

ANNEX A: CARACTERITZACIÓ DEL MATERIAL PEDRA DE GIRONA

SUMARI

A.1. Objectiu.....	79
A.2. Assaig del model lineal.	79
A.2.1 Introducció.....	79
A.2.2 Assaig uniaxial a tracció	79
A.2.3 Assaig uniaxial a compressió	80
A.3. Assaig del model no lineal.....	80
A.3.1 Introducció.....	80
A.3.2 Assaig uniaxial a tracció model elàstic.....	81

A.1. Objectiu

Intentarem comprovar com respon el programa ANSYS i com es comporta un material com és la pedra de Girona caracteritzat elàsticament . Utilitzarem diferents estats de tensions a una geometria molt simple per poder-ho contrastar amb els valors teòrics.

A.2. Assaig del model lineal.

A.2.1 Introducció

La geometria a la que aplicarem els diferents estats de tensions és un cub de 1 cm³ que constarà d'un sol element SOLID 65 d'un material ceràmic com és la pedra de Girona.

Característiques del material:

- Mòdul elàstic o de Young (E)= $7,47 \cdot 10^{10}$ Pa
- Coeficient de Poisson(μ)= 0,3357
- Tensió límit a la tracció(σ_{ut})= $7,32 \cdot 10^6$ Pa
- Tensió límit a la compressió(σ_{uc})= $7,32 \cdot 10^7$ Pa

A.2.2 Assaig uniaxial a tracció

S'aplicarà una pressió de 8 MPa a tracció per assegurar-nos que es supera el límit de tracció i així podrem representar la corba tensió-deformació de la figura 1.

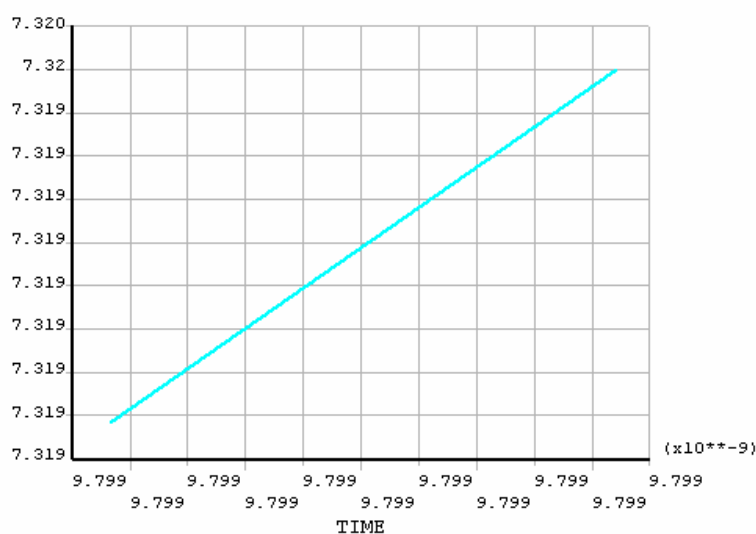


Fig. A.1. Corba tensió deformació de l'assaig uniaxial a compressió

A.2.3 Assaig uniaxial a compressió

Aquest assaig tracta d'aplicar una càrrega a compressió de 80 MPa, que és un valor superior a la tensió límit a compressió definida en les característiques del material pedra de Girona ($\sigma_{uc}=73,2$ MPa).

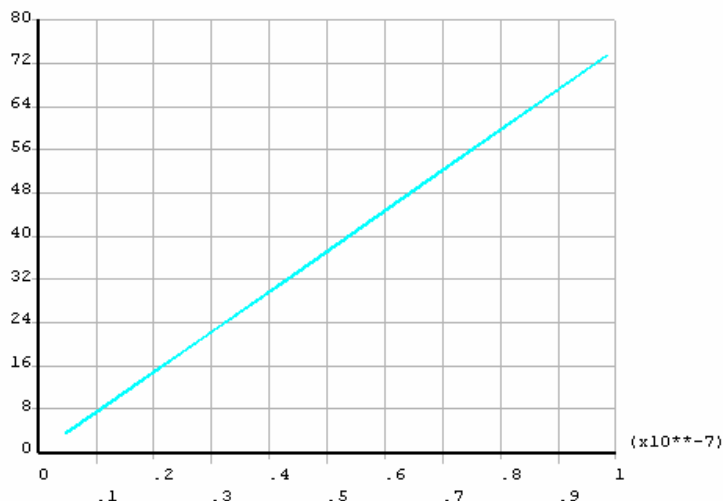


Fig. A.2. Corba tensió deformació de l'assaig uniaxial a compressió

S'observa que es va aplicant una compressió fins arribar al límit de tensió a compressió. El programa ANSYS obté resultats fins al valor que supera a aquest valor límit en aquest instant correspon al punt de ruptura del material.

A.3. Assaig del model no lineal.

A.3.1 Introducció

El model concrete també permet introduir en les característiques del material un comportament plàstic subjecte a l'evolució d'una corba esforç-deformació prèviament introduïda.

	Strain	Stress Pa
1	0,	0,
2	1,3339e-004	9,964e+006
3	2,8e-004	2,02e+007
4	4,5e-004	3,03e+007
5	6,7e-004	4,e+007
6	8,5e-004	5,02e+007
7	1,12e-003	6,02e+007
8	1,22e-003	6,45e+007
9	1,44e-003	7,04e+007
10	1,57e-003	7,32e+007

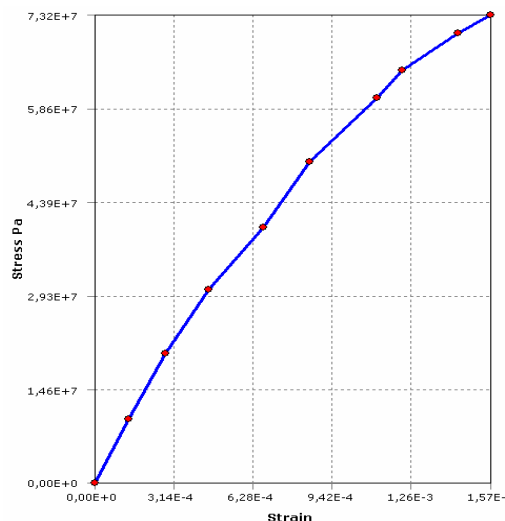


Fig. A.3. Corba tensió deformació del model.

A.3.2 Assaig uniaxial a tracció model elàstic

En aquest cas s'ha fet un assaig uniaxial per comprovar que el material segueix exactament la corba que s'ha introduït, fig.A.3

La resposta obtinguda segueix el comportament definit com es pot veure en la figura A.4.

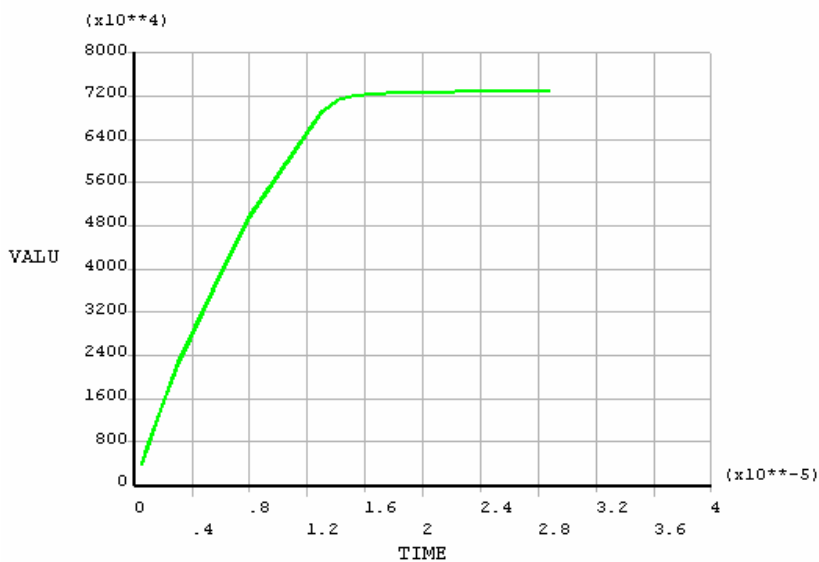


Fig. A.4. Corba tensió deformació de l'assaig uniaxial a compressió

ANNEX B: ESTUDI DE LA INTECOMUNICACIÓ

SUMARI

B.1. Objectiu	83
B.2. Introducció	83
B.3. Procés de creació	83
B.3.1. Software	83
B.3.2. Evolució del disseny	84
B.3.2.1. Cos del la galeria nord del Caestre de la catedral de Girona:	84
B.3.2.2. Columna	87
B.3.2.3. Capitell	88
B.3.2.4. Muntatge de tot el model	88
B.3.2.5. Intercanvi de fitxers	89
B.3.2.6. Model amb Ansys Workbench	96

B.1. Objectiu

L'objectiu del present document és la creació de la part central de la galeria nord del claustre de la Catedral de Girona i la intercomunicació entre diferents programes.

B.2. Introducció

La tipologia constructiva de la galeria nord del claustre és diversa. Els porxos estan formats per arcs de mig punt, que descansen sobre parells de columnes i a les cantonades, i cada tres, quatre o cinc columnes, trobem les pilastres. A la planta baixa l'element sustentant és una volta de canó. Igualment succeeix a la planta primera.

La volta de la planta baixa es recolza en un mur i en l'estructura de pilars i columnes dobles. A la planta primera la volta es recolza en dos murs de 0.95 m. El mur interior disposa de finestres situades de manera continua. Tota l'estructura es descàrrega per un mur per la part nord, i un altre per la part sud.

B.3. Procés de creació

B.3.1. Software

Donades les característiques geomètriques del claustre és necessari un programa 3D potent. Es podria pensar en varies opcions. Primer de tot cal decidir si es treballa amb malla amb superfícies o amb volums. Donats els resultats contradictoris que han donat estudis anterior, la millor opció és treballar amb volums ja que per fer formes d'aquest tipus seria el més aconsellable i a més a més, ens permet realitzar contactes entre les superfícies dels cossos. Això farà que es compliqui la realització. La opció que el projectista va creure més adient és dibuixar i modelitzar els cossos amb el programa Pro/Engineer, ja que és un programa molt robust que ens permetrà fer el muntatge dels cossos i així assegurar-nos els contactes entre ells i després extreure el model del muntatge per introduir-lo al ANSYS o ANSYS Workbench. A partir d'aquí generar tots els anàlisis possibles.

B.3.2. Evolució del disseny

Amb el programa Pro/Engineer creem els diferents volums del nostre model.

B.3.2.1. Cos del la galeria nord del Claustre de la catedral de Girona:

Amb diferents extrusions creem el volum del cos del Claustre:

