



EPS

Escola Politècnica

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: ATRACCIÓ PÈNDUL PER A FIRES

Document 1: Memòria i annexos

Alumne: David Coll Castañer

Director/Tutor: Francisco Javier Espinach Orus

Departament: Organització, gestió empresarial i disseny del producte

Àrea: Expressió gràfica en l'enginyeria

Convocatòria (mes/any): 06/2014

Índex de la memòria

1	INTRODUCCIÓ	1
1.1	Antecedents	1
1.2	Objecte	1
1.3	Especificacions i abast	1
2	DESCRIPCIÓ CONCEPTUAL DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA	2
2.1	Situació i emplaçament	2
2.2	Tipologies	3
2.3	Descripció general de l'atracció	4
2.4	Principi de funcionament	5
3	DESCRIPCIÓ DE LA BASE ESTRUCTURAL	7
3.1	Descripció geomètrica	7
3.2	Estructura	7
3.2.1	Columna	7
3.2.2	Braços	11
3.2.3	Altres	14
3.2.4	Unions	16
3.3	Fonamentació	16
4	ELEMENTS MOTRIUS	18
4.1	Motor	18
4.2	Reductor	18
4.3	pinyó motriu	18
4.4	Rodaments	19
5	DESCRIPCIÓ DE LES BASES DE CàLCUL	20
5.1	Criteris adoptats en el disseny	20
5.1.1	Estructura metàl·lica	20
5.1.2	Fonamentació	21
5.2	Anàlisi estructural mitjançant SAP2000	23
5.3	Accions previstes de càlcul	23
5.3.1	Accions permanents segons DBSE-AE	23
5.3.2	Accions variables: càrregues de vent segons DBSE-AE:	24
5.3.3	Accions variables: sobrecàrrega de neu segons DBSE-AE:	26
5.4	Combinació de accions:	28
6	RESUM DEL PRESSUPOST	30
7	CONCLUSIONS	31
8	RELACIÓ DELS DOCUMENTS	32

9	BIBLIOGRAFIA.....	33
10	GLOSSARI I ABREVIATURES.....	34
	ANNEX A RECONSTRUCCIÓ DE LA GEOMETRIA I L'ESTRUCTURA DE L'ATRACCIÓ	37
	ANNEX B MODELITZACIÓ AMB WORKING MODEL	42
	B.1 Entrada dels elements constructius al model	42
	B.1.1 Model lateral	43
	B.1.2 Model frontal.....	44
	B.2 Estudi previ de les forces mecàniques.....	46
	B.3 Estudi dels valors obtinguts de les simulacions	47
	B.3.1 Cas de gir velocitat constant.....	47
	B.3.2 Cas de gir amb acceleració constant.....	49
	B.3.3 Resum recol·lecció de dades per al model amb sap 2000	52
	ANNEX C DIMENSIONAMENT DELS RODAMENTS.....	54
	C.1 Rodament principal	56
	C.2 Rodaments góndoles.....	60
	C.3 Determinació força de contacte entre engranatges	63
	ANNEX D DIMENSIONAMENT MOTRIU.	65
	D.1 Dimensionament del motor	65
	D.2 Dimensionament del reductor	66
	ANNEX E DESENVOLUPAMENT DEL CàLCUL DE LES CÀRREGUES DE VENT	69
	ANNEX F MODELITZACIÓ AMB SAP 2000	70
	F.1 Entrada dels elements constructius al model	70
	F.1.1 Part comuna	70
	F.1.2 Model columna.....	73
	F.1.3 Models braços	75
	F.2 Definició de combinacions i entrada de càrregues al model	78
	F.3 Anàlisi del model.....	80
	ANNEX G ESTUDI DELS VALORS ESTRUCTURALS OBTINGUTS.....	87
	G.1 Model columna	87
	G.1.1 Càlculs ELS (fletxa)	87
	G.1.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)	88
	G.2 Model braç horitzontal	90
	G.2.1 Càlculs ELS (fletxa)	90
	G.2.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)	91
	G.3 Model braç vertical.....	94
	G.3.1 Càlculs ELS (fletxa)	94
	G.3.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)	95
	ANNEX H CàLCUL FONAMENTACIÓ	98

H.1	Dimensionament de la sabata	99
H.2	Comprovació estabilitat de la sabata	103
H.3	Dimensionament de l'armat (Model bieles i tirants)	103
ANNEX I	JUSTIFICACIÓ DE PREUS.....	109
ANNEX J	MANTENIMENT	114
J.1	Manteniment dels rodaments de gran diàmetre	114
J.2	Manteniment del motor de gir	114
J.3	Manteniment del reductor	114
J.4	Manteniment dels engranatges	114
J.5	Manteniment del sistema de seguretat de les gòndoles	115
J.6	Manteniment de l'estructura	115
J.7	Taula resum punts crítics.....	115
ANNEX K	CATÀLEGS UTILITZATS	116
K.1	Catàleg Rothe Erde per a rodaments de grans dimensions	116
K.2	Catàleg Brevini per als reductors epicicloïdals.....	125
K.3	Catàleg Comer per als motor de corrent continu	128

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

A causa de l'accident mortal que es va produir a data de Juliol del 2010 en l'atracció el pèndol del parc d'atraccions del Tibidabo, s'ha decidit realitzar un avantprojecte per un tipus d'atracció similar, per tal de poder analitzar, identificar i comprendre els esforços a que estan sotmesos els elements crítics d'aquestes estructures.

1.2 Objecte

El present avantprojecte té per objecte el disseny, dimensionament i anàlisi de l'estructura i les parts mecàniques necessàries per al funcionament d'una atracció fixa de comportament pendular, més concretament una de tipus booster.

1.3 Especificacions i abast

A partir d'un estudi comparatiu entre diferents models d'aquest tipus d'atracció s'han configurat les següents especificacions.

- Altura estimada de l'atracció propera als 30 metres.
- Tenir 2 vehicles de 4 seients cadascun aconseguint una capacitat total de 8 passatgers màxim.
- Capacitat estimada de l'atracció 120 passatgers/hora.
- Temps estimat de duració de l'atracció d'aproximadament 1 minut.
- Velocitat de gir en les góndoles de aproximadament 85 km/h.
- Acceleració màxima experimentada pels passatgers en les góndoles de 3.6 G.

L'abast d'aquest avantprojecte serà:

- Disseny de l'estructura.
- Descripció detallada del funcionament global del sistema.
- Anàlisis estructurals, tant estàtics com dinàmics.
- Dimensionament motriu de l'atracció, tant del motor com de la reducció d'inèrcies en les transmissions.
- Fonamentació.
- Identificació problemes que poden aparèixer i solucions a emprar.

No s'especificarà:

- Dimensionat de la instal·lació elèctrica i proteccions.
- Dimensionat de la instal·lació pneumàtica/hidràulica.
- Automatització i control de l'atracció.
- Il·luminació i decoració de l'atracció.
- Dispositius de seguretat.

2 DESCRIPCIÓ CONCEPTUAL DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

2.1 Situació i emplaçament

L'atracció s'ubicarà en els termes municipals de Salou i Vila-Seca, en la província de Tarragona, concretament dins del recinte corresponent al parc temàtic dins del projecte de macrocomplex turístic i d'oci BCN World.



Figura 1: Plànol de situació dels municipis de Salou i Vila-Seca dins de Catalunya.

El macrocomplex ocuparà una superfície total de 825 hectàrees (8,25 kilòmetres quadrats), tot i que encara no es coneix de manera exacta com es repartiran les superfícies i quin ús final es donarà a cadascuna. El macrocomplex es trobarà situat a menys de 45 minuts de Barcelona, a poca distància de l'aeroport de Reus i a 10 minuts de Tarragona.

L'atracció pretén aportar diversitat en entreteniment dins del conjunt de les diferents atraccions que formaran part del parc temàtic, i així com part d'un conjunt més gran poder atreure el major nombre de visitants possible.

2.2 Tipologies

El disseny de la nostra atracció estarà basat en l'atracció booster desenvolupada per l'empresa italiana dedicada al món de la construcció d'atraccions de fira, "Fabbri Group".

Dins les atraccions de tipus booster fabricades per Fabbri trobem 2 tipus de models diferents, el model gegant i el model tradicional, aquest últim pot ser fixe o itinerant.

El model gegant, és el model més nou que existeix per aquest tipus d'atraccions, és de dimensions més grans que el model tradicional, podent arribar als 50 metres d'alçada i el seu tret característic és que posseeix un total de 4 góndoles (2 per cada braç) respecte a les 2 que té el model tradicional, aconseguint així doblar la capacitat de l'atracció. En podem veure un en la imatge de la dreta de la Figura 2.

El model tradicional consta de diferents submodels que han anat apareixent al llarg del temps els quals presenten petites variacions entre ells. Tots els submodels estan equipats amb dues góndoles la capacitat de les quals és de 4 o 8 persones per góndola depenent de la versió. Les seves dimensions també varien depenent del submodel arribant als 30 metres d'altura el model més petit i als 40 metres el més gran. En podem veure un en la imatge de l'esquerra de la Figura 2 .



Model tradicional



Model gegant

Figura 2: Foto de diferents models d'atraccions tipus booster.

El present projecte es basarà en aquest últim model mencionat, el qual serà del tipus fixe.

2.3 Descripció general de l'atracció

- Estructura

L'atracció "BOOSTER" està composta per una columna fixada a una fonamentació de formigó, dos braços giratoris s'instal·len en la part superior de la columna mitjançant un rodament dentat. A l'extrem de cada braç hi ha un vehicle amb capacitat per a quatre passatgers del tipus 'esquena contra esquena', amb sistema de cames penjants, aquests vehicles es troben equipats amb un fre de mà que permet bloquejar el balanceig del vehicle, i així assegurar als passatgers un accés segur alhora de pujar o baixar del vehicle. Cada seient es troba equipat amb una barra de seguretat que es col·loca en el passatger passant per sobre l'espatlla, les quals compten amb un sistema de retenció doble, la barra de seguretat és operada per aire. Podem veure una imatge amb l'aspecte general que presenta l'estructura en la Figura 3.

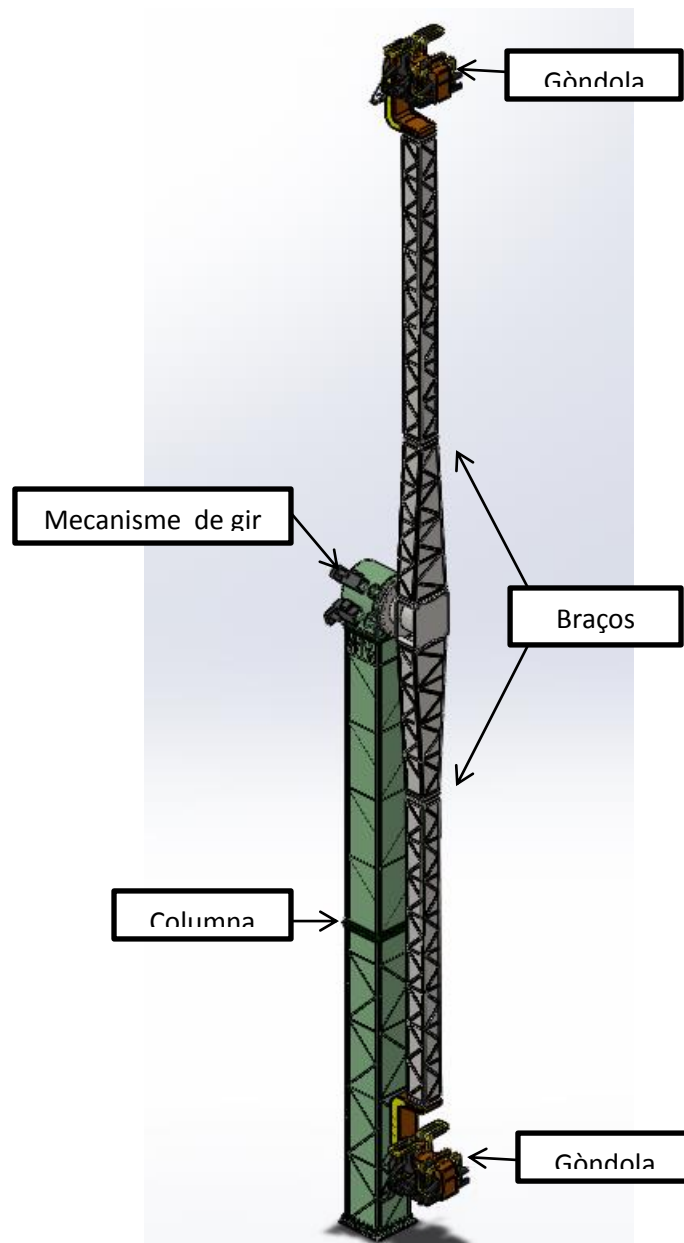


Figura 3: Aspecte general de l'estructura.

- **Mecanisme de gir**

El mecanisme de gir es troba situat en la part superior de la columna i provoca la rotació dels braços. El moviment de gir s'obté a partir d'un rodament dentat de gran diàmetre, conduït per dos pinyons motrius, connectats a dos reductors epicicloïdals accionats per motors de corrent continu, mentre que el vehicle tot i que també es troba instal·lat sobre dos rodaments, aquest pot girar lliurement d'acord amb la velocitat i la força centrífuga, podent arribar a realitzar una rotació de 360° (loop). La velocitat del vehicle és variable i pot arribar a una força màxima de 3.6 G.

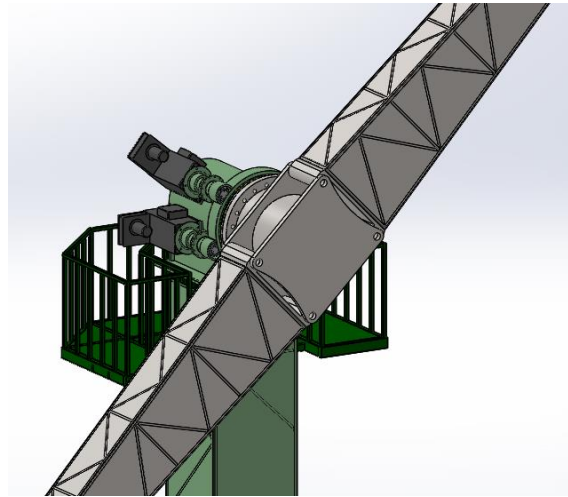


Figura 4: Localització del mecanisme de gir.

2.4 Principi de funcionament

En primera instància, i després d'haver rebut la confirmació per part de l'operador de l'atracció situat a peu de pista, els passatgers pujaran en la gòndola que es trobarà situada en posició de càrrega amb les barres de seguretat en posició enlairada i el mecanisme de bloqueig del balanceig activat per tal de garantir un accés segur al vehicle.

A continuació els passatgers s'assentaran i es col·locaran la barra de seguretat la qual ha de quedar tancada de manera automàtica al posicionar-se. L'operador a peu de pista comprovarà que les barres hagin quedat perfectament tancades.

Aleshores l'operador situat a cabina desbloquejarà el mecanisme de balanceig de la gòndola i farà girar a velocitat reduïda els braços de l'atracció fins assolir una rotació 180°, amb les quals la gòndola anterior passa a estar en la posició més elevada, i l'altre es trobarà situada en la part inferior per produir-se la situació de càrrega/descàrrega.

La segona gòndola es carregarà de la mateixa manera que s'ha fet amb la primera i amb les mateixes comprovacions de seguretat.

Un cop tenim l'atracció completament carregada i amb els mecanismes de les dues gòndoles desbloquejats per que puguin girar, l'operador de la cabina donarà pas al funcionament propi de l'atracció mitjançant un botó de posta en marxa.

Primer s'activaran els 2 motors DC del mecanisme de gir situats en la part superior de la columna, els quals provocaran la rotació dels braços. La potència aportada per els motors serà suficientment gran per tal que el gir de l'atracció entri en fase d'acceleració constant, aquesta fase ha estat calculada perquè tingui una duració de 15 segons.

Passats aquests 15 segons es reduirà de forma automàtica la potència aportada per els motors de tal manera que l'atracció entrarà en fase de gir a velocitat constant de 15 rpm. La duració d'aquesta fase serà de 1 minut.

Passat aquest temps s'activarà el fre elèctric situat en un dels dos motors per tal de frenar gradualment l'atracció. Quan els braços de l'atracció s'hagin aturat completament, quedaran en posició vertical i hi haurà una de les gòndoles amb el mecanisme de balanceig bloquejat situades en la zona de càrrega/descàrrega. L'operador a peu de pista s'encarregarà d'obrir les barres de seguretat del passatgers mitjançant un sistema pneumàtic, per tal que aquests puguin baixar de l'atracció.

A partir d'aquest punt el funcionament de l'atracció esdevé cíclic i segueix el procediment que s'ha descrit.

3 DESCRIPCIÓ DE LA BASE ESTRUCTURAL

3.1 Descripció geomètrica

Les dimensions del conjunt estructural de l'atracció són 30 metres d'altura, 3 metres d'amplada i 4 metres de profunditat. Cal mencionar que tant les dimensions d'amplada com de profunditat no tenen en compte les dimensions que hauria de presentar la plataforma o pasarel·la per tal que els passatgers i operaris puguin accedir als vehicles, ni tampoc contemplen els espais de seguretat amb els elements adjacents, per tant les dimensions reals que ocuparia el conjunt global de l'atracció seran més gran que les aquí mencionades. El pes total del conjunt de l'atracció sense comptar el fonament és d'aproximadament 19 Tones.

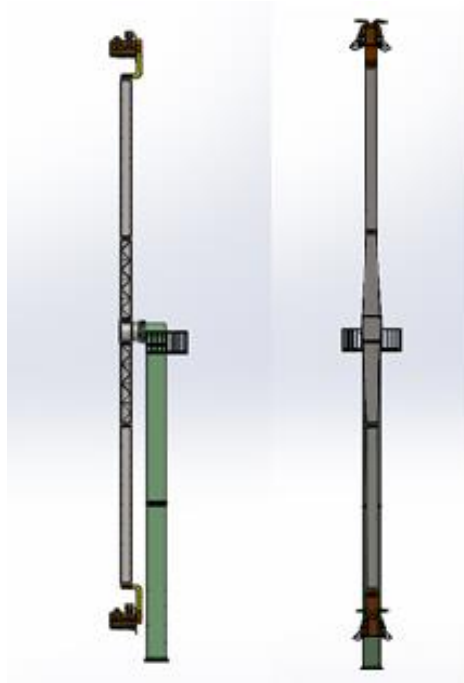


Figura 5: Conjunt global de l'estructura vista de perfil i de front.

3.2 Estructura

L'estructura de l'atracció es troba dividida en dues parts principals: la columna i els braços, ambdues parts estan formades per la unió de diferents peces les quals es troben unides entre elles a partir d'unions roscades amb cargols d'alta resistència.

Els perfils laminats d'acer utilitzats per conformar l'estructura interna tant per la columna com per els braços s'han dimensionat mitjançant un programa de càlcul per elements finits i s'ha comprovat que no fallen ni a tracció/compressió, tallant o flexió i que compleixen els coeficients de seguretat necessaris.

3.2.1 Columna

La columna principal, estarà formada per tres peces unides mitjançant unió roscada amb cargols i arribarà a una altura de 17 metres, tindrà forma quadrada en el que cada costat tindrà 1 metre d'amplada.

3.2.1.1 Peça “base inferior”

La part inferior de la columna es forma a partir d’una estructura interna de tipus gelosia, formada per diferents perfils d’acer de tipus quadrat units entre ells mitjançant soldadura. La seva funció serà la de suportar el pes de tots els elements globals de l’estructura de l’atracció.

Els perfils estructurals que s’utilitzaran són els següents: per les barres verticals perfil quadrat 100x100x16mm, per la resta perfil quadrat 60x60x4. Es pot veure com queda l’estructura interna de la peça en la Figura 6.

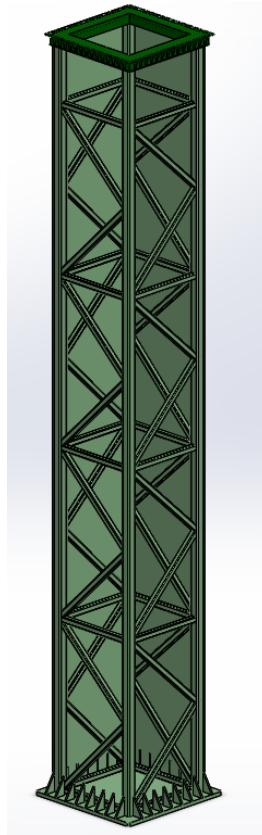


Figura 6: Imatge de l’estructura interna de la peça “base inferior”.

Es soldarà una peça especial a l’extrem superior que ens permetrà la unió roscada mitjançant cargols amb l’altre part de columna.

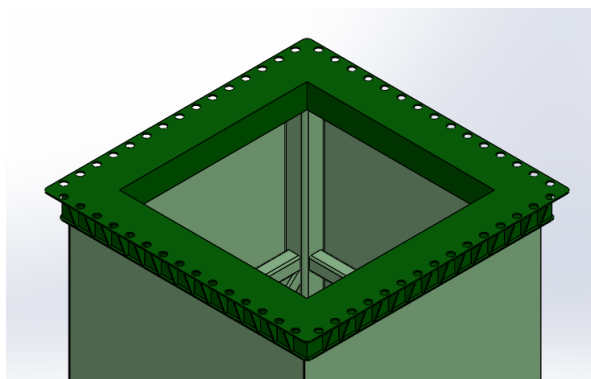


Figura 7: Imatge de la part d’unió de la columna.

Finalment es soldaran planxes d'acer al voltant de l'estructura interna per tal de tapar-la i rigiditzar-la una mica més. La part inferior de la columna s'ha reforçat mitjançant cartel·les entre les parets de l'estructura i la placa base, per a augmentar la resistència al moment flector que es produeix en la base.

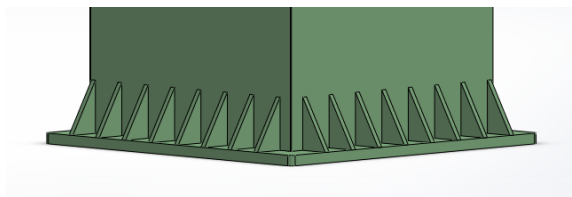


Figura 8: Imatge de les cartes inferiors.

Les dimensions d'aquesta peça són de 1 metre d'amplada per 1 metre de profunditat per 8 metres d'altura i el seu pes és d'aproximadament 3200 kg.

3.2.1.2 Peça "base superior"

La part superior de la columna es pot considerar com una continuació de la peça anterior ja que té les mateixes dimensions i l'estructura interna varia poc. Les diferències significatives són que aquesta compta amb dues peces per permetre unió roscada col·locades cadascuna en un extrem de la peça, i que en l'estructura interna s'ha d'afegir una zona de reforç en la part superior de l'estructura per tal d'evitar que les barres fallin. Es pot veure com queda la zona de reforç que ha calgut afegir, en la Figura 9.

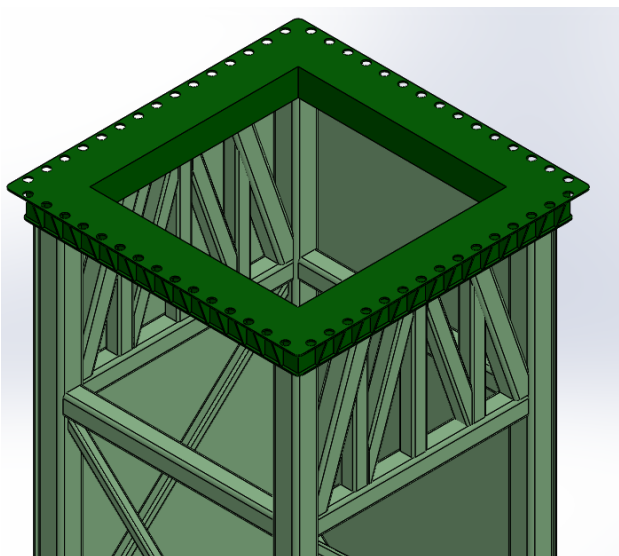


Figura 9: Imatge de la zona de reforç.

Els perfils estructurals que s'utilitzaran per conformar l'estructura interna de la peça són els següents: per les barres verticals perfil quadrat 100x100x16mm, per les barres horitzontals dels 2 nivells superiors i del nivell inferior, així com les barres més properes als extrems en la zona de reforç, perfil quadrat 80x80x8mm, per la resta perfil quadrat 60x60x4. Es pot veure com queda l'estructura interna de la peça en la Figura 10.

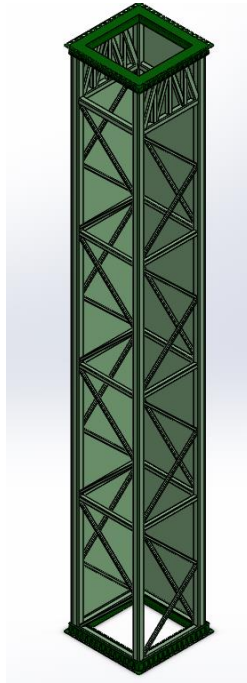


Figura 10: Imatge de l'estructura interna de la peça "base superior".

El fet de tenir una zona de reforç fa que la peça deixi de ser simètrica, així doncs s'haurà de tenir especial cura en el moment d'unir-la amb la resta de peces per tal de muntar-la en la posició correcta i no a l'inrevés.

Les dimensions d'aquesta peça són de 1 metre d'amplada per 1 metre de profunditat per 8 metres d'altura i el seu pes és d'aproximadament 2900 kg.

3.2.1.3 Peça "Peça central 2"

En la part més elevada de la columna es muntarà aquesta peça, la funció de la qual és fer possible la unió de la columna amb els braços. Aquesta peça també contindrà el mecanisme de gir de l'atracció. Es pot veure la forma de la peça en la Figura 11.

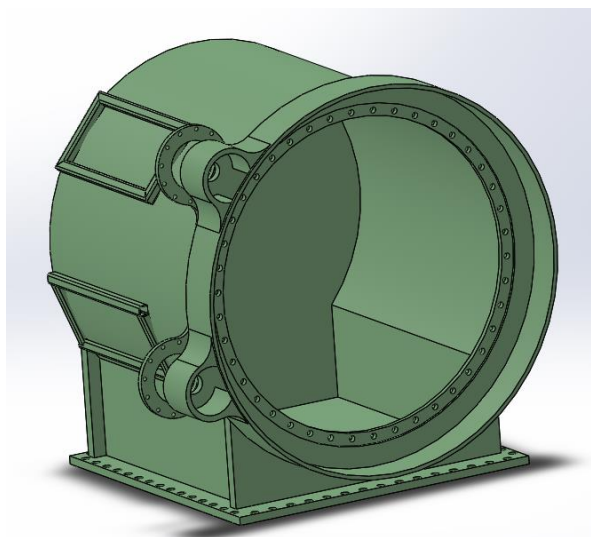


Figura 11: Imatge de la peça central 2.

La unió de l'estructura amb els braços es realitza mitjançant un rodament amb dentat exterior que es muntarà perquè giri respecte l'eix horitzontal. Aquest rodament és l'element crític que

ens marcarà les dimensions de la peça. Es fixarà el cercle intern del rodament a la peça mitjançant unió roscada composta per 42 cargols del tipus M20. Per tal de reforçar la unió i evitar que la peça es trenqui amb facilitat es reforçarà la part interna de la zona amb cartel·les.

Les dimensions d'aquesta peça són 1,25 metres x 1,5 metres d'alçada i pesa 2100 kg.

3.2.2 Braços

Cada braç de l'atracció estarà conformat per 3 peces unides mitjançant unió roscada amb cargols més el vehicle on pujaran els passatgers. El conjunt del braç arribarà als 15 metres de llargada, la amplada i profunditat variaran per cadascuna de les peces.

3.2.2.1 Peça "Braç central"

Al igual que amb les peces que formen part de la columna, les peces dels braços també es fabricaran a partir d'una estructura interna tipus encavallada amb unions soldades, però a diferència de les anteriors, les barres verticals que formen part de l'encavallada d'aquesta peça no es trobaran en posició completament perpendicular, sinó que tindran una lleugera inclinació que provocarà que l'amplada variï en funció de l'altura de la peça. La part exterior de l'estructura també estarà recoberta per planxes d'acer.

Els perfils estructurals que s'utilitzaran per l'estructura interna seran tots del tipus perfil quadrat 60x60x4 mm. En la Figura 12 es mostra l'aspecte que presenta l'estructura interna de la peça.

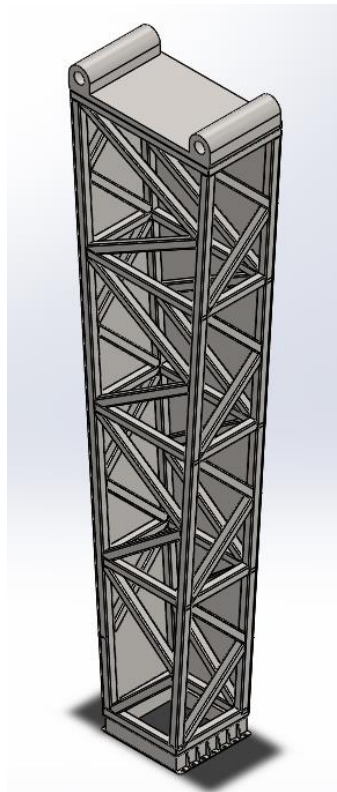


Figura 12: Imatge de l'estructura interna de la peça "Braç central".

Es soldarà una peça especial en la part superior del braç que permetrà que aquest es connecti amb la peça central la qual permetrà el gir de l'estructura. La unió amb aquesta peça es realitzarà mitjançant una barra d'acer roscada en els extrems.

Finalment es soldarà una altre peça especial diferent de l'anterior a l'extrem inferior, que ens permetrà la unió roscada mitjançant cargols amb l'altre part del braç. Es pot veure com és aquesta peça en la Figura 13.

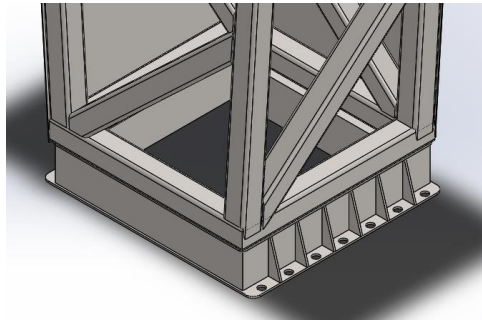


Figura 13: Imatge de la part d'unió amb el braç.

Les dimensions d'aquesta peça són 4 metres d'alçada x 0,5 metres de profunditat, l'amplada de la peça varia depenent de l'altura, essent de 1 metre en la part superior i de 0,5 metres en la part inferior. El pes d'aquesta peça serà de 950 kg.

3.2.2.2 Peça "Braç extrem"

La totalitat de l'estructura interna d'aquesta peça estarà conformada per perfils d'acer laminats del tipus quadrat 60x60x4 mm. Comptarà amb dues peces especials soldades cadascuna en un extrem diferent de la peça, per tal permetre la unió roscada amb les altres peces que conformen l'estructura del braç. Finalment es col·locaran planxes d'acer al voltant de l'estructura per tal d'aconseguir que no sigui visible. En la Figura 14 es mostra com queda la peça descrita.

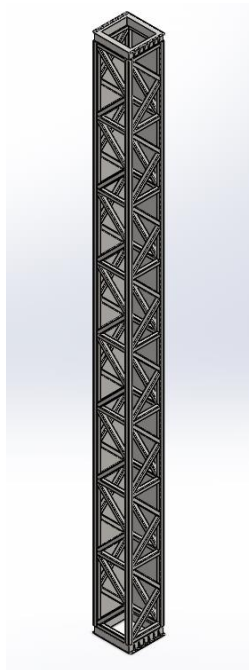


Figura 14: Imatge de l'estructura interna de la peça "Braç extrem".

Les dimensions d'aquesta peça són 8 metres d'alçada x 0,5 metres d'amplada x 0,5 metres de profunditat i el seu pes tindrà un valor de 1050 kg.

3.2.2.3 Peça “Connexió braç-gòndola”

L'última peça que forma part de l'estructura del braç ens farà la funció de connexió de la gòndola amb la resta de l'estructura, a més a més d'acabar-nos d'aportar una mica més d'altura a l'atracció. La fabricació d'aquesta peça s'encarregarà a un altre fabricant.

En l'extrem llarg de la peça es conformarà una ranura per tal que el rodament de la gòndola i encaixi a la perfecció, si faran 32 forats del tipus M12 per tal de poder fixar-hi el cercle intern del rodament.

En l'extrem curt de la peça s'hi soldarà una peça especial per tal de permetre la unió amb la peça “braç extrem” mitjançant unió roscada amb cargols.

Es pot veure l'aspecte general que presenta la peça en la Figura 15.

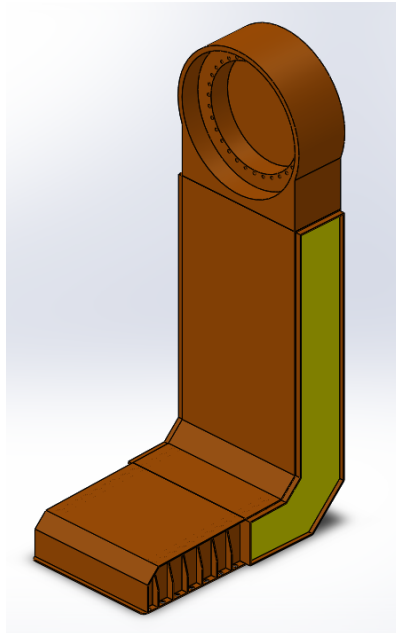


Figura 15: Imatge de la peça “Connexió braç-gòndola”.

Les dimensions d'aquesta peça són 2 metres d'altura x 0,7 metres d'amplada x 1,1 metres de profunditat i pesarà 825 kg.

3.2.2.4 Peça “Gòndola”

La gòndola és la peça de l'estructura a on aniran assentats els passatgers. Un tret característic del seu disseny és que el centre de gravetat de la peça es troba situat per sota el seu eix d'unió, això combinat amb la capacitat de girar lliurement provocarà el balanceig de la gòndola quan l'atracció estigui en funcionament. Aquesta peça no la fabricarem nosaltres sinó que s'encarregarà de fer-la un altre fabricant.

Apart de l'estructura interna corresponent i les planxes d'acer que la cobreixen, aquesta comptarà amb:

- Seients i respallers per el cap fets d'espuma de poliuretà produïdes mitjançant tècnica de injecció en motlle.
- Una barra de seguretat que el passatger es col·loca passant per sobre l'espatlla, consistent en una barra d'acer envoltada per espuma de poliuretà.

- Una subestructura d'acer situada en el costat més proper a la columna, en la que es fixaran mitjançant cargols roscats plafons de plàstic antixocs transparents, per tal d'evitar que les extremitats del passatgers entrin en contacte amb la resta de l'estructura i puguin patir accidents.
- Els sistemes d'accionament pneumàtic i les tanques de seguretat.
- Estructura externa especialment dissenyada per encaixar a la perfecció amb el rodament que li donarà llibertat de gir.

Es pot veure l'aspecte extern que presenta la gòndola amb els elements anteriorment descrits en la Figura 16. En la imatge de la dreta es pot veure la part de l'estructura que anirà unida al cercle extern del rodament, el qual s'unirà a la peça mitjançant unió roscada composta per 32 cargols del tipus M12.



Figura 16: Imatges de la peça "Gòndola".

Les dimensions d'aquesta peça són 1,2 metres d'altura x 1,4 metres de profunditat x 1,4 metres d'amplada i té un pes de 570 kg.

3.2.3 Altres

3.2.3.1 Peça "Peça central"

Es tracta d'una peça única feta per fosa d'acer, en aquesta peça és on aniran units els braços de l'estructura, a la vegada també es trobarà unida de manera concèntrica amb una altre peça anomenada "peça interior" a partir d'una unió roscada.

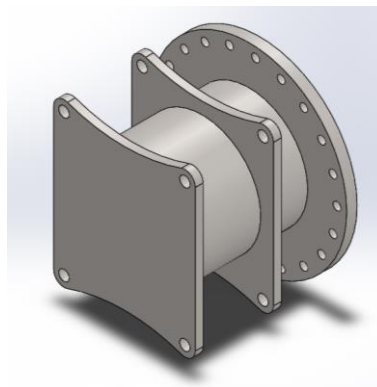


Figura 17: Imatge de la peça "Peça central".

Les seves dimensions són 1,5 metres d'altura i amplada x 1 metre de profunditat, el seu pes és de 2700 kg.

3.2.3.2 Peça "Peça interior"

Es tracta d'una sola peça sòlida feta per fosa d'acer, la seva funció serà la de connectar la corona giratòria amb la peça central.

En la part davantera es produirà la unió amb la "peça central", consistirà en unió roscada composta per 21 cargols del tipus M30.

El la part posterior es produirà la unió roscada amb el cercle exterior de la corona giratòria, que recordem que estarà composta per 42 cargols del tipus M20.

Entremig dels dos cercles on es produeixen les unions, hi haurà distribuïdes al llarg del perímetre de la peça 21 cartel·les per tal de reforçar la peça i evitar trencaments. En la Figura 18 es poden veure amb detall les dues cares de la peça així com la distribució de les cartel·les.

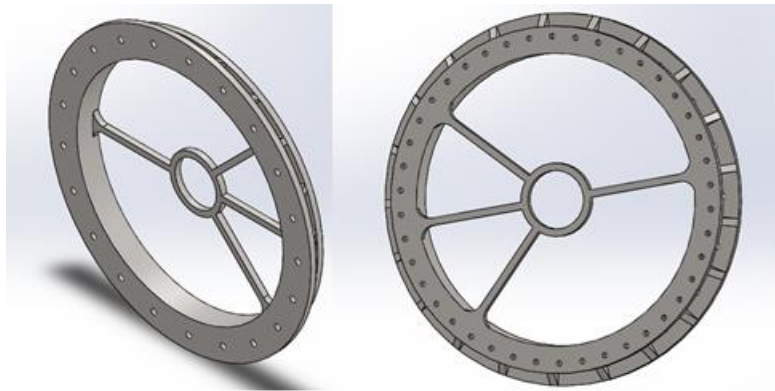


Figura 18: Detall de les dues cares on es produeixen les unions.

Les dimensions de la peça són 1,5 metres de en la part de major diàmetre i de 1,4 metres en el menor, té una altura de 120 mm i un pes de 390 kg.

3.2.3.3 Peça "Plataforma"

Aquesta peça té component auxiliar i es trobarà situada en la part superior de la columna, la seva finalitat serà la d'oferir una superfície de recolzament per els operaris, quan aquests duguin a terme operacions de manteniment en la part del mecanisme de transmissió.

Es tractarà d'una plataforma que rodejarà l'estructura de la columna i estarà feta a base de diferents perfils d'acer laminat. L'exterior de la plataforma estarà completament rodejada per una barana de seguretat de 1 metre d'altura feta amb tub d'acer de perfil quadrat 40x40x2,6 mm. Finalment la superfície del terra de la plataforma tindrà forma de reixeta per tal d'oferir millor adherència i evitar el risc de rrelliscar. Es la forma general de l'estructura de la peça en la Figura 19.



Figura 19: Imatge de la peça “Plataforma”.

Les seves dimensions són 1,4 metres d'altura x 3,2 metres d'amplada x 2,1 metres de profunditat, tindrà un pes de 460 kg.

3.2.4 Unions

Tal com s'ha comentat en algunes de les peces, la unió dels elements que formen part de l'estructura interna de les peces, tant els perfils laminats d'acer de la gelosia, com les planxes d'acer per els exteriors, o les peces especials per permetre la unió roscada entre les diferents peces que conformen l'atracció, totes s'uniran entre elles mitjançant soldadura. Aquesta tindrà que esser comprovada mitjançant radiografies de soldadura per garantir-ne la continuïtat i el bon funcionament d'aquestes.

Per la unió de les peces de la columna s'utilitzarà el mètode d'unió roscada, les peces de connexió disposen de 60 forats per cargols roscats de mètric 30 repartits pels 4 costats de la peça.

Per la unió de les peces dels braços també s'utilitzarà el mètode d'unió roscada, les peces de connexió disposen de 14 forats per cargols roscats de mètric 30 repartits pels 2 costats laterals de la peça.

Les superfícies de les peces de connexió roscada seran completament planes i hauran d'estar completament netes i sense pintar.

3.3 Fonamentació

Les atraccions de columna fixa són dissenyades per esser muntades sobre una fonamentació de formigó armat permanent, que a més de fixar l'estructura al terra, també actua com a contrapès per a les forces exercides per l'atracció en les seves condicions de càrrega.

