CAPÍTOL VIII

M A L L A   U N I T À R I A

8.1 TIPOLOGIES DE MALLES HIPERELÀSTIQUES

D'acord amb la definició de Malla Hiperelàstica feta a l'apartat 7.4 del Capítol anterior, tenim que una superfície laminar determinada pot ser assimilada a infinitat de diferents Malles Hiperelàstiques.

Així, a l'exemple estudiat a l'apartat 7.6, hem assimilat aquella superfície a una Malla amb una trama ortogonal a cada una de les tres zones en que s'ha dividit la superfície.

Això es feia per tal d'adaptar-nos a la deformació previsible que havia de sofrir aquella Malla concreta, en aquell cas determinat. Ara bé, és clar que si volem desenvolupar una teoria general, hem de fer servir uns criteris que no se supeditin a un determinat mode d'actuar.

És així, que hom creu necessari treballar amb un tipus de malla que ens serveixi com a cas general, i al qual es puguin assimilar la majoria de superfícies laminars. D'aquí surt el concepte de Malla Unitària.

8.2 MALLA UNITÀRIA

En teoria, definiriem com una Malla Unitària a aquella malla hiperelàstica que es comporti de tal ma nera que pugui ser assimilable a una superfície laminar, plana i isòtropa (almenys en dues direccions ortogonals).

Dels diversos tipus que podríem escollir dins dels que complissin aquells requeriments, en triarem un que ve a ser el més senzill. Vet-lo aquí:

Una Malla Unitària serà aquella Malla Hiperelàstica que:

a. Tots els cables hiperelàstics que la formen són coplanaris.
b. Aquests cables formen una quadrícula ortogonal (excepció feta dels perimètrics que s'hauran d'adaptar a la forma exterior), l'intereix de la qual és la unitat.
c. La secció de cada cable és la unitat.
d. El material del qual estan formats tots els cables hiperelàstics que formen la Malla, és sempre el mateix i el seu mòdul d'elasticitat és la unitat.
e. La longitud dels cables és, òbviament, igual a la unitat (separació entre eixos), excepció feta de la zona perimètrica a la qual s'adaptarà.

La figura 8.1 de la pàgina següent mostra alguns tipus de malles unitàries.

8.3 TIPOLOGIA DE NUSOS EN UNA MALLA UNITÀRIA

En una malla unitària qualsevol només podrem trobar aquests tipus de nus:

a. NUS CENTRAL: És aquell nus que no es troba situat sobre el perímetre de la Malla Unitària. D'ell surten sempre quatre cables hiperelàstics ortogonals.

b. NUS PERIMÈTRIC: És aquell que es troba situat sobre el perímetre de la Malla. D'ell surten sempre dos cables perimètrics i un o dos cables interns pertanyents a la quadrícula ortogonal. Cal tenir molta cura en no dissenyar una Malla Unitària tal que existeixi algun nus perimètric al qual hi vagin a parar més de dos cables interns. (Fig. 8.1)

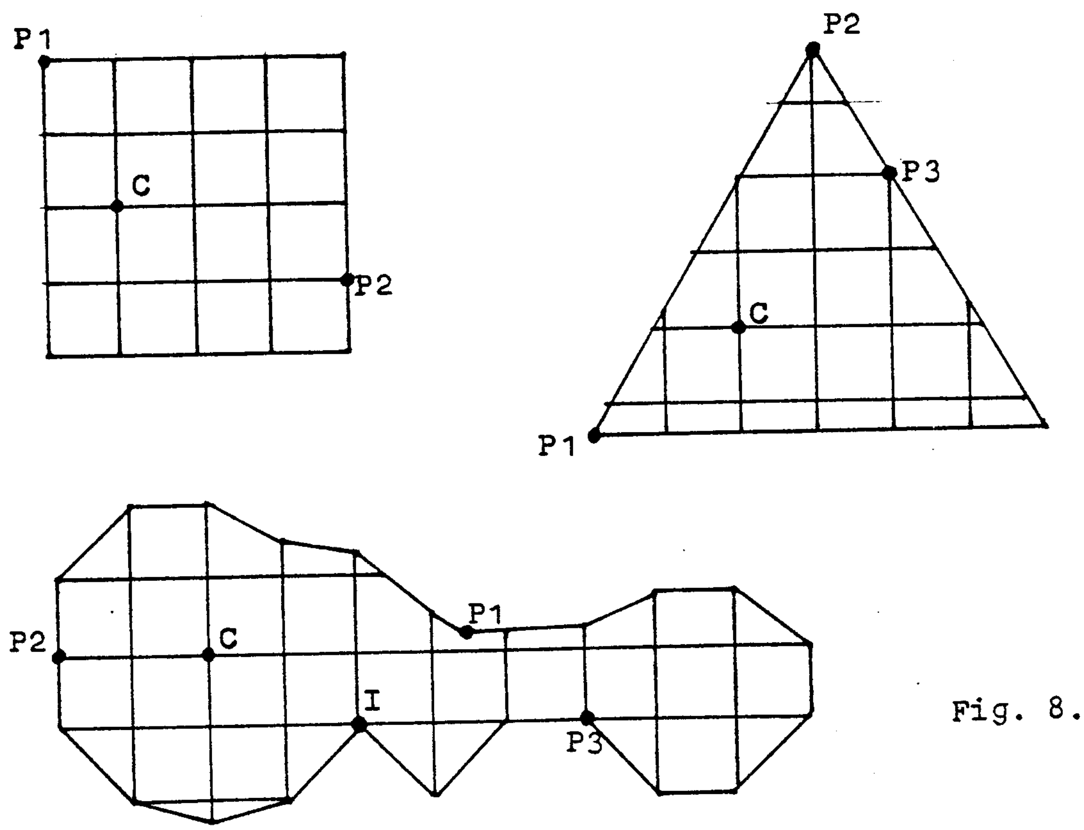


Fig. 8.1

c. NUS VÈRTEX: És aquell que es troba situat sobre el perímetre, de tal manera que d'ell només surten dos cables perimètrics.