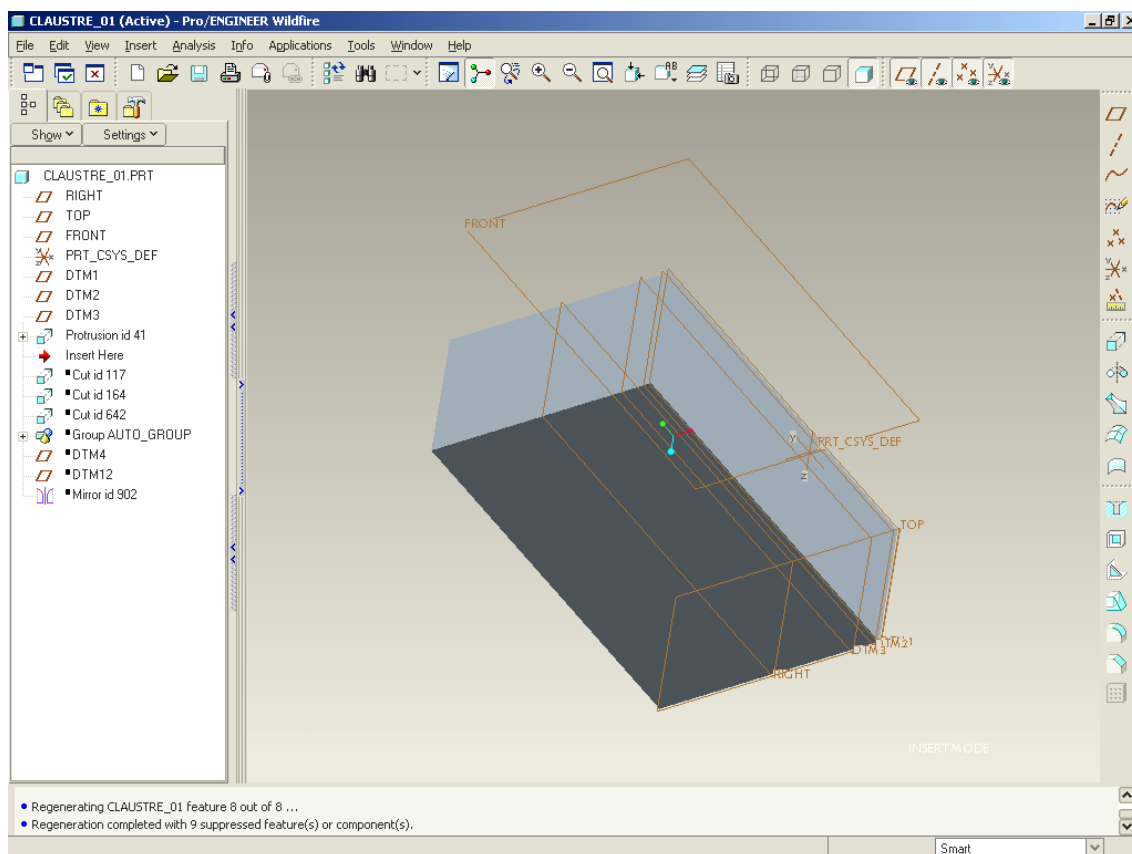


Fig. B.1.Extrusió de la meitat de tot el cos del claustre

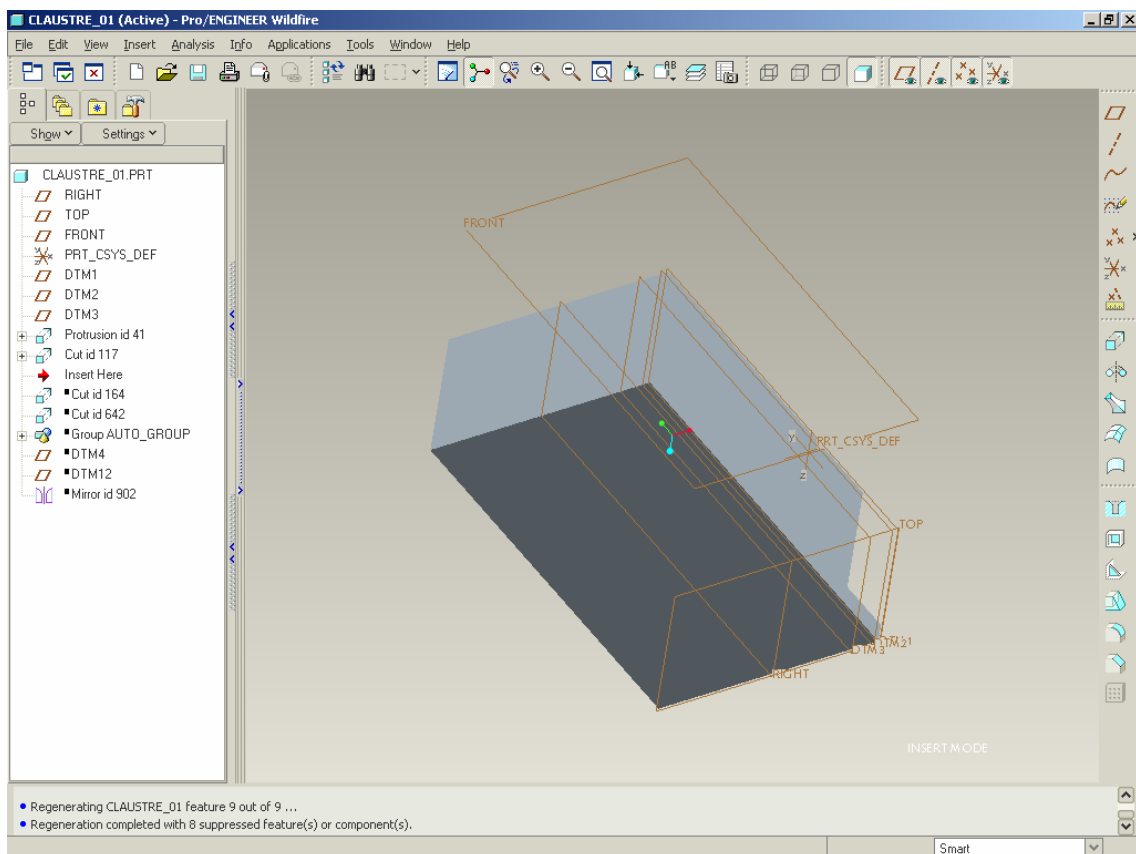


Fig. B.2. Amb una extrusió creem el volum de sota els capitell

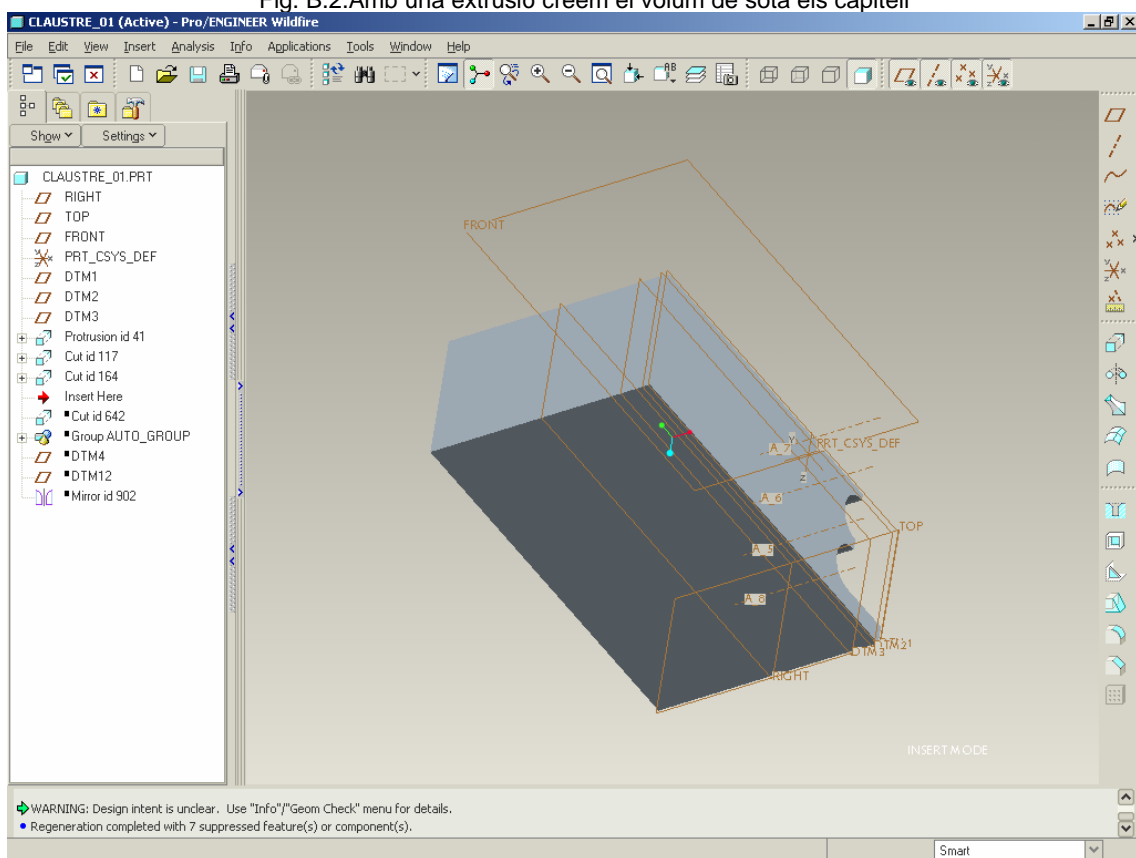


Fig. B.3. Extruem els arc entre columnes

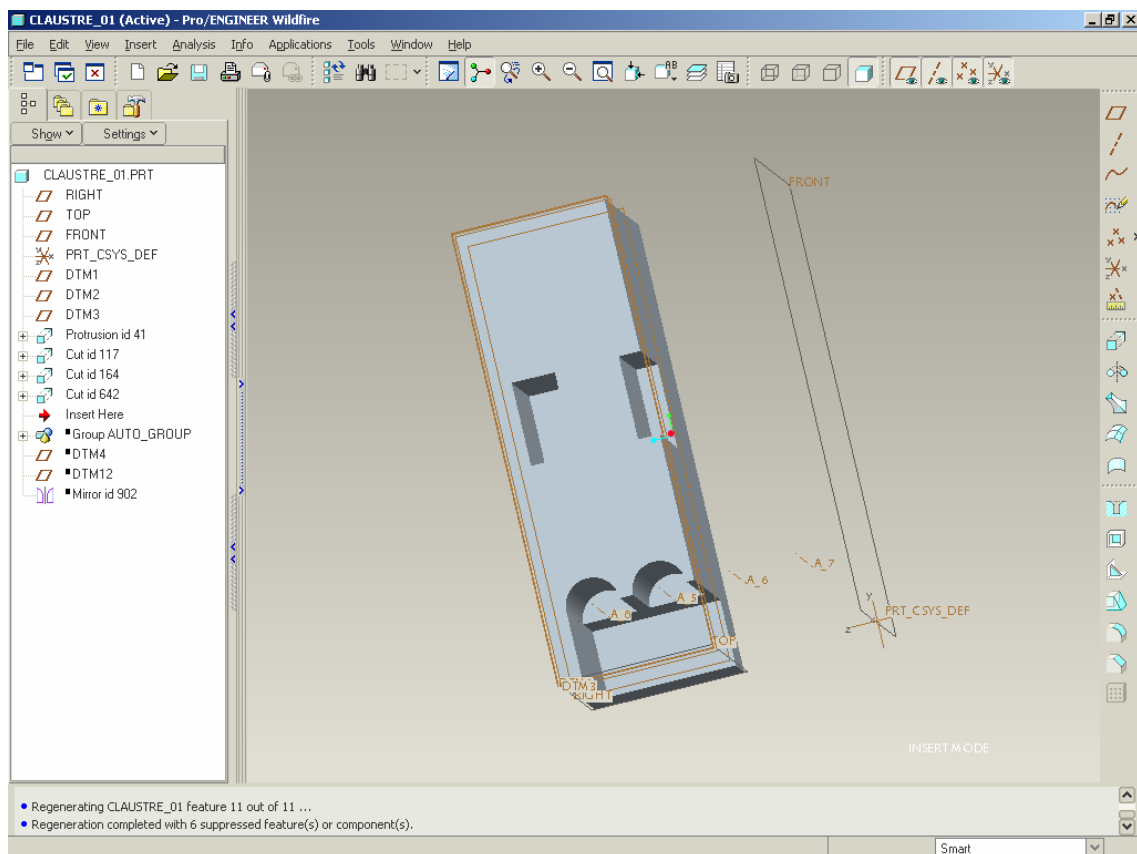


Fig. B.4.Extruim les finestra del pis superior

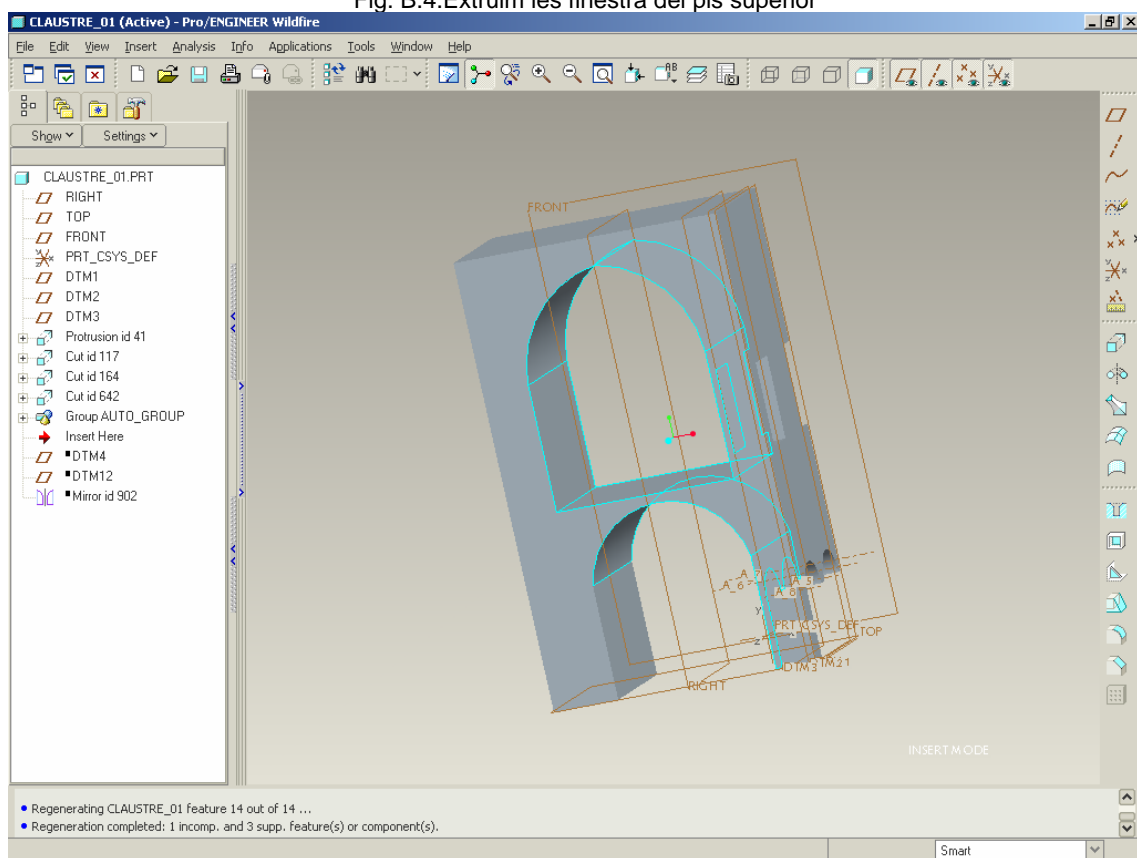


Fig. B.5.Extruim la volta de canó inferior i de mig punt superior.

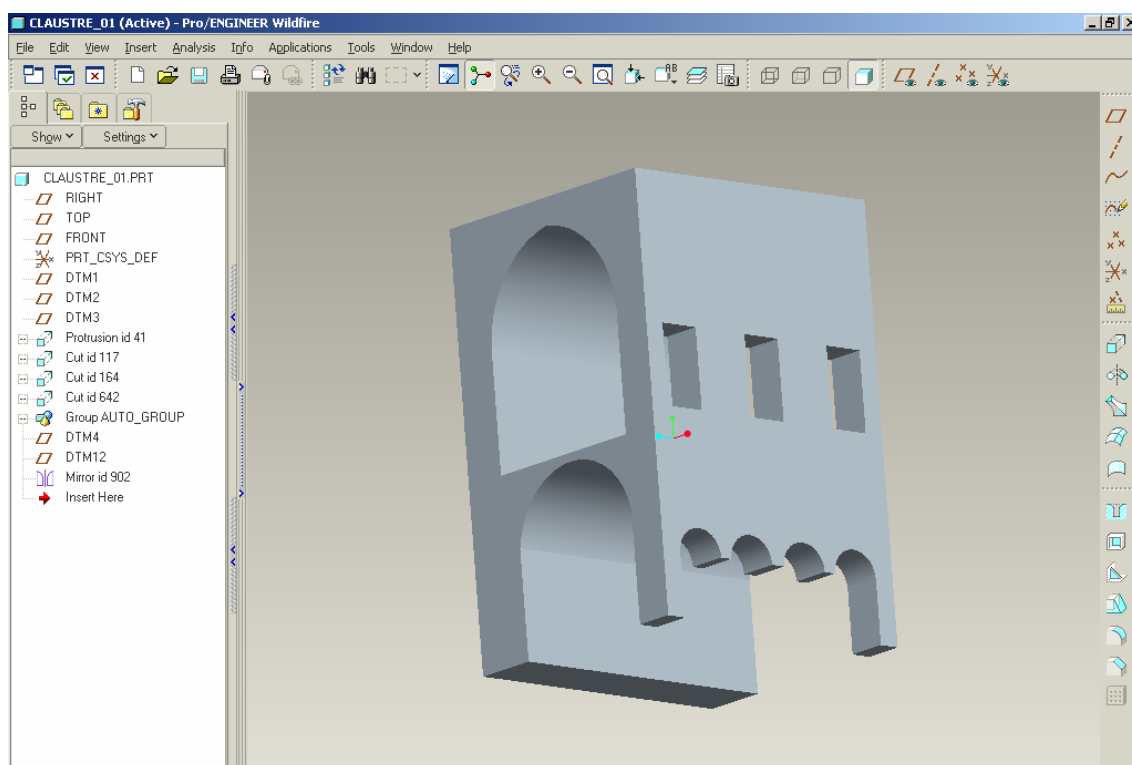


Fig. B.6. Generem simetria per obtenir tot el cos.

B.3.2.2. Columna

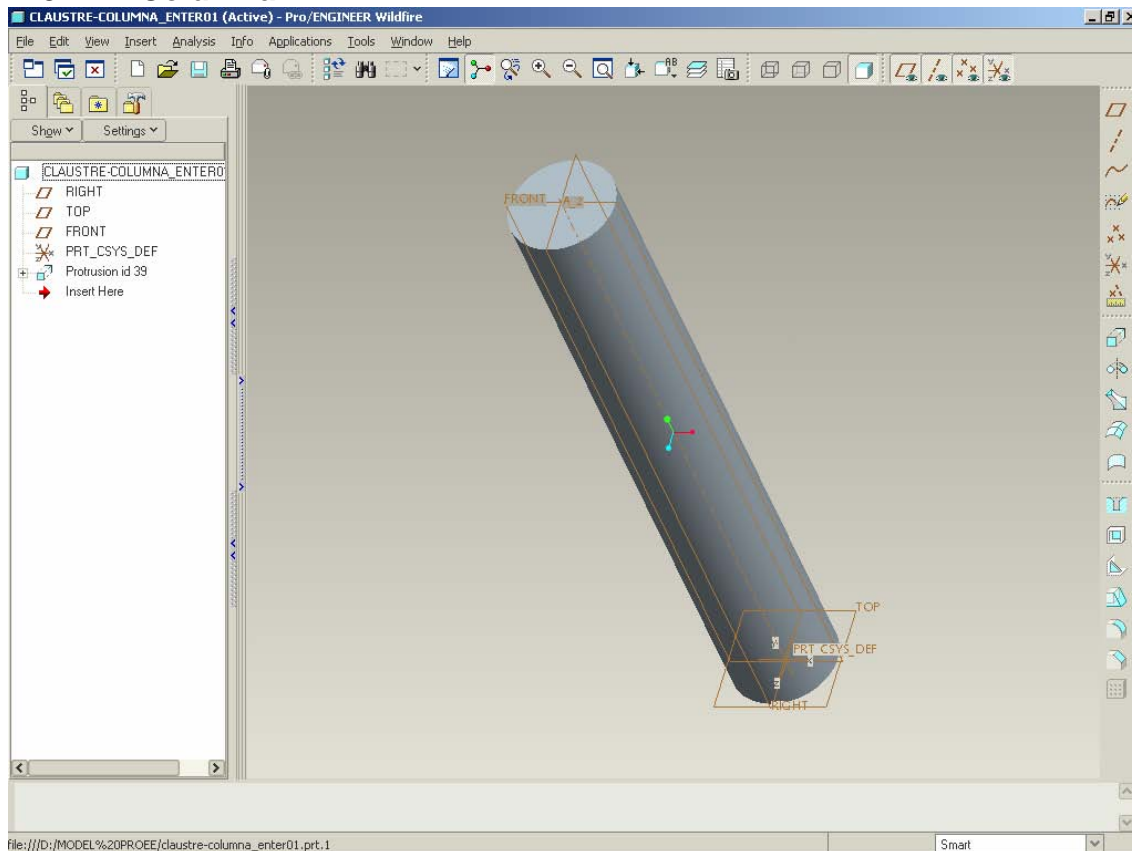


Fig. B.7. Extruem un cilindre que serà una columna.

B.3.2.3. Capitell

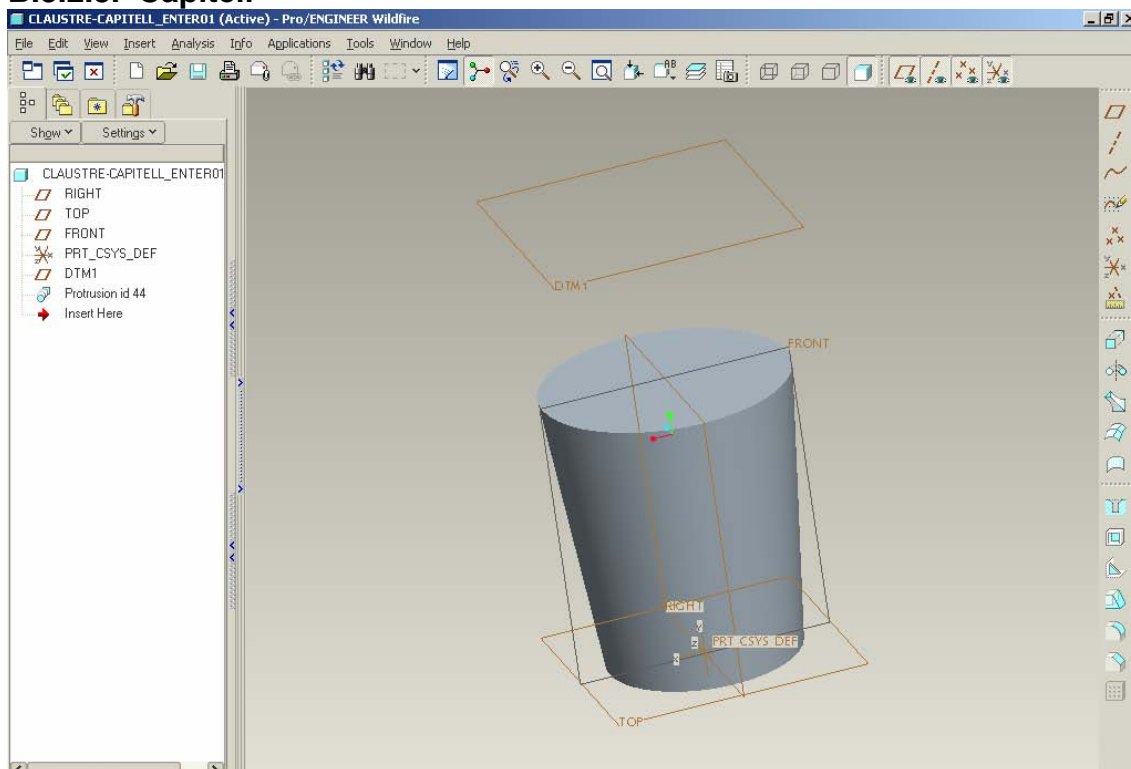


Fig. B.8.Extruïm un cos cònic que serà un capitell.

B.3.2.4. Muntatge de tot el model

Creem el muntatge del cost amb les columnes i els capitells, imposablem els contactes entre els capitells i el cos del claustre, i les columnes amb els **capitells**.

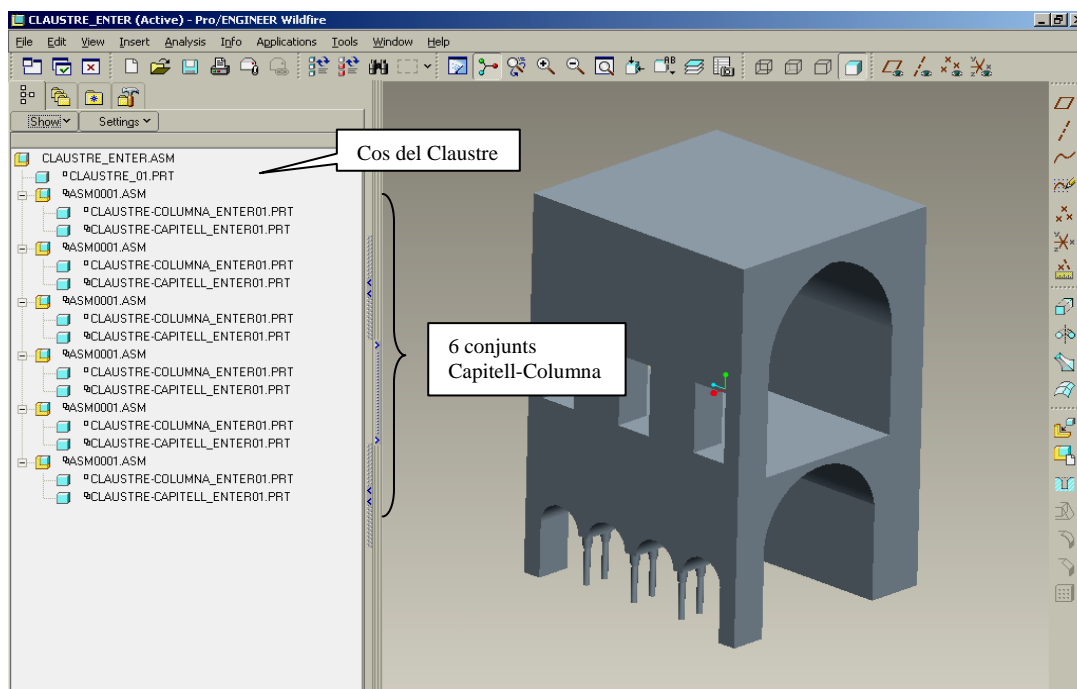


Fig. B.9.Tot el muntatge.

Creem un eix de coordenades nou que serà l'eix de coordenades comú per a tots els sòlids, per tal de poder-los exportar. Cal tenir amb compte que si creem aquest nou eix de coordenades girat amb les coordenades adequades es representarà correctament amb el programa ANSYS ja que amb aquest software l'eix vertical per defecte és l'eix Y.



Fig. B.10. Nou eix de coordenades relatives anomenat EIXOS.

B.3.2.5. Intercanvi de fitxers

Per tal de poder exportar els sòlids individualment caldrà que anem eliminant tots els altres del conjunt, així com caldrà eliminar les relacions de contactes i referències que hem creat per tal de poder realitzar el conjunt; però ens caldrà mantenir l'eix de coordenades que hem creat.

En el següent exemple eliminarem tots els volums excepte un dels conjunt columna+capitell. Així mateix s'ha fet amb cada una de les parts del conjunt.

Seleccionem el cos que volem eliminar, cliquem amb el botó esquerra del ratolí sobre el cos que volem eliminar. Seleccionem amagar (*Suppress*).

