

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Estudi d'optimització d'un braç de vïncament restringit
per disseny sísmic

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Àlex Brittos Piñatares

Tutor: Francesc Xavier Cahís I Carola

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria de la Construcció

Convocatòria (mes/any): Juny 2024

Índex

1. INTRODUCCIÓ.....	4
1.1 Antecedents	4
1.2 Objecte	6
1.3 Especificacions	7
1.4 Abast.....	8
2. ESTAT DE L'ART.....	9
2.1 Definició de la geometria del braç	9
2.2 Definició de la geometria de l'estructura.....	10
3. METODOLOGIA.....	11
4. DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ.....	12
4.1 Consideracions de disseny del CDC-BRB	12
4.2 Definició de l'algoritme	15
5. RESULTATS.....	17
5.1 Resultats obtinguts.....	17
5.2 Anàlisi dels resultats	17
6. CONCLUSIONS	21
7. RELACIÓ DE DOCUMENTS	23
8. BIBLIOGRAFIA.....	24
9. GLOSSARI.....	26
ANNEX A: INTRODUCCIÓ ALS DISSIPADOR D'ENERGIA SÍSMICA	32
ANNEX B: CÀLCULS.....	40
B.1. Càlculs geomètrics	41
B.2. Càlculs de resistència	42
B.3. Càlculs de cost.....	44
ANNEX C: DESCRIPCIÓ DE L'ALGORITME	46
C.1 Consideracions i abast.....	47
C.2 Dades de disseny i condicions que ha de complir el braç dissenyat.....	49
C.3 Descripció del funcionament de l'algoritme	50
ANNEX D: VERIFICACIONS	66
D.1 Verificació geometria nucli i deformació màxima	67
D.2 Verificació general	69

D.3 Verificació per casos aleatoris	72
ANNEX E: CODI DE L'ALGORITME.....	80
ANNEX F: MATRIUS UTILITZADES EN EL CODI.....	93
F.1. Matriu de les IPEs utilitzades.....	94
F.2. Matriu del passamà utilitzat.....	96
F.3. Matriu del tub utilitzat	99
ANNEX G: MATRIUS RESULTANTS PELS 3 CASOS D'ESTUDI	112

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els sismes són un problema important arreu del món, aquests generen moviments de terra que poden arribar a causar danys tant materials com humans. Quan hi ha un terratrèmol en zones edificades, l'energia que desprèn aquest és absorbida per les estructures, causant que aquestes es deformin per absorbir aquesta energia, però quan aquestes estructures es deformen poden generar defectes, esquerdes, si aquestes superen el límit establert pel material poden arribar a fer que l'edifici cedeixi i generi un desastre.

Quan un terratrèmol succeeix, aquest mou el terreny amb una acceleració variable, al mateix temps, mou l'edifici amb la mateixa acceleració i, com aquest té massa, genera una força d'inèrcia variable. A la figura 1.1. es pot veure un esquema d'aquesta situació.



Figura 1.1. Sistema d'un grau de llibertat

Aquesta força genera al mateix temps una vibració en l'estructura, aquesta pot entrar en ressonància si la freqüència de la vibració coincideix amb la freqüència natural del sistema, la figura 1.2. representa aquest fenomen, per evitar-ho s'utilitzen elements dissipadors.

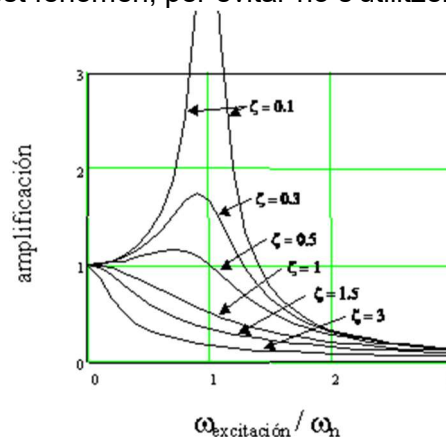


Figura 1.2. Ressonància

Els elements dissipadors permeten mitigar l'acceleració produïda pel sisme, és a dir, mitiga la força que rep l'edifici; al mateix temps, neutralitza el fenomen de ressonància.

En aquest treball s'estudiarà un d'aquests elements, concretament un Braç de Vinclament Restringit (*Buckling Restrained Brace, BRB*), aquests dissipen energia mitjançant la deformació i plastificació del seu nucli, seguint el principi de histèresis, a la figura 1.3. es grafica aquest principi. Com treballa amb una força variable, repetint bucles de histèresis són capaços d'absorbir una gran quantitat d'energia. Aquests braços limiten el vinclament del nucli, mitjançant elements restrictius, per reduir la aquest fenomen i permetre carregar axialment el nucli.

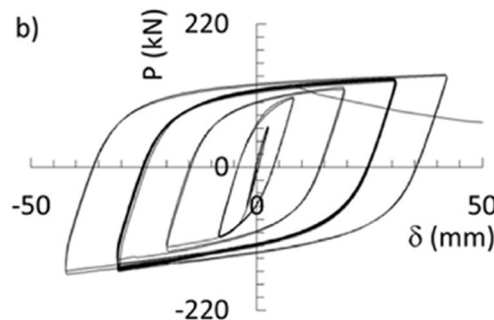


Figura 1.3. Histèresis

Concretament s'estudiarà un braç desenvolupat al grup de Recerca AMADE, anomenat Braç de Vinclament Restringit amb un Doble Nucli Coplanar (*Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace, CDC-BRB*).

El CDC-BRB és un dissipador d'acer dissenyat per ser molt competitiu al mercat, donat que és pot mecanitzar amb processos CAM i permet l'ús de un component de restricció del pandeig del nucli tubular amb paret molt prima, lleuger, ja que el nucli dissipador, dual i coplanar, situa la pressió del nucli plastificat a compressió prop de la zona rígida del tub, als seus laterals. Per treure el màxim rendiment del dissipador, però, cal no només reduir el pes del dissipador, sinó també el cost del mecanitzat, i sempre sense deixar de complir amb el requeriments d'estabilitat i capacitat dissipativa, altament exigents. En aquest context, treure un braç amb mínim cost que satisfaci els requeriments estructurals i de fatiga requereix de processos d'optimització elaborats. Es pot veure el braç esmentat en les figures 1.4. i 1.5.

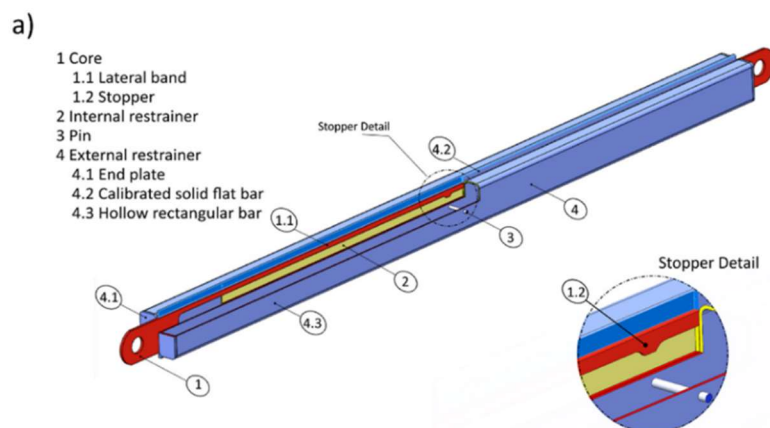


Figura 1.4. Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace

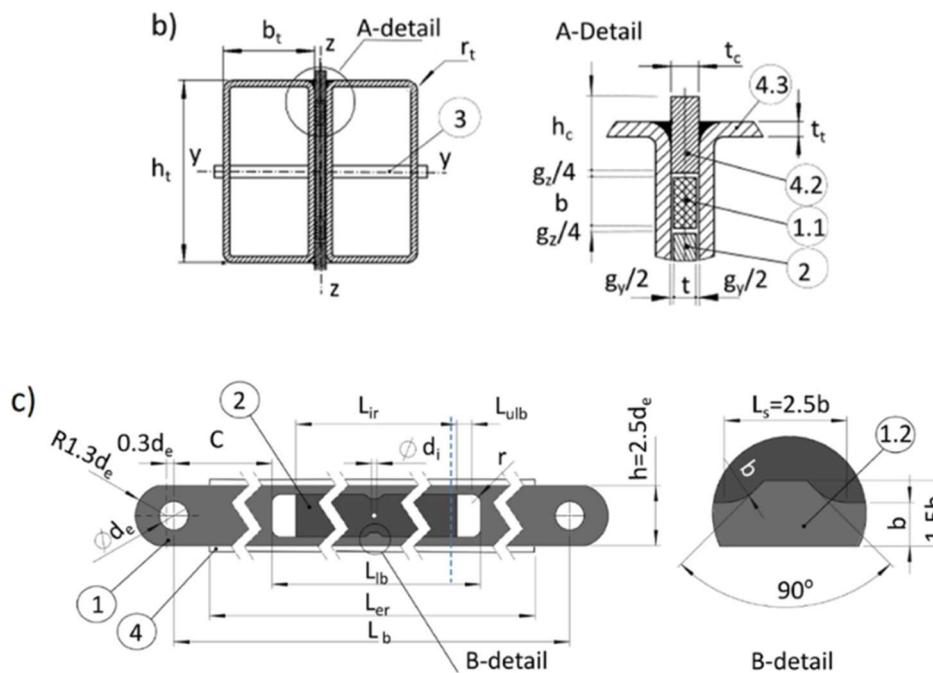


Figura 1.5. ¹Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace secció i nucli extreta del estudi "A new Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace"

1.2 Objecte

L'objecte d'aquest treball és determinar i desenvolupar un algoritme en Matlab que sigui utilitzable per minimitzar el cost dels braços dissipadors CDC-BRB en edificis.

El disseny del braç dissipador i el seu cost queden fortament definits per la geometria del nucli dissipador.

En aquest estudi es desenvoluparà l'algoritme de disseny òptim dels braços i s'analitzarà la relació de la rati b/t en relació al cost del braç considerant el cost del material, el cost de la mà d'obra durant la manipulació i mecanitzat i, finalment, el cost de la maquinària en el procés de tall i soldadura.

Aquest codi necessitarà d'una sèrie de inputs, tals com les condicions de contorn (alçada, longitud de l'estructura i tipologia de les bigues), força aplicada i disposició del braç o braços a estudiar, per tal de donar uns resultats que permetin conèixer la geometria òptima d'aquest element.

1.3 Especificacions

Per la realització d'aquest algoritme d'optimització del braç dissipador d'energia, s'han tingut en compte les següents especificacions:

- L'algoritme considerarà que les dues bandes del nucli dissipadors mantenen una relació geomètrica entre el seu ample "b" i el seu gruix "t", entre 1 i 3.
- L'algoritme considerarà acers estructurals considerats per l'Eurocodi 3, abastant l'S235, S275, S355 i S450.
- La capacitat mínima dels braços dissenyats estarà establerta per una capacitat de plastificació de 100 KN.
- Per a la força màxima dels braços de 4320 kN, on es considerarà un gruix màxim del nucli (per efectes de tall) de 50 mm i una amplada de banda màxima per aquest gruix de 155 mm, i un acer tipus S450, que serà el de valor de plastificació més elevat.
- L'algoritme optimitzarà cost/pes del braç considerant el cost de l'acer, la mà d'obra, el cost de la corrent elèctrica i el cost de l'equipament de tall i soldadura amb arc submergit com a variables que es podran modificar.
- L'algoritme considerarà també, com variables de disseny: la força de plastificació del braç, el desplaçament de entre-planta de disseny en situació sísmica, la deformació màxima acer plastificat en funció de la llargada de la zona de plastificació del braç, les dimensions del braç compatibles amb la seva instal·lació: dimensió de les columnes, dimensió de la biga, inclinació del braç, alçada de planta entre eixos de biga i distància entre eixos de columnes, acer del nucli del braç i dels elements de l'element de restricció extern.
- El braç haurà de complir amb l'estabilitat global i local (zona de connexió del braç dels extrems) per la càrrega de disseny, aquest és comprovarà amb un càlcul de resistència a vincament.
- L'algoritme considerarà en el disseny del braç els efectes de la força del nucli plastificat sobre el tub (tensió i deformació) per a dimensionar el tub i verificar que la fricció que genera no sobrepassa els límits, a través d'un factor beta màxim de 1.2 (relació entre força màxima a compressió i a tracció del braç).
- L'algoritme considerarà l'ús de perfils estàndard en el mercat i acers reconeguts per l'Eurocodi com estructurals.

1.4 Abast

L'abast d'aquest estudi serà el següent:

- Desenvolupar un codi que compleixi amb les especificacions anteriors.
- Provar que el codi funciona correctament aplicant-lo en diferents casos i comprovant-ne els resultats a partir dels obtinguts amb diversos fulls Excel.
- Clarificar degudament l'abast i limitacions del codi pel seu futur us.
- Reflectir degudament la formulació i l'estructura de funcionament del codi en la part de la memòria.
- Utilitzar el codi per extreure resultats que indiqui, per diferents casos, els resultats en optimització, i visualitzant quina incidència en el cost té el rati entre espessor del nucli i ampla de les bandes, i com aquest rati pot influir en la capacitat a compressió (estabilitat), deformació plàstica etc.
- No es pretén donar una geometria per un braç concret, sinó una sèrie de resultats i gràfics que permetin extreure conclusions en funció de les necessitats de cada individu.

2. ESTAT DE L'ART

2.1 Definició de la geometria del braç

S'optimitzarà la geometria del braç CDC-BRB. Tota la geometria es troba relacionada a partir de les condicions de contorn (longitud entre punts de recolzament, secció transversal de jàsseres i columnes colindants i força de treball), a partir d'aquestes condicions es pot trobar tota la geometria del braç, tenint en compte les dues variables principals del nucli, el gruix de la xapa ("t") i la diferència entre l'amplada de la xapa i el forat (dos vegades "b").

Es pot veure la geometria del braç en la figura 2.1. i 2.2. a continuació.

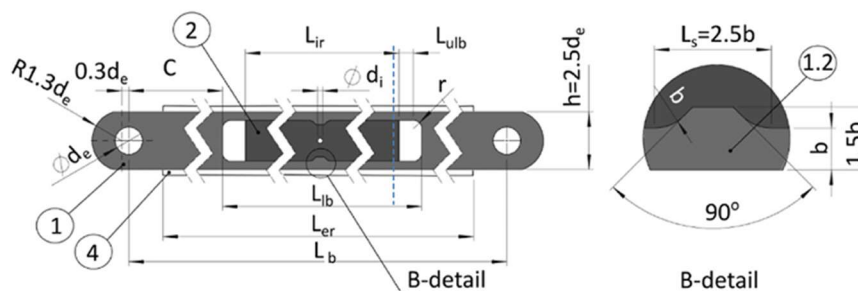


Figura 2.1. 1Geometria

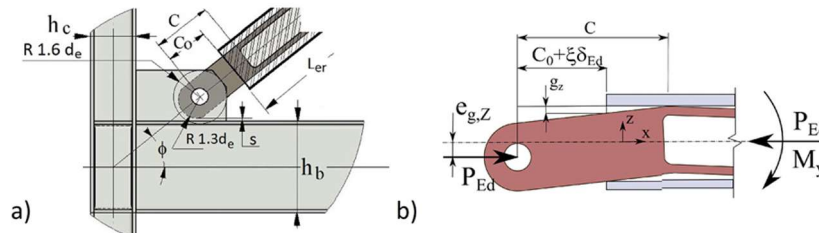


Figura 2.2. 1Geometria extrems

A la taula 2.1. es relacionen les diferents cotes al seu significat, conjuntament amb altres cotes no vistes en aquestes imatges que són rellevants.

Taula 2.1. Significat de les cotes

t	Gruix de la xapa
b	Una meitat de la diferencia entre l'amplada de la xapa i el forat
r	Radi del forat de la xapa
de	Diàmetre del forat circular exterior
R	Radi del cercle exterior
h	Amplada de la xapa
Co	Distància entre el centre del forat circular i l'inici del tub
C	Distància entre el centre del forat circular i l'inici del forat de la xapa
Llb	Distància total del forat interior
Ler	Longitud del tub
Lb	Distància entre centres
Ls	Distància on es canvia de secció al centre
Lwp	Distància entre interseccions de les barres fins a l'altre intersecció a través del braç
Y	Distància entre la intersecció de les barres fins al centre del forat circular
Ly	Longitud que es considera que es deforma

A partir d'aquestes dades es pot construir el nucli del braç; seguidament, a partir del nucli obtingut s'haurà de cercar un tub òptim i, al mateix temps, un passamà calibrat, de tal manera que la geometria del nucli requerirà d'uns elements restrictius concrets.

2.2 Definició de la geometria de l'estructura

Per realitzar els diversos càlculs, és necessari saber certes mesures de l'estructura on es troba localitzat el braç dissipador. En la figura 2.3. es pot veure una possible disposició del braç. En aquesta geometria les dades més importants són la "L", longitud entre centres geomètrics dels pilars, i la "H", distància entre els centres geomètrics de les bigues. Segons aquestes dades es pot calcular la variable "Lwp" que permet estudiar la geometria del nucli.

Es suposa que les columnes segueixen un perfil HEB i les bigues un perfil IPE.

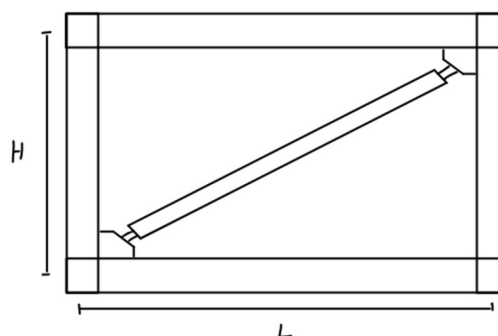


Figura 2.3. Geometria estructura

3. METODOLOGIA

La metodologia emprada per realitzar l'algoritme és la següent.

1. Cerca d'informació necessària per al correcte disseny del braç dissipador en termes de funcionament i estabilitat.
2. Determinació dels costos associats amb la fabricació del braç (compra de material i procés de fabricació)
3. Definició de l'ús de l'algoritme realitzat en quan a variables d'entrada i de sortida.
4. Establir els algoritmes de càlcul a través de diagrames de flux.
5. Desenvolupar el programa comprovant que cada fase d'aquest respongui de la manera desitjada.
6. Proba de l'algoritme en el seu conjunt, verificant els resultats obtinguts d'aquest amb els esperats amb un document EXCEL de verificació.
7. Estudiar els resultats obtinguts del cost del braç per diverses relacions de b-t a partir de tres exemples representatius.

4. DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ

4.1 Consideracions de disseny del CDC-BRB

Per a determinar la geometria del braç dissipador cal que aquest satisfaci les condicions imposades a diferents nivells.

Primerament, en referencia a la resistència, es tenen en compte les següents limitacions per al nucli del braç i les seves connexions.

- La geometria de la secció transversal, està definida per la força de plastificació del braç (condició de disseny) i la tensió de fluència del material.
- La secció bruta transversal del nucli (sense perforar) parteix de la consideració de comportament elàstic amb la força màxima de compressió a les zones no dissipatives, segon defineix.
- El diàmetre del passador extrem, que defineix el diàmetre dels dos forats extrems del nucli, es basa en la resistència a aixafament del allotjament del posador al nucli.

Totes aquestes consideracions es tenen en compte en l'Annex B de càlcul.

La resistència a vinclament global d'aquest braç segueix les següents restriccions.

- L'element extern d'estabilització, resisteix íntegrament el moment generat a la secció central del braç. Aquest moment té en comptes els efectes del càlcul de segon ordre aproximat, per la força màxima de càlcul del braç conjuntament amb la excentricitat generada per la imperfecció global de les barres i el joc entre nucli i conjunt d'estabilització extern.
- Pel càlcul de la càrrega crítica d'Euler, en els dos plans de vinclament (emprada per estimar el moment de segon ordre de forma simplificada) es considera la longitud del "BRB" entre articulacions, i el braç biarticulat en els dos plans de vinclament.
- Es considera com a secció transversal de la columna d'Euler equivalent, per a la càrrega crítica, la secció transversal del element extern d'estabilització, uniforme a tota la longitud de la barra.

Per la comprovació de vinclament global s'ha seguit la formulació esmentada en l'Annex B de càlcul.

Seguidament es veuen les consideracions de resistència a vinclament local del nucli. La formulació es troba en l'Annex B.

- Es considera com a resistència de càlcul el valor corresponent a la càrrega crítica d'Euler d'una columna equivalent.

- La columna equivalent considera com el doble de la distància màxima assolible entre la secció del nucli articulada, extrema, i entrada del mateix nucli a l'element d'estabilització extern. La longitud equivalent és considera segura i respon a observacions experimentals del comportament del braç en assaig a laboratori.

- Per la càrrega crítica és considera el moment de inèrcia de la secció transversal mínim del nucli sense perforar (secció extrema).

Per altra banda, les consideracions geomètriques que es tenen en compte alhora de calcular el braç són les següents.

- El braç s'adaptarà a les condicions imposades per l'estructura on s'incorpora, definida per l'alçada entre eixos de bigues en plantes successives, la distància entre eixos de columnes successives, que treballi en forma de braços en "chevron" o diagonal en la figura 4.1. es veuen aquestes disposicions.

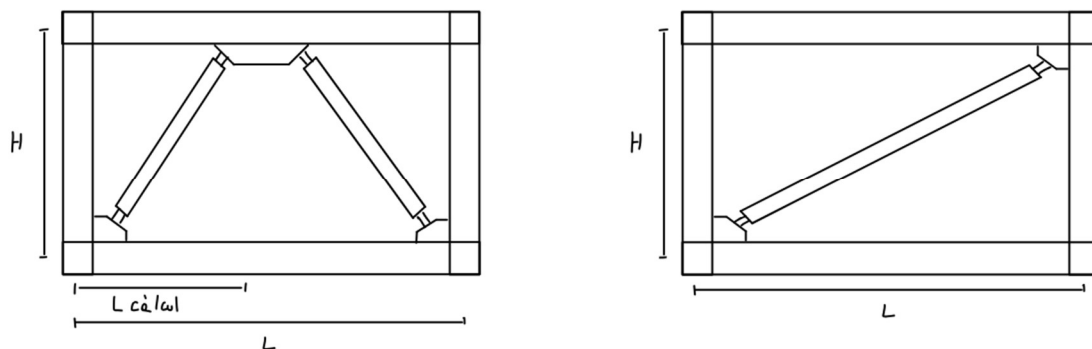


Figura 4.1. Esquema de la disposició del braç

- Cada una de les dues bandes laterals del nucli, a la seva zona dissipativa, tindran un relació entre la seva amplada (b) i espessor (t) entre $1/1$ i $3/1$.

- La dimensió, en direcció axial del braç de la zona del nucli no dissipativa, entre centre de passador extrem i inici de la zona perforada ("C"), es correspon amb el doble de longitud del nucli no restringit lateralment per el conjunt extern d'estabilització en màxima extensió (valor lleugerament superior a " C_0 ")

- El nucli del braç dissipador es fabrica amb xapa amb oïtall. Es considera que el gruix canvia seguint els gruixos estàndards de xapa del mercat, amb un gruix mínim de 4 mm i un gruix màxim de 50 mm.

- Els passamans calibrats que formen part de l'element estabilitzador extern parteixen de la base de dades considerada en Annex F.

- Les seccions de tub estructural considerada per l'element estabilitzador estan recollides en Annex F. En la figura 4.2. es veu la secció del braç on s'identifiquen aquests elements.

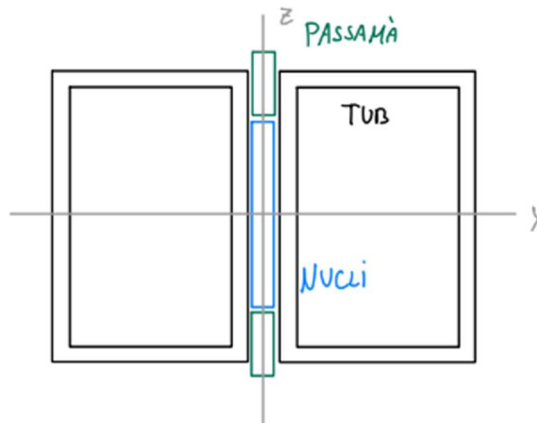


Figura 4.2. Esquema de la secció del CDC-BRB

- El tub estructural escollit serà el mínim compatible amb la secció transversal del nucli que permeti estabilitat global. Aquest càlcul segueix les equacions B.18., B.19 i B.20. de l'Annex B i s'explica en l'Annex C.

- Els passamans calibrats tindran un gruix superior al nucli, però el mínim possible que permeti els gruixos estàndard i l'expansió requerida pel nucli en compressió i degut al mòdul de Poisson. Es pot veure aquest càlcul a l'Annex B, seguint l'equació B.21 i explicat a l'Annex C.

Finalment, es considera que la deformació unitària longitudinal de l'acer del nucli no superarà mai el valor del 2.5%. Aquest valor es considera segur d'acord amb els resultats experimentals a fatiga a baixos cicles de diferents braços assajats en l'article "*A new Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace*". Aquest càlcul es troba en l'Annex B, per aquest es realitzen les següents consideracions.

- La deformació del braç, deguda al desplaçament entre dues plantes, es concentra i es distribueix uniformement en la zona del nucli destinada a plastificació.

- La deformació unitària axial del nucli plastificat no considera la component deguda a la ondulació del nucli en compressió (mode superior de vinclament).

-Es considera que l'acer té una densitat de 7.85 g/cm^3 , un cost fixe de 1€/kg per gruixos de xapa menors de 10mm i de 0.86€/kg per xapes amb un gruix major; per altra banda es té en compte un increment del 5% per cada varietat de qualitat d'acer. Pel que fa al passamà es considera un cost fix de 0.8€/kg i pel tub es pren un cost de 1€/kg per gruixos menors de 5mm , de 1.1€/kg per gruixos menors de 12mm i un cost de 1.2€/kg per la resta. Al mateix temps, es té en compte un cost de tall de 100 €/h , on es contempla l'amortització de la màquina, el cost de tallar la peça amb làser, el cost del treballador i el cost de la soldadura.

4.2 Definició de l'algoritme

En la figura 4.1. es veu un diagrama general del funcionament de l'algoritme.

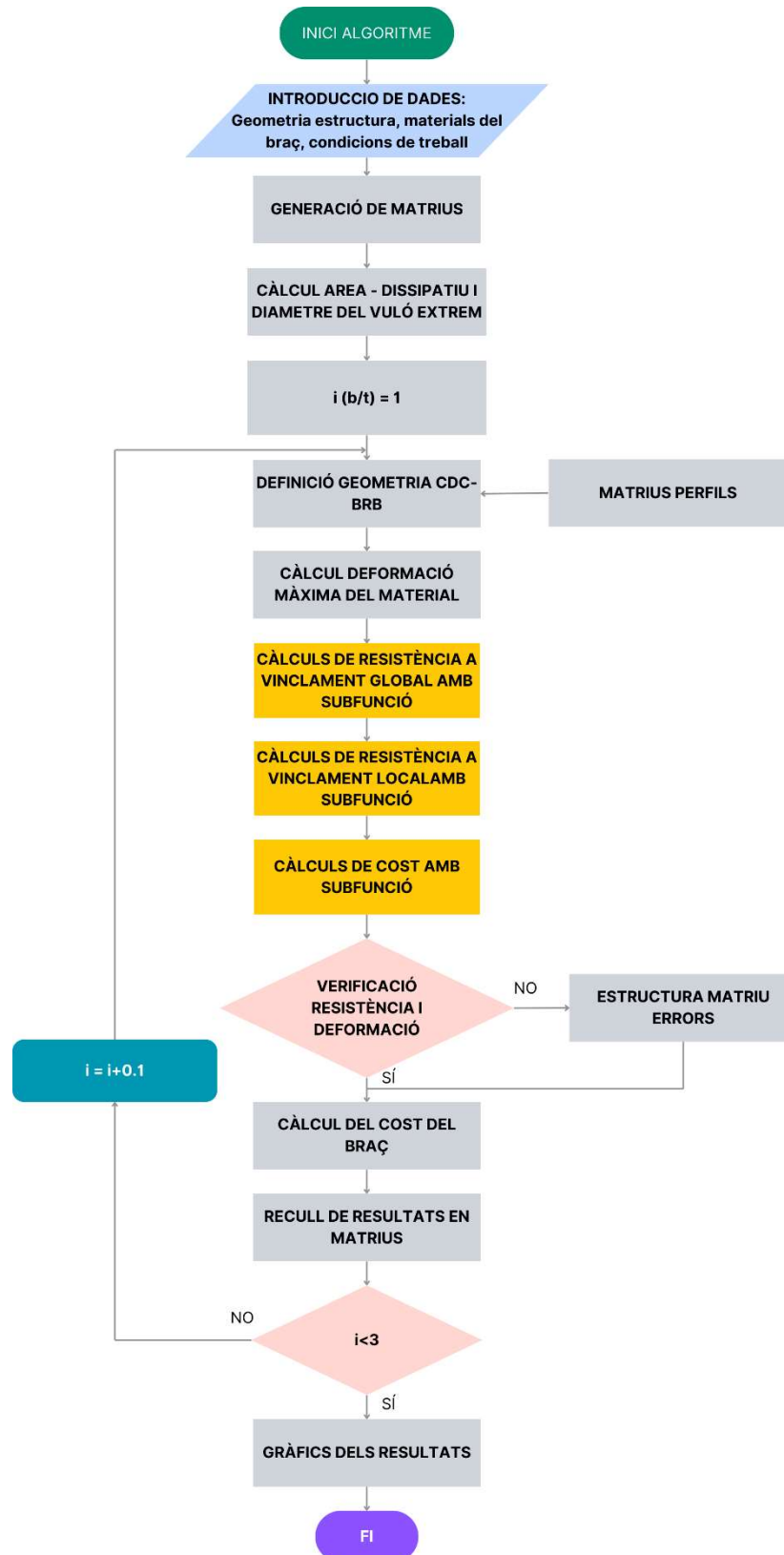


Figura 4.1. Diagrama de flux de l'algoritme

Aquest algoritme treballa a partir d'unes condicions inicials determinades, tals com la força de treball ("Fy"), el tipus d'acer desitjat per la conformació del braç, la longitud entre els eixos de les columnes "L", l'alçada entre eixos de bigues en plantes successives "H", la secció emprada per les bigues de la zona d'estudi i el IDR desitjat.

Segons aquestes dades es realitzen els càlculs per diversos valors de relacions entre "b" i "t", de tal manera que es realitza un bucle amb una relació inicial de 1 fins a una relació final on el valor de "b" és tres vegades el de "t" ("i"=3).

Per a cada relació s'analitza la geometria, la resistència i el cost del braç, aquestes dades es recullen en les matrius prèviament definides i es representen les dades més significatives en els gràfics finals.

A partir d'aquests resultats es poden analitzar els resultats per comparar diversos casos.

5. RESULTATS

5.1 Resultats obtinguts

Els resultats que s'extreuen d'aquest treball són gràfics que comparen els valors de cost, deformació i resistència dels tres diferents casos. Aquests s'han calculat segons les dades de les matrius finals de l'algoritme.

Els gràfics no treballen amb els valors a cada punt, si no que treballen amb el valor al punt dividit pel mínim possible del cas corresponent, d'aquesta manera es poden comparar els 3 casos d'una manera més senzilla i eficient.

5.2 Anàlisis dels resultats

S'analitzen els gràfics esmentat anteriorment, primerament, en la figura 5.1. es representa la comparació dels tres casos diferents en referencia al cost. Les rectes de punts marquen la tendència lineal dels diferents casos.