En els càlculs s'ha suposat una capacitat portant del terreny mínima de 1 kg/cm². Per tant si l'atracció s'hagués d'instal·lar en terrenys amb capacitat portant inferior s'hauria de re-calcular les dimensions de la sabata.

La fonamentació normalment és realitzada per el client, el qual és responsable de fer les mesures pertinents de la capacitat portant del terreny i de dur a terme la obra civil. Si es troben diferents capacitats portants del terreny en la zona on s'ha d'ubicar l'atracció, s'ha de dimensionar el conjunt amb la capacitat portant trobada més baixa.

El tipus escollit per aquesta estructura és una fonamentació superficial aïllada, mitjançant una sabata de formigó armat. La unió de la sabata amb l'estructura es realitzarà mitjançant barres d'ancoratge.

La sabata serà rectangular de 4 x 2,5 metres i 1 metre de cantell. Es realitzarà amb formigó HA-25/B/20/Ila, al damunt d'una capa de 10 cm de formigó de neteja HL-150/B/20.

L'armat es realitzarà amb barres corrugades acer B 500 SD de 25mm de diàmetre, estarà format per 14 barres separades entre elles 27cm en l'eix longitudinal i per 9 barres separades entre elles 26,5cm en l'eix transversal.

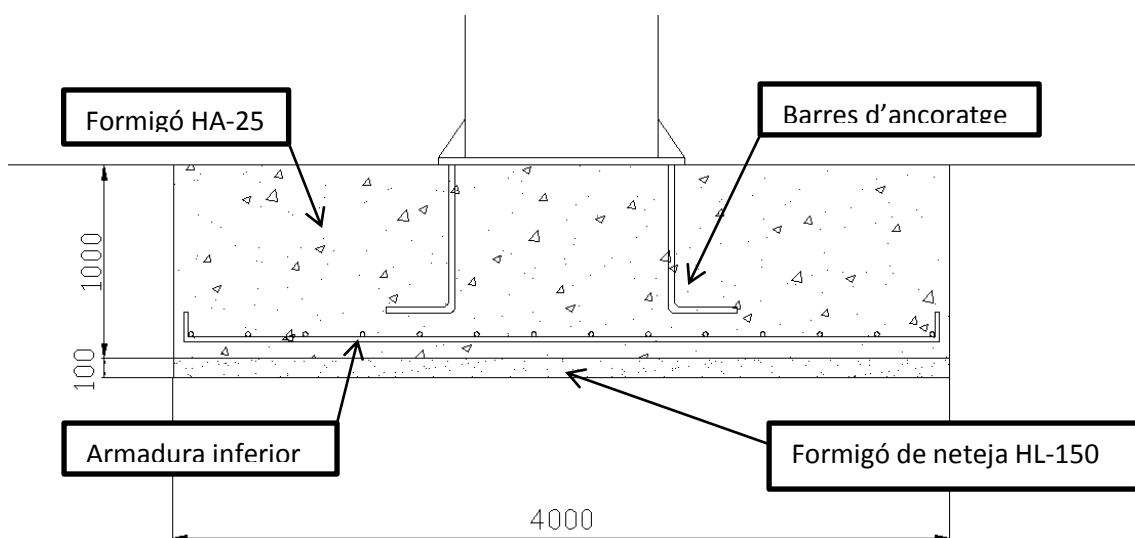


Figura 20: Esquema fonamentació.

La platina per a realitzar la unió amb les barres d'ancoratge serà la placa base quadrada de 1270x1270mm situada en l'extrem de la peça "columna inferior", aquesta estarà rigiditzada en cada costat per 8 cartel·les separades a distàncies iguals entre elles. Les cartel·les reparteixen la càrrega sobre el macís de formigó, de manera que redueixen la pressió exercida sobre aquest i impedeixen que sobrepassi el seu valor màxim de treball.

Les barres d'ancoratge són també una part important de la fonamentació perquè assegurin la correcta unió de la columna a la sabata. Tant el diàmetre com la longitud d'ancoratge s'ha calculat per garantir l'adherència de les barres al formigó. En el càlcul s'ha seguit la instrucció EHE.

Per tal de realitzar la unió amb la platina, en cadascun dels seus costats s'usaran 9 barres corrugades d'acer de 32mm de diàmetre en les quals es mecanitzaran els extrems perquè corresponguin a les dimensions d'una rosca M30. La longitud neta de les barres d'ancoratge serà de 75 cm i cadascuna estarà plegada a 90° per tal de formar una patilla.

Els càlculs per el dimensionament de la fonamentació, tant de la sabata com de l'armat i les barres d'ancoratge es troben descrits en l'annex H d'aquest mateix document.

4 ELEMENTS MOTRIUS

En el mecanisme de gir és a on es centra l'estudi mecànic del projecte. Els punts més destacats d'aquest mecanisme són el càlcul dels rodaments, el dimensionament del motor-reductor i l'elecció del pinyó motriu. En la Figura 21 es pot veure com es troben units aquests elements entre si.

En aquest apartat es descriuen els elements comercials que es necessiten per a realitzar el moviment de gir de l'atracció.

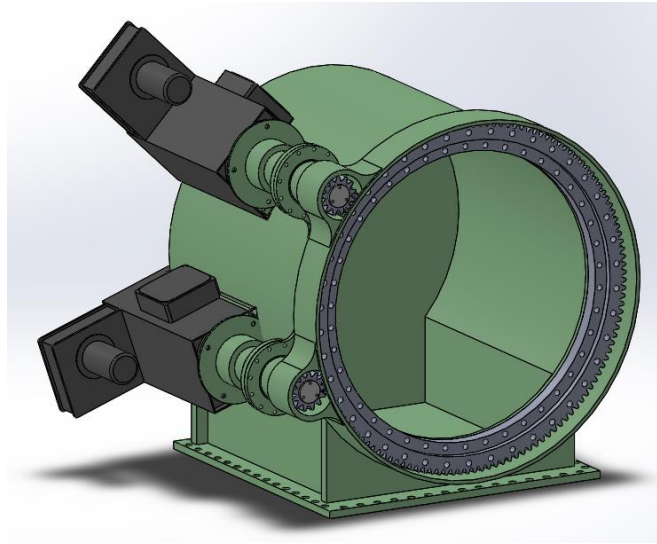


Figura 21: Vista dels elements que conformen el mecanisme de gir.

4.1 Motor

Per produir la rotació dels braços en qualsevol dels dos sentits, utilitzarem dos motors de corrent continu de 80kW de potència del fabricant “Comer”, concretament el model RTL PVR 160S 80kW. Els càlculs del dimensionament del motor es poden trobar en l'Annex D.1: Dimensionament del motor.

4.2 Reductor

Necessitarem comprar un reductor de tipus epicicloïdal de dues etapes per a cadascun dels motors, escollim aquesta solució perquè és necessari un disseny compacte motor-reductor i que aquest pugui suportar un parell de força elevat en la sortida. Escollim el model de reductor RPR2046DC de l'empresa italiana “Brevini”. Els càlculs del dimensionament dels reductors es poden trobar en l'annex D.2: Dimensionament del reductor.

4.3 pinyó motriu

Es el pinyó que engrana amb la corona giratòria i constitueix la primera etapa de reducció. Està calculat per a que treballi sense interferències. El joc entre les dents pot ser graduat mitjançant una brida excèntrica. Es comprarà al mateix fabricant que el reductor, en aquest cas el pinyó escollit és de mòdul 10 amb 13 dents. Els càlculs de dimensionament del pinyó es poden trobar en l'annex D.2: Dimensionament del reductor.

4.4 Rodaments

Els rodaments de gir són elements capaços d'absorbir el moment flector màxim i el pes dels elements estructurals que suporten, així com les càrregues i forces que apareixen quan aquests elements es troben en moviment, a la vegada que fan possible el gir de 360º de l'estructura, al voltant de l'element on es troben fixats.

Farem servir 2 tipus de rodaments diferents, un amb dentat exterior que rebrà el nom de corona giratòria i ens proporcionarà el gir dels braços respecte a la columna, i un altre sense dents que ens servirà per donar el moviment de gir a les gòndoles.

Els rodaments escollits per les gòndoles són del fabricant alemany "Rothe Erde", el seu número de sèrie és 060.20.0544.500.01.1503 i pertanyen a un rodament de 616 mm de diàmetre exterior del tipus de boles amb 4 punts de contacte.

El rodament dentat o corona giratòria escollida la qual engranarà amb els 2 pinyons motrius, també pertany al mateix fabricant que els altres rodaments, i el seu número de sèrie és 061.25.1255.500.11.1503 que pertanyen a un rodament amb dentat exterior de 1398 mm de diàmetre exterior del tipus de boles amb 4 punts de contacte.

Els càlculs del dimensionament dels rodaments es poden trobar en l'annex C: Dimensionament dels rodaments.

5 DESCRIPCIÓ DE LES BASES DE CàLCUL

El present estudi verifica els Estats Límit (Estats límits de servei (ELS) i Estats límits últims (ELU)) centrant-se en les exigències relatives a la seguretat estructural – resistència, estabilitat i aptitud als servei- i únicament en les condicions d'ús normal de l'estructura. No es consideren les situacions transitòries de construcció, manteniment ni d'altres situacions accidentals.

La estructura és analitzada per Estats Límits Últims amb la combinació d'accions, fixada per la normativa vigent, utilitzant els coeficients de seguretat i simultaneïtat establerts en ella.

5.1 Criteris adoptats en el disseny

5.1.1 Estructura metàl·lica

5.1.1.1 Materials

El material de les planxes d'acer i perfils que conformen l'estructura metàl·lica de l'atracció és acer S 275 JR. Les seves propietats són les següents:

Propietat	Valor
Mòdul elàstic: E	210.000 N/mm ²
Coefficient de Poisson: ν	0,3
Límit de tracció	410 N/mm ²
Coefficient de dilatació lineal: α	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Densitat: ρ	7.850 kg/m ³
Límit elàstic	275 N/mm ²

Taula 1: Propietats de l'acer S 275 JR.

La determinació de la resposta estructural i l'avaluació de l'efecte de les accions es realitza utilitzant valors de càlcul per les característiques dels materials i per les dades geomètriques de l'estructura.

El valor de càlcul de la resistència de l'acer estructural s'obté a partir del valor de resistència característic dividit per un coeficient parcial de seguretat, tal i com es pot veure a l'Equació 1.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{MO}} \quad (Eq. 1)$$

On f_y és la tensió del límit elàstic del material base i γ_{MO} és el coeficient parcial de seguretat de l'acer per les comprovacions dels ELU. Aquest val 1,05.

El valor de resistència de l'acer que mai haurem de superar és de 261,9 MPa.

5.1.1.2 Perfils estructurals

Per a la construcció de l'estructura interna de les diferents peces que conformen l'estructura de l'atracció, s'usaran perfils laminats de diferents seccions.

- Perfil rectangular 40x40x4mm.
- Perfil rectangular 60x60x4mm.
- Perfil rectangular 80x40x4mm.
- Perfil rectangular 80x80x4mm.

- Perfil rectangular 120x60x4mm.
- Perfil rectangular 80x80x8mm.
- Perfil rectangular 100x100x16mm.

5.1.1.3 Comprovacions

Per a cada situació de càlcul s'han dut a terme les comprovacions corresponents als estats límits de servei i als estats límits últims.

Estats Límits de Servei (ELS)

Estat límit de deformació.

Considerant la integritat dels elements constructius, s'admet que l'estructura serà suficientment rígida si, per a qualsevol de les seves peces, davant de qualsevol combinació d'accions característiques, la fletxa relativa no supera el valor de $L/500$, sent L la llum de l'obertura.

En tots els casos es compleix:

$$f_{m\grave{a}x} \leq f_{adm} \quad (Eq. 2)$$

Estats Límits Últims (ELU)

Per tal de comprovar que totes les barres que formen part de l'estructura interna de l'atracció compleixen les condicions requerides per a totes les combinacions possibles, s'ha fet un estudi amb elements finits amb el programa informàtic SAP2000 de la columna i els braços.

Per fer això s'ha mallat tota l'estructura interna dels dos models amb elements "frame" i se'ls ha assignat un tipus de perfil d'acer laminat, llavors s'han aplicat les càrregues i les restriccions d'encastament i s'ha calculat. Amb les mides donades de les barres estem just al límit, ja que si fossin de mida inferior les peces trencarien degut als esforços a que són sotmeses.

5.1.2 Fonamentació

La fonamentació té la missió de transmetre els esforços existents de l'estructura al terreny.

5.1.2.1 Materials

- Formigó estructural HA-25/B/20/Ila per a la fonamentació de la sabata.

Les seves propietats són:

Propietat	Valor
Resistència característica	25 N/mm ²
Consistència	Tova
Dimensió màxima d'àrid	20mm
Tipus d'ambient	Ila

Taula 2: Propietats del formigó estructural HA-25/B/20/Ila.

El valor de càlcul de la resistència del formigó s'obté a partir del valor de resistència característic dividit per un coeficient parcial de seguretat, tal i com es pot veure a l'Equació 3.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (Eq. 3)$$

On f_{ck} és la resistència característica del material base i γ_c és el coeficient parcial de seguretat del formigó per les comprovacions dels ELU. Aquest val 1,5.

El valor de resistència del formigó que mai haurem de superar és de 16,66 N/mm².

- Acer corrugat B 500 SD per a les armadures de la fonamentació.

Les seves propietats són:

Propietat	Valor
Resistència característica	500 N/mm ²
Classe d'acer	Soldable
Allargament de ruptura	≥16%
Càrrega unitària de ruptura	≥575 N/mm ²

Taula 3: Propietats de l'acer corrugat B 500 SD.

El valor de càlcul de la resistència de l'acer de l'armadura s'obté a partir del valor de resistència característic dividit per un coeficient parcial de seguretat, tal i com es pot veure a l'Equació 4.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (Eq. 4)$$

On f_{yk} és la resistència característica del material base i γ_s és el coeficient parcial de seguretat de l'acer per les comprovacions dels ELU. Aquest val 1,15.

El valor de resistència de l'acer de l'armadura que mai haurem de superar és de 434,78 N/mm².

5.1.2.2 Tipus de fonamentació

El tipus de fonamentació escollida per aquesta estructura és una fonamentació superficial mitjançant una sabata rectangular de formigó armat. La unió de la sabata amb la columna es realitzarà mitjançant unió roscada amb barres d'ancoratge.

L'armat i les barres d'ancoratge es realitzaran amb barres d'acer corrugat amb el diàmetre adequat per complir totes les exigències de resistència i adherència que necessita la fonamentació.

5.1.2.3 Comprovacions

La comprovació més important a realitzar per a la fonamentació serà que la pressió sota sabata no superi en cap punt a la pressió admissible el terreny.

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm} \quad (Eq. 5)$$

També es realitzarà comprovació a bolcada de la sabata.

5.2 Anàlisi estructural mitjançant SAP2000

L'anàlisi de l'estructura es fa utilitzant el programa de càlcul SAP 2000 v15 basat en la teoria d'elements finits, mitjançant un càlcul espacial en tres dimensions.

En primera instància es fa un anàlisi estàtic de primer ordre, assumint un comportament lineal dels materials i del comportament de l'estructura.

Els models utilitzats reproduïen de forma ajustada l'estructura real discretitzant-la en petites parts connectades entre si mitjançant nodes i assimilant-la a una estructura amb un nombre finit de graus de llibertat.

La geometria dels elements del model es defineix a partir d'elements tipus barra (*frame*) que representen els perfils laminats d'acer que conformen l'estructura interna dels elements que conformen l'atracció; elements tipus placa (*shell*) que representen les parets exteriors de les diferents peces amb que es divideix l'estructura; i dels nodes de connexió entre elements. Tots els elements tenen introduïdes les seves propietats materials i les seves condicions de frontera com poden ser recolzaments, restriccions de mobilitat, càrregues aplicades,...

Les posicions al model estan definides a partir d'un únic sistema de coordenades tridimensional cartesià, d'eixos anomenats X-Y-Z.

Els estats de càrrega i combinacions considerades per introduir al programa SAP2000 són les definides a l'Apartat 5.3: Accions previstes de càlcul i Apartat 5.4: Combinacions d'accions d'aquest document.

Pel que fa a la metodologia d'introducció de les càrregues en els models, així com el seu dimensionament en si, s'explica de forma detallada en l'Annex F: Modelització amb SAP2000.

El programa, després de l'anàlisi, extreu per a cada combinació d'accions definida, els esforços a flexió, torsió i tallant dels elements tipus barra i placa, així com les seves deformacions.

5.3 Accions previstes de càlcul

Les accions considerades en aquest estudi es poden classificar segons la seva variació en el temps en accions permanents, accions variables i accions accidentals. Per tal de calcular les accions a la que estarà sotmesa l'estructura es seguirà la normativa descrita en el DBSE-AE (Document Bàsic Seguretat Estructural Accions en la Edificació).

5.3.1 Accions permanents segons DBSE-AE.

Els valors característics de les accions permanents inclouran el pes propi real de l'estructura portant, dels accessoris i dels equips tècnics que es requereixin per el seu funcionament. En el nostre cas no es contemplen els pesos dels elements de decoració.

Degut a que la localització de la gent que munta en l'atracció es troba concentrada sempre en les mateixes zones, i gràcies a la política de funcionament de l'atracció, les càrregues degudes al pes de les persones no varien de manera excessiva de un cas a un altre. Així doncs, es consideraran de manera excepcional les càrregues degudes al pes de les persones com a accions permanents.

El programa SAP2000 calcula i aplica automàticament els pesos propis dels elements estructurals introduïts en el programa.

5.3.2 Accions variables: càrregues de vent segons DBSE-AE:

En aquest apartat es contemplarà la distribució i el valor de les pressions que exerceix el vent sobre un edifici i les forces resultants que depenen de la forma i de les dimensions de la construcció, de les característiques i de la permeabilitat de la seva superfície, així com de la direcció i de la intensitat del vent. L'acció del vent es té en compte en els 2 sentits per les dues direccions ortogonals.

L'acció del vent, en general una força perpendicular a la superfície de cada punt exposat, o pressió estàtica, q_e [kN/m²] pot expressar-se a partir de l'equació 6 com:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (Eq. 6)$$

essent:

q_b : la pressió dinàmica del vent [kN/m²]

c_e : el coeficient d'exposició [-]

c_p : el coeficient eòlic o de pressió [-]

El valor de pressió dinàmica q_b , varia en funció de la localització geogràfica de la obra. El seu valor es calcula a partir de l'equació 7.

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (Eq. 7)$$

On:

δ : és el valor de la densitat de l'aire (1,25 kg/m³).

v_b : és el valor bàsic de la velocitat del vent.

El valor bàsic de la velocitat de vent queda definit segons la zona d'ubicació de l'obra respecte la classificació que es mostra en l'annex D.1 del DBSE-AE. S'adjunta una imatge del mapa amb la classificació per zones del document mencionat:



Figura 22: Valor bàsic de la velocitat del vent v_b (Figura D.1 del DBSE-AE)

La ubicació de la nostra atracció es troba dins la zona C, per tant la velocitat bàsica del vent serà de 29 m/s, però hem de tenir en compte que per raons de seguretat l'atracció s'haurà d'aturar i deixar de funcionar quan la velocitat del vent superi els 15m/s.

Utilitzant l'equació 7 ens donarà un valor q_b de 0,14kN/m quan l'atracció estigui operativa i de 0,52kN/m quan l'atracció estigui fora de servei.

El coeficient d'exposició, c_e , té en compte els efectes de les turbulències originades per el relleu i la topografia del terreny. És variable amb l'altura del punt considerat i en funció del grau d'aspresa de l'entorn on es troba ubicada la construcció.

Els valors de c_e es troben en forma de taula dins l'apartat 3.3.3 del DBSE-AE, i es mostren en la Figura 23 d'aquest document. Prenem el grau d'aspresa de l'entorn de tipus III, que correspon a zona rural accidentada o plana amb alguns obstacles aïllats.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 23: Valors del coeficient d'exposició c_e (Taula 3.4 del DBSE-AE)

El coeficient eòlic o de pressió, c_p , depèn de la forma i orientació de la superfície respecte al vent, i al mateix temps, de la situació del punt respecte a les vores de la superfície; un valor negatiu indica succió. Queden definits en l'apartat 3.3.4 del DBSE-AE.

Segons la Figura 24, i per una esveltesa major a 5 trobada a partir de l'equació 8 es prendrà un coeficient eòlic de pressió c_p , de 0,8 i un coeficient eòlic de succió c_s , de -0,7.

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Figura 24: Coeficients eòlics en edificis de pisos (Taula 3.5 del DBSE-AE)

L'esveltesa de l'estructura en el pla paral·lel al vent es calcula utilitzant l'equació 8, a partir de les dimensions de la columna de l'estructura, de 16m d'altura i 1m d'amplada.

$$Esveltesa = \frac{H}{b} \quad (Eq. 8)$$

On:

H és l'altura de l'estructura [m]

b és l'amplada de la base de l'estructura [m]

Els valors de pressió estàtica del vent en les diferents altures de l'estructura queden recollits en la Taula 4.

Altura del punt considerat (m)	$q_{e\text{ parada}} (KN/m^2)$	$q_{e\text{ servei}} (KN/m^2)$
3	0,6656	0,1792
6	0,8320	0,2240
9	0,9568	0,2576
12	1,0400	0,2800
15	1,0816	0,2912
18	1,1232	0,3024

Taula 4: Valors de pressió estàtica del vent en l'estructura.

Per introduir aquests valors de càrrega de vent al model del SAP 2000, convertirem la càrrega uniformement distribuïda en càrregues lineals aplicades en els extrems de l'estructura, que és on es trobaran les barres verticals de l'ànima de l'estructura.

Es pot trobar informació detallada sobre els valors exactes que s'introduiran dins el programa en l'Annex E:Desenvolupament del càlcul de les càrregues de vent.

5.3.3 Accions variables: sobrecàrrega de neu segons DBSE-AE:

En aquest apartat es contempla la distribució i la intensitat de la càrrega de neu sobre un edifici, o en particular sobre una coberta. Aquesta depèn del clima de la localització, del tipus de precipitació, del relleu de l'entorn, de la forma de l'edifici o de la coberta, dels efectes del vent, i dels intercanvis tèrmics en els paraments exteriors.

Com a valor de càrrega de neu per unitat de superfície en projecció horitzontal, q_n , es pot utilitzar l'equació 9.

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (Eq. 9)$$

essent:

μ : coeficient de forma de la coberta segons l'apartat 3.5.3 de la normativa

s_k : el valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal segons l'apartat 3.5.2 de la normativa.

Els valors característics de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal s_k han estat mesurades i classificades en funció de la zona i altura de les seves localitats. Aquests valors es poden trobar a partir de les figures 25 i 26, les quals pertanyen a l'annex E del DBSE-AE.



Figura 25: Zones climàtiques de hivern (figura E.2 del DBSE-AE)

Altitud (m)	Zona de clima invernal. (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 26: Sobrecàrrega de neu en terreny horitzontal [kN/m²] (Taula E.2 del DBSE-AE)

La ubicació de la nostra obra es troba situada dins la zona 2 a una altura aproximada de 0m, llavors el valor de sobrecàrrega de neu en terreny horitzontal que li correspon és de 0,4 kN/m².

El coeficient de forma el trobem seguint els criteris marcats en l'apartat 3.5.3 del DBSE-AE. Al tractar-se d'una estructura on no hi ha elements que facilitin la possibilitat d'acumulació de neu tot i ser superfície plana, li correspon un coeficient de forma μ de 1.

El valor de càrrega de neu per unitat de superfície en projecció horitzontal trobat a partir de l'equació 9 és de 0,4 kN/m².

Tenint en compte l'escassa superfície en projecció horitzontal de l'estructura (aproximadament 4,5m²), llavors la càrrega puntual de neu que podríem arribar a tenir li correspondria un valor de 1,8kN. Al tractar-se d'un valor molt petit comparat amb els com a mínim 190kN que aguantarà l'estructura en concepte de pes propi, no es tindran en compte els efectes de les càrregues de neu en els càlculs.

5.4 Combinació de accions:

La determinació del valor dels efectes de les accions per a les atraccions s'obté a partir de la combinació d'accions. Una combinació d'accions consisteix en un conjunt d'accions compatibles que es considera que actuen simultàniament per una comprovació determinada.

Per a cada una de les situacions d'estudi s'establiran les possibles combinacions d'accions a analitzar.

Combinació per Estats Límits Últims (ELU)

En aquest estudi només es donaran combinacions d'accions en situació permanent o transitòria, de les quals es podrà determinar el valor de càlcul dels seus efectes a partir de l'equació 10, que ha estat adaptada al nostre cas d'estudi a partir de l'expressió general recollida en el DB Seguretat Estructural.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_Q \cdot Q_K \quad (Eq. 10)$$

On:

$G_{K,j}$: és el valor característic de les accions permanents.

Q_K : és el valor característic de les accions variables.

$\gamma_{G,j}$: és el valor del coeficient parcial de seguretat per accions permanents.

γ_Q : és el valor del coeficient parcial de seguretat per accions variables.

Els valors dels coeficients parcials de seguretat, γ , s'estableixen en la Taula 5 per a cada tipus d'acció, en funció del tipus de verificació i de si es considera favorable o desfavorable.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Taula 5: Coeficients parcials de seguretat (γ) per les accions (taula 4.1 DBSE)

Les combinacions dels ELU analitzades en aquest estudi són:

Combinació per situació persistent 'ELU1':

1,35·CP + 1,5·Vent X (pla lateral)

Combinació per situació persistent 'ELU2':

1,35·CP + 1,5·Vent Y (pla frontal)

Combinació per Estats Límits de Servei (ELS)

L'equació que ens permetrà determinar el valor de càlcul dels efectes de les combinacions d'accions en situació permanent o transitòria, és molt semblant a la utilitzada per els ELU però en aquest cas no comptarà amb coeficients parcials de seguretat. L'equació que utilitzarem per aquest apartat de l'estudi és l'equació 11.

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + Q_K \quad (Eq. 11)$$

On:

$G_{K,j}$: és el valor característic de les accions permanents.

Q_K : és el valor característic de les accions variables.

Les combinacions dels ELU analitzades en aquest estudi són:

Combinació per situació persistent 'ELS1':

CP + Vent X (pla lateral)

Combinació per situació persistent 'ELS2':

CP + Vent Y (pla frontal)

6 RESUM DEL PRESSUPOST

El cost total, per a la fabricació de l'atracció descrita en el projecte, que inclou el material de compra, fabricació i mà d'obra de les peces que conformen l'estructura, així com la compra d'elements a altres fabricants (sense incloure el preu de redacció del projecte), puja a la quantitat de noranta mil vuit-cents vint-i-tres euros amb quinze cèntims (90.823,15€) més iva.

7 CONCLUSIONS

Un cop realitzats tots els càlculs i comprovacions, considero que s'han assolit els objectius d'aquest avantprojecte tenint en compte les especificacions i l'abast que estaven marcats.

El disseny dels components s'ha realitzat amb l'ajuda de varies eines informàtiques com els programes CAD SolidWorks i Autocad.

L'estudi de l'estructura i la fonamentació constitueix una part fonamental del disseny de l'atracció, el que ha significat l'aprofundiment en les teories d'enginyeria de resistència de materials i d'estructures vistes durant la carrera. Per aquesta part s'han utilitzat els programes de càlcul Working Model i SAP2000.

Una altre part significativa del projecte ha estat l'estudi del mecanisme de gir, on s'han tingut que utilitzar coneixements d'enginyeria mecànica.

Estimo que la part realitzada d'aquest projecte de construcció, està correctament definida i justificada a través de la totalitat dels documents que l'integren, i que compleix amb les disposicions vigents.

Cal recordar que aquest avantprojecte es limita només a desenvolupar la part mecànica i estructural, per tant pot ser que calgui fer algun petit reajustament dels càlculs realitzats, un cop es tingui completament dimensionada la instal·lació elèctrica i pneumàtica de l'estructura. Cal mencionar també que aquest projecte només estima el càlcul i disseny de l'estructura, per tant no contempla els costos de l'adequació de les zones d'aproximació a l'atracció, (Ambientació, decoració, ballats, seguretat, etc).

8 RELACIÓ DELS DOCUMENTS

DOCUMENT 1. MEMÒRIA I ANNEXOS

1. MEMÒRIA
2. ANNEXOS
 - A. Reconstrucció de la geometria i l'estructura de l'atracció.
 - B. Modelització amb Working Model
 - C. Dimensionament dels rodaments
 - D. Dimensionament motriu
 - E. Desenvolupament del càlcul de les càrregues de vent
 - F. Modelització amb SAP 2000
 - G. Estudi dels valors estructurals obtinguts
 - H. Càlcul fonamentació
 - I. Justificació de preus
 - J. Manteniment
 - K. Catàlegs utilitzats

DOCUMENT 2. PLÀNOLS

DOCUMENT 3. PLEC DE CONDICIONS

DOCUMENT 4. ESTAT D'AMIDAMENTS

DOCUMENT 5. PRESSUPOST

9 BIBLIOGRAFIA

(B.V., 2012; Booster, 2013; Brevini, 2011; Clifford, 2013; COMER, 2010; Fabbrigroup, 2013a, 2013b; hvandervelden, 2011; kermishaarlem, 2010; MIFOM, 2008, 2009; Slaats, 2013; Theo, 2012; ThyssenKrupp, 2012)

- B.V., K. (2012). Speed *QUALIFIED BUILDERS OF FAIR ATTRACTION*,
["http://www.kmg.nl/kmg/factory/folder/folder_speed.pdf"](http://www.kmg.nl/kmg/factory/folder/folder_speed.pdf).
- Booster. (2013). <http://www.booster-ride.com/booster/tech.htm>, 2013
- Brevini. (2011). Brevini Power Transmission. "<http://www.brevini.com/gb/7000.asp>", 2013
- Clifford, S. (Producer). (2013, 2013). kermis Haarlem 2013 transport en opbouw Grote Markt
["http://www.youtube.com/watch?v=tlbjz84EF58"](http://www.youtube.com/watch?v=tlbjz84EF58).
- COMER. (2010). Thecnical data for electric motors
["http://www.comergroup.it/serie%20RTL.htm"](http://www.comergroup.it/serie%20RTL.htm).
- Fabbrigroup. (2013a).
<http://www.fabbrigroup.com/mep/default.aspx?shopid=1&catalogid=1&categoryid=1&productid=50&menuid=971>, 2013
- Fabbrigroup. (2013b). <http://www.fabbrigroup.info/specifications.php>, 2013
- hvandervelden (Producer). (2011, 2013). Booster Maxxxx Opbouw Helmond Voorjaarskermi
["http://www.youtube.com/watch?v=kHIRC7dYn7Y"](http://www.youtube.com/watch?v=kHIRC7dYn7Y).
- kermishaarlem (Producer). (2010, 2013). Kermis Haarlem 2010 - Opbouw deel 1 (Markt)
["http://www.youtube.com/watch?v=Q6U78wEV8Pc"](http://www.youtube.com/watch?v=Q6U78wEV8Pc).
- MIFOM. (2008). *Instrucción de Hormigón Estructural*. Madrid.
- MIFOM. (2009). *Documento Básico SE-AE Acciones en la edificación*. Madrid.
- Slaats, M. (Producer). (2013). Booster maxx model
["https://www.youtube.com/watch?v=8X1-ZNSLm2M"](https://www.youtube.com/watch?v=8X1-ZNSLm2M).
- Theo, B. (Producer). (2012, 2013). Opbouw Inversion XXL Kermis Wijchen 2012
["http://www.youtube.com/watch?v=mTNf-e3P7s8"](http://www.youtube.com/watch?v=mTNf-e3P7s8).
- ThyssenKrupp. (2012). ThyssenKrupp Rothe Erde 2 "http://www.thyssenkrupp-rotheerde.com/GB/produkte_gwl.shtm", 2013

10 GLOSSARI I ABREVIATURES

a_i	Acceleració lineal
a	Amplada de la sabata
b	Longitud de la base de l'edifici
b	Longitud de la sabata
c	Ample del suport
c_e	Coeficient d'exposició
c_p	Coeficient eòlic o de pressió
d	Cantell efectiu de la sabata
e	Excentricitat
f_{ck}	Resistència característica del formigó
f_L	Factor de càrrega del rodament
f_y	Tensió del límit elàstic de l'acer
f_{yd}	Resistència de càlcul de l'acer
f_{yk}	Resistència característica de l'acer
h	Cantell de la sabata
i	Relació de transmissió
m	Mòdul
m_i	Massa
q_b	Pressió dinàmica del vent
q_e	Pressió estàtica del vent
q_n	Valor de càrrega de neu per unitat de superfície en projecció horitzontal
r_i	Radi de gir
r_{1v}	Radi primitiu
s_k	Valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal
v_b	Valor bàsic de la velocitat del vent
v_i	Velocitat lineal
v	Volada
z	Nombre de dents

A_r	Àrea resistent
A_s	Àrea d'armat dins la sabata
F_a	Força axial
F_{ci}	Força centrípeta
F_r	Força radial
F_{ti}	Força tangencial
G	Vida útil del rodament
G_K	Valor característic de les accions permanents
H	Altura de l'edifici sobre rasant
M_k	Parell de bolcada del rodament
N	Esforç axial
P	Potència
P_s	Pes de la sabata
Q_K	Valor característic de les accions variables
T	Parell de gir
α_i	Acceleració angular
α_v	Angle de pressió
β	Factor de reducció
γ_c	Coeficient parcial de seguretat del formigó
γ_c	Densitat del formigó
γ_E	Coeficient de seguretat per forces desestabilitzadores
γ_G	Valor del coeficient parcial de seguretat per accions permanents
γ_{MO}	Coeficient parcial de seguretat de l'acer per les comprovacions dels ELU
γ_Q	Valor del coeficient parcial de seguretat per accions variables
γ_s	Coeficient parcial de seguretat de l'acer
δ	Valor de la densitat de l'aire
μ	Coeficient de forma de la coberta
ρ	Quantia
σ_t	Tensió sota sabata

ϕ_{bl} Diàmetre de l'armat longitudinal

ϕ_e Diàmetre de l'armat transversal

ω_i Velocitat angular

ANNEX A RECONSTRUCCIÓ DE LA GEOMETRIA I L'ESTRUCTURA DE L'ATRACCIÓ

Les especificacions tècniques en les quals estarà basada la nostra atracció s'han extret de la pàgina web del fabricant Fabbri Group. En la pàgina també es mencionen alguns dels elements que s'utilitzen per al funcionament de l'atracció, els quals haurem de dimensionar nosaltres per adaptar-los a la nostra estructura.

Com a material de referència per extreure els valors geomètrics, s'han utilitzat els plànols realitzats per Fabbri Group per a diferents models d'atracció tipus "Booster" (trobat en internet en la pàgina del fabricant) en el qual es faciliten les cotes més bàsiques de l'atracció. A partir d'aquests plànols, s'han realitzat les acotacions de les cotes intermèdies que no apareixen en el mateix.

Fent ús d'aquestes cotes intermèdies, i a partir de les imatges obtingudes a través de diferents mitjans, com pàgines web o vídeos a través d'internet. S'ha intentat recrear amb la màxima exactitud possible totes i cadascuna de les mesures que componen els elements de l'atracció, sempre amb el material que s'ha tingut a l'abast i que a continuació es mostrarà.

Cal indicar que per aquells casos en els quals no es disposava de cap tipus de fotografia o dada, s'han realitzat les corresponents hipòtesis per les quals s'ha comprovat que les solucions adoptades funcionaven correctament.

En la part final d'aquest annex, es podran observar les imatges a les que fa referència aquest apartat, i amb l'ajuda de les quals s'han obtingut les mesures geomètriques i la informació necessària per conformar l'estructura de l'atracció.

- **Procediment utilitzat per obtenir les cotes:**

Mitjançant el programa informàtic AutoCAD, s'han importat les imatges corresponents als plànols realitzats per Fabbri Group de tal forma que escalant-les (a l'escala corresponent de tal forma que la cota de referència inserida coincideixi amb l'obtinguda del plànol), s'han pogut obtenir tant les cotes generals que no es podien llegir degut a la mala qualitat de les imatges, com les cotes intermèdies que no es trobaven indicades en el plànols per falta de detall.

Un cop obtingudes les dimensions, s'han tingut que reduir de manera proporcional per tal d'adaptar-les al nostre model, ja que és més petit (30 metres), i per el qual no s'han trobat plànols directes (els plànols trobat corresponen a models de 40 i 50 metres).

Aquest procediment ha estat realitzat en els plànols dels models trobat, que corresponen a la Figura 27 i Figura 28 del present annex.

Cal mencionar que aquestes primeres cotes obtingudes a través dels plànols, s'usaran únicament per originar els models inicials de les peces que formen part de l'atracció. Les dimensions que tindran després d'haver fet els càlculs de dimensionament i les comprovacions necessàries poden haver variat. Els valors definitius que tindran es mostraran en el document 2: plànols.

- Conjunt d'imatges utilitzades per recopilar informació geomètrica i del funcionament de l'estructura.

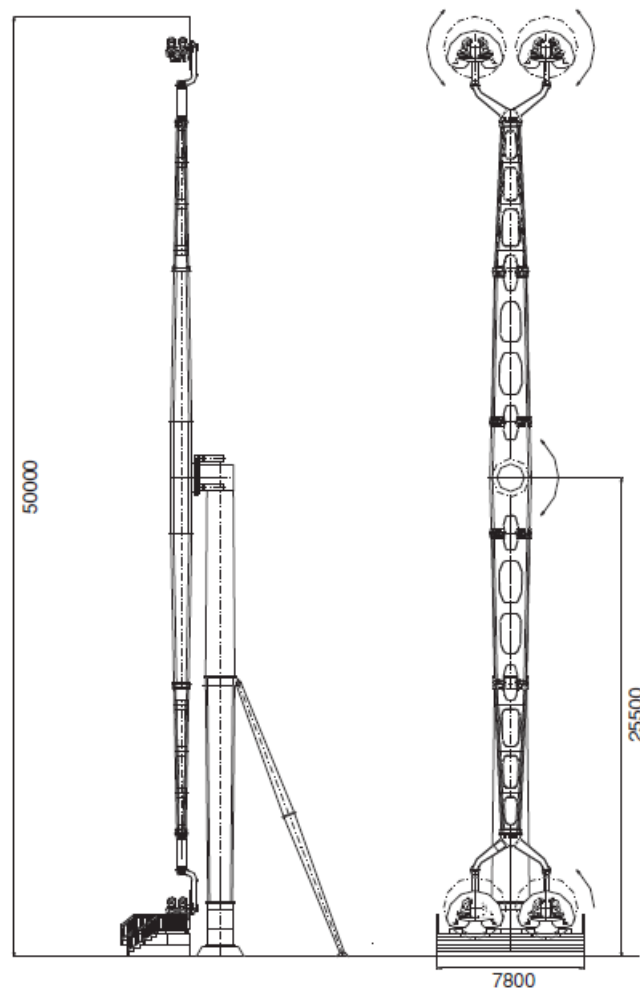


Figura 27: Plànol realitzat per Fabbri Group del model "Giant Booster" amb cotes principals.

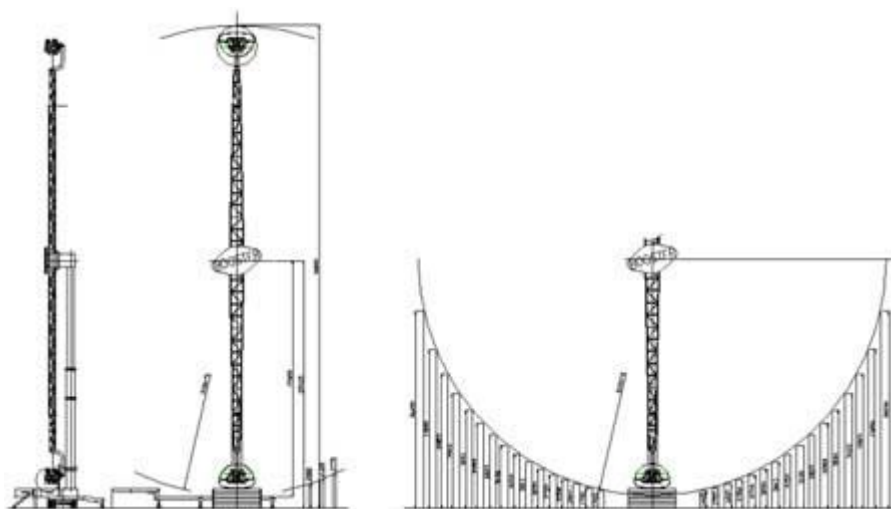


Figura 28: Plànol realitzat per Fabbri Group del model Booster de 40 metres amb cotes principals.



Figura 29: Booster amb el qual s'han identificat les peces en que s'ha dividit l'estructura.



Figura 30: Vista frontal del mecanisme de gir.