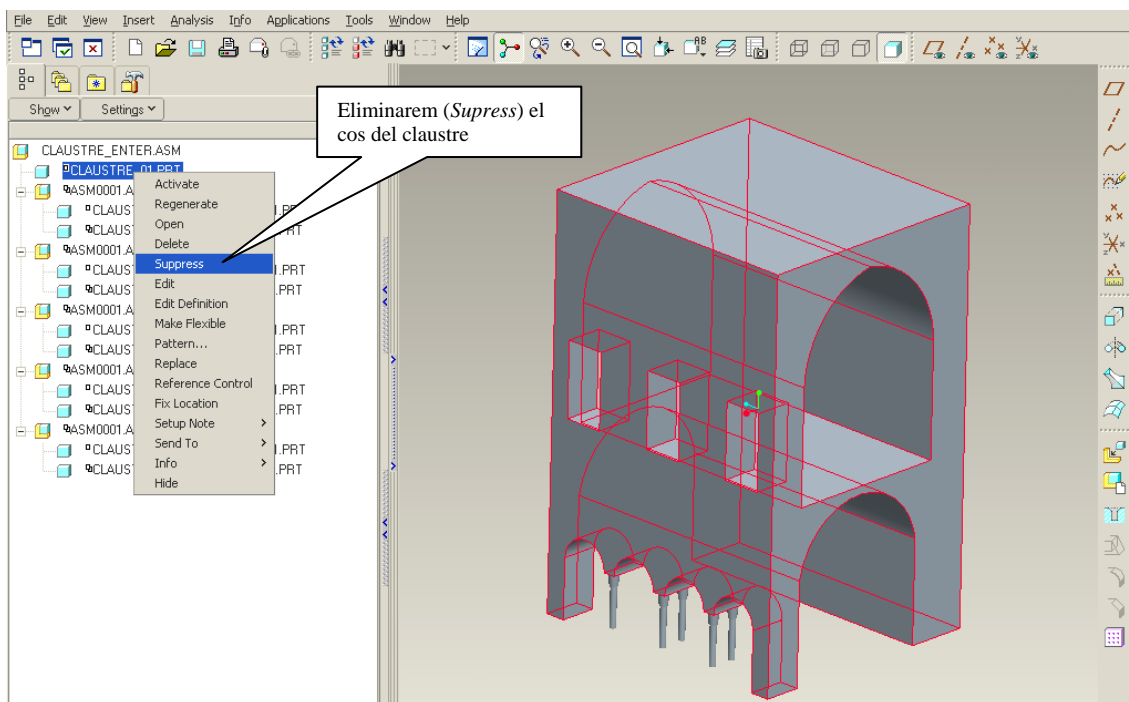


Fig. B.11. Eliminació del cos del claustre.

S'obrirà un quadre en el que seleccionem *Options*>>

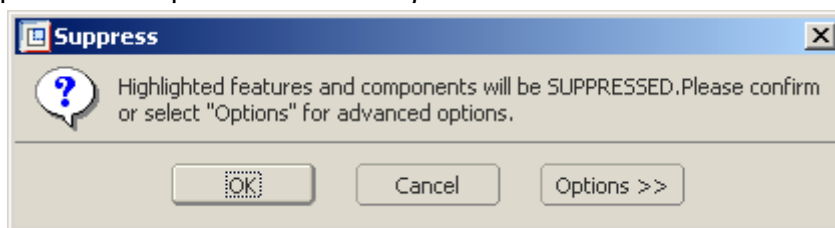


Fig. B.12. Opcions per a la supressió.

Sens obrirà una nova finestra, en la podrem triar quines parts del conjunt volem amagar (*Supress*) i quines no (*Suspend*)

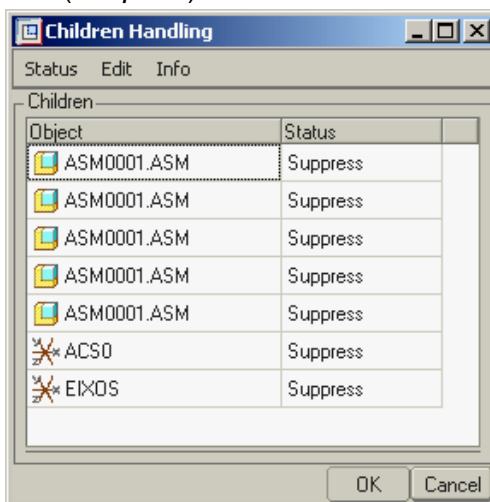


Fig. B.13. Relació de parentes entre peces.

En aquest exemple, no amagarem un dels conjunt de columna i capitell i els eixos de coordenades que hem creat:

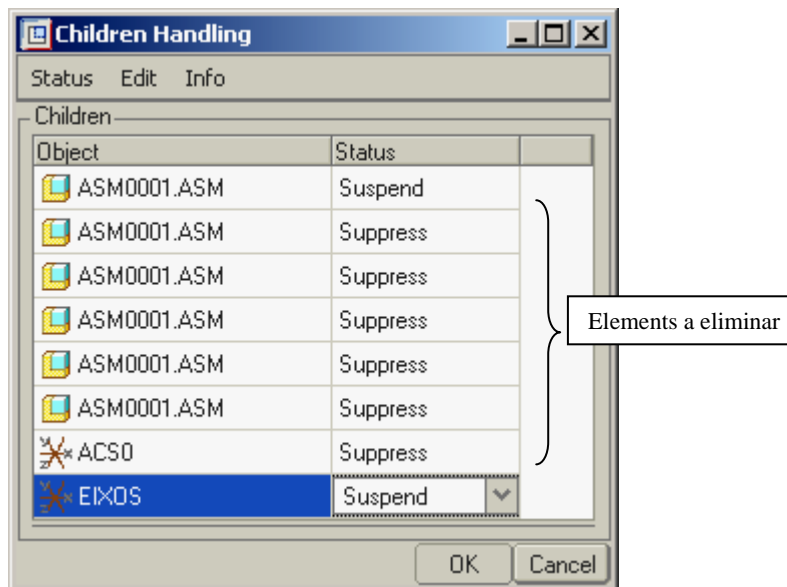


Fig. B.14. Selecció dels cossos a conservar i eliminar.

Un cop acceptada (OK) les parts del conjunt a amagar (*Supress*).

Com que teníem relacions de referències i contactes entre el conjunt Columna-Capitell que volem conservar i el cos del claustre, ens sortirà el següent missatge a la pantalla:

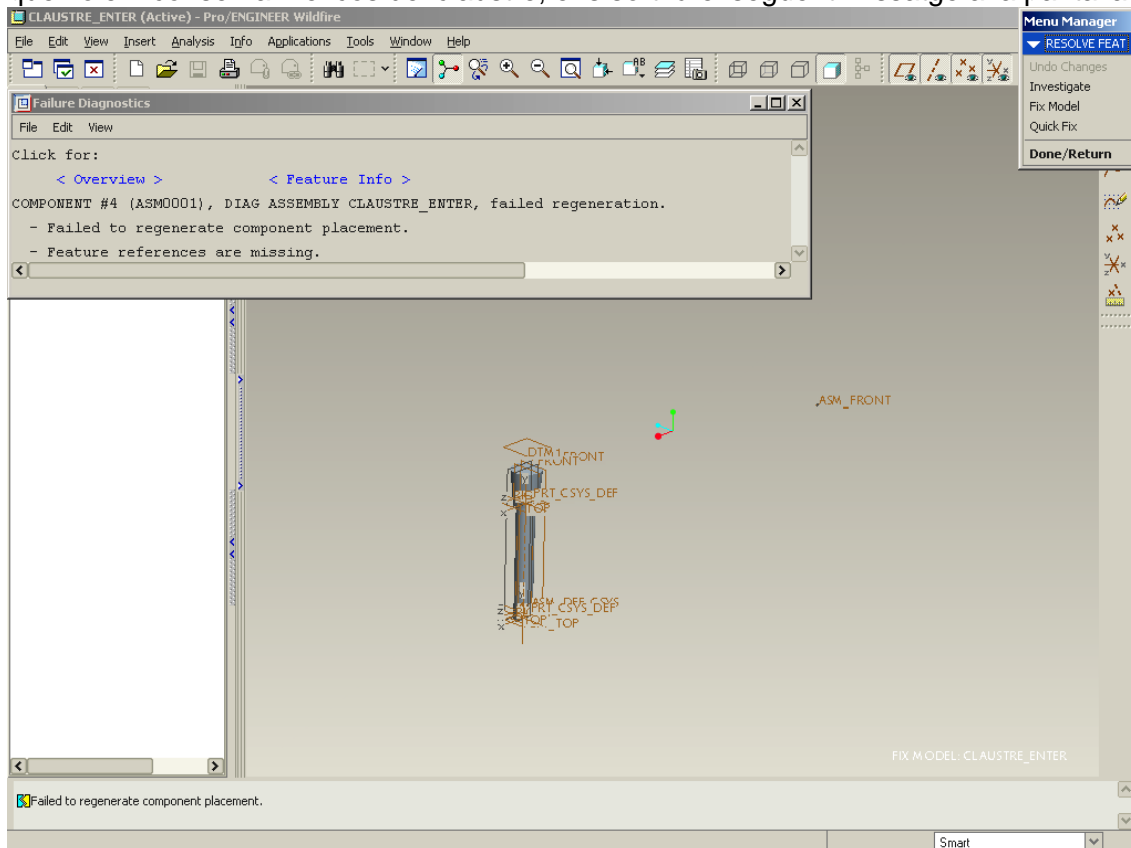


Fig. B.15. Missatge de relació entre cossos.

En el menú desplegable que s'ha obert al mateix temps, seleccionarem la opció *Quick Fix>Redefine>Done*.

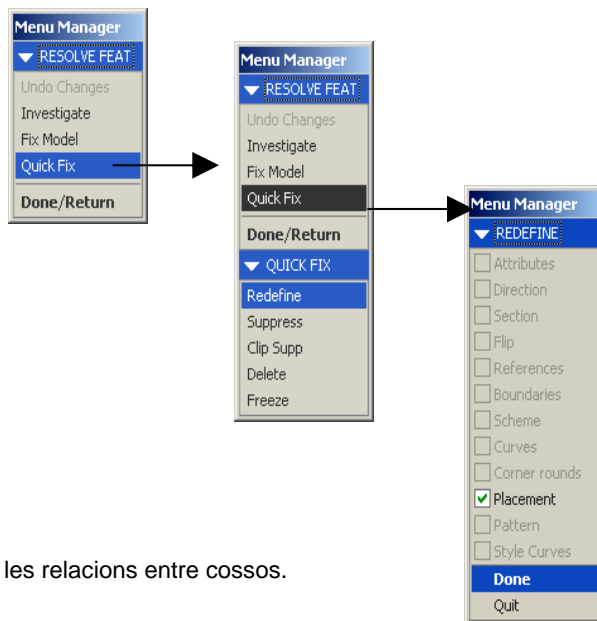


Fig. B.16. Redefinir les relacions entre cossos.

Ara podríem redefinir les relacions que hi havia entre els cossos del conjunt, en el nostre cas eliminarem aquestes relacions.

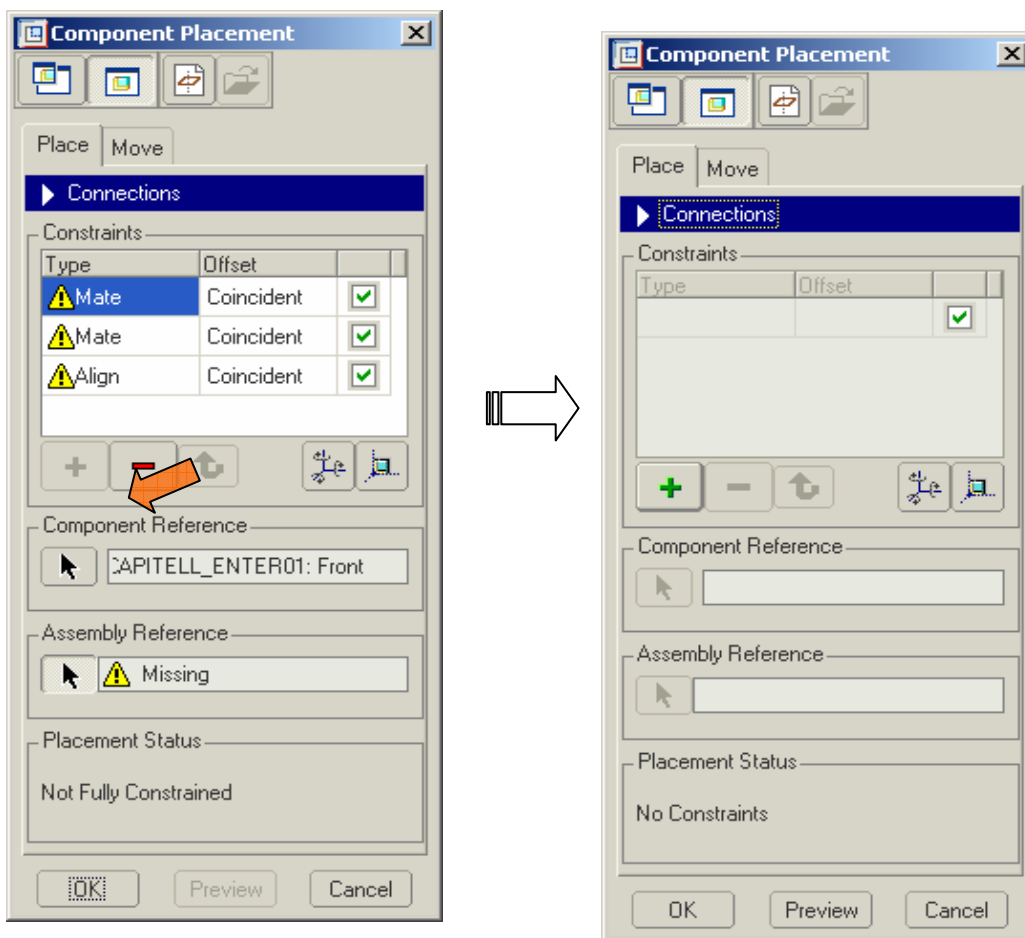


Fig. B.17. Eliminació de les relacions

Com es pot veure en la següent figura B.18, de tot el conjunt ja només queda el capítell amb contacte amb la columna i els eixos de coordenades.

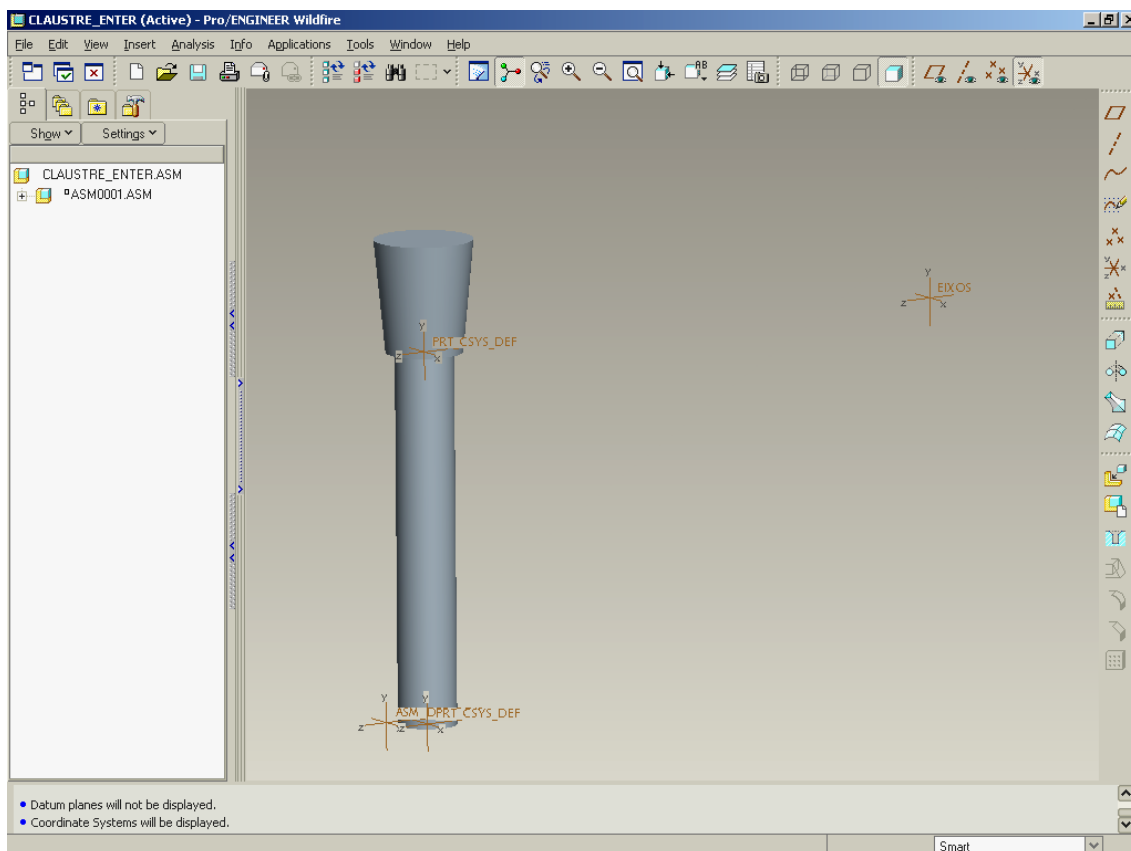


Fig. B.18. Resultat d'eliminar totes les part del conjunt que no volíem.

B.3.2.5. Creació del fitxer d'intercanvi

L'intercanvi de fitxers entre el programari Pro/Engineer a ANSYS és a través de fitxers amb extensió *.IGS. En aquest punt explicarem com generar l'arxiu IGES de Pro/Engineer per poder-lo importar després amb ANSYS.

Anem a *File>Save a Copy...*

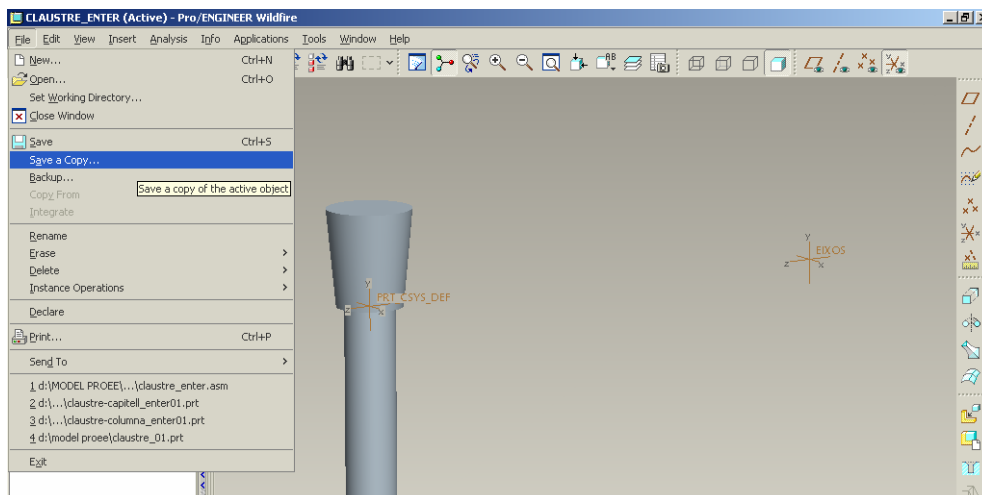


Fig. B.19. Guardar el model amb un fitxer IGES.

Seleccionem el format amb que volem guardar el sòlid, en el nostre cas serà en format IGES (*.igs) i escriurem el nom amb que volem que es guardi.

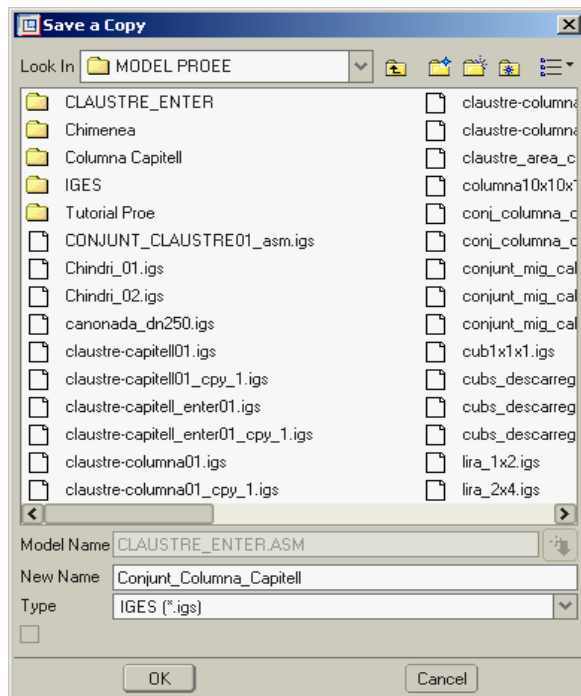


Fig. B.20. Guardar el model amb un fitxer IGES.

Un cop acceptat (OK). S'obrirà una finestra en la que hem de seleccionar el que volem que es guardi en el fitxer *.igs, per defecte està seleccionada "Surfaces", el que volem guardar és tot el volum per tant marcarem l'opció "Solids".

