

## CAPITOL IX

APLICACIONES

## 9.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Quan definim aquest Capítol sota el nom d'Aplicacions no pretenem donar una llista exhaustiva de tots els casos on pot ser d'utilitat la teoria i la praxis desenvolupades en aquesta Tesi. No, això fóra pràcticament impossible.

I ho fóra no perquè el nombre de possibles aplicacions sigui molt elevat (com creiem que ho és), sinó perquè el camp de la Tecnologia i el de la utilització d'estructures de barres, articulades, amb grans deformacions es pot dir que es troba encara en bolquers, si més no, al nostre país.

Què pretenem, doncs?

Volem, precisament, mostrar uns exemples d'estructures existents a l'actualitat, on els mètodes de disseny i càlcul han estat sempre molt personals o tradicionals, però sense un suport teòric que els fes equiparables als mètodes de càlcul utilitzats en altres tipus d'estructures normals a la construcció i enginyeria.

Suposem també, que a partir d'aquests exemples se'n trobaran d'altres que, pel fet de basar-se en idees de concepte molt similars, podran servir-se dels programes, opinions i criteris de càlcul i disseny escampats al llarg i ample d'aquest treball.

És per això que volem fer notar amb molta claredat, que les aplicacions que trobarem en aquest Capítol mai no volen ser un model normatiu de disseny i càlcul, ans un exemple de possibilitat d'aplicació.

I és així, perquè considerem aquesta Tesi com a una eina i no com a una norma.

La feina de dissenyar i calcular correspon sempre al tècnic: les responsabilitats són sempre seves. Tanmateix tothom veu clar que el poder gaudir de medis (ordinadors, calculadores, taules numèriques, manuals, etc.), Normatives, i fins i tot consells, és un fet que sempre és d'agrair.

Aclarits aquests conceptes, passem a exposar els següents exemples d'utilització:

- a) Estructura pneumàtica.
- b) Estructura tensada.
- c) Telefèric.

## 9.2 ESTRUCTURA PNEUMÀTICA

L'estudi de les estructures pneumàtiques o inflables ha estat una de les raons primordials que van engegar aquesta Tesi. És, doncs, causa obligada comentar un exemple real de disseny i càlcul d'una estructura pneumàtica a través del contingut teòric exposat als Capítols anteriors.

També, tal com ja es va aclarir als Capítols VII i VIII, evitarem d'entrar en qüestions tals com seria el considerar un inflable de membrana exempta, ja que això comportaria tota una filosofia de discretització d'una superfície contínua en uns cables concrets, cosa que queda completament al marge d'aquesta Tesi.

Així doncs, el nostre exemple se centrarà en el disseny i càlcul d'una estructura en Malla Hiperelàstica de cables, a la qual s'adossarà interiorment una lona hermètica, formant d'aquesta manera l'embolcall d'un espai sobrepressionitzat.

### 9.2.1 Paràmetres generals.

Es tracta de dissenyar una estructura pneumàtica tal que en planta ocupi una superfície el·líptica de diàmetres 24 m. x 16 m.

L'alçada del punt central serà aproximadament la meitat del diàmetre més curt, és a dir: 8 metres.

Els vents que actuen a la zona són de 100 km/h a 125 km/h, quant a màxima es refereix.

La neu arriba a produir una càrrega màxima de 40 kp/m<sup>2</sup>.

### 9.2.2 Malla Unitària.

La primera fase del treball consistirà a trobar quina és la forma real de tot l'embolcall del volum tancat i sotmès a sobrepressió.

Així, a partir del centre de l'el.lipse (projecció en planta de l'inflable), projectarem una quadrícula, de manera que juntament amb el perímetre d'aquesta el.lipse formi una Malla Unitària. Prendrem com a unitat de longitud entre eixos: 2 metres.

A la pàgina següent, figura 9.1, tenim grafiada aquesta Malla Unitària. D'acord amb l'apartat 8.5 del Capítol anterior numerem les barres (cables) i els nusos d'aquesta Malla.

( Volem fer notar que no s'ha seguit el criteri assenyalat a l'apartat "8.5.1.a". Això ha estat així, per tal de comprovar la capacitat i rapidesa de l'ordinador que hem utilitzat, però constatem que això és una excepció que no s'ha de repetir.)

### 9.2.3 Forma real.

Una vegada definida la Malla Unitària, el pas següent és trobar la forma de la superfície real exterior de l'inflable construït.

El procés que seguirem serà aquest:

- 1) Donarem una pressió determinada a la part inferior de la Malla Unitària, fixant el perímetre a terra, de tal manera que a l'inflar-se la Malla el punt central (nus 51) adquireixi una determinada alçada "h1". Fig. 9.2

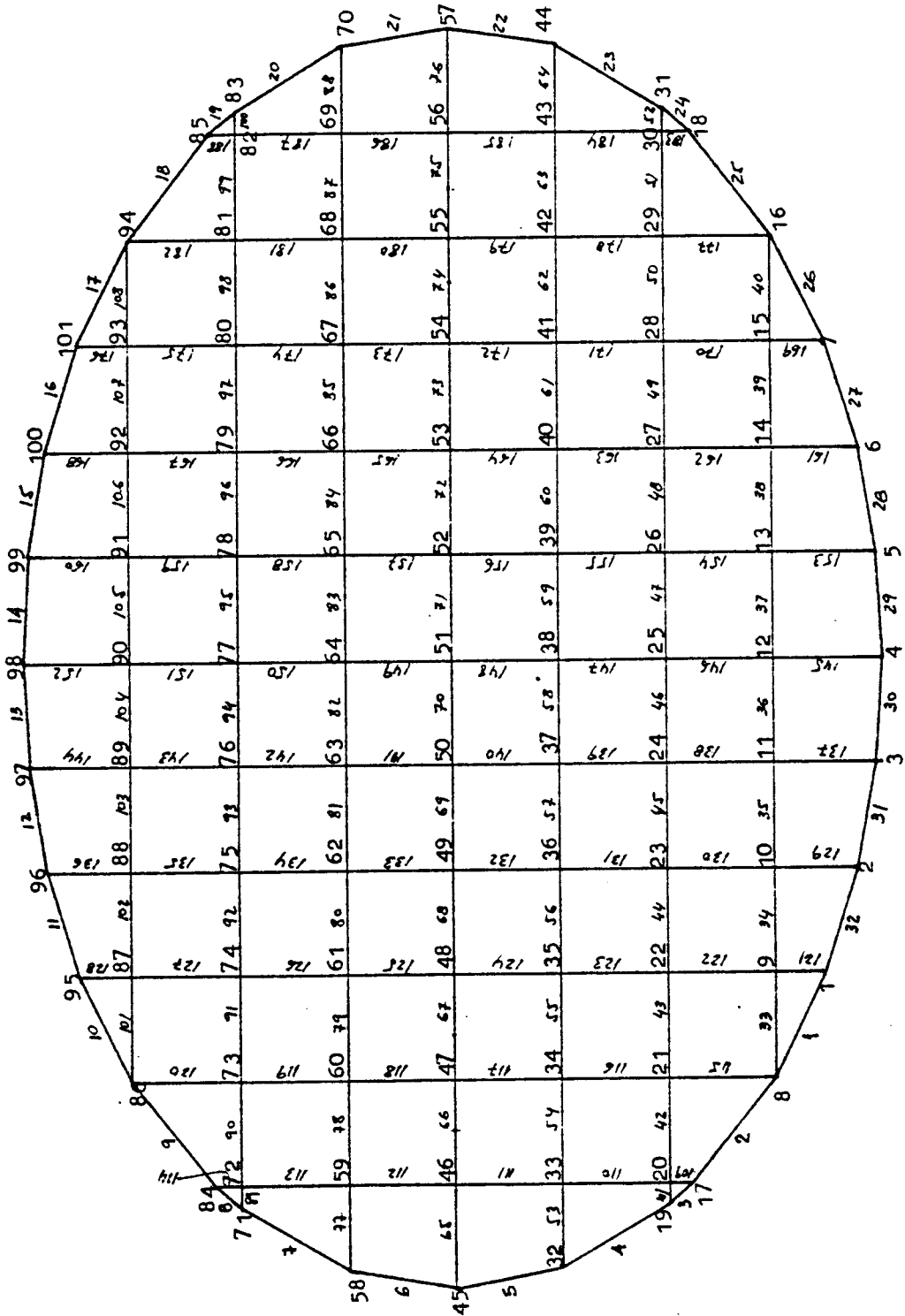


Figura 9.1

4) Si "h3" és igual a 8 metres, vol dir que ja hem obtingut la forma que buscàvem. Si no ho és repetirem els passos 3) i 4) fins trobar una pressió "Pi" que produeixi una "hi" igual a 8 metres.

Així en el nostre cas concret, s'ha seguit el següent procés de recerca de la forma real:

Prova nº.	Pressió	"h"
1	30	7.32
2	40	9.01
3	34.023669	7.962
4	34.240368	7.997
5	34.26	8.0005

El mateix programa TEP32, si així se li ha indicat mitjançant el comandament adequat, crea un arxiu de dades on es troben les noves coordenades de tots els nusos, després d'haver trobat la forma real, així com totes les dades relatives als cables. D'aquesta manera ens estalviem l'enutjosa tasca de tornar a entrar les dades de la Malla Hiperelàstica.

Més endavant s'adjunta la part més important de la sortida d'ordinador corresponent a aquesta cinquena prova, amb la pressió 34.26 que ens ha donat l'alçada "h" igual als 8 metres. Concretament, aquestes sortides d'ordinador les trobarem a l'Anex d'aquest Capítol IX.

