



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Arquitectura Tècnica. Pla 1998

Títol:

**ESTRUCTURES RETICULARS METÀL·LIQUES:
CÀLCUL I OPTIMITZACIÓ**

Document: Projecte Final de Carrera

Alumne: Roser Samaniego González
Neus Puigdemont Melian

Director/Tutor: Miquel Llorens Sulivera
Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial
Àrea: MMCTE

Convocatòria (mes/any): Juny del 2006



**INTRODUCCIÓ: 1**

1. Objectius.....	2
2. Justificació.....	3
3. Mètode.....	4

MARC TEÒRIC: 6

1. Definició d'estructura tridimensional.....	7
2. Evolució històrica.....	8
3. Materials de constitució.....	11
3.1. Acer / alumini.....	11
3.2. Fusta.....	12
3.3. Formigó armat.....	12
3.4. Polímers reforçats.....	12
4. Components principals.....	13
4.1. Barres i nusos.....	13
4.2. Tipologies de nusos.....	14
4.2.1. Nusos esfèrics sòlids.....	14
4.2.2. Nusos esfèrics buits.....	17
4.2.3. Nusos cilíndrics.....	18
4.2.4. Nusos plans.....	18
4.2.5. Sense nus.....	19
4.2.6. Sistemes continus.....	19
4.2.7. Sistemes modulars.....	21
4.3. Ubicació dels suports.....	21
4.4. Tipologies de suports.....	23
5. Criteris de disseny.....	24
5.1. Geometria.....	24
5.1.1. Estructures reticulars metàl·liques d'una, doble o vàries capes.....	24
5.2. Estabilitat.....	32
5.3. Principis estructurals.....	33
5.3.1. Introducció del concepte: unidireccional / bidireccional.....	33
5.3.2. Dimensionament de barres.....	35



5.3.3. Comportament estructural.....	35
5.3.4. Proporció llum / cantell.....	36
5.3.5. Moviment tèrmic: dilatacions i contraccions.....	37
5.3.6. Resistència al foc.....	38
5.3.7. Resistència a l'oxidació.....	40
5.3.8. Accions sísmiques.....	41
5.4. Principis estètics.....	42
5.4.1. Formació de pendants.....	42
5.4.2. Revestiments i envidriaments.....	43
5.4.3. Acabat del perímetre.....	44
6. Mètodes de muntatge i elevació.....	45
7. Avantatges.....	48
7.1. Repartiment de càrrega.....	48
7.2. Instal·lacions de serveis.....	48
7.3. Robustesa.....	49
7.4. Components modulars.....	49
7.5. Flexibilitat d'ubicació dels suports.....	49
7.6. Rapidesa de muntatge i facilitat d'elevació.....	49
8. Inconvenients.....	51
8.1. Cost.....	51
8.2. Geometria regular.....	51
8.3. Temps de muntatge.....	51
8.4. Protecció contra incendis.....	51
8.5. Exactitud dimensional d'execució.....	52

MARC PRÀCTIC:**53**

1. Dades generals.....	54
2. Configuració macroestructural.....	56
2.1. Mètode.....	56
2.2. Estructures quadrangulars.....	58
2.2.1. Configuració geomètrica.....	58
2.2.2. Deformades.....	61
2.2.3. Desplaçaments màxims de nusos.....	68
2.2.4. Conclusions parcials.....	72



2.3. Estructures rectangulars.....	74
2.3.1. Configuració geomètrica.....	74
2.3.2. Deformades.....	79
2.3.3. Desplaçaments màxims de nusos.....	89
2.3.4. Conclusions parcials.....	93
3. Configuració macroestructural reforçada.....	95
3.1. Configuració geomètrica reforçada.....	96
3.1.1. Estructures quadrangulars.....	96
3.1.2. Estructures rectangulars.....	98
4. Configuració microestructural: pandeig.....	100
4.1. Mètode.....	100
4.2. Estructures quadrangulars.....	102
4.2.1. Comprovació de pandeig.....	102
4.2.2. Conclusions parcials.....	106
4.3. Estructures rectangulars.....	107
4.3.1. Comprovació de pandeig.....	107
4.3.2. Conclusions parcials.....	111
5. Configuració òptima.....	112
5.1. Mètode.....	112
5.2. Estructures quadrangulars.....	113
5.2.1. Comparatiu de resultats.....	113
5.2.2. Conclusions parcials.....	124
5.3. Estructures rectangulars.....	126
5.3.1. Comparatiu de resultats.....	126
5.3.2. Conclusions parcials.....	137
6. Especejament imparell / parell en estructures de planta rectangular.....	139
7. Configuració òptima, en cas d'un especejament imparell.....	140
7.1. Mètode.....	140
7.2. Diagonalització central.....	142
7.2.1. Comprovació de pandeig.....	142
7.2.2. Comparatiu de resultats.....	146
7.2.3. Conclusions parcials.....	153
7.3. Diagonalització central amb reforç.....	156
7.3.1. Comprovació de pandeig.....	156



7.3.2. Comparatiu de resultats.....	160
7.3.3. Conclusions parcials.....	163
8. Asimetria de càrregues.....	165
8.1. Mètode.....	165
8.2. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 1.....	166
8.3. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 2.....	169
8.4. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 3.....	172
8.5. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 4.....	175
8.3. Conclusions parcials.....	178
9. Accions degudes al vent.....	180
9.1. Mètode.....	180
9.2. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 1.....	181
9.3. Comprovació de pandeig i comparatiu resultats: Hipòtesi 2.....	184
9.3. Conclusions parcials.....	187

RESUM DE CONCLUSIONS	188
-----------------------------	------------

APLICACIÓ PRÀCTICA	191
---------------------------	------------

1. Aplicació pràctica: protecció de la coberta de l'església de St. Julià de Vallfogona del Ripollès.....	191
1.1. Raonament.....	191
1.2. Documentació gràfica: plànols i resultats.....	196
1.3. Conclusions.....	202

DOCUMENTS ANNEXES	204
--------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA	252
---------------------	------------

AGRAÏMENTS	254
-------------------	------------



INTRODUCCIÓ



1. OBJECTIUS

- Coneixement genèric i teòric sobre estructures reticulars metàl·liques
- Aprendre i entendre les bases geomètriques: forma, dimensions i curvatura
- Estudiar el seu comportament estructural: estabilitat global i pandeig de les barres de constitució
- Cercar l'estructura òptima, buscant l'equilibri entre geometria i estabilitat
- Comprovació de la seva fiabilitat estructural, davant de l'asimetria de càrregues i l'acció del vent
- Aplicació pràctica: protecció de la coberta de l'església de St. Julià existent a Vallfogona del Ripollès



2. JUSTIFICACIÓ

L'objecte d'aquest projecte és fruit de la poca existència d'informació sobre aquests temes. Actualment, encara no existeix cap normativa específica que tracti, en general, sobre les estructures tridimensionals.

D'aquí ha sorgit l'iniciació en l'estudi i desenvolupament del mateix, per tal d'aconseguir unes pautes a l'hora de dissenyar-les i efectivament, calcular-les.

El disseny implicarà l'estudi de la forma, per tant, de la seva configuració geomètrica. La geometria és un punt important que influeix en l'estabilitat d'aquesta tipologia estructural.

Per contra, amb el càlcul estructural, s'intentarà marcar les pautes que cal seguir durant aquest mateix procés, incloent en els propis càlculs els efectes, a nivell de comportament estructural, de l'asimetria de càrregues i l'acció del vent, per així poder finalitzar aquest estudi amb l'obtenció d'una estructura òptima segons la geometria estudiada.

Val a dir, que les conclusions que s'obtidran del marc pràctic i, per tant, del càlcul d'optimització, ens marcaran les pautes pel disseny i càlcul d'un cas pràctic.



3. MÈTODE

Aquest projecte forma part de l'àrea d'estructures. Tracta sobre estructures reticulars metàl·liques. Més concretament, és un estudi sobre el càlcul i la optimització d'aquesta tipologia estructural.

Per entendre el concepte genèric del significat d'aquestes estructures, i alhora la seva aplicació i funcionalitat a la realitat, s'ha necessitat documentació prèvia.

A partir d'aquest pas, s'ha realitzat una introducció inicial, basada en una explicació genèrica de les estructures reticulars lleugeres, i més concretament, de les metàl·liques tubulars, també anomenades i conegudes com a estructures espacials. Aquesta introducció permet entendre el significat i raonament del nom que adopten.

Posteriorment, i amb una prèvia i breu explicació de l'evolució històrica de les estructures en qüestió, s'ha passat a introduir-ne: els avantatges i inconvenients que s'hi relacionen; els conceptes teòrics bàsics, tant geomètrics com de comportament estructural, per entendre les bases de càlcul de les quals s'ha partit per aconseguir la seva optimització i càlcul; els materials i sistemes més comuns utilitzats; i per finalitzar, els paràmetres a tenir en compte en la creació del seu disseny i la seva posterior, execució constructiva.

A partir d'una base teòrica, i ampliant la documentació original amb normativa d'aplicació en aquest camp, s'ha iniciat el propi projecte en qüestió. Ha estat necessari l'aprenentatge i utilització d'un programa informàtic (RISA), per la recerca del nostre estudi. El RISA ha servit per realitzar un anàlisi nodal espacial de barres.

En primer lloc, es tractava d'investigar quina composició era l'òptima, en quant a geometria i disposició de les barres. Es va partir: d'unes dimensions estandarditzades, en base a coneixements teòrics; d'una tipologia determinada de barra i nus; i d'un repartiment constant de càrregues. A partir d'aquí, es va realitzar un comparatiu, extraient-ne una geometria òptima, a nivell d'estabilitat i deformabilitat global.

Un cop decidida la composició, es va buscar la secció òptima de barra, davant els següents paràmetres: resistència a pandeig davant la longitud d'aquesta i les càrregues a suportar, i les característiques del nus entre barres.



Lligat amb el detallat al paràgraf anterior, que implica directament al pes propi de l'estructura global, es va cercar la curvatura òptima d'aquesta, en funció, bàsicament, dels axials rebuts.

Posteriorment, l'estructura òptima més desfavorable, a nivell de dimensions (la de planta rectangular), es portarà, al límit, tots els conceptes de major importància en aquesta tipologia estructural, sempre parlant a nivell de comportament estructural. O sigui, aquesta serà l'estructura que es posarà a prova, durant el seu procés de disseny i càlcul, davant qualsevol fet perjudicial que es pugui donar durant la seva vida útil (asimetria de càrregues i vent).

El pas final, i un cop extreta l'estructura òptima a nivell de composició, dimensions i profunditat, s'ha posat en aplicació en un cas real. Aquest cas real es portarà a cap a l'església de Sant Julià de Vallfogona, amb la intenció d'evitar al màxim, en un futur pròxim, el seu procés de degradació fatídic. Servirà com a protecció d'aquest patrimoni de la intempèrie.

En conclusió, amb aquest projecte s'han anat seguint els passos necessaris, per poder arribar a afirmar la fiabilitat d'unes característiques geomètriques i estructurals determinades, per aquestes bases posar-les en pràctica en el disseny i càlcul d'un cas, que possiblement, es portarà a la realitat.



MARC TEÒRIC



1. DEFINICIÓ D'ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL

Segons el Diccionari de la Llengua Catalana, de l'Institut d'Estudis Catalans, les estructures tridimensionals, també anomenades espacials, són: estructures arquitectòniques que, enfront del sistema tradicional d'estructures realitzades pensant en el recorregut lineal dels esforços, situades en un mateix pla, plantegen el repartiment de càrregues amb la cooperació de tots els elements en l'esforç. Són d'una gran estabilitat i alhora, tenen molt poc pes.

Genèricament, aquestes estructures són un element resistent constituït per la juxtaposició, a l'espai, de mòduls amb diferents formes geomètriques. Aquestes, al mateix temps, estan compostades per la unió entre nusos i barres. Segons la disposició d'aquests elements entre si, poden estar formats per una base quadrada o triangular.

Les dimensions dels elements de constitució, es solen dissenyar amb l'objectiu de facilitar la seva construcció, i també, per suportar càrregues de tracció o compressió. El resultat doncs, és una estructura lleugera i poc densa.

Generalment, són estructures que solen ser metàl·liques, tot i que n'existeixen amb altres materials de constitució, com per exemple la fusta. Dins les de constitució metàl·lica, hi ha dues possibilitats: que s'executin amb acer o alumini. Cal tenir present, que hi ha la opció d'aplicar-hi, posteriorment, un revestiment.

La seva utilització s'ha aplicat en hangars, instal·lacions esportives, salons d'exposició, terminals de passatgers, cobertes de piscines,...

Cal tenir present que no són estructures amb una funció purament estètica, sinó que estan dissenyades i calculades per tenir una funció estructural. Per tant, es consideren un element portant més, dins qualsevol altra estructura.



2. EVOLUCIÓ HISTÒRICA

Fins a mitjans del segle XVIII, els principals materials utilitzats a la construcció, tant per arquitectes com per enginyers, eren la pedra, el maó ceràmic i la fusta. Pel que fa al metall, antigament, el seu ús es limitava a unir altres materials. En canvi, la pedra i el maó, sí que s'empraven com a materials de construcció, sobretot per voltes i cúpules, ja que aguanten molt bé la compressió, tot i que amb més dificultats, la tracció.

La fusta, i més quan aquesta té certa qualitat, suporta molt bé les forces de tracció i compressió, sempre i quan, la seva longitud no sigui excessivament gran. De fet, per causes naturals, les dimensions de la fusta ja ens venen limitades. L'únic inconvenient d'aquesta, es troba en el fet de resoldre les seves articulacions.

L'any 3000 a.C. el ferro es comença a utilitzar per la fabricació d'utensilis i ornamentació a l'antiga Egipte. Dos mil anys després, l'any 1000 a.C., s'inicia l'edat del ferro. Posteriorment, l'any 490 a.C., destaca a la Batalla de Maratón a Grècia, per les seves qualitats d'alta resistència mecànica enfront del bronze, utilitzat fins a l'època.

Al 1779 d.C es va construir el pont Coalbrookdale de 30m de llum, sobre el riu Sueon a Shropshire. Aquesta construcció va canviar, segons alguns historiadors, la història de la revolució industrial, introduint aquest material com a element estructural, ja que era 4 vegades més resistent que la pedra i 30, que la fusta.

Per tant, amb la Revolució Industrial, es potencia la producció del ferro, i és llavors, quan apareix l'acer. Amb aquests materials es constitueixen estructures més grans o de major altura. Aprofitant l'evolució del moment, es desenvolupen tècniques matemàtiques que ajuden a preveure el comportament estructural. Amb la industrialització de l'Edat del Ferrocarril, hi ha un creixement de la demanda d'estructures metàl·liques, el qual es veurà reflectit en ponts, estacions, fàbriques, etc. D'aquí sorgeix l'origen de les estructures reticulars metàl·liques espacials, i les seves diferents configuracions.

Com amb moltes formes estructurals, incloent les estructures d'objecte en aquest projecte, es tendeix a un muntatge modular. Per primera vegada, es va veure reflectit fa aproximadament 150 anys, amb la construcció del Crystal Palace, Hyde Park, situat a Londres. Aquest es va construir per la Gran Exposició Universal del 1851, en només 6 mesos. Fet que demostra la gran eficiència en l'execució d'aquesta tipologia estructural.



Finalment, una de les obres més emblemàtiques a la història dins aquest món, és la torre Eiffel a París. Aquesta es va executar entre els anys 1897 i 1899, a finals del segle XIX. La seva construcció va ser un motiu per a la celebració centenària de la Revolució Francesa. Té una altura de 300m i tota ella, està fabricada amb ferro forjat. Amb aquesta construcció, es comença a introduir l'ús dels ascensors. Amb ella, queda totalment demostrada l'estabilitat i durabilitat que permeten aquestes estructures reticulars metàl·liques modulars.

Tot i les construccions anomenades, el principal precursor teòric en aquesta tipologia estructural, va ser Alexander Graham Bell (1847-1922). L'any 1903, va escriure un article a la revista National Geographic, sobre la construcció d'una cometa amb base reticular, d'on es va extreure que aquesta tipologia estructural combinava qualitats de força i lleugeresa, i que per tant, podia arribar a ser aplicable, a gran escala, en qualsevol construcció d'arquitectura i enginyeria. Un dels projectes realitzats per Bell, va ser la Torre d'observació Beinn Bhreagh, USA, l'any 1907.

Aquesta tipologia estructural es potencia a partir del moment en què apareix el sistema MERO, l'any 1943. Aquest sistema va ser desenvolupat a Alemanya pel Dr. Ing. Max Mengerlinghausen (1903-1988). Consisteix en un sistema de membres tubulars individuals, connectats entre ells mitjançant nusos metàl·lics, de forma esfèrica. És en aquest moment, quan les estructures reticulars metàl·liques comencen a ser aplicables en edificació.

Altres mètodes alternatius són Space Deck System dels anys 50, i Nenk System, dels anys 60. Ambdós, inventats per Denings of Chard, al Regne Unit.

Entre els anys 50 i 60, les estructures reticulars metàl·liques evolucionen de tal manera, que els arquitectes tendeixen a una estètica estructural, que donarà lloc a nous sistemes d'unions, materials i configuracions. A EU, apareix Richard Buckminster Fuller (1895-1981), el qual desenvolupa l'Octet Truss System. Aquest sistema es base en la geometria de l'octaedre i el tetraedre, en base a la unió dels centres d'esferes a l'espai. Un exemple d'aquest personatge, és el Museu d'Art Modern de Nova York, construït en base a aquest sistema, l'any 1959.

Posteriorment, Konrad Wachsmann (1901-1980), va ser l'encarregat de dissenyar els Hangars d'Aviò de les Forces Aèries dels EU, mitjançant una estructura reticular metàl·lica, la qual requeria ser flexible en construcció i geometria, i permetés el seu fàcil desmuntatge i reutilització. Wachsmann va inventar un connector universal, fabricat amb ferro forjat, per tal de realitzar la funció de nus. L'avantatge d'aquest



invent, permetia una gran facilitat de muntatge de l'estructura, ja que l'únic mitjà auxiliar que es necessitava era un martell.

Stéphane du Château (1967-1999), de França, va desenvolupar Tridirectionelle SDC (1957), que es basava en unions soldades. A més, també va treballar amb els sistemes: Pyramitec (1960), Unibat (1962), Tridimatic (1965) i Spherobat (1984).

Un sistema molt utilitzat a Canadà va ser el Triodetic, implantat principalment per Fentiman Bros d'Otawa, Ontario, l'any 1960. Com a material de fabricació de les barres i nusos utilitzaven bàsicament l'alumini. Trobem un exemple en el Pavelló dels Països Baixos de la Expo 67, a Montreal, on s'hi van desenvolupar moltes tipologies.

Durant la mateixa època, van evolucionar l'ús d'ordinadors electrònics, i programes que servien per estudiar amb més precisió el comportament estructural en aquesta tipologia. L'anàlisi estructural de la malla multicapa de la Pyramid y Volcan, inclosa dins de l'Expo 67, es va portar a cap d'aquesta manera.

Amb el Nodus System, creat per British Steel Corporation, actualment anomenada British Steel Tubes & Pipes, comença el que es pot considerar la segona generació en l'avanç d'estructures reticulars metàl·liques, a finals dels anys 60 i principis dels 70.

A partir d'aquí, es troben altres exemples a la ciutat de Mèxic, arrel de les Olimpíades del 1968, i a Osaka (Japó), amb la Expo 70.

Els anys 80 s'origina a Austràlia el sistema Harley, i seguidament, entre finals dels 80 i principis dels 90, apareixen al Regne Unit, els sistemes CUBIC Space Frame, SPACEgrid i Conder Harley, desenvolupant el sistema UNIBAT i modificant la versió australiana de Harley.

Actualment, les tipologies de nusos que s'ofereix al mercat, tenen el seu origen amb aquests principis històrics explicats, tot i que s'han modernitzat amb el temps. Val a dir, que encara, avui dia, es conserven algunes de les anteriors patents exposades, també conegudes amb el mateix nom.



3. MATERIALS DE CONSTITUCIÓ

Tot i que l'estudi només es centrarà amb les estructures d'acer, seguidament, es realitzarà una breu explicació sobre altres materials que les poden constituir.

El més utilitzat és l'acer, i en segon lloc queden els materials com són: l'alumini, la fusta, el formigó i els polímers reforçats. També s'han realitzat proves amb canyes de bambú, o simplement incorporant, en aquest tipus d'estructura, el vidre, per afectes decoratius.

3.1. Acer/alumini

Comparant exclusivament l'acer i l'alumini, el primer es sol utilitzar amb un acabat galvanitzat i/o pintat, i l'últim, amb un acabat anoditzat. L'acer té una densitat de 7.580 Kg/cm^3 , la qual és pràcticament tres vegades superior a la de l'alumini, aquesta essent 2.700 Kg/cm^3 . Per contra, l'alumini ens proporciona menys elasticitat que l'acer, amb uns Mòduls de Young de 70.000 N/mm^2 i 205.000 N/mm^2 respectivament.

Per tant, dues estructures suportant la mateixa càrrega i adoptant la mateixa configuració, però una executada amb acer i l'altra amb alumini, aquesta última obtindrà unes majors deformacions, les quals poden arribar a ser crítiques. Si es donés el cas, per entrar dins les deformacions màximes acceptables, caldrien altres elements de reforç.

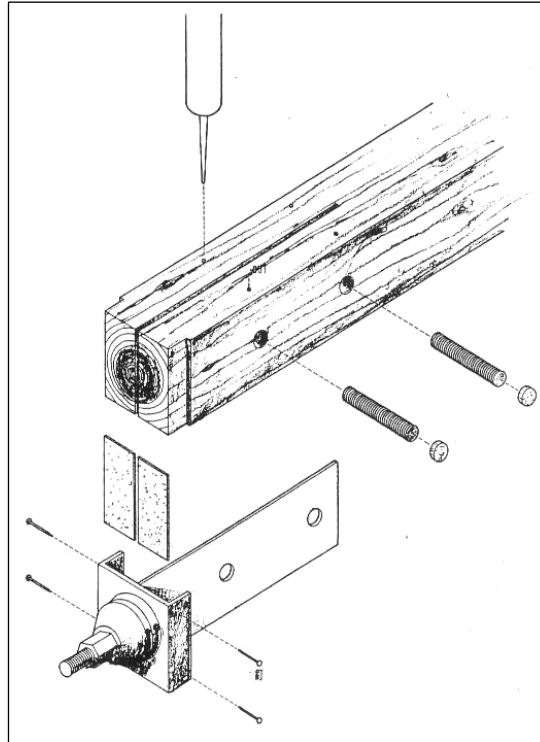
El cost de l'alumini és major al de l'acer, per tant, la seva tria vindrà definida en funció de les circumstàncies en què ens trobem.

El coeficient de dilatació tèrmica de l'acer és de $0,000012/^{\circ}\text{C}$, i en canvi, el de l'alumini és de $0,000024/^{\circ}\text{C}$. Així doncs, es dedueix que l'alumini és més susceptible als canvis de temperatura, ocasionant dilatacions i contraccions en el propi material, i requerint una major cura del disseny.

Cal tenir present que el soldatge de l'alumini és més delicat que el de l'acer. És usual utilitzar l'acer com a material de composició de les barres, i l'acer de forja pels nusos.

3.2. Fusta

Estructures exclusivament de fusta, no n' existeixen. Les barres s'executen amb fusta, però requereixen d'unes peces metàl·liques en els seus extrems, les quals serviran per fer possible la connexió d'aquestes amb el nus, i així transmetre la càrrega adequadament.



Nus metàl·lic de connexió entre barres de fusta (Space Grid Structures, Yoh Architects)

3.3. Formigó armat

En països on l'acer és escàs i car, es tendeix a utilitzar el formigó armat per executar aquest tipus d'estructures, tot i representa un major pes propi i impacte visual.

3.4. Polímers reforçats

Com ja s'ha dit, i per últim, els polímers reforçats, tipus polièster, també es comencen a utilitzar, tot i tenir un coeficient de dilatació tèrmica i mòdul d'elasticitat molt elevat, i deteriorar-se molt fàcilment davant l'exposició dels rajos ultraviolats.



4. COMPONENTS PRINCIPALS

4.1. Barres i nusos

Aquestes estructures estan formades, bàsicament, per dos components. Aquests són les barres i els nusos.

Els nusos tenen la funció d'unir les barres tubulars, les quals donen forma al conjunt. Aquests, per tant, són el punt d'interacció entre barres, i ajuden a transmetre els esforços, deguts a les càrregues suportades per l'estructura, entre barres connectades, i per mitjà d'aquest mateix procés, arribar als punts de suport de recolzament de l'estructura global.

En cas que el nus sigui una peça independent, la seva dimensió vindrà determinada per la magnitud de les forces que s'hi transmetin.

Les barres, en una estructura d'aquesta tipologia, són els elements encarregats de distribuir les càrregues. Tot i així, i segons la funció a què estiguin destinades, tindrem barres que s'encarregaran de formar la capa principal, i d'altres, que serviran de membre d'unió de capes, sempre i quan l'estructura global estigui composta per més d'una capa.

Normalment, les barres estàndards, d'acer o alumini, són circulars i de perfil buit, tractades interior i exteriorment, per evitar-ne la seva corrosió. En cas que l'estructura sigui d'acer, com en la majoria dels casos, es fabriquen amb acer A42-b, i són perfils tubulars conformats en fred.

Cal que els eixos de les barres, i per tant, els eixos per on es transmetrà la càrrega, passin pel centre del nus, ja que en cas contrari l'excentricitat generaria uns esforços torçors.

La classificació de les diferents tipologies existents dins aquest àmbit d'estructures, es centra bàsicament amb els sistemes d'unió entre barres. Normalment, es treballa amb seccions circulars o quadrades, però la diferència no està exclusivament en la secció de les barres, sinó en la seva connexió amb el nus.

4.2. Tipologies de nusos

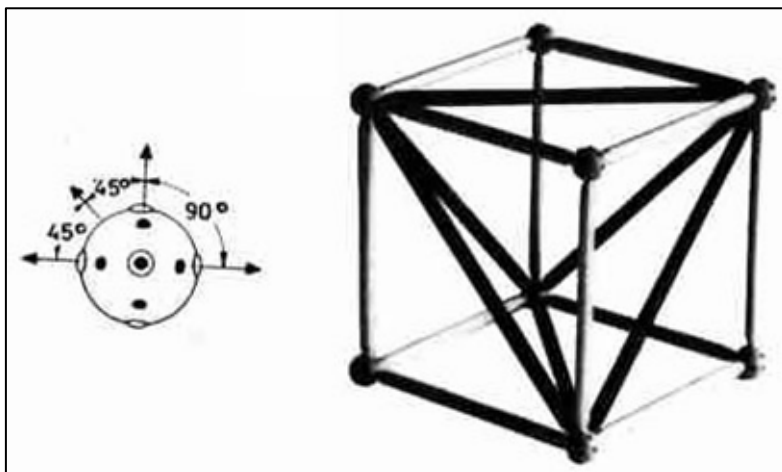
4.2.1. Nusos esfèrics sòlids

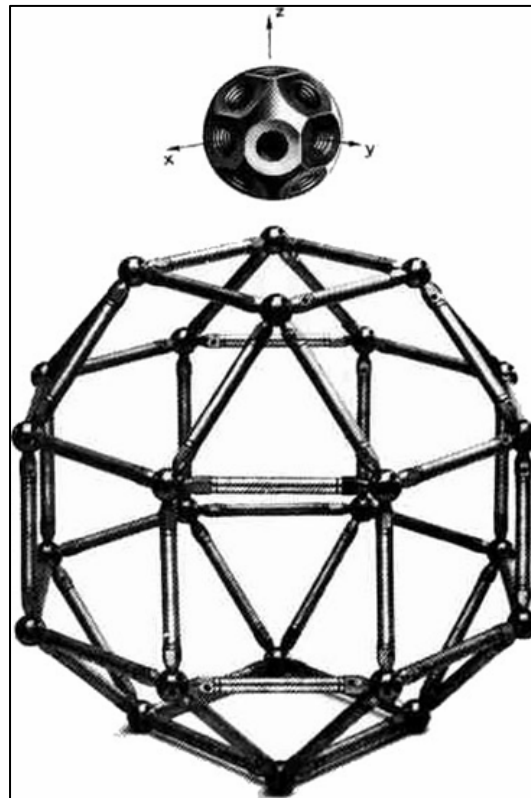
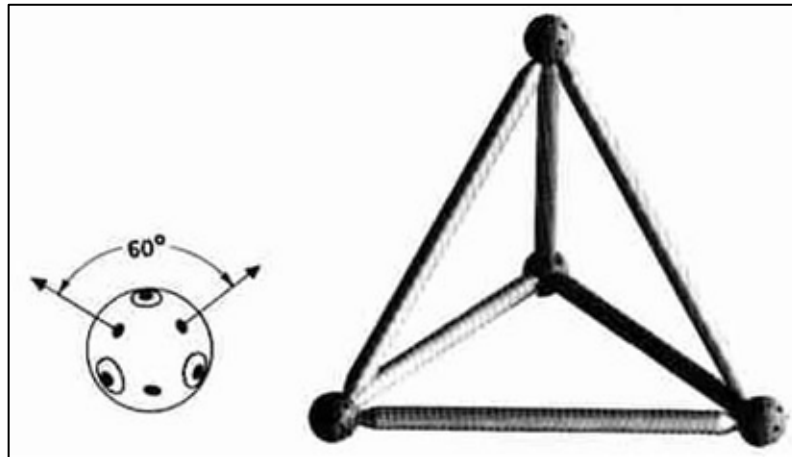
Els nusos esfèrics en general, són la tipologia més estètica, tot i que depenent de l'estructura reticular metàl·lica en què ens trobem, pot arribar a tenir una aparença molt desordenada. Dintre aquest tipus en podem fer una subdivisió, diferenciant els nusos esfèrics de perfil sòlid, i els de perfil buit, que s'explicaran al següent punt.

Els nusos esfèrics de perfil sòlid són esferes realitzades d'acer de forja on s'hi preveuen forats a l'angle apropiat per la seva connexió amb els membres constituents de l'estructura. Aquests forats són roscats, per tal de proporcionar la pressió adequada entre els nusos i la barra. Les barres s'encasten al nus per mitjà d'un pern roscat, en el seu eix central. Els sistemes més representatius són: Mero KK (Alemanya), i Orona SEO (Espanya).

- **Mero KK.** És el primer sistema que es va comercialitzar. Ha resultat ser una de les solucions més elegants i simples. Consisteix bàsicament en un nus esfèric, on s'hi connecten les barres tubulars metàl·liques, a través d'uns forats roscats que inclou. Va sorgir, l'any 1930, a partir d'uns estudis estructurals portats a terme pel Dr. Max Mengerhausen Rohrbaueise, del qual en neix el nom de MERO.

El nus original, era una esfera sòlida de ferro forjat que contenia 18 forats roscats i amb les superfícies mecanitzades, per tal d'aconseguir angles de 45°, 60° i 90°. Lògicament, la situació del nus influenciarà en el nombre de forats que el constitueixi.



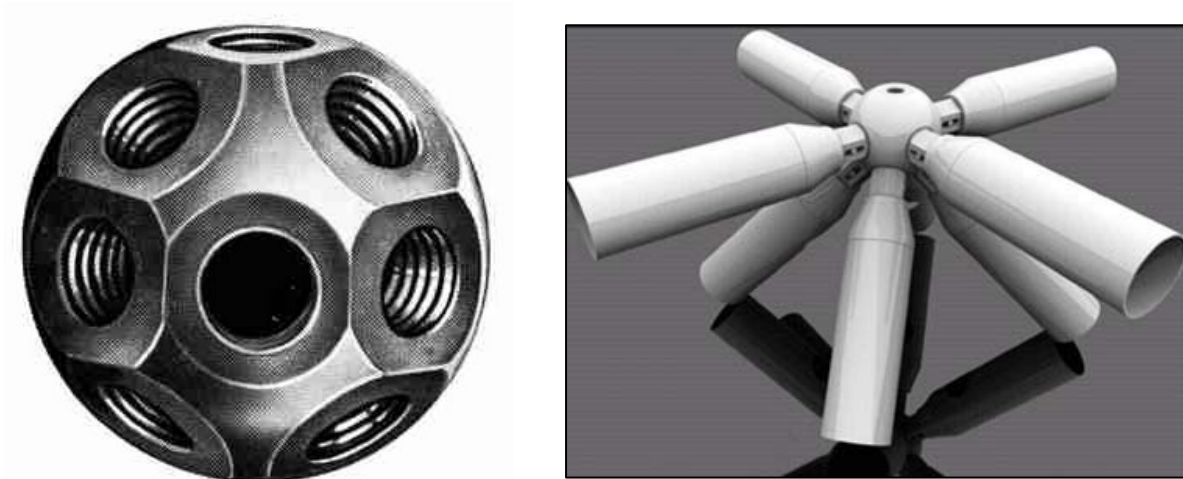


Actualment, i gràcies a la gran precisió numèrica que ens permeten les noves tecnologies, ens és realment fàcil foradar i roscar els nusos amb qualsevol angle, sempre i quan, l'angle mínim entre els forats adjacents sigui 35° . Això permet una gran flexibilitat en el disseny de la geometria de l'estructura.



En particular, als extrems de les barres, s'hi solden unes seccions còniques, que contenen el pern, que quedarà roscat amb el nus.

Aquest sistema ha estat utilitzat, aproximadament, durant uns 50 anys. Inicialment va ser dissenyat per estructures de doble o diverses capes, tot i que s'ha anat adaptant a altres tipologies. Els canvis en la unió entre nus i barres és el fet més destacable de l'evolució d'aquest sistema.

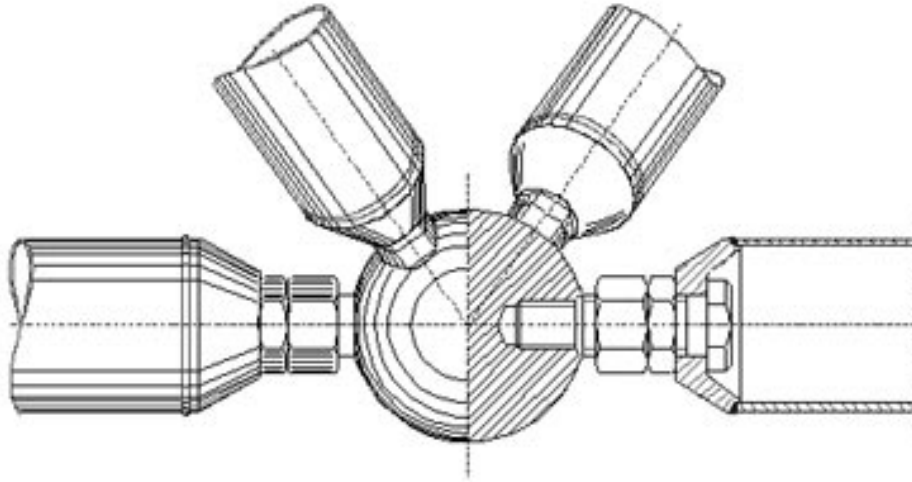


- **Orona Seo.** Aquest sistema va sorgir al 1980, fabricat per la Coop. Orona S. de Sant Sebastià (Espanya). Es va utilitzar l'any 1992 per la construcció de la coberta del Palau d'Esports Sant Jordi de Barcelona.

Es tracta d'un sòlid esfèric d'acer forjat dotat d'una sèrie de forats roscats, segons la direcció que hauran d'obtenir les barres un cop connectades. El màxim nombre de barres que s'hi puguin connectar vindrà delimitat per l'angle mínim que hagin de mantenir les dues barres contigües, per evitar la interferència entre elles.

Pel que fa les barres, portaran soldades en els seus extrems uns casquets cònics, els quals també aniran perforats. Aquests, quedaran travessats per cargols especials, els quals ens proporcionaran la connexió del nus amb la barra, ja que estan formats per dos cossos roscats amb sentits inversos de rosca, i separats per una superfície troncocònica. Aquest doble sentit de rosca és el que ens permet que, amb un sol sentit d'accionament sobre el cargol, aconseguim acollir els dos elements. Per un costat, l'esfera amb el cargol, i per l'altre, el cargol amb la barra per mitjà de les femelles que conté el propi cargol, de més diàmetre.

- **Sistema Ortiz.** Aquest sistema es troba en venda, actualment, en el mercat, essent una actualització de l'Orona Seo.

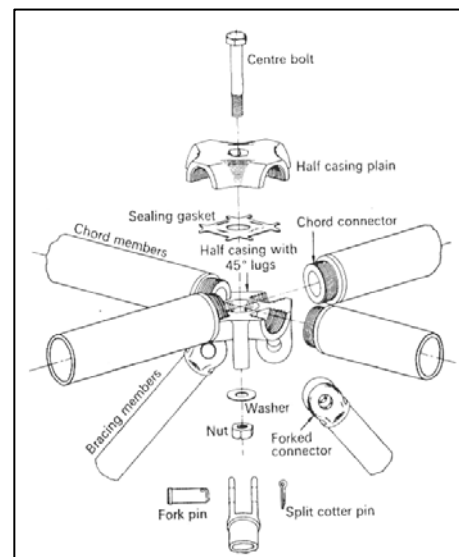


Detall del Sistema Ortiz (*Space Grid Structures*, J. Martínez-Calzón)

4.2.2. Nusos esfèrics buits

- **Nodus.** És un sistema desenvolupat a finals dels anys 1960 per 'Tubes Division of the British Steel Corporation', i introduïda comercialment a principis dels 1970. Des del 1985, passà a ser propietat de Space Decks Ltd.

Aquest nus es caracteritza per la seva complexitat formal, ja que és un nus compost per diverses peces. Bàsicament es distingeixen dos hemisferis que s'acabaran unint mitjançant una fixació mecànica en el seu punt mig. Un dels hemisferis servirà per disposar-hi les barres, tant les que formen part de la capa, com les d'unió entre capes. L'altra, servirà exclusivament per tancar el conjunt abans de realitzar-hi la fixació. Les barres de constitució, de cada capa, s'ubicaran sobre unes zones que seguiran les mateixes ranures de l'extrem de la barra, evitant així, el lliscament d'aquestes.



Especejament del Sistema Nodus
(*Space Grid Structures*, Space Deck Ltd.)



4.2.3. Nusos cilíndrics

• **Triodetic.** Aquest sistema és desenvolupà durant els anys 50 per Fentiman Bros. d'Ottawa, Canadà, mentre que s'introduí comercialment a l'any 1960.

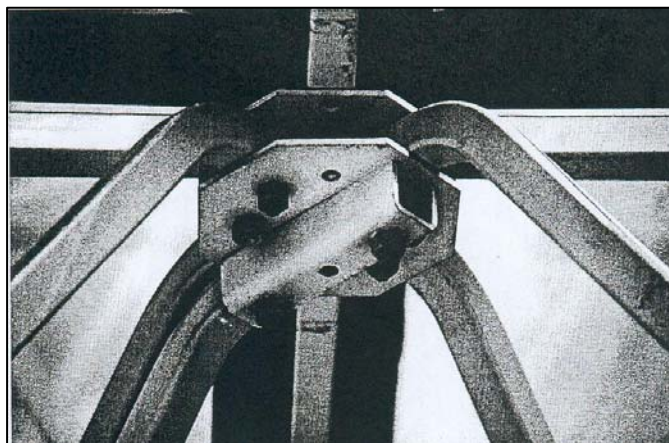
Per aquesta tipologia, s'utilitza un concepte de connexió totalment diferent, que permet una major concentració de barres en cada nus. Està format per una secció sòlida d'alumini, en la qual hi apareixen un seguit de regueres longitudinals, on s'hi ubicaran els extrems de les barres aixafades. En cas que les barres formin part de la pròpia capa, el tall en els seus extrems d'unió amb el nus serà perpendicular a aquest. Però en canvi, a les barres de connexió entre capes, caldrà diagonalitzar el tall en els extrems, per aconseguir l'angle que es requereixi.



4.2.4. Nusos plans

• **Moduspan (Unistrut).** Aquest sistema és una versió actualitzada del sistema Unistrut. Aquest últim, va ser la versió original inventada i patentada per Charles W. Attwood.

El seu funcionament és similar al Nodus, tot i tractar-se d'un nus pla. A diferència del Nodus, les barres de capa van fixades a una de les platines de composició del nus i les barres d'unió entre les diverses capes, formen part del propi nus, quedant fixades mecànicament enmig de les dues platines.



Típic Moduspan (Space Grid Structures, John Chilton)



4.2.5. Sense nus

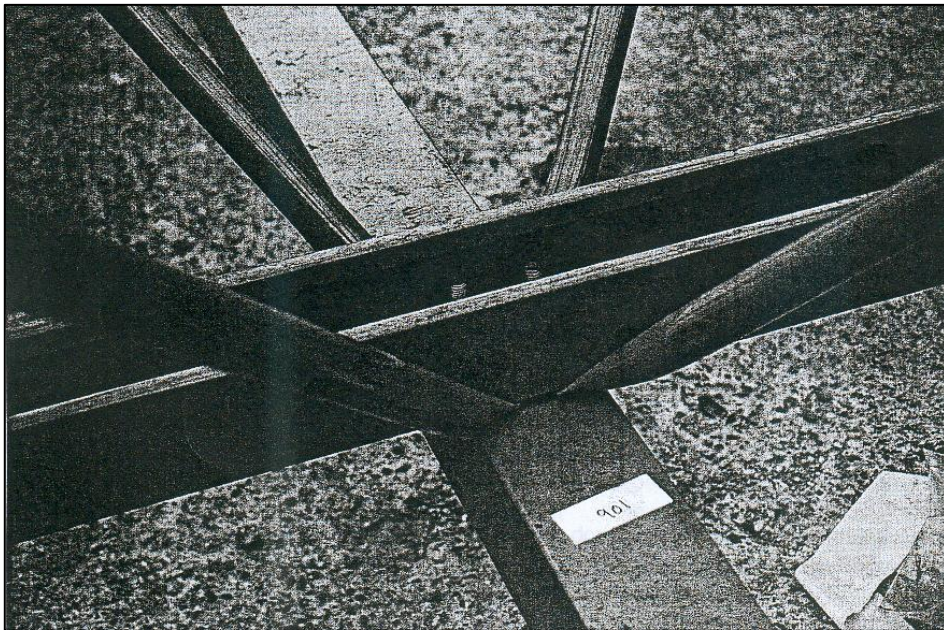
Aquest tipus d'estructures no estan composades per un nus purament físic. La funció de nus la realitza la pròpia unió entre barres. Així doncs, els extrems de les barres estan exclusivament dissenyats per fer possible la seva interacció mecànica.

4.2.6. Sistemes continus

La diferència entre aquest sistema i els explicats anteriorment, està en l'especejament de peces. En aquest cas, les barres que constitueixen les capes tenen continuïtat en tota la seva longitud. Per contra, en els casos anteriorment explicats, el nus és l'element d'intersecció entre barres. Aquí no hi ha una intersecció estrictament física, sinó que hi ha un punt on tots els components s'uneixen mecànicament, per formar el conjunt.

Dins aquesta tipologia genèrica podem distingir-ne, d'entre d'altres, els següents:

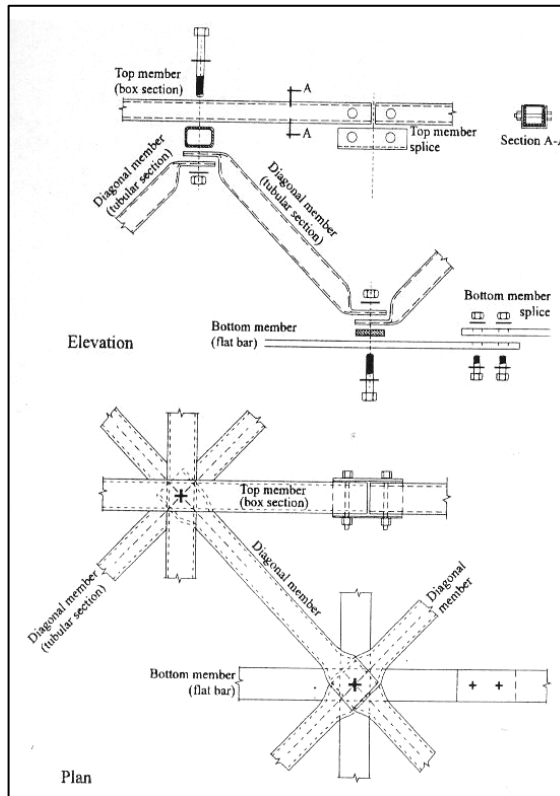
- **Harley/Conder Harley**



Típic Harley dels anys 80 (Space Grid Structures, John Chilton)

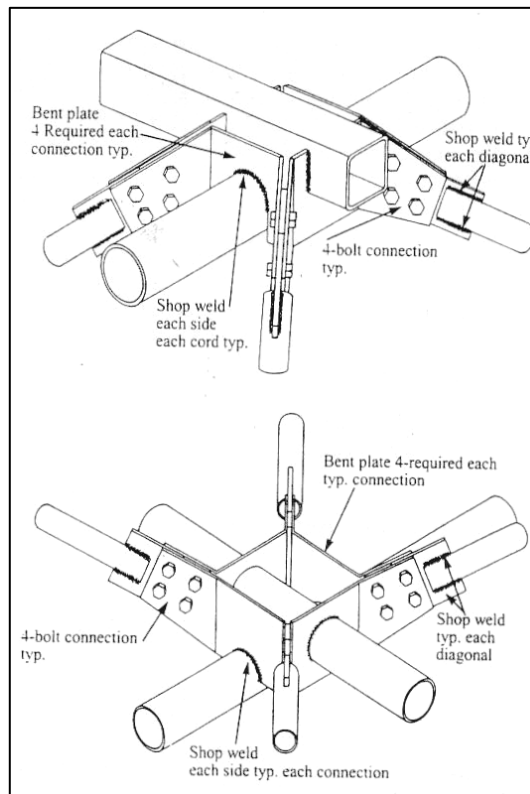


• **Catrus**



(Space Grid Structures, A. El-Sheikh)

• **Mai Sky System**



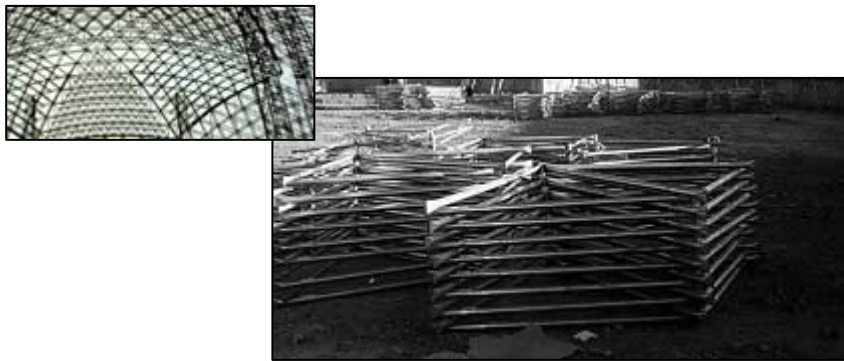
(Space Grid Structures, May Sky Inc.)



4.2.7. Sistemes modulars

Aquest altre sistema té un avantatge respecte els anteriors, i és la prefabricació. La composició d'aquestes estructures es fa mitjançant mòduls i barres rigiditzadores. Aquestes últimes, sorgeixen per complir una funció, i és la d'unió entre mòduls prefabricats.

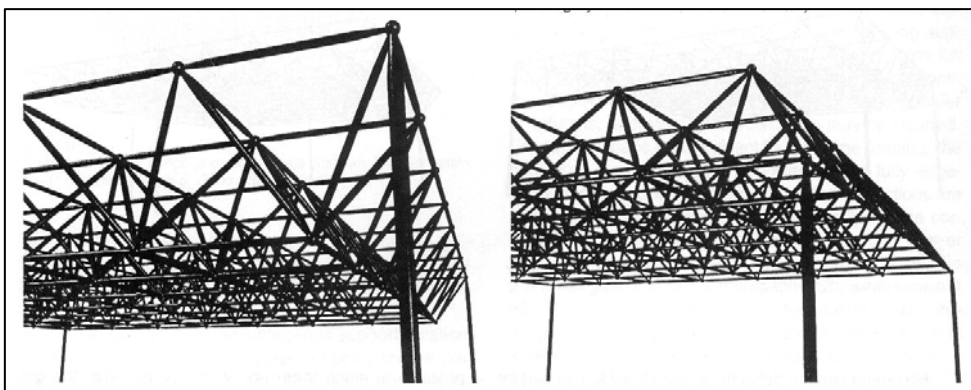
El fet de ser una estructura composta per mòduls prefabricats, afavoreix el temps de muntatge.



4.3. Ubicació dels suports

La col·locació dels suports vindrà donada per la planta de l'estructura i les possibles consideracions arquitectòniques.

En funció d'aquesta tria, ens variarà l'eficàcia estructural. Podem trobar-nos amb dos casos: que els suports connectin directament amb la capa superior, o per contra, amb la capa inferior. En qualsevol cas, les barres connectades als suports estaran treballant a tracció i les restants, a compressió.



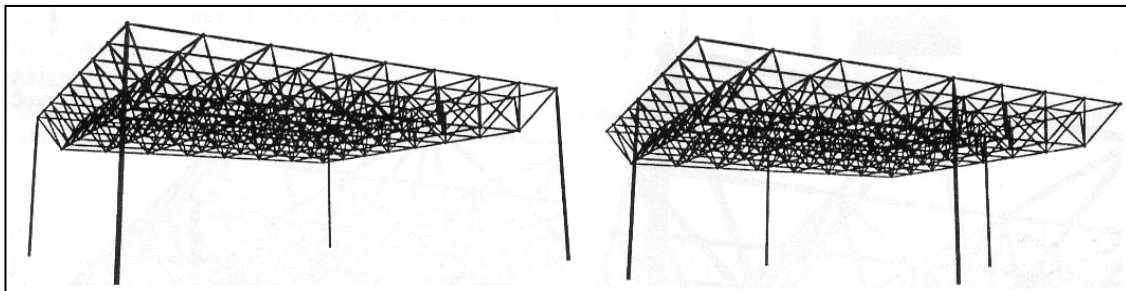
a) Connexió a nus de la capa superior b) Connexió a nus de la capa inferior
(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)



Les zones de connexió amb els suports són les més crítiques, i les úniques que poden arribar a provocar un col·lapse total de l'estructura. Això serà més provable, quan els suports estiguin connectats a la capa inferior, o quan els suports siguin molt esvelts, en relació a la seva longitud. Per tant, el cas ideal es donaria quan els suports, amb una longitud raonable, connecten a la capa superior.

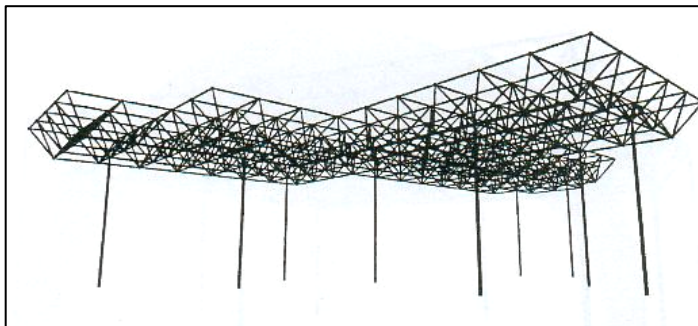
La llum entre suports determinarà el nombre de pilars del perímetre. Físicament, es reparteix millor la càrrega aplicada a una estructura com més petita sigui la llum entre els suports. Però en canvi, un excés de pilars comporta un sobrecost en fonamentació. Per tant, cal buscar un equilibri entre els dos factors.

Normalment, i com a mínim, els suports es solen localitzar a les quatre cantonades. De totes maneres, un sistema que treballa força bé consisteix en col·locar aquests quatre suports al punt mig de cada costat, fent que els quatre vèrtexs que treballen en voladís, ajudin a contrarestar els esforços de l'àrea central, així com també les deformacions que s'hi produiran.



a) Suports a les quatre cantonades b) Suports centrats a cada costat
(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)

Amb el cas anterior hem pogut observar que preveure petits voladissos ajuda a compensar l'acció estructural. Per tant, una altra opció seria ubicar els suports separats del perímetre, deixant a tot vol, un petit voladís. En cas que aquest voladís sigui excessiu, podria donar-se un cas crític degut a les deformacions que s'hi produirien per les variacions de càrrega.



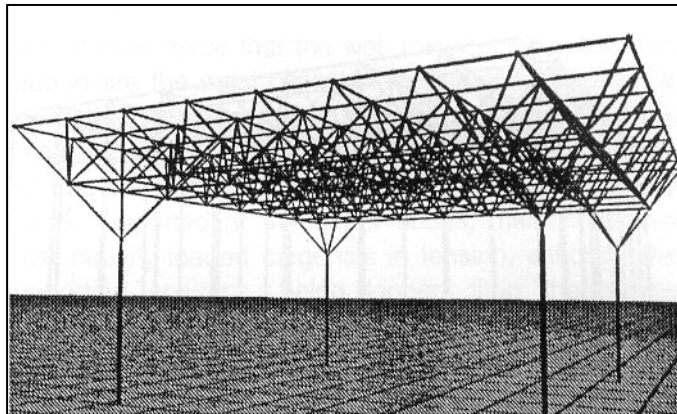
(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)



Com més regularitat es segueixi a l'hora de determinar els suports, més econòmica sortirà l'estructura. De totes maneres, és molt habitual seguir una regularitat en la seva ubicació.

4.4. Tipologies de suports

Fins ara, s'ha parlat d'una mateixa tipologia de suports. Aquests es connectaven de forma individual, directament al nus. Però en canvi, poden sorgir altres tipologies, com són els suports ramificats en la seva part superior (ve a recordar la forma d'un arbre), els quals connecten alhora amb diferents nusos. Aquest fet millora el comportament estructural, ja que l'àrea total queda repartida en les diferents ramificacions. El cost total s'incrementa en utilitzar aquesta tipologia de suports.



*Suports ramificats
(Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per
Graeme Barker, © John
Chilton)*

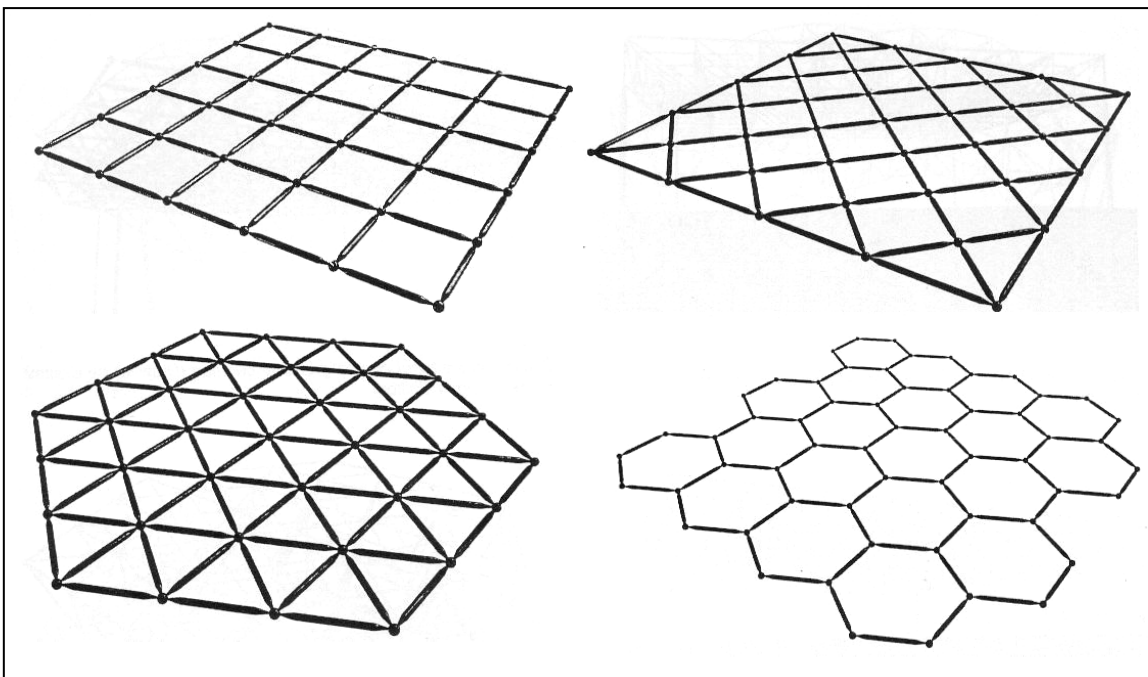
5. CRITERIS DE DISSENY

5.1. Geometria

5.1.1. Estructures reticulars metàl·liques d'una, doble o vàries capes

Actualment, gràcies al gran avanç de la tecnologia, tenim una gran facilitat de creació d'aquest tipus d'estructures. Se'ns permet, amb una gran fiabilitat, executar barres de diferents longituds, i nusos, on s'hi connecten barres amb diferents angles. Amb això volem dir que, ara per ara, no és necessari regir-nos amb uns models de longituds i angles estàndards, aconseguint així estructures de major complexitat.

Tot i així, les formes base que solen contenir aquestes estructures solen ser: el triangle equilàter, el quadrat i l'hexàgon.



*Típiques figures base de constitució de les estructures tridimensionals
(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)*

Començant amb una configuració simple d'una sola capa, i basant-nos amb l'explicat al paràgraf anterior, podem trobar-nos amb estructures compostes de quadrats paral·lels als costats, o girats 45° respecte els costats. Aquestes dues tipologies treballen en dues dimensions, ja que tenen elements orientats en dues direccions perpendiculars entre elles. Passant a les estructures d'una sola capa



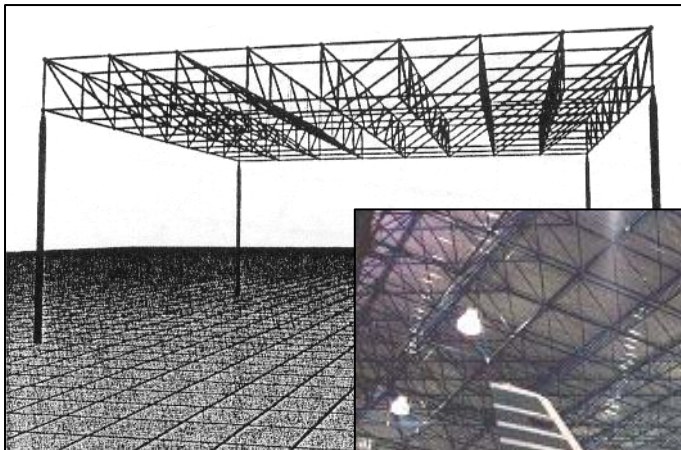
compostes per triangles equilàters i hexàgons, la diferència amb les anteriors està en què aquestes treballen en tres direccions.

Partint d'aquí, podem trobar-nos amb estructures generades d'una combinació entre les diferents tipologies explicades.

A part de les estructures reticulars d'una sola capa, també n'existeixen de doble capa. Aquestes no deixen de ser dues estructures d'una sola capa unides per barres addicionals. Cal dir que la capa inferior i la superior, no necessàriament tindran la mateixa configuració.

Farem una classificació de les estructures de doble capa estandarditzades, que bàsicament són les més utilitzades, no perquè no se'n puguin dissenyar de més complexes, sinó perquè són les més econòmiques.

1. Quadrat-Quadrat: consisteix en dues capes iguals, compostes de quadrats seguint les mateixes direccions del perímetre, i unides entre elles per barres addicionals, contingudes dins el pla vertical. Així doncs, observant aquesta estructura en planta, únicament es percebrà la configuració d'una sola capa.

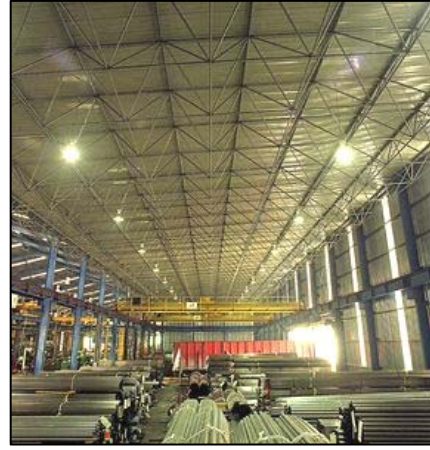
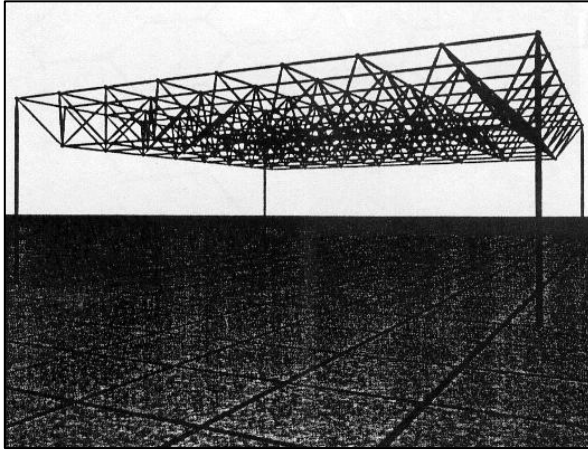


*Quadrat-Quadrat
(Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme
Barker, © John Chilton)*



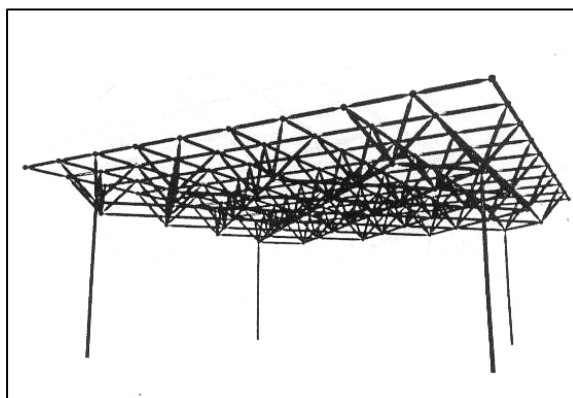


2. Quadrat-Quadrat desplaçat: ve a ser igual que el cas anterior, amb la particularitat de que la capa inferior queda desplaçada a la meitat del quadrat base de la capa superior, en les dues direccions. Per aclarir, el nus d'unió de les barres addicionals de connexió entre capes sempre quedarà ubicat just al centre del quadrat base de la capa superior o inferior. Aquesta és una de les configuracions més utilitzades.



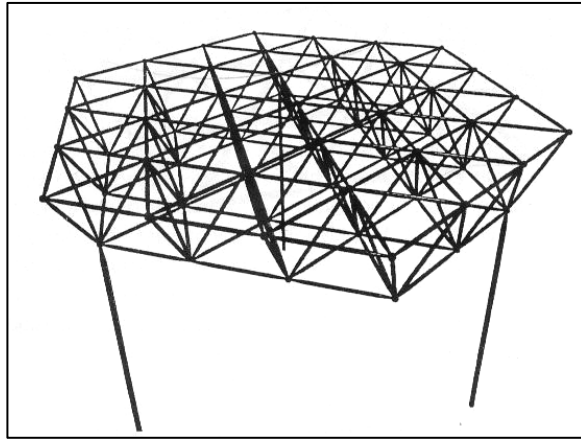
*Quadrat-Quadrat desplaçat (Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)*

3. Quadrat-Quadrat en diagonal: es tracta d'una combinació de capa quadriculada paral·lela al perímetre i capa quadriculada girada 45° , que en la majoria dels casos la capa inferior és menys densa que la superior. La situació d'una o altra capa, tant es pot donar a la part superior com inferior, però sempre marcant l'alternança explicada. En cas que la quadrícula girada es trobi a la part superior, la resolució de l'estructura serà més complexa.



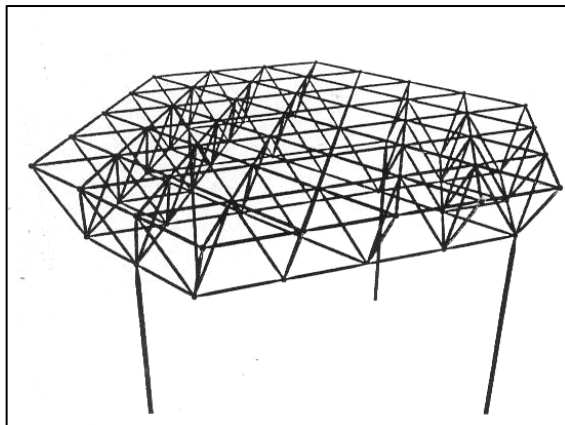
*Quadrat-Quadrat en diagonal
(Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme
Barker, © John Chilton)*

4. Triangle-Triangle desplaçat: en aquest cas les dues capes estan compostes per triangles. Hi succeeix el mateix que l'estructura de doble capa amb quadrat-quadrat desplaçat.



*Triangle-Triangle desplaçat
(Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme
Barker, © John Chilton)*

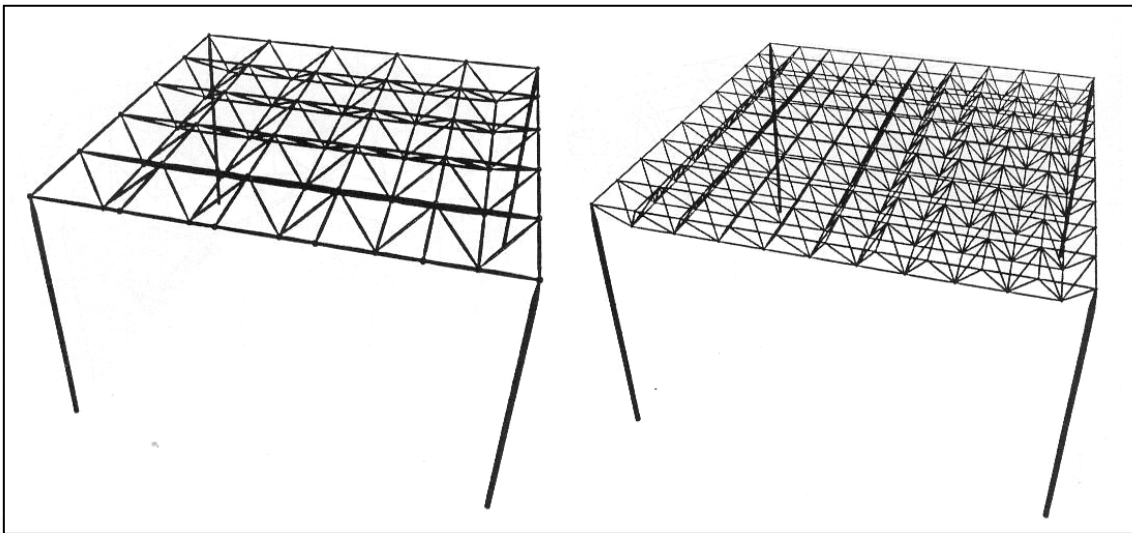
5. Triangle-Hexàgon: es tracta d'una capa superior densa constituïda per triangles, treballant exactament igual que el cas anterior, i una capa inferior, menys densa, constituïda per hexàgons.



*Triangle-Hexàgon
(Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme
Barker, © John Chilton)*

Normalment, si es vol utilitzar una capa menys densa, aquesta s'ubicarà a la part inferior, ja que per norma general, la capa inferior estarà sotmesa a tracció. Per contra, la capa més densa serà la superior, que per tant, estarà sotmesa a compressió. Aquesta solució s'adoptarà per millorar el comportament de l'estructura en front l'acció de les forces, ja que les barres curtes suportaran millor la compressió i les llargues, la tracció. D'aquesta manera, es disminuiran les deformacions que afectaran a l'estructura en conjunt, i a més, la de les pròpies barres que la constitueixen.

El fet de tenir una capa menys densa ens afavoreix a disminuir el pes propi de l'estructura en conjunt. No obstant, abans de reduir-ne la densitat, cal tenir en compte la disposició dels suports i el grau d'intensitat de la càrrega produïda pel vent. En front del vent, cal cuidar molt el pes de l'estructura, ja que produeix dos efectes, la pressió i la succió. Per tant, el nombre d'obertures que hi hagi, on estigui ubicada aquesta tipologia estructural, afavorirà aquesta circulació d'aire, podent crear l'elevació d'aquesta, quan es superin les forces per gravetat (pes propi i neu). Per millorar el comportament estructural en front de la força del vent, també cal que els elements que treballen a tracció en condicions normals, es dimensionin per aguantar a compressió, així com també els nusos i elements d'unió.



*Comparació de densitats de capa
(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)*

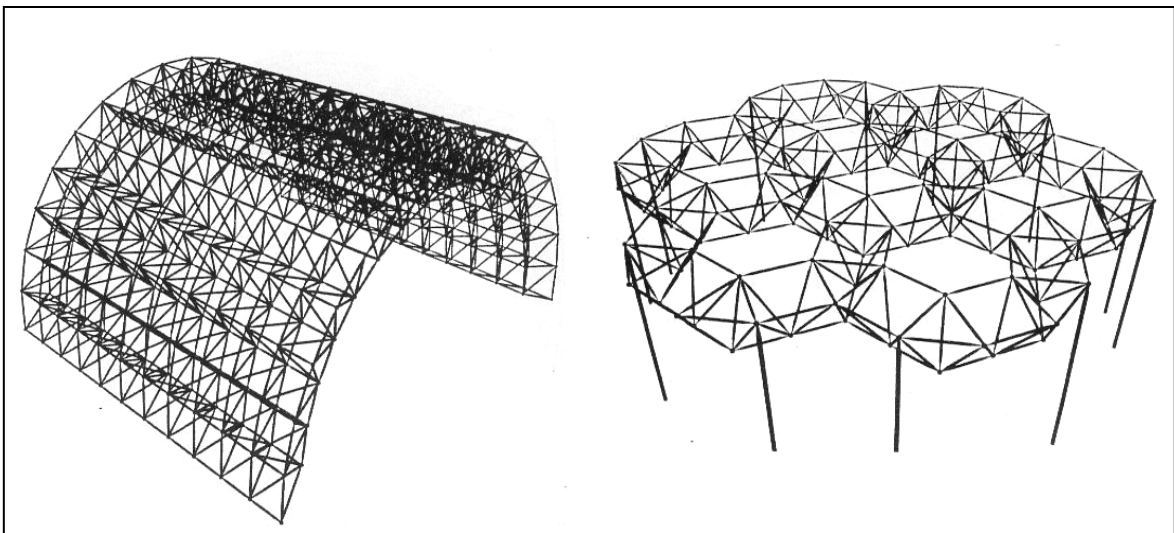
El fet d'escollir una o altre configuració i profunditat entre capes influenciarà, exclusivament, en el cost de l'estructura. En cas d'optar per una estructura prefabricada, farà que ens trobem amb limitacions en la longitud de les barres i les profunditats, tot i que les possibilitats geomètriques són il·limitades. El problema en aquest últim comentari està en què una estructura més complexa implica més quantitat de nusos, i per tant, un major cost. En front d'aquest problema, la solució està en disminuir la densitat de les capes, presentant un menor nombre de nusos, però produint una ineficàcia estructural. Per evitar-la, caldrà augmentar-ne el cantell, tot i que aquest vindrà limitat per l'angle d'inclinació de les barres addicionals aconsellat. Aquest angle sol estar entre els 30 i 70°, respecte el pla horitzontal. Quan l'angle no



estigui inclòs dins d'aquest marge, la longitud de la barra addicional serà excessiva per suportar la compressió a què estarà sotmesa. A causa d'això, caldrà un augment de la seva secció. En conclusió, cal trobar una equilibri entre lleugeresa i cost.

Actualment, hem passat de realitzar càlculs aproximats, a càlculs molt més precisos i ràpids, gràcies a l'avenç de la programació informàtica. El fet de poder disposar d'un programa informàtic ens permet analitzar, barra a barra i nus a nus, el comportament estructural en front tot tipus d'accions que s'hi aplicaran (pes propi, sobrecàrrega d'ús, sobrecàrrega de neu, el vent, els afectes deguts als canvis de temperatura,...). Aquesta precisió en les característiques estructurals, lligat amb la gran evolució de les màquines industrials, fa que tots els components de l'estructura es puguin reproduir a la realitat, amb gran exactitud i rapidesa. Amb la facilitat que ens proporcionen aquests programes podem arribar a dissenyar estructures força més complexes a les habituals.

Cal dir que aquestes estructures no sempre seran planes, sinó que també poden adoptar formes corbes, hiperbòliques, parabòliques,..., tot i que requeriran d'un càlcul més complexa.



(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)



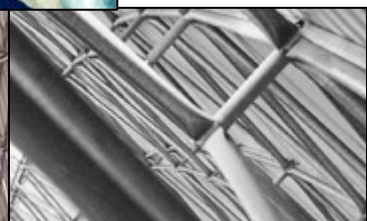
Una estructura reticular metàl·lica lleugera, amb llums inferiors a 10m, suporta sense dificultat els esforços que recauen sobre ella. A partir dels 10 m de llum, és recomanable utilitzar estructures reticulars metàl·liques de doble capa. El fet de tenir dues capes connectades entre elles, mitjançant elements tubulars en posició vertical i/o inclinada, augmentarà l'eficàcia de l'estructura tridimensional a l'hora de suportar càrrega.

Tot i considerar les diferents tipologies d'estructures reticulars de doble capa, dins un mateix grup, la diferència entre elles vindrà marcada pel seu funcionament estructural. Així doncs, i genèricament, podem trobar-nos amb:

- Estructures reticulars de doble capa amb elements inclinats d'unió entre capes.



- Estructures reticulars de doble capa amb elements verticals d'unió entre capes.





Les primeres, treballen de forma similar a una encavallada. Inicialment, els nusos són els encarregats de rebre les càrregues, a què està sotmesa l'estructura. Els nusos venen a ser unions entre les diferents barres, tant les que formen part de la pròpia capa, com les d'unió entre capes. Per tant, en segon lloc, els afectes causats pel nus, passen a ser responsabilitat de les triangulacions de la pròpia estructura. Així doncs, aquests elements d'unió, seran els encarregats de suportar les forces de tracció i compressió. Cal dir que els afectes deguts a les càrregues que rep l'estructura, variaran en funció de la tipologia i la rigidesa del nus.

A diferència de les primeres, aquesta segona tipologia es caracteritza per la necessitat d'adoptar més rigidesa als nusos, i així evitar que la pròpia estructura pateixi deformacions un cop aplicades les càrregues.

Comparant dues estructures equivalents de les dues tipologies, el segon cas requerirà un sobredimensionament de les barres d'unió enfront les del primer cas, degut als esforços de compressió.

Aquesta solució, sorgirà per salvar el cantell excessiu en una estructura de doble capa degut a llums o càrregues molt grans, i consegüentment, també disminuint l'angle de les barres addicionals respecte l'horitzontal, les seccions de les barres, el pes propi de l'estructura,...., per tant, millorant el comportament en general de l'estructura. Aquesta consistirà en la col·locació d'una, o més capes, entre la capa superior i inferior. Com en tots els casos, la configuració de cada capa pot ser diferent. Es sol donar, habitualment, amb estructures prefabricades, amb les que ens ve limitat l'angle i la longitud de les barres.

En cas de trobar-nos amb una estructura d'aquest tipus, pot donar-se el fet de tenir una capa intermitja, que estigui a prop o just al mig del cantell total. Aquesta adoptarà la mateixa funció que la secció neutra d'una biga sòlida, o sigui, no estarà sotmesa a compressió, ni a tracció. El poc pes i densitat que caracteritza aquesta capa, ve donat per la mínima funció estructural que realitza. Per tant, no és elevat el cost que implica l'execució d'aquesta capa intermitja.



5.2. Estabilitat

Amb aquest tipus d'estructures s'aconseguirà l'estabilitat, mitjançant la rigidesa dels nusos. Aquesta, també pot venir condicionada per la geometria que segueix la pròpia estructura.

Per relacionar l'estabilitat amb la geometria ens basarem amb l'equació de Maxwell o el principi de Foppl. Aquesta relaciona el número de barres de l'estructura, amb el nombre de nusos, perquè aquesta sigui estable, tal i com s'observa a continuació.

$$n=3j-6$$

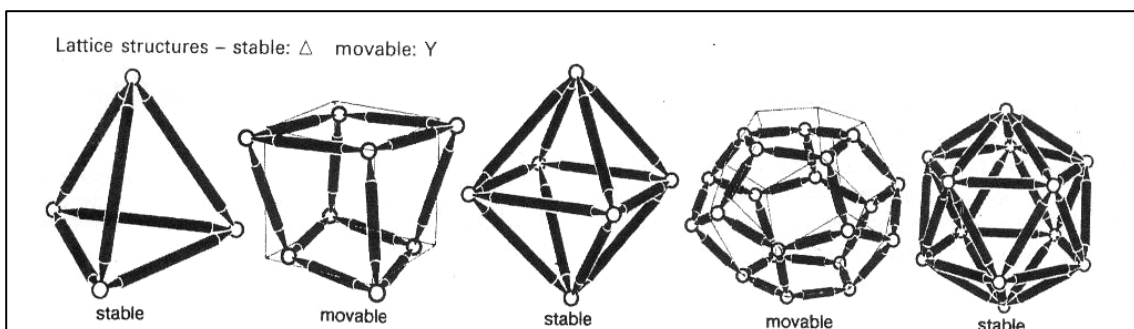
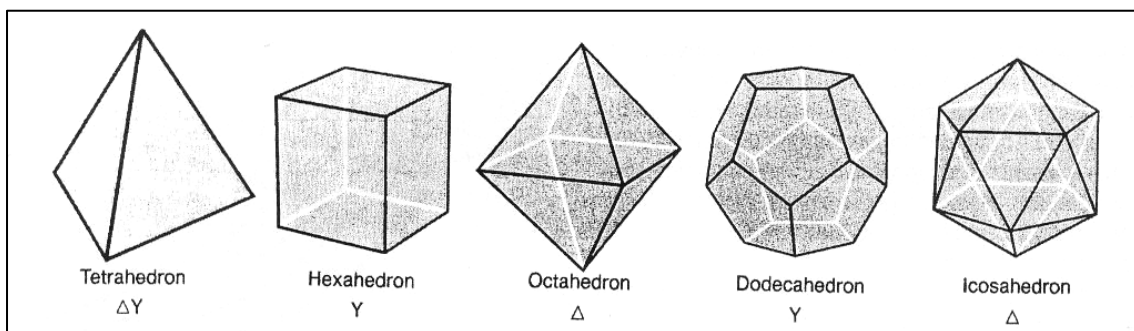
n = número de barres de l'estructura

j = número de nusos de l'estructura

6= número mínim de reaccions de recolzament

Considerarem que la figura és estable, quan la ' n ' resultant sigui igual al número de barres que conté. En cas que sigui superior al número de barres, que conté realment la figura, aquesta serà inestable.

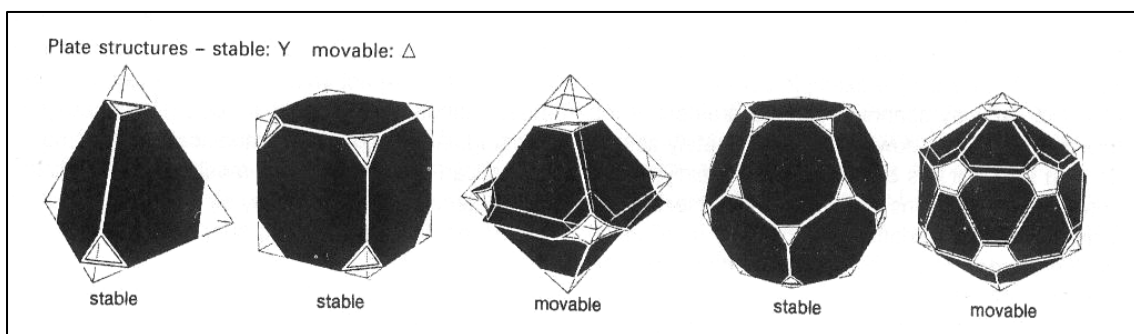
Centrant-nos amb figures geomètriques, i aplicant aquesta equació, observem que les figures estables són el tetraedre, l'octaedre i l'icosàedre, totes elles compostes per triangles. En canvi, les figures inestables són l'hexaedre i el dodecaedre, les quals no estan compostes per triangles. Per tant, només aconseguiran ser estables, per mitjà de la divisió de les seves cares, en triangles. D'aquí, en podem extreure una conclusió, i és que el triangle és la figura ideal per la configuració d'aquest tipus d'estructures.





Per aconseguir l'estabilitat de les figures geomètriques que, inicialment, no en tenen, i complint l'equació anterior, caldrà afegir barres addicionals entre els vèrtex, per augmentar-ne la rigidesa. El nombre de barres addicionals vindrà donat per la diferència entre el nombre de barres resultant de l'equació i el que té la figura i no compleix.

Si deixem de banda les estructures reticulars compostes de barres, i ens centrem en una tipologia d'aquestes, composta per cares planes, podem observar que hi ha un canvi d'estabilitat en relació als casos explicats anteriorment. D'aquesta manera les figures que aconseguen ser estables són l'hexaedre i el dodecaedre, i conservant com en els casos anteriors, el tetraedre. En canvi, l'octaedre i l'icosaedre no seran mai estables. La comprovació de l'estabilitat es fa mitjançant el tall dels vèrtex. Quan del tall en sorgeix un triangle, la figura és estable, ja que s'observa que el triangle actua de la mateixa manera que una barra addicional entre nusos.



(Space Grid Structures, representació gràfica de Ture Wester)

Finalment, també es poden executar estructures combinant les dues opcions. Es basaria en la combinació de barres metàl·liques i cares planes amb vidre o plàstic.

5.3. Principis estructurals

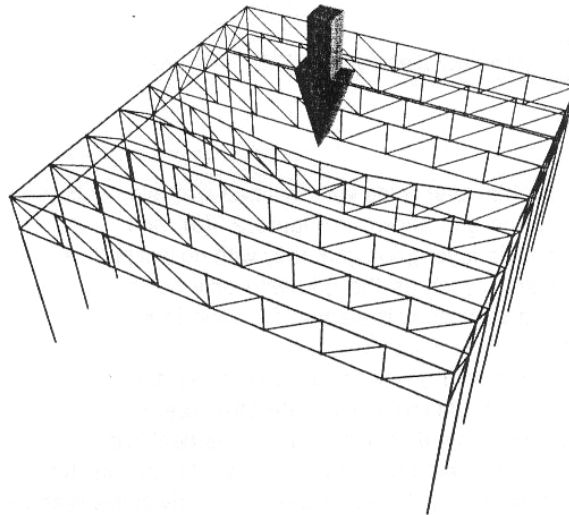
5.3.1. Introducció del concepte: unidireccional/bidireccional

La principal diferència entre una estructura unidireccional i bidireccional, està en com es reparteix la càrrega.

Una estructura unidireccional, no serà mai tant monolítica com per distribuir la càrrega de forma homogènia, en tots els seus components. Per tant, i per posar un



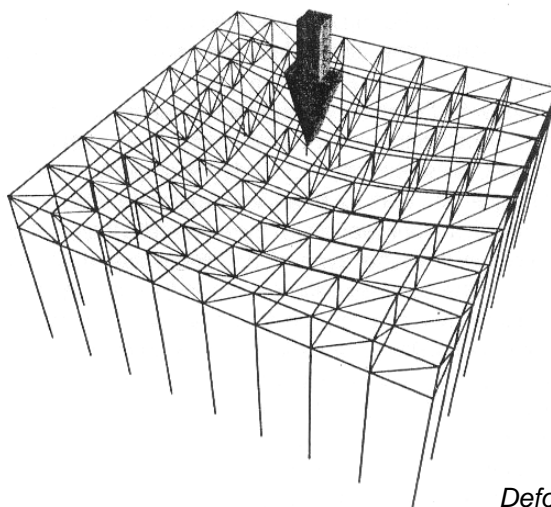
exemple, en el cas d'un forjat unidireccional compost per bigues de fusta, si tenim un pes concentrat sobre una biga en concret, aquesta serà la que haurà d'aguantar, íntegrament, el pes. D'aquí deduïm, que la fletxa que s'hi pugui ocasionar no serà la mateixa en totes les bigues. Aquest fet també repercutirà en el tram de suport que quedarà influït per aquesta càrrega.



Deformació d'un sistema unidireccional

(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)

En canvi, les estructures reticulars, les quals treballen en dues direccions, quan tenen una càrrega, puntualment, concentrada, el seu pes es transmetrà de forma més repartida, disminuint el pes que rebrà cadascun dels suports. A causa del bon repartiment del conjunt, en cas del trencament d'un dels elements, aquest continuarà realitzant la seva funció.



Deformació d'un sistema bidireccional

(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)



La tria entre estructura unidireccional i bidireccional, vindrà definida bàsicament per la forma de la planta de l'edifici i la situació dels suports estructurals.

Si partim d'una planta rectangular, optarem per una estructura unidireccional, sempre i quan els suports estiguin ubicats solament en dues de les seves cares, i completament alineats. En canvi, quan la situació dels suports es presenti al llarg de totes les cares, sorgirà el dubte en la tria. En aquest cas, el fet d'optar per una estructura bidireccional es regiria bàsicament pel tema econòmic i la distribució de càrregues que es doni.