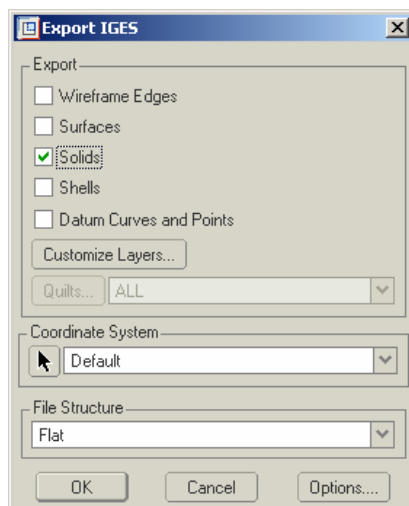


Fig. B.21 Guardar el sòlid.

Si no volem que utilitzi el sistema de coordenades global que utilitza el proengineer "Default", haurem de seleccionar l'opció "Coordinate System".

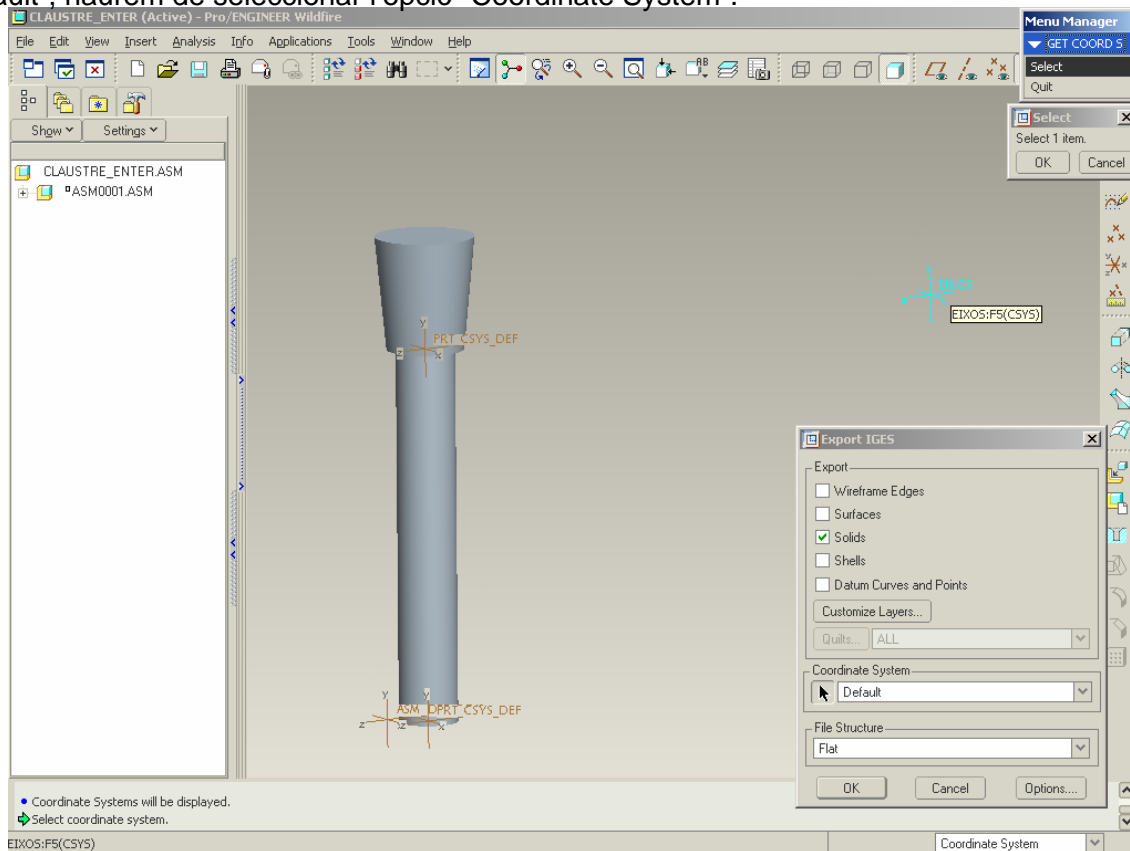


Fig. B.22. Elecció del sistema de coordenades relatiu.

Amb el cursor cliquem sobre els eixos de coordenades relatiu que hem creat, podrem veure que hem seleccionat com a sistema de coordenades el nostre ja que en la finestra es veurà el nom que té l'eix seleccionat (en el nostre cas té el nom "EIXOS:F5(CSYS)").

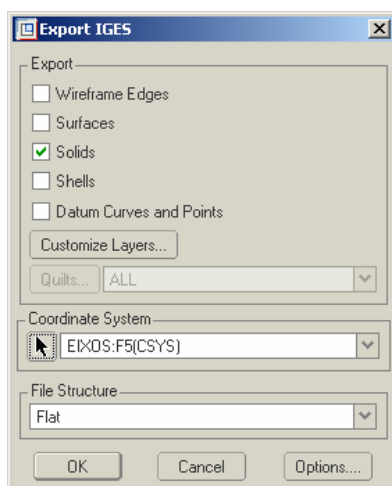


Fig. B.23. Exportar el fitxer IGES.

Un cop acceptat "OK". Ja s'haurà generat un fitxer *.igs del nostre cos amb, el nostre sistema de coordenades relatiu, que es pot exportar al programa ANSYS.

B.3.2.6. Model amb Ansys Workbench

Executem el programa Ansys Workbench

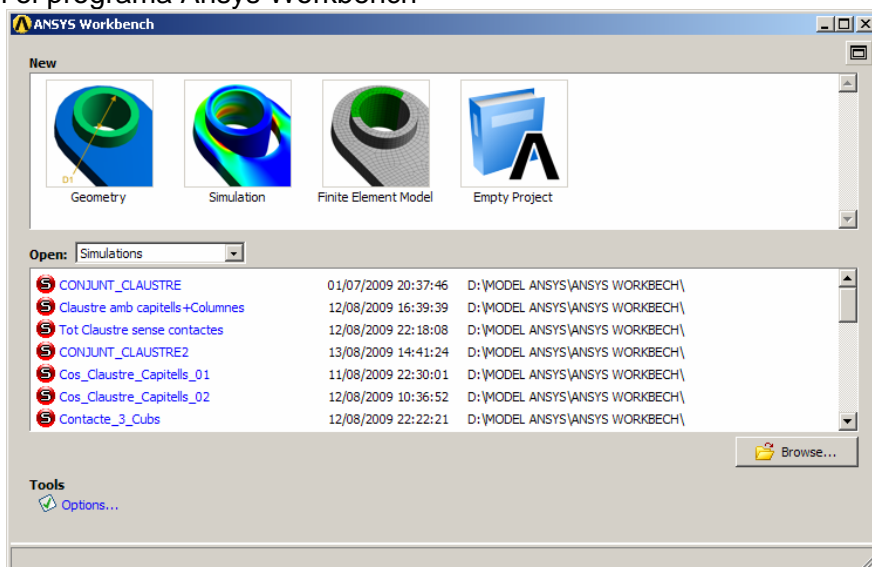


Fig. B.24. Finestra d'inic de ANSYS Workbench.

Primer de tot haurem de crear una nova geometria, per tant harem de seleccionar la icona "Geometry".

S'obrirà la finestra per tal de crear una nova geometria, en el nostre cas importarem els fitxers *.igs que hem creat amb el *ProEngineer*. *File>Import External Geometry File...*

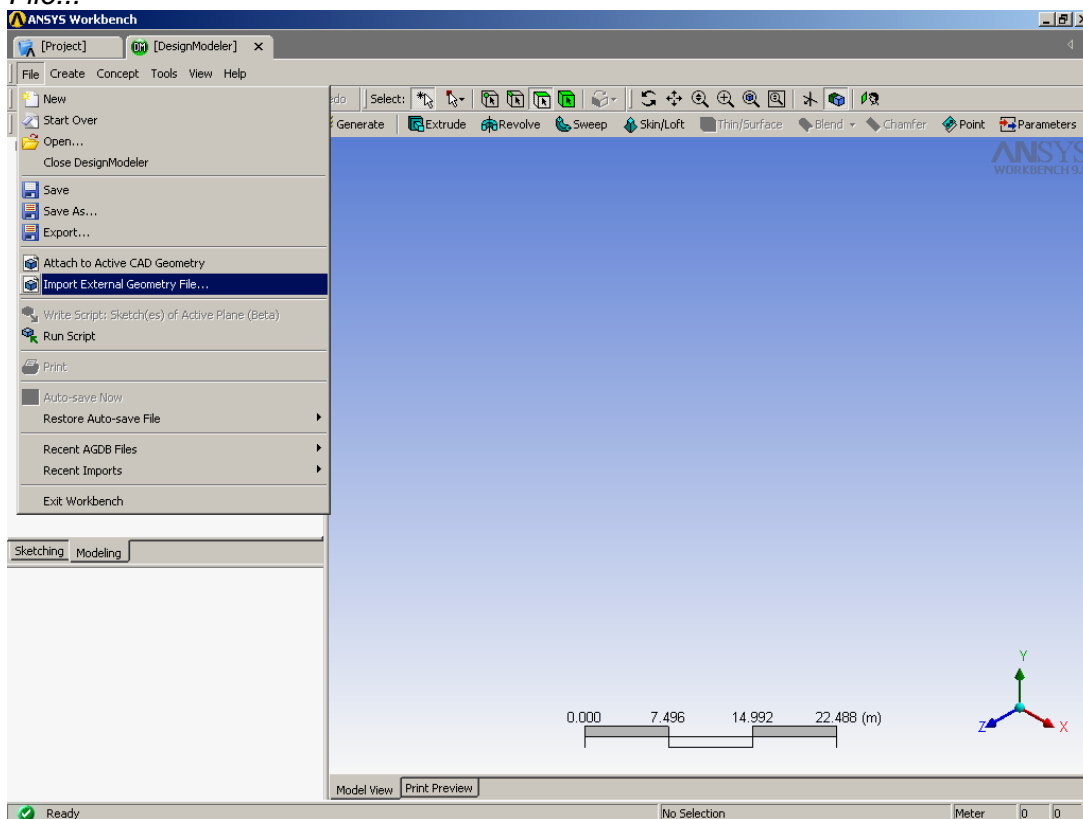


Fig. B.25. Importar fitxer de geometria.

Busquem l'arxiu *.igs que volem importar.

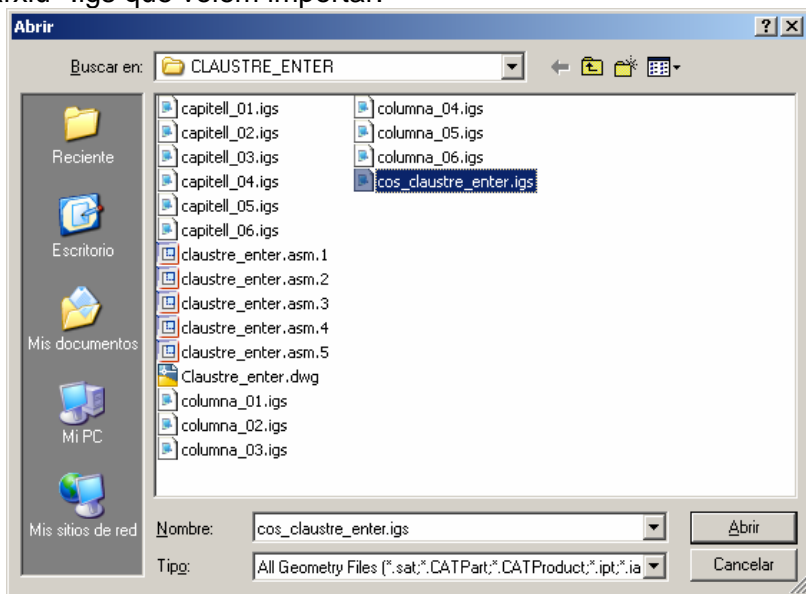


Fig. B.26. Elecció del fitxer *.igs que volem importar.

Un cop importat ens cal generar-lo. Cliquem amb el botó dret del ratolí sobre la icona de la geometria importada i cliquem sobre la opció generar ("Generate").

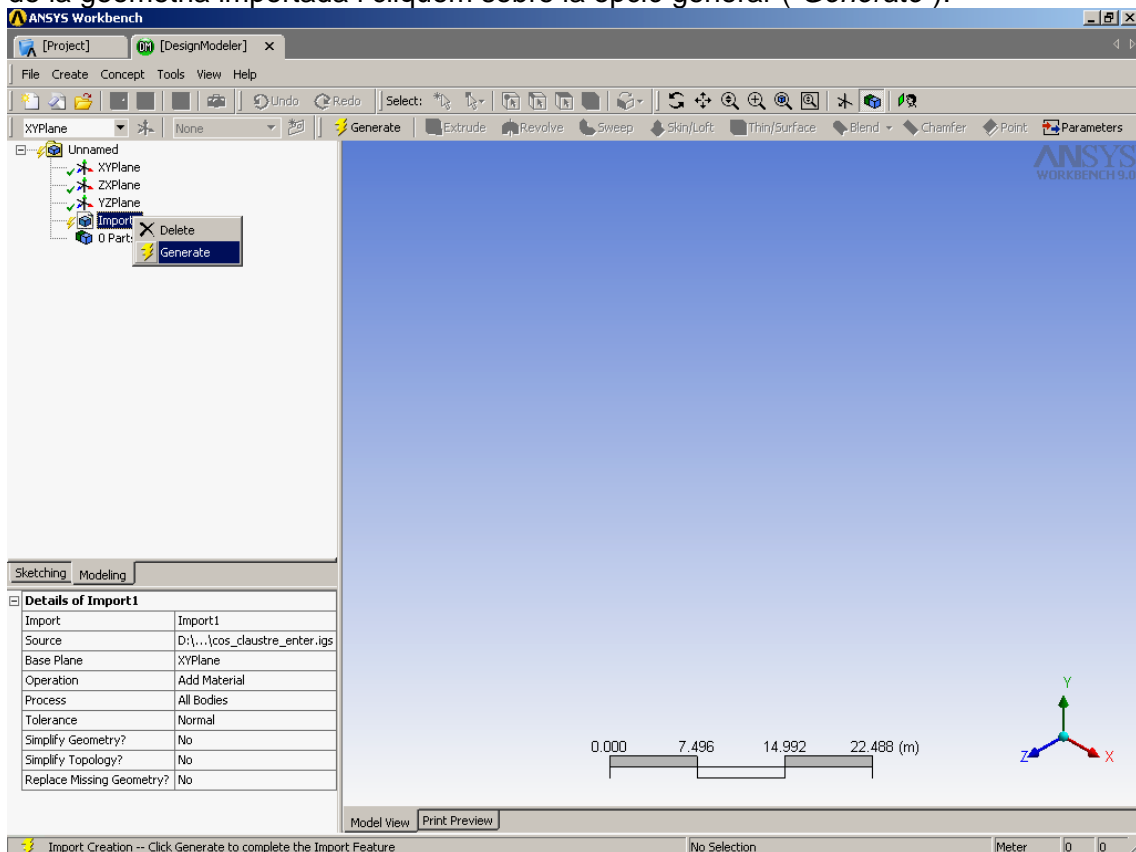


Fig. B.27. Generació de la geometria importada.

Ara ja veurem el volum que hem importat:

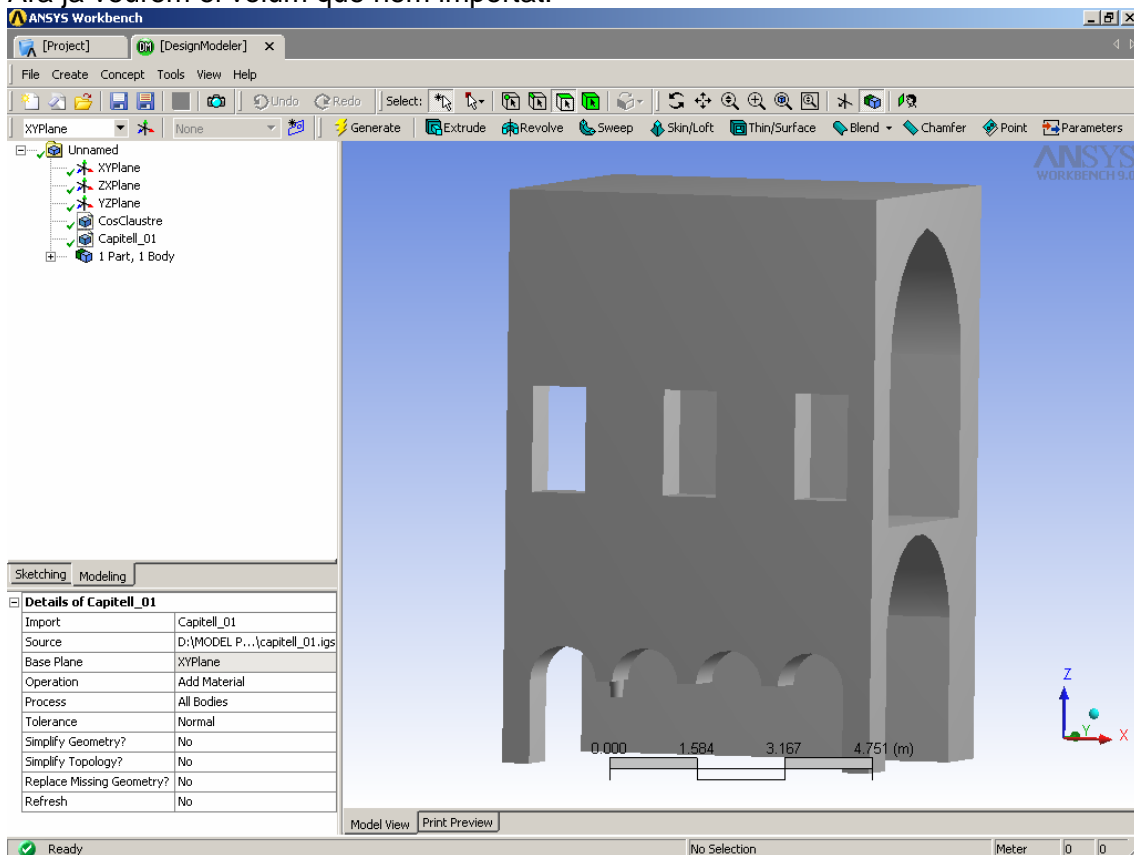


Fig. B.28. Representació del volums importats.

Si volem importar més de dos volum i el programa ens els distingeixi com a parts diferents, cal que abans d'importar una altre fitxer cal congelar ("Freeze") la geometria que hem creat (Botó esquerra del ratolí>Insert>Freeze).

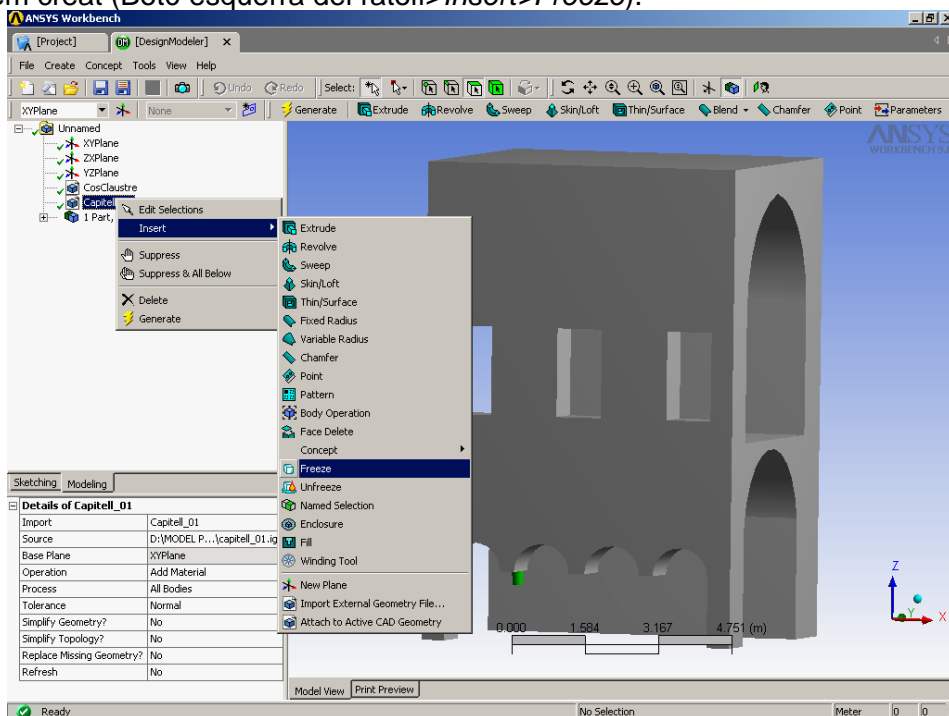


Fig. B.29. Congelar els cossos.