#### 9.2.4 Materialització de la forma.

Una vegada obtinguda la forma real de l'inflable, (la planta i alçats del qual es troben a les pàgines que segueixen, figures 9.5, 9.6 i 9.7), a través del procés explicat anteriorment, passarem a calcular el comportament tensional d'aquesta estructura.

En primer lloc concretarem els materials que la formen. La Malla Hiperelàstica es realitzarà a base de cables d'acer. La superfície adossada, que farà hermètic el volum tancat i sobrepressionitzat, serà de lona amb teixit plàstic d'alta tenacitat. Cal fer, però, un pre-dimensionat d'aquests elements.

Sabem que la tensió per unitat de longitud d'una superfície cilíndrica sotmesa a pressió uniforme és:

$$T = p \cdot r$$

sent "p" la pressió i "r" el radi de curvatura de l'esmentada superfície.

Atès que els cables de la Malla es troben separats una distància al voltant de 3 metres, (recordem, tanmateix, que la quadrícula de la Malla Unitària plana no deformada era de 2 metres), tindrem que la tensió aproximada d'un cable serà:

$$T = 3 \cdot p \cdot r$$

Si suposem que les pressions internes màximes seran de l'ordre de 60 kp/m<sup>2</sup>, tenim que:

$$T = 60 \text{ kp/m}^2 \cdot 8 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} = 1440 \text{ kp}$$

Figura 9.5 : Alçat longitudinal

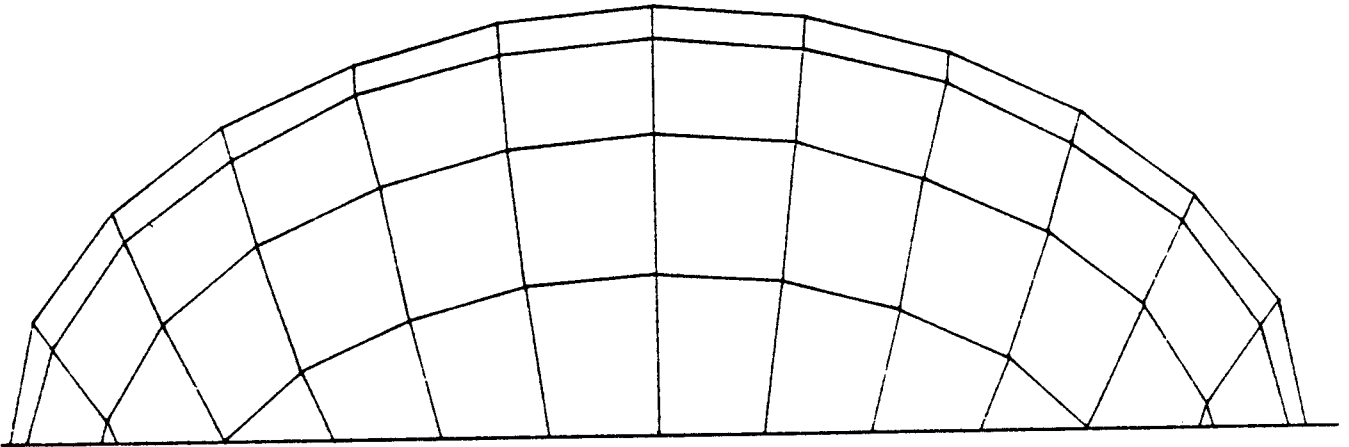


Figura 9.6 : Planta

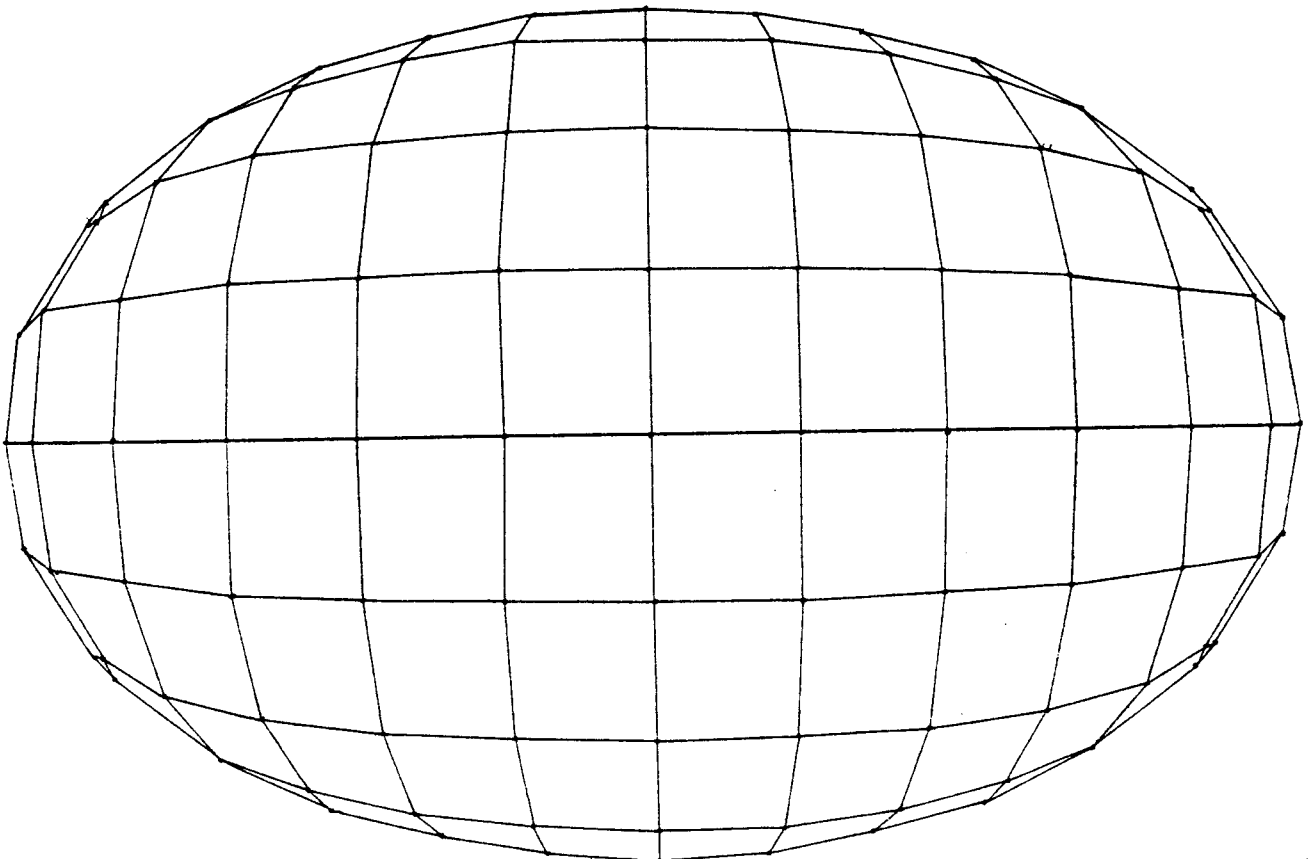
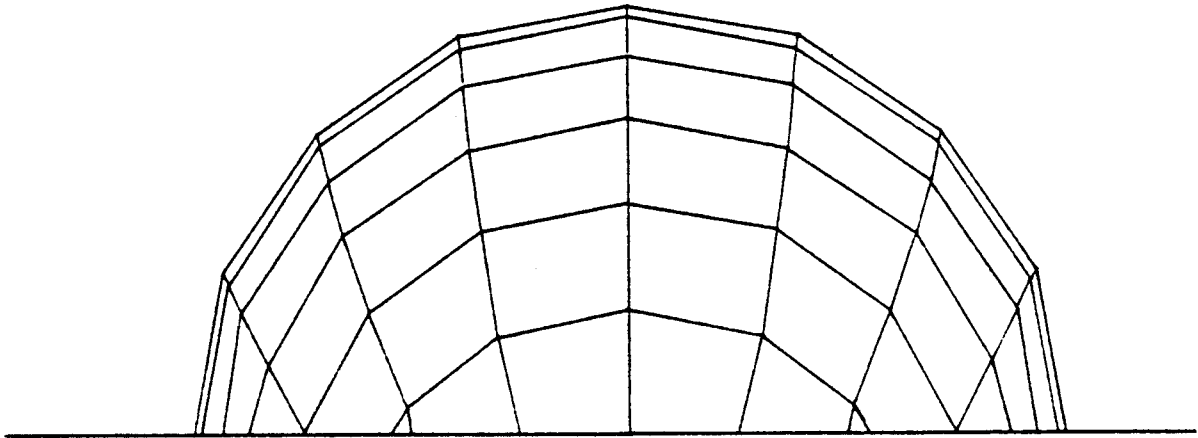




Figura 9.7 : Alçat transversal



En funció d'aquest valor i dels coeficients de seguretat normals en aquests casos, escollim un cable tipus amb les següents característiques:

diàmetre	5 mm
secció	19.63 mm <sup>2</sup>
pes	154 g/m

Quant a la lona, donat que només treballarà en uns requadres d'aproximadament 3 x 3 m<sup>2</sup>, podem suposar que la seva densitat serà petita, ja que la resistència que ha d'oferir serà també petita. Escollim, doncs, una lona amb un pes aproximat a 1 kp/m<sup>2</sup>.

Amb totes aquestes dades podem ja calcular l'estat d'equilibri de l'estructura pneumàtica, en una situació en repòs, que suposarem establerta en una pressió interna de 30 kp/m<sup>2</sup>.