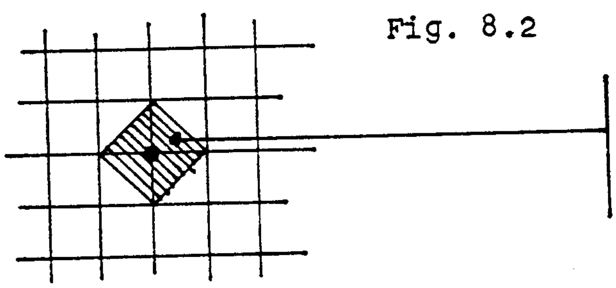
A la figura 8.1 de la pàgina anterior trobem diversos exemples d'aquests tipus de nus.

P1 = Nus vèrtex.
P2 = Nus perimètric. (Dos cables perimètrics i un d'interior).
P3 = Nus perimètric. (Dos cables perimètrics i dos d'interiors).
C = Nus central.
I = Nus incorrecte. Hi van a parar un total de més de quatre cables. Aquest tipus de nus s'ha d'evitar sempre.

8.4 ÀREA NODAL

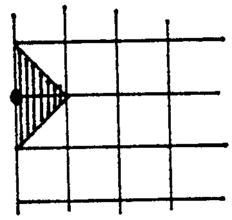
Definirem com a Àrea Nodal d'un nus central d'una malla unitària a la meitat de l'àrea formada pel quadrilàter, els vèrtexs del qual són els nusos que estan connectats amb aquell a través dels respectius cables.

Fig. 8.2



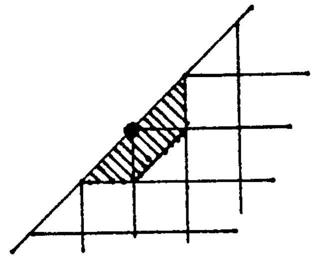
a la meitat d'aquesta àrea l'anomenarem àrea nodal del nus central

Definirem com a Àrea Nodal d'un nus perimètric a la meitat de l'àrea formada pel quadrilàter o pentàgon, els vèrtexs dels quals són els nusos que estan connectats amb ell, a travès dels respectius cables, i ell mateix.



Nus = P2

Fig. 8.3



Nus = P3

Definirem com a Àrea Nodal d'un nus vèrtex a la meitat de l'àrea formada pel triangle, els vèrtexs del qual són els dos nusos connectats amb ell, a travès de cables perimètrics, i ell mateix.

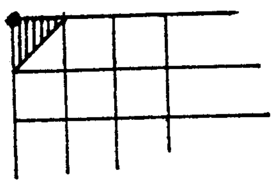


Fig. 8.4

És fàcil endevinar que la intencionalitat, al definir l'àrea nodal, no és altra que repartir tota la superfície de la Malla Unitària d'una manera més o menys lògica, entre tots els nusos que la formen.

Hi ha, però, altres maneres de fer aquest repartiment, encara que la filosofia serà sempre molt semblant, i l'agafar-ne una altra no trasbalsaria gaire tot el treball que segueix. Per tant, no entrarem en discussió profunda d'aquesta metodologia i la donarem per bona.

8.5 CÀLCUL NUMÈRIC DE L'ÀREA NODAL

Quan estudiéssim qualsevol Malla Unitària a travès de l'ordinador, serà, evidentment, interessant que el mateix ordinador calculi per ell sol les àrees nodals de tots els nusos que la formen.

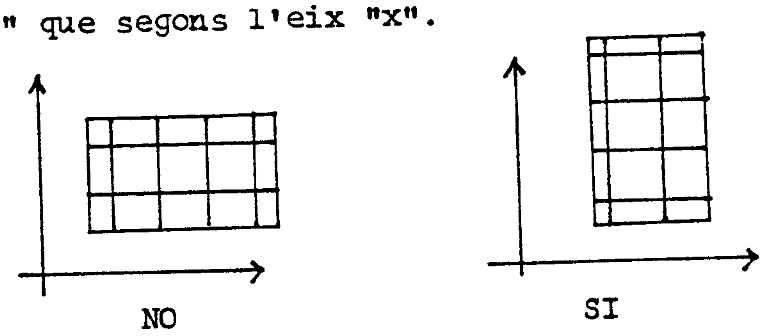
Per tal de facilitar aquesta tasca, es proposa de seguir el següent criteri de numeració de nusos i de barres (cables).

8.5.1 Numeració dels nusos.

Seguint les normes dictades per aquesta mateixa Tesi a l'apartat 5.1 del Capítol V, el criteri de numeració dels nusos d'una malla unitària serà el següent:

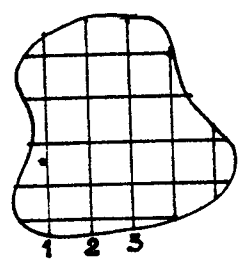
a. col.locació de la Malla de tal manera que, en planta, tingui més dimensió segons l'eix "y" que segons l'eix "x".