En la següent figura es pot veure, al costat esquerra, l'arbre amb tots els volums importats. Com es pot veure a la part inferior-esquerra de la finestra s'han generat 13 parts o cossos, que era el que volíem.

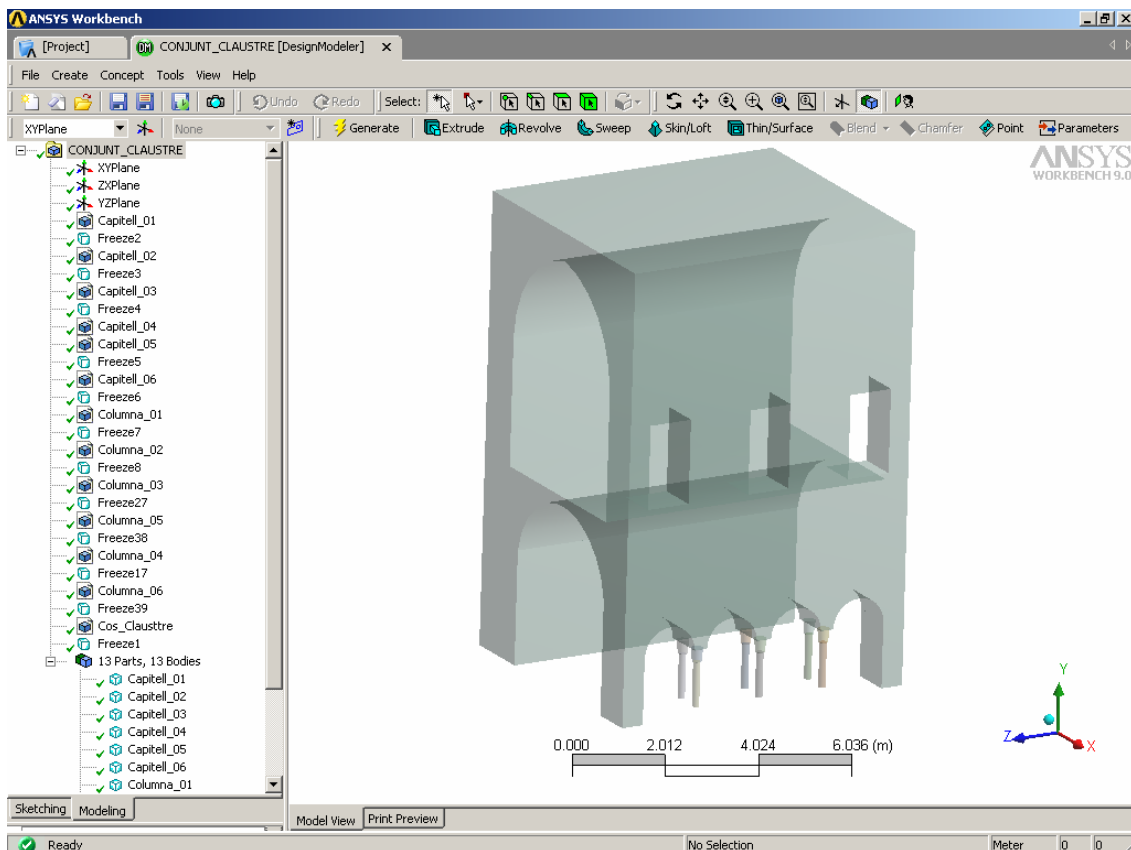


Fig. B.30. Tot el model. Com es pot observar a la part de baix a l'esquerra hi ha 13 cossos diferents.

Si ara creem una simulació d'aquesta geometria que hem creat. Tindrem diferents cossos que els hi podem definir les característiques del material de cada un d'aquest i els contactes entre els diferents cossos. I posteriorment solucionar i analitzar una certa hipòtesi de càrregues i condicions de contorn.

ANNEX C: MODELITZACIÓ DE LA GALERIA NORD DEL CLAUSTRE DE LA CATEDRAL DE GIRONA

SUMARI

C.1. Objectiu.....	101
C.2. Introducció.....	101
C.3. Característiques del material.....	101
C.4. Modelització.....	103
C.4.1. Escollir el tipus de material.....	103
C.4.2. Propietats dels materials.....	103
C.4.3. Geometria	104
C.4.4. Mallat de les peces.....	105
C.4.4. Crear els contactes	108
C.4.5. Condicions de contorn i forces aplicades.....	113

C.1. Objectiu

L'objectiu del present document és la creació d'un model de la part central de la galeria nord del claustre de la Catedral de Girona. Zona a on es va realitzar l'any 2006 les proves de càrrega [Reg.5]. Per tant es podrà resoldre aquest model amb el programa d'element finits ANSYS i comprovar els valors obtinguts amb els reals.

C.2. Introducció

És molt important recordar que el programa ANSYS no se li introdueixen les unitats amb que es vol treballar sinó que es treballa amb unitats coherents. Abans de començar a treballar s'ha de decidir quines unitats es faran servir i s'ha de respectar aquest criteri durant tota la simulació.

Amb tots els sistemes d'unitats amb que pot treballar el programa:

Table 1.1 Mechanical Conversion Factors for MKS to μ MKSv

Mechanical Parameter	MKS Unit	Dimension	Multiply by This Number	To Obtain μ MKSv Unit	Dimension
Length	m	m	10^6	μ m	μ m
Force	N	$(\text{kg})(\text{m})/(\text{s})^2$	10^6	μ N	$(\text{kg})(\mu\text{m})/(\text{s})^2$
Time	s	s	1	s	s
Mass	kg	kg	1	kg	kg
Pressure	Pa	$(\text{kg})/(\text{m})(\text{s})^2$	10^{-6}	MPa	$(\text{kg})/(\mu\text{m})(\text{s})^2$
Velocity	m/s	m/s	10^6	μ m/s	μ m/s
Acceleration	$\text{m}/(\text{s})^2$	$\text{m}/(\text{s})^2$	10^6	$\mu\text{m}/(\text{s})^2$	$\mu\text{m}/(\text{s})^2$
Density	$\text{kg}/(\text{m})^3$	$\text{kg}/(\text{m})^3$	10^{-18}	$\text{kg}/(\mu\text{m})^3$	$\text{kg}/(\mu\text{m})^3$
Stress	Pa	$\text{kg}/(\text{m})(\text{s})^2$	10^{-6}	MPa	$\text{kg}/(\mu\text{m})(\text{s})^2$
Young's Modulus	Pa	$\text{kg}/(\text{m})(\text{s})^2$	10^{-6}	MPa	$\text{kg}/(\mu\text{m})(\text{s})^2$
Power	W	$(\text{kg})(\text{m})^2/(\text{s})^3$	10^{12}	pW	$(\text{kg})(\mu\text{m})^2/(\text{s})^3$

Fig.C.1. Sistema d'unitats.

En aquest cas s'ha escollit treballar amb unitats del SI (m, N, Pa) per les dimensions del nostre model, ja que és molt gran.

C.3. Característiques del material

Els materials utilitzats són uns materials amb les següents característiques:

Les columnes i els capitells tindran les característiques de la pedra de Girona (1):

Young's Modulus	7,47e+010 Pa
<input type="checkbox"/> Poisson's Ratio	0,3357
<input type="checkbox"/> Density	2700, kg/m ³
<input type="checkbox"/> Thermal Expansion	1,4e-005 1/°C
<input type="checkbox"/> Tensile Yield Strength	0, Pa
<input type="checkbox"/> Compressive Yield Strength	0, Pa
<input type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	7,32e+006 Pa
<input type="checkbox"/> Compressive Ultimate Strength	7,32e+007 Pa

Fig.C.2. Característiques de la pedra de Girona.

Corba esforç-deformació:

	Strain	Stress Pa
1	0,	0,
2	1,3339e-004	9,964e+006
3	2,8e-004	2,02e+007
4	4,5e-004	3,03e+007
5	6,7e-004	4,e+007
6	8,5e-004	5,02e+007
7	1,12e-003	6,02e+007
8	1,22e-003	6,45e+007
9	1,44e-003	7,04e+007
10	1,57e-003	7,32e+007

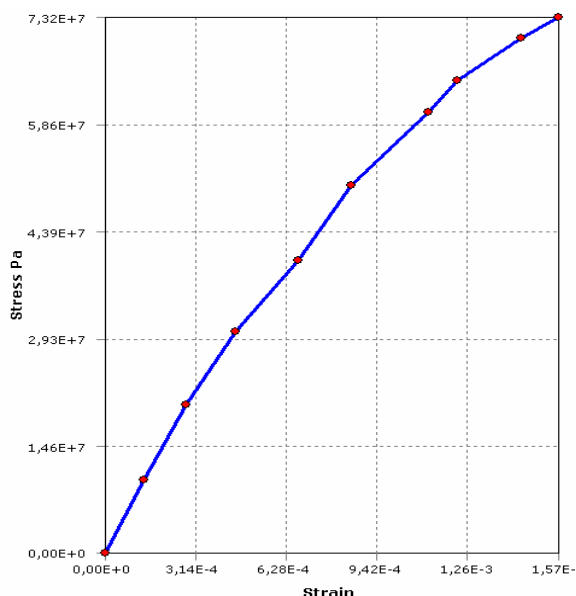


Fig.C.3. Corba Esforç deformació de la pedra de Girona.

Per un altre costat tindrem les característiques de l'obra de fàbrica del cos del claustre i de les piles laterals:


Young's Modulus	7,6e+009 Pa
<input type="checkbox"/> Poisson's Ratio	0,3357
<input type="checkbox"/> Density	2200, kg/m ³
<input type="checkbox"/> Thermal Expansion	1,4e-005 1/°C
<input type="checkbox"/> Tensile Yield Strength	0, Pa
<input type="checkbox"/> Compressive Yield Strength	0, Pa
<input type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	7,33e+005 Pa
<input type="checkbox"/> Compressive Ultimate Strength	7,33e+006 Pa
Multilinear Isotropic Hardening 	

Fig.C.4. Característiques de la fàbrica

Corba esforç-deformació

	Strain	Stress Pa
1	0,	0,
2	1,15e-004	8,74e+005
3	2,3e-004	1,5e+006
4	4,5e-004	2,55e+006
5	6,7e-004	3,75e+006
6	8,5e-004	4,7e+006
7	1,12e-003	5,85e+006
8	1,22e-003	6,34e+006
9	1,44e-003	7,e+006
10	1,57e-003	7,33e+006

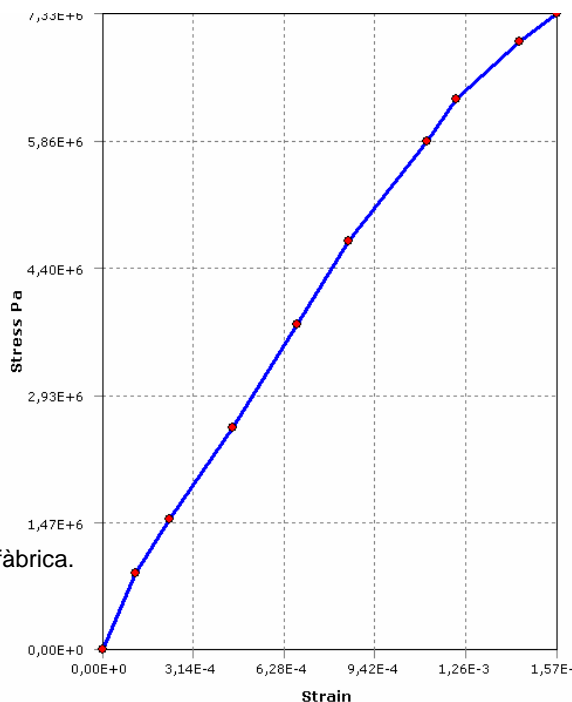


Fig.C.5. Corba esforç-deformació de la fàbrica.

C.4. Modelització

C.4.1. Escollir els tipus de materials

Seleccionem els elements que els elements que utilitzarem en la modelització. En el nostre cas escollirem l'element SOLID 95 pel cos del claustre, hem escollit aquest tipus d'element perquè al tenir una geometria amb molts angles aguts cal escollir un tipus d'element que es pugui mallar amb elements de tipus tetràedres. Per un altre costa per a definir els capitells i columnes escollirem un element tipus SOLID 65. En la figura # es pot veure els dos elements.

Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete

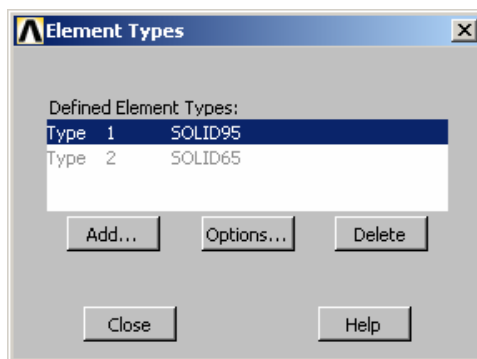


Fig.C.6. Elecció del tipus d'element

C.4.2. Propietats dels materials

Ara que ja tenim els elements llestos per ser utilitzats. Ara ens cal definir els materials. Per fer-ho poder entrar a *Preprocessor>Material Prop>Material Models*. Apareixerà una finestra amb diferents opcions de materials a utilitzar, agrupats segons característiques del material. Aquí podríem definir les característiques dels materials a utilitzar com mòduls de Young, Coef. de Poisson, densitat, etc.

Però si hem d'usar molt sovint els materials és més pràctic crear un petit arxiu de text amb l'extensió *.SI_MPL i importar-lo *Preprocessor>Material Prop>Material Library>Import Library*

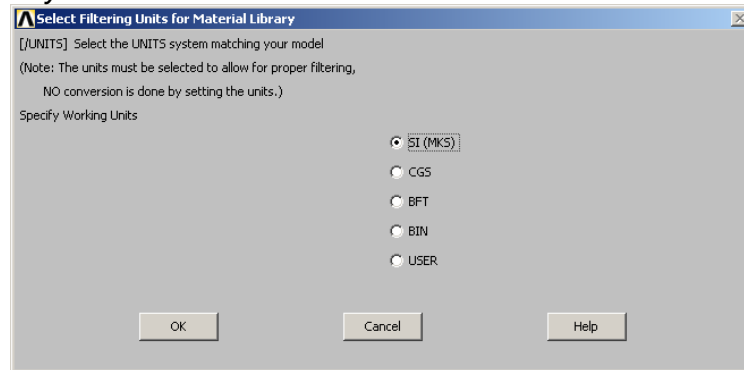


Fig.C.7. Definir el sistema d'unitats de l'arxiu de material *.SI_MPL

Escollim el sistema d'unitats amb el que estan les característiques del material.

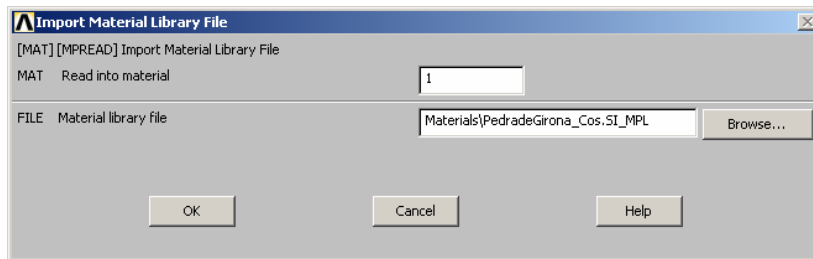


Fig.C.8 Elecció característiques materials, arxiu *.SI_MPL

ansuitmp Command

```

LIST MATERIALS      1 TO      1 BY      1
PROPERTY= ALL
PROPERTY TABLE EX  MAT=      1 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 0.76000E+10
PROPERTY TABLE NUXY MAT=      1 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 0.33570
PROPERTY TABLE DENS MAT=      1 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 2200.0
LIST DATA TABLE ALL FOR MATERIAL 1
MuILinE1 (MELA) Table For Material 1
Temperature = 0.0000
Point Strain Stress
1 0.11500E-03 0.87400E+06
2 0.23000E-03 0.15000E+07
3 0.45000E-03 0.25500E+07
4 0.67000E-03 0.37500E+07
5 0.85000E-03 0.47000E+07
6 0.11200E-02 0.58500E+07
7 0.12200E-02 0.63400E+07
8 0.14400E-02 0.70000E+07
9 0.15700E-02 0.73300E+07
Concrete (CONC) Table For Material 1
Temps 0.0000
ShrCf-Op 1.0000
ShrCf-C1 1.0000
UnTensSt 0.73300E+06
UnCompSt 0.73300E+07
BiCompSt 0.0000
HydroPrs 0.0000
BiCompSt 0.0000
UnTensSt 0.0000
TenCrFac 0.0000
          
```

ansuitmp Command

```

LIST MATERIALS      2 TO      2 BY      1
PROPERTY= ALL
PROPERTY TABLE EX  MAT=      2 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 0.74700E+11
PROPERTY TABLE NUXY MAT=      2 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 0.33570
PROPERTY TABLE DENS MAT=      2 NUM. POINTS= 1
TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA TEMPERATURE DATA
0.0000 2700.0
LIST DATA TABLE ALL FOR MATERIAL 2
MuILinE1 (MELA) Table For Material 2
Temperature = 0.0000
Point Strain Stress
1 0.13387E-03 0.10000E+08
2 0.28000E-03 0.20200E+08
3 0.45000E-03 0.30300E+08
4 0.67000E-03 0.40000E+08
5 0.85000E-03 0.50200E+08
6 0.11200E-02 0.60200E+08
7 0.12200E-02 0.64500E+08
8 0.14400E-02 0.70400E+08
9 0.15700E-02 0.73200E+08
Concrete (CONC) Table For Material 2
Temps 0.0000
ShrCf-Op 1.0000
ShrCf-C1 1.0000
UnTensSt 0.73200E+07
UnCompSt 0.73200E+08
BiCompSt 0.0000
HydroPrs 0.0000
BiCompSt 0.0000
UnTensSt 0.0000
TenCrFac 0.0000
          
```

← Número del Material →

← Mòdul de Young ;E (Pa) →

← Coef. De Poisson ;μ →

← Densitat;ρ (Kg/m³) →

← corba tensió;σ (Pa) – deformació;ε no lineal →

← Tensió límit a tracció;σ_{ut} (Pa) →

← Tensió límit a compressió;σ_{uc} (Pa) →

Fig.C.9. Característiques del materials obra de fàbrica (Cos del Claustre) i Pedra de Girona (Columnes i Capitells)

C.4.3. Geometria

Importem els arxius IGES creats amb el Pro/Engineer.

File>Import>IGES...

Importem el cos del claustre, els 6 capitells i les 6 columnes. Obtindrem el conjunt que es pot veure en la figura C.10.

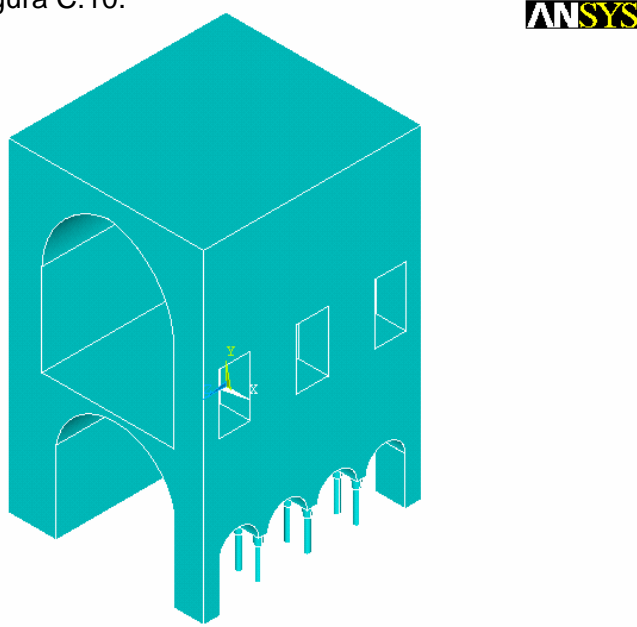


Fig.C.10.Tot el claustre.

