	11.547	68	69	5.774	112	20 27	10.000
25	60.0	11.547	69	70	5.773	113	27 34	10.000
26	60.0	11.547	70	71	11.547	114	34 41	10.000
27	60.0	11.547	71	72	11.547	115	41 48	10.000
28	1.0	5.774	72	73	5.774	116	48 54	10.000
29	1.0	5.773	73	74	11.547	117	54 59	10.000
30	1.0	5.774	74	75	11.547	118	59 63	10.000
31	1.0	5.774	75	76	11.547	119	63 66	10.000
32	1.0	5.773	76	77	5.774	120	66 68	10.000
33	1.0	5.774	77	78	5.774	121	7 14	10.000
34	1.0	5.773	78	79	5.774	122	14 21	10.000
35	1.0	5.774	79	80	5.773	123	21 28	10.000
36	1.0	5.773	80	81	5.774	124	28 35	10.000
37	1.0	5.773	81	82	10.000	125	35 42	10.000
38	1.0	5.774	82	83	10.000	126	42 49	10.000
39	1.0	5.773	83	84	5.774	127	49 55	10.000
40	1.0	5.774	84	85	5.774	128	55 60	10.000
41	1.0	5.773	85	86	5.774	129	60 64	10.000
42	1.0	5.774	86	87	5.773	130	64 67	10.000
43	1.0	5.774	87	88	10.000	131	67 69	10.000
44	1.0	5.773	88	89	10.000	132	69 70	10.000



DEFORMACIONS  
(METRES)

CARREGUES  
(TONES)

NUS	PX	PY	PZ	DX	DY	DZ
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-34.641	60.000
49	0.000	0.000	0.000	30.000	17.321	60.000

ESTRUCTURA ESPACIAL  
 NOMBRE TOTAL D'INCIGNITES = 187  
 AMPLI DE BANDA = 22

RESULTATS FINALS CREGACIO DEL MODEL-MAGUETA TESI DOCTORAL AGOST-80

COORDENADES  
(METRES)

DEFORMACIONS  
(METRES)

REACCIONS  
(TONES)

NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z	NUS	X	Y	Z
1	0.000	-34.641	60.000	1	0.000	-34.641	60.000	1	-0.462	-2.040	1.559
2	7.891	-17.016	45.509	2	-2.109	-17.016	45.509	2	0.000	0.000	0.000
3	17.118	-7.220	34.809	3	-2.882	-7.220	34.809	3	0.000	0.000	0.000
4	27.425	-2.136	25.420	4	-2.575	-2.136	25.420	4	0.000	0.000	0.000
5	38.218	-0.159	16.688	5	-1.782	-0.159	16.688	5	0.000	0.000	0.000
6	49.109	0.185	8.292	6	-0.891	0.185	8.292	6	0.000	0.000	0.000
7	60.000	0.000	0.000	7	0.000	0.000	0.000	7	4.538	-2.620	-3.118
8	0.000	-18.282	48.479	8	0.000	-24.055	48.479	8	-0.321	0.000	0.000
9	8.922	-8.594	40.081	9	-1.078	-14.368	40.081	9	0.000	0.000	0.000
10	18.409	-0.892	31.144	10	-1.591	-6.665	31.144	10	0.000	0.000	0.000
11	28.603	3.518	22.529	11	-1.197	-2.256	22.529	11	0.000	0.000	0.000
12	39.617	5.237	14.259	12	-0.383	-0.536	14.259	12	0.000	0.000	0.000
13	50.506	5.482	6.194	13	0.506	-0.292	6.194	13	0.000	0.000	0.000
14	54.394	9.339	8.292	14	-0.606	0.679	8.292	14	0.000	0.000	0.000
15	0.000	-5.756	40.734	15	0.000	-17.303	40.734	15	-0.231	0.000	0.000
16	9.885	0.512	34.950	16	-0.115	-11.035	34.950	16	0.000	0.000	0.000
17	19.655	6.365	27.469	17	-0.345	-5.182	27.469	17	0.000	0.000	0.000
18	30.132	9.806	19.715	18	0.132	-1.741	19.715	18	0.000	0.000	0.000
19	40.950	10.999	12.004	19	0.950	-0.548	12.004	19	0.000	0.000	0.000
20	49.273	15.033	14.259	20	0.273	0.599	14.259	20	0.000	0.000	0.000