Fig. 8,5



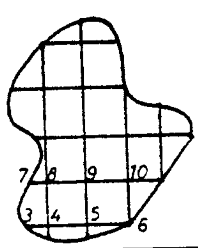
b. Numerar els nusos perimètrics que es trobin sota la primera línia horitzontal, d'esquerra a dreta:

Fig. 8.6



c. Numerar els nusos corresponents a les línies horitzontals de la quadrícula, d'esquerra a dreta i de baix a dalt.

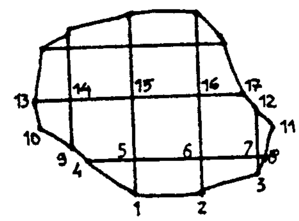
Fig. 8.7



etc.

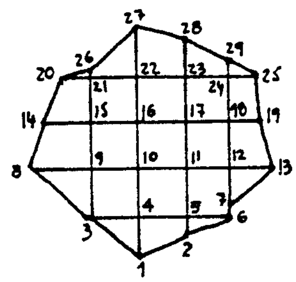
d. quan existeixin nusos perimètrics o vèrtexs situats entre dues línies horitzontals, es numeraran entre el darrer de la línia inferior i el primer de la línia superior, primer els del perímetre de l'esquerra (de baix a dalt) i després els del perímetre de la dreta, també de baix a dalt.

Fig. 8.8



e. Numerar, finalment, els nusos perimètrics o vèrtexs situats per sobre de la línia horitzontal superior de la quadrícula, sempre d'esquerra a dreta.

Fig. 8.9



8.5.2 Numeració de les barres.

Per a la numeració de les barres, ens atindrem als següents criteris:

a. En primer lloc es numeraran les barres perimètriques. D'una manera consecutiva, i seguint el sentit del moviment de les busques d'un rellotge, començarem a numerar-les a partir del nus 1. A la pàgina següent, figura 8.10 hi trobem un esquema aclaridor.

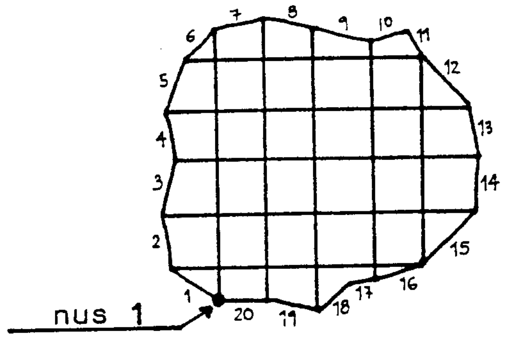


Fig. 8.10

b. A continuació numerarem les barres horitzontals, d'esquerra a dreta i de baix a dalt.

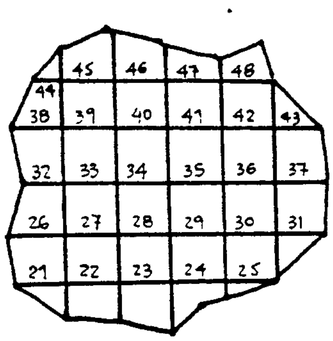


Fig. 8.11

c. Per últim numerarem les barres verticals, de baix a dalt i d'esquerra a dreta.

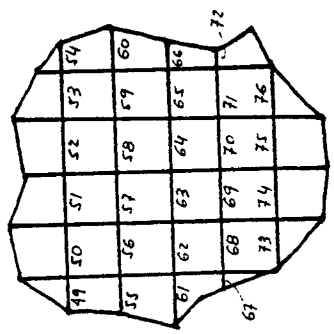


Fig. 8.12

8.5.3 Connexions dels nusos.

Per tal de calcular l'àrea Nodal d'un nus determinat, i d'acord amb la definició d'àrea Nodal donada a l'apartat anterior 8.4, cal cercar en primer lloc quins són els nusos que hi estan connectats a través dels corresponents cables hiperelàstics.

A més a més, com es veurà més endavant, és imprescindible ordenar rotatòrialment aquests nusos. Per tal d'establir un sentit positiu, prendrem sempre aquesta ordenació d'una forma dextrògira.

Així, si ens fixem en la figura 8.9, per exemple, veurem com el nus 10 està connectat amb els nusos: 4 , 9 , 16 i 11 . No els hem anomenat en un ordre levògir ni, encara menys, en un ordre arbitrari. El nus 16 estaria, doncs, connectat amb els 16 , 23 , 18 i 11, i així fins a la totalitat dels nusos.

Amb aquest criteri, tots els nusos centrals, (apartat 8.3), estaran connectats amb altres quatre nusos. Tanmateix, això no és sempre cert amb els nusos perimètrics. Cal, doncs, establir un criteri particular a l'hora de trobar les connexions dels nusos perimètrics.

Aquest criteri serà el següent:

a. El primer nus connectat amb un punt perimètric (o vèrtex) serà el nus perimètric contigu, seguint l'ordre dextrògir perimètric.

b. El darrer (segon, tercer o quart) nus connectat amb un nus perimètric, serà el nus perimètric contigu, oposat a l'assenyalat al paràgraf anterior.

c. Els nusos centrals (dos, un o cap) connectats amb un nus perimètric se situaran entre el primer i l'últim, seguint el mateix ordre establert, (dins aquest mateix apartat), per als nusos centrals.

d. En el cas que un nus perimètric estigui connectat amb un total de quatre nusos, (fig. 8.3 tipus "P3"), es donarà el signe negatiu al primer nus connectat amb ell, diferenciant, d'aquesta manera, els nusos centrals dels perimètrics tipus "P3".