A través del programa TEP32, obtenim la forma exacta final de l'inflable sotmès a aquesta pressió, així com les tensions de cada un dels cables i les reaccions als ancoratges d'aquests cables.

Els resultats numèrics d'aquest càlcul els trobarem a l'anex d'aquest mateix Capítol.

Allí podrem veure com el punt central (51) s'ha elevat una mica: ha passat a ocupar una cota "z" de 8.010 metres. Podem observar també un eixamplament transversal de l'estructura pneumàtica mitjançant els desplaçaments "y" de la majoria dels nusos. No obstant, l'observació més important ve a ser aquella que ens determina quines són les tensions pròpies dels cables. Veiem, així, com el cable més tensat és el 148 ( també el seu simètric 149) amb una tracció de 507 kp. El fet que no existeixi cap cable sotmès a compressió significa que no existirà cap arruga a la superfície de lona adossada a la Malla Hiperelàstica formada pels cables.

#### 9.2.5 Càrrega de neu.

Suposem que l'estructura acabada de determinar es veu sotmesa a una càrrega de neu de 40 kp/m<sup>2</sup>.

És totalment previsible que l'estructura sofrixi una gran i excessiva deformació sota aquest tipus de càrrega, ja que la pressió interior de 30 kp/m<sup>2</sup> no pot, a la part superior, suportar el pes de la neu.

A més a més, a mesura que es vagi deformant l'inflable, cada vegada existirà més neu sobre l'estructura puix que en aixafar-se, augmenta la projecció horitzon-

tal de la superfície, i per tant el pes total de la neu.  
fig. 9.8

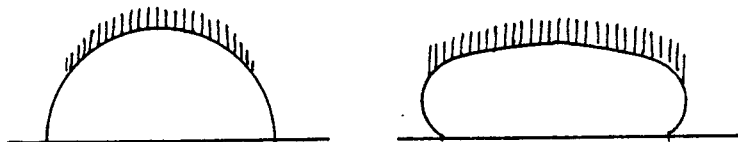


Fig. 9.8

Al final, s'arribaria al col.lapse total de l'es-  
tructura. Efectivament, així ho podem constatar passant  
aquestes condicions de càrrega a través del programa  
TEP32. La sortida d'ordinador d'aquesta passada la tro-  
bem també a l'anex d'aquest Capítol.

Quina serà, doncs, la manera d'actuar per tal  
d'evitar aquest col.lapse ?

L'augment de resistència o rigidesa en una estruc-  
tura pneumàtica sempre se sol aconseguir de la mateixa ma-  
nera: augmentant la sobrepressió interior. Així ho hem  
fet, i hem tornat a passar l'estructura per l'ordinador.  
Les dades han estat: neu 40 kp/m<sup>2</sup>; pressió interior aug-  
mentada fins a 60 kp/m<sup>2</sup>.

Els resultats són completament diferents. Dels  
valors numèrics donats per l'ordinador, (resultats que  
trobarem a l'anex d'aquest Capítol), podem deduir les  
següents conseqüències:

- a) L'inflable es deforma bastant, de tal manera  
que el punt central (51) sofreix un descens  
de 1,439 metres. (Figura 9.9 ; 9.10)
- b) Hi ha molts cables que no treballen, ja que,  
de fer-ho, estarien comprimits i això no és  
compatible amb les característiques pròpies

dels cables. Naturalment això comportaria una sèrie d'arrugues a la lona adossada, arrugues que es distribuirien perpendicularment als esmentats cables, tal com succeeix amb les fissures al formigó armat resoecte de les isostàtiques de tracció. (Fig. 9.9;9.10)

- c) Els cables més tensats passen a ser els 36, 37, 104 i 105, (són simètrics entre ells), amb una tracció de 1443 kp, quantitat que es tradueix en una tensió de 7350 kp/cm<sup>2</sup>, valor que està dins dels límits de la rotura amb un coeficient de seguretat igual a

$$c = \frac{18000,}{7350,} = 2,45$$

(Suposem que l'acer del cable és del tipus 180 kp/mm<sup>2</sup>)

Aquest valor del coeficient de seguretat, si bé és una mica petit, podem considerar-lo suficient per a un tipus de càrrega eventual com és la neu.

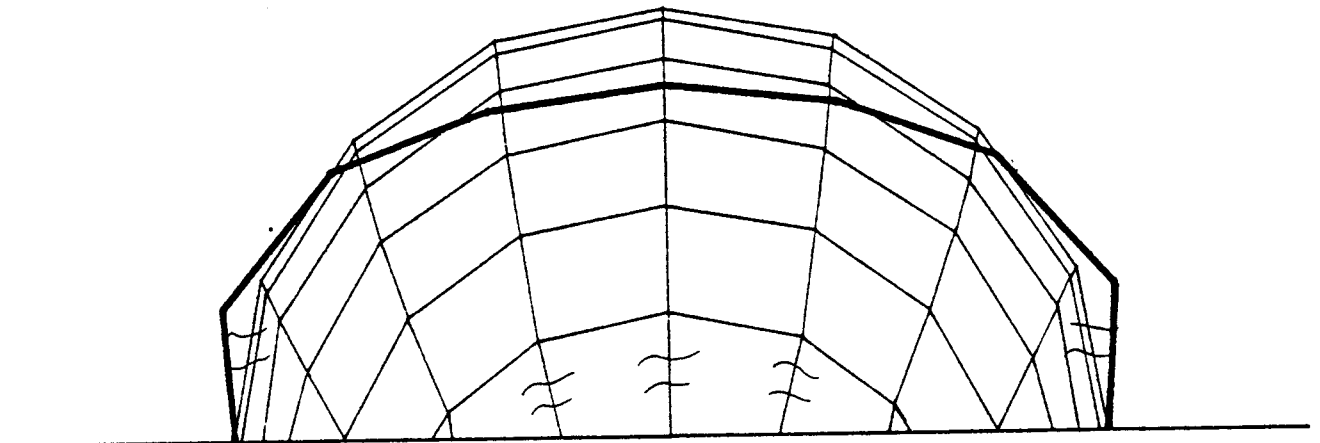
#### 9.2.6 Vent.

A continuació anem a veure quin és el comportament de l'estructura pneumàtica sota els efectes del vent. En primer lloc considerarem el vent bufant en direcció transversal a l'inflable: direcció eix "Y", amb una velocitat de 120 km/h. Aquesta hipòtesi, de fet, és la més desfavorable, quant a direcció es refereix.

———— Perfil de la deformada.

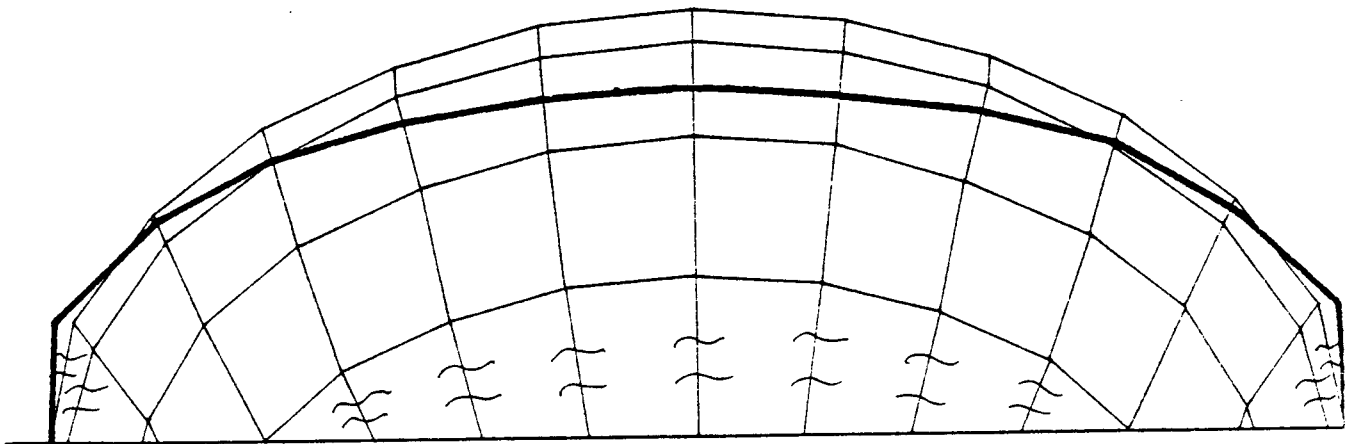
≈ Arrugues.

Figura 9.9 Alçat transversal.



DEFORMACIÓ DEGUDA A LA NEU

Figura 9.10 Alçat longitudinal.