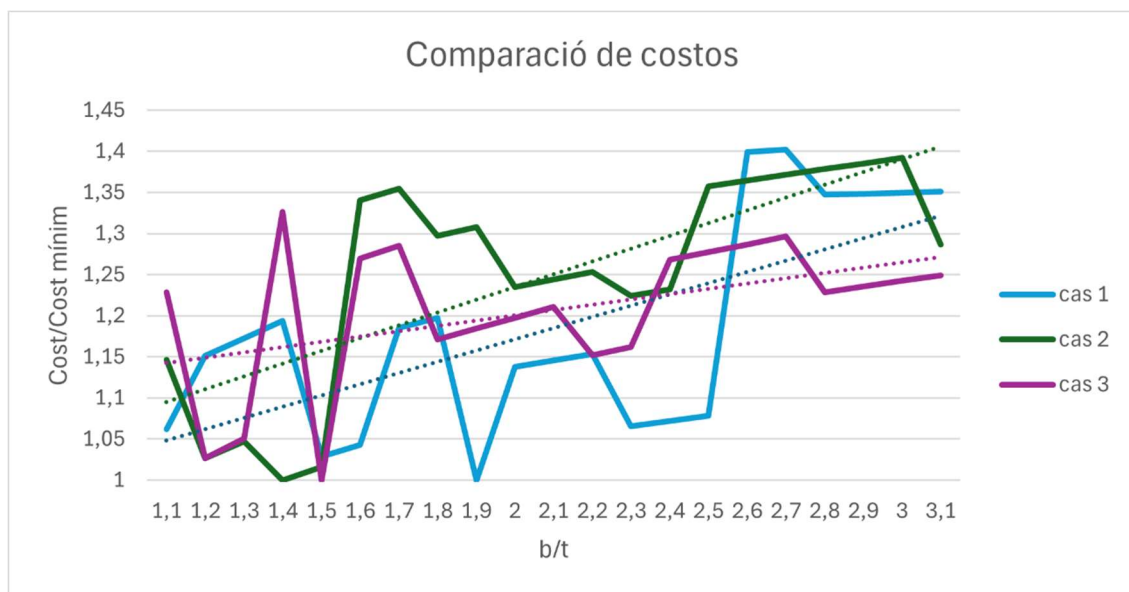


Figura 5.1. Gràfic de costos dels 3 casos

En la figura 5.1. s'ha representat la evolució del cost normalitzat al cost mínim de cada un dels tres braços optimitzats, en relació a la relació b/t . En aquest es veu que els tres casos, independentment de les seves condicions inicials, tendeixen a augmentar el cost a mesura que augmenta la relació, és a dir, amb una secció molt rectangular, on "b" sigui molt major a "t", s'obté un preu més elevat.

Els gran salts que s'aprecien són deguts a la variació de la geometria dels elements restrictius, concretament el tub, ja que aquest és l'element que més aporta al cost del braç.

Cal destacar que el mínim cost es troba, en tots els casos, en valors de relació entre 1.4 i 1.9.

Tot seguit, en la figura 5.2. es representa l'evolució del vincament global (VG) en cada cas.

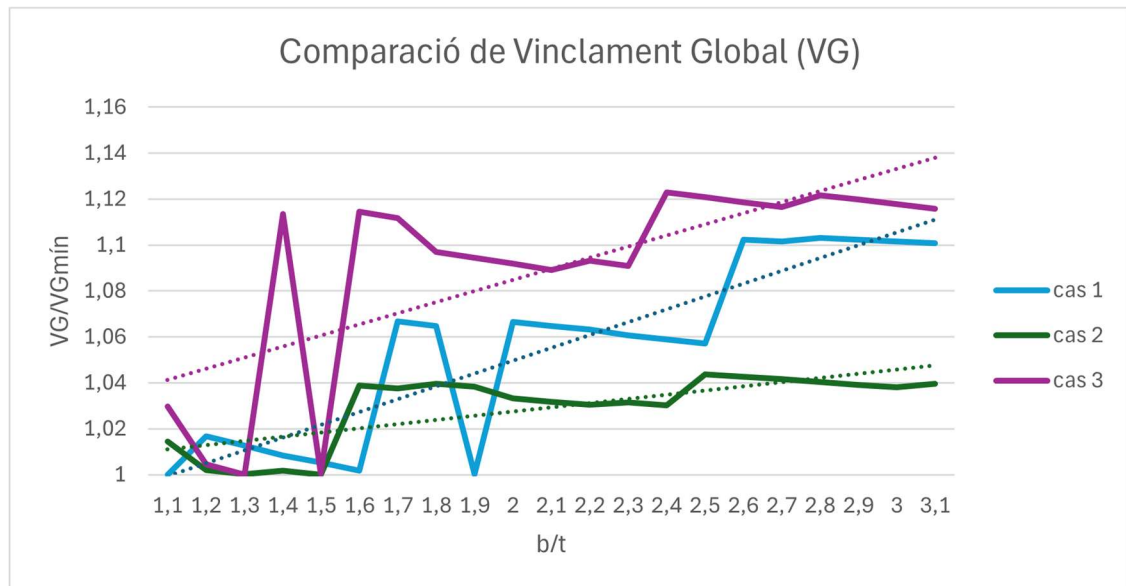


Figura 5.2. Gràfic de resistència a vincament global dels 3 casos

La figura 5.2. representa la relació entre els moments de càlcul de segon ordre i els moments resistents de la secció transversal dl braç dissipador, segons l'equació B.57., aquesta equació determina que quan major és el valor obtingut, major és la resistència del braç.

Es veu que per una força màxima concreta per a cas, la resistència a aquest fenomen augmenta quan incrementa la relació "b"- "t", degut a que es requereix de perfils tubulars més grans, els quals permeten tenir una major resistència a vincament global, ja que augmenta la resistència a flexió i genera major estabilitat a compressió en segon ordre.

Es veu que la tendència dels tres gràfics és bastant similar, tots incrementant la seva resistència a mesura que augmenta la relació. S'observa que els màxims es troben per una relació entre 2.3 i 2.8 entre "b" i "t".

Tot i així, es veu que per certs valors de relació entre "b" i "t" baixos es pot obtenir una bona resistència. Però aquesta premissa no sempre és compleix.

A continuació, es veu l'evolució de la resistència a vinclament local dels tres casos, aquesta es veu en la figura 5.3.

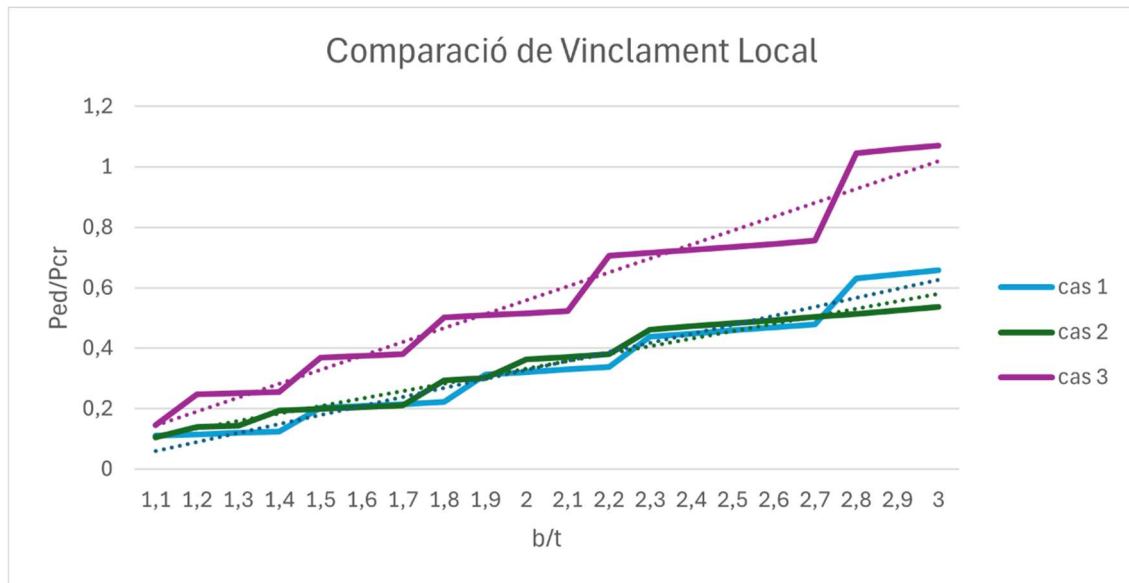


Figura 5.3. Gràfic de resistència a vinclament local dels 3 casos

La figura 5.3. mostra la relació entre la força de compressió màxima al braç, "Ped", i la força crítica d'Euler en la consideració de vinclament local del nucli sense restringir lateralment ("Pcr_lb"). S'observa que els valors no són superiors a 1, ja que a partir d'aquest valor es considera que el braç falla per vinclament global, el cas 3 és un exemple d'aquest fenomen.

En aquest estudi es veu que els valors creixen de manera molt similar en els tres casos, independentment de les condicions inicials.

La tendència és creixent, de tal manera que per una relació més elevada i més rectangular es tindrà menys resistència a aquest fenomen, fins i tot es pot arribar a trobar falla per relacions elevades.

Finalment, es representa el gràfic que compara la deformació dels 3 casos en un mateix gràfic. Aquest es veu en la figura 5.4.

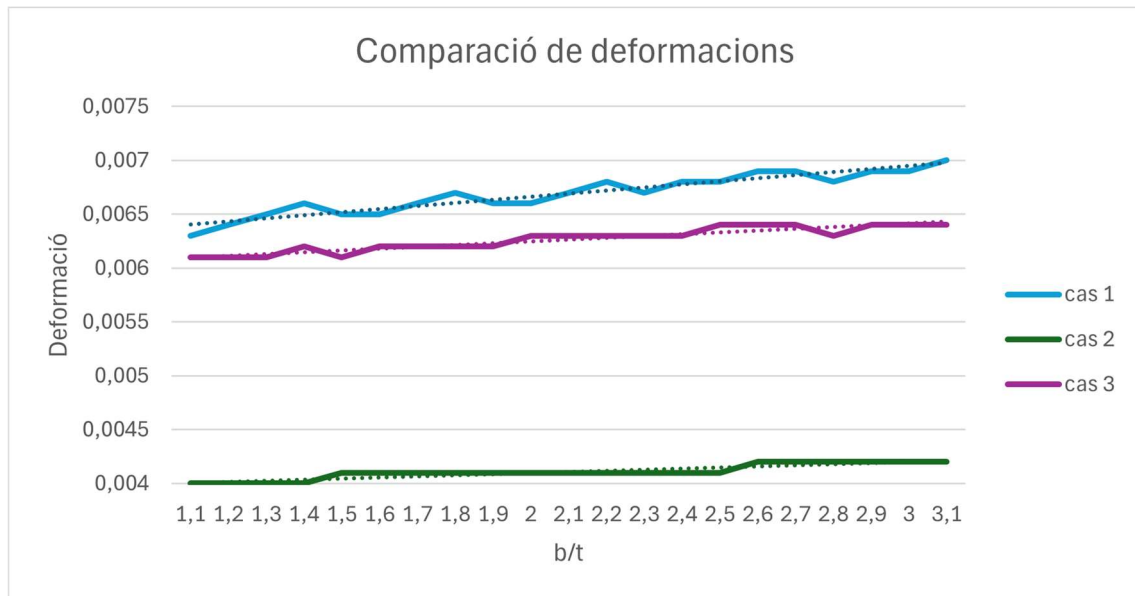


Figura 5.4. Gràfic de deformacions dels 3 casos

En el 5.4. mostra directament la deformació unitària del material. En aquest darrer gràfic es torna a veure la mateixa tendència en els tres casos, però es veu que pel cas 1 hi ha més creixement i més variació dins de la funció. Si s'observen les matrius de l'Annex G on es veuen els valors dels tres gràfics i es comparen amb els gràfics observats en l'Annex D, es veu que en aquestes matrius s'ha perdut detall del valor real de la deformació, ja que les variacions entre una i altra són molt petites.

Aquest gràfic permet apreciar que la deformació augmenta a mesura que augmenta la relació (secció més rectangular), però ho fa en variacions molt reduïdes que no suposen una limitació per a les consideracions preses.

6. CONCLUSIONS

En conclusió s'ha assolit l'objectiu de desenvolupar un algoritme de càlcul basat en Matlab per trobar la relació una relació entre el gruix i l'amplada del nucli òptima del dissipador CDC-BRB (*Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace*) que permet el mínim cost tenint en compte les despeses de material i fabricació.

Aquest algoritme té en compte la formulació desenvolupada en un treball de recerca previ, publicat, i permet el dimensionament del braç considerant les restriccions de funcionament, com serien les de resistència a compressió (considerant segon ordre) i resistència a vinclament local dels seus dos extrems no restringits, així com la de deformació màxima del material.

S'ha comprovat el seu correcte funcionament contrastant resultats rellevants (veure Annex D), com ara volum de material, resistència a vinclament global i local, allargament unitari màxim, amb els obtinguts amb la mateixa formulació amb un full EXCEL, verificant que els valors són molt similars i que no hi ha diferències. En aquestes comprovacions s'ha estudiat l'algoritme en tres braços sota diferents condicions de contorn (estructura on s'allotgen) i diferents capacitats.

Com a conclusions derivades dels resultats, es pot veure que, conforme augmenta la relació b/t , s'observa que la resistència a anàlisi global augmenta. Això es deu a que per una mateixa força màxima, establerta com a condició inicial del problema, l'augment de la relació b/t demana perfils tubulars més grans, amb major capacitat resistent major a flexió, i major estabilitat a compressió en segon ordre.

Al mateix temps, es veu que la resistència a vinclament local disminueix per relacions elevades entre "b" i "t". Donat que la longitud de vinclament es troba condicionada per la deformació del braç a tracció, aquesta es mantindrà pràcticament constant en cada cas. La variable del moment d'inèrcia del nucli juga un paper fonamental en la càrrega crítica, el moment augmenta linealment amb l'amplà "b", però al exponencialment (al cub) en relació al gruix "t", per tant és esperable que un augment de la relació entre "b" i "t" generi pèrdua de resistència a vinclament local, tal com mostren els resultats.

Segons els resultats obtinguts, es pot veure que el valor de relació òptima per minimitzar el cost es troba per valors de "i" (relació entre "b" i "t") entre 1.4 i 2.

Aquest algoritme ha estat capaç de treballar amb diversos casos, completament diferents entre ells, i donar resultats vàlids en cada un d'aquests; per tant es pot considerar que l'algoritme compleix totalment l'objectiu presentat a l'inici del treball.

El programa actual permet la optimització del braç en condicions de cost amb casos de disseny ben definits i límits de funcionament clars. Tot i així, hi ha limitacions i treballs que permetrien resultats més amplis i la consideracions addicionals en la restricció.

Per obtenir resultats més amplis, aquest motor de càlcul es podria utilitzar conjuntament amb altres algoritmes d'optimització per una més ràpida convergència. En aquest cas el rang de forces i deformacions acceptades podrien ser majors i els seus resultats ser més representatius.

En treballs futurs es podria estudiar la influència en les variables de cost, com ara materials, mà d'obra i costos de fabricació, adaptant-los a les condicions de diferents mercats.

Per obtenir un resultat més ajustat a la realitat, s'hauria de tenir en compte també la incidència de la pressió del nucli en la resposta en tensions i en deformacions del mateix tub, i en les forces de fricció desenvolupades. En aquest sentit ja es disposava de les equacions necessàries per fer-ho, però el temps ha estat limitant.

7. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document 1. Memòria i Annexos

Annex A: Introducció als dissipadors d'energia sísmica

Annex B: Càlculs

Annex C: Descripció de l'algoritme

Annex D: Verificacions

Annex E: Codi de l'algoritme

Annex F: Matrius utilitzades en el codi

Annex G: Matrius resultants pels 3 casos d'estudi

Document 2. Pressupost

Annex A: Annex del pressupost

8. BIBLIOGRAFIA

Abdulqader Al-sheikh, ASCE 7-16 Provisions for Lateral Drift Determination. Structure. Juliol del 2019. <https://www.structuremag.org/?p=14696>. Consulta 9 de març del 2024.

Aïllador sísmic en edifici: JH soluciones integrales. Dispositivos de control de respuesta sísmica para estructuras en concreto. Ingeniería Estructural. 2022 <https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/dispositivos-de-control-de-respuesta-sismica-para-estructuras-en-concreto>. Consulta 17 de maig del 2024.

Aportació degut a l'aïllador sísmic: <https://globalingenieros.com/aisladores-y-disipadores-de-energia/>. Consulta 10 de maig del 2024.

Braç de Vinclament Restringit en edificació: <https://tahkim-fit.com/en/strengthening-the-building/>. Consulta el 18 de maig del 2024.

Buckling Restrained Brace: https://www.researchgate.net/figure/Types-of-steel-braced-frames-Marshall-2021_fig5_346777884. Consulta 17 de maig del 2024.

D. Piedrafita, X. Cahis, E. Simon, J. Comas, A new perforated core buckling restrained brace, Eng. Struct. 85 (2015) 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.12.020>. Consulta 4 de maig del 2024.

Daniel T. Valentine. Chapter 2-Fundamentals. MATLAB Elsevier Ltd. 2010. Consultat 10 de març del 2024.

Daniel T. Valentine. Chapter 4-Functions and Data Import-Export Utilities. MATLAB Elsevier Ltd. 2010. Consultat 10 de març del 2024.

Daniel T. Valentine. Chapter 6-Matrices of Numbers and Arrays of Strings. MATLAB Elsevier Ltd. 2010. Consultat 10 de març del 2024.

Daniel T. Valentine. Chapter 8-Loops. MATLAB Elsevier Ltd. 2010. Consultat 23 de març del 2024.

Dissipador viscoelàstic components; Instal·lació dissipador viscoelàstic: DISIPA. Dissipadores de Energia. Grupo PRISMA. 2020 <http://www.disipaing.com/disipadores-energia/>. Consulta 17 de maig del 2024.

Estructura aïllador sísmic: Grupo Grasa. Aisladores Sísmicos, Estabilización de terrenos, Excavaciones Zaragoza, Firmeza Solutions, La tecnología de la construcción. 15 de maig 2020. <https://grupograsa.es/como-funcionan-los-aisladores-sismicos-de-los-edificios/>. Consulta 4 de maig del 2024.

Marco A. Torres. Sistemas de disipación passiva de energia sísmica. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2009.

<https://www.imcyc.com/revistacyt/en11/ingenieria.htm#:~:text=Aisladores%20s%C3%ADsmicos&text=Existen%20b%C3%A1sicamente%20dos%20tipos%20de,de%20diversos%20tipos%20de%20estructuras>. Consulta 4 de maig del 2024.

Matrius IPE: <https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html>. Consulta 23 de març del 2024.

Ressonància: <https://www.mecapedia.uji.es/pages/resonancia.html>. Consulta 5 de maig del 2024.

SkyCiv. A guide to Story Drift. 16 d'agost del 2021. <https://skyciv.com/technical/story-drift-guide/>. Consulta 9 de març del 2024.

TADA element; Comportament TADA en un sisme; ADA element; Comportament ADA en un sisme: <http://www.disipaing.com/wp-content/uploads/2021/06/ficha-tecnica-dispositivos-histereticos.pdf>. Consulta 18 de maig del 2024.

¹X. Cahís, et al. A new Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace. Journal of Building Engineering. 2023. [A new Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace - ScienceDirect](#). Consulta 1 de febrer del 2024.

9. GLOSSARI

Abreviació	Definició
BRB	<i>Buckling-Restrained Brace</i>
CDC-BRB	<i>Coplanar Dual Core Buckling-Restrained Brace</i>
IDR	<i>Inter-Story Drift</i>
G_T	Gruixos de xapa estàndard
Fy	Força aplicada al sistema
fy	Resistència a fluència del material
fu	Resistència última del material
L	Longitud biga
H	Alçada estructura
Hb	Alçada perfil IPE
T_a	Tipus acer
T_IPE	Tipus de IPE
ecmax	Deformació màxima acceptable del nucli
s	Distància vertical entre el final de la biga i l'inici del braç
t	Gruix de xapa
b	Amplada de la secció de treball
i	Relació entre gruix i amplada de la secció de treball
r	Radis interiors del nucli
cnt	Comptador de iteracions
Ac	Àrea de treball
w	Quocient entre fu i fy
fi	Angle d'inclinació del braç
de	Diàmetre cercle nucli
R	Radi exterior nucli
h	Amplada del nucli
Ded	Fletxa lateral generada a causa del IDR
δed	Fletxa lateral generada a causa del IDR
Co	Distància entre el centre del forat i l'inici del tub
C	Distància entre el centre del forat i l'inici del forat del nucli
Llb	Distància total del forat interior
Ler	Longitud del tub
Lb	Distància entre centres del forat
Ls	Distància on es canvia de secció en el centre del nucli

Lwp	Distància entre la intersecció biga pilar a l'altre extrem
Y	Distància entre la intersecció biga pilar fins al centre del forat
Ly	Longitud que es considera que deforma (longitud efectiva)
ec	Deformació del nucli
v	Coeficient de Poisson
v	Coeficient de Poisson
hf	Dada fixe de l'alçada mínima del tub
hv	Dada variable de l'alçada mínim del tub
htmin	Alçada mínima requerida del tub
htub	Alçada del tub
btub	Base del tub
ttub	Gruix del tub
bcm	Base mínima passamà calibrat
tcm	Gruix mínim passamà calibrat
bc	Base passamà calibrat
tc	Gruix passamà calibrat
Ry	Relació entre el límit elàstic previst i el mínim especificat
E	Mòdul de Young
eo	Excentricitat de
gy	Espai entre el nucli i el tub
gz	Espai entre el nucli i el passamà
lypass	Inèrcia en l'eix y del passamà
lzc	Inèrcia en l'eix z del passamà
lyc	Inèrcia en l'eix y del passamà aplicat Steiner
Yytub	Distància des del centre del tub fins a l'eix z
lytub	Inèrcia en l'eix y del tub
lztub_ss	Inèrcia en l'eix z del tub sense Steiner
Atub	Àrea del tub
lztub	Inèrcia en l'eix z del tub aplicat Steiner
lzcore	Inèrcia en l'eix z del nucli
lycore	Inèrcia en l'eix y del nucli
lytot	Inèrcia total en l'eix y
lztot	Inèrcia total en l'eix z

Ymax	Distància màxima en l'eix y
Yzmax	Distància màxima en l'eix z
Wytot	Mòdul resistent en l'eix y
Wztot	Mòdul resistent en l'eix z
Cm	Càrrega a compressió
Ped	Càrrega de càlcul
egz	Excentricitat en l'eix z
egy	Excentricitat en l'eix y
Pcry	Càrrega crítica en l'eix y
Pcrz	Càrrega crítica en l'eix z
Medz	Moment de càlcul en l'eix z
Medy	Moment de càlcul en l'eix y
ResZ	Divisió entre el moment de càlcul en z i el producte entre el mòdul resistent en z i la resistència a fluència
ResY	Divisió entre el moment de càlcul en y i el producte entre el mòdul resistent en y i la resistència a fluència
resultat_gb	Resultat vinclament global
Lo	Longitud útil per vinclament local
Pcr_lb	Càrrega crítica vinclament local
resultat_lb	Resultat vinclament local
As	Àrea nucli sense tallar
An	Àrea de tall del nucli
At_core	Àrea total nucli
Vt_core	Volum total nucli
At_tub	Àrea total tub
Vt_tub	Volum total tub
At_c	Àrea total passamà calibrat
Vt_c	Volum passamà calibrat
c_mv	Cost nucli variable
c_tub	Cost tub per quilogram
c_c	Cost passamà calibrat per quilogram
c_m	Cost nucli per quilogram
densitat	Densitat de l'acer en g/cm ³
Mcore	Massa del nucli
Mtub	Massa del tub

Mc	Massa del passamà calibrat
Mbrut	Massa del nucli abans del tall
Mtot	Massa total del braç
Cost_M	Cost associat a la massa
L_tall	Longitud de tall
v_tall	Velocitat de tall
t_tall	Temps de tall
Cost_P	Cost de producció
Cost_tot	Cost total

ANNEXOS

ANNEX A: INTRODUCCIÓ ALS DISSIPADOR D'ENERGIA SÍSMICA

Per tal d'evitar el sismes s'utilitzen una varietat de dissipadors d'energia, els quals basen el seu funcionament en diversos principis. A continuació es mostren aquests elements.

Primerament, trobem una opció per edificis de baixa alçada; col·locant aïlladors sísmics a la part inferior d'aquests, és pot separa l'estructura dels moviments del terra. Aquests elements consten d'elements flexibles entre l'estructura i els seus fonaments, disminuint la rigidesa de l'estructura, generant així un benefici en cas de sisme. Al mateix temps redueixen les vibracions produïdes pel sisme. En la figura A.1. es pot veure un exemple d'aïllador sísmic amb la seva estructura interna; a la figura A.2. s'observa la col·locació en edificis i en la figura A.3. es pot apreciar el benefici que genera la utilització d'aquest element.



Figura A.1. Estructura aïllador sísmic



Figura A.2. Aïllador sísmic en edifici

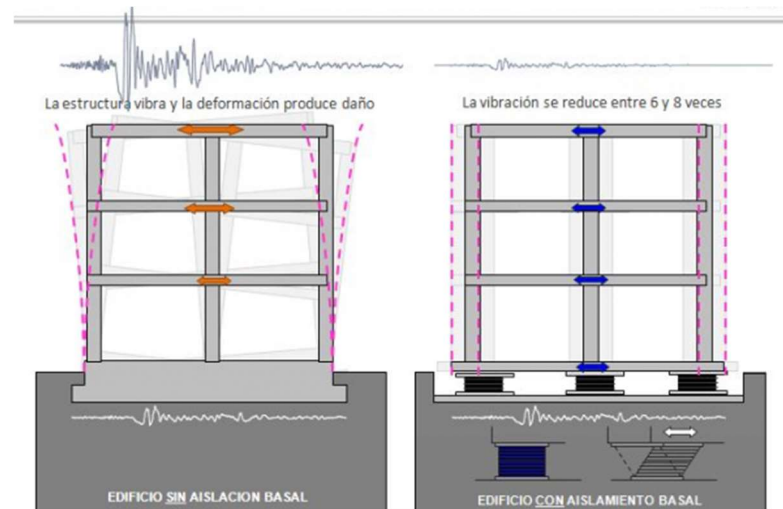


Figura A.3. Aportació degut a l'aïllador sísmic

Per estructures amb alçades elevades no es pot utilitzar aquest tipus de dissipador, per aquests casos s'utilitzen dissipadors d'energia; aquests poden basar el seu funcionament en dos comportaments diferents, comportament histèric o viscoelàstic.

Els dissipadors viscoelàstics treballen amb sòlids i fluids viscoelàstics, normalment venen acompanyats d'un pistó. Aquests s'instal·len a les diagonals metàl·liques de l'estructura i dissipen part de l'energia sísmica reduint els moviments i les forces laterals de l'estructura, la força que transmeten aquests depèn de la velocitat de l'estructura i no aporten rigidesa al sistema. En la figura A.4. es veu el tipus de dissipador del qual s'ha parlat i a la figura A.5. s'observa la instal·lació d'aquest.

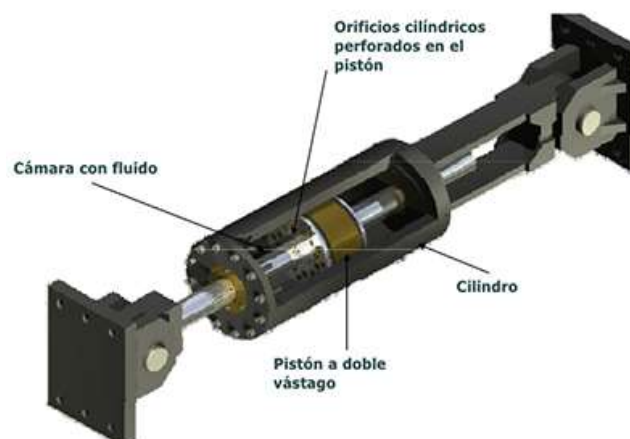


Figura A.4. Dissipador viscoelàstic components

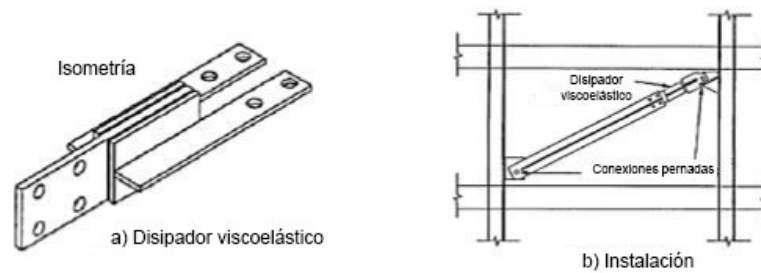


Figura A.5. Instal·lació dissipador viscoelàstic

Figura A.8. ADA element

Per altra banda es troben els dissipadors d'energia mitjançant que treballen mitjançant el fenomen de la histèresis, és a dir, dissipen l'energia mitjançant la deformació plàstica de l'element. Per tal de reduir els efectes del sisme en l'estructura, s'aporta un element que serà el que pateixi la deformació, d'aquesta manera s'evita la possible falla de l'edifici i s'absorbeix l'energia del sisme.

De dispositius dissipadors d'energia mitjançant histèresis hi ha una gran varietat, com per exemple els tipus TADAS (veure figura A.6. i A.7.), TADAS (veure figura A.8. i A.9.) o Braços de Vinclament Restringit (*Buckling Restraining Braces, BRBs*), el qual s'observa a continuació en la figura A.10., en la figura A.11. el es pot veure la col·locació en un edifici real.



Figura A.6. TADA element

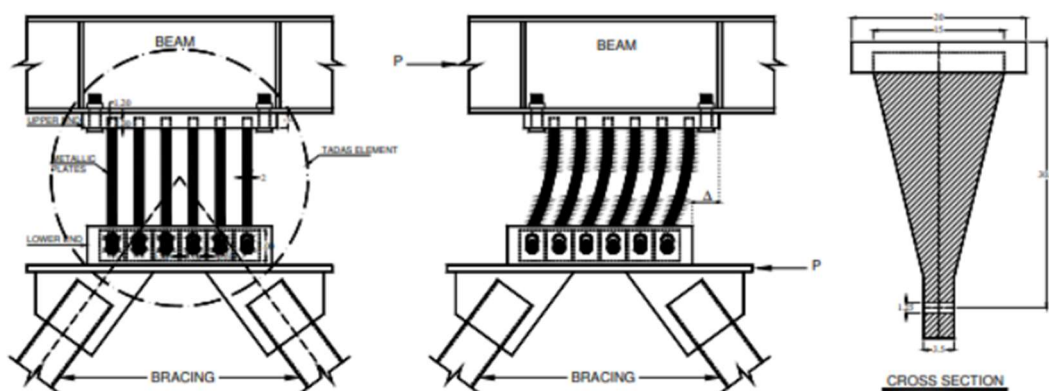


Figura A.7. Comportament TADA en un sisme

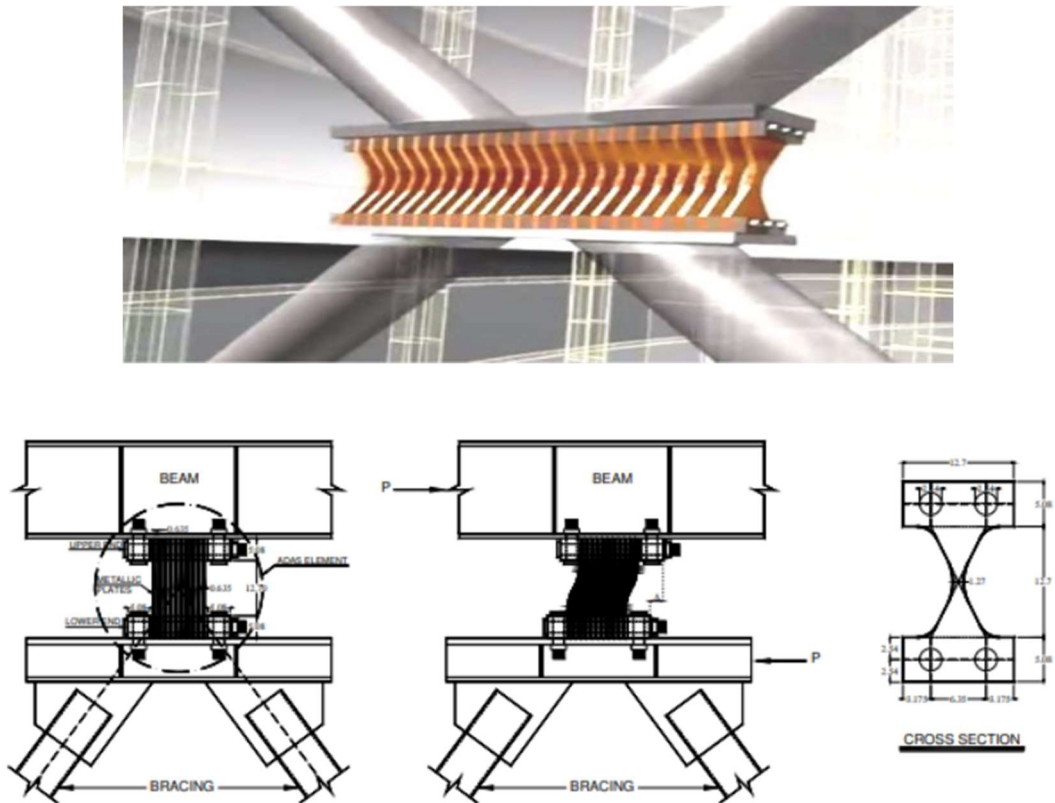


Figura A.9. Comportament ADA en un sisme

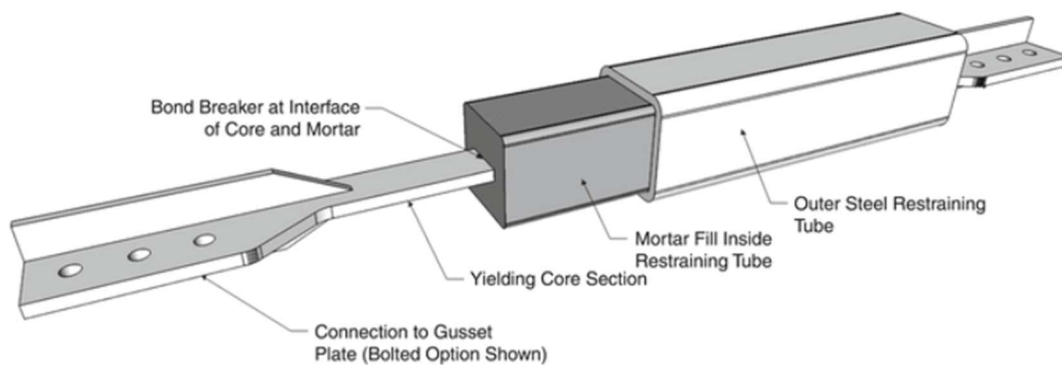


Figura A.10. Buckling Restrained Brace



Figura A.11. Braç de Vinclament Restringit en edificació

Aquest treball es centra en els Braços de Vinclament Restringit (BRBs).