Figura 31: Identificació peça "peça interior".



Figura 32: Mostra de l'estructura interna de la góndola i detalls de la connexió amb el rodament.



Figura 33: Imatge engranatge del sistema motriu del mecanisme de gir.



Figura 34: Conjunt de diverses imatges usades per la modelització de la góndola.



Figura 35: Conjunt d'imatges usades per la modelització de la peça "Connexió braç-gòndola".

ANNEX B MODELITZACIÓ AMB WORKING MODEL

La simulació dinàmica del model es fa mitjançant el programa Working Model 2D. A partir de les simulacions del model de la nostra estructura, aconseguirem els valors necessaris per el dimensionament motriu (motor + reductor + engranatges), així com veure el valor de les forces a les que estaran sotmeses les diferents parts de l'estructura quan aquesta estigui en moviment. En aquest annex es pot trobar una breu descripció del procediment seguit a l'hora de crear els models.

L'objectiu del present annex és transmetre informació relativa al procés de modelització per a poder reproduir els resultats obtinguts en aquest estudi per a posteriors ampliacions i/o d'altres anàlisis, així com aprofundir en el coneixement de les característiques dels models utilitzats.

B.1 Entrada dels elements constructius al model

Els models amb el 'Working Model' es crearan a partir de la unió de les diferents peces que conformen l'estructura, adaptades a figures geomètriques simples, les quals conserven la mateixa massa que les peces originals. El valor de la massa de cada peça s'ha extret del seu model 3D fet amb 'SolidWorks', i el model 3D s'ha dissenyat a partir de les dades geomètriques obtingudes tal com s'ha explicat en l'annex anterior reconstrucció de la geometria i l'estructura de l'atracció.

Les dimensions i els valors de massa als quals s'han aproximat cada peça es troben recollides en la Taula 6. Al pes de cadascuna de les gòndoles se li ha d'afegir el pes total dels passatges, considerat en 80kg cadascun.

Nº peça	Nom	X [m]	Y [m]	h [m]	Massa [kg]
1	Base inferior	1	1	8	1.800
2	Base superior	1	1	8	1.645
3	Unions bases	1	1	0,12	225
4	Peça central 2	1,09	1,2	1,25	1.700
5	Plataforma	3	1	2	466
6	Braç central	0,5	0,5	4	715
7	Braç extrem	0,5	0,5	8	646
8	Unió braços	0,6	0,6	0,12	100
9	Connexió braç-gòndola	0,6	1	2	800
10	Gòndola	1	1	1,3	570
11	Peça central	1,088	1,088	1,04	2.250
12	Peça interior	R= 1,120		0,12	265

Taula 6: Propietats de les peces que formen part del model.

En un segon anàlisis més avançat, s'han afegit els pesos d'alguns dels elements que han estat dimensionats a partir dels resultats obtinguts en aquest primer anàlisis més simple. Aquests elements es llisten en la Taula 7.

Nº element	Nom	Massa [kg]
1	Rodament dentat	204
2	Motor	210

Taula 7: Pesos dels elements que formen part del model.

B.1.1 Model lateral

El programa 'Working Model' només pot fer simulacions dinàmiques en 2D, però com que el moviment de gir de l'estructura no es produeix en el pla de treball plasmat en aquest model, això provocarà que l'anàlisi sigui estàtic. D'aquest model es trauran els valors de moment i de força radial que hauran de suportar els rodaments de les gòndoles i el rodament principal, aquests valors seran necessaris per dimensionar aquests elements. També s'extreu el valor del moment flector respecte a l'eix Z que es donarà entre la unió de l'estructura i la bancada.

El model es crearà unint els elements llistats en la Taula 6. Per simplificar el model, s'han combinat els pesos i dimensions de les peces més petites amb el de les peces amb les quals s'uneixen. Les variacions que poden provocar aquestes simplificacions seran mínimes.

Les combinacions que s'han realitzat en aquest model són:

- Peça 10 + Peça 9
- Peça 5 + Peça 2
- Peça 4 + element 1 + 2·element 2

L'aspecte que presenta el model un cop completat, es pot veure en la Figura 36.

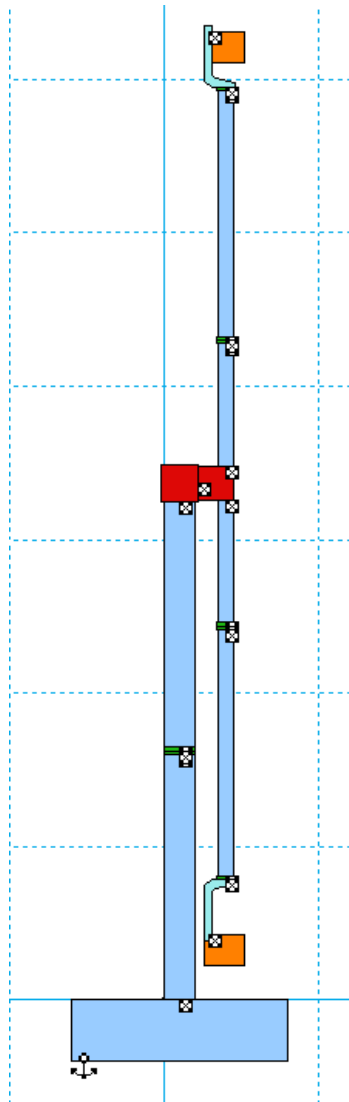


Figura 36: Model lateral de l'estructura realitzat amb 'Working Model'.

B.1.2 Model frontal

S'usarà aquest model per trobar els valors necessaris per el dimensionament motriu i mesurar en punts concrets les forces a que estarà sotmesa l'estructura degudes al moviment de gir dels braços.

El model es crearà unint els elements llistats en la Taula 6. Les combinacions de peces que s'han fet per la simplificació del model són les següents:

- Peça 11 + Peça 12 + element 1
- Peça 1 + Peça 2 + 3·Peça 3 + Peça 4 + Peça 5

A continuació en la peça 11 es col·locarà un motor, el qual ens permetrà simular els casos de gir en velocitat constant o en acceleració depenent de la configuració i dels paràmetres que li entrem. La pantalla de propietats de l'element motor amb diferents configuracions es poden veure en la Figura 37 i Figura 38.

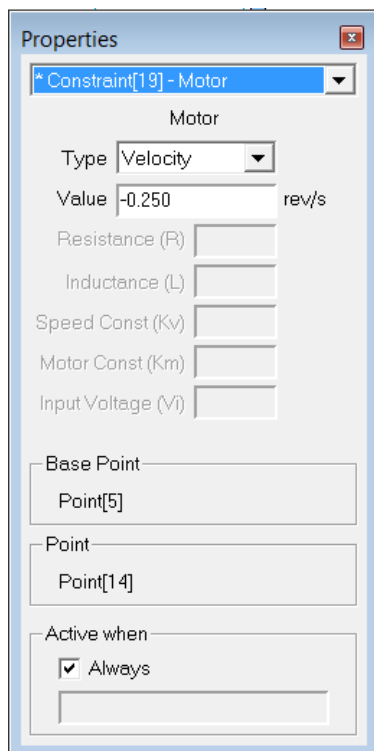


Figura 37: Pantalla 1 propietats del motor.

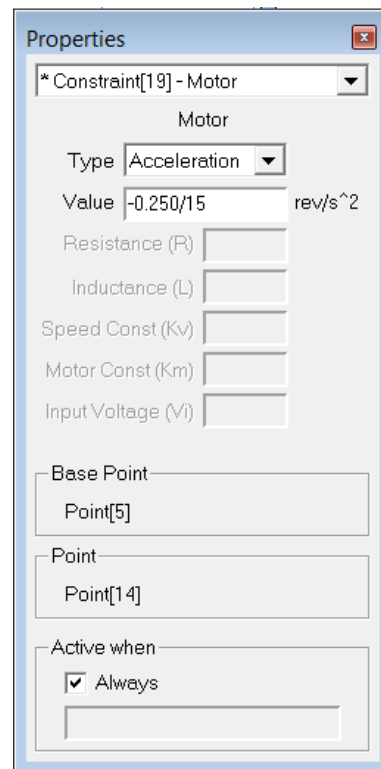


Figura 38: Pantalla 2 propietats del motor.

Finalment en l'articulació que uneix la columna amb la peça central que connecta els 2 braços, és crearà una unió tipus 'pin friction' per tal de simular la fricció interna del rodament que ens fa de pinyó conduït. Els paràmetres que ens permeten regular-la són el radi del pin, el qual correspon al radi del rodament dentat, i el coeficient de fricció que segons el catàleg del fabricant té un valor de 0,006.

El model ja completat presenta l'aspecte que es pot veure en la Figura 39. Ara ja podem començar a recollir dades de les simulacions amb els paràmetres d'ús corresponents.

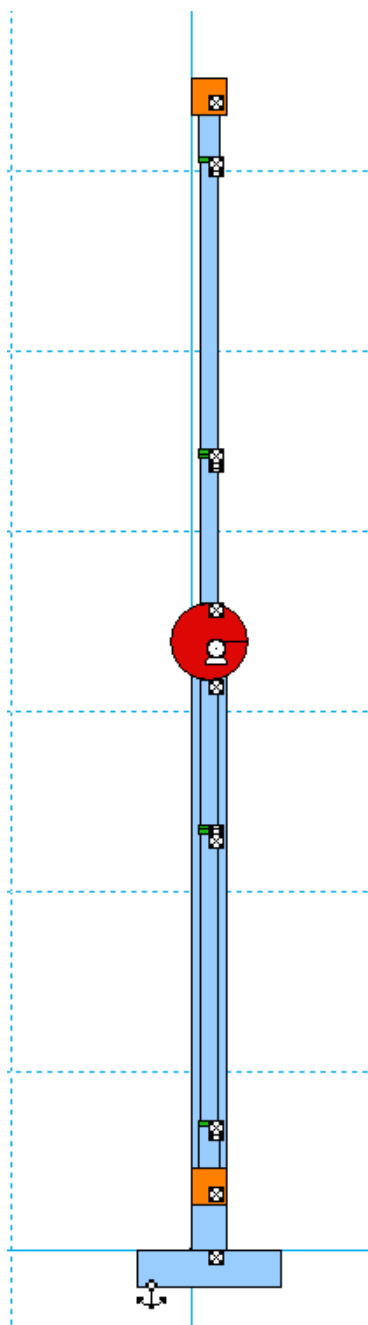


Figura 39: Model frontal de l'estructura realitzat amb 'Working Model'.

B.2 Estudi previ de les forces mecàniques

A partir de les lleis de la mecànica clàssica sabem que sempre que un mòbil realitza una trajectòria circular ja sigui uniforme o accelerada, apareixerà una acceleració centrípeta o acceleració normal. Basant-nos en la segona llei de Newton i donada la massa del mòbil, podem calcular la força centrípeta a la que estarà sotmès. Aquesta força centrípeta que actuarà en cadascun dels elements que estiguin girant queda definida en l'equació 12.

$$F_{ci} = \frac{v_i^2}{r_i} \cdot m_i = \omega_i^2 \cdot r_i \cdot m_i \quad (Eq. 12)$$

On: v_i és la velocitat lineal del centre de gravetat de l'element a analitzar, r_i és el radi de gir del centre de gravetat de l'element, ω_i la seva velocitat angular i m_i és la seva massa.

Les lleis de la mecànica clàssica també ens diuen que si el mòbil realitza una trajectòria circular accelerada a més de l'acceleració centrípeta també apareixerà una acceleració tangencial. Utilitzant la segona llei de Newton podem calcular la força que produeix en l'estructura aquesta acceleració tangencial a partir de l'equació 13.

$$F_{ti} = m_i \cdot a_i = m_i \cdot \alpha_i \cdot r_i \quad (Eq. 13)$$

On: a_i és l'acceleració lineal en el centre de gravetat de l'element i α_i la seva acceleració angular.

En la Figura 40 es pot veure un esquema del model amb règim de gir en acceleració constant amb les forces centrípetes i tangencials que es produeixen en les gòndoles indicades.

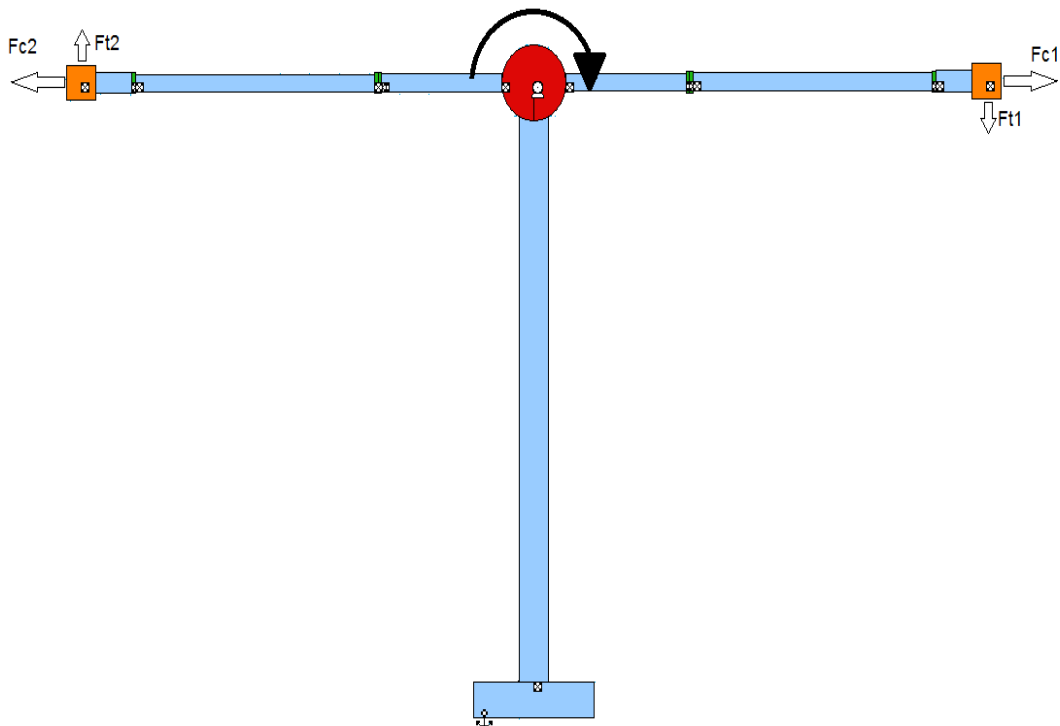


Figura 40: Esquema de les forces degudes al moviment de gir en l'estructura.

Serà a partir de les simulacions amb el 'Working Model', que veurem les magnituds d'aquestes forces que apareixeran degudes al moviment, i les reaccions que provocaran en l'estructura.

B.3 Estudi dels valors obtinguts de les simulacions

Aquest apartat es centrarà en l'estudi de les dades obtingudes a partir de la simulacions fetes amb el model frontal, i com aquestes seran adaptades per a posteriori calcular els esforços i la deformació de l'estructura utilitzant el programa 'SAP2000'.

Les dades que s'estudiaran són les recollides en el rodament dentat (element 1), que són les que haurà de suportar la columna de l'estructura, i les càrregues mesurades en l'extrem més allunyat de la peça braç extrem (peça 7), que ens indicaran els esforços que suporta cada braç de l'atracció.

Per tal d'obtenir un rang de valors més ampli, i que aquests s'acostin més als valors de treball de l'atracció real, es farà la simulació de l'atracció per a 4 casos de funcionament diferent:

- L'atracció gira a velocitat constant i la càrrega de les gòndoles és simètrica.
- L'atracció gira a velocitat constant i la càrrega de les gòndoles és asimètrica.
- L'atracció és troba en la fase d'arrencada i la càrrega de les gòndoles és simètrica.
- L'atracció és troba en la fase d'arrencada i la càrrega de les gòndoles és asimètrica.

El cas de càrrega simètrica consistirà en carregar les dues gòndoles amb 4 persones de 80kg de pes cadascuna, mentre que el cas de càrrega asimètrica es carregarà una gòndola amb 4 persones i l'altre solament amb 3.

B.3.1 Cas de gir velocitat constant

Fem una simulació de 10 segons de duració, de les quals es recolliran les dades en instants puntals en el temps amb una separació de 0,05 segons entre elles, i s'exportaran a una fulla de càlcul Excel per poder treballar-hi.

Es mostra la variació de les forces estudiades al llarg del temps, però expressades en funció de la posició girada des de la Figura 41 a la Figura 44, els valors més significatius de cadascun dels casos simulats es troben recollits en la Taula 8.

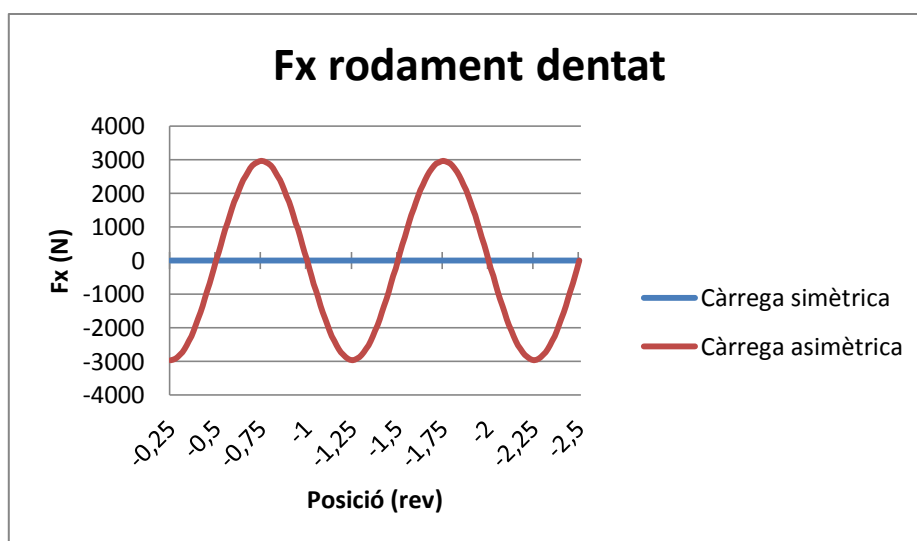


Figura 41: Evolució de les forces horitzontals mesurades en el rodament dentat.

Es pot apreciar que en el cas de càrrega simètrica, les forces centrípetes que es donen en els braços de l'estructura s'anul·len entre elles, fent que la columna no rebi cap força en l'eix horitzontal. En el cas de càrrega asimètrica, la columna rebrà una força resultant de

comportament cíclic deguda a la diferència entre forces centrípetes provocada pel desajust de les masses de les gòndoles.

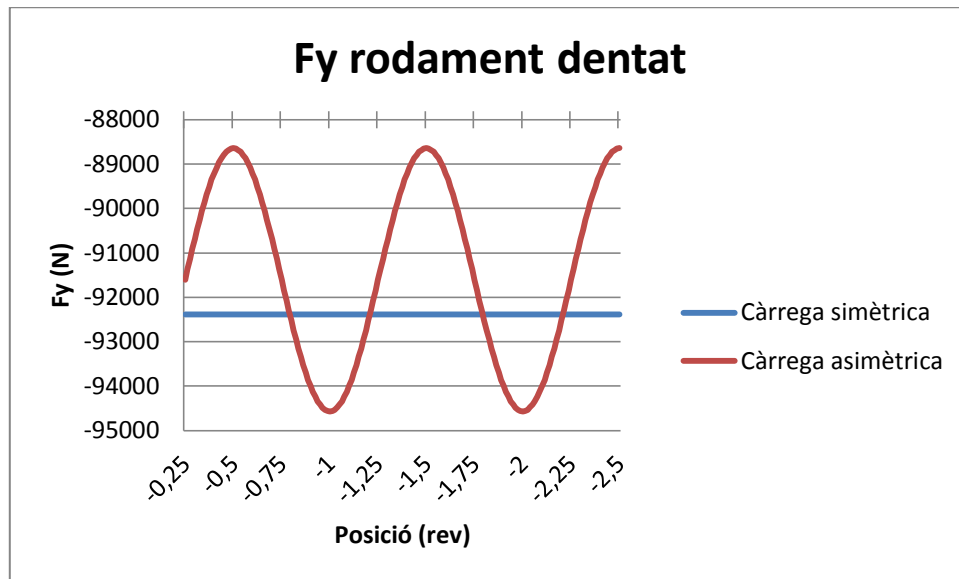


Figura 42: Evolució de les forces verticals mesurades en el rodament dentat.

En el cas de càrrega simètrica la força en la direcció vertical es manté constant i és igual al pes propi dels elements que conformen l'estructura dels braços. En el cas de càrrega asimètrica la força resultant té un comportament cíclic degut a les mateixes raons que han estat explicades en el gràfic anterior.

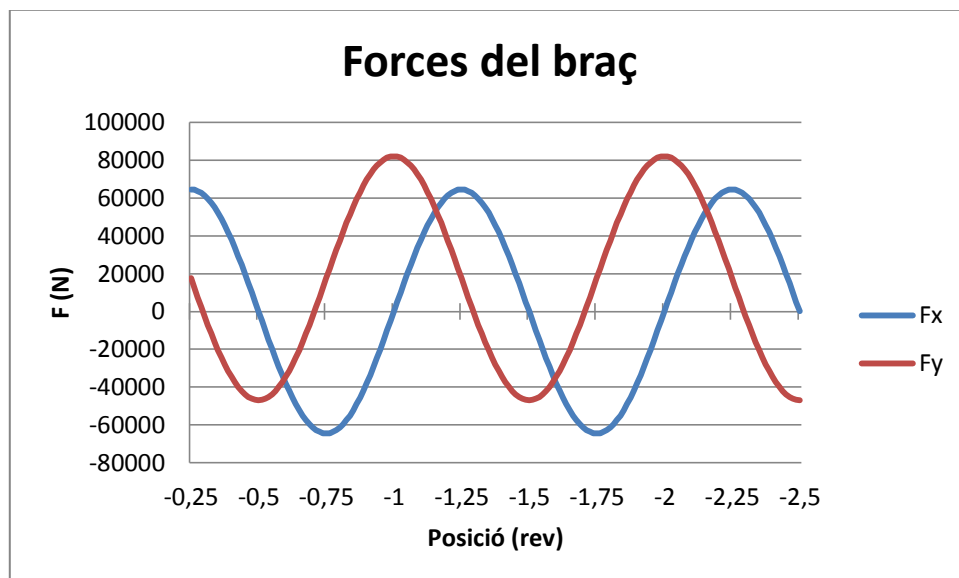


Figura 43: Evolució de les forces mesurades en un dels braços de l'estructura.

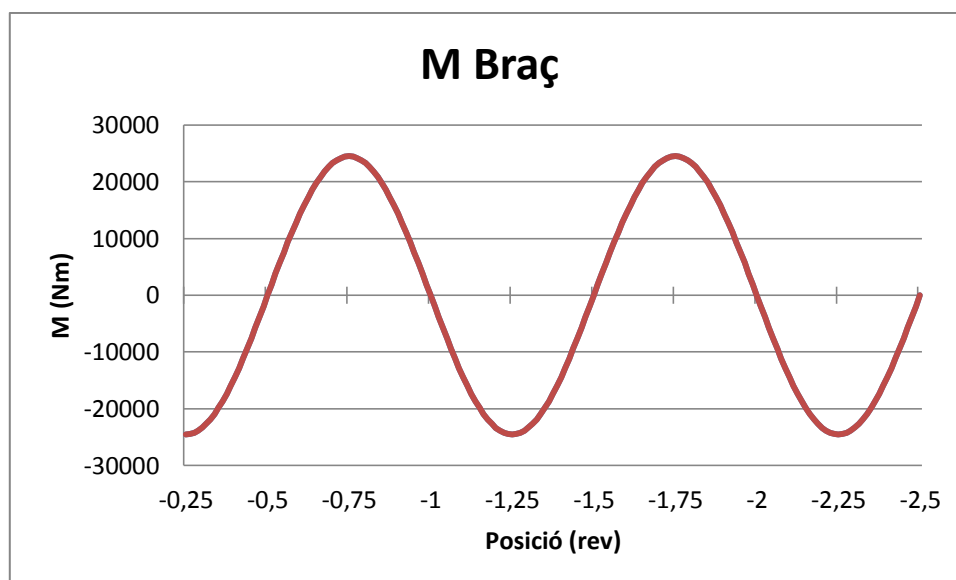


Figura 44: Evolució del moment de força mesurat en un dels braços de l'estructura.

Les 3 forces que actuen en el braç de l'estructura tenen un comportament sinusoidal, i varien de manera proporcional en funció de la massa que es carregui en la góndola. Es pot apreciar com les forces horitzontals i verticals es troben desplaçades 0,25 revolucions entre elles.

De forma general es pot afirmar que el pic de cadascuna de les forces està lligada a la posició on es trobin els braços de l'estructura, quan aquests estiguin en posició horitzontal llavors es donaran els valors màxims en valor absolut en les forces horitzontals i en el moment, quan es trobin en posició vertical llavors es donaran el valor màxim en valor absolut de les forces que actuen en la direcció de l'eix Y.

	Braç góndola 1			Rodament dentat simètric		Rodament dentat asimètric	
	Fx (N)	Fy (N)	M (Nm)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
MAX	64.500	82.050	24.500	0,000931	-92.390	2.962,955	-8.8640
MIN	-64.500	-46.940	-24.550	-0,00089	-92.390	-2.963,06	-94.570
MEAN	5361,45	12.976,17	-2.066,13	-6,4E-05	-92.390	-246,225	-91.394

Taula 8: Resum dels valors obtinguts en la simulació a velocitat de gir constant.

B.3.2 Cas de gir amb acceleració constant

Fem una simulació de 15 segons de duració, que és el temps que es trigarà fins aconseguir la velocitat de gir de 15rpm, a partir d'aquest instant es para d'accelerar i s'entra en règim de gir de velocitat constant. Al igual que el cas anterior es recolliran les dades en instants puntals en el temps amb una separació de 0,05 segons entre elles, i s'exportaran a una fulla de càlcul Excel per poder treballar-hi.

Es mostra la variació de les forces estudiades al llarg del temps de la Figura 45 a la Figura 48, els valors més significatius en cada cas es troben recollits en la Taula 9.

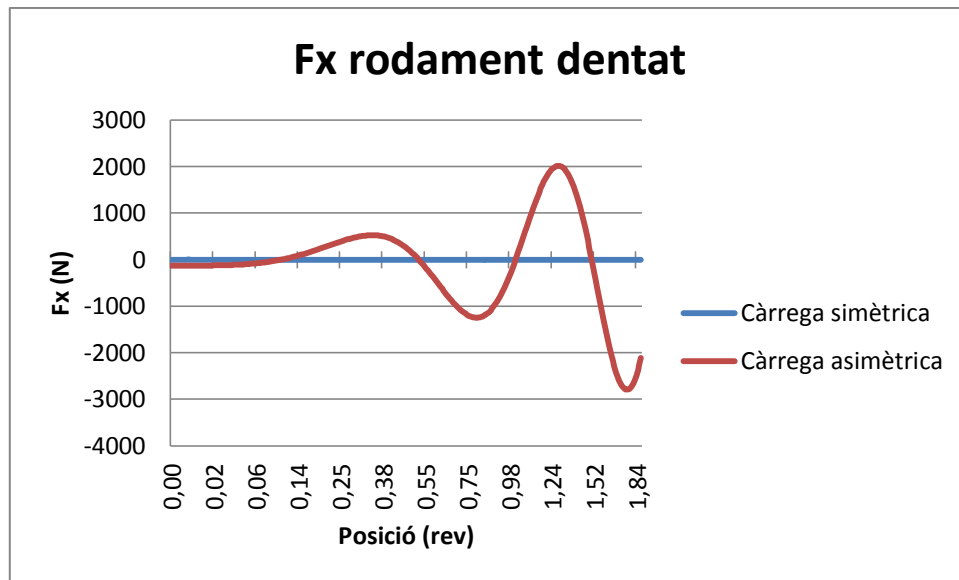


Figura 45: Evolució de les forces horitzontals mesurades en el rodament dentat.

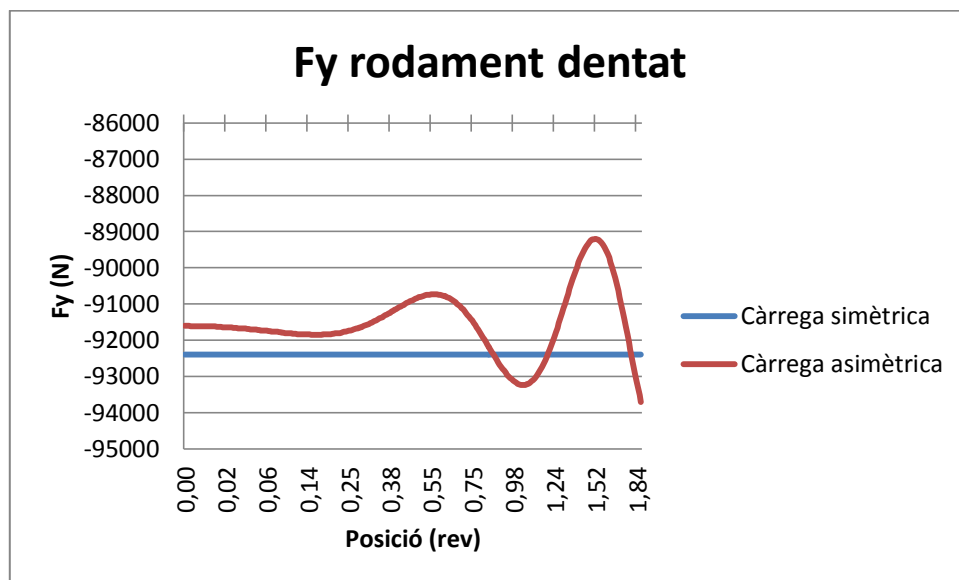


Figura 46: Evolució de les forces verticals mesurades en el rodament dentat.

Es pot observar que els valors mesurats en el rodament dentat en cas de càrrega simètrica es mantenen constants al llarg del temps i agafen els mateixos valors que en el cas de gir a velocitat constant, sabem que això és degut a l'aparició de forces simètriques que actuen en direccions oposades. En el cas de càrrega asimètrica les forces responen a un comportament ondular que va creixent a mesura que passa el temps fins que iguala els valors mesurats en règim de gir constant.

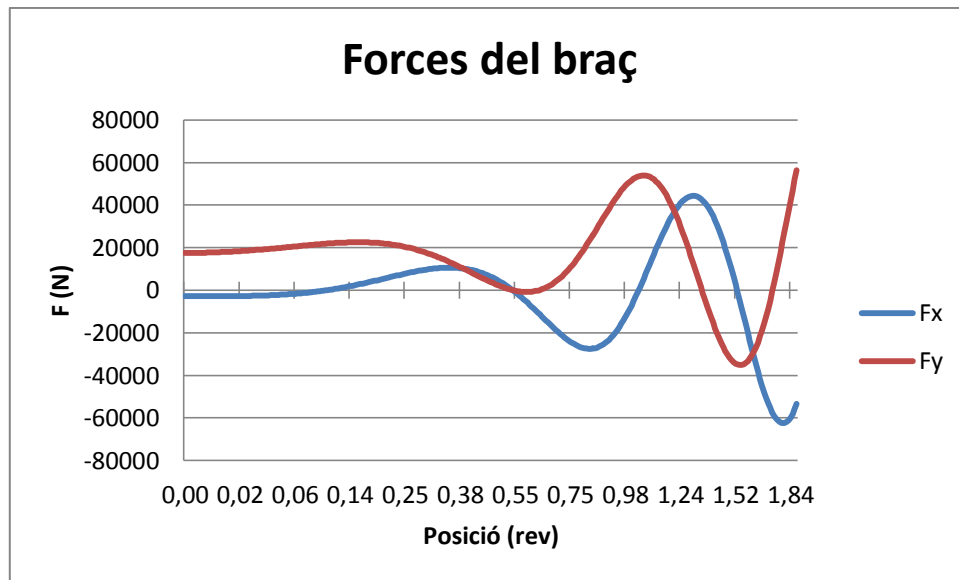


Figura 47: Evolució de les forces mesurades en un dels braços de l'estructura.

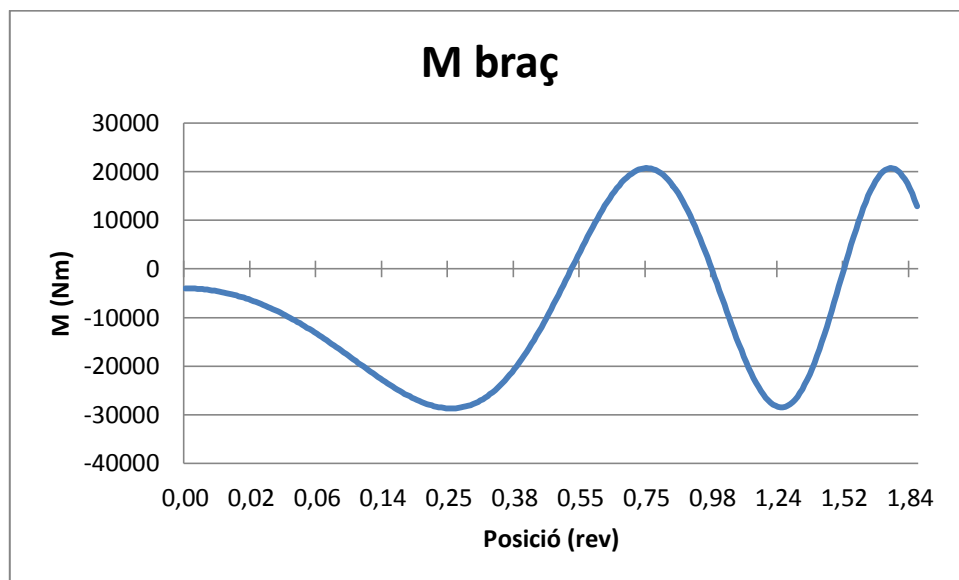


Figura 48: Evolució del moment de força mesurat en un dels braços de l'estructura

Les forces que actuen en l'extrem del braç tenen un comportament ondular que creix en el temps fins igualar els valors obtinguts en règim de gir constant.

	Braç góndola 1			Rodament dentat simètric		Rodament dentat asimètric	
	Fx (N)	Fy (N)	M (Nm)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
MAX	43.890	63.300	20.740	2,25	-92.390	2.016	-89.200
MIN	-60.790	-34.780	-28.670	-1,775	-92.390	-2.792,57	-93.710
MEAN	-2.084,02	15.777,86	-7.668,75	0,0022	-92.390	-96,077	-91.522,3

Taula 9: Resum dels valors obtinguts en la simulació a gir amb acceleració constant.

B.3.3 Resum recol·lecció de dades per al model amb sap 2000

Pel que fa a la columna es pot veure amb claredat que els casos desfavorables es produeixen quan tenim una càrrega asimètrica en les gòndoles, ja que en cas contrari les forces que es produeixen degudes al moviment dels braços de l'estructura s'anul·len entre elles.

En el cas de les forces que actuen en els braços, aquestes treballen de forma independent en cadascun dels braços, per tant, el fet de tenir menys càrrega en un d'ells no afectarà a les forces a les que estarà sotmès l'altre. Les forces que apareixeran depenen directament de la massa del propi braç, a més de la de les persones que pugin a l'atracció, per tant el cas més desfavorable en el braç es dona quan pugin 4 persones en una de les gòndoles.

Havent fet les simulacions del gir de l'atracció amb acceleració i sense, s'ha pogut comprovar que els valors mesurats en l'atracció en règim d'acceleració en general mai superen els mesurats en règim de gir constant, això és degut a que les forces tangencials són constants al llarg del temps, mentre que les forces centrípetes van creixent amb la velocitat de gir, i aquestes prenen el seu valor màxim quan l'atracció entra en règim de gir constant.

Per els models de la columna en el SAP2000 s'usaran els valors obtinguts en el cas de simulació a velocitat de gir constant amb càrrega asimètrica, ja que és el més desfavorable. En el model del braç els valors del cas més desfavorable es donaran quan hi hagi 4 persones en la gòndola i l'estructura giri a règim de velocitat constant.

Degut a que en el programa SAP2000 només es poden entrar valors en un instant de temps determinat, haurem d'escollir els més importants dels que hem trobat en les simulacions considerades més desfavorables. S'ha pogut veure que aquests valors estan lligats amb la posició dels braços de l'estructura i agafen els seus valors màxims cada cop que l'atracció gira 0,25 revolucions o dit d'altre manera: quan els braços queden en posició horitzontal o vertical.

En la Taula 10 es poden veure els valors que s'entraran en els models del SAP2000 per l'estructura de la columna, classificats segons la posició on es trobin els braços de l'estructura. El conveni de signes usat està en funció del sentit dels eixos de referència del 'SAP2000'.

Model Columna		Càrrega Asimètrica			
		0,25rev	0,5rev	0,75rev	1rev
Velocitat constant	Fx (N)	-2.963,06	1,18	2.962,96	-0,88
	Fy (N)	-114.398	-111.438	-114.408	-117.368
	Mx (Nm)	119.300			

Taula 10: Resum de valors a entrar en el model columna SAP2000.

De la Taula 11 fins la Taula 13 es poden veure els valors que s'entraran en els models del SAP2000 per l'estructura d'un dels braços. A més a més dels valors mesurats en l'extrem del braç amb el 'Working Model', s'hauran d'afegir al model el valor de les forces centrípetes que es produeixen en les peces exterior i central del braç, les quals s'han calculat a partir de l'equació 12.

Model Braç		Càrrega connexió + gòndola			
		0,25rev	0,5rev	0,75rev	1rev
Velocitat constant	Fx (N)	64.500	7,44	-64.500	-7,43
	Fy (N)	17.560	-46.940	17.550	82.050
	Mz (Nm)	-24.550	-22	24.500	-32,84

Taula 11: Resum de valors a entrar en el model braç SAP2000.

Model Braç		Càrrega massa braç central			
		0,25rev	0,5rev	0,75rev	1rev
Velocitat constant	Fx (N)	-3.528	0	3.528	0
	Fy (N)	0	3.528	0	-3.528

Taula 12: Resum de valors peça braç central a entrar en el model braç SAP2000.

Model Braç		Càrrega massa braç extrem			
		0,25rev	0,5rev	0,75rev	1rev
Velocitat constant	Fx (N)	-12.752	0	12.752	0
	Fy (N)	0	12.752	0	-12.752

Taula 13: Resum de valors peça braç extrem a entrar en el model braç SAP2000.

ANNEX C DIMENSIONAMENT DELS RODAMENTS

Per tal de donar-l'hi el seu moviment característic aquesta atracció fa ús de 3 rodaments de grans dimensions, un de major diàmetre que s'encarregarà de fer girar tota l'estructura dels braços respecte la columna central, i dos de menor diàmetre situats en les gòndoles per tal que aquestes puguin girar lliurement a partir del moviment dels braços.

S'ha decidit que s'utilitzaran els rodaments fabricats per el grup "Rothe Erde", que és líder mundial en la fabricació de rodaments de grans dimensions i destaquen també per la seva qualitat. Els rodaments que fabriquen varien des de 200mm fins a 8000mm de diàmetre. Aquesta companyia amb seu a Alemanya disposa de filial a Espanya, concretament a Zaragoza.

A l'hora de fer els càlculs s'han seguit les instruccions descrites dins el catàleg de rodaments de grans dimensions que es troba penjat en la pàgina web de l'empresa.

- **Determinació esforços dels rodaments:**

Els rodaments de grans dimensions són elements de maquinària que formen per si mateixos una unitat completa, estan previstos per a la transmissió simultània de esforços axials, radials i d'un parell de bolcada resultant d'aquestes forces. En la Figura 49 es pot veure la distribució d'aquestes forces.

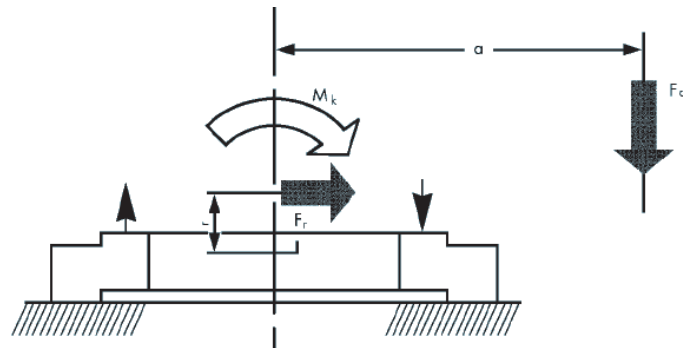


Figura 49: Esquema general forces que actuen sobre un rodament.

En el nostre cas l'eix de rotació dels 3 rodaments serà l'horitzontal, i cap dels 3 tindrà que suportar forces axials. Els esforços radials correspondran a la força del pes dels elements units al rodament, i el moment flexor que aquests provoquin. Així doncs, tal com es mostra en la Figura 50 tindrem un diagrama de forces més simplificat.