5.3.2. Dimensionament de barres

Suposant que tenim una càrrega puntual aplicada sobre la intersecció entre dues barres ortogonals, aquesta es repartirà en parts iguals sobre cadascuna de les dues barres, sempre i quan les dues tinguin les mateixes característiques. Quan es parla de característiques, es pensa amb la longitud, el material de constitució i la secció de l'element.

Partint d'aquests aspectes, podem anar variant el repartiment de les càrregues sobre l'estructura, en la direcció més convenient. Jugant, simplement amb una diferència entre les longituds de les barres, podem observar que la de menor llargada absorbeix més de la meitat de la càrrega que rep. Per tant, una forma de compensar la diferència s'obtindria augmentant la secció de la barra curta. D'aquesta manera, aconseguiríem que les dues barres aguantessin la mateixa part de càrrega. Per altra banda, també es pot arribar a aconseguir que, dues barres amb la mateixa longitud, aguantin parts de càrrega diferent, canviant el material de constitució o jugant amb les seccions.

En conclusió, podem plantejar la quadrícula que més ens interessa, a l'estructura reticular metàl·lica, en funció de les necessitats i limitacions de cada cas.

5.3.3. Comportament estructural

Els dos elements a tenir en compte en el disseny estructural són: la deformació dels elements que treballen a tracció i, sobretot a compressió, i el disseny de les



unions, per tal que aquestes transmetin correctament les forces entre les barres i els nusos, evitant al màxim, els afectes secundaris de torçement.

Quan, una estructura suportada per les quatre cantonades, està sobrecarregada i presenta una deformació en un element de la capa superior, aquestes forces es transmetran directament als element adjacents. Aquests poden tenir una dependència total o parcial a l'element deformat, podent causar el col·lapse total de l'estructura, degut a la sobrecàrrega no prevista. En cas que aquesta càrrega no prevista es presenti el voltant de les columnes de suport de l'estructura, de forma similar a l'anteriorment explicada, es crearà una deformació dels elements addicionals, en diagonal, que treballen a compressió. En cas de trobar-nos amb una estructura amb nusos rígids i sense elements addicionals en diagonal, aquesta haurà d'estar dissenyada per suportar els moments torçors, generats per la pròpia estructura. També sorgirà la mateixa situació, sempre i quan, les forces transmeses entre barres no passin pel centre de gravetat del nus, creant en cas contrari una excentricitat, la qual serà la responsable del torçement. O sigui, exceptuant el cas anterior, aquesta excentricitat ens vindrà determinada per la unió o el nus que escollim.

5.3.4. Proporció llum/cantell

Es fa complicat decidir la proporció idònia entre la llum dels suports i el cantell de l'estructura, creat a partir de la separació entre les capes que la formin. Per acostar-se a aquesta proporció ideal cal tenir present els següents paràmetres: el sistema de suport estructural, el tipus de càrrega i sobrecàrregues que s'aplicaran damunt de l'estructura, i la configuració i sistema pel qual s'optarà, sempre i quan en aquest últim cas, s'estigui parlant d'estructures de grans dimensions.

Teòricament, segons Z.S. Makowski, aquesta proporció pot variar entre 20 i 40, depenent de la rigidesa del sistema que s'estigui utilitzant. La proporció augmentarà el seu valor, només quan la majoria o, pràcticament, tots els nusos del perímetre depenguin d'un element de suport. Però en canvi, estarem dins d'un marge de 15 a 20, quan tota l'estructura estigui, únicament suportada, per les cantonades o prop d'elles.

A partir d'un estudi d'optimització realitzat per René Motro, es dedueix que el cantell òptim, en qualsevol estructura dins d'aquesta tipologia, és aproximadament 1/15 de la llum neta entre suports. Per aconseguir el cantell òptim no es té en compte

el pes econòmic, ja que és el mínim que es requereix perquè l'estructura treballi correctament.

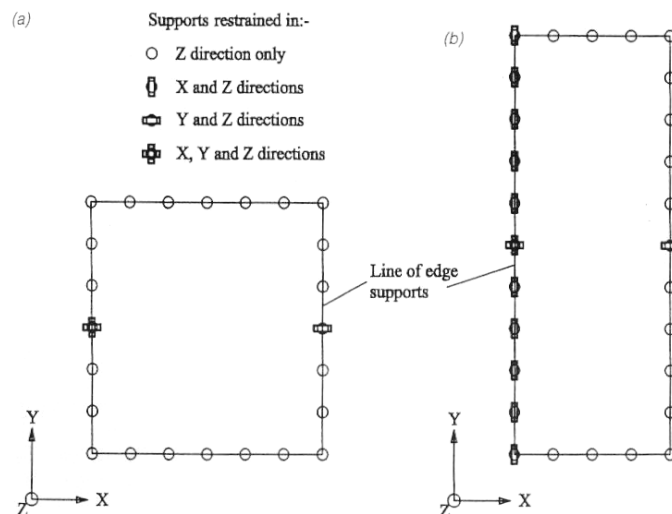
Aquest treball d'investigació se'ns facilita mitjançant les taules de proporcions dels propis fabricants.

5.3.5. Moviment tèrmic: dilatacions i contraccions

Una estructura amb un comportament estructural totalment rígid, normalment es trobarà sotmesa per moviments que afectaran els recolzaments. En aquest cas, només cal tenir en compte, una previsió en els elements d'unió entre els suports estructurals i la pròpia estructura reticular. Aquests evitaran que les dues parts es deslliguin i a més, permetran el moviment estructural en una sola direcció.

Els moviments causats anteriorment, poden ser deguts, sobretot en les estructures metàl·liques, als canvis de temperatura, tot i que amb això també hi repercuteix la llum entre pilars. Les dilatacions i contraccions d'una estructura d'aquest tipus depenen de dos factors: del tipus de suports que sostenen l'estructura i de les limitacions en la posició i direcció del moviment, en sentit horitzontal. A més, els moviments també poden ser deguts a la sobrecàrrega de vent i a l'activitat sísmica. Es requereix un mínim de tres sentits limitats en el moviment tridimensional per suportar aquestes càrregues laterals. Per tant, caldrà que l'estructura, com a mínim, quedi impedida de moviment en els tres sentits (x, y i z) en un dels nusos centrals extrems. S'impedirà el moviment en sentit vertical, en tots els seus nusos extrems. Finalment, es permetrà moviment

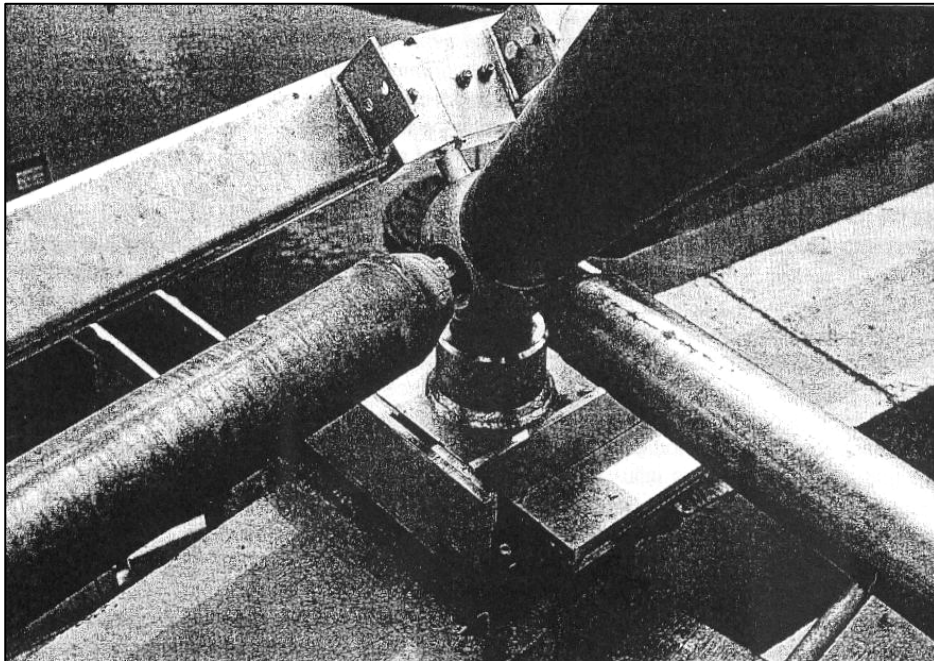
horitzontal en una sola direcció al nus central extrem oposat, creant així, la llibertat de moviment de l'estructura en tots dos sentits horitzontals. O sigui, amb aquests suports extrems centrals, s'intenta crear una junta de dilatació que determinarà el moviment total de l'estructura.



Dilatacions i contraccions

(Space Grid Structures, John Chilton)

En segons quins casos, és interessant que l'estructura quedi fixada per determinats suports, i la resta simplement es dediquin a permetre el moviment estructural. Això implica preveure la deformació de la part superior dels suports fixes.



*Detall de suport amb previsió de junta de dilatació-contracció
(Space Grid Structures, John Chilton)*

5.3.6. Resistència al foc

La resistència al foc és un punt a tenir en compte, ja que la majoria d'estructures reticulars d'aquesta tipologia objecte d'estudi, són metàl·liques a nivell de components (barres i nusos). Com ja es coneix, la reacció de les estructures metàl·liques, en general, davant del foc, pot provocar efectes catastròfics, podent portar a un col·lapse total de la mateixa. Amb l'increment de temperatura que pot donar-se a conseqüència d'un foc, la secció que compona una estructura metàl·lica pot disminuir paulatinament. Per evitar aquest problema, és necessari la protecció d'aquestes estructures, a conseqüència del material de constitució que les compon. Per tant, els efectes del foc s'han de tenir present durant el disseny i posterior càlcul de les estructures tridimensionals del present estudi.

En el moment en què s'aplica una protecció, sigui del tipus que es decideixi, cal aplicar-la per igual en la totalitat d'elements de constitució, sense cap exclusió. L'únic



aspecte que ens afavoreix és que el comportament d'aquesta tipologia estructural permet que la totalitat de l'estructura es mantingui pràcticament en el mateix estat original, en cas que part d'aquesta o alguns elements que la constitueixen pateixin un trencament. En aquestes circumstàncies es produeix una redistribució de càrregues, permetent que l'estructura es mantingui en peu, tot i el deteriorament d'aquesta. Aquesta situació pot ser problemàtica, quan el defecte explicat es dona a zones properes als suports, on llavors sí, es pot provocar un col·lapse general. Tot i així cal tenir en compte, que el efectes produïts pel foc són molt perjudicials, degut a que s'està centrant el tema a estructures compostes per barres de perfil buit. El fet que es tracti de barres de perfil buit incrementa el risc de col·lapse, ja que l'escalfor deguda a l'existència d'un foc, es pot transmetre interiorment d'una barra a l'altra, fins a arribar a l'altra extrem de l'estructura. Per tant, la debilitació de la secció no s'acaba produint exclusivament en la zona afectada pel foc.

Davant les conseqüències que es poden donar arrel d'un foc, hi ha els següents paràmetres a tenir present:

- Càrrega i distribució de foc (quan de material es cremarà, amb quina facilitat es cremarà i on és)
- Característiques, des del punt de vista tèrmic, del comportament dels suports
- Geometria estructural
- Àrea i posició dels suports
- Durada del foc, en funció del material combustible
- Ventilació
- Transmissió calorífica

Actualment, es realitzen proves de càrrega degudes al foc, per comprovar la resistència de les estructures davant del efectes als quals es pot arribar. Molts d'aquests programes de simulació, són en part, ficticis, ja que compten amb una temperatura uniforme dins una mateixa àrea d'afectació, cosa que a la realitat no es dona de la mateixa manera. De fet, a la realitat, les estructures estaran sotmeses a una menor escala de temperatura, que la contemplada al programa de simulació. Per tant, i un cop més, es tracta d'aplicar un marge de seguretat en el càlcul de previsió. Val a dir, que tot i així, els efectes del foc seran més importants a les zones on l'estructura suporti major càrrega. La posterior redistribució de les càrregues, pot



provocar el col·lapse, sempre i quan les càrregues que es transmetin superin els límits de pandeig de barres consecutives, en la nova distribució de càrregues. Es pot donar el cas que les barres que adoptin la nova funció pateixin una compressió tan forta que facin col·lapsar per complert tota l'estructura. Les zones que solen suportar major càrrega, són les zones properes als suports. Per això es pot parlar de col·lapse progressiu.

Els programes informàtics de simulació del comportament estructural davant del foc, treballen bàsicament amb tres aspectes: les propietats dels materials modificats (afectats pel foc), el comportament estructural davant dels efectes causats per l'existència del foc i l'estabilitat dels elements de constitució d'aquestes estructures. S'intenta cercar, principalment, el temps que aquestes estructures tarden en sotmetre's a un col·lapse, sempre en funció de la temperatura adoptada en l'estudi i el temps d'exposició de l'estructura davant del foc. Aquests estudis serveixen per obtenir uns valors orientatius empírics del comportament de l'estructura davant les característiques del foc, al qual ha estat sotmesa.

Una solució utilitzada per proporcionar una protecció a les estructures metàl·liques es basa en el sobredimensionament d'aquestes, tot i que existeixen altres sistemes, basats en tractaments superficials de protecció contra el foc, tipus pintures intumescent. Les pintures intumescent reaccionen davant del foc, proporcionant una capa de protecció, la qual resisteix temperatures d'aproximadament 150°C. Els tractaments superficials d'aquest tipus suposen un increment de cost en l'execució de l'estructura. Així doncs, una possibilitat és la utilització d'aquestes pintures exclusivament en els elements més crítics.

Un altre aspecte a tenir present, és la rigidesa de l'estructura juntament amb els efectes del foc. El foc, de la mateixa manera que la variació de les característiques ambientals, provoca moviments tèrmics (dilatacions i contraccions). Cal preveure, doncs, la possibilitat de moviment de l'estructura.

5.3.7. Resistència a l'oxidació

Existeixen varies opcions de protecció de les barres, tot i que el més habitual, dins d'aquest tipus d'estructures, sol ser el pintat a base de resines d'epòxid o



poliester, aplicades en pols, electroestàticament, i polimeritzades al forn. Aquest tractament va precedir d'una preparació prèvia de la superfície que, com a mínim, implica un desengrassat i un fosfatat de l'element en cas que no aparegui òxid. Ara bé, s'hi existeix òxid, cal una neteja mecànica per raspallat, o inclús, per granallat. Aquest últim procediment, també pot aplicar-se sense la presència d'òxid, tot i que en casos especials, ja que ens augmentarà l'adherència amb la capa de pintura.

Quan sigui necessari una millor protecció, pot utilitzar-se un previ electrogalvanitzat, el qual encara ens donarà una major garantia. En el cas que tractem amb una estructura sotmesa a un ambient especialment oxidant, caldrà aplicar un sistema que ens garanteixi l'estanquitat absoluta, a l'interior de les barres.

En quant a les esferes, si es tracta d'una estructura tridimensional que consta de nusos esfèrics, ordinàriament s'hi apliquen procediments similars als de polimerització al forn, tot i que és un sistema problemàtic quan tractem amb esferes de grans diàmetres. Per tant, una segona opció, és l'aplicació d'una capa d'imprimació i dos d'acabat, mitjançant pintures al clorocautxú o epoxídiques, a més, de la preparació prèvia de la superfície per granallat.

5.3.8. Accions sísmiques

Les estructures tridimensionals es caracteritzen per estar dotades, per un costat, de molta rigidesa i per l'altre, de la ductilitat dels materials que la constitueixen. La rigidesa ve donada, principalment, per la configuració geomètrica, perquè de fet, són estructures compostes per nusos articulats, cosa que proporciona molta llibertat de moviment de l'estructura, evitant sempre els efectes procedents de la torsió. La ductilitat és un aspecte important sobretot, pel que fa a les connexions. Aquestes dues característiques permeten una excel·lent resistència d'aquestes estructures davant els efectes de les accions sísmiques. Tot i així, es pot donar el cas que degut a un sisme, es malmeti un element de constitució crític pel bon funcionament de l'estructura, i pugui produir el col·lapse parcial o total de la mateixa. Per tant, pel càlcul d'aquestes estructures, i per arribar a que aquestes adoptin un bon comportament estructural davant d'un sisme, cal tenir especial atenció en les diverses maneres com pot fallar l'estructura, i en proporcionar una adequada resistència al conjunt, per tal que la ductilitat es mantingui. És per això, que és força habitual l'ús de barres tubulars en estructures reticulars, per beneficiar al comportament estructural, ja que suporten perfectament les càrregues oscil·latòries degudes a un terratrèmol.



La càrrega sísmica va totalment lligada, de totes maneres, amb la inèrcia del conjunt estructural. Els efectes d'un sisme porten a la deformació de l'estructura. Aquesta deformació provoca unes tensions internes a la pròpia estructura. Tot i així, al ser un fet que es dona poques vegades, depenent de la zona, i que els seus efectes són molt variables en funció del tipus de terratrèmol, a l'hora de preveure les accions sísmiques al càlcul estructural, es tenen en compte com a una càrrega externa aplicada damunt de l'estructura, com qualsevol altre tipus de càrrega més usual. Cada terratrèmol està caracteritzat per: l'acceleració, la freqüència i la durada.

La ductilitat de les estructures dissipen l'energia sísmica i això, pot utilitzar-se per a cercar una solució més econòmica. Com en la comprovació de la resistència davant del foc, també existeixen programes de simulació, per tal de realitzar la comprovació del comportament de les estructures davant les accions sísmiques a les que pot arribar a estar sotmesa, depenent de la zona d'ubicació. I com també es pot donar per efectes del foc, el sisme pot provocar un col·lapse de l'estructura, quan sigui el causant dels defectes en els elements de constitució de més importància a nivell estructural, per la càrrega que suporten. En el moment en què els elements més crítics es malmeten, hi ha una posterior redistribució de càrregues, podent provocar l'esgotament a compressió dels elements que han passat a realitzar la nova funció de recepció de càrrega.

El comportament de l'estructura tridimensional davant l'acció sísmica, també depèn de la rigidesa dels suports, als quals acabarà transmetent els esforços.

5.4. Principis estètics

5.4.1. Formació de pendents

Moltes vegades aquesta solució estructural té funció de coberta. Per tant, caldrà preveure quines seran les pendents de coberta per tal d'obtenir una correcte evacuació de les aigües pluvials. La càrrega aplicada al damunt de l'estructura pot provocar deformacions, que portarien a un possible embassament d'aigües pluvials. És interessant doncs, en determinats casos, preveure una curvatura en sentit oposat a



la posterior deformació per tal que, quan aquesta es produeixi, l'estructura adquireixi la forma inicialment, estudiada. Aquesta curvatura s'aconseguirà, en la majoria dels casos, augmentant, mínimament, les dimensions de cada element estructural.

Disminuint, mínimament, les longituds de les barres de la capa inferior, en un sol sentit, respecte les barres de la superior, podem aconseguir des de la forma d'un simple arc rebaixat a un arc de mig punt (forma semicircular). I en canvi, realitzant la mateixa variació anterior, però en ambdós sentits, arribaríem a aconseguir la forma d'una volta. Per adoptar la forma d'una coberta tradicional a dues aigües a una estructura d'aquesta tipologia, només caldria anul·lar la barra de la capa inferior en el punt mig (caraner). A partir d'aquí, i afegint-hi més sofisticacions, en poden sorgir altres varietats de formes més complexes. Existeixen, alhora, limitacions en aquesta reducció de longituds de barres de la capa inferior, que difereixen de la superior, que no ens permeten generar curvatures molt pronunciades, per evitar deformacions internes incompatibles.

5.4.2. Revestiments i envidriaments

En funció de la configuració de l'estructura, i en cas de voler proporcionar-li un revestiment, aquest podrà recolzar-se directament, a la capa exterior o superior, o estar inclòs dins la capa interior o inferior. El pes que representarà, augmentarà el dimensionament de la secció dels components de l'estructura i el cost de tot el conjunt.

Aquest revestiment, no té perquè estar inclòs dins les capes estructurals, sinó que pot funcionar independentment. En aquest cas, l'únic requeriment és que es



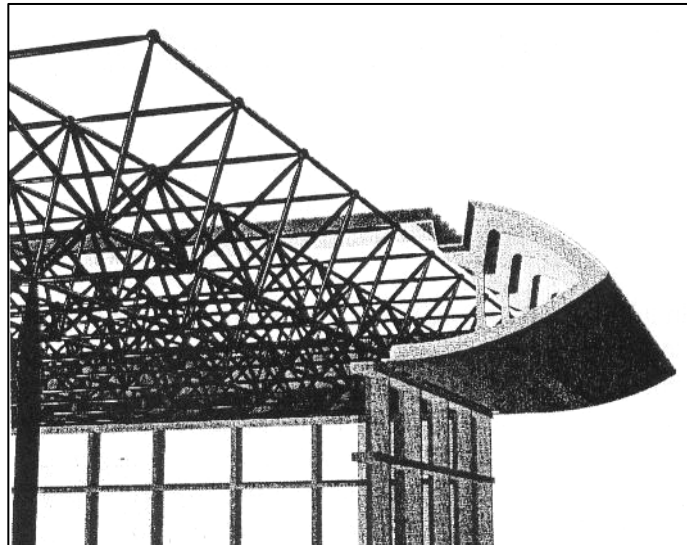


necessitarà una estructura suplementària de sustentació del revestiment, la qual carregarà tot el seu pes directament als nusos. Aquest fet, implica una disminució de càrrega sobre l'estructura, en comparació dels casos on el revestiment està inclòs dins la pròpia estructura.

5.4.3. Acabat del perímetre

Aquesta tipologia estructural, en determinats casos, ens comporta el fet d'haver de procurar per l'acabat perimetral exterior.

Genèricament, ens trobarem amb estructures de doble capa, on la capa superior sobrepassa l'àrea de la inferior, o a la inversa. Normalment, per amagar l'estructura, es solen dissenyar unes peces especials, les quals es connectaran als nusos de l'estructura.



*Revestiment perimetral (Space Grid Structures,
Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)*



6. MÈTODES DE MUNTATGE I ELEVACIÓ

Hi ha diferents mètodes d'elevació per les estructures reticulars metàl·liques, i en més d'un d'aquests, s'utilitzarà una grua durant la seva execució. Però l'elecció del mètode anirà en funció dels següents factors: el tamany de l'estructura a construir i elevar, l'accés al lloc d'ubicació de la mateixa i el tamany dels seus components. El cost que suposa l'elevació del conjunt estructural, és molt elevat, en proporció al cost global. Per tant, per cada situació s'escollirà el sistema més eficient.

És en aquest moment, on és força avantatjós que l'estructura estigui composta per peces mitjanament grans, ja que el número de nusos que es requerirà serà menor. Per tant, el muntatge resultarà ser més ràpid, tot i tractar-se sempre d'estructures de muntatge modular. Val a dir, a més, que s'incrementarà la rapidesa, sempre que es disposi d'un mitjà auxiliar per ajudar a realitzar el seu muntatge.

Habitualment, les tècniques més utilitzades són les següents:

1. Unió dels elements o mòduls de constitució de les estructures, directament, a la seva posició o ubicació final, mitjançant l'ús de bastides.
2. Unió dels elements o mòduls de constitució de les estructures a l'aire, mitjançant la utilització d'una grua, la qual servirà per transportar els elements o mòduls des del terra fins a la seva correcta posició.
3. Muntatge d'àrees d'estructura a terra i posterior elevació d'aquestes per a la seva col·locació en la seva ubicació final o definitiva.
4. Muntatge de l'estructura a terra i posterior elevació i connexió d'aquesta als suports definitius.
5. Muntatge per àrees d'estructura, al lloc d'ubicació final, per a una posterior unió amb la resta del conjunt, mitjançant una elevació amb gat hidràulic.

L'àrea on es portarà a cap el muntatge i l'elevació definitiva de la cúpula és un dels factors més decisius en l'elecció del sistema d'elevació a utilitzar. També caldrà tenir en compte, l'accés a aquesta àrea, ja que moltes vegades l'elevació es portarà a cap mitjançant una grua. De fet, si l'entorn ho permet i tenim un solar amb bona accessibilitat, sempre tendirem al muntatge i col·locació de l'estructura seguint el quart mètode exposat anteriorment. Sempre és millor optar, quan sigui possible, per realitzar el muntatge a terra o damunt d'una superfície ferma i posteriorment, elevar tot el



conjunt per col·locar-lo en la seva posició definitiva, damunt els suports on sigui necessari que s'ubiqui. Cal dir que aquest mètode és útil, no només en la circumstància que s'acaba d'explicar, sinó també quan es disposa de barres o mòduls fàcilment manejables i així, la grua només es destinarà, exclusivament, a la seva elevació. A tenir present, que els punts previstos per elevar l'estructura hauran d'estar calculats prèviament, per tal que les barres afectades suportin sense dificultat els esforços generats arran de l'elevació amb grua. D'aquesta manera, s'evitaran deformacions prèvies al seu normal comportament estructural.

En cas que el lloc d'ubicació de la cúpula disposi de la suficient superfície lliure d'obstacles com per muntar parts d'estructura, i per contra, es tracti d'un lloc difícilment accessible, serà més adient utilitzar el cinquè mètode. En aquest cas, també es requereix certa previsió en la determinació i dimensionament del punts d'elevació. De totes maneres, un altre aspecte a tenir en compte, pel fet de no utilitzar grua en el seu procés d'elevació, és el fet de mantenir la seva horitzontalitat en aquest moment, ja que les tensions internes que es puguin crear, poden provocar una deformació de l'estructura irrecuperable. Per utilitzar aquest mètode de forma adequada, és recomanable treballar, doncs, amb gats hidràulics, ja que facilita el control en l'elevació d'aquestes estructures.

El següent cas que es pot donar, és que no es disposi de la suficient àrea com per muntar l'estructura sencera al terra. En aquest cas, doncs, serà precís utilitzar el mètode 3, per tal de portar a cap l'elevació de la cúpula. Pel procés d'elevació es sol utilitzar una grua mòbil.

El mètode 2 s'utilitza quan les barres o mòduls de constitució de la totalitat de l'estructura representen un gran pes, i per tant, llavors és més recomanable fer ús de la grua per tal d'elevar cadascuna de les peces i permetre'n la seva col·locació definitiva en el lloc d'ubicació final.

Finalment, el mètode 1 és l'última opció, de la qual se'n farà ús, sempre i quan no sigui possible utilitzar cap dels altres quatre mètodes, acabats d'explicar. En aquest sistema s'utilitza com a mitjà auxiliar la bastida.



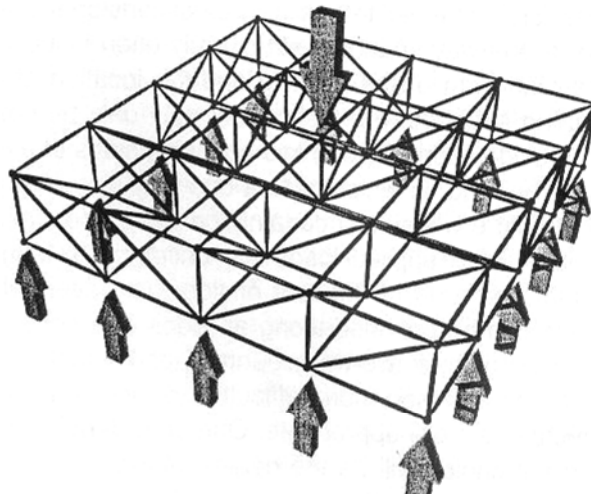
És una avantatge en aquestes estructures reticulars metàl·liques que, en cas que utilitzin el mètode 4 i 5 per a la seva elevació, ens permeten el seu muntatge a terra o sobre una superfície ferma diferent a la definitiva, abans de portar a cap la seva col·locació definitiva. Per altra banda, en cas que s'utilitzin bastides, com a mitjà auxiliar d'elevació, es pot realitzar el seu muntatge, simultàniament al muntatge de l'estructura tridimensional objecte d'execució.

Una altra avantatge que aporten aquesta tipologia estructural, és la protecció de la pròpia estructura de l'intempèrie. Aquestes estructures, a diferència d'altres tipologies estructurals conegudes i existents actualment, permeten adoptar una protecció, just a partir del moment en què ja s'ha produït la seva elevació definitiva fins a quedar col·locada a la seva ubicació final.

7. AVANTATGES

7.1. Repartiment de càrrega

Com en qualsevol estructura reticular, aquestes estructures metàl·liques tenen una gran capacitat per repartir la càrrega i transmetre-la al suport, ja que tots els elements que la formen, contribueixen individualment a realitzar aquesta funció. Aquest fet també implica, la reducció del cost dels suports de l'estructura, i de forma indirecta, en el cost dels fonaments, ja que els fonaments no hauran de suportar tanta càrrega. A més, la fletxa produïda, a causa de la càrrega, serà menor a la que es produiria en una estructura convencional.



Repartiment de càrregues

(Space Grid Structures, Dibuixos realitzats per Graeme Barker, © John Chilton)

7.2. Instal·lacions de serveis

Aquest tipus d'estructures permeten passar instal·lacions sense cap dificultat. S'aprofita l'espai entre els punts baixos i alts de l'estructura per tal d'ubicar-les. L'únic punt a remarcar, és que les instal·lacions han d'anar penjades a partir dels nusos, i no a partir de les barres tubulars, i així, evitar moments torçors imprevistos, en el càlcul previ de l'estructura. De totes maneres, en el càlcul caldrà preveure una sobrecàrrega d'instal·lacions.



7.3. Robustesa

En el cas de trencament, per tenir una càrrega excessiva sobre un element que estigui treballant a compressió dins l'estructura, en principi, no implicarà mai el col·lapse parcial o total de l'estructura. El col·lapse serà més provable quan més a prop dels suports estigui l'element afectat.

7.4. Components modulars

Les estructures reticulars metàl·liques permeten realitzar un disseny modular. Aquestes estan formades de petits elements prefabricats, cosa que implica una gran exactitud dimensional i elevada qualitat d'acabat de la superfície. També cal dir que són fàcilment transportables, així com també manipulables en el seu muntatge i desmuntatge. Per tant, i com és lògic, com més petita sigui la barra tubular, menys pes hauran de suportar els operaris i més facilitat de mobilitat es permetrà.

7.5. Flexibilitat d'ubicació dels suports:

Aquestes estructures ofereixen la possibilitat d'ubicar els suports on convingui, per tal de que no afectin, o afectin mínimament, en la distribució interior. Només existeix una condició, i és que les estructures reticulars metàl·liques, es recolzaran al suport mitjançant el nus.

Aquest punt va molt lligat a la facilitat que ens permeten aquestes estructures per aconseguir grans llums, netes de suports.

7.6. Rapidesa de muntatge i facilitat d'elevació:

A causa de ser estructures parcialment prefabricades, permeten ser muntades a peu d'obra, cosa que facilita la situació en cas de tenir una accessibilitat difícil. A més, el seu muntatge és molt simple, solsament es necessita mà d'obra i petites eines. Finalment, i mitjançant una grua, un cop muntada, l'estructura s'eleva del terra per situar-la a la seva posició final.



El fet d'elevant l'estructura amb grua, requereix una previsió de càlcul pels punts d'elevació, per portar a terme aquesta operació. Així s'evitarà que puguin aparèixer deformacions, esforços inesperats i el possible trencament de l'estructura, degut a les forces dinàmiques o per les connexions mitjançant les quals es produirà l'elevació de l'estructura fixa. També és una forma d'assegurar la seva horitzontalitat des del moment d'elevació, fins al muntatge definitiu. En el cas de que hi hagués un petit desequilibri, a causa de qualsevol moviment imprevist, seria difícil redreçar-lo, pel pes de tot el conjunt.



8. INCONVENIENTS

8.1. Cost

El cost és un punt molt desfavorable en aquesta tipologia estructural. Per marcar un paràmetre, aproximadament, les estructures inferiors a 20-30m són estructures que resulten excessivament cares. A partir d'aquestes llums, podríem començar a plantejar-nos la seva utilització.

Per tant, és difícil determinar a partir de quin punt surt a compte utilitzar una estructura d'aquest tipus. Moltes vegades, s'acaba executant, a efectes estètics o pràctics.

8.2. Geometria regular

Tot i anomenar-se estructures lleugeres, són estructures que visualment són molt carregades, en el sentit de ser molt denses.

Un segon punt, que influeix en la geometria de l'estructura, és el poc marge de creativitat de la qual disposa l'arquitecte, ja que l'estructura té una forma bàsicament modular i cal partir sempre d'unes mateixes figures geomètriques. Per tant, només poden jugar amb els colors i acabats de fons. Des d'un punt de vista paisatgístic, la tria de l'acabat de fons determinarà l'adaptació o no, del conjunt envers l'entorn.

8.3. Temps de muntatge

Dins d'aquesta tipologia estructural, el temps de muntatge és directament proporcional a la quantitat i complexitat dels nusos.

8.4. Protecció contra incendis

Com ja es coneix, el metall té molt poca resistència al foc, i per tant, serà necessària una protecció, tant pel propi foc com per l'escalfor d'aquest. Aquesta protecció es farà mitjançant una capa intumescent aplicada sobre tota la superfície de



l'estructura. Una altra opció seria sobredimensionar la pròpia estructura. Ambdues opcions són vàlides, però representen un sobrecost.

8.5. Exactitud dimensional d'execució

Amb estructures d'aquest tipus, i particularment, les de grans dimensions, cal adoptar una gran exactitud dimensional en la seva execució, ja que un petit error acumulat, al final, representa ser un gran error.

Durant el procés industrial de tall dels components, normalment, es treballa amb un marge de tolerància d'entre 0,5 a 1mm. També caldrà preveure una exactitud dimensional durant l'operació de soldatge de les peces connectades als extrems de les barres, perquè la longitud total entri dins els marges de tolerància. Aquesta mateixa exactitud també es tindrà en compte, a l'hora de l'execució dels nusos o altres tipologies de connexions entre barres, perquè la posició i angle dels forats sigui la correcte.



MARC PRÀCTIC



1. DADES GENERALS

L'estudi es centrarà, exclusivament, en estructures reticulars metàl·liques d'una sola capa. Com a material de constitució s'ha escollit l'acer A42-b, amb una densitat de 7.580Kg/cm³.

Es treballarà amb barres de perfil circular tubular d'1,5mm de gruix de secció. Aquest gruix s'ha adoptat per anar amb coordinació amb el tipus de nus amb el que es realitzarà la hipòtesi, tot i que físicament, no és ben bé un nus, sinó una prolongació de les barres per permetre la seva unió. És un dels sistemes més simples que existeix al mercat. Es fabrica, com s'acaba de comentar, amb els propis extrems de les barres que constitueixen l'estructura global. Fa la funció d'articulació, prohibint, per tant, el moviment de torsió de les barres, però permetent el desplaçament a dues direccions i sentits. A la pràctica, s'aconsegueix xafant els extrems de les barres a connectar i fixant-los mecànicament. Aquesta opció és una de les solucions o possibilitats més fàcils, a nivell sobretot constructiu i econòmic.

S'ha previst un dimensionament de barres, pel que fa a la seva longitud, acceptable, a nivell de manipulació i per a una major facilitat de muntatge, durant l'execució. Per millorar aquest últim punt, s'ha intentat buscar un especejament bastant homogeni (grups de barres d'igual longitud), per tal d'aconseguir una menor quantitat tipològica de barres, a nivell sempre, de dimensions.

Un altre paràmetre a tenir en compte és la localització dels suports. En tot moment, s'ha previst un mínim de quatre suports, disposats sempre als quatre extrems, en planta. S'han estudiat com a articulacions.

Per a la realització d'aquest estudi d'optimització, s'ha partit de dos dissenys espacials, amb forma de cúpula, de dimensions diferents. En primer lloc, ens trobem amb una estructura reticular metàl·lica lleugera de planta quadrangular, de 10.00x10.00m de costat. I en segon lloc, s'ha optat per una altra estructura, però en aquest cas, de planta rectangular, de 10.00m x 15.00m.

Per a l'elecció d'aquestes dimensions, s'ha seguit l'explicació corresponent al marc teòric, on es diu que a partir de 10m de llum entre suports és interessant optar per una estructura de doble capa. Per tant, seguint aquest raonament, la de planta quadrada està dins els límits, i la de planta rectangular, els sobrepassa només en un dels seus laterals. Es tracta d'aconseguir l'estabilitat global, solsament amb una capa.



S'ha partit de la hipòtesi d'un repartiment de càrregues constant, aplicades damunt de tots els nusos, ja que no es vol preveure l'existència de barres flexionades i, sobretot, sotmeses a cap mena de torsió.

Les càrregues que s'han tingut en compte al llarg de tot l'estudi són: el pes propi, la sobrecàrrega d'ús i la sobrecàrrega de neu.

Com a pes propi, s'ha utilitzat el generat pel propi programa informàtic de càlcul estructural. De fet, és l'obtingut en base al càlcul del pes de totes les barres que formen el conjunt, en funció de la seva secció, longitud i densitat.

Segons la NBE-AE/88, d'Accions a l'Edificació, s'ha previst una sobrecàrrega d'ús d' 1KN/m^2 , ja que s'ha partit del raonament de que es tracta d'una coberta accessible, únicament, per conservació i manteniment.

S'ha optat, finalment, per una hipòtesi de sobrecàrrega de neu de 0.40KN/m^2 , que segons la NBE-AE/88, és la que es sol preveure per altituds topogràfiques entre 0 i 200m.

Per l'aplicació de càrregues, s'han utilitzat coeficients de seguretat, tant per les càrregues permanents com per les variables. El coeficient aplicat a les càrregues permanents (pes propi) té un valor, segons la NBE-AE/88, de 1.50. Per altra banda, el coeficient de seguretat utilitzat per les càrregues variables (sobrecàrrega d'ús i neu), segons la mateixa normativa citada, és d'1.60. A l'estar treballant sobre una hipòtesi composta per dues càrregues variables, s'aplicarà un coeficient reductor, ja que no sempre es donaran les dues condicions més desfavorables al mateix moment. Aquest coeficient reductor tindrà un valor de 0.9, segons la normativa d'Accions a l'Edificació.



2. CONFIGURACIÓ MACROESTRUCTURAL

2.1. Mètode

En aquesta primera part, s'ha estudiat la configuració geomètrica global.

Per dur-ho a terme, s'ha partit de tres tipologies d'estructura, diferenciades entre elles per la distribució de barres.

El primer cas, es caracteritza per una distribució ortogonal de les barres, marcant d'aquesta manera, una quadrícula, vista en planta. El que es vol aconseguir amb aquest cas, és constatar la inestabilitat del quadrat base que constitueix l'estructura, tal i com s'ha raonat als principis d'estabilitat geomètrica de les estructures reticulars metàl·liques, al marc teòric.

Amb el segon cas, s'ha buscat el reforçament dels perímetres, diagonalitzant els extrems, amb la intenció de millorar el cas anterior.

Finalment, en el tercer cas s'ha diagonalitzat l'estructura per complet, complint així les bases teòriques d'aquesta tipologia estructural. En aquest cas, es vol demostrar que la figura de la qual s'ha de partir, en el disseny geomètric d'aquestes estructures, és la forma triangular. Les diagonals ajudaran a proporcionar rigidesa als quadrats base i també, a tota l'estructura global.

De cadascuna d'aquestes tres tipologies, se n'han desenvolupat diferents casos compostos per varies fletxes*, formant diferents curvatures respecte el pla horitzontal. Les diferents fletxes que s'han estudiat, estaran dins un rang que anirà de 0.50m a 5m, amb intervals de 50cm.

A continuació, s'observen tots els casos, els quals s'han sotmès a una mateixa prova de càrrega, per tal d'intentar percebre una primera idea del que succeirà, a efectes de la variació en la distribució de barres, lligada amb la variació de fletxes. Cal incidir en què la secció utilitzada al programa informàtic de càlcul no ha estat estudiada prèviament, per tant, podria ser una secció insuficient. S'ha estipulat una mateixa secció generalitzada per tots els casos, tractant-se doncs, d'una secció de 3cm de diàmetre, amb un gruix de barra d'1.5mm.

Fletxa: distància del punt mig d'un arc a la corda.



S'ha de tenir en compte, que les diagonals han de treballar a tracció. Així doncs, i en base a aquest criteri, s'ha decidit una direcció en la seva aplicació.

Ja que es parteix d'una igualtat de condicions, s'ha realitzat un comparatiu mitjançant, bàsicament, els efectes de la deformabilitat. Per poder donar una visió general de les conseqüències de les càrregues, s'han adjuntat seguidament unes fitxes de les deformades en planta, alçats i perspectives, tant dels casos de planta quadrangular com rectangular, i comparant, efectivament, els resultats obtinguts de les tres tipologies anomenades anteriorment. Cal tenir present, que l'escala adoptada en l'extracció de les deformades, anteriorment citades, és d'1:1. S'ha escollit aquesta escala per tal que la deformada pogués visualitzar-se per complet, ja que com s'observarà a continuació, en alguns casos és exagerada.

Finalment, s'ha completat la documentació gràfica, amb un recull dels nusos que han patit, en cada cas i tipologia, un major desplaçament, servint aquest resum per constatar les imatges anteriors amb resultats numèrics de programa.

A tenir present, que els càlculs mitjançant el programa informàtic, per dur a terme, sense problemes de deformabilitat, aquest estudi comparatiu, no són del tot verídics. Els nusos s'han considerat encastats, cosa que a la realitat no és possible aconseguir. Com s'ha dit anteriorment, aquesta tipologia estructural funciona amb nusos articulats, per permetre moviment, però evitant la torsió. Aquest serà un dels motius que ens ajudarà a desestimar aquestes opcions objecte d'estudi.

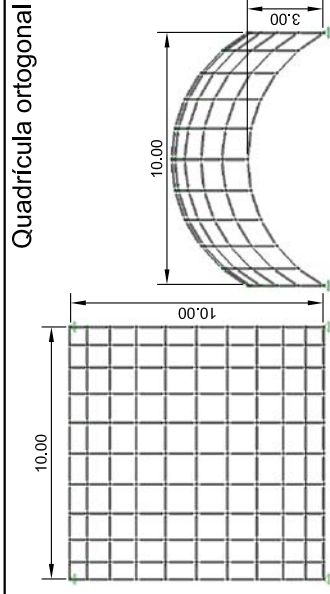


2.2. Estructura quadrangular

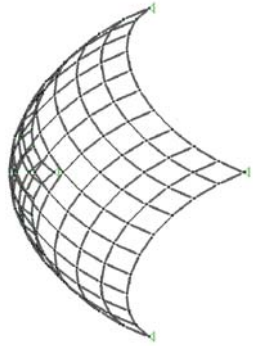
2.2.1. Configuració geomètrica

<p>CAS 1: 10x10x0.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p> <p>Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>	<p>CAS 2: 10x10x1.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p> <p>Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>	<p>CAS 3: 10x10x1.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p> <p>Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>
<p>CAS 4: 10x10x2.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p> <p>Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>	<p>CAS 5: 10x10x2.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p> <p>Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>	<p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p> <p>PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300</p> <p>PERSPECTIVA E: 1/400</p>

CAS 6: 10x10x3.00m

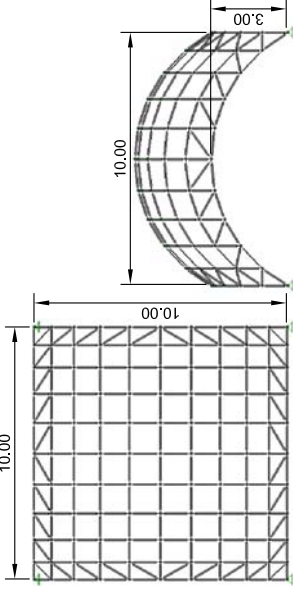


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

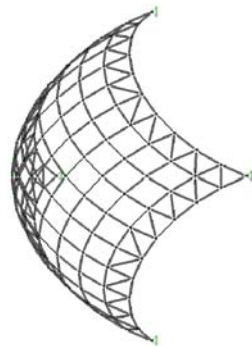


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

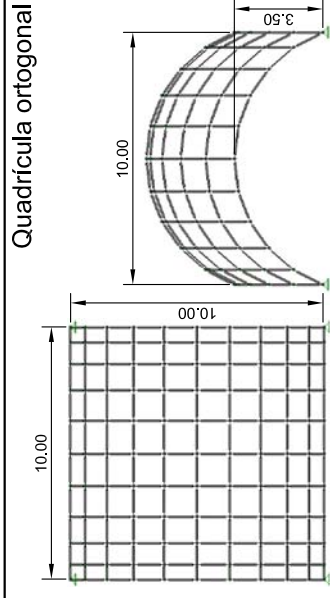


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

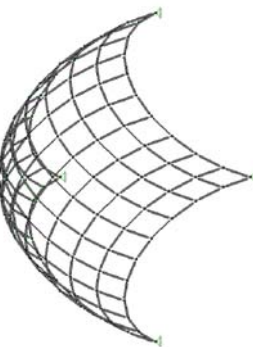


PERSPECTIVA E: 1/400

CAS 7: 10x10x3.50m

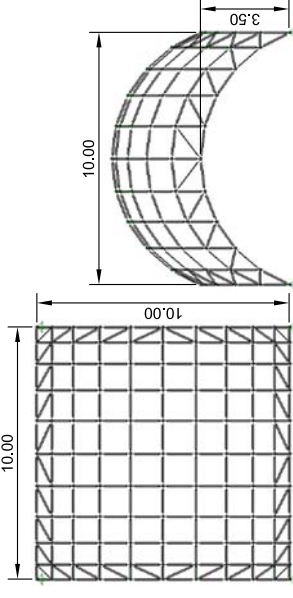


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

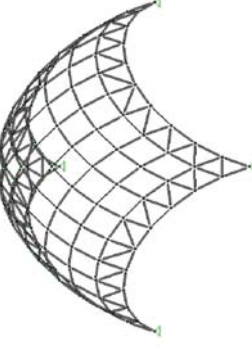


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

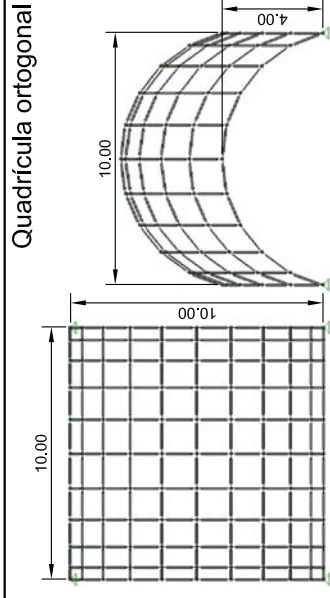


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

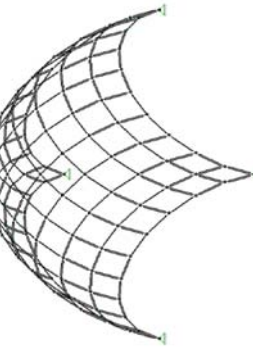


PERSPECTIVA E: 1/400

CAS 8: 10x10x4.00m

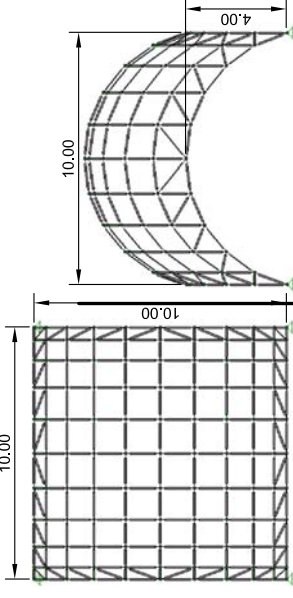


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

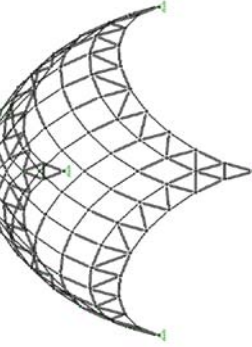


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

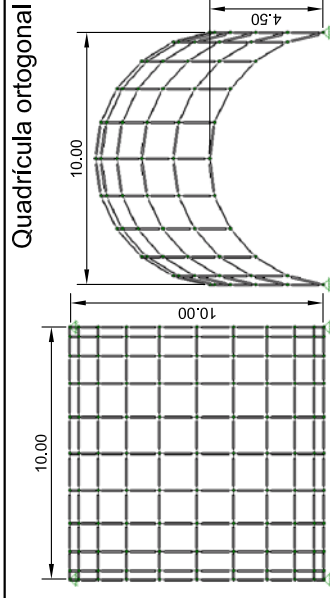


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

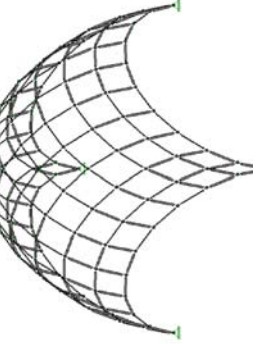


PERSPECTIVA E: 1/400

CAS 9: 10x10x4.50m

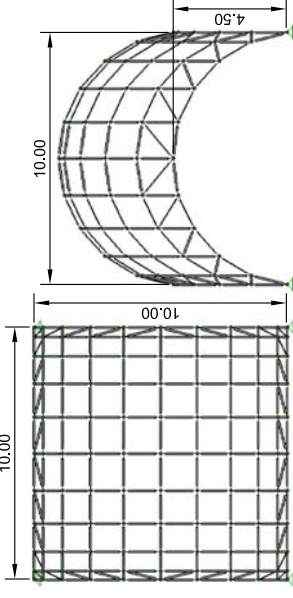


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

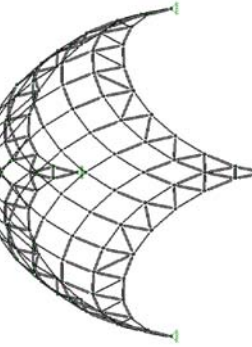


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

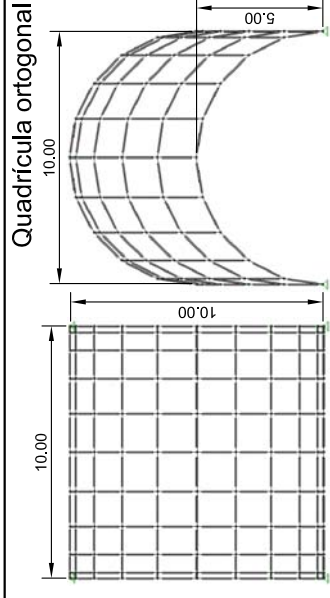


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

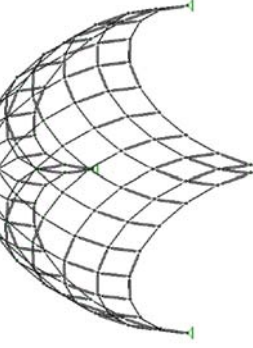


PERSPECTIVA E: 1/400

CAS 10: 10x10x5.00m

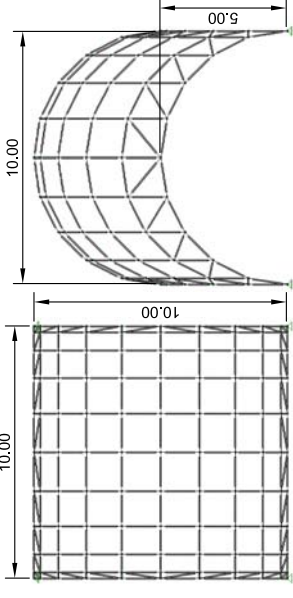


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

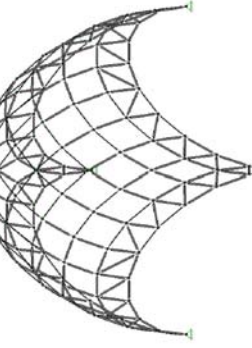


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

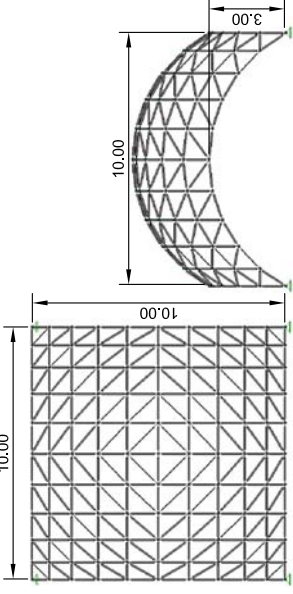


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

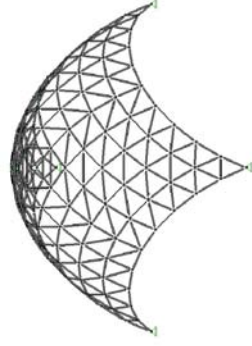


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal diagonalitzada

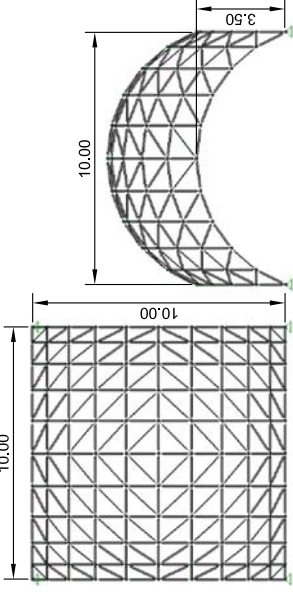


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

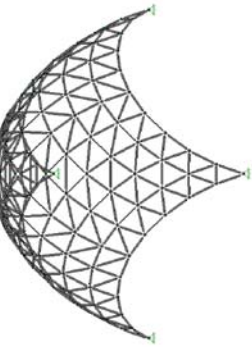


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal diagonalitzada

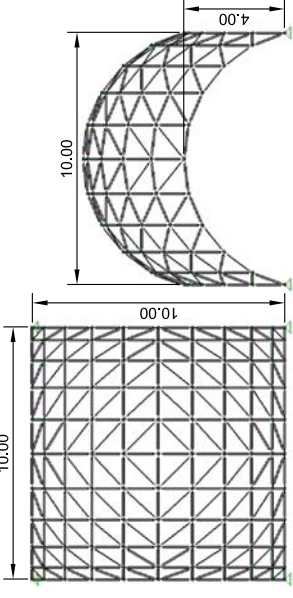


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

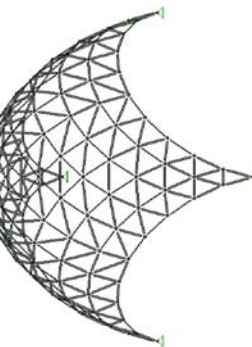


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal diagonalitzada

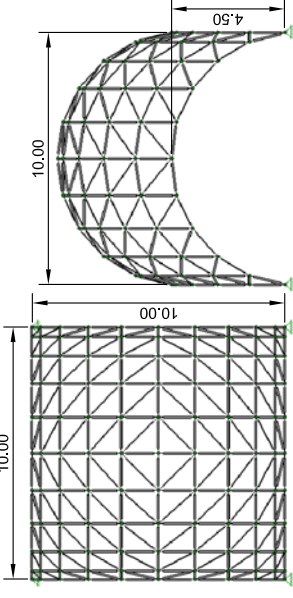


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

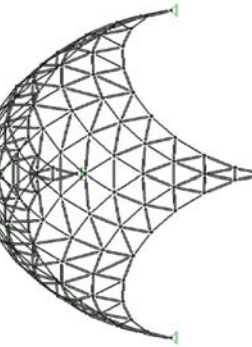


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal diagonalitzada

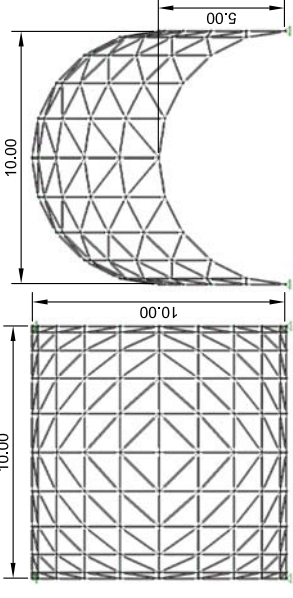


PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

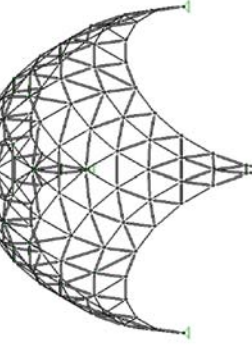


PERSPECTIVA E: 1/400

Quadrícula ortogonal diagonalitzada



PLANTA E: 1/300 ALÇAT E: 1/300

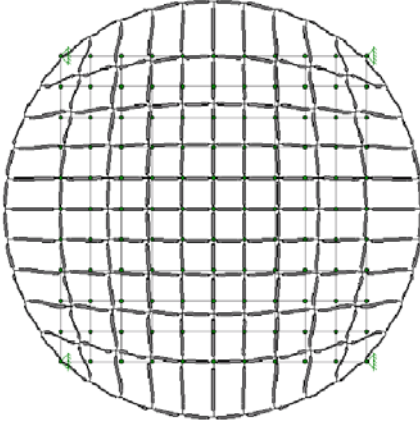
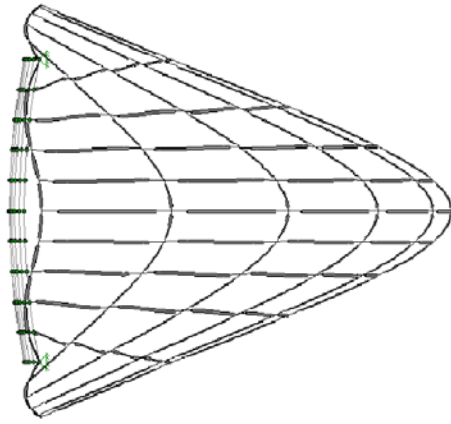
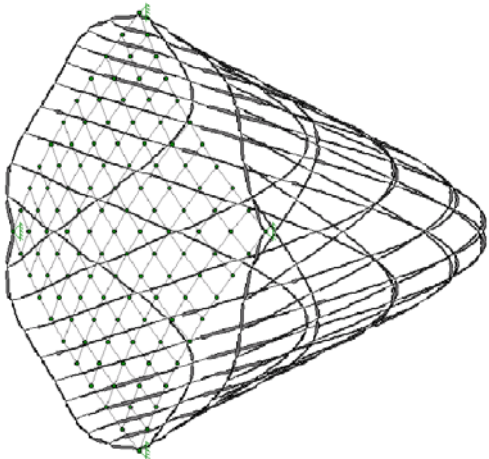
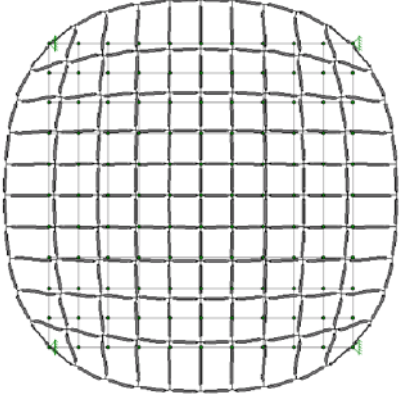

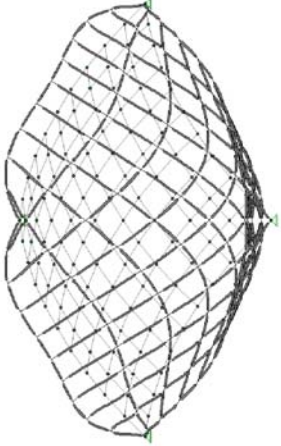
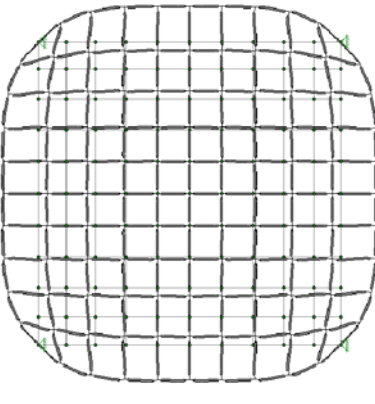
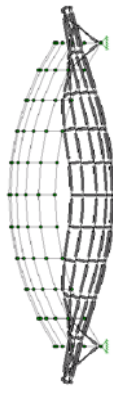
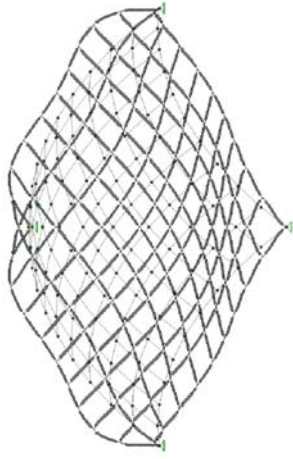
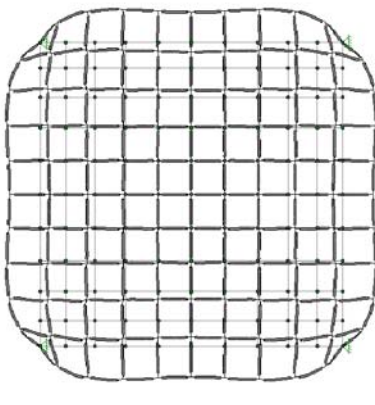

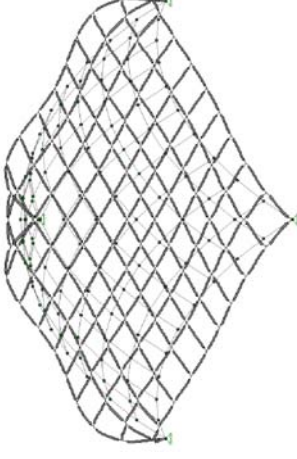
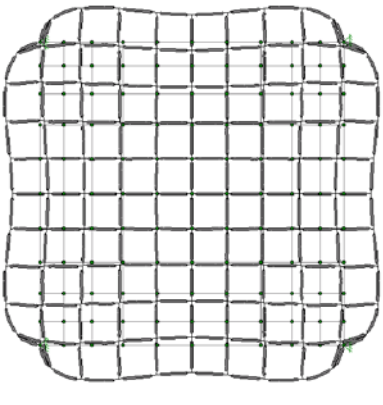

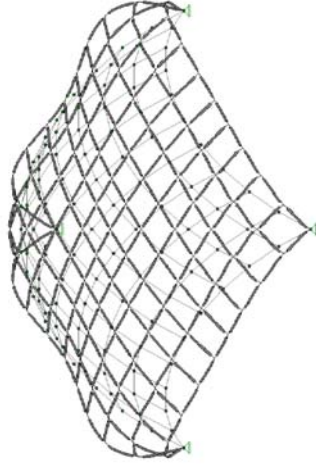


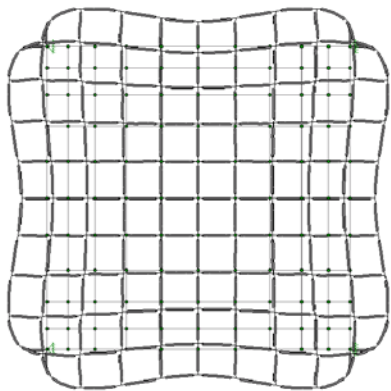
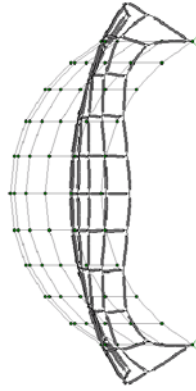
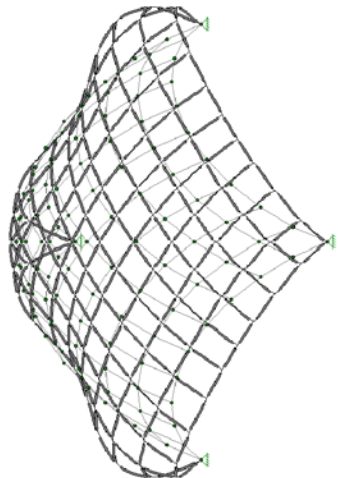
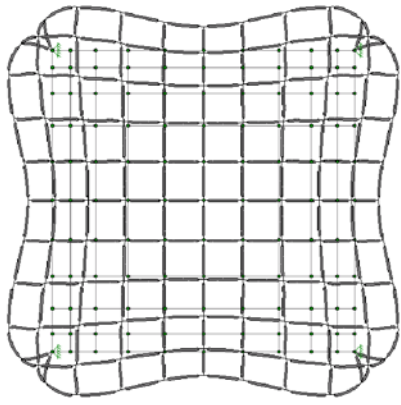
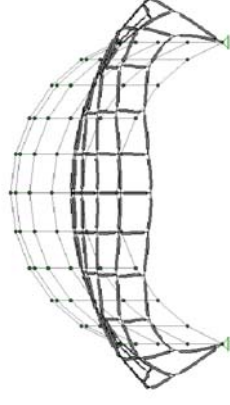
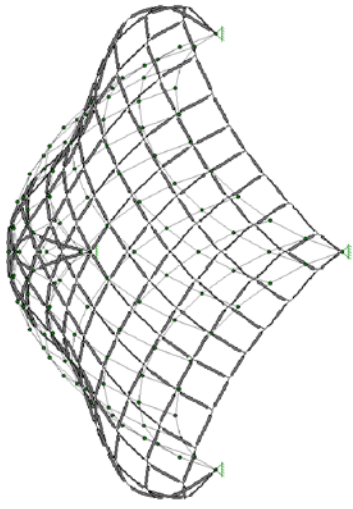
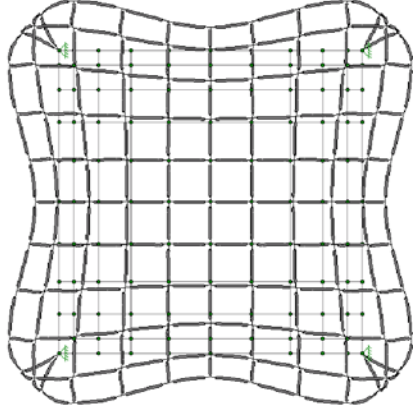
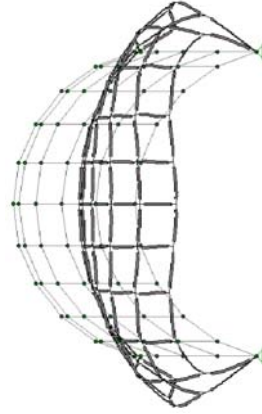
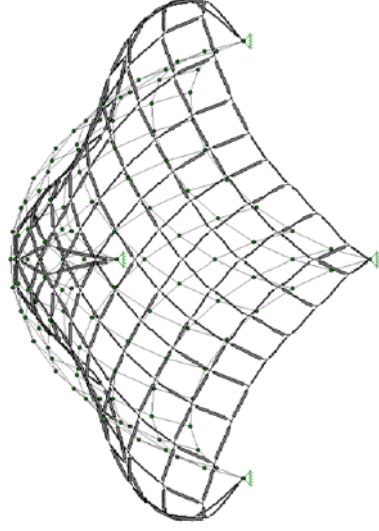
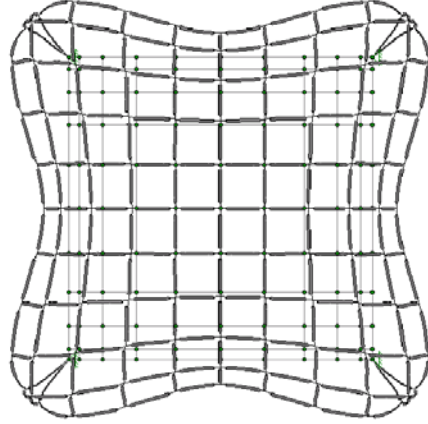
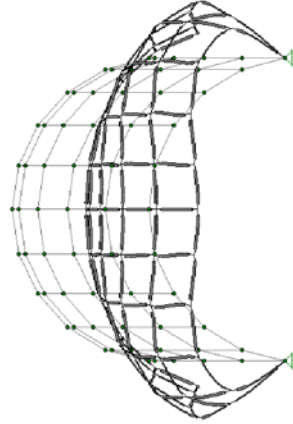
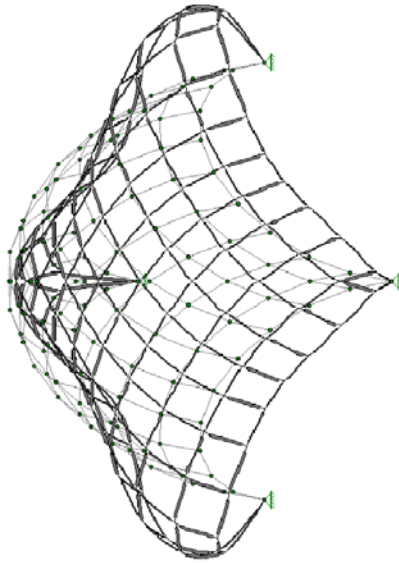
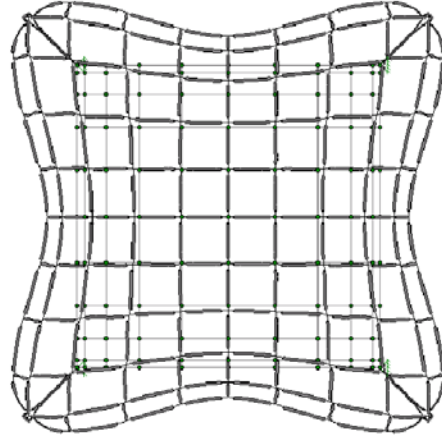
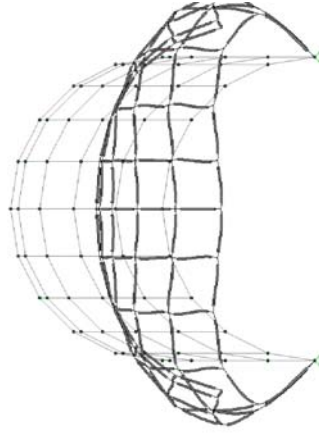
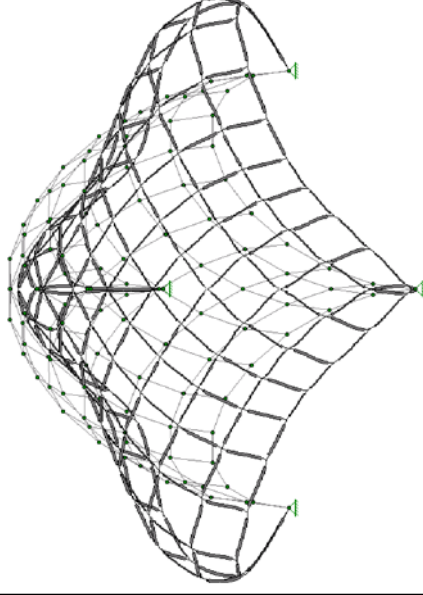
PERSPECTIVA E: 1/400

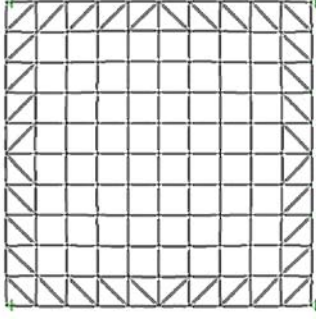
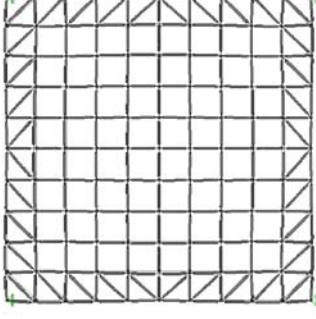
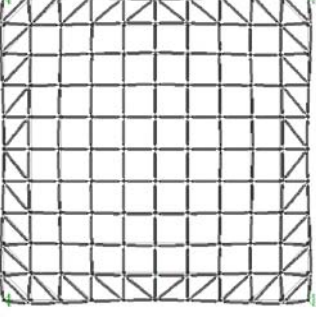
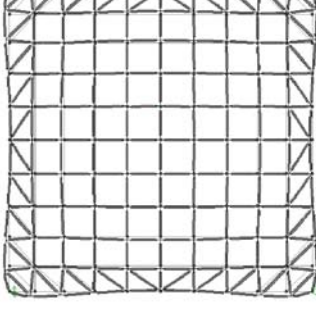
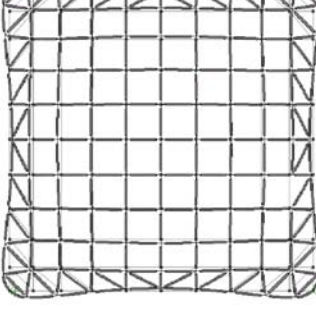





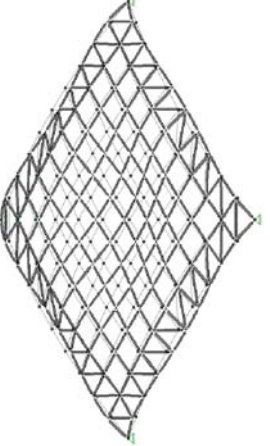
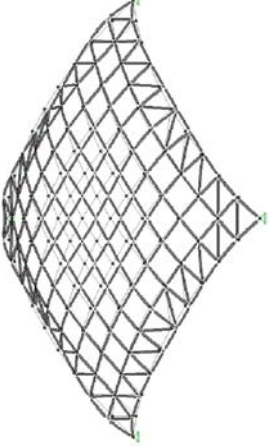
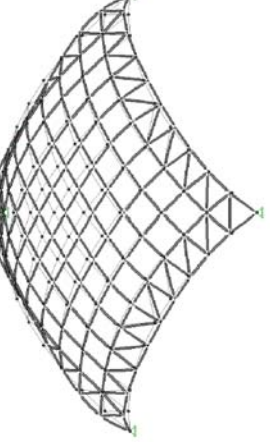
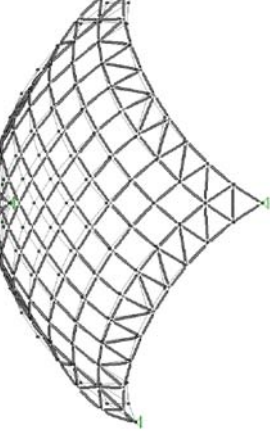
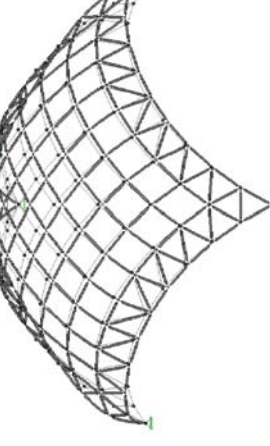


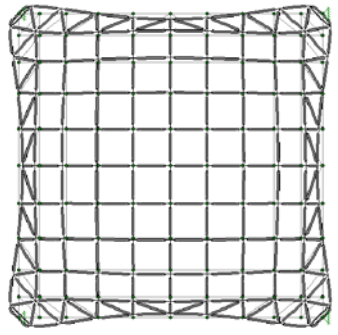
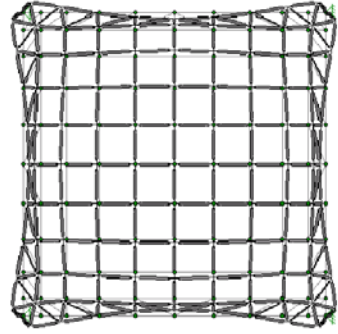
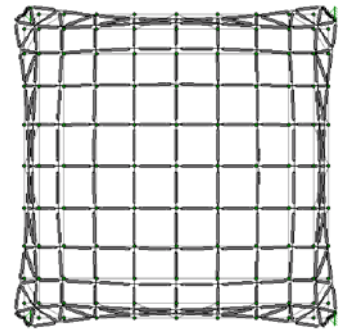
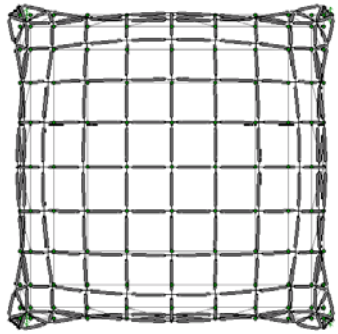
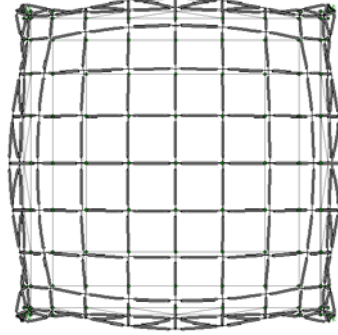

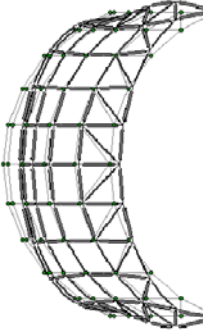
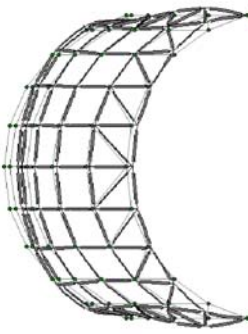
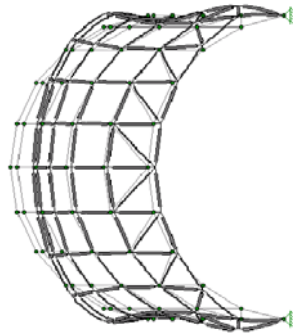
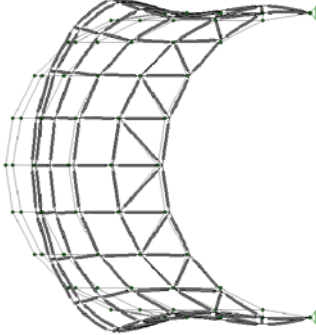
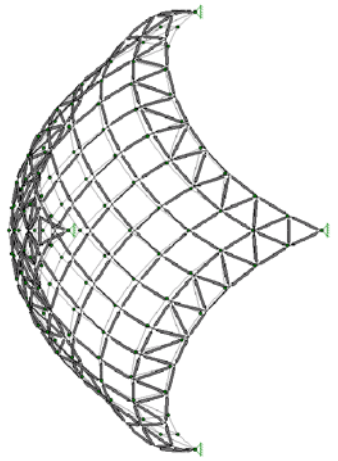
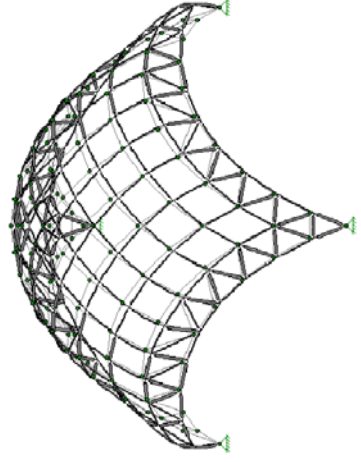
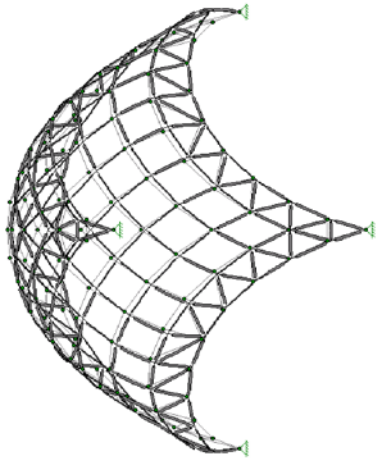
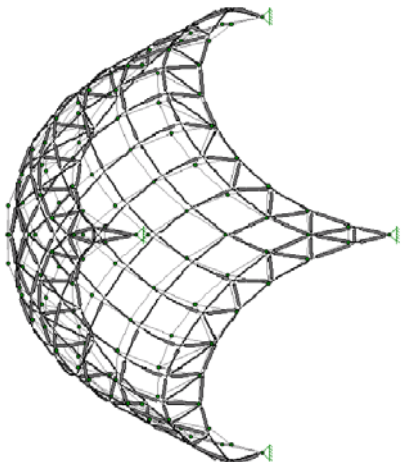
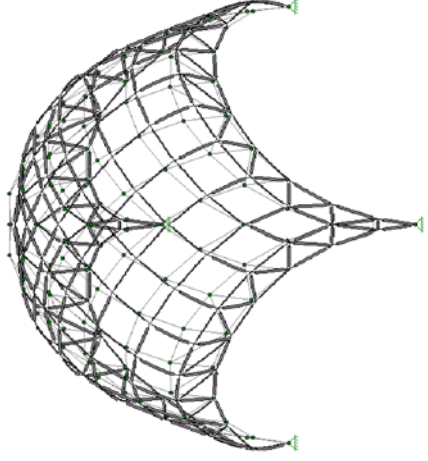
2.2. Estructura quadrangular

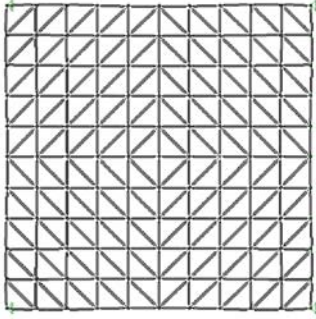

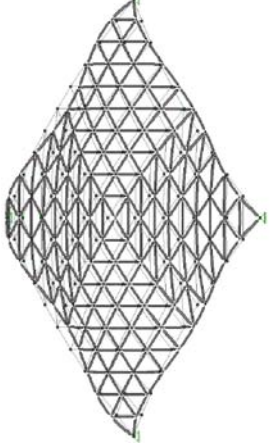
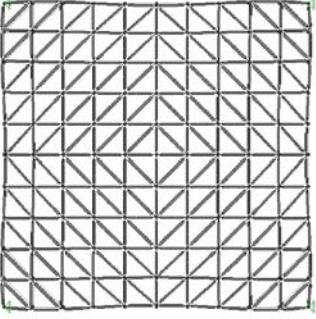

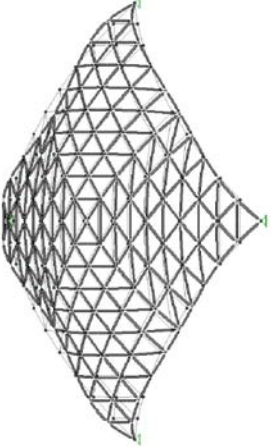
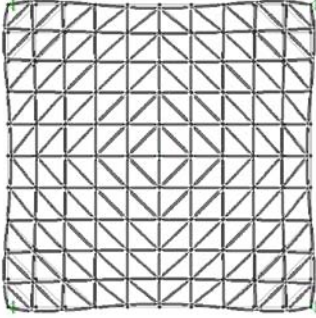

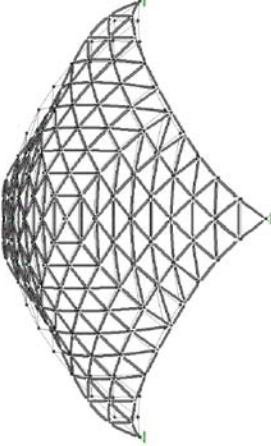
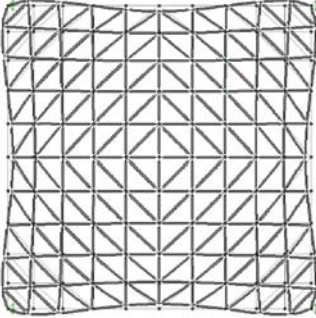

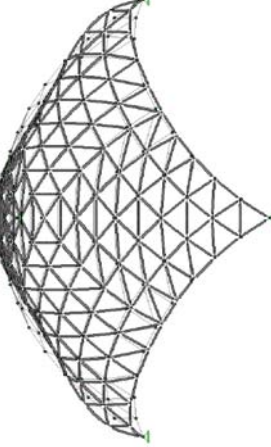
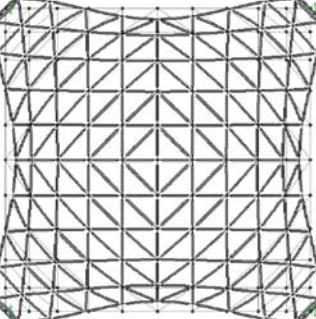

