

CAPÍTOL V

=====

PROGRAMA " T E P 3 2 "

Amb la teoria desenvolupada als capítols anteriors estem ja en disposició d'abordar la part pragmàtica d'aquesta Tesi. Amb altres paraules, podem anar a crear un programa capaç de solucionar una estructura hiperelàstica plana o espacial concreta.

Aquesta serà la base que utilitzarem per crear tota una teoria de disseny, formació i càlcul d'estructures de barres articulades reals amb un comportament de grans deformacions, com són les estructures tensades o inflables. (Evidentment això implicarà un procés d'assimilació d'una superfície plana o corba, però contínua, a una superfície discreta de barres).

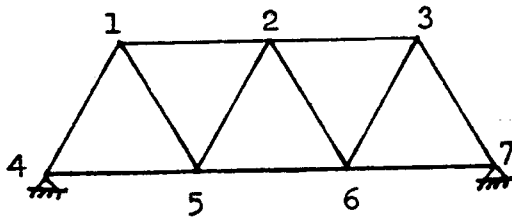
Atès que el programa TEP32 (que desenvolupa aquesta teoria), explicat en el present Capítol, està dividit en una sèrie de subprogrames, utilitzarem aquesta mateixa divisió per anar estudiant-lo.

5.1 ENTRADA DE DADES.

Donada una estructura hiperelàstica qualsevol, el primer pas a realitzar serà la numeració dels nusos hiperelàstics components de dita estructura. La numeració serà amb la sèrie dels números enters, ordenats del 1 fins al n , sent n el nombre total de nu-

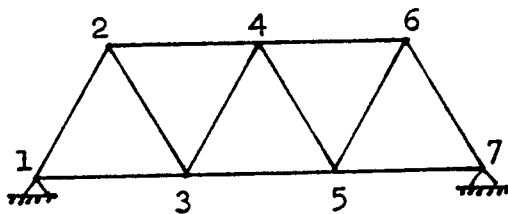
sos. La numeració és lliure, però, s'aconsella de fer-ho de tal manera que la diferència màxima entre la numeració dels dos nusos extrems de cada barra sigui la més petita possible.

Exemple:



Diferència
màxima = 4

NO



Diferència
màxima = 2

SI

De cada nus es mirarà quin és el tipus al qual pertany. Els tipus de nus tenen la següent numeració:

1 = fix 2 = "x" 3 = "y" 4 = "z" 5 = "xy"
6 = "xz" 7 = "yz" 0 = lliure.

A continuació, s'elegirà un sistema d'eixos coordenats a l'espai, d'una manera totalment lliure. S'aconsella, tanmateix, prendre el centre de coordenades d'aquest sistema de tal manera que tota l'estructura

quedi dins la zona positiva dels eixos x ; y ; z .
Una vegada fixat el sistema d'eixos coordenats, es prendran les coordenades de cada nus. (en metres).

Fins aquí la definició dels nusos. Acabat això, passarem a la definició de les barres. En primer lloc es numeraran. En aquest cas sí que podem numerar-les d'una manera totalment arbitrària. De cada una de les barres fixarem:

- a) Els seus nusos extrems. (Els dos números).
- b) La longitud de la barra en repòs. (en metres).
Si coincidís, com passa gairebé sempre, amb la distància existent entre els seus dos nusos extrems, aquesta longitud s'ignorarà, puix que serà calculada automàticament pel propi programa.
- c) La seva secció en cm^2 .

Establertes ja les dades relatives a les barres, el pas següent serà determinar l'estat de càrregues. Aquí cal tenir molt en compte que tant els desplaçaments previs imposats als nusos com les càrregues puntuals aplicades en ells, han de ser compatibles amb el tipus propi del nus. (Ap. 3.6).

Els desplaçaments es mesuraran en metres i les càrregues puntuals en Tones.

5.2 CODIFICACIÓ.

Una vegada hem deixat l'estructura completament

definida, quant a forma, numeració i tipologia dels nusos, numeració i característiques de les barres i quantificació de l'estat de càrregues, el pas següent consisteix en la codificació d'aquestes dades per tal que puguin ser processades pel programa TEP32.