Un Braç de Vinclament Restringit està format per un nucli d'acer, uns elements restrictius exteriors i un elements restrictius interiors; està dissenyat per dissipar l'energia del sisme mitjançant la deformació del nucli d'aquest, aquest nucli ha de ser capaç de suportar múltiples forces axials tant de compressió com tracció, ja que quan hi ha un sisme el braç treballa alternament a compressió i tracció. Com treballa a compressió s'ha de tenir en compte l'efecte del vinclament, per evitar el possible vinclament d'aquest nucli, s'afegeix un element restrictiu exterior (generalment un tub d'acer) per evitar aquest moviment, tot i així, s'ha de deixar un espai entre el nucli i l'element restrictiu degut a la deformació per compressió del nucli, aquest no pot ser ni massa gran (augmenten la amplitud de les ones generades pel vinclament) ni massa petit (treballaríem amb vinclaments de segon ordre). Al interior d'aquest tub generalment s'introdueix una quantitat de morter o formigó que es troba a l'interior del tub per mantenir estàtic el nucli.

Els braços convencionals porten una capa de elastòmer la qual redueix la fricció entre el tub i el nucli del braç, aquesta es troba abans de la capa de morter.

Els braços més nous opten per eliminar la part de morter i formigó i realitzar un braç completament format per acer, aquests s'anomenen Braços de Vinclament Restringit totalment d'acer (*all-steel Buckling Restraining Braces, all-steel BRBs*), aquests generen unes avantatges considerables sobre els convencionals, el pes, el cost de fabricació i la possibilitat de verificar i intercanviar el nucli. Però aquests tenen una dificultat, necessiten de un espai entre el nucli i l'element restrictiu molt ajustat per tal de complir la seva funció adequadament, però aquest espai és difícil de graduar a la practica; espais elevats podrien generar una força de fricció major i un espai petit impediria l'expansió en compressió del nucli. Un cas d'aquest tipus de braç és el Braç de Vinclament Restringit amb Nucli Perforat (*Perforated Core Buckling Restrained Brace, PC-BRB*), separat en dos bandes laterals d'acer unides per ponts estabilitzants; es pot apreciar aquest braç en la figura A.12. Aquest element es troba en l'estudi "A new perforated core buckling restrained brace", esmentat a la bibliografia.

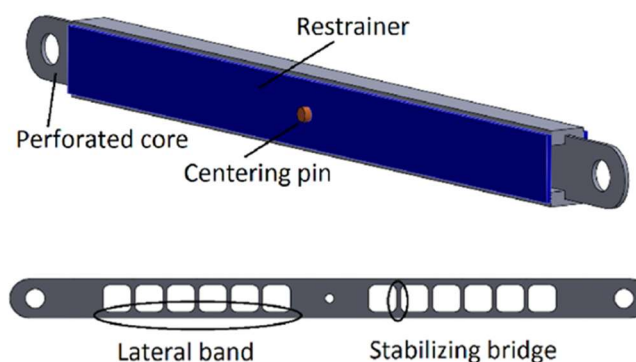


Figura A.12. Perforated Core Buckling Restrained Brace

Aquest ha demostrat tenir un bon rendiment en els estudis i el seu comportament amb la dissipació d'energia es pot predir senzillament, però encara té possibilitat de millora

El braç en el que es basa aquest estudi, té la intenció de millorar els aspectes febles d'aquest braç, aquest s'anomena Braç de Vinclament Restringit amb un Doble Nucli Coplanar (*Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace, CDC-BRB*) i ha estat desenvolupat al grup de Recerca AMADE. El CDC-BRB és un dissipador d'acer dissenyat per esser molt competitiu al mercat, donat que és pot mecanitzar amb processos CAM i permet l'ús de un component de restricció tubular amb paret molt prima, lleuger, ja que el nucli dissipador, dual i coplanar, situa la pressió del nucli plastificat a compressió prop de la zona rígida del tub, als seus laterals. Per treure el màxim rendiment del dissipador, però, cal no només reduir el pes del dissipador, sinó també el cost del mecanitzat, i sempre sense deixar de complir amb el requeriments d'estabilitat i capacitat dissipativa, altament exigents. En aquest context, treure un braç amb mínim cost que satisfaci els requeriments estructurals i de fatiga requereix de processos d'optimització elaborats, aquest treball es basarà en aquest braç. Es pot veure el braç esmentat en les figures A.13. i A.14.

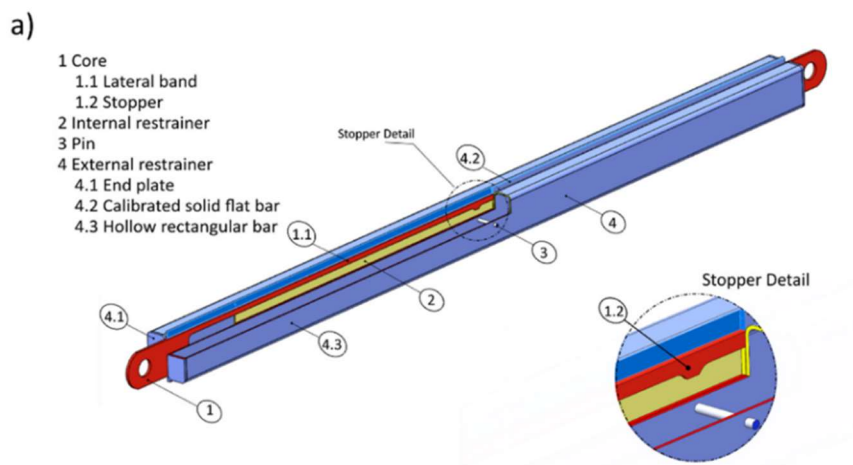


Figura A.13. Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace

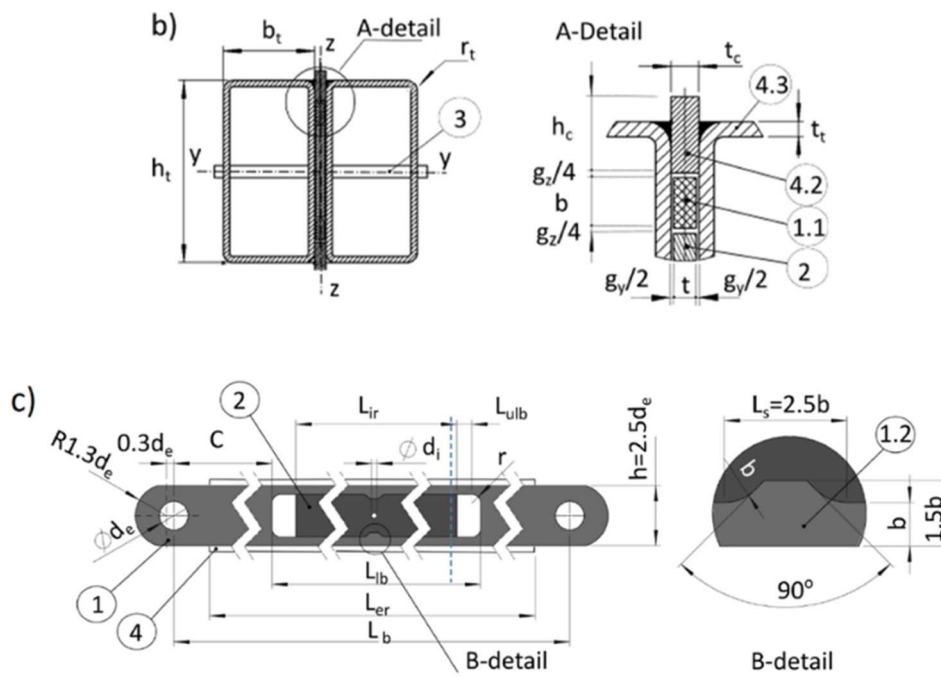


Figura A.14. Coplanar Dual Core Buckling Restrained Brace secció i nuclí

ANNEX B: CÀLCULS

L'algoritme generat segueix aquest annex per realitzar l'optimització del braç.

B.1. Càlculs geomètrics

Primerament es calcula la geometria del braç, iniciant per la geometria del nucli. Donada una força “Fy”, un acer determinat (“fy” i “fu”), condicions de contorn (“L”, “H” i “IPE”), el valor del Inter-Story Drift (“IDR”) i certs paràmetres (“beta”, “chi”, “ecmax” i “s”) s'inicien els càlculs.

Segons la equació B.1 es troba el valor de l'àrea de treball “Ac”, aquesta servirà per trobar els valors de “b” i “t” per cada valor de “i”. Fy és introduïda en kN.

$$Ac = \frac{1}{2} * \left(\frac{Fy * 1000}{fy} \right) \quad (B. 1)$$

Seguidament, en les equacions B.2 i B.3 es calculen els valors de “w” (o “w”) i el valor de “φ” (o “fi”), els quals seran útils per trobar altres valors geomètrics.

$$w = \frac{fu}{fy} \quad (B. 2)$$

$$fi = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L} \right) \quad (B. 3)$$

A continuació es comença a calcular les variables del nucli, l'equació B.4 dona el valor del gruix del nucli “t” i, tenint en compte el valor de relació “i”, a l'equació B.5 es calcula el valor de l'amplada de l'àrea efectiva “b”.

$$t = \sqrt{\frac{Ac}{i}} \quad (B. 4)$$

$$b = t * i \quad (B. 5)$$

Un cop definides aquestes variables es pot calcular la resta de la geometria del nucli; l'equació B.6 dona el valor del diàmetre “de”, l'equació B.7 el valor del radi exterior “R”, l'equació B.8 el valor de l'amplada “h” del nucli, l'equació B.9 el valor de “δed” (o “Ded”), amb aquestes dades es calcula el valor de “Co” (equació B.10) i “C” (equació B.11).

$$de = (beta * w * b) * \frac{3}{4} \quad (B. 6)$$

$$R = 1.3 * de \quad (B. 7)$$

$$h = 2.5 * de \quad (B. 8)$$

$$Ded = IDR * H * \cos(fi) \quad (B. 9)$$

$$Co = (1.6 * de) + (chi * Ded) \quad (B. 10)$$

$$C = 2 * (Co + (chi * Ded)) \quad (B. 11)$$

A continuació es calcula la longitud de diverses part del nucli tals com la longitud “Lwp” (equació B.12), la longitud “Y” (equació B.13), la longitud del forat del nucli “Lb” (equació B.14), la longitud “Ls” del canvi de secció (equació B.15) i la longitud efectiva de deformació “Ly”, equació B.16.

$$Lwp = \sqrt{H^2 * L^2} \quad (B. 12)$$

$$Y = \frac{((1.6*de) + \frac{Hb}{2} + s)}{\sin(fi)} \quad (B. 13)$$

$$Lb = Lwp - 2 * Y \quad (B. 14)$$

$$Ls = 2.5 * b \quad (B. 15)$$

$$Ly = Lb - Ls - 2 * r \quad (B. 16)$$

Amb tota aquesta geometria calculada es pot calcular la deformació del nucli “ec”, aquesta es calcula a l'equació B.17.

$$ec = IDR * \frac{\sin(2*fi)}{2} * \frac{Lwp}{Ly} \quad (B. 17)$$

Un cop definida la geometria del nucli, es calcula la geometria de la resta del braç, primerament el tub; es calcula l'alçada mínima per poder extreure de la taula la resta de valors. Aquesta alçada depèn de dos components, l'alçada fixa “hf” i l'alçada variable “hv”, sumades generen l'alçada mínima “hmin”; es poden veure aquestes tres variables en les equacions B.18, B.19 i B.20 respectivament.

$$hf = h + (0.26 * v * b) \quad (B. 18)$$

$$hv = (2 * 2 * ttub) + (2 * 1.5 * ttub) \quad (B. 19)$$

$$hmin = hf + hv \quad (B. 20)$$

Per altra banda, per trobar les dimensions del passamà, es calcula l'amplada mínima (“bcm”) d'aquest, aquest es calcula seguint l'equació B.21.

$$bcm = (2 * ttub) + (1.5 * ttub) \quad (B. 21)$$

B.2. Càlculs de resistència

Finalitzat el càlcul de la geometria es calcula la resistència del braç, primerament es calcula la força de treball, a l'equació B.22 es calcula la força màxima de compressió i a l'equació B.23 es calcula la càrrega de treball.

$$Cm = w * beta * Fy \quad (B. 22)$$

$$Ped = Ry * Cm \quad (B. 23)$$

Seguidament es calcula l'excentricitat en els dos eixos ("egy" i "egz") per tal de calcular el moment generat per aquesta càrrega. Aquests valors es poden trobar seguint les equacions B.24 i B.25 respectivament.

$$egy = \frac{3}{2} * gy \quad (B. 24)$$

$$egz = \frac{3}{2} * gz \quad (B. 25)$$

Els valors de "gy" i "gz" segueixen les equacions B.26 i B.27.

$$gy = 0.13 * v * t \quad (B. 26)$$

$$gz = 0.26 * v * t \quad (B. 27)$$

Definides les excentricitats, es calculen els moments de càlcul, prèviament però, es calculen las càrregues crítiques en ambdós eixos, de tal manera que en l'equació B.28 es troba el valor de la càrrega crítica en l'eix y ("Pcry"), en l'equació B.29 la càrrega crítica en l'eix z ("Pcrz") i en les equacions B.30 i B.31 es troben les formules de "Medy" i "Medz" respectivament.

$$Pcry = \pi^2 \frac{E * I_y}{Lb^2} \quad (B. 28)$$

$$Pcrz = \pi^2 \frac{E * I_z}{Lb^2} \quad (B. 29)$$

$$Medy = \frac{Ped * (egy + eo)}{1 - \left(\frac{Ped}{Pcry} \right)} \quad (B. 30)$$

$$Medz = \frac{Ped * (egz + e)}{1 - \left(\frac{Ped}{Pcrz} \right)} \quad (B. 31)$$

On el valor de "eo" es una mil·lèsima part de Lb en mil·límetres.

Per verificar el càlcul de resistència a vinclament global s'utilitza l'equació B.33.

$$\frac{Medy}{Wy * fy} + \frac{Medz}{Wz * fy} \leq 1 \quad (B. 33)$$

On el mòdul resistent segueix l'equació B.34.

$$W = \frac{I}{y_{max}} \quad (B. 34)$$

Realitzada la comprovació per vinclament global, s'inicia la comprovació a vinclament local, per fer-ho es calcula la longitud de vinclament local "Luc" (o "Lo"), aquesta es calcula segons la equació B.35. Seguidament es calcula la càrrega crítica a vinclament local ("Pcr_lb"), aquesta es calcula seguint l'equació B.36.

$$Lo = (Co + (chi * Ded)) \quad (B. 35)$$

$$Pcr_lb = \pi^2 \frac{E * I_{zcore}}{(\alpha * Lo)^2} \quad (B. 36)$$

Essent “alfa” igual a 2. S'estudia la carrega crítica sobre l'eix z ja que és el més feble.

B.3. Càlculs de cost

Finalment, es calcula el volum, pes i cost del braç. En el cas del nucli, s'utilitza l'equació B.37 per trobar l'àrea del nucli sense tallar, l'equació B.38 per l'àrea a tallar, l'equació B.39 per l'àrea total i l'equació B.40 per trobar el volum total net.

$$A_s = (L_b * 2 * R) + (R^2 * \pi) \quad (\text{B. 37})$$

$$A_n = (L_y * (2 * R - t)) + (L_s * (2 * R - (t + r))) + ((R - t - r) * 4 * r) + (2 * r^2 * \pi) + \left(\frac{de^2}{2} * \pi\right) \quad (\text{B. 38})$$

$$A_{t_core} = A_s - A_n \quad (\text{B. 39})$$

$$V_{t_core} = A_{t_core} * t \quad (\text{B. 40})$$

Pel tub s'utilitzen les equacions B.41, B.42 i B.43 per calcular la longitud, l'àrea i el volum del tub respectivament.

$$L_{er} = L_b - 2 * (C_o + (chi * D_{ed})) \quad (\text{B. 41})$$

$$A_{t_tub} = 2 * (b_{tub} * h_{tub}) - 2 * ((b_{tub} - 2 * t_{tub}) * (h_{tub} - 2 * t_{tub})) \quad (\text{B. 42})$$

$$V_{t_tub} = A_{t_tub} * L_{er} \quad (\text{B. 43})$$

Per calcular el volum del passamà s'utilitza les equacions B.44 i B.45 per calcular l'àrea i volum respectivament; es considera la mateixa longitud que pel tub.

$$A_{t_c} = 2 * b_c * t_c \quad (\text{B. 44})$$

$$V_{t_c} = A_{t_c} * L_{er} \quad (\text{B. 45})$$

Un cop calculats tots els volums es calcula la massa de cada element i el cost associat al total del braç. En l'equació B.46 es calcula la massa bruta del braç “Mcore”, a l'equació B.47 es calcula la massa del tub “Mtub” i a l'equació B.48 es calcula la massa del passamà. Es suposa una densitat de l'acer de 7.85 g/cm³.

$$M_{core} = V_{t_core} * densitat / 10^{-6} \quad (\text{B. 46})$$

$$M_{tub} = V_{t_tub} * densitat / 10^{-6} \quad (\text{B. 47})$$

$$M_c = V_{t_c} * densitat / 10^{-6} \quad (\text{B. 48})$$

La massa total segueix l'equació B.49.

$$M_{tot} = M_{core} + M_{tub} + M_c \quad (\text{B. 49})$$

Per calcular el cost és necessari calcular la massa bruta del nucli “Mbrut”, aquesta és la massa del nucli abans del tall; per trobar-la s'utilitza l'equació B.50. El cost total associat a la massa (“Cost_M”) segueix l'equació B.51.

$$M_{core} = (Lb + 2.6 * de) * h * t * densitat / 10^{-6} \quad (B. 50)$$

$$Cost_M = (M_{brut} * c_m) + (M_{tub} * c_{tub}) + (M_c * c_c) \quad (B. 51)$$

Tenint en compte que “c_m” és el cost associat a la massa del nucli, “c_tub” el cost associat a la massa del tub i “c_c” el cost associat a la massa del passamà.

Tot seguit es calcula el cost associat a la producció, es pren com a cost de producció 100 €/h. Segons l'equació B.52 es troba la longitud a tallar. Per saber el temps de tall és necessari saber la velocitat de tall, aquesta es calcula a l'equació B.53 i, segons l'equació B.54 es pot trobar el temps de tall. Un cop trobat el temps, amb l'equació B.55 es troba el cost associat a la producció (“Cost_P”).

$$L_{tall} = \frac{(2 * \pi * de) + (4 * \pi * r) + 2 * Ly + 2 * (h - 2 * r - 2 * b)}{1000} \quad (B. 52)$$

$$v_{tall} = 34.205 * t^{-1.178} \quad (B. 53)$$

$$t_{tall} = \frac{L_{tall}}{v_{tall} * 60} \quad (B. 54)$$

$$Cost_P = t_{tall} * 100 \quad (B. 55)$$

Finalment, el cost final segueix l'equació B.56.

$$Cost_{tot} = Cost_M + Cost_P \quad (B. 56)$$

B.4. Càlculs per gràfics de resistència

Per finalitzar l'annex, s'utilitza l'equació B.57 per representar el vinclament global i l'equació B.58 per representar el vinclament local.

$$\left(1 - \left(\frac{Medy}{Wy * fy} + \frac{Medz}{Wz * fy} \right) \right) * 100 \quad (B. 57)$$

$$Ped / Pcr_{lb} \quad (B. 58)$$

ANNEX C: DESCRIPCIÓ DE L'ALGORITME

C.1 Consideracions i abast

Aquest algoritme està dissenyat per treballar amb gruixos de xapa estàndard, ja que valors no estàndards no podrien ser obtinguts amb facilitat. Aquests valors permeten que el codi treballi amb valors discrets en comptes de continu. Es veuen els gruixos de xapa estimats per la funció en la taula C.1.

Taula C.1. Gruixos de xapa (mm)

4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	30	35	40	50
---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Per realitzar les diferents iteracions, el que es varia en cada una és el valor de la relació entre les variables “t” i “b”, d’aquesta manera es pot observar, sota la mateixa força i condicions de contorn, quin tipus de secció és més convenient, si una més quadrada (relació de 1, “t” igual a “b”) o una més rectangular (relació de 3, “b” igual a tres cops “t”); els valors d’aquesta relació variaran entre 1 i 3.

Al mateix temps, es consideren únicament 4 tipus d’acers, els acer estructurals més comuns. D’aquesta manera, en funció del tipus d’acer sol·licitat s’obtinran uns resultats o altres, de la mateixa manera, si es decideix per optar per un acer que no es trobi en aquesta funció, es prendrà el immediatament superior, menys si és superior al màxim, en aquest cas es suposaria el valor màxim de la matriu.

Degut a que la resistència del material depèn en part del gruix de la xapa utilitzada, la matriu d’acers verifica quin gruix de xapa és necessari per resistir la força i comprova la resistència a fluència de la xapa a estudiar; aquest càlcul permet més exactitud en el moment de fer l’optimització. Seguidament, es pot observar la taula C.2., on es defineix la matriu d’acer.

Taula C.2. Matriu ACER

	Tipus Acer / fy₁ (MPa)	fy₂ (MPa)	fy₃ (MPa)	fu (MPa)	Cost variable
Gruix	<16 mm	16-40 mm	>40 mm		
Acer 1	235	225	215	360	1
Acer 2	275	265	255	410	1.05
Acer 3	355	345	335	470	1.15
Acer 4	450	430	410	550	1.25

Per unificar les condicions de contorn, és a dir, la geometria de les bigues, el codi pren una llibreria de IPEs amb els valors comuns d'aquests, el valor mínim és de 80 i el màxim de 600, obtenint una gran varietat. La persona que executi el codi sol·licitarà una IPE per la biga i la funció, de mateixa manera que amb l'acer, proporcionarà la immediatament superior per realitzar els càlculs.

Les geometries del tub i del passamà calibrat, venen definides per matrius i els valors depenen dels obtinguts a la geometria del nucli. D'aquesta manera, variant els valors de la relació ("i"), i per tant de "t" i "b", s'obtingran diferents geometries del tub i passamà per una mateixa força i condicions de contorn; com variarà la geometria, variarà el cost.

Finalment, es considera que l'acer té una densitat de 7.85 g/cm^3 , un cost fixe de 1€/kg per gruixos de xapa menors de 10mm i de 0.86€/kg per xapes amb un gruix major; per altra banda es té en compte un increment del 5% per cada varietat de qualitat d'acer. Pel que fa al passamà es considera un cost fix de 0.8€/kg i pel tub es pren un cost de 1€/kg per gruixos menors de 5mm, de 1.1€/kg per gruixos menors de 12mm i un cost de 1.2€/kg per la resta. Al mateix temps, es té en compte un cost de tall de 100 €/h, on es contempla l'amortització de la màquina, el cost de tallar la peça amb làser, el cost del treballador i el cost de la soldadura.

Per simplificar el càlcul, es suposen valors raonables a certes variables, aquestes consideracions es poden veure en la taula C.3.

Taula C.3. Consideracions de càlcul

Beta (β)	1.15	Chi (ξ)	1.1
Deformació màxima (ε_c)	0.025 mm	s	10 mm
Ry	1	Coefficient de poisson (μ)	0.5
Mòdul de Young (E)	$2 \cdot 10^5$ MPa		

C.2 Dades de disseny i condicions que ha de complir el braç dissenyat

L'algoritme necessita d'una sèrie de dades per iniciar el càlcul d'optimització, aquestes dades són sol·licitades pel codi i aquestes han d'estar introduïdes amb la magnitud esmentada en cada cas.

Primerament es demana quin cas es vol estudiar, s'ha de introduir un valor numèric, preferiblement els valors haurien de ser 0, 1 i 2; en cas que s'introduïssin valors inferiors es suposaria cas 0 i si es demanes un valor superior es prendria el cas 2 com a referència. El cas 0 pren les dades de l'exercici exemple, per tant no demanarà cap altre input; el cas 1 suposa una disposició dels braços com la del exercici previ (longitud de càlcul és la meitat de la de la biga) i cas 2 suposa una disposició del braç com un sol en tota l'estructura (longitud de càlcul pren el valor de la longitud de biga). A la figura C.1. es pot veure els dos casos amb les seves disposicions.

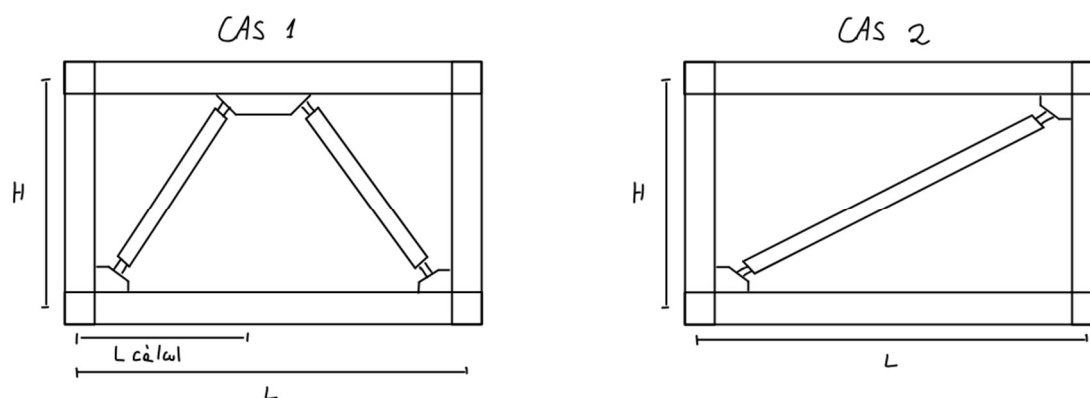


Figura C.1. Casos d'estudi

Seguidament, es demana el valor de la força que es pretén que suporti el braç (F_y) en kN, aquesta serà determinant per calcular la resistència. No és calculada per l'algoritme.

Un cop definida la força, es demana el valor de l'acer que es vol utilitzar, entre S235 i S430, seguint la matriu esmentada anteriorment; el codi realitzarà una comprovació per verificar que el valor d'acer és un dels 4 possibles, en cas contrari s'utilitzarà el més convenient segons les

consideracions esmentades prèviament. Amb el valor de l'acer es defineix la resistència a fluència (f_y) i la resistència última (f_u).

A continuació es defineix les condicions de contorn, primerament es requereix el valor del perfil de la biga, suposada IPE. Es seguirà el mateix procediment que amb l'acer. A més del perfil, és necessari definir l'alçada i la longitud de l'estructura a estudiar.

Finalment, es demana el valor del Inter-Story Drift (IDR); generalment prendrem un valor de 0.1.

Després de introduir tots els valors necessaris, s'inicia el càlcul d'optimització; aquest consta de diversos criteris per assegurar l'estabilitat del braç.

Per començar, s'estudiaran els criteris de geometria. Delimitem el valor del gruix màxim de xapa en 50 mm, per tant, el valor màxim de "b" és de 155 mm, a partir d'aquests valors es calcula la geometria del nucli i, segons aquesta, es calcula la deformació màxima; la deformació permesa per acceptar la geometria es de 0.025, en cas de superar-la no s'acceptaria la geometria i es guardaria els valors d'aquesta com un conjunt de zeros (0) i es reportaria un error a la matriu d'errors, en cas de ser inferior es recolliran les dades de la geometria.

S'estudiarà també la resistència del material, de tal manera que ha de ser capaç de suportar la càrrega establerta tan a compliment global com local. Per vinclament global, la força de càlcul (P_{ed}), no pot ser superior a la força crítica en cap dels dos eixos (P_{cry} , P_{crz}); al mateix temps, la suma de la resistència en ambdós plans ha de ser inferior a 1, és a dir, ha de ser menor al cent per cent de la capacitat del material. Es recollirà un error en cas que la càrrega de càlcul sigui major que qualsevol de les càrregues crítiques. Tot i que es trobin errors, es guardaran els valors del resultat a vinclament global.

Per comprovar el vinclament local es prendrà com a premissa que la càrrega de càlcul (P_{ed}) sigui menor que la càrrega crítica a vinclament local (P_{cr_lb}). En cas que sigui superior es recollirà un conjunt de zeros (0) pels valors de resistència local i global, en cas contrari es guardaran aquests valors.

C.3 Descripció del funcionament de l'algoritme

L'algoritme s'inicia amb la funció "*Optimitzacio ()*", aquesta és la funció principal i la resta de subfuncions depenen dels valors que generi. En la figura C.2 es veu el diagrama de flux d'aquest. Aquesta funció és la principal de l'algoritme i on es troba el bucle principal. En les figures C.3 i C.4 es troben les anotacions d'aquest diagrama.