Un cop creat el conjunt cal guardar tancar i tornar a obrir el model, perquè el programa pugui seguir treballant amb aquesta geometria.

C.4.4. Mallat de les peces

Com que primer mallarem el cos amb l'element SOLID 95 i amb les característiques del Cos del Claustre(mirar Fig.C.11). Hem de seleccionar per mallar només el cos del claustre.

Main menu>Select>Entities...

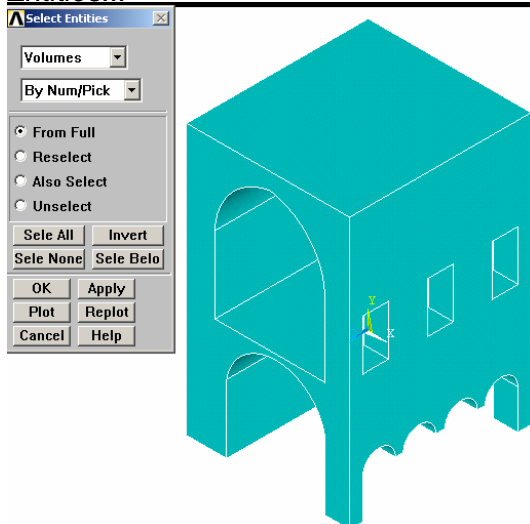


Fig.C.11. Seleccionem només el cos del claustre.

Escollim per seleccionar volums (*Volumes*), marquem el cos del claustre i fem un *Replot*. Com es pot veure en la fig. # es representarà només el cos del claustre. Ara ja podem mellar-lo.

Preprocessor>Meshing>Mesh Tool.

S'obrirà una finestra a on podem trobar totes les opcions del procés de creació dels elements i amb la distribució que es vulgui.

Per discretitzar el cos del claustre, a la part de dalt de la finestra al costat de la finestra desplegable que per defecte posa "*Global*" es clica en "*Set*", com es pot veure en la figura C.12.

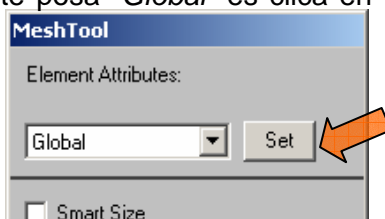


Fig.C.12. Seleccionem només el cos del claustre.

S'obrirà una finestra com la de la figura C.13 a on hem d'escollir el tipus d'element amb el que volem mellar i les seves característiques.

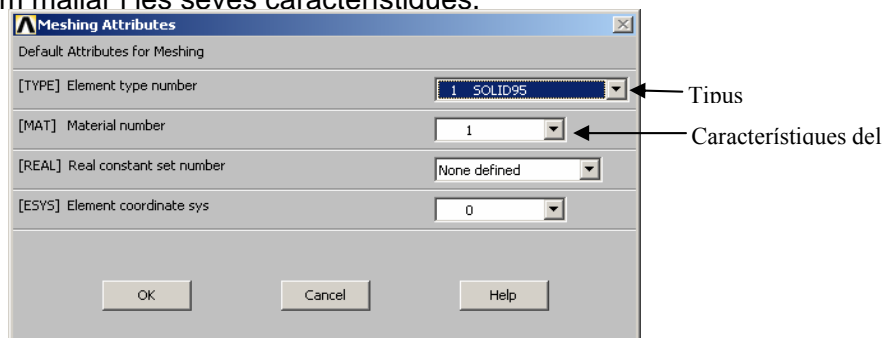


Fig.C.13. Element i característiques del cos del claustre.

Per mellar en la finestra *Mesh Tool* es collirem l'opció *Size Controls>Lines>Set* per tal de dividir les línies de la geometria. Seleccionarem totes les línies de cos del claustre *Pick All*. Apareix una finestra on es pot introduir la mida de cada element o el nombre d'elements en que es vol dividir les línies seleccionades. En aquest cas dividirem 0,40 m, Fig. C.14.

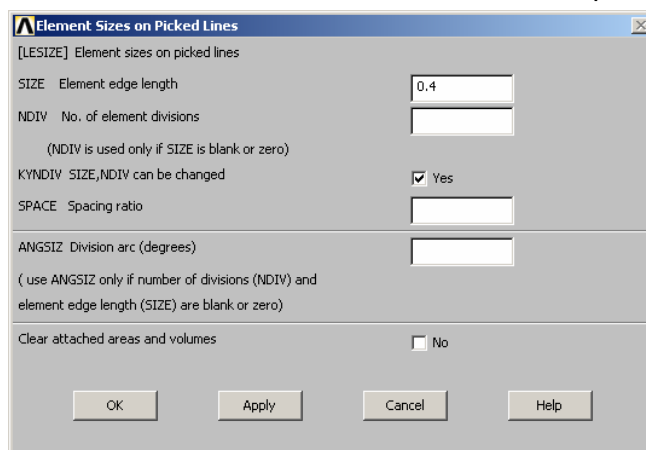


Fig.C.14. Finestra on es defineix la mida dels elements o el nombre que n'hi haurà.

Ara ja podem mallar tot el volum. De la finestra Mesh Tool a la part baixa s'elegeix Mesh>Volumes, s'hactiva *Shape:Tet* per dividir el volum amb petits tetràedres i *Free* per fer un mallat lliure, pel tipus de geometria tant complexa del cos del claustre aquesta és la única forma de mallar-lo.

Ara el claustre passa de ser un volum a ser un nombre molt gran d'elements, com es veu a la figura C.15.

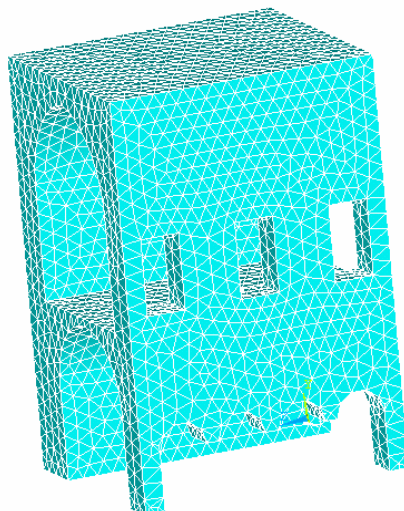


Fig.C.15. Cos del claustre discretitzada

Per mallar les columnes i capitells primer de tot hem de tornar a seleccionar tots els elements. *Main Menu>Select>Everything*. Igualment com a l'inici d'aquest apartat seleccionarem les columnes i els capitells. *Main Menu>Select>Volums* marquem amb el ratolí els capitells i columnes i acceptem *Apply. Replot*. Ara veurem només les columnes i capitells del model, fig.C.16.

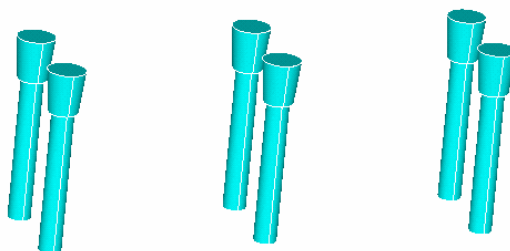


Fig.C.16. Veiem les columnes i capitells.

Ara igual que abans amb la opció *Mesh Tool* cal seleccionar l'element SOLID 65 i el tipus de material Pedra de Girona (veure Fig #).es collirem dividir les línies de tots els elements (Columnes i Capitells). amb un elements de mida 0,05m (divisions de 5 cm) i després mallarem amb les opcions Mesh:Volumes, *Hex* per dividir els volums amb elements tipus hexagonals i *Sweep* perquè es faci una "escombrada" de les divisions generades abans.

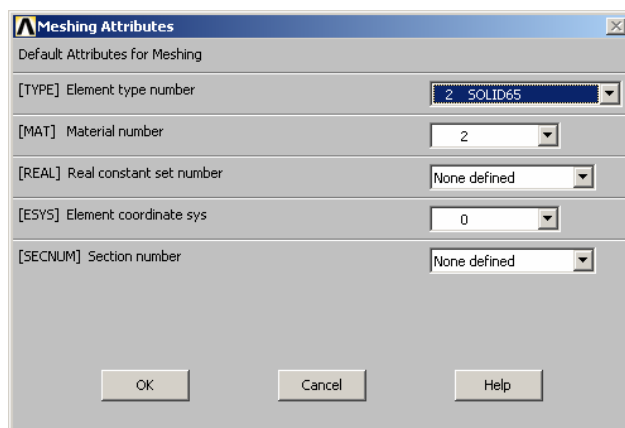


Fig.C.17. Element i característiques de les columnes i capitells.

En la figura # podem veure que s'ha discretitzat tot el model amb materials diferents i característiques diferents.

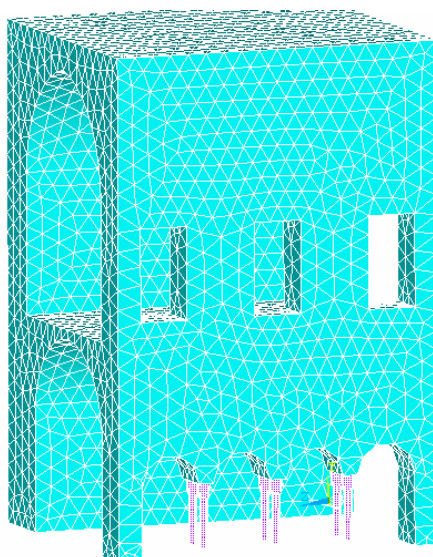


Fig.C.18. Color blau clar(Cos Claustre) element SOLID 95 i característiques obra de fàbrica i color lila (Columnes+Capitells) SOLID65 i característiques Pedra de Girona.

C.4.5. Crear els contactes

Un cop mallats tots els cossos ja podem crear els contactes entre superfícies per fer-ho utilitzarem em *Contact Manager*, Fig. C.19.

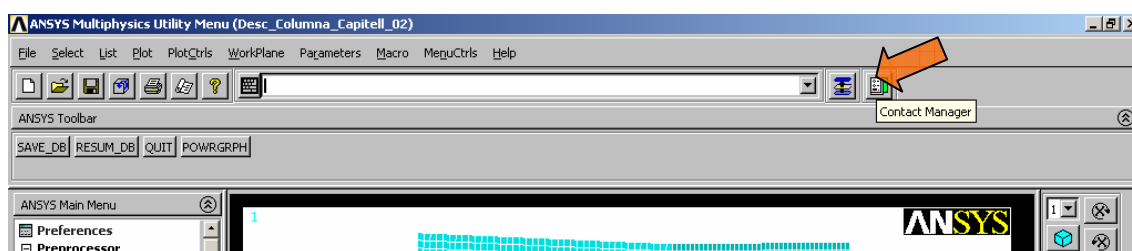


Fig. C.19. Iniciar el generador de contactes *Contact Manager*

S'obrirà la finestra del generador de contactes *Contact Manager*, on seleccionarem la icona de l'esquerra per generar un contacte nou:

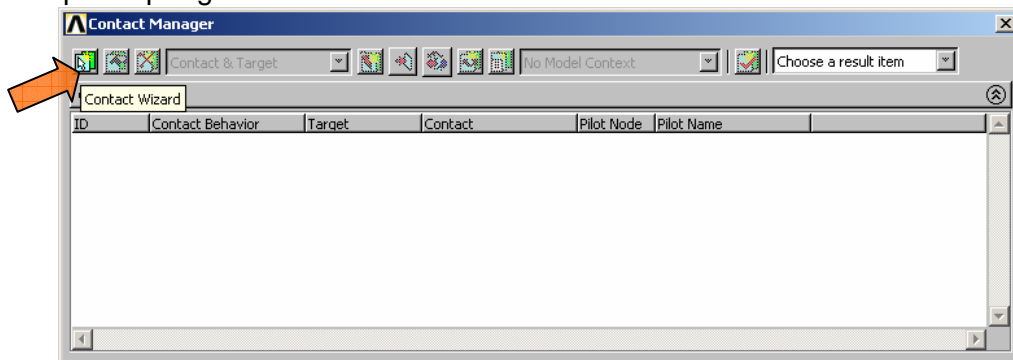


Fig. C.20. Crear contacte nou.

S'obrirà la finestra *Contact Wizard*, fig. , on es definirà el tipus de contacte que volem crear en el nostre cas serà entre superfícies *Areas* i *Flexible*. Si cliquem en *Pick Target...* podrem definir la superfície inferior del contacte que estem creant.

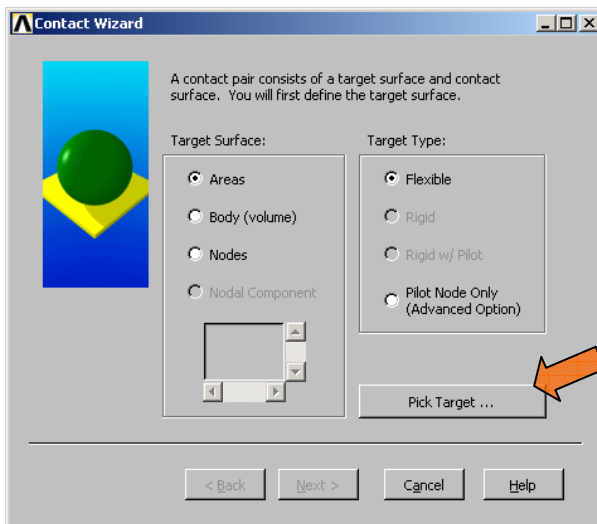


Fig. C.21. Seleccionar la superfície inferior del contacte

Haurem de marcar amb el ratolí la superfície que serà la inferior del contacte "*Target*" en el nostre cas serà la superfície superior del capitell.

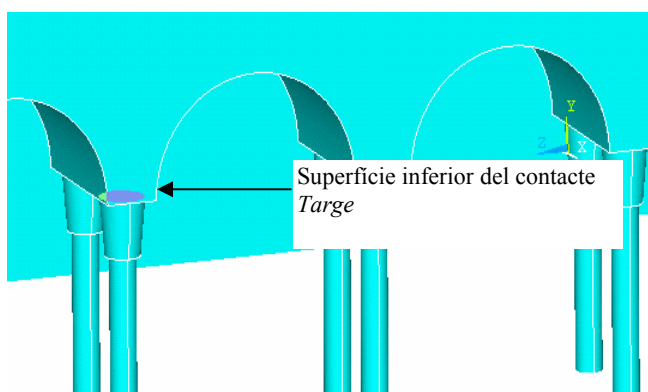


Fig. C.22. Aquí podem veure la superfície inferior del contacte.

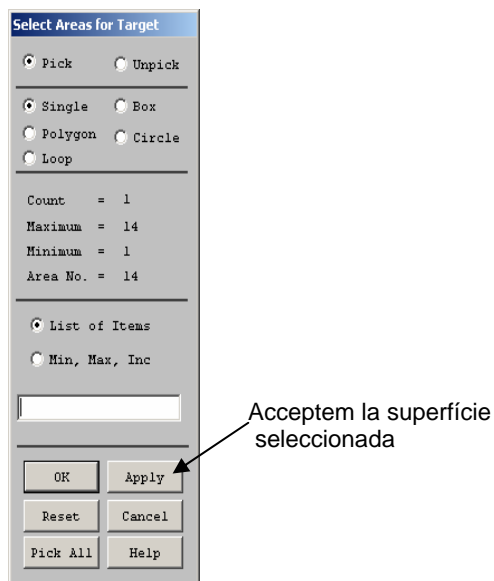


Fig. C.23. Acceptem la superfície de contacte.

En la finestra del "Contact Wizard", marquem la opció següent ("Next").

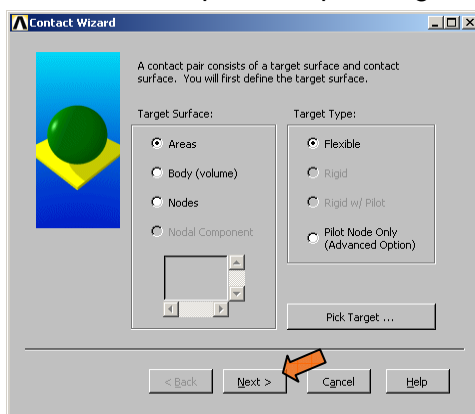


Fig. C.24. Seguim amb la creació del contacte.

Igualment que en el pas anterior, ara hem de seleccionar la superfície inferior del contacte *Contact*.

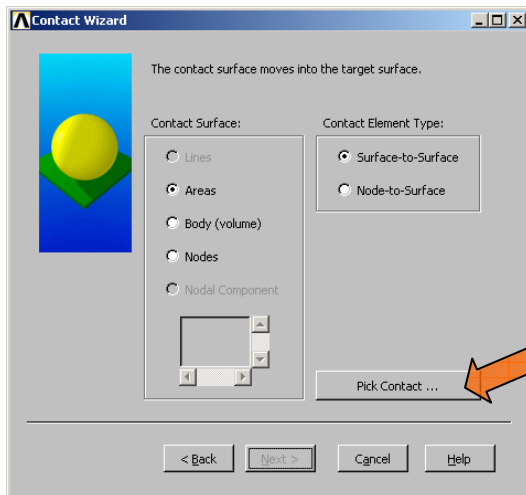


Fig. C.25. Selecció de la superfície superior del contacte.

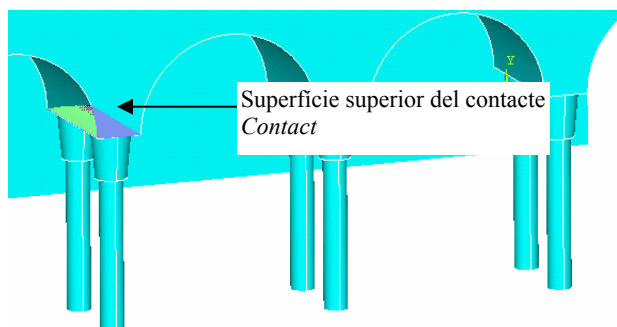


Fig. C.26. Aquí podem veure la superfície superior del contacte.

Acceptem (“Apply”) i seguim (“Next”).

En la següent finestra podríem definir una coeficient de fricció, en el nostre cas ho deixarem en blanc, lo que si que farem és canviar les opcions del contacte (“Optional setting...”).

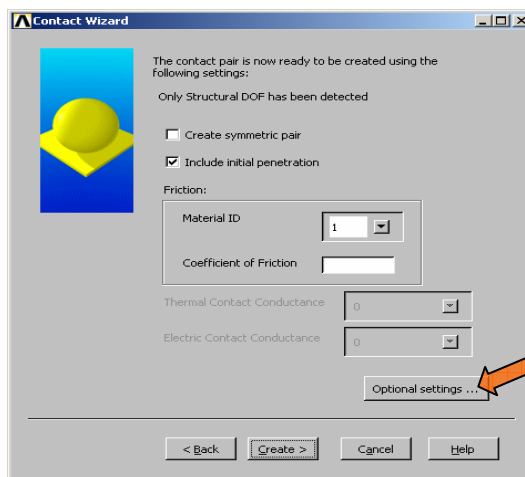


Fig. C.27. Modificació de les opcions del contacte.

Canviarem el tipus de contacte (“Behavior of contact surface”) que bé per defecte “Standard i seleccionarem el tipus de contacte Rough que permet que es pugui separar el contacte.

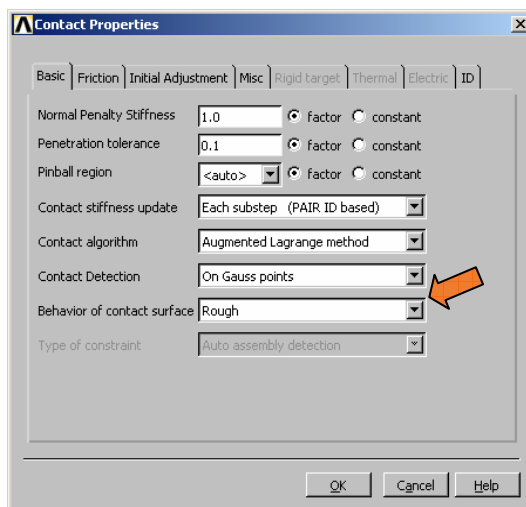


Fig. C.28. Canviem el tipus de contacte. Per defecte hi ha l'Standard i el canviarem per Rough (superfície rugosa) que permet la separació del contacte.