La codificació es farà mitjançant fitxes estàndard de 80 posicions de cabuda; entrada típica, per altra banda, en la majoria d'ordenadors.

Al final d'aquest apartat 5.2 s'adjuntarà un exemple de codificació d'una petita estructura que faci més entenedor tota l'explicació que ara seguirà.

5.2.1 Primera fitxa.

Es la que porta el títol de l'estructura. Pot ocupar qualsevol de les 80 posicions en total llibertat d'utilitzar lletres o números:

Posicions:	Dada:
1 - 80	Títol de l'estructura.

5.2.2 Segona fitxa.

On es troben les dades generals de l'estructura.

Posicions:	Dada:
1 - 3	Nombre total de nusos.
4 - 6	Nombre total de barres.
7 - 16	Mòdul hiperelàstic del material del qual estan formades les barres. (T/cm ²)
17 - 26	Precisió. (Tones)

27 - 28

Nombre màxim d'iteracions que pot efectuar el programa.

Anem a fer una mica d'explicació de tota aquesta colla de paràmetres:

a) El nombre total de nusos i de barres és obvi i no requereix cap més explicació.

b) Quant al mòdul hiperelàstic de les barres, cal fer especial esment en els casos en què hi hagi més d'un tipus de material. Evidentment, cada una de les barres només en podrà ser d'un d'ells.

En aquests casos prendrem com a mòdul hiperelàstic de l'estructura, aquell del qual n'hi hagi més de barres. Llavors, a les barres que no siguin d'aquest material les hi donarem una secció fictícia, de tal manera que el producte $E.A$ (mòdul x secció) és mantingui real. És a dir, si una barra és d'un material amb un mòdul hiperelàstic 10 vegades més alt que l'estàndard, li donarem una secció 10 vegades més grossa que la seva pròpia real, mantenint així el producte $E.A$.

c) A l'apartat 4.3 (Estat d'equilibri) s'ha definit el què és la Precisió. El programa pren com a precisió estàndard el valor 0,0001 Tona. Si aquesta precisió ja ens és adient, no cal que ni la posem.

d) El nombre màxim d'iteracions ens indica el nombre màxim de vegades que és recalculerà l'estructura per tal d'arribar a l'estat d'equilibri. Si s'esgotés aquest nombre i l'estructura no estigués encara en l'estat d'equilibri, evidentment ens trobariem amb una solució que de fet correspondria a un estat d'esforços determinat.

El nombre necessari d'iteracions depèn del tipus d'Estructura, de la Precisió exigida, etc., tanmateix normalment n'hi ha prou amb un màxim de 20 iteracions. De fet aquesta és la quantitat que automàticament s'autoes-
tableix el programa en el cas de que no se'n doni cap com a dada.

5.2.3 Dades dels nusos.

Aquestes dades vindran determinades per un conjunt de fitxes, de tal manera que a cada fitxa hi col·lo-
carem les dades de dos nusos, les del nus "i" i les del nus "i+n", sent n el valor enter majorat resultat de dividir el nombre total de nusos per 2 .

Exemple: Si nº total de nusos és 15 ; n=8

Així doncs a la 1ª fitxa hi posarem les dades dels nusos 1 i del 1+n, a la segona fitxa les dades dels nusos 2 i del 2+n , i així successivament.

Fitxa tipus:

Posicions:

Dades:

1 - 3	Número del nus "i".
4 - 5	Tipus del nus "i".
6 - 15	Coordenada 'x' del nus "i". (Metres) *
16 - 25	Coordenada 'y' del nus "i". (Metres)
26 - 35	Coordenada 'z' del nus "i". (Metres)
36 - 38	Número del nus "i+n"
39 - 40	Tipus del nus "i+n".
41 - 50	Coordenada 'x' del nus "i+n". (Metres)
51 - 60	Coordenada 'y' del nus "i+n". (Metres)
61 - 70	Coordenada 'z' del nus "i+n". (Metres)

No cal dir que si el nombre de nusos és senar, a la darrera fitxa només hi haurà les dades d'un sol nus.