La pressió interna la mantindrem en els 60 kp/m<sup>2</sup>. De la sortida d'ordinador, (anex a aquest Capítol), podem constatar les següents conseqüències:

- a) L'inflable es deforma lleugerament en la direcció del vent. Deformació màxima al nus 12 en la direcció "Y" : 0,752 metres.
- b) Només hi ha dues barres (114 i 188) que no treballen ja que, de fer-ho, estarien comprimides. (Són, també, les barres més curtes). Això vol dir que les arrugues que es presentaran seran mínimes i molt localitzades en una determinada zona, quasi tocant a terra.
- c) Els cables més tensats seran els 70 i 71 amb una tracció total de 2420, kp, valor que es tradueix en una tensió de 12345, kp/cm<sup>2</sup>. El coeficient de seguretat del cable, ara, serà:

$$c = \frac{18000,}{12345,} = 1,46$$

Aquest coeficient de seguretat comença ja a ser inacceptable. Ens veuríem, per tant, obligats a augmentar la secció d'alguns cables. Aquesta tasca, a partir de la sortida d'ordinador, és immediata

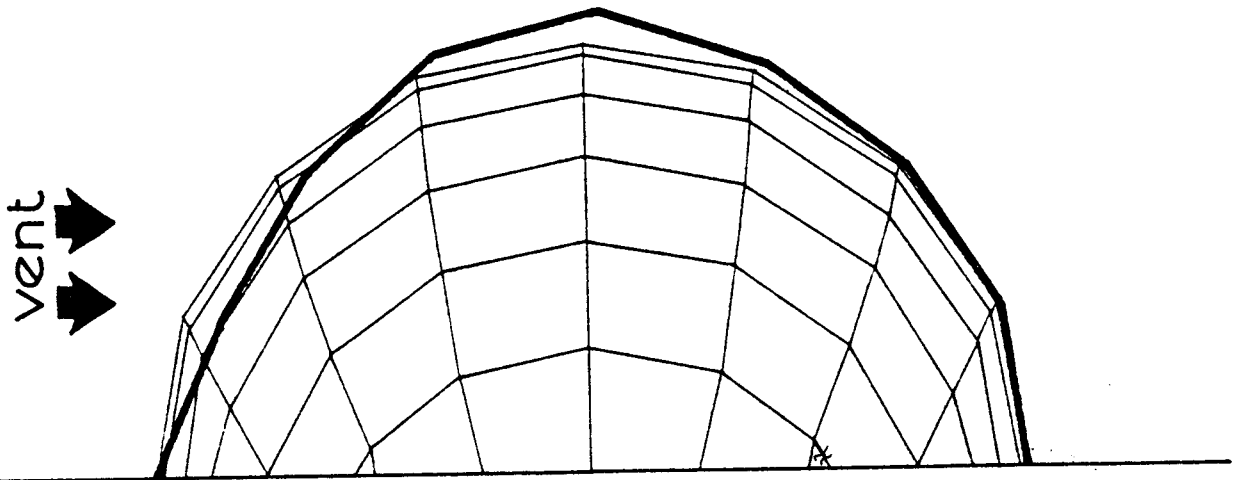
A les figures 9.11 i 9.12 de la pàgina següent trobem grafiades les deformades degudes al vent.

Ara bé, si el vent no bufés en la direcció "Y", l'estructura es comportaria més rigidament, però la seva deformació ja no seria simètrica com ho era fins ara.

— Perfil de la deformada.

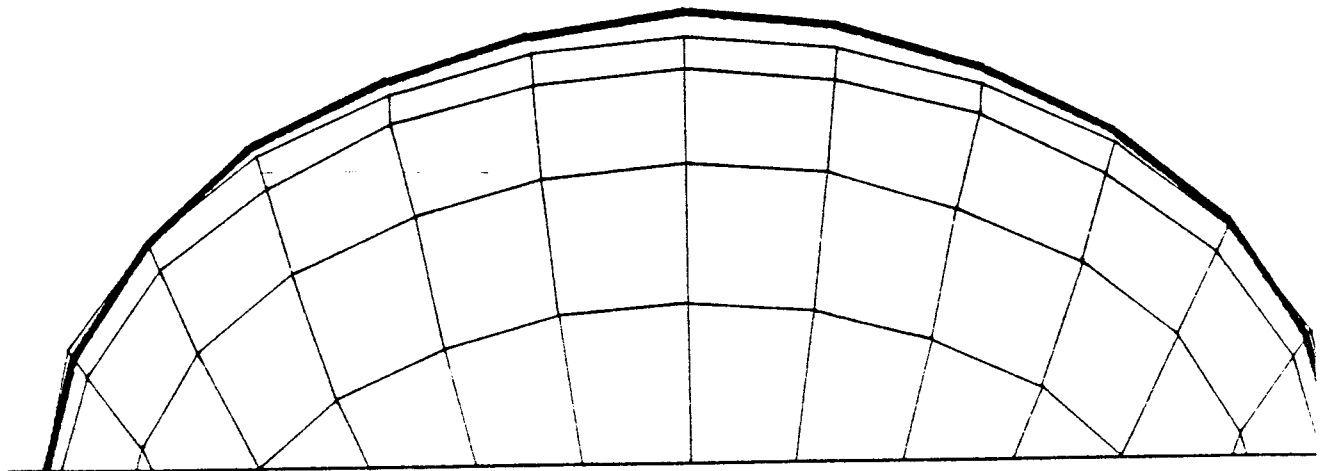
≈ Arrugues.

Figura 9.11 : Alçat transversal.



DEFORMACIÓ DEGUDA AL VENT

Figura 9.12 : Alçat longitudinal.



És per això que, només a tall d'exemple, hem provat un cas concret amb les següents dades:

Component del vent de direcció "X" = 40 km/h

Component del vent de direcció "Y" = 120 km/h

Pressió interna = 60 kp/m<sup>2</sup>

De la corresponent sortida d'ordinador, (anex a aquest Capítol), fem les següents constatacions:

- a) L'inflable es deforma pràcticament com a l'exemple anterior.
- b) Només els cables 114 i 188 deixen de treballar, -no poden suportar compressions- i per tant les arrugues que poden aparèixer són mínimes.
- c) La tensió màxima dels cables es produeix al cable 69 amb una tracció de 2499 kp, que representen una tensió de 12726, kp/cm<sup>2</sup>.

#### 9.2.7 Conclusions.

Seguint els mètodes emprats als apartats anteriors és realment molt senzill estudiar completament el comportament tensional i de deformació de qualsevol estructura pneumàtica, així com el seu disseny.

Recordem, tanmateix, que això ha estat només un exemple molt concret, i que mai ha pretès ser una norma de disseny i càlcul, puix que aquesta és la tasca pròpia del tècnic a cada moment.



### 9.3 ESTRUCTURA TENSADA

A continuació desenvolupem un exemple de disseny i càlcul d'una estructura de cables tensada. Veurem com, a través de diverses utilitzacions del programa TEP32, arribarem a trobar la forma, tensions i deformacions de l'esmentada estructura sota diversos estats de càrrega.

#### 9.3.1 Paràmetres generals.

Es tracta de dissenyar una estructura de cables tensada sobre dues astes de diferent alçada i connectada a terra per vuit punts perimètrics.

L'altura dels punts superiors, vèrtexs on van a parar les dues astes, serà de 6 i 4 metres respectivament. La longitud de l'estructura serà de 18 metres, mentre que l'amplada variarà des dels 12 metres vora el punt elevat més alt fins a 8 metres vora el punt elevat més baix. És a dir, quedarà una Estructura Tensada amb una forma tal com la que s'assenyala a les figures 9.13 i 9.14 de la pàgina següent.

El vent bufarà en direcció longitudinal amb una velocitat de 120 km/h, en el sentit marcat des del punt elevat més baix cap al punt elevat més alt.

La neu arribarà a produir una càrrega màxima de 40 kp/m<sup>2</sup> en projecció horitzontal de coberta.

De fet, aquestes dues accions, més el pes propi i els esforços de pretensat, seran les úniques càrregues que haurà de suportar l'estructura, ja que no s'hi preveu cap altre tipus de càrrega puntual.

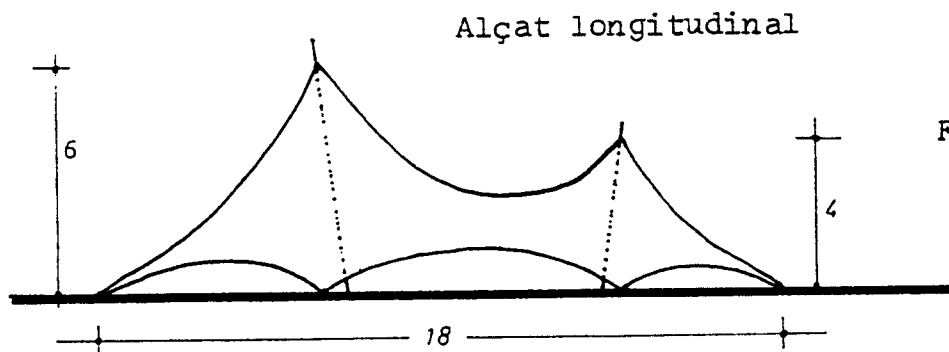
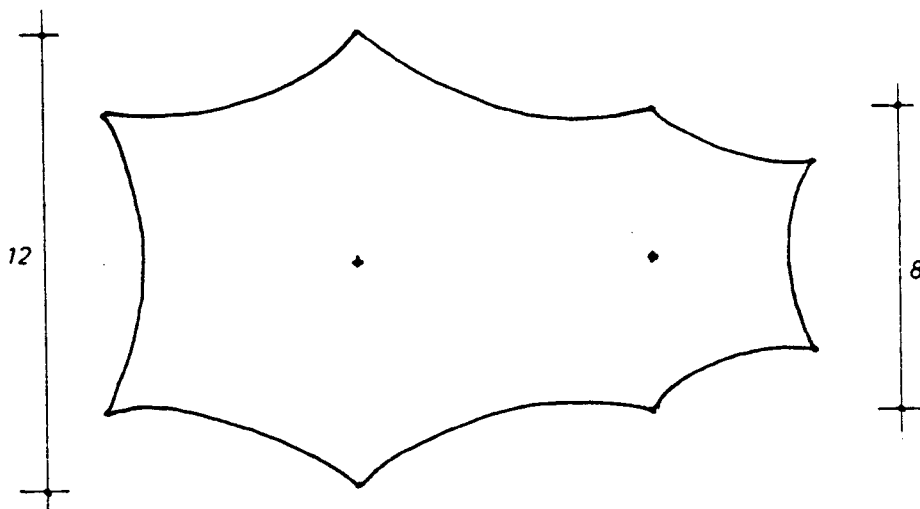


Fig. 9.13



Planta.