Així, fixant-nos altra vegada amb la figura 8.9, podem dir que el nus 1 està connectat amb els nusos 3 , 4 i 2 ; mentre que el nus 3 ho està amb els -8 , 9 , 4 i 1 .

Seguint aquest criteri, cada nus tindrà relació amb quatre números. El primer podrà ser negatiu. Els altres o són positius o són zero.

A tot aquest conjunt de números l'anomenarem: Connexions internes dels nusos, i al programa encarregat de cercar-los l'anomenarem: TES20. A les pàgines següents ve el llistat d'aquest programa en Fortran.

A partir d'aquí, el càlcul de l'àrea Nodal d'un nus d'una Malla Unitària es redueix al càlcul de les àrees d'una sèrie de triangles, i de dividir per dos el resultat de la suma ordenada d'aquestes àrees.

A la figura 8.13 trobem grafiat aquests triangles, les seves àrees i l'àrea Nodal del nus.

```
C       CONNEXIONS INTERNES DELS NUSOS
C
C
        SUBROUTINE TES20
C
        INCLUDE 'TESIS.CMM'
C
C       BARRES PERIMETRIQUES
C
        IF (NEX(1,1).NE.1) THEN
        NEX(1,2)=NEX(1,1)
        NEX(1,1)=1
        END IF
        IA=NEX(1,1)
        IP=NEX(1,2)
        KNN(IA,1)=IP
        KNN(IP,4)=IA
C
        DO 1    I=2,NTB
        IF (NEX(I,1).EQ.IP) THEN
        IP=NEX(I,2)
        IA=NEX(I,1)
        ELSE
        IF (NEX(I,2).NE.IP)  STOP 'ERROR 8'
        IP=NEX(I,1)
        IA=NEX(I,2)
        END IF
        KNN(IA,1)=-IP
        KNN(IP,4)=IA
        IF (IP.EQ.1)  GO TO 2
      1 CONTINUE
C
C       S'HAN ACABAT LES BARRES PERIMETRIQUES
C
      2 DO 3    I=I+1,NTB
        IA=NEX(I,1)
        IP=NEX(I,2)
        IF (IP.LT.IA) THEN
        IA=NEX(I,2)
        IP=NEX(I,1)
        END IF
        IF (IP.NE.IA+1)  GO TO 10
C
C       BARRA HORITZONTAL
C
        KNN(IP,2)=IA
        IF (KNN(IA,4).NE.0) THEN
          KNN(IA,2)=IP
        ELSE
          KNN(IA,4)=IP
        END IF
        GO TO 3
C
C       BARRA VERTICAL
C
     10 IF (KNN(IA,1).LT.0) THEN
C       NUS IA PERIMETRIC
        IF (KNN(IA,2).EQ.0) GO TO 11
C       NUS IA PERIMETRIC AMB QUATRE BARRES
        KNN(IA,3)=IP
        IF (KNN(IA,4).GT.IABS(KNN(IA,1)) .EQV.
```

```
     %     KNN(IA,3).GT.KNN(IA,2))      GO TO 13
      KNN(IA,3)=KNN(IA,2)
      KNN(IA,2)=IP
      GO TO 13
   11 KNN(IA,2)=IP
   13 CONTINUE
C
      ELSE
C     EL NUS IA NO ES PERIMETRIC
      KNN(IA,3)=IP
      END IF
C
      IF (KNN(IP,1).LT.0) THEN
C     NUS IP PERIMETRIC
      IF (KNN(IP,2).EQ.0) GO TO 21
C     NUS IP PERIMETRIC AMB QUATRE BARRES
      KNN(IP,3)=IA
      IF (KNN(IP,4).GT.IABS(KNN(IP,1)).EQV.
     %     KNN(IP,3).GT.KNN(IP,2))     GO TO 23
      KNN(IP,3)=KNN(IP,2)
      KNN(IP,2)=IA
      GO TO 23
   21 KNN(IP,2)=IA
   23 CONTINUE
C
      ELSE
C     EL NUS IP NO ES PERIMETRIC
      KNN(IP,1)=IA
      END IF
C
    3 CONTINUE
C
      DO 4   I=1,NTN
      IF (KNN(I,2).EQ.0) THEN
        IF (KNN(I,3).EQ.0) THEN
        KNN(I,2)=KNN(I,4)
        KNN(I,4)=0
        ELSE
        KNN(I,2)=KNN(I,3)
        KNN(I,3)=KNN(I,4)
        KNN(I,4)=0
        END IF
      ELSE
      IF(KNN(I,3).NE.0) GO TO 4
      KNN(I,3)=KNN(I,4)
      KNN(I,4)=0
      END IF
C
      IF (KNN(I,1).LT.0.AND.KNN(I,4).EQ.0) KNN(I,1)=-KNN(I,1)
C
    4 CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

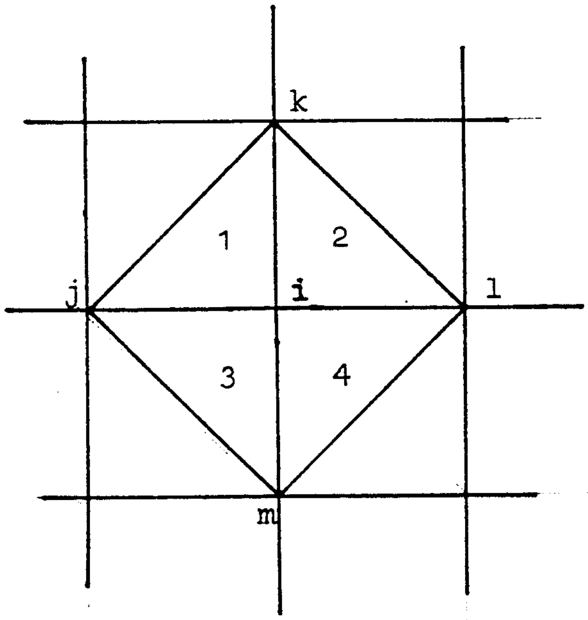


Fig. 8.13

La semisuma de l'àrea d'aquests quatre triangles és l'àrea Nodal del nus "i".

Podem dir també que les connexions internes del nus "i" són: "j" , "k" , "l" i "m".

8.6 DEFORMACIÓ D'UNA MALLA UNITÀRIA

Seguint el mateix mètode d'actuació que l'emprat a l'apartat 7.6 del Capítol anterior, qualsevol Malla Unitària pot ser deformada sota un estat de càrregues i/o deformacions, aconseguint així una estructura de cables hiperelàstics assimilable a una superfície ondulada.

¿ Què haurà succeït amb les àrees nodals dels seus nusos ?

És evident que si han variat les coordenades de tots els nusos de la malla, també hauran variat les longitus dels cables que la formen, i per tant l'àrea dels triangles grafiats a l'anterior figura 8.13. Conseqüentment, caldrà tornar a calcular l'àrea Nodal de cada nus.

Tanmateix, cal observar un fet. Per molt que variïn les coordenades dels nusos, el que sí romandrà fix seran les connexions internes dels nusos. Per tant, l'operació de calcular les àrees nodals serà idèntica a la que hem exposat a l'apartat 8.5.3.

Hem de notar, però, que l'àrea Nodal de cada nus, pel fet de trobar-se a l'espai, tindrà una projecció sobre cada un dels tres plans associats al Sistema d'eixos de coordenades.

D'aquesta forma, a la projecció de l'àrea Nodal d'un nus determinat sobre el pla "XY" l'anomenarem "AZ" del nus en qüestió. A la projecció sobre el pla "XZ" l'anomenarem "AY" del nus i a la projecció sobre el pla "YZ" l'anomenarem "AX" del nus.

És obvi, que el valor real de l'àrea Nodal del nus, a la qual podem anomenar "AT", serà:

$$AT\,(i) = \sqrt{AX(i)^2 + AY(i)^2 + AZ(i)^2}$$

Sent, com és, AT el resultat d'una arrel quadrada podria gaudir dels signes (+) o (−) indistintament, no obstant, pel fet de representar una àrea material, li donarem sempre el signe positiu.

Tanmateix, les projeccions AX , AY , AZ d'aquesta àrea sobre els plans coordenats "XY" , "XZ" , "YZ", les considerarem amb signe positiu o negatiu d'acord amb el següent criteri:

"La projecció de l'àrea Nodal d'un nus sobre un pla principal de coordenades serà positiu quan el sentit de gir de les connexions internes d'aquest nus sobre l'es mentat pla coincideixi amb el sentit positiu de l'eix de coordenades perpendicular a aquest pla."

La figura 8.14 que ve a continuació intenta aclarir aquest concepte.

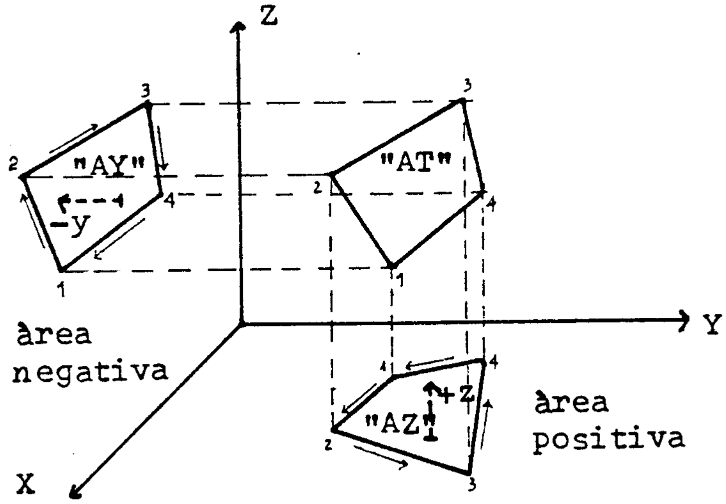


Fig. 8.14

8.7 CÀRREGUES SUPERFICIALS

Una vegada determinades les àrees AX , AY , AZ i AT de cada nus d'una Malla Unitària deformada, és molt fàcil establir una relació directa amb les càrregues superficials que actuaran sobre cada un d'aquests nusos.

Aquesta Tesi, d'acord amb les aplicacions més normals dins el camp de la construcció, (aplicacions que en casos molt concrets seran exposades en el Capítol pròxim); considera els següents tipus de càrregues superficials:

8.7.1 Pes propi dels cables.

Aquesta, de fet, no és una càrrega superficial, sinó una càrrega lineal. El cable real que formi una Malla, tindrà un pes determinat. Aquest pes anirà a parar la meitat a cada un dels seus nusos extrems.

Tanmateix, davant d'aquesta simplicitat, cal fer una precisió. Si l'estructura és plana, aquest pes sobre els nusos serà negatiu i en el sentit de l'eix "Y", mentre que si l'estructura és espacial, serà negatiu i en el sentit de l'eix "Z". (MM(1)=1 al subprograma TES23)

També cal tenir en compte que encara que a través de successives deformacions variïn les longituds dels cables hiperelàstics, el seu pes es mantindrà constant. És per això, que en el cas de calcular una malla mitjançant diverses iteracions, el pes propi dels cables només s'haurà de calcular una sola vegada al començament, i a partir de llavors es mantindrà invariable.

8.7.2 Pes propi de la superfície.

Quan una Malla Hiperelàstica qualsevol tingui adossada una superfície material en tota la seva àrea, aquesta superfície tindrà, evidentment, un pes per unitat d'àrea, i d'alguna manera aquest pes anirà a parar a cada un dels nusos que formen la Malla.

Sembla bastant lògic assegurar que el producte d'aquest pes per unitat d'àrea pel valor "AT", igual a l'àrea Nodal del punt, serà el pes que li correspondrà a cada un dels nusos.

Aquest pes, (sempre que hi hagi superfície adossada es tractarà d'una malla espacial), tindrà sentit negatiu paral·lel a l'eix "Z" del sistema de coordenades.

Altra vegada, tal com passava amb el pes propi dels cables, el pes de la superfície material adossada serà invariable al llarg de possibles iteracions fetes a l'hora de calcular la Malla. Per tant, serà calculat durant la primera iteració i a partir de llavors es mantindrà invariable.

8.7.3 Pressió interna.

Quan una Malla Hiperelàstica qualsevol tanqui, mitjançant una superfície material adossada hermètica (lona, plàstic, etc), un espai sotmès a una sobrepressió amb relació a l'exterior d'aquest espai, aquesta superfície material rebrà un esforç perpendicular a ella mateixa en tots els punts.

Aquest esforç anirà a parar, com sempre, als nusos de la Malla Hiperelàstica. El valor total "P" d'aquest esforç en cada punt serà el valor de la superfície Nodal del punt "AT" per la sobrepressió a la qual està sotmès l'espai interior.

Atès que aquesta pressió és normal a la superfície "AT" , podrem descompondre aquell valor "P" en les seves tres components (segons els eixos de coordenades x , y , z), PX , PY , PZ que valdran, òbviament: AX per la sobrepressió; AY per la sobrepressió i AZ per la sobrepressió, sent AX , AY , AZ els valors determinats a l'apartat 8.6 per a cada nus.

Aquests valors variaran, naturalment, sempre que la forma de la Malla Hiperelàstica varii. Per tant, en el cas d'un càlcul iteratiu d'una malla determinada, hauran de ser recalculats a cada iteració.

8.7.4 Vent.

En primer lloc caldria aclarir que els efectes del vent sobre una superfície ondulada han estat tema principal de molts treballs.

Des de la diversitat de Lleis i Normatives existents a cada país (només a Espanya tenim els casos de la Norma M.V. 101-1962 i de la Norma Tecnològica per a l'Edificació NTE-ECV/1973); passant per una pila de teories exposades a congressos, llibres, treballs, tesis, etc. per distints autors; fins a treballs que s'estan portant a cap, encara ara, a diferents laboratoris dotats amb túnels de vent; trobaríem una gamma molt àmplia d'opinions dels efectes provocats pel vent sobre superfícies ondulades.

Tanmateix, aquest és un problema que no volem que ens preocupi en aquesta Tesi. Prendrem, doncs, uns determinats efectes produïts pel vent, efectes que per altra banda són molt aproximats als establerts per totes aquelles entitats assenyalades al paràgraf anterior, i treballarem a partir d'ells.

En el cas que algú, utilitzant aquesta Tesi, volgués fer un estudi posterior, i no estigués d'acord amb aquests efectes, podria fàcilment canviar la petita part del subprograma TES23 que tracta dels esforços produïts pel vent i aprofitar totalment la filosofia de la resta del subprograma.

Així, fet aquest aclariment, ens atindrem a les següents premisses:

a. El vent produeix sempre una acció perpendicular sobre qualsevol superfície que es trobi dins el seu flux.

b. Aquesta acció serà de succió o de compressió en funció de l'angle que forma la direcció i sentit del vent amb la normal a dita superfície. Aquesta normal està dotada de direcció i sentit.