5.2.4 Dades de les barres.

Aquestes dades vindran determinades per un conjunt de fitxes, de tal manera que a cada fitxa hi col·locarem les dades de tres barres, les de la barra "i" les de la barra "i+n" ; i les de la barra "i+2n", sent n el valor enter majorat resultat de dividir el nombre total de barres per 3 .

Exemple: Si el nº total de barres és 17 ; n=6

Així doncs, a la 1ª fitxa hi posarem les dades de les barres 1 ; 1+n ; 1+2n ; a la segona fitxa les dades de les barres 2 ; 2+n ; 2+2n ; i així successivament.

Fitxa tipus:

Posicions:	Dades:
1 - 5	Número de la barra "i".
6 - 10	Nus extrem de la barra "i".
11 - 15	L'altre nus extrem de la barra "i".
16 - 20	Secció de la barra "i". (cm ²)
21 - 25	Longitud de la barra "i". (metres)
26 - 30	Número de la barra "i+n".
31 - 35	Nus extrem de la barra "i+n".
36 - 40	L'altre nus extrem de la barra "i+n".
41 - 45	Secció de la barra "i+n". (cm ²)
46 - 50	Longitud de la barra "i+n". (metres)
51 - 55	Número de la barra "i+2n".
55 - 60	Nus extrem de la barra "i+2n".

61 - 65	L'altre nus extrem de la barra " $i+2n$ ".
66 - 70	Secció de la barra " $i+2n$ ". (cm ²)
71 - 75	Longitud de la barra " $i+2n$ ". (metres)

Recordem que si la longitud de la barra coincideix amb la distància entre els seus nusos extrems (cosa, per altra banda, que succeeix gairebé sempre), no cal calcular-la per endavant ja que el programa ho fa per ell sol. Només cal que posem: longitud igual a zero.

Així mateix, si la secció de la barra fos donada igual a zero, el programa la consideraria de 1 cm².

5.2.5 Dades de l'estat de càrregues.

Aquestes dades vindran determinades per un conjunt de fitxes, de tal manera que a cada fitxa hi trobarem els desplaçaments previs i les forces aplicades a un nus en concret, o bé a una sèrie correlativa de nusos. L'ordre d'aquestes fitxes és totalment aleatori.

Fitxa tipus:

Posicions:	Dades:
1 - 5	Número del nus. (El primer de la sèrie correlativa, si és el cas).
6 - 10	En blanc. (Si es tracta d'una sèrie, el número del darrer).
11 - 20	Component 'x' de la força aplicada al/s nus/os senyalat/s.
21 - 30	Component 'y' de la força aplicada al/s nus/os senyalat/s.

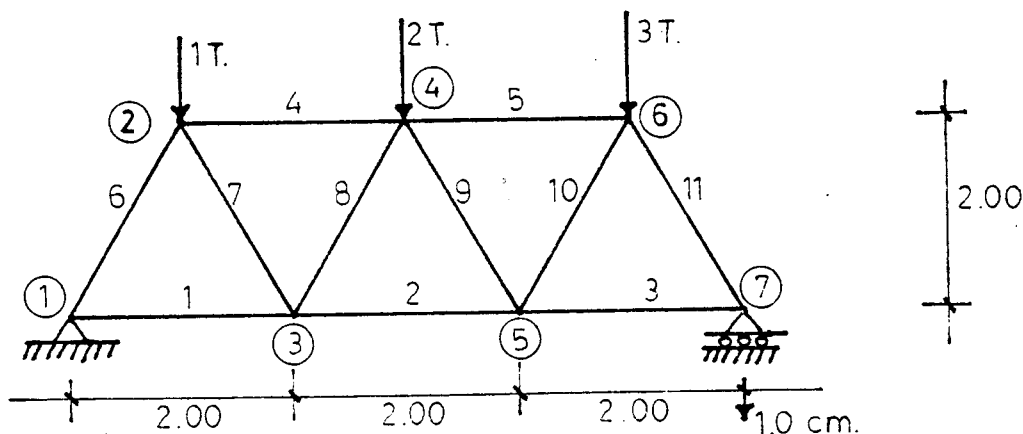
- 31 - 40 Component 'z' de la força aplicada al/s nus/os senyalat/s.
- 41 - 50 Component 'x' del desplaçament previ aplicat al/s nus/os senyalat/s.
- 51 - 60 Component 'y' del desplaçament previ aplicat al/s nus/os senyalat/s.
- 61 - 70 Component 'z' del desplaçament previ aplicat al/s nus/os senyalat/s.