Acceptem els canvis OK. Finalment en la finestra Contact Wizard crearem el contacte *Create*

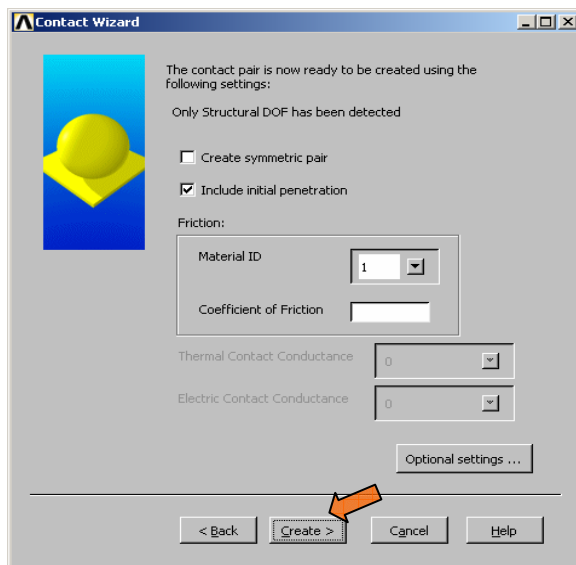


Fig. C.29. Creació del contacte.

Sorgirà un missatge que ens diu que s'ha creat el contacte. *Finish*

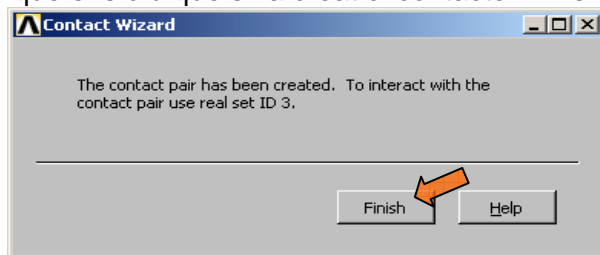


Fig. C.30. Missatge del tipus de contacte creat.

Ara faríem el mateix pels 5 contactes que falten entre columnes i cos del claustre i el 6 entre columnes i capitells. En la figura C.31 es pot veure el llistat dels 12 contactes entre cossos i en la figura C.32 es pot veure els 12 contactes creats.

ID	Contact Behavior	Target	Contact	Pilot Node	Pilot Name
3	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
4	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
5	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
6	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
7	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
8	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
9	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
10	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
11	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
12	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
13	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	
14	Rough	Flexible	Surface-to-Surface	No pilot	

Fig. C.31. Llista del 12 contactes amb les seves característiques principals.

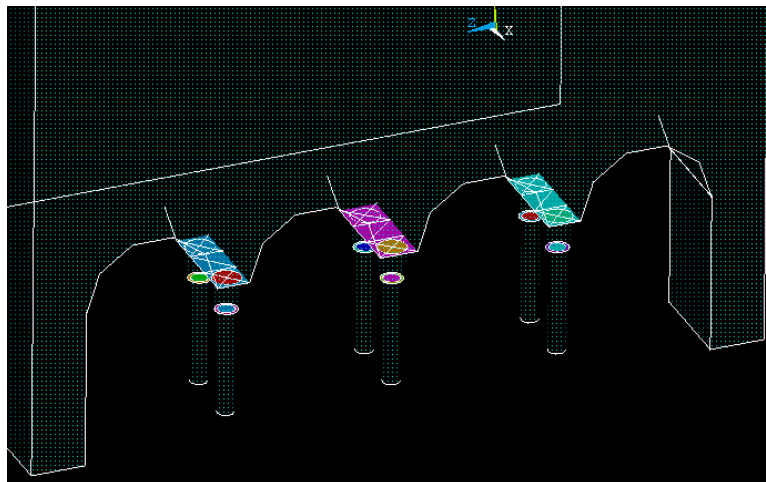


Fig. C.32. Representació dels contactes.

C.4.5. Condicions de contorn i forcés aplicades.

Arribats a aquest punt només resta definir les condicions de contorn i les forces aplicades sobre el claustre. Primer de tot restringirem el moviment dels laterals ja que el nostre model només és un tros de l'ala nord del claustre de la catedral.

Solució>Define Loads>Apply>Structural> Displacement>On Areas.

Seleccionem les dues àrees dels laterals, al clicar OK apareix una finestra com la de la figura C.33 a on elegirem UZ. Això seria el mateix que si apliquéssim Symetria.

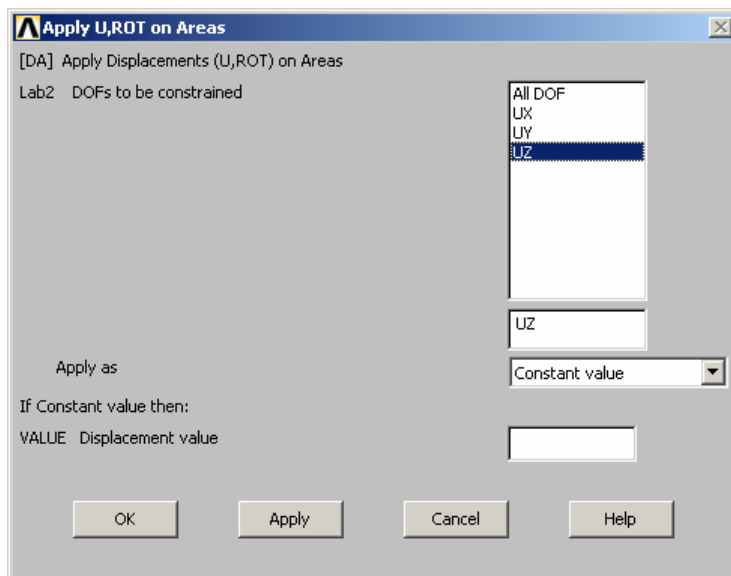


Fig. C.33. Visualització dels contactes.

Farem el mateix restringint el desplaçament vertical de la base del cos del claustre, les bases de les piles laterals i la base de les columna. Elegim UY. Es pot veure totes les condicions de contorn en la figura C.34.

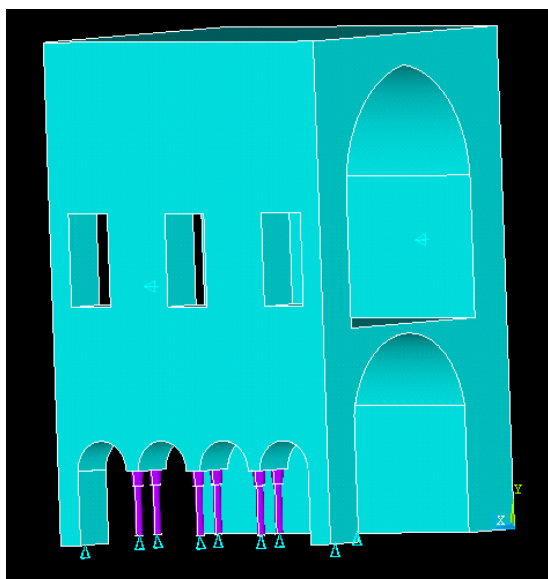


Fig. C.34. De les restriccions

Com a forces aplicades al model hem de considerar el pes propi del conjunt, això vol dir definir la gravetat de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Solució > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity

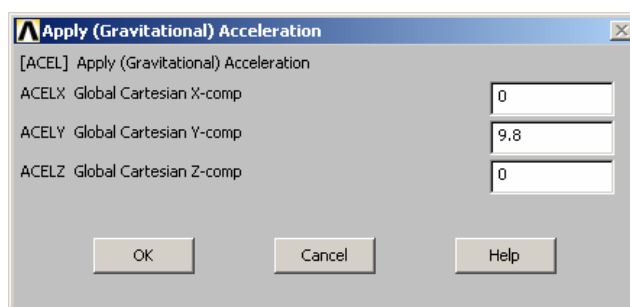


Fig. C.35. Introduïm la gravetat amb la direcció vertical.

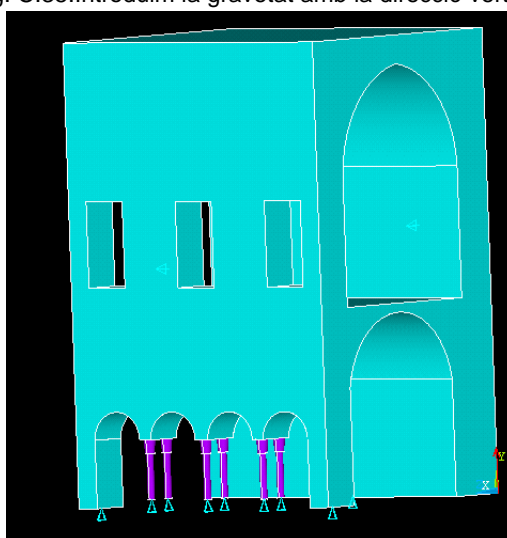


Fig. C.36. conjunt amb totes les condicions de contorn i forçés.

ANNEX D: DISSENY DEL PILAR SECUDARI

SUMARI

D.1. Objectiu.....	116
D.2. Introducció.....	116
D.3. Esquema puntal secundari	117
D.4. Càlculs de disseny del puntal secundari.....	118
D.4.1. Pilar	118
D.4.2. Cargols	118
D.4.3. Placa d'ancoratge	120
D.4.4. Carteles	125

D.1. Objectiu

L'objectiu del present document és el disseny d'un puntal secundari realitzat amb perfils metàl·lics que va servir en el moment de la realització de les proves de càrrega.

D.2. Introducció

Durant la preparació de les proves de càrrega en el claustre de la Catedral de Girona el projectista va poder participar-hi de forma tangencial dissenyant un puntal secundari que ajudi a mantenir l'estabilitat del sistema de càrrega a mesura que es va aplicant la càrrega en els puntals hidràulics. Al seu torn també varen servir per a l'obtenció dades dels seus allargament a través d'unes galgues extensiomètriques.



Fig. D.1. Vista general del muntatge.

Puntals secundaris formats per perfils quadrats metàl·lics buits de 100x100mm, amb un gruix de 5mm, que es situa en la part oposada dels puntals hidràulics. El sistema d'anivellament amb els suports està format per placa i contraplaca de 250x250x8mm i reforçades amb carteles. La unió amb els xindris es realitza amb una placa metàl·lica de 150x150x5mm.

En cada un dels puntals secundaris s'hi adhireixen dues galgues extensomètriques per tal de controlar les deformacions en la seva part exterior que dona al pati del claustre i en la part interior que dona la volta de canó.

D.3. Esquema puntal secundari

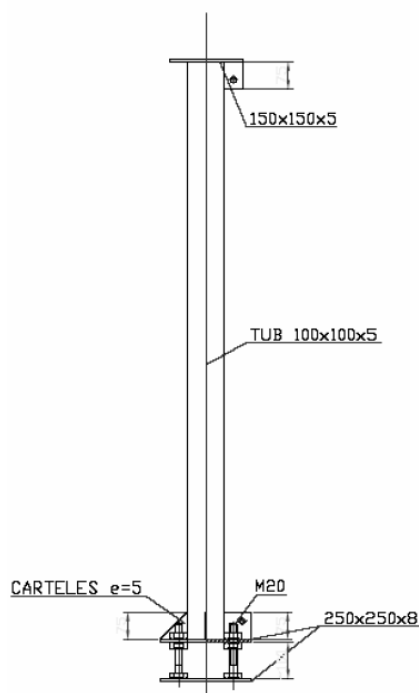


Fig. D.2.Puntal secundari.

Aquest element es disposa en la part de l'arc oposada a la que es troben les columnes sobre les que es du a terme l'assaig. Estan formats per perfils fixats a un sistema d'anivellament format per placa i contraplaca. La connexió amb el xindri s'efectua de la mateixa manera que el puntal instrumentat

Contacte inferior

El puntal recolza amb el terra a través d'una placa de distribució. Aquesta tindrà un sistema de contraplaca amb una femella i una contrafemella, per poder ajustar l'alçada del puntal i per poder posar i treure.

Sistema de fixació

Aquesta peça es connecta a l'element a desplaçar. Si aquest element es pla, la connexió generalment es produirà de forma directa: en casos com el que es dona aquest projecte, el contacte es produirà a través d'un element intermedi. La platina superior d'aquest dispositiu, presenta uns trepants. Mitjançant cargols o medis semblants, es pot fixar al element assajat.

Sistema de riostrament

S'han deixat dos orelles al mateix costat del puntal, per si calgués un arriostament

Instrumentació dels puntals secundaris

A través de la instrumentació dels puntals secundaris, es podrà establir si hi ha una migració de la càrrega cap a ells en el moment del test. L'adquisició de dades en aquests elements permetrà una comprensió completa del fonament tenso-deformacional observat.

D.4. Càlculs de disseny del puntal secundari

SOL·LICITACIÓ: 5.000 kg a compressió
Característiques de l'acer emprat el A42:

$$\sigma_{ut}=4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_y=2600 \text{ kg/cm}^2$$

D.4.1. Pilar

Des de la base del pilar fins a la part superior del capitell hi ha una distància de 1'56 m. Per tant calcularem el perfil tubular del nostre puntal amb aquesta alçada màxima, tot hi que sabem que no tindrà l'alçada total, i amb un coeficient de majoració de les càrregues de $\gamma_f=1,33$, segons la normativa.

Hem decidit usar un perfil tubular quadrat per la seva facilitat en practicar-hi soldadures .

Per evitar el vinclament del pilar usarem un perfil tubular quadrat com a mínim del 50,3:

$$I_x=19 \text{ cm}^4$$

$$A=5,33 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = N^*/A = 5000 \cdot 1.33 / 5.33 = 1248 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_u = 2600 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK}$$

Comprovació a vinclament:

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{19}{5.33}} = 1.89 \text{ cm}$$

Longitud de pandeig: $L_p = \beta \cdot L_r = 1 \cdot 1.56 \text{ m} = 1.56 \text{ m}$; Barra biarticulada $\beta=1$

$$\lambda = \frac{L_p}{i} = \frac{156 \text{ cm}}{1.89 \text{ cm}} = 82.54 \longrightarrow \omega = 1.57$$

$$\sigma^* = \frac{5000 \text{ kg} \cdot 1.6 \cdot 1.57}{5.33 \text{ cm}^2} = 1253 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_u = 2600 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK, COMPLEIX}$$

D.4.2. Cargols

Per a la unió usarem cargols ordinaris (T) d'acer A4.6 ($\sigma_u=2400 \text{ kg/cm}^2$)

La sol·licitació que ha d'aguantar cada cargol serà de $5000 \text{ kg} / 4 = 1250 \text{ kg}$ de compressió.

Valor orientatiu:

$$\phi_{CANYA} = \sqrt{5 \cdot e} - 0.2 = \sqrt{5 \cdot 0.2} - 0.2$$

$$\sigma^* = \frac{1250 \text{ kg} \cdot 1.6 \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \leq 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$D > 10 \text{ mm}$$

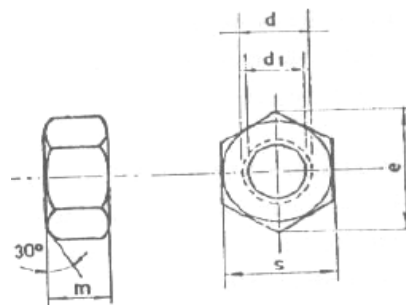
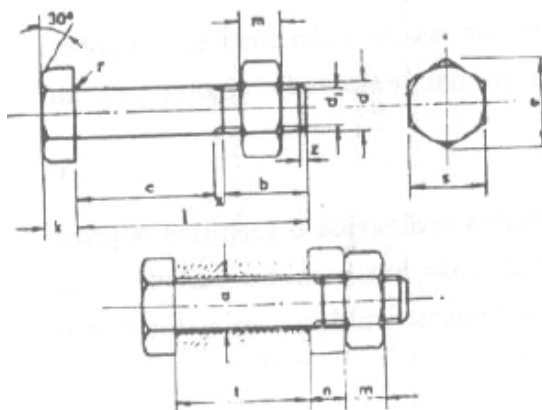


Fig. D.3. Dimensions femella.

Amb cargols T 20x80,A8t de diàmetre interior de 16.93 mm ja complim



Tornillos ordinarios. Dimensiones.

Tornillo Tipo	Vástago					Cabeza				Diámetro del agujero a mm	Area neta del núcleo An cm²	Area resistente Ar cm²
	Diámetro de la caña d mm	Diámetro interior d1 mm	Longitud rosca b mm	Longitud de la salida x mm	Longitud del chaflán z mm	Espesor k mm	Medida entre caras s mm	Medida entre aristas e mm	Radio del acuerdo r mm			
T 10	10	8,160	17,5	2,5	1,7	7	17	19,6	0,5	11	0,523	0,580
T 12	12	9,853	19,5	2,5	2	8	19	21,9	1	13	0,762	0,843
T 16	16	13,546	23	3	2,5	10	24	27,7	1	17	1,44	1,57
T 20	20	16,933	25	4	3	13	30	34,6	1	21	2,25	2,75
(T 22)	22	18,933	28	4	3,3	14	32	36,9	1	23	2,82	3,03
T 24	24	20,319	29,5	4,5	4	15	36	41,6	1	25	3,24	3,53
(T 27)	27	23,319	32,5	4,5	4	17	41	47,3	1	28	4,27	4,56
T 30	30	25,706	35	5	5	19	46	53,1	1	31	5,19	5,61
(T 33)	33	28,706	38	5	5	21	50	57,7	1	34	6,47	6,94
T 36	36	31,093	40	6	6	23	55	63,5	1	37	7,59	8,17

Fig. D.4. Dimensiones dels cargols.

Ara hem de calcular els cargols per vinclament; suposarem que la longitud de vinclament sigui d'uns 5 cm; per permetre tenir espai suficient per poder situar i treballar amb la clau per collar les femelles.

Longitud de vinclament: $L_p = \beta \cdot L_r = 0.5 \cdot 5\text{cm} = 2.5\text{cm}$; Barra empotrada-empotrada $\beta=0.5$

$$I_x = \frac{\pi \cdot d_i^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1,693^4 \text{ cm}}{64} = 0,403 \text{ cm}^4$$

$$A_r = 2,75 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{0,403}{2,75}} = 0,383 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_p}{i} = \frac{2,5 \text{ cm}}{0,383 \text{ cm}} = 6,53 \rightarrow \omega = 1,02 \text{ (com que no surt n la taula)}$$

agafem el mínim)

$$\sigma^* = \frac{1250 \text{ kg} \cdot 1.6 \cdot 1.02}{2.75 \text{ cm}^2} = 742 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_u = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK, COMPLEIX}$$

El forats per cargols ordinaris de 20 mm seran de $\varnothing_{\text{forat}}=21 \text{ mm}$

D.4.3. Placa d'ancoratge

Segons la norma les disposicions constructives de les unions cargolades :

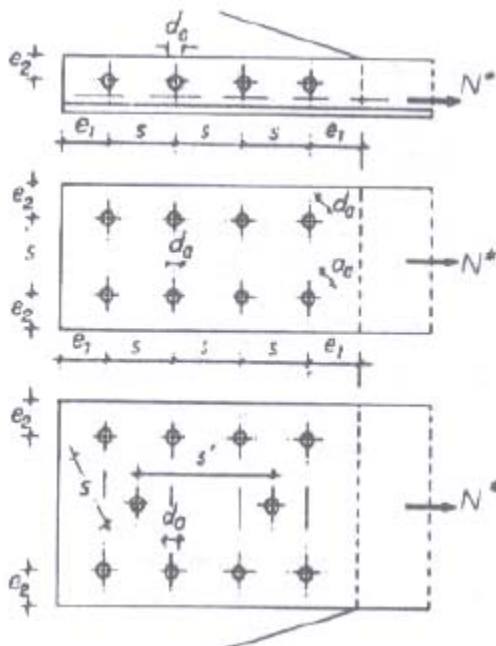


Fig. D.5. Normativa unions cargolades.