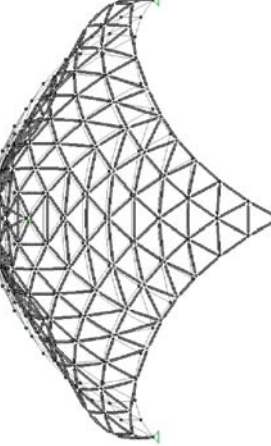
2.2.2. Deformades

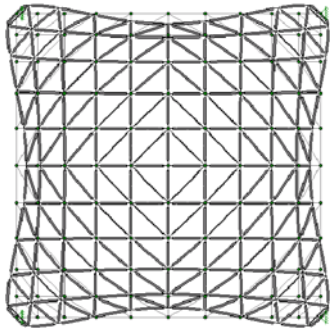
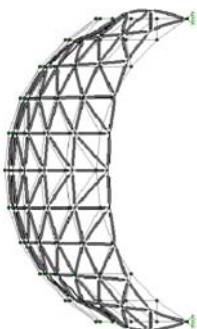
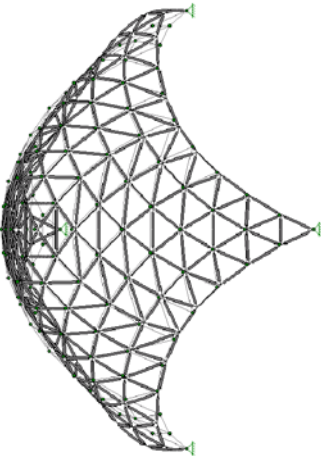
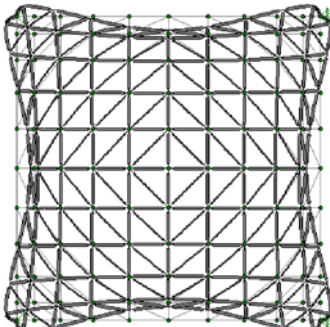
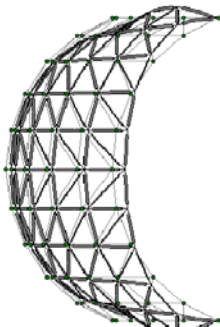
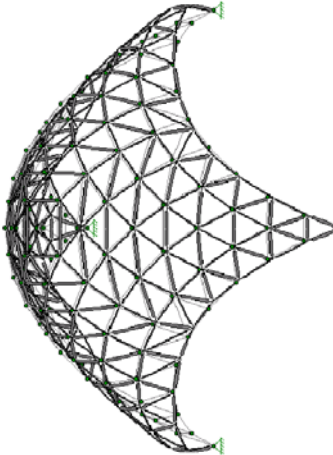
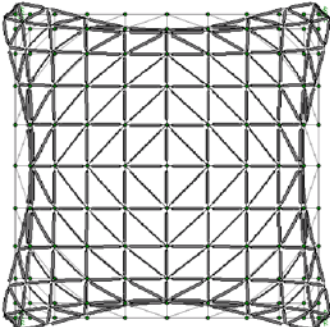
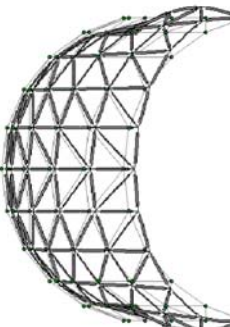
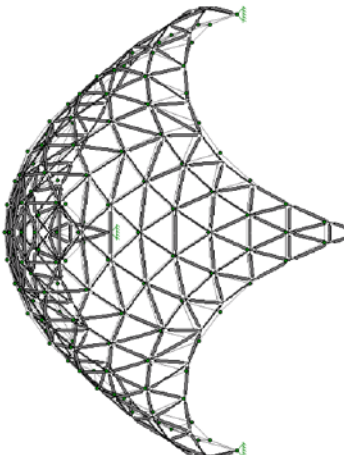
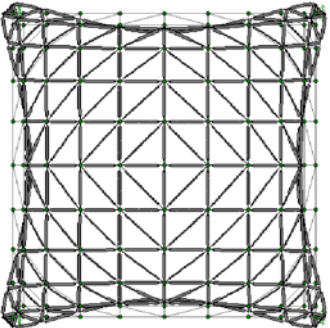
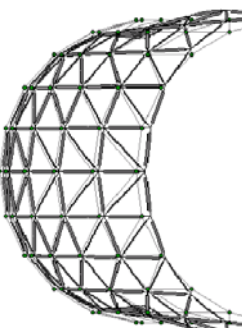
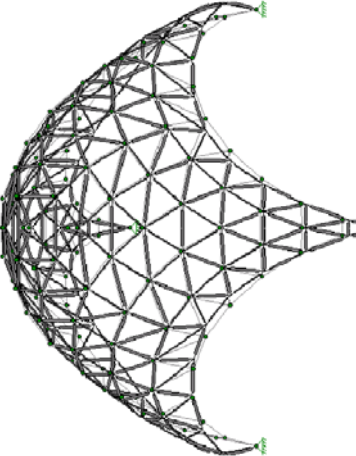
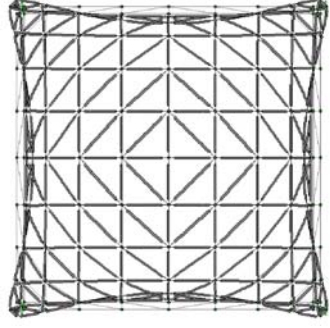

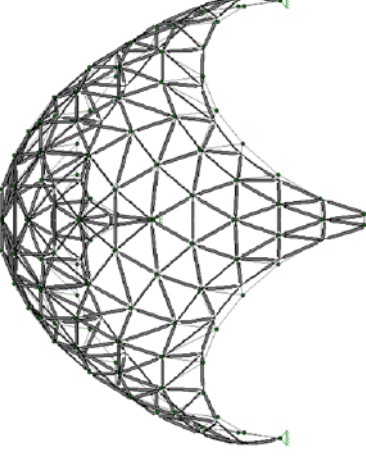
CAS 1: 10x10x0.50m	<p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
CAS 2: 10x10x1.00m	<p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
CAS 3: 10x10x1.50m	<p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
CAS 4: 10x10x2.00m	<p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
CAS 5: 10x10x2.50m	<p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 6: 10x10x3.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 7: 10x10x3.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 8: 10x10x4.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 9: 10x10x4.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 10: 10x10x5.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 1: 10x10x0.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	<p>CAS 2: 10x10x1.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	<p>CAS 3: 10x10x1.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	<p>CAS 4: 10x10x2.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	<p>CAS 5: 10x10x2.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>
 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>
 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 6: 10x10x3.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA E: 1/250</p>	<p>CAS 7: 10x10x3.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA E: 1/250</p>	<p>CAS 8: 10x10x4.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA E: 1/250</p>	<p>CAS 9: 10x10x4.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA E: 1/250</p>	<p>CAS 10: 10x10x5.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA E: 1/250</p>
 <p>ALÇAT E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT E: 1/250</p>
 <p>PERSPECTIVA E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA E: 1/300</p>

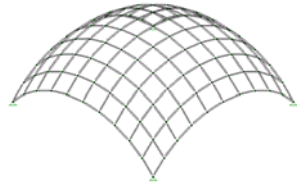
<p>CAS 1: 10x10x0.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 2: 10x10x1.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 3: 10x10x1.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 4: 10x10x2.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 5: 10x10x2.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 6: 10x10x3.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 7: 10x10x3.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 8: 10x10x4.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 9: 10x10x4.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 10: 10x10x5.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal diagonalitzada</p>		<p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT</p> <p>E: 1/250</p>  <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>



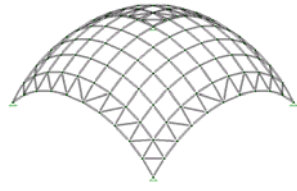
2.2. Estructura quadrangular

2.2.3. Desplaçaments màxims de nusos



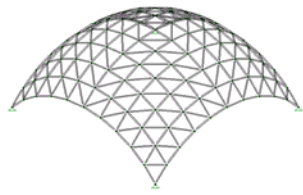
QUADRICULA

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
CAS 1 (10X10X0.50 m)	N66	1801,13	0,00	-575,26	
	N56	-1801,13	0,00	-575,26	
	N6	0,00	1801,13	-575,26	
	N116	0,00	-1801,13	-575,26	
	N66	0,00	0,00	-14620,12	
CAS 2 (10X10X1.00 m)	N56	-1430,79	0,00	-478,37	
	N66	1430,79	0,00	-478,37	
	N6	0,00	1430,79	-478,37	
	N116	0,00	-1430,79	-478,37	
	N72	0,00	0,00	-5947,86	
CAS 3 (10X10X1.50m)	N77	1,16	-7,53	-396,95	
	N55	1,158,646	7,53	-396,95	
	N67	-1,16	-7,53	-396,95	
	N45	-1,16	7,53	-396,95	
	N117	7,53	-1,16	-396,95	
	N115	-7,53	-1,16	-396,95	
	N7	7,53	1,158,646	-396,95	
	N5	-7,53	1,158,645	-396,95	
N61	0,00	0,00	-3417,66		
CAS 4 (10X10X2.00m)	N34	-1091,44	100,32	-91,24	
	N78	-1091,44	-100,32	-91,24	
	N44	1091,44	100,32	-91,24	
	N88	1091,44	-100,32	-91,24	
	N4	-100,32	1091,44	-91,24	
	N114	-100,32	-1091,44	-91,24	
	N8	100,32	1091,44	-91,24	
	N118	100,32	-1091,44	-91,24	
N61	0,00	0,00	-2478,72		
CAS 5 (10X10X2.50m)	N23	-1118,37	358,36	294,53	
	N33	1118,37	358,36	294,53	
	N89	-1118,37	-358,36	294,53	
	N99	1118,37	-358,36	294,53	
	N3	-358,36	1118,37	294,53	
	N9	358,36	1118,37	294,53	
	N119	358,36	-1118,37	294,53	
	N113	-358,36	-1118,37	294,53	
N61	0,00	0,00	-2096,64		
CAS 6 (10X10X3.00m)	N99	1261,36	-493,09	294,52	
	N89	-1261,36	-493,09	294,52	
	N23	-1261,36	493,09	294,52	
	N33	1261,36	493,09	294,52	
	N113	-493,09	-1261,36	294,52	
	N119	493,09	-1261,36	294,52	
	N3	-493,09	1261,36	294,52	
	N9	493,09	1261,36	294,52	
N61	0,00	0,00	-1973,49		
CAS 7 (10X10X3.50m)	N33	-1436,62	650,53	273,97	
	N89	1436,62	-650,53	273,97	
	N99	-1436,62	-650,53	273,97	
	N23	1436,62	650,53	273,97	
	N9	650,53	-1436,62	273,97	
	N119	-650,53	1436,62	273,97	
	N3	-650,53	-1436,62	273,97	
	N113	650,53	1436,62	273,97	
N61	0,00	0,00	-2002,14		
CAS 8 (10X10X4.00m)	N23	-1643,72	830,31	228,27	
	N89	-1643,72	-830,31	228,27	
	N33	1643,72	830,31	228,27	
	N99	1643,72	-830,31	228,27	
	N3	-830,31	1643,72	228,27	
	N113	-830,31	-1643,72	228,27	
	N9	830,31	1643,72	228,27	
	N119	830,31	-1643,72	228,27	
N61	0,00	0,00	-2160,06		
CAS 9 (10X10X4.50m)	N89	-1867,83	-1028,13	152,67	
	N23	-1867,83	1028,13	152,67	
	N99	1867,83	-1028,13	152,67	
	N33	1867,83	1028,13	152,67	
	N113	-10281,26	-1867,83	152,67	
	N119	1028,13	-1867,83	152,67	
	N3	-1028,13	1867,83	152,67	
	N9	1028,13	1867,83	152,67	
N61	0,00	0,00	-2424,10		
CAS 10 (10X10 5.00m)	N33	2108,44	1250,63	45,77	
	N23	-2108,44	1250,63	45,77	
	N99	2108,44	-1250,63	45,77	
	N89	-2108,44	-1250,63	45,77	
	N9	1250,63	2108,44	45,77	
	N3	-1250,63	2108,44	45,77	
	N119	1250,63	-2108,44	45,77	
	N113	-1250,63	-2108,44	45,77	
N61	0,00	0,00	-2805,15		



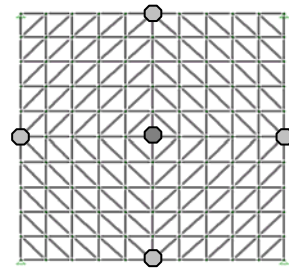
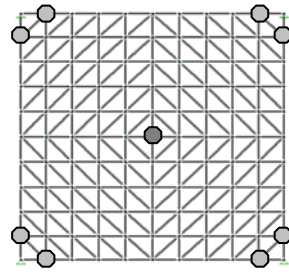
QUADRICULA PERIMETRE DIAGONALIZAT

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
CAS 1 (10X10X0.50 m)	N65	58,08	0,00	-138,91	
	N57	-58,08	0,00	-138,91	
	N17	0,00	58,08	-138,91	
	N105	0,00	-58,08	-138,91	
	N61	0,00	0,00	-855,46	
CAS 2 (10X10X1.00 m)	N57	-78,74	0,00	-40,09	
	N65	78,74	0,00	-40,09	
	N17	0,00	78,74	-40,09	
	N105	0,00	-78,74	-40,09	
	N6	0,00	0,00	-530,72	
CAS 3 (10X10X1.50m)	N110	100,70	-100,59	169,58	
	N100	-100,70	-100,59	169,58	
	N22	100,70	100,59	169,57	
	N12	-100,70	100,59	169,57	
	N120	100,59	-100,70	169,58	
	N10	100,59	100,70	169,58	
	N112	-100,59	-100,70	169,57	
	N2	-100,59	100,70	169,57	
N61	0,00	0,00	-453,01		
CAS 4 (10X10X2.00m)	N12	-150,22	150,20	181,13	
	N110	150,22	-150,20	181,13	
	N100	-150,22	-150,20	181,13	
	N22	150,22	150,20	181,13	
	N2	-150,20	150,22	181,13	
	N120	150,20	-150,22	181,13	
	N112	-150,20	-150,22	181,13	
	N10	150,20	150,22	181,13	
N61	0,00	0,00	-429,71		
CAS 5 (10X10X2.50m)	N120	208,46	-208,43	186,81	
	N112	-208,46	-208,43	186,81	
	N10	208,46	208,43	186,81	
	N2	-208,46	208,43	186,81	
	N110	208,43	-208,46	186,81	
	N12	-208,43	208,46	186,81	
	N100	-208,43	-208,46	186,81	
	N22	208,43	208,46	186,81	
N61	0,00	0,00	-439,61		
CAS 6 (10X10X3.00m)	N10	271,66	271,62	183,31	
	N120	271,66	-271,62	183,31	
	N2	-271,66	271,62	183,31	
	N112	-271,66	-271,62	183,31	
	N22	271,62	271,66	183,31	
	N12	-271,62	271,66	183,31	
	N110	271,62	-271,66	183,31	
	N100	-271,62	-271,66	183,31	
N61	0,00	0,00	-477,97		
CAS 7 (10X10X3.50m)	N120	329,76	329,72	166,53	
	N10	329,76	-329,72	166,53	
	N2	-329,76	329,72	166,53	
	N112	-329,76	-329,72	166,53	
	N22	329,72	329,76	166,53	
	N12	-329,72	-329,76	166,53	
	N110	-329,72	329,76	166,53	
	N100	329,72	-329,76	166,53	
N61	0,00	0,00	-541,95		
CAS 8 (10X10X4.00m)	N112	-251,92	-251,91	92,69	
	N2	-251,92	251,91	92,69	
	N10	251,92	251,91	92,69	
	N120	251,92	-251,91	92,69	
	N100	-251,91	-251,92	92,69	
	N110	251,91	-251,92	92,69	
	N22	251,91	251,92	92,69	
	N12	-251,91	251,92	92,69	
N61	0,00	0,00	-438,03		
CAS 9 (10X10X4.50 m)	N57	-459,75	0,00	-112,83	
	N65	459,75	0,00	-112,83	
	N105	0,00	-459,75	-112,83	
	N17	0,00	459,75	-112,83	
	N61	0,00	0,00	-737,45	
CAS 10 (10X10 5.00m)	N65	699,47	0,00	-56,60	
	N57	-699,47	0,00	-56,60	
	N17	0,00	699,47	-56,60	
	N105	0,00	-699,47	-56,60	
	N61	0,00	0,00	-859,75	



QUADRICULA DIAGONALITZADA

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
CAS 1 (10X10X0.50m)	N110	42,81	-40,08	-188,72
	N22	42,81	40,08	-188,72
	N100	-42,81	-40,08	-188,72
	N12	-42,81	40,08	-188,72
	N10	40,08	42,81	-188,72
	N120	40,08	-42,81	-188,72
	N112	-40,08	-42,81	-188,72
	N2	-40,08	42,81	-188,72
	N56	26,47	0,00	-399,32
	N66	-26,47	0,00	-399,32
N116	0,00	26,47	-399,32	
N50	0,00	-26,47	-399,32	
CAS 2 (10X10X1.00m)	N12	-80,83	79,74	206,24
	N22	80,83	79,74	206,24
	N100	-80,83	-79,74	206,24
	N110	80,83	-79,74	206,24
	N2	-79,74	80,83	206,24
	N112	-79,74	-80,83	206,24
	N10	79,74	80,83	206,24
	N120	79,74	-80,83	206,24
	N56	66,87	0,00	-327,59
	N66	0,00	-66,87	-327,59
N66	-66,87	0,00	-327,59	
N116	0,00	66,87	-327,59	
CAS 3 (10X10X1.50m)	N110	123,94	-123,41	208,98
	N100	-123,94	-123,41	208,98
	N22	123,94	123,41	208,98
	N12	-123,94	123,41	208,98
	N120	123,41	-123,94	208,98
	N10	123,41	123,94	208,98
	N12	-123,41	-123,94	208,98
	N2	-123,41	123,94	208,98
	N6	0,00	-111,94	-329,17
	N56	111,94	0,00	-329,17
N66	-111,94	0,00	-329,17	
N116	0,00	111,94	-329,17	
CAS 4 (10X10X2.00m)	N100	-172,89	-172,63	208,58
	N110	172,89	-172,63	208,58
	N22	172,89	172,63	208,58
	N12	-172,89	172,63	208,58
	N120	172,63	-172,89	208,58
	N10	172,63	172,89	208,58
	N2	-172,63	172,89	208,58
	N112	-172,63	-172,89	208,58
	N6	0,00	-167,06	-346,09
	N56	167,06	0,00	-346,09
N66	-167,06	0,00	-346,09	
N116	0,00	167,06	-346,09	
CAS 5 (10X10X2.50m)	N66	-332,83	0,00	-519,97
	N56	332,83	0,00	-519,97
	N6	0,00	-332,83	-519,97
	N116	0,00	332,83	-519,97
CAS 6 (10X10X3.00m)	N56	317,88	0,00	-386,21
	N66	-317,88	0,00	-386,21
	N6	0,00	-317,88	-386,21
	N116	0,00	317,88	-386,21
CAS 7 (10X10X3.50m)	N66	435,93	0,00	-415,26
	N56	-435,93	0,00	-415,26
	N6	0,00	-435,93	-415,26
	N40	0,00	435,93	-415,26
CAS 8 (10X10X4.00m)	N66	-507,69	0,00	-374,15
	N56	507,69	0,00	-374,15
	N116	0,00	507,69	-374,15
	N6	0,00	-507,69	-374,15
CAS 9 (10X10X4.50m)	N56	567,48	0,00	-311,12
	N66	-567,48	0,00	-311,12
	N6	0,00	-567,48	-311,12
	N116	0,00	567,48	-311,12
CAS 10 (10X10 5.00m)	N66	-526,64	0,00	-198,24
	N56	526,64	0,00	-198,24
	N116	0,00	526,64	-198,24
	N6	0,00	-526,64	-198,24





2.3. Estructures quadrangulars: Conclusions parcials

En primer lloc, ens fixarem exclusivament en el cas de les estructures de planta quadrangular.

En la primera tipologia, per tant, en la quadrícula ortogonal, tenim un rang de desplaçaments màxims en els eixos x i y d'entre 1.09m a 2.10m, aproximadament. Cal tenir en compte, que aquests desplaçaments de nusos, tal i com s'observa gràficament, van variant de posició en funció de la fletxa. Per tant, a mesura que la curvatura augmenta, aquests nusos amb desplaçaments màxims es van posicionant més a prop dels suports de l'estructura, ja que en augmentar la curvatura, s'incrementa la component vertical de les càrregues aplicades.

En el cas de la deformació en l'eix vertical (z), tenim un rang de valors més ampli, adoptant un màxim de 14.62m, en l'estructura més planera, i un valor mínim de 1.97m, en un dels casos intermitjos (Cas 6 de 10.00x10.00m de planta i 3.00m de fletxa). Aquest desplaçament en z no varia mai de posició. Estarà, en tots els casos, situat al nus central de la cúpula quadrangular.

Com es lògic, aquests desplaçaments resultants són inviàbles, però com s'ha dit anteriorment, la quadrícula composta per quadrats, com a figures base, és inestable.

En segon lloc, tenim l'estructura de planta quadriculada amb el perímetre diagonalitzat. Comparant, a simple vista, les deformades del Cas 1 d'aquesta tipologia amb les del Cas 1 de l'explicada anteriorment, s'observa una millora substancial, numèricament representada pels següents valors de desplaçament màxim en z : 14.62m en la quadrícula simple i 0.86m, en la quadrícula amb perímetre diagonalitzat, en l'estructura més planera. Per tant, és evident que la diagonalització del perímetre ens ha aportat una rigidesa de l'estructura, a caire global.

Passant a resumir els valors estudiats en aquest cas, el rang en els desplaçaments en x i y és d'entre 0.06m a 0.70m. En el cas de l'eix z , tenim un valor mínim de 0.44m i un màxim, de 0.86m. Els resultats han millorat respecte els casos anteriors, però s'ha d'afirmar que aquesta configuració geomètrica no és idònia, ja que tot i així, els desplaçaments portarien l'estructura a un col·lapse global, ja que continuen essent bastant elevats, sobretot en el pla horitzontal.



Per últim, tenim la tipologia on l'estructura està totalment diagonalitzada. El rang de valors de desplaçaments en els eixos x i y és des de 0.04m a 0.57m. En el sentit vertical, les deformacions es mouran entre els valors 0.20m i 0.52m. Així doncs, i en vista a aquesta reducció dels valors, respecte les dues tipologies anteriors, es pot afirmar que les estructures reticulars metàl·liques requereixen estar completament diagonalitzades. Com s'ha dit prèviament a la teoria, la figura base de composició, queda provat, que ha de ser un triangle, per tal d'aconseguir l'estabilitat global.

Amb la comparació extreta, ja parlant exclusivament dels casos completament diagonalitzats, s'ha observat que l'estructura més planera, o sigui, el Cas 1 de 10.00x10.00m de planta amb una fletxa 0.50m, és la que pateix menys desplaçaments en el pla x - y , però no en l'eix vertical. Per contra, el Cas 10 de 10.00x10.00m de planta amb una fletxa de 5.00m, és la que està sotmesa a menors desplaçaments en l'eix z . Sabent que el que ens interessa és que els desplaçaments en z siguin mínims, caldrà doncs, buscar una solució per tal de minimitzar al màxim els desplaçaments del pla x - y . La solució es basarà en la rigidització del perímetre.

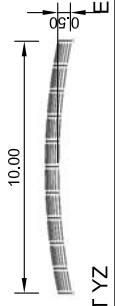
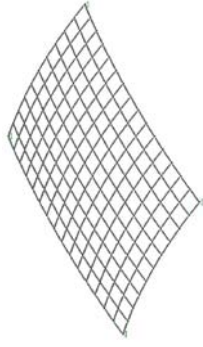
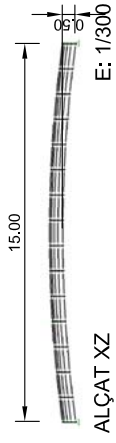
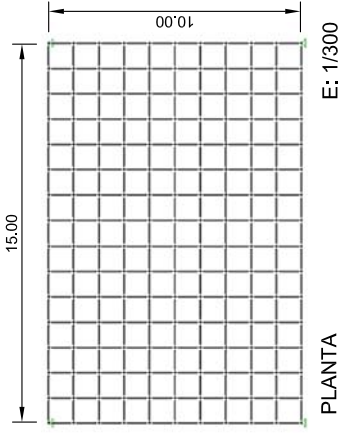


2.4. Estructura rectangular

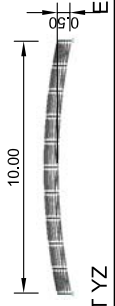
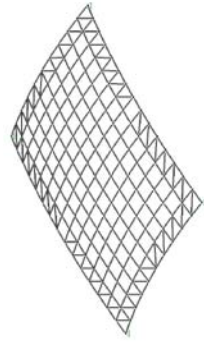
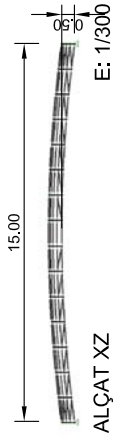
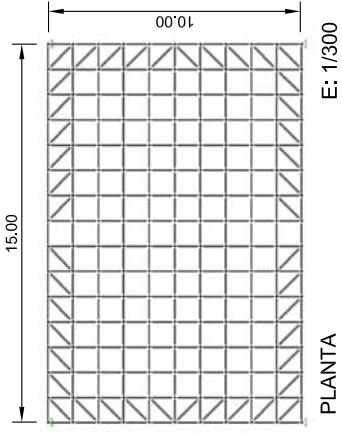
2.4.1. Configuració geomètrica

CAS 1: 10x15x0.50m

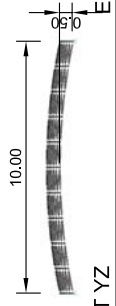
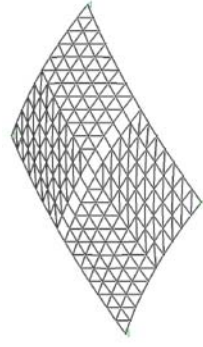
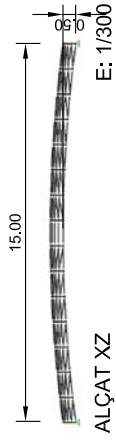
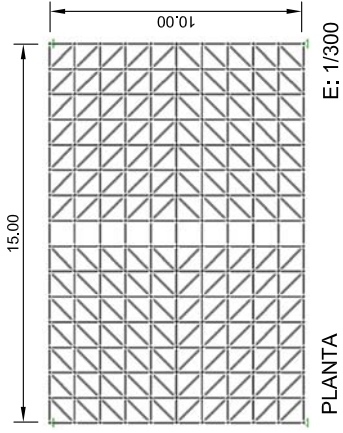
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

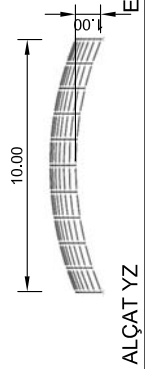
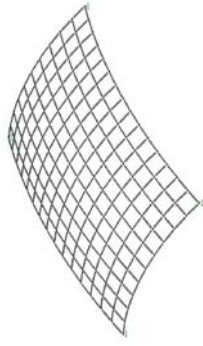
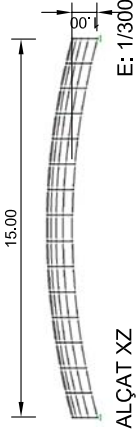
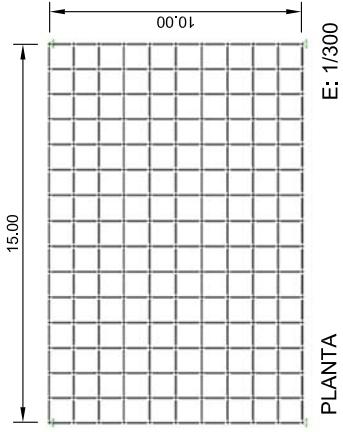


Quadricula ortogonal diagonalitzada

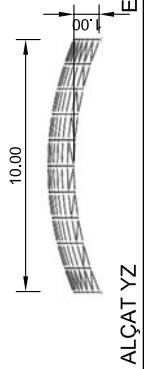
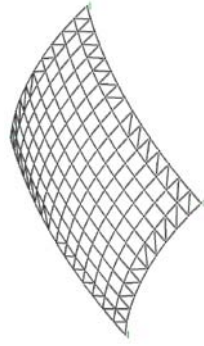
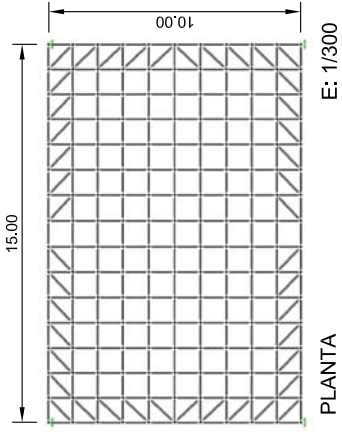


CAS 2: 10x15x1.00m

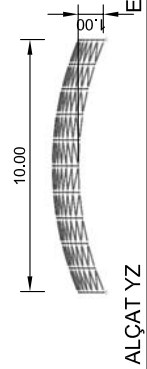
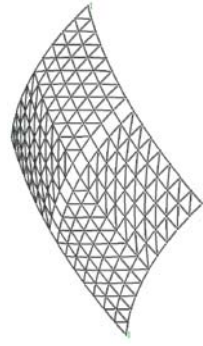
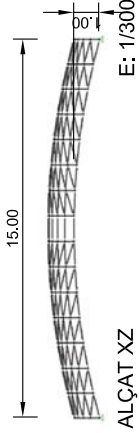
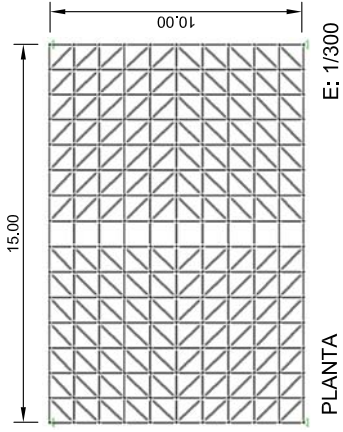
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

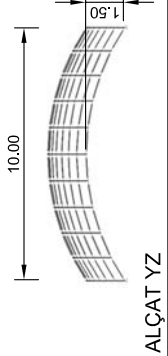
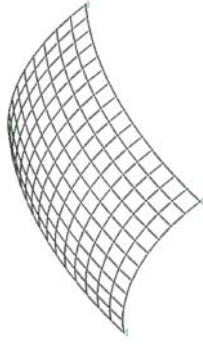
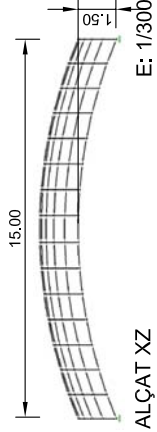
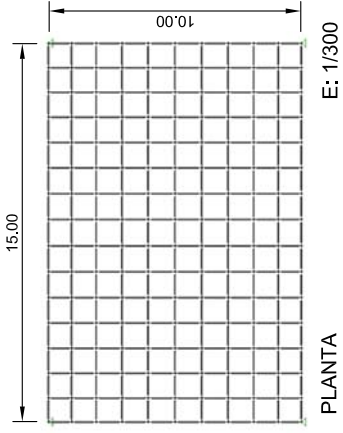


Quadricula ortogonal diagonalitzada

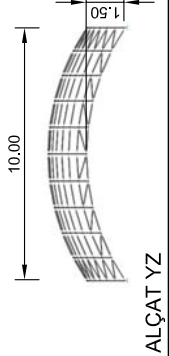
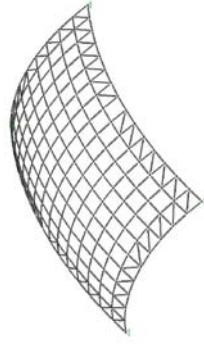
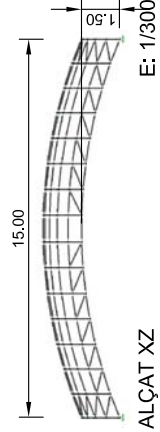
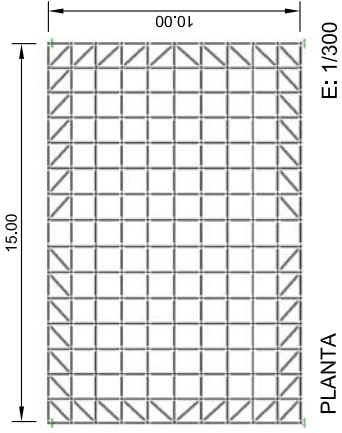


CAS 3: 10x15x1.50m

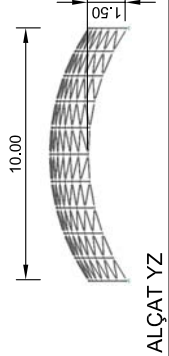
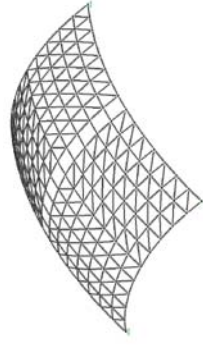
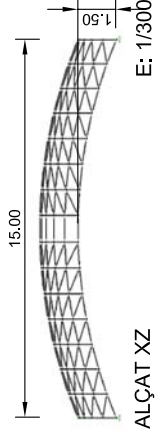
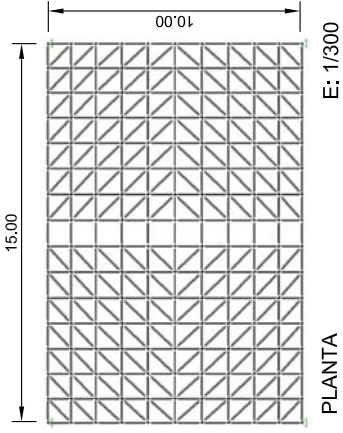
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

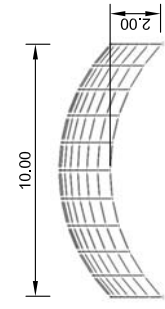
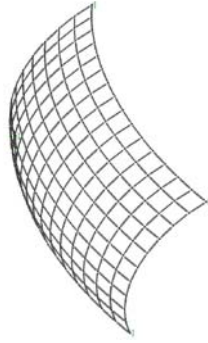
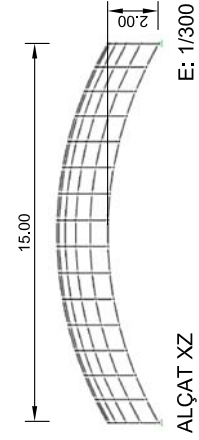
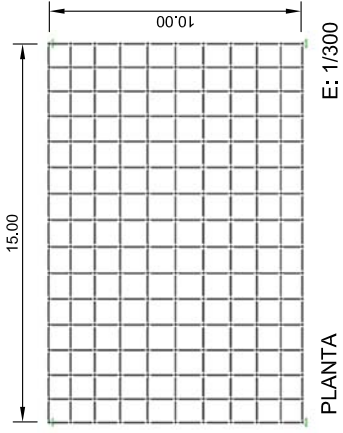


Quadricula ortogonal diagonalitzada

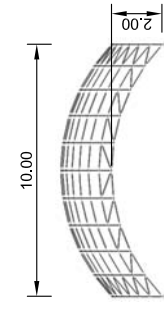
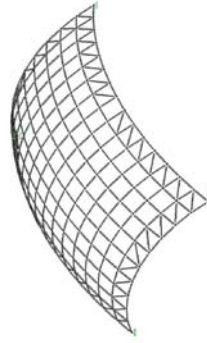
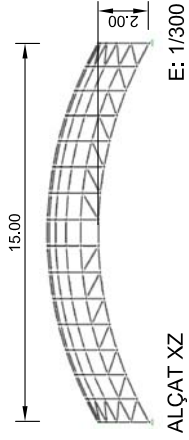
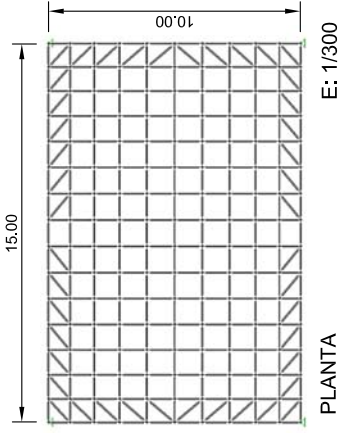


CAS 4: 10x15x2.00m

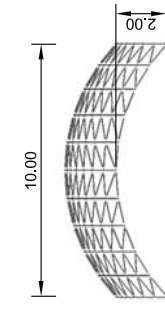
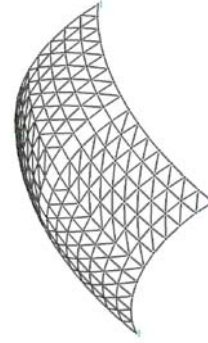
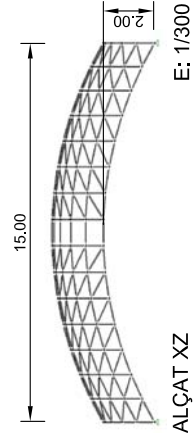
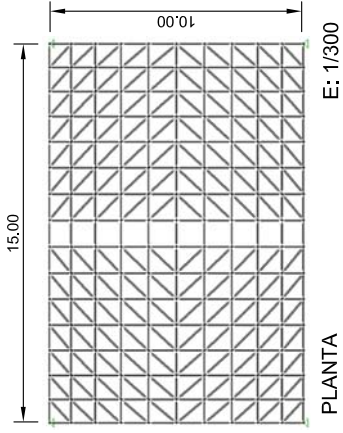
Quadrícula ortogonal



Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

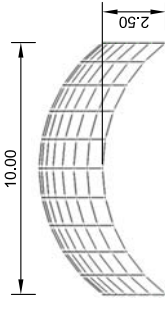
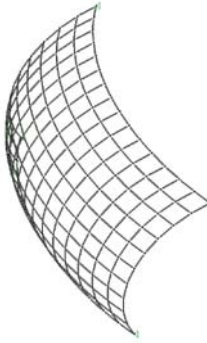
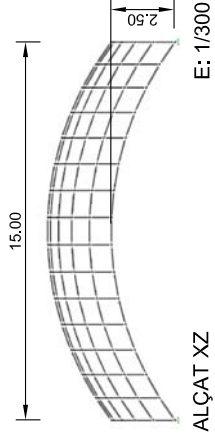
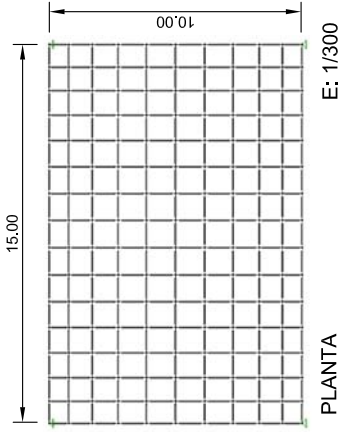


Quadrícula ortogonal diagonalitzada

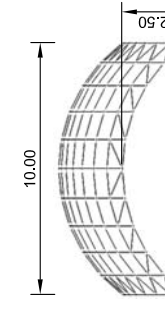
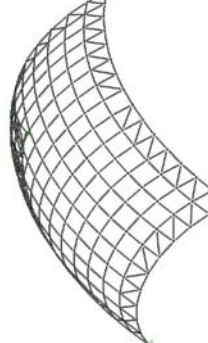
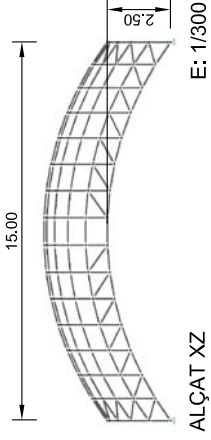
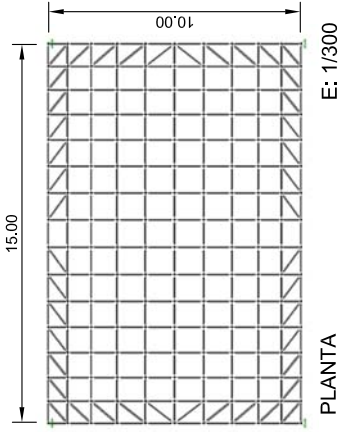


CAS 5: 10x15x2.50m

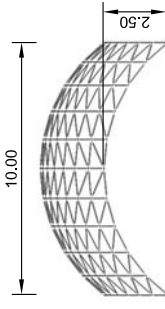
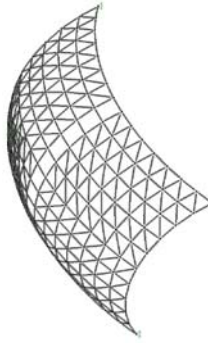
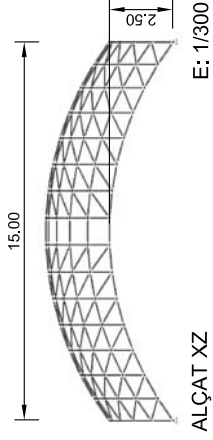
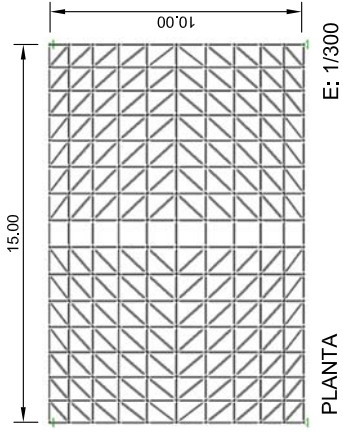
Quadrícula ortogonal



Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

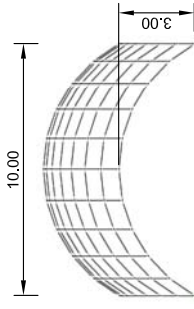
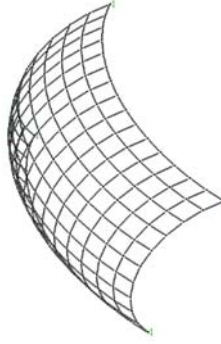
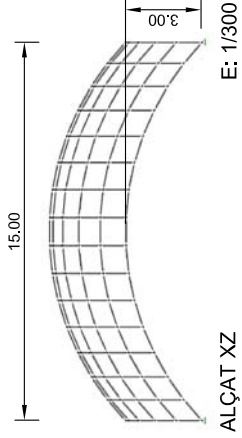
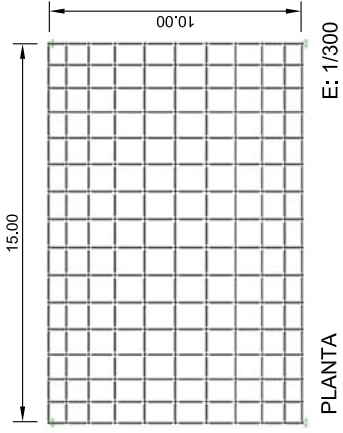


Quadrícula ortogonal diagonalitzada

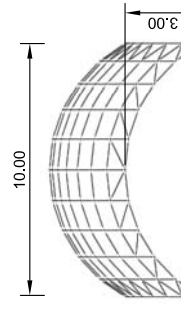
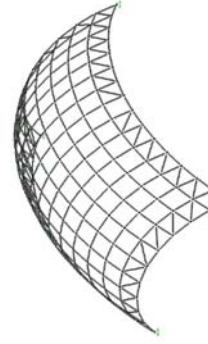
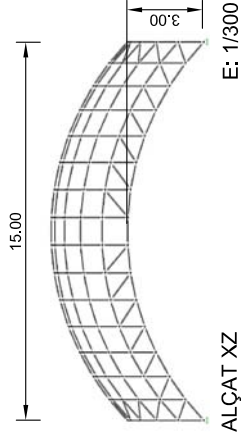
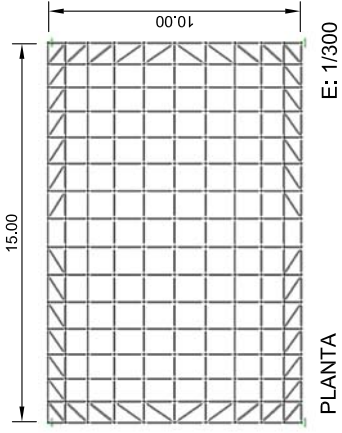


CAS 6: 10x15x3.00m

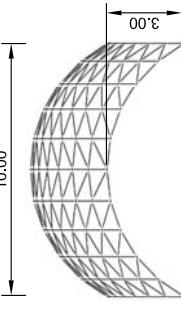
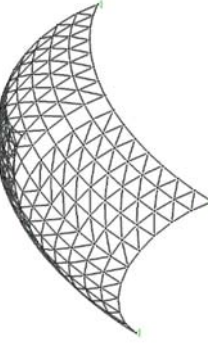
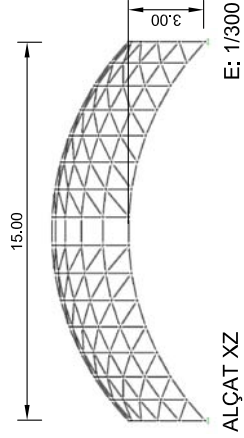
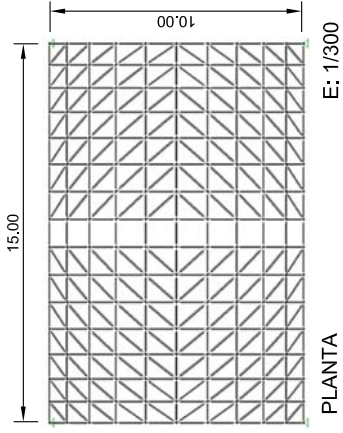
Quadrícula ortogonal



Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

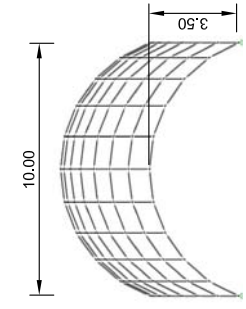
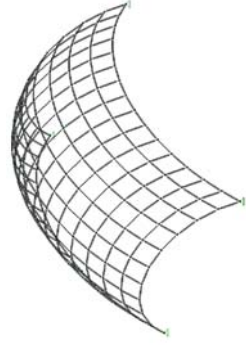
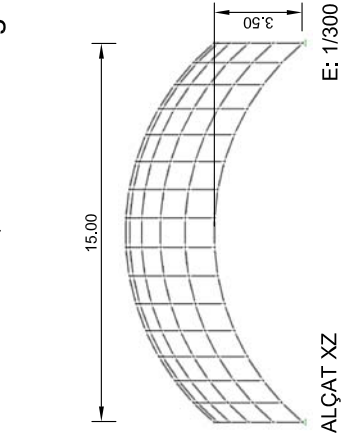
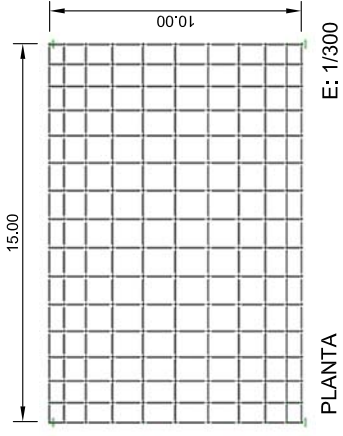


Quadrícula ortogonal diagonalitzada

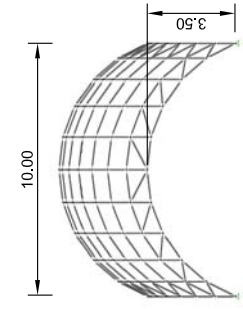
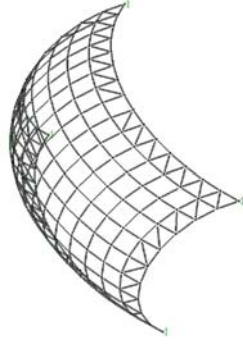
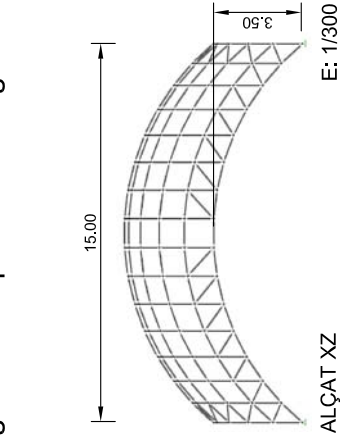
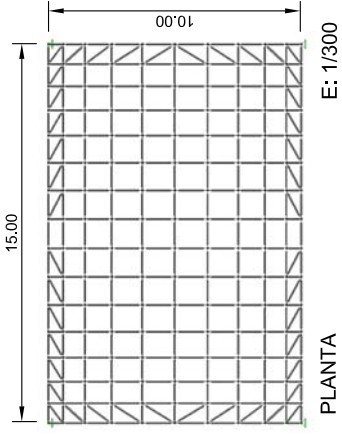


CAS 7: 10x15x3.50m

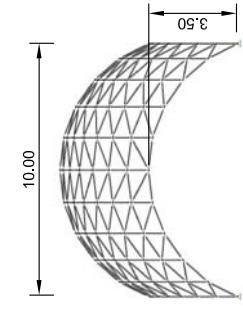
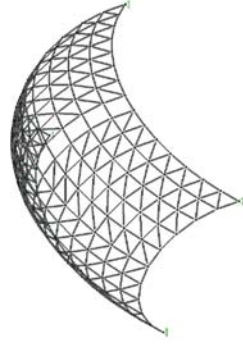
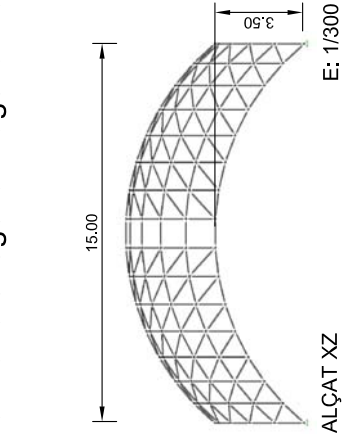
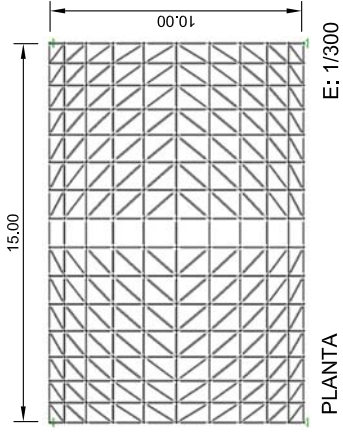
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

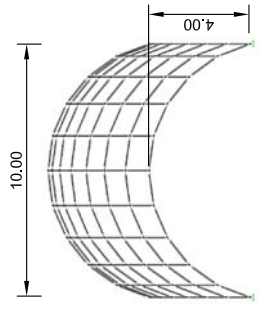
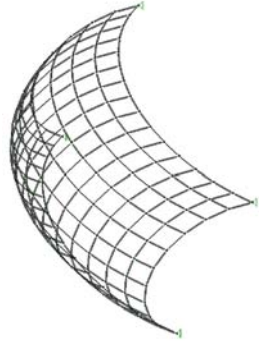
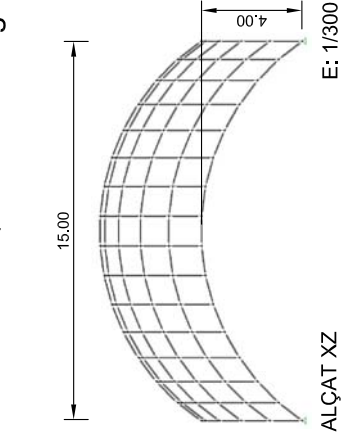
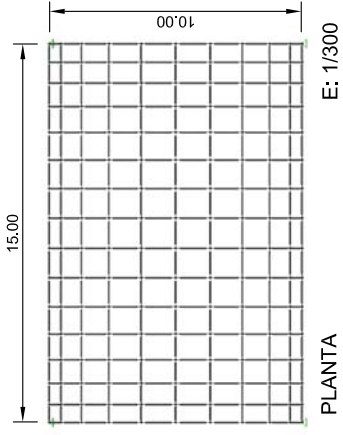


Quadricula ortogonal diagonalitzada

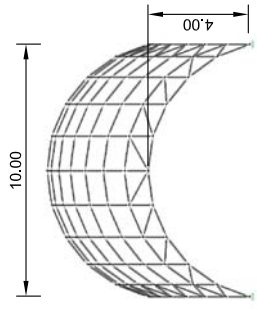
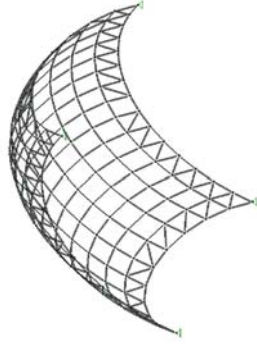
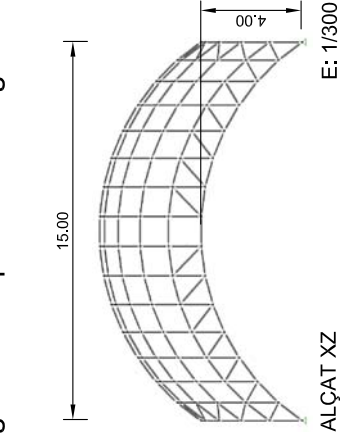
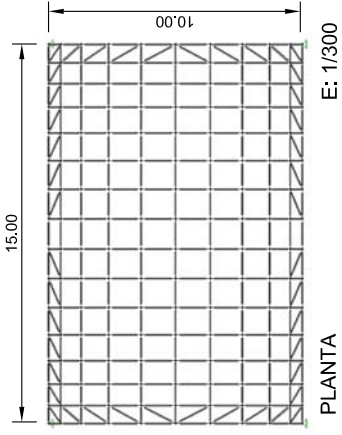


CAS 8: 10x15x4.00m

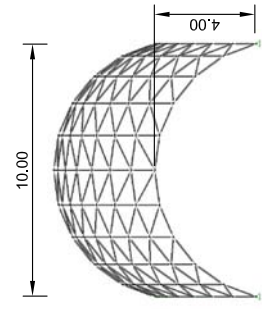
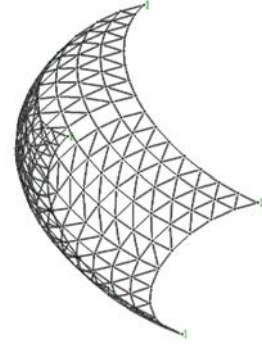
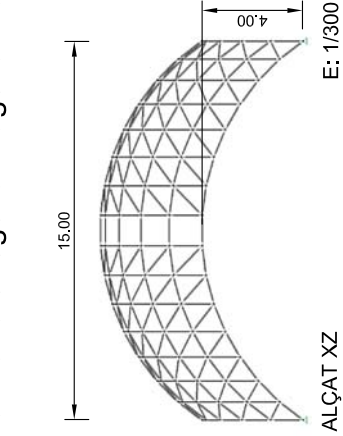
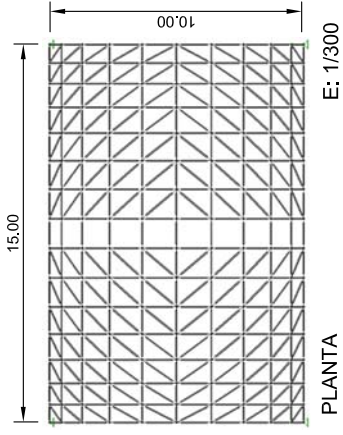
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

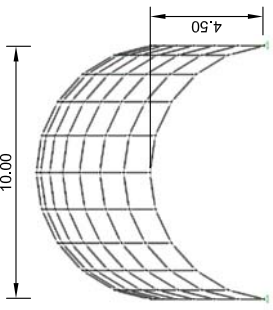
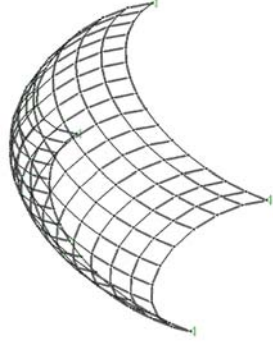
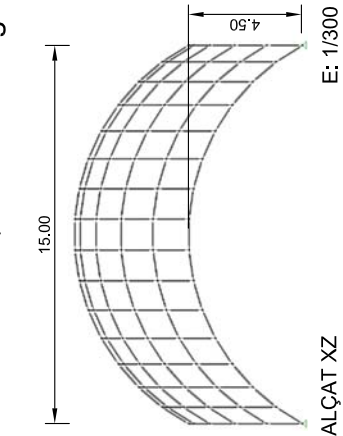
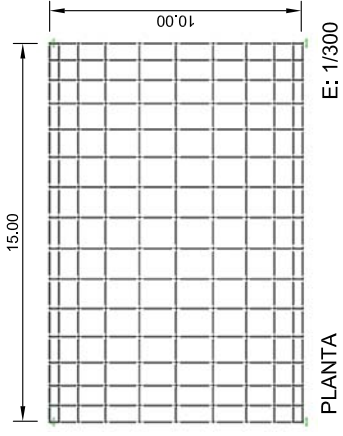


Quadricula ortogonal diagonalitzada

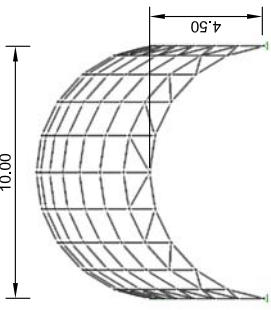
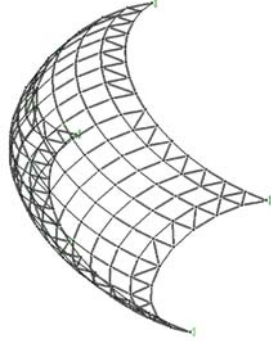
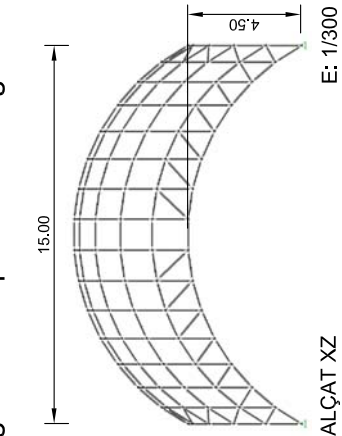
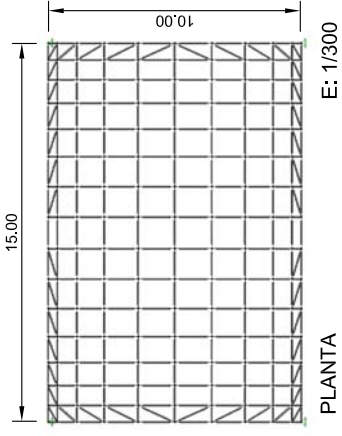


CAS 9: 10x15x4.50m

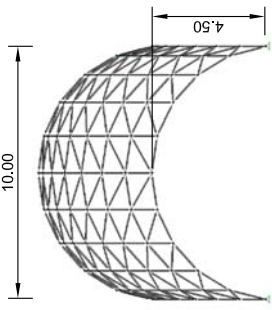
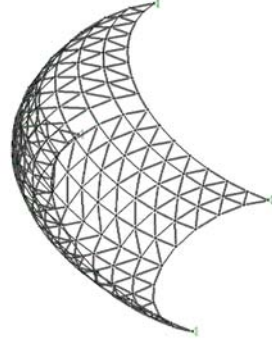
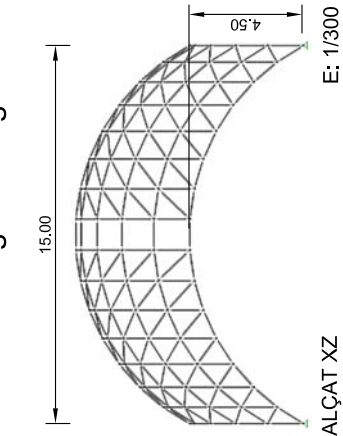
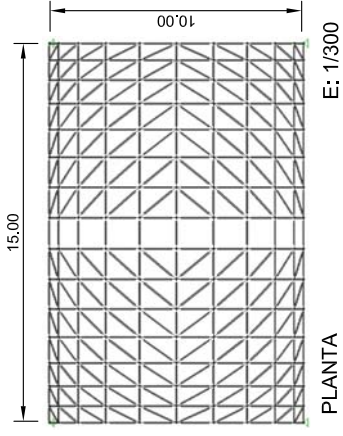
Quadricula ortogonal



Quadricula ortogonal amb perimetre diagonalitzat

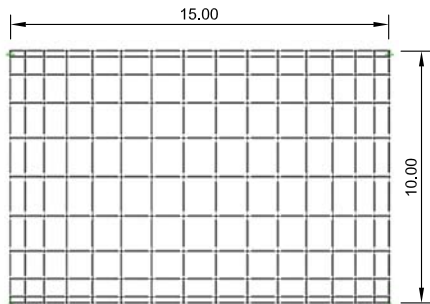


Quadricula ortogonal diagonalitzada



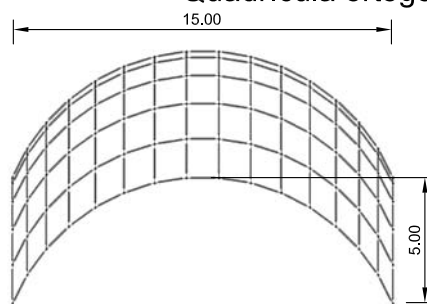
CAS 10: 10x15x5.00m

Quadrícula ortogonal



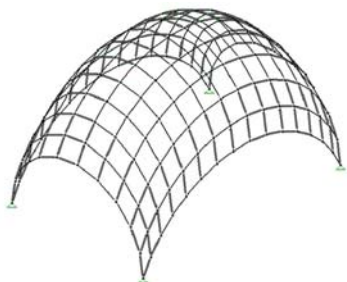
PLANTA

E: 1/300



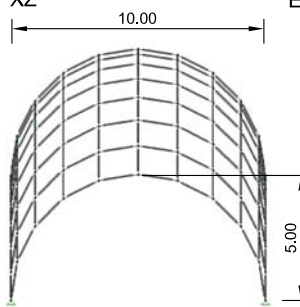
ALÇAT XZ

E: 1/300



PERSPECTIVA

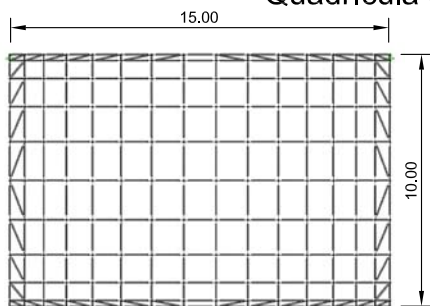
E: 1/500



ALÇAT YZ

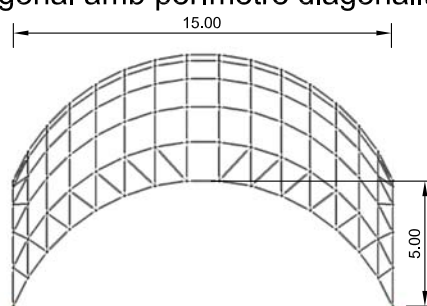
E: 1/300

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat



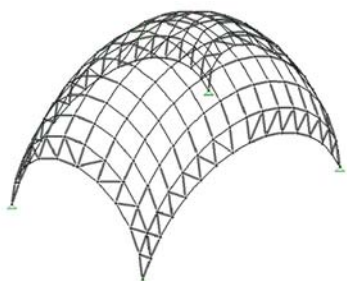
PLANTA

E: 1/300



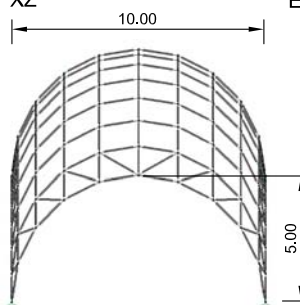
ALÇAT XZ

E: 1/300



PERSPECTIVA

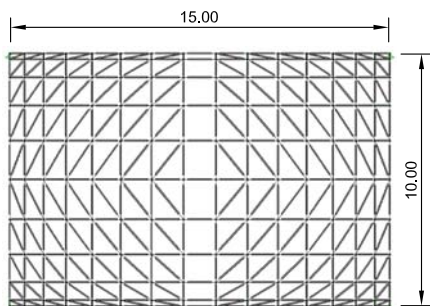
E: 1/500



ALÇAT YZ

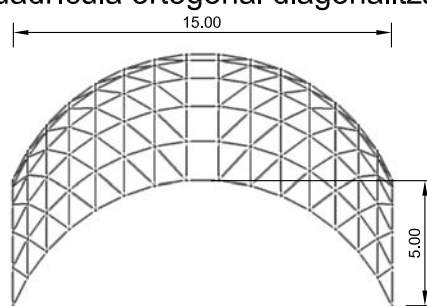
E: 1/300

Quadrícula ortogonal diagonalitzada



PLANTA

E: 1/300



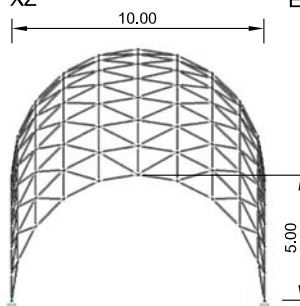
ALÇAT XZ

E: 1/300



PERSPECTIVA

E: 1/500



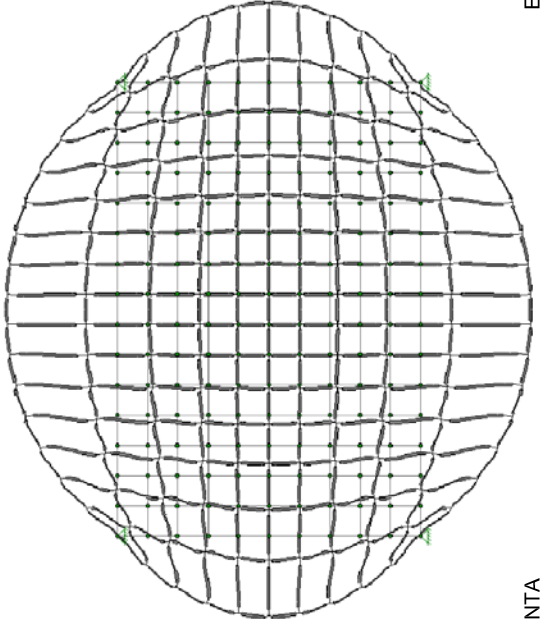
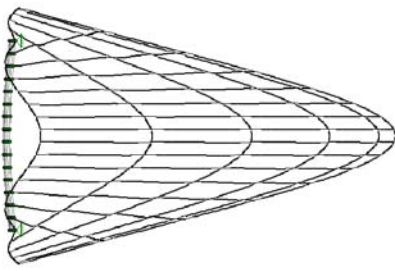
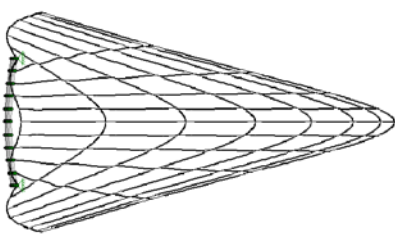
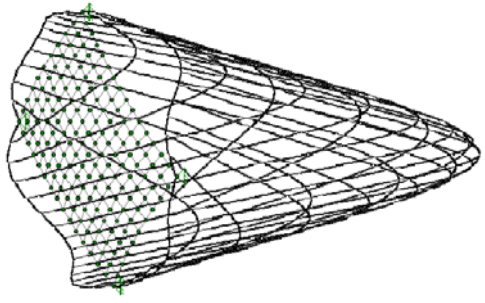
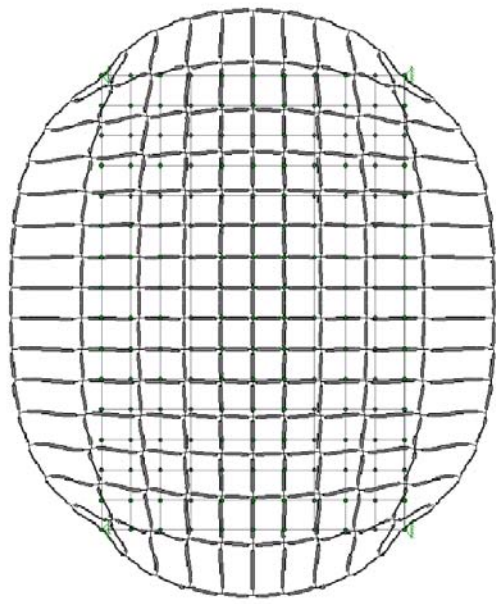
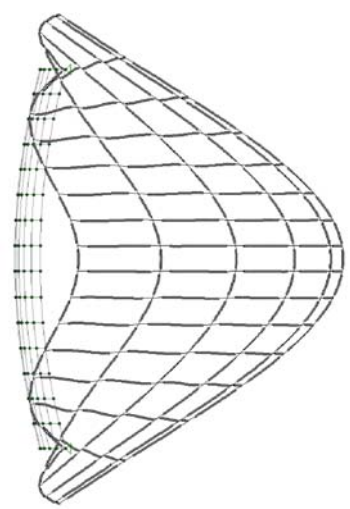
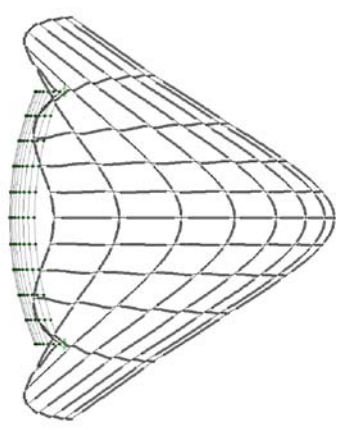
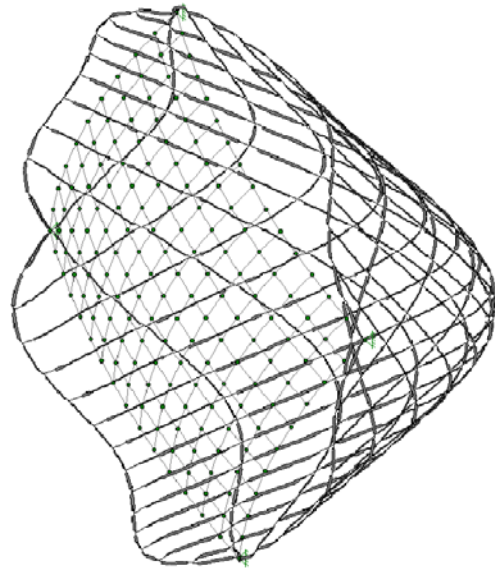
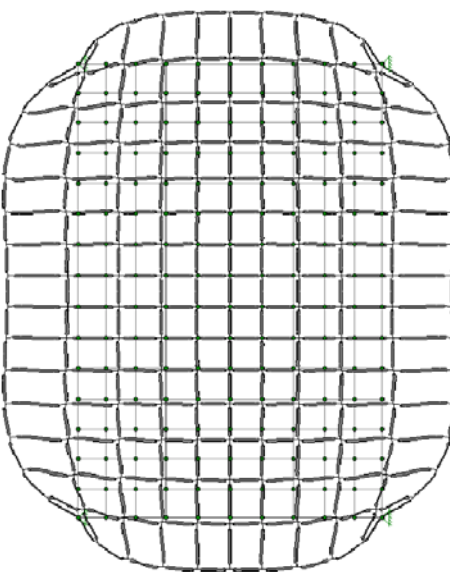
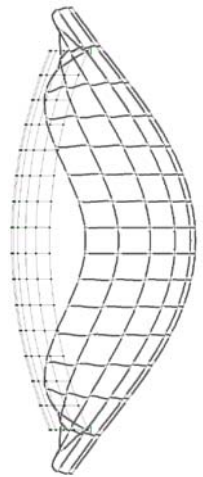
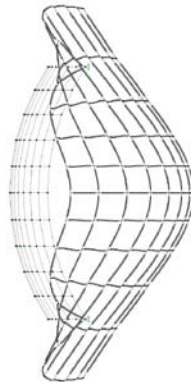
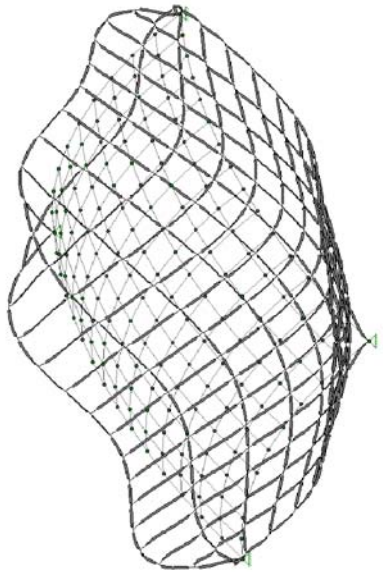
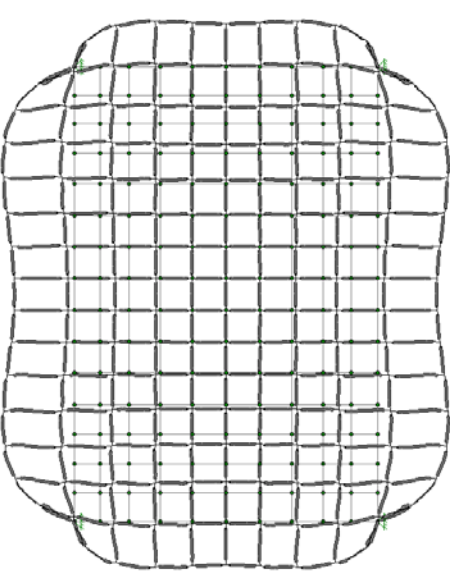
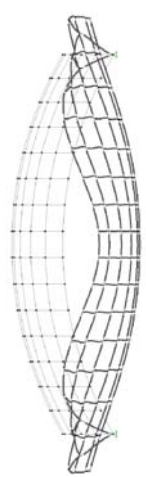

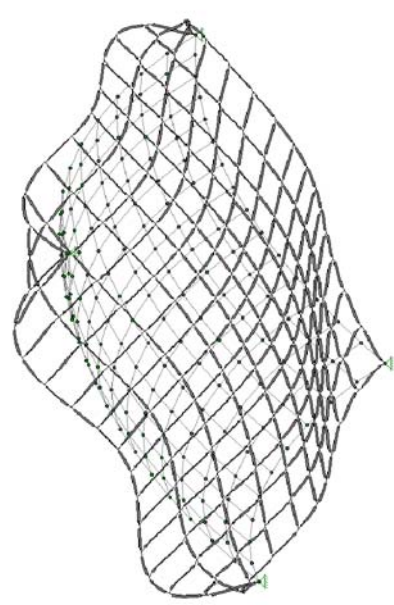
ALÇAT YZ

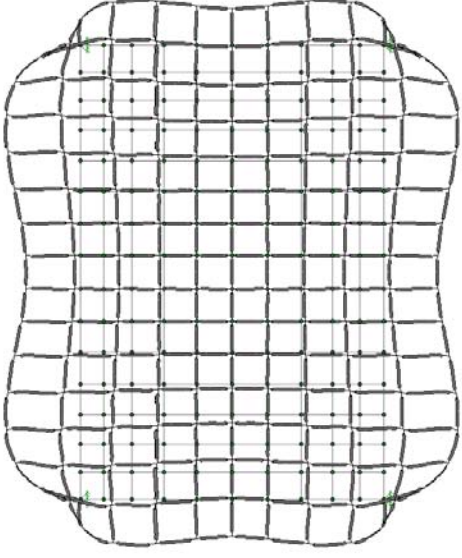
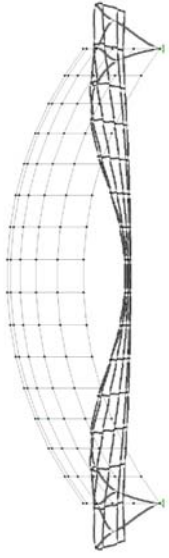

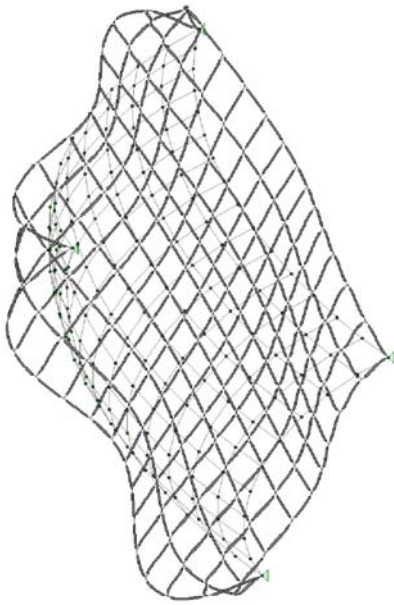
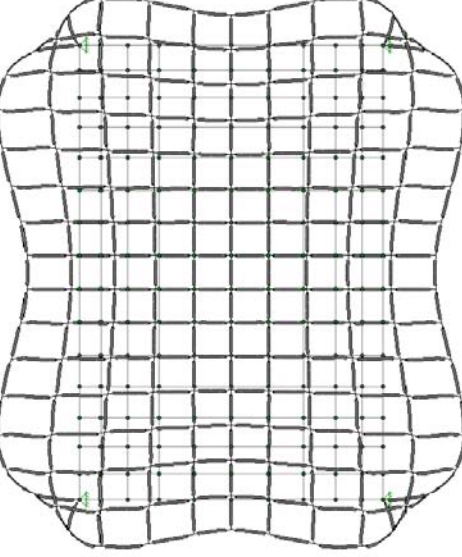

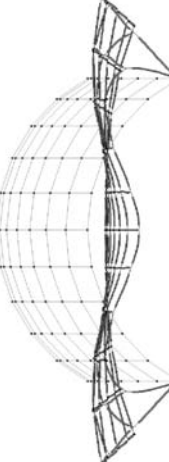
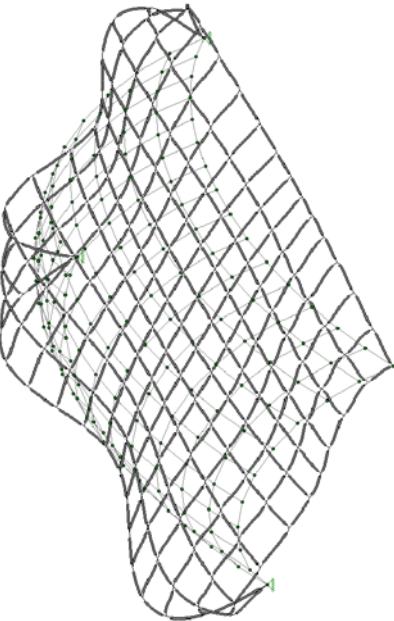
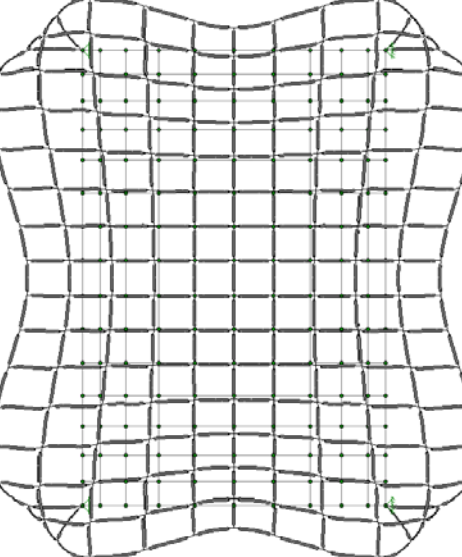
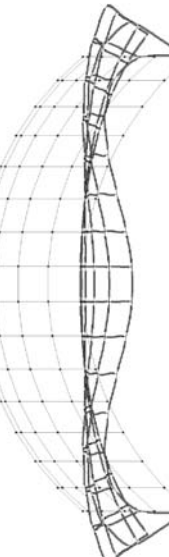

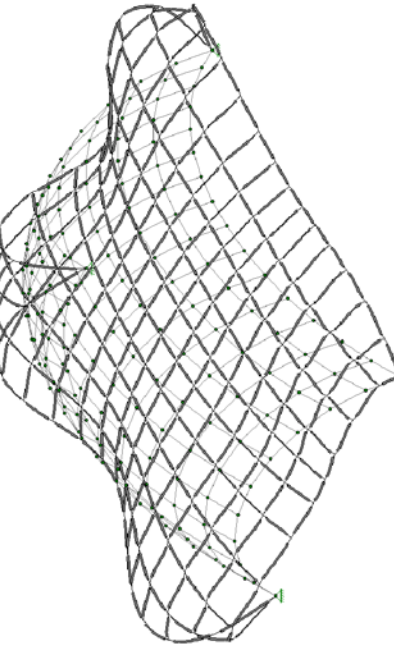
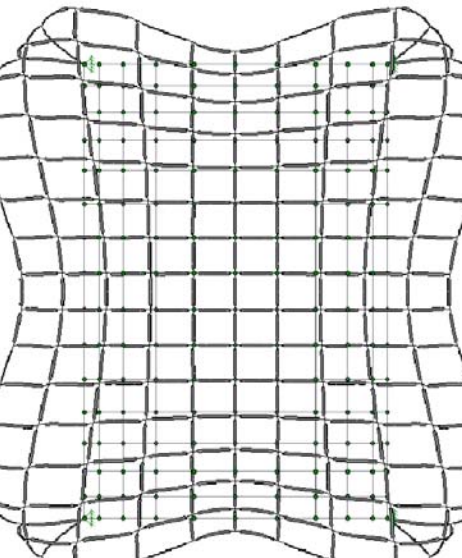
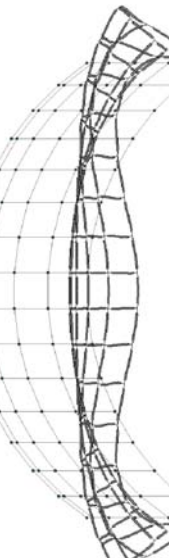
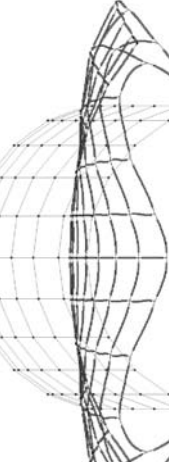
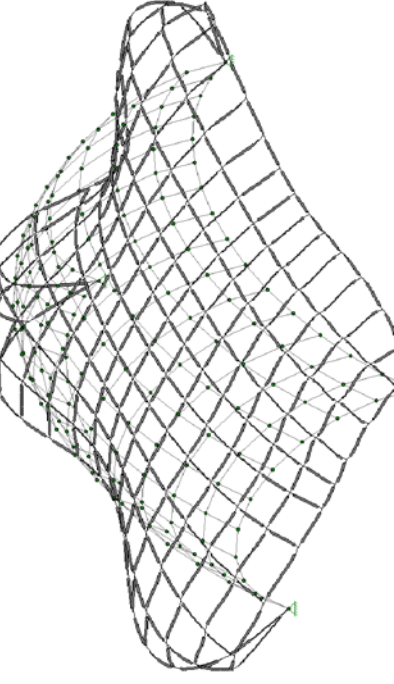
E: 1/300



2.4. Estructura rectangular

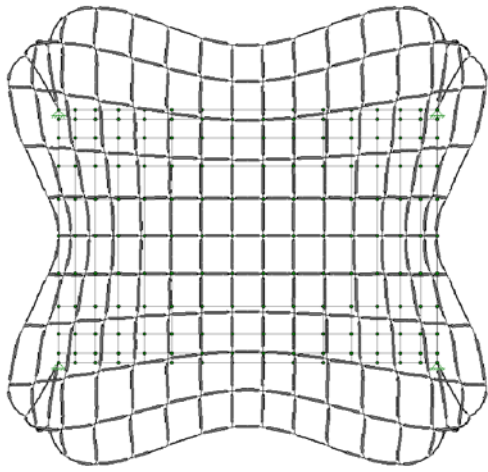
2.4.2. Deformades

<p>CAS 1: 10x15x0.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/600</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/600</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/600</p>
<p>CAS 2: 10x15x1.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 3: 10x15x1.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 4: 10x15x2.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/300</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 5: 10x15x2.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 6: 10x15x3.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 7: 10x15x3.50m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 8: 10x15x4.00m</p> <p>Quadrícula ortogonal</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