5.2.6 Fitxa final.

Aquesta fitxa només serveix per a indicar a l'ordenador que ja s'han acabat totes les dades i que ja pot començar l'execució del programa. Naturalment el format de la fitxa depèn del tipus d'ordenador i correspon al que s'entén com a "final d'arxiu" (EOF).

5.2.7 Exemple de Codificació.

Per a facilitar més la comprensió del procés de codificació d'una estructura hiperelàstica, a continuació s'ha dut a terme la codificació d'un exemple molt senzill, però que creiem que serà prou entenedor.



Tal com ens mostra la figura del final de la pàgina anterior, es tracta de codificar les dades d'una estructura tipus WARREN. Està composta per onze barres d'igual longitud (2,00 metres cada una), i set nusos hiperelàstics. D'aquests nusos n'hi ha un (nº 1) que és fixe, un altre (nº 7) que és tipus "x" i tots els altres són lliures.

El centre o origen de coordenades el suposarem situat de manera que coincideixi amb el nus nº 1, de forma que l'eix d'abscisses es sobreposa a les barres nº 1 ; 2 i 3 i l'eix d'ordenades és la perpendicular passant pel nus nº 1.

A nivell de predimensionat, considerarem les barres horitzontals (1,2,3,4,5) amb una secció de 10 cm² i les restants diagonals de 5 cm². Totes elles d'acer, per tant $E = 2100, T/cm^2$.

Com estat de càrregues considerarem tres forces situades als nusos 2 (1 T.) ; 4 (2 T.) i 6 (3 T.) A més, en el nus 7, imposarem un descens vertical per valor d'un centímetre. Fixem-nos que tot aquest estat de càrregues és perfectament compatible amb la tipologia dels nusos.

L'estructura evidentment és plana. De fet això no ho cal constatar en la codificació. Només cal tenir cura, en les estructures planes, de referir totes les dades al pla 'xy' i no als plans 'xz' ; 'yz'. Si no ho féssim així, el programa també calcularia el resultat correctament, però tant a nivell de capacitat de memòria d'ordinador, com de temps emprat, seria molt pitjor i per tant no recomanable de cap manera.

5.3 SUBPROGRAMA "TES13"

Aquest és el programa encarregat de llegir, controlar i comprovar les dades d'entrada. La seva utilitat, doncs, està implícita en tot el que s'ha dit a l'apartat anterior 5,2 . Cal dir, a més, que aquest programa té establert un sistema de parada automàtica que serveix al mateix temps de còdig d'error, quan alguna de les dades no és coherent amb algun dels condicionants propis de l'estructura o del programa.

Vet aquí aquests còdigs:

- STOP 1 Limitació del programa. Nombre total de nusos excessiu. Superior a 100.
- STOP 2 Limitació del programa. Nombre total de barres excessiu. Superior a 200.
- STOP 3A Força amb component 'x' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 3B Força amb component 'y' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 3C Força amb component 'z' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 4A Desplaçament previ amb component 'x' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 4B Desplaçament previ amb component 'y' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 4C Desplaçament previ amb component 'z' incompatible amb el tipus de nus.
- STOP 5 Nusos entrats en ordre erroni.
- STOP 6 Barres entrades en un ordre erroni.

```

C   "GESTES13.FR"
C
  COMPILER DOUBLE PRECISION
  SUBROUTINE TES13
  REAL K,L
  COMMON N,NTN,NTB,NTIN,IAMB,NPROB(40),PR,NV,NVX,
*      X(100),Y(100),Z(100),XI(100),YI(100),ZI(100),KIN(100,3),
*      PX(100),PY(100),PZ(100),NEX(200,2),L(200),K(200)
  IN=9
  IS=12
C
  READ (IN,100) NPROB
100  FORMAT (40A2)
  WRITE (IS,200) NPROB
200  FORMAT (//," DADES D'ENTRADA: ",40A2,/1X120('*'))
C
  READ (IN,101) NTN,NTB,E,PR,NVX,VENT,PRES
101  FORMAT (2I3,2F10.0,I2,2F10.0)
  IF (NVX.EQ.0) NVX=10
  IF (PR.EQ.0.) PR=0.0001
  IF (E.EQ.0.) E=1.
  WRITE (IS,201) NTN,NTB,E,PPRO,PPRES,VTX,VTY,VTZ,FNEU,PR,NVX
201  FORMAT (//' NUSOS BARRES ELASTICITAT PES.PROPI PRESSIO VENT.X '
*      'VENT.Y VENT.Z NEU PRECISIO NO.ITER.'/
*      I4,I6,F15.2,F11.2,F9.2,3F8.1,F9.2,F10.6,I6,/
*      20X,'(T/CM2) '2(' (KG/M2) '),3(' (KM/H) '),'(KG/M2) '
*      '(TONES) MAXIM'////
*      2(25X'COORDENADES'20X)/ 2(27X'(METRES)'21X)//
*      2(' NUS TIPUS'7X'X'9X'Y'9X'Z'15X)//
  IF (NTN.GT.100) STOP 1
  IF (NTB.GT.200) STOP 2
C
  NAX=(NTN+1)/2
  DO 1 I=1,NAX
  I1=I+NAX
  IF (I1.GT.NTN) I1=NTN
  READ (IN,102) ((KIN(J,3),KIN(J,1),X(J),Y(J),Z(J)),J=I,I1,NAX)
102  FORMAT (2(I3,I2,3F10.0))
  WRITE (IS,202) ((KIN(J,3),KIN(J,1),X(J),Y(J),Z(J)),J=I,I1,NAX)
202  FORMAT (2(I4,I7,3F10.3,15X))
  DO 11 J=I,I1,NAX
  IF (KIN(J,3).NE.J) STOP 5
11  CONTINUE
1  CONTINUE
C
  DO 5 I=1,NTN
  PX(I)=0.
  PY(I)=0.
  PZ(I)=0.
  XI(I)=X(I)
  YI(I)=Y(I)
  ZI(I)=Z(I)
5  CONTINUE
C
  WRITE (IS,203)
203  FORMAT (///3(18X' SECCIO LONGITUD ')/
*      3(1X' BARRA DEL AL (CM2) (METRES)'4X)/)
C
  NAX=(NTB+2)/3
  DO 2 I=1,NAX
  NAX1=I+(2*NAX)
  IF (NAX1.GT.NTB) NAX1=NTB
  READ (IN,104) ((KIN(J,2),NEX(J,1),NEX(J,2),K(J),L(J)),J=I,NAX1,NAX)
104  FORMAT (3(3I5,2F5.0))