Fig. 9.14

9.3.2 Malla Unitària.

La primera fase del disseny consistirà a trobar quina és la forma real, sense càrregues exteriors, de la xarxa de cables que forma l'Estructura Tensada.

Així, a partir dels 8 punts fixos perimètrics, formarem un octògon irregular que serà el perímetre d'una Malla Unitària que dibuixarem al seu interior, de tal manera que els dos punts elevats coincideixin amb dos nusos d'aquesta Malla Unitària. Prendrem com a unitat de longitud, entre eixos de la quadrícula, 1 metre.

A la pàgina següent, figures 9.15 i 9.16, trobem grafiada aquesta Malla Unitària. Atès que tant la forma com les càrregues que hi actuaran sobre ella són simètriques, podem estudiar només la meitat d'aquesta Malla, és a dir: la meitat de l'estructura. Caldrà, només, parar compte amb les barres i càrregues contingudes dins el Pla de simetria, tot sabent que el seu valor haurà de ser la meitat del real.

La numeració dels nusos i de les barres s'ha fet totalment d'acord amb allò establert a l'apartat 8.5 del Capítol anterior.

Val també la pena assenyalar com el nus 103 s'aparta una mica de la quadrícula generada per la Malla Unitària. Aquest fet que ja es veu és perfectament intrascendent, ve originat pel fet d'evitar unes barres que resultarien massa curtes.

### 9.3.3 Forma real.

Una vegada definida la Malla Unitària, el pas següent serà trobar la forma de la superfície real exterior de l'estructura tensada.

El procés que seguirem serà el següent:

- 1) Elevarem els nusos 38 i 90 fins la seva posició definitiva, és a dir, 8 i 6 metres respectivament. Així obtindrem una estructura tensada que tindrà una forma semblant a la desitjada. (Figures 9.13 i 9.14). Tanmateix és molt possible que la forma no sigui la que realment es vol aconseguir, és a dir, que sigui massa brusca (figura 9.16)

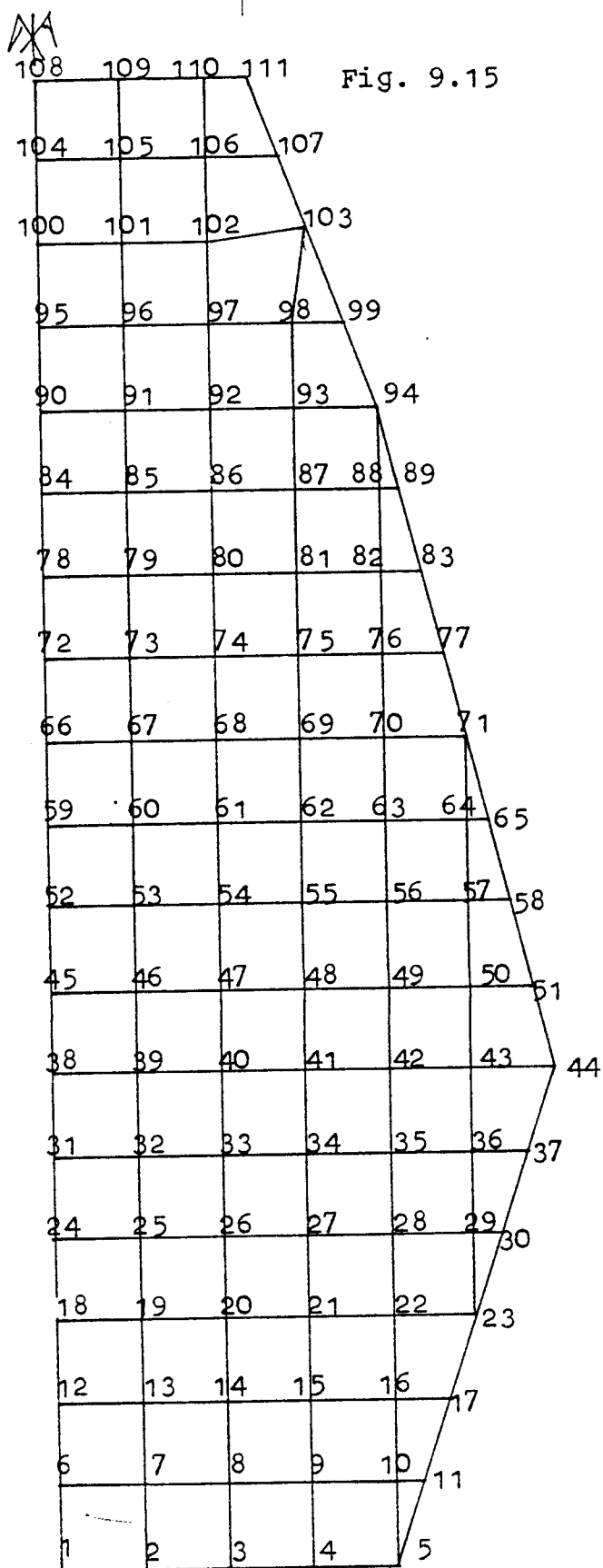


Fig. 9.15



Numeració dels NUSOS

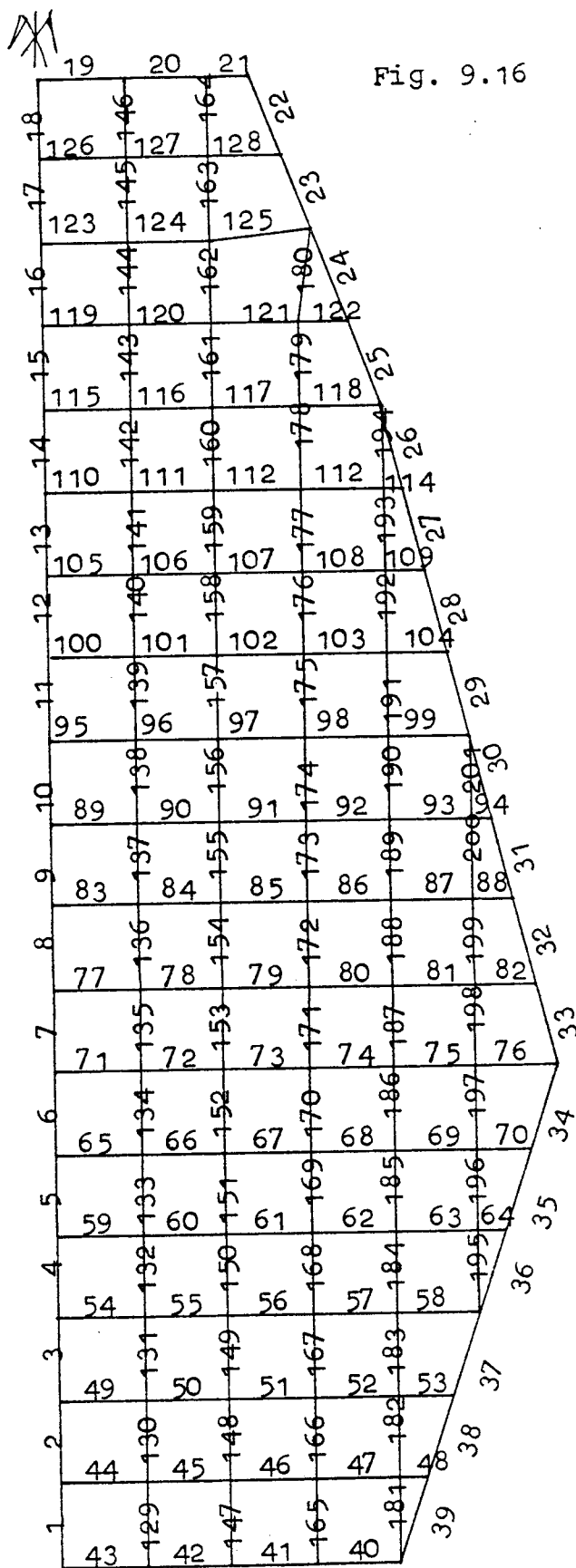


Fig. 9.16



Numeració de les BARRES

o massa suau (figura 9.17).

Figura 9.16

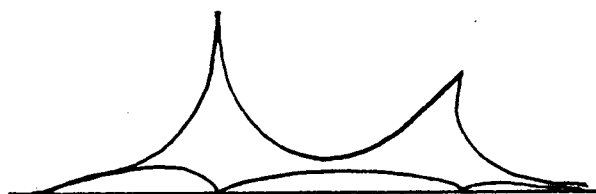
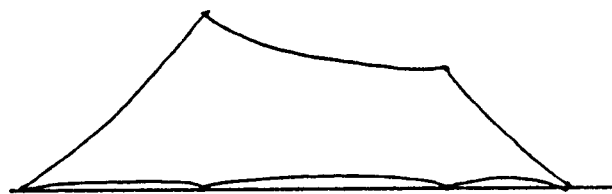


Figura 9.17



- 2) Si l'estructura és massa brusca, distensarem tots els cables, és a dir, donarem més longitud per tal que quedin més flonjos. Això ho aconseguirem mitjançant una dilatació positiva. (Fitxa de control corresponent, Apartat 8.8, posicions 31-40, segona fitxa)
- 3) Si l'estructura és massa suau, tensarem tots els cables, és a dir, els escurçarem per tal que quedin més tibants. Això ho aconseguirem mitjançant una dilatació negativa a la fitxa de control corresponent. (Com abans).
- 4) Els passos 2) i 3) es repetiran tantes vegades com calgui fins trobar la forma que més ens plagui. És evident que si vulguéssim fer una actuació puntual sobre la longitud o secció d'un o de diversos cables en concret, podríem fer-ho tranquil·lament mitjançant el canvi adequat a l'entrada de dades de l'estructura. Amb això obtindríem formes

no contínues, quant a la seva curvatura es refereix.