CAS 9: 10x15x4.50m

Quadricula ortogonal

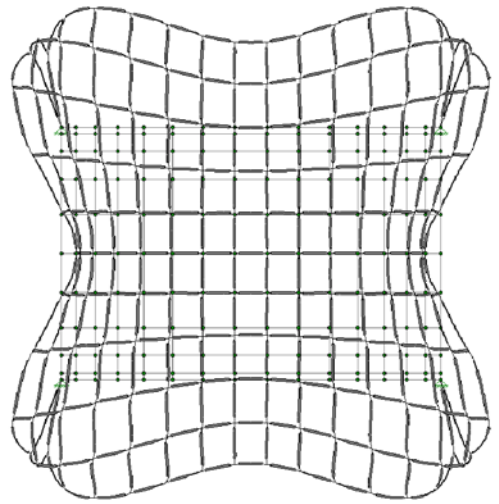


PLANTA

E: 1/300

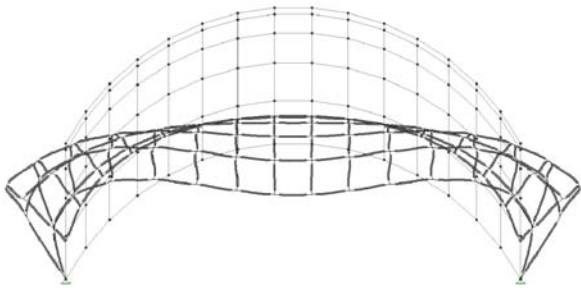
CAS 10: 10x15x5.00m

Quadricula ortogonal



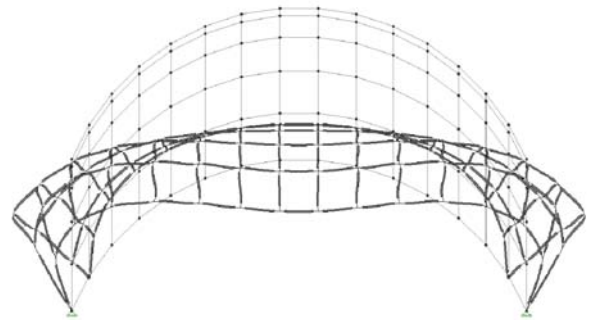
PLANTA

E: 1/300



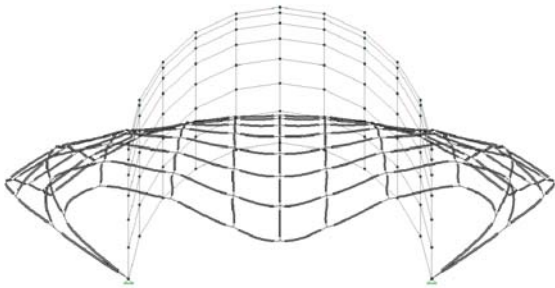
ALÇAT XZ

E: 1/250



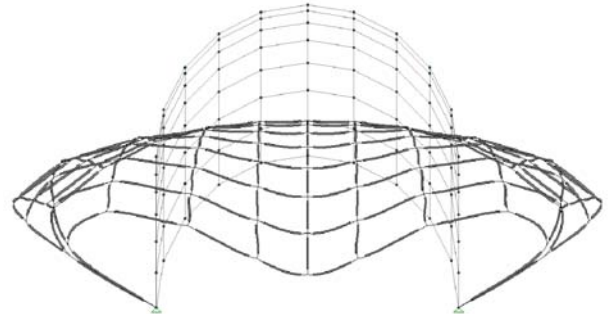
ALÇAT XZ

E: 1/250



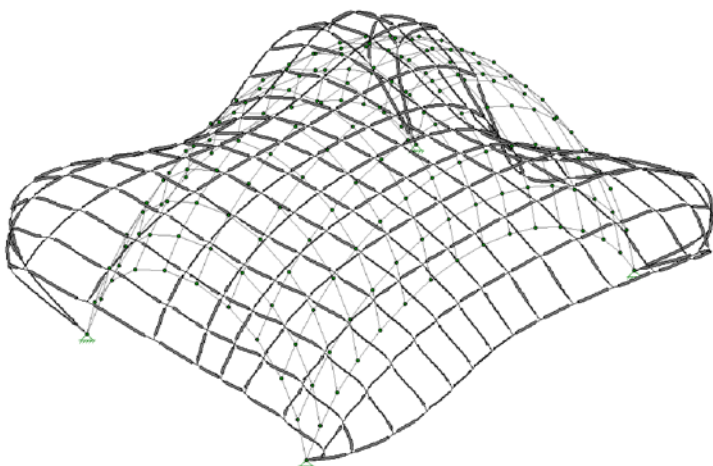
ALÇAT YZ

E: 1/250



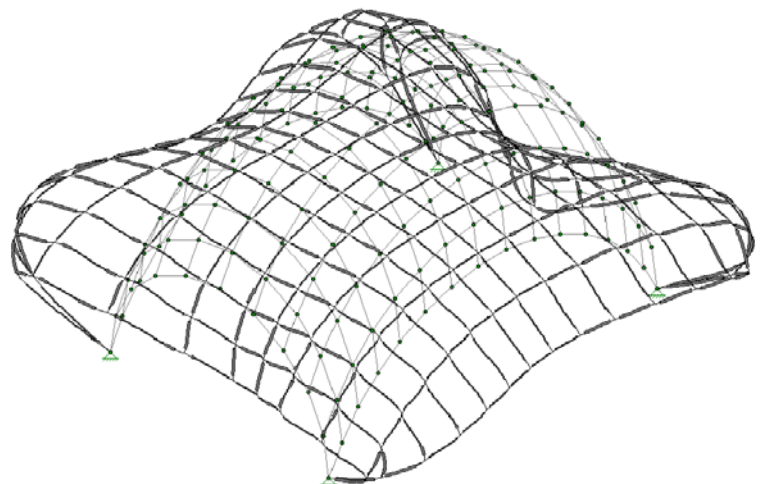
ALÇAT YZ

E: 1/250



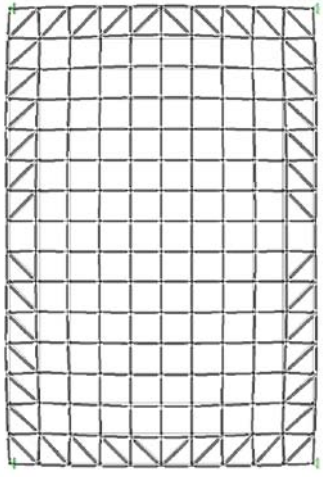


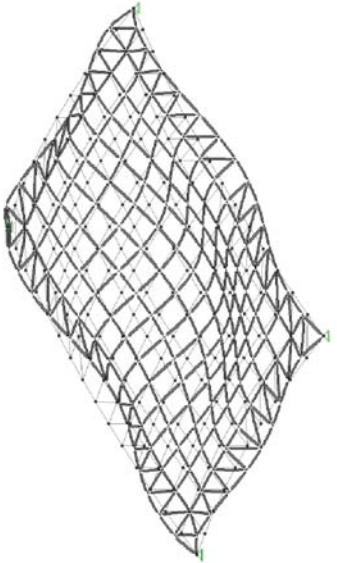
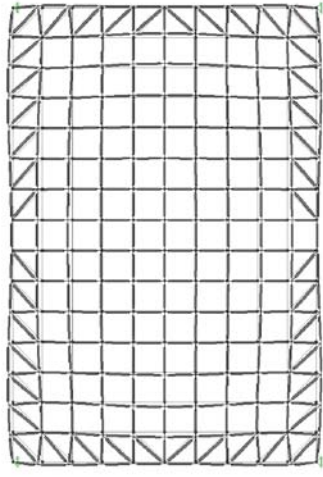


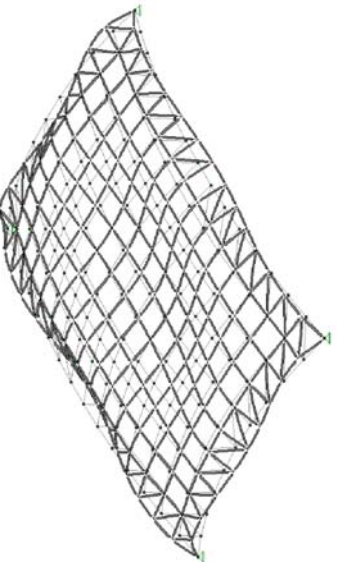
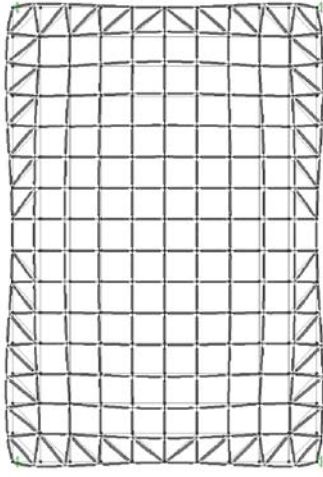


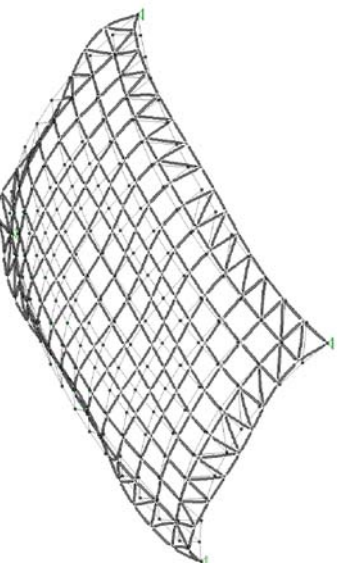
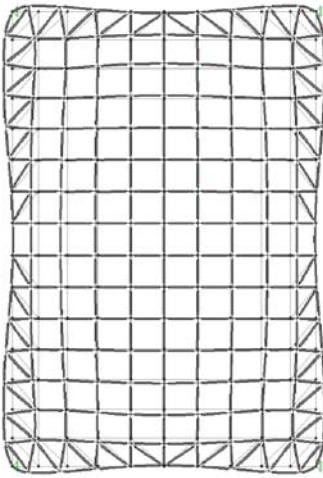


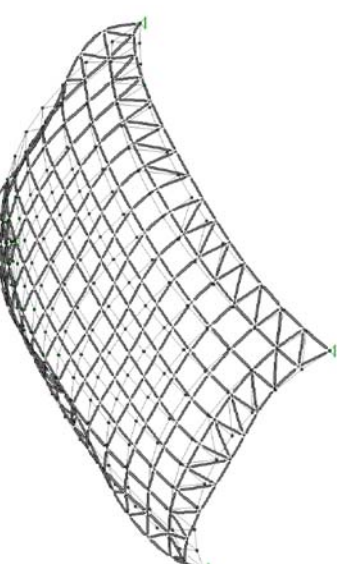
PERSPECTIVA

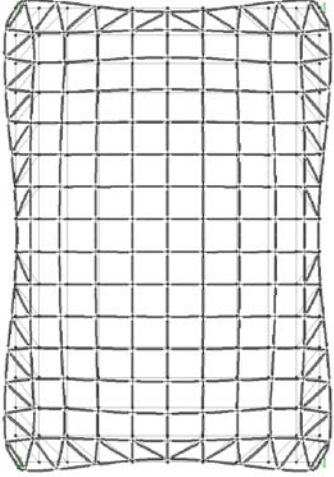
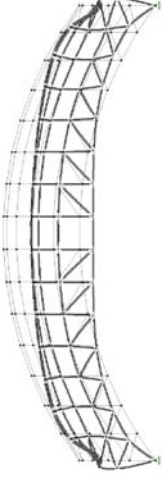

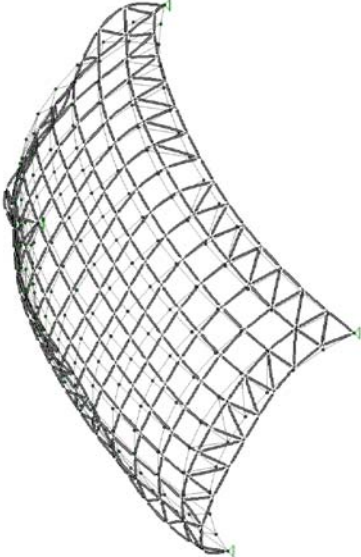
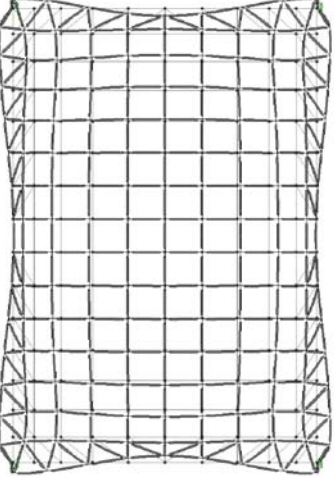
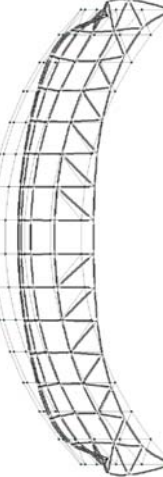

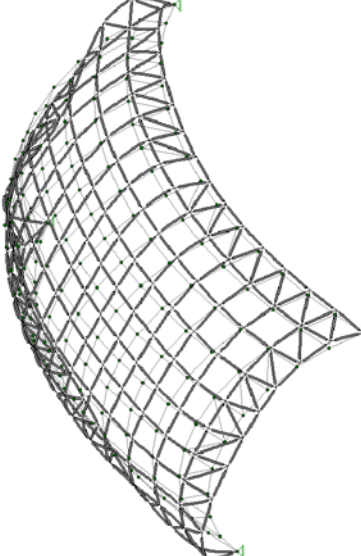
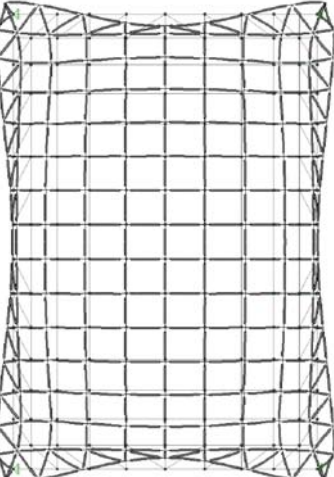
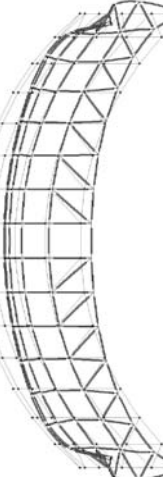
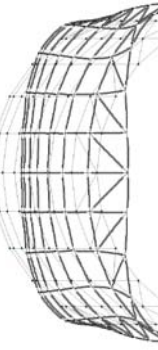
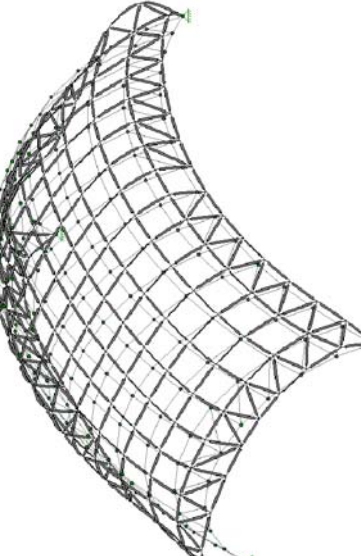
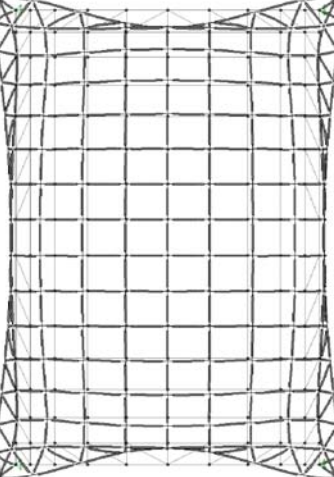
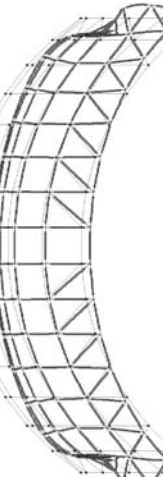
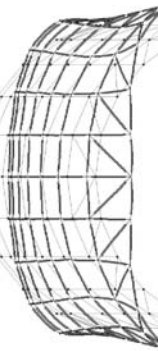
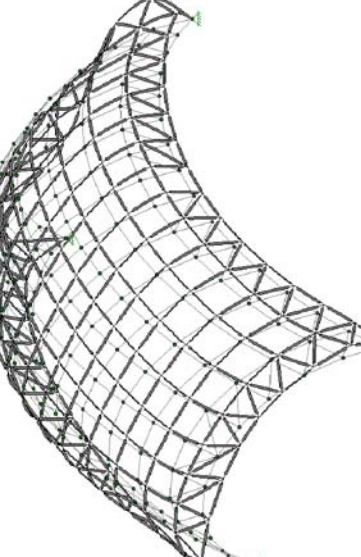
E: 1/300



PERSPECTIVA

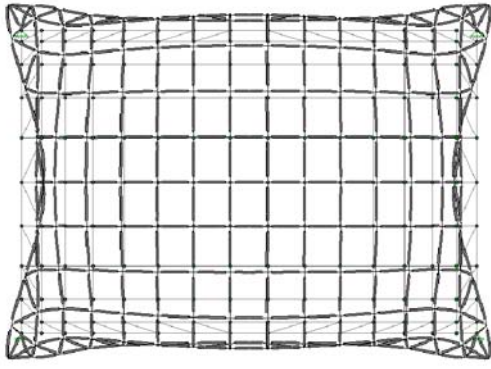
E: 1/300

<p>CAS 1: 10x15x0.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 2: 10x15x1.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 3: 10x15x1.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 4: 10x15x2.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 5: 10x15x2.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 6: 10x15x3.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 7: 10x15x3.50m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 8: 10x15x4.00m Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

CAS 9: 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat

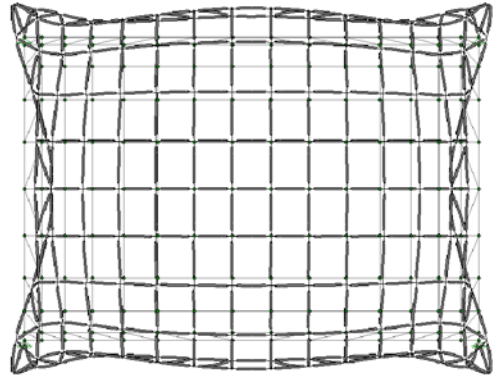


PLANTA

E: 1/250

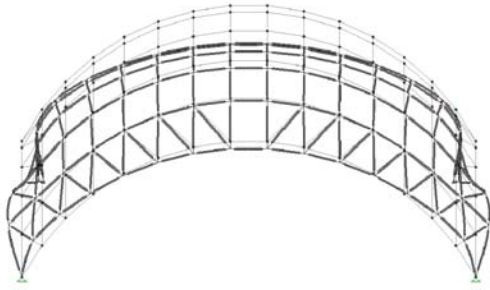
CAS 10: 10x15x5.00m

Quadrícula ortogonal amb perímetre diagonalitzat



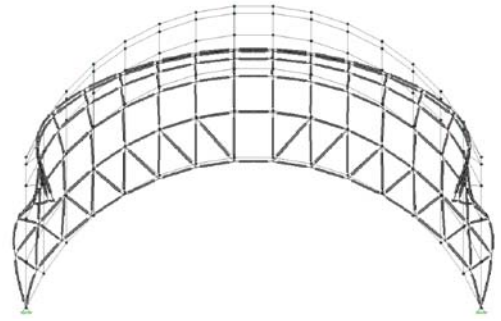
PLANTA

E: 1/250



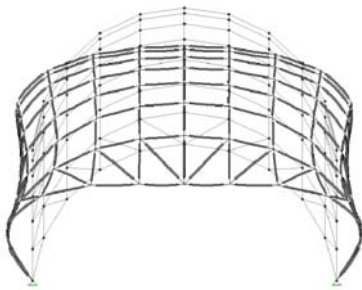
ALÇAT XZ

E: 1/250



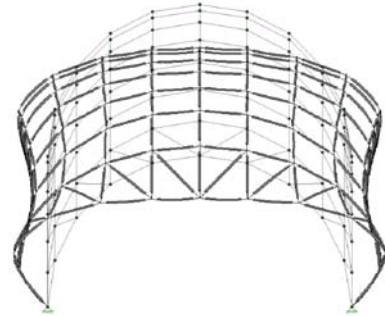
ALÇAT XZ

E: 1/250



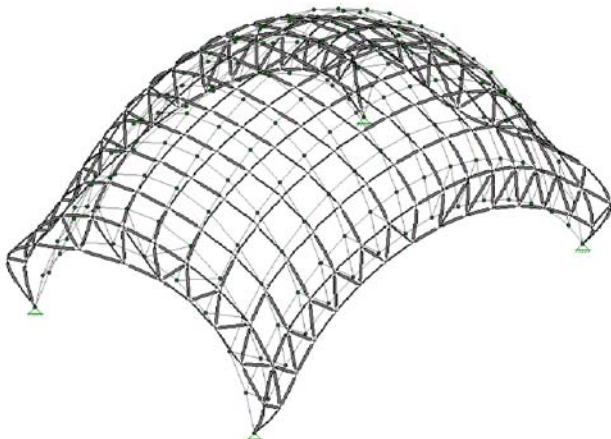
ALÇAT YZ

E: 1/250



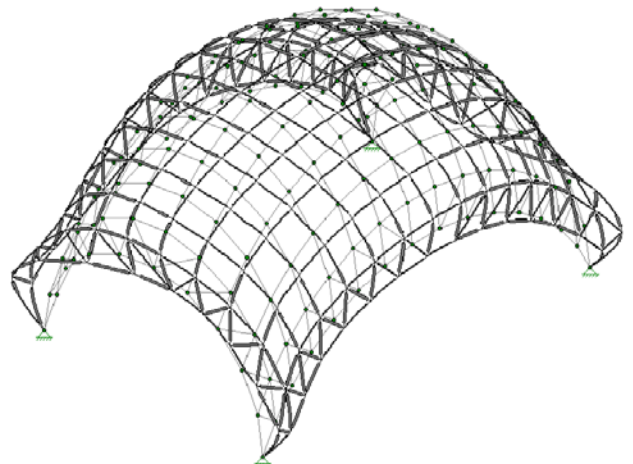
ALÇAT YZ

E: 1/250



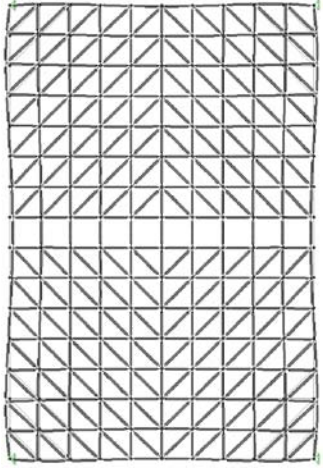


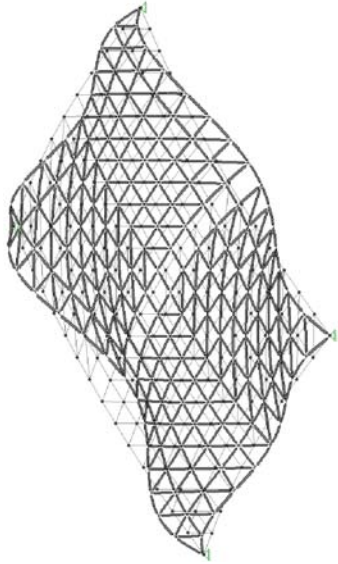
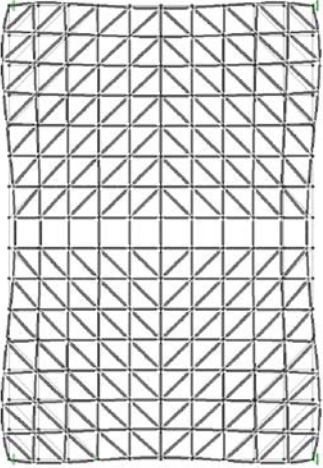


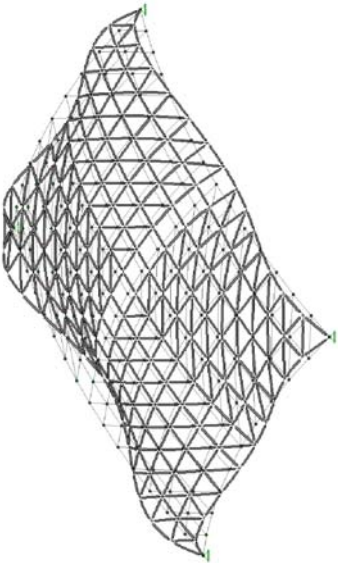
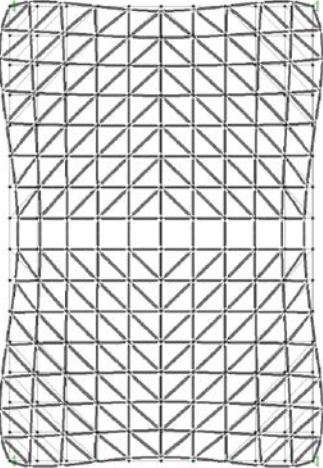


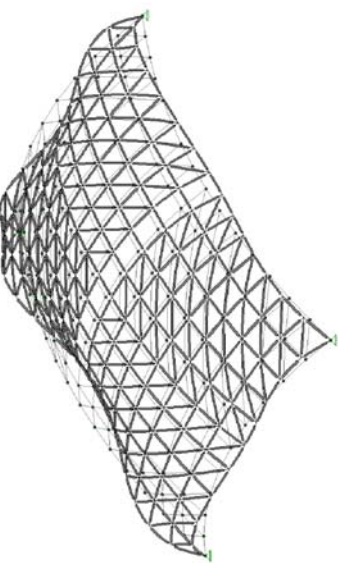
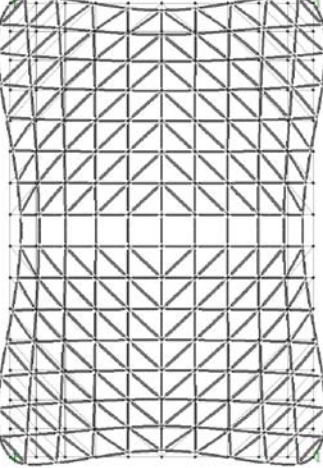


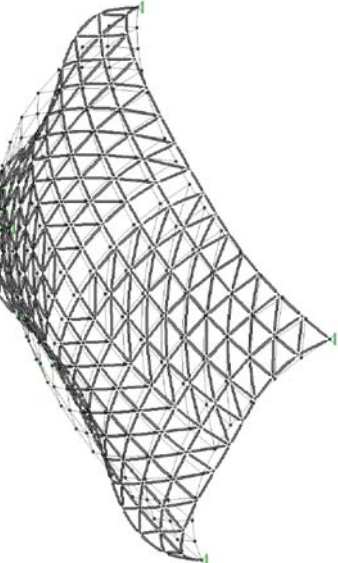
PERSPECTIVA

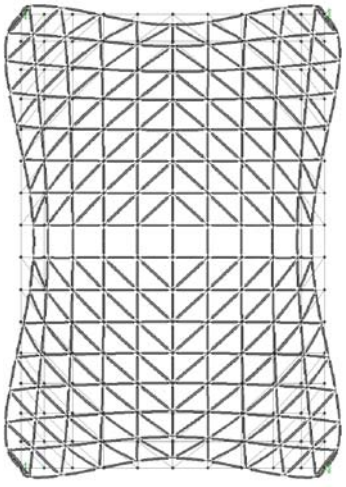
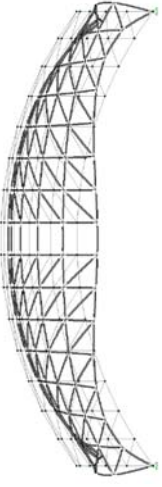
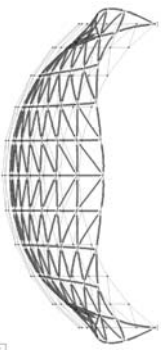
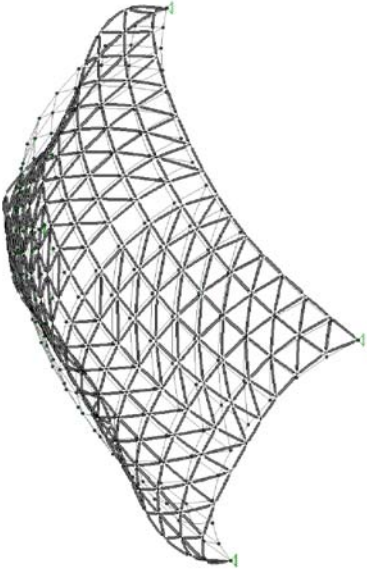
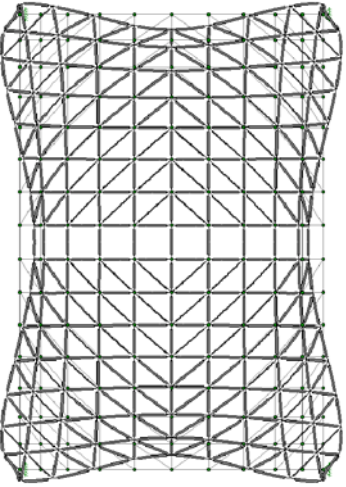
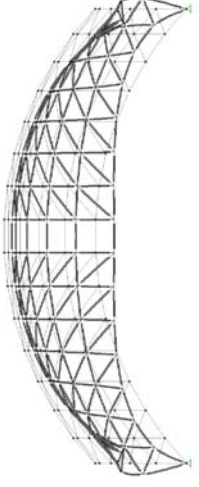
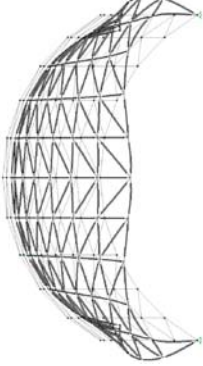
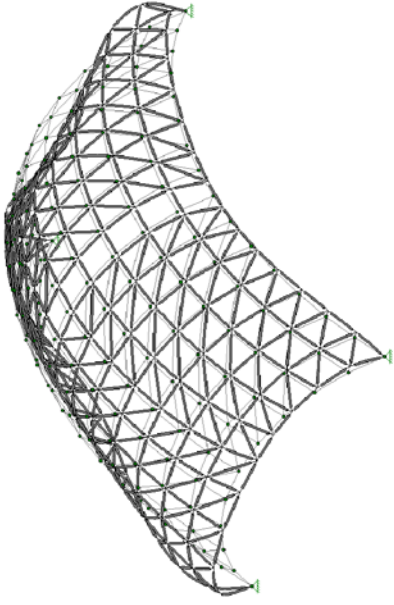
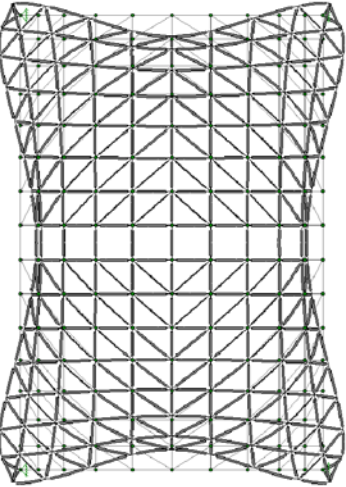
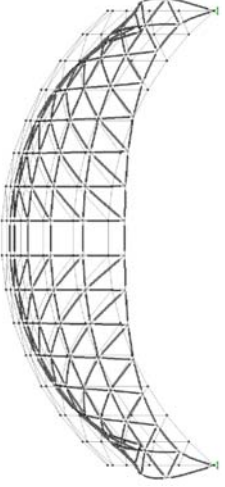
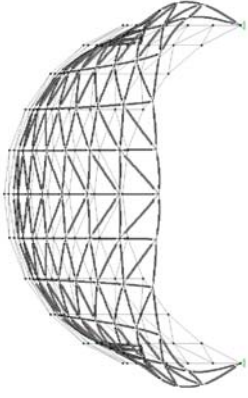
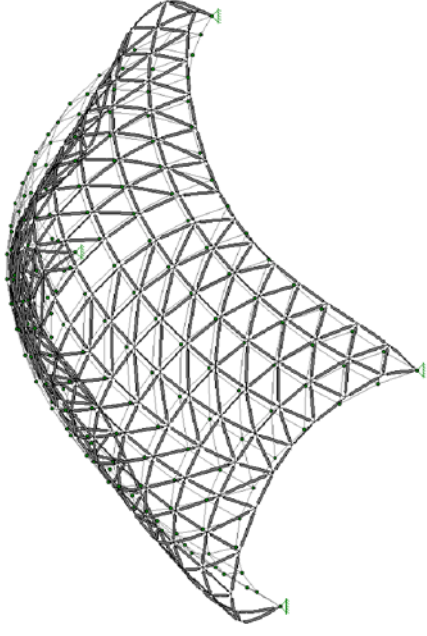
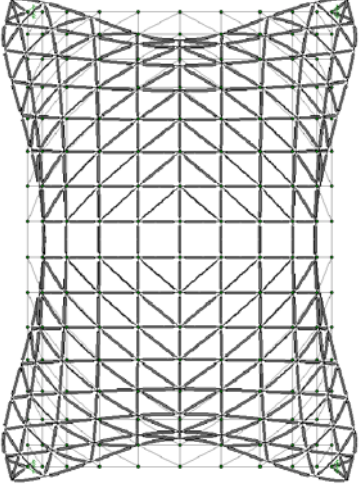
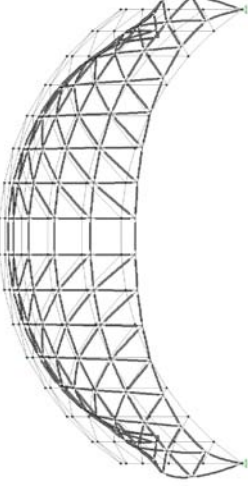
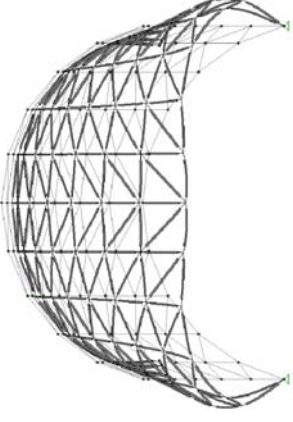
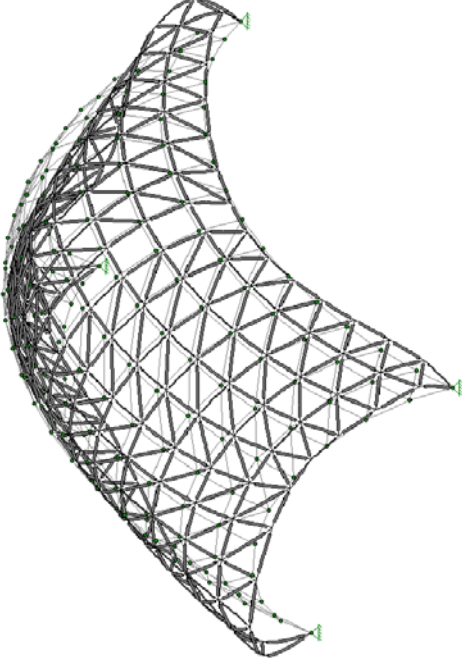
E: 1/300



PERSPECTIVA

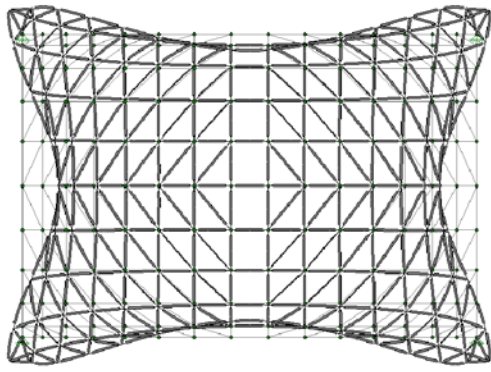
E: 1/300

<p>CAS 1: 10x15x0.50m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 2: 10x15x1.00m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 3: 10x15x1.50m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 4: 10x15x2.00m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

<p>CAS 5: 10x15x2.50m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 6: 10x15x3.00m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 7: 10x15x3.50m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 8: 10x15x4.00m Quadrícula ortogonal diagonalizada</p>  <p>PLANTA</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT XZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>ALÇAT YZ</p> <p>E: 1/250</p>	 <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

CAS 9: 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada

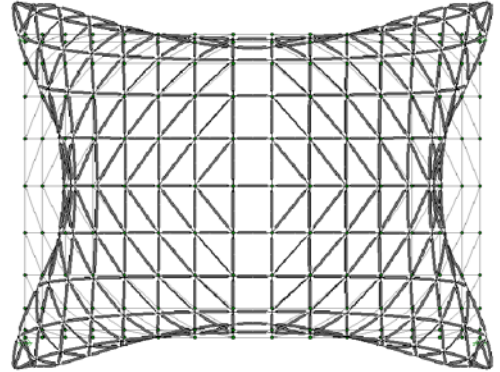


PLANTA

E: 1/250

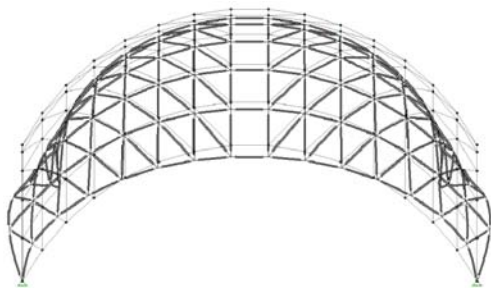
CAS 10: 10x15x5.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada



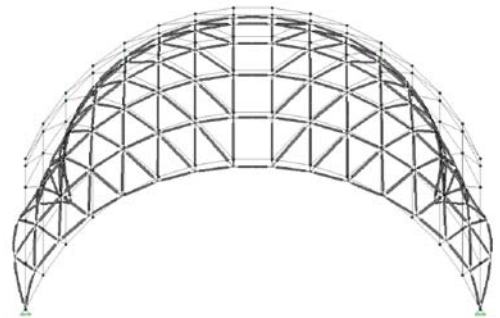
PLANTA

E: 1/250



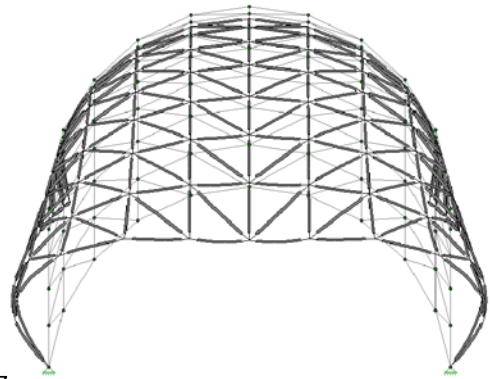
ALÇAT XZ

E: 1/250



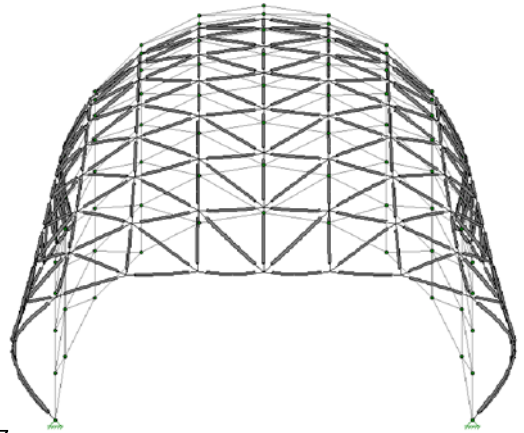
ALÇAT XZ

E: 1/250



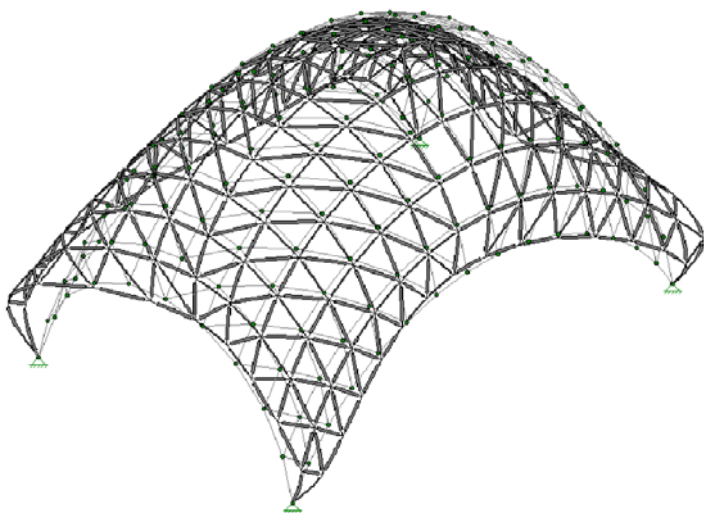
ALÇAT YZ

E: 1/250



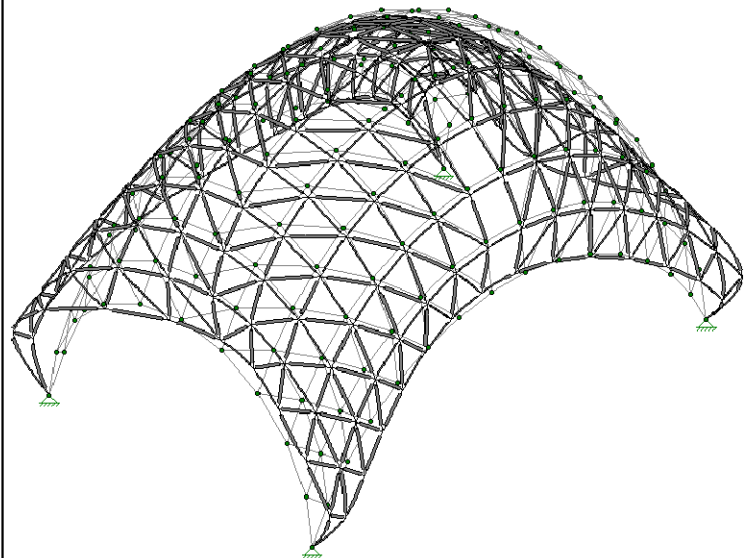
ALÇAT YZ

E: 1/250



PERSPECTIVA

E: 1/300



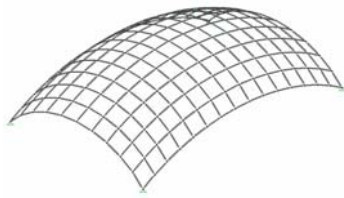
PERSPECTIVA

E: 1/300



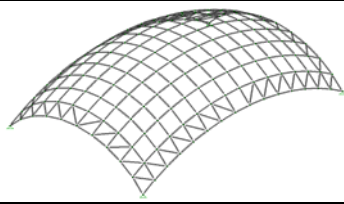
2.4. Estructura rectangular

2.4.3. Desplaçaments màxims de nusos



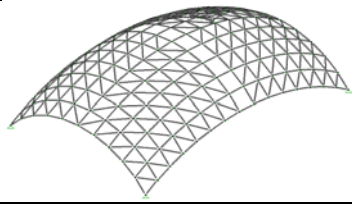
QUADRICULA

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
CAS 1 (10X15X0,50m)	N81	-2637,60	0,00	-790,37	
	N96	2637,60	0,00	-790,37	
	N168	5,06	-3631,93	-2444,89	
	N169	-5,06	-3631,93	-2444,89	
	N8	-5,06	3631,93	-2444,89	
	N9	5,06	3631,93	-2444,89	
	N89	-0,74	0,00	-30920,30	
	N88	0,74	0,00	-30920,30	
CAS 2 (10X15X1,00m)	N96	2161,94	0,00	-769,79	
	N81	-2161,94	0,00	-769,79	
	N169	-1,26	-2959,00	-1474,92	
	N168	1,26	-2959,00	-1474,92	
	N8	1,26	2959,00	-1474,92	
	N9	-1,26	2959,00	-1474,92	
	N88	0,56	0,00	-12883,65	
	N89	-0,56	0,00	-12883,65	
CAS 3 (10X15X1,50m)	N81	-1718,48	0,00	-898,45	
	N96	1718,48	0,00	-898,45	
	N171	70,65	-2415,02	-539,07	
	N166	-70,65	-2415,02	-539,07	
	N11	70,65	2415,02	-539,07	
	N6	-70,65	2415,02	-539,07	
	N88	0,41	0,00	-7234,41	
	N89	-0,41	0,00	-7234,41	
CAS 4 (10X15X2,00m)	N128	1507,92	-177,52	-135,11	
	N64	1507,92	177,52	-135,11	
	N113	-1507,92	-177,52	-135,11	
	N49	-1507,92	177,52	-135,11	
	N172	234,38	-2318,87	106,10	
	N12	234,38	2318,87	106,10	
	N165	-234,38	-2318,87	106,10	
	N5	-234,38	2318,87	106,10	
N88	0,32	0,00	-5024,24		
N89	-0,32	0,00	-5024,24		
CAS 5 (10X15X2,50m)	N64	1468,99	260,52	-210,28	
	N128	1468,99	-260,52	-210,28	
	N49	-1468,99	260,52	-210,28	
	N113	-1468,99	-260,52	-210,28	
	N13	504,78	2428,98	664,31	
	N4	-504,78	2428,98	664,31	
	N173	504,78	-2428,98	664,31	
	N164	-504,78	-2428,98	664,31	
N88	0,26	0,00	-4025,91		
N89	-0,26	0,00	-4025,91		
CAS 6 (10X15X3,00m)	N33	-1562,38	895,11	558,54	
	N48	1562,38	895,11	558,54	
	N129	-1562,38	-895,11	558,54	
	N144	1562,38	-895,11	558,54	
	N13	613,25	2683,42	631,31	
	N4	-613,25	2683,42	631,31	
	N164	-613,25	-2683,42	631,31	
	N173	613,25	-2683,42	631,31	
N88	0,23	0,00	-3566,35		
N89	-0,23	0,00	-3566,35		
CAS 7 (10X15X3,50m)	N48	1712,25	1223,78	552,78	
	N33	-1712,25	1223,78	552,78	
	N144	1712,25	-1223,78	552,78	
	N129	-1712,25	-1223,78	552,78	
	N13	719,18	3028,86	583,28	
	N164	-719,18	-3028,86	583,28	
	N4	-719,18	3028,86	583,28	
	N173	719,18	-3028,86	583,28	
N89	-0,20	0,00	-3398,63		
N88	0,20	0,00	-3398,63		
CAS 8 (10X15X4,00m)	N33	-1859,71	1621,63	503,42	
	N129	-1859,71	-1621,63	503,42	
	N48	1859,71	1621,63	503,42	
	N144	1859,71	-1621,63	503,42	
	N4	-817,36	3472,42	520,53	
	N164	-817,36	-3472,42	520,53	
	N173	817,36	-3472,42	520,53	
	N13	817,36	3472,42	520,53	
N88	0,19	0,00	-3418,20		
N89	-0,19	0,00	-3418,20		
CAS 9 (10X15X4,50m)	N33	-1959,76	2086,82	395,59	
	N48	1959,76	2086,82	395,59	
	N129	-1959,76	-2086,82	395,59	
	N144	1959,76	-2086,82	395,59	
	N4	-899,59	4030,61	444,92	
	N13	899,59	4030,61	444,92	
	N164	-899,59	-4030,61	444,92	
	N173	899,59	-4030,61	444,92	
N88	0,18	0,00	-3572,18		
N89	-0,18	0,00	-3572,18		
CAS 10 (10X15 5,00m)	N129	-1932,15	-2607,14	217,89	
	N48	1932,15	2607,14	217,89	
	N144	1932,15	-2607,14	217,89	
	N33	-1932,15	2607,14	217,89	
	N173	951,09	-4705,09	361,16	
	N164	-951,09	-4705,09	361,16	
	N4	-951,09	4705,09	361,16	
	N13	951,09	4705,09	361,16	
N81	603,94	0,00	-3915,84		
N96	-603,94	0,00	-3915,84		



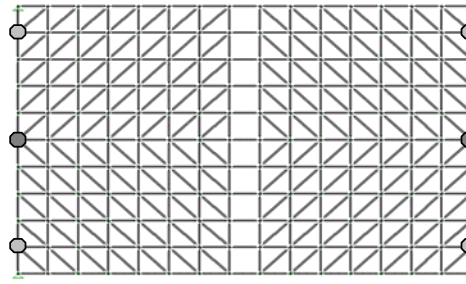
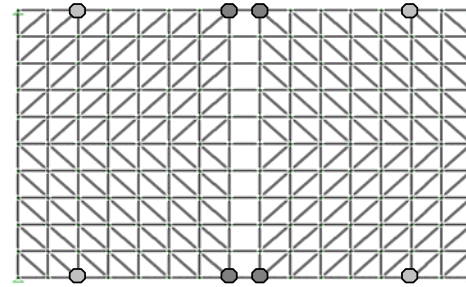
QUADRÍCULA PERIMETRE DIAGONALITZAT

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		
CAS 1 (10X15X0,50m)	N95	135,47	0,00	-196,46		
	N82	-135,47	0,00	-196,46		
	N152	-4,88	-127,98	-799,48		
	N153	4,88	-127,98	-799,48		
	N24	4,88	127,98	-799,48		
	N25	-4,88	127,98	-799,48		
	N88	0,61	0,00	-2366,64		
N89	-0,61	0,00	-2366,64			
CAS 2 (10X15X1,00m)	N82	-152,53	0,00	-77,95		
	N95	152,53	0,00	-77,95		
	N24	2,48	160,99	-244,85		
	N25	-2,48	160,99	-244,85		
	N152	2,48	-160,99	-244,85		
	N153	-2,48	-160,99	-244,85		
	N88	0,38	0,00	-1286,73		
N89	-0,38	0,00	-1286,73			
CAS 3 (10X15X1,50m)	N95	172,89	0,00	-120,48		
	N82	-172,89	0,00	-120,48		
	N145	-134,13	-209,45	355,63		
	N160	134,13	-209,45	355,63		
	N17	-134,13	209,45	355,63		
	N32	134,13	209,45	355,63		
	N88	0,29	0,00	-1037,10		
N89	-0,29	0,00	-1037,10			
CAS 4 (10X15X2,00m)	N160	194,15	-317,33	384,42		
	N17	-194,15	317,33	384,42		
	N145	-194,15	-317,33	384,42		
	N32	194,15	317,33	384,42		
	N89	-0,25	0,00	-939,13		
	N88	0,25	0,00	-939,13		
CAS 5 (10X15X2,50m)	N17	-262,16	453,24	407,64		
	N160	262,16	-453,24	407,64		
	N145	-262,16	-453,24	407,64		
	N32	262,16	453,24	407,64		
	N89	-0,22	0,00	-911,36		
	N88	0,22	0,00	-911,36		
CAS 6 (10X15X3,00m)	N17	-332,67	618,64	418,87		
	N32	332,67	618,64	418,87		
	N145	-332,67	-618,64	418,87		
	N160	332,67	-618,64	418,87		
	N89	-0,20	0,00	-933,89		
	N88	0,20	0,00	-933,89		
CAS 7 (10X15X3,50m)	N160	395,38	-809,81	410,53		
	N145	-395,38	-809,81	410,53		
	N32	395,38	809,81	410,53		
	N17	-395,38	809,81	410,53		
	N96	-355,59	0,00	-1014,69		
	N81	355,59	0,00	-1014,69		
CAS 8 (10X15X4,00m)	N81	528,52	0,00	-1174,98		
	N96	-528,52	0,00	-1174,98		
	N145	-433,89	-1014,23	375,18		
	N17	-433,89	1014,23	375,18		
	N160	433,89	-1014,23	375,18		
	N32	433,89	1014,23	375,18		
CAS 9 (10X15X4,50m)	N96	-717,52	0,00	-1314,13		
	N81	717,52	0,00	-1314,13		
	N32	425,95	1206,65	308,03		
	N17	-425,95	1206,65	308,03		
	N160	425,95	-1206,65	308,03		
	N145	-425,95	-1206,65	308,03		
CAS 10 (10X15 5,00m)	N81	887,32	0,00	-1399,90		
	N96	-887,32	0,00	-1399,90		
	N145	-349,20	-1351,11	211,39		
	N17	-349,20	1351,11	211,39		
	N32	349,20	1351,11	211,39		
	N160	349,20	-1351,11	211,39		
	N89	-0,18	0,00	-1411,91		
	N88	0,18	0,00	-1411,91		



QUADRÍCULA DIAGONALIZADA

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
CAS 1 (10X15X0,50m)	N174	88,19	-123,32	533,41
	N14	88,19	123,32	533,41
	N3	-88,19	123,32	533,41
	N163	-88,19	-123,32	533,41
	N168	-0,17	101,31	-1347,40
	N169	0,17	101,31	-1347,40
	N3	0,17	-101,31	-1347,40
CAS 2 (10X15X1,00m)	N174	154,17	-225,05	576,35
	N3	-154,17	225,05	576,35
	N14	154,17	225,05	576,35
	N163	-154,17	-225,05	576,35
	N8	-0,27	-188,45	-911,33
	N169	0,27	188,45	-911,33
	N9	0,27	-188,45	-911,33
CAS 3 (10X15X1,50m)	N163	-210,71	-319,12	535,94
	N14	210,71	319,12	535,94
	N174	210,71	-319,12	535,94
	N3	-210,71	319,12	535,94
	N169	0,29	269,26	-791,89
	N168	-0,29	269,26	-791,89
	N8	-0,29	-269,26	-791,89
CAS 4 (10X15X2,00m)	N163	-257,85	-408,91	484,45
	N3	-257,85	408,91	484,45
	N14	257,85	408,91	484,45
	N174	257,85	-408,91	484,45
	N8	-0,31	-343,99	-721,46
	N9	0,31	-343,99	-721,46
	N169	0,31	343,99	-721,46
CAS 5 (10X15X2,50m)	N81	326,55	0,00	-806,53
	N96	-326,55	0,00	-806,53
	N3	-294,29	496,01	427,57
	N163	-294,29	-496,01	427,57
	N14	294,29	496,01	427,57
	N174	294,29	-496,01	427,57
CAS 6 (10X15X3,00m)	N81	475,51	0,00	-933,41
	N96	-475,51	0,00	-933,41
	N145	-356,36	-624,92	423,13
	N32	356,36	624,92	423,13
	N160	356,36	-624,92	423,13
	N17	-356,36	624,92	423,13
CAS 7 (10X15X3,50m)	N81	669,51	0,00	-1075,58
	N96	-669,51	0,00	-1075,58
	N145	-412,15	-799,01	405,00
	N160	412,15	-799,01	405,00
	N17	-412,15	799,01	405,00
	N32	412,15	799,01	405,00
CAS 8 (10X15X4,00m)	N96	-911,42	0,00	-1220,12
	N81	911,42	0,00	-1220,12
	N17	-442,74	981,33	362,91
	N160	442,74	-981,33	362,91
	N145	-442,74	-981,33	362,91
	N32	442,74	981,33	362,91
CAS 9 (10X15X4,50m)	N96	-1195,60	0,00	-1346,45
	N81	1195,60	0,00	-1346,45
	N32	428,29	1149,79	293,36
	N17	-428,29	1149,79	293,36
	N145	-428,29	-1149,79	293,36
	N160	428,29	-1149,79	293,36
CAS 10 (10X15 5,00m)	N96	-1505,70	0,00	-1430,39
	N81	1505,70	0,00	-1430,39
	N160	350,42	-1278,87	199,90
	N145	-350,42	-1278,87	199,90
	N32	350,42	1278,87	199,90
	N17	-350,42	1278,87	199,90





2.5. Estructures rectangulars: Conclusions parcials

En base a l'explicat a l'apartat anterior, es tractarà d'ampliar el tema de la configuració geomètrica, partint d'un canvi formal. Ara ens centrarem amb les estructures de planta rectangular. Cal tenir present que aquest cas ens portarà a unes condicions més desfavorables, pel que fa a la forma i dimensions adoptades al nostre estudi, ja que ens proporcionaran d'entrada, un augment de pes propi.

Com es pot deduir, els valors de desplaçament de nusos seran més elevats que en el cas de les cúpules de planta quadrangular. Són una tipologia formal que, per tant, patirà més deformacions.

En el cas de les estructures de planta simplement quadriculada, els desplaçaments estaran dins els següents rangs de valors: entre 1.47m i 2.64m, en l'eix x; entre 2.32m i 4.71m, en l'eix y; i entre 3.40 i 30.92m, en l'eix z. Com en el cas de les estructures quadrangulars, els desplaçaments en el pla x-y es van apropant als suports a mesura que la fletxa augmenta i els desplaçaments màxims estaran a la zona central. En aquest cas, tenim dos nusos que tenen un desplaçament màxim en l'eix vertical, ja que a diferència de la tipologia formal anterior, aquesta presenta dos eixos de simetria. En canvi, l'anterior només en presenta un.

Pel que fa a les que tenen el perímetre diagonalitzat, els rangs de desplaçament de nusos seran els presentats a continuació: entre 0.14m i 0.89m, en l'eix x; entre 0.13m i 1.35m, en l'eix y; i entre 0.91m i 2.37m, en l'eix z.

Per últim, els resultats obtinguts en l'estructura totalment diagonalitzada són els següents: entre 0.09m i 1.51m, a l'eix x; entre 0.12m i 1.28m, a l'eix y; i entre 0.72m i 1.43m, a l'eix z.

Tal i com s'observa a les taules, aquests desplaçaments es solen produir als nusos de l'extrem de les estructures. Per tant, i reafirmant la conclusió extreta de l'apartat anterior, s'ha de constatar que, el pas següent a estudiar, serà el reforç perimetral.



Com a conclusió final: una estructura configurada amb una sola capa, no té prou rigidesa com per resistir les càrregues que rep, sense adoptar grans deformacions. O sigui, la falta de rigidesa, ens porta a una inestabilitat estructural.



3. CONFIGURACIÓ MACROESTRUCTURA REFORÇADA

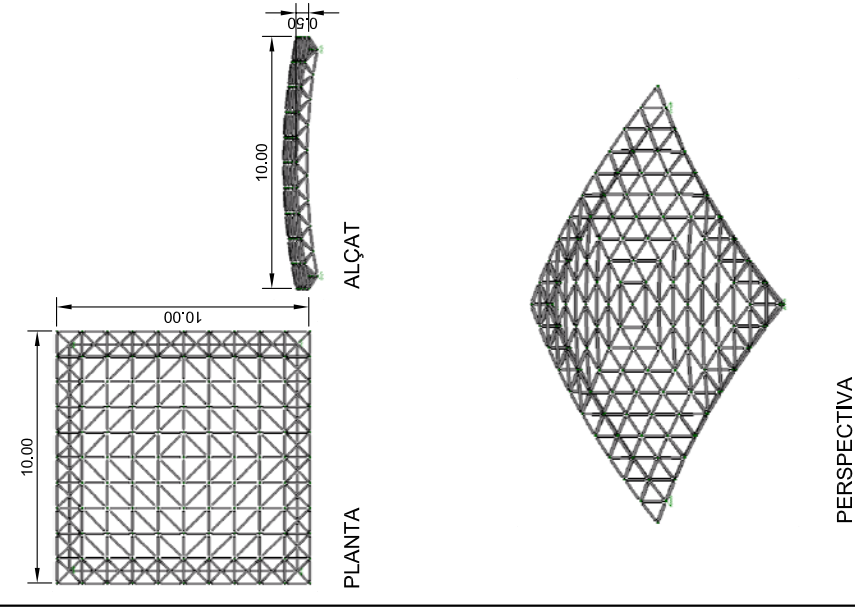
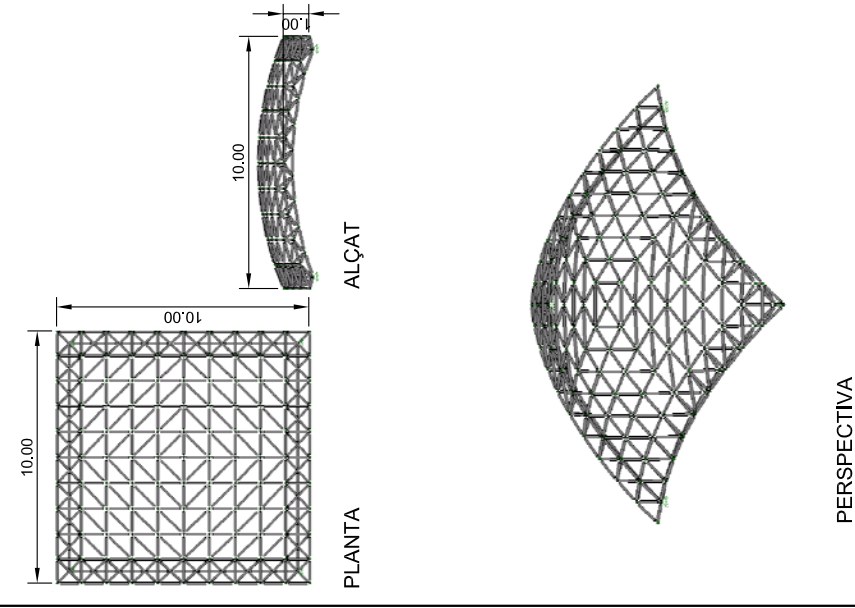
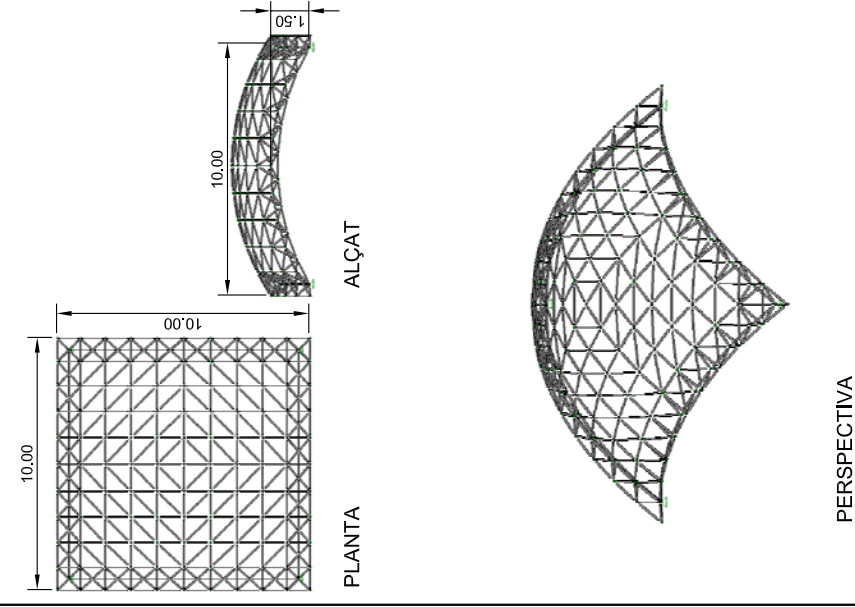
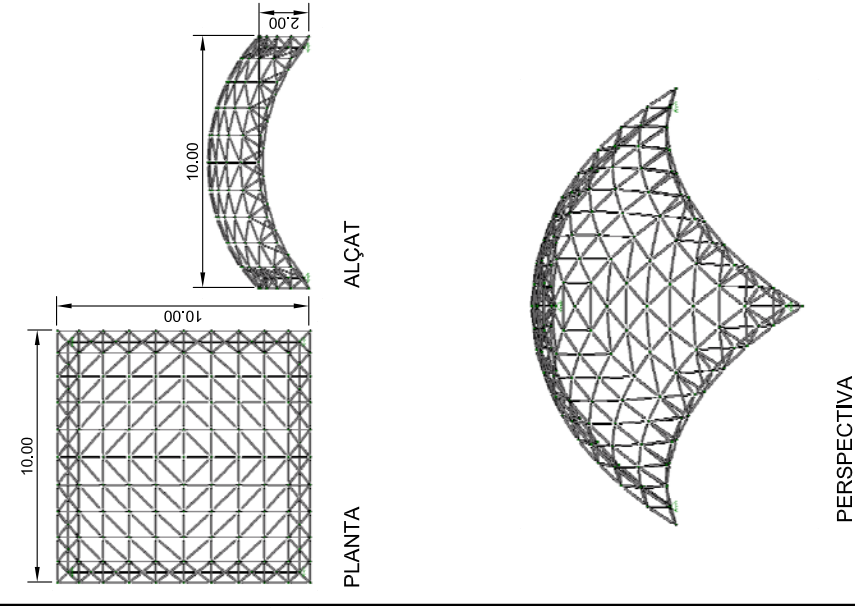
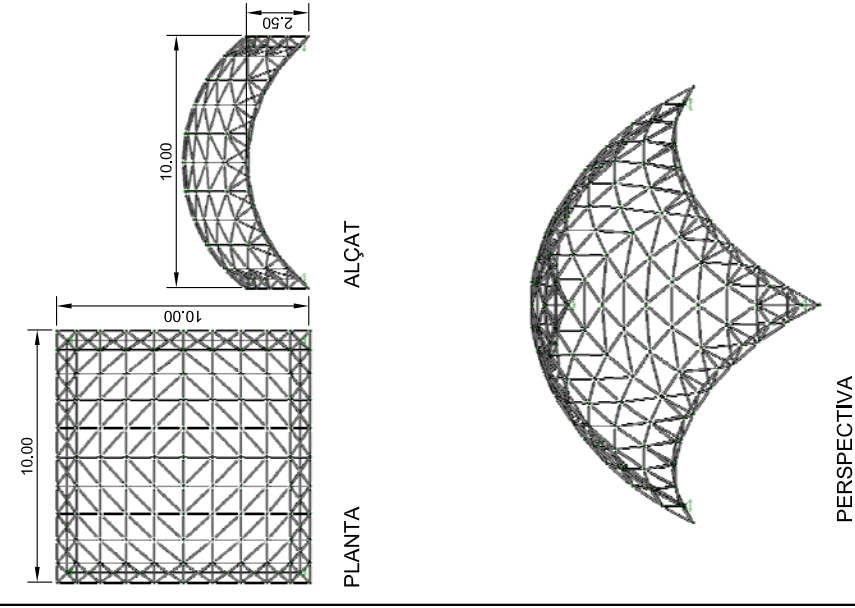
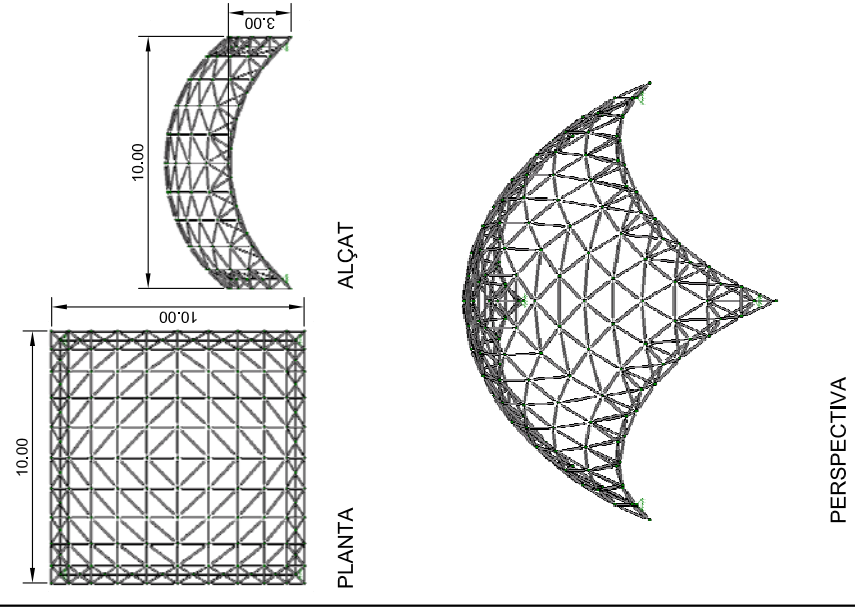
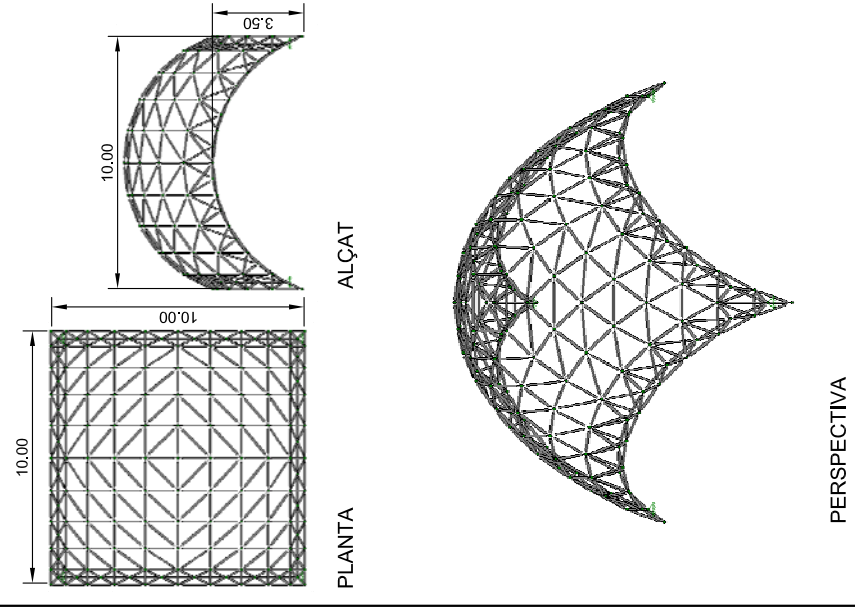
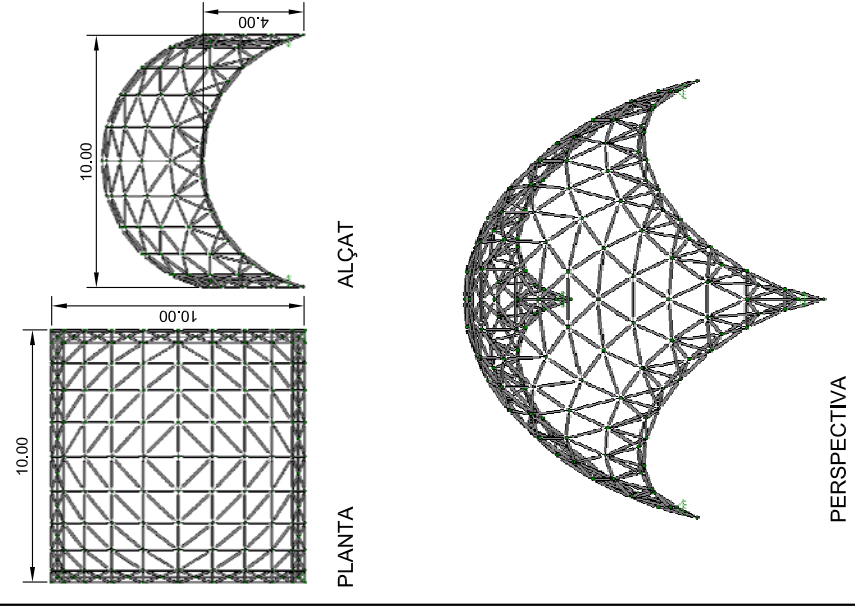
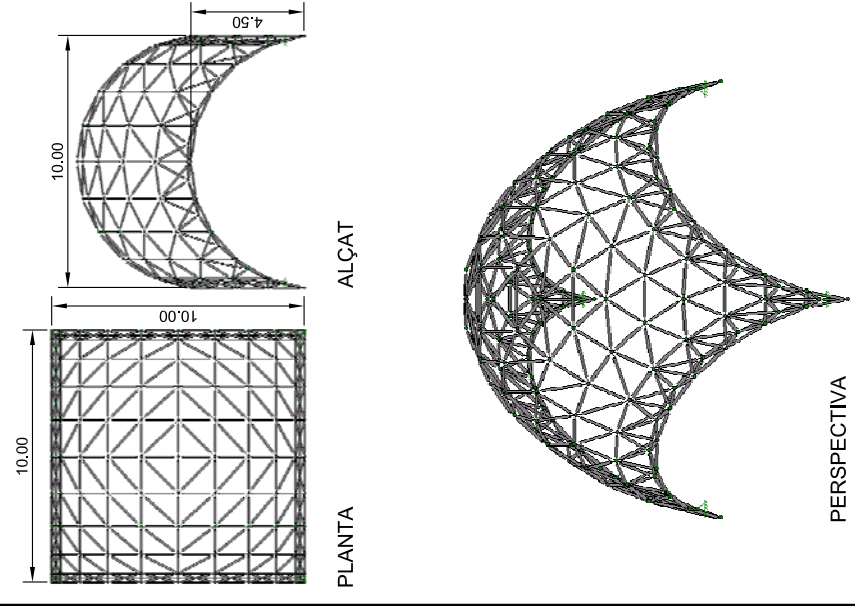
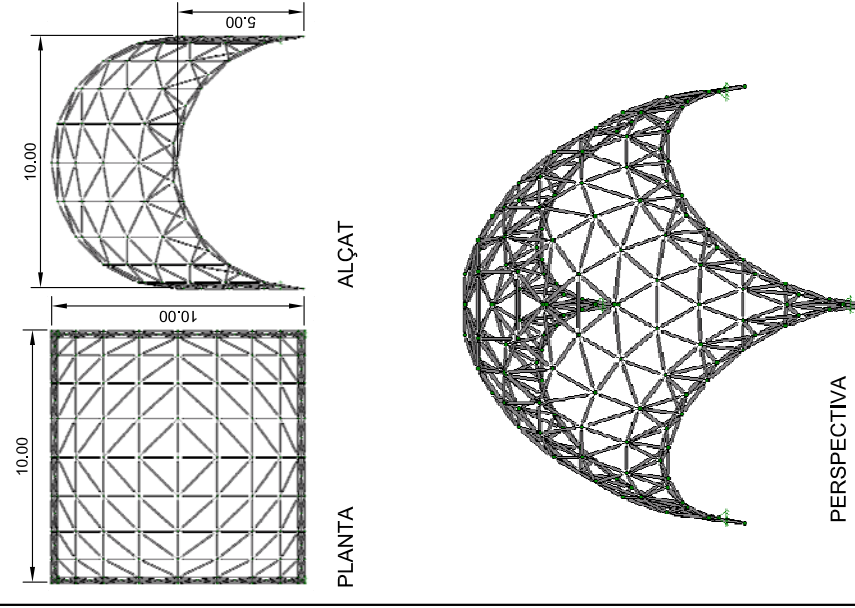
A continuació, es presenta un resum de la configuració geomètrica de tots els casos, tant de planta quadrangular com rectangular, que s'han estipulat a partir d'aquest apartat. És obra resultant de la millora de la configuració macroestructural adoptada anteriorment. S'ha previst doncs, una rigidització dels perímetres.

S'ha aconseguit augmentar la rigidesa en aquestes estructures espacials d'una sola capa, reforçant els perímetres de la distribució totalment diagonalitzada. Es tractarà d'un reforç extrem, que abastarà dues capes. S'ha optat perquè aquest reforç baixi 50cm de la capa superior, i estigui compost per triangles (estabilitat). El reforç tindrà una barra menys dins la seva constitució, per tal que els extrems de cadascuna quedin ubicats al centre de cada quadrat superior, així com també, al centre de cada diagonal superior. Cada extrem s'unirà mitjançant barres auxiliars, que seran les que ens proporcionaran la diagonalització, directament a cadascun dels quatre vèrtexs dels quadrats superiors.



3.1. Configuració geomètrica reforçada

3.1.1. Estructures quadrangulars

<p>CAS 1: 10x10x0.50m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 2: 10x10x1.00m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 3: 10x10x1.50m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 4: 10x10x2.00m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 5: 10x10x2.50m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>
<p>CAS 6: 10x10x3.00m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 7: 10x10x3.50m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 8: 10x10x4.00m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 9: 10x10x4.50m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>	<p>CAS 10: 10x10x5.00m Quadricula ortogonal diagonalizata amb reforç perimetral</p>  <p>PLANTA</p> <p>ALÇAT</p> <p>PERSPECTIVA</p> <p>E: 1/300</p>

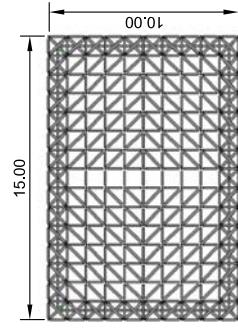


3.1. Configuració geomètrica reforçada

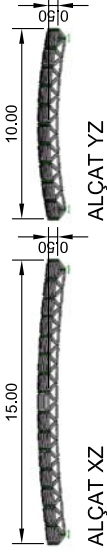
3.1.2. Estructura rectangular

CAS 1: 10x15x0.50m

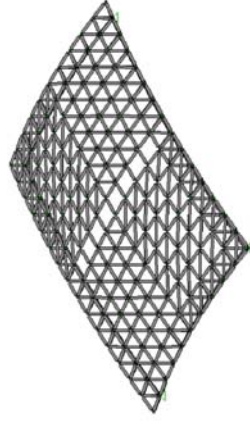
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

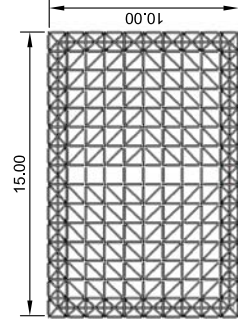


PERSPECTIVA

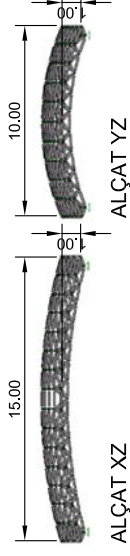
E: 1/400

CAS 2: 10x15x1.00m

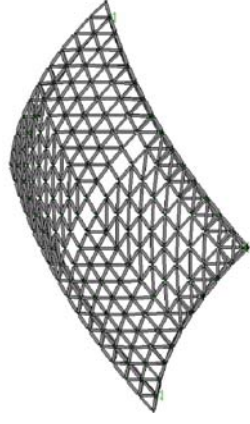
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

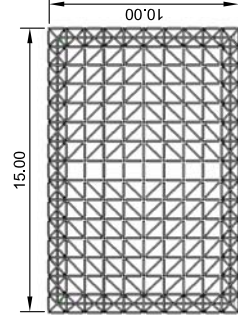


PERSPECTIVA

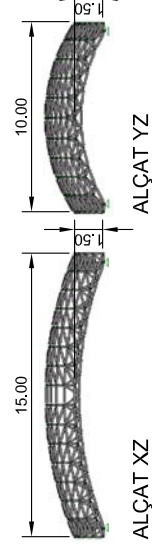
E: 1/400

CAS 3: 10x10x1.50m

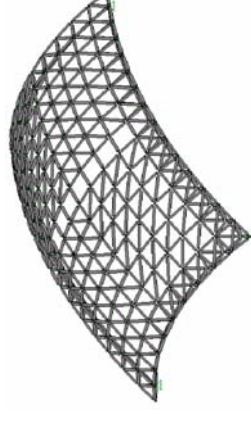
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

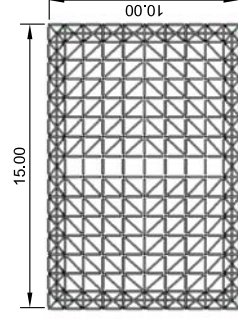


PERSPECTIVA

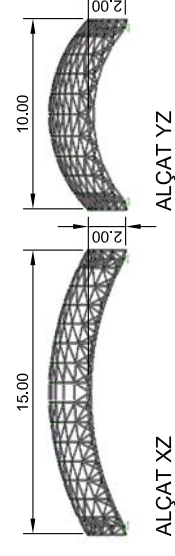
E: 1/400

CAS 4: 10x10x2.00m

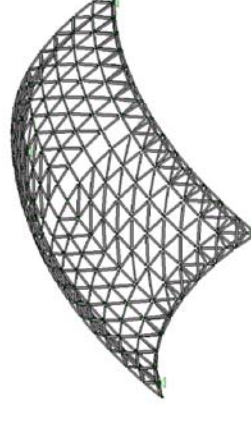
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

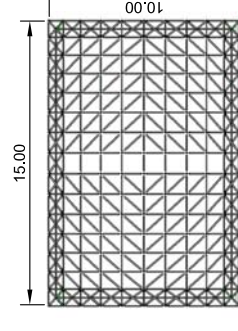


PERSPECTIVA

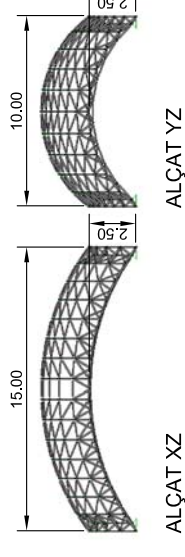
E: 1/400

CAS 5: 10x10x2.50m

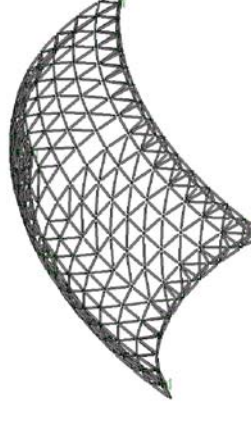
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

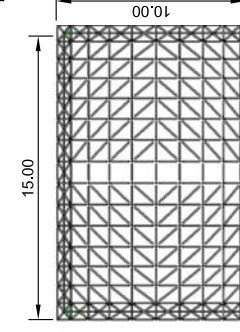


PERSPECTIVA

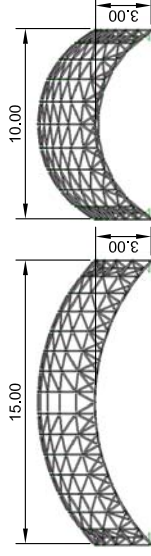
E: 1/400

CAS 6: 10x10x3.00m

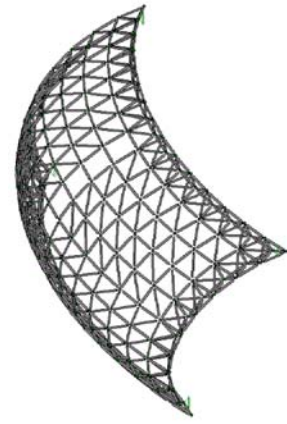
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

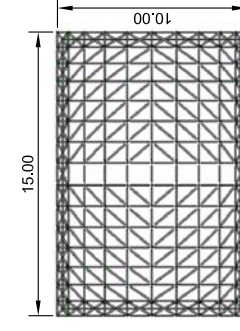


PERSPECTIVA

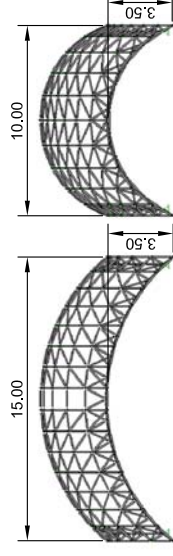
E: 1/400

CAS 7: 10x10x3.50m

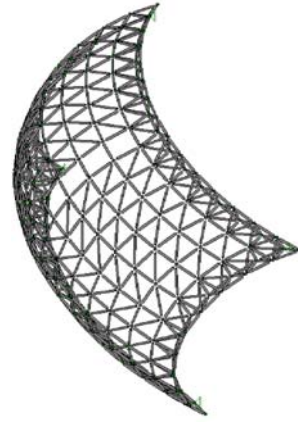
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

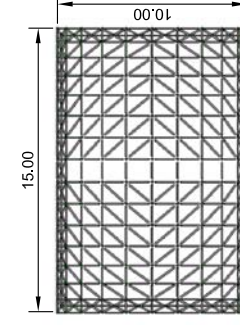


PERSPECTIVA

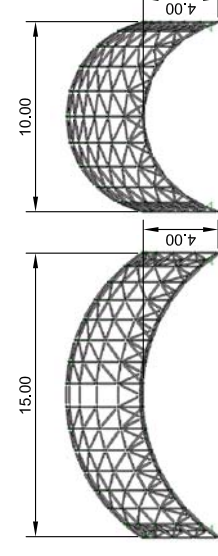
E: 1/400

CAS 8: 10x10x4.00m

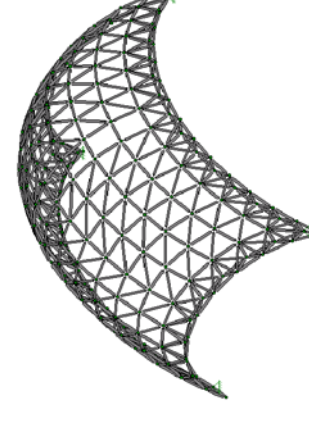
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

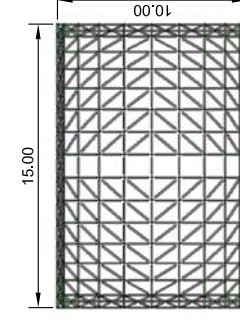


PERSPECTIVA

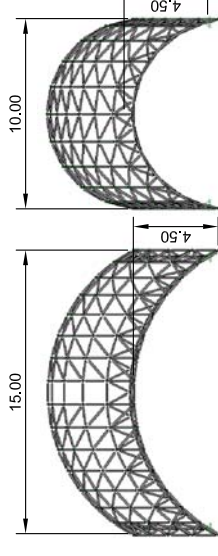
E: 1/400

CAS 9: 10x10x4.50m

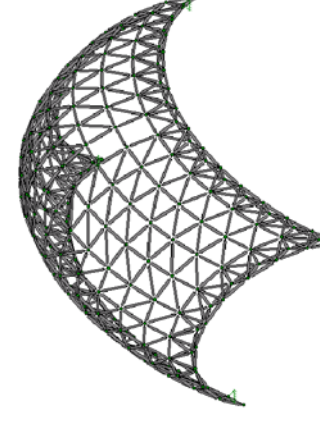
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ

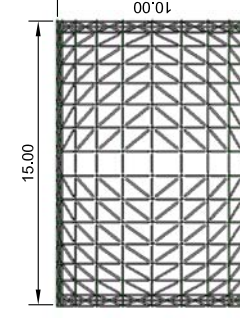


PERSPECTIVA

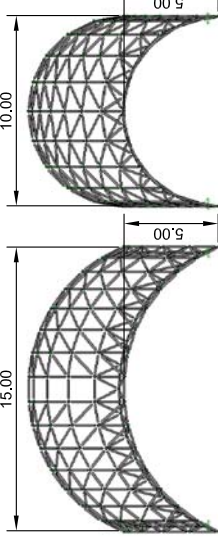
E: 1/400

CAS 10: 10x10x5.00m

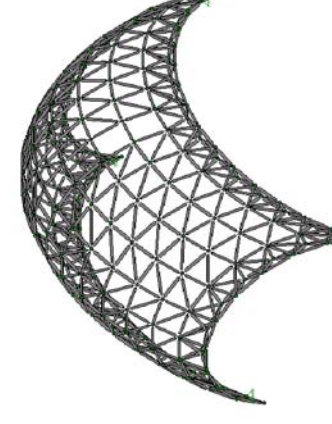
Reforç perimetral



PLANTA



ALÇAT XZ



PERSPECTIVA

E: 1/400



4. CONFIGURACIÓ MICROESTRUCTURAL: PANDEIG

4.1. Mètode

Tot i haver optat per aquesta configuració macroestructural reforçada, cal prèviament, assegurar-nos de la secció òptima per cada cas estudiat, i en relació a les càrregues que suportarà l'estructura. S'ha de comprovar que les barres de constitució de l'estructura resisteixin a pandeig, per tal d'evitar que la deformació de cada barra, per separat, sigui tant important com per no suportar les càrregues que rep, l'efecte del qual provocarà un trencament fràgil.