MALLA HIPERELÀSTICA

21	49.247	18.944	16.688	1.623	14.688	21	0.000	0.000
22	0.000	5.263	34.880	-12.037	34.880	22	-0.191	0.000
23	10.499	9.752	30.515	-7.969	30.515	23	0.000	0.000
24	20.609	14.194	24.127	-3.127	24.127	24	0.000	0.000
25	31.227	16.612	17.186	-0.708	17.186	25	0.000	0.000
26	36.573	20.964	19.715	0.756	19.715	26	0.000	0.000
27	41.355	25.259	22.529	2.165	22.529	27	0.000	0.000
28	45.562	29.279	25.420	3.298	25.420	28	0.000	0.000
29	0.000	15.511	30.292	-7.583	30.292	29	-0.169	0.000
30	10.755	19.064	26.750	-4.030	26.750	30	0.000	0.000
31	21.169	22.419	21.229	-0.675	21.229	31	0.000	0.000
32	28.013	27.017	24.127	1.036	24.127	32	0.000	0.000
33	34.315	31.757	27.469	2.890	27.469	33	0.000	0.000
34	39.977	36.464	31.144	4.977	31.144	34	0.000	0.000
35	44.812	40.747	34.809	6.106	34.809	35	0.000	0.000
36	0.000	25.265	26.724	-9.603	26.724	36	-0.149	0.000
37	10.709	28.458	23.551	-0.409	23.551	37	0.000	0.000
38	18.867	33.115	26.750	1.361	26.750	38	0.000	0.000
39	26.804	37.993	30.515	3.352	30.515	39	0.000	0.000
40	34.500	43.145	34.950	5.617	34.950	40	0.000	0.000
41	41.904	48.532	40.081	8.118	40.081	41	0.000	0.000
42	48.682	53.636	45.509	10.335	45.509	42	0.000	0.000
43	0.000	34.641	24.085	0.000	24.085	43	-4.306	0.000
44	8.120	39.329	26.724	1.801	26.724	44	0.000	0.000
45	16.567	44.206	30.292	3.792	30.292	45	0.000	0.000
46	25.442	49.330	34.880	6.029	34.880	46	0.000	0.000
47	34.985	54.840	40.734	8.652	40.734	47	0.000	0.000
48	45.832	61.102	48.479	12.028	48.479	48	0.000	0.000
49	60.000	69.282	60.000	17.321	60.000	49	3.534	2.040
50	0.000	47.007	23.551	0.819	23.551	50	-0.701	0.000
51	8.112	51.744	26.750	2.669	26.750	51	0.000	0.000
52	16.305	56.178	30.515	4.216	30.515	52	0.000	0.000
53	24.614	60.267	34.950	5.419	34.950	53	0.000	0.000
54	32.982	63.985	40.081	6.250	40.081	54	0.000	0.000
55	40.791	67.303	45.509	6.681	45.509	55	0.000	0.000
56	0.000	59.085	21.229	1.350	21.229	56	-0.584	0.000
57	7.403	62.713	24.127	2.091	24.127	57	0.000	0.000
58	14.660	65.801	27.469	2.292	27.469	58	0.000	0.000
59	21.568	68.350	31.144	1.955	31.144	59	0.000	0.000
60	27.694	70.396	34.809	1.114	34.809	60	0.000	0.000
61	0.000	70.699	17.186	1.417	17.186	61	-0.403	0.000
62	6.442	73.153	19.715	0.984	19.715	62	0.000	0.000
63	12.552	75.147	22.529	0.091	22.529	63	0.000	0.000
64	18.137	76.780	25.419	-1.162	25.419	64	0.000	0.000
65	0.000	81.925	12.004	1.096	12.004	65	-0.247	0.000
66	5.656	83.653	14.259	-0.063	14.259	66	0.000	0.000
67	11.029	85.139	16.688	-1.464	16.688	67	0.000	0.000
68	0.000	92.960	6.194	0.000	6.194	68	-0.163	0.000
69	5.285	94.398	8.292	-0.864	8.292	69	0.000	0.000
70	0.000	103.923	0.000	0.000	0.000	70	-0.142	-1.559