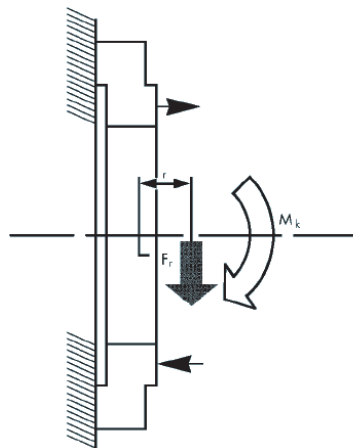


Figura 50: Esquema forces que actuen sobre els nostres rodaments.

Aquestes forces les trobem a partir del models realitzats amb el programa “Working Model 2D”, el procediment de creació del model que utilitzarem es troba detallat dins l'apartat “Model Lateral” corresponent a l'annex B: Modelització amb Working Model.

Considerarem dues situacions diferents, una amb un 25% de sobrecàrrega i l'altra sense. En el cas que estem estudiant la càrrega variable que pot tenir sobrecàrrega correspon al pes de les persones que pugen a l'atracció.

Agafant que el pes mitjà d'una persona adulta és de 80Kg, i sabent que cada gòndola té capacitat per 4 persones, llavors el valor de càrrega esperat que haurà de suportar cada gòndola serà de 320 kg en condicions normals, i de 400 kg en el cas de sobrecàrrega. Entrant aquestes dades en el nostre model, obtenim els resultats que es mostren en la Taula 14.

	Sense sobrecàrrega		25 % sobrecàrrega	
	F_r (kN)	M_k (kN/m)	F_r (kN)	M_k (kN/m)
Rodament principal	91'03	66'54	92'6	67'9
Rodament gòndola	8'727	4'582	9'512	5

Taula 14: Valor de les forces a que estan sotmesos els rodaments.

Per a determinar la capacitat de càrrega necessària del rodament s'hauran de multiplicar les càrregues obtingudes anteriorment amb uns factors de càrrega, aquests factors estan indicats en una taula proporcionada pel fabricant i classificats per a els diferents casos d'aplicació.

En la taula no apareix el cas d'aplicació que tenim, així doncs haurem d'agafar com a referència una aplicació semblant. Escullo l'aplicació “Mecanisme principal de gir de rotopales” ja que és l'únic en que el rodament té l'eix de gir en l'eix horitzontal. Els seus valors queden recollits en la Taula 15.

$f_{estàt}$	f_L	Vida útil, girs a plena càrrega
1'45	2'15	300000

Taula 15: Factors de carrega per a mecanisme principal de gir de rotopales.

- **Selecció de rodament:**

Amb els valors trobats en l'apartat anterior ja podem escollir el rodament necessari per la nostra estructura, ho podem fer de dues maneres diferents:

1. Comprovant en les corbes de càrrega límit estàtica i de vida útil del rodament que creiem que sigui adequat, que aquest pugui aguantar les càrregues que se li apliquen.
2. Entrant els valors de càrregues i el factor de càrrega en l'aplicació online d'ajuda per escollir el rodament, que es troba en la pàgina web del fabricant.

Per comoditat i per tenir més paràmetres de personalització, utilitzarem el segon mètode. A continuació s'adjunten imatges de cadascuna de les pantalles de l'aplicació online amb les dades ja entrades. Ho farem per els 2 tipus de rodaments.

C.1 Rodament principal

En la primera pantalla de l'aplicació ens demana introduir les següents dades:

- Escollir l'aplicació del rodament per poder determinar el factor de càrrega estàtica. Tal com s'ha justificat en el seu apartat corresponent utilitzarem el factor de càrrega estàtica indicat en la Taula 15.
- Escollir el tipus de rodament que volem, en el nostre cas rodament de boles del tipus 4 punts de contacte.
- Escollir el tipus de dentat que tindrà el rodament, en aquest cas el dentat serà exterior.
- Entrar els diferents valors de càrregues estàtiques trobats, tant en condicions normals com amb 25% de sobrecàrrega. Els valors entrats són els de la Taula 14.
- Finalment com a paràmetre opcional podem acotar la recerca indicant les dimensions desitjades per el rodament. Volem que el diàmetre exterior faci 1,2m com a mínim.

Podem veure com queda la pantalla de l'aplicació amb els valors ja entrats en la Figura 51.

Large-Diameter Slewing Bearings
Bearing selection [Help ◀ ▶]
Details for ThyssenKrupp Rothe Erde Questionnaire

Application: Custom application f_{stat} 1.45

Bearing design types:

☐ Profile bearing

☒ Four-point contact bearing

☐ Roller bearing

Gear Type

☐ Ungeared

☒ External gear

☐ Internal Gear

Dimensions (optionally):

	Ø min	Ø max	
External:	1200	10000	mm
Internal:	0	10000	mm
External bolt circle:	0	10000	mm
Internal bolt circle:	0	10000	mm

Static loads:

	Max. working	Max. test	Extreme	
Axial load	0	0	0	kN
Radial load	91.3	92.6	0	kN
Tilting moment	66.54	67.9	0	kNm

Service life ☒

Reset values Additional details

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 51: Pantalla 1 de l'aplicació d'ajuda online per escollir el rodament principal.

En la segona pantalla de l'aplicació els valors que tenim que entrar són els següents:

- Indicar l'eix de rotació del rodament. En el nostre cas l'eix de gir és l'horitzontal.
- Escollir el tipus de moviment rotacional que tindrà el rodament en l'aplicació on el muntem. Al tractar-se d'una atracció que estarà engegant i parant continuament es tractarà d'una rotació intermitent.
- Valor de velocitat de gir esperat que tindrà el rodament. La velocitat de gir del rodament és la mateixa que la velocitat de gir dels braços de l'estructura, 15rpm.
- Valor del parell de força que suportarà el rodament. En condicions normals el parell val 1,6kNm i es dóna quan l'atracció gira a velocitat constant. El parell màxim val 97kNm i es dóna durant la fase d'acceleració de l'atracció.

Podem veure com queda la pantalla de l'aplicació amb els valors ja entrats en la Figura 52.

Large-Diameter Slewing Bearings
Bearing selection [Help ◀ ▶]
Additional details for ThyssenKrupp Rothe Erde Questionnaire

Axis of rotation:
☒ horizontal
☐ vertical

Bearing under:
☒ compression
☐ tension (contact ThyssenKrupp Rothe Erde)
(Bolts under tension by axial loads.)

No. of revolutions (Rpm):
 norm. 15 min⁻¹
 max. 0 min⁻¹

Number of drives: 2

Displaced position: 60

Kind of movement:
☐ positioning only
☒ intermittent rotation
☐ continuous rotation

Tangential force per drive:
 norm. kN
 max. kN

Drive torque at the bearing:
☒ norm. 1.6 kNm
☐ max. 97 kNm

Special conditions ☒

Gear geometry ☒

Rothe Erde Questionnaire

Reset values Calculate

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 52: Pantalla 2 de l'aplicació d'ajuda online per escollir el rodament principal.

A partir de les dades que hem anat entrant, el programa ens fa 5 recomanacions, i ens mostra les diferents característiques de cadascun dels rodament classificades per categories en pestanyes diferents. També adjunta les corbes de càrrega estàtica i de vida útil de cada rodament, així com el seu plànol en format CAD i la seva fulla de característiques. Finalment també indica amb color vermell si algun dels rodaments no compleix alguna de les condicions i per tant no ens és útil. Les recomanacions que ens fa el programa d'ajuda es poden veure en la Figura 53.

Large-Diameter Slewing Bearings
Bearing selection [Help ◀ ▶]
Result

			Dimensions and weights		Bolt holes / Lubrication	
			Design type, tangential forces		Gear data	
	Symbols	Drawing number	Bearing design type	Permissible tangential force norm. [kN]	Permissible tangential force max. [kN]	
   		061.25.1155.500.11.1503	4-point contact bearing	36.92	73.84	
   		061.25.1255.500.11.1503	4-point contact bearing	36.92	73.84	
   		061.25.1355.500.11.1503	4-point contact bearing	36.92	73.84	
   		061.25.1455.500.11.1503	4-point contact bearing	36.92	73.84	
   		061.30.1180.001.21.1504	4-point contact bearing	64.25	128.5	

 The permissible gear load is exceeded, please contact ThyssenKrupp Rothe Erde.
 All Rothe Erde® bearings can be delivered without gear as well

 - Static limiting load curve
 - Service life curve
 - DXF drawing
 - ThyssenKrupp Rothe Erde Questionnaire

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 53: Pantalla de recomanacions de l'aplicació online per escollir el rodament principal.

Escullo la segona opció, amb codi 061.25.1255.500.11.1503 ja que la primera no és capaç de suportar la càrrega que li apliquem, i respecte a les altres, amb les càrregues que pot suportar és suficient i té un diàmetre més proper al desitjat.

Les dades característiques d'aquest rodament queden recollides en la Figura 54.

Drawing number:	061.25.1255.500.11.1503
Bearing design type:	4-point contact bearing
Weight:	204 [kg]
Outer diameter:	1,398 [mm]
Inner diameter:	1,155 [mm]
Overall height:	80 [mm]
Module:	10 [mm]
No. of teeth:	138
Profile correction:	0 [mm]
Addendum reduction:	-1 [mm]
Pressure angle:	20 [°]
Number of external bolt holes:	42
External hole circle diameter:	M 20
External bolt size:	M 20
Number of internal bolt holes:	42
Internal hole circle diameter:	22 [mm]
Internal bolt size:	M 20
Number of grease nipples per level:	6
External bolt circle diameter:	1,316 [mm]
Internal bolt circle diameter:	1,195 [mm]
Permissible tangential force norm.:	36.92 [kN]
Permissible tangential force max.:	73.84 [kN]

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 54: Fulla de característiques del rodament principal.

Ens hem d'assegurar que ni en el rodament ni en seus els cargols de subjecció es superi el límit de la corba de càrrega estàtica proporcionada per el fabricant. En la Figura 55 es pot veure la corba de càrrega estàtica i els punts de treball del rodament, complim amb bastant de marge.

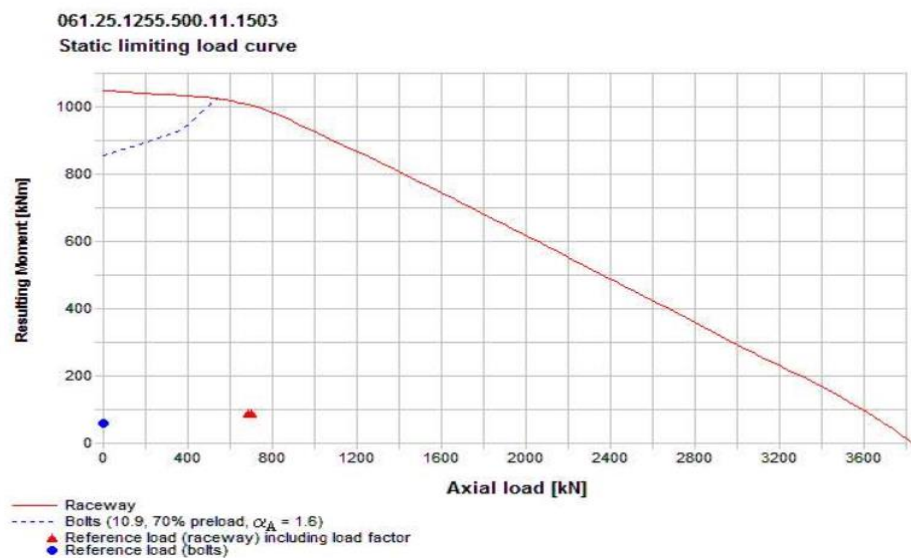


Figura 55: Corba de càrrega estàtica del rodament principal.

Ara calculem la vida útil del rodament a partir del diagrama corresponent que ens subministra l'aplicació seguint el mètode indicat pel fabricant en el catàleg.

Primer de tot hem de marcar el punt de treball del nostre rodament en el diagrama, recordem que tenim $F_a = 0 \text{ kN}$ i $M_k = 66'54 \text{ kN/m}$. Aquesta combinació correspon al punt de color blau. A continuació es traça una línia des de l'origen de coordenades a través del punt corresponent a la càrrega del rodament fins tallar amb la línia que indica la vida del rodament. Aquesta intersecció ens marca un nou punt $F_{ao} = 0 \text{ kN}$ i $M_{ko} = 800 \text{ kN/m}$ marcat amb color vermell tal com es pot veure en la Figura 56.

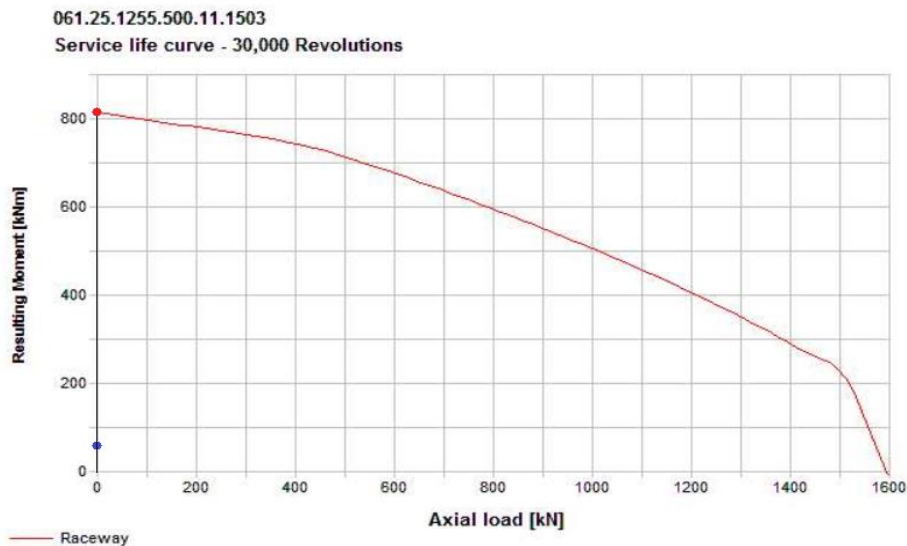


Figura 56: Corba de vida útil del rodament principal.

Busquem el factor de càrrega f_L , que ens indica la proporció entre els parells de bolcada reals i la seva projecció sobre la corba.

$$f_L = \frac{M_{ko}}{M_k} \quad (\text{Eq. 14})$$

El factor de càrrega que tenim val aproximadament 12.

Finalment trobem la vida útil en funció del nombre de girs a partir de l'equació 15:

$$G = (f_L)^p \cdot 30000 \quad (\text{Eq. 15})$$

On:

f_L és el factor de càrrega que hem calculat anteriorment.

p li correspon un valor de 3 ja que es tracta d'un rodament a boles.

Els 30000 són el valor de revolucions per defecte que aguanta el rodament escollit.

El valor de vida útil esperat per el rodament principal de l'atracció és de $51,84 \cdot 10^6$ revolucions. A partir d'aquest valor si calculem el nombre de girs que el rodament fa amb una jornada de feina podrem establir la freqüència amb que s'haurà de substituir per un de nou.

C.2 Rodaments góndoles

Els càlculs dels rodaments de les góndoles s'han realitzat de la mateixa manera que amb el rodament principal, les diferències més significatives a tenir en compte són:

- Els valors de càrrega estàtica són diferents que els del rodament principal. Es poden trobar en la Taula 14.
- Aquests rodaments no tenen dentat.

En la Figura 57 es pot veure com queda l'aplicació un cop s'han entrat els valors.

Large-Diameter Slewing Bearings
Bearing selection [Help ◀ ▶]

Details for ThyssenKrupp Rothe Erde Questionnaire

Application: Custom application f_{stat} 1.45

Bearing design types:

☐ Profile bearing

☒ Four-point contact bearing

☐ Roller bearing

Gear Type

☒ Ungeared

☐ External gear

☐ Internal Gear

Dimensions (optionally):

	Ø min	Ø max	
External:	0	10000	mm
Internal:	0	10000	mm
External bolt circle:	0	10000	mm
Internal bolt circle:	0	10000	mm

Static loads:

	Max. working	Max. test	Extreme	
Axial load	0	0	0	kN
Radial load	8.727	9.512	0	kN
Tilting moment	4.582	5	0	kNm

Service life ☒ Reset values Additional details

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 57: Pantalla 1 de l'aplicació d'ajuda online per escollir el rodament de les góndoles.

Les recomanacions que ens retorna el programa a partir dels valors entrats es poden veure en la Figura 58.

Large-Diameter Slewing Bearings

Bearing selection

Result

			Dimensions and weights	Bolt holes / Lubrication	
			Design type, tangential forces	Gear data	
	Symbols	Drawing number	Bearing design type	Permissible tangential force norm. [kN]	Permissible tangential force max. [kN]
  		060.20.0414.500.01.1503	4-point contact bearing	0	0
  		062.20.0414.500.01.1503	4-point contact bearing	13.54	27.08
  		061.20.0414.500.01.1503	4-point contact bearing	11.75	23.5
  		060.20.0544.500.01.1503	4-point contact bearing	0	0
  		060.20.0644.500.01.1503	4-point contact bearing	0	0

All Rothe Erde® bearings can be delivered without gear as well

-  - Static limiting load curve
-  - Service life curve
-  - DXF drawing
-  - ThyssenKrupp Rothe Erde Questionnaire

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 58: Pantalla de recomanacions de l'aplicació online per escollir el rodament de les góndoles.

Cal mencionar que tant la 2a com la 3a opció no són vàlides, ja que corresponen a rodaments amb dentat exterior i interior respectivament, i en aquest cas volem rodaments sense dentat. Em quedo amb la quarta opció, amb codi 060.20.0544.500.01.1503.

Les dades característiques d'aquest rodament queden recollides en la Figura 59.

Drawing number:	060.20.0544.500.01.1503
Bearing design type:	4-point contact bearing
Weight:	37 [kg]
Outer diameter:	616 [mm]
Inner diameter:	472 [mm]
Overall height:	56 [mm]
Module:	0 [mm]
No. of teeth:	0
Profile correction:	0 [mm]
Addendum reduction:	0 [mm]
Pressure angle:	0 [°]
Number of external bolt holes:	32
External hole circle diameter:	13.5 [mm]
External bolt size:	M 12
Number of internal bolt holes:	32
Internal hole circle diameter:	13.5 [mm]
Internal bolt size:	M 12
Number of grease nipples per level:	4
External bolt circle diameter:	590 [mm]
Internal bolt circle diameter:	498 [mm]
Permissible tangential force norm.:	0 [kN]
Permissible tangential force max.:	0 [kN]

© 2005-2013 by ThyssenKrupp Rothe Erde

Figura 59: Fulla de característiques del rodament de les góndoles.

Comprovem que els punts de treball dels rodaments no superin el límit de la corba de càrrega estàtica del rodament. Podem veure els punts de treball i la corba de càrrega estàtica subministrada pel fabricant en la Figura 60.



Figura 60: Corba de càrrega estàtica del rodament de les góndoles.

Per calcular la vida útil del rodament, ho farem de la mateixa manera que s'ha descrit en el cas del rodament principal, utilitzant les equacions i el diagrama corresponent que ens subministra l'aplicació d'ajuda del fabricant.

El punt de treball d'aquests rodaments són $F_a = 0$ i $M_k = 4'582 \text{ KN/m}$. Aquesta combinació correspon al punt de color blau. El punt que obtenim de la intersecció de la corba de vida amb la recta que passa per el punt de treball des de l'origen val $F_{ao} = 0$ i $M_{ko} = 190 \text{ KN/m}$, marcat amb color vermell en el diagrama. Podem veure els punts així com la corba de vida útil del rodament en la Figura 61.

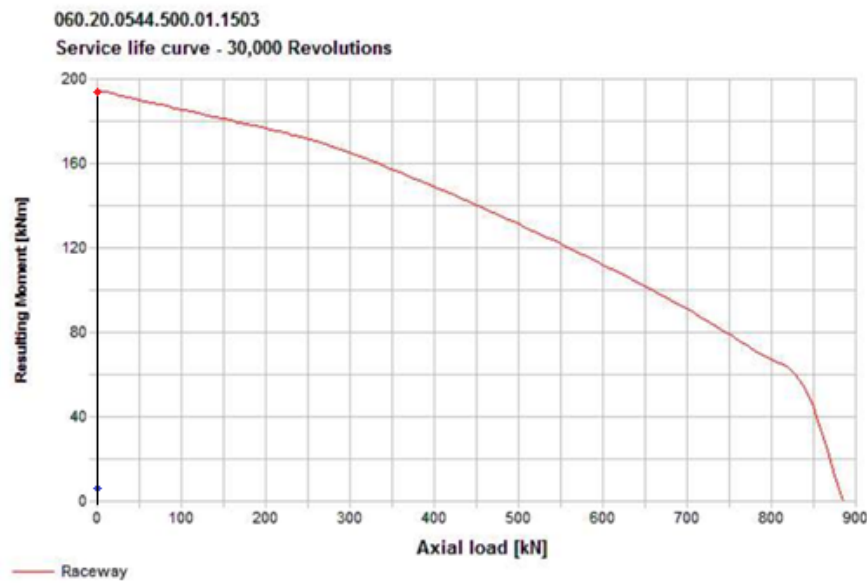


Figura 61: Corba de vida útil del rodament de les góndoles.

Calculem el factor de càrrega f_L del rodament a partir de l'equació 14. Trobem que el seu valor és de 41,5.

Finalment trobem que el valor de la vida útil esperat del rodament en funció del nombre de girs, que s'ha obtingut a partir de l'equació 15, és de $2144,2 \cdot 10^6$ revolucions.

C.3 Determinació força de contacte entre engranatges

Recordem que el rodament principal que hem escollit ens fa la funció de pinyó conduit, per tant rebrà unes forces transmeses per el pinyó motriu amb el que fa contacte.

El diagrama de cos lliure amb les forces de contacte dels 2 engranatges quedaria tal es veu en la Figura 62:

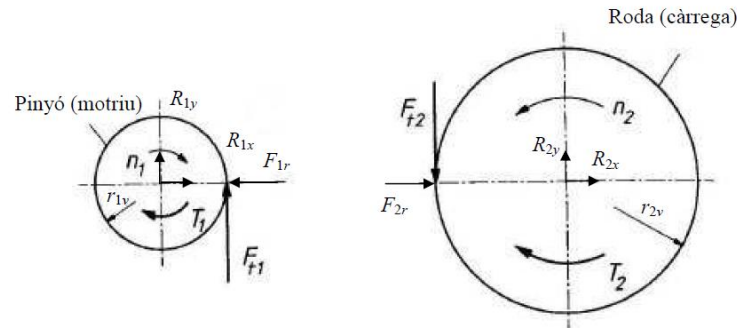


Figura 62: Esquema de forces que actuen sobre els engranatges.

Al tractar-se d'un engranatge recte, a partir de la seva geometria obtenim l'equació 16:

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_v \quad (\text{Eq. 16})$$

Pel principi d'acció reacció sabem que $F_{1t} = F_{2t}$ i $F_{1r} = F_{2r}$.

A partir de les equacions d'equilibri sobre el pinyó motriu sabem:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow R_{1x} = F_{1r} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow R_{1y} = -F_{1t} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow T_1 = F_{1t} \cdot r_{1v} \quad (\text{Eq. 19})$$

On r_{1v} és el radi primitiu de l'engranatge.

El radi primitiu queda determinat en funció del mòdul i el nombre de dents que té l'engranatge utilitzant l'equació 20.

$$r_v = \frac{m \cdot z}{2000} \quad (\text{Eq. 20})$$

Com que tenim les dades geomètriques de l'engranatge que fa de roda, combinant les equacions anteriors, trobem les noves equacions 21 i 22. que ens permeten trobar el valor de les forces de transmissió expressades en funció del parell de gir que suporten.

$$F_{2t} = \frac{T_2}{r_{2v}} = \frac{2000 \cdot T_2}{m \cdot z} \quad (\text{Eq. 21})$$

$$F_{2r} = F_{2t} \cdot \tan \alpha_v = \frac{2000 \cdot T_2}{m \cdot z} \cdot \tan 20^\circ \quad (\text{Eq. 22})$$

Utilitzant el Working Model hem creat un model on tenim el motor directament acoblat en la part giratòria de l'estructura (Model Frontal), d'aquesta manera podem mesurar el parell corresponent a que estarà sotmès el nostre engranatge. Hi haurà 2 variacions, en la primera els braços giren a velocitat constant i en la segona es simula el procés d'arrencada.

Els valors de parell mesurats i les forces de contacte corresponents que tenen que suportar els engranatges en cada cas, queden registrades dins la Taula 16.

Règim de gir	$T_2/2$ (N·m)	F_t (N)	F_r (N)
Velocitat constant	800	1.159,42	422
Acceleració	48.500	70.289,85	25.583,4

Taula 16: Forces de contacte entre engranatges segons el mode de funcionament de l'atracció.

ANNEX D DIMENSIONAMENT MOTRIU.

Utilitzant el programa de simulació “Working Model”, s’ha creat el model anomenat “Model Frontal” descrit en l’annex B: Modelització amb Working Model, on la relació de transmissió entre els engranatges de tot el sistema motriu és 1, això ens permet trobar els parells que haurà de proporcionar el motor al final del mecanisme reductor. Tenint en compte que el mecanisme estarà constantment engegant i parant, el parell d’arrencada que haurà de suportar el sistema serà molt important.

D.1 Dimensionament del motor

S’ha considerat la duració del procés d’acceleració del sistema fins arribar a la velocitat de treball és de 15 segons. Per tal de complir aquesta condició el parell constant desenvolupat per el motor hauria de ser de 97000 Nm, però al disposar de 2 motors, el parell que haurà de suportar cadascun serà la meitat. Així doncs cada motor haurà de proporcionar un parell de 48500 Nm al final del seu corresponent mecanisme reductor.

Sabent el parell que han de proporcionar i que la velocitat de gir al final del mecanisme ha de ser de 15 rpm, podem trobar la potència de cada motor utilitzant l’equació 23:

$$P = T \cdot \omega \quad (Eq. 23)$$

On T és el parell a desenvolupar expressat en Nm, ω és la velocitat de gir en rad/s i P és la potència del motor expressada en Watts. La potència a desenvolupar per cada motor és de 76,2 kW.

S’escolirà un motor de tipus corrent continu ja que són fàcils de controlar, i amb l’equip adequat i utilitzant una bona tècnica de control, permeten obtenir una regulació de velocitat amb resposta dinàmica molt bona. Es muntarà amb excitació independent, aquesta configuració es caracteritza per la poca variació de la velocitat al variar la demanda de càrrega mecànica, això fa que sigui una màquina amb facilitat de regulació de velocitat.

A partir de la potència màxima trobada busquem un motor dins el catàleg del fabricant “COMER”, empresa italiana. Escollim el 160 S ja que és el més petit amb el que arribem a la potència màxima que proporcionarà el motor. Podem veure part del catàleg i les característiques del motor escollit en la Figura 63.

SIZE	TORQUE S1 DUTY	STD. SPEED RANGE		STD. POWER RANGE		DIMENSION LxD1xD2			WEIGHT
	Nm	rpm	rpm	Kw	Kw	mm	mm	mm	Kg
132 BS	113	890 - 3450		11 - 40		570	260	260	115
132 BM	150	930 - 3450		16 - 54		620	260	260	135
132 BL	175	1000 - 3050		19 - 56		670	260	260	155
132 BP	210	950 - 3000		22 - 67		720	260	260	175
160 S	250	910 - 3050		24 - 80		675	320	365	210
160 M	315	940 - 3200		31 - 105		730	320	365	250
160 L	370	740 - 2820		29 - 110		790	320	365	290
160 LB	430	720 - 3050		33 - 138		860	320	365	340
200 BK	445	720 - 2650		34 - 122		490	398	398	430
200 BS	530	750 - 2600		41 - 144		530	398	398	475
200 BM	620	710 - 2340		47 - 152		570	398	398	510
200 BL	730	730 - 2420		56 - 185		620	398	398	545
200 BLB	840	610 - 2300		54 - 203		680	398	398	600

Figura 63: Característiques dels motors DC empresa “COMER”

A partir del parell motor del motor escollit, i modificant l'ordre dels elements de l'equació 23, obtindrem una nova equació amb la que trobarem la velocitat de gir que tindrà el motor, per a la potència anteriorment calculada. La velocitat de gir del motor serà aproximadament de 2910 rpm.

Sabent la velocitat màxima que girarà el motor i la velocitat de gir que tenen els braços de l'estructura determinem la relació de transmissió que haurà de tenir tot el mecanisme reductor utilitzant l'equació 24.

$$i_{total} = \frac{\omega_{motor}}{\omega_{braços}} \quad (Eq. 24)$$

Obtenim una relació de transmissió de 194.

D.2 Dimensionament del reductor

Haurem de buscar ara un reductor que juntament amb la relació de transmissió dels engranatges, ens doni una relació de transmissió semblant a la desitjada. El reductor escollit serà de tipus planetari i serà fabricat per la companyia italiana "Brevini". Per tal de seleccionar el reductor adequat es seguirà el procediment de càlcul donat pel fabricant en el catàleg.

Primer ens fa determinar la classe del mecanisme en funció de les condicions d'operació (el temps d'operació i l'espectre de càrrega) per tal de trobar un factor de conversió K.

El temps d'operació indica el període mitjà per dia en el que el mecanisme està operatiu. En el nostre cas l'atracció està disponible durant unes 10 hores diàries, però si tenim en compte que estarà engegant i parant constantment per tal de fer les operacions de canvi d'usuaris de l'atracció, el temps que el mecanisme està operatiu podria quedar reduït a la meitat. Considerarem que el temps total operatiu quedarà comprès entre 6300 i 12500 hores.

L'espectre de càrrega ens indica el grau de freqüència en que el mecanisme treballa amb la càrrega màxima. En el nostre cas l'ús de l'atracció serà molt poc probable que pugin alhora 4 persones que pesin 100Kg, per tant correspondrà al tipus L1.

A partir de la taula de conversions proporcionada pel fabricant, que podem veure en aquest document en la Figura 64, trobem que la combinació T6-L1 correspon la classe M5 i aquesta té un factor de conversió K=0,96.

RPR - SLS

FATTORE DI CONVERSIONE / CONVERSION FACTOR / UMRECHUNGSFAKTOR / FACTEUR DE CONVERSION / FACTOR DE CONVERSION / FATOR DE CONVERSÃO = K								
Classi di utilizzo (Tabella T.2.1.3.2.) Classes of utilization (Table T.2.1.3.2.) Anwendungsklassen (Tabelle T.2.1.3.2.) Classes d'utilisation (Table T.2.1.3.2.) Classes de utilización (Tabla T.2.1.3.2.) Classes de utilização (Tabela T.2.1.3.2.)		T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
400 < T2 800			800 < T3 1600	1600 < T4 3200	3200 < T5 6300	6300 < T6 12500	12500 < T7 25000	25000 < T8 50000
Classi dello spettro (Tabella T.2.1.3.3.) Spectrum classes (Table T.2.1.3.3.) Spektrumsklassen (Tabelle T.2.1.3.3.) Classes du spectre (Table T.2.1.3.3.) Classe de espectro (Tabla T.2.1.3.3.) Classes da faixa (Tabela T.2.1.3.3.)								
L1	0 > Km 0,125		M2 1,41	M3 1,24	M4 1,08	M5 0,96	M6 0,79	M7 0,62
L2	0,125 > Km 0,250	M2 1,45	M3 1,28	M4 1,12	M5 1	M6 0,79	M7 0,62	M8 0,48
L3	0,250 > Km 0,500	M3 1,24	M4 1,08	M5 0,95	M6 0,77	M7 0,61	M8 0,47	
L4	0,500 > Km 1000	M4 1,08	M5 0,94	M6 0,77	M7 0,60	M8 0,47		

Figura 64: Taula factors de conversió K en funció de les condicions d'operació del mecanisme.

En el següent apartat ens demana calcular el parell màxim que haurà de suportar el pinyó conduït (T_{sr}). També ens demana determinar el nombre de dents del pinyó conduït (Z_2), el seu mòdul (m), el nombre de dents del pinyó motriu (Z_1). Recordem que tots els valors excepte el nombre de dents del pinyó motriu ja els havíem definit en apartats anteriors. Aquests valors queden recollits en la Taula 17.

	Valor
$T_{sr}(\text{Nm})$	48.500
m	10
Z_2	138

Taula 17: Valor de les variables per el dimensionament del reductor

Amb valor de mòdul igual a 10, el fabricant ens dóna l'opció d'escollir entre pinyons motrius amb diferent nombre de dents, concretament entre 10 i 14 dents. Escollim $Z_1=13$ dents. El càlcul de la relació de transmissió entre engranatges queda definida en l'equació 25.

$$i_{engranatges} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (\text{Eq. 25})$$

La relació de transmissió entre engranatges és de 10,61.

Sabent la relació de transmissió total i la relació de transmissió dels engranatges podem trobar la relació de transmissió del reductor utilitzant l'equació 26.

$$i_{reductor} = \frac{i_{total}}{i_{engranatges}} \quad (\text{Eq. 26})$$

La relació de transmissió del reductor val 18,28.

Ara que ja tenim totes les dades necessàries per el dimensionament del mecanisme reductor, només ens queda calcular el parell màxim operatiu (T_2) i la càrrega radial (F_t) que suportarà l'eix de sortida del reductor durant aquest parell màxim. Ho aconseguim utilitzant les següents fórmules:

$$T_2 = \frac{T_{sr} \cdot Z_1}{Z_2 \cdot \eta_{engranatges}} \quad (\text{Eq. 27})$$

$$F_t = \frac{T_2 \cdot 2000}{m \cdot Z_1 \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Eq. 28})$$

Al tractar-se d'engranatges rectes l'angle de pressió α serà de 20° , suposant un rendiment mecànic del 95%, obtindrem $T_2 = 4.809,30 \text{ Nm}$ i $F_t = 78.737,8 \text{ N}$.

Busquem dins el catàleg un reductor que pugui suportar ambdós paràmetres, escollim el reductor RPR2046DC. Podem veure les seves característiques principals en la Taula 18.

i	$T_{FEM(T5-L2)} (\text{Nm})$	$T_{2 \max} (\text{Nm})$	$F_{tFEM} (\text{N})$	$F_{t \max} (\text{N})$
18,1	5.550	6.000	107.500	134.500

Taula 18: Característiques del reductor RPR2046DC.

Aquest valors estan referenciats per defecte a classe $FEM M5_{T5-L2}$, per tal de passar-los a la classe FEM corresponent al nostre mecanisme, tenim que multiplicar-los per el factor de conversió K que hem trobat anteriorment, i comprovar que el valor obtingut sigui major al que haurà de suportar.

$$T_{FEM\ M5(T6-L1)} = K \cdot T_{FEM(T5-L2)} \quad (Eq. 29)$$

$T_{FEM(T5-L2)}(Nm)$	$T_{FEM\ M5(T6-L1)}(Nm)$	$T_2 (Nm)$
5.550	5.328	4.809,30

Taula 19: Comprovació valor parell màxim operatiu l'eix del reductor.

$$T_2 < T_{FEM\ M5(T6-L1)}$$

$$Ft_{FEM(T6-L1)} = K \cdot Ft_{FEM(T5-L2)} \quad (Eq. 30)$$

$Ft_{FEM(T5-L2)}(N)$	$Ft_{FEM\ M5(T6-L1)}(N)$	$F_t (N)$
107.500	103.200	78.737,8

Taula 20: Comprovació valor càrrega radial de l'eix del reductor.

$$Ft < Ft_{FEM(T6-L1)}$$

El reductor compleix les dues condicions, per tant és adequat per l'aplicació que li volem donar.

ANNEX E DESENVOLUPAMENT DEL CàLCUL DE LES CÀRREGUES DE VENT

En aquest apartat s'amplia la informació continguda en l'apartat 5.3.2 Accions variables: Càrregues de vent segons DBSE-AE.

Aplicant l'equació 7 obteníem un valor q_b de 0,14kN/m quan l'atracció estava operativa i de 0,52kN/m quan l'atracció es trobés fora de servei. Utilitzant els valors anteriors en l'equació 6 juntament amb els altres valors corresponents ens permetrà trobar els valors de pressió estàtica de vent en funció de les altures de l'estructura com a càrregues uniformement distribuïdes.

Per introduir aquests valors de càrrega de vent al model del SAP 2000, convertirem la càrrega uniformement distribuïda en càrregues lineals aplicades en els extrems de l'estructura, que és on es trobaran les barres verticals de l'ànima de l'estructura. Només s'introduiran les càrregues de vent de quan l'atracció estigui en funcionament, ja que serà quan es donarà la situació més desfavorable, degut a l'actuació de les forces degudes al moviment dels braços de l'estructura.

	Barres extrem estructura	
h (m)	q_e pressió (N/m)	q_e succió (N/m)
0	89,6	-78,4
1	89,6	-78,4
2	89,6	-78,4
3	112	-98
4	112	-98
5	112	-98
6	128,8	-112,7
7	128,8	-112,7
8	128,8	-112,7
9	140	-122,5
10	140	-122,5
11	140	-122,5
12	145,6	-127,4
13	145,6	-127,4
14	145,6	-127,4
15	151,2	-132,3
16	151,2	-132,3

ANNEX F MODELITZACIÓ AMB SAP 2000

El càlcul d'esforços i deformacions de l'estructura es fa mitjançant el programa de càlcul SAP 2000 v15. En aquest annex es pot trobar una breu descripció del procediment seguit a la hora de crear els models tant de la columna principal, com dels braços de l'estructura.

L'objectiu del present annex és transmetre informació relativa al procés de modelització per a poder reproduir els resultats obtinguts en aquest estudi per a posteriors ampliacions i/o d'altres anàlisis, així com aprofundir en el coneixement de les característiques dels models utilitzats.

F.1 Entrada dels elements constructius al model

F.1.1 Part comuna

Per la modelització dels diferents models es partirà de la plantilla amb reixeta de treball que es pot trobar entrant les comandes: 'File>New Model> Grid Only' tal com es pot veure en la Figura 65. L'estructura de la reixeta dels diferents models es mostra de forma detallada en els apartats F.1.2 i F.1.3 d'aquest annex.

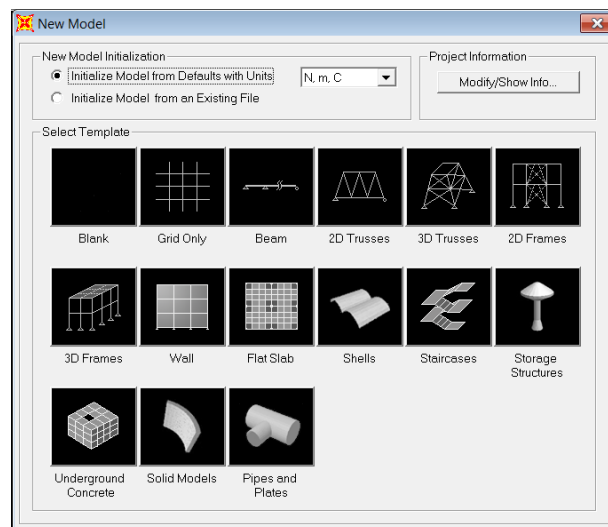


Figura 65: Pantalla de selecció de plantilles.

Definirem el material amb el qual estarà feta l'estructura, en aquest cas acer S275. Primer de tot caldrà anar a buscar-lo dins la base de dades per a poder entrar-lo al programa, per fer-ho es segueix la ruta: 'Define > Materials > Add New Material' i s'escolliran les opcions que es poden veure en la Figura 67.

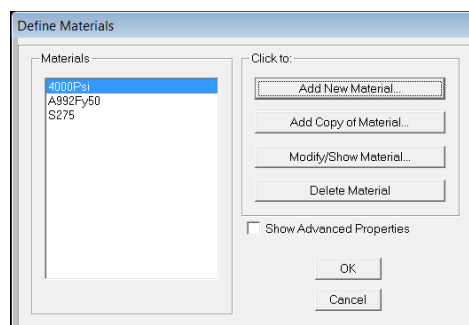
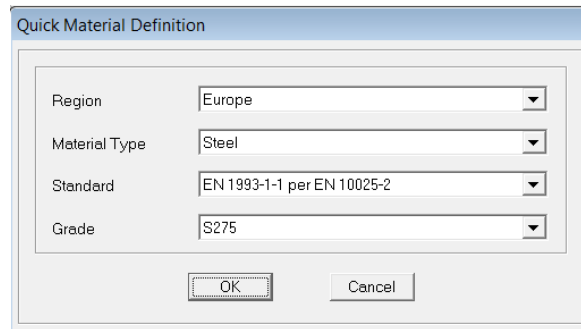


Figura 66: Pantalla de selecció de materials.