Tot i ser possible el disseny personalitzat en cada barra, s'ha partit de la hipòtesi de dissenyar una estructura on totes les barres adoptin la mateixa secció, i aquesta sigui la suficient per suportar les càrregues que rep.

Així doncs, per cada cas s'ha anat calculant el pandeig de la barra en situació més desfavorable.

Per realitzar aquest càlcul, s'ha partit dels axials a compressió obtinguts del programa informàtic. Cal tenir present que els axials seran diferents per cada fletxa. A més, per cada secció de barra calculada, també ens variarà el pes propi del conjunt.

Cal fer referència, que per l'obtenció dels axials, s'han utilitzats les mateixes bases de càlcul, pel que fa a les càrregues i coeficients de seguretat i reducció aplicats.

També val a dir que s'extraurà, del propi programa, dades com: la inèrcia en y , l'àrea de la secció en cada cas i la longitud de la barra sotmesa a màxim axial de compressió.

A continuació, es presenten les fòrmules que s'hauran d'utilitzar per la comprovació de les barres a pandeig, juntament amb la taula necessària per a l'obtenció dels coeficients ω de pandeig, en funció de l'esveltesa:

$$i_y = I_{yy} / A$$

$\beta = 1$, ja que es tracta de barres amb extrems articulats.

$$L_k = \beta \times L$$

$$\lambda = L_k / i_y$$



ω , segons taula

$$\sigma = N \times \omega / A \leq \sigma_{adm}$$

Dins el possible, s'optarà per un gruix de secció d'1.5mm, ja que com s'ha comentat a les dades general inicials, és la tipologia de barra que ens serveix per la realització i adequat muntatge de les estructures, en relació al nus escollit, i a partir del qual, hem basat els càlculs. Això s'ha de tenir present, ja que aquesta tipologia de nus, no ens suposa més pes del calculat per programa. El pes és l'obtingut de les pròpies barres. En canvi, si s'hagués optat per qualsevol altre tipus de nus, com per exemple, l'esfèric, s'hagués hagut de comptar amb el pes d'aquests, ja que en comparació del pes que suposen les barres, aquests representen un major pes en el total del conjunt estructural. Aquesta és una de les avantatges del nostre sistema estructural escollit, ja que inicialment, les estructures reticulars metàl·liques lleugeres són estructures molt deformables i que per tant, configurades solsament amb una capa, són propenses a patir inestabilitat.

S'ha preparat una taula, la qual ens dóna, fins i tot, quines són les seccions mínimes per resistir a pandeig en cada cas. Les seccions que s'obtindran de la taula seran les que s'utilitzaran a partir d'aquest moment, pel càlcul dels demés apartats. Així doncs, cadascun dels casos estudiats tindrà la seva secció òptima.

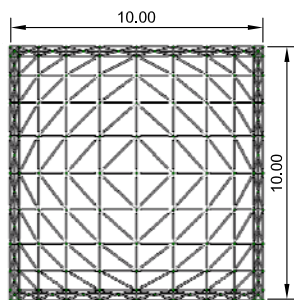


4.2. Estructures quadrangulars

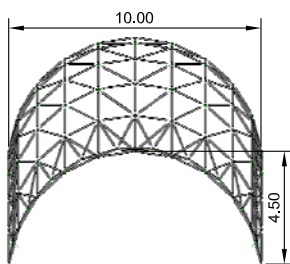
4.2.1. Comprovació de pandeig

CAS 9: 10x10x4.50m

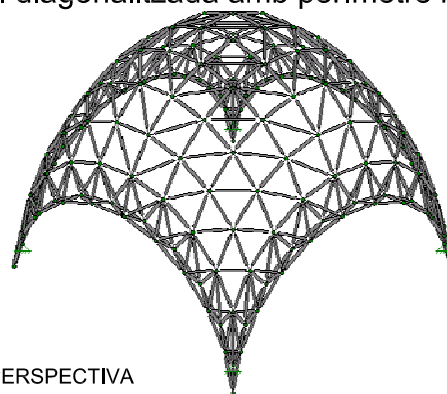
Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat



PLANTA



ALÇAT



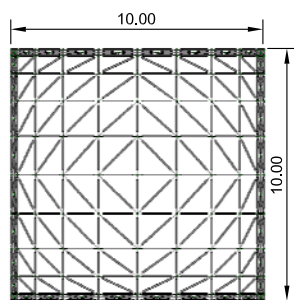
PERSPECTIVA

E: 1/300

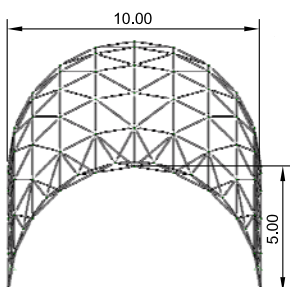
CAS 9 (10X10X4,50M)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (m)	L_k (mm)	λ	ω	σ calculada (KN/mm ²)	σ màx admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	28,048	1	1,453	1.453	144,001	3,670	0,766	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	28,564	1	1,453	1.453	106,665	2,220	0,350	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	29,080	1	1,453	1.453	84,696	1,620	0,206	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	29,595	1	1,453	1.453	70,228	1,340	0,144	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	30,111	1	1,453	1.453	59,981	1,220	0,114	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	30,626	1	1,453	1.453	52,343	1,140	0,094	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	31,142	1	1,453	1.453	46,431	1,100	0,082	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	31,658	1	1,453	1.453	41,718	1,080	0,074	0,260	SI
BARRA Ø 3cm (e = 2mm)	17.329,0	175,929	9,925	28,504	1	1,453	1.453	146,402	3,770	0,611	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 2mm)	43.215,7	238,761	13,454	29,191	1	1,453	1.453	108,001	2,250	0,275	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 2mm)	87.009,6	301,593	16,985	29,879	1	1,453	1.453	85,545	1,640	0,162	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 2mm)	153.423,0	364,425	20,518	30,566	1	1,453	1.453	70,815	1,360	0,114	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 2mm)	247.168,0	427,257	24,052	31,254	1	1,453	1.453	60,411	1,220	0,089	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 2mm)	372.957,0	490,088	27,586	31,941	1	1,453	1.453	52,671	1,150	0,075	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 2mm)	535.503,0	552,920	31,121	32,629	1	1,453	1.453	46,689	1,110	0,066	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 2mm)	739.518,0	615,752	34,655	33,316	1	1,453	1.453	41,927	1,080	0,058	0,260	SI

CAS 10: 10x10x5.00m

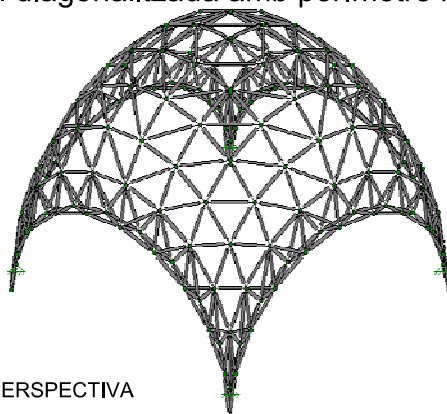
Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat



PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA

E: 1/300

CAS 10 (10X10X5,00M)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (m)	L_k (mm)	λ	ω	σ calculada (KN/mm ²)	σ màx admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	29,697	1	1,545	1.545	153,119	4,100	0,907	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	30,275	1	1,545	1.545	113,418	2,420	0,404	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	30,854	1	1,545	1.545	90,058	1,740	0,235	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	31,433	1	1,545	1.545	74,675	1,420	0,162	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	32,011	1	1,545	1.545	63,779	1,260	0,125	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	32,590	1	1,545	1.545	55,658	1,180	0,104	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	33,168	1	1,545	1.545	49,370	1,120	0,089	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	33,747	1	1,545	1.545	44,359	1,090	0,079	0,260	SI
BARRA Ø 3cm (e = 2mm)	17.329,0	175,929	9,925	30,208	1	1,545	1.545	155,672	4,250	0,730	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 2mm)	43.215,7	238,761	13,454	30,979	1	1,545	1.545	114,839	2,490	0,323	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 2mm)	87.009,6	301,593	16,985	31,751	1	1,545	1.545	90,961	1,760	0,185	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 2mm)	153.423,0	364,425	20,518	32,522	1	1,545	1.545	75,299	1,420	0,127	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 2mm)	247.168,0	427,257	24,052	33,294	1	1,545	1.545	64,236	1,260	0,098	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 2mm)	372.957,0	490,088	27,586	34,065	1	1,545	1.545	56,006	1,180	0,082	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 2mm)	535.503,0	552,920	31,121	34,836	1	1,545	1.545	49,645	1,130	0,071	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 2mm)	739.518,0	615,752	34,655	35,608	1	1,545	1.545	44,582	1,100	0,064	0,260	SI



4.3. Estructures quadrangulars: Conclusions parcials

En el cas de les estructures de planta quadrada, es necessita una secció de barra de: 4cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 3,4,5 i 6; 5cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 7, 8, 9 i 10; i 6cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 1 i 2.

Per tant, com es pot observar, els casos intermitjos són els que pateixen menys pandeig.

El cas més favorable dins el comparatiu és el Cas 7 de 10.00x10.00m de planta i 3.50m de fletxa, ja que la barra sotmesa a màxima compressió treballa amb una tensió inferior a la resta dels casos: 0.17 KN/mm², cosa que significa que disposem de molt de marge fins arribar a la tensió màxima admissible de l'acer (0.26 KN/mm²). Tot i que se'ns permet la opció d'optar per una barra de diàmetre inferior, optarem per escollir una barra de diàmetre de 5cm amb un gruix d'1.5mm, ja que ens donarà més fiabilitat davant un possible trencament fràgil.

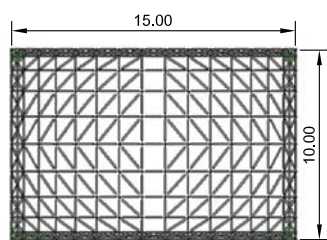


4.4. Estructures rectangulars

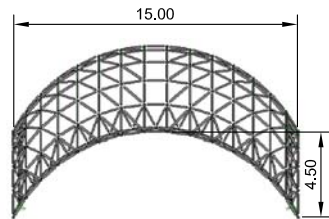
4.3.1. Comprovació de pandeig

CAS 9: 10x15x4.50m

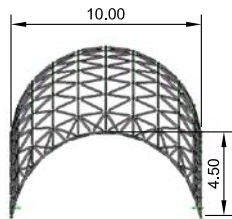
Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat



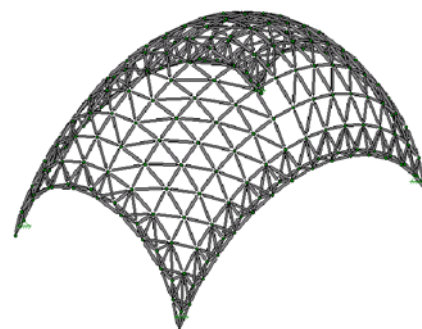
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



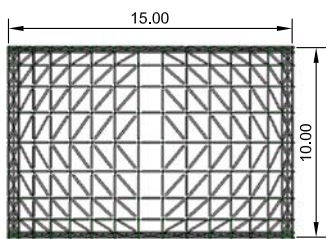
PERSPECTIVA

E: 1/400

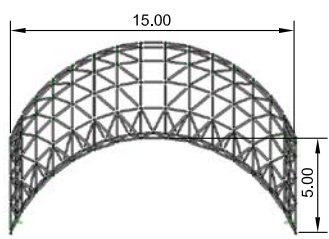
Cas 9 (10x15x4,50m)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\acute{a}x adm issible}$ (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	46,982	1	1,221	1.221	121,008	2,710	0,948	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	47,735	1	1,221	1.221	89,634	1,740	0,458	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	48,489	1	1,221	1.221	71,172	1,360	0,289	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	49,242	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,216	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	49,996	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,175	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	50,749	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,150	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	51,503	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,132	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	52,256	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,118	0,260	SI
BARRA Ø 3cm (e = 2mm)	17.329,0	175,929	9,925	47,647	1	1,221	1.221	123,026	2,790	0,756	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 2mm)	43.215,7	238,761	13,454	48,652	1	1,221	1.221	90,756	1,760	0,359	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 2mm)	87.009,6	301,593	16,985	49,657	1	1,221	1.221	71,886	1,370	0,226	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 2mm)	153.423,0	364,425	20,518	50,662	1	1,221	1.221	59,508	1,220	0,170	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 2mm)	247.168,0	427,257	24,052	51,666	1	1,221	1.221	50,765	1,140	0,138	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 2mm)	372.957,0	490,088	27,586	52,671	1	1,221	1.221	44,261	1,090	0,117	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 2mm)	535.503,0	552,920	31,121	53,676	1	1,221	1.221	39,234	1,070	0,104	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 2mm)	739.518,0	615,752	34,655	54,680	1	1,221	1.221	35,233	1,050	0,093	0,260	SI

CAS 10: 10x15x5.00m

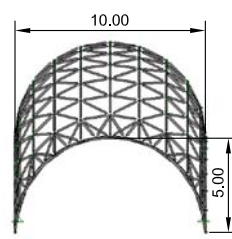
Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat



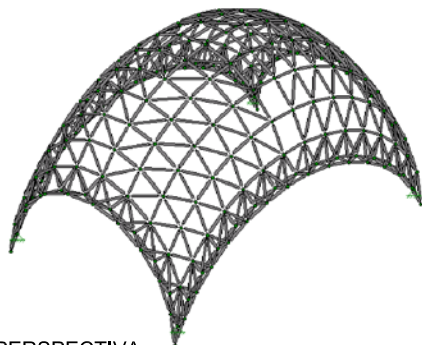
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/400

Cas 10 (10x15x5,00m)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\acute{a}x adm issible}$ (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	46,669	1	1,269	1.269	125,765	2,900	1,008	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	47,450	1	1,269	1.269	93,157	1,810	0,473	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	48,230	1	1,269	1.269	73,970	1,400	0,295	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	49,011	1	1,269	1.269	61,335	1,230	0,219	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	49,792	1	1,269	1.269	52,386	1,140	0,176	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	50,572	1	1,269	1.269	45,715	1,100	0,150	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	51,353	1	1,269	1.269	40,551	1,080	0,133	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	52,133	1	1,269	1.269	36,435	1,060	0,119	0,260	SI
BARRA Ø 3cm (e = 2mm)	17.329,0	175,929	9,925	47,359	1	1,269	1.269	127,863	2,980	0,802	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 2mm)	43.215,7	238,761	13,454	48,400	1	1,269	1.269	94,324	1,840	0,373	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 2mm)	87.009,6	301,593	16,985	49,440	1	1,269	1.269	74,712	1,420	0,233	0,260	SI
BARRA Ø 6cm (e = 2mm)	153.423,0	364,425	20,518	50,481	1	1,269	1.269	61,847	1,240	0,172	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 2mm)	247.168,0	427,257	24,052	51,522	1	1,269	1.269	52,761	1,150	0,139	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 2mm)	372.957,0	490,088	27,586	52,563	1	1,269	1.269	46,001	1,100	0,118	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 2mm)	535.503,0	552,920	31,121	53,604	1	1,269	1.269	40,777	1,080	0,105	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 2mm)	739.518,0	615,752	34,655	54,644	1	1,269	1.269	36,618	1,060	0,094	0,260	SI



4.5. Estructures rectangulars: Conclusions parcials

En el cas de les estructures de planta rectangular, es necessiten barres de secció superior a les estructures de planta quadrangular, essent doncs: 6cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 5,6,7,8,9 i 10; 7cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 4; 8cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 3; 9cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, pel Cas 2; i 10cm de diàmetre i 2mm de gruix, pel Cas 1.

Per tant, les estructures que es considera que comencen a treballar bé a pandeig, en comparació a les càrregues rebudes i al diàmetre de barra obtingut, són les tenen una fletxa a partir de 2.50m.

El més favorable, a nivell de tensió mínima, és el Cas 9 de 10.00x15.00m de planta amb una fletxa de 4.50m. Aquest treballa sota una tensió de 0.216 KN/mm², la qual no supera la tensió màxima admissible de l'acer (0.26 KN/mm²). Però en canvi, la que suporta menys axials és el Cas 10 de 10.00x15.00m de planta amb una fletxa de 5.00m. Tot i així optaríem pel Cas 8 per l'equilibri que presenta, amb semblança al Cas 9, i perquè les barres tenen una menor esveltesa, ja que es tracta de barres més curtes i més manipulables en l'execució. Si a més, es comparen els resultats amb la barra dimensionada amb un gruix de 2mm, i no només amb el gruix d'1.5mm, el millor funcionament a pandeig l'adopta el Cas 8.



5. CONFIGURACIÓ ÒPTIMA

5.1. Mètode

En aquest apartat, s'ha tractat de buscar l'estructura reticular metàl·lica lleugera més òptima, dins tots els casos estudiats (amb diferents fletxes), en funció dels axials màxims rebuts, tant a compressió com a tracció.

Per iniciar l'estudi, s'ha partit de les dades obtingudes a l'apartat anterior, o sigui, de les seccions idònies per cada cas. Aquestes, juntament amb les càrregues preestablertes des de l'inici de l'estudi d'optimització, s'han introduït al programa informàtic de càlcul estructural, per tal d'extreure'n els resultats en cada cas. Els resultats que se n'extrauran per a realitzar el comparatiu són: les reaccions en x , y i z als recolzaments, els nusos amb desplaçaments màxims i la seva magnitud, els axials màxims a tracció i compressió, i la deformada.

Per una millor percepció dels efectes del suport de les càrregues en relació a la fletxa de les estructures, s'ha previst de forma visual, un comparatiu dels casos, a nivell de traccions i compressions, en intervals de fletxes d'1 m. Les traccions es representaran amb una escala de colors càlids, en funció de la magnitud a la qual estigui sotmesa cada barra. Seguint la mateixa dinàmica, es representaran de la mateixa manera les compressions, però en aquest cas, amb una escala de colors freds. Segons l'apartat anterior, es va decidir com a bo el Cas 7 dintre les estructures de planta quadrangular, i el Cas 8, dintre de les estructures de planta rectangular. Així doncs, aquest comparatiu a nivell visual, en el cas de les estructures de planta quadrangular començarà amb el Cas 1 i acabarà amb el Cas 9, o sigui, amb una distribució imparell. Per contra, en les estructures rectangulars, la distribució serà parell, comparant des del Cas 2 al Cas 10.

A comentar, que en aquest apartat s'utilitzarà una escala de 1:50, per extreure les deformades del programa de càlcul, per tal de percebre mínimament, la deformació que pateixen. Aquestes deformades no són comparables a les extretes a l'apartat de configuració macroestructural, ja que en aquest, l'escala era molt més baixa, per tal de permetre'n la visualització en paper.



5.2. Estructures quadrangulars

5.2.1. Comparatiu de resultats

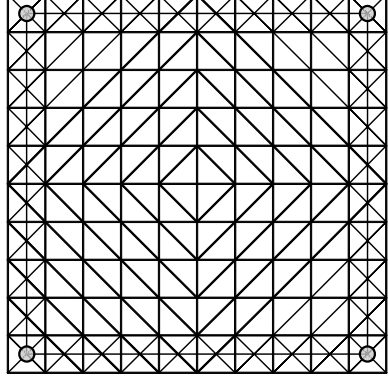
Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x0.50m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

AXIALS

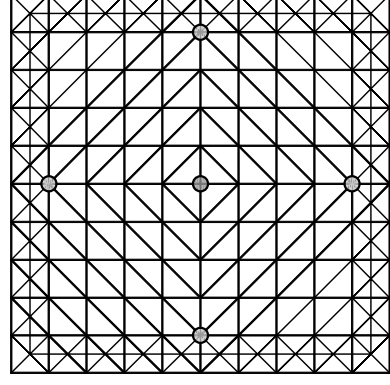
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N137	65,85	65,85	55,16
N146	-65,85	65,85	55,16
N12	65,85	-65,85	55,16
N21	-65,85	-65,85	55,16
Totals:	0,00	0,00	220,62

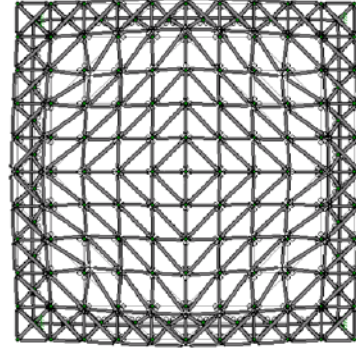


DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

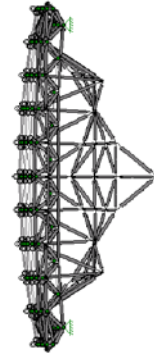
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N83	4,67	0,00	-2,57
N75	-4,67	0,00	-2,57
N131	0,00	-4,67	-2,57
N27	0,00	4,67	-2,57
N79	0,00	0,00	-81,17



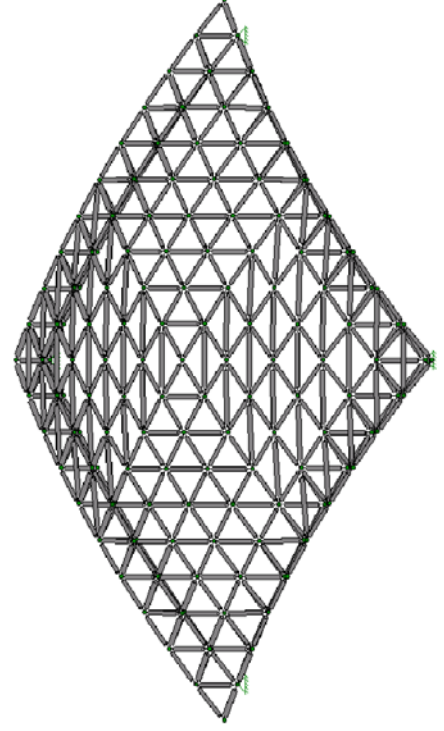
DEFORMADA



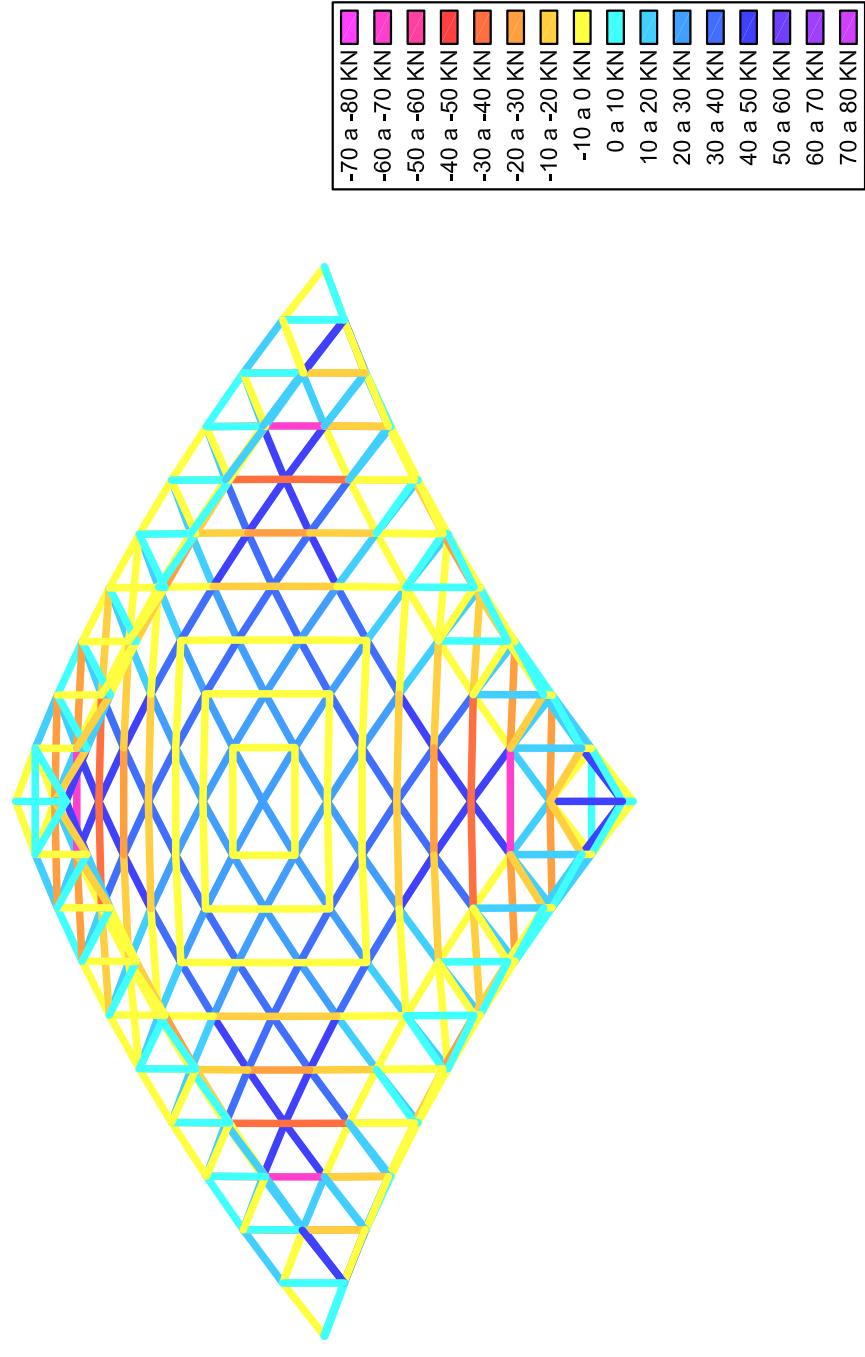
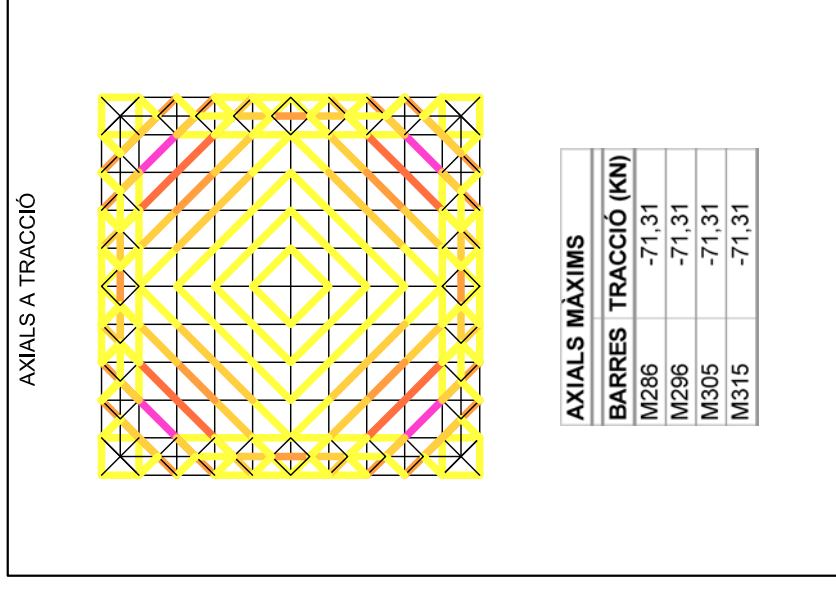
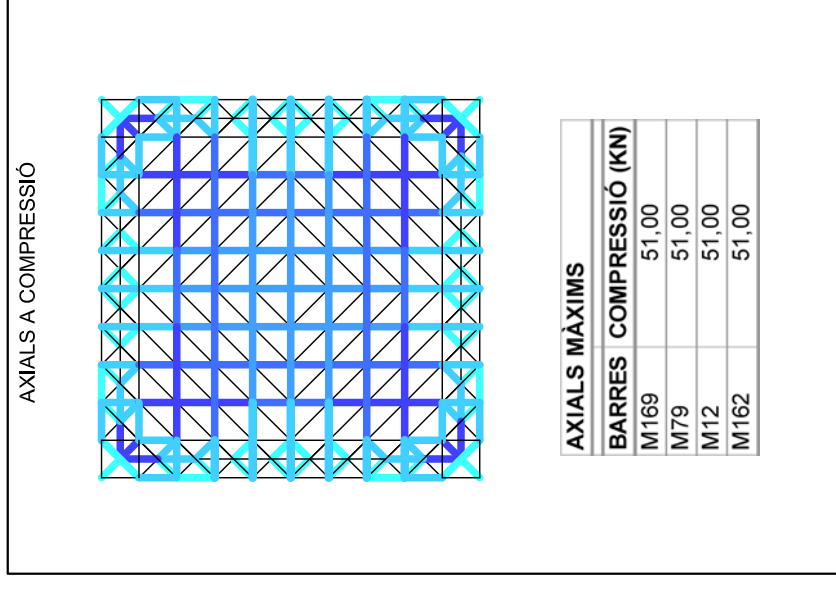
PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA

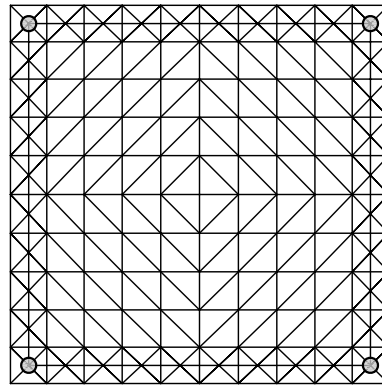


Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x1.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

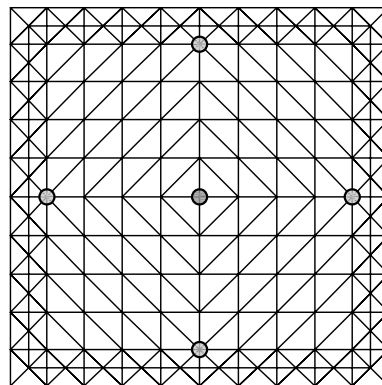
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N137	49,27	49,27	55,21
N146	-49,27	49,27	55,21
N12	49,27	-49,27	55,21
N21	-49,27	-49,27	55,21
Totals:	0,00	0,00	220,83



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

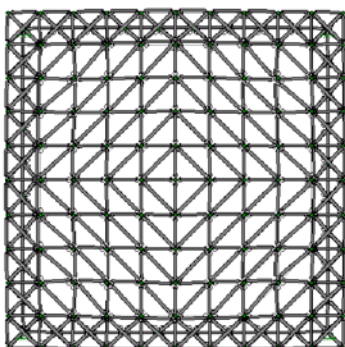
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N83	-2,00	0,00	-3,44
N75	2,00	0,00	-3,44
N131	0,00	2,00	-3,44
N27	0,00	-2,00	-3,44
N79	0,00	0,00	-22,11



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIO (KN)	BARRES	TRACCIO (KN)
M338	37,94	M289	-33,92
M329	37,94	M269	-33,92
M356	37,94	M279	-33,92
M347	37,94	M257	-33,92
M321	37,94		
M330	37,94		
M339	37,94		
M348	37,94		

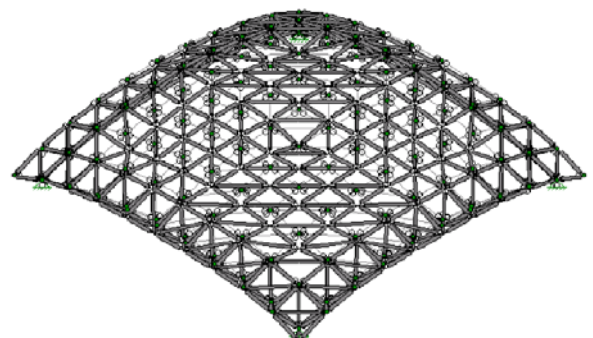
DEFORMADA



PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x1.50m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

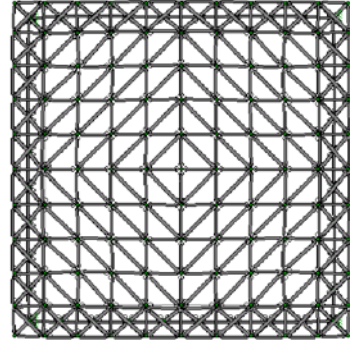
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-36,96	36,96	53,79
N137	36,96	36,96	53,79
N12	36,96	-36,96	53,79
N21	-36,96	-36,96	53,79
Totals:	0,00	0,00	215,18

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N83	1,79	0,00	-4,22
N75	-1,79	0,00	-4,22
N131	0,00	-1,79	-4,22
N27	0,00	1,79	-4,22
N79	0,00	0,00	-16,61

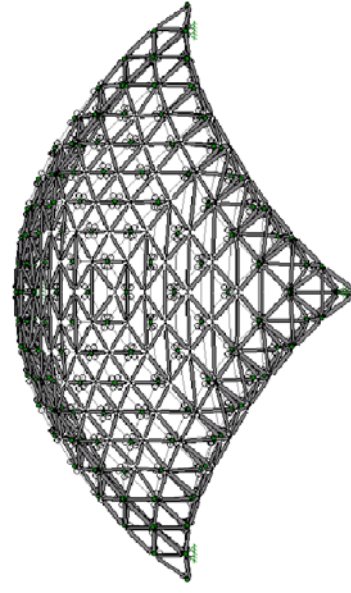
DEFORMADA



PLANTA

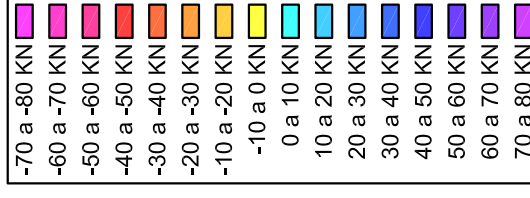
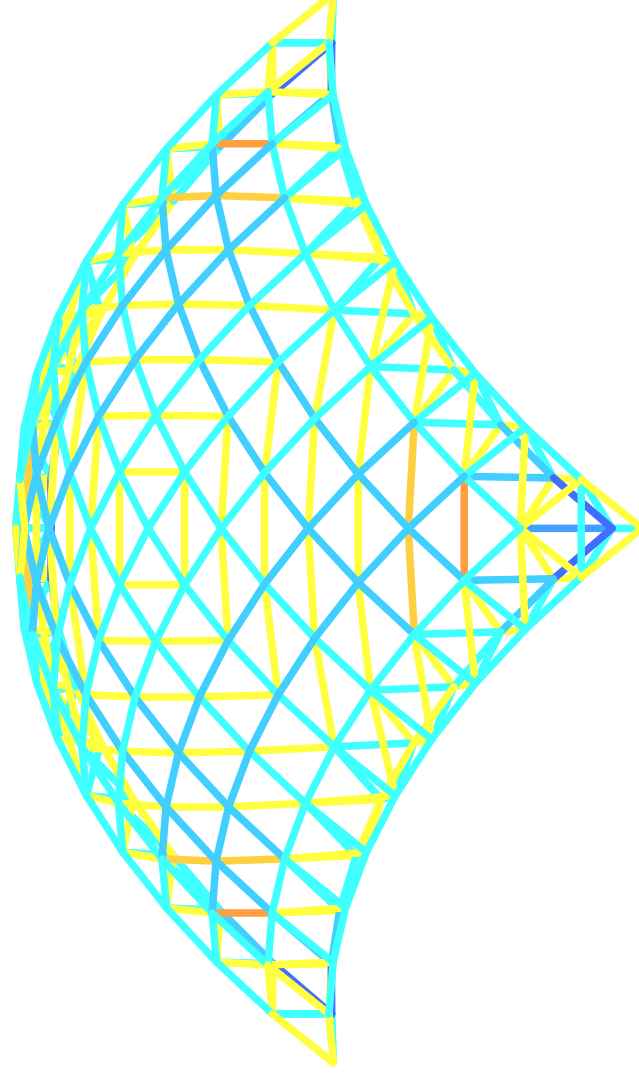
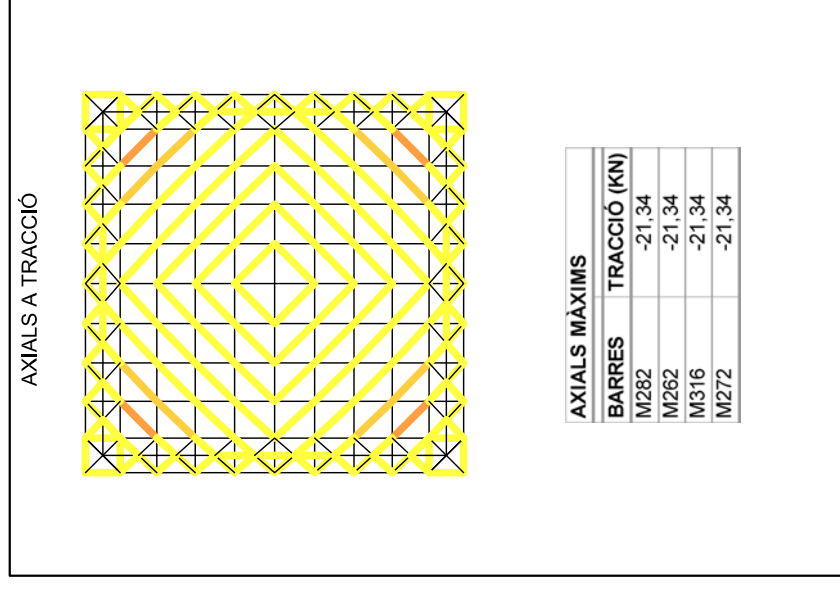
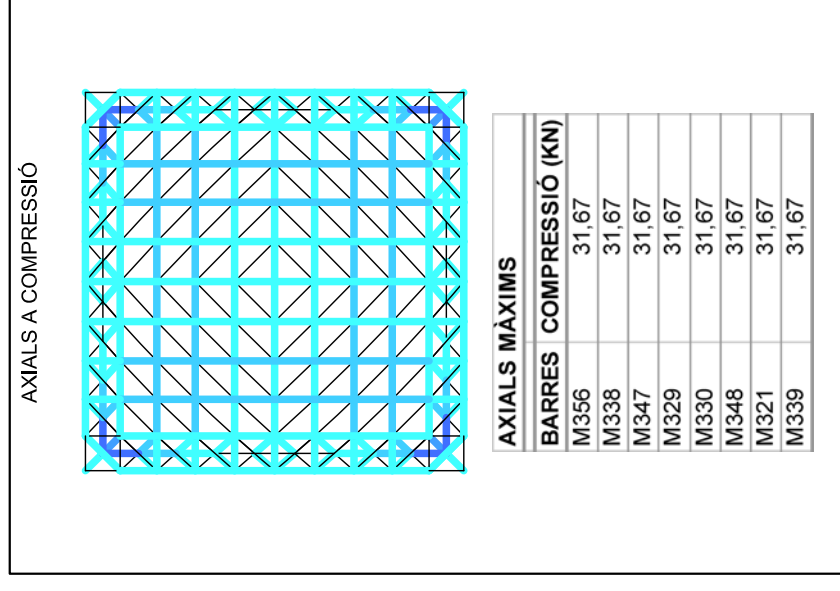
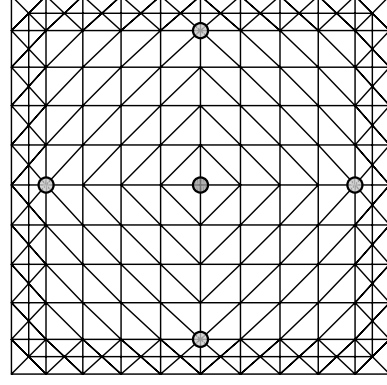
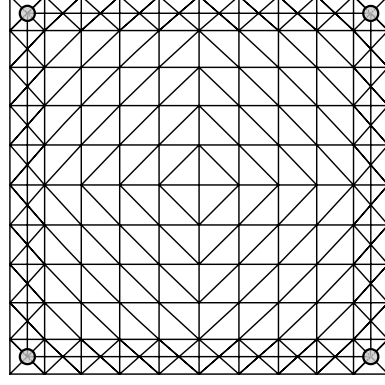


ALÇAT



PERSPECTIVA

AXIALS

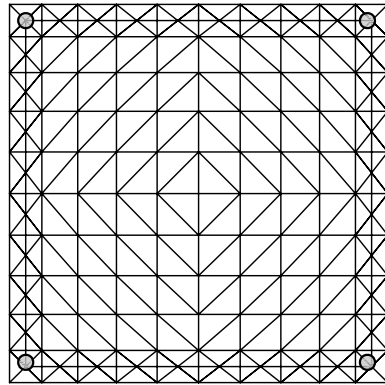


Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x2.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

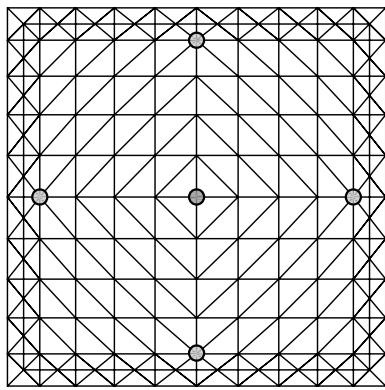
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-29,38	29,38	53,87
N137	29,38	29,38	53,87
N12	29,38	-29,38	53,87
N21	-29,38	-29,38	53,87
Totals:	0,00	0,00	215,50



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

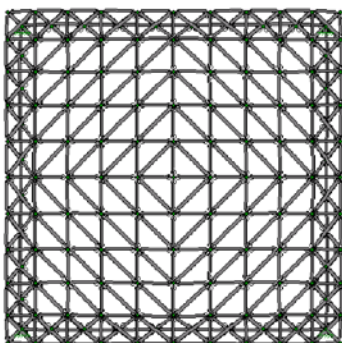
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N75	-1,22	0,00	-3,70
N83	1,22	0,00	-3,70
N131	0,00	-1,22	-3,70
N27	0,00	1,22	-3,70
N79	0,00	0,00	-10,80



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M338	28,79	M309	-15,36
M347	28,79	M264	-15,36
M329	28,79	M225	-15,36
M356	28,79	M289	-15,36
M339	28,79		
M330	28,79		
M321	28,79		
M348	28,79		

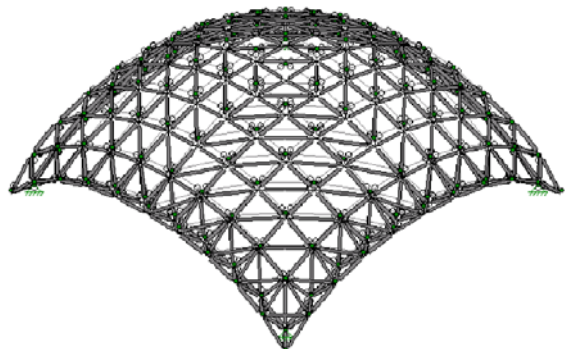
DEFORMADA



PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x2.50m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

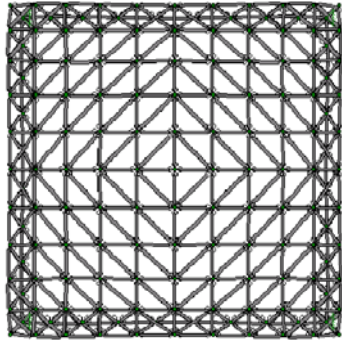
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-23,89	23,89	53,98
N137	23,89	23,89	53,98
N12	23,89	-23,89	53,98
N21	-23,89	-23,89	53,98
Totals:	0,00	0,00	215,91

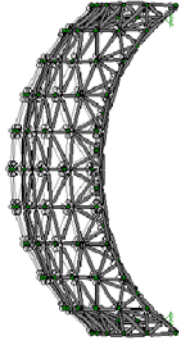
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N113	-1,35	-1,05	-0,32
N45	1,35	1,05	-0,32
N123	1,35	-1,05	-0,32
N35	-1,35	1,05	-0,32
N155	1,05	-1,35	-0,32
N3	-1,05	1,35	-0,32
N149	-1,05	-1,35	-0,32
N9	1,05	1,35	-0,32
N79	0,00	0,00	-8,17

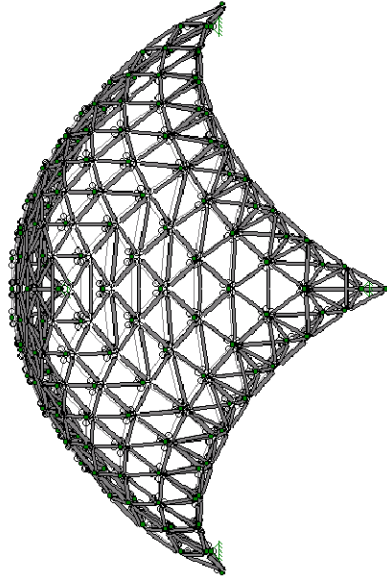
DEFORMADA



PLANTA

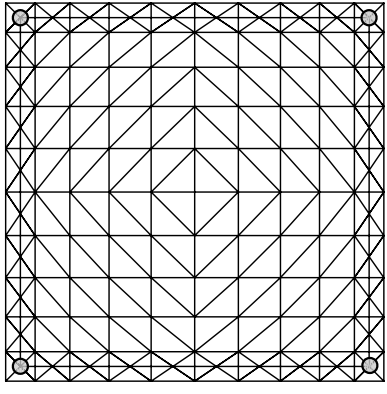


ALÇAT



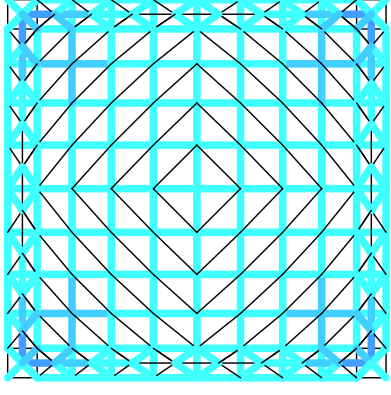
PERSPECTIVA

AXIALS



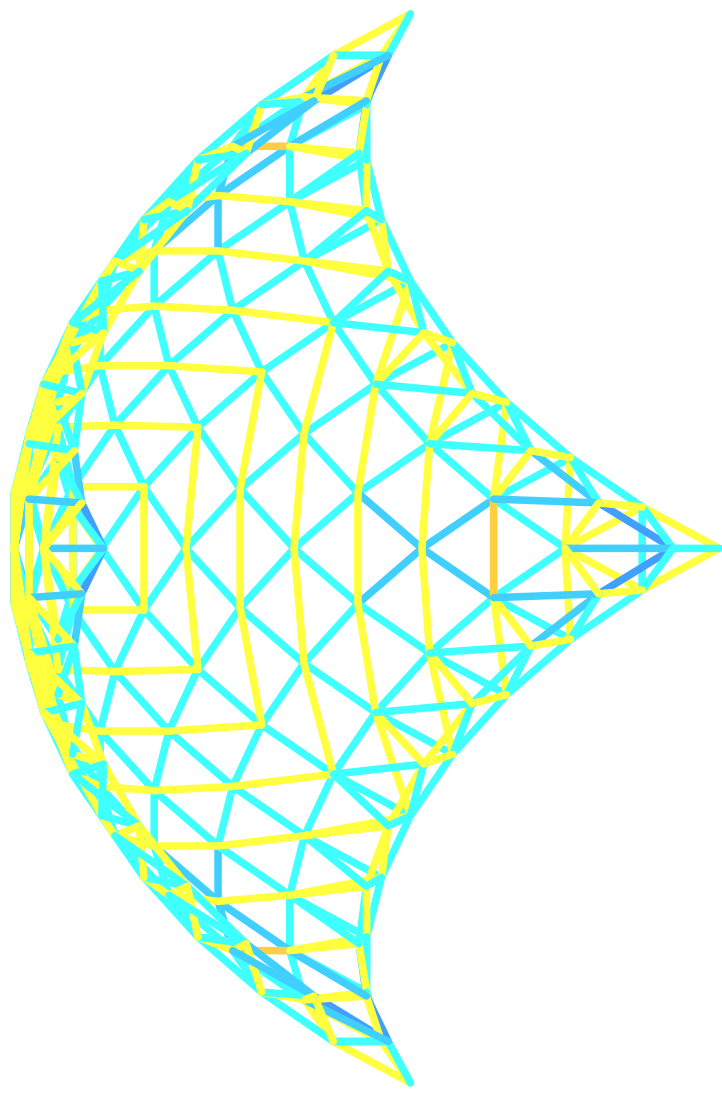
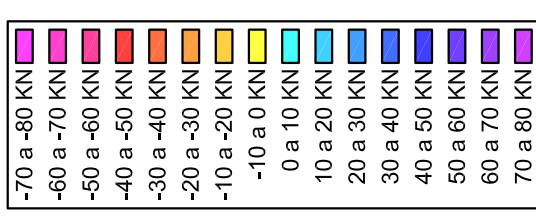
AXIALS A COMPRESSIÓ

AXIALS MÀXIMS	
BARRES	COMPRESSIÓ (KN)
M347	27,36
M329	27,36
M338	27,36
M356	27,36
M330	27,36
M321	27,36
M339	27,36
M348	27,36



AXIALS A TRACCIÓ

AXIALS MÀXIMS	
BARRES	TRACCIÓ (KN)
M289	-11,70
M305	-11,70
M273	-11,70
M257	-11,70

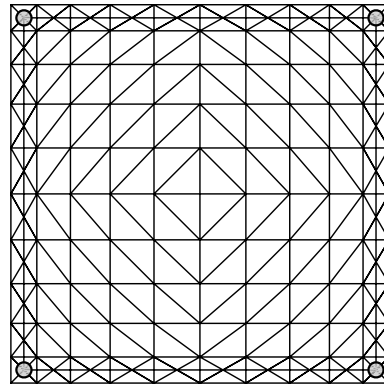


Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x3.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

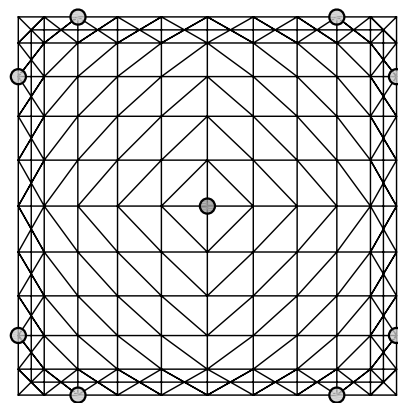
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-19,72	19,72	54,10
N137	19,72	19,72	54,10
N12	19,72	-19,72	54,10
N21	-19,72	-19,72	54,10
Totals:	0,00	0,00	216,40



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

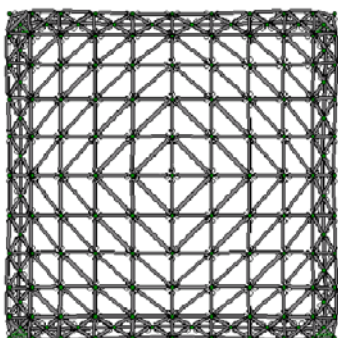
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N113	-1,76	-1,44	-0,13
N45	1,76	1,44	-0,13
N35	-1,76	1,44	-0,13
N123	1,76	-1,44	-0,13
N3	-1,44	1,76	-0,13
N155	1,44	-1,76	-0,13
N149	-1,44	-1,76	-0,13
N9	1,44	1,76	-0,13
N79	0,00	0,00	-6,85



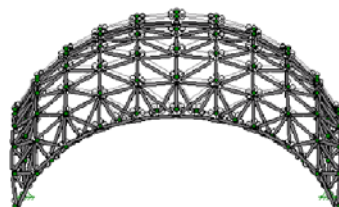
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M356	26,82	M289	-9,15
M347	26,82	M305	-9,15
M338	26,82	M257	-9,15
M329	26,82	M273	-9,15
M330	26,82		
M321	26,82		
M339	26,82		
M348	26,82		

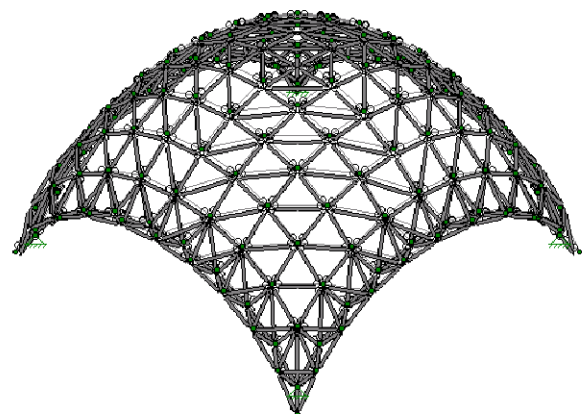
DEFORMADA



PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x3.50m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

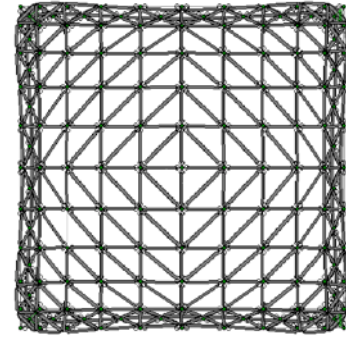
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N61	-20,02	20,02	54,93
N77	20,02	20,02	54,93
N88	20,02	-20,02	54,93
N115	-20,02	-20,02	54,93
Totals:	0,00	0,00	219,72

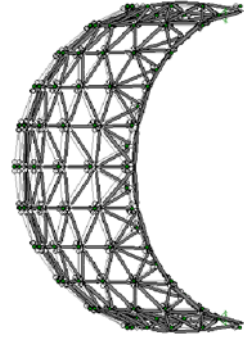
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N45	1,42	1,16	-0,11
N113	-1,42	-1,16	-0,11
N35	-1,42	1,16	-0,11
N123	1,42	-1,16	-0,11
N3	-1,16	1,42	-0,11
N155	1,16	-1,42	-0,11
N9	1,16	1,42	-0,11
N149	-1,16	-1,42	-0,11
N79	0,00	0,00	-5,50

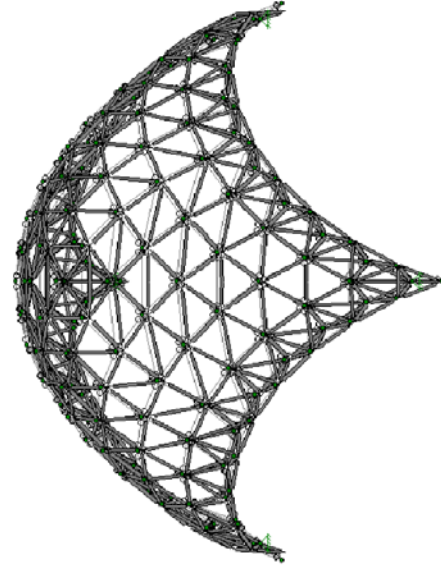
DEFORMADA



PLANTA

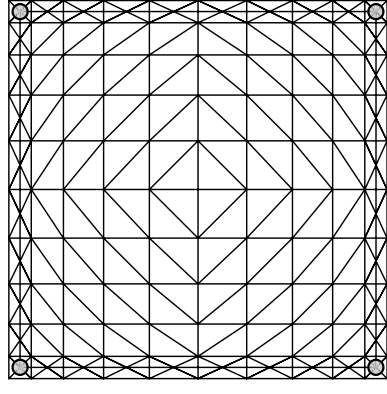


ALÇAT



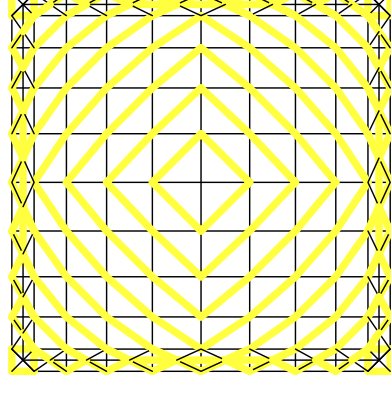
PERSPECTIVA

AXIALS



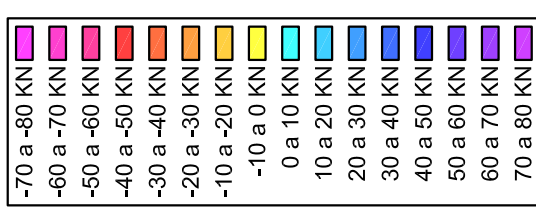
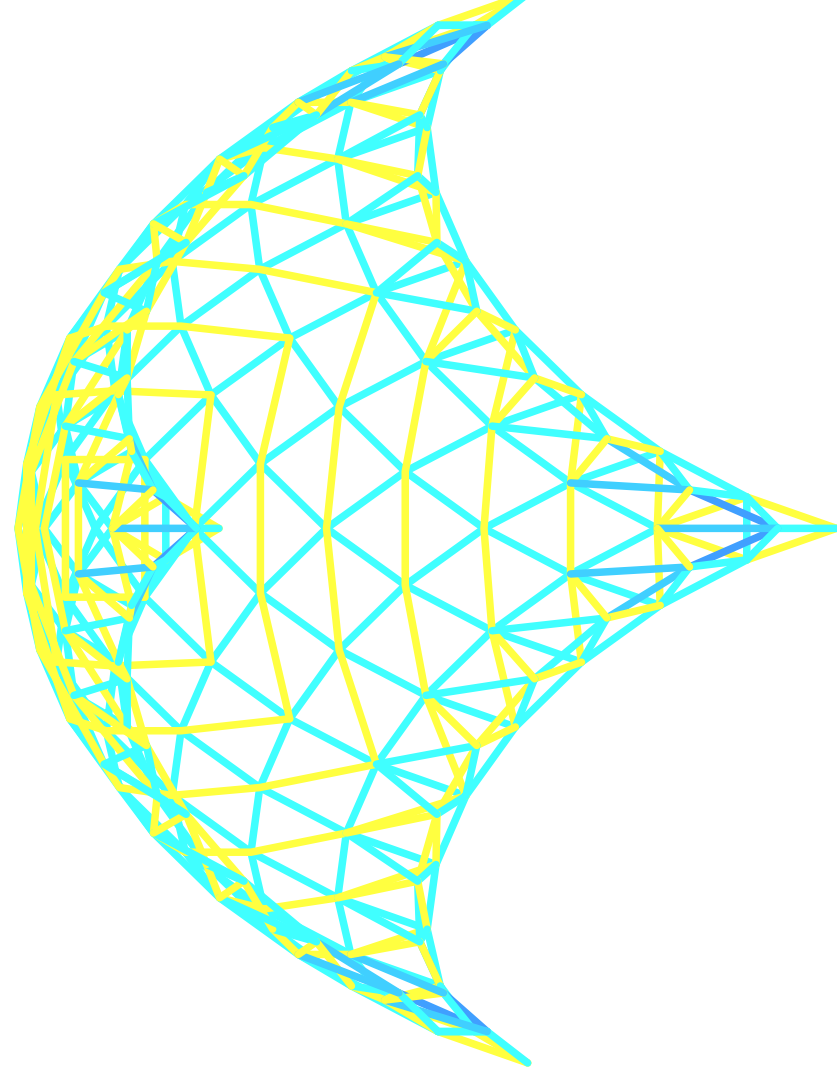
AXIALS A COMPRESSIÓ

AXIALS MÀXIMS	
BARRES	COMPRESSIÓ (KN)
M347	27,24
M329	27,24
M356	27,24
M338	27,24
M348	27,24
M330	27,24
M339	27,24
M321	27,24



AXIALS A TRACCIÓ

AXIALS MÀXIMS	
BARRES	TRACCIÓ (KN)
M305	-9,24
M289	-9,24
M273	-9,24
M257	-9,24

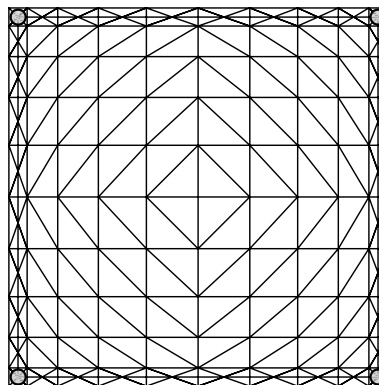


Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x4.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

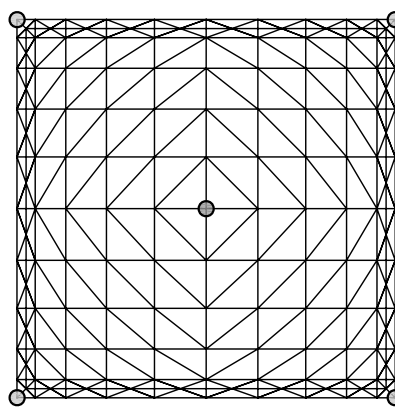
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-13,93	13,93	55,31
N137	13,93	13,93	55,31
N12	13,93	-13,93	55,31
N21	-13,93	-13,93	55,31
Totals:	0,00	0,00	221,23



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

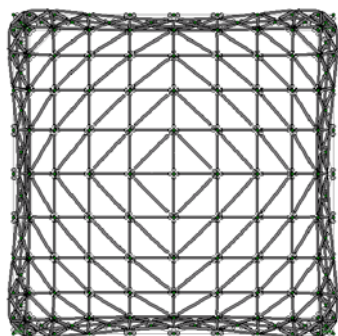
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N1	3,62	-3,62	-2,16
N157	-3,62	3,62	-2,16
N147	3,62	3,62	-2,16
N11	-3,62	-3,62	-2,16
N79	0,00	0,00	-4,83



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M338	27,92	M334	-8,98
M329	27,92	M325	-8,98
M356	27,92	M352	-8,98
M347	27,92	M343	-8,98
M339	27,92		
M321	27,92		
M330	27,92		
M348	27,92		

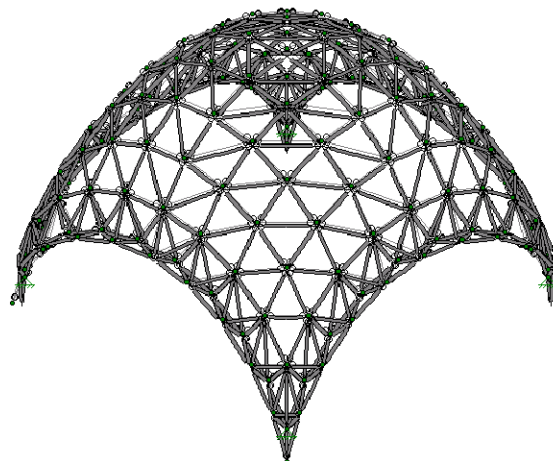
DEFORMADA



PLANTA



ALÇAT



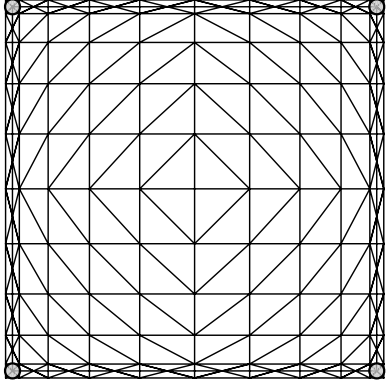
PERSPECTIVA

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x4.50m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

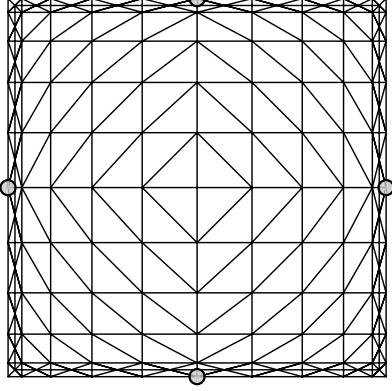
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	-11,60	11,60	55,53
N137	11,60	11,60	55,53
N12	11,60	-11,60	55,53
N21	-11,60	-11,60	55,53
Totals:	0,00	0,00	222,11

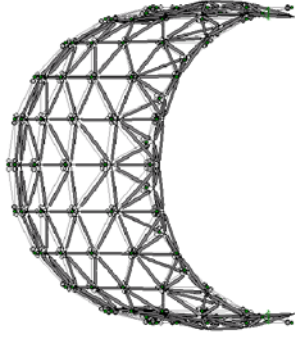


DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

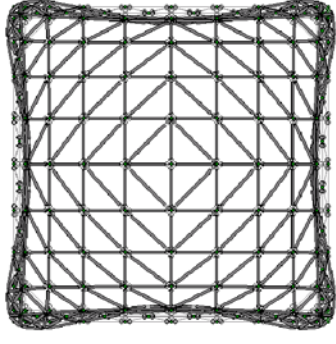
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N84	-7,75	0,00	-5,93
N74	7,75	0,00	-5,93
N6	0,00	-7,75	-5,93
N152	0,00	7,75	-5,93



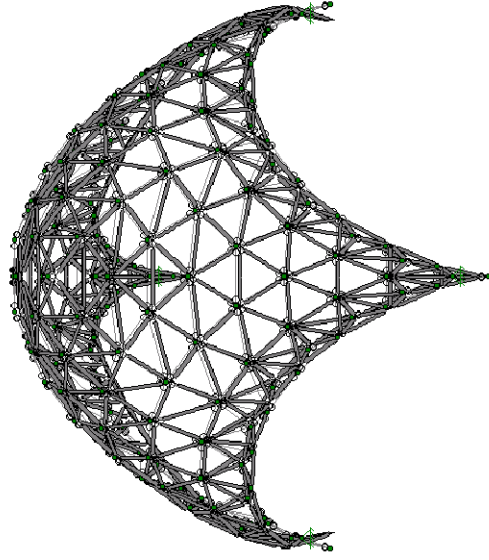
DEFORMADA



ALÇAT

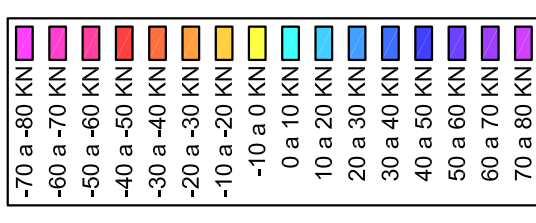
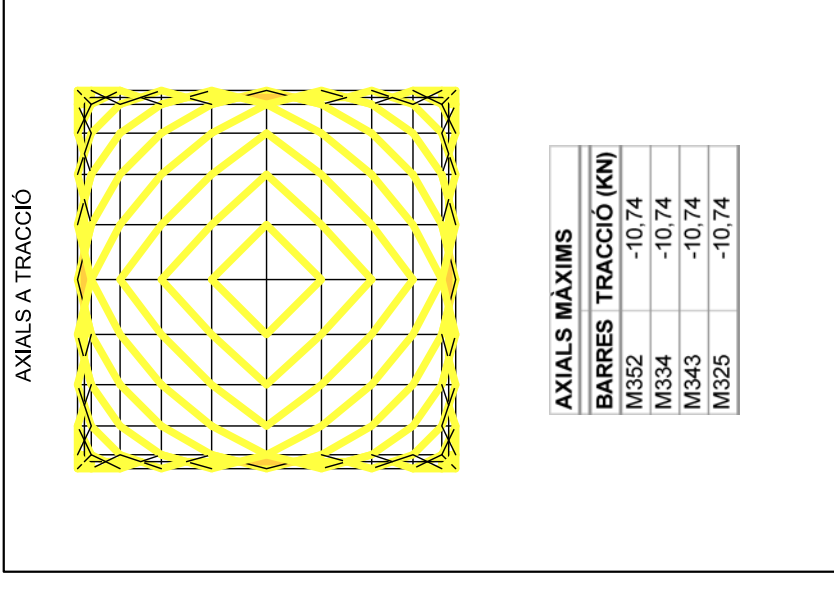
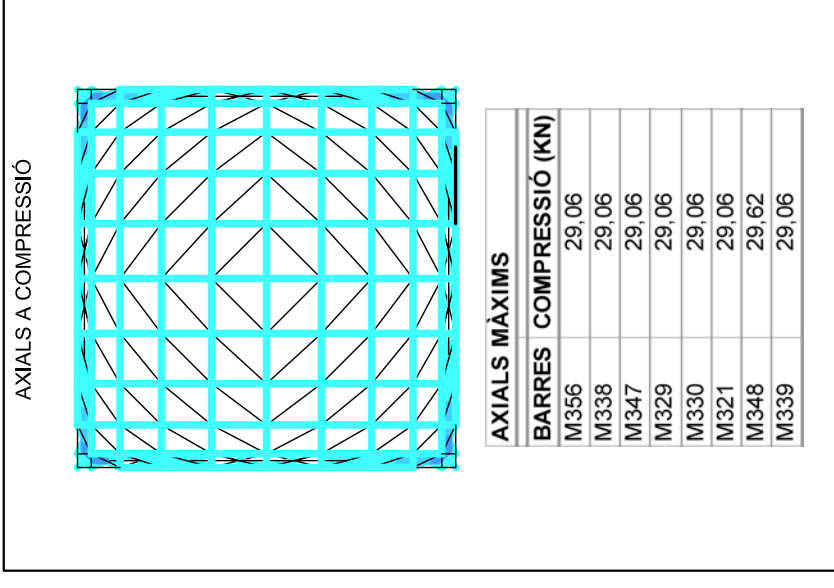


PLANTA



PERSPECTIVA

AXIALS

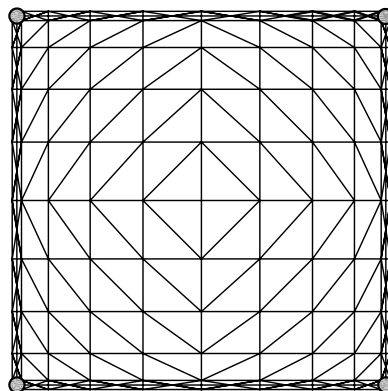


Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x10x5.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

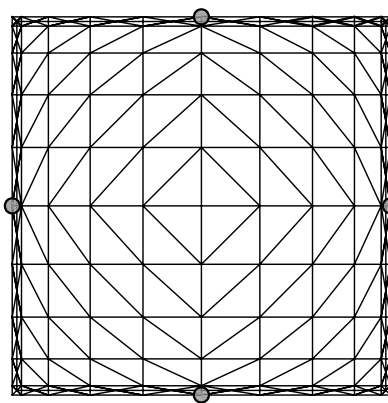
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N146	9,57	9,57	55,77
N137	-9,57	9,57	55,77
N12	9,57	-9,57	55,77
N21	-9,57	-9,57	55,77
Totals:	0,00	0,00	223,07



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

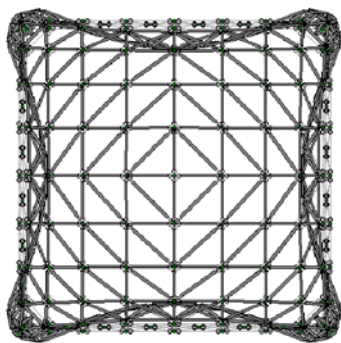
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N84	-18,06	0,00	-7,74
N74	18,06	0,00	-7,74
N152	0,00	18,06	-7,74
N6	0,00	-18,06	-7,74



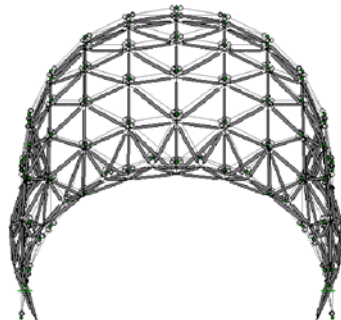
AXIALS MÀXIMS

BARRES	TRACCIÓ (KN)	BARRES	COMPRESSIÓ (KN)
M347	30,83	M343	-12,93
M356	30,83	M325	-12,93
M329	30,83	M352	-12,93
M338	30,83	M334	-12,93
M330	30,83		
M321	30,83		
M348	30,83		
M339	30,83		

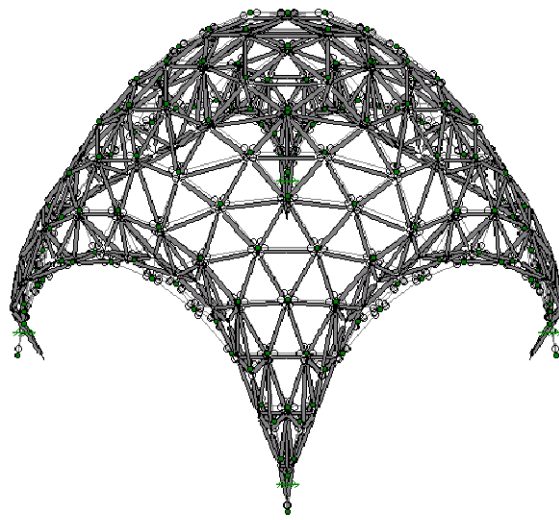
DEFORMADA



PLANTA



ALÇAT



PERSPECTIVA



5.3. Estructures quadrangulars: Conclusions parcials

Del programa se'n han extret les reaccions als recolzaments descompostes en una component en x, un altra en y, i una última, en z. Comparant del primer a l'últim cas, observem que les components x i y van decreixent en augmentar la fletxa de l'estructura. Així doncs, en el Cas 1 de 10.00x10.00m de planta amb 50cm de fletxa, tenim una reacció en x, i també en y, de 65,85 KN. En canvi, al Cas 10 de 10.00x10.00m de planta amb 5m de fletxa, les reaccions han disminuït, fins arribar a un valor de 9,57 KN, en x i també en y. Per contra, el Cas 1 té una reacció en z de 55,16 KN, i el Cas 10, de 55,77 KN. Les reaccions en z, ens indica la càrrega deguda als pesos que suporta l'estructura, que baixen per l'eix vertical. Per això mateix, com més augmenta la fletxa, més s'incrementa la component en z de la reacció als recolzaments. Tot i així, estem comparant dos casos, on la variació de la reacció en z no és molt significativa. Però en canvi, comparant les fitxes presentades, es pot observar un decreixement inicial en les reaccions en z, seguit d'un creixement fins a l'últim cas. Pel que fa a les reaccions en x i y, que sempre són iguals, tal i com s'observa en les presentacions anteriors, hi ha un decreixement fins l'últim cas, sense cap mena d'oscil·lació.

Comparant els desplaçaments màxims observats en les presentacions en relació a les deformacions existents a l'apartat de configuració macroestructural, podem apreciar un decreixement significatiu, cosa que ens indica que aquestes deformacions ja són aptes. El desplaçament màxim en el pla x-y, van d'un rang de 1,22mm en el Cas 4 a 18,06mm en el Cas 10. Els desplaçaments en z, van de 4,83mm en el Cas 8, fins a 81,17mm, al Cas 1. Com es pot observar, el desplaçament màxim en el pla x-y no supera els 2cm, i en l'eix vertical, els 8cm, aproximadament.

Comparant a nivell d'axials, podem separar barres sotmeses a tracció i barres sotmeses a compressió. Els axials màxims a compressió van disminuint, a partir d'un valor de 51 KN en el Cas 1, a mesura que va augmentant la fletxa fins al Cas 6, i a partir d'aquí tornen a augmentar fins a un valor de 30,83 KN en el Cas 10. En canvi, els axials màxims a tracció comencen amb un valor -71,31 KN al Cas 1, i van disminuint fins al Cas 8, però a partir d'aquí tornen a incrementar fins arribar a un valor de -12,93 KN, al Cas 10.

Com ja s'ha explicat en el mètode, s'acompanya els valors d'axials màxims amb una representació gràfica amb colors, diferenciant les traccions de les compressions. Tal i com es pot veure en les fitxes, s'utilitza un rang de colors més



ampli, com amb menys fletxa s'estigui treballant. Això es deu a que com més planera és l'estructura, més tensions pateixen les barres que la constitueixen, degudes als axials que reben. A més, les zones que més pateixen són les més pròximes als suports.

Tal i com s'explica en el marc teòric i es confirma la seva cerca al marc pràctic, es requereixen diagonals per tal d'aconseguir una estabilitat formal. Per tant, aquestes diagonals treballen a tracció, impedit la deformació de les formes base de constitució de l'estructura. Així doncs, podem afirmar que les que conformen la quadrícula, en excepció d'algunes, són les que treballen a compressió, de les quals se n'ha realitzat la comprovació a pandeig.

En vista aquest apartat, el Cas 6 seria el cas més favorable a nivell de comparatiu d'axials, tot i que en l'apartat anterior, s'havia escollit el Cas 7, pel que fa configuració microestructural amb la comprovació de les seccions a pandeig.