BARRA	TENSIO (TONES)	L. FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L. FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L. FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L. FINAL (METRES)	BARRA	TENSIO (TONES)	L. FINAL (METRES)
1	1.414	24.143	34	0.514	8.739	67	0.472	11.227	100	0.053	6.081			
2	0.719	17.193	35	0.484	8.566	68	0.399	10.386	101	0.096	6.329			
3	0.484	14.841	36	0.425	8.229	69	0.344	9.741	102	0.334	13.338			
4	0.402	14.023	37	0.286	7.427	70	2.157	12.377	103	0.348	13.481			
5	0.376	13.756	38	0.719	9.923	71	1.934	12.299	104	0.363	13.626			
6	0.369	13.690	39	0.740	10.048	72	1.949	12.297	105	0.304	13.056			
7	0.562	15.619	40	0.778	10.268	73	2.126	12.365	106	0.306	13.056			
8	0.514	15.140	41	0.818	10.496	74	2.400	12.471	107	0.363	13.626			
9	0.420	14.202	42	0.745	10.073	75	2.715	12.592	108	0.348	13.481			
10	0.372	13.722	43	0.687	9.741	76	0.745	10.073	109	0.334	13.338			
11	0.355	13.552	44	0.799	10.386	77	0.818	10.496	110	0.016	5.866			
12	0.305	13.056	45	0.943	11.228	78	0.778	10.268	111	0.353	13.552			
13	0.363	13.626	46	1.161	12.478	79	0.740	10.048	112	0.372	13.722			
14	0.348	13.481	47	1.551	14.727	80	0.719	9.923	113	0.420	14.202			
15	0.334	13.338	48	2.466	20.009	81	0.162	11.617	114	0.514	15.140			
16	0.222	12.224	49	0.719	9.923	82	0.162	11.617	115	0.562	15.619			
17	0.276	12.758	50	0.740	10.048	83	0.286	7.427	116	0.562	15.619			
18	0.291	12.913	51	0.778	10.268	84	0.425	8.229	117	0.514	15.140			
19	0.187	11.868	52	0.818	10.496	85	0.484	8.566	118	0.420	14.202			
20	0.225	12.254	53	0.745	10.073	86	0.514	8.739	119	0.372	13.722			
21	0.162	11.617	54	0.514	8.739	87	0.225	12.255	120	0.355	13.552			
22	4.315	12.377	55	0.484	8.566	88	0.187	11.868	121	0.369	13.690			
23	3.908	12.299	56	0.425	8.229	89	0.187	11.868	122	0.376	13.756			
24	3.898	12.297	57	0.286	7.427	90	0.225	12.254	123	0.402	14.023			
25	4.252	12.365	58	0.272	7.343	91	0.125	6.498	124	0.484	14.841			
26	4.800	12.471	59	0.215	7.016	92	0.215	7.016	125	0.719	17.193			
27	5.429	12.592	60	0.125	6.498	93	0.272	7.343	126	1.414	24.143			
28	0.016	5.866	61	0.096	6.329	94	0.291	12.913	127	1.414	24.143			
29	0.096	6.329	62	0.053	6.081	95	0.276	12.758	128	0.719	17.193			
30	0.053	6.081	63	0.016	5.866	96	0.222	12.224	129	0.484	14.841			
31	0.272	7.343	64	1.233	20.009	97	0.222	12.224	130	0.402	14.023			
32	0.215	7.016	65	0.775	14.726	98	0.276	12.758	131	0.376	13.756			
33	0.125	6.498	66	0.581	12.478	99	0.291	12.913	132	0.369	13.690			

38.391 SEGONS  
6 ITERACIONS  
0.0000106 MAXIM ESF. DES

ficie. És a dir, podem abatre sobre un pla una determinada àrea que desitgem.

Si la superfície laminar que volguéssim aconseguir fos a base de panells rígids, l'únic element abatible fóra un sol triangle, ja que aquests sempre determinen un pla. És obvi que no podríem abatre quadrilàters, ni encara menys figures més complexes, puix que la majoria de vegades els quadrilàters -els seus vèrtexs- no són coplanaris, i, per tant, no són assimilables a un material rígid (tipus fusta, acer, vidre, etc.).

Ara bé, si la superfície laminar que volguéssim aconseguir fos a base d'un material tipus lona, vela, etc. tot abatent triangles contigus podríem anar formant patrons més o menys llargs, creant així unes faixes d'aquesta tipologia:

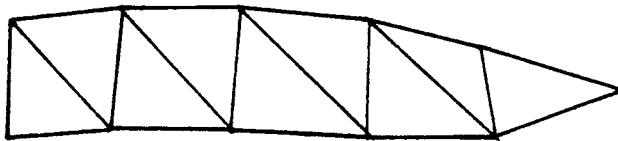


Fig. 7.12

Al conjunt d'aquestes faixes, atès que no tinguin cap triangle en comú, i que, per altra banda, cobreixin la totalitat de la superfície laminar estudiada, l'anomenarem Especejament de la Superfície.

Amb aquest criteri, de la superfície laminar estudiada a l'apartat 7.6 d'aquest mateix Capítol, s'ha realitzat un especejament que ha donat el següent resultat:

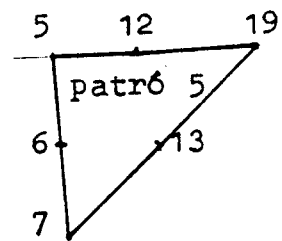
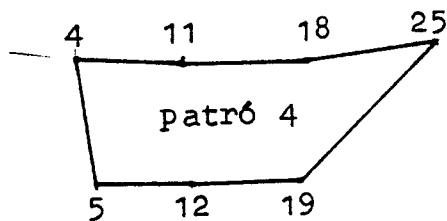
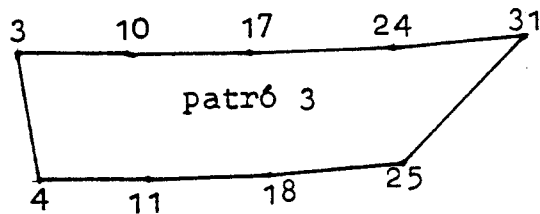
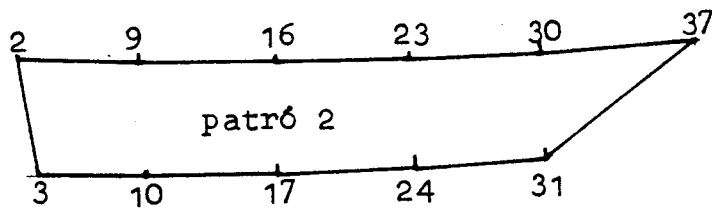
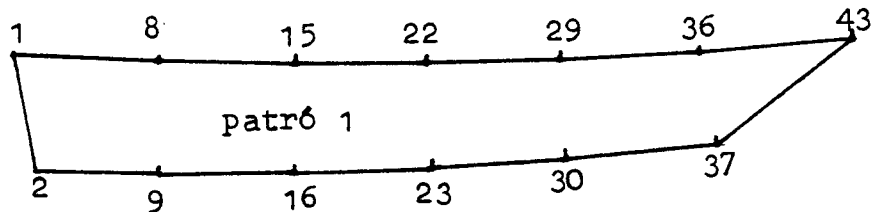


Fig. 7.13

De cada un d'aquests patrons se n'hauran de fer 6 unitats idèntiques, ja que la nostra estructura laminar té una projecció d'hexàgon regular. (Fig. 7.6)

Una vegada retallats aquests patrons, sobre la superfície de material adequat, i units mitjançant cosit, enganxat, soldat, etc., obtindrem una superfície, els punts de la qual mai podran ser coplanaris. Tanmateix, aquesta superfície, a través d'uns pals i d'uns elements

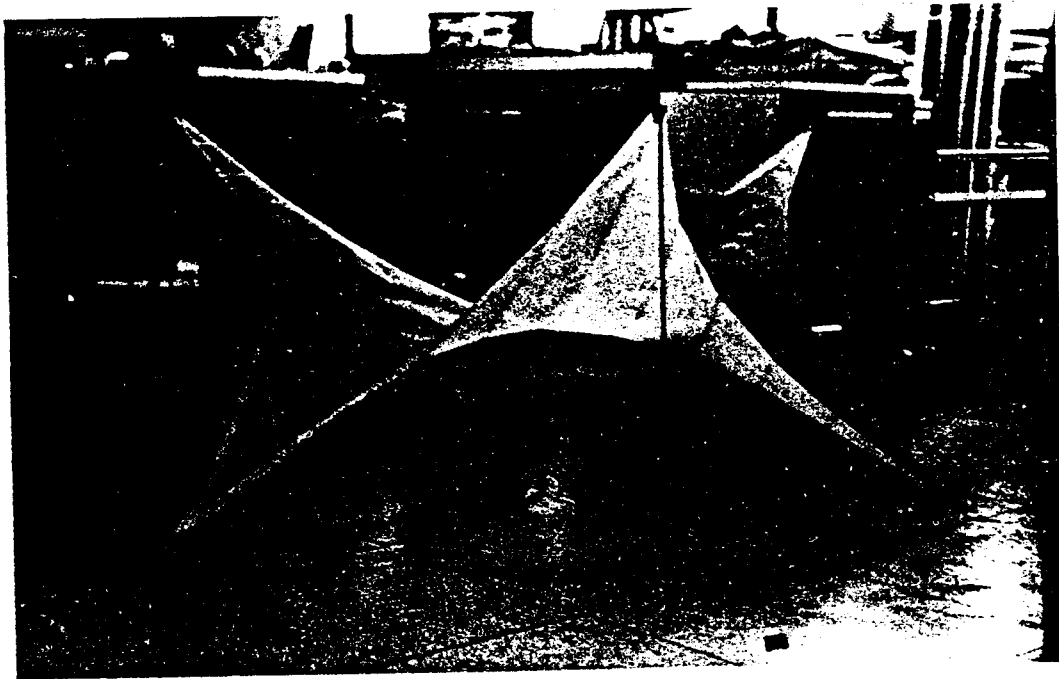
amb comportament de cable, adquirirà la forma que volíem aconseguir al principi. (Apartat 7.6).