Quick Material Definition

Region: Europe

Material Type: Steel

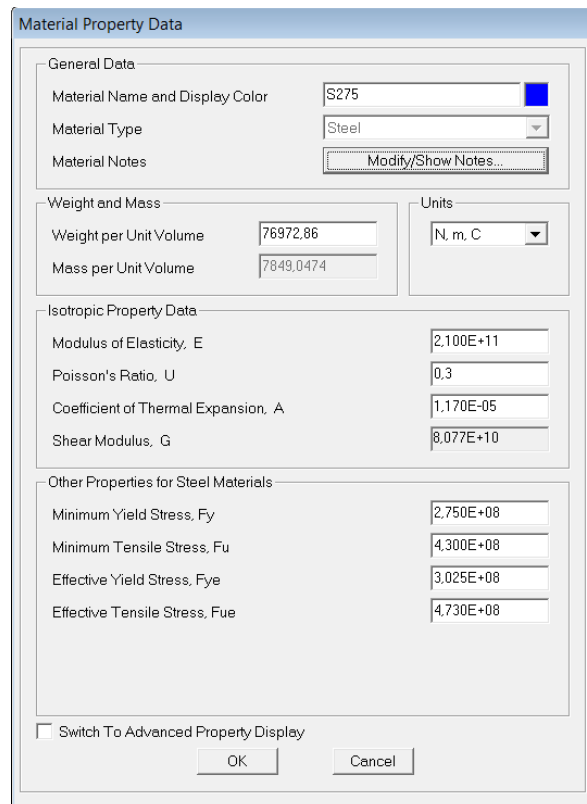
Standard: EN 1993-1-1 per EN 10025-2

Grade: S275

OK Cancel

Figura 67: Pantalla amb les característiques entrades per seleccionar el nostre acer.

Les propietats de l'acer escollit que s'han recuperat de la base de dades es mostren en la Figura 68.



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S275

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76972,86

Mass per Unit Volume: 7849,0474

Units: N, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.100E+11

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 8.077E+10

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 2.750E+08

Minimum Tensile Stress, Fu: 4.300E+08

Effective Yield Stress, Fye: 3.025E+08

Effective Tensile Stress, Fue: 4.730E+08

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 68: Pantalla amb les propietats de l'acer S275.

Un cop definit el material a emprar, haurem de definir el tipus de secció i les dimensions dels perfils d'acer que utilitzarem. Per fer-ho es segueix la ruta: 'Define > Section Properties > Frame Sections'. Al igual que en el cas de definició del material també haurem d'anar a buscar els valors de les diferents seccions dins d'una base de dades.

Fem clic en 'Import New Property' i se'ns mostrarà la pantalla representada en la Figura 69 on ens demana el tipus de perfil laminat que estem buscant, per exemple, seleccionem 'Tube' i a continuació obrim l'arxiu 'EURO.PRO', se'ns obrirà una llista amb tots els diferents perfils del tipus que hem escollit, els quals es mostren en la Figura 70. Finalment seleccionem el material de la secció que prèviament havíem definit i les dimensions del perfil a utilitzar, per exemple un perfil d'acer laminat tipus tub 60x60x4.

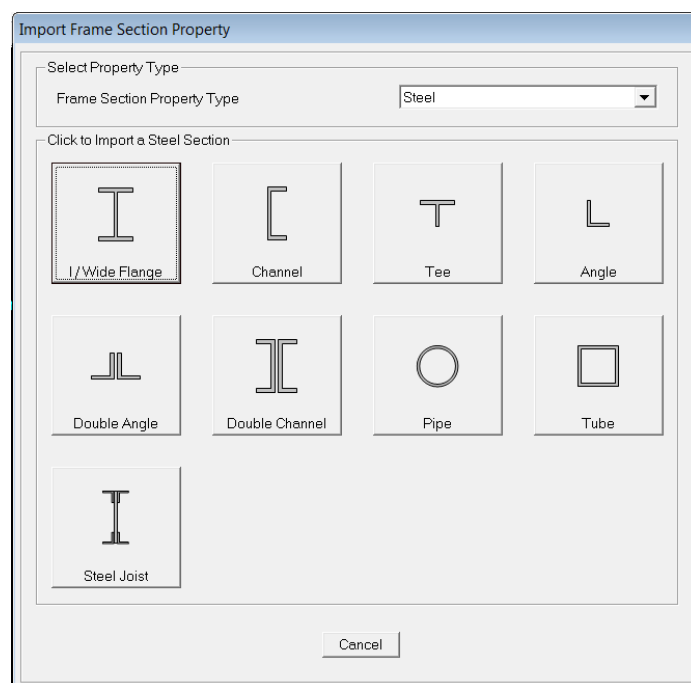


Figura 69: Pantalla de selecció del tipus de perfil laminat que es vol importar.

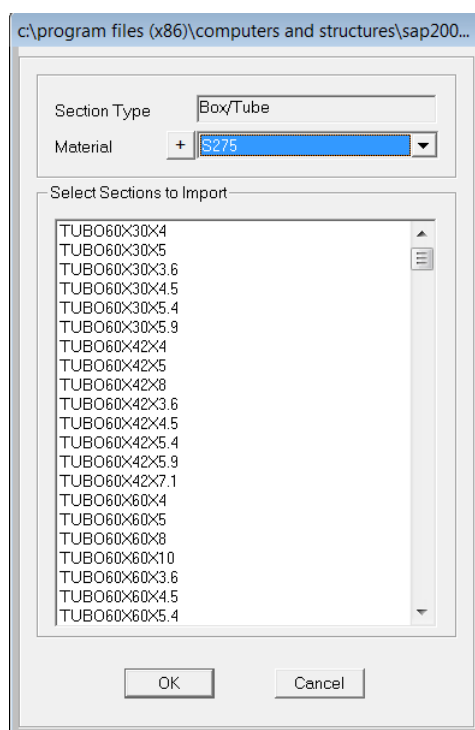


Figura 70: Pantalla de selecció del perfil laminat que es vol usar.

Les propietats de la secció escollida es mostren en la Figura 71.

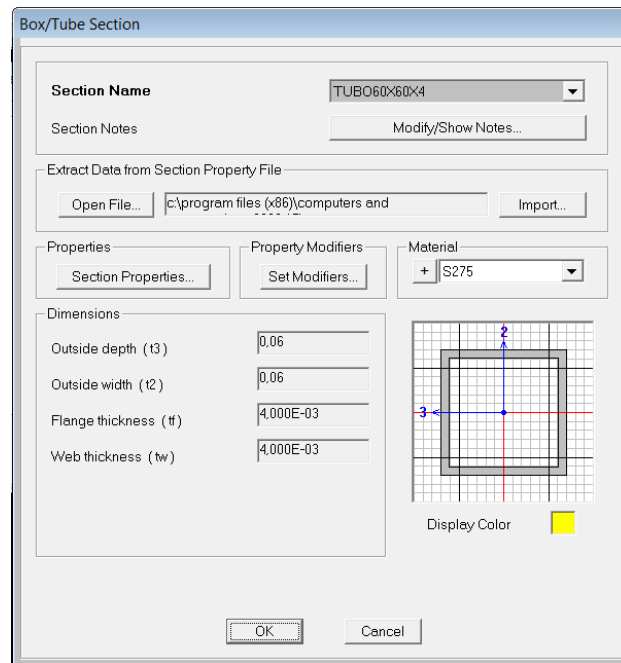


Figura 71: Pantalla amb les característiques del perfil laminat escollit.

F.1.2 Model columna

Es dimensionarà la reixeta de treball d'acord amb les dimensions dels elements a modelar, en el cas de la columna principal en els eixos X i Y tindrem 2 eixos separats entre ells 1 metre de distància, l'eix Z arribarà a tenir 19 eixos diferents amb variació de separació entre ells. Es pot apreciar les dades entrades dins la pantalla de reixeta en la Figura 72.

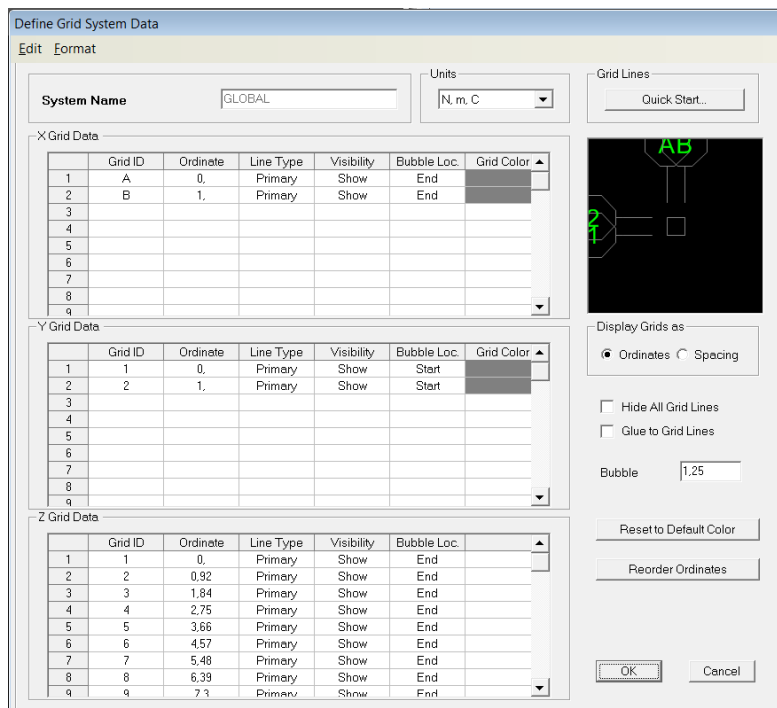


Figura 72: Pantalla amb les dades de la reixeta de treball.

Amb la reixeta creada ja es pot construir el model a partir de la comanda 'Quick Frame', seleccionant el tipus de secció adequat i la zona on haurà d'anar col·locat el nou element.

Un cop acabada l'estructura interna formada pels perfils d'acer soldats, s'introdueixen les restriccions d'encastament en la seva base. Per fer-ho s'han de seleccionar els 4 nusos localitzats en la cota més baixa de l'estructura i després entrar la comanda 'Assign > Joint > Restraints'. En la pantalla representada per la Figura 73 s'escull la restricció d'encastament, que de manera directa ens restringeix translació i rotació en les 3 direccions. Es pot veure com queda el model amb els perfils d'acer i els encastaments ja introduïts, en la Figura 74.

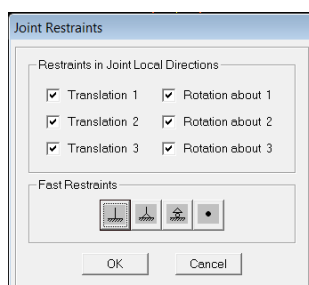


Figura 73: Pantalla de característiques per la creació de restriccions en nusos.

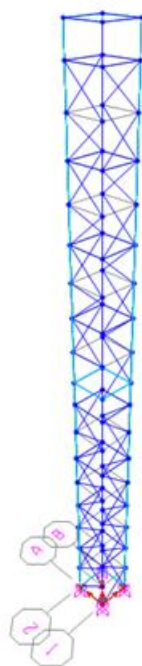


Figura 74: Imatge del model columna.

L'últim element constructiu que ens queda entrar són les planxes d'acer de 5mm de gruix que s'utilitzen per cobrir l'estructura interna de la columna per tal de millorar el seu aspecte extern, i que també ajudaran una mica a rigiditzar l'estructura.

A partir de la comanda 'Define > Section Properties > Area Section' se'ns mostrarà la pantalla de la Figura 75 dins d'aquesta es clicarà l'opció 'Add New Section' i se'ns obrirà la pantalla de la Figura 76. Li canviarem el nom a Planxa Acer, dins l'apartat tipus clicarem a planxa prima, en l'apartat material escollirem l'acer que havíem definit i finalment indicarem que el gruix de la planxa serà de 5mm. Ara que ja tenim les propietats de les planxes d'acer definides podem dibuixar-les en el model a partir del botó 'Draw Rectangular Area' assegurant-nos que les propietats seleccionades són les que hem definit prèviament.

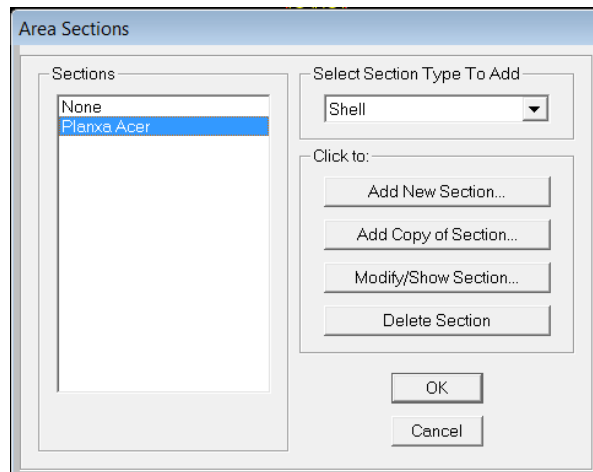


Figura 75: Pantalla general de característiques per la creació d'una secció tipus placa.

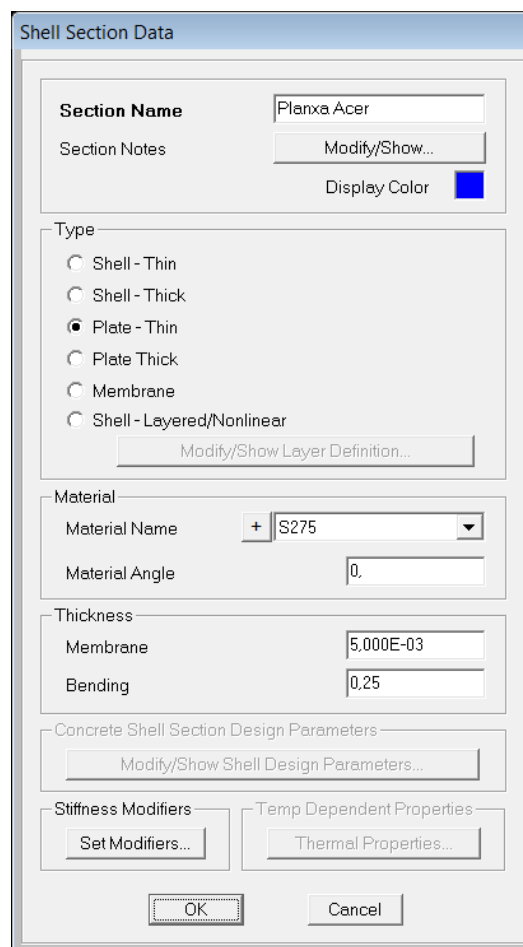


Figura 76: Pantalla de característiques per la creació d'una secció tipus placa.

F.1.3 Models braços

Es dimensionarà la reixeta de treball d'acord amb les dimensions dels elements a modelar. En el cas del braç en posició horitzontal en els eixos Y i Z tindrem 5 eixos separats entre ells 0,25 metres de distància, l'eix X arribarà a tenir 25 eixos diferents amb de separació de 0,5m entre ells. Els valors de la reixeta del braç en posició vertical seran els mateixos que en el cas horitzontal però girant els eixos X i Z. Es pot apreciar les dades entrades dins la pantalla de reixeta en la Figura 77.

Define Grid System Data

Edit Format

System Name: GLOBAL Units: N, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0.	Primary	Show	End	
2	B	0.5	Primary	Show	End	
3	C	1.	Primary	Show	End	
4	D	1.5	Primary	Show	End	
5	E	2.	Primary	Show	End	
6	F	2.5	Primary	Show	End	
7	G	3.	Primary	Show	End	
8	H	3.5	Primary	Show	End	
9	I	4	Primary	Show	End	

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0.	Primary	Show	Start	
2	2	0.25	Primary	Show	Start	
3	3	0.5	Primary	Show	Start	
4	4	0.75	Primary	Show	Start	
5	5	1.	Primary	Show	Start	
6						
7						
8						
9						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	21	0.	Primary	Show	End	
2	22	0.25	Primary	Show	End	
3	23	0.5	Primary	Show	End	
4	24	0.75	Primary	Show	End	
5	25	1.	Primary	Show	End	
6						
7						
8						
9						

Display Grids as: ☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines

☐ Glue to Grid Lines

Bubble: 0.125

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

Figura 77: Pantalla amb les dades de la reixeta de treball.

A partir de la comanda 'Quick Frame', seleccionant el tipus de secció adequat i la zona on haurà d'anar col·locat el nou element es construïran els models.

Un cop acabada l'estructura interna formada pels perfils d'acer soldats, s'introdueixen les restriccions d'encastament en els 4 nusos que pertanyen a la part de la peça del braç central, de la mateixa manera en que s'ha descrit en el model anterior. Finalment afegim les planxes d'acer al voltant de tota l'estructura de la manera indicada en l'apartat del model de la columna, i ja tindrem acabada la part estructural dels models.

Es pot veure com queden els models del braç amb els perfils d'acer i els encastaments ja introduïts en posició horitzontal i en posició vertical, en la Figura 78 i la Figura 79 respectivament.

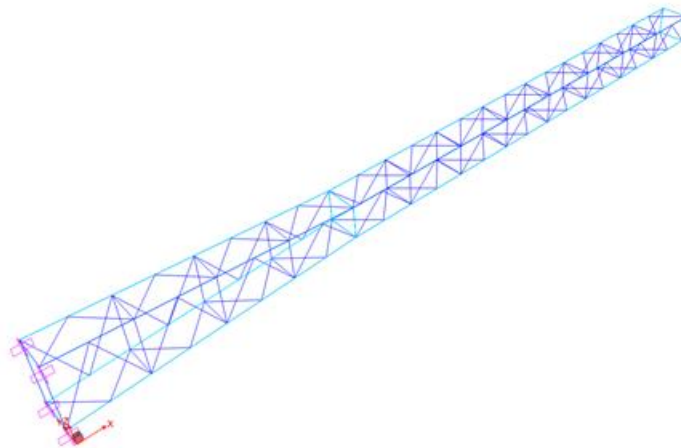


Figura 78: Imatge del model braç horitzontal.

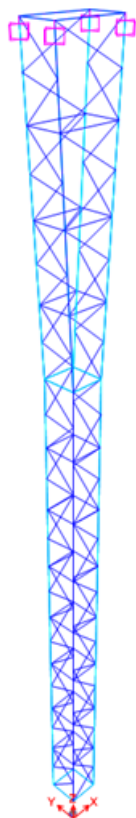


Figura 79: Imatge del model braç vertical.

F.2 Definició de combinacions i entrada de càrregues al model

Un cop introduïts tots els elements constructius en els models, es procedeix a la introducció de totes les càrregues a les que està sotmesa l'estructura. Abans de fer-ho, cal introduir els tipus de càrrega a considerar pel programa en l'apartat 'Load Patterns'. Es defineix el tipus d'accions a introduir a l'estructura mitjançant la ruta: 'Define > Load Patterns', on s'introdueixen les següents tipologies de càrregues, tal i com es pot veure en la Figura 80.

- 'Xrev' és la tipologia de càrrega que conté les càrregues permanents. Amb un valor de 1 en el factor 'Self Weight Multiplier' s'aconsegueix que el programa tingui en compte els pesos propis dels elements introduïts en el programa, segons el seu material. Manualment, s'introdueixen les càrregues trobades amb el 'Working Model' degudes al moviment de l'estructura en la posició indicada en el nom del 'load pattern'. Recordem que de manera excepcional es consideraran com a càrregues de tipus permanent.
- 'Vent X' és la tipologia de càrrega on s'introdueixen manualment les forces degudes a l'acció del vent en la direcció X, és a dir el pla lateral de l'estructura.
- 'Vent Y' és la tipologia de càrrega on s'introdueixen manualment les forces degudes a l'acció del vent en la direcció Y, és a dir el pla frontal de l'estructura.

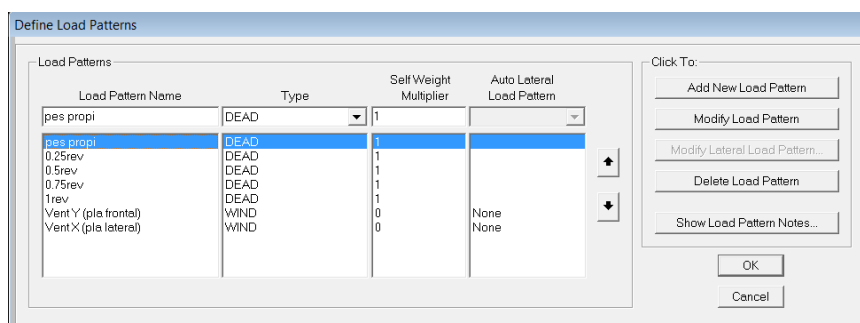


Figura 80: Pantalla d'introducció de les característiques dels tipus d'accions a considerar.

Un cop definits els tipus d'accions que tindrem, s'hauran d'introduir de forma manual les càrregues a que estarà sotmesa l'estructura, escollint el tipus d'acció al qual pertanyen.

Primer introduïrem les càrregues puntuals trobades amb el model fet amb 'Working Model', les quals es troben recollides en l'apartat B.3.3: Resum recol·lecció de dades per al model amb SAP2000. Per fer-ho es seleccionaran els 4 nusos on es produeix la connexió entre peces, o bé els que es trobin més propers al cdg de la peça depenent de la localització de la força que hem d'entrar, i s'entrarà la comanda 'Assign > Joint Loads > Forces'. Llavors en la pantalla que es mostra en la Figura 81 s'introduiran el valor de les forces dividit per 4, ja que cada nus suportarà una quarta part de la força total. Es repetiran els mateixos passos fins completar cadascun dels casos de càrrega 'Xrev'.

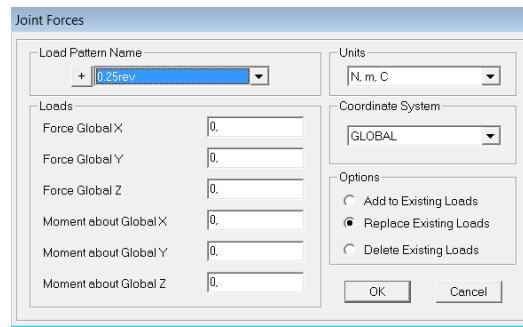


Figura 81: Pantalla d'assignació de càrregues sobre un nus.

Per últim, s'introdueixen les càrregues lineals equivalents de vent que hem calculat en l'Annex E: DESENVOLUPAMENT DEL CàLCUL DE LES CàRREGUES DE VENT, per fer-ho primer seleccionem les barres verticals situades en els extrems de l'estructura i entrem la comanda: 'Assign > Frame Loads > Distributed'. D'aquesta manera s'introdueixen les forces de pressió i succió en cada una de les direccions 'Vent X' i 'Vent Y', tal com es pot observar en la Figura 82.

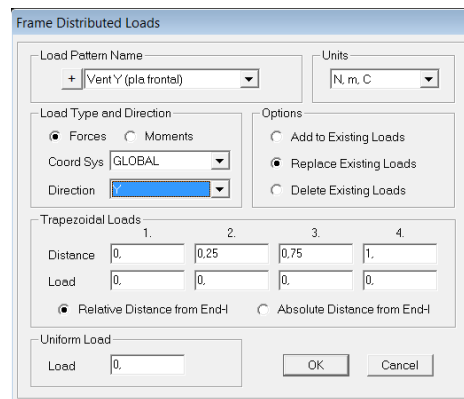


Figura 82: Pantalla d'assignació de càrregues sobre una estructura tipus barra.

Un cop es tenen totes les 'Load Patterns' definides, o sigui introduïts tots els tipus d'accions a considerar a l'estructura, es defineixen les combinacions a considerar pel programa seguint la ruta: 'Define > Load Combinations', on es crearan noves combinacions a partir de la comanda 'Add New Combo', tal i com es veu en la Figura 83.

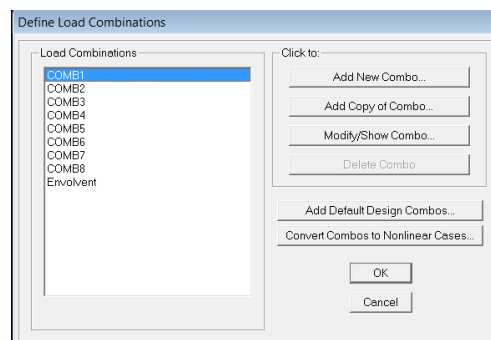


Figura 83: Pantalla de definició combinació de càrregues.

Les combinacions de càrrega descrites en la memòria es defineixen com a suma lineal de les diferents accions creades mitjançant la comanda 'Load Pattern' tenint en compte els coeficients de majoració i/o minoració corresponents, tal i com es pot veure en l'exemple de la Figura 84.

Figura 84: Pantalla de característiques d'una combinació de càrrega.

F.3 Anàlisi del model

Per tal que el programa comenci l'anàlisi, s'haurà de prémer el botó 'Run Analysis' o bé F5. En la pantalla de la Figura 85, es pot personalitzar les característiques de l'anàlisi que es vol realitzar. Clicant el botó 'Run Now' el programa començarà els càlculs i no s'aturarà fins que hagi acabat.

Figura 85: Pantalla de característiques de l'anàlisi.

Un cop el programa hagi finalitzat el procés de càlcul, podrem veure els resultats dels esforços o les deformacions obtingudes entrant les comandes adequades.

Per veure la deformació que experimenta el model en cadascun dels casos de combinació que hem entrat, es segueix la ruta: 'Display > Show Deformed Shape' i s'escull la combinació que volem veure. La pantalla de selecció del cas de combinació per veure la deformació de l'estructura que patirà, es pot veure en la Figura 86.

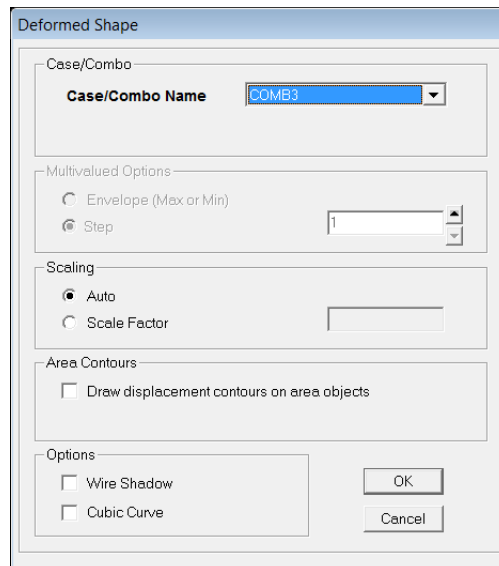


Figura 86: Pantalla de selecció deformació estructural.

Un cop escollit el cas que volem, el programa ens retorna el dibuix 3D del model deformat, on si situem el cursor damunt un dels nusos, se'ns retorna el valor de deformació que es produeix per cadascun dels eixos.

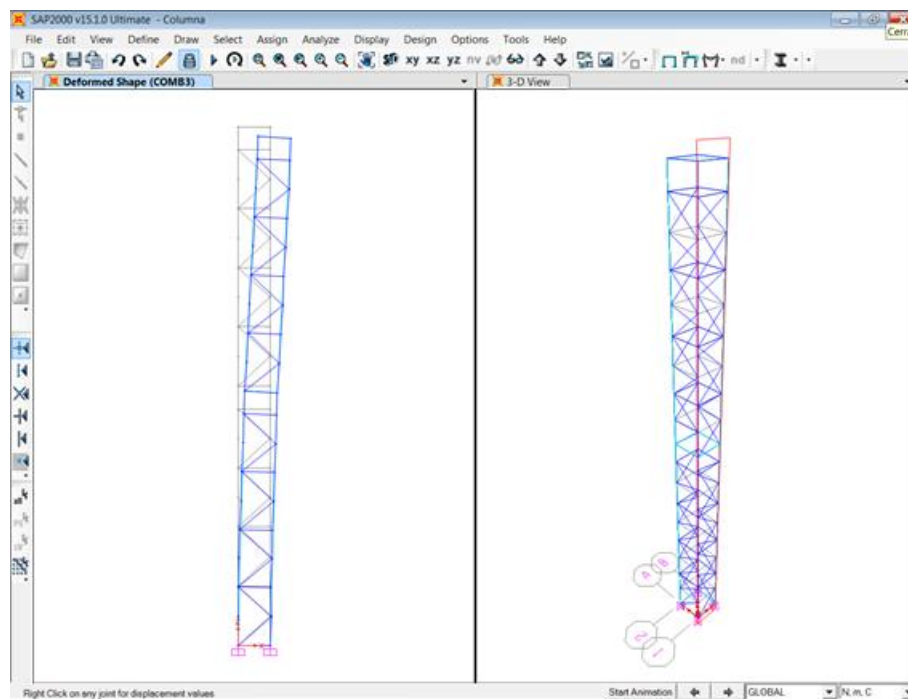


Figura 87: Exemple de resultat retornat pel programa en cas d'estudi deformació de l'estructura.

Per veure els esforços representats en diagrames de força, que experimenta el model en les diferents seccions i combinacions escollides, s'entra dins el programa la comanda: 'Display > Show Forces/Stresses' i s'escull l'opció 'Joints' o bé 'Frames/Cables/Tendons', en funció del que ens interressi veure. En la Figura 88 es pot veure la pantalla de selecció del cas i del tipus de diagrames de força que vols que et mostri el programa.

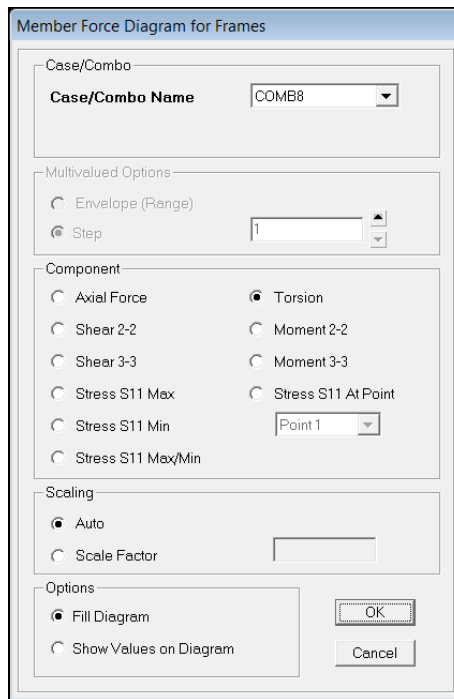


Figura 88: Pantalla de selecció diagrames de força de l'estructura.

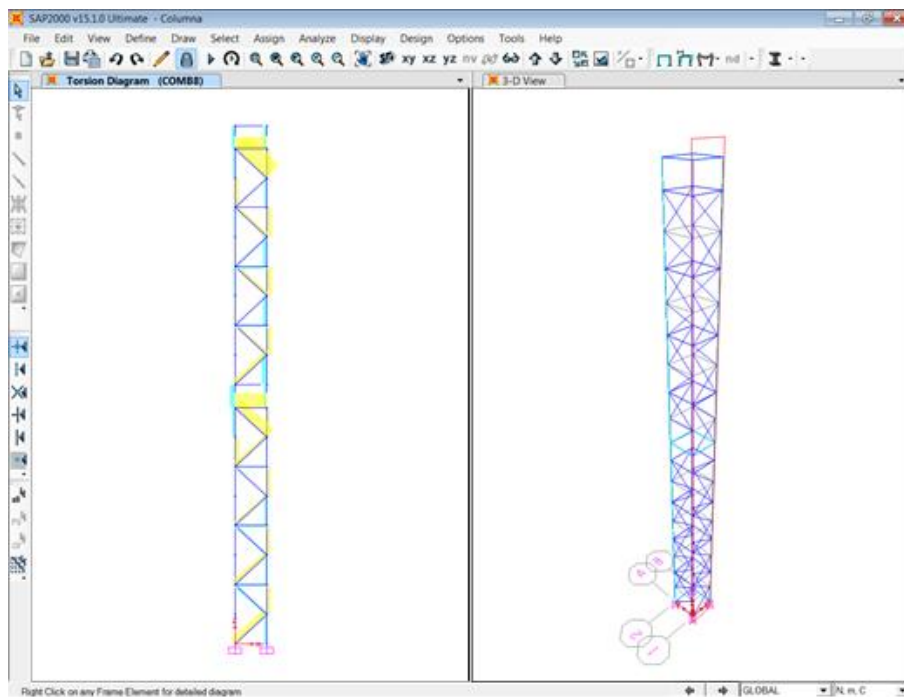


Figura 89: Exemple de resultat retornat pel programa en cas d'estudi d'esforços de l'estructura.

Una manera més ràpida d'assegurar-nos que l'estructura és capaç de suportar totes les càrregues a les que està sotmesa, és que un cop s'ha realitzat el primer anàlisi general, fer que el programa realitzi un anàlisi de verificació de l'estructura, això s'aconsegueix entrant la comanda: 'Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure'.

El programa ens retornarà una imatge com la de la Figura 90, on se'ns presenta el model de l'estructura amb les barres dels perfils d'acer pintades en diferents colors segons el coeficient de seguretat en el que treballen, el qual es podrà buscar el seu valor en la llegenda adjunta.

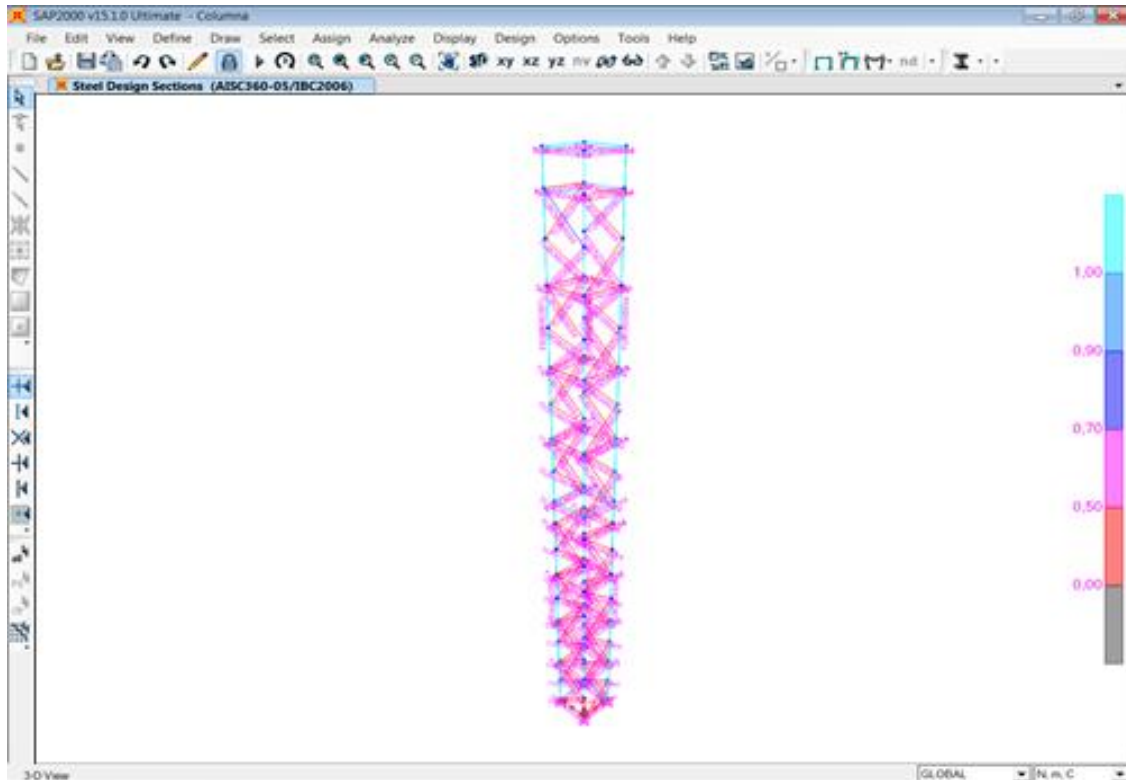


Figura 90: Exemple de resultat retornat pel programa en un anàlisi d'estructura.

Com que els resultats retornats són poc precisos i com en el cas de la nostra estructura, quan hi han molts perfils es fa molt difícil d'identificar que cadascun d'ells suportin tots els esforços als que estan sotmesos, es pot fer que el programa directament t'indiqui quines són les barres que fallen i el motiu per el qual ho fan, en cas que n'hi hagi alguna.

S'entra la comanda 'Design > Steel Frame Design > Display Design Info' la qual ens obrirà una pantalla com la que es veu en la Figura 91, seleccionem dins la llista de 'Design Output' l'opció 'Identify All Failures' el qual retornarà una imatge com la que es veu en la Figura 92.

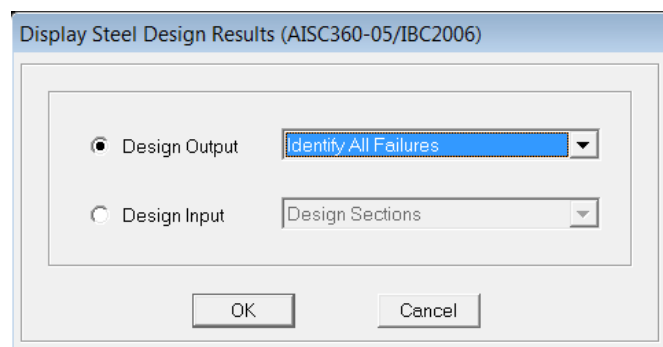


Figura 91: Pantalla de selecció dades a mostrar de l'anàlisi de l'estructura.

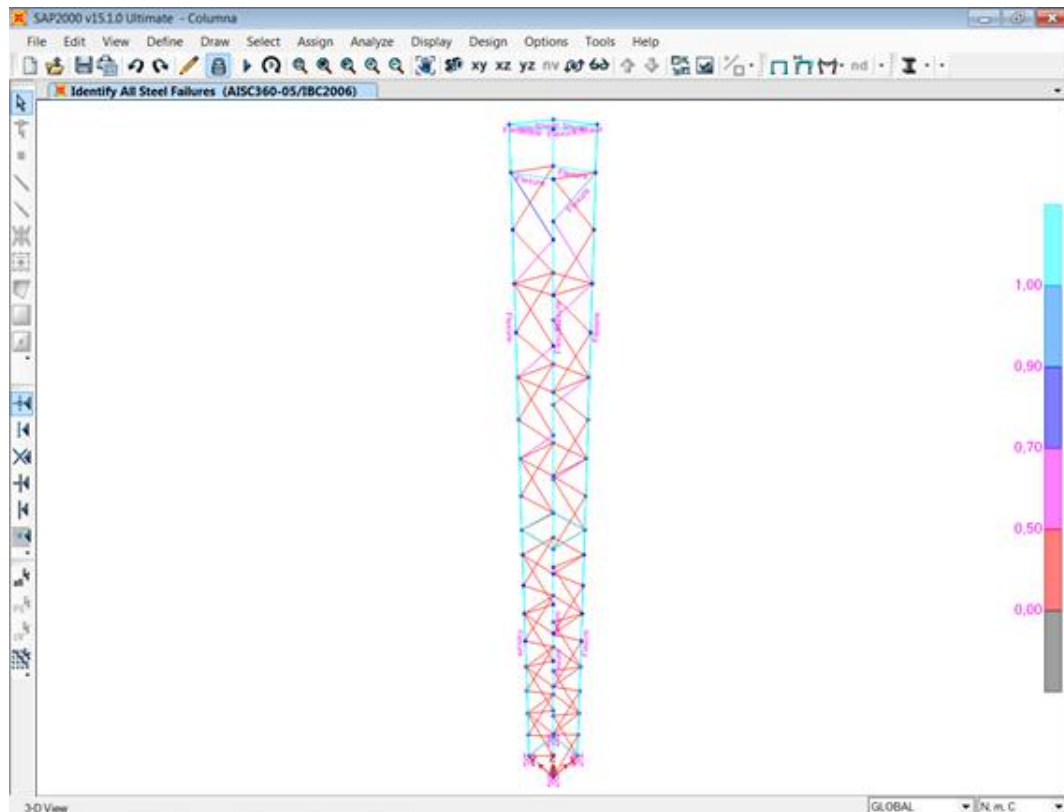


Figura 92: Exemple de resultat retornat pel programa en un informe d'identificació de falles.

Un cop realitzat l'anàlisi de verificació de l'estructura es poden obtenir de forma detallada les forces que actuen sobre un element seleccionant-lo amb el clic dret del ratolí. Si ho fem se'ns mostrarà una pantalla com la de la Figura 93, on per defecte el cas seleccionat és el més desfavorable. Per obtenir els valors numèrics caldrà clicar en el botó "Details", si ho fem el programa ens retornarà una pantalla amb valors com els mostrats en la Figura 94.