5.4. Estructures rectangulars

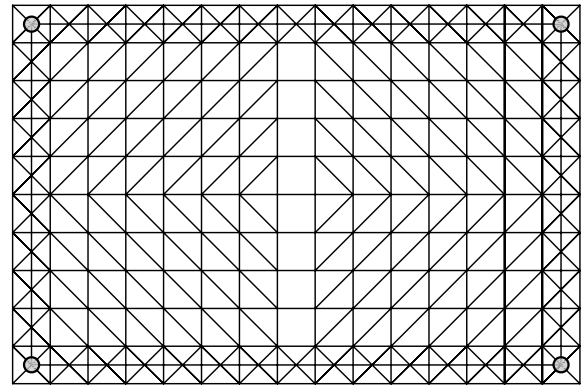
5.4.1. Comparatiu de resultats

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x0.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

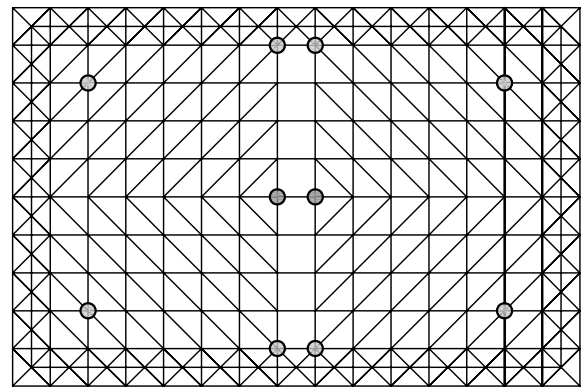
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	182,59	-103,55	95,96
N31	-182,59	-103,55	95,96
N206	-182,59	103,55	95,96
N192	182,59	103,55	95,96
TOTALS	0,00	0,00	383,85



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

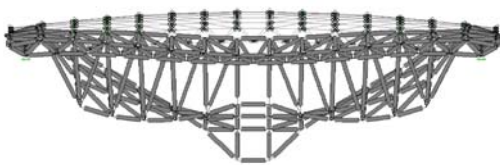
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N171	-3,81	3,73	-49,51
N63	-3,81	-3,73	-49,51
N52	3,81	-3,73	-49,51
N160	3,81	3,73	-49,51
N184	-0,02	-7,29	-9,84
N40	-0,02	7,29	-9,84
N183	0,02	-7,29	-9,84
N39	0,02	7,29	-9,84
N111	0,27	0,00	-91,51
N112	-0,27	0,00	-91,51



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M475	144,86	M330	-133,00
M488	144,86	M351	-133,00
M498	144,86	M451	-133,00
M511	144,86	M461	-133,00

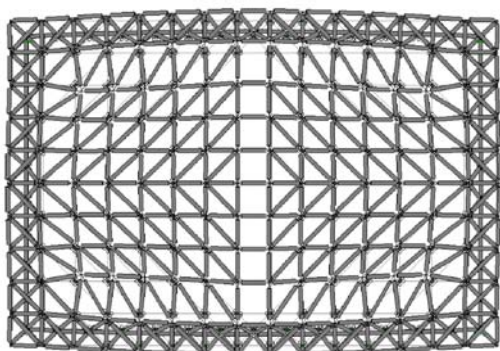
DEFORMADA



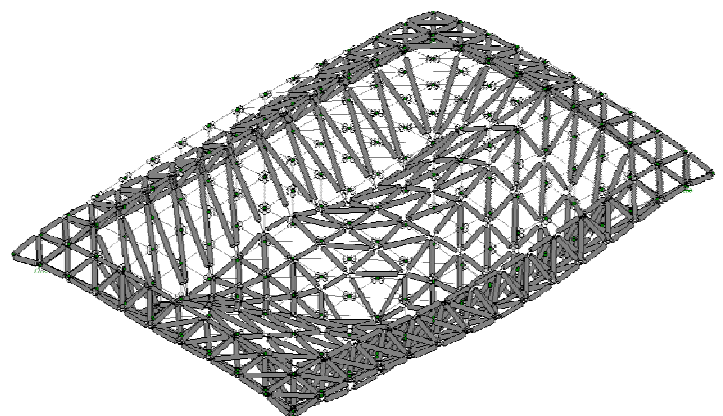
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x1.00m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

AXIALS

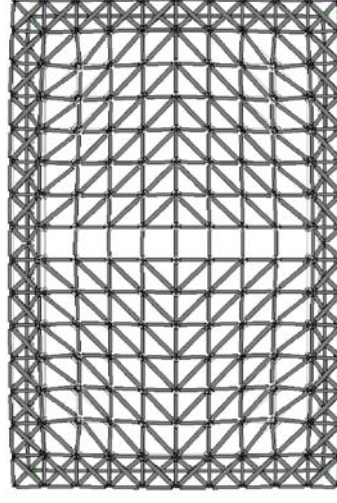
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N192	120,44	70,74	85,15
N17	120,44	-70,74	85,15
N31	-120,44	-70,73	85,15
N206	-120,44	70,73	85,15
TOTALS	0,00	0,00	340,59

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N63	-2,42	-2,41	-17,21
N171	-2,42	2,41	-17,21
N160	2,41	2,40	-17,20
N52	2,41	-2,40	-17,20
N40	-0,11	3,67	-11,64
N184	-0,11	-3,67	-11,64
N183	0,10	-3,65	-11,61
N39	0,10	3,65	-11,61
N111	0,24	0,00	-36,15
N112	-0,15	0,00	-34,16

DEFORMADA

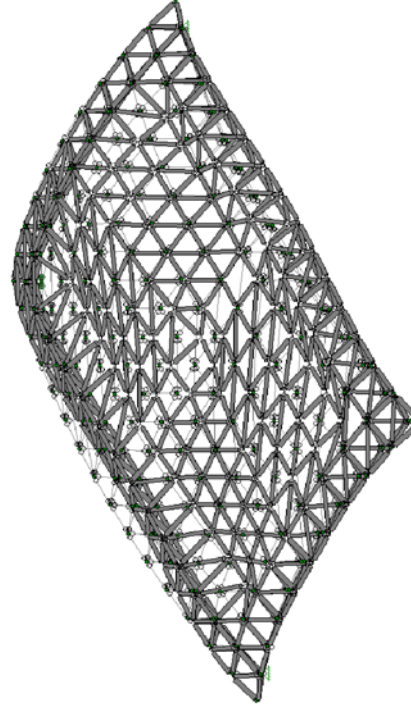


PLANTA

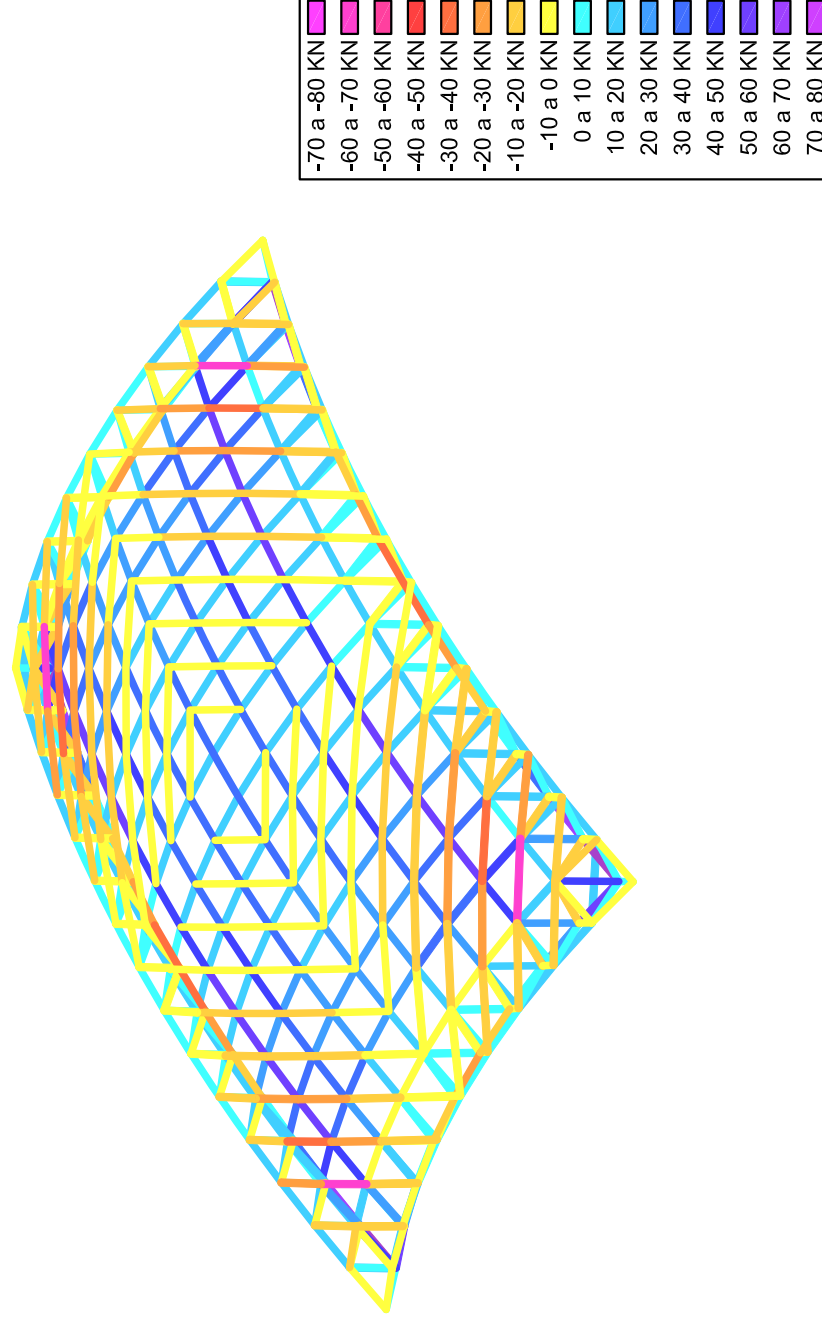
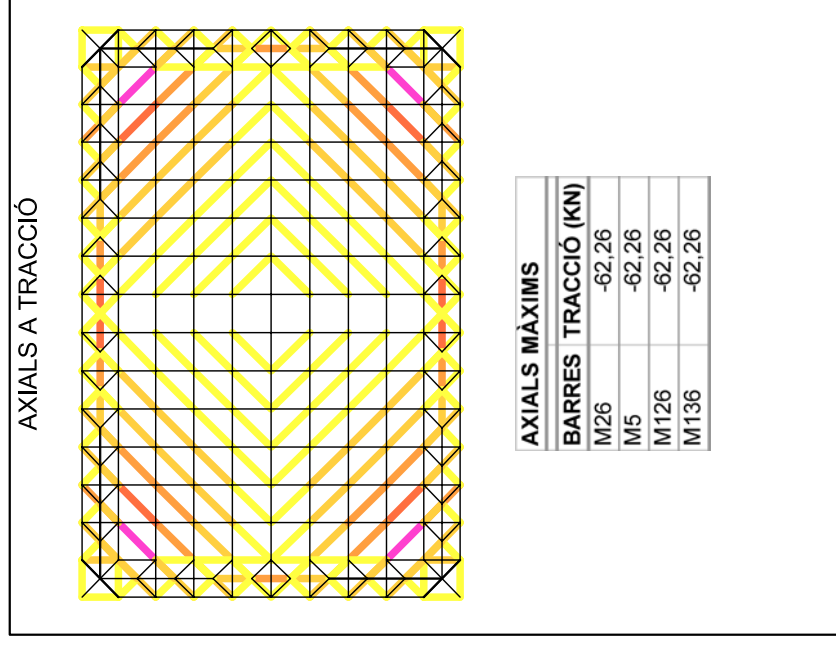
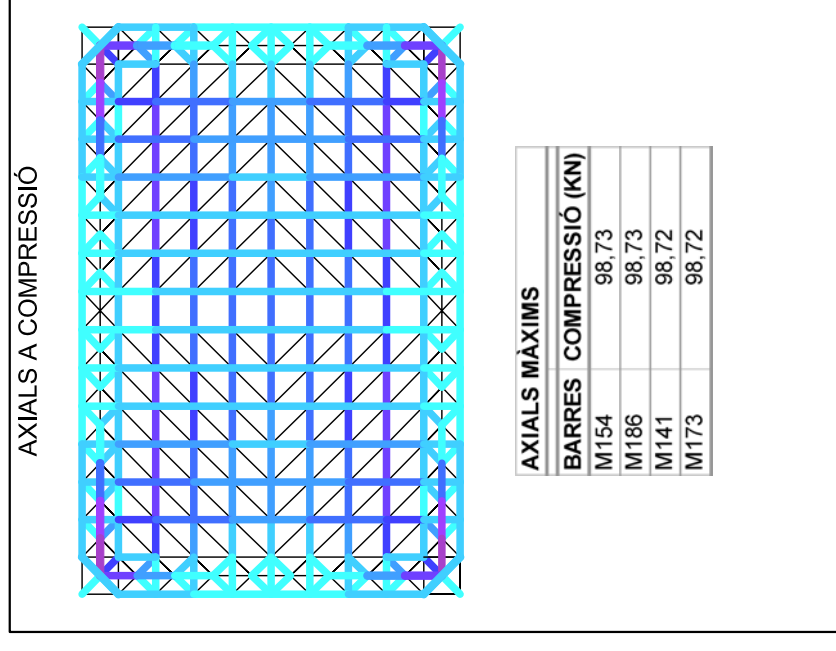


ALÇAT XZ

ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

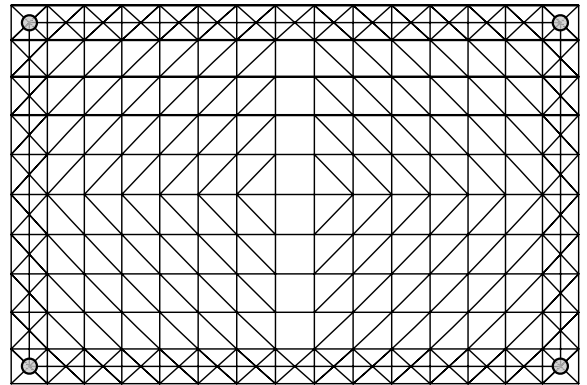


Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x1.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

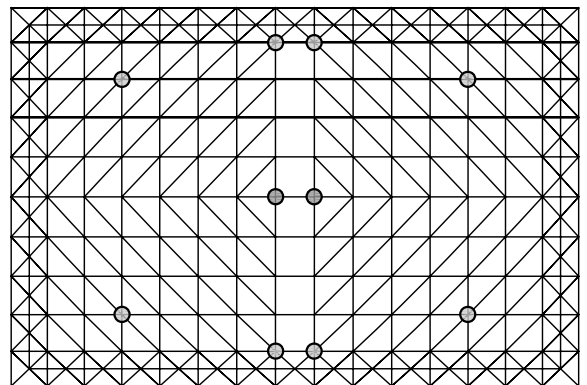
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	92,41	-54,37	84,25
N31	-92,41	-54,37	84,25
N206	-92,41	54,37	84,25
N192	92,41	54,37	84,25
TOTALS	0,00	0,00	336,98



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

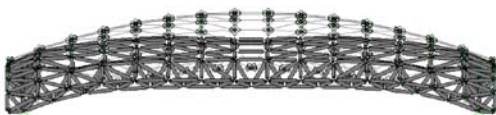
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N62	-1,55	-1,31	-10,45
N170	-1,55	1,31	-10,45
N161	1,55	1,31	-10,45
N53	1,55	-1,31	-10,45
N183	0,13	-1,73	-9,97
N39	0,13	1,73	-9,97
N40	-0,13	1,73	-9,97
N184	-0,13	-1,73	-9,97
N112	-0,15	0,00	-19,35
N111	0,15	0,00	-19,35



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M511	79,31	M451	-40,15
M479	79,31	M461	-40,15
M466	79,31	M330	-40,15
M498	79,31	M351	-40,15

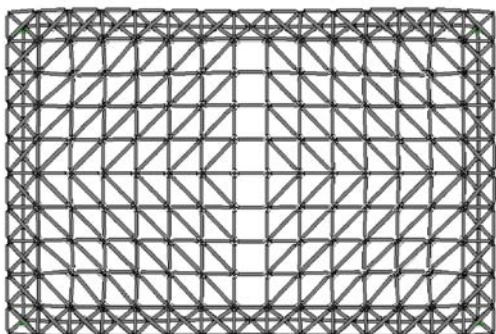
DEFORMADA



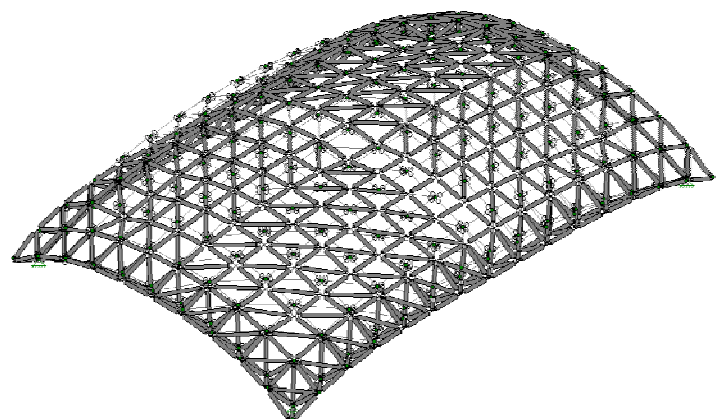
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x2.00m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

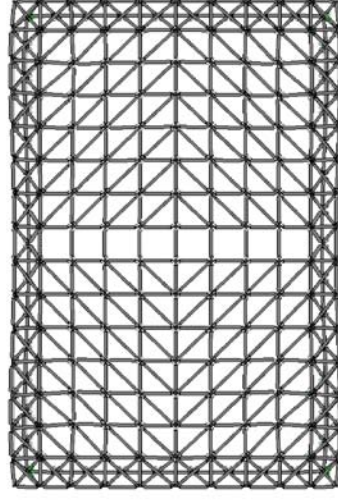
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	73,55	-43,00	83,35
N31	-73,55	-43,00	83,35
N206	-73,55	43,00	83,35
N192	73,55	43,00	83,35
TOTALS	0,00	0,00	333,41

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N14	1,73	2,04	0,26
N209	-1,73	-2,04	0,26
N220	1,73	-2,04	0,26
N3	-1,73	2,04	0,26
N29	1,59	2,06	-1,15
N204	1,59	-2,06	-1,15
N194	-1,59	-2,06	-1,15
N19	-1,59	2,06	-1,15
N111	0,13	0,00	-13,92
N112	-0,13	0,00	-13,92

DEFORMADA

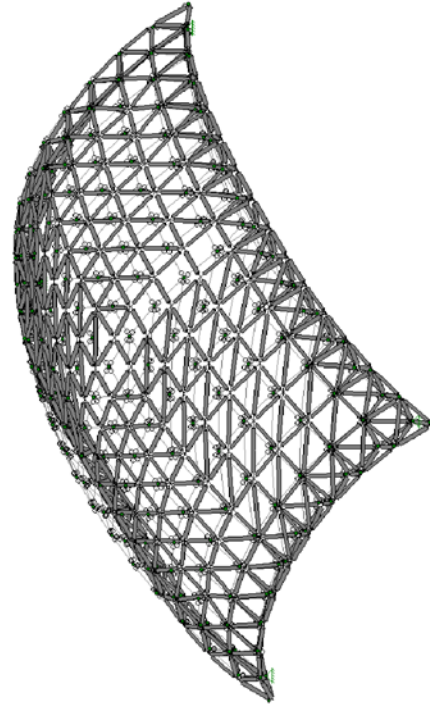


PLANTA



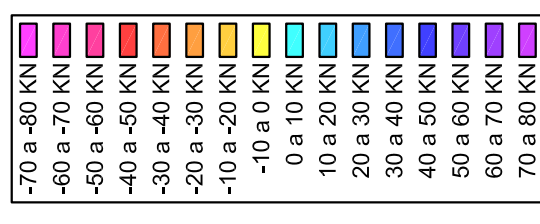
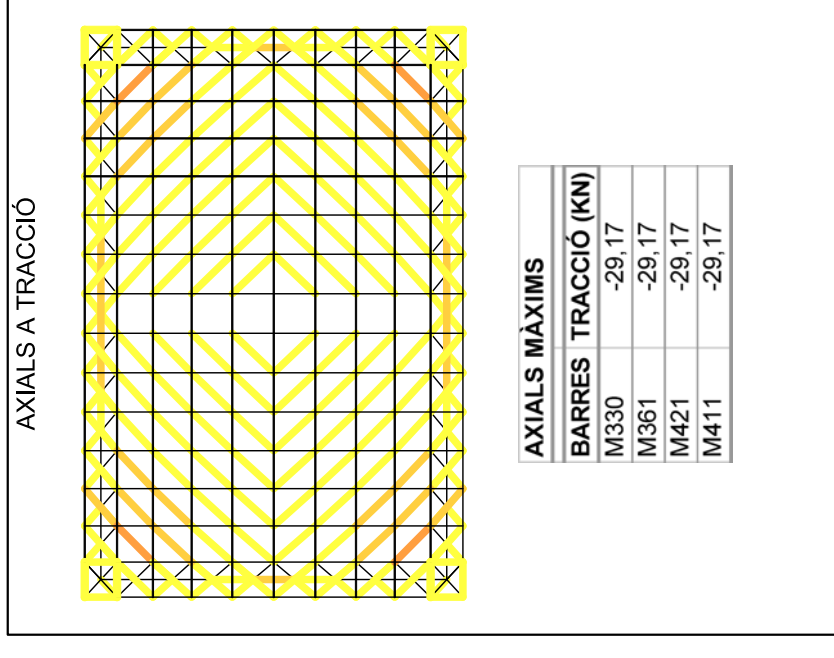
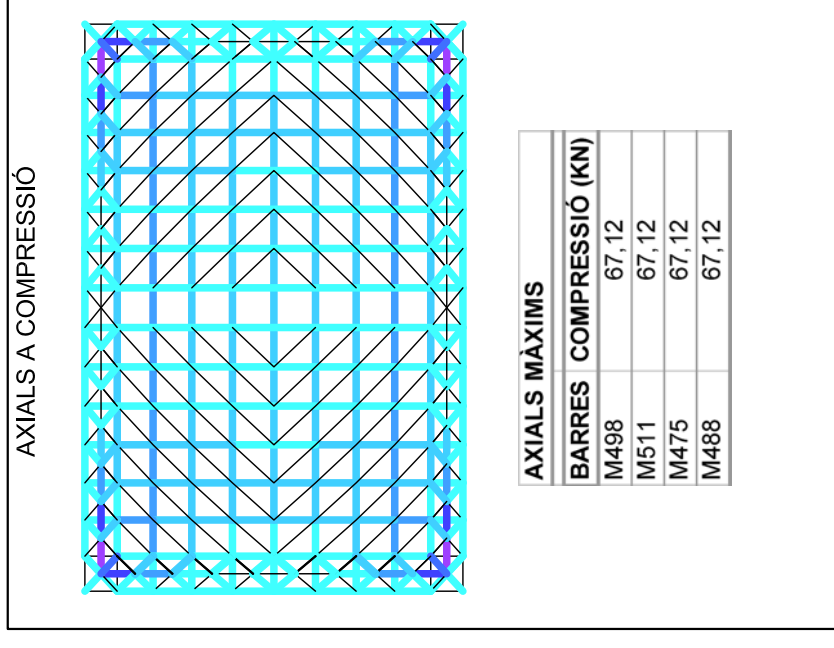
ALÇAT XZ

ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

AXIALS

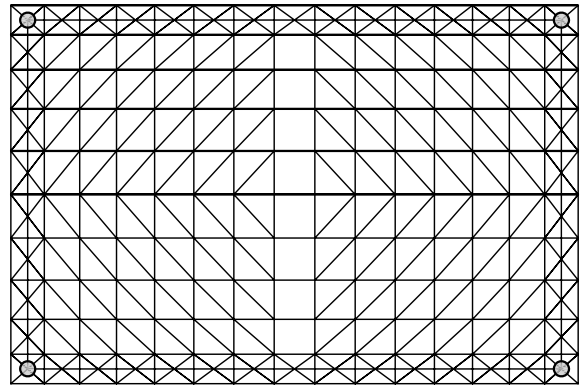


Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x2.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

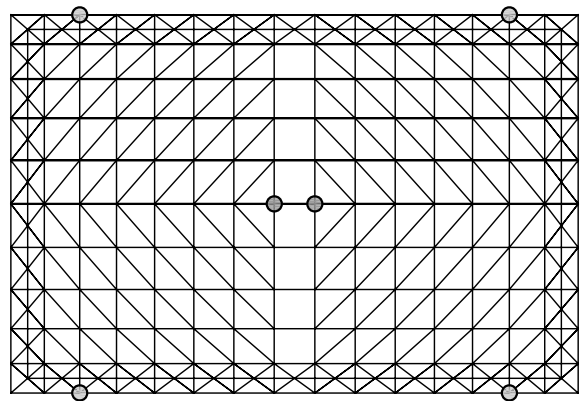
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	60,09	-34,72	82,45
N192	60,09	34,72	82,45
N206	-60,09	34,72	82,45
N31	-60,09	-34,72	82,45
TOTALS	0,00	0,00	329,82



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N220	2,38	-2,94	0,77
N14	2,38	2,94	0,77
N3	-2,38	2,94	0,77
N209	-2,38	-2,94	0,77
N111	0,13	0,00	-11,81
N112	-0,13	0,00	-11,81



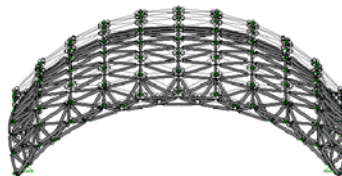
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M466	59,26	M351	-22,50
M498	59,26	M330	-22,50
M511	59,26	M461	-22,50
M479	59,26	M451	-22,50

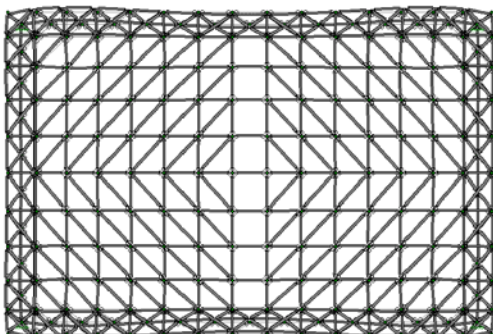
DEFORMADA



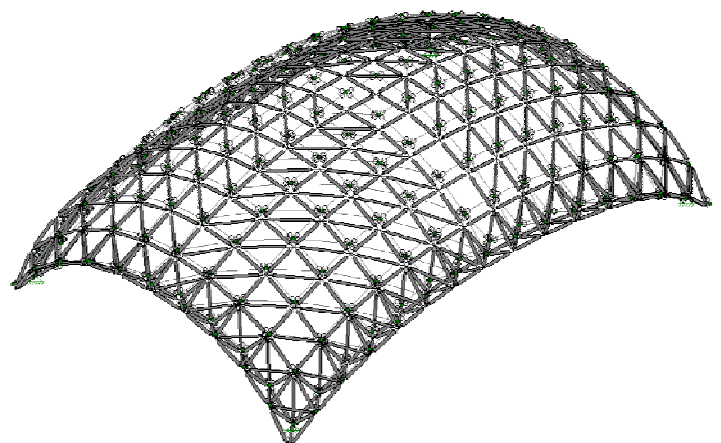
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA

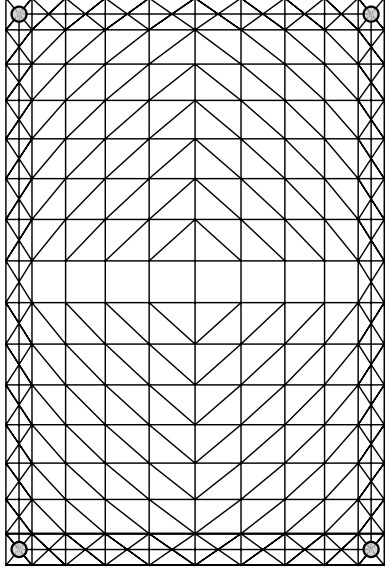


PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x3.00m

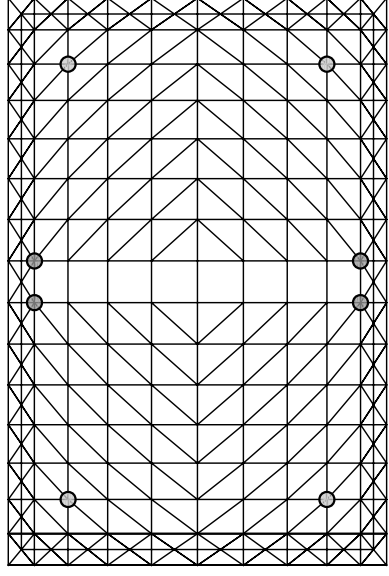
Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

AXIALS



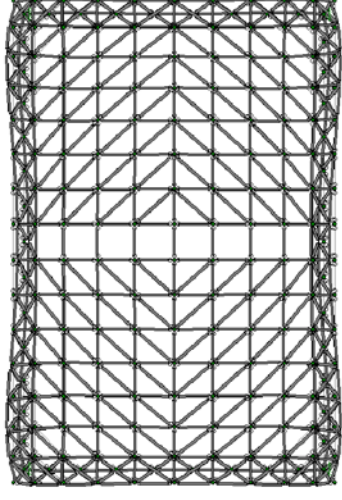
NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	50,72	-28,78	82,65
N31	-50,72	-28,78	82,65
N206	-50,72	28,78	82,65
N192	50,72	28,78	82,65
TOTALS	0,00	0,00	330,58

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

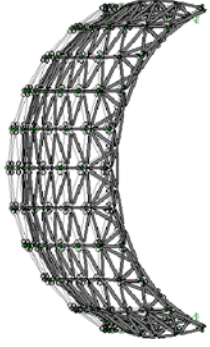


NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N220	2,84	-3,79	1,11
N3	-2,84	3,79	1,11
N209	-2,84	-3,79	1,11
N14	2,84	3,79	1,11
N214	0,06	3,11	-9,72
N8	0,06	-3,11	-9,72
N9	-0,06	-3,11	-9,72
N215	-0,06	3,11	-9,72

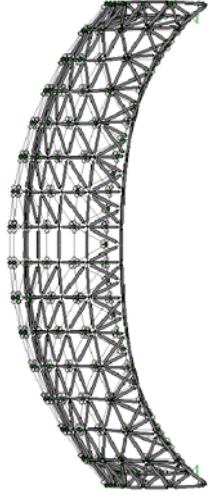
DEFORMADA



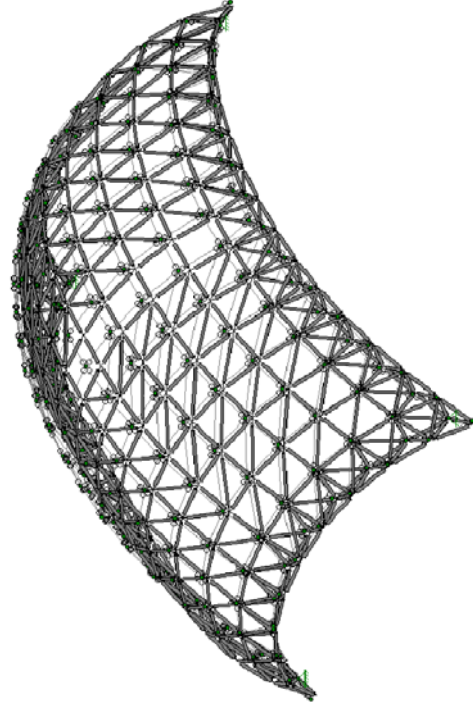
PLANTA



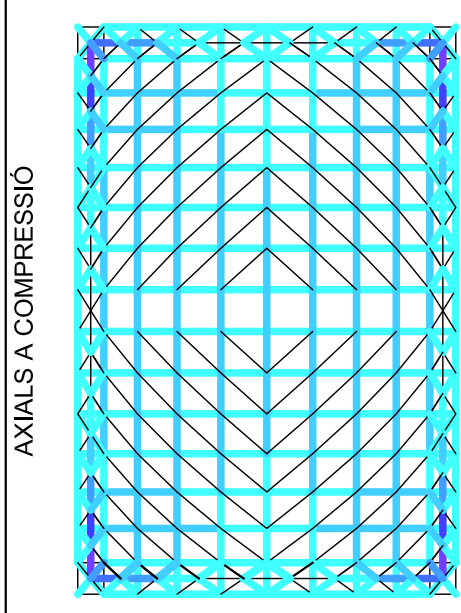
ALÇAT XZ



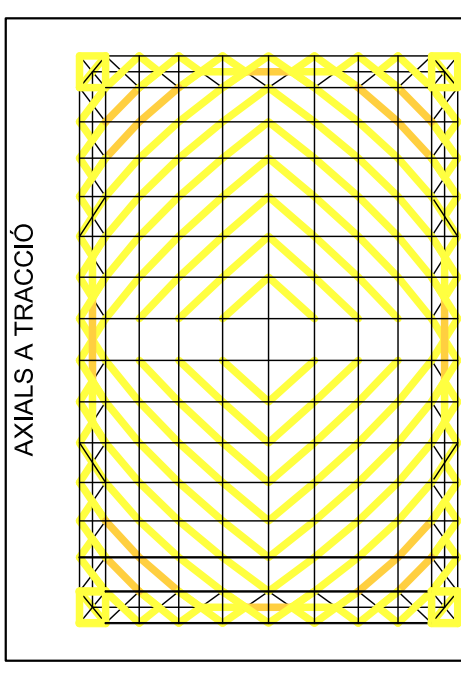
ALÇAT YZ



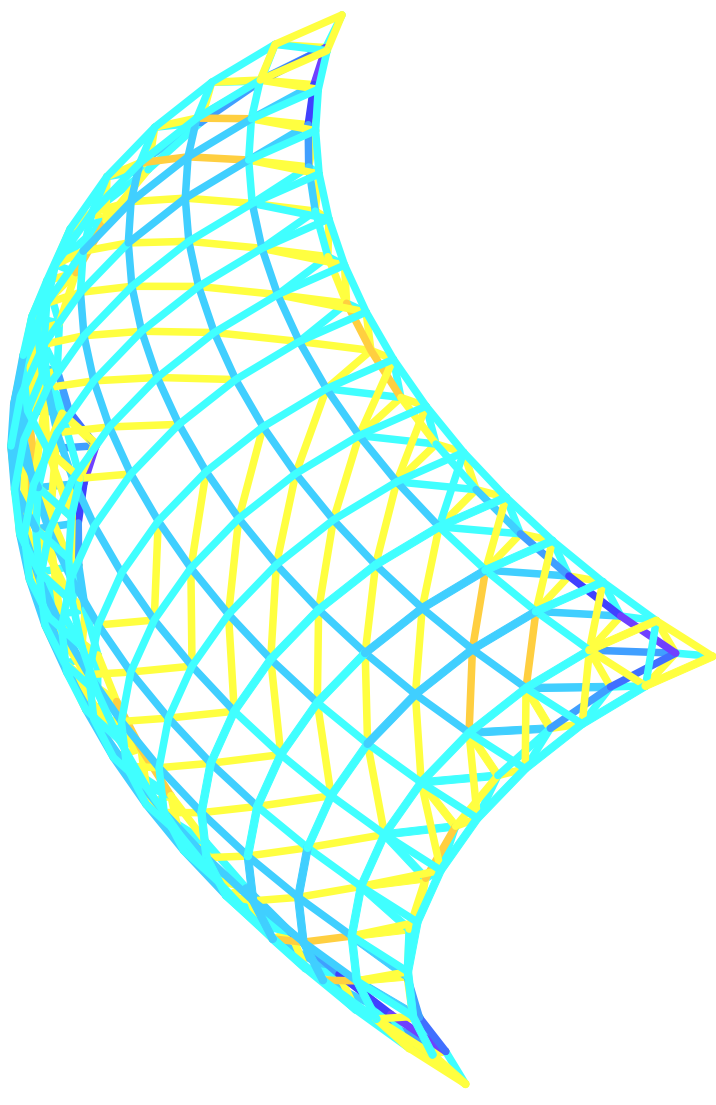
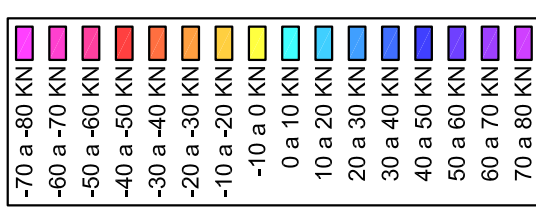
PERSPECTIVA



AXIALS MÀXIMS	
BARRES	COMPRESSIÓ (KN)
M479	54,80
M498	54,80
M466	54,80
M511	54,80



AXIALS MÀXIMS	
BARRES	TRACCIÓ (KN)
M330	-18,05
M351	-18,05
M451	-18,05
M461	-18,05

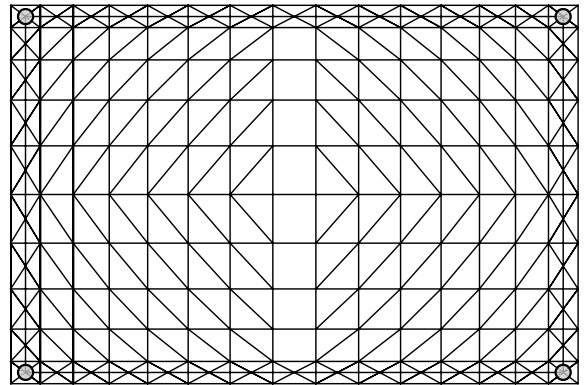


Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x3.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

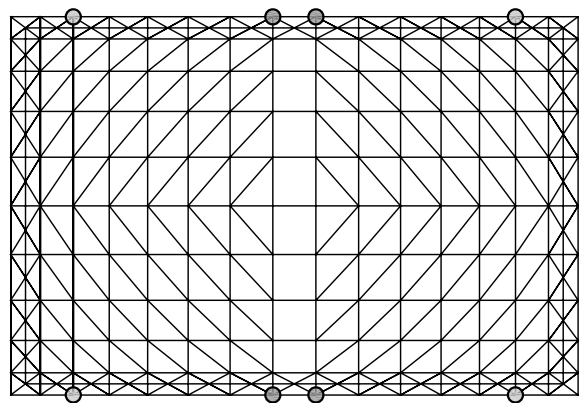
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	43,40	-24,05	82,87
N31	-43,40	-24,05	82,87
N206	-43,40	24,05	82,87
N192	43,40	24,05	82,87
TOTALS	0,00	0,00	331,48



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N3	-3,46	5,09	1,41
N220	3,46	-5,09	1,41
N209	-3,46	-5,09	1,41
N14	3,46	5,09	1,41
N214	0,06	5,07	-9,58
N9	-0,06	-5,07	-9,58
N8	0,06	-5,07	-9,58
N215	-0,06	5,07	-9,58



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M498	51,96	M461	-14,65
M488	51,96	M351	-14,65
M511	51,96	M451	-14,65
M475	51,96	M330	-14,65

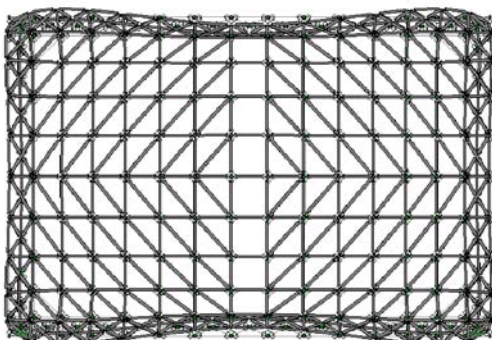
DEFORMADA



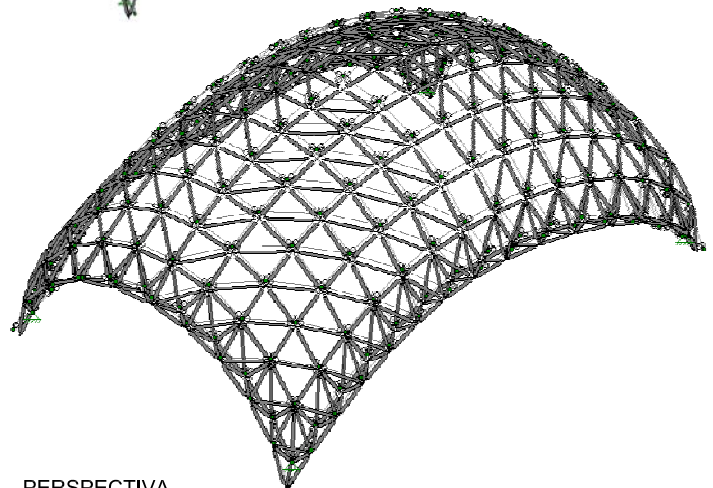
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.00m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

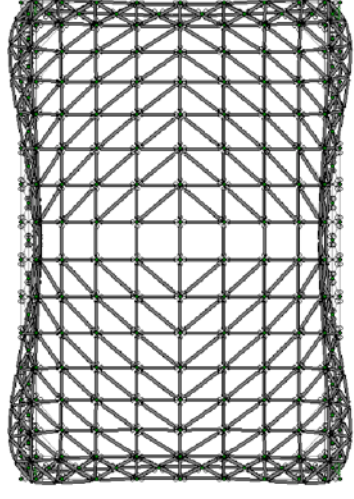
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	37,50	-20,16	83,13
N31	-37,50	-20,16	83,13
N206	-37,50	20,16	83,13
N192	37,50	20,16	83,13
TOTALS	0,00	0,00	332,50

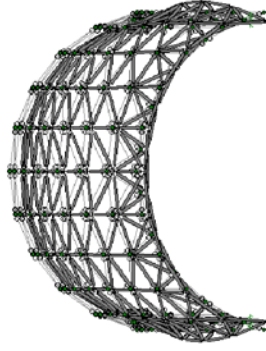
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N14	4,29	7,20	1,74
N220	4,29	-7,20	1,74
N3	-4,29	7,20	1,74
N209	-4,29	-7,20	1,74
N9	-0,06	-8,35	-9,98
N8	0,06	-8,35	-9,98
N214	0,06	8,35	-9,98
N215	-0,06	8,35	-9,98

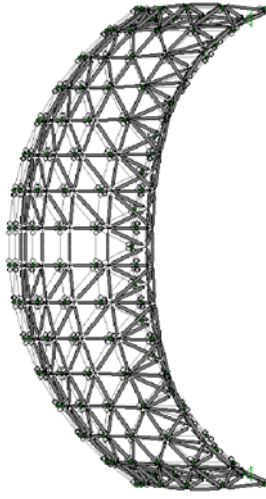
DEFORMADA



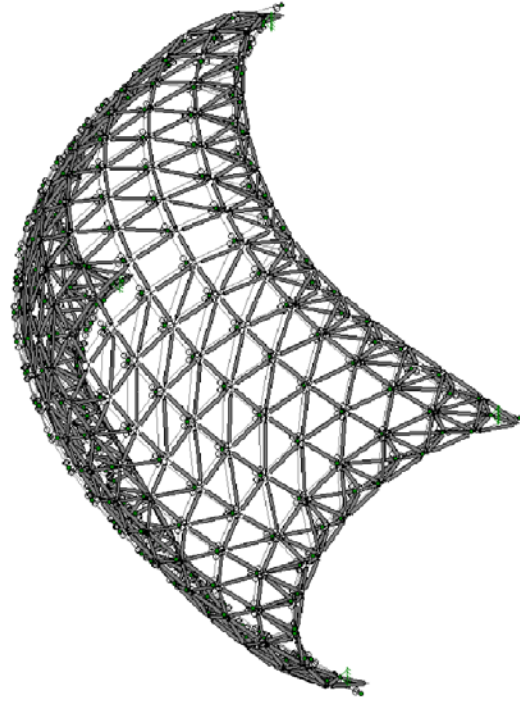
PLANTA



ALÇAT YZ

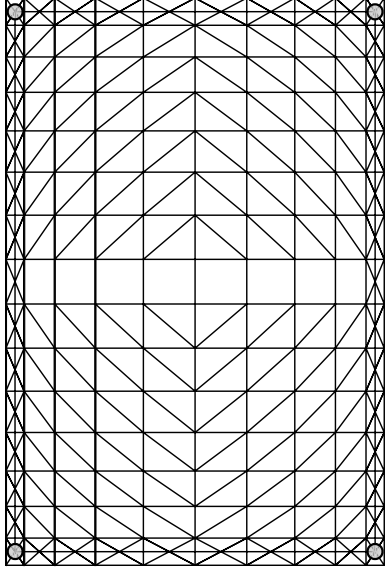


ALÇAT XZ

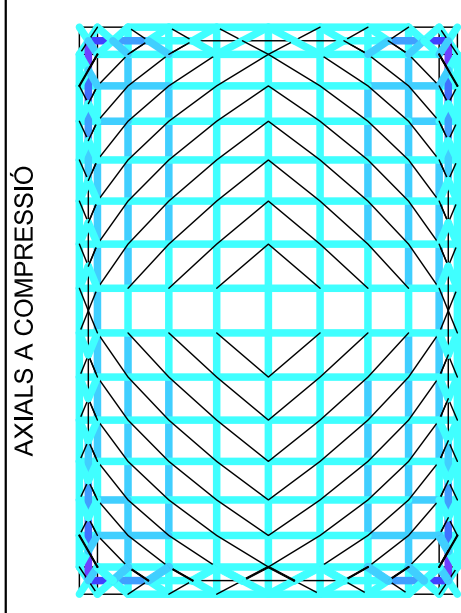


PERSPECTIVA

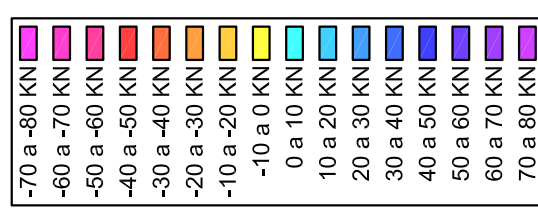
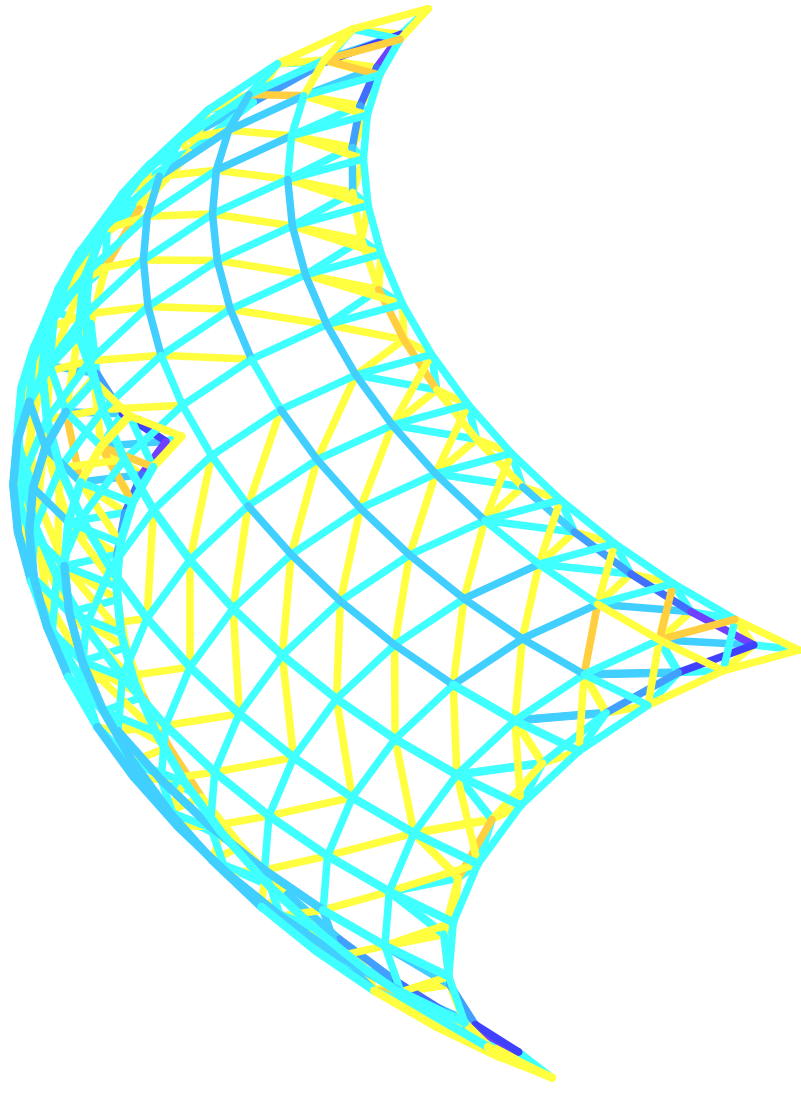
AXIALS



AXIALS MÀXIMS	
BARRES	COMPRESSIÓ (KN)
M511	50,19
M488	50,19
M475	50,19
M498	50,19



AXIALS MÀXIMS	
BARRES	TRACCIÓ (KN)
M493	-14,08
M470	-14,08

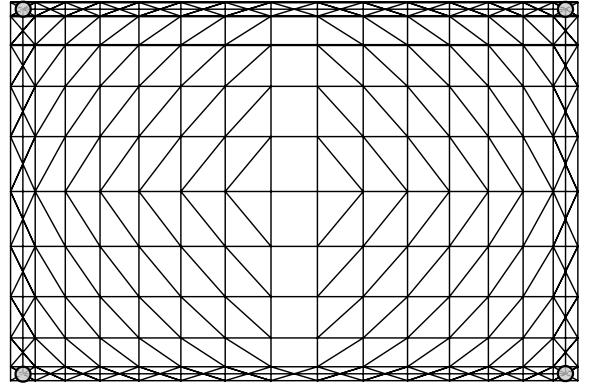


Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

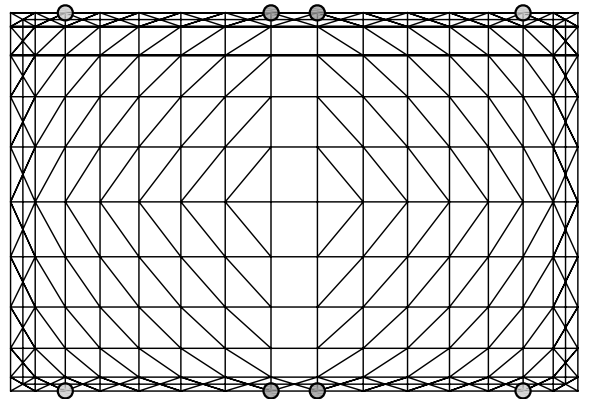
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	32,59	-16,86	83,41
N31	-32,59	-16,86	83,41
N206	-32,59	16,86	83,41
N192	32,59	16,86	83,41
TOTALS	0,00	0,00	333,63



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

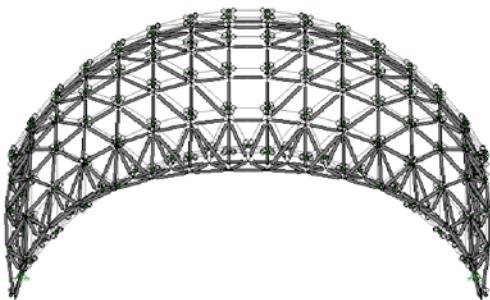
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N220	5,46	-11,01	2,14
N3	-5,46	11,01	2,14
N14	5,46	11,01	2,14
N209	-5,46	-11,01	2,14
N8	0,06	-14,58	-10,89
N9	-0,06	-14,58	-10,89
N215	-0,06	14,58	-10,89
N214	0,06	14,58	-10,89



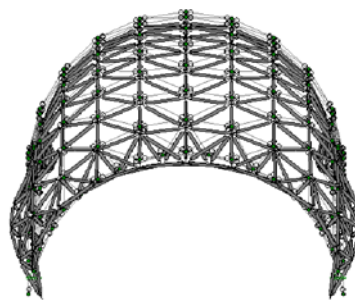
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M475	49,23	M470	-16,67
M488	49,23	M493	-16,67
M511	49,23		
M498	49,23		

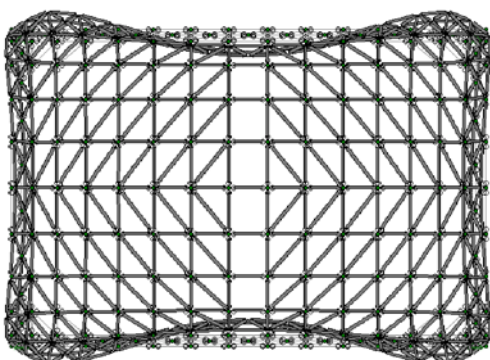
DEFORMADA



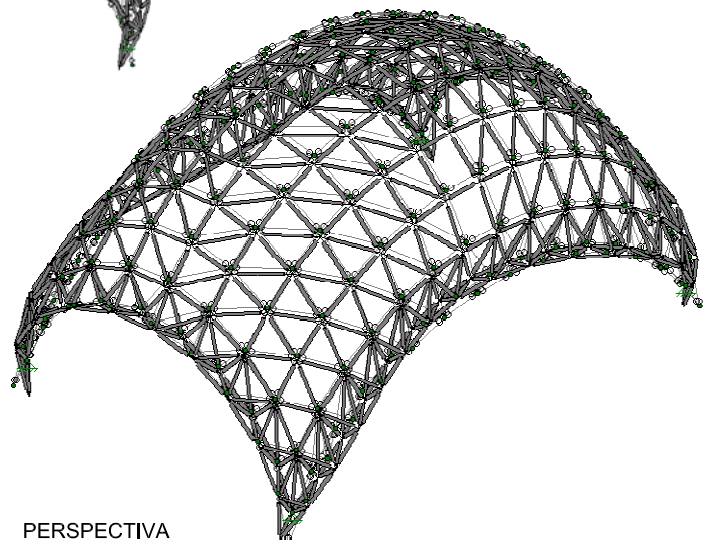
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA

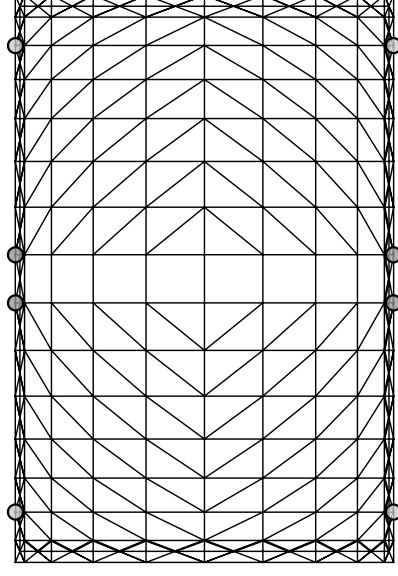
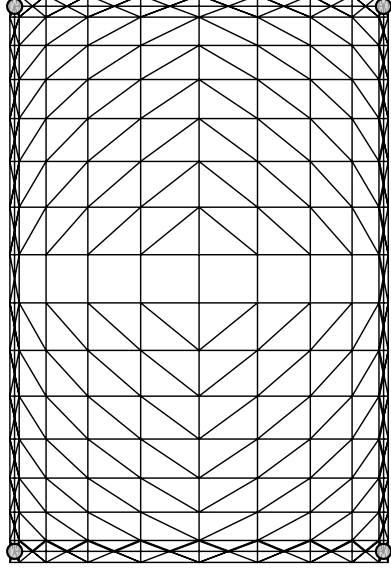
Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x5.00m

Quadricula ortogonal diagonalitzada amb perímetre reforçat

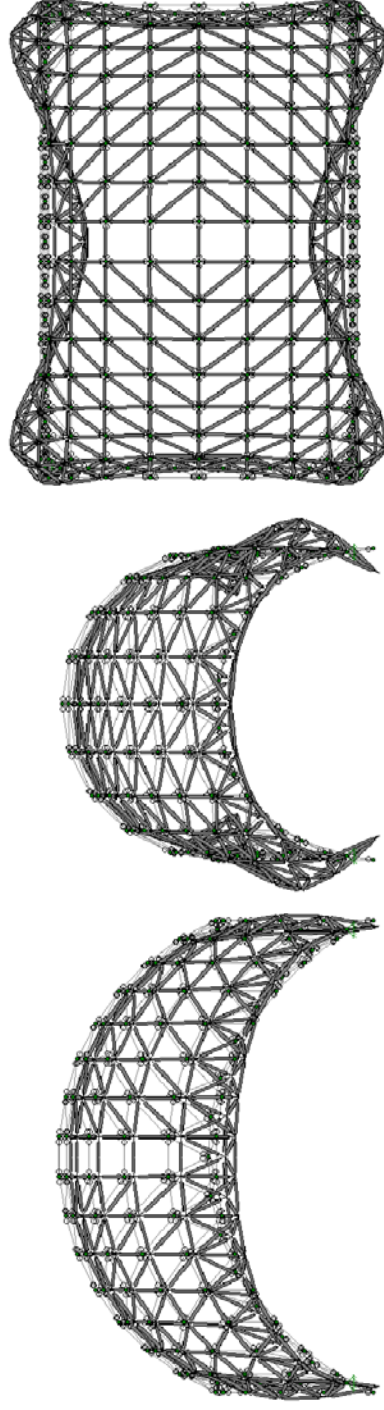
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N17	28,40	-13,99	83,72
N31	-28,40	-13,99	83,72
N206	-28,40	13,99	83,72
N192	28,40	13,99	83,72
TOTALS	0,00	0,00	334,87

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS



DEFORMADA

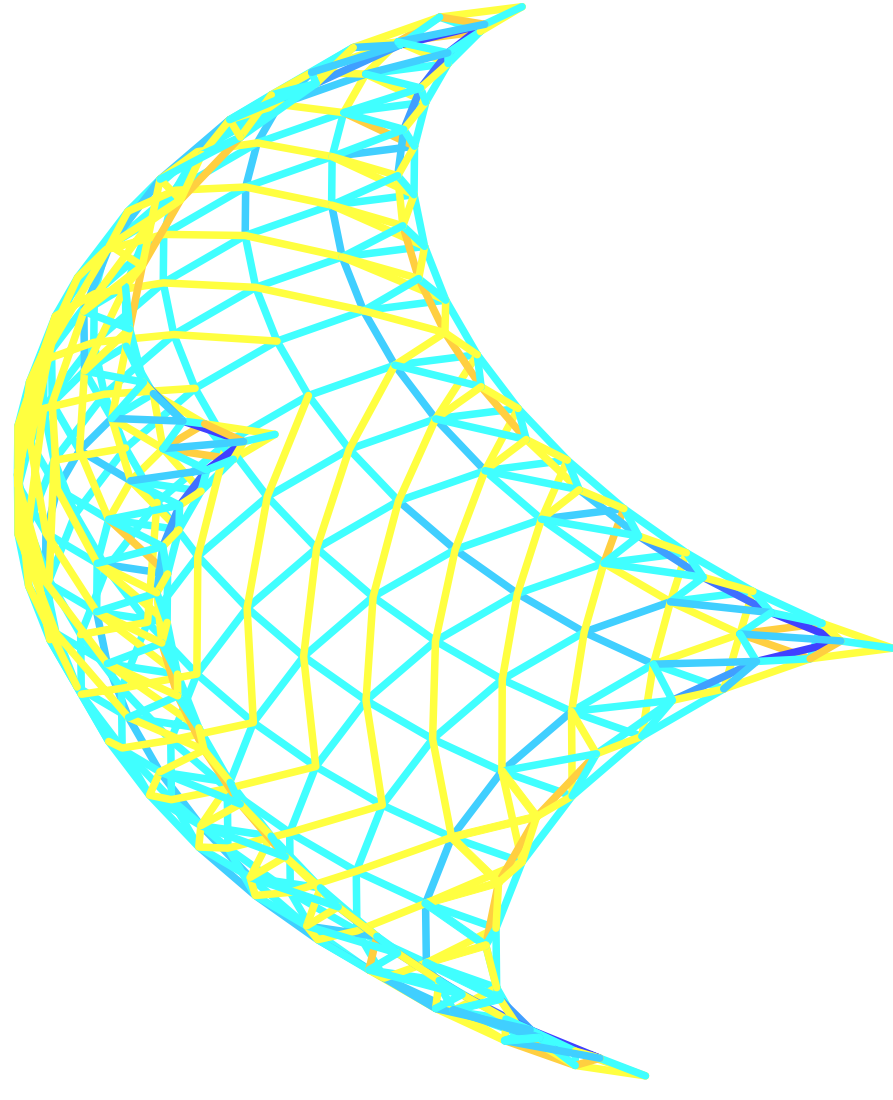
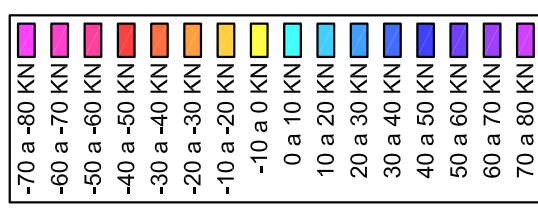
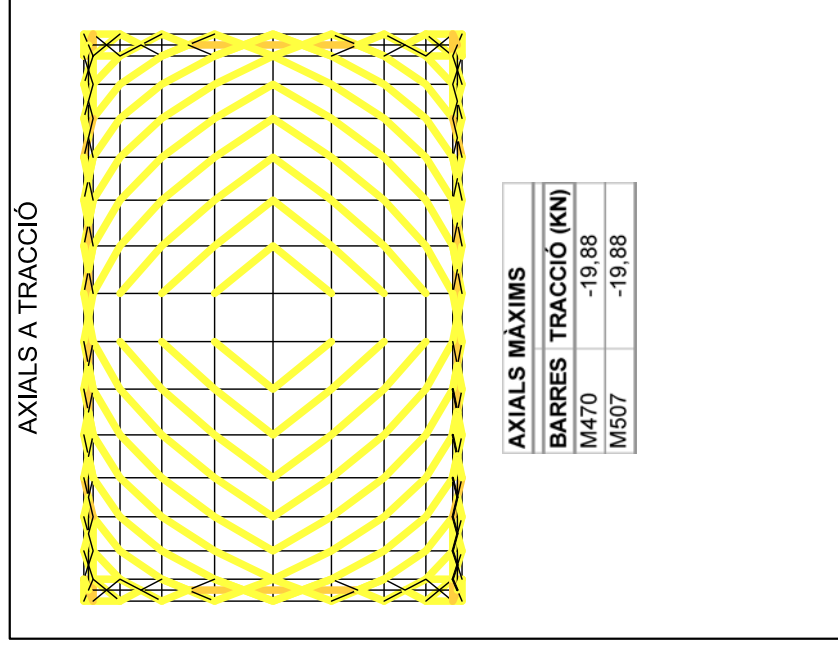
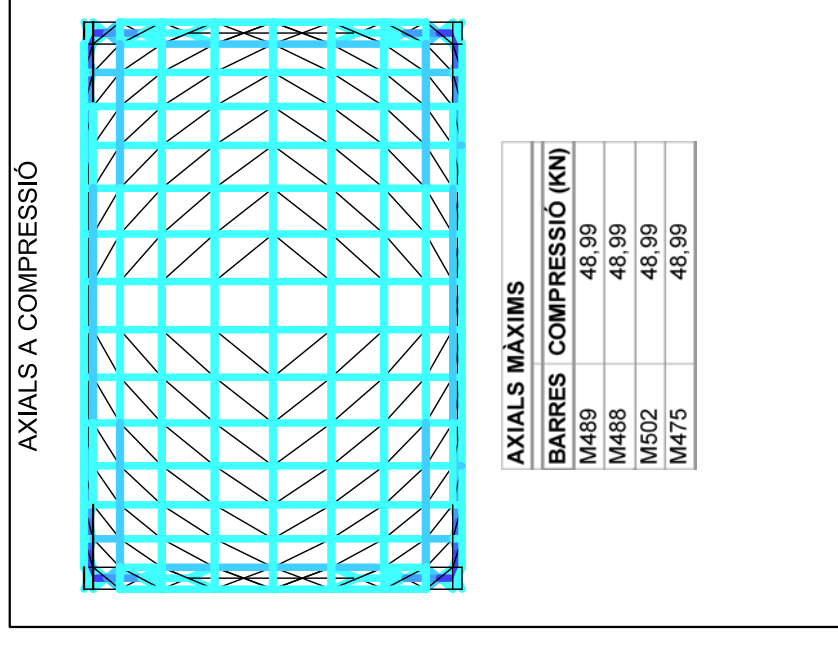


ALÇAT XZ

ALÇAT YZ

PLANTA

AXIALS



PERSPECTIVA



5.5. Estructures rectangulars: Conclusions parcials

En el cas de les estructures de planta rectangular, no succeeix el mateix que en les quadrangulars pel que fa a les reaccions dels recolzaments. En l'anterior cas, les reaccions en x i en y eren absolutament iguals, però per contra, en aquests últims casos presentats, no. Les reaccions en x van de 182,59 KN en el Cas 1, fins a 28,40 KN en el Cas 10. El decreixement que sembla presentar, per la diferència amb aquests dos valors, no és un decreixement lineal, sinó que presenta oscil·lacions, tal i com es presenta en les fitxes. El mateix succeeix en la component y de la reacció, però els valors, en aquest cas, van de 103,55 KN en el Cas 1, a 13,99 KN en el Cas 10. La component en l'eix z en la reacció dels recolzaments va de 95,96 KN al Cas 1, a 83,72 KN en el Cas 10, passant per un mínim de 82,45 KN al Cas 5.

En aquest cas, i de la mateixa manera que en el punt anterior, els desplaçaments màxims no coincideixen en x i en y. En l'eix x, els desplaçaments màxims van d'un mínim 1,55mm al Cas 3, a un màxim de 7,12mm al Cas 10. En l'eix y, es comença amb un mínim 1,73mm al Cas 3, a un màxim de 28,86mm al Cas 10. Per últim, els desplaçaments màxims en z van d'un rang de 9,58mm al Cas 7, a 91,51mm al Cas 1.

Passant a realitzar el comparatiu d'axials màxims, tenim, com en el cas de les estructures de planta quadrangular, compressions i traccions. Observant, en primer lloc, les compressions, s'inicia el Cas 1 amb un valor de 144.86 KN i es finalitza la comparació, al Cas 10, amb un valor de 48.99 KN. La variació que es pot apreciar entre els diferents casos objecte de comparació és oscil·latòria, tal i com es pot observar amb els resultats extrets de programa que es presenten a les anteriors fitxes. Pel que fa a les traccions màximes a les quals estan sotmeses les barres, tenim un rang que va des de 133.00 KN al Cas 1, a 19.88 KN al Cas 10, amb un valor mínim al Cas 8, de 14.08 KN. Per tant, i de la mateixa manera que amb les compressions, els resultats determinen una oscil·lació en vista dels valors observats.

En el cas de les estructures tridimensionals de planta rectangular, i en vista als axials objecte de comparació dels 10 casos, el cas que, per davant la resta, podríem considerar com el més idoni és el Cas 8. El Cas 8 presenta els axials mínims, dins els rangs d'axials màxims a compressió i tracció. Tot i no citar-ho anteriorment, al fer el comparatiu de valors de rang de compressions, el Cas 8 presenta, segons càlculs, un axial a compressió màxim de 50.19 KN.



En vista als anteriors apartats, el Cas 8 no només és el més favorable a nivell de comparatiu d'axials, sinó que també s'havia escollit en l'anterior apartat del projecte sobre la configuració microestructural, amb la comprovació de les seccions a pandeig.

Tot i haver arribat a aquest punt d'investigació, val a dir que, tal i com es comentava al marc teòric, les estructures d'aquesta tipologia milloren el seu comportament estructural un cop diagonalitzades. Com es pot observar, fins a aquest moment, s'ha realitzat aquest estudi de càlcul i optimització sense diagonalitzar la filada central de les estructures de planta rectangular. Aquest fet sorgeix en els casos on l'especejament de les barres per constituir la cúpula és imparell. Per tant, aquesta serà, un cop més, una raó més per a la continuació del nostre estudi.



6. ESPECEJAMENT IMPARELL / PARELL EN ESTRUCTURES DE PLANTA RECTANGULAR

Aquest apartat del projecte ajudarà a realitzar un incís dins la tipologia d'estructures tridimensionals d'una sola capa, de planta rectangular. El fet que es tracti d'una planta rectangular, pot plantejar certs problemes d'especejament. L'especejament serà funció de la longitud de barres amb les quals volem treballar, tant en el disseny com posterior muntatge i col·locació de l'estructura en qüestió. Tot i així, en poden resultar dues opcions: especejament parell i especejament imparell.

L'especejament imparell no ens provoca cap mena de distorsió en el procés de càlcul i optimització. Però en canvi, les estructures compostes per especejament imparell, sí. En aquestes hi apareix la filada central que ens apareixia fins al moment, en tot el projecte. Com que és necessari, segons els conceptes teòrics exposats, caldrà diagonalitzar l'estructura per complet. Per tant, això ens farà acabar d'encaminar l'estudi cap a la cerca del sentit de diagonalització pel que es tendirà a adoptar. Val a dir, que les diagonals treballen a tracció, i que per tant, el sentit a decidir serà l'acabat d'expressar.

Les diagonals com sabem, impedeixen una major deformació formal.

Com a conclusió d'aquest apartat, en trauríem la que ve a continuació: les estructures de planta rectangular amb un especejament, en qualsevol dels dos sentits o en ambdós, imparell, caldrà que tota ella disposi de diagonals, per evitar majors deformacions.



7. CONFIGURACIÓ ÒPTIMA, EN CAS D'UN ESPECEJAMENT IMPARELL

7.1. Mètode

Derivat de l'explicació de l'apartat anterior, es passarà a buscar els resultats del comportament estructural d'estructures de planta rectangular totalment diagonalitzades, per tal de realitzar un comparatiu amb les dades obtingudes a l'estudi, fins al moment.

Així doncs, en l'estructura tridimensional de planta rectangular objecte d'estudi, l'especejament adoptat ha causat una disposició, en la seva cara llarga, imparell, cosa que provoca la falta o incertesa en la diagonalització de la filera quadrangular del mig. Per solventar-ho, s'optarà per diagonalitzar aquesta filera, però caldrà comprovar prèviament, en quin sentit ens és més útil. Cal que les diagonals treballin a tracció, evitant així la deformació que es pugui produir en la forma quadrangular base de composició de la filera.

En l'apartat de configuració òptima s'havia arribat a la conclusió que l'estructura òptima de planta rectangular era el Cas 8, de 10.00x15.00m de planta amb 4.00m de fletxa. Ja que per les dimensions estudiades, aquesta s'ha considerat finalment com a òptima, el comparatiu que es realitzarà a continuació, fruit d'aquest apartat, només tindrà en compte aquest mateix cas, el seu anterior i per últim, el que el segueix. Per tant, en aquest apartat de configuració òptima, només pel cas de trobar-nos amb un especejament imparell, compararem el Cas 7, el Cas 8 i el Cas 9. S'ha decidit treballar amb un marge mínim, per tal de comprovar si el cas òptim és constant en aquest apartat, tal i com en els anteriors o no.

Les dades que s'introduiran al programa informàtic de càlcul estructural seran les mateixes que en l'anomenat apartat de configuració òptima. En aquest cas, l'única cosa que variarà serà la diagonalització de la filada central. Aquesta diagonalització permet dues opcions, segons les direccions de diagonals adoptades. S'estudiaran doncs, els resultats obtinguts dels dos casos.



Per començar, es realitzarà una comprovació de pandeig de barres, per tal de determinar els diàmetres necessaris per cada cas, i en funció de les càrregues que rep l'estructura i el seu pes propi. Un cop obtinguda la secció, es passarà a calcular el comportament estructural de cada cas, mitjançant el programa de càlcul. Finalment, dels tres casos se n'extraurà l'idoni, per tal de permetre continuar l'estudi amb la comparació d'aquest amb l'estipulat anteriorment com a cas òptim.

Cal tenir present, que resultats com les reaccions als recolzaments i els axials augmentaran degut al pes propi. A l'introduir més barres en la configuració geomètrica de les estructures de planta rectangular, també s'incrementarà el pes propi que se'n genera.

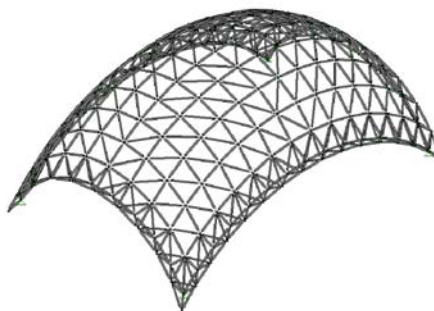
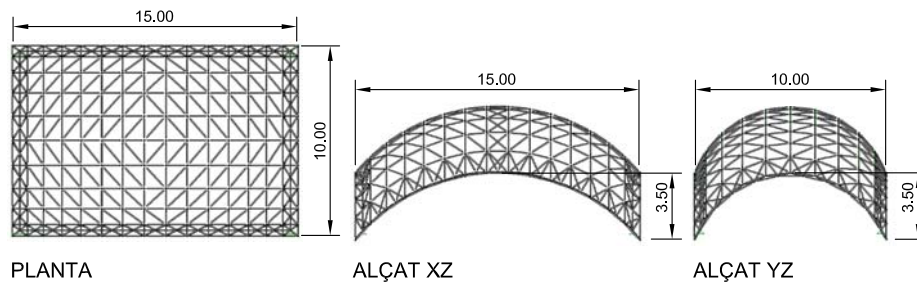
Per acabar aquest apartat, i per proporcionar una major exactitud en l'estudi comparatiu de càlcul i optimització d'estructures reticulars metàl·liques, es posaran a prova els tres mateixos casos, però introduint aquest cop un reforç central. Aquest reforç central tindrà les mateixes característiques i disseny que els reforços perimetrals que s'han afegit a les estructures inicials, a partir de l'apartat de configuració macroestructural reforçada. Per tant, es tractarà d'un reforç inferior situat a l'eix de simetria del costat llarg, el qual baixarà 50cm de la capa superior i els nusos inferiors es situaran al centre de la diagonal de la capa superior. Es comprovarà si la fletxa global en aquests casos serà menor que en la resta, a causa de la rigidesa proporcionada per aquest reforç, o per contra major, a causa de l'increment de pes propi que proporcionarà al conjunt.



7.2. Diagonalització central

7.2.1. Comprovació de pandeig

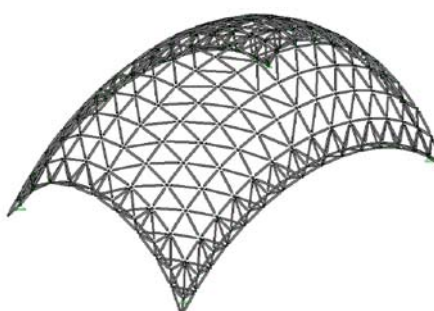
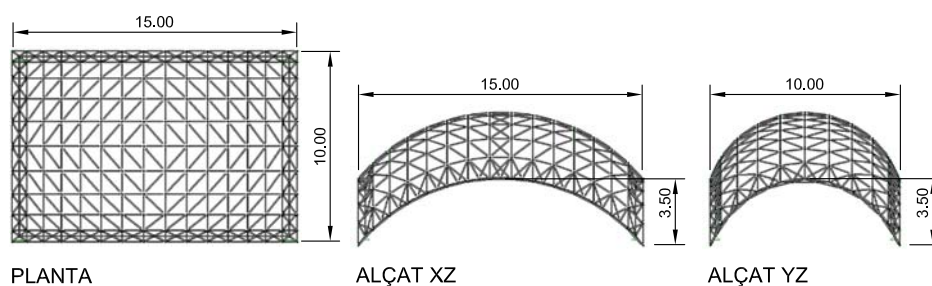
CAS 7: 10x10x3.50m Diagonalització central Tipus 1



PRESPECTIVA

E: 1/400

CAS 7: 10x10x3.50m Diagonalització central Tipus 2

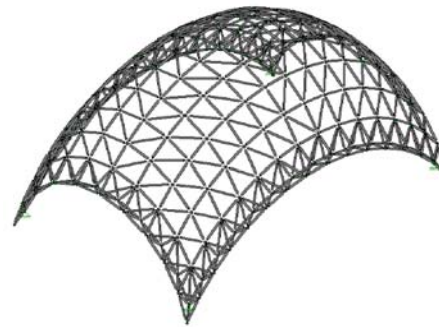
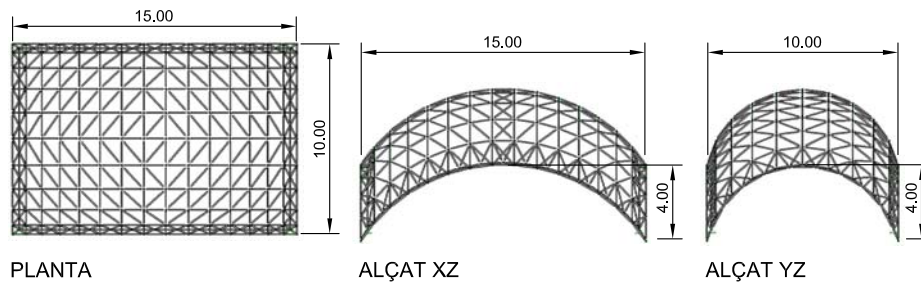


PRESPECTIVA

E: 1/400

Cas 7 (10x15x3,50m)	I_{YY} (mm^4)	A (mm^2)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	σ calculada (KN/ mm^2)	σ m àx adm issible (KN/ mm^2)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	49,888	1	1,137	1.137	112,683	2,420	0,899	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	50,658	1	1,137	1.137	83,467	1,570	0,438	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	51,428	1	1,137	1.137	66,276	1,290	0,290	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	52,198	1	1,137	1.137	54,955	1,170	0,222	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	52,968	1	1,137	1.137	46,937	1,110	0,182	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	53,738	1	1,137	1.137	40,960	1,080	0,157	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	54,508	1	1,137	1.137	36,333	1,060	0,139	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	55,278	1	1,137	1.137	32,645	1,050	0,125	0,260	SI

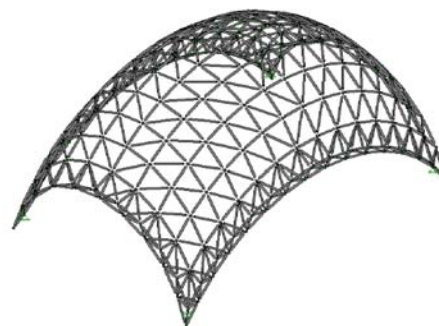
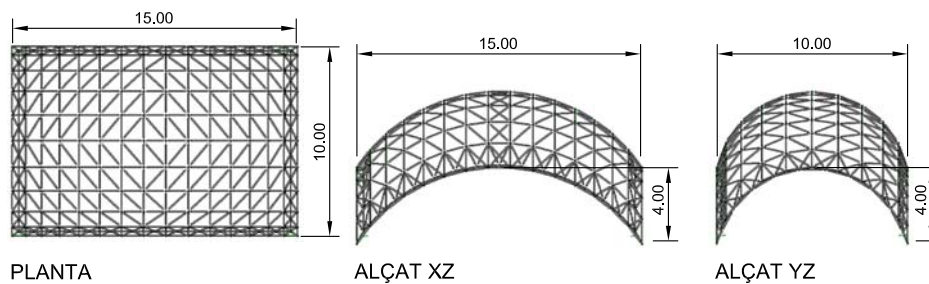
CAS 8: 10x10x4.00m Diagonalització central Tipus 1



PRESPECTIVA

E: 1/400

CAS 8: 10x10x4.00m Diagonalització central Tipus 2

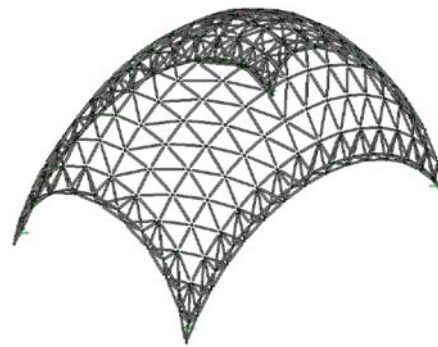
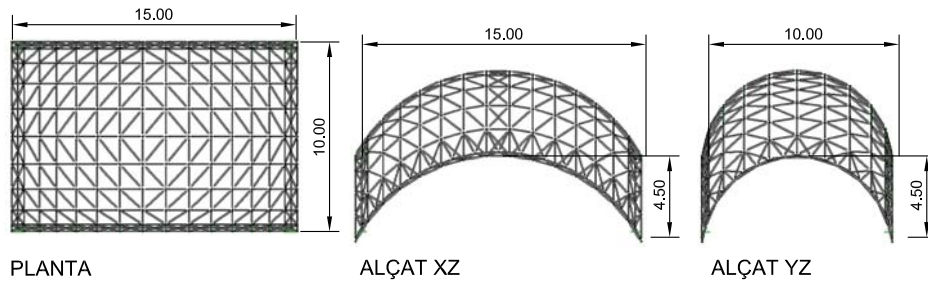


PRESPECTIVA

E: 1/400

Cas 8 (10x15x4,00m)	I_{YY} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x\ admissible}$ (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	48,123	1	1,177	1.177	116,648	2,560	0,917	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	48,892	1	1,177	1.177	86,404	1,640	0,442	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	49,662	1	1,177	1.177	68,608	1,330	0,289	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	50,432	1	1,177	1.177	56,888	1,190	0,218	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	51,202	1	1,177	1.177	48,588	1,120	0,178	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	51,972	1	1,177	1.177	42,401	1,080	0,152	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	52,741	1	1,177	1.177	37,611	1,070	0,135	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	53,511	1	1,177	1.177	33,794	1,050	0,121	0,260	SI

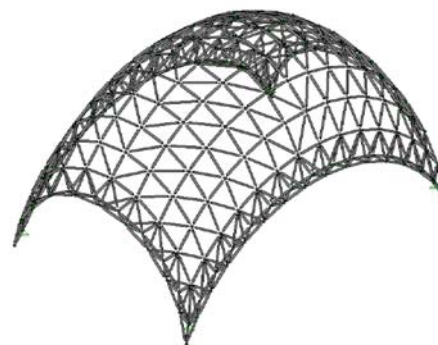
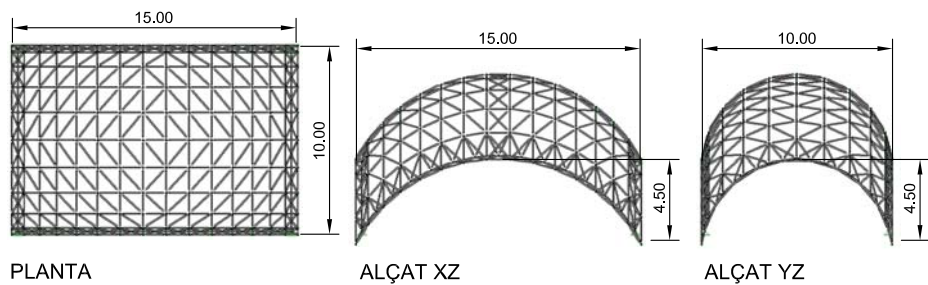
CAS 9: 10x10x4.50m Diagonalització central Tipus 1



PRESPECTIVA

E: 1/400

CAS 9: 10x10x4.50m Diagonalització central Tipus 2



PRESPECTIVA

E: 1/400

Cas 9 (10x15x4,50m)	$I_{YY} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada} (KN/mm^2)$	$\sigma_{m\grave{a}x adm issible} (KN/mm^2)$	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	47,118	1	1,221	1.221	121,008	2,710	0,951	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	47,902	1	1,221	1.221	89,634	1,740	0,459	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	48,686	1	1,221	1.221	71,172	1,360	0,290	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	49,470	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,217	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	50,254	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,176	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	51,038	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,150	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	51,822	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,133	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	52,606	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,119	0,260	SI



7.2. Diagonalització central

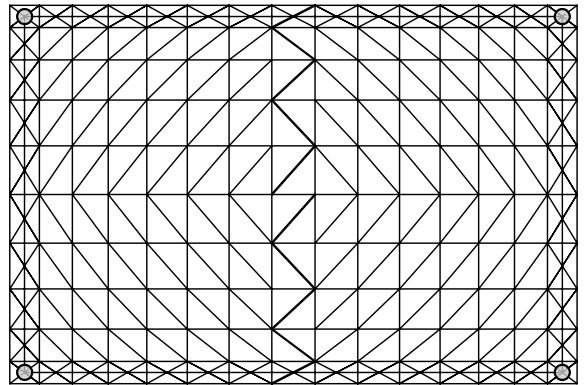
7.2.2. Comparatiu de resultats

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x3.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 1

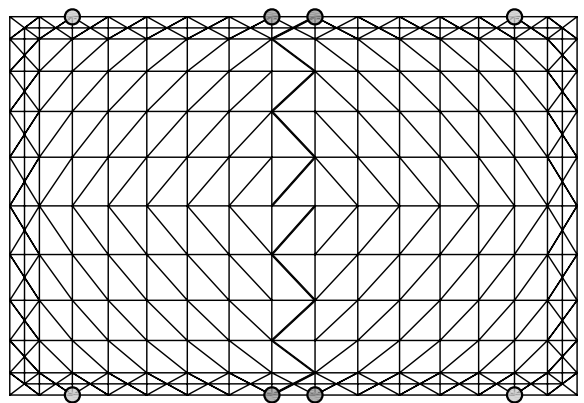
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N192	43,59	24,12	83,11
N17	43,45	-24,03	82,92
N206	-43,45	24,03	82,92
N31	-43,59	-24,12	83,11
TOTALS	0,00	0,00	332,04



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N220	3,48	-5,12	1,44
N3	-3,48	5,12	1,44
N14	3,45	5,09	1,40
N209	-3,45	-5,09	1,40
N214	0,06	5,09	-9,65
N9	-0,06	-5,09	-9,65
N8	0,03	-4,96	-9,54
N215	-0,03	4,96	-9,54



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M231	52,19	M245	-14,69
M195	52,19	M355	-14,69
M208	52,01	M255	-14,67
M218	52,01	M376	-14,67

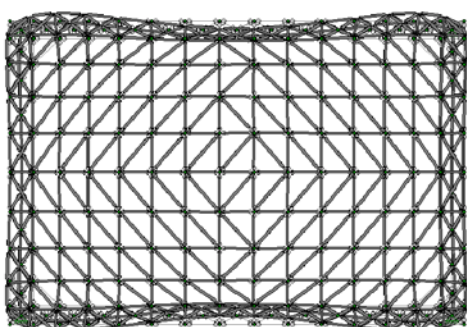
DEFORMADA



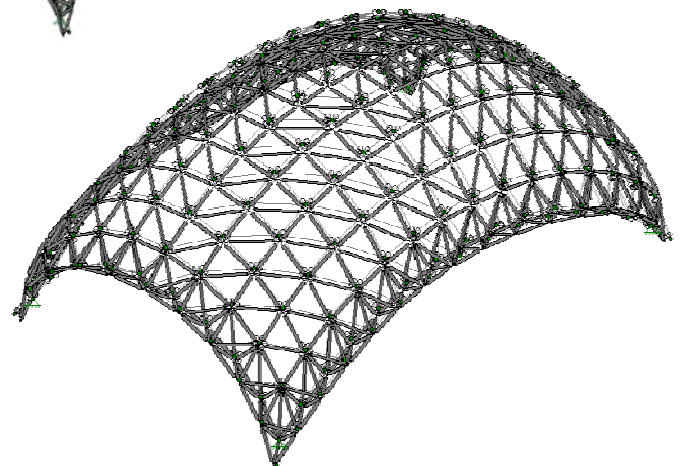
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



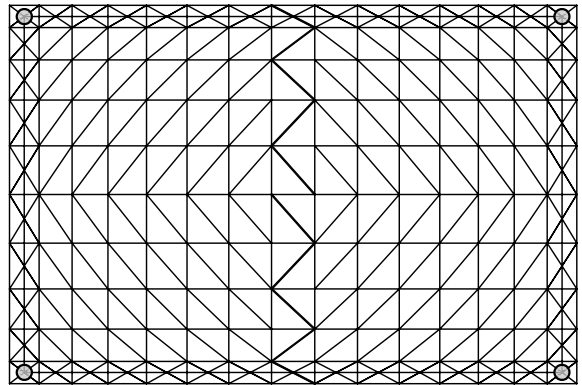
PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x3.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 2

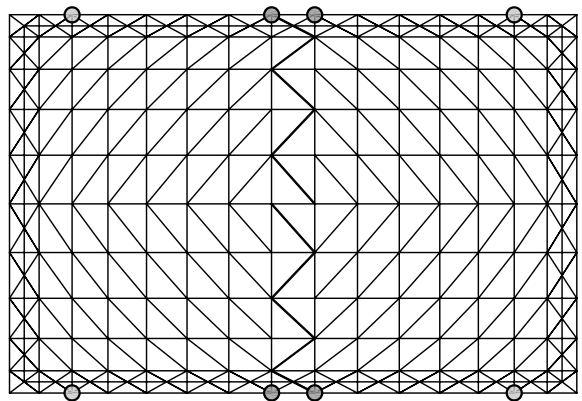
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N192	43,45	24,03	82,92
N17	43,59	-24,12	83,11
N206	-43,59	24,12	83,11
N31	-43,45	-24,03	82,92
TOTALS	0,00	0,00	332,04



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

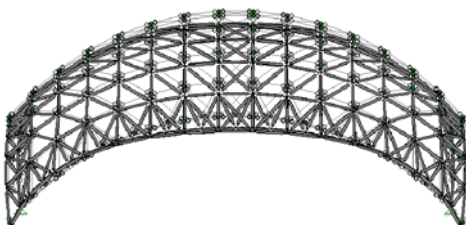
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N14	3,48	5,12	1,44
N209	-3,48	-5,12	1,44
N220	3,45	-5,09	1,40
N3	-3,45	5,09	1,40
N8	0,06	-5,09	-9,65
N215	-0,06	5,09	-9,65
N9	-0,03	-4,96	-9,54
N214	0,03	4,96	-9,54



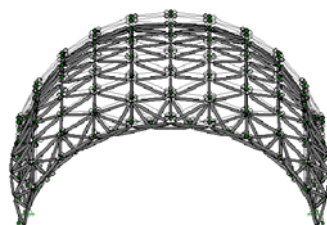
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M218	52,19	M376	-14,69
M208	52,19	M255	-14,69
M231	52,01	M245	-14,67
M195	52,01	M355	-14,67

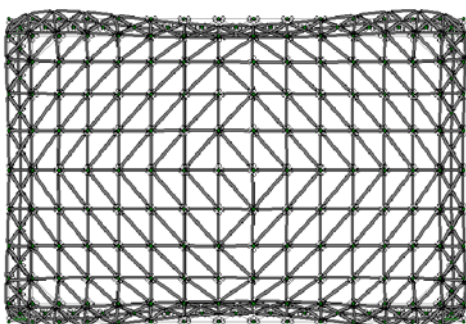
DEFORMADA



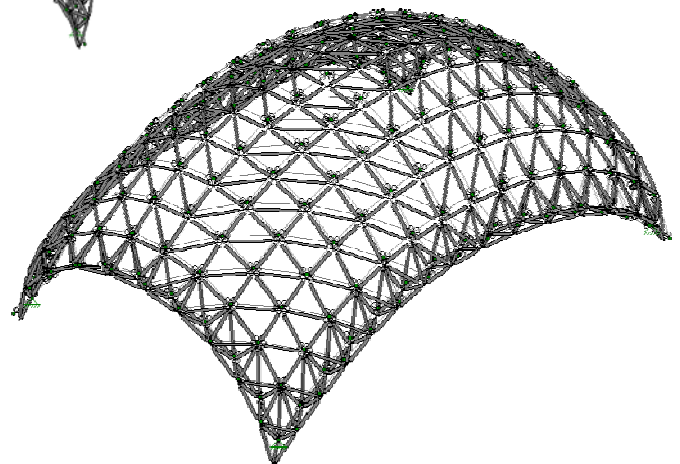
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



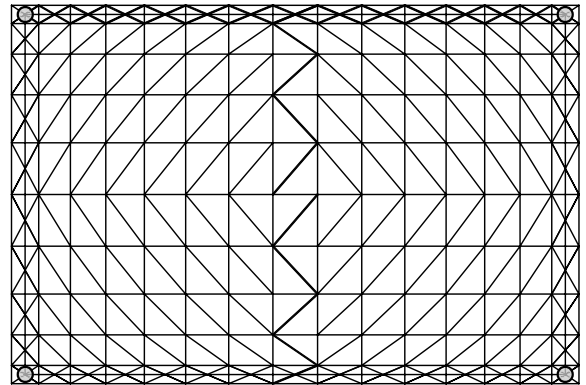
PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 1

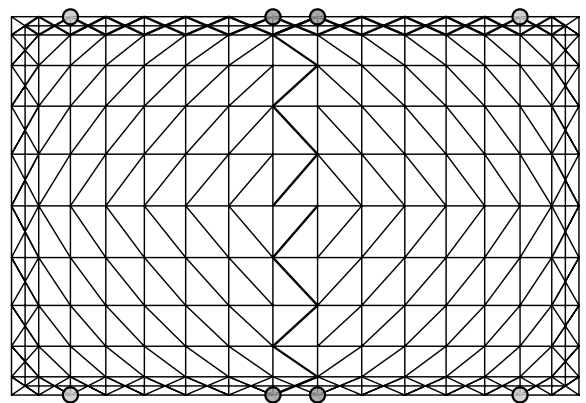
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N206	-37,55	20,14	83,18
N31	-37,66	-20,22	83,36
N192	37,66	20,22	83,36
N17	37,55	-20,14	83,18
TOTALS	0,00	0,00	333,09