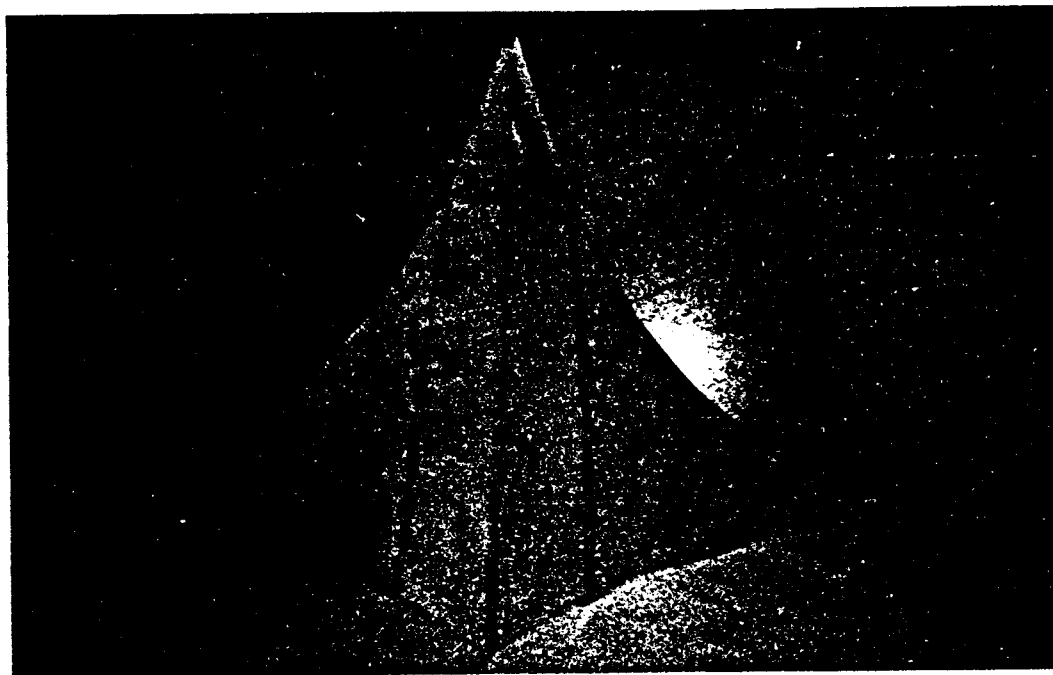
NOTA: Experimentalment, l'autor d'aquesta Tesi ha desenvolupat aquest especejament i posterior muntatge de la superfície laminar amb roba i paper. D'aquest treball manual se n'adjunten fotografies.

### 7.8 DOCUMENTACIÓ FOTOGRÀFICA.

Les fotografies 1;2,3 i 4 ens mostren la maqueta feta amb paper. L'interès de treballar amb paper rau en el fet que és un material barat i accessible, i que per altra banda, al ser indeformable, demostra l'exactitud de l'especejament que s'ha fet.