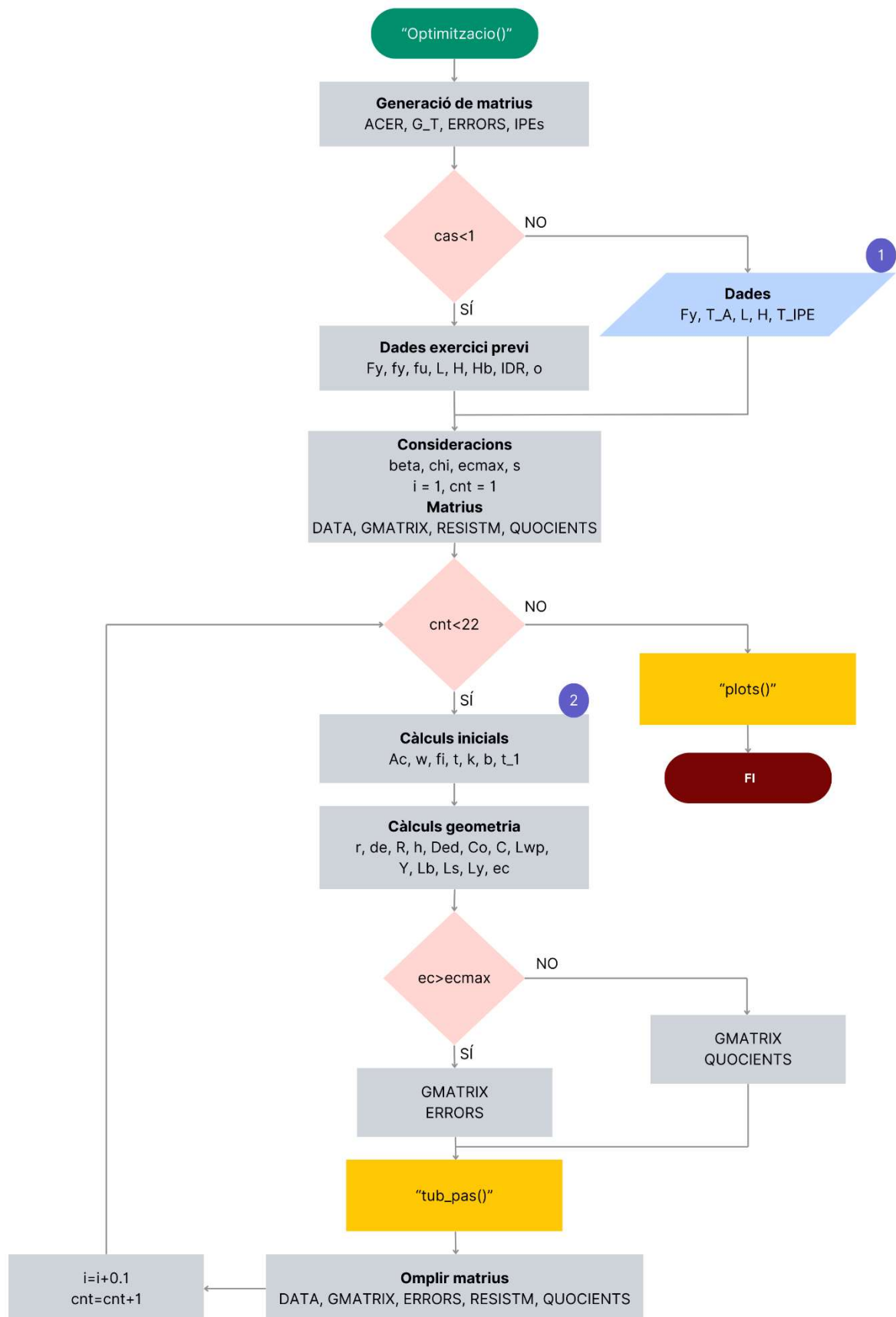


Figura C.2. Diagrama de flux funció optimització

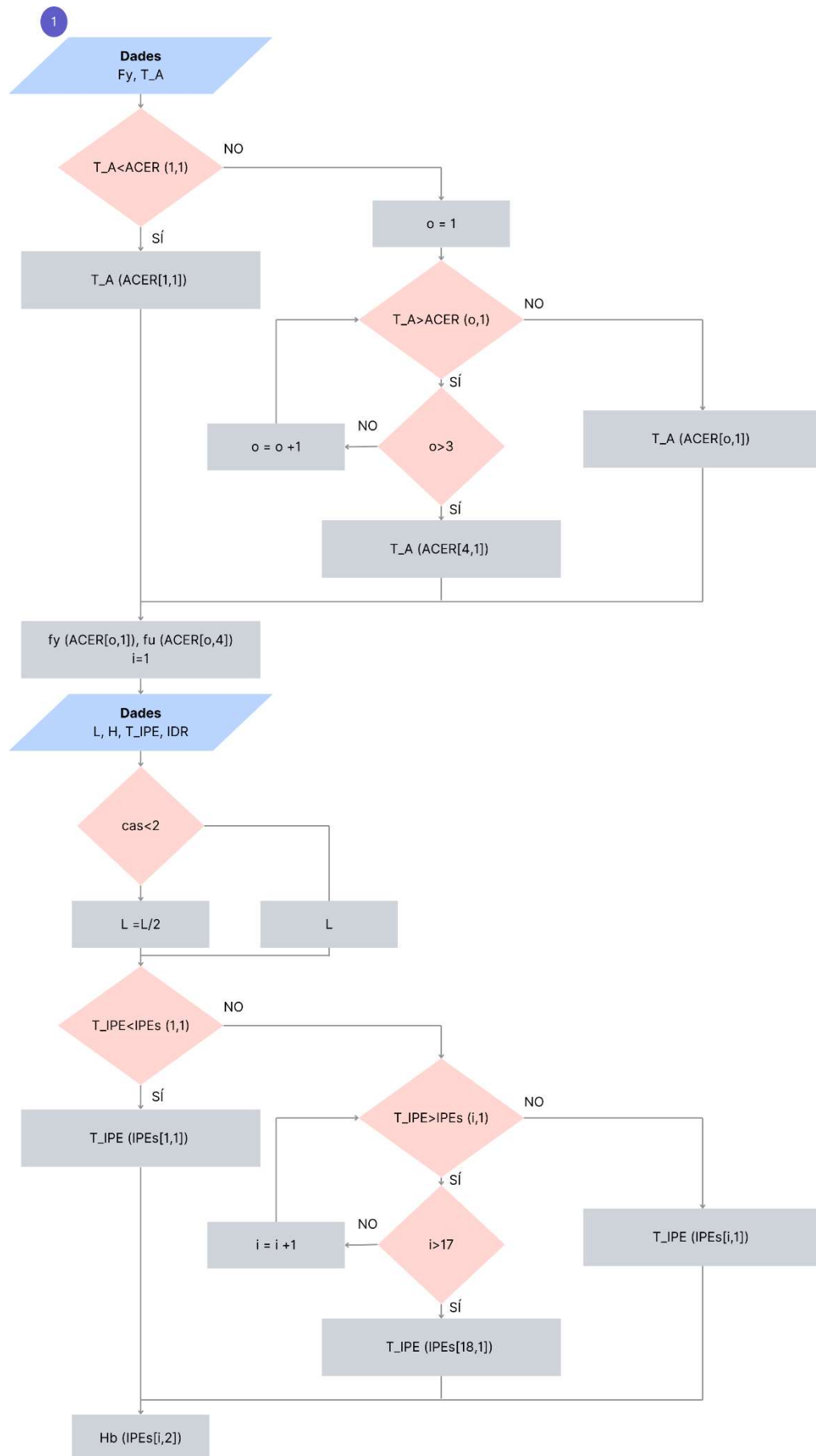


Figura C.3. Diagrama de flux primera anotació optimització

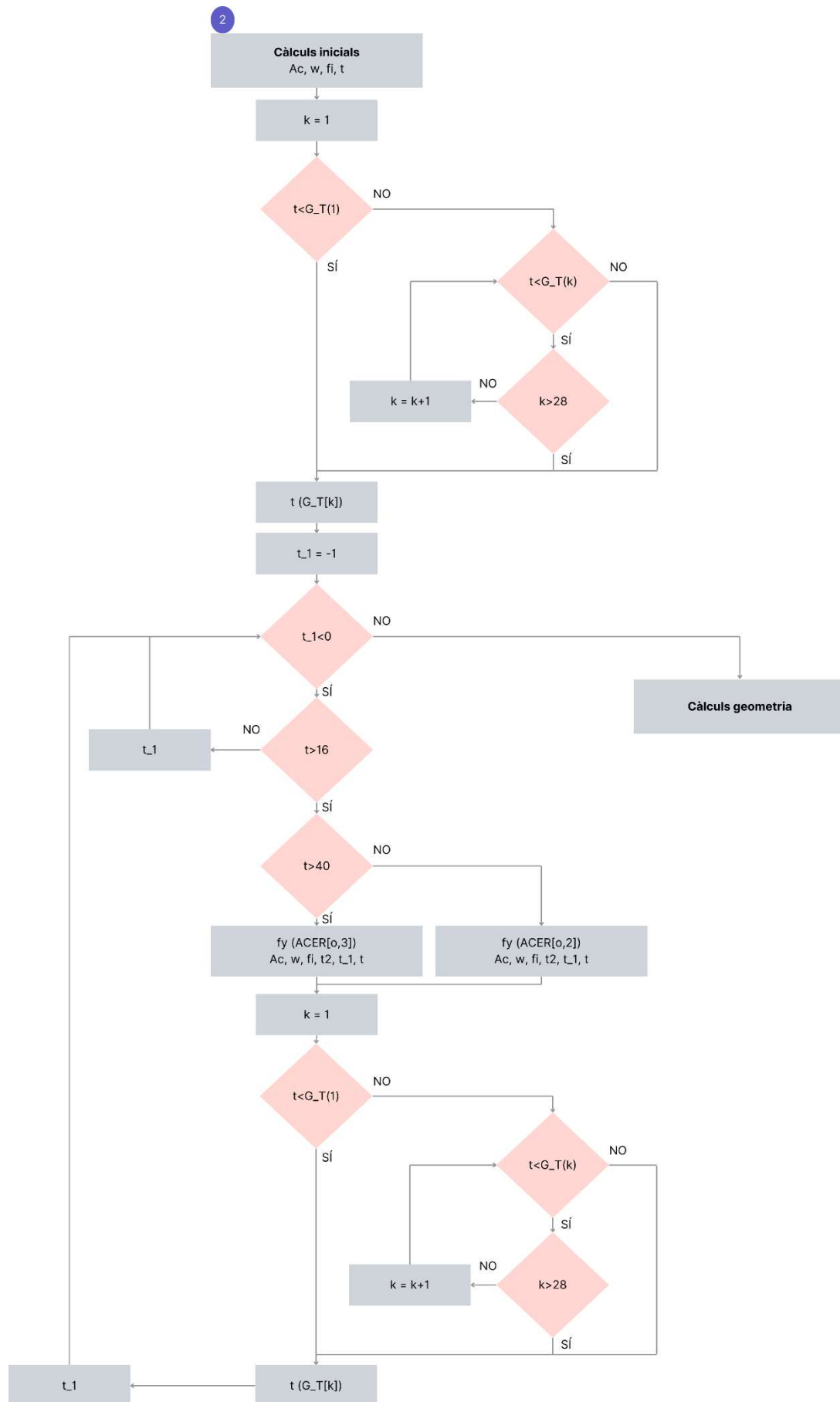


Figura C.4. Diagrama de flux segona anotació optimització

En la funció “*Optimitzacio ()*”, un cop s’han introduït tots els inputs requerits, es defineixen totes les matrius necessàries per la realització de la pròpia optimització, aquestes les veiem en la taula C.4.

Taula C.4. Matrius optimització

ERRORS	Recull errors que poden succeir en certes funcions
DATA	Recull valor de interès del braç
GMATRIX	Recull valors de la geometria del braç (nucli, tub i passamà)
RESISTM	Recull valors de resistència per càlcul de vinclament local i global
QUOCIENTS	Recull relacions entre diverses variables, tals com resistència-cost o resistència-deformació.

Totes aquestes matrius es generen plenes de zeros (0) i es van omplint de dades a partir dels diferents bucles. En la primera fila de totes aquestes matrius es recollirà el valor de la relació “i” corresponent.

Un cop definides, es determina el bucle general, es defineix el valor de “i” (1) i es genera un comptador (“cnt”) que gestionarà les iteracions requerides, en aquest cas es defineix un màxim de 21 iteracions. Dins aquest bucle es realitzaran la resta de càlculs.

Primerament es determinarà el gruix real de “t”, donant-li un valor real de mercat. Segons el valor obtingut, es comprovarà el valor de l’acer, i es re calcularà el valor de “t” fins a obtenir l’acer definit i el gruix de xapa en el mateix interval esmentat anteriorment. Ja definit el valor de “t” i “fy” s’inicien els càlculs de geometria, on s’obtenen els resultats de la taula C.5.

Taula C.5. Resultats geometria

Geometria calculada	GMATRIX
t	(2,cnt) = t
b	(3,cnt) = b
de	(4,cnt) = de
R	(5,cnt) = R
h	(6,cnt) = h
Co	(7,cnt) = Co
C	(8,cnt) = C
Lwp	(9,cnt) = Lwp
Lb	(10,cnt) = Lb
Ly	(11,cnt) = Ly
ε_c	(12,cnt) = ε_c

D'aquesta manera es recull tota la geometria d'interès en aquesta matriu; en cas que fos major, es recollirà un error en el punt ERRORS (6,cnt) i en cas contrari es recollirà el valor de ε_c en la matriu QUOECIENTS (3,cnt) per tal de, en una subfunció, determinar la relació entre altres variables i la deformació.

Per acabar aquesta funció, s'executa la subfunció "*tub-pas ()*" que es realitzaran la resta de càlculs; en la funció "*Optimitzacio ()*" es recuperen les matrius inicial i s'introdueixen el valor de "i" en la posició (1,cnt) per tenir cada punt d'estudi amb les dades corresponents. Finalment es suma al valor de la relació un increment de 0.1 i al comptador un increment de 1 fins a arribar a 22 i tancar el bucle, de tal manera que s'hauran generat 21 iteracions diferents que es veuran en la subfunció "*plots ()*".

Definida la geometria del nucli, l'algoritme cercarà la geometria del tub i passamà; per trobar-la s'executa la subfunció "tub_pas ()". En aquesta subfunció es calcula la geometria dels elements restrictius en funció de la geometria calculada anteriorment; en la figura C.5 es troba l'esquema del diagrama de flux d'aquesta subfunció.

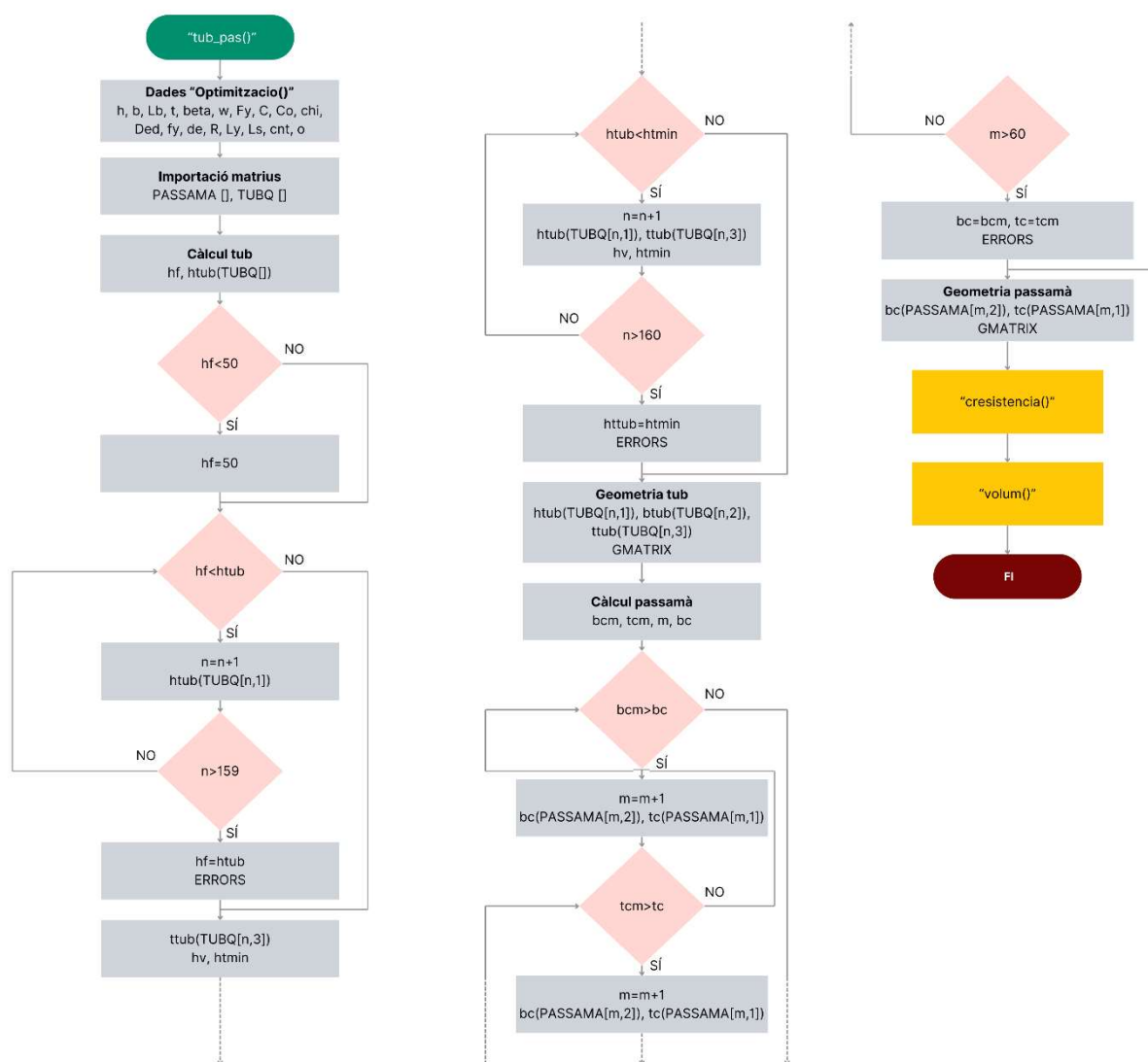


Figura C.5. Diagrama de flux subfunció tub_pas

Aquesta subfunció s'inicia important des de l'EXCEL al Matlab les taules del tub i passamà calibrat, un cop importades, aquestes es converteixen en dos matrius, la matriu "PASSAMA" i la matriu "TUBQ".

Primerament es busca la geometria del tub, per fer-ho buscarem a la taula el valor de l'alçada del tub ("htub"), aquesta depèn de dues variables, una part fixa que depèn de la geometria del nucli i una part variable que depèn del mateix gruix del tub, en la figura C.6. s'aprecia un esquema de la geometria del tub.

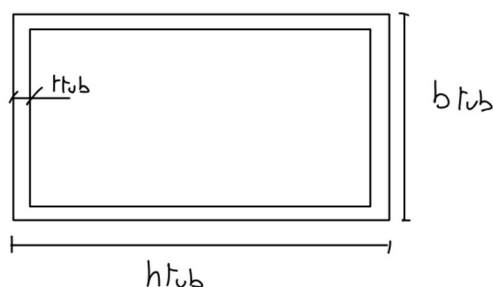


Figura C.6. Dimensions del tub

Es genera un bucle on es defineix com a “n” cada iteració i, aquesta, determina la fila de la matriu en la que estem buscant les dades. S'estudia primerament la part fixe i es busca en la matriu un valor immediatament superior al calculat, d'aquesta manera es redueix carrega de càlcul i simplifica el codi. Un cop ens trobem en la mesura correcta, es calcula la part variable i es defineix una nova variable, la “hmin”, la qual es la suma de les dues altres variables; per tal de poder trobar una geometria concreta, la “htub” ha de ser superior a aquesta mínima. En cas que aquesta mesura compleixi els criteris, es guarda el valor de “n” i es defineixen els paràmetres del tub, aquests es poden veure a la taula C.6.

Taula C.6. Geometria del tub

Mesura	Definició en matriu “TUBQ”	Posició en matriu “GMATRIX”
htub	(n,1)	(13,cnt)
btub	(n,2)	(14,cnt)
ttub	(n,3)	(15,cnt)

En cas que es compleixin el nombre màxim de iteracions i no s'obtingui cap valor, es prendrà com a valor el màxim possible de la taula i es recollirà un error a la posició ERRORS (2,cnt).

Seguidament es defineix la geometria del passamà, en la figura C.7. es veu un esquema d'aquesta.

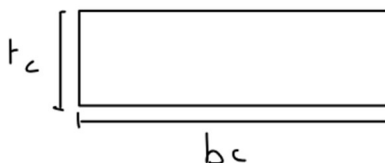


Figura C.7. Dimensions del passamà

Es realitza novament un bucle en funció d'una nova variable "m"; es defineix la base mínima del passamà ("bcm") i el gruix mínim ("tcm") del mateix, el passamà ha de complir que les seves dimensions són superior a aquestes mínimes. Per iniciar el bucle es defineix la base del passamà i la variable "m" com a 0, d'aquesta manera s'obliga a entrar si o si en el bucle tot i que es la base primera del passamà fos superior a la mínima, ja que pot ser que la base sigui superior però el gruix no. Un cop s'inicia el bucle, s'incrementa el valor de "m" en 1 per verificar el gruix mínim del passamà.

El bucle va generant iteracions fins determinar el valor de la geometria d'aquest passamà; a la taula C.7. es recull la informació que extreu aquest bucle.

Taula C.7. Geometria del passamà

Mesura	Definició en matriu "PASSAMA"	Posició en matriu "GMATRIX"
bc	(m,2)	(16,cnt)
tc	(m,1)	(17,cnt)

En cas que es compleixin el nombre màxim de iteracions i no s'obtingui cap valor, de la mateixa manera que en el cas del tub, es prendrà com a valor el màxim possible de la taula i es recollirà un error a la posició ERRORS (3,cnt).

Ja definida tota la geometria del braç (nucli, tub i passamà) s'inicia el càlcul de resistència, amb la subfunció "*cresistencia ()*", i el càlcul del volum i cost, amb la subfunció "*volum ()*". A continuació es mostra el diagrama de flux de la subfunció "*tub_pas*".

La subfunció “*cresistencia* ()” permet comprovar la resistència tan a vinclament global com local, aquesta subfunció es representa a continuació en la figura C.8.

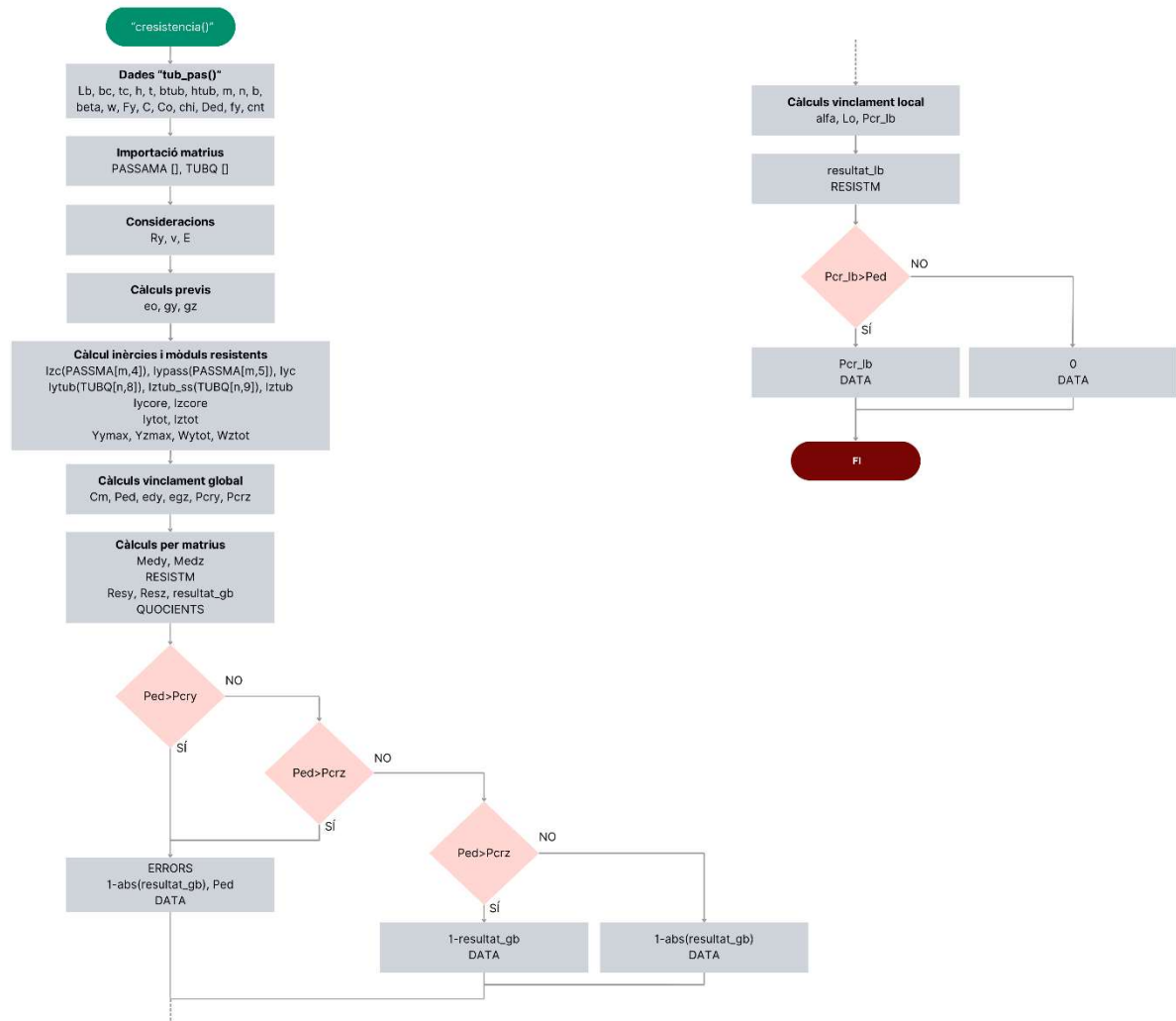


Figura C.8. Diagrama de flux subfunció *cresistencia*

Es calcula les inèrcies de tots els elements (nucli, tub i passamà) sobre els dos eixos principals, z i y , a la figura C.9. es representa un esquema on es veuen tots els elements i els respectius centre de massa amb la seva distància a l'eix corresponent.

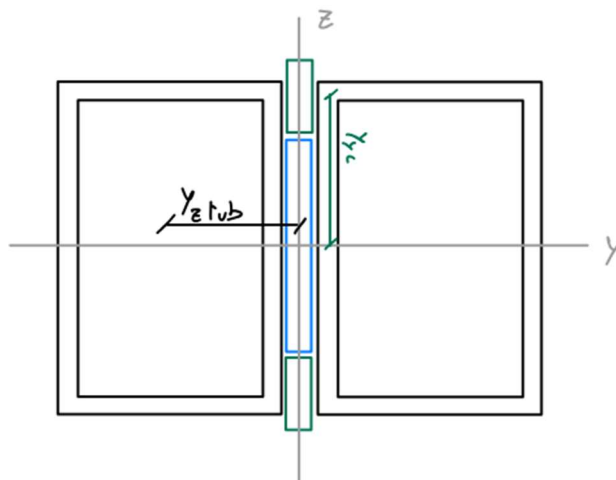


Figura C.9. Elements del braç i distàncies de centre a pla

Definides les inèrcies de cada element, es sumen i s'obtenen els valors de les inèrcies totals en cada eix. Seguidament, es calcula el mòdul resistent en els dos eixos a partir de la distància màxima i la inèrcia en cada un en la taula C.8. es recull les dades d'aquests càlculs previs.

Taula C.8. Dades càlculs previs

Mesura	Posició en matriu "RESISTM"
I_ytot	(5,cnt)
I_ztot	(6,cnt)
W_ytot	(7,cnt)
W_ztot	(8,cnt)

Amb totes aquestes dades es calcula el valor de la força de càlcul "Ped", el valor de la càrrega crítica en cada eix ("Pcry" i "Pcrz"), el moment de càlcul en els dos eixos ("Medy" i "Medz") i es calcula la resistència a vinclament global "resultat_gb". A la taula C.9. s'observa la informació que obtenim d'aquests càlculs.

Taula C.9. Dades vinclament global

Mesura	Posició en matriu "RESISTM"	Posició en matriu "DATA"
Pcry	-	(3,cnt)
Pcrz	-	(4,cnt)
Medy	(2,cnt)	-
Medz	(3,cnt)	-
resultat_gb	-	(2,cnt)

Es guardarà el valor de "resultat_gb" a la matriu QUOCIENTS () per realitzar les comparacions en altres subfuncions. En cas que "Ped" sigui superior a la càrrega crítica en algun dels dos eixos, es recollirà un error en la posició ERROR (5,cnt).

Si el resultat de vinclament global és negatiu, voldrà dir que no es compleix el criteri, per tant es guardarà el valor en la posició DATA(10,cnt) en valor absolut per tal de veure l'evolució que faria aquest element si no falles.

Pel vinclament local es compara el valor de la càrrega de càlcul "Ped" amb la càrrega crítica a vinclament local ("Pcr_lb"); si la càrrega de càlcul és inferior a la crítica, es guarda el valor de la càrrega crítica a la posició DATA (5,cnt), en cas contrari es guarda aquest valor com a 0.

Comprovat el càlcul a resistència, s'utilitza la subfunció “*volum()*” per saber quin és el volum d'aquest braç amb la intenció de conèixer el pes i el cost d'aquest. Es segueix el diagrama de flux representat en la figura C.10.

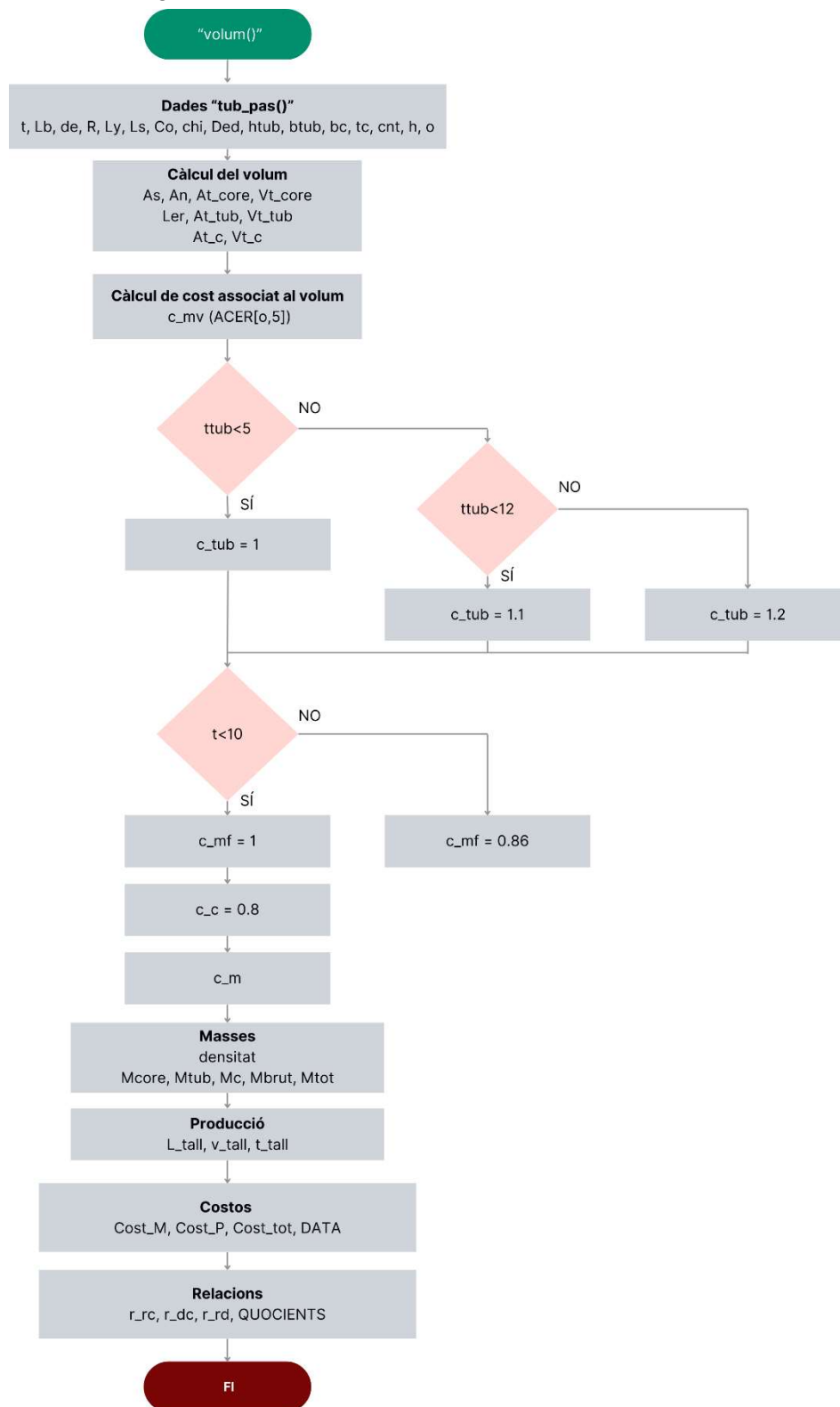


Figura C.10. Diagrama de flux subfunció volum

Per saber el volum total es calcula el volum brut de la xapa d'acer, és a dir, no és té en compte la part tallada. D'aquesta manera es coneix el volum que hem de comprar per un sol nucli; de la mateixa manera es calcula el volum del tub i del passamà. Definit el volum es calcula la massa suposant una densitat de 3.61 g/cm^3 . Es suposa que el passamà està format per un acer S235, el tub per un acer S355 i el nucli pel determinat prèviament; ja que cada element té una qualitat diferent, el preu de cada element serà diferent. Amb tots aquests valors queda definit el cost de compra dels diversos materials que formen el braç.