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N3	-4,33	7,25	1,77
N220	4,33	-7,25	1,77
N14	4,29	7,20	1,73
N209	-4,29	-7,20	1,73
N9	-0,08	-8,41	-10,07
N214	0,08	8,41	-10,07
N8	0,02	-8,22	-9,93
N215	-0,02	8,22	-9,93



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M218	50,42	M213	-14,10
M208	50,42	M236	-14,10
M231	50,26	M224	-13,84
M195	50,26	M202	-13,84

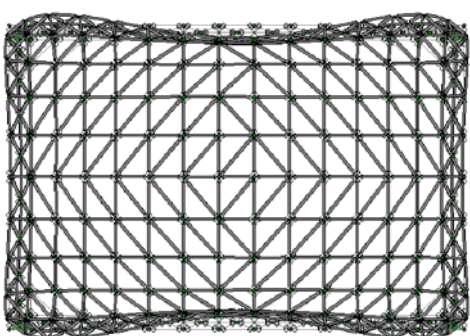
DEFORMADA



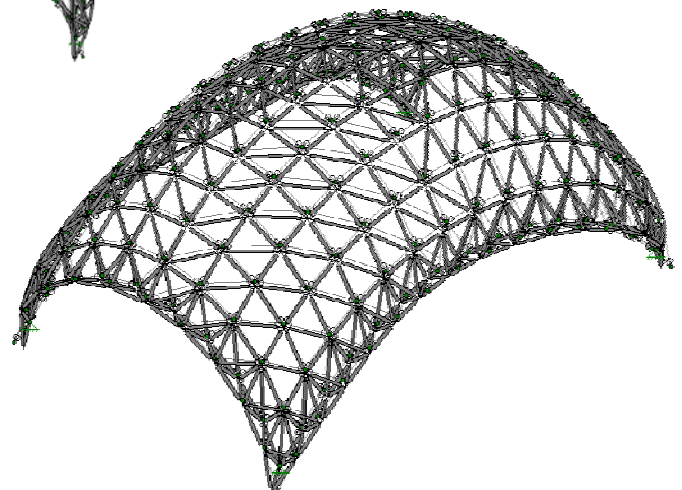
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



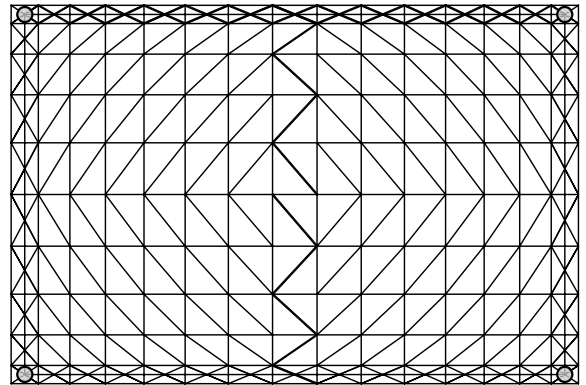
PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.00m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 2

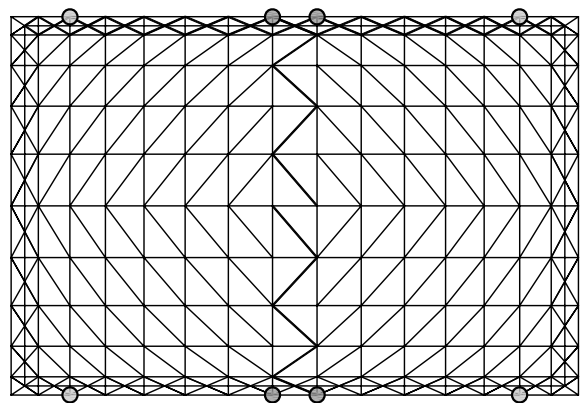
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N206	-37,66	20,22	83,36
N31	-37,55	-20,14	83,18
N192	37,55	20,14	83,18
N17	37,66	-20,22	83,36
TOTALS	0,00	0,00	333,09



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N14	4,33	7,25	1,77
N209	-4,33	-7,25	1,77
N220	4,29	-7,20	1,73
N3	-4,29	7,20	1,73
N8	0,08	-8,41	-10,07
N215	-0,08	8,41	-10,07
N214	0,02	8,22	-9,93
N9	-0,02	-8,22	-9,93



AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M195	50,42	M213	-14,10
M231	50,42	M236	-14,10
M218	50,26	M225	-13,84
M208	50,26	M201	-13,84

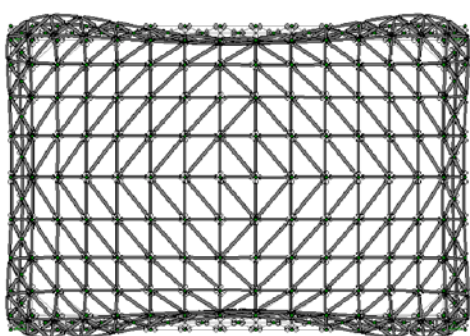
DEFORMADA



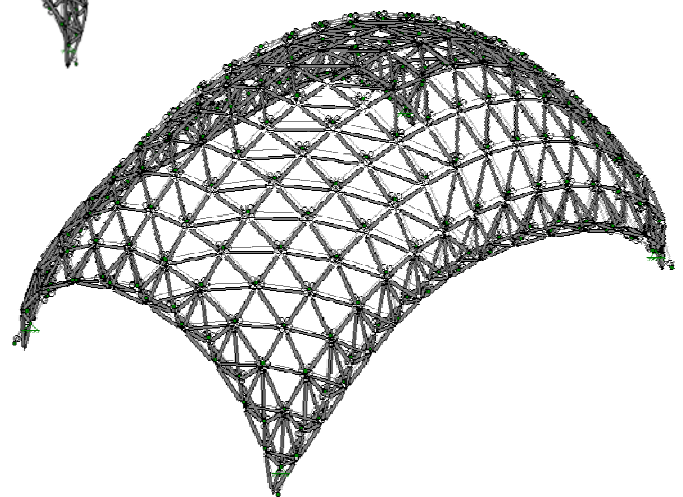
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



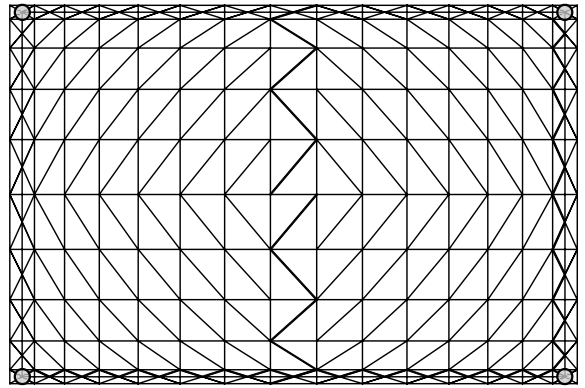
PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 1

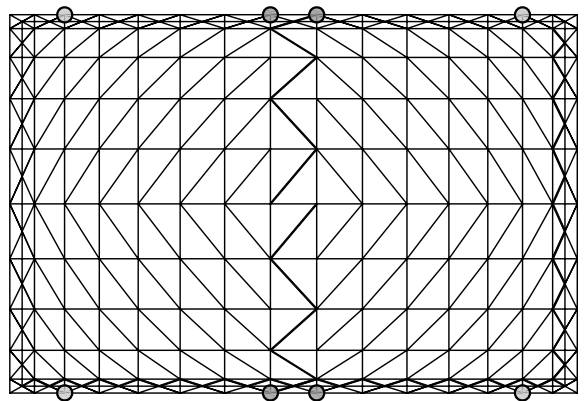
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N206	-32,64	16,84	83,48
N31	-32,73	-16,91	83,65
N17	32,64	-16,84	83,48
N192	32,73	16,91	83,65
TOTALS	0,00	0,00	334,25



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N220	5,50	-11,09	2,17
N3	-5,50	11,09	2,17
N14	5,46	11,02	2,14
N209	-5,46	-11,02	2,14
N9	-0,10	-14,71	-11,01
N214	0,10	14,71	-11,01
N8	0,01	-14,39	-10,84
N215	-0,01	14,39	-10,84



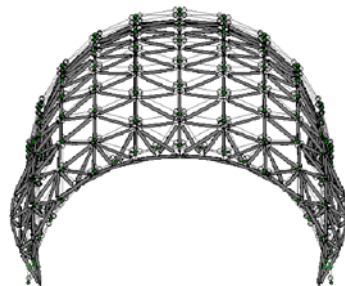
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M218	49,45	M236	-16,69
M208	49,45	M213	-16,69
M195	49,31	M202	-15,05
M231	49,31	M224	-15,05

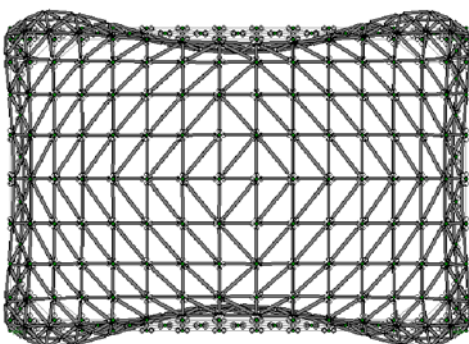
DEFORMADA



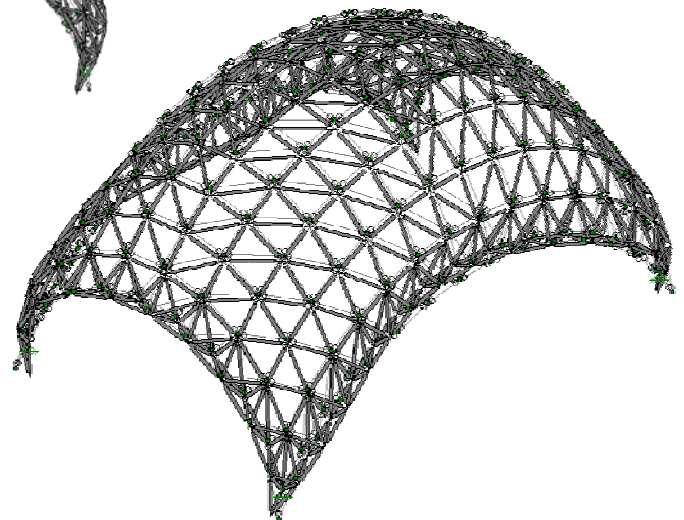
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



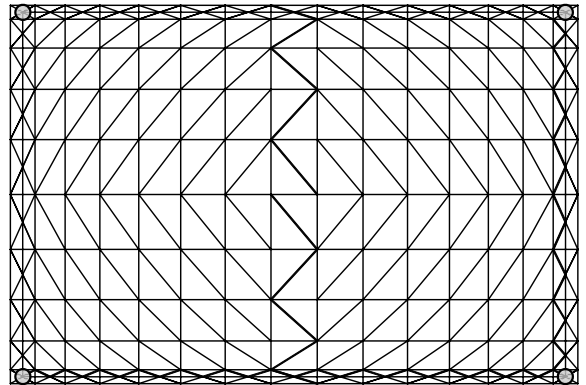
PERSPECTIVA

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals. Tipus 2

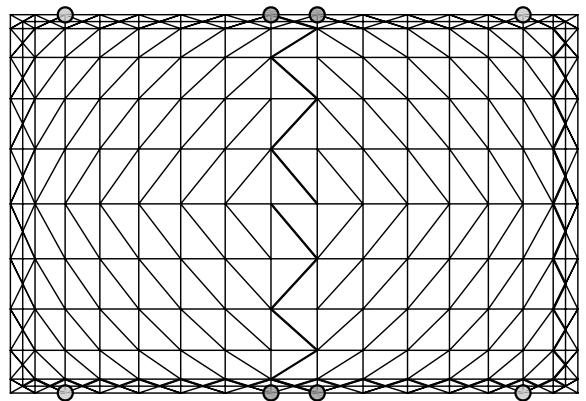
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N206	-32,73	16,91	83,65
N31	-32,64	-16,84	83,48
N17	32,73	-16,91	83,65
N192	32,64	16,84	83,48
TOTALS	0,00	0,00	334,25



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

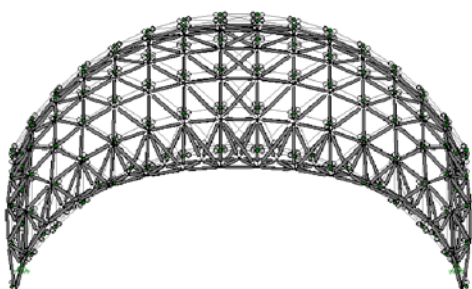
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N209	-5,50	-11,09	2,17
N14	5,50	11,09	2,17
N3	-5,46	11,02	2,14
N220	5,46	-11,02	2,14
N8	0,10	-14,71	-11,01
N215	-0,10	14,71	-11,01
N9	-0,01	-14,39	-10,84
N214	0,01	14,39	-10,84



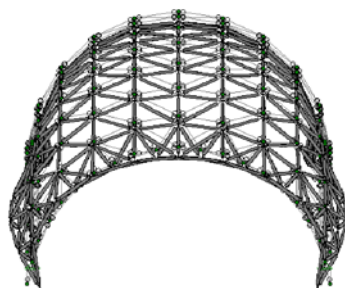
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M231	49,45	M236	-16,69
M195	49,45	M213	-16,69
M208	49,31	M225	-15,05
M218	49,31	M201	-15,05

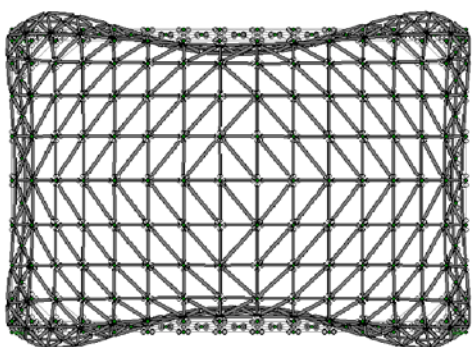
DEFORMADA



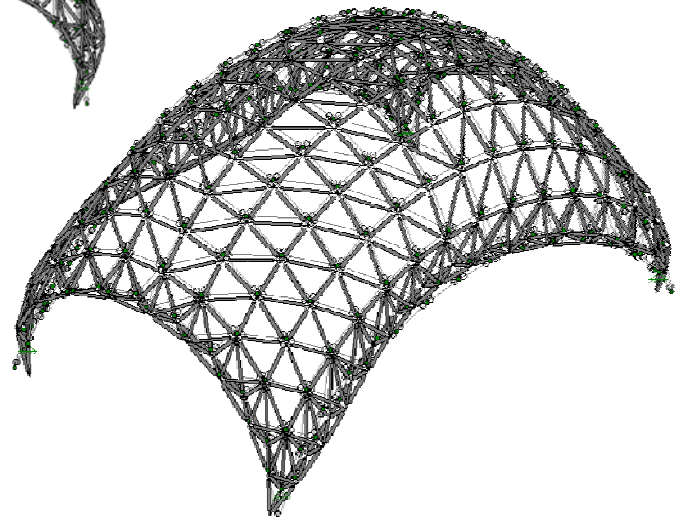
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA



7.3. Diagonalitzacions centrals: Conclusions parcials

Tal i com s'ha exposat al mètode, en aquest apartat només es comparen tres dels 10 casos de planta rectangular, estudiats fins al moment. Aquests tres casos es subdivideixen en sis, ja que s'ha diagonalitzat cada cas en els dos sentits possibles, tal i com es mostra a continuació:

En primer lloc, s'ha realitzat la comprovació a pandeig de les barres més comprimides, de cada cas. Tot i tenir un total de sis casos, el sentit de diagonalització no afecta en aquest comparatiu, ja que el pes propi per cadascun dels tres grans casos serà el mateix. Els càlculs que s'han dut a terme, en aquest apartat, són exactament els mateixos que els exposats en l'anterior apartat, sobre configuració microestructural. Observant els resultats, i comparant amb la configuració òptima obtinguda anteriorment, amb les estructures diagonalitzades, excepte en la seva filada central, es pot veure que en aquest cas, la configuració més òptima és el Cas 9 de 10.00x15.00m de planta amb una fletxa de 4.50m. El Cas 9 és l'estructura on les barres comprimides pateixen menys tensions, o sigui, treballen amb més marge que en els altres casos (Cas 7 i 8). El Cas 7 (de 10.00x15.00m de planta, amb una fletxa de 3.50m) compta amb un axial màxim a compressió de 52.198KN, provocant que la barra afectada treballi a una tensió de 0.222KN/mm², quan la màxima admissible no pot superar els 0.26 KN/mm². Seguidament, tenim el Cas 8 (de 10.00x15.00m de planta, amb una fletxa de 4.00m) que rep un axial màxim a compressió de 50.432KN, produint una tensió a les barres afectades de 0.218 KN/mm². Per últim, considerem el Cas 9 com a idoni, des d'aquest punt de vista, ja que, en comparació als casos anteriorment comentats, rep l'axial més baix (49.47 KN) i sotmet la barra més comprimida a la tensió més baixa. La tensió amb la qual treballa aquesta barra és de 0.217 KN/mm². Per tant, aquesta és l'estructura que pateix menys i disposa de més marge fins a arribar a la tensió admissible de l'acer, on la barra més comprimida, podria patir un trencament fràgil.

Comparant amb el càlcul de seccions, anteriorment aconseguits amb les estructures que no disposaven de diagonalització a la filera del mig, observem que les tensions a les quals treballaven les barres més comprimides, dels mateixos casos estudiats en aquest apartat, són les mateixes que ara. Però per contra, ara, al disposar d'aquestes diagonals, ha augmentat el pes propi del conjunt de l'estructura, provocant un augment en el valor dels axials màxims a compressió, utilitzats pel càlcul. Abans



s'havia arribat a la conclusió que el Cas 8 era l'idoni, ja que funcionava bé, tant utilitzant un gruix de secció d'1.5mm com un de 2mm. En canvi, en aquest apartat, només s'ha realitzat el comparatiu comptant amb una secció composta d'un gruix d'1.5mm. Si en l'apartat anterior, el comparatiu s'hagués realitzat de la mateixa manera, també s'hagués adoptat com a bo, el Cas 9.

Finalment, a través d'aquesta comprovació s'ha decidit que per suportar adequadament els esforços que reben tots aquests casos, la secció que s'utilitzarà per seguir amb els càlculs i les comparacions serà de 6cm de diàmetre, amb un gruix de secció d'1.5mm.

En segon lloc, s'han entrat les dades al programa de càlcul informàtic, per tal de treure'n conclusions dels resultats obtinguts, i bàsicament, a nivell d'axials, tal i com l'anterior comparació de l'apartat de configuració òptima. És en aquest pas, on es poden observar les conseqüències entre els dos sentits adoptats per diagonalitzar. Inicialment, s'havia comentat que el sentit de diagonalització que s'adoptaria seria el necessari per tal que la diagonal treballés a tracció. Però observant les fitxes, es pot apreciar, que al tractar-se d'una estructura rectangular, existeix simetria en els dos eixos. Aquest fet provoca que els resultats aconseguits siguin absolutament iguals, però a la inversa, en vista als nusos i barres. Per tant, decantar-se per escollir un o altre sentit, no segueix cap criteri, ni tant sols pel que fa a les dimensions de les barres, ja que seran les mateixes, tant si es col·loquen en un sentit o en l'altre.

Començant per comparar les reaccions als recolzaments, de la component en l'eix x, ens resulta un rang de valors que va des de 32.64 KN al Cas 9 fins a 43.59 KN al Cas 7. La component en y, ens dona uns valors que van de 16.84 KN al Cas 9 fins a 24.12 KN al Cas 7. I per últim, la component en l'eix vertical, va d'un mínim de 82.92 KN al Cas 7 a un màxim de 83.65 KN al Cas 9. Com ja s'ha observat en l'apartat de configuració òptima, a mesura que augmenta el radi de curvatura, augmenta la component en z de la reacció als recolzaments.

Comparant amb els resultats del Cas 7, 8 i 9 de les estructures rectangulars sense diagonalització a la filada del mig, es pot apreciar un mínim canvi en els valors. Aquest cop, així com també s'ha observat en els axials màxims a compressió utilitzats, els valors de les components de les reaccions als recolzaments han augmentat, a causa de l'increment de pes propi, deguda a l'introducció de les diagonalitzacions centrals.



Els nusos que han patit un desplaçament màxim continuen estant a la mateixa posició que en les estructures on la filera del mig no està diagonalitzada. Els valors, per la mateixa causa anteriorment comentada, han augmentat, tot i que aquest augment és poc significatiu, ja que s'està parlant de desplaçaments expressats en mil·límetres. El rang de desplaçaments màxims en l'eix x és des de 3.45mm al Cas 7 a 5.50mm al Cas 9. En l'eix y, des de 5.09mm al Cas 7 a 11.09mm al Cas 9. Per últim, en sentit vertical, des de 9.54mm al Cas 7 a 11.01mm al Cas 9. Com sempre, els màxims desplaçaments són en l'eix z, i augmenten progressivament amb el radi de curvatura.

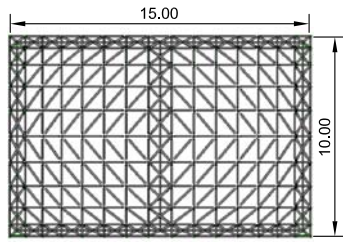
L'augment respecte els resultats anteriors, propis del mateix projecte i corresponents a l'apartat de configuració òptima, també han augmentat en el cas dels axials màxims. Tenim un rang, dins els que representen tracció, que va des de -13.84 KN al Cas 8 a -16.69 KN al Cas 9. Comparant aquests dos valors, el Cas 8 és l'ídoni, a diferència de la conclusió obtinguda a partir de la comprovació a pandeig. Els valors que representen compressió van de 49.31 KN al Cas 9 a 52.19 KN al Cas 7. Per contra, es pot observar que les estructures amb una major fletxa, pateixen menys esforços a compressió, cosa que implica un millor comportament a pandeig.



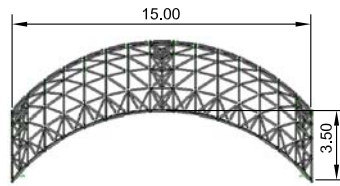
7.4. Diagonalització central amb reforç

7.4.1. Comprovació de pandeig

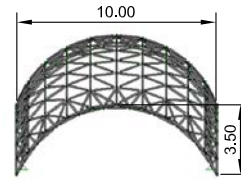
CAS 7: 10x10x3.50m Reforç central Tipus 1



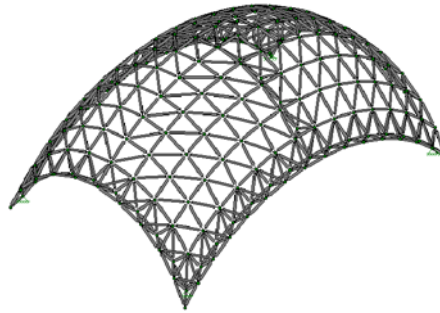
PLANTA



ALÇAT XZ



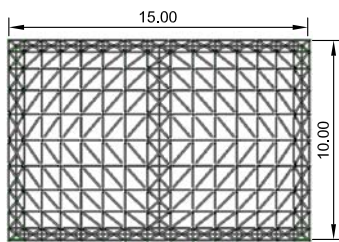
ALÇAT YZ



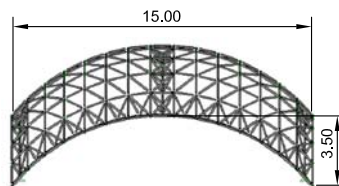
PERSPECTIVA

E: 1/400

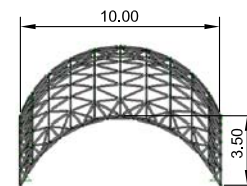
CAS 7: 10x10x3.50m Reforç central Tipus 2



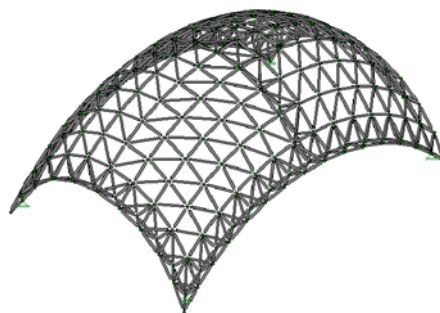
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ

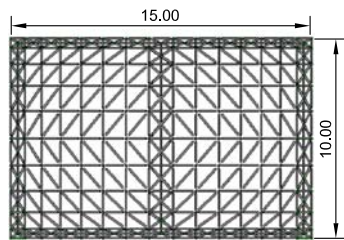


PERSPECTIVA

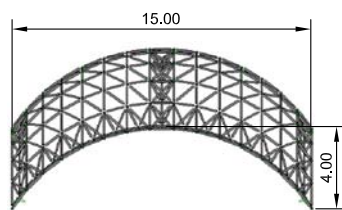
E: 1/400

Cas 7 (10x15x3,50m)	$I_{YY} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada} (KN/mm^2)$	$\sigma_{m\grave{a}x adm issible} (KN/mm^2)$	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	48,725	1	1,137	1.137	112,683	2,420	0,878	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	49,523	1	1,137	1.137	83,467	1,570	0,429	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	50,321	1	1,137	1.137	66,276	1,290	0,284	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	51,119	1	1,137	1.137	54,955	1,170	0,217	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	51,917	1	1,137	1.137	46,937	1,110	0,179	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	52,715	1	1,137	1.137	40,960	1,080	0,154	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	53,513	1	1,137	1.137	36,333	1,060	0,136	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	54,311	1	1,137	1.137	32,645	1,050	0,123	0,260	SI

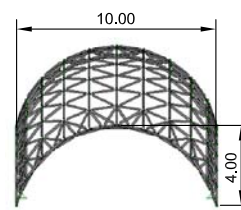
CAS 8: 10x10x4.00m Reforç central Tipus 1



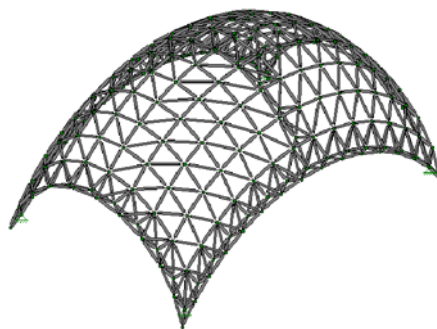
PLANTA



ALÇAT XZ



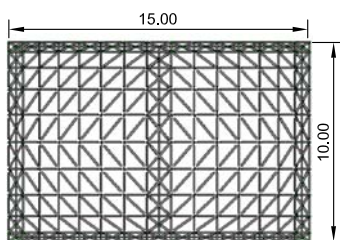
ALÇAT YZ



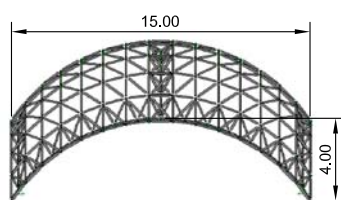
PERSPECTIVA

E: 1/400

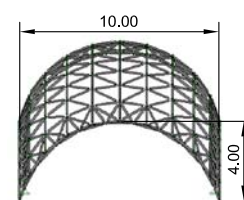
CAS 8: 10x10x4.00m Reforç central Tipus 2



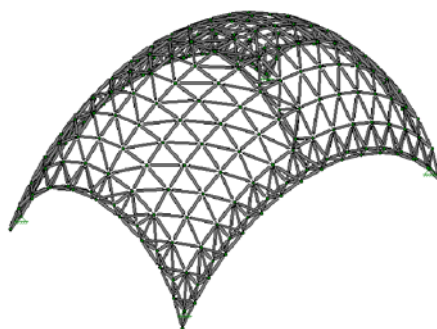
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ

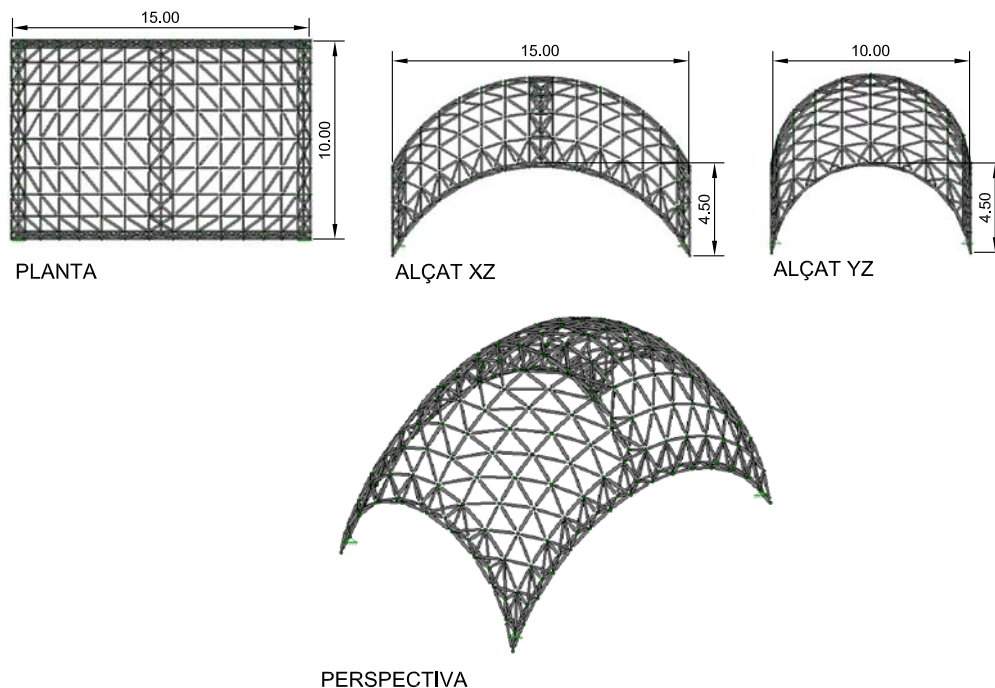


PERSPECTIVA

E: 1/400

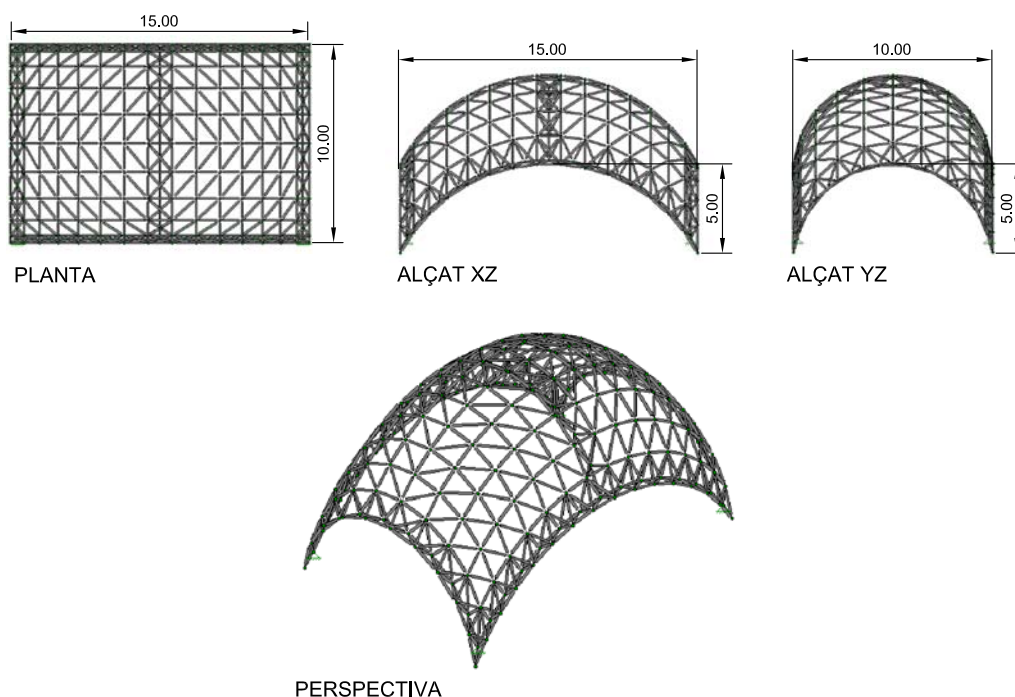
Cas 8 (10x15x4,00m)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	σ calculada (KN/mm ²)	σ màx adm issible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	46,577	1	1,177	1.177	116,648	2,560	0,888	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	47,367	1	1,177	1.177	86,404	1,640	0,428	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	48,158	1	1,177	1.177	68,608	1,330	0,280	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	48,948	1	1,177	1.177	56,888	1,190	0,211	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	49,738	1	1,177	1.177	48,588	1,120	0,173	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	50,528	1	1,177	1.177	42,401	1,080	0,148	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	51,318	1	1,177	1.177	37,611	1,070	0,132	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	52,108	1	1,177	1.177	33,794	1,050	0,118	0,260	SI

CAS 9: 10x10x4.50m Reforç central Tipus 1



E: 1/400

CAS 9: 10x10x4.50m Reforç central Tipus 2



E: 1/400

Cas 9 (10x15x4,50m)	I_{YY} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x adm issible}$ (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 3cm (e = 1,5mm)	13.673,7	134,303	10,090	44,972	1	1,221	1.221	121,008	2,710	0,907	0,260	NO
BARRA Ø 4cm (e = 1,5mm)	33.666,0	181,427	13,622	45,765	1	1,221	1.221	89,634	1,740	0,439	0,260	NO
BARRA Ø 5cm (e = 1,5mm)	67.265,4	228,551	17,156	46,557	1	1,221	1.221	71,172	1,360	0,277	0,260	NO
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	47,350	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,208	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	48,142	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,169	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	48,934	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,144	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	49,727	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,128	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	50,519	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,114	0,260	SI



7.4. Diagonalització central amb reforç

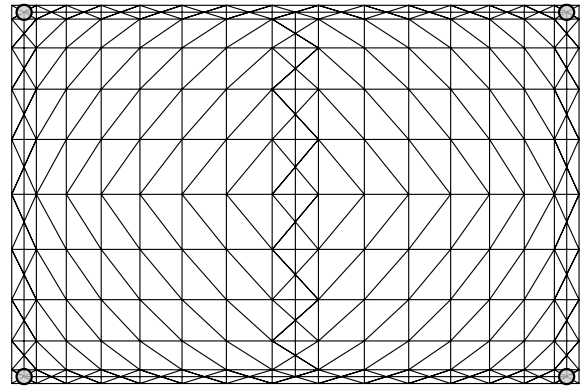
7.4.2. Comparatiu de resultats

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i intermitjos Tipus 1

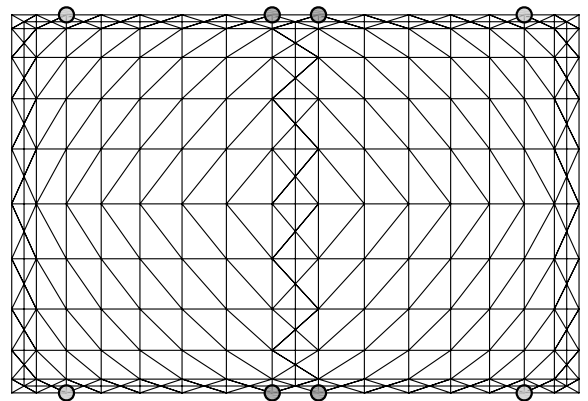
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N214	-31,59	17,11	83,96
N31	-31,57	-17,09	83,92
N17	31,59	-17,11	83,96
N200	31,57	17,09	83,92
Totals:	0,00	0,00	335,78



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N228	4,98	-10,40	1,84
N3	-4,98	10,40	1,84
N14	4,98	10,38	1,84
N217	-4,98	-10,38	1,84
N8	-0,09	-5,88	-8,37
N223	0,09	5,88	-8,37
N9	0,10	-5,86	-8,35
N222	-0,10	5,86	-8,35



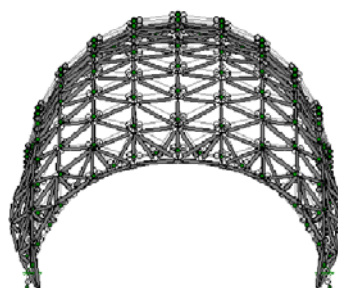
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M272	47,33	M277	-16,66
M236	47,33	M254	-16,66
M259	47,30		
M249	47,30		

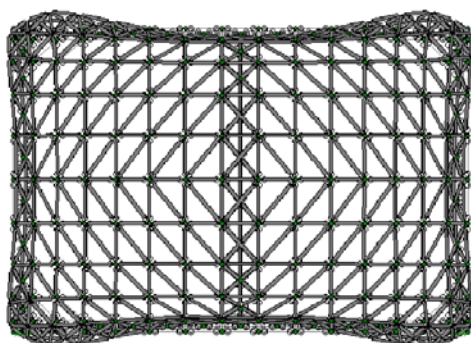
DEFORMADA



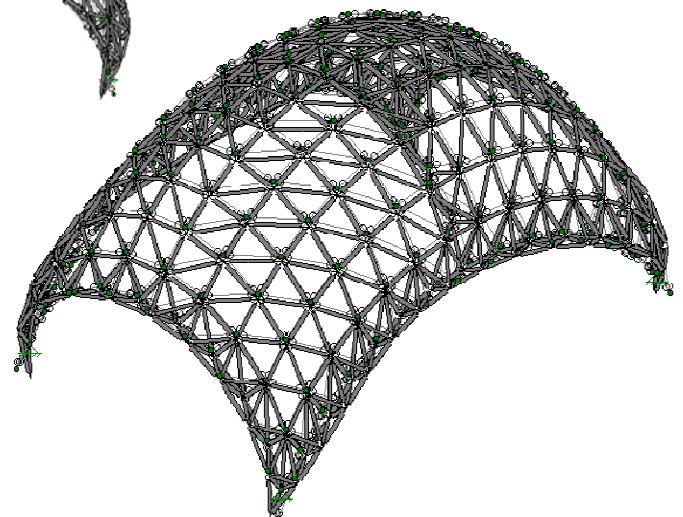
ALÇAT X-Z



ALÇAT Y-Z



PLANTA



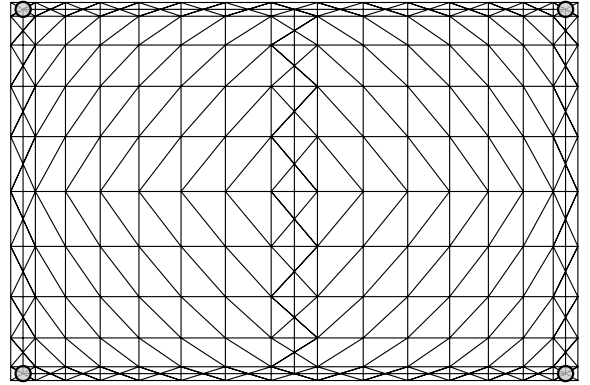
PERSPECTIVA

Estructura reticular quadrangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i intermitjos Tipus 2

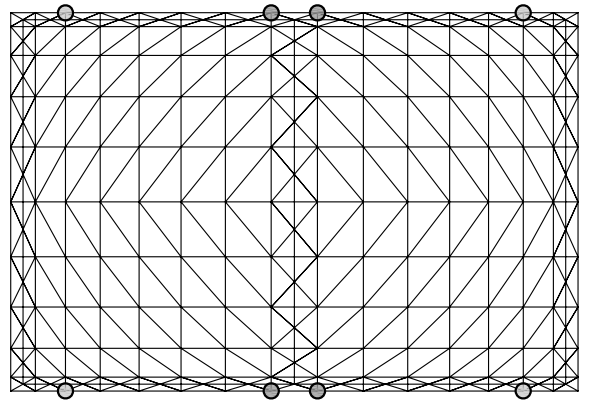
REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N214	-31,57	17,09	83,92
N31	-31,59	-17,11	83,96
N17	31,57	-17,09	83,92
N200	31,59	17,11	83,96
Totals:	0,00	0,00	335,78



DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

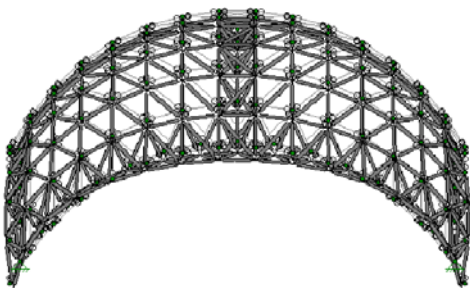
NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N14	4,98	10,40	1,84
N217	-4,98	-10,40	1,84
N228	4,98	-10,38	1,84
N3	-4,98	10,38	1,84
N9	0,09	-5,88	-8,37
N222	-0,09	5,88	-8,37
N8	-0,10	-5,86	-8,35
N223	0,10	5,86	-8,35



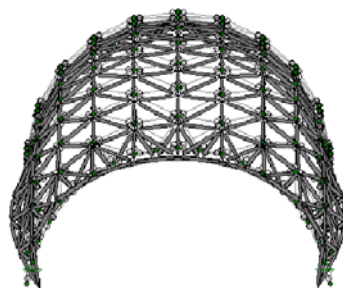
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M259	47,33	M277	-16,66
M249	47,33	M254	-16,66
M236	47,30		
M272	47,30		

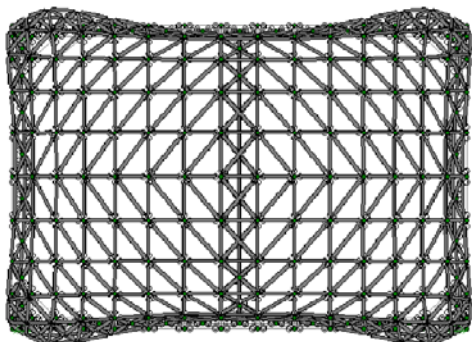
DEFORMADA



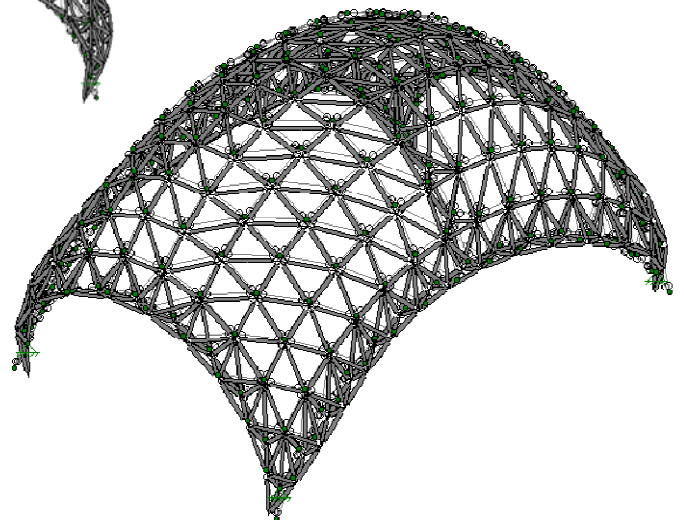
ALÇAT X-Z



ALÇAT Y-Z



PLANTA



PERSPECTIVA



7.5. Diagonalitzacions centrals amb reforç: Conclusions parcials

Els resultats extrets en aquest apartat, només es compararan amb els primers obtinguts en aquest mateix apartat. El que s'ha volgut comprovar és si el fet d'introduir un reforç central, a més de comptar amb una estructura totalment diagonalitzada, era més adequat per tal d'aconseguir una disminució de la deformabilitat de l'estructura global.

El primer pas realitzat, ha tractat de comprovar el pandeig dels tres casos anteriorment estudiats, però aquest cop incorporant el reforç del mig. Lògicament, el pes propi de l'estructura haurà incrementat, de nou, els axials màxims i també, les reaccions als recolzaments. De totes maneres, es continuarà treballant amb una secció de 6cm de diàmetre i 1.5mm de gruix, sotmetent les barres més comprimides a una major tensió de treball, sense superar en cap cas l'admissible. Un cop més, el Cas més idoni, en aquesta comparació és el Cas 9, i per tenir una orientació de la variació dels valors respecte altres apartats objecte d'estudi del projecte, amb un axial a compressió màxim de 47.35 KN, la barra treballa a una tensió de 0.208 KN/mm².

Per a observar si és eficaç o no, l'introducció d'aquest element de reforç per rigiditzar l'estructura, i evitar que fletxi, globalment, sobretot del mig, compararem amb el Cas 9 totalment diagonalitzat i l'actual Cas 9, els desplaçaments màxims dels nusos. Tal i com es pot apreciar comparant les dues fitxes objecte de comparació, aquest Cas 9 pateix desplaçaments menors a l'anterior. En l'eix x, s'ha passat d'un valor de 5.50mm a 4.98mm. En l'eix y, de 14.71mm a 10.40mm. Finalment, a l'eix z, de 11.01 a 8.37mm. És major el canvi en aquests valors acabats de comparar, que amb la comparació dels primers valors d'aquest apartat, amb els obtinguts en les estructures que no estaven completament diagonalitzades.

Per tant, la conclusió que se'n pot extreure és que les estructures rectangulars cal que estiguin totalment diagonalitzades, siguin o no imparells; i en segon lloc, que sempre que la fletxa global, i en tots els sentits, sigui més gran de l'esperada en una estructura rectangular, serà necessari introduir un element central de reforç, que ens augmenti la rigidització de l'estructura. Cal tenir present que aquesta rigidització serà més necessària en el sentit més desfavorable, o sigui, en sentit perpendicular al costat més llarg. Tot i així, sempre es pot donar el cas, on sigui necessari afegir dos reforços



en sentits oposats, subdividint així l'estructura, per tal que aquesta pateixi menys. Normalment, però, això passarà en els casos on l'estructura tingui unes dimensions molt importants, i la diferència de dimensió entre els dos costats, no sigui exageradament significativa, sinó que pràcticament, siguin iguals.



8. ASIMETRIA DE CÀRREGUES

8.1. Mètode

Com s'ha dit en l'apartat anterior, les càrregues asimètriques són les que ens perjudiquen el comportament estructural, previst en càlcul.

L'asimetria de càrrega consisteix en concentrar en determinats punts majors càrregues que en altres. El comportament estructural passa a ser perillós, ja que les estructures poden patir deformacions incontrolades. Fins ara, hem partit d'un repartiment de càrrega regular, però l'objecte d'aquest estudi, a més de la cerca de la geometria i la secció òptima, és portar al límit aquestes estructures, per treure'n conclusions d'aquests comportament, que és el que realment preocupa del seu disseny.

Portat a la realitat, la neu podria ser una causa d'asimetria de càrregues. El pes de la neu estancada i posteriorment, congelada és major, al que suposa la neu recent caiguda, que es com es preveu en càlculs normalment. L'estudi de càlcul i optimització d'aquesta tipologia estructural compta amb 0.40KN/m^2 de sobrecàrrega de neu. Per tant, es tracta d'una coberta que podria estar ubicada a Girona, i com a molt, a 200m d'altitud.

A partir d'aquí, es posarà a prova l'estructura que s'ha escollit més òptima, en els apartats anteriors, en el cas de les rectangulars. Aplicant major càrrega en determinades zones, per tal de comprovar-ne els resultats, a nivell de comportament estructural, tant pel que fa a les deformacions globals que adoptarà, com pel que fa als axials que rebrà i reaccions que transmetrà als suports.

A partir d'aquí, i com en tots els casos trobats, es realitzarà una comprovació de pandeig de la barra que pateixi més compressió. Un cop obtinguda la secció, realitzarem la resta de càlculs mitjançant el programa informàtic de càlcul, per obtenir uns resultats definitius i extreure'n conclusions parcials.

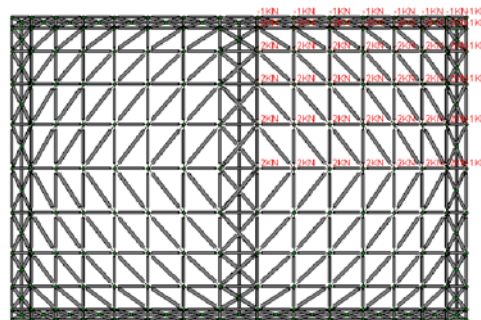
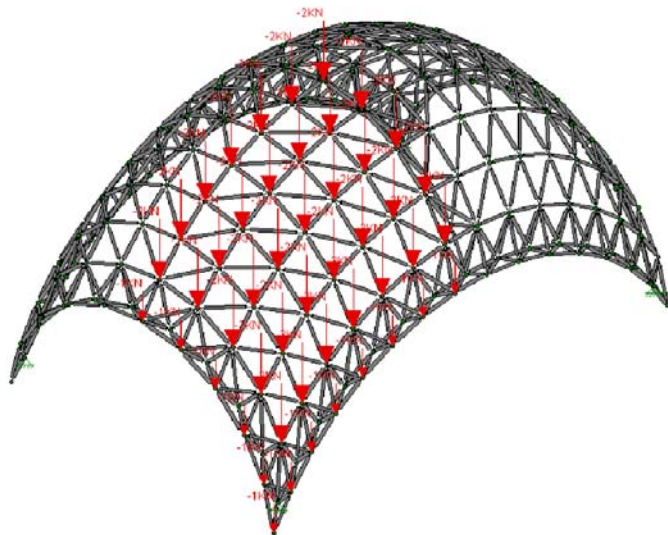
Cal tenir present, que l'escala adoptada en l'extracció de les deformades, és d'1:50. S'ha escollit aquesta escala per tal que la deformada pogués visualitzar-se. Així com també cal recordar, que les càrregues aplicades, en aquest apartat, han estat les mateixes que s'han utilitzat en tot moment.



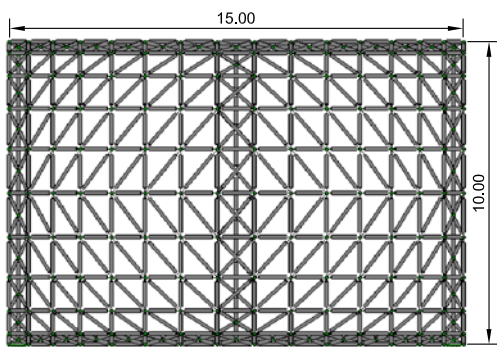
8.2. Hipòtesi 1

Comprovació de pandeig i comparatiu resultats

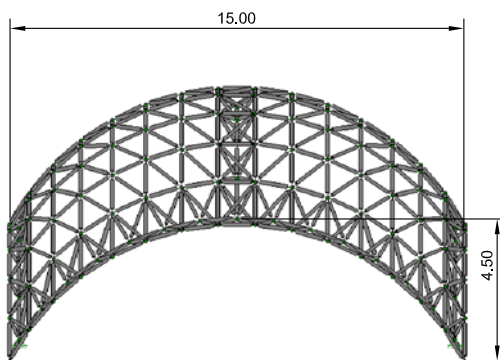
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



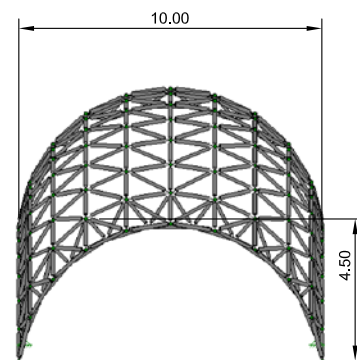
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



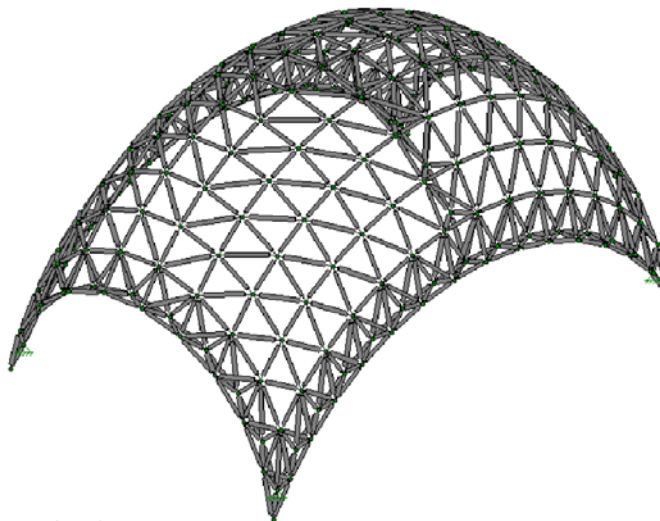
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25,50x4,50m)	$I_{yy} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	82,739	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,363	0,260	NO
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	83,526	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,292	0,260	NO
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	84,313	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,248	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	85,099	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,218	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	85,886	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,194	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-53,59	37,68	174,17
N31	-53,44	-37,66	174,10
N45	53,49	-20,35	110,54
N53	53,54	20,32	110,47
TOTALS	0,00	0,00	569,30

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N58	-12,64	-24,41	7,45
N227	-12,62	24,46	7,45
N64	-7,52	16,03	-13,46

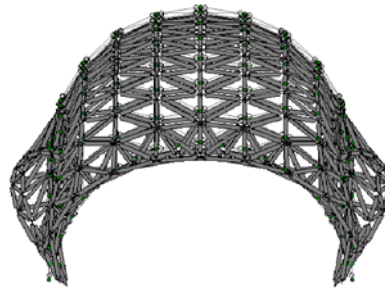
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M258	97,50	M254	-37,21

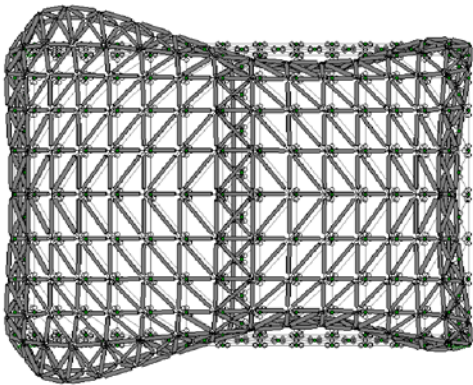
DEFORMADA



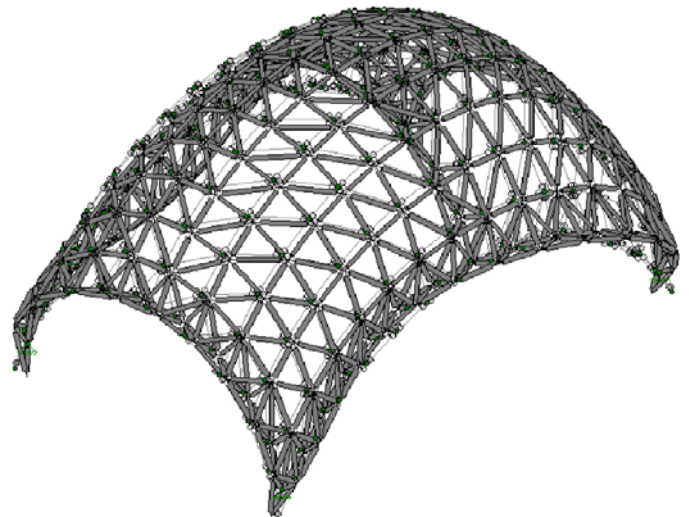
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



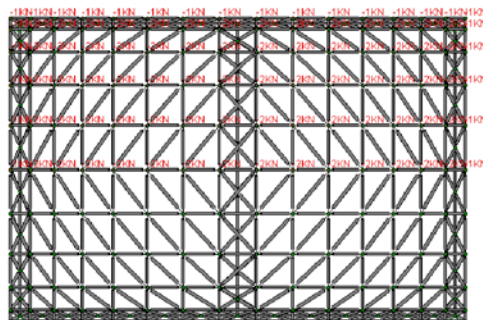
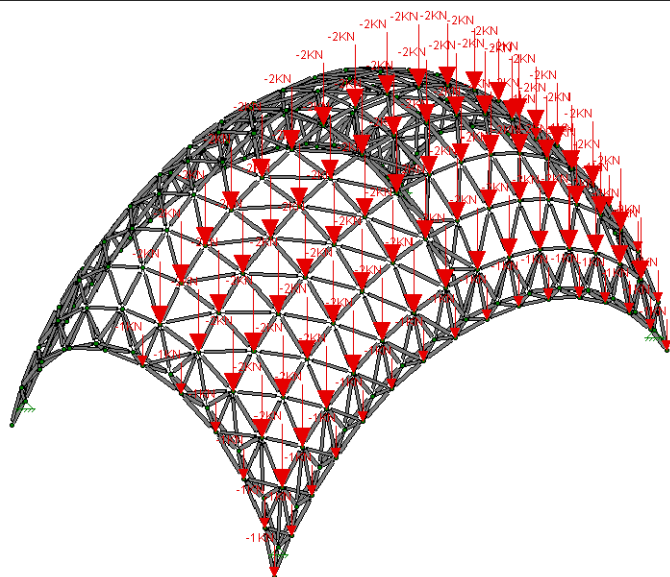
PERSPECTIVA



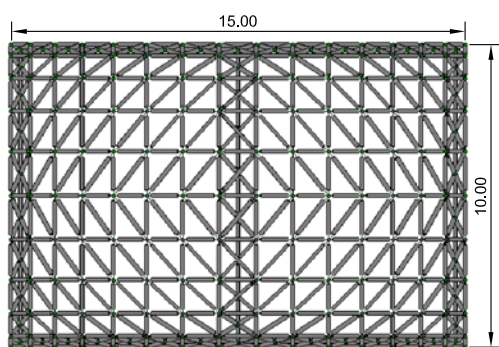
8.3. Hipòtesi 2

Comprovació de pandeig i comparatiu resultats

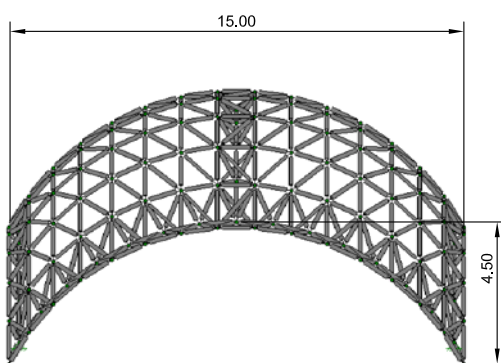
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



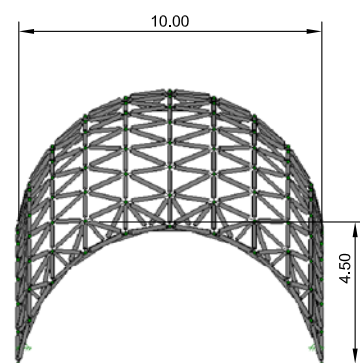
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



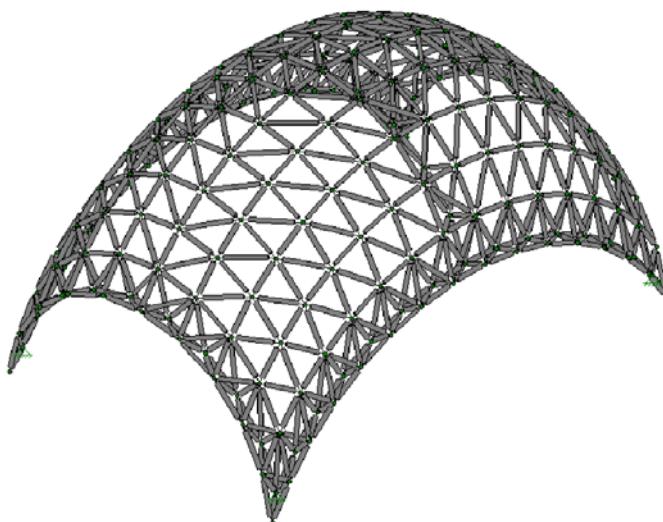
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25,50x4,50m)	I_{YY} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	107,474	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,472	0,260	NO
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	108,266	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,379	0,260	NO
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	109,059	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,321	0,260	NO
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	109,851	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,282	0,260	NO
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	110,643	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,250	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-30,23	26,34	98,68
N31	-56,53	-32,59	169,29
N45	47,22	-15,94	98,26
N53	39,54	22,19	99,79
TOTALS	0,00	0,00	466,02

DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N227	-11,06	20,98	6,20
N221	-5,67	-16,58	-13,46

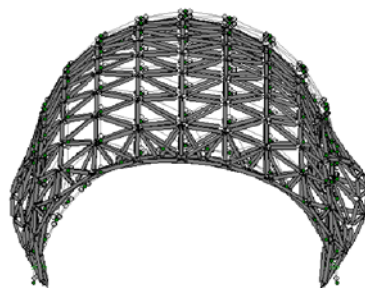
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M259	84,33	M254	-32,06

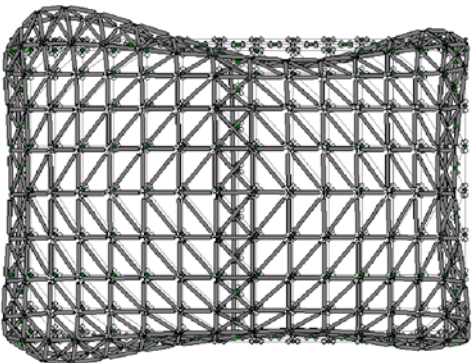
DEFORMADA



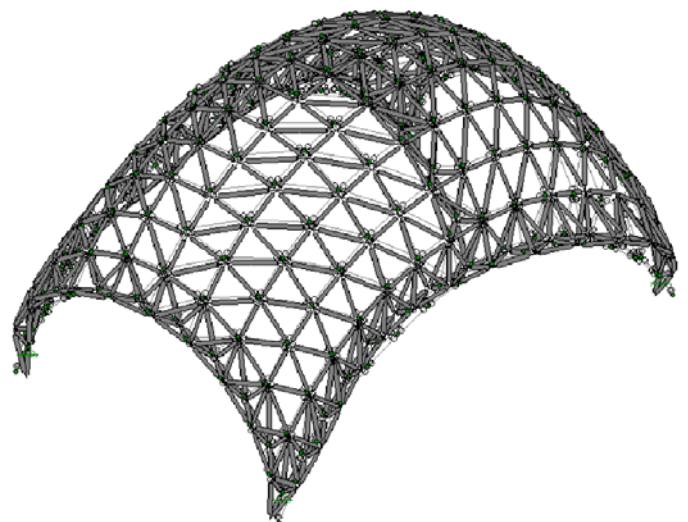
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



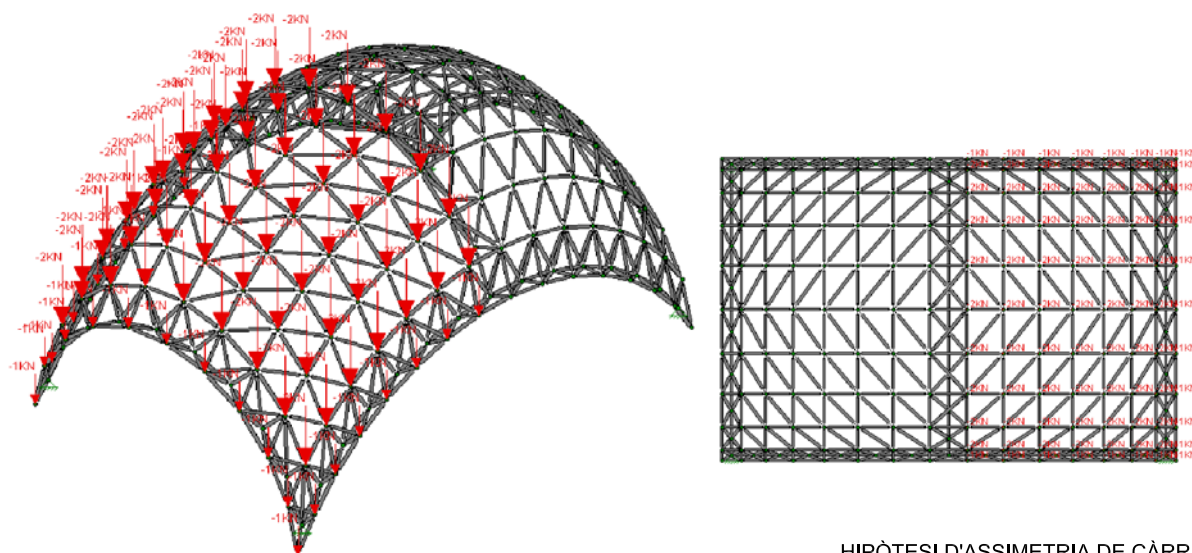
PERSPECTIVA



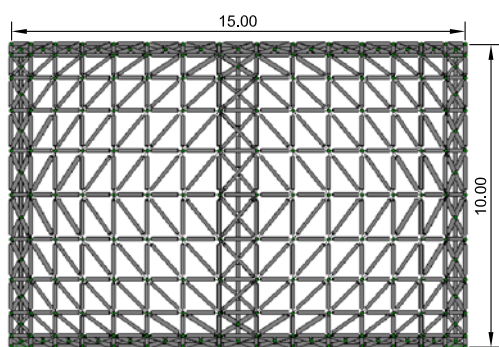
8.4. Hipòtesi 3

Comprovació de pandeig i comparatiu resultats

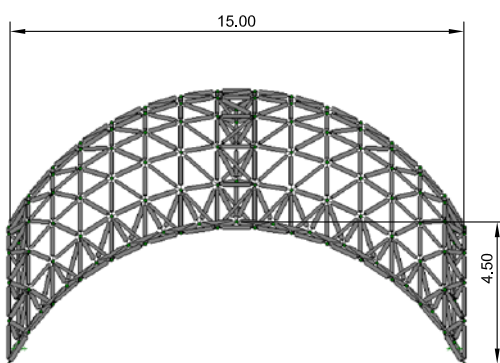
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



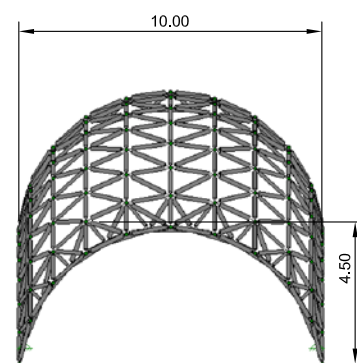
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



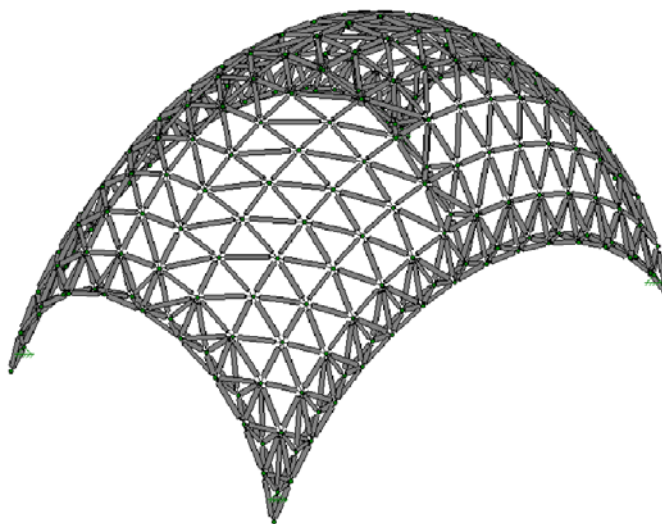
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25.50x4.50m)	$I_{YY} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	95,529	1	1,453	1.453	70,228	1,340	0,464	0,260	NO
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	96,197	1	1,453	1.453	59,981	1,220	0,364	0,260	NO
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	96,866	1	1,453	1.453	52,343	1,140	0,299	0,260	NO
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	97,534	1	1,453	1.453	46,431	1,100	0,257	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	98,203	1	1,453	1.453	41,718	1,080	0,228	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-38,20	31,44	114,56
N31	-72,23	-31,40	183,57
N45	72,28	-31,44	183,65
N53	38,15	31,40	114,48
TOTALS	0,00	0,00	596,26

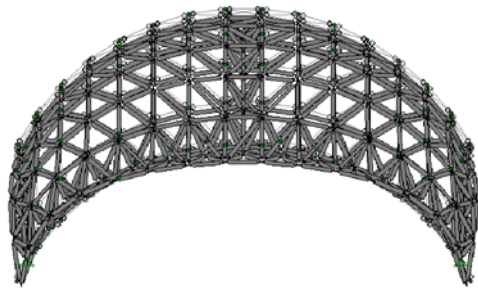
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N228	-7,04	13,34	2,84
N223	-0,11	-11,32	-11,63

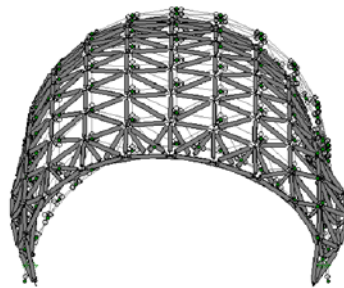
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M272	110,62	M253	-34,53

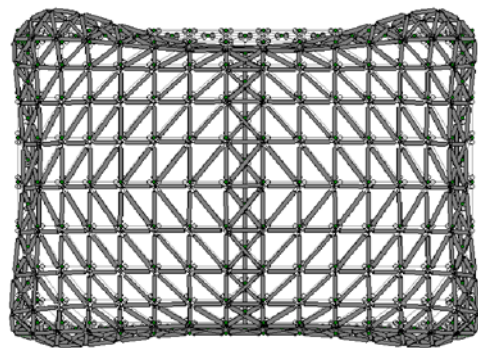
DEFORMADA



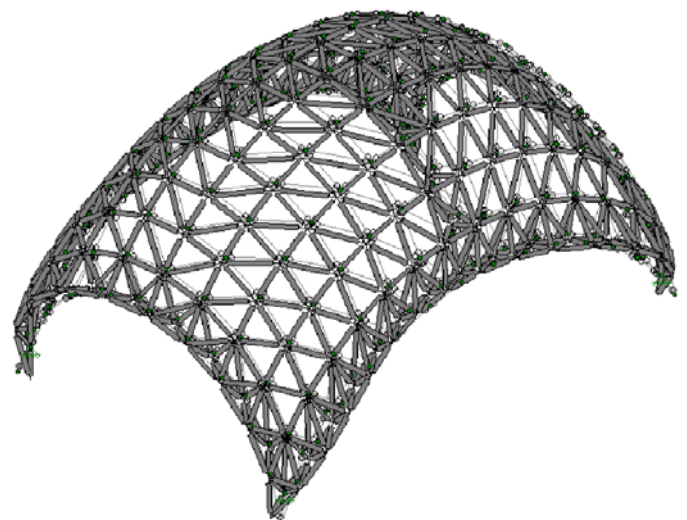
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



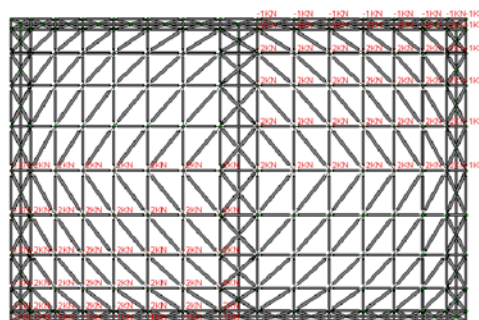
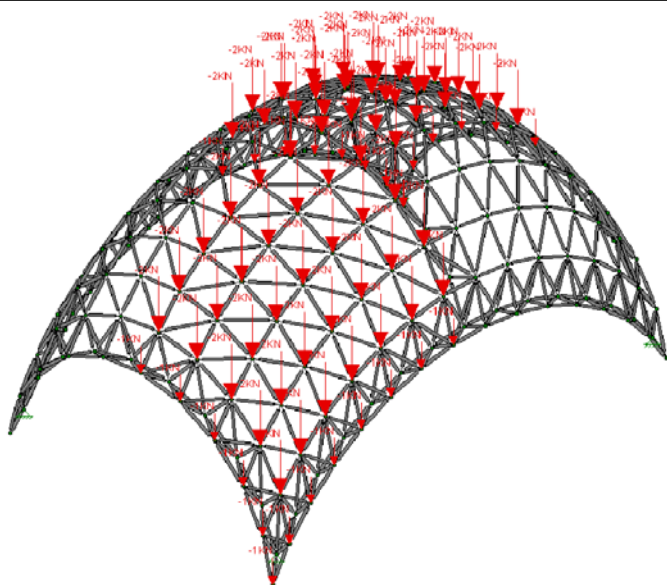
PERSPECTIVA



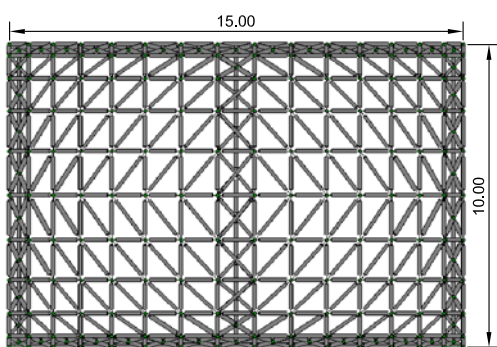
8.5. Hipòtesi 4

Comprovació de pandeig i comparatiu resultats

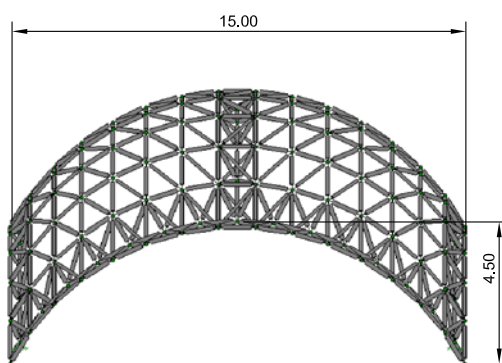
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



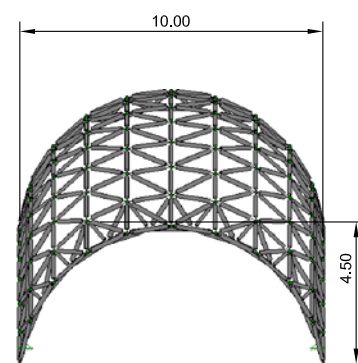
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



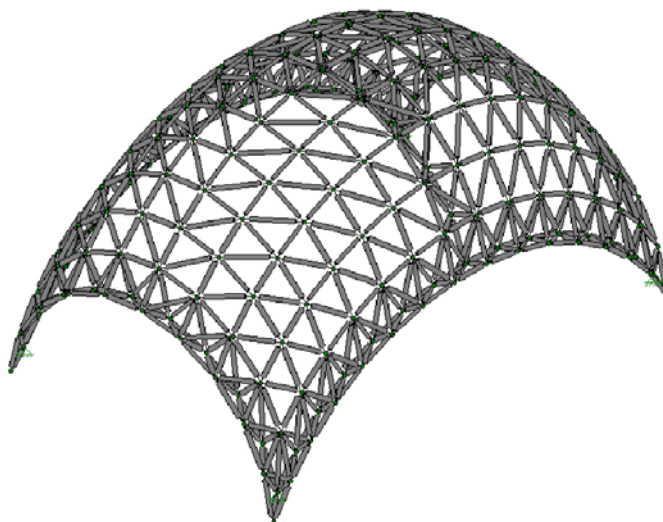
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25.50x4.50m)	$I_{YY} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	92,628	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,407	0,260	NO
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	93,415	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,327	0,260	NO
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	94,201	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,278	0,260	NO
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	94,988	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,244	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	95,828	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,217	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-45,32	24,90	111,63
N31	-63,98	-37,43	183,82
N45	45,32	-24,90	111,63
N53	63,98	37,43	183,82
TOTALS	0,00	0,00	590,90

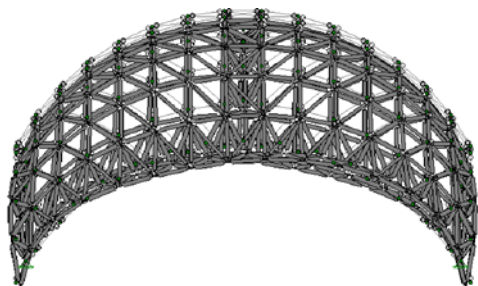
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N228	-7,19	14,08	3,43
N68	7,19	-14,08	3,43
N227	-6,92	14,83	3,10
N67	6,92	-14,83	3,10
N221	-2,27	-10,00	-10,76
N61	2,27	10,00	-10,76

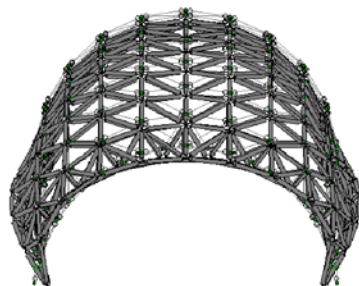
AXIALS MÀXIMS

BARRES COMPRESSIÓ (KN)	BARRES TRACCIÓ (KN)
M259 95,01	M277 -33,47
M249 95,01	M254 -33,47

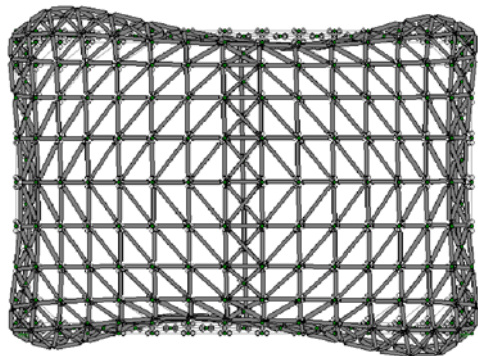
DEFORMADA



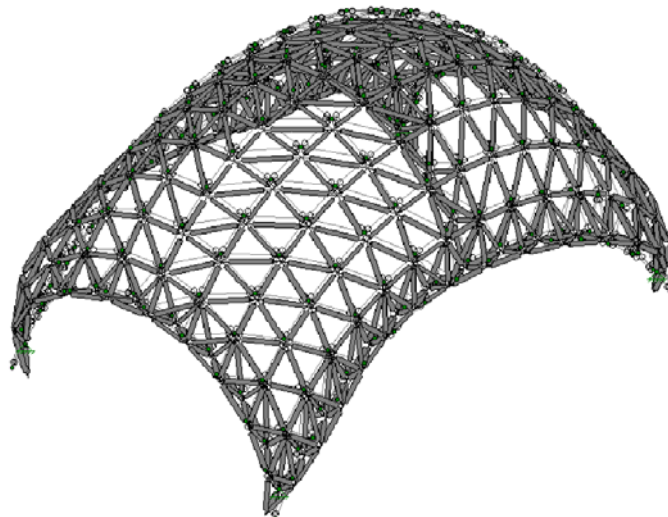
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA



8.6. Conclusions parcials

Tal i com es pot observar només s'ha utilitzat el Cas 9 de 10.00x10.00m de planta amb una fletxa de 4.50m, totalment diagonalitzat i amb reforç perimetral, i també central. S'ha optat escollir aquest cas, perquè tal i com ja s'ha comprovat anteriorment, el reforç central ens permet disminuir els desplaçaments dels nusos. Aquest fet ens interessa, perquè l'asimetria de càrregues són un punt en contra el bon funcionament d'aquesta tipologia estructural.

Per realitzar aquest apartat, tot i haver partit de les dades generals, aplicades en tot el projecte, també s'han afegit càrregues suplementàries. Aquestes no s'han repartit de forma uniforme, sinó a la inversa, concentrades en determinades zones de l'estructura en qüestió. La càrrega incrementada raonadament, té un valor de 2KN/m^2 , la qual és la que preveu la NBE-AE/88, per neu en estat congelat (pes superior al que representa la neu recent caiguda, la qual adopta un valor, segons la mateixa normativa citada, de 1.20KN/m^2).

S'han diferenciat quatre casos, caracteritzats cadascun per la seva pròpia hipòtesi de càrrega. El primer cas, suporta a més del pes propi, la sobrecàrrega d'ús i la sobrecàrrega de neu, una càrrega suplementària disposada solsament en un dels quarts de l'estructura. A la segona, es distribueix aquesta càrrega al llarg del costat més llarg (15m). A la tercera, la distribució és molt semblant a la segona, tot i que en aquest cas, la càrrega afegida es reparteix al llarg del costat més curt de l'estructura (10m). L'últim cas, ens ha servit per completar l'apartat, en observar els afectes de carregar dues cantonades oposades.

Primerament, amb la comprovació a pandeig de la barra més comprimida, han resultat, de l'estudi de càlcul, els següents valors:

- El primer cas necessita, com a mínim, un diàmetre de 8cm amb un gruix de secció d'1.5mm. La barra més comprimida està treballant a una tensió de 0.248KN/mm^2 .
- El segon cas requereix una secció de 10cm amb un gruix d'1.5mm. La tensió, en aquest segon cas, és de 0.25KN/mm^2 , cosa que indica que s'està treballant força al límit de la tensió màxima admissible.



- En tercer lloc, obtenim una secció de 9cm, seguint el mateix gruix de sempre. La barra comprimida encara està treballant més al límit que en l'anterior cas, amb una tensió de 0.257KN/mm^2 .
- Per últim, es requereix la mateixa secció que en el tercer cas, però treballant a una tensió de 0.244KN/mm^2 .

D'aquí en podem deduir, que l'última hipòtesi de càrrega plantejada és la que ens facilita més el comportament estructural.

Observant la resta de fitxes, on es proporcionen els resultats obtinguts del programa informàtic de càlcul, podem arribar a les següents conclusions:

- El fet de preveure, que en determinats moments de la vida útil de l'estructura, es puguin donar efectes provocats per l'asimetria de càrregues, ens obliga a sobredimensionar l'estructura. En cas que no es dimensioni adequadament, es podria provocar un trencament fràgil de les barres més comprimides, ja les obliguem a treballar a una tensió límit.
- Amb l'augment de secció que es requereix, augmenta significativament el pes propi, incrementant-se conseqüentment, els axials que recauen sobre l'estructura.
- Per contra, les deformacions que s'han obtingut no representen grans desplaçaments de nusos. Així doncs, el perill en aquests casos no és la deformabilitat, sinó directament, el trencament fràgil.

9. ACCIONS DEGUDES AL VENT

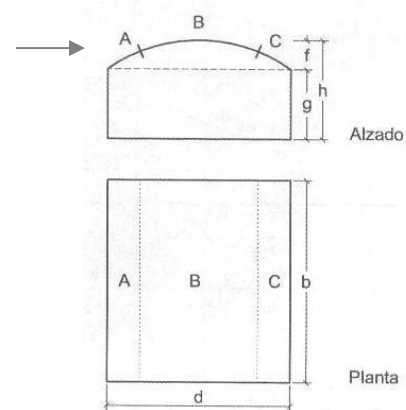
9.1. Mètode

Un altre factor que s'ha tingut en compte és el vent. Com es sap el vent produeix uns efectes de pressió, i en sentit contrari, de succió. L'aplicació del vent, com en la resta de càrregues, serà directe al nus. Hem realitzat, en tots els càlculs aquest supòsit, perquè de fet els nusos són els elements que reben les càrregues transmeses per les barres que constitueixen el conjunt. En funció de l'ubicació d'aquesta tipologia estructural, caldrà informar-se de quin és el vent dominant de la zona, i quin serà el seu angle d'aplicació, en funció de l'altitud de la zona. En el nostre cas, l'aplicació del vent es farà, com a l'apartat anterior, amb el cas més òptim (Cas 9) de les estructures rectangulars estudiades en el propi projecte.

Pel càlcul del vent s'ha utilitzat, bàsicament, l'Eurocòdig1 i el Codi Tècnic. Els passos que s'han seguit són els que es poden observar a continuació. Després de realitzar la comprovació a pandeig de la barra més comprimida, s'han calculat els resultats, mitjançant el programa informàtic de càlcul estructural. Es tracta d'investigar si els efectes són més desfavorables que els causats per l'asimetria de càrregues.