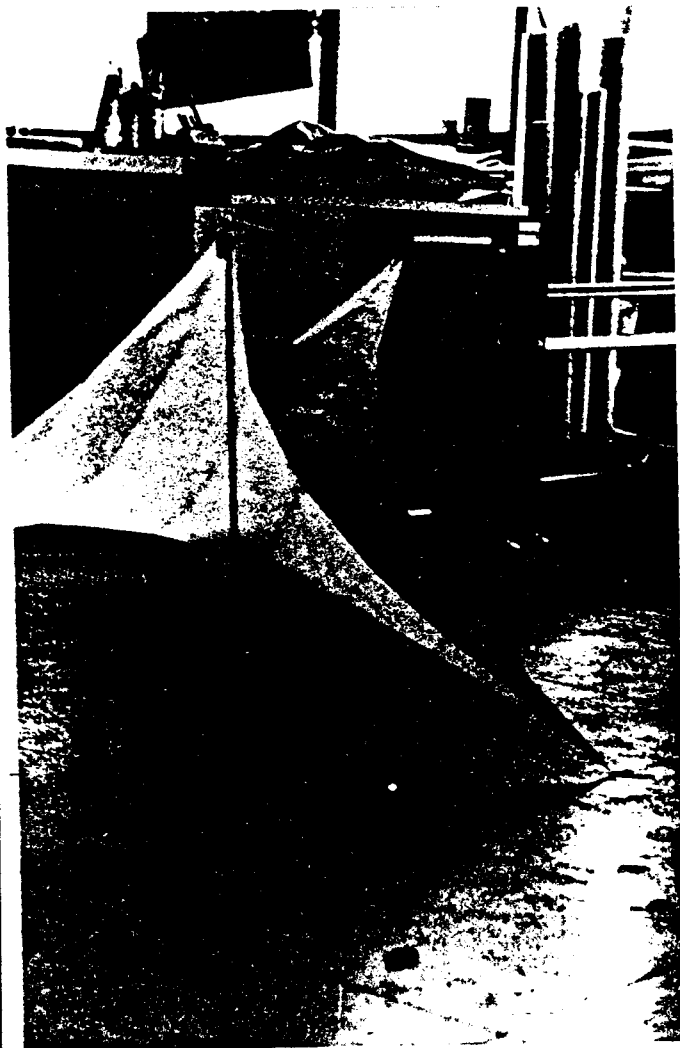
Fotografia 1



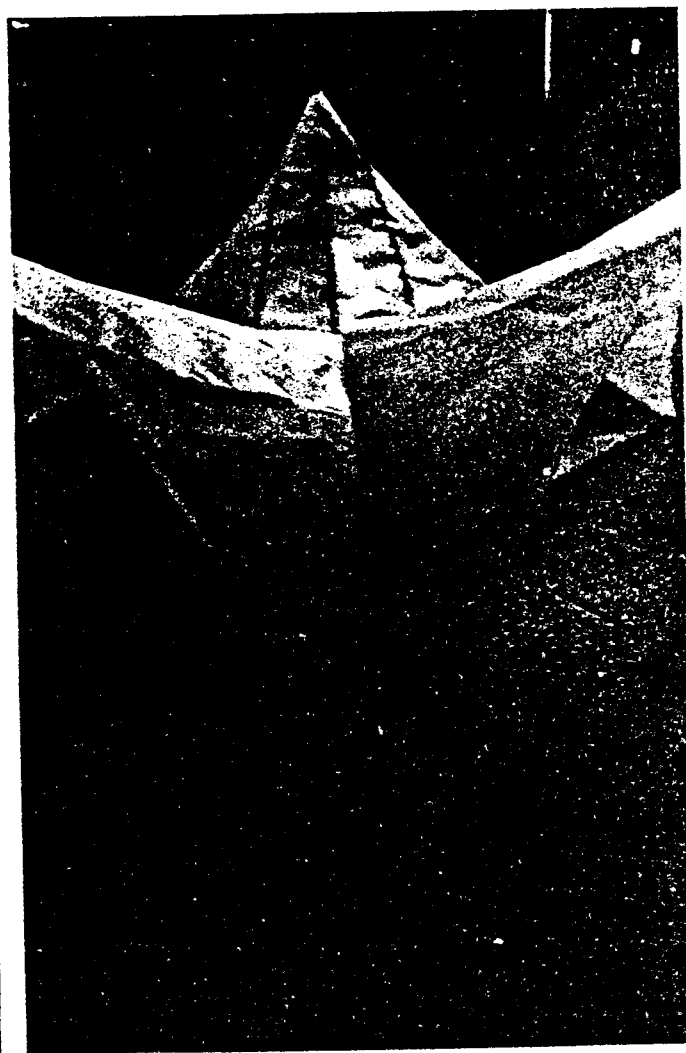


Fotografia

2

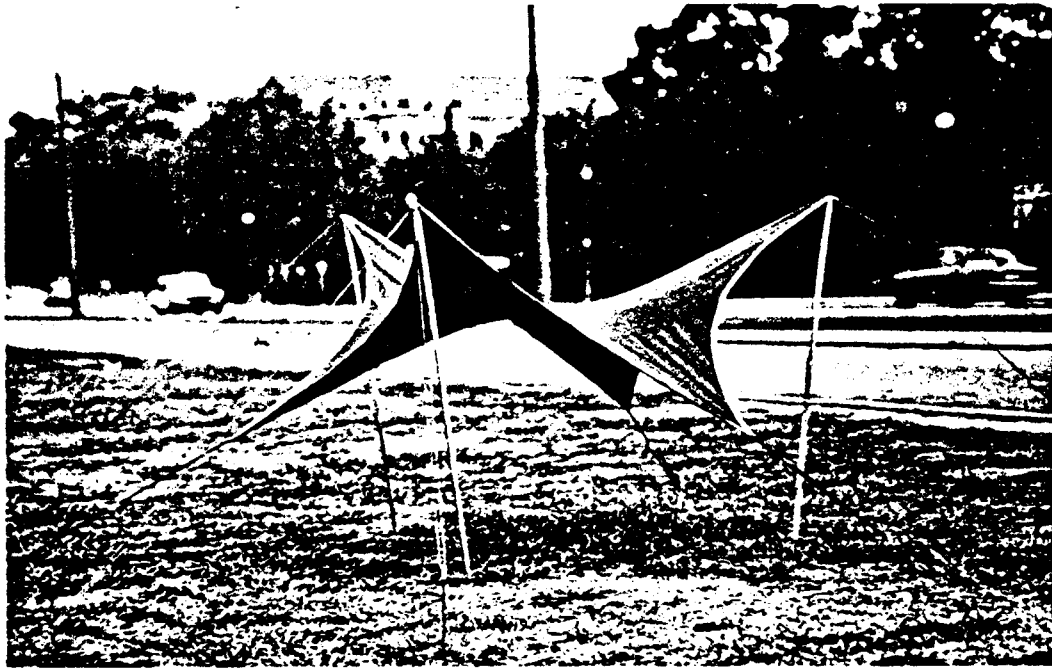


Fotografia 3



Fotografia 4

Les fotografies 5,6,7 i 8 són de la maqueta feta amb roba. Amb aquesta maqueta, utilitzant tensors propis de tendes de campanya, s'ha pretès assimilar al màxim la realitat d'una possible realització a tamany real. El fet de no haver estudiat el pretensat (en aquest exemple, ja que a l'exemple del proper Capítol sí que s'ha fet) de la superfície es tradueix amb l'aparició d'arrugues.