Steel Stress Check Information (AISC360-05/IBC2006)

Frame ID: 18 Analysis Section: TUBO100X100X16
 Design: AISC360-05/IBC2006 Design Section: TUBO100X100X16

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT INTERACTION CHECK-----	-MAJ-SHR-	MIN-SHR-
		RATIO = AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
ELU	0,00	0,039 (T) = 0,020 + 0,010 + 0,009	0,002	0,000
ELU	0,92	0,030 (T) = 0,020 + 0,004 + 0,006	0,002	0,000
ELU	0,92	0,029 (T) = 0,018 + 0,005 + 0,006	0,001	0,000
ELU	1,84	0,028 (T) = 0,019 + 0,004 + 0,005	0,001	0,000
ELU	1,84	0,027 (T) = 0,017 + 0,004 + 0,005	0,001	0,000
ELU	2,75	0,025 (T) = 0,018 + 0,004 + 0,004	0,001	0,000

☒ Strength
 ☐ Deflection

Stylesheet: Default

Figura 93: Pantalla d'informació de la comprovació de tensions de l'acer.

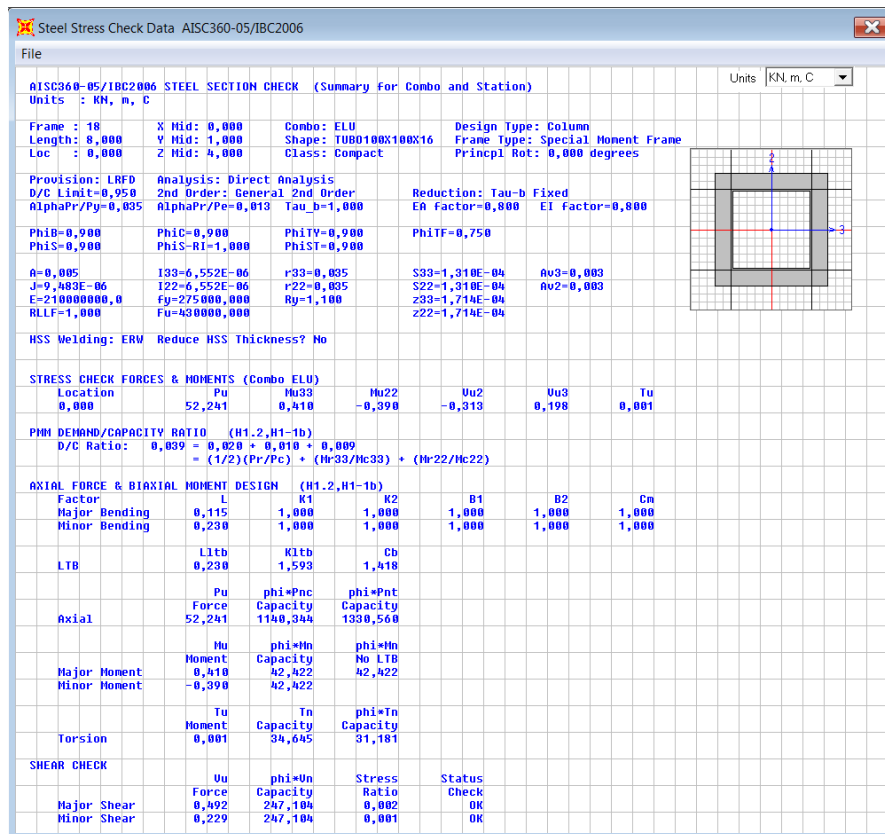


Figura 94: Pantalla amb les dades de les tensions de l'acer.

Un altre mètode per comprovar si hi ha elements que fallen en la nostra estructura, és a partir de la comanda: 'Design > Steel Frame Design > Verify All Members Passed', el programa ens indicarà si hi ha alguna barra d'acer en que es superi la seva capacitat de càrrega, i que per tant no seria adequada per la nostra estructura.

En el cas que hi hagin perfils que fallen, es canviaran per altres perfils més reforçats, ja sigui un perfil de dimensions més grans, amb més gruix o de forma diferent, i es tornaran a realitzar els 2 anàlisis tants cops com faci falta fins que no es detectin elements que fallen.

Finalment un cop tenim assegurat que no es produiran falles en la nostra estructura, només ens queda recollir els valors calculats pel programa per fer-ne un anàlisi. Per tal de fer aquest procés més senzill, el SAP 2000 permet l'opció d'extreure tots el valors calculats en forma de taules. Per crear les taules es segueix la ruta següent: 'Display > Show Tables'. A la pantalla mostrada en la Figura 95, s'escullen les característiques que vols que es mostrin en la taula que es vol crear. Aquestes taules es poden exportar a una fulla de càlcul de Microsoft Excel, on se'ns permetrà representar els valors de forma més ordenada i precisa. Per exportar la taula en format Excel, es segueix la ruta: 'File > Export All Tables > To Excel'.

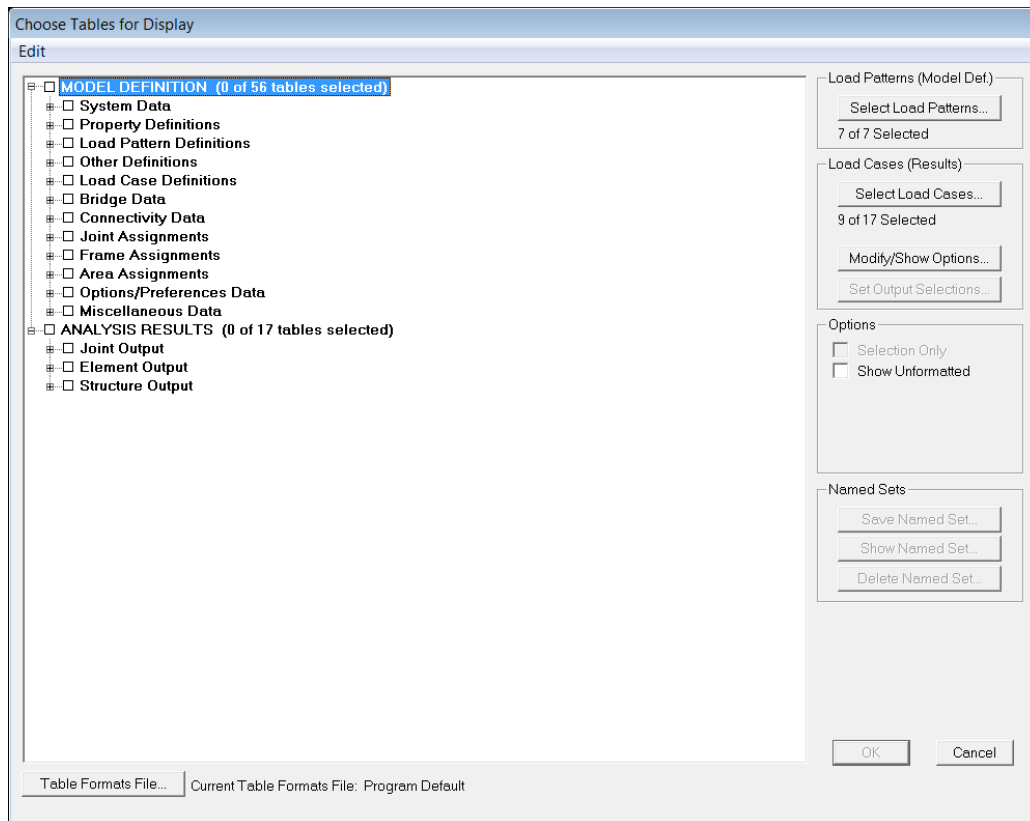


Figura 95: Pantalla de selecció de les taules que es volen crear.

Assembled Joint Masses

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Assembled Joint Masses

	Joint Text	U1 Kg	U2 Kg	U3 Kg	R1 N-m-s2	R2 N-m-s2	R3 N-m-s2
1		172.03	172.03	172.03	0	0	0
2		172.03	172.03	172.03	0	0	0
3		331.47	331.47	331.47	0	0	0
4		331.47	331.47	331.47	0	0	0
5		16.03	16.03	16.03	0	0	0
6		23	23	23	0	0	0
7		15.91	15.91	15.91	0	0	0
8		22.94	22.94	22.94	0	0	0
9		15.91	15.91	15.91	0	0	0
10		22.94	22.94	22.94	0	0	0
11		15.91	15.91	15.91	0	0	0
12		17.45	17.45	17.45	0	0	0
13		17.45	17.45	17.45	0	0	0
14		22.94	22.94	22.94	0	0	0
15		22.94	22.94	22.94	0	0	0
16		23	23	23	0	0	0
17		172.03	172.03	172.03	0	0	0
18		331.47	331.47	331.47	0	0	0
23		17.45	17.45	17.45	0	0	0
24		22.94	22.94	22.94	0	0	0
25		22.94	22.94	22.94	0	0	0
26		23	23	23	0	0	0

Record: 1 of 76

Add Tables... Done

Figura 96: Exemple taula creada pel SAP2000

ANNEX G ESTUDI DELS VALORS ESTRUCTURALS OBTINGUTS

G.1 Model columna

G.1.1 Càlculs ELS (fletxa)

Per a la fletxa segons la normativa d'edificació, la fletxa màxima no pot superar 1/500 de l'altura de l'estructura, en aquest cas 32mm.

En el nostre cas la fletxa màxima es donarà en la part més elevada de la columna. Podem veure el valor de la fletxa màxima en la Figura 97.

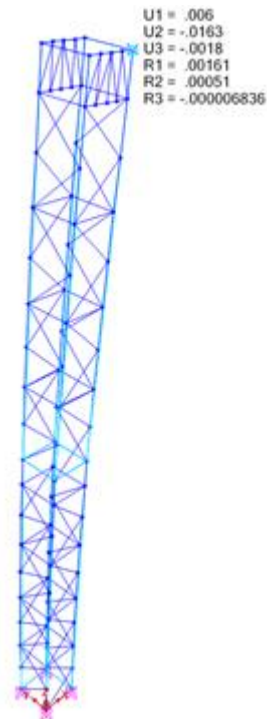


Figura 97: Columna deformada amb els valors de fletxa màxima.

L'estructura de la columna presenta una fletxa màxima de 16,3mm, inferior a l'admissible establerta per norma.

$$16,3 < 32 \text{ mm}$$

Per tant complim la condició de fletxa i tenim l'estructura interna ben dimensionada per aquest apartat.

- **Vibracions**

Del tema de vibracions tan sols es comprovarà que la freqüència pròpia de l'estructura estigui suficientment allunyada de la de funcionament per tal que no es donin fenòmens de ressonància. El valor que s'obté de fer un anàlisi modal és un període de 0,26651 segons o bé el seu equivalent en freqüència de 3,75227 Hz.

Sabent que la freqüència en que es produeixen les forces en la nostra estructura és de 15 Hz, es considera que les dues freqüències estan lo suficientment allunyades entre elles per tal que no es produeixi ressonància.

L'estructura compleix amb les condicions de vibració.

G.1.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)

Primer de tot mirarem les reaccions que obtenim en els suports. Aquestes reaccions ens serviran per saber les forces a aplicar en el càlcul de fonamentació.

Aquestes reaccions es poden veure de manera no gaire clara en la Figura 98. Per tal de tenir clars els valors obtinguts aquests es mostraran correctament ordenats en la Taula 21. Els nusos de l'estructura s'han numerat en funció de l'orde en que apareixen mostrats en la imatge d'esquerra a dreta.

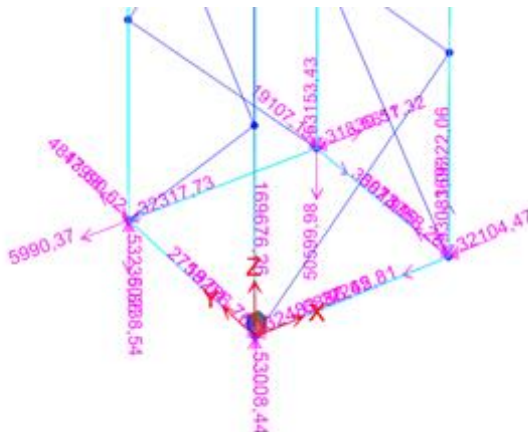


Figura 98: Pantalla amb les reaccions en la base de la columna.

	Nus 1	Nus 2	Nus 3	Nus 4
Fx (N)	-5.990,37	9.580,08	8.319,86	-7.265,81
Fy (N)	4.843,68	-2.970,58	-4.201,96	6.073,96
Fz (N)	-50.238,54	169.676,26	-50.599,98	169.322,06
Mx (Nm)	-32.317,73	-32.483,37	-31.830,51	-32.104,47
My (Nm)	19.315,43	-19.226,76	-19.107,13	-18.758,28
Mz (Nm)	53.236,86	53.008,44	-53.153,43	-53.083,06

Taula 21: Taula amb els valors de les reaccions en la base de la columna.

Per tal de comprovar el bon dimensionament de l'estructura hauríem de comprovar la resta dels esforços que actuen sobre l'estructura: esforços axials, esforços tallants i els moments flectors i torçors. Al igual que abans degut a que és molt confús presentar el conjunt de les dades en forma d'imatge, i també tenim molts elements barres a comprovar, farem el procés de verificació amb el programa de càlcul, tal i com s'ha explicat en l'apartat F.3 Anàlisi del model que es troba en l'annex anterior a aquest.

En aquest apartat es mostraran únicament els valors de les tensions de l'acer a que estan sotmeses les barres que han presentat més problemes alhora del dimensionament. Aquestes barres són: Les barres verticals que treballen a compressió de la peça "Base superior" les quals fallaven a flexió, i les barres horitzontals en la part superior de la peça "Base superior" on s'ha tingut que afegir la zona de reforç ja que fallaven per tallant.

Els valors de les tensions que suporten aquestes barres es poden veure en la Figura 99 per la barra vertical, i en la Figura 100 per la barra horitzontal.

Steel Stress Check Data AISC360-05/IBC2006

File

Units : KN, mm, C

STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Frame : 92 X Mid: 0,000 Combo: ELU Design Type: Column
Length: 8000,000 Y Mid: 0,000 Shape: TUB0100X100X16 Frame Type: Special Moment Frame
Loc : 7300,000 Z Mid: 12000,000 Class: Compact Princpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis Reduction: Tau-b Fixed
D/C Limit=0,950 2nd Order: General 2nd Order EA Factor=0,800 EI Factor=0,800
AlphaPr/Py=0,103 AlphaPr/Pe=0,038 Tau_b=1,000

PhiD=0,900 PhiC=0,900 PhiTV=0,900 PhiTF=0,750
PhiS=0,900 PhiS-R1=1,000 PhiST=0,900

A=5376,000 I33=6552000,000 r33=34,911 S33=131040,000 Av3=3200,000
J=9480000,000 I22=6552000,000 r22=34,911 S22=131040,000 Av2=3200,000
E=210,000 Fy=0,275 Ry=1,100 z33=171400,000
RLLF=1,000 Fu=0,430 z22=171400,000

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo ELU)

Location	Pu	Hu33	Hu22	Uu2	Uu3	Tu
7300,000	-151,929	471,708	654,169	-0,155	-0,868	17,384

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,093 = 0,067 + 0,011 + 0,015
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cn
Major Bending	0,230	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Bending	0,115	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

L1tb 0,115 K1tb 1,487 K2tb 1,750

Phi*Pnc Capacity Capacity
Axial Force -151,929 1140,344 1330,560

Phi*Mn Capacity No LTB
Major Moment 471,708 42421,500 42421,500
Minor Moment 654,169 42421,500

Tu Moment Capacity phi*Tn Capacity
Torsion 17,384 34645,023 31180,521

SHEAR CHECK

Major Shear	Uu	Phi*Un	Stress	Status
Force	0,552	247,104	0,002	Check
Minor Shear	1,059	247,104	0,004	OK

Figura 99: Dades de les tensions de l'acer de la barra vertical.

Steel Stress Check Data AISC360-05/IBC2006

File

Units : KN, m, C

STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Frame : 93 X Mid: 0,500 Combo: ELU Design Type: Beam
Length: 1,000 Y Mid: 0,000 Shape: TUB080X80X8 Frame Type: Special Moment Frame
Loc : 0,250 Z Mid: 16,000 Class: Compact Princpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis Reduction: Tau-b Fixed
D/C Limit=0,950 2nd Order: General 2nd Order EA Factor=0,800 EI Factor=0,800
AlphaPr/Py=0,021 AlphaPr/Pe=0,003 Tau_b=1,000

PhiD=0,900 PhiC=0,900 PhiTV=0,900 PhiTF=0,750
PhiS=0,900 PhiS-R1=1,000 PhiST=0,900

A=0,002 I33=2,015E-06 r33=0,030 S33=5,038E-05 Av3=0,001
J=2,986E-06 I22=2,015E-06 r22=0,030 S22=5,038E-05 Av2=0,001
E=210000000,0 Fy=275000,000 Ry=1,100 z33=6,246E-05
RLLF=1,000 Fu=430000,000 z22=6,246E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo ELU)

Location	Pu	Hu33	Hu22	Uu2	Uu3	Tu
0,250	-13,441	-1,532	-0,005	-28,473	0,053	0,002

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,112 = 0,013 + 0,099 + 0,000
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cn
Major Bending	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Bending	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

L1tb 1,000 K1tb 1,000 K2tb 1,473

Phi*Pnc Capacity Capacity
Axial Force -13,441 535,156 570,240

Phi*Mn Capacity No LTB
Major Moment -1,532 15,459 15,459
Minor Moment -0,005 15,459

Tu Moment Capacity phi*Tn Capacity
Torsion 0,002 13,359 12,023

SHEAR CHECK

Major Shear	Uu	Phi*Un	Stress	Status
Force	28,473	133,056	0,214	Check
Minor Shear	0,054	133,056	0,000	OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (U2)	UMajor Left	UMajor Right
	22,593	22,746

Figura 100: Dades de les tensions de l'acer de la barra horitzontal.

G.2 Model braç horitzontal

G.2.1 Càlculs ELS (fletxa)

Per a la fletxa segons la normativa d'edificació, la fletxa màxima no pot superar $L/500$ de la llum de l'obertura, en aquest cas al tractar-se d'una estructura en voladís la llum correspondrà al doble de la longitud de l'estructura, així doncs el valor que no hem de superar serà de 48mm.

En el nostre cas la fletxa màxima es donarà en la part més allunyada del braç. Podem veure el valor de la fletxa màxima en la Figura 101.

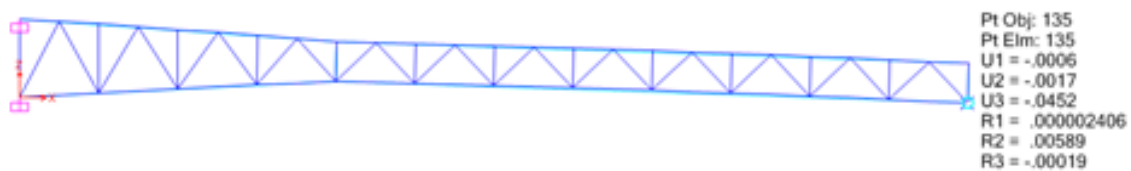


Figura 101: braç horitzontal deformat amb els valors de fletxa màxima.

L'estructura de la columna presenta una fletxa màxima de 45,2mm, inferior a l'admissible establerta per norma.

$$45,2 < 48 \text{ mm}$$

Per tant complim la condició de fletxa i tenim l'estructura interna ben dimensionada per aquest apartat.

- **Vibracions**

Del tema de vibracions tan sols es comprovarà que la freqüència pròpia de l'estructura estigui suficientment allunyada de la de funcionament per tal que no es donin fenòmens de ressonància. El valor que s'obté de fer un anàlisi modal és un període de 0,18599 segons o bé el seu equivalent en freqüència de 5,37657 Hz.

Sabent que la freqüència en que es produeixen les forces en la nostra estructura és de 15 Hz, es considera que les dues freqüències estan lo suficientment allunyades entre elles per tal que no es produeixi ressonància.

L'estructura compleix amb les condicions de vibració.

G.2.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)

Primer de tot mirarem les reaccions que es donen en els encastaments del braç per tal de veure les forces que hauran de suportar els elements que el mantinguin unit amb l'estructura.

Al igual que en el cas de la columna, els valors presentats de forma gràfica sobre el model són de molt mal veure, per tant es recolliran en una taula.

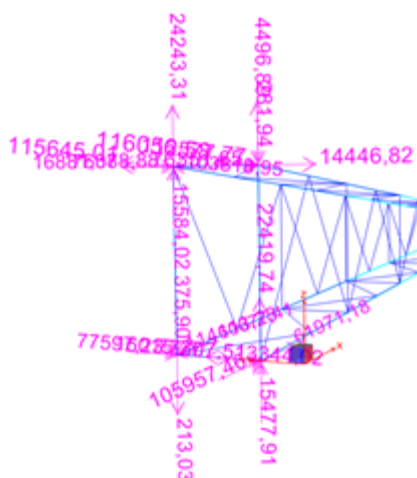


Figura 102: Pantalla amb les reaccions en la base del braç en posició horitzontal.

Els nusos s'han numerat basant-se en l'ordre de lectura d'un text, numerant d'esquerra a dreta i de dalt a baix.

	Nus 1	Nus 2	Nus 3	Nus 4
Fx (N)	-115.645,00	-116.056,60	60.677,41	61.971,18
Fy (N)	16.881,38	-14.446,82	-13.344,02	16.015,77
Fz (N)	24.243,31	4.496,89	-213,031	22.419,74
Mx (Nm)	-103.819,00	112.577,77	-114.113,30	105.957,46
My (Nm)	-76.078,90	-76.351,70	-77.597,20	-77.307,50
Mz (Nm)	15.584,02	-281,94	-375,90	15.477,91

Taula 22: Taula amb els valors de les reaccions en la base del braç en posició horitzontal.

Pel que fa a les comprovacions de la resta dels esforços que actuen sobre l'estructura: esforços axials, esforços tallants i els moments flectors i torçors, s'optarà pel mateix mètode utilitzat en el model columna, es farà el procés de verificació amb el programa de càlcul.

Com que aquesta vegada no hi ha hagut cap barra que presentés problemes a l'hora de fer les comprovacions, s'optarà per mostrar els valors de les tensions de l'acer que afecten a cada posició de muntatge de barra diferent.

Les dades que es mostraran corresponen a una de les barres verticals, a una de les barres horitzontals, i a una de les barres diagonals.

Els valors de les tensions que suporten aquestes barres es poden veure en la Figura 103 per la barra vertical, en la Figura 104 per la barra horitzontal, i en la Figura 105 per la barra diagonal.

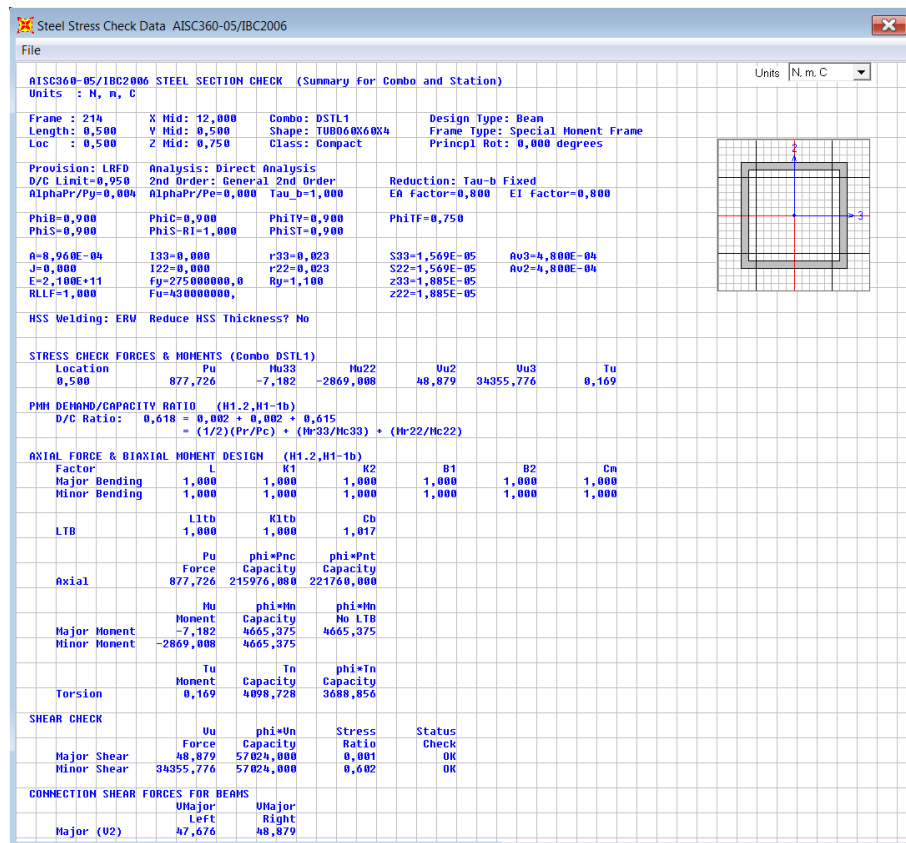


Figura 103: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres horitzontals.

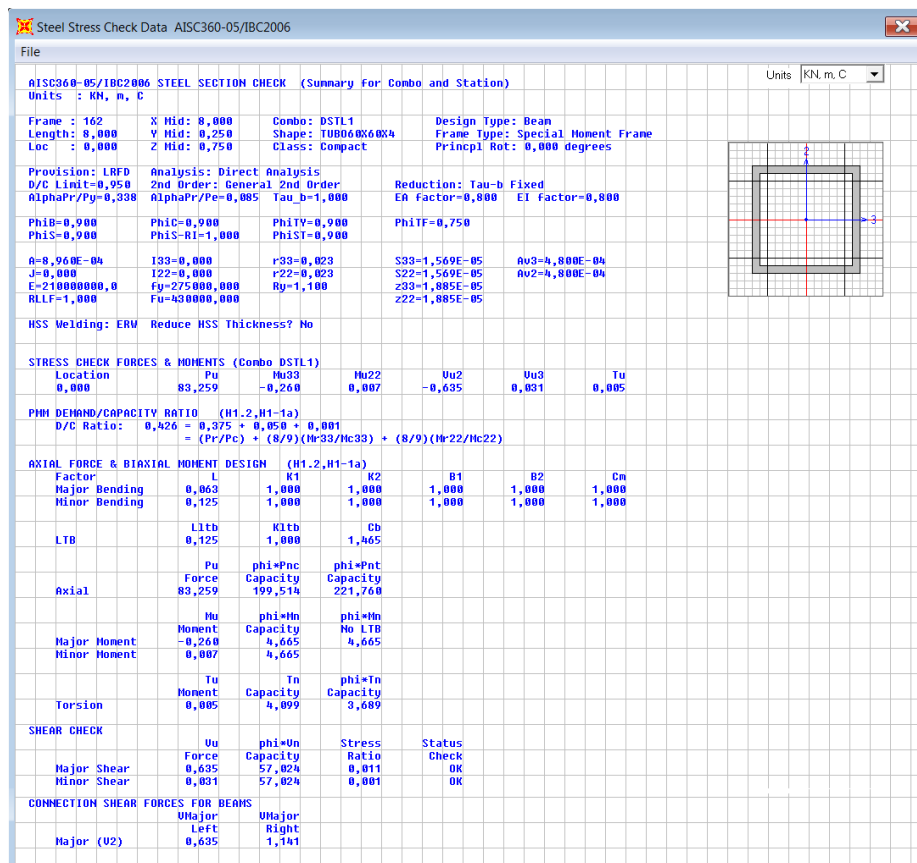


Figura 104: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres verticals.

Steel Stress Check Data AISI360-05/IBC2006

File

AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary For Combo and Station)

Units | KN, m, C

Frame : 187
Length: 0,707
Loc : 0,707

X Mid: 11,750
Y Mid: 0,250
Z Mid: 0,500

Combo: DSTL1
Shape: TUB060X60X4
Class: Compact

Design Type: Brace
Frame Type: Special Moment Frame
Prinpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD
D/C Limit: 0,950
AlphaPr/Py=0,831

Analysis: Direct Analysis
2nd Order: General 2nd Order
AlphaPr/Pe=0,004
Tau_b=1,000

Reduction: Tau-b Fixed
EA Factor=0,800
EI Factor=0,800

PhiB=0,900
PhiS=0,900

PhiC=0,900
PhiS-R1=1,000

PhiTV=0,900
PhiST=0,900

PhiTF=0,750

A=8,960E-04
J=0,000
E=210000000,0
RLLF=1,000

I33=0,000
I22=0,000
Iy=275000,000
Fu=430000,000

r33=0,023
r22=0,023
Ry=1,100

S33=1,569E-05
S22=1,569E-05
Z33=1,885E-05
Z22=1,885E-05

Av3=4,800E-04
Av2=4,800E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTL1)

Location
0,707

Pu
-7,679

Mu33
0,383

Mu22
-0,003

Uu2
-0,677

Uu3
-9,788E-04

Tu
-2,571E-04

PMN DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,101 = 0,010 + 0,002 + 0,000
= (1/2)(Pr/Pe) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor

L

K1

K2

B1

B2

Cn

Major Bending

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

Minor Bending

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

0,932

LTB

Ltb
1,000

Kltb
1,000

Cb
2,097

Axial

Pu
-7,679

phi*Pnc
Capacity
210,343

phi*Pnt
Capacity
221,760

Major Moment

Mu
0,383

phi*Mn
Capacity
4,665

phi*Mn
No LTB
4,665

Minor Moment

-0,003

4,665

Torsion

Tu
-2,571E-04

phi*Tn
Capacity
4,099

phi*Tn
Capacity
3,689

SHEAR CHECK

Major Shear

Minor Shear

Uu
Force
0,677

phi*Un
Capacity
57,024

Stress
Ratio
0,012

Status
Check
OK

9,788E-04

57,024

1,717E-05

OK

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

Axial

P
Comp
N/C

P
Tens
-7,679

Figura 105: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres diagonals.

G.3 Model braç vertical

G.3.1 Càlculs ELS (fletxa)

Per a la fletxa segons la normativa d'edificació, la fletxa màxima no pot superar $L/500$ de la llum de l'obertura, en aquest cas al tractar-se d'una estructura en voladís la llum correspondrà al doble de la longitud de l'estructura, així doncs el valor que no hem de superar serà de 48mm.

En el nostre cas la fletxa màxima es donarà en la part més elevada de la columna. Podem veure el valor de la fletxa màxima en la Figura 106.

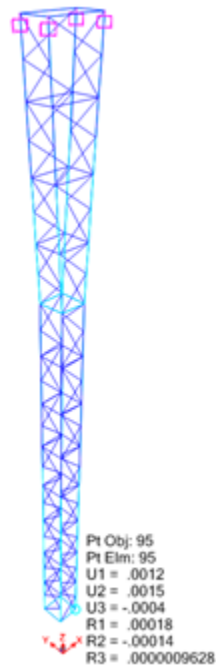


Figura 106: Braç vertical deformat amb els valors de fletxa màxima.

L'estructura de la columna presenta una fletxa màxima de 1,5mm, inferior a l'admissible establerta per norma.

$$1,5 < 48 \text{ mm}$$

Per tant complim la condició de fletxa i tenim l'estructura interna ben dimensionada per aquest apartat.

- **Vibracions**

Del tema de vibracions tan sols es comprovarà que la freqüència pròpia de l'estructura estigui suficientment allunyada de la de funcionament per tal que no es donin fenòmens de ressonància. El valor que s'obté de fer un anàlisi modal és un període de 0,22918 segons o bé el seu equivalent en freqüència de 4,36345 Hz.

Sabent que la freqüència en que es produeixen les forces en la nostra estructura és de 15 Hz, es considera que les dues freqüències estan lo suficientment allunyades entre elles per tal que no es produeixi ressonància.

L'estructura compleix amb les condicions de vibració.

G.3.2 Càlcul ELU (resistència i vinclament)

Primer de tot mirarem les reaccions que es donen en els encastaments del braç per tal de veure les forces que hauran de suportar els elements que el mantinguin unit amb l'estructura.

Al igual que en el cas de la columna, els valors presentats de forma gràfica sobre el model són de molt mal veure, per tant es recolliran en una taula.



Figura 107: Pantalla amb les reaccions en la base del braç en posició vertical.

Els nusos s'han numerat d'esquerra a dreta.

	Nus 1	Nus 2	Nus 3	Nus 4
Fx (N)	-3.210,03	-3.878,53	3.878,53	3.210,03
Fy (N)	783,88	-734,31	734,31	-783,88
Fz (N)	41.009,30	37.383,84	37.383,84	41.009,30
Mx (Nm)	-1.152,79	-104,95	104,95	1.152,79
My (Nm)	-79,76	-930,53	930,53	79,76
Mz (Nm)	324,73	-132,82	-132,82	324,73

Taula 23: Taula amb els valors de les reaccions en la base del braç en posició vertical.

Pel que fa a les comprovacions de la resta dels esforços que actuen sobre l'estructura: esforços axials, esforços tallants i els moments flectors i torçors, s'optarà pel mateix mètode utilitzat en el model columna, es farà el procés de verificació amb el programa de càlcul.

Les dades que es mostraran corresponen a una de les barres verticals, a una de les barres horitzontals, i a una de les barres diagonals. Les barres seleccionades són les mateixes barres que s'han seleccionat i mostrat els seus resultats per el model del braç horitzontal.

Els valors de les tensions que suporten aquestes barres es poden veure en la Figura 108 per la barra vertical, en la Figura 109 per la barra horitzontal, i en la Figura 110 per la barra diagonal.

Steel Stress Check Data AISI360-05/IBC2006

File

Units KN, m, C

AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary For Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 178
Length: 8,000
Loc : 0,000

X Mid: 0,250
Y Mid: 0,750
Z Mid: 4,000

Combo: ELU
Shape: TUB060X60X4
Class: Compact

Design Type: Column
Frame Type: Special Moment Frame
Prinpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD
D/C Limit=0,950
AlphaPr/Py=0,157

Analysis: Direct Analysis
2nd Order: General 2nd Order
AlphaPr/Pe=0,040

Tau_b=1,000

Reduction: Tau-b Fixed
EA Factor=0,800
EI Factor=0,800

PhiB=0,900
PhiS=0,900

PhiC=0,900
PhiS-R1=1,000

PhiTV=0,900
PhiST=0,900

PhiTF=0,750

A=8,960E-04
J=0,000
E=210000000,0
RLLF=1,000

I33=0,000
I22=0,000
Fy=275000,000
Fu=430000,000

r33=0,023
r22=0,023
Ry=1,100

S33=1,569E-05
S22=1,569E-05
Z33=1,885E-05
Z22=1,885E-05

Au3=4,800E-04
Au2=4,800E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo ELU)

Location
0,000

Pu
38,618

Mu33
0,247

Mu22
-0,044

Uu2
0,673

Uu3
-0,004

Tu
9,940E-04

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,149 = 0,087 + 0,053 + 0,009
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor

L

K1

K2

B1

B2

Cn

Major Bending
0,063

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

Minor Bending
0,125

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

LTB

Ltb
0,125

Kltb
1,041

Cb
1,934

Axial

Pu
Force
38,618

phi*Pnc
Capacity
199,514

phi*Pnt
Capacity
221,760

Major Moment

Mu
Moment
0,247

phi*Mn
Capacity
4,665

phi*Mn
No LTB
4,665

Minor Moment

-0,044

4,665

Torsion

Tu
Moment
9,940E-04

Tn
Capacity
4,099

phi*Tn
Capacity
3,689

SHEAR CHECK

Major Shear

Minor Shear

Uu
Force
0,910

0,119

phi*Un
Capacity
57,024

57,024

Stress
Ratio
0,016

0,002

Status
Check
OK

OK

Figura 108: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres verticals.

Steel Stress Check Data AISI360-05/IBC2006

File

AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary For Combo and Station)

Units : KN, m, C

Units : KN, m, C

Frame : 93
Length: 0,500
Loc : 0,000

X Mid: 0,500
Y Mid: 0,250
Z Mid: 0,000

Combo: ELU
Shape: TUB060X60X4
Class: Compact

Design Type: Beam
Frame Type: Special Moment Frame
Prinpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD
D/C Limit=0,950
AlphaPr/Py=0,002

Analysis: Direct Analysis
2nd Order: General 2nd Order
AlphaPr/Pe=0,000
Tau_b=1,000

Reduction: Tau-b Fixed
EA Factor=0,800
EI Factor=0,800

PhiB=0,900
PhiS=0,900

PhiC=0,900
PhiS-R1=1,000

PhiTV=0,900
PhiST=0,900

PhiTF=0,750

A=8,960E-04
J=0,000
E=210000000,0
RLLF=1,000

I33=0,000
I22=0,000
Fy=275000,000
Fu=430000,000

r33=0,023
r22=0,023
Ry=1,100

S33=1,569E-05
S22=1,569E-05
Z33=1,885E-05
Z22=1,885E-05

Au3=4,800E-04
Au2=4,800E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo ELU)

Location
0,000

Pu
-0,518

Mu33
-0,126

Mu22
-3,248E-04

Uu2
-0,509

Uu3
-3,189E-05

Tu
1,163E-05

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,028 = 0,001 + 0,027 + 0,000
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor

L

K1

K2

B1

B2

Cn

Major Bending
Minor Bending

1,000
1,000

1,000
1,000

1,000
1,000

1,000
1,000

1,000
1,000

0,606
0,980

Ltb

Ltb

Kltb

Cb

1,000
1,000

1,000
1,000

1,649

Axial

Pu
Force
-0,518

phi*Pnc
Capacity
215,976

phi*Pnt
Capacity
221,760

Major Moment
Minor Moment

Mu
Moment
-0,126
-3,248E-04

phi*Mn
Capacity
4,665
4,665

phi*Mn
No LTB
4,665

Torsion

Tu
Moment
1,163E-05

Tn
Capacity
4,099

phi*Tn
Capacity
3,689

SHEAR CHECK

Major Shear
Minor Shear

Uu
Force
0,509
1,138E-04

phi*Un
Capacity
57,024
57,024

Stress
Ratio
0,009
1,996E-06

Status
Check
OK
OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (U2)

UuMajor
Left
0,509

UuMajor
Right
0,462

Figura 109: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres horitzontals.

Steel Stress Check Data AISC360-05/IBC2006

File

AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary For Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 265
Length: 0,707
Loc : 0,000

X Mid: 0,250
Y Mid: 0,500
Z Mid: 0,250

Combo: ELU
Shape: TUB060X60X4
Class: Compact

Design Type: Brace
Frame Type: Special Moment Frame
Prinpl Rot: 0,000 degrees

Provision: LRFD
D/C Limit: 0,950
AlphaPr/Py=0,004

Analysis: Direct Analysis
2nd Order: General 2nd Order
AlphaPr/Pe=0,001
Tau_b=1,000

Reduction: Tau-b Fixed
EA Factor=0,800
EI Factor=0,800

PhiB=0,900
PhiS=0,900

PhiC=0,900
PhiS-RI=1,000

PhiTV=0,900
PhiST=0,900

PhiTF=0,750

A=8,960E-04
J=0,000
E=210000000,0
RLLF=1,000

I33=0,000
I22=0,000
Iy=275000,000
Fu=430000,000

r33=0,023
r22=0,023
Ry=1,100

S33=1,569E-05
S22=1,569E-05
Z33=1,885E-05
Z22=1,885E-05

Av3=4,800E-04
Av2=4,800E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo ELU)

Location
0,000

Pu
1,092

Mu33
0,161

Mu22
-0,029

Uu2
0,292

Uu3
-0,002

Tu
-6,633E-04

PMN DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2.H1-1b)

D/C Ratio: 0,043 = 0,002 + 0,035 + 0,006
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2.H1-1b)

Factor

L

K1

K2

B1

B2

Cn

Major Bending

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

Minor Bending

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

1,000

LTB

Lltb
1,000

Kltb
1,000

Cb
2,236

Axial

Pu
Force
1,092

phi*Pnc
Capacity
210,343

phi*Pnt
Capacity
221,760

Major Moment

Mu
Moment
0,161

phi*Mn
Capacity
4,665

phi*Mn
No LTB
4,665

Minor Moment

-0,029

4,665

Torsion

Tu
Moment
-6,633E-04

Tn
Capacity
4,099

phi*Tn
Capacity
3,689

SHEAR CHECK

Major Shear

Uu
Force
0,383

phi*Un
Capacity
57,024

Stress
Ratio
0,007

Status
Check
OK

Minor Shear

0,039

57,024

0,001

OK

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

Axial

P
Comp
1,092

P
Tens
N/C

Figura 110: Dades de les tensions de l'acer d'una de les barres diagonals.

ANNEX H CÀLCUL FONAMENTACIÓ

La fonamentació constitueix l'element intermedi que permet transmetre les càrregues que suporta l'estructura metàl·lica cap a el terreny, de forma que no es superi la capacitat portant del terreny i que les deformacions produïdes en aquest siguin admissibles per l'estructura. Per tal de realitzar una correcta fonamentació s'hauran de tenir en compte les característiques geotècniques del terreny a més de dimensionar el propi fonament com a element de formigó, de manera que sigui suficientment resistent.