Els valors de l'aplicació del vent, en sentit horitzontal (tal i com indica la fletxa), que s'han utilitzat, són els que s'enumeraran seguidament:

- Zona 'A' → Pressió de vent de 0.312 KN/m^2
- Zona 'B' → Succió de vent de 0.936 KN/m^2
- Zona 'C' → Succió de vent de 0.416 KN/m^2

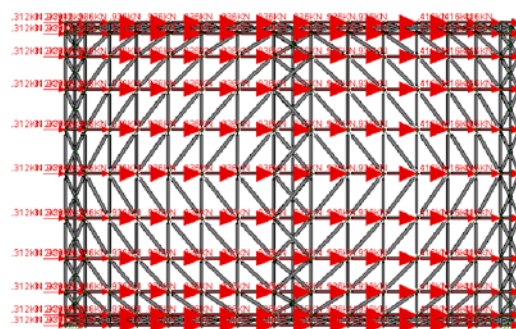
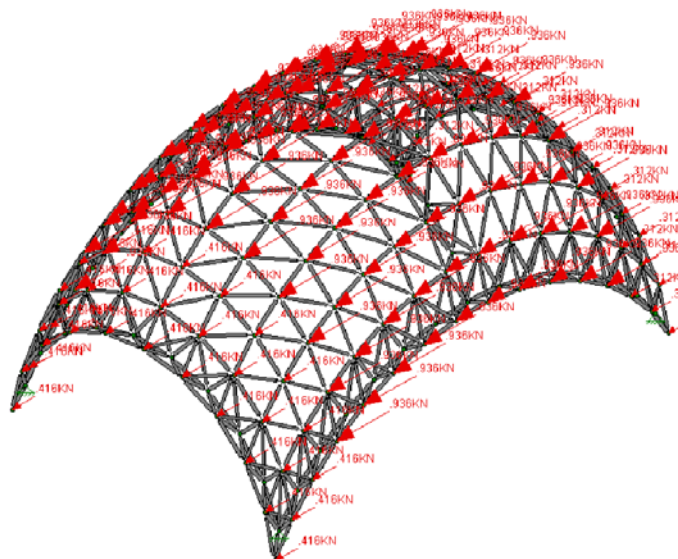




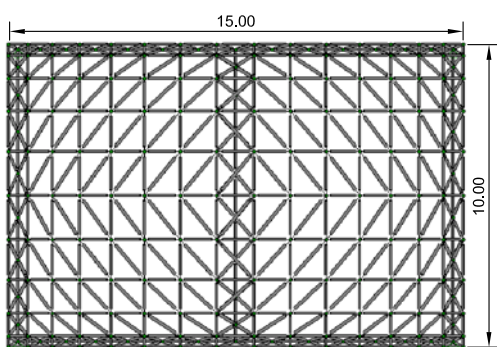
9.2. Hipòtesi 1

Comprovació de pandeig i comparació de resultats

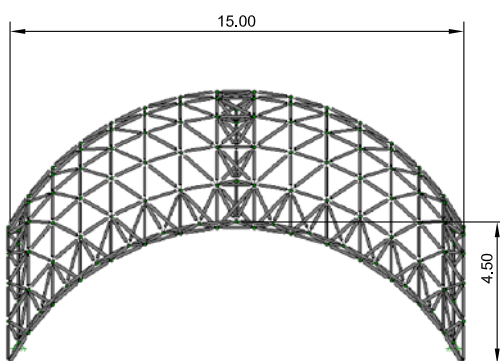
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



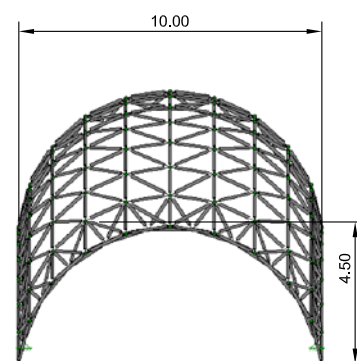
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



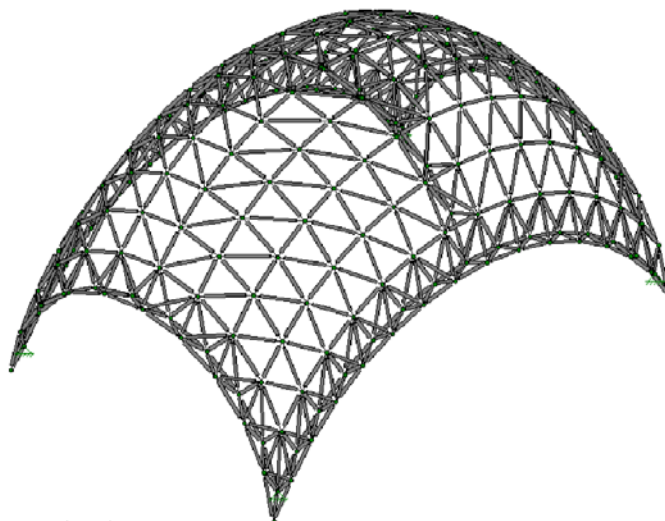
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25,50x4,50m)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	L_k (mm)	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ admissible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	47,350	1	1,221	1.221	59,015	1,210	0,208	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	48,142	1	1,221	1.221	50,404	1,130	0,169	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	48,934	1	1,221	1.221	43,986	1,090	0,144	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	49,727	1	1,221	1.221	39,017	1,070	0,128	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	50,465	1	1,221	1.221	35,057	1,050	0,114	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-31,59	17,11	83,96
N31	-31,57	-17,09	83,92
N45	31,59	-17,11	83,96
N53	31,57	17,09	83,92
TOTALS	0,00	0,00	335,78

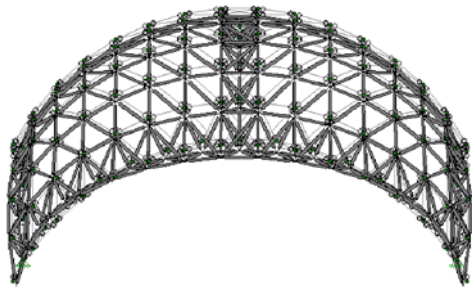
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N68	4,98	-10,40	1,84
N228	-4,98	10,40	1,84
N223	-0,09	-5,88	-8,37
N63	0,09	5,88	-8,37

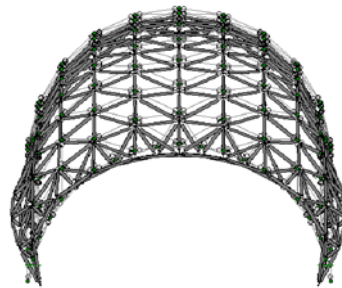
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M272	47,33	M277	-16,66
M236	47,33	M254	-16,66

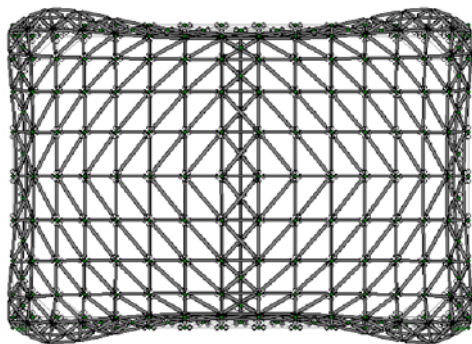
DEFORMADA



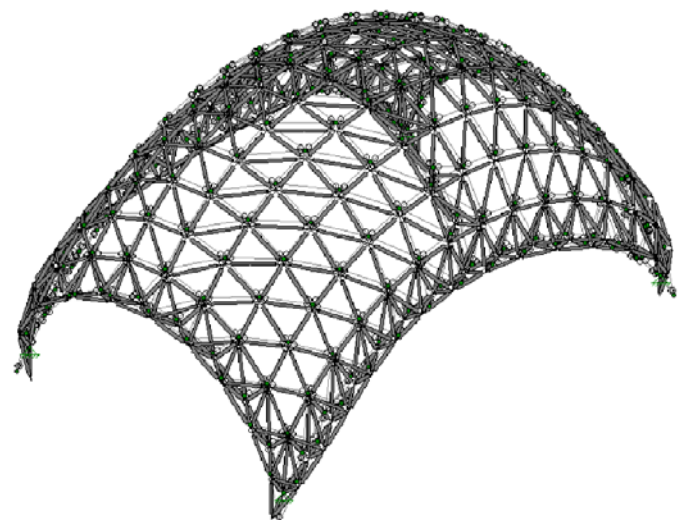
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



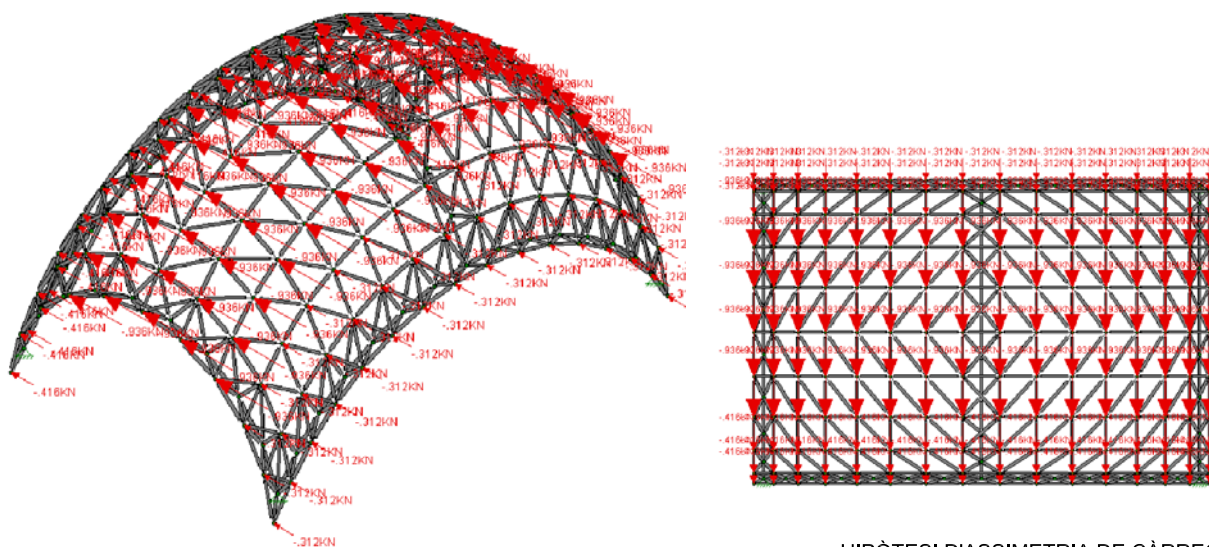
PERSPECTIVA



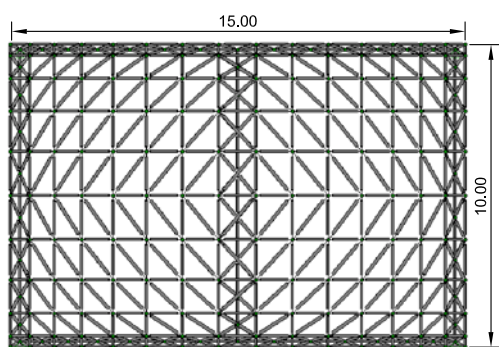
9.3. Hipòtesi 2

Comprovació de pandeig i comparació de resultats

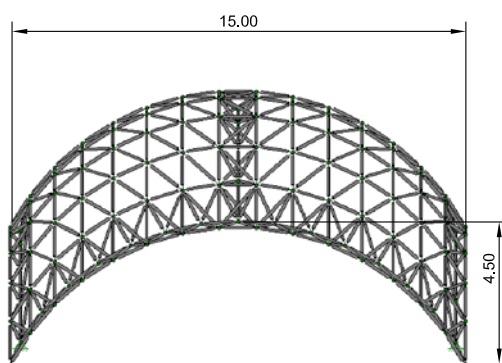
CAS 9: 10x15x4.50m Reforç central



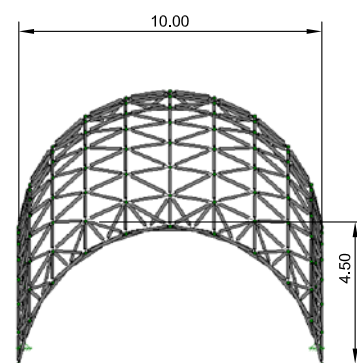
HIPÒTESI D'ASSIMETRIA DE CÀRREGA A E:1/250



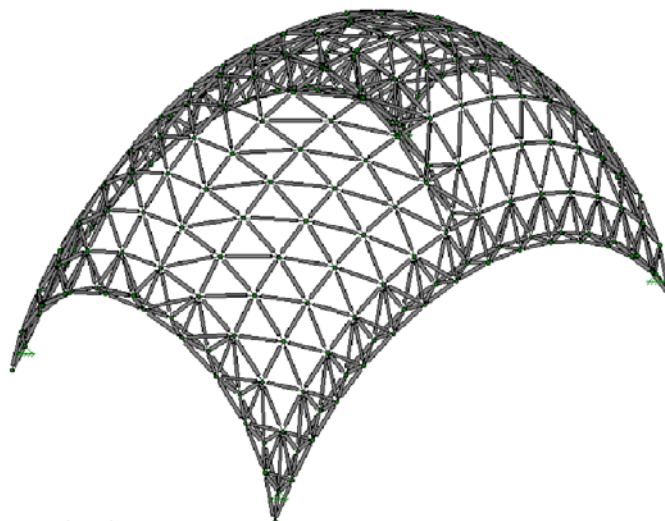
PLANTA



ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PERSPECTIVA

E: 1/250

Vallfogona (21x25,50x4,50m)	$I_{YY} (mm^4)$	$A (mm^2)$	$i_y (mm)$	Axials (KN)	β	Longitud barra (mm)	$L_k (mm)$	λ	ω	$\sigma_{calculada}$ (KN/mm ²)	$\sigma_{m \grave{a}x}$ adm issible (KN/mm ²)	Acceptació
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	47,350	1	1,221	1,221	59,015	1,210	0,208	0,260	SI
BARRA Ø 7cm (e = 1,5mm)	189.422,0	322,799	24,224	48,142	1	1,221	1,221	50,404	1,130	0,169	0,260	SI
BARRA Ø 8cm (e = 1,5mm)	285.048,0	369,923	27,759	48,934	1	1,221	1,221	43,986	1,090	0,144	0,260	SI
BARRA Ø 9cm (e = 1,5mm)	408.419,0	417,046	31,294	49,727	1	1,221	1,221	39,017	1,070	0,128	0,260	SI
BARRA Ø 10cm (e = 1,5mm)	563.068,0	464,170	34,829	50,465	1	1,221	1,221	35,057	1,050	0,114	0,260	SI

Estructura reticular rectangular de dimensions 10x15x4.50m

Quadrícula ortogonal diagonalitzada amb reforços perimetrals i centrals

REACCIONS ALS RECOLZAMENTS

NUS	REACCIÓ X (KN)	REACCIÓ Y (KN)	REACCIÓ Z (KN)
N29	-31,59	17,11	83,96
N31	-31,57	-17,09	83,92
N45	31,59	-17,11	83,96
N53	31,57	17,09	83,92
TOTALS	0,00	0,00	335,78

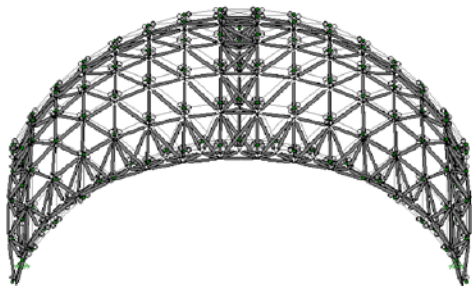
DESPLAÇAMENTS MÀXIMS

NUS	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
N68	4,98	-10,40	1,84
N228	-4,98	10,40	1,84
N223	-0,09	-5,88	-8,37
N63	0,09	5,88	-8,37

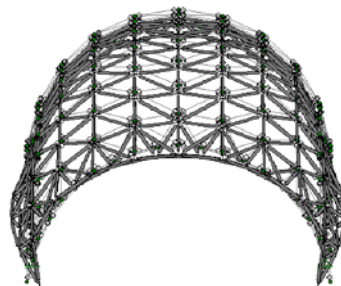
AXIALS MÀXIMS

BARRES	COMPRESSIÓ (KN)	BARRES	TRACCIÓ (KN)
M272	47,33	M277	-16,66
M236	47,33	M254	-16,66

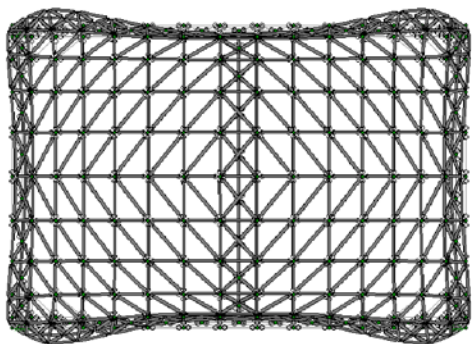
DEFORMADA



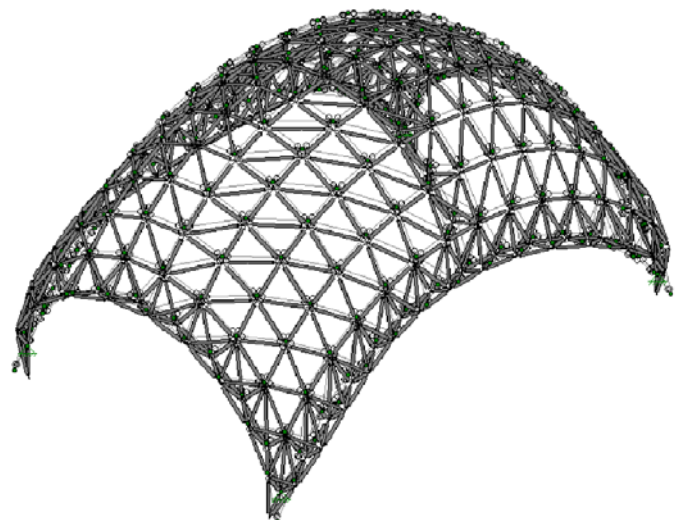
ALÇAT XZ



ALÇAT YZ



PLANTA



PERSPECTIVA



9.4. Conclusions parcials

De fet, l'aplicació de l'acció del vent en aquestes estructures seria més complexa, perquè no hi ha cap normativa que contempli aquest esquema formal. Per tant, s'ha realitzat una adaptació de la normativa, per tal d'observar, únicament, si les conseqüències, a primer cop d'ull i sense necessitat d'entrar més a fons, ens són perjudicials de cara al càlcul i disseny.

En aquest apartat s'esperaven altres efectes resultants de les accions del vent (pressió i succió), tot i que, els resultats, han estat sorprenents. El vent, a diferència de l'asimetria de càrregues no és un problema per aquesta tipologia estructural, i més un cop aquesta està ben dimensionada. Segurament, es deu a la forma aerodinàmica, que ens proporcionen les estructures tridimensionals objecte d'estudi.

En vista als resultats obtinguts, presentats a les fitxes, es pot comprovar que el comportament estructural no varia significativament, en presència del vent, en relació als obtinguts en condicions normals. Tot i així, amb els desplaçaments resultants del pla horitzontal, que pateixen els nusos, és l'apartat amb el qual es poden apreciar més els efectes. De fet, al comprovar la secció a pandeig de la barra més comprimida, resulta ser la mateixa adoptada pel mateix cas, però sotmès per les càrregues normals definides amb les dades generals. L'única diferència en aquest punt es pot observar amb el marge entre la tensió de treball de les barres més comprimides i la tensió màxima admissible.



RESUM DE CONCLUSIONS



1. CONCLUSIONS GENERALS EN EL CÀLCUL I OPTIMITZACIÓ DE LES ESTRUCTURES TRIDIMENSIONALS

- Són estructures que requereixen estar totalment diagonalitzades.
- Un augment de dimensions a l'estructura implica majors desplaçaments de nusos.
- Una estructura d'una sola capa necessita un reforç perimetral, que augmenti la rigidesa del conjunt, perquè els desplaçaments en el pla x-y siguin menors.
- Les barres han d'estar dimensionades per suportar les màximes compressions a les que l'estructura estigui sotmesa. Caldrà doncs, comprovar-les a pandeig.
- El trencament fràgil d'un element no implica el col·lapse parcial o total de l'estructura, sempre i quan aquest element no estigui en una zona propera als suports.
- En cas d'utilitzar, com a nus, la unió mecànica dels extrems xafats de les barres, el gruix de les barres no podrà superar el 1.50 mm. En cas que es superi, no es podrà utilitzar aquest tipus de nus. Cal tenir present, que aquest nus, a diferència d'altres, no incrementa el pes propi de l'estructura.
- Com més curta és la longitud de la barra, millor és el seu comportament a pandeig. Per tant, és recomanable utilitzar un especejament d'entre 1 m, com a màxim 2 m, de longitud de barra.
- El diàmetre recomanable per estructures quadrangulars d'aproximadament 10.00x10.00 m de planta, estarà entre un rang de 4 a 5 cm, partint d'un gruix d'1.50 mm.
- El diàmetre recomanable per estructures rectangulars d'aproximadament 10.00x15.00 m de planta, serà de 6 cm, partint d'un gruix d'1.50 mm.
- L'estructura òptima de planta quadrangular, partint d'una planta de 10.00x10.00 m de dimensions, és la que adopta una fletxa de 3.00 m. No es pot treballar amb fletxes inferiors, ja que els desplaçaments en z són inacceptables. Amb fletxes superiors a 3.00 m, també es pot treballar, tot i que cal vigilar amb l'augment dels desplaçaments en el pla x-y.
- L'estructura òptima de planta rectangular, partint d'una planta de 10.00x15.00 m de dimensions, és la que adopta una fletxa de 4.50 m.



- Cal intentar dissenyar les estructures tridimensionals amb un especejament parell, i així aconseguir el màxim d'asimetria possible.
- El fet d'incorporar un/s reforç/os central/s, ajuda a disminuir els desplaçaments de nusos.
- L'asimetria de càrregues empitjora substancialment el comportament estructural. Així doncs, són estructures que treballen bé davant d'una càrrega uniforme, però no puntual.
- El vent no és tant significant com l'asimetria de càrregues, tot i tenir afectes de deformació sobre l'estructura.
- És recomanable treballar amb llums entre suports inferiors a 10 m. La disposició dels suports haurà de ser el màxim regular possible.
- A partir de 15 m de costat, serà recomanable passar a utilitzar estructures tridimensionals de doble capa.
- Són estructures que no requereixen estar compostes pels mateixos materials i diàmetres de barra.
- Sempre que es vulguin evitar empentes horitzontals, serà necessària la utilització d'un tirant.



APLICACIÓ PRÀCTICA

1. APLICACIÓ PRÀCTICA: PROTECCIÓ DE LA COBERTA DE L'ESGLÉSIA DE ST. JULIÀ DE VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS

1.1. Raonament

A partir de les conclusions que s'han pogut anar apreciand als apartats anteriors, corresponents a l'estudi de càlcul i optimització de les estructures reticulars lleugeres metàl·liques, i en funció de la geometria que adopten, en aquest apartat es tractarà d'aplicar tots aquests conceptes pel disseny d'un cas real.

Existeix una església anomenada Sant Julià, ubicada al municipi de Vallfogona del Ripollès, la qual presenta un estat de deteriorament pronunciat. Està composta per dues parts totalment diferenciades: una romànica i l'altra d'estil barroc, bàsicament pel que fa a la seva decoració interior.



a) Vista interior de la part romànica de l'església de St. Julià.



b) Vista interior de la part barroca de l'església de St. Julià.

Es tracta d'una església, totalment atípica, a nivell formal, i és a causa de les adaptacions, amb el transcurs del temps, que ha patit. En planta, les proporcions no segueixen les estàndards de les esglésies romàniques i barroques (pràcticament, no n'existeixen) de l'entorn, ja que la part barroca va adoptar major amplada que la romànica inicial. En alçat, cal destacar que l'absis disposa de major altura que el campanar, fet totalment anormal en qualsevol església existent de l'època. L'altar sempre sol destacar per ser l'element que sobresurt més dins el conjunt d'una església.



a) *Façana principal de l'església de St. Julià.*



b) *Façana posterior de l'església de St. Julià.*



c) *Façana lateral esquerra de l'església de St. Julià.*

El problema que presenta Sant Julià de Valfogona és el gran nombre de lesions patològiques que s'hi pot observar. Aquestes lesions han estat causades bàsicament: per l'existència de sulfats al terreny, que han provocat efectes expansius; per la caiguda d'un llamp; i a més, per tractar-se d'una zona sísmica. A més, aquests defectes han empitjorat, per la falta de manteniment des de la caiguda del llamp, moment en què l'església va quedar en desús, a causa de les supersticions de la gent del poble.



Façana lateral dreta de l'església de St. Julià, on s'observen els efectes de la caiguda del llamp.



Vistes interiors de la coberta de l'església de St. Julià, on s'observen: l'estat de deteriorament i les parts més desprotegides.





Dissenyar una cúpula adaptada a l'església seria una solució per tal que aquesta no continués malmetent-se tan ràpidament, ja que així, estaria protegida de l'intempèrie. Actualment, aquesta església consta de diverses esquerdes a la coberta, que amb el pas del temps, han anat incrementant la seva obertura, fins a deixar descobertes parts de l'interior de l'església. Fins i tot, existeixen zones derruïdes. Per tant, amb la construcció d'aquesta malla espacial, s'aconseguiria tapar totes les zones descobertes i així, evitar una major deterioració a efectes d'estar en la situació en què es troba actualment.

Aquesta cúpula necessitarà majors dimensions a les estudiades al llarg d'aquest projecte, cosa que suposadament, ens implicarà una major rigidització. A més, i segurament, seran necessaris un major número de suports, que els suposats en l'estudi realitzat (4 suports).

En cas, que aquest avantprojecte es porti a cap a la realitat, en un futur, el mètode de muntatge que s'utilitzarà serà el número 4 (marc teòric), ja que es disposa del suficient terreny com per muntar-la a terra inicialment, i posteriorment, elevar-la amb grua, per tal d'ubicar-la al seu lloc definitiu. Tot i ser possible, l'accessibilitat a l'església seria conflictiva, ja que per portar una grua fins al lloc precís, caldria demanar permís de pas, directe de la carretera, als veïns de l'església de Sant Julià.

Tal i com s'ha previst, en tot moment a l'estudi de càlcul i optimització, es tractaria d'una cúpula composta de barres, però físicament sense nusos. Els nusos es crearien a partir dels propis extrems de les barres. Caldria xafar-los, per tal de permetre'n la unió amb altres, mecànicament. Per tant, es tractaria d'una estructura amb unions internes articulades, amb suports també articulats.

El que caldria preveure és l'atirantat de l'estructura reticular metàl·lica, per tal d'evitar empentes d'aquesta sobre les parets de càrrega de l'església, sobre les quals s'hi ubicarien els suports. El tirant serveix per absorbir les components de les reaccions als recolzaments o suports, del pla x-y. D'aquesta manera, només caldria tenir present la component vertical de la reacció als recolzaments, que es transmetria sense problemes per les parets de tancament de l'església, ja que a l'estar compostes de pedra, tenen un molt bon comportament a compressió. Per tant, es tracta d'una solució per impedir el volc de la paret, a causa del esforços creats per l'aparició de la nova estructura sobre l'existent.

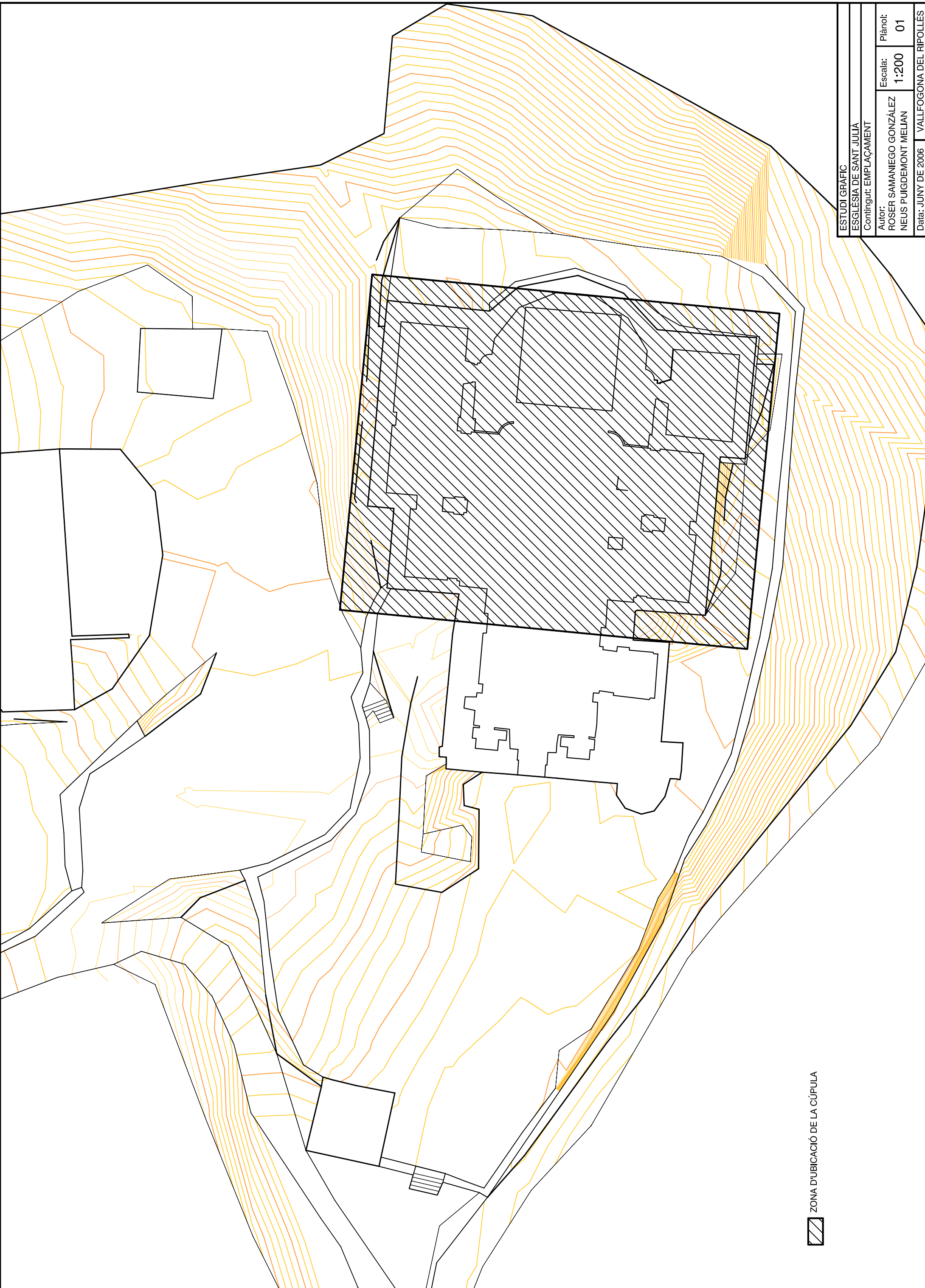


Val a dir, que la nova estructura que es preveu col·locar sobre l'existent, és una estructura que funciona molt bé, a nivell estructural, a part de proporcionar una gran lleugeresa. Tot i així, cal remarcar que el comportament estructural és bo quan aquesta suporta una distribució de càrregues uniforme, i fins i tot l'incidència del vent. A partir del moment que existeix una concentració de càrregues, el comportament estructural, tal i com s'ha pogut observar, canviarà, i més, tractant-se d'una església ubicada a Vallfogona, essent aquesta, una zona geogràfica amb una major altitud topogràfica.

Per últim, és important remarcar que en els càlculs es preveurà, en aquest cas i a causa de l'altitud topogràfica de la zona d'ubicació de la cúpula, una sobrecàrrega de neu d' 1.20 KN/m^2 . El valor adoptat correspon, segons la NBE-AE/88, a una altitud topogràfica d'entre 1.001 i 1.200m.

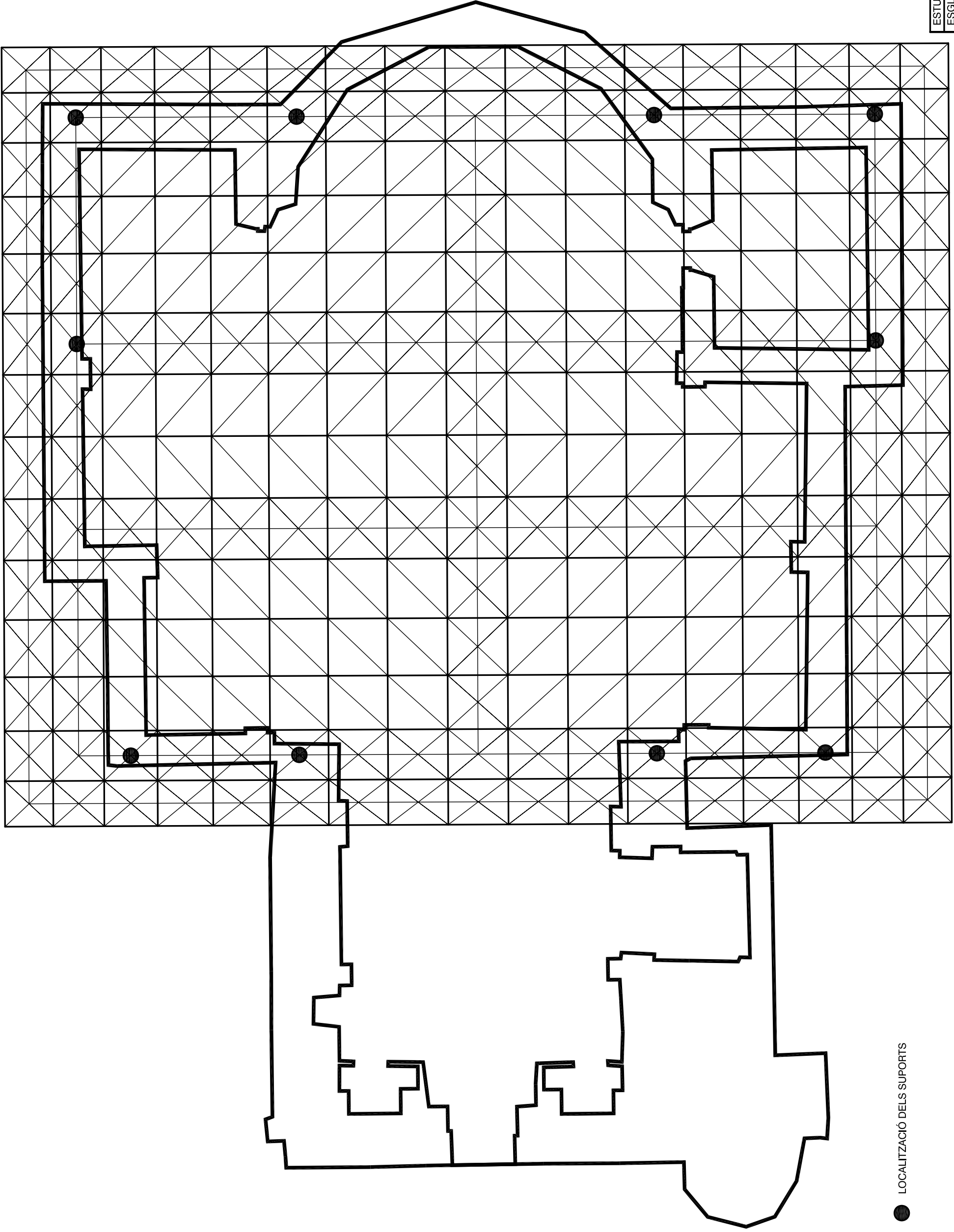


1.2. Documentació gràfica



 ZONA D'UBICACIÓ DE LA CÚPULA

ESTUDI GRÀFIC			
ESGLÉSIA DE SANT JULIÀ			
Contingut: EMPLAÇAMENT			
Autor:	ROSER SAMANIEGO GONZÁLEZ	Escala:	1:200
	NEUS PUIGDEMONT MELIÀ	Plànol:	01
Data: JUNY DE 2006		VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS	



● LOCALITZACIÓ DELS SUPORTS

ESTUDI GRAFIC

ESGLÉSIA DE SANT JULIA

Contingut: UBICACIÓ DE LA CÚPULA

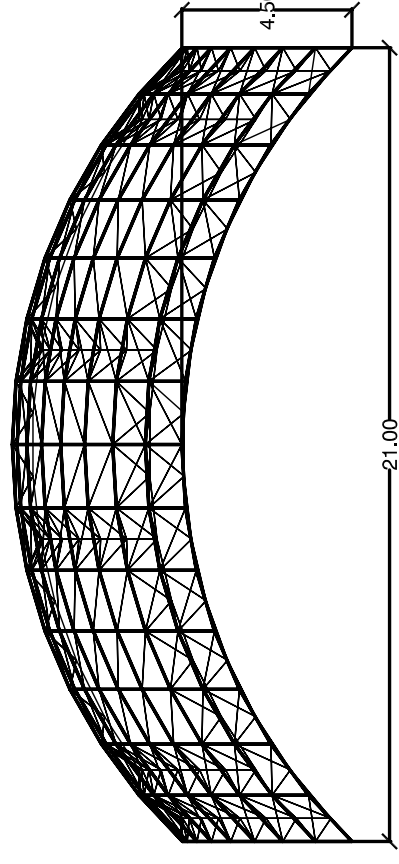
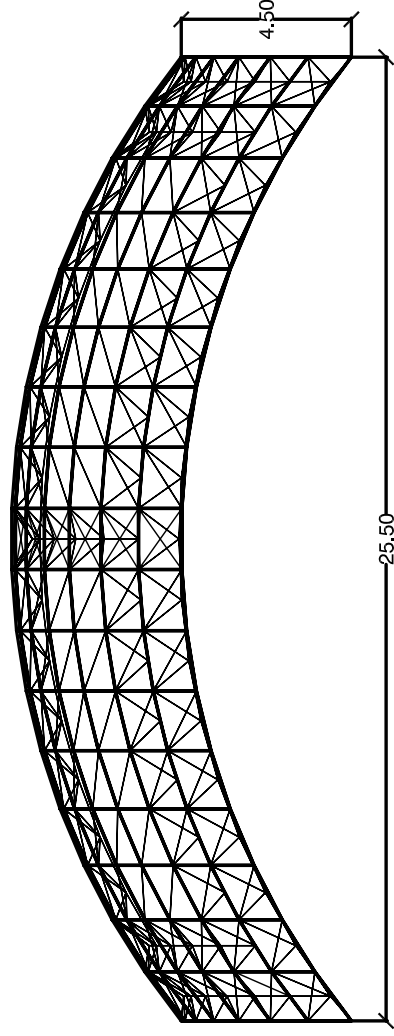
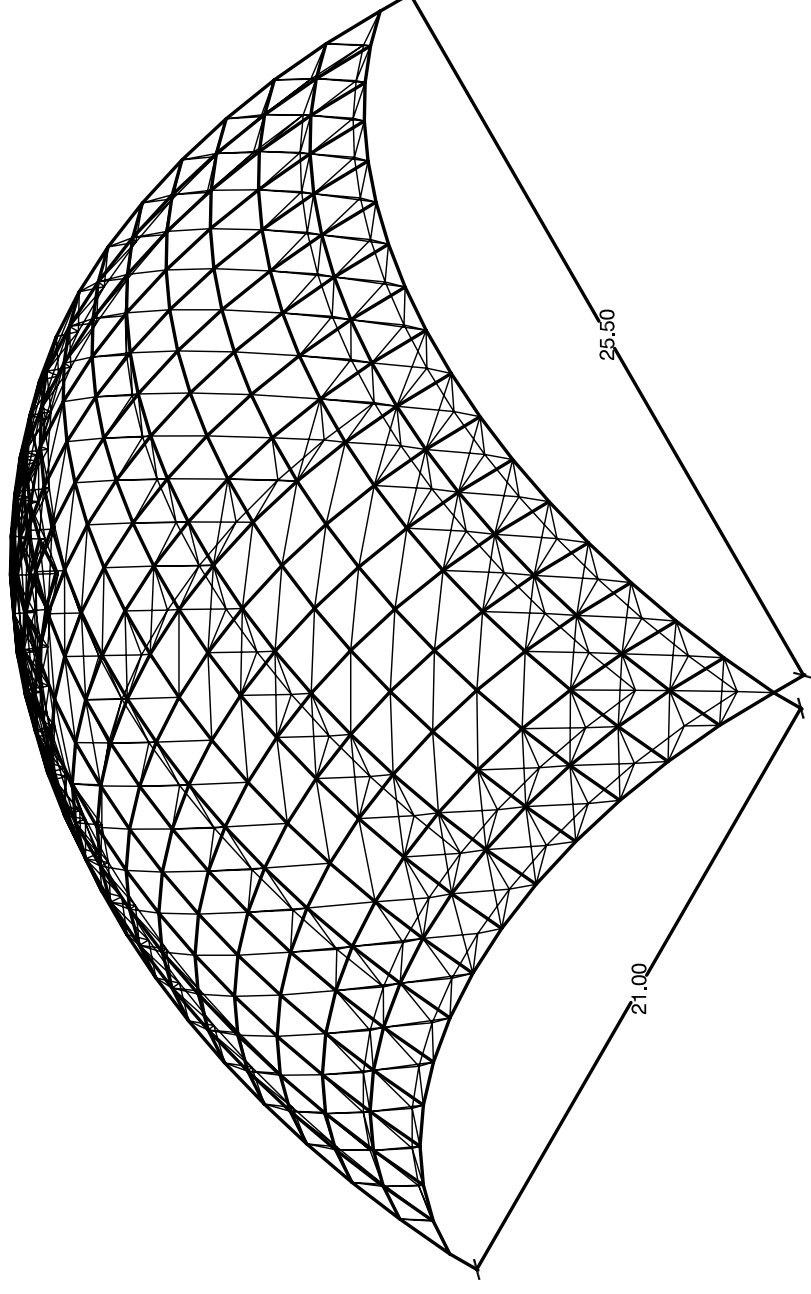
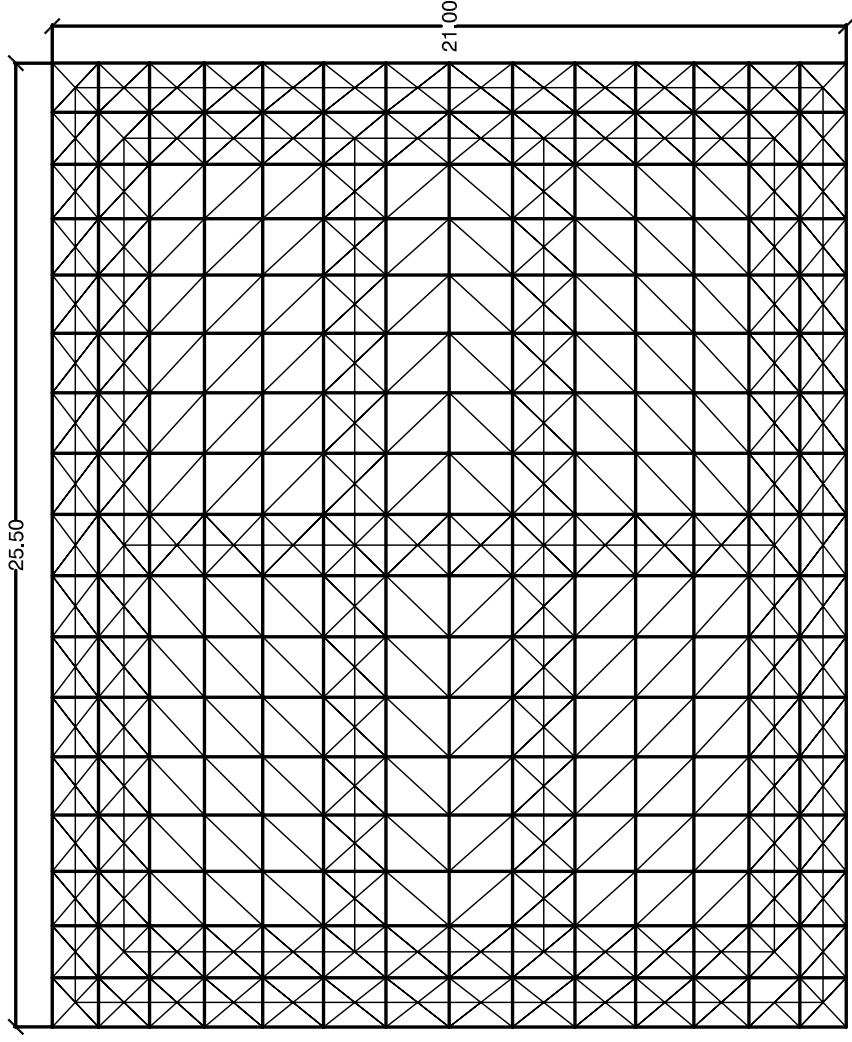
Autor: ROSER SAMANIEGO GONZÁLEZ

Escala: 1:100

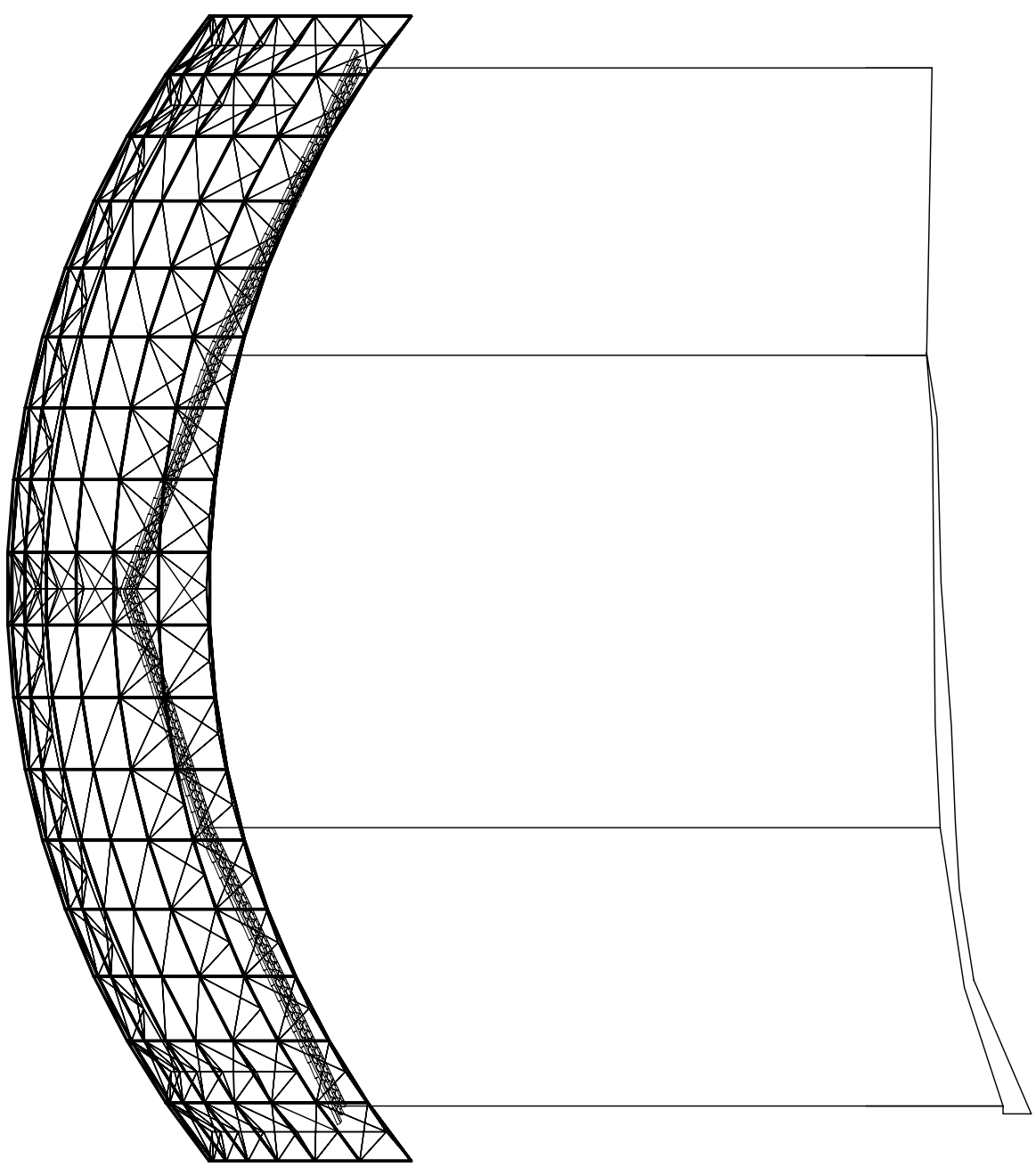
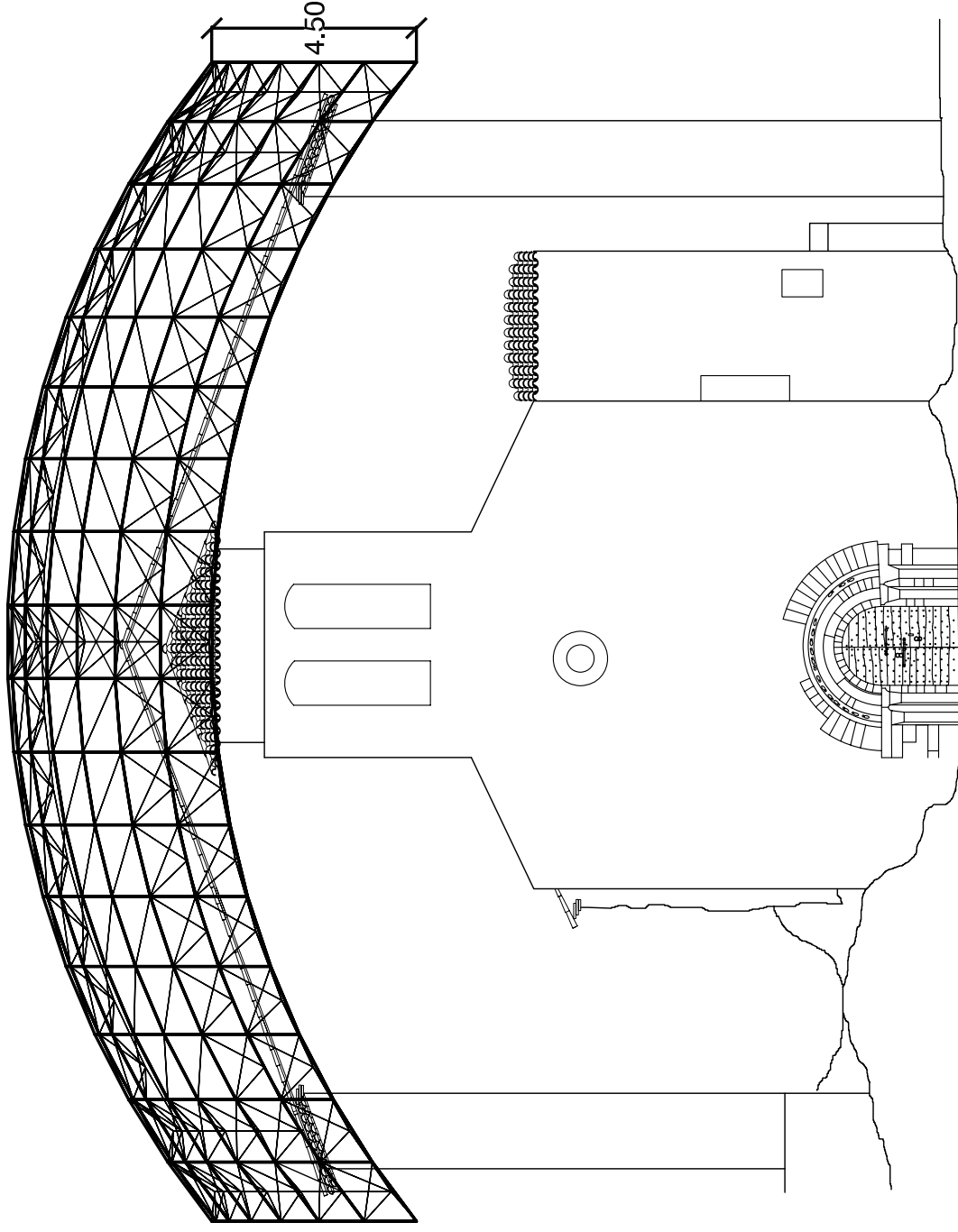
Plànoi: 02

Data: JUNY DE 2006

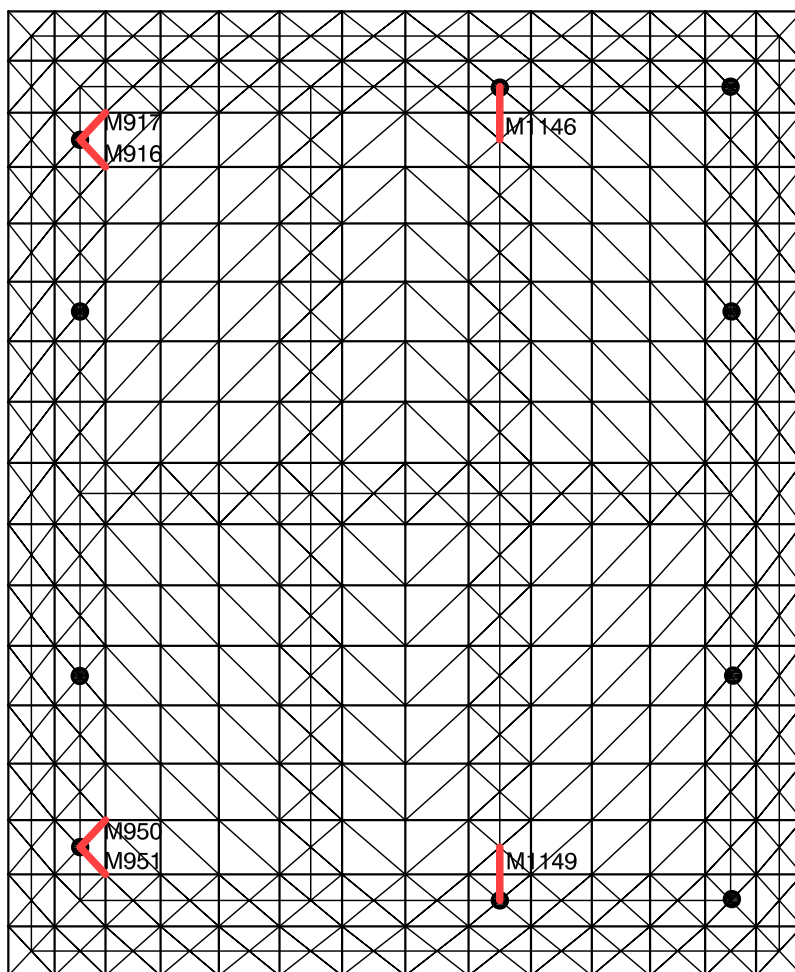
VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS



ESTUDI GRAFIC			
ESGLÉSIA DE SANT JULIA			
Contingut: GEOMETRIA DE LA CÚPULA			
Autor:	ROSER SAMANIEGO GONZÁLEZ	Escola:	Plàno: 03
	NEUS PUIGDEMONT MELIÀ	1:200	
Data:	JUNY DE 2006	VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS	



ESTUDI GRAFIC			
ESGLÉSIA DE SANT JULIA			
Contingut: ALÇAT FRONTAL I POSTERIOR			
Autor:	Escola:	Plànol:	
ROSER SAMANIEGO GONZÁLEZ	1:150	04	
Data: JUNY DE 2006			VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS



VALLFOGONA (25,50X21,00X4,50m)	I_{yy} (mm ⁴)	A (mm ²)	i_y (mm)	Axials (KN)	β	Longitud barra (m)	L_w (mm)	λ	ω	σ calculada (KN/mm ²)	σ màx admissible (KN/mm ²)
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	84,783	1	1,167	1.167	56,405	1,180	0,363	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	84,761	1	1,167	1.167	56,405	1,180	0,363	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	73,936	1	1,674	1.674	80,910	1,530	0,410	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	73,924	1	1,415	1.415	68,392	1,310	0,351	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	52,216	1	1,689	1.689	81,635	1,550	0,294	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	52,166	1	1,689	1.689	81,635	1,550	0,293	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	51,363	1	1,519	1.519	73,418	1,390	0,259	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	51,087	1	1,519	1.519	73,418	1,390	0,258	0,260
BARRA Ø 6cm (e = 1,5mm)	118.006,0	275,675	20,690	44,398	1	1,578	1.578	76,270	1,440	0,232	0,260

ESTUDI GRÀFIC

ESGLÉSIA DE SANT JULIÀ

Contingut: RESULTATS DE CàLCUL

Autor:
ROSER SAMANIEGO GONZÁLEZ
NEUS PUIGDEMONT MELIAN

Escala:
1:150

Plànol:
05

Data: JUNY DE 2006

VALLFOGONA DEL RIPOLLÈS



1.3. Conclusions

En vista a l'observat als plànols, aquest cas pràctic supera, a nivell de dimensions en planta, les de les cúpules anteriorment utilitzades a l'estudi de càlcul i optimització d'estructures espacials. En el cas de l'església de Sant Julià de Vallfogona del Ripollès és necessari, per tal de cobrir la coberta, exclusivament de la part barroca (la part més malmesa), unes dimensions d'estructura en planta de 21.00x25.50m. Per tant, es tractarà d'una estructura tridimensional de planta rectangular. La superfície que es requereix cobrir ha implicat un disseny amb un espejament imparell al lateral llarg, i un espejament parell al lateral curt.

S'ha previst un ràfec d'entre 1 i 2m (depenent de la zona), ja que permetent un voladís a l'estructura se'ns facilitava l'ubicació dels suports, tot i no tractar-se d'una distribució gaire regular. Els suports estaran col·locats sobre les parets de càrrega i tancament de l'església existent, tal i com s'observa en els plànols. Val a dir, que les dimensions amb les que es compten, en aquest cas, són molt grans per permetre un bon comportament estructural, tractant-se d'una estructura reticular metàl·lica lleugera d'una sola capa. Per aquest raonament, i en vista als càlculs iteratius que s'han anat realitzat, ha estat necessari possibilitar una major rigidització al contorn de l'estructura. En aquest cas doncs, s'ha optat per reforçar les dues últimes filades exteriors de l'estructura.

Les pròpies dimensions fa que les deformacions globals siguin més exagerades, tot i no ser desorbitades. Per això, s'ha optat de proporcionar, a l'estructura, una major rigidesa, tot i el comentat al paràgraf anterior. S'ha previst també, un reforç central al lateral llarg de l'estructura, i dos reforços simètrics al lateral curt restant. Això facilitarà la disminució en els desplaçaments màxims dels nusos.

Pel disseny d'aquesta cúpula, s'ha optat per utilitzar les conclusions obtingudes del projecte realitzat. Per tant, al ser una estructura de planta rectangular, s'ha optat per una fletxa de 4.50m i una secció de barra de 6cm de diàmetre i 1.50mm de gruix de paret.

Així doncs, per la realització dels càlculs s'ha partit del disseny exposat. En aquest cas no s'han exposat els resultats obtinguts del RISA, ja que no és necessari per realitzar cap comparació. Només cal dir que les dimensions han propiciat en l'augment de pes propi global, i això conseqüentment, a un increment dels axials. Com



que aquest és el punt més destacable, només s'ha optat per col·locar, a les presentacions observades, la comprovació a pandeig de les barres més comprimides.

S'observa que excepte sis barres concretes, la resta de barres comprimides aguanten a pandeig. Caldrà doncs, cercar una solució per aquestes barres.

Una opció seria incrementar la secció, incrementant el diàmetre i el gruix de paret de la barra. Aquest augment de gruix implicaria el fet d'haver d'utilitzar un altre tipus de nus puntualment, ja que per gruixos majors a 1.50mm està comprovat que es dificultaria el xafat dels extrems de les barres.

Una segona opció seria, per contra, optar per incrementar la secció, però, en aquest cas, reforçant la barra, soldant-hi uns perfils, que ajudin a cooperar en la recepció dels axials a compressió i evitin el pandeig de les barres localitzades, i per tant, n'impedeixin el seu possible trencament fràgil. Aquest reforç no caldria col·locar-lo a tota la longitud de la barra, sinó exclusivament a la zona central més afectada. Això també es podria aconseguir utilitzant un perfil, que proporcionés una major secció a la part més desfavorable de la barra i una menor secció a la part de la barra menys afectada.



DOCUMENTS ANNEXES



N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22
N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33
N34	N35	N36	N37+	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44
N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55
N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64	N65	N66
N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N77
N78	N79	N80	N81	N82	N83	N84	N85	N86	N87	N88
N89	N90	N91	N92	N93	N94	N95	N96	N97	N98	N99
N100	N101	N102	N103	N104	N105	N106	N107	N108	N109	N110
N111	N112	N113	N114	N115	N116	N117	N118	N119	N120	N121

N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22
N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33
N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44
N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55
N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64	N65	N66
N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N77
N78	N79	N80	N81	N82	N83	N84	N85	N86	N87	N88
N89	N90	N91	N92	N93	N94	N95	N96	N97	N98	N99
N100	N101	N102	N103	N104	N105	N106	N107	N108	N109	N110
N111	N112	N113	N114	N115	N116	N117	N118	N119	N120	N121
N122	N123	N124	N125	N126	N127	N128	N129	N130	N131	N132
N133	N134	N135	N136	N137	N138	N139	N140	N141	N142	N143
N144	N145	N146	N147	N148	N149	N150	N151	N152	N153	N154
N155	N156	N157	N158	N159	N160	N161	N162	N163	N164	N165

N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32
N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44	N45	N46	N47	N48
N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64
N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N77	N78	N79	N80
N81	N82	N83	N84	N85	N86	N87	N88	N89	N90	N91	N92	N93	N94	N95	N96
N97	N98	N99	N100	N101	N102	N103	N104	N105	N106	N107	N108	N109	N110	N111	N112
N113	N114	N115	N116	N117	N118	N119	N120	N121	N122	N123	N124	N125	N126	N127	N128
N129	N130	N131	N132	N133	N134	N135	N136	N137	N138	N139	N140	N141	N142	N143	N144
N145	N146	N147	N148	N149	N150	N151	N152	N153	N154	N155	N156	N157	N158	N159	N160
N161	N162	N163	N164	N165	N166	N167	N168	N169	N170	N171	N172	N173	N174	N175	N176

N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32
N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44	N45	N46	N47	N48
N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64
N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N77	N78	N79	N80
N81	N82	N83	N84	N85	N86	N87	N88	N89	N90	N91	N92	N93	N94	N95	N96
N97	N98	N99	N100	N101	N102	N103	N104	N105	N106	N107	N108	N109	N110	N111	N112
N113	N114	N115	N116	N117	N118	N119	N120	N121	N122	N123	N124	N125	N126	N127	N128
N129	N130	N131	N132	N133	N134	N135	N136	N137	N138	N139	N140	N141	N142	N143	N144
N145	N146	N147	N148	N149	N150	N151	N152	N153	N154	N155	N156	N157	N158	N159	N160
N161	N162	N163	N164	N165	N166	N167	N168	N169	N170	N171	N172	N173	N174	N175	N176
N177	N178	N179	N180	N181	N182	N183	N184	N185	N186	N187	N188	N189	N190	N191	N192
N193	N194	N195	N196	N197	N198	N199	N200	N201	N202	N203	N204	N205	N206	N207	N208
N209	N210	N211	N212	N213	N214	N215	N216	N217	N218	N219	N220	N221	N222	N223	N224



Capítulo III. Sobrecargas de uso

3.1. Sobrecarga de uso

Sobrecarga de uso en un elemento resistente es el peso de todos los objetos que pueden gravitar sobre él por razón de su uso: personas, muebles, instalaciones amovibles, materias almacenadas, vehículos, etc.

3.2. Sobrecarga uniforme en pisos

Sobre un piso, la posición de los objetos cuyo peso constituye la sobrecarga de uso es variable e indeterminada en general. Por esta razón se sustituye su peso por una sobrecarga superficial uniforme, salvo en los casos especificados en los artículos 3.3, 3.4 y 3.5.

Para cada parte del edificio se elegirá un valor de sobrecarga de uso adecuado al destino que vaya a tener, sin que el valor elegido sea menor que el correspondiente a este uso en la Tabla 3.1.

La sobrecarga de uso de un local de almacén se calculará determinando el peso de las materias almacenables con la máxima altura prevista. Puede calcularse con los pesos específicos aparentes de la Tabla 2.2.

No se considerarán nunca incluidos en la sobrecarga de uso los pesos del pavimento del piso y del revestido del techo o de cualquier otro elemento que represente una carga permanente, como el peldañado de escaleras, que se computarán expresamente en la carga permanente.

3.3. Sobrecarga de tabiquería

Aunque estrictamente hablando la tabiquería no constituye una sobrecarga, sin embargo, como en la vida de un edificio suele ser objeto de reformas, su peso se calculará asimilándolo a una sobrecarga superficial uniforme, que se adicionará a la sobrecarga de uso, siempre que se trate de

Uso del elemento	Sobrecarga kg/m ²
A. Azoteas	
Accesibles sólo para conservación	100
Accesibles sólo privadamente	150
Accesibles al público	Según su uso
B. Viviendas	
Habitaciones de viviendas	200
Escaleras y accesos públicos	300
Balcones volados	Según art. 3.5
C. Hoteles, hospitales, cárceles, etc.	
Zonas de dormitorio	200
Zonas públicas, escaleras, accesos	300
Locales de reunión y de espectáculo	500
Balcones volados	Según art. 3.5
D. Oficinas y comercios	
Locales privados	200
Oficinas públicas, tiendas	300
Galerías comerciales, escaleras y accesos	400
Locales de almacén	Según su uso
Balcones volados	Según art. 3.5
E. Edificios docentes	
Aulas, despachos y comedores	300
Escaleras y accesos	400
Balcones volados	Según art. 3.5
F. Iglesias, edificios de reunión y de espectáculos	
Locales con asientos fijos	300
Locales sin asientos, tribunas, escaleras	500
Balcones volados	Según art. 3.5
G. Calzadas y garajes	
Sólo automóviles de turismo	400
Camiones	1.000

tabiques ordinarios cuyo peso por metro cuadrado no sea superior a 120 kg/m² (de ladrillo hueco o de placas ligeras, con guarnecido en ambas caras, de grueso total no mayor de 7 cm.).

Cuando la sobrecarga de uso sea menor de 300 kg/m², la sobrecarga de tabiquería por metro cuadrado de piso que hay que adicionar no será inferior a 100 kg/m². Este valor corresponde a una distribución por m² de piso de 0,5 m. de tabique de 2,50 m. de altura y peso de 80 kg/m².

Cuando la sobrecarga de uso sea de 300 ó de 400 kg/m², se podrá tomar como sobrecarga adicional de tabiquería la mitad del peso de ésta. Cuando la sobrecarga de uso se mayor de 400 kg/m², no se precisa adicionar el peso de la tabiquería.

Cuando se trate de tabicones de peso superior a 120 kg/m², no se asimilará su peso a una carga superficial uniforme, siendo preciso considerar la correspondiente carga lineal.

3.4. Sobrecargas aisladas

Todo elemento resistente: vigueta, cabio, correa, etcétera, debe calcularse para resistir las dos sobrecargas siguientes, actuando no simultáneamente: a), una sobrecarga aislada de 100 kg. en la posición más desfavorable; b), la parte correspondiente de la sobrecarga superficial de uso según los artículos 3.2 y 3.3.

Todo elemento resistente de calzadas y garajes debe calcularse para resistir las dos sobrecargas siguientes actuando no simultáneamente: a), las sobrecargas aisladas originadas por las ruedas de los vehículos en las posiciones más desfavorables; b), la parte correspondiente de la sobrecarga superficial de uso, según Tabla 3.1 G.

3.5. Sobrecarga de balcones volados

Los balcones volados de toda clase de edificios se calcularán con una sobrecarga superficial, actuando en toda su área, igual a la de las habitaciones con que comunican, más una sobrecarga lineal, actuando en sus bordes frontales, de 200 kg/m.

3.6. Sobrecargas horizontales

Los antepechos de terrazas, balcones, escaleras, etcétera, se calcularán para resistir una sobrecarga lineal horizontal, actuando en su borde superior, del valor siguiente:

Viviendas y edificaciones de uso privado 50 kg/m.
 Locales de uso público 100 kg/m.
 Se considerará toda otra sobrecarga horizontal que pueda producirse por el uso.

Número de pisos que actúan sobre el elemento	Reducción en la suma de sobrecargas %
1, 2, 3	0
4	10
5	20
6 o más	30

La cubierta se considera como un piso.

3.7. Reducción de sobrecargas

En los edificios de varios pisos, incluidos en los apartados B y C de la Tabla 3.1, se podrá considerar para el cálculo de todo elemento resistente: jácena, pilar, muro, cimiento, etc., que reciba la carga de varias plantas, la reducción en la suma de las sobrecargas de los elementos cuya carga recibe, que se indica en la Tabla 3.2.

3.8. Hipótesis de aplicación de sobrecargas

Cada elemento de una estructura se calculará con las solicitaciones más desfavorables, que, en muchos casos, especialmente en estructuras hiperestáticas, aparecen al actuar la sobrecarga completa sólo en determinadas partes de la estructura, estando las demás descargadas.

3.9. Acciones dinámicas

El elemento que directamente soporta una sobrecarga que actúa con impacto se calculará con la sobrecarga multiplicada por un coeficiente de impacto. En el cálculo de los elementos que indirectamente soportan la sobrecarga, el coeficiente de impacto se reduce o anula.

Las sobrecargas A a F de la Tabla 3.1 llevan ya incluido el efecto del impacto, salvo el caso en que se prevean causas extraordinarias.

En las calzadas con tráfico el coeficiente de impacto será de 1,4 para los vehículos.

La sobrecarga de máquinas que produzcan vibraciones se calculará teniendo en cuenta la influencia de éstas en la estructura.

Tabla 4.1

Altitud topográfica h (m)	Sobrecarga de nieve (kg/m^2)
0 a 200	40
201 a 400	50
401 a 600	60
601 a 800	80
800 a 1.000	100
1.001 a 1.200	120
> 1.200	$h : 10$

Capítulo IV. Sobrecargas de nieve

4.1. Sobrecarga de nieve

Sobrecarga de nieve en una superficie cubierta es el peso de la nieve que, en las condiciones climatológicas más desfavorables, puede acumularse sobre ella.

4.2. Peso específico aparente de la nieve

El peso específico aparente de la nieve acumulada es muy variable según las circunstancias, pudiendo servir de orientación los siguientes valores:

Nieve recién caída	120 kg/m^3 .
Nieve prensada o empapada	200 kg/m^3 .
Nieve mezclada con grizo	400 kg/m^3 .

4.3. Sobrecarga sobre superficie horizontal

La sobrecarga de nieve sobre una superficie horizontal se supone uniformemente repartida, y su valor en cada localidad puede fijarse con los datos estadísticos locales cuando existan con garantía suficiente. Cuando no existan datos estadísticos, el valor de la sobrecarga, en función de la altitud topográfica de la localidad, será el dado por la Tabla 4.1.

Aun para las localidades en que no nieva se debe adoptar una sobrecarga de cubierta no menor de 40 kg/m^2 .

En la Tabla 4.2. figura la altitud topográfica de las capitales de provincia españolas.

4.4. Sobrecarga sobre superficie inclinada

La sobrecarga de nieve sobre una superficie de

Tabla 4.1

Sobrecarga de nieve sobre superficie horizontal

Altitud topográfica h (m)	Sobrecarga de nieve (kg/m^2)
0 a 200	40
201 a 400	50
401 a 600	60
601 a 800	80
800 a 1.000	100
1.001 a 1.200	120
> 1.200	$h : 10$

cubierta que forma el ángulo α con el plano horizontal, que no ofrezca impedimento al deslizamiento de la nieve, tendrá por metro cuadrado de proyección horizontal el valor siguiente.

$$\begin{aligned} \alpha &\leq 60^\circ & p \cos \alpha \\ \alpha &> 60^\circ & \text{cero} \end{aligned}$$

siendo p el valor de la sobrecarga sobre superficie horizontal.

Cuando la superficie de cubierta tenga resaltes u otros obstáculos que impidan el deslizamiento natural de la nieve, se tomará, cualquiera que sea el ángulo α , sobrecarga por metro cuadrado de proyección horizontal de valor p .

4.5. Acumulaciones de nieve

En las limahoyas y otras zonas de la cubierta en donde pueda acumularse normalmente la nieve por deslizamiento en los faldones confluyentes, o por efecto del viento, se calculará la sobrecarga debida a las acumulaciones previsibles. El peso específico de la nieve figura en el artículo 4.2.





2. Las disposiciones de este Documento Básico no son aplicables a los edificios situados en altitudes superiores a 2.000 metros. En estos casos, las presiones del viento se deben establecer a partir de datos empíricos disponibles.
3. En general, los edificios ordinarios no son sensibles a los efectos dinámicos del viento. Este Documento Básico no cubre las construcciones de esbeltez superior a 6, en las que sí deben tenerse en cuenta dichos efectos.

3.3.2. Acción del viento

1. La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (3.1)$$

siendo:

- q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Pueden obtenerse valores más precisos mediante el Anejo E, en función del emplazamiento geográfico de la obra;
 - c_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0;
 - c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en 3.3.4 y 3.3.5;
2. Los edificios se comprobarán ante la acción del viento en todas direcciones, independientemente de la existencia de construcciones contiguas medianeras, aunque generalmente bastará la consideración en dos sensiblemente ortogonales cualesquiera. Para cada dirección se debe considerar la acción en los dos sentidos. Si se procede con un coeficiente eólico global, la acción se considerará aplicada con una excentricidad en planta del 5 por 100 de la dimensión máxima del edificio en el plano perpendicular a la dirección de viento considerada y del lado desfavorable.
 3. La acción de viento genera además fuerzas tangenciales paralelas a la superficie. Se calculan como el producto de la presión exterior por el coeficiente de rozamiento, de valor igual a 0,01 si la superficie es muy lisa, por ejemplo, de acero o aluminio, 0,02 si es rugosa como en el caso de hormigón, y 0,04 si es muy rugosa, como en el caso de existencia de ondas, nervadura o pliegues. En las superficies a barlovento y sotavento no será necesario tener en cuenta la acción del rozamiento si su valor no supera el 10 por 100 de la fuerza horizontal debida a la acción del viento.

3.3.3. Coeficiente de exposición

1. El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4, siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento. Para alturas superiores a 30 metros los valores deben obtenerse de las expresiones generales que se recogen en el Anejo A.

- En el caso de edificios situados en las cercanías de acantilados o escarpas de pendiente mayor de 40° , la altura se medirá desde la base de dichos accidentes topográficos. Este Documento Básico sólo es de aplicación para alturas de acantilado o escarpa inferiores a 50 metros.
- A efectos de grado de aspereza, el entorno del edificio se clasificará en el primero de los tipos de la tabla 3.4 al que pertenezca, para la dirección de viento analizada.

TABLA 3.4.
VALORES DEL COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN c_e

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	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
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

3.3.4. Coeficiente eólico de edificios de pisos

- En edificios de pisos, con forjados que conectan todas las fachadas a intervalos regulares, con huecos o ventanas pequeños practicables o herméticos, y compartimentados interiormente, para el análisis global de la estructura, bastará considerar coeficientes eólicos globales a barlovento y sotavento, aplicando la acción de viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la acción de viento. Como coeficientes eólicos globales, podrán adoptarse los de la tabla 3.5.

TABLA 3.5.
COEFICIENTE EÓLICO EN EDIFICIOS DE PISOS

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

4. El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de $0,42 \text{ kN/m}^2$, $0,45 \text{ kN/m}^2$ y $0,52 \text{ kN/m}^2$ para las zonas A, B y C de dicho mapa.

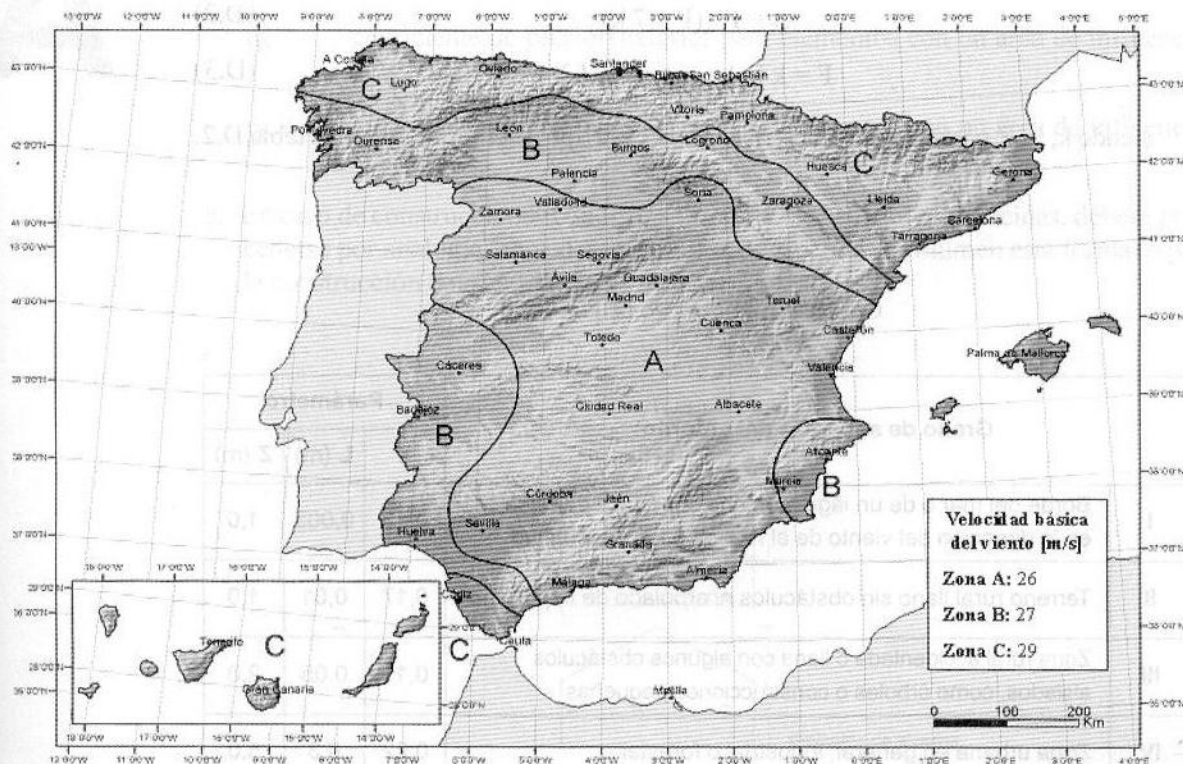


FIGURA D.1. VALOR BÁSICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, v_b

5. Para comprobaciones de estados límite de servicio, la velocidad básica indicada en párrafos anteriores puede modificarse con el coeficiente de la tabla D.1 según el período de retorno considerado, tomando para esa variable un tiempo igual al período de servicio con el que se proyecta el edificio.

TABLA D.1.
CORRECCIÓN DE LA VELOCIDAD BÁSICA EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE SERVICIO

Período de retorno (años)	1	2	5	10	20	50	200
Coefficiente corrector	0,41	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,08

D.2. COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

1. El coeficiente de exposición c_e para alturas sobre el terreno, z , no mayores de 200 metros, puede determinarse con la expresión:

$$c_e = F \cdot (F + 7k) \quad (D.2)$$

$$F = k \ln [\max (z,Z) / L] \quad (D.3)$$

siendo k , L , Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2.

TABLA D.2.
COEFICIENTES PARA TIPO DE ENTORNO

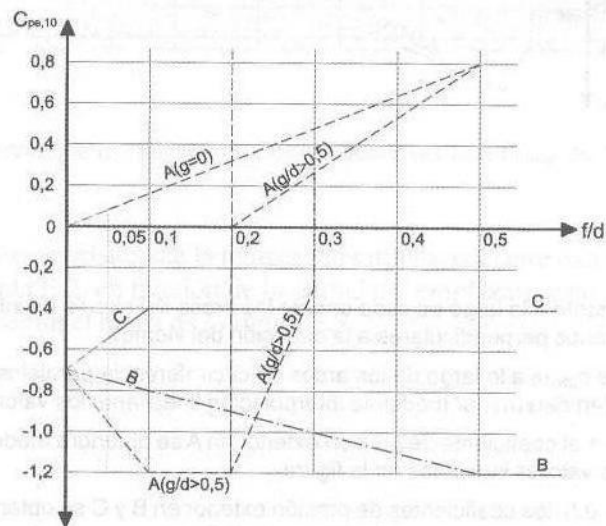
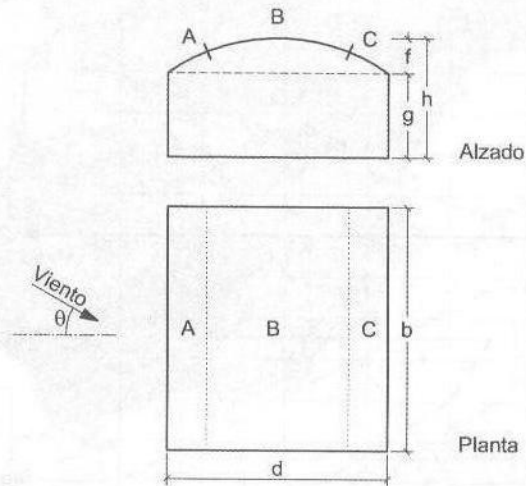
Grado de aspereza del entorno		Parámetro		
		k	L (m)	Z (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1,0
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

D.3. COEFICIENTES DE PRESIÓN EXTERIOR

- Los coeficientes de presión exterior o eólico, c_p , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición de elemento considerado y de su área de influencia.
- En las tablas D.3 a D.14 se dan valores de coeficientes de presión para diversas formas simples de construcciones, obtenidos como el pésimo de entre los del abanico de direcciones de viento definidas en cada caso. En todas ellas la variable A se refiere al área de influencia del elemento o punto considerado. El signo “ \pm ” indica que el valor es idéntico al de la casilla superior. Cuando se aportan dos valores de distinto signo separados, significa que la acción de viento en la zona considerada puede variar de presión a succión, y que debe considerarse las dos posibilidades. En todas las tablas puede interpolarse linealmente para valores intermedios de las variables. Los valores nulos se ofrecen para poder interpolar.
- Para comprobaciones locales de elementos de fachada o cubierta, el área de influencia será la del propio elemento. Para comprobaciones de elementos estructurales subyacentes, el área de asignación de carga. Si la zona tributaria del elemento se desarrolla en dos o más zonas de las establecidas en las tablas, como es el caso de análisis de elementos estructurales generales, el uso de los coeficientes tabulados opera del lado de la seguridad, toda vez que no representan valores simultáneos de la acción de viento.

- A efectos del dimensionado de la estructura, la resultante de la acción del viento sobre cada uno de los faldones se admitirá actuando en su centro. Además, se considerará también la situación en la que el viento actúa únicamente sobre uno de los dos faldones.
- Para factores de obstrucción con $0 < \varphi < 1$, los coeficientes de sustentación y de fuerza se podrán determinar mediante interpolación lineal.
- A sotavento del punto de máximo bloqueo, se emplearán los valores de los coeficientes de sustentación correspondientes a un factor de obstrucción $\varphi = 0$.

TABLA D.12.
CUBIERTAS CILÍNDRICAS



Notas:

- Para $0 < g/d < 0,5$, el coeficiente de presión exterior, $C_{pe,10}$, correspondiente a la superficie A, se obtendrá mediante interpolación lineal.
- Para $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ y $g/d \geq 0,5$, se adoptará el más desfavorable de los dos posibles valores del coeficiente de presión exterior, $C_{pe,10}$, correspondiente a la zona A.

TABLA E.1.
TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE EXTERIOR (°C)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-7	-11	-11	-6	-5	-6	6
200	-10	-13	-12	-8	-8	-8	5
400	-12	-15	-14	-10	-11	-9	3
600	-15	-16	-15	-12	-14	-11	2
800	-18	-18	-17	-14	-17	-13	0
1.000	-20	-20	-19	-16	-20	-14	-2
1.200	-23	-21	-20	-18	-23	-16	-3
1.400	-26	-23	-22	-20	-26	-17	-5
1.600	-28	-25	-23	-22	-29	-19	-7
1.800	-31	-26	-25	-24	-32	-21	-8
2.000	-33	-28	-27	-26	-35	-22	-10

SE
AE



FIGURA E.2. ZONAS CLIMÁTICAS DE INVIERNO













- NBE-AE/88. ACCIONS A L'EDIFICACIÓ
- NBE-EA/95. Estructures d'acer a l'edificació.
- CTE (CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN), aprovat pel RD 314/2006, de 17 de març. Leynfor Siglo XXI, S.A. Madrid. Juny 2006.
- Chilton John, SPACE GRID STRUCTURES. Architectural Press. Oxford, 2000.
- NTE-ECV, de càrregues de vent. 1a revisió: 1988.
- ENV 1991 - EUROCÓDIGO 1.
- Pàgines web de cases comercials: Orona, Lanik.
- Enciclopèdia Catalana, S.A. i Edicions 62, S.A. amb col·laboració de Publicacions de l'Abadia de Montserrat, S.A., Edicions Moll, S.A. i Edicions 3 i 4, S.A.; Setembre de 1995. "Diccionari de la Llengua Catalana, de l'Institut d'Estudis Catalans".



AGRAÏMENTS



- Luís Sánchez-Cuenca, Doctor Arquitecte, del departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica, per haver-nos introduït en temes de configuració geomètrica estructural de les estructures tridimensionals.
- Miquel Llorens Sulivera i Xavier Vinyoles, del departament d'Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial, per haver-nos destinat, pacientment, tants divendres i tantes hores cada divendres al seguiment del nostre projecte.
- Marta Capell, per haver-nos ensenyat a utilitzar el RISA (programa informàtic de càlcul).
- Miquel Àngel Chamorro, per donar-nos la oportunitat d'introduir-nos en els treballs previs per la possible restauració de l'església de Sant Julià de Vallfogona del Ripollès.
- Joan Fontàs i Serrat, del departament de Construcció, per haver-nos incidit en la presentació i l'estructuració dels projectes d'estructures.
- Joan Llorens Sulivera, del departament de Construcció, per haver-nos animat en continuar treballant el nostre projecte fins a la convocatòria de Juny.
- Julio Fernández, Maria Molins, Mònica Nieto i Albert Serrats; per haver col·laborat, juntament amb nosaltres, en els treballs previs que es van realitzar a l'església de Sant Julià de Vallfogona del Ripollès.
- A la nostra família, per animar-nos dia a dia a tirar endavant en un any tant difícil com aquest.
- I per finalitzar, ens donem les gràcies mútuament per haver-nos ensortit, amb tanta paciència, dels bons i els mals moments, que hem hagut de passar juntes.