A continuació es calcula el preu de producció de braç, es suposa una mitja de 100 € per cada hora de treball, en aquest preu es té en compte l'amortització de la màquina, el cost de tallar la peça amb làser, el cost de la soldadura i el cost del treballador; un cop determinat el cost horari, s'ha de determinar el temps que costa produir cada braç.

Es calcula el perímetre de tall del nucli, considerant l'equació B.53. trobem la velocitat (en m/min) en funció del gruix de la xapa a tallar. Per realitzar el tall es suposa que s'utilitzarà el làser.

Determinada la velocitat de tall i el perímetre a tallar, es pot determinar el temps de tall aproximat per a cada peça i, amb aquest temps, calcular el cost de producció.

A la taula C.10. es veu els resultats d'aquesta subfunció.

Taula C.10. Valors de cost matriu DATA

Mesura	Posició en matriu "DATA"
Cost_M	(6,cnt)
Cost_P	(7,cnt)
Cost_tot	(8,cnt)

Per altra banda, també es recull el valor de la massa total del braç, després del tall, a la posició GMATRIX (18,cnt).

Per acabar aquesta funció es defineixen les diverses relacions de interès. Es relaciona la resistència amb el cost ("r_rc") a la posició QUOCIENTS (2,cnt), la relació deformació amb el cost ("r_dc") a la posició QUOCIENTS (3,cnt) i la relació resistència deformació a la posició QUOCIENTS (4,cnt).

La ultima subfunció que utilitza l'algoritme és la subfunció “*plots ()*”; aquesta recull totes les matrius emprades durant l'algoritme i les grafica per totes les iteracions, a partir d'aquesta subfunció es que es pot estudiar els resultats i prendre decisions sobre la geometria obtinguda. En la figura C.11. es veu el diagrama de flux d'aquesta subfunció.

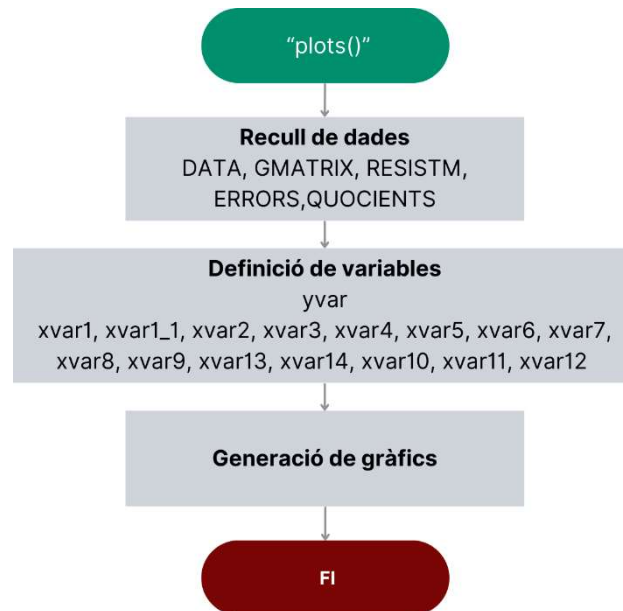


Figura C.11. Diagrama de flux subfunció plots

En aquesta subfunció es representa l'evolució de diverses variables al llarg de les diverses iteracions, en la taula C.11. es defineix cada variable i, per tant, tots els gràfics que es realitzen en aquesta subfunció.

Taula C.11. Variables representades en els gràfics

Variable	Definició
yvar	Relació b-t (iteració)
xvar1	Resultat vinclament global (B.57)
xvar1_1	Resultat vinclament global en valor absolut
xvar2	Resultat vinclament local (B.58)
xvar3	Cost total del braç (B.56)
xvar4	Cost parcial associat a la massa (B.51)
xvar5	Cost parcial associat a la producció (B.55)
xvar6	Deformació unitària del nucli (B.17)
xvar7	Error de geometria del tub
xvar8	Error de geometria del passamà
xvar9	Error de càrrega de càlcul major que càrrega crítica a vinclament global en l'eix y
xvar13	Error de càrrega de càlcul major que càrrega crítica a vinclament global en l'eix z
xvar14	Error de deformació màxima
xvar15	Quocient entre resistència i cost
xvar16	Quocient entre deformació i cost
xvar17	Quocient entre resistència i deformació

ANNEX D: VERIFICACIONS

Per tal de donar com a vàlid aquest algoritme s'han realitzat tres verificacions, dos per l'exercici previ i un per comprovar que l'algoritme treballa amb altres dades a més de les proposades per l'exercici previ. Per realitzar les verificacions s'utilitzen les matrius de l'Annex G.

D.1 Verificació geometria nucli i deformació màxima

La primera verificació es va realitzar per comprovar la geometria del nucli, per comprovar-ho s'utilitza un document EXCEL, en la taula D.1. es veuen les dades prèvies i en la taula D.2. es veuen els càlculs realitzats.

Taula D.1. Dades verificació 1

Dades			
Fy	400 kN	β	1,15
fy	225 MPa	ξ	1,1
fu	360 MPa	ω	1,6
E	200000 MPa	ϕ	0,78539816 rad
ID	35 mm	$\varepsilon_c \max$	0,025
H	3500 mm	Hc	180 mm
L	3500 mm	Hb	360 mm
IDR	0,01	s	10 mm

Taula D.2. Càlculs verificació 1

Càlculs				
Eq 1	Ac	888,888889 mm2	i	1,1
Eq 2	b	33 mm	t	28,4267622 mm
Eq 3	de	80,96 mm	t est	30 mm
Eq 4	R	105,248 mm		
Eq 5	h	202,4 mm		
Eq 6	δEd	24,7487373 mm		
Eq 7	Co	156,759611 mm		
Eq 8	C	367,966444 mm		
Eq 9	Lwp	4949,74747 mm		
Eq 10	Y	451,892145 mm		
Eq 11	Lb	4045,96318 mm		
Eq 12	Ls	82,5 mm		
Eq 13	Ly	3897,46318 mm		
Eq 14	εc max	0,00634996		

Es genera un format condicional en la deformació màxima per verificar que aquesta es troba sempre sota el màxim establert.

Si es compara aquestes dades amb el primer punt de la matriu GMATRIX, taula D.3, es pot apreciar que els resultats obtinguts per un mètode o un altre són pràcticament idèntics.

Taula D.3. Matriu GMATRIX

i	1.1
t (mm)	30
b (mm)	33.00
de (mm)	80.96
R (mm)	105.2
h (mm)	202.4
Co (mm)	156.8
C (mm)	367.9
Lwp (mm)	4950
Lb (mm)	4046
Ly (mm)	3698
ec (mm)	$6.300 \cdot 10^{-3}$
btub (mm)	100
ttub (mm)	5
htub (mm)	250
bc (mm)	60
tc (mm)	30
Mtot (kg)	332.4

Aquesta primera verificació accepta la part de la geometria de la funció degut a que els valors són molt similars.

D.2 Verificació general

Un cop verificat la geometria, s'utilitza l'EXCEL emprat per el càlcul de formació del braç, utilitzat en l'estudi previ del CDC-BRB; segons aquest EXCEL es comproven diverses relacions entre "b" i "t" per confirmar que aquest algoritme és vàlid per a qualsevol iteració del exercici previ. Amb aquest arxiu es comprova la geometria i la resistència de cada punt; a la taula D.4. es veu la taula dels valors que es volen comprovar amb aquest arxiu. La llegenda de colors emprada en tot l'EXCEL és la següent, blau per dades introduïdes manualment, groc per valor exacte, vermell per valor no exacte.

Taula D.4. Resultats de l'algoritme a comprovar

DATA					
i	1.1	1.7	1.9	2.6	3.0
resultat_gb (-)	$8.671 \cdot 10^{-1}$	$9.249 \cdot 10^{-1}$	$8.673 \cdot 10^{-1}$	$9.559 \cdot 10^{-1}$	$9.552 \cdot 10^{-1}$
Pcry (kN)	$1.771 \cdot 10^7$	$2.988 \cdot 10^7$	$2.063 \cdot 10^7$	$5.228 \cdot 10^7$	$5.185 \cdot 10^7$
Pcrz (kN)	$4.957 \cdot 10^6$	$1.497 \cdot 10^7$	$5.696 \cdot 10^7$	$3.835 \cdot 10^7$	$3.880 \cdot 10^7$
Pcr_lb (kN)	$6.639 \cdot 10^6$	$3.421 \cdot 10^6$	$2.351 \cdot 10^6$	$1.569 \cdot 10^6$	$1.119 \cdot 10^6$
GMATRIX					
de (mm)	80.96	104.3	102.5	127.6	132.5
h (mm)	202.4	260.67	256.4	318.9	331.2
Co (mm)	156.8	194.1	191.3	231.3	239.2
C (mm)	367.9	442.5	437.1	517.4	532.8
Ly (mm)	3698	3749	3760	3601	3570
RESISTM					
Medy	$5.353 \cdot 10^6$	$4.813 \cdot 10^6$	$4.651 \cdot 10^6$	$4.319 \cdot 10^6$	$4.157 \cdot 10^6$
Medz	$9.059 \cdot 10^6$	$9.474 \cdot 10^6$	$1.023 \cdot 10^7$	$1.049 \cdot 10^7$	$1.076 \cdot 10^7$
Wytot	$1.175 \cdot 10^6$	$1.343 \cdot 10^6$	$1.086 \cdot 10^6$	$1.948 \cdot 10^6$	$1.909 \cdot 10^6$
Wztot	$3.575 \cdot 10^5$	$3.999 \cdot 10^5$	$3.999 \cdot 10^5$	$1.361 \cdot 10^6$	$1.361 \cdot 10^6$

Primerament es comprovarà la geometria, a la taula D.5. s'aprecien les dades esmentades

Taula D.5. Geometria calculada per EXCEL

i	1,1	1,7	1,9	2,6	3,0	unitats
t	30	25	22	20	18	mm
Core geometry						
bmin	45	37,5	33	30	27	mm
bmax	90	75	66	60	54	mm
b	33	42,5	41,8	52	54	mm
Ac=	1980	2125	1839,2	2080	1944	mm ²
radi=	33	42,5	41,8	52	54	mm
Ls=	82,5	106,25	104,5	130	135	mm
de=	80,96	104,2666667	102,5493333	127,5733333	132,48	mm
hmin=	202,4	260,6666667	256,3733333	318,9333333	331,2	mm
hmax=	404,8	521,3333333	512,7466667	637,8666667	662,4	mm
h_c	202,4	260,6666667	256,3733333	318,9333333	331,2	mm
Ael=	6072	6516,666667	5640,213333	6378,666667	5961,6	mm ²
K_A=	0,326086957	0,326086957	0,326086957	0,326086957	0,326086957	
K_Amax=	0,326086957	0,326086957	0,326086957	0,326086957	0,326086957	
K_Amin=	0,163043478	0,163043478	0,163043478	0,163043478	0,163043478	
Co_min=	156,7596111	194,0502777	191,3025444	231,3409444	239,1916111	mm
Cmin=	367,9664443	442,5477776	437,052311	517,129111	532,8304443	mm
Ly=	3230,227128	2952,616891	2973,072382	2675,006653	2616,562393	mm

Ly/Lb max=	0,79838273	0,749302106	0,753008065	0,697521766	0,686255598	
Lymàx=	5135	5135	5135	5135	5135	mm
KL=Ly/Lb=	1,269166271	1,303137677	1,300572578	1,338977705	1,346775641	
Ly/Lwp=	1,037426663	1,037426663	1,037426663	1,037426663	1,037426663	

Segons les dades descrites en l'anterior apartat es pot veure que tots els valors compleixen, a excepció de la Lymàx. Aquesta diferencia és deguda a que s'han pres diferents conceptes per la seva definició; tot i així, com la resta de valors son exactes i aquest valor no es gaire diferent al obtingut per l'algoritme, es pot donar per valida la geometria.

Seguidament es comprova les càrregues crítiques a vinclament global i local, aquests valors es veuen a la taula D.6.

Taula D.6. Comprovació carregues crítiques amb EXCEL

i	1.1	1.7	1.9	2.6	3.0	
Global buckling						
Pcr_y=	1,38E+07	2,71E+07	1,79E+07	5,01E+07	5,01E+07	N
Pcr_z=	4,92E+06	1,47E+07	5,68E+06	3,83E+07	3,88E+07	N
lambda_y=	0,411089	0,318527	0,358385	0,272267	0,270676	
lambda_z=	0,68736	0,432953	0,636913	0,31134	0,307657	
Local Buckling						
alfa	2	2	2	2	2	
Luc=	367,9664	442,5478	437,0523	517,1291	532,8304	mm
Iz_core=	455400	339409,7	227488,6	212622,2	160963,2	mm ⁴
Pcr_uc=	6,64E+06	3,42E+06	2,35E+06	1,57E+06	1,12E+06	N

En aquest cas es veu que totes les dades estudiades són pràcticament iguals, en el cas de la càrrega crítica en l'eix y hi ha una petita diferencia, aquesta és deguda a que en el càlcul en Matlab es té en compte la distància del nucli al moment de calcular la inèrcia, com a l'EXCEL no es té en compte, aquesta inèrcia varia lleugerament i varia, per tant, la carrega crítica.

Finalment, per acabar aquesta validació, es comprova la resistència total del braç, a la taula D.7. es troben els valors extrets de l'arxiu esmentat.

Taula D.7. Comprovació resistència a vinclament global

Global Buckling - resistència						
Fyd,ER=	225	225	225	225	225	Mpa
gy=	1,95	1,625	1,43	1,3	1,17	mm
gz=	4,29	5,525	5,434	6,76	7,02	mm
egy=	2,925	2,4375	2,145	1,95	1,755	mm
egz=	6,435	8,2875	8,151	10,14	10,53	mm
e0y=	4,045963179	3,940489245	3,948261009	3,835015312	3,812810274	mm
e0z=	4,045963179	3,940489245	3,948261009	3,835015312	3,812810274	mm
Wely=	9,13E+05	1,22E+06	9,44E+05	1,87E+06	1,85E+06	mm3
Welz=	3,55E+05	7,11E+05	3,99E+05	1,36E+06	1,36E+06	mm3
MEdy=	5,42E+06	4,83E+06	4,68E+06	4,32E+06	4,16E+06	N.mm
MEdz=	9,07E+06	9,47E+06	1,02E+07	1,05E+07	1,08E+07	N.mm
Eq. A-12	0,1398916	0,07678257	0,136052138	0,04453864	0,045166585	<=1
inversa	0,8601084	0,92321743	0,863947862	0,95546136	0,954833415	

En la última verificació es comprova que tots els valors es troben dins del rang estimat i, per tant, que l'algoritme és capaç de satisfer els càlculs sol·licitats i donar resultats concloents.

La última columna ha estat col·locada manualment per tal de poder comprovar el resultat, essent aquesta la diferència entre 1 i el valor extret de l'equació prèvia; de la mateixa manera que en l'annex de càlcul.

D.3 Verificació per casos aleatoris

Per assegurar que el codi és capaç de satisfer altres condicions inicials que no siguin les inicials, es compara els valors obtinguts per l'exercici previ amb dos casos diferents, amb condicions inicials diferents.

Es consideren dos casos, les dades d'aquests es troben a la taula D.8.

Taula D.8. Valors dels diferents casos d'estudi

Cas d'estudi	Força "Fy" (kN)	Acer	Longitud "L" (mm)	Alçada "H" (mm)	IPE	IDR	Cas
1 (previ)	400	235	7000	3500	360	0.01	0
2	200	235	4000	5000	380	0.01	1
3	600	450	5000	4000	480	0.01	2

Amb aquests valors es realitza l'algoritme i s'obtenen els resultats esmentats en anteriors capítols, per comparar els resultats s'observaran els gràfics 1 (vinclament global), 2 (vinclament local), 4 (cost total), 6 (errors), 7 (relació resistència-cost), 8 (relació deformació-cost) i 9 (relació resistència-deformació).

En la figura D.1. es veu la comparativa de resultats del vinclament global entre el cas previ i el cas D.2., de la mateixa manera, en la figura 2 es comparen els resultats entre els cas previ i el cas 3.

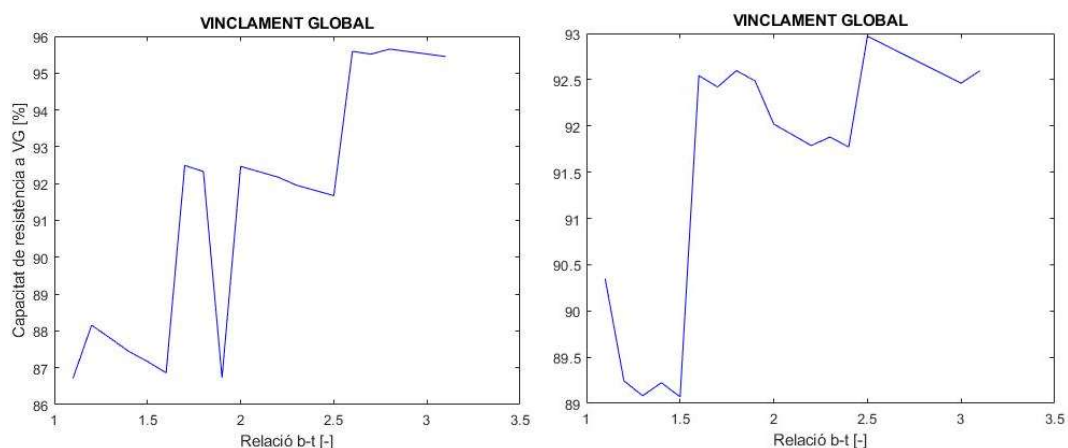


Figura D.1. Vinclament global cas 1 i 2

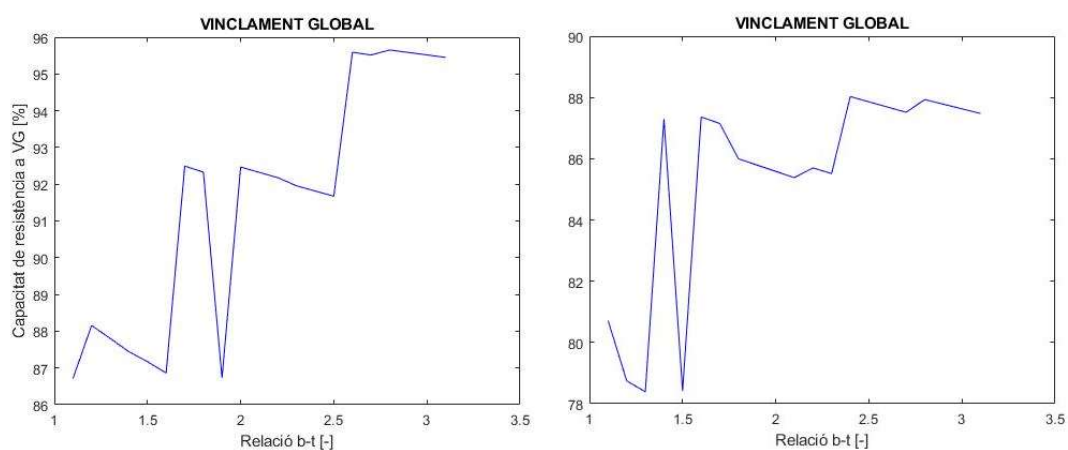


Figura D.2. Vinclament global cas 1 i 3

De la mateixa manera, en les figures D.3. i D.4. es veu la comparativa del vinculament local.

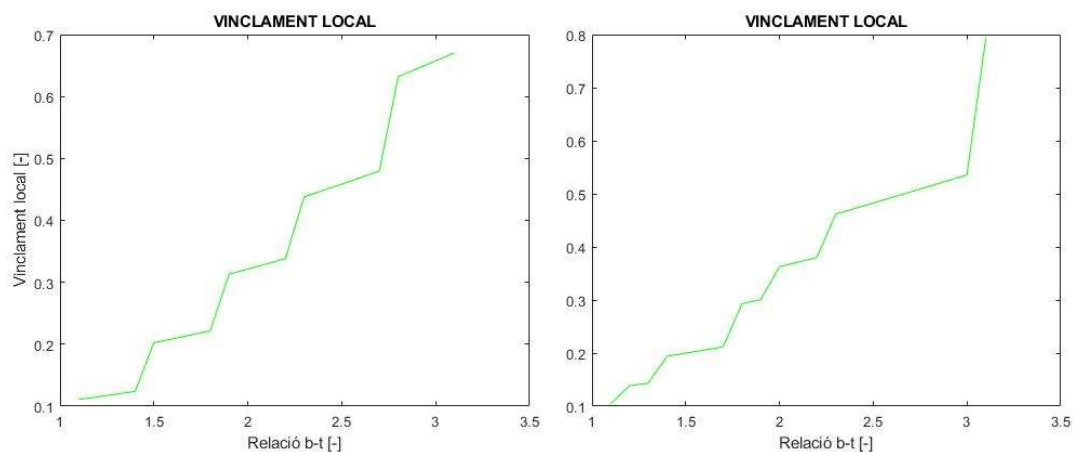


Figura D.3. Vinculament local cas 1 i 2

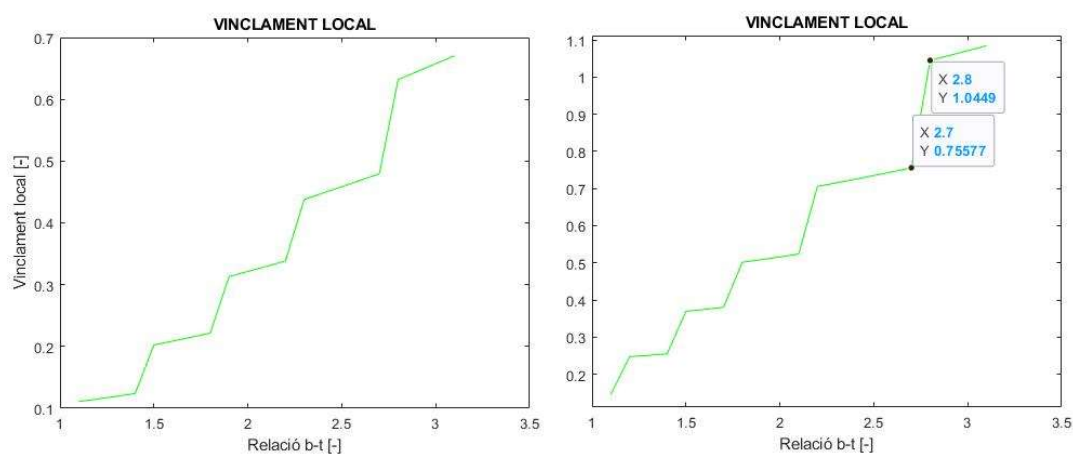


Figura D.4. Vinculament local cas 1 i 3

Seguidament, s'observen la comparativa de la deformació del nucli; en la figura D.5. es veu la comparativa entre el cas 1 i 2, i en la figura D.6. es veu la comparativa entre el cas 1 i 3.

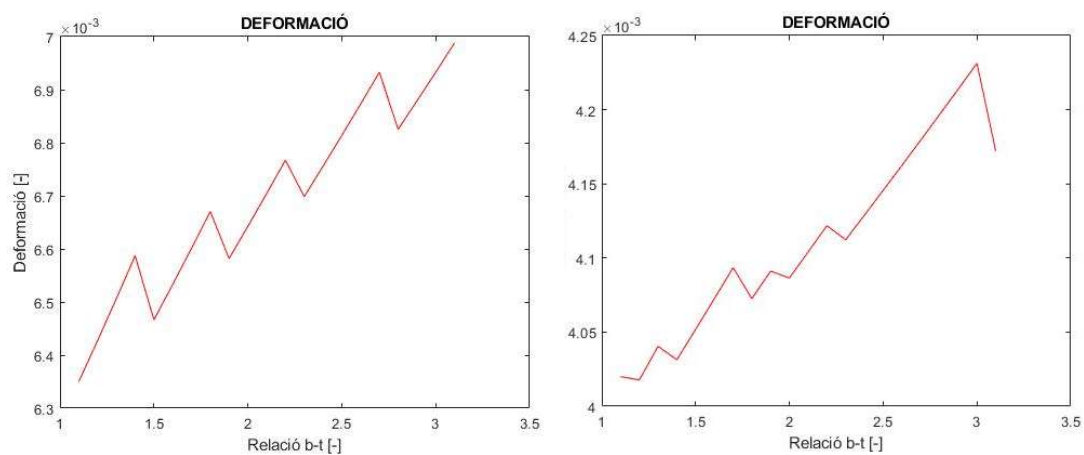


Figura D.5. Deformació cas 1 i 2

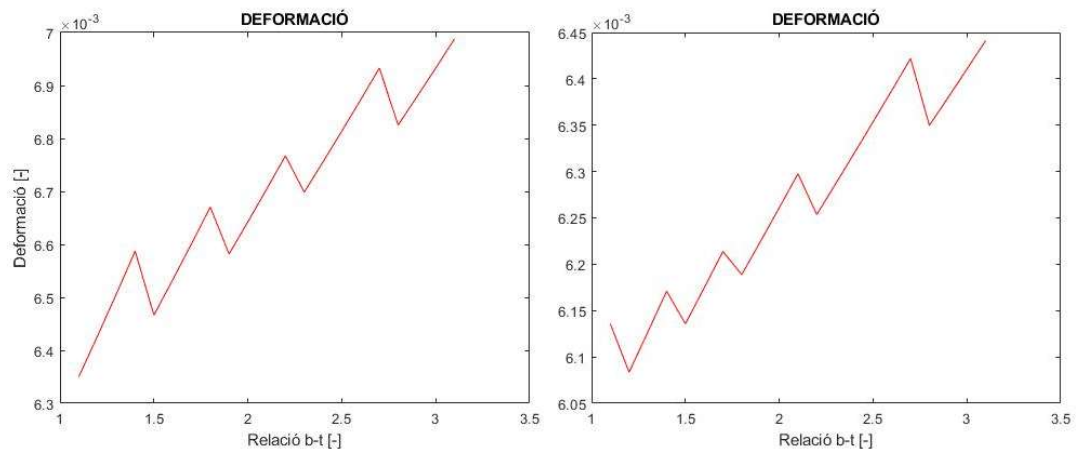


Figura D.6. Deformació cas 1 i 3

Tot seguit s'aprecia la comparativa del cost entre els diversos casos, es veuen en la figura D.7. la comparació entre el cas 1 i 2, i en la figura D.8. la comparació entre el cas 1 i 3.

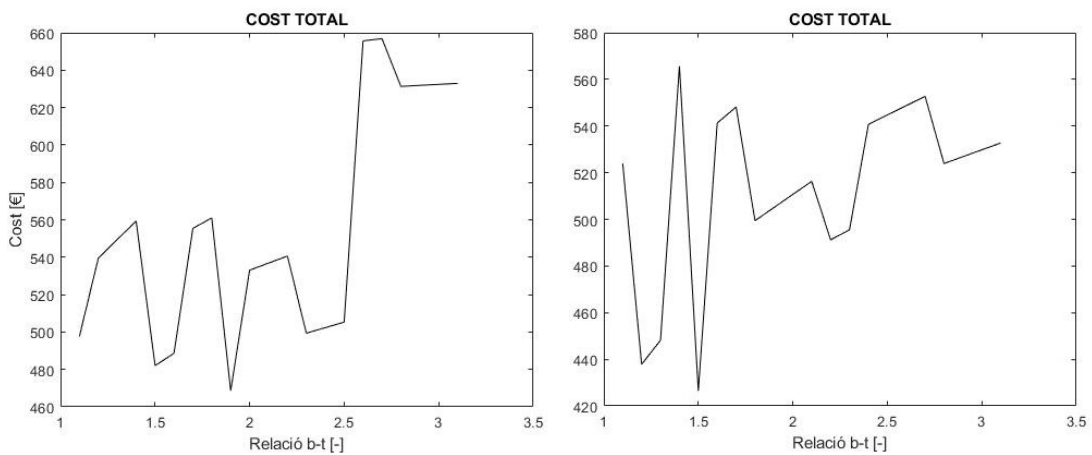


Figura D.7. Cost cas 1 i 2

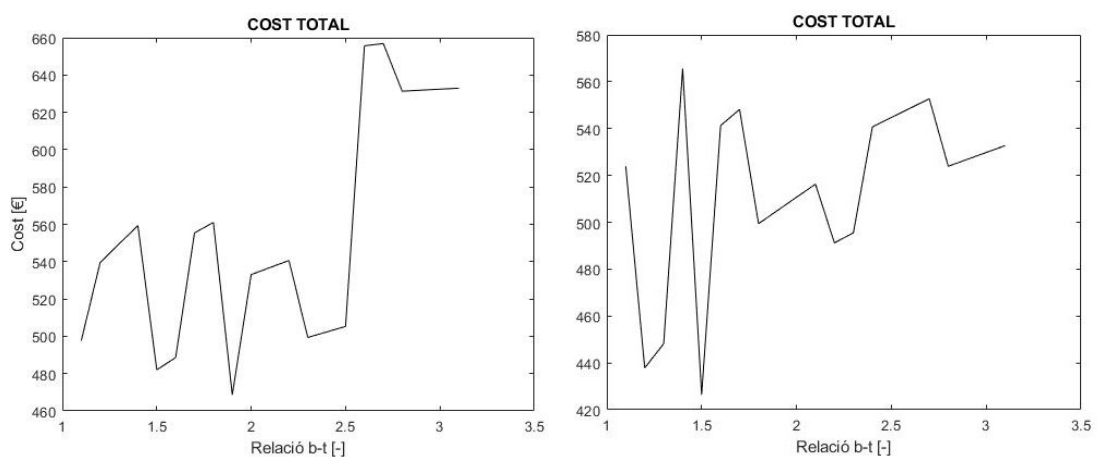


Figura D.8. Cost cas 1 i 3

A continuació s'observa, en les figures D.9. i D.10., la comparativa dels errors en els diversos casos, es veuen la comparativa del cas 1 i 2 en la figura D.9. i la comparativa del cas 1 i 3 en la figura D.10.