c. A cada angle format per aquests dos vectors li correspondrà un coeficient, d'acord amb el següent criteri: ($)

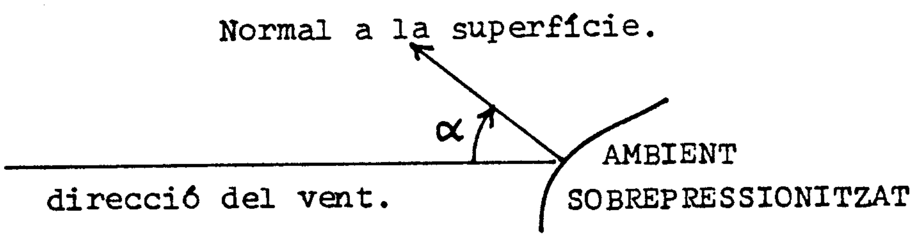


Fig. 8.15

$\lvert\alpha\rvert$	$\leq$10º	20º	30º	40º	50º	60º	70º	80º	90º	100º	110º	$\geq$120º
coefi.	-.6	-.5	-.2	.1	.4	.8	1.2	1.4	1.2	1.	.9	.4

interpolant linealment els valors intermedis de .

d. La succió del vent sobre una superfície determinada valdrà:

(eq. 8.1) St = AT . Coeficient . Pressió dinàmica.

sent:

$$\underset{(kp/m^2)}{\text{Pressió dinàmica}} = \frac{\overset{(m/s)}{(\text{velocitat del vent})^2}}{16}$$

AT = Àrea nodal del punt.

Coeficient = D'acord amb la taula Fig. 8.15

....

($) Aquest criteri està basat en un treball, no publicat, de l'autor d'aquesta Tesi sobre deformacions en pneumàtics. (1977)

Quan el "Coeficient" sigui negatiu, i per tant també ho sigui St , voldrà dir que l'efecte del vent sobre aquell punt s'ha transformat en una compressió. En la resta de casos sempre hi ha succió.

Una vegada trobat el valor St de l'efecte del vent sobre un nus determinat, l'àrea Nodal del qual sigui AT, podrem descompondre aquest valor en les seves tres components segons els eixos "x" , "y" i "z". Aquestes components, de valor Stx , Sty , Stz respectivament, podran ser calculats directament a partir de l'equació 8.1 , substituint només AT per AX , AY , AZ respectivament.

Igualment que amb els efectes produïts per la pressió interna, (apartat 8.7.3), els efectes del vent variaran sempre que la forma de la Malla Hiperelàstica variï. Per tant, en el cas d'un càlcul iteratiu d'una Malla determinada, hauran de ser recalculats a cada nova iteració.

8.7.5 <u>Neu.</u>

Les càrregues de neu actuant sobre una estructura en Malla Hiperelàstica són molt similars a les del pes propi. Totes dues tenen una component vertical única en el sentit negatiu de l'eix "z" de coordenades. Tanmateix, existeix una clara diferència entre ambdues càrregues. Mentre el pes propi actua sobre tota l'àrea material adossada a l'àrea Nodal d'un nus determinat, la neu, òbviament, només actua sobre la projecció horitzontal "AZ" d'aquesta àrea Nodal.

Així, la càrrega Pz actuant sobre cada nus de la malla, deguda a la neu, serà:

$$Pz = AZ . N$$

sent N el pes, per unitat d'àrea, de la neu. Aquest pes estarà d'acord amb la Normativa existent al lloc on se situï la malla estudiada.

Tal com ens ha succeït amb els efectes produïts pel vent i la pressió interna, les càrregues de la neu variaran sempre que ho faci la forma de la Malla Hiperelàstica. És per això que en el cas d'un càlcul iteratiu d'una Malla determinada, hauran de ser recalculades a cada nova iteració.

Cal fer notar, tal com ja s'ha fet en altres apartats d'aquest mateix Capítol, que qualsevol altre criteri d'aplicació de les càrregues degudes a la neu pot ser introduït fàcilment canviant una petita part del subprograma TES23 , sense variar, amb això, la filosofia general del subprograma

8.7.6 Dilatació.

Sota aquest concepte de càrregues per dilatació, volem abastar uns tipus de càrregues o esforços que realment no actuen d'una manera superficial.

Es tracta de tenir en compte els esforços que es produeixen sobre els cables, quan són sotmesos a un allargament o acurtament determinat.

Aquests canvis de longitud poden ser d'origen tèrmic, de pretensat, o de qualsevol altre gènere.

De fet, només es tracta de modificar la longitud pròpia inicial de les barres, i calcular l'estat d'equilibri a partir d'aquestes noves longituds.

A l'igual que el pes propi dels cables i el pes propi de la superfície material adossada a la Malla, aquest tipus d'esforç és invariable a través de diverses iteracions, i així només cal calcular-lo la primera iteració i prou.

8.8 PROGRAMA "TES23"

El programa TES23 que s'adjunta al final d'aquest apartat és l'encarregat de cercar quins són els valors de les càrregues sobre cada nus de la Malla Hiperelàstica, d'acord amb els valors concrets del pes propi del cable, del pes propi de la superfície material adossada, de la pressió interna, del vent, de la neu i de la dilatació imposada a tots els cables.

Aquestes constants (dades del problema) són entrades a l'ordinador a la segona fitxa de dades. (Apartat 5.2.2 Capítol V).

Així doncs, la segona fitxa queda modificada de la següent forma:

Posicions:	Dada:
1 - 5	Nombre total de nusos.
6 - 10	Nombre total de cables.
11 - 15	Nombre màxim d'iteracions.
16 - 20	Un "1" per tal d'indicar que es tracta d'una estructura amb cables.

21 - 30	Mòdul d'elasticitat. (T/cm^2)
31 - 40	Precisió. (Tones)
41 - 50	Deformació màxima permesa a qualsevol nus dins una iteració.
51 - 60	Pes propi dels cables hiperelàstics. (Kg/m)
61 - 70	Pes propi superficial. (Kg/m^2)
71 - 80	Pressió interna. (Kg/m^2)

Una altra fitxa:

1 - 10	Component del vent en la direcció de l'eix "x" de coordenades. (Km/h)
11 - 20	Component del vent en la direcció de l'eix "y" de coordenades. (Km/h)
21 - 30	Pes de la neu. (Kg/m^2)
31 - 40	Dilatació dels cables. Positiu vol dir allargament i negatiu acurtament. (%)

Totes aquestes dades poden ser gairebé sempre entrades en una sola fitxa a través del format lliure, és a dir, separades per comes en lloc de deixar els blancs necessaris entre xifres. Només depèn del tipus d'ordinador que s'utilitzi.

A les pàgines següents trobem l'esmentat programa Fortran TES23.