```

```

DO 3 J=I,NAX1,NAX
  J1=NEX(J,1)
  J2=NEX(J,2)
  IF (K(J).EQ.0.) K(J)=1.
  IF (L(J).EQ.0.)
    * L(J)=SQRT((X(J1)-X(J2))**2+(Y(J1)-Y(J2))**2+(Z(J1)-Z(J2))**2)
3 CONTINUE
  WRITE (IS,204) ((J,NEX(J,1),NEX(J,2),K(J),L(J)),J=I,NAX1,NAX)
204 FORMAT (3(I7,IS,I4,F10.1,F10.3,4X))
  DO 22 J=I,NAX1,NAX
  IF (KIN(J,2).NE.J) STOP 6
22 CONTINUE
2 CONTINUE
C
DO 7 I=1,NT8
7 K(I)=K(I)*E
  WRITE (IS,205)
205 FORMAT (//19X'CARREGUES'30X'DEFORMACIONES',//
    * 20X'(TONES)'33X'(METRES)'//
    * 3X' NUS'6X'PX'8X'PY'8X'PZ'18X'DX'8X'DY'8X'DZ'//)
4 READ (IN,106,END=99) J,J2,PXJ,PYJ,PZJ,DX,DY,DZ
106 FORMAT (2I5,6F10.0)
  IF (J2.EQ.0) J2=J
  J1=J
  DO 6 J=J1,J2
  PX(J)=PXJ
  PY(J)=PYJ
  PZ(J)=PZJ
  IF (J1.NE.J2) GO TO 8
  WRITE (IS,206) J,PX(J),PY(J),PZ(J),DX,DY,DZ
206 FORMAT (I6,2X,3F10.3,10X,3F10.3)
8 IF (J.NE.J1.OR.J1.EQ.J2) GO TO 9
  WRITE (IS,207) J1,J2,PXJ,PYJ,PZJ,DX,DY,DZ
207 FORMAT (I4,'-',I3,3F10.3,10X,3F10.3)
C
9 IF (PX(J).NE.0..AND.KIN(J,1).NE.0.AND.KIN(J,1).NE.2.
  *AND.KIN(J,1).NE.5.AND.KIN(J,1).NE.6) STOP 3A
  IF (PY(J).NE.0..AND.KIN(J,1).NE.0.AND.KIN(J,1).NE.3.
  *AND.KIN(J,1).NE.5.AND.KIN(J,1).NE.7) STOP 3B
  IF (PZ(J).NE.0..AND.KIN(J,1).NE.0.AND.KIN(J,1).NE.4.
  *AND.KIN(J,1).NE.6.AND.KIN(J,1).NE.7) STOP 3C
  IF (DX.NE.0..AND.KIN(J,1).NE.1.AND.KIN(J,1).NE.3.
  *AND.KIN(J,1).NE.4.AND.KIN(J,1).NE.7) STOP 4A
  IF (DY.NE.0..AND.KIN(J,1).NE.1.AND.KIN(J,1).NE.2.
  *AND.KIN(J,1).NE.4.AND.KIN(J,1).NE.6) STOP 4B
  IF (DZ.NE.0..AND.KIN(J,1).NE.1.AND.KIN(J,1).NE.2.
  *AND.KIN(J,1).NE.3.AND.KIN(J,1).NE.7) STOP 4C
C
  X(J)=X(J)+DX
  Y(J)=Y(J)+DY
  Z(J)=Z(J)+DZ
6 CONTINUE
GO TO 4
99 RETURN
END

```

Una altra de les feines pròpies del subprograma TES13 és la d'anar imprimint les dades d'entrada a mesura que les va processant. D'aquesta manera, no tan sols tenim constància d'aquelles, sinó que, a més a més, ens permet de localitzar el lloc exacte, en el cas en què existeixi, d'on s'ha produït un error.

5.4 SUBPROGRAMA "TES14"

Aquest programa és l'encarregat de comprovar si es tracta d'una estructura plana situada en el pla 'xy' (si no està situada en aquest pla, no seria considerada com a plana), o bé d'una estructura espacial. Per tant, si totes les coordenades 'z' dels nusos són zero, així com les components 'z' de les forces i desplaçaments previs de l'estat de càrregues, llavors l'estructura és considerada plana. En cas contrari, com ja hem dit, és considerada espacial.

Si l'estructura és plana, automàticament es fa una transformació de la tipologia dels nusos, de tal manera que disminueixi el nombre d'incògnites (desplaçaments) corresponents a les components 'z'. Així, els nusos lliures passen a ser tipus 'xy', els nusos tipus 'z' passen a ser nusos fixes, els nusos tipus 'xz' passen a ser nusos tipus 'x', els nusos tipus 'yz' passen a ser nusos tipus 'y' i els demés no varien.

Per fi, aquest programa escriu junt amb les dades d'entrada, si l'estructura és plana o espacial.