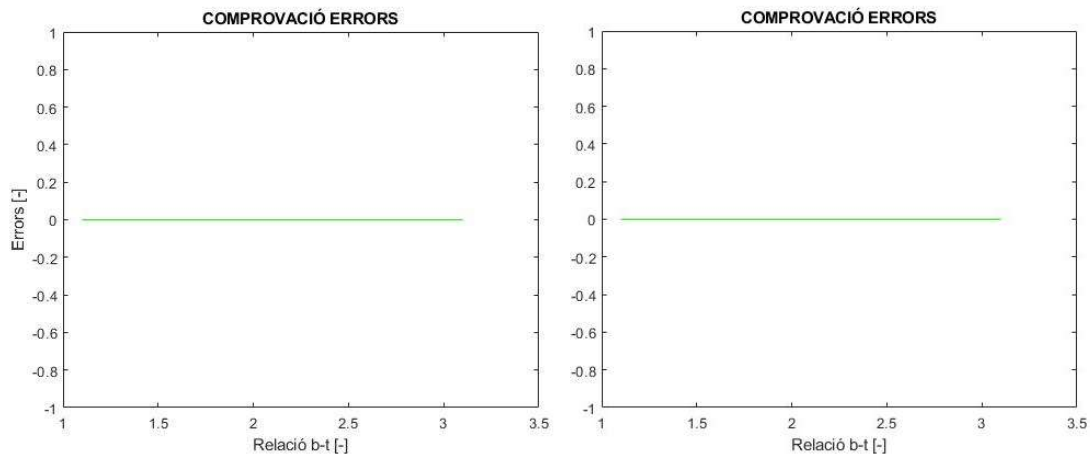


Figura D.9. Errors cas 1 i 2

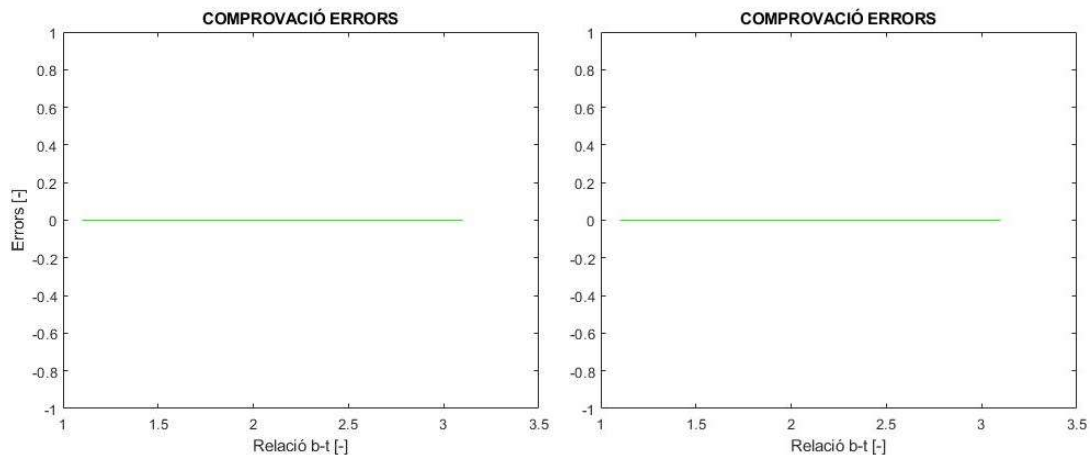


Figura D.10. Errors cas 1 i 3

Finalment, es veuen les comparen els valors de les diverses relacions; en les figures D.11. i D.12. es comparen els valors de les relacions resistència-cost, en les D.13. i D.14. els valors de les relacions deformació-cost i en les figures D.15. i D.16. es veuen les relacions resistència-deformació.

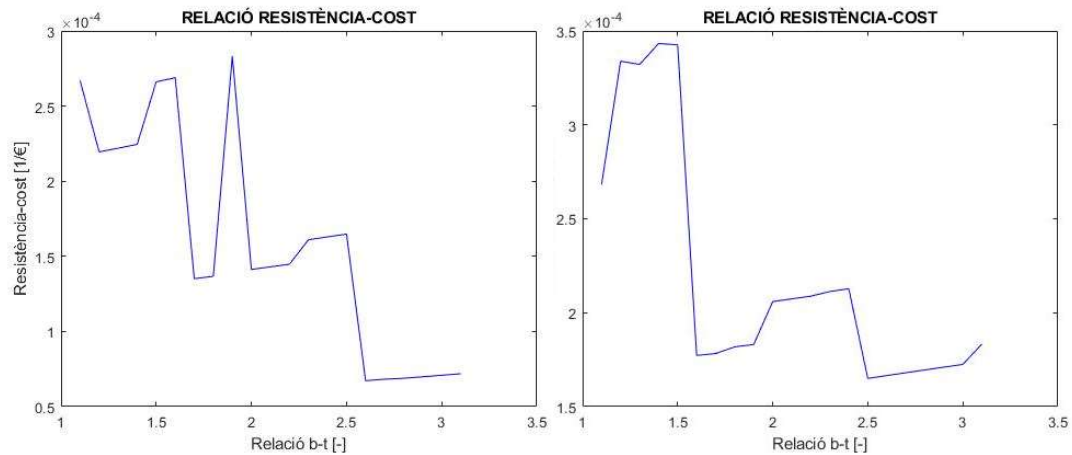


Figura D.11. Relació resistència-cost cas 1 i 2

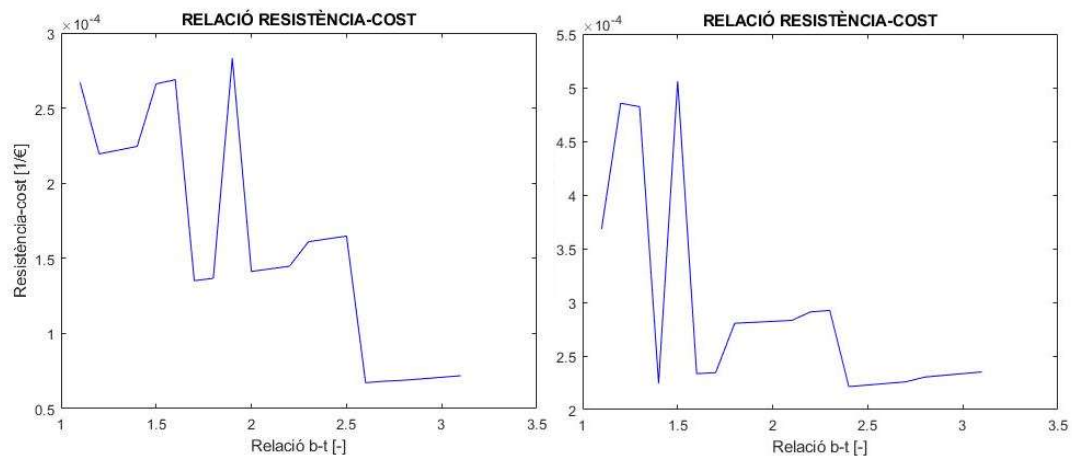


Figura D.12. Relació resistència-cost cas 1 i 3

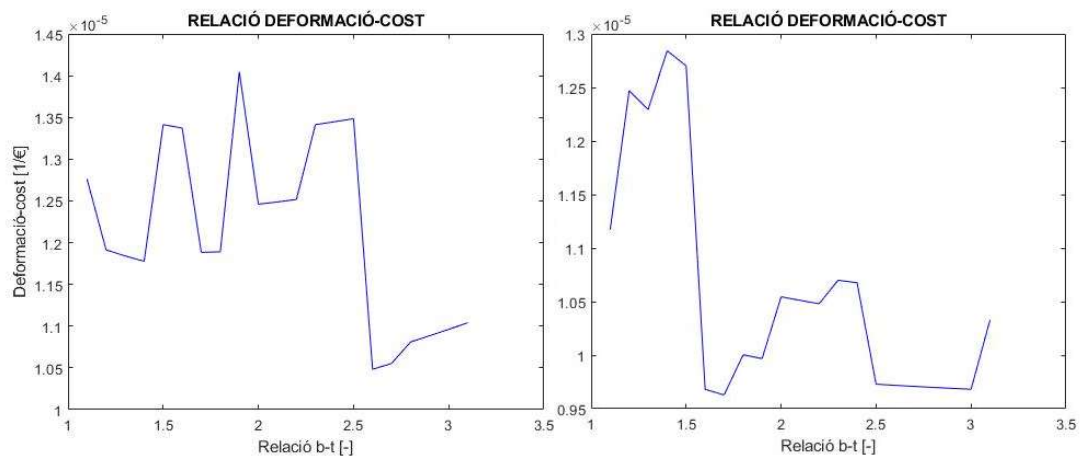


Figura D.13. Relació deformació-cost cas 1 i 2

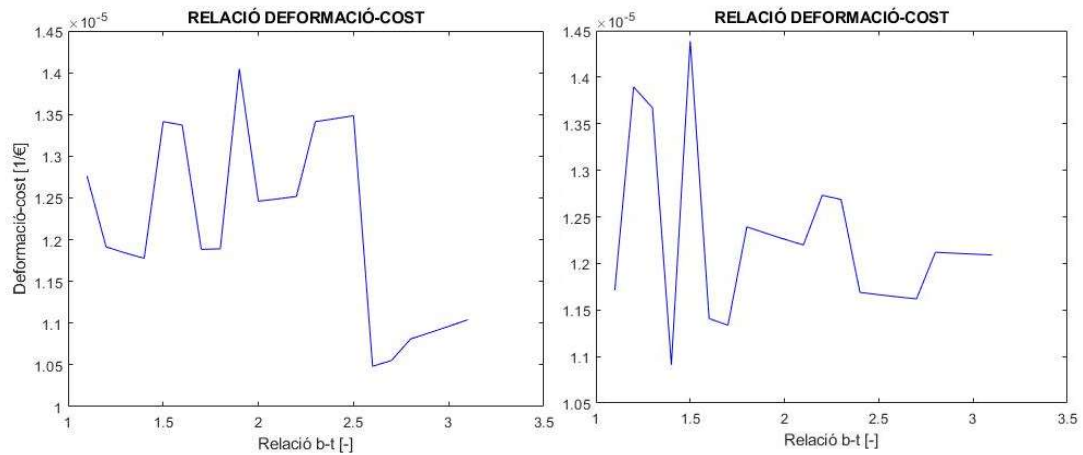


Figura D.14. Relació deformació-cost cas 1 i 3

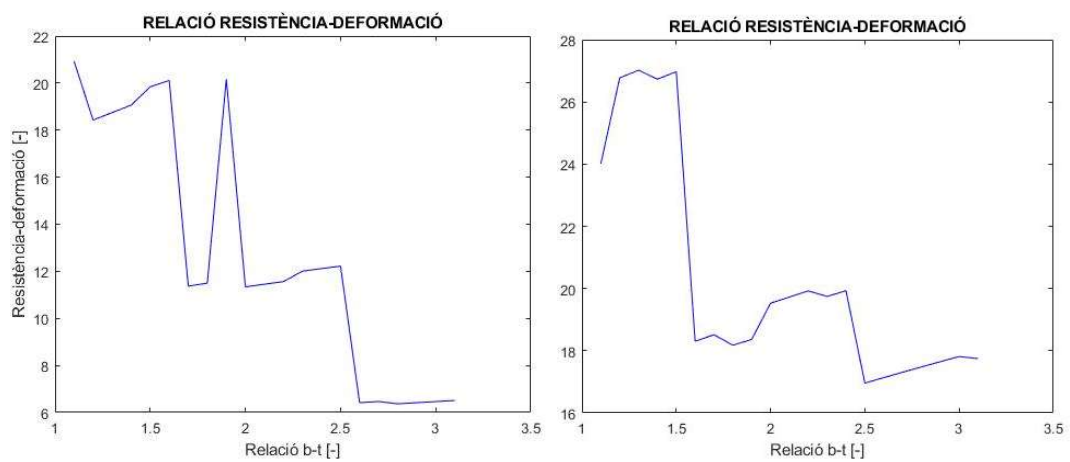


Figura D.15. Relació resistència-deformació cas 1 i 2

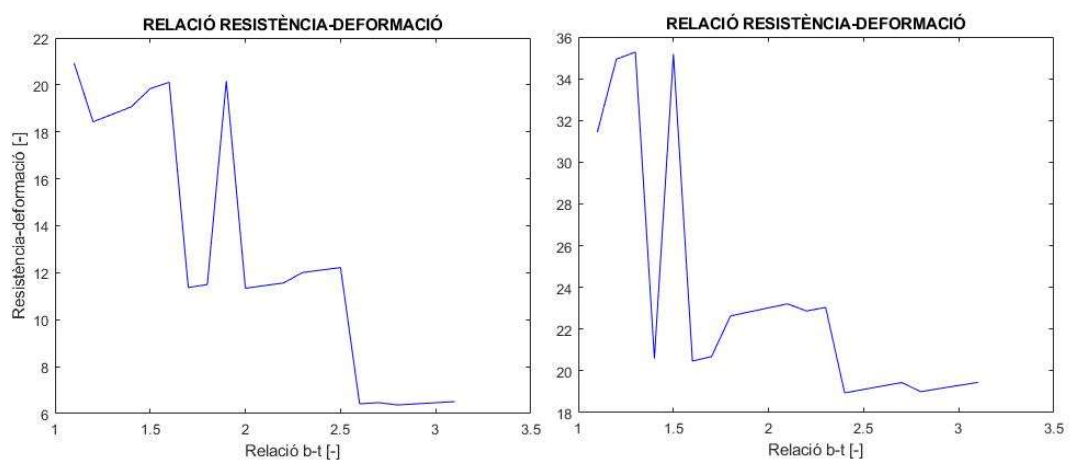


Figura D.16. Relació resistència-deformació cas 1 i 3

Es pot observar que els gràfics, tot i tenir valors relativament diferents, atenen a una mateixa tendència, de tal manera que es pot donar com a vàlid l'algoritme; es pot veure que el gràfic d'errors es manté constant a 0, és a dir, no hi ha errors geomètrics, però d'altra banda s'aprecia que al gràfic de vinclament local del cas 3 falla per aquesta raó, d'aquesta manera també es verifica que l'algoritme és capaç de saber quan hi ha un límit a resistència.

ANNEX E: CODI DE L'ALGORITME

```

function Optimitzacio ()

    % Matrius prèvies
    ACER = [235 225 215 360 1; 275 265 255 410 1.05; 355 345 335 470 1.1;
450 430 410 550 1.15];
    G_T = [4 5 6 8 10 12 14 15 16 18 20 22 25 30 35 40 50];
    save ('matrixA', 'ACER');
    ERRORS = zeros (6,21);
    IPEs = readmatrix ('IPEs.xlsx');
    % Valors necessaris (Fy,fy,fu,L,H,IDR,Hb)
    cas = input('Introdueix cas a estudiar: ');
    if (cas <1 )
        Fy = 400;
        fy = 235;
        fu = 360;
        L = 7000;
        H = 3500;
        Hb = 360;
        IDR = 0.01;
        o = 1;
        L = L/2;

    else

        disp 'Introdueix geometria inicial';
        Fy = input('Fy (kN) : ');
        T_a = input('Tipus acer: ');
        o = 1;
        if T_a < ACER (1,1)
            T_a = ACER (1,1);
        end
        while T_a > ACER (o,1)
            if o > 3
                T_a = Acer (o,1);

            else
                o = o+1;
            end
        end
        T_a = ACER(o,1);
        fy = ACER(o,1);
        fu = ACER(o,4);
        L = input('L (mm) : ');
        if cas < 2
            L = L/2;
        end
        H = input('H (mm) : ');
        i = 1;
        T_IPE = input('Classe IPE: ');
        if T_IPE <= IPEs (1,1)
            T_IPE = IPEs (1,1);
        end
        while T_IPE>IPEs (i,1)
            if i>17
                T_IPE = IPEs (i,1);
            else
                i=i+1;
            end
        end
        T_IPE = IPEs (i,1);
        Hb = IPEs (i,2);
    end
end

```

```

        IDR = input('IDR: ');
    end

    % Consideracions
    beta = 1.15;
    chi = 1.1;
    ecmax = 0.025;
    s = 10;
    % Determinació del bucle
    DATA = zeros (11,21);
    GMATRIX = zeros (18,21);
    RESISTM = zeros (8,21);
    QUOCIENTS = zeros (4,21);

    save ('matrixD','DATA');
    save ('matrixG','GMATRIX');
    save ('matrixE','ERRORS');
    save ('matrixR','RESISTM');
    save ('matrixQ','QUOCIENTS');
    cnt = 1;
    i = 1.1;

    while cnt<22

        % Càlculs
        Ac = Fy*1000/(fy*2);
        w = fu/fy;
        fi = atan(H/L);
        t = sqrt(Ac/i);
        k = 1;
        if t < G_T (1)
            t = G_T (1);
        end
        while t > G_T (k)
            if k > 16
                t = G_T (k);

            else
                k = k+1;
            end
        end
        t= G_T (k);

        b=t*i;
        t_1 = -1;
        while t_1 < 0
            if t>16
                if t>40
                    fy = ACER(o,3);
                    Ac = Fy*1000/(fy*2);
                    w = fu/fy;
                    fi = atan(H/L);
                    t2 = sqrt(Ac/i);
                    t_1 = t-t2;
                    t=t2;
                    k = 1;
                    if t < G_T (1)
                        t = G_T (1);
                    end
                    while t > G_T (k)

```

```

        if k > 16
            t = G_T (k);

        else
            k = k+1;
        end
    end
    t= G_T (k);
end
fy = ACER(o,2);
Ac = Fy*1000/(fy*2);
w = fu/fy;
fi = atan(H/L);
t2 = sqrt(Ac/i);
t_1 =t-t2;
t=t2;
k = 1;
if t < G_T (1)
    t = G_T (1);
end
while t > G_T (k)
    if k > 16
        t = G_T (k);

    else
        k = k+1;
    end
end
t= G_T (k);
else
    t_1 = 1;
end
end
b=t*i;

r=b;
de = (beta*w*b*4)/3;
R = 1.3*de;
h = 2.5*de;
Ded = IDR*H*cos(fi);
Co = (1.6*de) + (chi*Ded);
C = 2*(Co+(chi*Ded));
Lwp = sqrt((H*H)+(L*L));
Y = ((1.6*de)+(Hb/2)+s)/sin(fi);
Lb = Lwp - (2*Y);
Ls = 2.5*b;
Ly = Lb-Ls-2*r;
ec = IDR*((sin(2*fi))/2)*Lwp/Ly;

% Geometria de interes (de,R,h,Co,C,Lwp,Lb,Ly,ec)

if (ec > ecmx)

    load ('matrixG.mat','GMATRIX');
    GMATRIX (2,cnt) = t;
    GMATRIX (3,cnt) = b;
    GMATRIX (4,cnt) = de;
    GMATRIX (5,cnt) = R;
    GMATRIX (6,cnt) = h;
    GMATRIX (7,cnt) = Co;

```

```

GMATRIX (8,cnt) = C;
GMATRIX (9,cnt) = Lwp;
GMATRIX (10,cnt) = Lb;
GMATRIX (11,cnt) = Ly;
GMATRIX (12,cnt) = ec;
save ('matrixG.mat', 'GMATRIX');
load ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');
QUOCIENTS (3,cnt) = ec;
save ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');
load ('matrixE.mat', 'ERRORS');
ERRORS (6,cnt) = -1;
save ('matrixE.mat', 'ERRORS');
else

load ('matrixG.mat', 'GMATRIX');
GMATRIX (2,cnt) = t;
GMATRIX (3,cnt) = b;
GMATRIX (4,cnt) = de;
GMATRIX (5,cnt) = R;
GMATRIX (6,cnt) = h;
GMATRIX (7,cnt) = Co;
GMATRIX (8,cnt) = C;
GMATRIX (9,cnt) = Lwp;
GMATRIX (10,cnt) = Lb;
GMATRIX (11,cnt) = Ly;
GMATRIX (12,cnt) = ec;
save ('matrixG.mat', 'GMATRIX');
load ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');
QUOCIENTS (3,cnt) = ec;
save ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');

end

% Dimensions del braç, resistència i cost amb funció externa
disp 'Segons les dimensions establertes del nucli, determinem les
dimensions del braç'
tub_pas (h,b,Lb,t,beta,w,Fy,C,Co,chi,Ded,fy,de,R,Ly,ls,cnt,o);

load ('matrixD.mat', 'DATA');
load ('matrixG.mat', 'GMATRIX');
load ('matrixE.mat', 'ERRORS');
load ('matrixR.mat', 'RESISTM');
load ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');

DATA(1,cnt) = i;
GMATRIX (1,cnt) = i;
ERRORS (1,cnt) = i;
RESISTM (1,cnt) = i;
QUOCIENTS (1,cnt) = i;
DATA(9,cnt) = ACER (o,1);

cnt = cnt+1;
i = i + 0.1;
save ('matrixD.mat', 'DATA');
save ('matrixG.mat', 'GMATRIX');
save ('matrixE.mat', 'ERRORS');
save ('matrixR.mat', 'RESISTM');
save ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');
end

```

```
% Recull de dades  
load ('matrixD.mat','DATA');  
disp (DATA);  
plots ();  
  
end
```

```

function tub_pas (h,b,Lb,t,beta,w,Fy,C,Co,chi,Ded,fy,de,R,Ly,Ls,cnt,o)

% Matrius
PASSAMA = readmatrix ("PASSAMA.xlsx");
TUBQ = readmatrix ("TUBQ.xlsx");

% Tub
hf=h+(0.26*0.5*b);
n=1;
htub = TUBQ (n,1);
    if hf<50
        hf =50;
    end

while hf < htub
    n=n+1;
    htub = TUBQ (n,1);
    if n>159
        hf =htub;
        load ('matrixE.mat','ERRORS');
        ERRORS (2,cnt) = -1;
        save ('matrixE.mat','ERRORS');
    end

end

ttub = TUBQ (n,3);
hv = (2*2*ttub)+(2*1.5*ttub);
htmin = hf + hv;

while htub < htmin
    n=n+1;
    ttub = TUBQ (n,3);
    hv = (2*2*ttub)+(2*1.5*ttub);
    htmin = hf + hv;
    htub = TUBQ (n,1);
    if n>160
        htub=htmin;
        load ('matrixE.mat','ERRORS');
        err = ERRORS (2,cnt);
        ERRORS (2,cnt) = err-2;
        save ('matrixE.mat','ERRORS');
    end

end

htub = TUBQ (n,1);
btub = TUBQ (n,2);
ttub = TUBQ (n,3);

    load ('matrixG.mat','GMATRIX');
    GMATRIX (13,cnt) = btub;
    GMATRIX (14,cnt) = ttub;
    GMATRIX (15,cnt) = htub;
    save ('matrixG.mat','GMATRIX');

% Passamà
bcm = (2*ttub)+(1.5*t);
tcm = t;

```

```

m=0;
bc = 0;

while bcm > bc
    m = m+1;
    bc = PASSAMA (m,2);
    tc = PASSAMA (m,1);

    while tcm > tc
        m = m+1;
        tc = PASSAMA (m,1);
        bc = PASSAMA (m,2);
        if m>60
            tc = tcm;
            bc = bcm;
            load ('matrixE.mat','ERRORS');
            ERRORS (3,cnt) = -1;
            save ('matrixE.mat','ERRORS');
        end

    end

end

tc = PASSAMA (m,1);
bc = PASSAMA (m,2);
load ('matrixG.mat','GMATRIX');
GMATRIX (16,cnt) = bc;
GMATRIX (17,cnt) = tc;
save ('matrixG.mat','GMATRIX');

% Càlcul a resistència
disp 'Segons aquestes dimensions es calcula la resistència';
cresistencia (Lb,bc,tc,h,t,btub,htub,m,n,b,beta,w,Fy,C,Co,chi,Ded,fy,cnt)

% Càlcul del volum
disp 'Segons aquestes dimensions es calcula el volum i el cost';
volum (t,Lb,de,R,Ly,Ls,Co,chi,Ded,htub,btub,ttub,bc,tc,cnt,h,o)

end

```

```

function cresistencia
(Lb,bc,tc,h,t,btub,htub,m,n,b,beta,w,Fy,C,Co,chi,Ded,fy,cnt)

% Matrius
PASSAMA = readmatrix ("PASSAMA.xlsx");
TUBQ = readmatrix ("TUBQ.xlsx");

% Càlcul de vinclament global
% Previ
Ry = 1;
poisson = 0.5;
E = 200000;
eo = (1/1000)*Lb;
gy = 0.13*poisson*t;
gz = 0.26*poisson*b;
% Inèrcies
% Passamà
Iypass = PASSAMA (m,5);
Izc = PASSAMA (m,4);
Iyc = (Iypass + ((bc*tc)*(bc+(h/2)^2)));
% Tub
Yytub = (btub/2)+(tc/2);
Iytub = TUBQ (n,8)*10000;
Iztub_ss = TUBQ (n,9)*10000;
Atub = TUBQ (n,5)*100;
Iztub = Iztub_ss+(Atub*Yytub*Yytub);
% Core
Izcore = (h*t*t*t)/12;
Iycore = (h*h*h*t)/12;
% Totals
load ('matrixR','RESISTM');
Iytot = (2*Iytub)+(2*Iyc);
Iztot = (2*Iztub)+(2*Izc);
RESISTM (5,cnt)=Iytot;
RESISTM (6,cnt)=Iztot;
save ('matrixR','RESISTM');
% Mòduls resistents
% Distàncies
Yymax = (htub/2);
Yzmax = btub + (tc/2);
% Totals
load ('matrixR','RESISTM');
Wytot = Iytot/Yymax;
Wztot = Iztot/Yzmax;
RESISTM (7,cnt)=Wytot;
RESISTM (8,cnt)=Wztot;
save ('matrixR','RESISTM');

% Càlculs per trobar moments
load ('matrixR','RESISTM');

Cm = beta*Fy*1000*w;
Ped = Ry*Cm;
egz = 3*gz/2;
egy = 3*gy/2;
Pcry = (pi*pi)*(E*Iytot)/((Lb*Lb));
Pcrz = (pi*pi)*(E*Iztot)/((Lb*Lb));
load ('matrixD.mat','DATA');
DATA (3,cnt) = Pcry;
DATA (4,cnt) = Pcrz;
save ('matrixD.mat','DATA');

```

```

Medz = Ped*(egz+eo)/(1-(Ped/Pcrz));
ResZ =(Medz/(Wztot*fy));
RESISTM (3,cnt) = Medz;
Medy = Ped*(egy+eo)/(1-(Ped/Pcry));
ResY =(Medy/(Wytot*fy));
RESISTM (2,cnt) = Medy;
save ('matrixR','RESISTM');
resultat_gb = ResY+ResZ;
load ('matrixQ.mat','QUOCIENTS');
QUOCIENTS (2,cnt) = resultat_gb;
save ('matrixQ.mat','QUOCIENTS');
if Ped>Pcry
    load ('matrixE.mat','ERRORS');
    ERRORS (4,cnt) = -1;
    load ('matrixD.mat','DATA');
    DATA (10,cnt) = 1-abs(resultat_gb);
    DATA (11,cnt) = Ped;
    save ('matrixD.mat','DATA');
    save ('matrixE.mat','ERRORS');
elseif Ped>Pcrz
    load ('matrixE.mat','ERRORS');
    ERRORS (5,cnt) = -1;
    load ('matrixD.mat','DATA');
    DATA (10,cnt) = 1-abs(resultat_gb);
    DATA (11,cnt) = Ped;
    save ('matrixD.mat','DATA');
    save ('matrixE.mat','ERRORS');
else
    if resultat_gb <= 1
        load ('matrixD.mat','DATA');
        disp 'Es resitsteix a vinclement global';
        DATA (2,cnt) = 1-resultat_gb;
        save ('matrixD.mat','DATA');
    else
        load ('matrixD.mat','DATA');
        DATA (10,cnt) = 1-abs(resultat_gb);
        save ('matrixD.mat','DATA');
    end
end
end
% Càlcul vinclament local
alfa=2;
Lo = (Co+(chi*Ded))*alfa;
Pcr_lb = ((pi*pi)*(E*Izcore)/(Lo*Lo));
resultat_lb = Ped/Pcr_lb;
load ('matrixR','RESISTM');
RESISTM (4,cnt) = resultat_lb;
save ('matrixR','RESISTM');
if Pcr_lb > Ped
    load ('matrixD.mat','DATA');
    disp 'Es resitsteix a vinclement local';
    DATA (5,cnt) = Pcr_lb;
    save ('matrixD.mat','DATA');
else
    load ('matrixD.mat','DATA');
    DATA (5,cnt) = 0;
    save ('matrixD.mat','DATA');
end
end
end

```

```

function volum (t,Lb,de,R,Ly,Ls,Co,chi,Ded,htub,btub,ttub,bc,tc,cnt,h,o)

    b=2*t;
    r=b;

    % Volum
    % Core
    As = (Lb*2*R) + (R*R*pi);
    An = (Ly*((2*R)-t))+(Ls*((2*R)-(t+r)))+(R-t-
r)*4*r)+(2*r*r*pi)+(de*de/2)*pi);
    At_core = As-An;
    Vt_core = At_core*t;

    % Tub
    Ler = Lb-(2*(Co+(chi*Ded)));
    At_tub = 2*((btub*htub)-((btub-(2*ttub))*(htub-(2*ttub))));
    Vt_tub = At_tub*Ler;

    % Passamà
    At_c = 2*(bc*tc);
    Vt_c = At_c*Ler;

    % Cost
    % Associat a la massa
    load ('matrixA','ACER')
    c_mv = ACER (o,5);
    if ttub<5
        c_tub = 1;
    elseif ttub<12
        c_tub = 1.1;
    else
        c_tub = 1.2;
    end
    if t<10
        c_mf = 1;
    else
        c_mf = 0.86;
    end
    c_c = 0.8;
    desnsitat = 7.85;
    c_m = c_mf *c_mv;
    Mcore = Vt_core*desnsitat/(1000*1000);
    Mtub = Vt_tub*desnsitat/(1000*1000);
    Mc = Vt_c*desnsitat/(1000*1000);
    Mbrut = (Lb+(2.6*de))*h*t*desnsitat/(1000*1000);
    Mtot = Mcore+Mtub+Mc;
    Cost_M = (Mbrut*c_m)+(Mtub*c_tub)+(Mc*c_c);
    load ('matrixG.mat','GMATRIX');
    GMATRIX (18,cnt) = Mtot;
    save ('matrixG.mat','GMATRIX');
    % Associat a la producció
    L_tall = ((2*pi*de)+(2*2*pi*r)+(2*Ly)+(2*(h-(2*r)-(2*b))))/1000;
    v_tall = 34.205*(t^-1.178);
    t_tall = (L_tall/v_tall)/60;
    Cost_P = t_tall*100;

    % Cost total
    Cost_tot = Cost_M+Cost_P;

```

```
disp 'La massa del nucli és (kg): '; disp (Mcore); disp 'La massa total  
del braç és (kg): '; disp (Mtot);  
disp 'El cost degut a la massa és de (€): '; disp (Cost_M); disp 'El  
cost degut al tall és (€): '; disp (Cost_P);  
disp 'El cost total del braç és (€): '; disp (Cost_tot);  
load ('matrixD.mat', 'DATA');  
DATA (6,cnt) = Cost_M;  
DATA (7,cnt) = Cost_P;  
DATA (8,cnt) = Cost_tot;  
save ('matrixD.mat', 'DATA');  
load ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');  
rgb = QUOCIENTS (2,cnt);  
ecn = QUOCIENTS (3,cnt);  
r_rc = rgb/Cost_tot;  
r_dc = ecn/Cost_tot;  
r_rd = rgb/ecn;  
QUOCIENTS (2,cnt) = r_rc;  
QUOCIENTS (3,cnt) = r_dc;  
QUOCIENTS (4,cnt) = r_rd;  
save ('matrixQ.mat', 'QUOCIENTS');  
end
```

```

function plots ()

    load ('matrixD.mat','DATA');
    load ('matrixG.mat','GMATRIX');
    load ('matrixE.mat','ERRORS');
    load ('matrixQ.mat','QUOCIENTS');
    load ('matrixR','RESISTM');
    yvar = DATA (1,:);
    xvar1 = DATA (2,:)*100;
    xvar1_1 = DATA (10,:);
    xvar2 = RESISTM (4,:);
    xvar3 = DATA (6,:);
    xvar4 = DATA (7,:);
    xvar5 = DATA (8,:);
    xvar6 = GMATRIX (12,:);
    xvar7 = ERRORS (2,:);
    xvar8 = ERRORS (3,:);
    xvar9 = ERRORS (4,:);
    xvar13 = ERRORS (5,:);
    xvar14 = ERRORS (6,:);
    xvar10 = QUOCIENTS (2,:);
    xvar11 = QUOCIENTS (3,:);
    xvar12 = QUOCIENTS (4,:);
    plot(yvar,xvar1,'b'),title('VINCLAMENT GLOBAL'),xlabel('Relació b-t [-
]'),ylabel('Capacitat de resistència a VG [%]');
    figure;
    plot(yvar,xvar2,'g'),title('VINCLAMENT LOCAL'),xlabel('Relació b-t [-
]'),ylabel('Vinclament local [-]');
    figure;
    plot(yvar,xvar6,'r'),title('DEFORMACIÓ'),xlabel('Relació b-t [-
]'),ylabel('Deformació [-]');
    figure;
    plot(yvar,xvar5,'k'),title('COST TOTAL'),xlabel('Relació b-t [-
]'),ylabel('Cost [€]');
    figure;
    plot(yvar,xvar3,'c'),title('COST PARCIAL 1'),xlabel('Realació b-t [-
]'),ylabel('Cost [€]');
    figure;
    plot(yvar,xvar4,'m'),title('COST PARCIAL 2'),xlabel('Realació b-t [-
]'),ylabel('Cost [€]');
    figure;

    plot(yvar,xvar7,'c',yvar,xvar8,'k',yvar,xvar9,'m',yvar,xvar13,'b',yvar,xvar
14,'g'),title('COMPROVACIÓ ERRORS'),xlabel('Relació b-t [-
]'),ylabel('Errors [-]');
    figure;
    plot(yvar,xvar10,'b'),title('RELACIÓ RESISTÈNCIA-COST'),xlabel('Relació
b-t [-]'),ylabel('Resistència-cost [1/€]');
    figure;
    plot(yvar,xvar11,'b'),title('RELACIÓ DEFORMACIÓ-COST'),xlabel('Relació
b-t [-]'),ylabel('Deformació-cost [1/€]');
    figure;
    plot(yvar,xvar12,'b'),title('RELACIÓ RESISTÈNCIA-
DEFORMACIÓ'),xlabel('Relació b-t [-]'),ylabel('Resistència-deformació [-
]');

end