```
C       CARREGUES SUPERFICIALS
C
        SUBROUTINE TES23
C
        INCLUDE 'TESIS.CMM'
C
        DIMENSION AX(150),AY(150),AZ(150),AT(150)
        DIMENSION COEF(12)
        DATA COEF/-.6,-.5,-.2,.1,.4,.8,1.2,1.4,1.2,1.,.9,.4/
C
        IF (NV.GT.0) GO TO 6
C
        F(2)=F(2)/1000.
        F(3)=F(3)/1000.
        F(6)=F(6)/1000.
        F45=(F(4)**2+F(5)**2)
        F45T=F45/207360.
C
        IF (F(1).EQ.0.0) GO TO 4
        IF (MM(1).EQ.1) THEN
        DO 10  I=1,NTB
        PB = L(I)*F(1)/2000.
        PZ(NEX(I,1)) = PZ(NEX(I,1)) - PB
     10 PZ(NEX(I,2)) = PZ(NEX(I,2)) - PB
        ELSE
        DO 11  I=1,NTB
        PB = L(I)*F(1)/2000.
        PY(NEX(I,1)) = PY(NEX(I,1)) - PB
     11 PY(NEX(I,2)) = PY(NEX(I,2)) - PB
        END IF
      4 CONTINUE
C
        IF (F(7).NE.0.0) THEN
        F7 = 1.+ F(7)/100.
        DO 20  I = 1,NTB
     20 L(I) = L(I) * F7
        END IF
C
      9 DO 5  I = 2,6
        IF (F(I).NE.0.0)  GO TO 6
      5 CONTINUE
        RETURN
C
      6 DO 1    I=1,NTN
        AX(I) = 0.0
        AY(I) = 0.0
        AZ(I) = 0.0
        AT(I) = 0.0
        DO 2    J=1,4
        K1 = IABS (KNN(I,J))
        K2=J-1
        IF (K2.EQ.5) K2=1
        K2=KNN(I,K2)
        IF (K2.LE.0) GO TO 8
        AX(I) = AX(I) +
       &((Y(K2)-Y(I))*(Z(K1)-Z(I))-(Y(K1)-Y(I))*(Z(K2)-Z(I)))/4
        AY(I) = AY(I) +
       &((Z(K2)-Z(I))*(X(K1)-X(I))-(Z(K1)-Z(I))*(X(K2)-X(I)))/4
        AZ(I) = AZ(I) +
       &((X(K2)-X(I))*(Y(K1)-Y(I))-(X(K1)-X(I))*(Y(K2)-Y(I)))/4
      2 CONTINUE
```