A continuació reproduïm el subprograma TES14.

```

C   "OESTES14.FR"
C
C   COMPILER DOUBLE PRECISION
C   SUBROUTINE TES14
C   REAL K,L
C   COMMON N,NTN,NTB,NTIN,IAMB,NPROR(40),PR,NV,NVX,
*     X(100),Y(100),Z(100),XI(100),YI(100),ZI(100),KIN(100,3),
*     PX(100),PY(100),PZ(100),NEX(200,2),L(200),K(200)
C
C   DO 1 I=1,NTN
X   IF (Z(I).NE.0..OR.PZ(I).NE.0..OR.Z(I).NE.ZI(I)) GO TO 2
C   TYPE I
C   1 CONTINUE
C   WRITE (12,100)
100  FORMAT (//' ESTRUCTURA PLANA')
C   DO 3 I=1,NTN
C   IF (KIN(I,1).EQ.0) KIN(I,1)=5
C   IF (KIN(I,1).EQ.4) KIN(I,1)=1
C   IF (KIN(I,1).EQ.6) KIN(I,1)=2
C   IF (KIN(I,1).EQ.7) KIN(I,1)=3
C   3 CONTINUE
C   RETURN
C   2 WRITE (12,101)
101  FORMAT (//' ESTRUCTURA ESPACIAL')
C   RETURN
C   END

```

5.5 SUBPROGRAMA "TES18"

Aquest programa és l'encarregat de numerar totes les incògnites (desplaçaments dels nusos) possibles que tindrà el Sistema d'Equacions que definirà a l'estructura hiperelàstica.

Començant pel nus nº 1 fins al nus n va numerant els desplaçaments dOx ; dOy ; dOz compatibles amb la tipologia del nus, donant el valor zero a aquells desplaçaments inexistents o incompatibles.

En acabar, junt amb les dades d'entrada, aquest subprograma escriu el nombre total d'incògnites, i per tant de desplaçaments possibles, que té l'estructura.

Vet aquí el subprograma "TES18".


```

C   "OESTES18.FR"
C
  COMPILER DOUBLE PRECISION
  SUBROUTINE TES18 (NTN,NTIN,KIN)
  DIMENSION KIN(100,3)
  NTIN=0
C
  DO 4 I=1,NTN
  K=KIN(I,1)
  KIN(I,1)=0
  IF (K.NE.0.AND.K.NE.2.AND.K.NE.5.AND.K.NE.6) GO TO 5
  NTIN=NTIN+1
  KIN(I,1)=NTIN
5 KIN(I,2)=0
  IF (K.NE.0.AND.K.NE.3.AND.K.NE.5.AND.K.NE.7) GO TO 6
  NTIN=NTIN+1
  KIN(I,2)=NTIN
6 KIN(I,3)=0
  IF (K.NE.0.AND.K.NE.4.AND.K.NE.6.AND.K.NE.7) GO TO 4
  NTIN=NTIN+1
  KIN(I,3)=NTIN
4 CONTINUE
  WRITE (12,200) NTIN
200 FORMAT (" NOMBRE TOTAL D'INCOGNITES ="I3)
  RETURN
  END

```

5.6 SUBPROGRAMA "TES19"

Aquest programa calcula el valor de l'Ample de Banda de la Matriu de Rigidesa de l'Estructura Hipere-
làstica que estem calculant.

Estudiant barra per barra, cerca la diferència màxima entre el número de les incògnites corresponents als desplaçaments d'ambdós nusos extrems. Si algun nus té algun dels desplaçaments incompatible amb la seva tipologia, i per tant el seu número és el zero, aquest desplaçament és ignorat. Si un nus és fixe, és a dir, tots tres números de desplaçament són zero, aquesta barra és ignorada.

En acabar, junt amb les dades d'entrada, aquest

subprograma escriu l'ample de banda. El subprograma guarda aquest valor amb la variable IAMB que correspon al valor (v - 1) de l'apartat 4.5.3 .