```

ANNEX F: MATRIUS UTILITZADES EN EL CODI

F.1. Matriu de les IPEs utilitzades

IPE	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	d (mm)	A (cm2)	G (Kg/m)	Iy (cm4)	Wy (cm3)	iy (cm)	Iz (cm4)	Wz (cm3)	iz (cm)
80,00	80,00	46,00	3.8	5.2	5,00	59.6	7.64	6,00	80.14	20.03	3.24	8.49	3.69	1.05
100,00	100,00	55,00	4.1	5.7	7,00	74.6	10.32	8.1	171,00	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24
120,00	120,00	64,00	4.4	6.3	7,00	93.4	13.2	10.4	318,00	53,00	4.9	27.7	8.65	1.45
140,00	140,00	73,00	4.7	6.9	7,00	112.2	16.4	12.9	541,00	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65
160,00	160,00	82,00	5,00	7.4	9,00	127.2	20.1	15.8	869,00	109,00	6.58	68.3	16.7	1.84
180,00	180,00	91,00	5.3	8,00	9,00	146,00	23.9	18.8	1,32	146,00	7.42	101,00	22.2	2.05
200,00	200,00	100,00	5.6	8.5	12,00	159,00	28.5	22.4	1,94	194,00	8.26	142,00	28.5	2.24
220,00	220,00	110,00	5.9	9.2	12,00	177.6	33.4	26.2	2,77	252,00	9.11	205,00	37.3	2.48
240,00	240,00	120,00	6.2	9.8	15,00	190.4	39.1	30.7	3,89	324,00	9.97	284,00	47.3	2.69
270,00	270,00	135,00	6.6	10.2	15,00	219.6	45.9	36.1	5,79	429,00	11.2	420,00	62.2	3.02
300,00	300,00	150,00	7.1	10.7	15,00	248.6	53.8	42.2	8,36	557,00	12.5	604,00	80.5	3.35
330,00	330,00	160,00	7.5	11.5	18,00	271,00	62.6	49.1	11,77	713,00	13.7	788,00	98.5	3.55
360,00	360,00	170,00	8,00	12.7	18,00	298.6	72.7	57.1	16,27	904,00	15,00	1,04	123,00	3.79
400,00	400,00	180,00	8.6	13.5	21,00	331,00	84.5	66.3	23,13	1,16	16.5	1,32	146,00	3.95
450,00	450,00	190,00	9.4	14.6	21,00	378.8	98.8	77.6	33,74	1,50	18.5	1,68	176,00	4.12
500,00	500,00	200,00	10.2	16,00	21,00	426,00	116,00	90.7	48,20	1,93	20.4	2,14	214,00	4.31
550,00	550,00	210,00	11.1	17.2	24,00	467.6	134,00	106,00	67,12	2,44	22.3	2,67	254,00	4.45
600,00	600,00	220,00	12,00	19,00	24,00	514,00	156,00	122,00	92,08	3,07	24.3	3,39	308,00	4.66

F.2. Matriu del passamà utilitzat

t	b	t/b	Iz	Iy
mm	mm		mm ³	mm ³
10	20	2	1666,667	6666,667
10	22	2,2	1833,333	8873,333
10	25	2,5	2083,333	13020,83
10	30	3	2500	22500
10	35	3,5	2916,667	35729,17
10	40	4	3333,333	53333,33
10	45	4,5	3750	75937,5
10	50	5	4166,667	104166,7
12	25	2,083333	3600	15625
12	30	2,5	4320	27000
12	35	2,916667	5040	42875
12	40	3,333333	5760	64000
12	45	3,75	6480	91125
12	50	4,166667	7200	125000
12	55	4,583333	7920	166375
12	60	5	8640	216000
15	30	2	8437,5	33750
15	35	2,333333	9843,75	53593,75
15	40	2,666667	11250	80000
15	45	3	12656,25	113906,3
15	50	3,333333	14062,5	156250
15	55	3,666667	15468,75	207968,8
15	60	4	16875	270000
15	65	4,333333	18281,25	343281,3
15	70	4,666667	19687,5	428750
15	80	5,333333	22500	640000
20	40	2	26666,67	106666,7
20	45	2,25	30000	151875
20	50	2,5	33333,33	208333,3
20	55	2,75	36666,67	277291,7
20	60	3	40000	360000
20	65	3,25	43333,33	457708,3
20	70	3,5	46666,67	571666,7
20	80	4	53333,33	853333,3
20	90	4,5	60000	1215000
20	110	5,5	73333,33	2218333
25	50	2	65104,17	260416,7
25	60	2,4	78125	450000
25	65	2,6	84635,42	572135,4
25	70	2,8	91145,83	714583,3
25	80	3,2	104166,7	1066667
25	90	3,6	117187,5	1518750
25	110	4,4	143229,2	2772917
25	120	4,8	156250	3600000
25	130	5,2	169270,8	4577083
30	60	2	135000	540000
30	65	2,166667	146250	686562,5
30	70	2,333333	157500	857500

30	80	2,666667	180000	1280000
30	90	3	202500	1822500
30	110	3,666667	247500	3327500
30	120	4	270000	4320000
30	140	4,666667	315000	6860000
30	150	5	337500	8437500
40	80	2	426666,7	1706667
40	90	2,25	480000	2430000
40	110	2,75	586666,7	4436667
40	120	3	640000	5760000
40	140	3,5	746666,7	9146667
40	150	3,75	800000	11250000
40	160	4	853333,3	13653333

F.3. Matriu del tub utilitzat

Section designation									
Height	Base	Thickness	Mass per metre	Area of section	Ratio for local buckling		Second moment of area		
h	b	t		A	$c_w/t^{(1)}$	$c_t/t^{(1)}$	y-y	z-z	
mm	mm	mm	kg/m	cm ²			cm ⁴	cm ⁴	
50	30	3,2	3,61	4,6	12,6	6,38	14,2	6,2	
50	30	3,6	4,01	5,1	10,9	5,33	15,4	6,67	
50	30	4	4,39	5,59	9,5	4,5	16,5	7,08	
50	30	5	5,28	6,73	7	3	18,7	7,89	
50	30	6,3	6,33	8,07	4,94	1,76	20,6	8,5	
60	40	3,2	4,62	5,88	15,8	9,5	27,8	14,6	
60	40	3,6	5,14	6,54	13,7	8,11	30,4	15,9	
60	40	4	5,64	7,19	12	7	32,8	17	
60	40	5	6,85	8,73	9	5	38,1	19,5	
60	40	6,3	8,31	10,6	6,52	3,35	43,4	21,9	
60	40	8	10	12,8	4,5	2	47,9	23,7	
80	40	3,2	5,62	7,16	22	9,5	57,2	18,9	
80	40	3,6	6,27	7,98	19,2	8,11	62,8	20,6	
80	40	4	6,9	8,79	17	7	68,2	22,2	
80	40	5	8,42	10,7	13	5	80,3	25,7	
80	40	6,3	10,3	13,1	9,7	3,35	93,3	29,2	
80	40	8	12,5	16	7	2	106	32,1	
90	50	3,2	6,63	8,44	25,1	12,6	89,1	35,3	
90	50	3,6	7,4	9,42	22	10,9	98,3	38,7	
90	50	4	8,15	10,4	19,5	9,5	107	41,9	
90	50	5	9,99	12,7	15	7	127	49,2	
90	50	6,3	12,3	15,6	11,3	4,94	150	57	
90	50	8	15	19,2	8,25	3,25	174	64,6	
90	50	10	18	22,9	6	2	194	70,2	
100	50	3,2	7,13	9,08	28,3	12,6	116	38,8	
100	50	3,6	7,96	10,1	24,8	10,9	128	42,6	
100	50	4	8,78	11,2	22	9,5	140	46,2	
100	50	5	10,8	13,7	17	7	167	54,3	
100	50	6,3	13,3	16,9	12,9	4,94	197	63	
100	50	8	16,3	20,8	9,5	3,25	230	71,7	
100	50	10	19,6	24,9	7	2	259	78,4	
100	60	3,2	7,63	9,72	28,3	15,8	131	58,8	
100	60	3,6	8,53	10,9	24,8	13,7	145	64,8	
100	60	4	9,41	12	22	12	158	70,5	
100	60	5	11,6	14,7	17	9	189	83,6	
100	60	6,3	14,2	18,1	12,9	6,52	225	98,1	
100	60	8	17,5	22,4	9,5	4,5	264	113	
100	60	10	21,1	26,9	7	3	299	126	

120	60	3,6	9,66	12,3	30,3	13,7	227	76,3
120	60	4	10,7	13,6	27	12	249	83,1
120	60	5	13,1	16,7	21	9	299	98,8
120	60	6,3	16,2	20,7	16	6,52	358	116
120	60	8	20,1	25,6	12	4,5	425	135
120	60	10	24,3	30,9	9	3	488	152
120	80	3,6	10,8	13,7	30,3	19,2	276	147
120	80	4	11,9	15,2	27	17	303	161
120	80	5	14,7	18,7	21	13	365	193
120	80	6,3	18,2	23,2	16	9,7	440	230
120	80	8	22,6	28,8	12	7	525	273
120	80	10	27,4	34,9	9	5	609	313
150	100	4	15,1	19,2	34,5	22	607	324
150	100	5	18,6	23,7	27	17	739	392
150	100	6,3	23,1	29,5	20,8	12,9	898	474
150	100	8	28,9	36,8	15,8	9,5	1090	569
150	100	10	35,3	44,9	12	7	1280	665
150	100	12,5	42,8	54,6	9	5	1490	763
160	80	4	14,4	18,4	37	17	612	207
160	80	5	17,8	22,7	29	13	744	249
160	80	6,3	22,2	28,2	22,4	9,7	903	299
160	80	8	27,6	35,2	17	7	1090	356
160	80	10	33,7	42,9	13	5	1280	411
160	80	12,5	40,9	52,1	9,8	3,4	1480	465
200	100	4	18,2	23,2	47	22	1220	416
200	100	5	22,6	28,7	37	17	1500	505
200	100	6,3	28,1	35,8	28,7	12,9	1830	613
200	100	8	35,1	44,8	22	9,5	2230	739
200	100	10	43,1	54,9	17	7	2660	869
200	100	12,5	52,7	67,1	13	5	3140	1000
200	100	14,2	58,9	75	11,1	4,04	3420	1080
200	100	16	65,2	83	9,5	3,25	3680	1150
200	120	5	24,1	30,7	37	21	1680	762
200	120	6,3	30,1	38,3	28,7	16	2060	929
200	120	8	37,6	48	22	12	2530	1130
200	120	10	46,3	58,9	17	9	3030	1340
200	120	12,5	56,6	72,1	13	6,6	3580	1560
200	120	14,2	63,3	80,7	11,1	5,45	3910	1690
200	120	16	70,2	89,4	9,5	4,5	4220	1810
200	150	5	26,5	33,7	37	27	1970	1260
200	150	6,3	33	42,1	28,7	20,8	2420	1550
200	150	8	41,4	52,8	22	15,8	2970	1890
200	150	10	51	64,9	17	12	3570	2260

200	150	12,5	62,5	79,6	13	9	4240	2670
200	150	14,2	70	89,2	11,1	7,56	4640	2920
200	150	16	77,7	99	9,5	6,38	5040	3150
250	100	5	26,5	33,7	47	17	2610	618
250	100	6,3	33	42,1	36,7	12,9	3210	751
250	100	8	41,4	52,8	28,3	9,5	3940	909
250	100	10	51	64,9	22	7	4730	1070
250	100	12,5	62,5	79,6	17	5	5620	1240
250	100	14,2	70	89,2	14,6	4,04	6160	1340
250	100	16	77,7	99	12,6	3,25	6690	1430
250	150	5	30,4	38,7	47	27	3360	1530
250	150	6,3	38	48,4	36,7	20,8	4140	1870
250	150	8	47,7	60,8	28,3	15,8	5110	2300
250	150	10	58,8	74,9	22	12	6170	2760
250	150	12,5	72,3	92,1	17	9	7390	3260
250	150	14,2	81,1	103	14,6	7,56	8140	3580
250	150	16	90,3	115	12,6	6,38	8880	3870
250	150	17,5	97,7	124	11,3	5,57	9450	4100
300	100	5	30,4	38,7	57	17	4150	731
300	100	6,3	38	48,4	44,6	12,9	5110	890
300	100	8	47,7	60,8	34,5	9,5	6300	1080
300	100	10	58,8	74,9	27	7	7610	1280
300	100	12,5	72,3	92,1	21	5	9100	1490
300	100	14,2	81,1	103	18,1	4,04	10000	1610
300	100	16	90,3	115	15,8	3,25	10900	1720
300	100	17,5	97,7	124	14,1	2,71	11600	1800
300	200	5	38,3	48,7	57	37	6320	3400
300	200	6,3	47,9	61	44,6	28,7	7830	4190
300	200	8	60,3	76,8	34,5	22	9720	5180
300	200	10	74,5	94,9	27	17	11800	6280
300	200	12,5	91,9	117	21	13	14300	7540
300	200	14,2	103	132	18,1	11,1	15800	8330
300	200	16	115	147	15,8	9,5	17400	9110
300	200	17,5	125	159	14,1	8,43	18600	9720
350	150	5	38,3	48,7	67	27	7660	2050
350	150	6,3	47,9	61	52,6	20,8	9480	2520
350	150	8	60,3	76,8	40,8	15,8	11800	3100
350	150	10	74,5	94,9	32	12	14300	3740
350	150	12,5	91,9	117	25	9	17300	4450
350	150	14,2	103	132	21,6	7,56	19200	4890
350	150	16	115	147	18,9	6,38	21100	5320
350	150	17,5	125	159	17	5,57	22600	5640
350	250	6,3	57,8	73,6	52,6	36,7	13200	7880

350	250	8	72,8	92,8	40,8	28,3	16400	9800
350	250	10	90,2	115	32	22	20100	11900
350	250	12,5	112	142	25	17	24400	14400
350	250	14,2	126	160	21,6	14,6	27200	16000
350	250	16	141	179	18,9	12,6	30000	17700
350	250	17,5	153	194	17	11,3	32200	18900
400	200	6,3	57,8	73,6	60,5	28,7	15700	5380
400	200	8	72,8	92,8	47	22	19600	6660
400	200	10	90,2	115	37	17	23900	8080
400	200	12,5	112	142	29	13	29100	9740
400	200	14,2	126	160	25,2	11,1	32400	10800
400	200	16	141	179	22	9,5	35700	11800
400	200	17,5	153	194	19,9	8,43	38400	12600
400	300	8	85,4	109	47	34,5	25700	16500
400	300	10	106	135	37	27	31500	20200
400	300	12,5	131	167	29	21	38500	24600
400	300	14,2	148	189	25,2	18,1	43000	27400
400	300	16	166	211	22	15,8	47500	30300
400	300	17,5	180	229	19,9	14,1	51200	32600
450	250	8	85,4	109	53,3	28,3	30100	12100
450	250	10	106	135	42	22	36900	14800
450	250	12,5	131	167	33	17	45000	18000
450	250	14,2	148	189	28,7	14,6	50300	20000
450	250	16	166	211	25,1	12,6	55700	22000
450	250	17,5	180	229	22,7	11,3	60000	23700
500	200	8	85,4	109	59,5	22	34000	8140
500	200	10	106	135	47	17	41800	9890
500	200	12,5	131	167	37	13	51000	11900
500	200	14,2	148	189	32,2	11,1	56900	13200
500	200	16	166	211	28,3	9,5	63000	14500
500	200	17,5	180	229	25,6	8,43	67900	15600
500	300	8	97,9	125	59,5	34,5	43700	20000
500	300	10	122	155	47	27	53800	24400
500	300	12,5	151	192	37	21	65800	29800
500	300	14,2	170	217	32,2	18,1	73700	33200
500	300	16	191	243	28,3	15,8	81800	36800
500	300	17,5	208	264	25,6	14,1	88300	39600

Dimensions and properties								
Radius of gyration		Elastic (section) modulus		Plastic (section) modulus		Torsional constants		Surface
y-y	z-z	y-y	z-z	y-y	z-z	I_T	W_t	Per metre
cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ²
1,76	1,16	5,68	4,13	7,25	5	14,2	6,8	0,152
1,74	1,14	6,16	4,45	7,94	5,46	15,4	7,31	0,151
1,72	1,13	6,6	4,72	8,59	5,88	16,6	7,77	0,15
1,67	1,08	7,49	5,26	10	6,8	19	8,67	0,147
1,6	1,03	8,26	5,66	11,5	7,68	21,1	9,36	0,144
2,18	1,57	9,27	7,29	11,5	8,64	30,8	11,7	0,192
2,16	1,56	10,1	7,93	12,7	9,5	33,8	12,8	0,191
2,14	1,54	10,9	8,52	13,8	10,3	36,7	13,7	0,19
2,09	1,5	12,7	9,77	16,4	12,2	43	15,7	0,187
2,02	1,44	14,5	11	19,2	14,2	49,5	17,6	0,184
1,94	1,36	16	11,9	22,1	16,1	55,4	19,2	0,179
2,83	1,63	14,3	9,46	18	11	46,2	16,1	0,232
2,81	1,61	15,7	10,3	20	12,1	50,8	17,5	0,231
2,79	1,59	17,1	11,1	21,8	13,2	55,2	18,9	0,23
2,74	1,55	20,1	12,9	26,1	15,7	65,1	21,9	0,227
2,67	1,49	23,3	14,6	31,1	18,4	75,6	24,8	0,224
2,58	1,42	26,5	16,1	36,5	21,2	85,8	27,4	0,219
3,25	2,04	19,8	14,1	24,6	16,2	80,9	23,6	0,272
3,23	2,03	21,8	15,5	27,2	18	89,4	25,9	0,271
3,21	2,01	23,8	16,8	29,8	19,6	97,5	28	0,27
3,16	1,97	28,3	19,7	36	23,5	116	32,9	0,267
3,1	1,91	33,3	22,8	43,2	28	138	38,1	0,264
3,01	1,84	38,6	25,8	51,4	32,9	160	43,2	0,259
2,91	1,75	43	28,1	59,3	37,4	179	47,1	0,254
3,57	2,07	23,2	15,5	28,9	17,7	93,4	26,4	0,292
3,55	2,05	25,6	17	32,1	19,6	103	29	0,291
3,53	2,03	27,9	18,5	35,2	21,5	113	31,4	0,29
3,48	1,99	33,3	21,7	42,6	25,8	135	36,9	0,287
3,42	1,93	39,4	25,2	51,3	30,8	160	42,9	0,284
3,33	1,86	46	28,7	61,4	36,3	186	48,9	0,279
3,22	1,77	51,8	31,4	71,2	41,4	209	53,6	0,274
3,67	2,46	26,2	19,6	32	22,4	129	32,4	0,312
3,65	2,44	28,9	21,6	35,6	24,9	142	35,6	0,311
3,63	2,43	31,6	23,5	39,1	27,3	156	38,7	0,31
3,58	2,38	37,8	27,9	47,4	32,9	188	45,9	0,307
3,52	2,33	45	32,7	57,3	39,5	224	53,8	0,304
3,44	2,25	52,8	37,8	68,7	47,1	265	62,2	0,299
3,33	2,16	59,9	42,1	80,2	54,4	304	69,3	0,294

4,3	2,49	37,9	25,4	47,2	28,9	183	43,3	0,351
4,28	2,47	41,5	27,7	51,9	31,7	201	47,1	0,35
4,23	2,43	49,9	32,9	63,1	38,4	242	56	0,347
4,16	2,37	59,7	38,8	76,7	46,3	290	65,9	0,344
4,08	2,3	70,8	45	92,7	55,4	344	76,6	0,339
3,97	2,21	81,4	50,5	109	64,4	396	86,1	0,334
4,48	3,27	46	36,7	55,6	42	301	59,5	0,391
4,46	3,25	50,4	40,2	61,2	46,1	330	65	0,39
4,42	3,21	60,9	48,2	74,6	56,1	401	77,9	0,387
4,36	3,15	73,3	57,6	91	68,2	487	92,9	0,384
4,27	3,08	87,5	68,1	111	82,6	587	110	0,379
4,18	2,99	102	78,1	131	97,3	688	126	0,374
5,63	4,11	81	64,8	97,4	73,6	660	105	0,49
5,58	4,07	98,5	78,5	119	90,1	807	127	0,487
5,52	4,01	120	94,8	147	110	986	153	0,484
5,44	3,94	145	114	180	135	1200	183	0,479
5,34	3,85	171	133	216	161	1430	214	0,474
5,22	3,74	198	153	256	190	1680	246	0,468
5,77	3,35	76,5	51,7	94,7	58,3	493	88,1	0,47
5,72	3,31	93	62,3	116	71,1	600	106	0,467
5,66	3,26	113	74,8	142	86,8	730	127	0,464
5,57	3,18	136	89	175	106	883	151	0,459
5,47	3,1	161	103	209	125	1040	175	0,454
5,34	2,99	186	116	247	146	1200	198	0,448
7,26	4,24	122	83,2	150	92,8	983	142	0,59
7,21	4,19	149	101	185	114	1200	172	0,587
7,15	4,14	183	123	228	140	1480	208	0,584
7,06	4,06	223	148	282	172	1800	251	0,579
6,96	3,98	266	174	341	206	2160	295	0,574
6,84	3,87	314	201	408	245	2540	341	0,568
6,75	3,8	342	216	450	268	2770	368	0,563
6,66	3,72	368	229	491	290	2980	391	0,559
7,4	4,98	168	127	205	144	1650	210	0,627
7,34	4,92	207	155	253	177	2030	255	0,624
7,26	4,85	253	188	313	218	2500	310	0,619
7,17	4,76	303	223	379	263	3000	367	0,614
7,04	4,66	358	260	455	314	3570	428	0,608
6,96	4,58	391	282	503	346	3920	464	0,603
6,87	4,5	422	302	550	377	4250	497	0,599
7,64	6,12	197	169	234	192	2390	267	0,687
7,58	6,07	242	207	289	237	2950	326	0,684
7,5	5,99	297	253	359	294	3640	398	0,679
7,41	5,91	357	302	436	356	4410	475	0,674

7,3	5,8	424	356	525	428	5290	559	0,668
7,22	5,72	464	389	582	473	5830	610	0,663
7,13	5,64	504	420	638	518	6370	658	0,659
8,8	4,28	209	124	263	138	1620	217	0,687
8,73	4,22	257	150	326	169	1980	264	0,684
8,64	4,15	315	182	404	209	2430	319	0,679
8,54	4,06	379	214	491	251	2910	376	0,674
8,41	3,96	450	249	592	299	3440	438	0,668
8,31	3,88	493	269	655	329	3750	473	0,663
8,22	3,8	535	287	719	358	4050	505	0,659
9,31	6,28	269	204	324	228	3280	337	0,787
9,25	6,22	331	250	402	283	4050	413	0,784
9,17	6,15	409	306	501	350	5020	506	0,779
9,08	6,06	494	367	611	426	6090	605	0,774
8,96	5,96	591	435	740	514	7330	717	0,768
8,87	5,88	651	477	823	570	8100	784	0,763
8,79	5,8	710	516	906	625	8870	849	0,759
8,71	5,74	756	546	972	669	9460	899	0,755
10,3	4,34	276	146	354	161	2040	262	0,787
10,3	4,29	341	178	439	199	2500	319	0,784
10,2	4,21	420	216	546	245	3070	387	0,779
10,1	4,13	508	255	666	296	3680	458	0,774
9,94	4,02	607	297	806	354	4350	534	0,768
9,85	3,94	669	321	896	390	4760	578	0,763
9,75	3,87	729	344	986	425	5140	619	0,759
9,66	3,8	775	360	1060	452	5420	648	0,755
11,4	8,35	421	340	501	380	6820	552	0,987
11,3	8,29	522	419	624	472	8480	681	0,984
11,3	8,22	648	518	779	589	10600	840	0,979
11,2	8,13	788	628	956	721	12900	1020	0,974
11	8,02	952	754	1160	877	15700	1220	0,968
11	7,95	1060	833	1300	978	17500	1340	0,963
10,9	7,87	1160	911	1440	1080	19300	1470	0,959
10,8	7,81	1240	972	1550	1160	20700	1560	0,955
12,5	6,49	437	274	543	301	5160	477	0,987
12,5	6,43	542	337	676	373	6390	586	0,984
12,4	6,36	673	414	844	464	7930	721	0,979
12,3	6,27	818	498	1040	566	9630	867	0,974
12,2	6,17	988	593	1260	686	11600	1030	0,968
12,1	6,09	1100	652	1410	763	12900	1130	0,963
12	6,01	1200	709	1560	840	14100	1230	0,959
11,9	5,95	1290	752	1680	900	15100	1310	0,955
13,4	10,4	754	631	892	709	15200	1010	1,18

13,3	10,3	940	784	1120	888	19000	1250	1,18
13,2	10,2	1150	955	1380	1090	23400	1520	1,17
13,1	10,1	1400	1160	1680	1330	28500	1840	1,17
13	10	1550	1280	1890	1490	31900	2040	1,16
12,9	9,93	1720	1410	2100	1660	35300	2250	1,16
12,9	9,87	1840	1510	2260	1780	38100	2410	1,15
14,6	8,55	785	538	960	594	12600	917	1,18
14,5	8,47	978	666	1200	743	15700	1140	1,18
14,4	8,39	1200	808	1480	911	19300	1380	1,17
14,3	8,28	1450	974	1810	1110	23400	1660	1,17
14,2	8,21	1620	1080	2030	1240	26100	1830	1,16
14,1	8,13	1790	1180	2260	1370	28900	2010	1,16
14,1	8,06	1920	1260	2440	1480	31100	2150	1,15
15,4	12,3	1280	1100	1520	1250	31000	1750	1,38
15,3	12,2	1580	1350	1870	1540	38200	2140	1,37
15,2	12,1	1920	1640	2300	1880	46800	2590	1,37
15,1	12,1	2150	1830	2580	2110	52500	2890	1,36
15	12	2380	2020	2870	2350	58300	3180	1,36
14,9	11,9	2560	2170	3110	2540	63000	3420	1,35
16,6	10,6	1340	971	1620	1080	27100	1630	1,38
16,5	10,5	1640	1180	2000	1330	33300	1990	1,37
16,4	10,4	2000	1440	2460	1630	40700	2410	1,37
16,3	10,3	2240	1600	2760	1830	45600	2680	1,36
16,2	10,2	2480	1760	3070	2030	50500	2950	1,36
16,2	10,2	2670	1890	3320	2190	54600	3160	1,35
17,7	8,65	1360	814	1710	896	21100	1430	1,38
17,6	8,56	1670	989	2100	1100	25900	1740	1,37
17,5	8,45	2040	1190	2590	1350	31500	2100	1,37
17,4	8,38	2280	1320	2900	1500	35200	2320	1,36
17,3	8,3	2520	1450	3230	1670	38900	2550	1,36
17,2	8,24	2720	1560	3500	1800	41800	2730	1,35
18,7	12,6	1750	1330	2100	1480	42600	2200	1,58
18,6	12,6	2150	1630	2600	1830	52400	2700	1,57
18,5	12,5	2630	1980	3200	2240	64400	3280	1,57
18,4	12,4	2950	2220	3590	2520	72200	3660	1,56
18,3	12,3	3270	2450	4000	2800	80300	4040	1,56
18,3	12,2	3530	2640	4340	3040	86900	4350	1,55

e area	Inertie ext		Inertie int		area		
Per tone	En z	En y	En z	En y	Exterior	Interior	ly
m ²	mm ³	mm ³	mm ³	mm ³	mm ⁴	mm ⁴	
42,1	112500	312500	47757,46347	163000,9835	1500	1254,24	149499,0165
37,7	112500	312500	42273,3888	148965,2288	1500	1224,96	163534,7712
34,2	112500	312500	37268	135828	1500	1196	176672
27,8	112500	312500	26666,66667	106666,6667	1500	1125	205833,3333
22,7	112500	312500	16418,6748	75854,7548	1500	1035,69	236645,2452
41,6	320000	720000	169434,3168	431173,8368	2400	2090,24	288826,1632
37,2	320000	720000	155265,2288	402341,0688	2400	2052,96	317658,9312
33,7	320000	720000	141994,6667	374954,6667	2400	2016	345045,3333
27,3	320000	720000	112500	312500	2400	1925	407500
22,1	320000	720000	81254,7548	243166,8348	2400	1809,69	476833,1652
17,9	320000	720000	50688	170368	2400	1664	549632
41,3	426666,6667	1706666,667	232656,0768	1116327,117	3200	2826,24	590339,5499
36,8	426666,6667	1706666,667	214077,8155	1054597,495	3200	2780,96	652069,1712
33,3	426666,6667	1706666,667	196608	995328	3200	2736	711338,6667
27	426666,6667	1706666,667	157500	857500	3200	2625	849166,6667
21,7	426666,6667	1706666,667	115539,4615	699115,6215	3200	2483,69	1007551,045
17,5	426666,6667	1706666,667	73728	524288	3200	2304	1182378,667
41	937500	3037500	577410,2635	2122873,303	4500	4062,24	914626,6965
36,6	937500	3037500	540978,9888	2024666,669	4500	4008,96	1012833,331
33,1	937500	3037500	506268	1929788	4500	3956	1107712
26,7	937500	3037500	426666,6667	1706666,667	4500	3825	1330833,333
21,5	937500	3037500	337422,8748	1445151,035	4500	3657,69	1592348,965
17,3	937500	3037500	242374,6667	1148134,667	4500	3444	1889365,333
14,1	937500	3037500	157500	857500	4500	3200	2180000
41	1041666,667	4166666,667	646478,4768	2979427,277	5000	4530,24	1187239,39
36,6	1041666,667	4166666,667	606314,6155	2850404,215	5000	4472,96	1316262,451
33	1041666,667	4166666,667	568008	2725408	5000	4416	1441258,667
26,6	1041666,667	4166666,667	480000	2430000	5000	4275	1736666,667
21,4	1041666,667	4166666,667	381017,5615	2080772,761	5000	4094,69	2085893,905
17,1	1041666,667	4166666,667	275128	1679328	5000	3864	2487338,667
14	1041666,667	4166666,667	180000	1280000	5000	3600	2886666,667
40,9	1800000	5000000	1201127,117	3662782,157	6000	5498,24	1337217,843
36,5	1800000	5000000	1138330,829	3516386,509	6000	5436,96	1483613,491
32,9	1800000	5000000	1077994,667	3374314,667	6000	5376	1625685,333
26,5	1800000	5000000	937500	3037500	6000	5225	1962500
21,4	1800000	5000000	775648,9548	2637129,115	6000	5031,69	2362870,885
17,1	1800000	5000000	596288	2173248	6000	4784	2826752
13,9	1800000	5000000	426666,6667	1706666,667	6000	4500	3293333,333