Així en el nostre cas concret, s'ha seguit el següent procés de recerca de la forma real:

a) A través del pas 1) hem obtingut una forma bastant pròxima a la desitjada, però una mica massa suau.

b) A la forma trobada anteriorment li hem aplicat una dilatació del -10%. La forma que hem obtingut llavors era encara una mica massa suau.

c) Hem aplicat a aquesta segona forma resultant una altra dilatació del -10%. La forma que obtenim en aquest cas és pràcticament la que volíem i per tant la donem per bona.

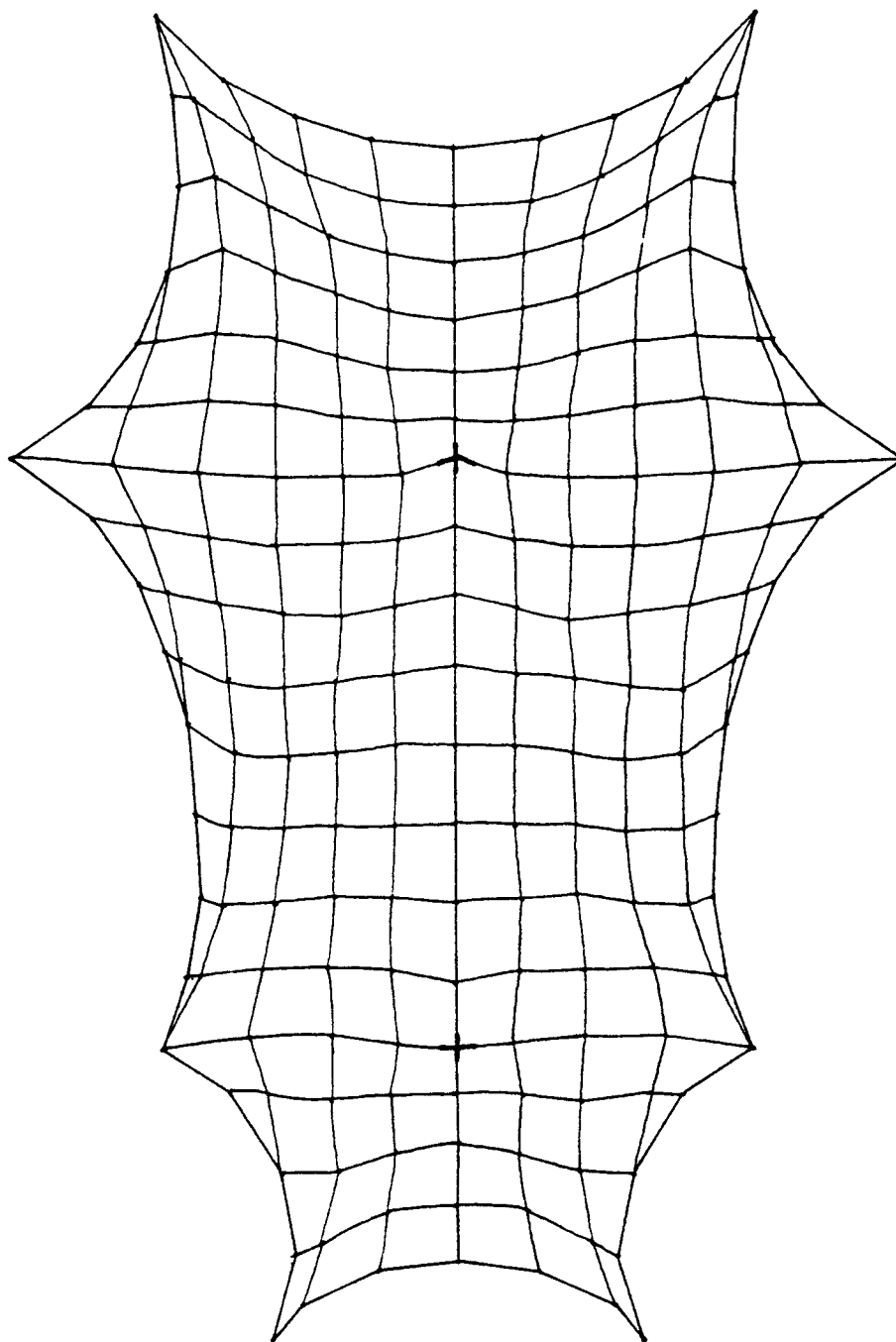
Aquesta forma ve grafiada en planta i perfils en alçat a les figures 9.18 , 9.19 i 9.20. Així mateix, la sortida d'ordinador que ens dona aquesta forma es troba recollida a l'anex d'aquest Capítol IX.

#### 9.3.4 Materialització de la forma.

Una vegada obtinguda la forma real del Tensat, passarem a calcular el comportament tensional d'aquesta estructura.

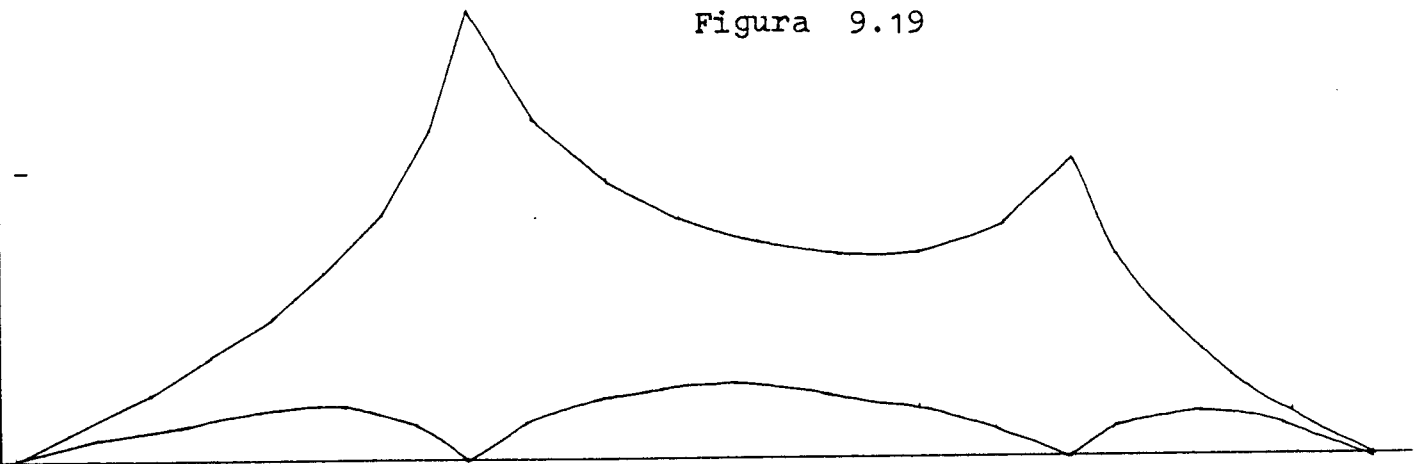
En primer lloc caldrà concretar els materials que la formen. La Malla Hiperelàstica Tensada es realitzarà a base de cables d'acer. La superfície adossada, que protegeix de la pluja i neu l'espai tapat o cobert serà de plaques de metacrilat triangulars, unides entre si per

Figura 9.18



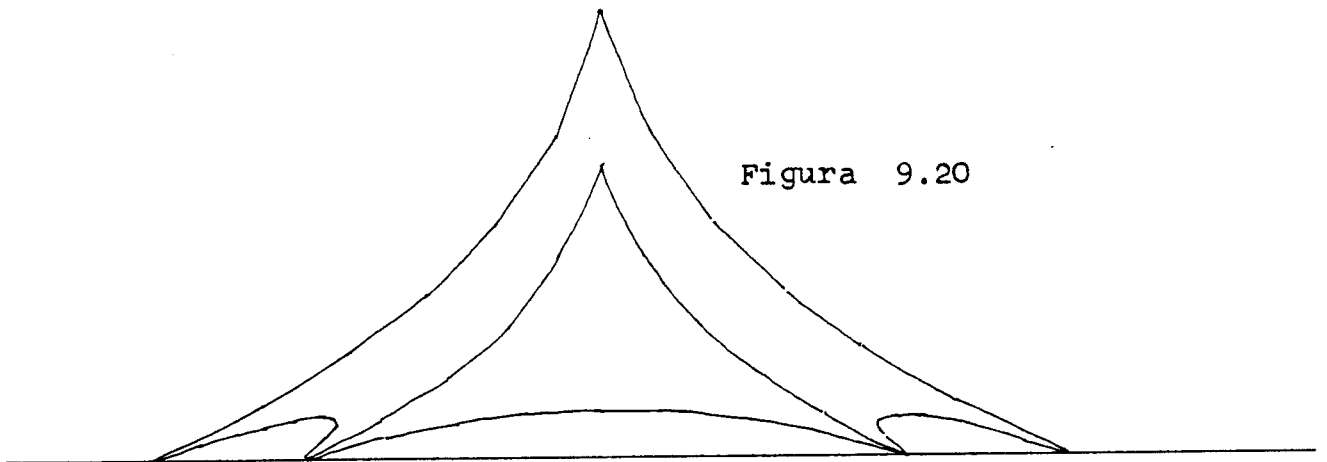
Planta de l'estructura tensada.