Vet aquí el subprograma "TES19"

```

C      "OESTES19.FR"
C
      COMPILER DOUBLE PRECISION
      SUBROUTINE TES19 (NTB,NEX,KIN,IAMB)
      DIMENSION NEX(200,2),KIN(100,3)
C
      IAMB=0
      DO 1 I=1,NTB
      I1=NEX(I,1)
      I2=NEX(I,2)
      IF (I2.GT.I1) GO TO 6
      I2=I1
      I1=NEX(I,2)
6     K2=KIN(I2,3)
      IF (K2.EQ.0) K2=KIN(I2,2)
      IF (K2.EQ.0) K2=KIN(I2,1)
      IF (K2.EQ.0) GO TO 1
      K1=KIN(I1,1)
      IF (K1.EQ.0) K1=KIN(I1,2)
      IF (K1.EQ.0) K1=KIN(I1,3)
      IF (K1.EQ.0) GO TO 1
      K2=K2-K1
      IF (K2.GT.IAMB) IAMB=K2
1     CONTINUE
      WRITE (12,200) IAMB
200  FORMAT (' AMPLE DE BANDA ='I3)
      RETURN
      END

```

5.7 SUBPROGRAMA "TES35"

De fet, aquest subprograma és el nucli de tot el programa de resolució d'una estructura hiperelàstica. Podem dir que aquest subprograma consta de tres parts diferenciades quant a la seva intencionalitat. Així les anirem estudiant, doncs, una a una.

5.7.1 Formació de la Matriu Transformada.

A l'apartat 4.6.1 del capítol anterior ha quedat demostrat que la resolució del sistema d'equacions originat per una estructura hiperelàstica, pot realitzar-se perfectament a partir de la Matriu Transformada, la qual té l'avantatge sobre la Matriu de Rigidesa de ser molt més petita.

Així doncs, la primera part del subprograma TES35 s'encarrega de crear aquesta Matriu Transformada. De barra en barra, calcula les corresponents rigideses lineals i transversals, i va col·locant aquests valors en els seus llocs corresponents dins la Matriu Transformada. Cal recordar en aquest moment, que la Rigidesa lineal o transversal d'un nus no és res més que la suma de les rigideses lineals o transversals de les barres que en ell concorren.

Al mateix temps, en cercar les rigideses lineals o transversals de les barres, calcula la tensió a la qual està sotmesa la barra en qüestió, i per tant, l'acció que aquesta tensió provoca sobre cada un dels seus nusos extrems. Al final, de la suma d'aquestes tensions en els nusos, més les forces exteriors de l'estat de càrregues aplicades, trobarem l'estat d'esforços de l'estructura.

5.7.2 Comprovació de l'estat d'esforços.

Una vegada trobat l'estat d'esforços, cal anar comprovant, d'un en un, si aquests esforços desequilibrats (els esforços que siguin reacció no es tenen en

compte) és més petit, en valor absolut, que la precisió que hagi estat establerta. Si fos així, l'estructura estaria en Estat d'Equilibri i per tant el problema estaria ja resolt.

Si no és així, es tracta de trobar, a partir de la Matriu Transformada i del conjunt d'esforços desequilibrats, i mitjançant el subprograma TES37, uns desplaçaments dels nusos que provoquin un canvi de les coordenades d'aquests, tals que l'estructura resultant estigui en Estat d'Equilibri.

El treball efectuat pel subprograma TES37 ja ha estat suficientment explicat a l'apartat 4.6.1 .

5.7.3 Canvi de coordenades.

Trobats els desplaçaments-incògnites del sistema d'equacions, només cal sumar-los adequadament a les anteriors coordenades de cada nus i obtenir-ne, per tant, unes de noves. Ens trobem, doncs, amb una altra estructura i per tant podem tornar a repetir el procés des de l'apartat 5.7.1 . Així anirem fent diferents iteracions d'aquest procés fins arribar a la solució del problema.

Cal constatar, tanmateix, que si el nombre d'iteracions arribés al nombre màxim d'iteracions permès per l'usuari (d'acord amb la segona fitxa de les dades d'entrada ap. 5.2.2), aquest subprograma TES35 dóna l'estructura per equilibrada, encara que no ho estigui en realitat.

Tanmateix podrem sempre saber si el resultat és vàlid o no, puix que s'explicita, al final de les solu