Fotografia

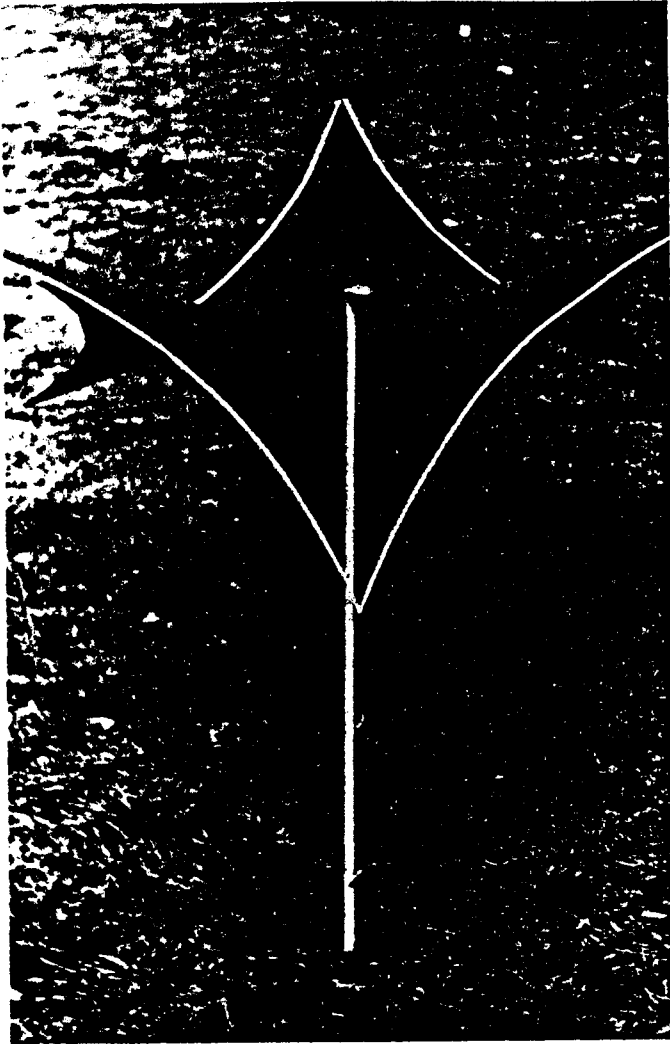
5



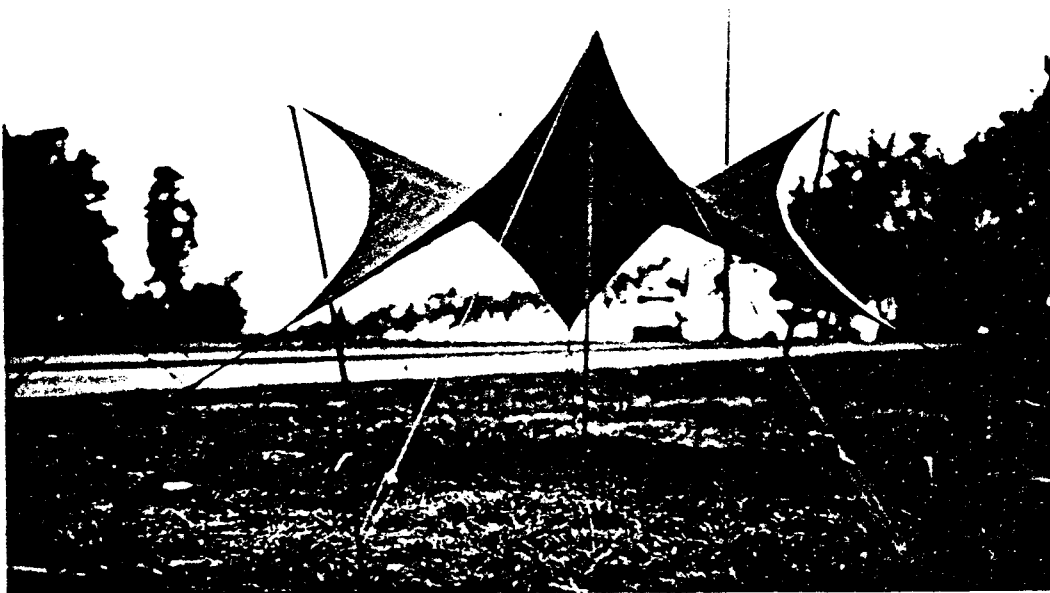
Fotografia

6





Fotografia 7



Fotografia 8

FACOM BOS2 FORTRAN -740601- V03 L08

```

ISN      *      SOURCE STATEMENT / ERROR MESSAGE      *ID.
1          SUBROUTINE TALL (X,Y,Z,A,B,NJ,LTIT,NTALL)
2          DIMENSION A(NJ),B(NJ),X(NJ),Y(NJ),Z(NJ),LTIT(40)
3          DATA PI, IS / 3.141592654 /
4          WRITE (IS,105) LTIT,NTALL
5          105 FORMAT (1H1,///,2X,40A2,/,1X,' TALL NUMERO ',I2,///)
6          WRITE (IS,104)
7          104 FORMAT (' NUS',6X,'COOR. A',7X,'COOR. B',33X,'COOR. X',7X,'COOR. Y
            *',7X,'COOR. Z',/)
8          I1=1
9          77 I2=I1+1
10         I3=I2+1
11         E1=SQRT((X(I2)-X(I1))**2+(Y(I2)-Y(I1))**2+(Z(I2)-Z(I1))**2)
12         E2=SQRT((X(I3)-X(I2))**2+(Y(I3)-Y(I2))**2+(Z(I3)-Z(I2))**2)
13         E3=SQRT((X(I1)-X(I3))**2+(Y(I1)-Y(I3))**2+(Z(I1)-Z(I3))**2)
14         IF (I1.NE. 1) GO TO 51
15         A(1) = 0.
16         B(1)=0.
17         WRITE (IS,10) I1,A(1),B(1),X(1),Y(1),Z(1)
18         *10 FORMAT (2X,I2,2(4X,F10.5),26X,3(4X,F10.5),/)
19         A(2)=0.
20         B(2)=E1
21         *RITE (IS,110) I2,A(2),B(2),X(2),Y(2),Z(2)
22         AFT=ACOS((E2**2-E1**2-E3**2)/(-2.*E3*E1))
23         A(3)=E3*SIN(AFT)
24         B(3)=E3*COS(AFT)
25         GO TO 200
26         51 BP=B(I1)-B(I2)
27         AP=A(I1)-A(I2)
28         IF (BP)10,11,16