Figura 9.19



Alçat longitudinal

Figura 9.20



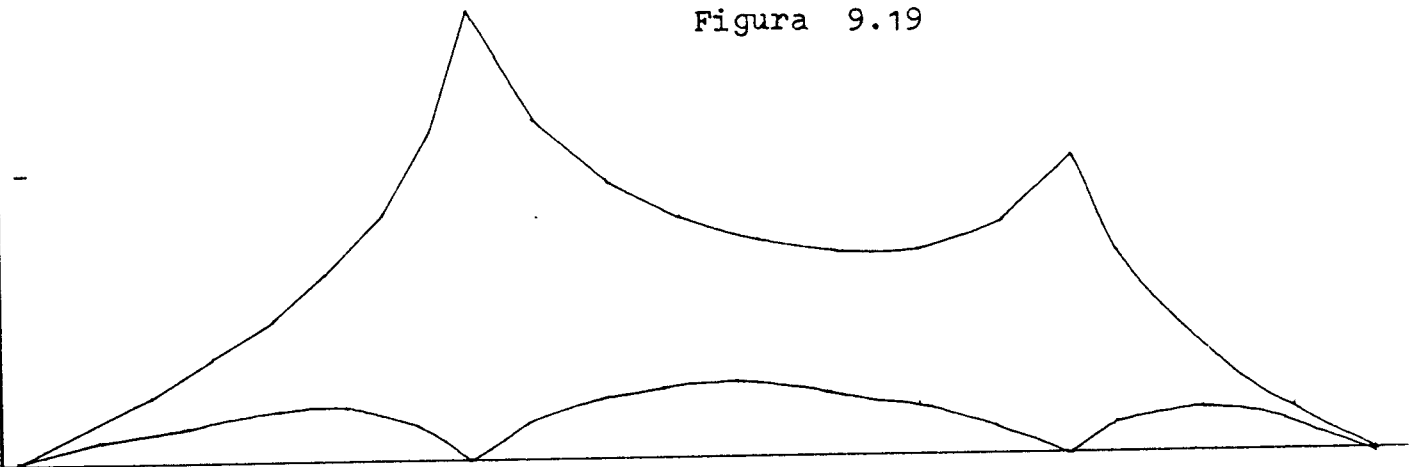
Alçat frontal

bandes de material a base de silicona o neoprè que garanteixin l'estanquitat, a pesar dels petits moviments que s'hi puguin produir.

En el predimensionat considerarem com a càrrega més important el vent. Així, un vent de 100 km/h produirà al punt més crític una succió de  $69,4 \times 1,4 = 100$  kp/m<sup>2</sup>. Atès que en aquest punt de màxima succió el radi de curvatura de la superfície (Fig. 9.20) és de l'ordre

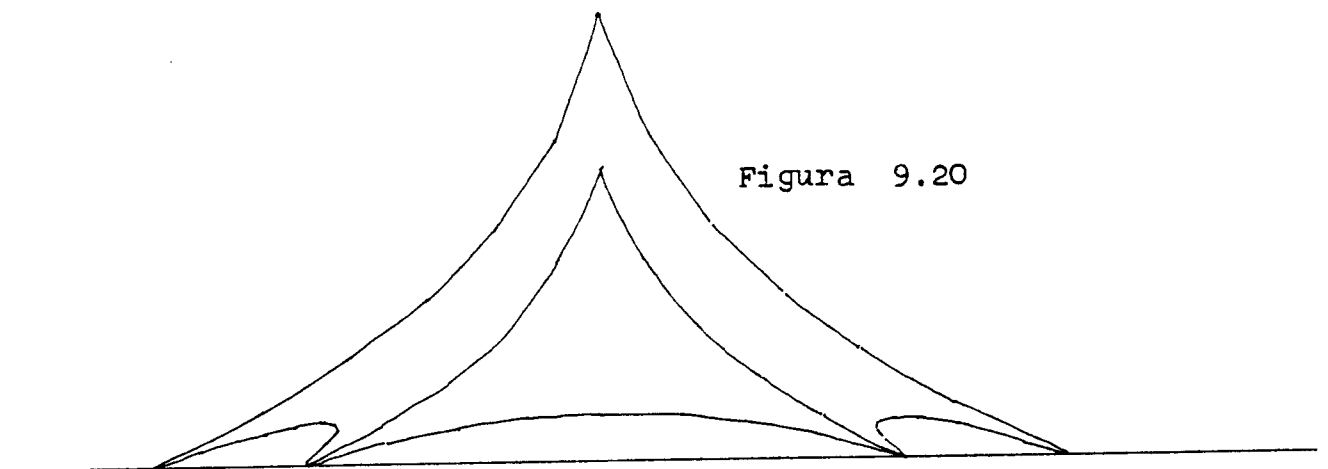


Figura 9.19



Alçat longitudinal

Figura 9.20



Alçat frontal

bandes de material a base de silicona o neoprè que garan-  
titzin l'estanquitat, a pesar dels petits moviments que  
s'hi puguin produir.

En el predimensionat considerarem com a càrrega  
més important el vent. Així, un vent de 100 km/h produ-  
irà al punt més crític una succió de  $69,4 \times 1,4 = 100$   
kp/m<sup>2</sup>. Atès que en aquest punt de màxima succió el radi  
de curvatura de la superfície (Fig. 9.20) és de l'ordre

de 4 metres, la tensió màxima serà de  $p \cdot r = 400 \text{ kp/m}$ . Atès que la malla estudiada ateny una separació mitja entre cables, en aquell punt, de 1,5 metres, la tensió d'aquests cables, deguda al vent, serà de l'ordre de  $1,5 \times 400 = 600 \text{ kp}$ .

Així doncs, fem un predimensionat a base de cables de  $\varnothing 5 \text{ mm}$ , secció  $19,63 \text{ mm}^2$ , pes  $154 \text{ g/m}$ , tensió de rotura de  $180 \text{ kp/mm}^2$ .

Els cables perimetrals, tanmateix, hauran de ser més gruixuts, ja que és a través d'ells que podem pretensar l'estructura, i a més a més, el seu radi de curvatura és més gran. D'una manera ràpida prendrem cables amb una secció de  $100 \text{ mm}^2$ .

Quant a les plaques de metacrilat només cal definir el seu pes:  $5 \text{ kp/m}^2$ , i exigir un resistència al pes de la neu i a la pressió-succió del vent, sobretot en les seves connexions a la xarxa de cables.

### 9.3.5 Estats de càrrega.

En aquest tipus d'estructura les deformacions no seran, ni molt menys, tan significatives com en el cas anterior de l'inflable. Precisament per tal d'evitar aquestes possibles deformacions tot impedit que els cables treballin a compressió, se sotmet l'estructura a un pretensat. La manera d'aconseguir aquest pretensat consistirà a formar la xarxa de cables de tal manera que la longitud inicial dels cables sigui més petita que la real dins la malla en repòs.

Si fem que aquest escurçament sigui d'un  $0,18 \%$

produirem una tensió sobre els cables de

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = 0,0018 \cdot 1000 \text{ T/cm}^2 = 18 \text{ kp/mm}^2$$

que no és altra cosa que el 10 % de la tensió de rotura del cable. El calcul posterior, segons les càrregues exteriors, ens dirà si és suficient o excessiu.

A partir, doncs, d'aquest pretensat que mantindrem fix, calculem l'estructura sotmesa a unes càrregues de neu de 50 kp/m<sup>2</sup> i un vent en direcció "Y" de 120 km/h.

De les respectives sortides d'ordinador, que trobarem recollides a l'anex del capítol IX, podem concretar els següents punts:

- 1) la deformació màxima es produeix al vèrtex 63 amb un valor real de 28,8 cm, sota l'acció de la neu.
- 2) sota la força del vent, la tensió màxima produïda sobre un cable és de 129,72 kp/mm<sup>2</sup> i se situa sobre el cable 181. Respecte de l'acció de la neu, en canvi, és el cable 7 amb una tensió de 131,13 kp/mm<sup>2</sup> el que es troba més esforçat.

En funció d'aquests resultats i de tots els altres que no hem comentat i que es troben a la sortida de l'ordinador, considerarem quins són els cables que cal reforçar, augmentar de diàmetre, variar de longitud o pretensat, etc, per tal d'aconseguir una estructura que s'adeqüi als nostres coeficients de seguretat i als límits constructius de deformacions.

Aquesta, però, seria la labor pròpia del dissenyador, i no tindria sentit afegir-la en aquesta Tesi.

El que volíem era mostrar un mètode de disseny i càlcul d'estructures de xarxa de cables tensada, i creiem que ja ho hem aconseguit.

#### 9.4 TELEFÈRIC

Com a darrera aplicació, estudiarem d'una manera molt ràpida el disseny i càlcul d'un telefèric. En aquest cas s'accentua encara més, si és possible, el desig de mostrar una eina de treball i no un mètode o norma a imitar, ja que els condicionants de càlcul d'un tipus d'estructura com és un telefèric s'escapa totalment de la pràctica constructiva pròpia d'un arquitecte, com és l'autor d'aquesta Tesi.

##### 9.4.1 Paràmetres generals.

Es tracta de dissenyar un telefèric d'un sol cable resistent, per a transport de passatgers. La cabina serà apta per a unes vint persones, per la qual cosa suposarem que tindrà un pes total de 2500 kp.