3 criteris fonamentals que ha de complir una bona fonamentació són:

- El nivell de fonamentació haurà de tenir profunditat suficient per trobar-se lliure de perill de gelades, canvis de volum del sòl, capa freàtica.
- Ha de tenir unes dimensions tals que no superin la estabilitat o capacitat portant del terreny.
- No haurà de produir un assentament en el terreny que no sigui absorbible per l'estructura.

El tipus de fonamentació triada és tracta d'una fonamentació superficial basada en la construcció de una sabata aïllada. Estarà formada per formigó HA-25 i una armadura interna de barres corrugades d'acer BA 500 SD, la unió amb l'estructura metàl·lica es realitzarà mitjançant unió roscada a partir de barres d'ancoratge. A continuació s'explicarà el mètode seguit per dimensionar-la.

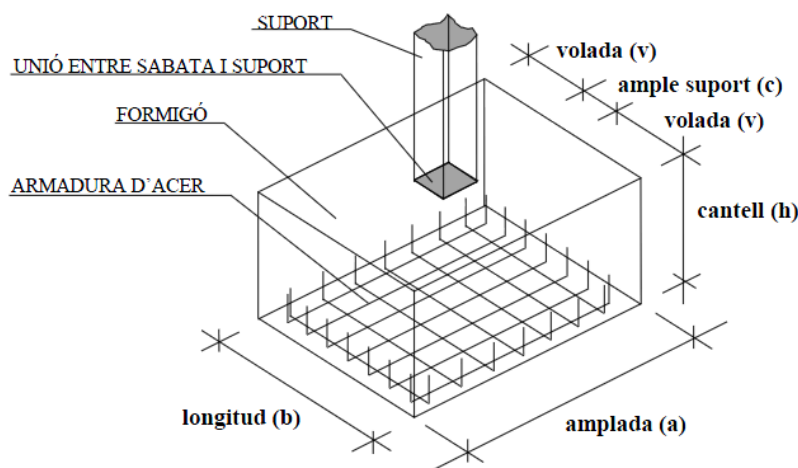


Figura 111: Esquema d'una sabata.

Primer de tot fa falta saber quins són els valors de les reaccions a la base de l'estructura que farà falta transmetre en el terreny. Els valors obtinguts i que es mostren en la Taula 24 s'han trobat sumant les reaccions donades en cada nus de la Taula 21 en l'apartat F.1.2, els quals s'havien obtingut a partir de les simulacions amb SAP2000 per els ELU.

	Forces que actuen sobre la base
Hx (N)	4.643,76
Hy (N)	3.745,1
N (N)	238.159,8
Mx (Nm)	128.736,08
My (Nm)	75.082,79
Mz (Nm)	0

Taula 24: Esforços a que està sotmesa la base de la columna.

S'ha de tenir en compte que el valor de les forces horitzontals i el del moment flector Y oscil·len al voltant de 0 durant el funcionament de l'atracció, per tant poden agafar valors tant positius com negatius. El sistema de referència que farem servir per anomenar les variables d'aquest apartat es mostren en la Figura 112.

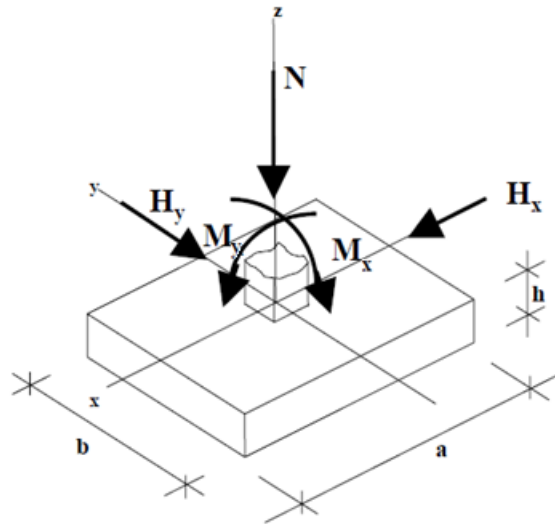


Figura 112: Esquema de les forces que actuen sobre la sabata.

H.1 Dimensionament de la sabata

Per tal de trobar els valors geomètrics adequats per dimensionar la nostra sabata, aquesta haurà de complir dues condicions: La condició de rigidesa, la qual es imposada per nosaltres i la condició de pressions sota sabata.

- **Restricció condició de rigidesa**

Ens interessa tenir una sabata rígida, és per aquest el motiu per el qual aquesta haurà de complir la condició de rigidesa, que queda descrita amb la següent relació:

$$volada (v) \leq 2 h \quad (Eq. 31)$$

El valor de la volada queda determinada per la relació geomètrica descrita en l'equació 32.

$$v = \frac{b - c}{2} \quad (Eq. 32)$$

Podem modificar la condició de rigidesa per tal de deixar-la en funció dels valors de longitud i amplada de la sabata unint les equacions 31 i 32.

$$b \leq 4h + c \quad (Eq. 33)$$

Sabent que l'ample suport (c) correspon a l'amplada de la peça "base inferior" la qual té un valor de 1 metre, i escollint que el cantell (h) que tindrà la sabata serà de 1 metre, obtindrem la restricció de que els valors d'amplada i de longitud han de ser inferiors a 5 metres.

- **Restricció pressions sota sabata**

Les pressions sota sabata són generades per les forces resultats de les accions de l'estructura sobre el terreny, aquesta restricció contempla que el valor màxim de tensió admissible que pot suportar el terreny no sigui superat per el valor de pressió que apareixerà sota la sabata.

Degut a que la nostra estructura haurà de suportar moments flectors(M) a més dels esforços axials(N), obtindrem excentricitats(e). Segons el valor de la proporció d'aquestes excentricitats amb les dimensions de la sabata s'obtindrà que la forma del diagrama de tensions sota sabata serà triangular o trapezoïdal.

Per tal de mantenir l'estabilitat de l'estructura la nostra sabata haurà de tenir diagrama trapezoïdal, ja que amb el diagrama triangular apareixen tensions negatives les quals no són assumibles per el terreny.

La condició que ens marca que el tipus de diagrama que es donarà sota sabata és trapezoïdal, és que les accions de l'estructura es trobin situades dins del nucli de la secció, el qual es pot veure pintat de color negre en l'esquema representat en la Figura 113.

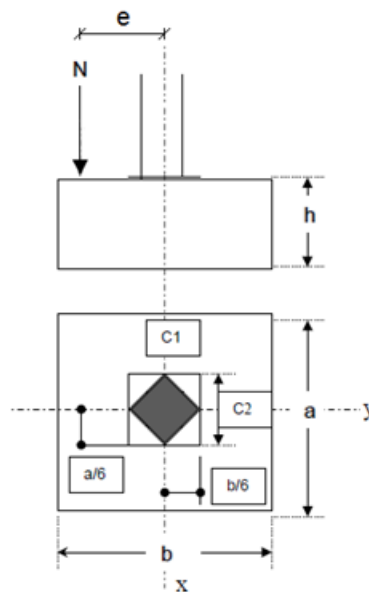


Figura 113: Esquema de localització del nucli de la secció d'una sabata.

Per tant el valor de la nostra excentricitat haurà de ser com a mínim sis vegades inferior a la longitud de cadascun dels costats.

$$e < \frac{b}{6} \quad (Eq. 34)$$

Sabent que els valors d'excentricitat segueixen la següent relació:

$$e = \frac{M}{N} \quad (Eq. 35)$$

A partir dels valors recollits en la Taula 24 i utilitzant l'equació 35 s'han trobat que els 2 valors d'excentricitat de la nostra sabata són de 0,54 en direcció a l'eix y i de 0,315 en direcció a l'eix x. Així doncs a partir dels valors trobats i modificant l'equació 34 podem trobar els valors geomètrics que haurà de tenir la sabata per tal de complir la restricció de pressions.

$$b \geq 6 \text{ e} \quad (\text{Eq.36})$$

Trobem que els valor de longitud(b) ha de ser major als 3,24 metres i el valor de amplada (a) ha de ser superior als 1,89 metres.

Un cop acotat el rang de valors de dimensions que pot pendre la sabata, haurem de calcular el valor de les tensions que es produeixen sota seu, que tal com hem dit seguirà el model de diagrama trapezoïdal.

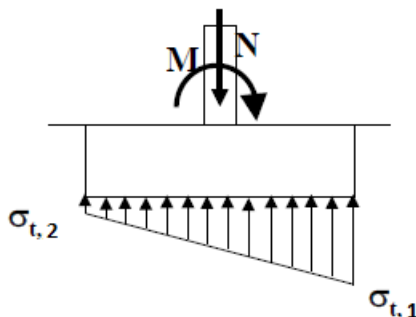


Figura 114: Esquema de diagrama trapezoïdal sota sabata.

El valor de les tensions que es donen sota sabata segueixen el següent model matemàtic:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N+P_s}{a \cdot b} \pm \frac{M_x \cdot 6}{a \cdot b^2} \quad (\text{Eq. 37})$$

Essent:

Ps (N): El pes de la sabata el qual es calcula a partir de la fórmula següent:

$$Ps = \gamma_c \cdot a \cdot b \cdot h \quad (\text{Eq. 38})$$

On γ_c correspon a la densitat del formigó, que val 25.000 N/m³.

Amb el programa Microsoft Excel s'ha realitzat una taula on es mostren els valors de tensió (N/m²) sota sabata que poden apareixer en funció de les dimensions que prengui aquesta, dins el rang de valors que tenim acotat.

σ_1 (N/m ²)						
b/a (m)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
3,5	90.550,03	77.440,03	68.700,02	62.457,16	57.775,02	54.133,35
4	78.907,99	68.126,39	60.938,66	55.804,57	51.954,00	48.959,11
4,5	70.534,21	61.427,37	55.356,14	51.019,55	47.767,11	45.237,43

Taula 25: Valors σ_1 de tensió sobre sabata calculats.

σ_2 (N/m ²)						
b/a (m)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
3,5	27.495,63	26.996,50	26.663,75	26.426,07	26.247,81	26.109,17
4	30.631,96	29.505,57	28.754,64	28.218,26	27.815,98	27.503,09
4,5	32.390,19	30.912,15	29.926,79	29.222,96	28.695,09	28.284,53

Taula 26: Valors σ_2 de tensió sobre sabata calculats.

Els valors obtinguts en aquesta taula són els que s'obtidrien si només tinguessim un moment flector actuant sobre l'estructura, però com que en el nostre cas també en tenim un altre

actuant en una direcció diferent farà falta afegir una tensió extra produïda per aquest moment, la qual queda definida a partir de l'equació 39.

$$\sigma_{extra\ 1,2} = \pm \frac{M_y \cdot 6}{b \cdot a^2} \quad (Eq. 39)$$

$\sigma_{extra} \text{ (N/ m}^2\text{)}$						
b/a (m)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
3,5	32.178,34	20.594,14	14.301,48	10.507,21	8.044,58	6.356,22
4	28.156,05	18.019,87	12.513,80	9.193,81	7.039,01	5.561,69
4,5	25.027,60	16.017,66	11.123,38	8.172,28	6.256,90	4.943,72

Taula 27: Valors σ_{extra} de tensió sobre sabata calculats.

Com que el moment flector Y varia de signe, això implica que les tensions sota sabata que provoca també varien de signe durant el funcionament de l'atracció. Per tal de suportar el cas més desfavorable es sumaran els valors de la Taula 27 als de la Taula 25 per obtenir el valor màxim de pressió, i es restaran els valors de la Taula 26 per obtenir els valors de pressió mínima.

En el primer cas s'haurà de comprovar que el valor trobat no superi el valor de la capacitat portant del terreny, pel qual s'ha suposat una capacitat mínima del terreny de 1 kg/m² que és equivalent a 100.000 N/m². Els valors obtinguts es mostren en la Taula 28, si els valors superen la capacitat portant del terreny s'han marcat de color vermell.

$\sigma_1 \text{ total (N/ m}^2\text{)}$						
b/a (m)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
3,5	122.728,37	98.034,16	83.001,51	72.964,37	65.819,60	60.489,56
4	107.064,04	86.146,26	73.452,46	64.998,38	58.993,01	54.520,79
4,5	95.561,81	77.445,03	66.479,52	59.191,83	54.024,01	50.181,15

Taula 28: Valors màxims de tensió sobre sabata calculats.

En el segon cas s'haurà de comprovar que el valor trobat no sigui negatiu, fet que indicaria que la sabata treballa a tracció i aquest cas no es assumible per el terreny. Els valors obtinguts es mostren en la Taula 29, amb els valors de color vermell si són negatius.

$\sigma_2 \text{ total (N/ m}^2\text{)}$						
b/a (m)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
3,5	-4.682,71	6.402,36	12.362,27	15.918,86	18.203,23	19.752,95
4	2.475,91	11.485,70	16.240,84	19.024,45	20.776,97	21.941,41
4,5	7.362,59	14.894,49	18.803,42	21.050,69	22.438,19	23.340,81

Taula 29: Valors mínims de tensió sobre sabata calculats.

Les dimensions de sabata escollides són 4 metres de longitud per 2,5 metres d'amplada.

H.2 Comprovació estabilitat de la sabata

Hem comprovat que amb les dimensions de la sabata escollida no superem la capacitat portant del terreny, per tant ja tenim comprovada la condició d'enfonsament. A continuació es una altra comprovació més per tal d'assegurar el correcte funcionament de la sabata.

- **Comprovació a bolcada**

Al tractar-se d'una sabata aïllada, aquesta haurà de garantir l'estabilitat a la bolcada. Per aconseguir-ho, tant sols farà falta comprovar que la suma de les forces estabilitzadores de la sabata són majors a la suma de les forces desestabilitzadores, ambdues aplicades en l'extrem de sol·licitació en la base de la sabata. Aquestes es descriuen mitjançant l'equació X per el pla de treball y-z i amb l'equació X per el pla de treball x-z.

$$(N + P_s) \cdot \frac{b}{2} \geq M_x + H_y \cdot h \cdot \gamma_E \quad (Eq. 40)$$

$$(N + P_s) \cdot \frac{b}{2} \geq M_y + H_x \cdot h \cdot \gamma_E \quad (Eq. 41)$$

Essent γ_E un coeficient de seguretat per forces desestabilitzadores el qual val 1,8.

Obtenim els següents resultats:

$$976.319,6 \geq 135.477,26 \quad \text{OK}$$

$$610.199,75 \geq 83.441,56 \quad \text{OK}$$

H.3 Dimensionament de l'armat (Model bieles i tirants)

L'armadura principal estarà formada per barres d'acer corrugat disposades longitudinalment i transversalment a la cara inferior de la sabata, es calcularan a partir del model de bieles i tirants per a càrrega excèntrica. Es pot veure un esquema amb les forces que apareixen en la Figura 115.

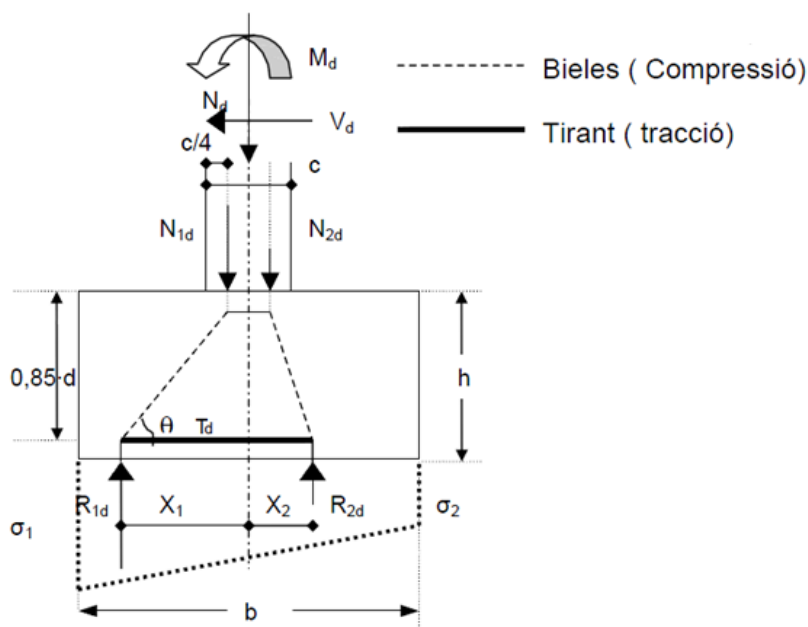


Figura 115: Esquema de forces per model bieles i tirants.

L'equació que utilitzarem en aquest model per a calcular l'armat necessari és la següent:

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} \cdot \left(x_1 - \frac{c}{4}\right) = A_s \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq. 42})$$

T_d : Correspon al valor de força de tracció en Newtons que haurà de suportar el tirant de l'armat.

R_{1d} : és un valor de reacció que es dona dins la sabata, el seu valor es pot calcular a partir de l'equació 43.

$$R_{1d} = \frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b} \quad (\text{Eq. 43})$$

x_1 : és la distància que hi ha entre el punt central de la columna i el punt on apareix la reacció R_{1d} . El seu valor es troba a partir de l'equació 44.

$$x_1 = \frac{N_d/2 + 4 \cdot M_d/b}{N_d/2 + 3/2 \cdot M_d/b} \cdot \frac{b}{4} \quad (\text{Eq. 44})$$

d : és el cantell efectiu de la sabata. Es troba a partir de les dimensions del cantell de la sabata i de l'espessor de l'armat utilitzat en el seu interior seguint la següent equació.

$$d \text{ (m)} = h - 0,05 - \phi_e - \frac{1}{2} \phi_{bl} \quad (\text{Eq. 45})$$

On ϕ_e correspon al diàmetre de l'armat transversal utilitzat i ϕ_{bl} al diàmetre de l'armat longitudinal.

A_s : és el valor de l'àrea d'armat que tindrem dins la sabata.

f_{yd} : és el valor característic de disseny de l'acer el qual porta incorporat un coeficient parcial de seguretat. El seu valor ha de ser inferior als 400 MPa.

El valors trobats per les diferents equacions descrites que ens permetran trobar el valor mínim d'àrea d'armat necessària per la sabata es troben recollits en la Taula 30. Per tal de trobar els valors del cantell efectiu s'han suposat que les barres transversals i longitudinals tindran el mateix diàmetre (25mm).

	$x_1 \text{ (m)}$	$R_{1d} \text{ (N)}$	$T_d \text{ (N)}$	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$
Pla X-Z	0,91	164.129,57	139.662	3,49
Pla Y-Z	1,48	167.355,93	265.396	6,635

Taula 30: Valor per el càlcul del dimensionament de l'armat.

La normativa reguladora ens obliga a comprovar que la sabata compleix les condicions de quantia mínima indicats per l'equació X. El valor de quantia mínima a complir és de 0,0018.

$$\rho = \frac{A_s}{a \cdot d} \quad (\text{Eq. 46})$$

Els valors mínims de secció d'armat obtinguts per tal que compleixin amb la condició de quantia mínima són de 65,7 cm² per el pla Y-Z i de 41,0625 cm² per el pla X-Z.

Els valors de quantia mínima són més restrictius que els obtinguts per el model de bieles i tirants, per tant seran els que utilitzarem per a dimensionar l'armat en les 2 direccions en la cara inferior de la sabata.

- **Disposició i distribució de l'armadura.**

A continuació es calcularan el nombre de barres d'acer corrugat de 25mm de diàmetre necessàries per obtenir la secció d'armat calculat. S'utilitzarà l'equació 47.

$$A_s = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot n \quad (Eq. 47)$$

Per el pla Y-Z obtenim que el nombre de barres necessàries és 13,38, per tant agafarem 14 barres. Per el pla X-Z el nombre de barres necessàries és 8,36, agafarem 9 barres.

Finalment farà falta comprovar que per el nombre de barres escollides les separacions entre elles compleixen amb la normativa de sabates. Segons normativa el dimensionament de les barres serà considerat correcte si la separació entre barres es troba entre 10 i 30 cm.

Per tal de trobar el valor de la separació entre barres que tenim s'usarà l'equació 48.

$$b - 2 \cdot \left(0,05 + \phi_e + \frac{1}{2} \phi_{bl}\right) - \phi_e - (n - 2) \cdot \phi_e - (n - 1) \cdot S = 0 \quad (Eq. 48)$$

Per l'armat longitudinal s'obté que la separació val 26,92 cm.

Per l'armat transversal s'obté que la separació val 26,56 cm.

Per normativa el recobriment de les parets i fons serà de 5 cm, els extrems de les barres d'armat s'hauran de corbar a 90º en els extrems de la sabata amb una longitud de patilla de 15 cm.

- **Càlcul de les barres d'ancoratge**

Per dimensionar la placa d'ancoratge que estarà soldada a la base de la columna, s'ha agafat com a criteri de dimensionament, que els valors de vol normalment usats es troben entre 100 i 200 mm, s'ha escollit un vol de 135 mm, fet que fa que les dimensions de la placa quadrada siguin de 1270 x 1270 mm.

Les barres d'ancoratge hauran d'aguantar les traccions que produeix el moment de la sabata, fixant la placa d'ancoratge al formigó.

Primer s'haurà de buscar el valor de tracció total a resistir per els ancoratges. El valor s'ha trobat convertint les forces de reacció que actuen de la base de l'estructura en valors de pressió que actuaran sobre la placa d'ancoratge. Podem veure els valors que agafen i com es reparteixen en la Figura 116.

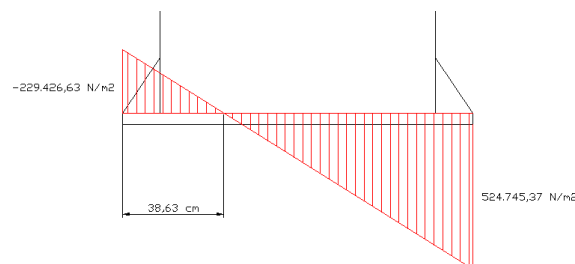


Figura 116: Diagrama de pressions de la placa d'ancoratge.

A partir del diagrama anterior s'ha trobat que la força de tracció total a aguantar per les barres d'ancoratge és de 112.556,93 N.

A continuació s'haurà de comprovar que la sol·licitació a tracció de cada barra sigui menor a la sol·licitació de l'equació 49.

$$\frac{Z_d}{n} \leq 0,8 \cdot \sigma_t \cdot A_r \quad (Eq. 49)$$

Essent:

Z_d : Força de tracció total a aguantar per les barres d'ancoratge

n : nombre d'ancoratges sol·licitats a tracció a la vegada

σ_t : resistència de càlcul de la barra. Els ancoratges estaran fets amb acer B 500 SD amb una resistència característica $f_{yd}=500$ MPa, essent la seva resistència de càlcul de 434,78 N/mm².

L'àrea resistent necessària A_r , en cas que només aguantant una barra serà:

$$A_r = \frac{Z}{0,8 \cdot \sigma_t} \quad (Eq. 50)$$

Obtenim un valor de 323,60 mm².

El cargol amb àrea resistent immediatament superior es M24, $A_r = 353$ mm², però com que els ancoratges s'han de fabricar a partir de la mecanització d'una barra corrugada i amb la de diàmetre 25 és massa just per fer la mecanització s'agafarà l'immediatament superior (diàmetre 32). Degut a que amb aquest diàmetre ens sobrarà molt de material s'augmentarà el diàmetre de roscatge fins a M30.

- **Longitud dels ancoratges**

La longitud d'ancoratge d'una barra embeguda al formigó és la longitud necessària per tal que no es produeixi l'arrencament a causa d'una força axial.

Les longituds bàsiques d'ancoratge depenen entre altres factors, de les propietats d'adherència de les barres i de la posició que ocupen en la fonamentació. Segons l'apartat 69.5.1.1. les nostres barres ocupen la posició I, d'adherència bona, per tant l'expressió de la longitud bàsica d'ancoratge és:

$$l_b = m \cdot \phi^2 > \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi \quad (Eq. 51)$$

On:

ϕ : és el diàmetre de la barra en mm.

m : el coeficient numèric donat per la taula 69.5.1.2.a de la EHE en funció del tipus d'acer, obtingut en assajos d'adherència de barres de formigó.

Resistencia característica del hormigón (N/mm ²)	m	
	B 400 S B400SD	B 500 S B 500SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥50	0,7	1,0

Figura 117: Valors del coeficient m (Taula 69.5.1.2.a EHE).

f_{yk} : límit elàstic garantit de l'acer. 500 N/mm².

$$1536 \text{ mm} > 800 \text{ mm} \quad OK$$

La longitud neta de l'ancoratge es calcula de la següent manera:

$$l_{b,net} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} \quad (Eq. 52)$$

On:

β : és un factor de reducció definit en la taula 69.5.1.2.b. de l'EHE.

A_s : L'àrea de la secció de l'armadura a tracció.

$A_{s,real}$: L'àrea de la secció real de l'acer.

Recordem que les barres d'ancoratge que fem servir són de 32 mm de diàmetre i es rosaran a M30 en l'extrem d'unió amb la placa. Els valors que corresponen a la barra utilitzada són: $A_{s,real} = 804,247 \text{ mm}^2$ i $A_s = 561 \text{ mm}^2$. Els valors que pot prendre β es mostren en la Figura 118.

Tipo de anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	– 1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7 (*)	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

Figura 118: Valors de β (Taula 69.5.1.2.b EHE)

Així doncs a partir dels valors comentats i suposant que la prolongació de les barres serà en forma de ganxo, el valor de longitud neta que ens queda és de 750 mm.

Finalment segon el codi EHE farà falta comprovar que el valor de longitud neta trobat no sigui en cap cas inferior a les restriccions següents:

- a) $10 \cdot \varnothing = 320 \text{ mm}$
- b) 150 mm
- c) $l_b/3 = 512 \text{ mm}$

Es compleixen totes 3 condicions.

Les dimensions que haurà de complir la patilla alhora de plegar-la es mostren en la Figura 119.

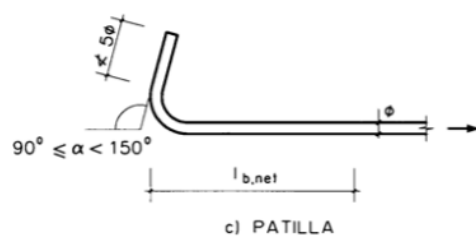


Figura 119: Dimensions de les patilles.

ANNEX I JUSTIFICACIÓ DE PREUS

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	COST UNITARI	TOTAL
P-01	Fabricació en taller de la peça "Base inferior" de l'estructura, a partir de diferents perfils d'acer S275JR	Pça	1		6.043,28 €
Materials					
M0001	Barres posició de muntatge horitzontal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4 mm.	m	24,00	7,04	168,96 €
M0010	Barres posició de muntatge vertical d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 100x100x16mm.	m	32,00	42,20	1.350,40 €
M0020	Barres posició de muntatge diagonal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	43,20	7,04	304,13 €
M0100	Planxa d'acer S275JR 5mm de gruix, per a tapes estructura.	m²	32,00	39,25	1.256,00 €
M0101	Planxa d'acer S275JR 20mm de gruix, per a cartel·les base estructura.	m²	0,38	157,00	60,29 €
M0102	Planxa d'acer S275JR 40mm de gruix, platina base.	m²	1,72	314,00	538,82 €
P-50	Peça unió d'acer per fosa de la columna de l'estructura.	Pça	1	814,20	814,20 €
Total de materials					4.492,80 €
Mà d'obra i maquinària					
EQ001	Soldadura tipus xamfrà o filet, per envoltent en perfil de tipus quadrat.	m	68	17,50	1.190,00 €
EQ002	Neteja manual de superfícies metàl·liques per eliminar oli, grasses, pintura, pols, i recobriment a base de cintes.	m²	0,34	36,99	12,58 €
Total de mà d'obra i maquinària					1.202,58 €
Despeses auxiliars				5%	60,13 €
Cost Directe					5.755,50 €
Despeses Indirectes				5%	287,78 €
Cost Execució Material					6.043,28 €

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	COST UNITARI	TOTAL
P-02	Fabricació en taller de la peça "Base superior" de l'estructura, a partir de diferents perfils d'acer S275JR	Pça	1		6.323,06 €
Materials					
M0001	Barres posició de muntatge horitzontal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4 mm.	m	16,00	7,04	112,64 €
M0002	Barres posició de muntatge horitzontal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 80x80x8mm.	m	8,00	18,09	144,72 €
M0010	Barres posició de muntatge vertical d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 100x100x16mm.	m	32,00	42,20	1.350,40 €
M0020	Barres posició de muntatge diagonal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	43,20	7,04	304,13 €
M0030	Barres de reforç de l'estructura de perfil laminat acer S275 tub quadrat 60x60x4mm.	m	7,50	7,04	52,80 €
M0031	Barres de reforç de l'estructura de perfil laminat acer S275 tub quadrat 80x80x8mm.	m	3,00	18,09	54,27 €
M0100	Planxa d'acer S275JR 5mm de gruix, per a tapes estructura.	m²	32,00	39,25	1.256,00 €
P-50	Peça unió d'acer per fosa de la columna de l'estructura.	Pça	2	814,20	1.628,40 €
Total de materials					4.903,36 €
Mà d'obra i maquinària					
EQ001	Soldadura tipus xamfrà o filet, per envoltent en perfil de tipus quadrat.	m	60,24	17,50	1.054,20 €
EQ002	Neteja manual de superfícies metàl·liques per eliminar oli, grasses, pintura, pols, i recobriment a base de cintes.	m²	0,3012	36,99	11,14 €
Total de mà d'obra i maquinària					1.065,34 €
Despeses auxiliars				5%	53,27 €
Cost Directe					6.021,96 €
Despeses Indirectes				5%	301,10 €
Cost Execució Material					6.323,06 €

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	COST UNITARI	TOTAL
P-03	Fabricació en taller de la peça "Braç extrem" de l'estructura, a partir de diferents perfils d'acer S275JR	Pça	1		3.437,14 €
Materials					
M0011	Barres posició de muntatge vertical d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	32,00	7,04	225,28 €
M0001	Barres posició de muntatge horitzontal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4 mm.	m	18,00	7,04	126,72 €
M0020	Barres posició de muntatge diagonal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	45,30	7,04	318,91 €
M0100	Planxa d'acer S275JR 5mm de gruix, per a tapes estructura.	m²	16,00	39,25	628,00 €
P-51	Peça unió d'acer per fosa dels braços de l'estructura.	Pça	2	361,87	723,73 €
Total de materials					2.022,64 €
Mà d'obra i maquinària					
EQ001	Soldadura tipus xamfrà o filet, per envoltant en perfil de tipus quadrat.	m	67,36	17,50	1.178,80 €
EQ002	Neteja manual de superfícies metàl·liques per eliminar oli, grasses, pintura, pols, i recobriments a base de cintes.	m²	0,3368	36,99	12,46 €
Total de mà d'obra i maquinària					1.191,26 €
Despeses auxiliars				5%	59,56 €
Cost Directe					3.273,47 €
Despeses Indirectes				5%	163,67 €
Cost Execució Material					3.437,14 €

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	COST UNITARI	TOTAL
P-04	Fabricació en taller de la peça "Braç central" de l'estructura, a partir de diferents perfils d'acer S275JR	Pça	1		1.789,83 €
Materials					
M0011	Barres posició de muntatge vertical d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	16	7,04	112,64 €
M0001	Barres posició de muntatge horitzontal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4 mm.	m	11,50	7,04	80,96 €
M0020	Barres posició de muntatge diagonal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	11,40	7,04	80,96 €
M0020	Barres posició de muntatge diagonal d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	7,24	7,04	50,97 €
M0100	Planxa d'acer S275JR 5mm de gruix, per a tapes estructura.	m²	10,00	39,25	392,50 €
P-51	Peça unió d'acer per fosa dels braços de l'estructura.	Pça	1	361,87	361,87 €
Total de materials					1.079,19 €
Mà d'obra i maquinària					
EQ001	Soldadura tipus xamfrà o filet, per envoltent en perfil de tipus quadrat.	m	33,68	17,50	589,40 €
EQ002	Neteja manual de superfícies metàl·liques per eliminar oli, grasses, pintura, pols, i recobrint a base de cintes.	m²	0,1684	36,99	6,23 €
Total de mà d'obra i maquinària					595,63 €
Despeses auxiliars				5%	29,78 €
Cost Directe					1.704,60 €
Despeses Indirectes				5%	85,23 €
Cost Execució Material					1.789,83 €

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	COST UNITARI	TOTAL
P-05	Fabricació en taller de la peça "Plataforma" de l'estructura, a partir de diferents perfils d'acer S275JR	Pça	1		1.609,54 €
Materials					
M0050	Acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub rectangular 120x60x4mm.	m	16,00	10,80	172,83 €
M0051	Acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub rectangular 80x40x4 mm.	m	9,48	7,03	66,68 €
M0020	Barres barana d'acer S275JR de perfil laminat en calent del tipus tub quadrat 60x60x4mm.	m	55,73	7,04	392,34 €
M0100	Planxa d'acer S275JR 5mm de gruix, per a tapes estructura.	m²	3,20	39,25	125,60 €
Total de materials					757,44 €
Mà d'obra i maquinària					
EQ001	Soldadura tipus xamfrà o filet, per envoltent en perfil de tipus quadrat.	m	41,76	17,50	730,80 €
EQ002	Neteja manual de superfícies metàl·liques per eliminar oli, grasses, pintura, pols, i recobriment a base de cintes.	m²	0,2088	36,99	7,72 €
Total de mà d'obra i maquinària					738,52 €
Despeses auxiliars				5%	36,93 €
Cost Directe					1.532,89 €
Despeses Indirectes				5%	76,64 €
Cost Execució Material					1.609,54 €

ANNEX J MANTENIMENT

J.1 Manteniment dels rodaments de gran diàmetre

En el manteniment dels rodaments de gir, tant pel principal (dentat) com pels secundaris (gòndoles) el greixatge és l'operació principal. La primera operació de greixatge haurà d'efectuar-se immediatament després del muntatge del rodaments i s'aplicarà a la part interna de tots els rodaments.

L'objectiu de mantenir-los omplerts de grassa no es altre que el disminuir el fregament a més a més d'hermetitzar i protegir el rodament contra fenòmens de corrosió. El període de temps entre greixatges es donarà per cada 100 hores de funcionament.

Per a compensar els efectes dels fenòmens d'assentament, és necessari estrènyer periòdicament els cargols aplicant-los el parell de collament requerit. Es realitzarà aquest control després de les primeres 100 hores de funcionament, i a partir de llavors cada 600 hores de servei. En cas de detectar un parell de collament inadequat s'haurà de procedir a canviar el cargol.

J.2 Manteniment del motor de gir

Comprovar el desgast de les escombretes canviant-les al arribar a la marca de mínim que es troba en la mateixa escombreta. Respectar les característiques de les escombretes que indica el fabricant i no barrejar diferents tipus.

Comprovar el desgast del commutador i també el desgast dels rodaments, en el cas de sentir que aquests fan soroll farà falta greixar-los. També es comprovarà la correcte ventilació del motor, que el filtre estigui net i en cas negatiu netejar-lo o canviar-lo si fa falta, la carcassa exterior també haurà d'estar neta per tal de facilitar l'intercanvi de calor amb l'exterior.

Es necessari canviar el lubricant després de les primeres 500 hores de funcionament. Una vegada efectuat el període de rodatge, s'haurà de controlar l'estat del lubricant passades 12.000 hores de treball.

Els reglatges dels frens dels motors s'han de verificar cada setmana. Cada mes s'haurà de controlar el desgast dels frens, verificant que no continguin partícules estranyes i canviant-los quan el desgast sigui total.

J.3 Manteniment del reductor

S'ha controlar el parell de collament dels cargols després de 50 hores de funcionament. Caldrà efectuar el primer canvi d'oli aproximadament després de 100-150 hores de funcionament. Posteriorment, s'efectuarà el canvi d'oli un cop a l'any.

J.4 Manteniment dels engranatges

La corona de gir i els pinyons motrius han de recobrir-se amb una grassa especial d'engranatges de llarga duració. Cal efectuar l'operació de greixatge per cada 500 hores de funcionament aplicant la grassa a través del visor o desmuntant el mecanisme si fos necessari.

També farà falta comprovar visualment de forma periòdica que no s'hagin produït fenòmens de desgast excessiu o de penetració en algun dels dos components.

J.5 Manteniment del sistema de seguretat de les gòndoles

Es farà una comprovació diària del sistema de subjecció dels passatgers, es comprovarà el correcte tancament de les barres de seguretat i que aquestes no es puguin obrir de forma accidental. També es comprovarà que el desgast exterior dels elements d'espuma de poliuretà no presentin desgast excessiu, el qual afecta directament al grau de confort dels passatgers que munten en l'atracció.

J.6 Manteniment de l'estructura

Tant l'estructura principal (columna, braços, gòndoles) com la resta de components exteriors s'han de pintar amb pintura anticorrosiva marina cada any per tal de prevenir l'oxidació de les superfícies, i que aquesta pugui afectar a la seguretat estructural de l'atracció en el cas que s'estengui.

També es comprovarà periòdicament de manera visual que no s'hagin produït deformacions permanents excessives en l'estructura i que no s'hagin produït esquerdes en les soldadures.

J.7 Taula resum punts crítics

En aquest apartat s'ha recollit amb forma de taula els problemes més comuns que poden presentar cadascuna de les peces que formen part de l'estructura, la periodicitat amb que s'hi faran les comprovacions i el temps suggerit en que s'hauria de canviar cadascuna.

Element	Possibles problemes	Periodicitat comprovacions	T.substitució
Rodaments	Vibracions, soroll, falta de lubricació	Diària	10 anys
Reductor	Vibracions, soroll, falta d'oli	Setmanal	10 anys
Engranatges	Penetració, desgast	Setmanal	5 anys
Motor	Desgast en les escombretes	Cada 3 mesos	5 anys
Sistema de subjecció dels passatgers	Fixació incorrecte del sistema de retenció, desgast dels components	Diària	8 anys
Components estructurals	Òxid, desgast de la pintura, deformacions observables a ull nu, falles en les soldadures	Cada mes	20 anys

Taula 31: Taula resum manteniment dels elements de l'estructura.

ANNEX K CATÀLEGS UTILITZATS

K.1 Catàleg Rothe Erde per a rodaments de grans dimensions

Diseños constructivos de rodamientos.



Serie KD 210

Unión giratoria de una hilera de bolas
Uniones giratorias con aros perfilados



Los rodamientos correspondientes a la serie KD 210 y pertenecientes a los tipos 21 y 110 se suministran

- sin dentado
- con dentado exterior
- con dentado interior

El tipo 13 se suministra
• sin dentado

Campos de aplicación:
por ejemplo, en la construcción de vehículos, en construcciones mecánicas en general.

Para rodamientos con diámetros de montaje similares a los del tipo 21 pero con capacidad de carga superior, véase la serie KD 600 en las páginas 90 y 91.

Serie KD 320

Uniones giratorias de doble hilera de bolas
Uniones giratorias de bolas axiales dobles



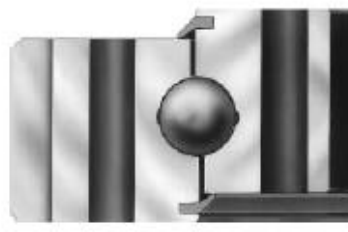
Los rodamientos correspondientes a la serie KD 320 se suministran

- sin dentado
- con dentado exterior
- con dentado interior
- Posición indicada en el plano = posición de montaje

Campos de aplicación:
por ejemplo, en la técnica de elevación, transporte de material, carga y descarga.

Serie KD 600

Uniones giratorias de una hilera de bolas
Uniones giratorias con transmisión de carga por cuatro puntos de contacto



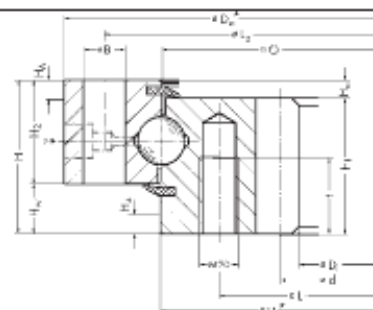
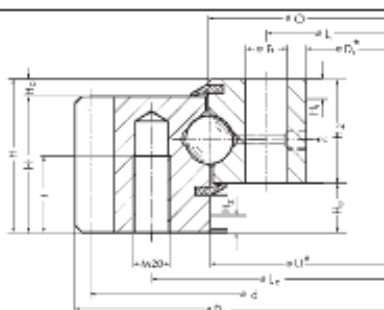
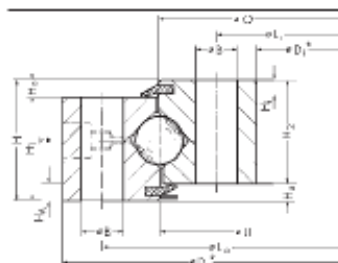
Los rodamientos correspondientes a la serie KD 600 se suministran

- sin dentado
- con dentado exterior
- con dentado interior

Campos de aplicación:
por ejemplo, en la técnica de elevación y transporte de material, así como en construcciones mecánicas en general.