Valor mínim: Cantell frontal $e_1 > 2d_a = 2 \cdot 21 = 42 \text{ mm}$
Cantell lateral $e_2 > 1.5d_a = 31.5 \text{ mm}$

Valor màxim: A qualsevol cantell $e < 3 d_a = 63 \text{ mm}$
 $e < 6t$

d_a ; diàmetre dels forats
 t ; espessor mínim

Tenint en compte tots aquest valors col·locarem els forats a 50 mm ($42,315 < 50 < 63$) de tots els cantells, per facilitar la seva execució.

Per determinar la distància dels forats amb la peça tubular perpendicularment soldada a la placa d'ancoratge tindrem en compte que les femelles tenen una distància entre arestes de $e=34.6 \text{ mm}$ i hem de deixar espai per la col·locació de la clau. Deixarem un espai de 25 mm.

Així ens quedarà la placa:

Placa 250x250x8 mm

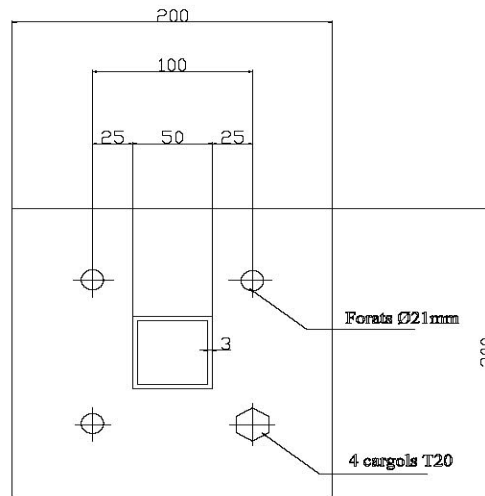


Fig. D.6. Esquema de la placa.

Per calcular la secció(t) mínima de la placa d'ancoratge inferior ho hem fet amb un programa d'elements finits com és el RISA 3D:

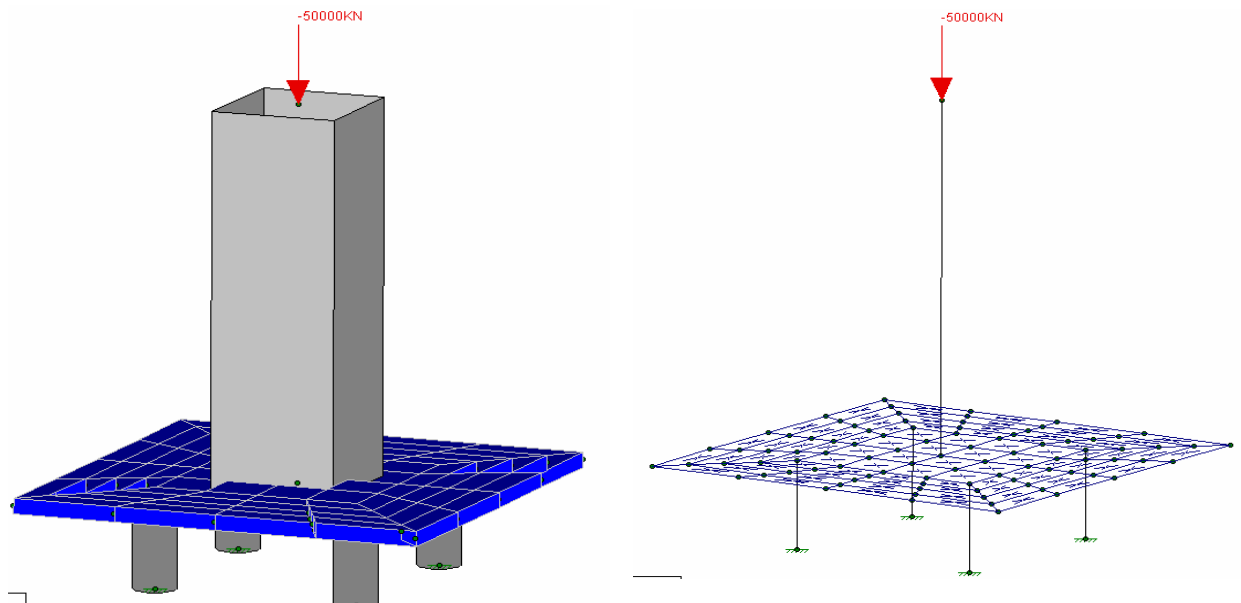


Fig. D.7. Model amb RISA3D de la placa e=8 mm.

Placa de 8 mm d'espessor:
Màxims

Mínims

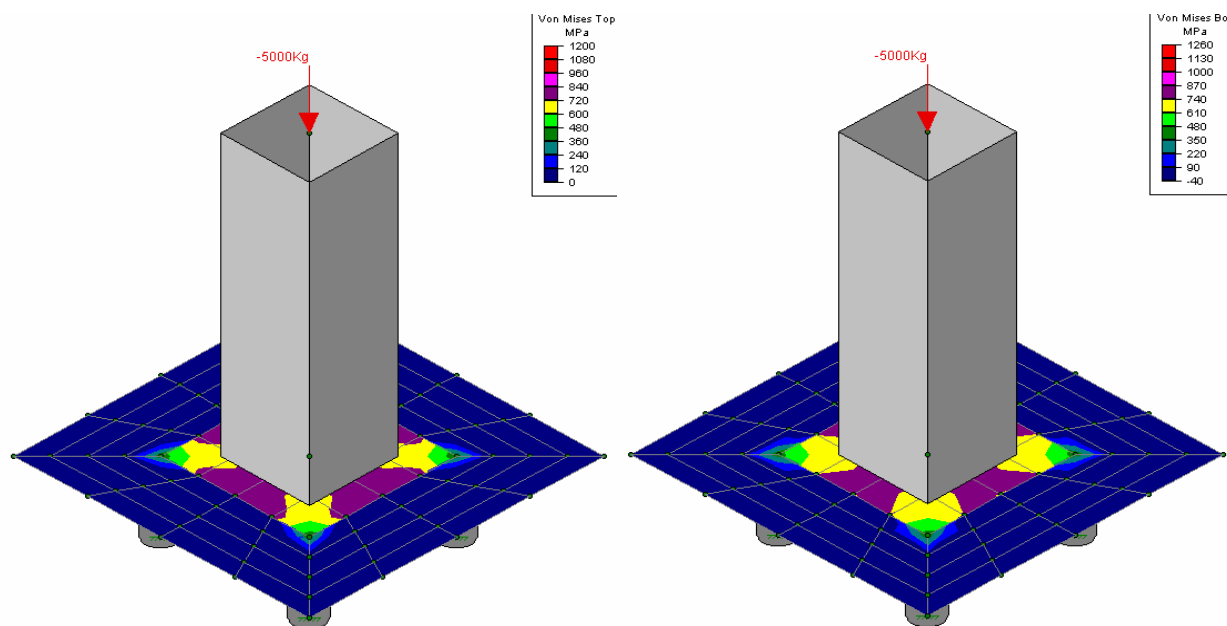


Fig. D.8. Tensions a la placa.

Podem observar que amb una placa de 200x200x8 mm ja en tenim prou per aguantar els esforços.

Com a placa superior col·locarem la placa mínima indispensable per exemple 100x100x5.

Així la disposició constructiva seria aquesta;

Placa 250x250x8 mm

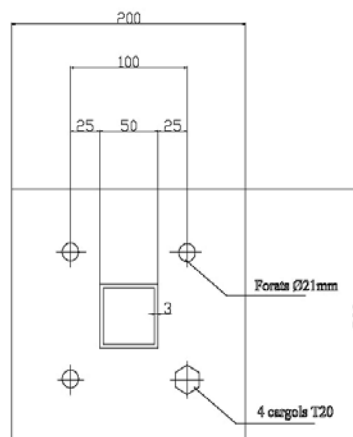
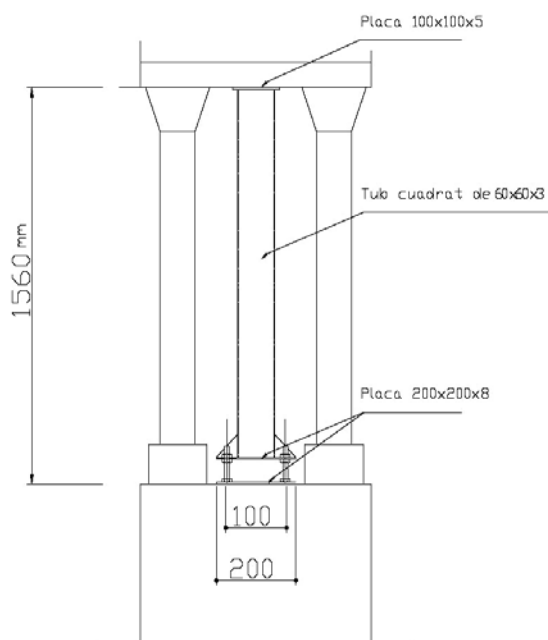


Fig. D.9. Esquema de muntatge.

Però per assegurar-nos que el nostre puntal no vinclarà col·locarem un perfil tubular de 100.5 aquest fet ens farà variar les dimensions de la placa inferior si volem conservar les condicions que havíem considerat per a la disposició dels cargols.

Valor mínim: Canto frontal $e_1 > 2d_a = 2 \cdot 21 = 42$ mm
Canto lateral $e_2 > 1.5d_a = 31.5$ mm

Valor màxim: A qualsevol canto $e < 3 d_a = 63$ mm
 $e < 6t$

Tenint en compte tots aquest valors col·locarem els forats a 50 mm ($42,315 < 50 < 63$) de tots els cantells, per facilitar la seva execució.

Per determinar la distància dels forats amb la peça tubular perpendicularment soldada a la placa d'ancoratge tindrem en compte que les femelles tenen una distància entre arestes de $e = 34.6$ mm i hem de deixar espai per la col·locació de la clau. Deixarem un espai de 25 mm.

Ara la placa d'ancoratge inferior, serà:

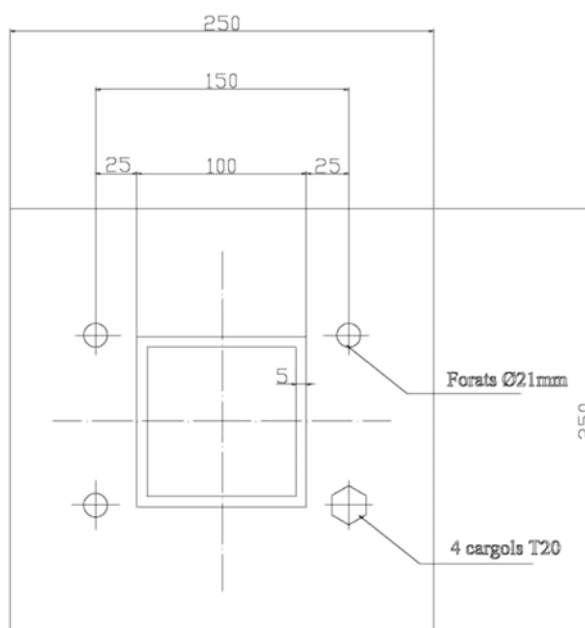


Fig. D.10. Esquema de la placa.

Si es recalcula l'espessor de la placa amb les noves dimensions.

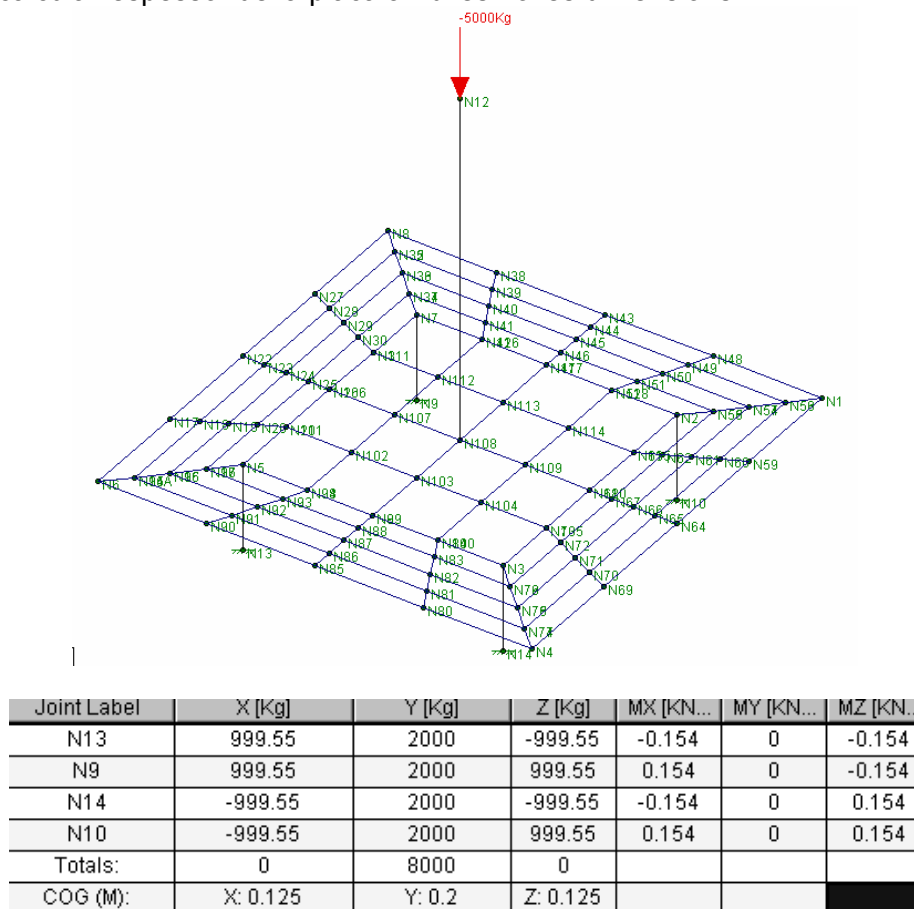
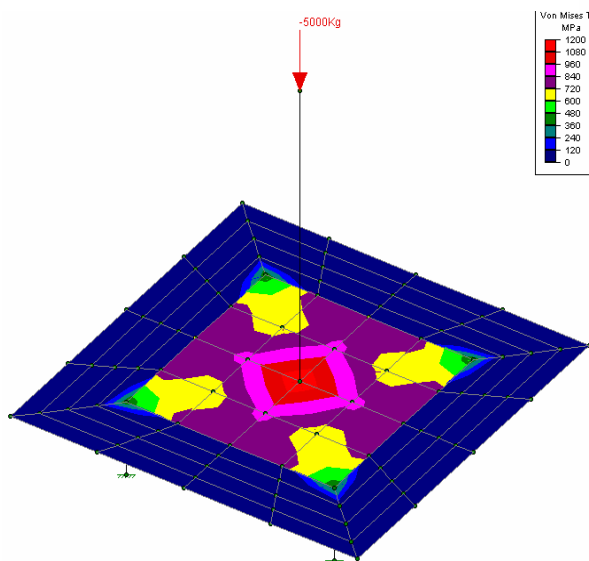


Fig. D.11. Resultats.

Amb una placa de 250x250x8 mm ja en tenim prou, estem per sota de la tensió admissible ($\sigma_u = 2600 \text{ kg/cm}^2$)

Màxims



Mínims

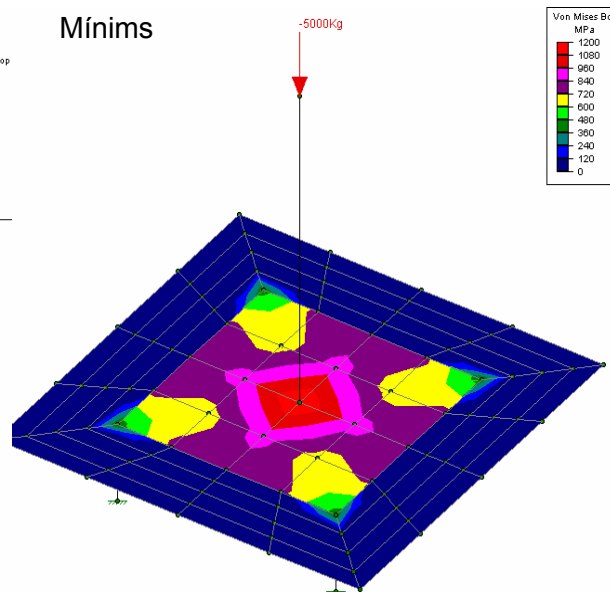
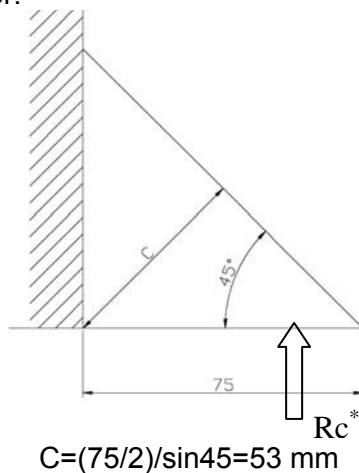


Fig. D.12. Tensions a la placa.

La placa superior ara haurà de ser del 125x125x5 mm.

D.4.4. Carteles

Per assegurar l'estabilitat del pilar, encara que no ens caldria, col·locarem unes carteles de 50 mm d'espessor.



Si suposem que cada cartela aguantés $R_c^* = 1250 \text{ kg} \cdot 1.33 = 1662.5 \text{ kg}$, el moment d'esgotament de la cartela serà:

$$M_p = t_c \cdot c^2 \cdot \sigma_u / 4 = 0.5 \cdot 5.3^2 \cdot 2600 / 4 = 9130 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

t_c ; espessor de la cartela

$$\bar{\lambda} = 0.0283 \cdot \frac{c}{t_c} = 0.0283 \cdot \frac{5.3}{0.5} = 0.3$$

$$C_E = 0.14 \cdot \bar{\lambda}^2 \cdot -1.07 \cdot \bar{\lambda} + 2.3 \approx 2 \text{ cm}$$

Com que es compleix:

$$R_c \cdot d_c < C_E \cdot M_p$$

d_c ; distancia perpendicular del centre al punt d'aplicació de R_c

$$1662.5 \cdot 7.5 = 12468 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 < 2 \cdot 9130 = 18260 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \text{ COMPLEIX}$$

CORDÓ DE OLDADURA HORIZZONTAL:

Component horitzontal;

$$T_c^* = \frac{R_c \cdot 75 \text{ mm}}{75 \text{ mm}} = R_c^* = 1662.5 \text{ kg}$$

segons la formulació de la norma, la secció de la gorja serà;

$$2a = \frac{F}{0.75 \cdot \sigma_u \cdot L} = \frac{1662.5 \text{ kg}}{0.75 \cdot 2600 \text{ kg/cm}^2 \cdot 7.5 \text{ cm}} \longrightarrow a = 2.2 \text{ cm} \approx 3 \text{ mm}$$

disposarem cordons de 3 mm de secció de gorja a cada costat de la cartela.

Pels cordons verticals també usarem cordons de 3 mm de gorja.

ANNEX E: ESTUDI ECONÒMIC

SUMARI

E.1. Estudi econòmic.....	128
----------------------------------	------------

E.1. ESTUDI ECONÒMIC

Estudi econòmic per la realització de l'estudi:

	COST UNITARI	UNITATS	COST TOTAL
COST DE DESENVOLUPAMENT DE L'ESTUDI			
Hores d'anàlisi	30 €/h	200	6.000 €
Desplaçaments i dietes	10 €	15	150 €
			Subtotal:6.150 €
COST DE REDACTAT DE L'ESTUDI			
Hores d'organització de l'estudi	18 €/h	30	540
Hores de redactat de l'estudi	24 €/h	50	1200
Material	150 €/h	1	150
			Subtotal:1.890 €
TOTAL REALITZACIÓ DEL PROJECTE			8.040€

L'estudi té un pressupost de VUIT MIL QUARANTA EUROS. (8.040 €)

Girona, setembre del 2009

L'Estudiant redactor del projecte

Narcís Serra Font