La trajectòria del telefèric (Fig. 9.21) salvarà una distància A - B de forma que efectuarà un recorregut horitzontal de 100 m. i un recorregut vertical de 200 m.

##### 9.4.2 Disseny.

Dividim el cable resistent en vint trams d'igual longitud que assimilarem a cables hiperelàstics. Aquest nombre de vint podria ser qualsevol que ens permeti d'as-

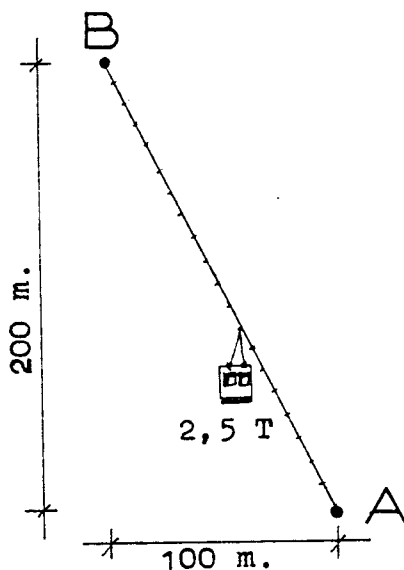


Fig. 9.21

similar amb precisió la corba real que prendrà el cable, amb una línia formada pels segments rectes contigus no alineats. (Fig. 9.21)

Feta aquesta assimilació, se'ns planteja tot seguit el problema de definir la longitud real del cable. Pensem que sota el seu propi pes, un cable que tingués la longitud de la distància real entre A i B, es deformaria formant una corba tipus catenària.

Tanmateix les tensions que s'hi produirien serien probablement excessives. Llavors, donant unes longituds superiors als cables aniríem obtenint tensions més petites.

Així, si dividim la distància  $\overline{AB} = 223$  m. en vint trams, obtenim que la longitud de cada un dels cables hiperelàstics seria de 11,15 m.

Partim d'un cable amb un pes propi de 4,48 kp/m. i amb la longitud abans assenyalada resulta una tensió del cable de 13,88 T.

Si augmentem la longitud del cable, de tal manera que cada un dels vint trams tingui una longitud de 11,6 m., ens resulta una tensió de 1,1 T, i encara si probem una longitud de cable hiperelàstic de 12 m. per tram obtenim una tensió màxima de 1,037 T.

Podem observar com a partir d'un cert punt la variació de tensió és insignificant comparada amb la variació de la longitud del cable.

Per tant, es veu que la longitud ideal del cable estarà prop dels 223 m. però una mica superior.

A partir d'aquest punt fem unes altres proves de la longitud del cable, però aquesta vegada penjant-hi la cabina en un punt bastant pròxim al punt A. Així per a unes longituds de 11,6 m., 11,3 m. i 11,2 m. obtenim unes tensions de 3,46 T, 4,6 T, i 6,16 T respectivament. D'acord amb aquests resultats escollim un cable tipus GUARDIN 6 x ( 7 x 7 + 0 ) + 1 de 40 mm.  $\varnothing$ , amb una tensió de rotura de 180 kp/mm<sup>2</sup> que representa una càrrega de rotura de 68,2 T. i amb una  $E = 1000 \text{ T/cm}^2$

#### 9.4.3 Càlcul de tensions i deformacions.

Escollit aquest cable, anem col·locant la cabina amb el seu pes de 2500 kp en cada un dels nusos que formen els vint cables hiperelàstics teòrics existents. Amb cada un d'aquests càlculs, l'ordinador dona l'estat tensional i la deformació de tot el conjunt.

A l'anex d'aquest capítol IX només s'adjunten un parell de sortides d'ordinador, ja que les altres són idèntiques de forma i no són significatives. Tanmateix a continuació exposem una taula amb els resultats de més inte-

rés de la meitat d'aquests càlculs.

Cabina situada sobre el nus	Coordenada		Tensió màxima (T)
	X (m.)	Y (m.)	
2	2,402	189,056	5,38
4	9,251	167,608	6,68
6	17,388	146,595	7,60
8	26,238	125,589	8,20
10	35,640	105,359	8,55
12	45,545	85,089	8,71
14	55,958	65,069	8,66
16	66,937	45,343	8,36
18	78,642	26,019	7,69
20	91,618	7,450	6,16

Observem com la tensió màxima del cable serà de 8,71 T quan la cabina es trobi sobre el punt 12. Per tant el coeficient de seguretat resultant seria de l'ordre de:

$$c = \frac{68,200}{8,71} = 7,83$$

A la figura 9.22 de la pàgina següent es mostra la trajectòria de la cabina a escala real.

A partir d'aquests resultats i de les sortides d'ordinador, amb totes les dades de tensió i deformació que s'hi reflexen, poden ser estudiats els angles de deformació del cable en cada punt de la trajectòria, així com l'augment o disminució del diàmetre del cable, el major o

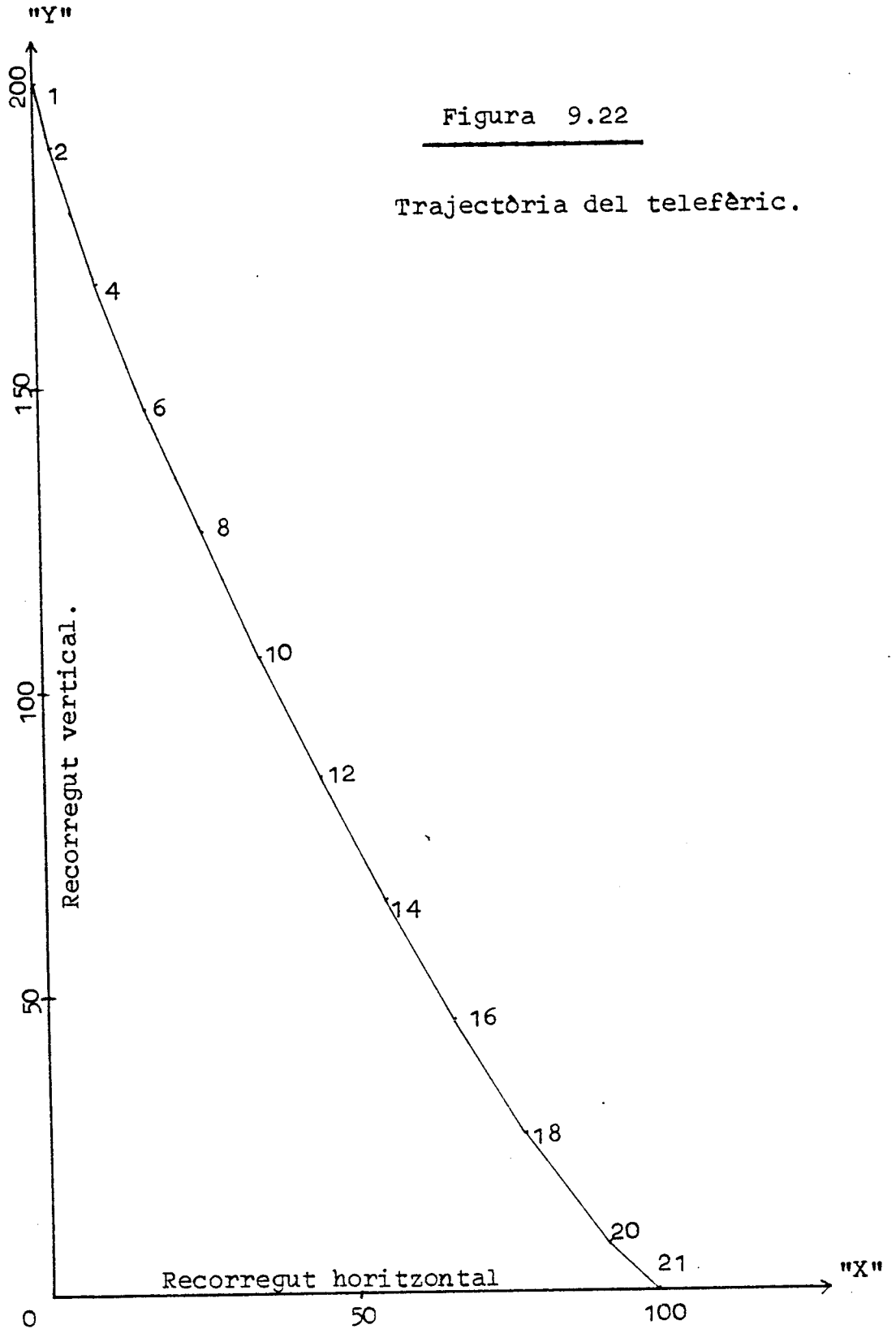


Figura 9.22

Trajectòria del telefèric.



menor pretensat, etc. etc.

Així mateix es podrien introduir els efectes del vent (forces horitzontals sobre la cabina i tot al llarg del cable) o de la neu (augment del pes de la cabina i del cable). Però, volem insistir, no és el nostre pensament arribar a un resultat exhaustiu, ans mostrar la utilització d'aquesta eina que és, o que vol ser, el programa TEP32.

N O T A :

=====

Degut a l'elevat nombre de pàgines que ocupen les sortides d'ordinador que formen l'anex a aquest Capítol IX, hem cregut més convenient de posar-les en un altre tom, formant part d'un conjunt integrat pel Sumari de la Tesi Doctoral, un recull del programa TEP32 en el seu estat actual (abril 1981) i aquest anex al Capítol IX.