29         10 IF (AP)12,13,14
30         I2 AF1=ATAN(AP/BP)+PI/2.
31         GO TO 15
32         13 AF1=PI/2.
33         GO TO 15
34         I4 AF1=ATAN(-BP/AP)
35         15 AF2=ACOS((E2**2-E1**2-E3**2)/(-2.*E3*E1))
36         AFT=AF1+AF2
37         A(3)=A(I1)-E3*COS(AFT)
38         B(3)=B(I1)+E3*SIN(AFT)
39         GO TO 200
40         I1 IF (AP)19,18,17
41         18 *WRITE (IS,20) I1,I2
42         20 FORMAT (' EL NUS ',I2,' I EL NUS ',I2,' SON IDENTICS')
43         RETURN
44         17 *WRITE (IS,21) I2,I1
45         21 FORMAT (' EL NUS ',I2,' ESTA A L'ESQUERRA DEL ',I2)
46         RETURN
47         I9 AF2=ACOS((E2**2-E1**2-E3**2)/(-2.*E3*E1))
48         A(3)=A(I1)+E3*COS(AFT)
49         IF (B(I1)-B(I3))10,31,32
50         30 B(3)=B(I1)+E3*SIN(AFT)
51         GO TO 200
52         I1 *RITE (IS,33)
53         33 FORMAT (' TRES PUNTS CORRELATIUS ALINEATS')
54         RETURN
55         I2 B(3)=B(I1)-E3*SIN(AFT)
56         GO TO 200
57         16 IF (AP)40,41,42
58         40 AF1=ATAN(-AP/BP)+PI/2.
59         GO TO 43
60         41 AF1=PI/2.
61         GO TO 43
62         42 AF1=ATAN(AP/AP)
63         43 AF2=ACOS((E2**2-E1**2-E3**2)/(-2.*E3*E1))
64         AFT=AF1+AF2
65         A(3)=A(I1)-E3*COS(AFT)
66         B(3)=B(I1)+E3*SIN(AFT)
67         200 WRITE (IS,610) I3,A(3),B(3),X(3),Y(3),Z(3)
68         *00 IF (I1.EQ. NJ) RETURN
69         I1=I1+1
70         GO TO 77
71         END
    
```