Serie KD 600

Rodamientos normalizados del tipo 625



- r_1 = Engruesados cónicos
 AM 10 x 1 DIN 71 412
 encajados y uniformemente distribuidos
 ► Tapón de llenado y cierre

* Si se desean centrajes, éstos se deberán indicar necesariamente en el momento del pedido. Los centrajes sólo son posibles en los ejes nominales marcados con *.

Altura del centrage $H_1 = 10 \text{ mm}$
 $H_2 = 10 \text{ mm}$
 $H_3 = 10 \text{ mm}$

Altura del centrage en la estructura de apoyo $H_1 = 1 \text{ mm}$
 $H_2 = 1 \text{ mm}$
 $H_3 = 1 \text{ mm}$

Rodamientos sin dentado

centraje	
D_{ext} (mm)	D_1 (mm)
95.5 -0.03	75.7 +0.03
105.5 -0.06	85.7 +0.03
115.5 -0.06	95.7 +0.03
125.5 -0.1	105.7 +0.06
135.5 -0.1	115.7 +0.06
145.5 -0.1	125.7 +0.06
155.5 -0.1	135.7 +0.06

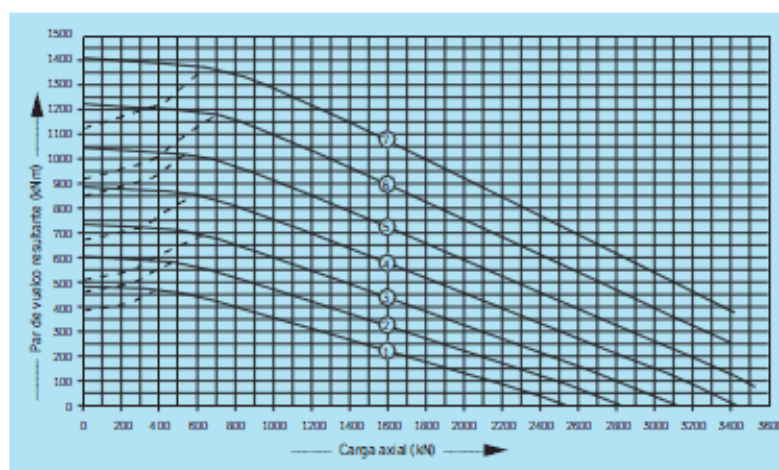
Rodamientos con dentado exterior

centraje	
D_{ext} (mm)	U (mm)
75.7 +0.25	85.5 +0.25
85.7 +0.25	95.5 +0.25
95.7 +0.25	105.5 +0.25
105.7 +0.25	115.5 +0.25
115.7 +0.25	125.5 +0.25
125.7 +0.25	135.5 +0.25
135.7 +0.25	145.5 +0.25

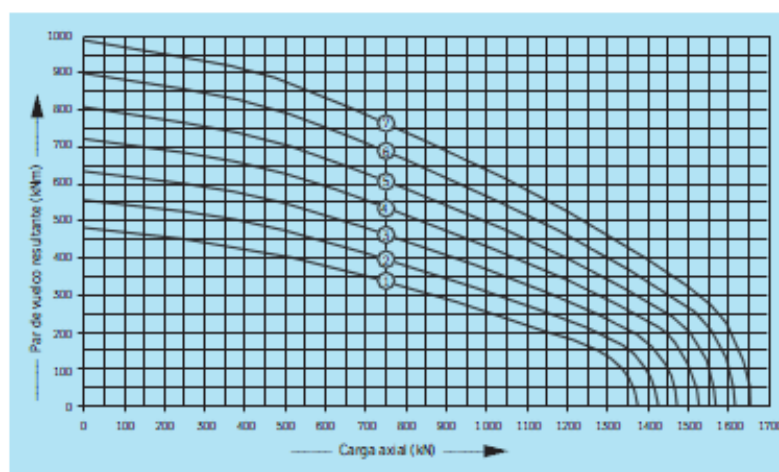
Rodamientos con dentado interior

centraje	
D_{ext} (mm)	U (mm)
95.5 -0.03	85.5 -0.03
105.5 -0.06	95.5 -0.03
115.5 -0.06	105.5 -0.06
125.5 -0.1	115.5 -0.06
135.5 -0.1	125.5 -0.1
145.5 -0.1	135.5 -0.1
155.5 -0.1	145.5 -0.1

Curvas de carga límite estática — pista de rodadura — — — tornillos

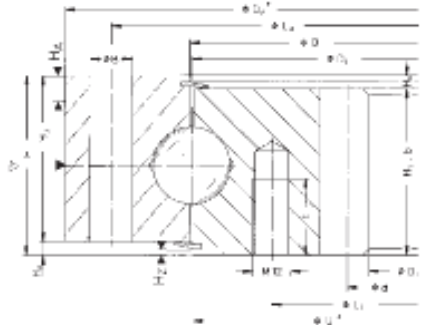
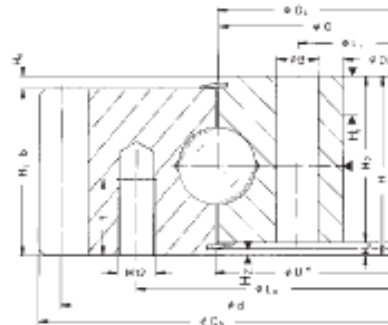
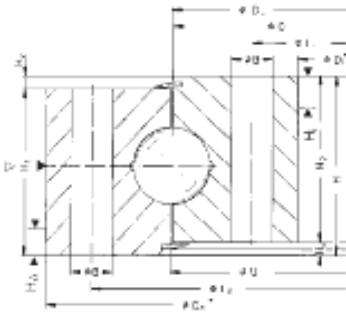


Curvas de vida útil · 30 000 giros



Serie KD 600

Rodamientos normalizados del tipo 621



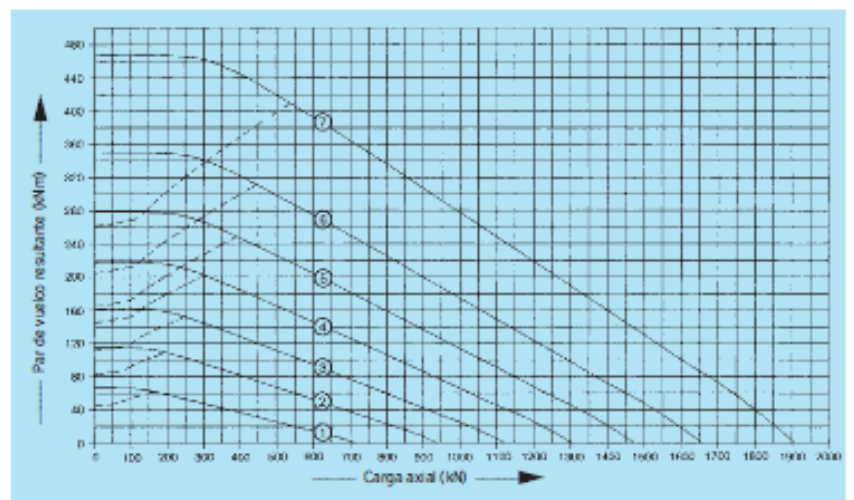
Curvas de carga límite estática ——— pista de rodadura — — — tornillos

* Si se desean centajes, éstos se deberán indicar necesariamente en el momento del pedido.
Los centajes solo son posibles en los a nominales marcados con *.

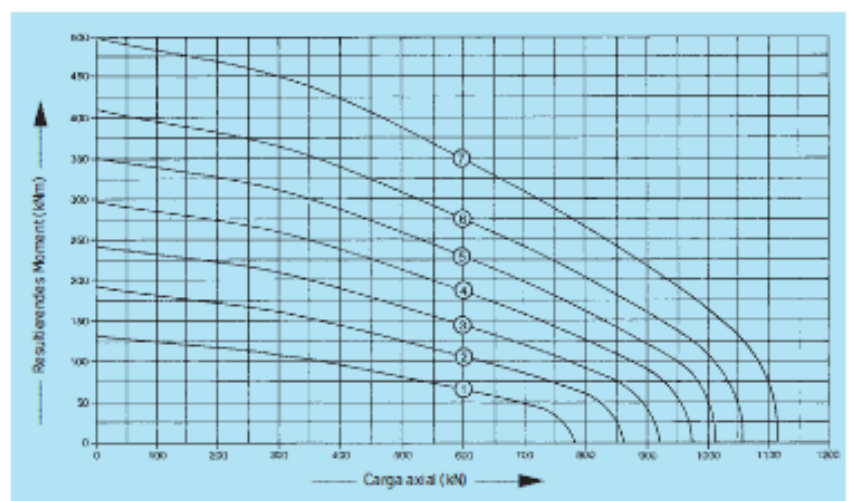
Dimensiones de estos centros	exterior	interior
D ₁ 414 ____ 544	-0,5 mm	+0,5 mm
D ₁ 644 ____ 844	-0,6 mm	+0,6 mm
D ₁ 944 ____ 1094	-0,7 mm	+0,7 mm

Altura de centrado $H_2 = 4,5 \text{ mm}$
 Altura de centrado $H_{A_i} = 10 \text{ mm}$
 Altura de centrado de la estructura de apoyo = $(H_2 - 1) \delta$
 $(H_{A_i} - 1) \text{ mm}$

- ▶ = 4 engrasadores cónicos
AM 10 x 1 DIN 714 12
engasados y uniformemente distribuidos
- ▷ = Tapón de llenado



Curvas de vida útil - 30 000 giros



Factores de carga para la selección de rodamientos.



Con excepción de los tipos 13 y 21 de la serie KD 210

Tabla 1

Casos de aplicación	f_{ex}	f_l	Vida útil, giros a plena carga				
Grúa flotante (gancho)	1,10	1,0	30.000	Para el dimensionado estático siempre se deberán considerar las cargas máximas existentes, incluyendo las adicionales y las de ensayo.			
Grúa sobre vehículo (gancho)							
Grúa de a bordo (cuchara)							
Mesa giratoria de soldadura							
Plato giratorio (servicio continuo)	1,25	1,0	30.000	Los coeficientes de seguridad estática (f_{ex} , por ejemplo cargas de ensayo superiores a las normales, cargas de puesta en servicio, etc.) podrán ser inferiores a los indicados solo en casos excepcionales y siempre previa autorización escrita por nuestra parte.			
Grúas torre - giro superior*					$M_{vul} \leq 0,5 M_k$	1,0	30.000
					$0,5 M_k \leq M_{vul} \leq 0,8 M_k$	1,15	45.000
					$M_{vul} \geq 0,8 M_k$	1,25	60.000
- giro en base	1,0	30.000	Los valores indicados para „ f_l ” se refieren al caso de máxima carga de servicio y proceden de experiencias obtenidas en la práctica y en ensayos de laboratorio. Si para la determinación del número requerido de giros a plena carga se partiese de una combinación de cargas, de la cual se conoce solo una carga promedio supuesta, se deberán aplicar valores de vida útil más elevados.				
Grúa giratoria (gancho)	1,15	45.000		Para aquellos casos de aplicación que no estén reflejados en la tabla, se pueden asumir correspondientemente los valores orientativos pertenecientes a condiciones de servicio similares.			
Grúa de astillero							
Transportador giratorio (gancho)							
Cargadores de buques							
Grúa de acería	1,45**	1,5	100.000	*) Para grúas torre con giro en parte superior M_{vul} = par de vuelco antagónico sin carga. M_k = par de vuelco con carga y máxima longitud de brazo.			
Grúa sobre vehículo (servicio de cuchara y en general aplicaciones con gran frecuencia de movimiento de cargas)					1,7	150.000	**) Para aquellos casos de aplicación que requieran un dimensionado con $f_{ex} = 1,45$ se deberá dar preferencia absoluta a los modelos de rodamientos con varias hileras de elementos de rodadura, debido a que los esfuerzos medios suelen ser elevados y el servicio frecuentemente duro.
Grúa giratoria (cuchara/mán)							
Transportador giratorio (cuchara/mán)							
Puente grúa (cuchara/mán)							
Grúa flotante (cuchara/mán)	2,15	300.000					
Mecanismo principal de giro de rotapalas							
Retro-cargadores							
Apiladores							
Cintas transportadoras en voladizo	Dimensionado según norma especial						
Grúa off-shore	Dimensionado según norma especial						
Grúa de ferrocarril	1,10	Para estos casos de aplicación obsérvese la nota adjunta.		Nota: Para estos casos de aplicación varían considerablemente las condiciones de servicio, en especial los periodos de servicio del mecanismo de giro y las cargas que inciden durante el giro. Así, por ejemplo, si los movimientos de giro son poco frecuentes, como en el caso de movimientos de giro ocasionales para la colocación en posición de trabajo, se puede proceder a un dimensionado estático. Por otra parte, si se trata de giros o desplazamientos continuados, el dimensionado se deberá realizar de acuerdo con la vida útil. El dimensionado de acuerdo con la vida útil también puede llegar a ser necesario si el rodamiento tiene que llevar a cabo movimientos relativos, tales como se suelen presentar en cintas de descarga en voladizo en rotapalas.			
Grúa de a bordo (gancho)	1,00						
Apiladores	1,10						
Cintas transportadoras en voladizo							
Cintas transportadoras móviles							
Excavadora de cable/cucharas de arrastre							
Pala oscilante	1,25						
Excavadora hidráulica: con rodamiento tipo KD 320	1,25						
Con otros tipos de rodamientos	1,45						
Excavadora hidráulica hasta 1,5 m³							
Con más de 1,5 m³	Dimensionado según norma especial						
Carros para cucharas de colada	1,75						



Para tornillos superiores a M 30 no se han indicado pares de apriete en la tabla 4, ya que de acuerdo con nuestra experiencia los valores de fricción presentan una banda de dispersión demasiado fuerte. Para estos tipos de tornillos se deberá utilizar preferentemente un cilindro tensor hidráulico de tornillos, tal como se indica en la página 20.

A la hora del diseño se deberá tener en cuenta una mayor necesidad de espacio para la cabeza del tornillo, para la tuerca y para el útil de apriete.

Determinación aproximada de la compresión superficial debajo de la superficie de asiento de la cabeza y de la tuerca del tornillo.

Es condición que:

$$p = \frac{F_N \cdot 0,9}{A_p} \leq p_c$$

F_N – Fuerza tensora del tornillo seleccionado [N]

A_p – Superficie de asiento de la cabeza del tornillo (o de la tuerca) [mm²]

p_c – compresión superficial límite [N/mm²] para las partes comprimidos

Aquí se deberá tener en cuenta la disminución de la superficie de asiento debido al chafán del taladro y a los rebajes en el hexágono.

$$A_p = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_i^2)$$

para $d_i > d_w$

d_i – diámetro del taladro

d_w – diámetro interior de la superficie de

asiento de la cabeza del tornillo

d_w – diámetro exterior de la superficie de asiento de la cabeza del tornillo

Momento de apriete

El momento de apriete depende de muchos factores, particularmente del coeficiente de fricción en la rosca, así como en el apoyo de cabeza y tuerca.

Para un coeficiente de fricción medio de $\mu_c = \mu_k = 0,14$ (rosca y superficie de apoyo ligeramente engrasadas) se indica el coeficiente de apriete M_A para el apriete previo, F_N para el atomillador dinamométrico hidráulico. Considerando una dispersión del $\pm 10\%$ está fijado el par de montaje M_A para la llave dinamométrica.

Tabla 3: p_c – compresión superficial límite [N/mm²] para las partes comprimidas

Material	p_c compresión superficial límite
St 37	260 N/mm ²
St 50, C 45 N, 46 Cr 2 N, 46 Cr 4 N	420 N/mm ²
C 45, laminación perfilada (KD 210)	700 N/mm ²
C 45 V, 46 Cr 4 V, 42 CrMo 4 V	700 N/mm ²
GG 25	800 N/mm ²

Si se sobrepasan los valores de compresión superficial límite, se han de prever arandelas de tamaño y resistencia adecuados.

Tabla 4: Fuerzas de tensado y momentos de apriete para tornillos con rosca normal métrica DIN 13, para $\mu_k = \mu_c = 0,14$.

Clase de sujeción según DIN ISO 898			8.8			10.9			12.9		
Límite de elasticidad $R_{p0.2}$ N/mm ²			640 para $\leq$ M 16 660 para $>$ M 16			940			1100		
rosca métrica ISO DIN 13	área tensionada A_t mm ²	área del núcleo A_s mm ²	fuerza de tensado F_N N	con atomillador dinámico M_A Nm	con llave dinamo métrica M_A^* Nm	fuerza de tensado F_N N	con atomillador dinámico M_A Nm	con llave dinamo métrica M_A^* Nm	fuerza de tensado F_N N	con atomillador dinámico M_A Nm	con llave dinamo métrica M_A^* Nm
M 12	84,3	76,2	38500	87	78	56000	130	117	66000	150	135
M 14	115	105	53000	140	126	77000	205	184	90000	240	216
M 16	157	144	72000	215	193	106000	310	279	124000	370	333
M 18	193	175	91000	300	270	129000	430	387	151000	510	459
M 20	245	225	117000	430	387	166000	620	558	194000	720	648
M 22	303	282	146000	580	522	208000	830	747	243000	970	873
M 24	353	324	168000	740	666	239000	1060	954	280000	1240	1116
M 27	459	427	221000	1100	990	315000	1550	1395	370000	1850	1665
M 30	561	519	270000	1500	1350	385000	2100	1890	450000	2500	2250
M 33	694	647	335000	a determinar mediante la medición del alargamiento del tornillo		480000	a determinar mediante la medición del alargamiento del tornillo		560000	a determinar mediante la medición del alargamiento del tornillo	
M 36	817	759	395000			560000			660000		
M 39	976	913	475000			670000			790000		
M 42	1120	1045	542000			772000			904000		
M 45	1300	1224	635000			905000			1059000		
M 48	1470	1377	714000			1018000			1191000		
M 52	1760	1652	857000			1221000			1429000		
M 56	2030	1905	989000			1408000			1648000		
M 60	2360	2227	1156000			1647000			1927000		

* = M_A se modifica al variar μ_k ó μ_c

Dentado.



Los rodamientos Rothe Erde de grandes dimensiones se fabrican preferentemente con dentado recto frontal. El hecho de tallar directamente el dentado sobre uno de los aros del rodamiento, ofrece la ventaja de que así no es necesario disponer de una corona dentada adicional para el accionamiento, con lo cual se ahorran gastos de diseño y costos adicionales. Evidentemente, aquellos rodamientos representados con dentado incorporado, también se pueden suministrar sin dentado. Sobre consulta también se pueden suministrar dentados especiales, incluso para aquellos rodamientos que en su dimensión de diámetro, quedan situados por encima de las series representadas en el presente catálogo. Las fuerzas tangenciales admisibles se indican en las tablas de características de los rodamientos. Los valores indicados se refieren a la tensión flexora que aparece en la base del diente. Para el caso de materiales normalizados con tratamiento térmico, utilizados en el aro dentado, se ha tomado como tensión flexora admisible:

130 N/mm² para condiciones de carga normal, y
260 N/mm² para condiciones de carga máxima.

Si el material es bonificado, las tensiones flexoras admisibles en el pié del diente dependen de la sección del material y se basan en los siguientes valores:

para carga normal
200 N/mm² en el caso de secciones pequeñas del aro
190 N/mm² en el caso de secciones medianas del aro
180 N/mm² en el caso de secciones grandes del aro

para carga máxima
400 N/mm² en el caso de secciones pequeñas del aro
380 N/mm² en el caso de secciones medianas del aro
360 N/mm² en el caso de secciones grandes del aro.

A estos efectos rogamos consulten las condiciones de utilización y las exigencias establecidas. Para el caso de cargas extremas excepcionales pueden ser admisibles valores superiores, siempre de común acuerdo con Rothe Erde. Los valores máximos reflejados en la columna titulada „fuerzas tangenciales“ en las tablas características de los rodamientos, se refieren a cargas instantáneas o al aprovechamiento del par crítico del motor durante el arranque o del par máximo durante el frenado.

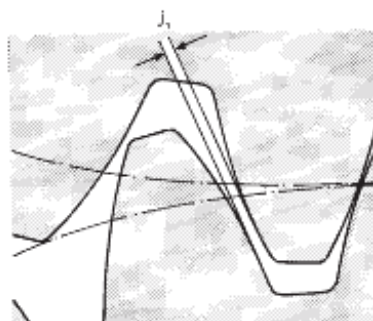


Figura 8: temple integral rotativo

Sin embargo, hemos de llamar la atención al hecho de que a efectos de cálculo de la tensión flexora en el pié del diente, las condiciones de ataque en rodamientos sometidos a cargas elevadas no resultan comparables a las existentes en transmisiones normales, en donde tanto el apoyo como también los ejes se pueden considerar de una cierta rigidez relativa. En el caso de los rodamientos de grandes dimensiones, el elemento de accionamiento suele estar colocado en voladizo.

Cómo consecuencia de los grandes esfuerzos tangenciales a transmitir, el eje del piñón suele estar sujeto a fenómenos de flexión. Por esta razón no es recomendable utilizar, a efectos de un dimensionado aproximado, ningún tipo de dentado en el que actúe más de un diente.

Si el dentado está sometido a cargas elevadas, se deberá prever un redondeo de los cantos de la cabeza del diente en el piñón. Si los flancos de la cabeza del diente se someten a un afilado, será necesario adicionalmente, prever un redondeo del canto de la cabeza del mismo. Los rodamientos reflejados en las tablas tienen previsto el dentado corregido con un factor de corrección $x = 0,5$ (véase DIN 3994, 3995).

Para aquellos casos en que el dentado está sometido a elevados esfuerzos sobre los flancos, ha dado buenos resultados utilizar dentados templados. Dependiendo en cada caso, del módulo y del diámetro del aro, los aros dentados se someten a un tratamiento de temple, sea en base a un proceso de temple integral rotativo o a un temple inductivo individual completo de cada diente. Ambos procedimientos, no solamente ofrecen mayores capacidades de carga en el flanco, sino simultáneamente también una mayor resistencia en el pié del diente. Por el contrario, un temple sólo en los flancos

reduce la capacidad de carga en el pié del diente. Para cualquier dentado sometido a proceso de temple, se deberá realizar el correspondiente cálculo, que considere las características especiales de cada caso. A efectos de poder comprobar las condiciones de engrane se deberán comunicar los datos correspondientes del piñón. A la hora de proceder al montaje del rodamiento de grandes dimensiones y del correspondiente piñón de accionamiento, se deberá cuidar que exista una holgura suficiente entre los flancos de los dientes. En el punto en que el dentado presente la mayor excentricidad, se marcan tres dientes con pintura verde. Gracias a ello será posible ajustar perfectamente el juego entre flancos, que deberá ser aproximadamente 0,03 · módulo.

Después del montaje definitivo y después de que se hayan apretado todos los tornillos de fijación del rodamiento de grandes dimensiones, se deberá controlar el juego entre flancos por medio de una galga apropiada o por medio de un alambre de plomo.

Cálculo del par de rozamiento.

El proceso de determinación del par de rozamiento M_r , que a continuación se refleja, basa en datos y conocimientos teóricos y prácticos. Sobre el par de rozamiento influyen el coeficiente de rozamiento de rodadura, los propios cuerpos de rodadura, los elementos distanciadores, las juntas de estanqueidad, la distancia y distribución de la carga así como la carga propiamente dicha.

Entre otros, también influyen los siguientes elementos:

- la desviación de planitud incluyendo también el ángulo de separación de las estructuras de apoyo superior e inferior
- el relleno de grasa y el tipo de grasa utilizado
- el engrase del labio de la junta y el tensado de la junta
- la variación de la holgura del rodamiento provocada por el montaje del mismo.

Evidentemente el par de rozamiento obtenido por cálculo presenta un determinado margen de fluctuación que se puede fijar en aproximadamente un +/- 25 %

Los rodamientos no montados y libres de carga tiene un par propio de rozamiento que no está considerado en la fórmula. Esto ha de ser tenido en cuenta cuando se utiliza la fórmula.

1. Par de rozamiento de arranque M_r

Uniones giratorias de bolas

$$M_r = \frac{\mu}{2} (4,4 \cdot M_k + F_a \cdot D_L + 2,2 \cdot F_r \cdot D_L \cdot 1,73) \quad [\text{kNm}]$$

Uniones giratorias de rodillos

$$M_r = \frac{\mu}{2} (4,1 \cdot M_k + F_a \cdot D_L + 2,05 \cdot F_r \cdot D_L) \quad [\text{kNm}]$$

2. Potencia de inercia P_{inh}

$$P_{\text{inh}} = M_r \cdot \omega \cdot \eta^{-1} \quad [\text{kNm} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$= \frac{M_r \cdot n}{9,55 \cdot \eta} \quad [\text{kW}]$$

En ejecución especial, los rodamientos Rothe Erde se pueden suministrar con par resistente de giro reducido. Para este tipo de casos de aplicación es necesario consultarnos.

Para considerar la totalidad del par que se requiere para el accionamiento, aún se ha de determinar la potencia de aceleración de todas las masas individuales como producto obtenido de la multiplicación con los cuadrados de las distancias de sus centros de gravedad respecto al eje de giro. Igualmente se deberá tener en cuenta la posible incidencia de fuerzas de viento así como las inclinaciones de posicionamiento de los diferentes elementos constructivos.

Denominaciones utilizadas en las fórmulas:

F_a	= carga axial	[kN]
F_r	= carga radial	[kN]
M_k	= par de vuelco resultante	[kNm]
D_L	= diámetro de rodadura del rodamiento	[m]
μ	= coeficiente de rozamiento	
ω	= velocidad angular	
ω	= $\frac{\pi \cdot n}{30}$	[s ⁻¹]
n	= velocidad de giro del rodamiento de grandes dimensiones	[min ⁻¹]
η	= coeficiente de rendimiento del accionamiento	

Diferentes coeficientes de rozamiento

$\mu = 0,008$	para la serie de tipos KD 210, Tipo 13 y 21, rodamientos en ejecución normalizada
0,006	para la serie de tipos KD 210, Tipo 110
0,004	para la serie de tipos KD 320
0,006	para la serie de tipos KD 600
0,003	para la serie de tipos RD 700
0,004	para la serie de tipos RD 800
0,003	para la serie de tipos RD 900

Para rodamientos de precisión así como también para rodamientos pretensados y sin holguras se nos deberán consultar a nosotros los pares de rozamiento.

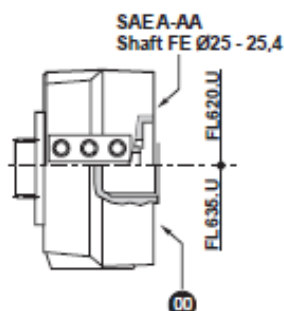
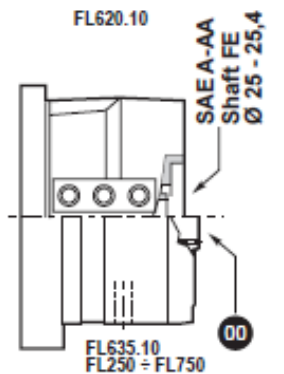
K.2 Catàleg Brevini per als reductors epicicloïdals

RPR046DC

$$n_2 = 15 \text{ rpm}$$

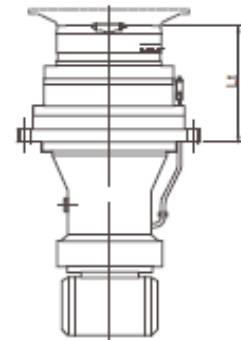
RPR2046 i =	T _{FCM} [Nm]	T2 _{max} [Nm]	RPR3046 i =	T _{FCM} [Nm]	T2 _{max} [Nm]
10,8	5.550	6.000	53,8	5.500	6.000
12,3			63,5		
14,5			73,5		
17,1	5.150		79,4		
18,1	5.550		92,2		
21			100,3		
25,4			5.000		
29,9	5.150		125,6		
31	4.510		145,7		
36	4.020		152,3	5.000	
43,5			178,1		
52,6	3.400		207,8	5.150	
			224,2	4.400	
			260	5.000	
			280,7	4.510	
			314,4	5.150	

Type	n _r max. [rpm]	 Kg.	 It.
RPR2046	3.500		
RPR3046	3.500		

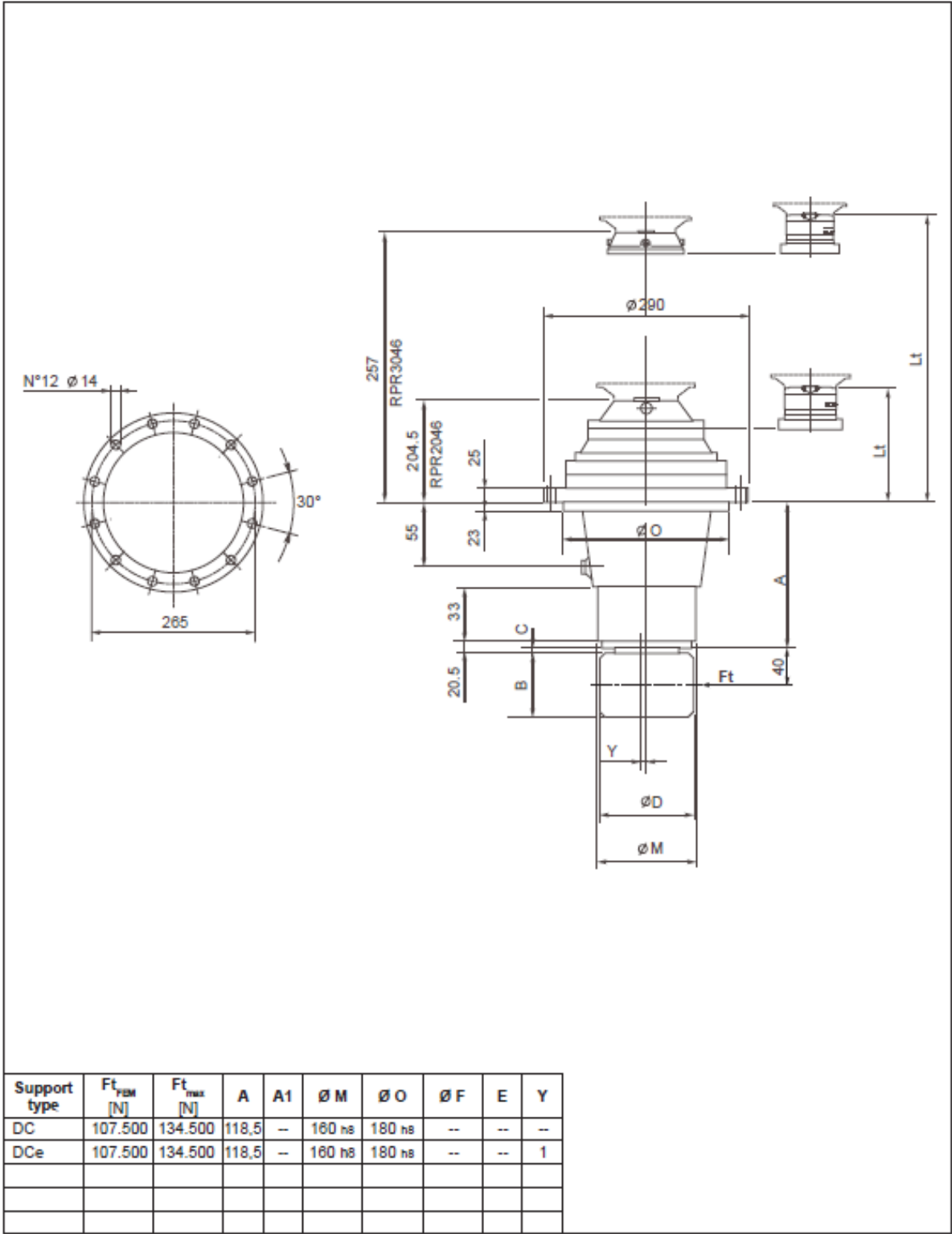
[illegible]

Type	FL620.10	FL635.10	FL250.4C FL250.6C	FL350.6C FL350.8C	FL450.6C FL450.8C	FL650.10C FL650.12C FL650.14C	FL750.10C FL750.12C FL750.14C
	Lt						
RPR2046	--	--	298	298	298	--	--
RPR3046	321	302,5	--	--	--	--	--

Type	FL620.U	FL635.U
	Lt	
RPR2048	309	295,5
RPR3048	381,5	348

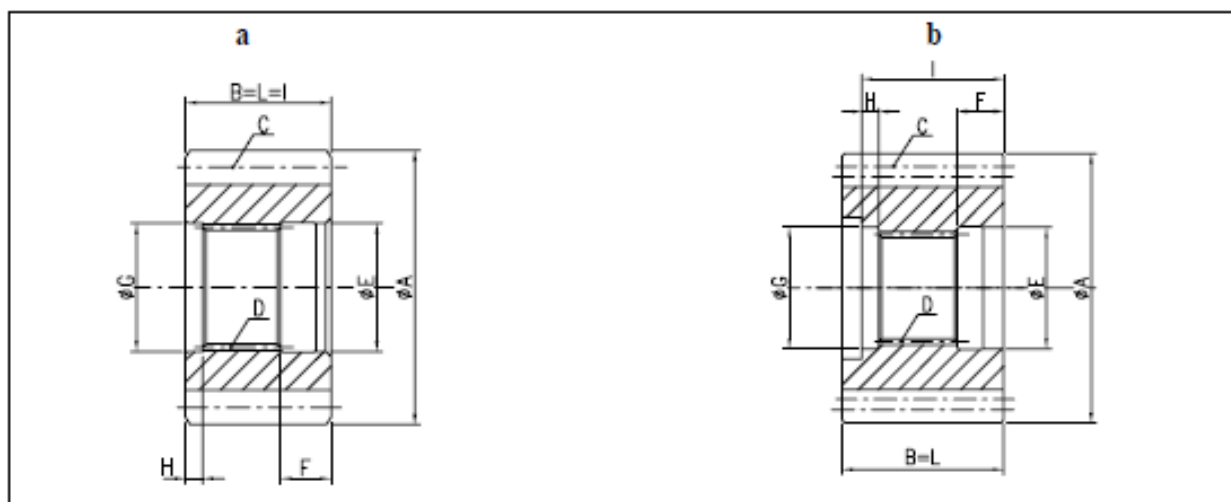


RPR046DC



Accessori

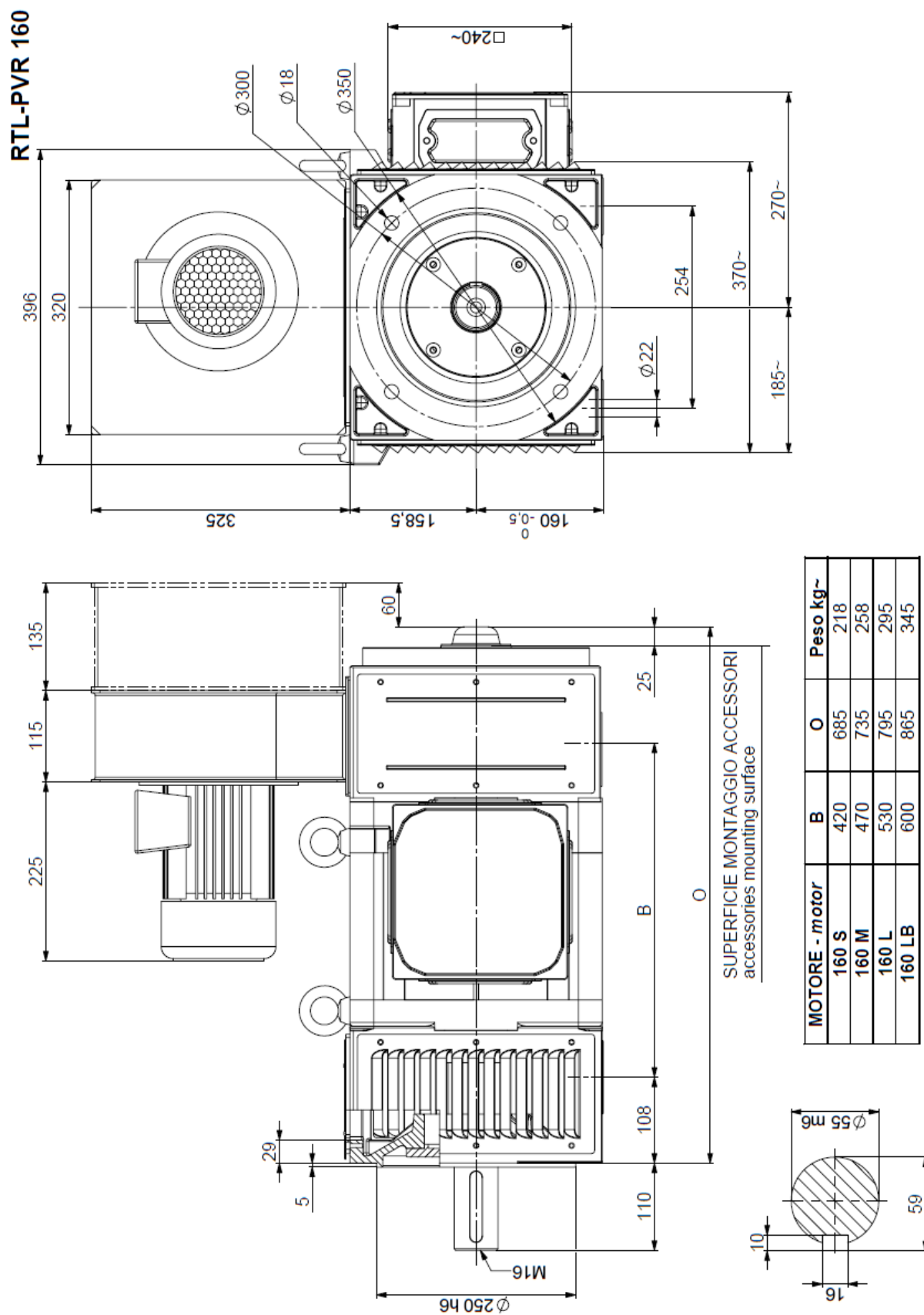
Accessories



PIGNONI PER RALLA / SLEWING PINIONS

TIPO/TYPE	CODICE/COE.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
a	335.0143.0800	Ø114,8	68	M=8 Z=12 X=0,3	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		68		
a	335.0174.0800	Ø99,6	68	M=6 Z=14 X=0,3	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	24	Ø60 _{MT}	8,1		68		
a	335.0184.0800	Ø114,8	80	M=8 Z=12 X=0,3	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	24	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.0274.0800	Ø143	80	M=10 Z=12 X=0,35	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.0324.0800	Ø136	80	M=8 Z=15 ---	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.0344.0800	Ø152	80	M=10 Z=13 X=0,3	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.0353.000K	Ø127,6	68	M=8 Z=13 X=0,54	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		68		
a	335.0463.0600	Ø136	90	M=8 Z=15 ---	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5		90		
a	335.2063.0600	Ø160	90	M=10 Z=13 X=0,5	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5		90		
a	335.2133.0600	Ø143,4	80	M=8 Z=15 X=0,4	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.3033.0600	Ø165	90	M=10 Z=13 X=0,95	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5		90		
a	335.3473.0600	Ø156	80	M=6 Z=24 ---	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.3533.0600	Ø149	90	M=10 Z=12 X=0,5	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5		90		
a	335.3543.0600	Ø159	90	M=10 Z=13 X=0,5	A80 ± 74	Ø85 _{MT}	31	Ø80 _{MT}	10		90		
a	335.4273.0600	Ø142	80	M=8 Z=16 ---	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.5193.060K	Ø115	68	M=5 Z=21 ---	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	24	Ø60 _{MT}	8,1		68		
a	335.5942.000K	Ø136	80	M=8 Z=14 X=0,4	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23,5	Ø60 _{MT}	8,1		80		
a	335.6273.000K	Ø120	68	M=8 Z=13 ---	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	24	Ø60 _{MT}	8,1		68		
b	335.2194.0800	Ø131,1	75	M=8 Z=14 X=0,4	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	24	Ø60 _{MT}	8,1	68	75		
b	335.4153.0600	Ø133	90	M=8 Z=14 X=0,4	A58 ± 53	Ø60 _{MT}	23	Ø60 _{MT}	8,1	80	90		
b	335.4903.0000	Ø160	99	M=10 Z=10 X=0,5	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5	90	99		
b	335.6192.000K	Ø170	101	M=10 Z=14 X=0,5	A70 ± 64	Ø72 _{MT}	31	Ø72 _{MT}	10,5	90	101		

K.3 Catàleg Comer per als motor de corrent continu



COMER S.r.l.