36,3	2160000	8640000	1383660,749	6315096,269	7200	6564,96	2324903,731
32,7	2160000	8640000	1312341,333	6088021,333	7200	6496	2551978,667
26,5	2160000	8640000	1145833,333	5545833,333	7200	6325	3094166,667
21,2	2160000	8640000	953142,9948	4893391,235	7200	6105,69	3746608,765
16,9	2160000	8640000	738261,3333	4124501,333	7200	5824	4515498,667
13,7	2160000	8640000	533333,3333	3333333,333	7200	5500	5306666,667
36,2	5120000	11520000	3626786,509	8707178,189	9600	8892,96	2812821,811
32,8	5120000	11520000	3483648	8429568	9600	8816	3090432
26,3	5120000	11520000	3144166,667	7764166,667	9600	8625	3755833,333
21,1	5120000	11520000	2740329,115	6958113,275	9600	8379,69	4561886,725
16,8	5120000	11520000	2271914,667	5999274,667	9600	8064	5520725,333
13,6	5120000	11520000	1800000	5000000	9600	7700	6520000
32,5	12500000	28125000	9214474,667	21951874,67	15000	14016	6173125,333
26,2	12500000	28125000	8505000	20580000	15000	13775	7545000
21	12500000	28125000	7644336,295	18892541,49	15000	13464,69	9232458,505
16,6	12500000	28125000	6618528	16842728	15000	13064	11282272
13,4	12500000	28125000	5546666,667	14646666,67	15000	12600	13478333,33
10,9	12500000	28125000	4394531,25	12207031,25	15000	12031,25	15917968,75
32,6	6826666,667	27306666,67	4727808	21070848	12800	11856	6235818,667
26,2	6826666,667	27306666,67	4287500	19687500	12800	11625	7619166,667
20,9	6826666,667	27306666,67	3760935,861	17987512,18	12800	11327,69	9319154,485
16,6	6826666,667	27306666,67	3145728	15925248	12800	10944	11381418,67
13,5	6826666,667	27306666,67	2520000	13720000	12800	10500	13586666,67
11	6826666,667	27306666,67	1871718,75	11276718,75	12800	9956,25	16029947,92
32,4	16666666,67	66666666,67	12459008	54263808	20000	18816	12402858,67
26	16666666,67	66666666,67	11542500	51442500	20000	18525	15224166,67
20,8	16666666,67	66666666,67	10426118,06	47933478,46	20000	18149,69	18733188,21
16,5	16666666,67	66666666,67	9088128	43606528	20000	17664	23060138,67
13,3	16666666,67	66666666,67	7680000	38880000	20000	17100	27786666,67
10,8	16666666,67	66666666,67	6152343,75	33496093,75	20000	16406,25	33170572,92
9,56	16666666,67	66666666,67	5248982,253	30149743,85	20000	15941,64	36516922,81
8,57	16666666,67	66666666,67	4402048	26869248	20000	15456	39797418,67
26	28800000	80000000	21074166,67	62874166,67	24000	22425	17125833,33
20,7	28800000	80000000	19346445,51	58902237,83	24000	22023,69	21097762,17
16,5	28800000	80000000	17247914,67	53989034,67	24000	21504	26010965,33
13,3	28800000	80000000	15000000	48600000	24000	20900	31400000
10,7	28800000	80000000	12503385,42	42428385,42	24000	20156,25	37571614,58
9,53	28800000	80000000	10990626,73	38571460,01	24000	19657,64	41428539,99
8,53	28800000	80000000	9540608	34771968	24000	19136	45228032
25,9	56250000	100000000	43446666,67	80021666,67	30000	28275	19978333,33
20,7	56250000	100000000	40508721,69	75355376,89	30000	27834,69	24644623,11
16,4	56250000	100000000	36893594,67	69562794,67	30000	27264	30437205,33
13,2	56250000	100000000	32955000	63180000	30000	26600	36820000

10,7	56250000	100000000	28483072,92	55826822,92	30000	25781,25	44173177,08
9,47	56250000	100000000	25712053,45	51204034,25	30000	25231,64	48795965,75
8,48	56250000	100000000	23002448	46626048	30000	24656	53373952
25,9	20833333,33	130208333,3	14580000	103680000	25000	23275	26528333,33
20,7	20833333,33	130208333,3	13207899,83	97447865,43	25000	22834,69	32760467,91
16,4	20833333,33	130208333,3	11557728	89690328	25000	22264	40518005,33
13,2	20833333,33	130208333,3	9813333,333	81113333,33	25000	21600	49095000
10,7	20833333,33	130208333,3	7910156,25	71191406,25	25000	20781,25	59016927,08
9,47	20833333,33	130208333,3	6778405,986	64929348,39	25000	20231,64	65278984,95
8,48	20833333,33	130208333,3	5712181,333	58707981,33	25000	19656	71500352
25,9	70312500	195312500	54880000	161280000	37500	35525	34032500
20,6	70312500	195312500	51316811,79	153196072,2	37500	35019,69	42116427,81
16,3	70312500	195312500	46919028	143077428	37500	34364	52235072
13,2	70312500	195312500	42109166,67	131809166,7	37500	33600	63503333,33
10,6	70312500	195312500	36621093,75	118652343,8	37500	32656,25	76660156,25
9,41	70312500	195312500	33203910,52	110271072,1	37500	32021,64	85041427,88
8,41	70312500	195312500	29848414,67	101875614,7	37500	31356	93436885,33
7,73	70312500	195312500	27249010,42	95242760,42	37500	30806,25	100069739,6
25,9	25000000	225000000	17617500	182917500	30000	28025	42082500
20,6	25000000	225000000	15989681,59	172898202,4	30000	27519,69	52101797,61
16,3	25000000	225000000	14027328	160344128	30000	26864	64655872
13,2	25000000	225000000	11946666,67	146346666,7	30000	26100	78653333,33
10,6	25000000	225000000	9667968,75	129980468,8	30000	25156,25	95019531,25
9,41	25000000	225000000	8307829,719	119542152,9	30000	24521,64	105457847,1
8,41	25000000	225000000	7022314,667	109076714,7	30000	23856	115923285,3
7,73	25000000	225000000	6064635,417	100802135,4	30000	23306,25	124197864,6
25,8	200000000	450000000	165759166,7	386159166,7	60000	57525	63840833,33
20,5	200000000	450000000	157621072,2	370722232,6	60000	56889,69	79277767,41
16,2	200000000	450000000	147431594,7	351229994,7	60000	56064	98770005,33
13,1	200000000	450000000	136080000	329280000	60000	55100	120720000
10,5	200000000	450000000	122819010,4	303287760,4	60000	53906,25	146712239,6
9,35	200000000	450000000	114366905,5	286500467,1	60000	53101,64	163499532,9
8,34	200000000	450000000	105896448	269483648	60000	52256	180516352
7,64	200000000	450000000	99201093,75	255882343,8	60000	51556,25	194117656,3
25,8	98437500	535937500	77746666,67	458546666,7	52500	50025	77390833,33
20,5	98437500	535937500	72932991,99	439785312,8	52500	49389,69	96152187,21
16,2	98437500	535937500	66969894,67	416066694,7	52500	48564	119870805,3
13,1	98437500	535937500	60417500	389317500	52500	47600	146620000
10,5	98437500	535937500	52897135,42	357584635,4	52500	46406,25	178352864,6
9,35	98437500	535937500	48187624,65	337054747,9	52500	45601,64	198882752,1
8,34	98437500	535937500	43540348	316214748	52500	44756	219722752
7,64	98437500	535937500	39922968,75	299535468,8	52500	44056,25	236402031,3
20,4	455729166,7	893229166,7	376188899,3	759861959,7	87500	83759,69	133367207

16,2	455729166,7	893229166,7	356625828	726564228	87500	82764	166664938,7
13	455729166,7	893229166,7	334592500	688792500	87500	81600	204436666,7
10,4	455729166,7	893229166,7	308496093,8	643652343,8	87500	80156,25	249576822,9
9,21	455729166,7	893229166,7	291637967,1	614237928,7	87500	79181,64	278991238
8,23	455729166,7	893229166,7	274546148	584193348	87500	78156	309035818,7
7,52	455729166,7	893229166,7	260882343,8	560001093,8	87500	77306,25	333228072,9
20,4	266666666,7	1066666667	212464869,1	907960989,9	80000	76259,69	158705676,8
16,2	266666666,7	1066666667	199344128	868220928	80000	75264	198445738,7
13	266666666,7	1066666667	184680000	823080000	80000	74100	243586666,7
10,4	266666666,7	1066666667	167480468,8	769042968,8	80000	72656,25	297623697,9
9,21	266666666,7	1066666667	156475486,3	733775409,5	80000	71681,64	332891257,2
8,23	266666666,7	1066666667	145410048	697704448	80000	70656	368962218,7
7,52	266666666,7	1066666667	136635468,8	668622968,8	80000	69806,25	398043697,9
16,2	900000000	1600000000	733001728	1340080128	120000	114464	259919872
12,9	900000000	1600000000	695146666,7	1280346667	120000	113100	319653333,3
10,5	900000000	1600000000	649902343,8	1208496094	120000	111406,25	391503906,3
9,19	900000000	1600000000	620417095,3	1161383457	120000	110261,64	438616543,1
8,19	900000000	1600000000	590297514,7	1113004715	120000	109056	486995285,3
7,5	900000000	1600000000	566042760,4	1073849010	120000	108056,25	526150989,6
16,2	585937500	1898437500	463400028	1594056828	112500	106964	304380672
12,9	585937500	1898437500	435984166,7	1523884167	112500	105600	374553333,3
10,5	585937500	1898437500	403417968,8	1439355469	112500	103906,25	459082031,3
9,19	585937500	1898437500	382321414,5	1383854138	112500	102761,64	514583362,3
8,19	585937500	1898437500	360881414,7	1326795815	112500	101556	571641685,3
7,5	585937500	1898437500	343702135,4	1280564635	112500	100556,25	617872864,6
16,2	333333333,3	2083333333	251256661,3	1738491861	100000	94464	344841472
12,9	333333333,3	2083333333	233280000	1658880000	100000	93100	424453333,3
10,5	333333333,3	2083333333	212141927,1	1562923177	100000	91406,25	520410156,3
9,19	333333333,3	2083333333	198584067,1	1499883152	100000	90261,64	583450181,5
8,19	333333333,3	2083333333	184923648	1435045248	100000	89056	648288085,3
7,5	333333333,3	2083333333	174069843,8	1382488594	100000	88056,25	700844739,6
16,1	1125000000	3125000000	923887594,7	2683324395	150000	143664	441675605,3
12,9	1125000000	3125000000	878080000	2580480000	150000	142100	544520000
10,4	1125000000	3125000000	823209635,4	2456022135	150000	140156,25	668977864,6
9,18	1125000000	3125000000	787375409,5	2373940933	150000	138841,64	751059067,3
8,17	1125000000	3125000000	750704448	2289238848	150000	137456	835761152
7,45	1125000000	3125000000	721122968,8	2220360469	150000	136306,25	904639531,3

ANNEX G: MATRIUS RESULTANTS PELS 3 CASOS D'ESTUDI

29/05/2024

6:49:46 PM

	21
1	3.1000
2	0.9545
3	5.2901e+07
4	3.9212e+07
5	1.0974e+06
6	620.0387
7	12.8997
8	632.9384
9	235
10	0
11	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	30	30	30	30	25	25	25	25	22	22
3	33	36.0000	39.0000	42.0000	37.5000	40.0000	42.5000	45.0000	41.8000	44.0000
4	80.9600	88.3200	95.6800	103.0400	92.0000	98.1333	104.2667	110.4000	102.5493	107.9467
5	105.2480	114.8160	124.3840	133.9520	119.6000	127.5733	135.5467	143.5200	133.3141	140.3307
6	202.4000	220.8000	239.2000	257.6000	230.0000	245.3333	260.6667	276.0000	256.3733	269.8667
7	156.7596	168.5356	180.3116	192.0876	174.4236	184.2369	194.0503	203.8636	191.3025	199.9383
8	367.9664	391.5184	415.0704	438.6224	403.2944	422.9211	442.5478	462.1744	437.0523	454.3238
9	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03
10	4.0460e+03	4.0127e+03	3.9793e+03	3.9460e+03	3.9960e+03	3.9682e+03	3.9405e+03	3.9127e+03	3.9483e+03	3.9238e+03
11	3.8975e+03	3.8507e+03	3.8038e+03	3.7570e+03	3.8273e+03	3.7882e+03	3.7492e+03	3.7102e+03	3.7602e+03	3.7258e+03
12	0.0063	0.0064	0.0065	0.0066	0.0065	0.0065	0.0066	0.0067	0.0066	0.0066
13	100	100	100	100	100	100	150	150	100	150
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15	250	300	300	300	300	300	350	350	300	350
16	60	60	60	60	50	50	50	50	50	50
17	30	30	30	30	25	25	25	25	25	25
18	332.4096	357.1998	353.2672	349.4840	315.5430	312.6402	364.7416	361.2678	305.8687	357.8370

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	22	22	20	20	20	20	20	18	18	18
3	46.2000	48.4000	46.0000	48.0000	50.0000	52.0000	54.0000	50.4000	52.2000	54.0000
4	113.3440	118.7413	112.8533	117.7600	122.6667	127.5733	132.4800	123.6480	128.0640	132.4800
5	147.3472	154.3637	146.7093	153.0880	159.4667	165.8453	172.2240	160.7424	166.4832	172.2240
6	283.3600	296.8533	282.1333	294.4000	306.6667	318.9333	331.2000	309.1200	320.1600	331.2000
7	208.5740	217.2097	207.7889	215.6396	223.4903	231.3409	239.1916	225.0604	232.1260	239.1916
8	471.5952	488.8667	470.0251	485.7264	501.4278	517.1291	532.8304	504.5680	518.6992	532.8304
9	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03	4.9497e+03
10	3.8994e+03	3.8750e+03	3.9016e+03	3.8794e+03	3.8572e+03	3.8350e+03	3.8128e+03	3.8528e+03	3.8328e+03	3.8128e+03
11	3.6915e+03	3.6572e+03	3.6946e+03	3.6634e+03	3.6322e+03	3.6010e+03	3.5698e+03	3.6260e+03	3.5979e+03	3.5698e+03
12	0.0067	0.0068	0.0067	0.0068	0.0068	0.0069	0.0069	0.0068	0.0069	0.0069
13	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
14	5	5	5	5	5	6.3000	6.3000	6.3000	6.3000	6.3000
15	350	350	350	350	350	400	400	400	400	400
16	50	50	40	40	40	45	45	40	40	40
17	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20
18	354.7383	351.6986	327.7357	325.1730	322.6547	455.6813	451.7034	450.6303	447.0038	443.4095

	21
1	3.1000
2	18
3	55.8000
4	136.8960
5	177.9648
6	342.2400
7	246.2572
8	546.9616
9	4.9497e+03
10	3.7928e+03
11	3.5417e+03
12	0.0070
13	200
14	6.3000
15	400
16	40
17	20
18	439.8476

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	5.3532e+06	5.2740e+06	5.2360e+06	5.1992e+06	4.9286e+06	4.8965e+06	4.8128e+06	4.7866e+06	4.6506e+06	4.5765e+06
3	9.0591e+06	9.2922e+06	9.7337e+06	1.0173e+07	9.5927e+06	9.9616e+06	9.4739e+06	9.8228e+06	1.0226e+07	9.6833e+06
4	0.1109	0.1150	0.1194	0.1238	0.2025	0.2088	0.2152	0.2216	0.3131	0.3214
5	146827584	188610176	2.0020e+08	212403584	1.5158e+08	1.5806e+08	2.3502e+08	2.4208e+08	1.6290e+08	2.3922e+08
6	41106500	47591500	47591500	47591500	4.4985e+07	4.4985e+07	1.1570e+08	1.1570e+08	4.4985e+07	1.1570e+08
7	1.1746e+06	1.2574e+06	1.3347e+06	1.4160e+06	1.0106e+06	1.0537e+06	1.3430e+06	1.3833e+06	1.0860e+06	1.3670e+06
8	3.5745e+05	4.1384e+05	4.1384e+05	4.1384e+05	3.9986e+05	3.9986e+05	7.1201e+05	7.1201e+05	3.9986e+05	7.1201e+05

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	4.5538e+06	4.5313e+06	4.4289e+06	4.4086e+06	4.3883e+06	4.3186e+06	4.3006e+06	4.1892e+06	4.1730e+06	4.1569e+06
3	9.9901e+06	1.0297e+07	9.9820e+06	1.0261e+07	1.0540e+07	1.0487e+07	1.0760e+07	1.0268e+07	1.0514e+07	1.0760e+07
4	0.3298	0.3383	0.4380	0.4482	0.4586	0.4690	0.4794	0.6319	0.6447	0.6577
5	2.4557e+08	2.5215e+08	2.0587e+08	2.0948e+08	2.1322e+08	3.8956e+08	3.9414e+08	3.7478e+08	3.7826e+08	3.8185e+08
6	1.1570e+08	1.1570e+08	1.1142e+08	1.1142e+08	1.1142e+08	285772000	285772000	2.8577e+08	2.8577e+08	2.8577e+08
7	1.4033e+06	1.4409e+06	1.1764e+06	1.1970e+06	1.2184e+06	1.9478e+06	1.9707e+06	1.8739e+06	1.8913e+06	1.9092e+06
8	7.1201e+05	7.1201e+05	6.9641e+05	6.9641e+05	6.9641e+05	1.3608e+06	1.3608e+06	1.3608e+06	1.3608e+06	1.3608e+06

	21
1	3.1000
2	4.1408e+06
3	1.1007e+07
4	0.6706
5	3.8553e+08
6	2.8577e+08
7	1.9276e+06
8	1.3608e+06

MATLAB Variable: ERRORS											Page 2	
29/05/2024											6:50:42 PM	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

	21
1	3.1000
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	2.6704e-04	2.1953e-04	2.2198e-04	2.2450e-04	2.6615e-04	2.6889e-04	1.3514e-04	1.3670e-04	2.8318e-04	1.4130e-04
3	1.2760e-05	1.1913e-05	1.1841e-05	1.1777e-05	1.3414e-05	1.3372e-05	1.1884e-05	1.1890e-05	1.4046e-05	1.2461e-05
4	20.9284	18.4275	18.7468	19.0631	19.8406	20.1095	11.3716	11.4976	20.1613	11.3397

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	1.4302e-04	1.4474e-04	1.6108e-04	1.6294e-04	1.6480e-04	6.7265e-05	6.8267e-05	6.8856e-05	6.9864e-05	7.0872e-05
3	1.2488e-05	1.2517e-05	1.3414e-05	1.3448e-05	1.3485e-05	1.0482e-05	1.0554e-05	1.0811e-05	1.0886e-05	1.0962e-05
4	11.4528	11.5631	12.0081	12.1164	12.2212	6.4173	6.4682	6.3691	6.4179	6.4651

29/05/2024

6:51:35 PM

	21
1	3.1000
2	7.1880e-05
3	1.1040e-05
4	6.5107

	21
1	3.1000
2	0.9260
3	9.0698e+06
4	3.6003e+06
5	4.6427e+05
6	394.8217
7	9.1372
8	403.9589
9	235
10	0
11	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	22	20	20	18	18	18	18	16	16	15
3	24.2000	24.0000	26.0000	25.2000	27.0000	28.8000	30.6000	28.8000	30.4000	30.0000
4	59.3707	58.8800	63.7867	61.8240	66.2400	70.6560	75.0720	70.6560	74.5813	73.6000
5	77.1819	76.5440	82.9227	80.3712	86.1120	91.8528	97.5936	91.8528	96.9557	95.6800
6	148.4267	147.2000	159.4667	154.5600	165.6000	176.6400	187.6800	176.6400	186.4533	184.0000
7	115.4196	114.6345	122.4852	119.3449	126.4105	133.4761	140.5417	133.4761	139.7566	138.1865
8	271.6921	270.1219	285.8233	279.5427	293.6739	307.8051	321.9363	307.8051	320.3662	317.2259
9	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03
10	4.7282e+03	4.7299e+03	4.7130e+03	4.7197e+03	4.7045e+03	4.6893e+03	4.6741e+03	4.6893e+03	4.6758e+03	4.6791e+03
11	4.6193e+03	4.6219e+03	4.5960e+03	4.6063e+03	4.5830e+03	4.5597e+03	4.5364e+03	4.5597e+03	4.5390e+03	4.5441e+03
12	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
15	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
16	50	40	40	40	40	40	40	40	40	35
17	25	20	20	20	20	20	20	20	20	15
18	270.2673	235.8496	234.6030	232.2868	231.1680	303.2734	301.7289	300.6727	299.2722	279.5706

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
3	31.5000	33.0000	32.2000	33.6000	35.0000	36.4000	37.8000	39.2000	40.6000	42.0000
4	77.2800	80.9600	78.9973	82.4320	85.8667	89.3013	92.7360	96.1707	99.6053	103.0400
5	100.4640	105.2480	102.6965	107.1616	111.6267	116.0917	120.5568	125.0219	129.4869	133.9520
6	193.2000	202.4000	197.4933	206.0800	214.6667	223.2533	231.8400	240.4267	249.0133	257.6000
7	144.0745	149.9625	146.8222	152.3177	157.8132	163.3086	168.8041	174.2996	179.7950	185.2905
8	329.0019	340.7779	334.4974	345.4883	356.4793	367.4702	378.4611	389.4521	400.4430	411.4339
9	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03	5.3852e+03
10	4.6665e+03	4.6538e+03	4.6605e+03	4.6487e+03	4.6369e+03	4.6250e+03	4.6132e+03	4.6014e+03	4.5895e+03	4.5777e+03
11	4.5247e+03	4.5053e+03	4.5156e+03	4.4975e+03	4.4794e+03	4.4612e+03	4.4431e+03	4.4250e+03	4.4068e+03	4.3887e+03
12	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300
16	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
18	278.3643	277.1767	276.6305	275.5140	308.0138	306.7484	305.4983	304.2634	303.0436	301.8390

	21
1	3.1000
2	12
3	37.2000
4	91.2640
5	118.6432
6	228.1600
7	166.4489
8	373.7507
9	5.3852e+03
10	4.6183e+03
11	4.4509e+03
12	0.0042
13	100
14	5
15	300
16	30
17	12
18	292.7365

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	2.7070e+06	2.7077e+06	2.6859e+06	2.6157e+06	2.5969e+06	2.5017e+06	2.4910e+06	2.4260e+06	2.4166e+06	2.4017e+06
3	4.1232e+06	4.1537e+06	4.3122e+06	4.2488e+06	4.3913e+06	4.2696e+06	4.4051e+06	4.2696e+06	4.3900e+06	4.3919e+06
4	0.1045	0.1386	0.1433	0.1939	0.1998	0.2058	0.2118	0.2930	0.3007	0.3625
5	6.3493e+07	4.5261e+07	4.7551e+07	4.6621e+07	4.8741e+07	7.8759e+07	8.1074e+07	7.8759e+07	8.0812e+07	6.9243e+07
6	2.6575e+07	2.5077e+07	2.5077e+07	2.5077e+07	2.5077e+07	3.6677e+07	3.6677e+07	3.6677e+07	3.6677e+07	3.4664e+07
7	6.3493e+05	4.5261e+05	4.7551e+05	4.6621e+05	4.8741e+05	6.3007e+05	6.4859e+05	6.3007e+05	6.4650e+05	5.5394e+05
8	2.3622e+05	2.2798e+05	2.2798e+05	2.2798e+05	2.2798e+05	3.3343e+05	3.3343e+05	3.3343e+05	3.3343e+05	3.2245e+05

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	2.3933e+06	2.3849e+06	2.3513e+06	2.3436e+06	2.2969e+06	2.2908e+06	2.2847e+06	2.2786e+06	2.2725e+06	2.2665e+06
3	4.5053e+06	4.6187e+06	4.5582e+06	4.6639e+06	4.6847e+06	4.7888e+06	4.8927e+06	4.9965e+06	5.1002e+06	5.2038e+06
4	0.3714	0.3803	0.4619	0.4722	0.4826	0.4931	0.5037	0.5143	0.5250	0.5358
5	7.0492e+07	7.1785e+07	7.1090e+07	7.2315e+07	1.0438e+08	1.0568e+08	1.0702e+08	1.0840e+08	1.0982e+08	1.1128e+08
6	3.4664e+07	3.4664e+07	3.4664e+07	3.4664e+07	4.0230e+07	4.0230e+07	4.0230e+07	4.0230e+07	4.0230e+07	4.0230e+07
7	5.6393e+05	5.7428e+05	5.6872e+05	5.7852e+05	6.9586e+05	7.0454e+05	7.1349e+05	7.2269e+05	7.3214e+05	7.4186e+05
8	3.2245e+05	3.2245e+05	3.2245e+05	3.2245e+05	3.7423e+05	3.7423e+05	3.7423e+05	3.7423e+05	3.7423e+05	3.7423e+05

	21
1	3.1000
2	2.2202e+06
3	4.8664e+06
4	0.7926
5	9.8001e+07
6	38901280
7	6.5334e+05
8	3.6699e+05

	21
1	3.1000
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	2.6825e-04	3.3386e-04	3.3217e-04	3.4331e-04	3.4259e-04	1.7723e-04	1.7827e-04	1.8182e-04	1.8305e-04	2.0592e-04
3	1.1172e-05	1.2470e-05	1.2293e-05	1.2842e-05	1.2701e-05	9.6807e-06	9.6289e-06	1.0003e-05	9.9679e-06	1.0545e-05
4	24.0112	26.7725	27.0200	26.7329	26.9731	18.3075	18.5141	18.1763	18.3642	19.5288

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	2.0737e-04	2.0879e-04	2.1128e-04	2.1277e-04	1.6500e-04	1.6653e-04	1.6804e-04	1.6953e-04	1.7101e-04	1.7248e-04
3	1.0512e-05	1.0480e-05	1.0700e-05	1.0676e-05	9.7291e-06	9.7185e-06	9.7085e-06	9.6990e-06	9.6900e-06	9.6815e-06
4	19.7270	19.9230	19.7464	19.9301	16.9595	17.1350	17.3082	17.4793	17.6482	17.8151

29/05/2024

6:56:01 PM

	21
1	3.1000
2	1.8328e-04
3	1.0328e-05
4	17.7458

	21
1	3.1000
2	0.8747
3	9.5894e+06
4	3.2634e+06
5	0
6	518.7523
7	13.9738
8	532.7261
9	450
10	0
11	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	30	25	25	25	22	22	22	20	20	20
3	33	30.0000	32.5000	35.0000	33.0000	35.2000	37.4000	36.0000	38.0000	40.0000
4	64.7209	58.8372	63.7403	68.6434	64.7209	69.0357	73.3504	70.6047	74.5271	78.4496
5	84.1372	76.4884	82.8624	89.2364	84.1372	89.7464	95.3555	91.7860	96.8853	101.9845
6	161.8023	147.0930	159.3508	171.6085	161.8023	172.5891	183.3760	176.5116	186.3178	196.1240
7	137.9117	128.4978	136.3427	144.1877	137.9117	144.8153	151.7188	147.3257	153.6016	159.8776
8	344.5399	325.7120	341.4019	357.0918	344.5399	358.3470	372.1542	363.3678	375.9197	388.4717
9	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03
10	5.2392e+03	5.2693e+03	5.2442e+03	5.2191e+03	5.2392e+03	5.2171e+03	5.1950e+03	5.2090e+03	5.1890e+03	5.1689e+03
11	5.0907e+03	5.1343e+03	5.0980e+03	5.0616e+03	5.0907e+03	5.0587e+03	5.0267e+03	5.0470e+03	5.0180e+03	4.9889e+03
12	0.0061	0.0061	0.0061	0.0062	0.0061	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0063
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5
15	200	200	200	250	200	250	250	250	250	250
16	60	50	50	50	50	50	50	40	40	40
17	30	25	25	25	25	25	25	20	20	20
18	356.8569	305.8206	303.9403	383.3390	297.8218	377.3718	375.1988	338.8438	337.0899	335.3669

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	20	18	18	18	18	18	18	16	16	16
3	42.0000	39.6000	41.4000	43.2000	45.0000	46.8000	48.6000	44.8000	46.4000	48.0000
4	82.3721	77.6651	81.1953	84.7256	88.2558	91.7860	95.3163	87.8636	91.0016	94.1395
5	107.0837	100.9647	105.5540	110.1433	114.7326	119.3219	123.9112	114.2226	118.3020	122.3814
6	205.9302	194.1628	202.9884	211.8140	220.6395	229.4651	238.2907	219.6589	227.5039	235.3488
7	166.1536	158.6224	164.2708	169.9192	175.5675	181.2159	186.8643	174.9399	179.9607	184.9815
8	401.0236	385.9613	397.2580	408.5548	419.8515	431.1483	442.4450	418.5963	428.6379	438.6794
9	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03	6.4031e+03
10	5.1488e+03	5.1729e+03	5.1548e+03	5.1367e+03	5.1186e+03	5.1005e+03	5.0825e+03	5.1206e+03	5.1046e+03	5.0885e+03
11	4.9598e+03	4.9947e+03	4.9685e+03	4.9423e+03	4.9161e+03	4.8899e+03	4.8638e+03	4.9190e+03	4.8958e+03	4.8725e+03
12	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0064	0.0064	0.0064	0.0063	0.0064	0.0064
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300
16	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
18	333.6748	332.4481	330.8915	366.4734	364.7311	363.0114	361.3141	361.8472	360.2823	358.7333

	21
1	3.1000
2	16
3	49.6000
4	97.2775
5	126.4608
6	243.1938
7	190.0023
8	448.7210
9	6.4031e+03
10	5.0724e+03
11	4.8492e+03
12	0.0064
13	100
14	5
15	300
16	40
17	20
18	357.2000

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	8.2497e+06	8.4683e+06	8.3046e+06	7.7072e+06	7.9584e+06	7.4064e+06	7.3384e+06	7.4692e+06	7.4039e+06	7.3404e+06
3	1.8245e+07	1.8417e+07	1.9024e+07	1.5489e+07	1.9144e+07	1.5531e+07	1.5993e+07	1.6127e+07	1.6552e+07	1.6974e+07
4	0.1458	0.2477	0.2512	0.2552	0.3697	0.3749	0.3806	0.5017	0.5087	0.5161
5	9.6951e+07	6.3080e+07	6.6960e+07	9.8828e+07	6.7759e+07	9.9161e+07	1.0291e+08	7.8733e+07	8.0783e+07	8.2911e+07
6	28194000	2.6575e+07	2.6575e+07	3.8818e+07	2.6575e+07	3.8818e+07	3.8818e+07	3.6677e+07	3.6677e+07	3.6677e+07
7	9.6951e+05	6.3080e+05	6.6960e+05	7.9062e+05	6.7759e+05	7.9329e+05	8.2328e+05	6.2986e+05	6.4627e+05	6.6329e+05
8	2.4517e+05	2.3622e+05	2.3622e+05	3.4505e+05	2.3622e+05	3.4505e+05	3.4505e+05	3.3343e+05	3.3343e+05	3.3343e+05

	21
1	3.1000
2	6.4468e+06
3	1.7837e+07
4	1.0845
5	1.2500e+08
6	4.2537e+07
7	8.3330e+05
8	3.8670e+05

29/05/2024

7:05:00 PM

	21
1	3.1000
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	1.5000	1.6000	1.7000	1.8000	1.9000	2.0000
2	3.6812e-04	4.8540e-04	4.8223e-04	2.2464e-04	5.0600e-04	2.3350e-04	2.3444e-04	2.8045e-04	2.8133e-04	2.8222e-04
3	1.1711e-05	1.3894e-05	1.3671e-05	1.0910e-05	1.4388e-05	1.1407e-05	1.1335e-05	1.2392e-05	1.2324e-05	1.2260e-05
4	31.4323	34.9350	35.2752	20.5907	35.1689	20.4697	20.6824	22.6318	22.8271	23.0200

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2.1000	2.2000	2.3000	2.4000	2.5000	2.6000	2.7000	2.8000	2.9000	3.0000
2	2.8312e-04	2.9114e-04	2.9234e-04	2.2141e-04	2.2291e-04	2.2440e-04	2.2586e-04	2.3034e-04	2.3195e-04	2.3355e-04
3	1.2198e-05	1.2731e-05	1.2686e-05	1.1689e-05	1.1664e-05	1.1640e-05	1.1619e-05	1.2120e-05	1.2109e-05	1.2100e-05
4	23.2104	22.8681	23.0439	18.9422	19.1114	19.2772	19.4397	19.0048	19.1547	19.3019

29/05/2024

7:05:10 PM

	21
1	3.1000
2	2.3513e-04
3	1.2091e-05
4	19.4464