```
    9 AT(I) = DSQRT (AX(I)**2+AY(I)**2+AZ(I)**2)
C
      IF (NV.EQ.0.AND.KIN(I,3).NE.0) PZ(I)=PZ(I)-AT(I)*F(2)
C
      IF (F45.EQ.0.0) THEN
      FVENT=0.0
      ELSE
      ALFA=ACOS(-(F(4)*AX(I)+F(5)*AY(I))/(DSQRT(F45)*AT(I)))
      ALFA=ALFA*180./3.141592654
        IF (ALFA.LE.10.) THEN
        FVENT=-0.6
        ELSE IF(ALFA.GE.120.) THEN
        FVENT=0.4
        ELSE
        ICO=ALFA/10.
        FVENT= (ALFA/10.-ICO)*(COEF(ICO+1)-COEF(ICO))+COEF(ICO)
        END IF
      END IF
C
      F345 = F45T*FVENT+F(3)
      IF (MM(3).EQ.1) THEN
      PX(I) = PX(I)+AX(I)*F345
      PY(I) = PY(I)+AY(I)*F345
      PZ(I) = PZ(I)+AZ(I)*(F345-F(6))
      ELSE
      IF (KIN(I,1).NE.0) Q(KIN(I,1))=AX(I)*F345
      IF (KIN(I,2).NE.0) Q(KIN(I,2))=AY(I)*F345
      IF (KIN(I,3).NE.0) Q(KIN(I,3))=AZ(I)*(F345-F(6))
      END IF
C
    1 CONTINUE
C
      IF (MM(3).NE.1) RETURN
C
      WRITE (ISOR,200)
  200 FORMAT (///' CARREGUES TOTALS: (PUNTUALS) '$)
      IF (F(1).NE.0.0) WRITE (ISOR,201)
  201 FORMAT (1H+,'(PES DELS CABLES) '$)
      IF (F(2).NE.0.0) WRITE (ISOR,202)
  202 FORMAT (1H+,'(PES PROPI) '$)
      IF (F(3).NE.0.0) WRITE (ISOR,203)
  203 FORMAT (1H+,'(PRESSIO INTERNA) '$)
      IF (F(4).NE.0.0) WRITE (ISOR,204)
  204 FORMAT (1H+,'(VENT-X) '$)
      IF (F(5).NE.0.0) WRITE (ISOR,205)
  205 FORMAT (1H+,'(VENT-Y) '$)
      IF (F(6).NE.0.0) WRITE (ISOR,206)
  206 FORMAT (1H+,'(NEU) '$)
      WRITE (ISOR,300)
  300 FORMAT (1H+,'APLICADES ALS NUSOS'//
     &       2(8X'AX'6X'AY'6X'AZ'6X'AT'6X'PX'6X'PY'6X'PZ'7X)/
     &       2(1X'NUS'4(3X'(M2)'1X)2X,3('(TONES)'1X)3X)/)
C
      NAX = (NTN+1)/2
      DO 3   I = 1,NAX
      WRITE (ISOR,400)
     & (J,AX(J),AY(J),AZ(J),AT(J),PX(J),PY(J),PZ(J),J=I,NTN,NAX)
  400 FORMAT (2(I4,7F8.3,5X))
    3 CONTINUE
      RETURN
      END
```