Tesi posterior al Treball

Aquest projecte es pot dividir en dues parts, la primera part seria la part teòrica, la part que ens serveix per descobrir al visionari Richard Buckminster Fuller, qui va posar les bases de la geodèsia al món de l'arquitectura moderna.

Un cop descobert Fuller i algunes de les seves teories i invencions més originals, el treball entra en una segona part, més pràctica, ja que consisteix en descobrir com s'aplica a la realitat la teoria geodèsica de Fuller, i per tant com es construeix una estructura geodèsica. És en aquesta part on podem veure el treball des d'un punt de vista més analític, veient com es posa a la pràctica la teoria de les cúpules geodèsiques i com es concreta en alguns dels projectes arquitectònics més interessants.

Ara bé, aquest treball ha intentat resoldre un seguit de qüestions des del seu inici. Si bé és cert que a mesura que avançava en el projecte van anar apareixent noves qüestions, algunes de les quals no havien estat contemplades a l'inici, tot i no estar relacionades amb el treball d'una manera directa, si que hi apareixen d'una manera, potser més subtil, però no menys important.

Com està descrit a la introducció, el treball busca descobrir què és la geodèsia, qui la va descobrir, i partint d'aquesta base, saber com es construeix una cúpula geodèsica, quins problemes comporta construir-la, quines utilitats té un cop feta...

Però també és cert que dur a terme aquest treball comporta adquirir altres coneixements. Aquests coneixements serien els que es poden intuir a la part més practica del treball, la part en què es vol aprofundir com s'apliquen les teories sobre la geodèsia de Buckminster Fuller.

Un cop plantejada aquesta qüestió, l'objectiu del meu treball era estudiar i comprovar com una empresa d'Olot ha introduït en els seus sistemes de construcció d'estructures complementàries i auxiliars d'arquitectura obres de càlcul geodèsic, un sistema inventat per Fuller cinquanta anys enrere i que actualment és realment revolucionari per les solucions que aporta i per la creació d'espais multiusos que genera..

Aquest aspecte del Treball de Recerca permet extreure'n altres coneixements, com per exemple veure com funciona una empresa d'enginyeria d'una petita comarca, que pot treballar arreu d'Espanya, d'Europa i del món, col·laborant amb arquitectes de renom com Richard Rogers o Norman Foster. O per exemple hem pogut observar al llarg del treball la importància d'altres aspectes no menors, com ara el finançament de l'obra, ja que finalment podem dir que els diners són els que acaben donant forma a l'estructura, o la necessitat del control de qualitat dels materials utilitzats i que plantegen problemes de manteniment o la necessària col·laboració entre els dissenyadors i els tècnics a l'hora de comprovar la viabilitat d'un projecte.

Aspectes que jo desconeixia a l'inici del treball i que ha pogut comprovar des de la teoria i des de la pràctica analitzada. És per aquesta raó que vaig seleccionar tres de les obres en que ha intervingut l'empresa Bellapart per tal de portar, de forma objectiva, a la realitat la teoria constructiva i del disseny. Pretenia comprovar, doncs, com han influït en les noves formes arquitectòniques la introducció dels nous materials industrials (plàstics, titanis, vidres, aluminis, etc.) i he arribar a la conclusió que el canvi revolucionari ha vingut per la introducció de les noves tecnologies que permeten visualitzacions en 3D de les obres, abans d'iniciar els treballs materials i, de la mateixa manera, l'ús de sistemes de càlcul infinítament més fiables i exactes.

Agustí Arbós i Torrent

Índex

Introducció **pàg. 2**

Richard Buckminster Fuller **pàg. 5**
Introducció a Richard Buckminster Fuller pàg. 6
Cúpula geodèsica pàg. 9
Tensegrity pàg. 10
Invents *Dymaxion* pàg. 11

Comença la Recerca **pàg. 14**

Museu de la Ciència CosmoCaixa Madrid **pàg. 15**
Introducció a l'Obra pàg. 16
De l'Arquitecte al Projecte Final pàg. 17
Càlcul pàg. 22
Producció i Muntatge pàg. 24
Anècdotes i Problemes pàg. 29
Resultat Final pàg. 30

Hotel Hesperia de Barcelona **pàg. 34**
Introducció a l'Obra pàg. 35
De l'Arquitecte al Projecte Final pàg. 36
Càlcul pàg. 40
Producció i Muntatge. pàg. 41
Anècdotes i Problemes pàg. 45
Atri de l'Hotel Hesperia pàg. 46
Resultat Final pàg. 47

Centre Comercial-Recreatiu Màgic Badalona **pàg. 49**
Introducció a l'Obra pàg. 50
De l'Arquitecte al Projecte Final pàg. 51
Càlcul pàg. 61
Producció i Muntatge pàg. 62
Resultat Final pàg. 65
Anècdotes i Problemes pàg. 66

Altres Obres Relacionades **pàg. 68**

Conclusions **pàg. 70**

Agraïments **pàg. 72**

Bibliografia **pàg. 74**

Introducció

Al llarg del temps l'home ha anat canviant d'habitatge, des de les coves que habitàvem a la prehistòria fins els edificis moderns en què habitem actualment. Aquests canvis que s'han produït al llarg de la història, han estat impulsats per les grans millores tècniques que s'han anat aconseguint.

Al llarg dels temps hi ha hagut persones que han tingut la visió de construir o dissenyar un edifici nou que mai s'havia vist. Durant la història, una sèrie de visionaris en molts casos anònims o, actualment oblidats, han anat fent evolucionar el món de la arquitectura, fins arribar a totes les manifestacions que ara coneixem. Molts d'aquests visionaris probablement, se'ls va catalogar d'excèntrics i de poc eficients en la seva professió. Molts d'ells han estat els portadors de la innovació arquitectònica més revolucionària al llarg de la història.

Aquests treball començarà fent una petita referència a un d'aquests visionaris, que durant el segle XX va inventar un sistema arquitectònic molt important. Aquesta invenció és la cúpula geodèsica, i durant aquest treball veure'm 3 obres de l'empresa Bellapart, i totes aquestes obres tenen com a element més important una cúpula geodèsica.

Les tres obres són: el Museu de la Ciència "Cosmocaixa" de Madrid, a la localitat d'Alcobendas (1999), Cúpula del restaurant EVO de l'hotel Hesperia de Barcelona (2006) i per últim, el Centre Comercial-Recreatiu Màgic Badalona (2008).

Per realitzar el treball he utilitzat els arxius de l'empresa Bellapart dels que he intentat treure'n el màxim d'informació possible per tal de poder explicar com es van fer els processos constructius de cada obra, i per tant descobrir com funciona el món de la construcció, quin són els problemes que tenen, on els tenen, i en especial veure quines són les dificultats alhora de plantejar la construcció geodèsica. Podrem veure les diferents etapes del procés de construcció d'una obra. I un cop acabat el treball podrem estudiar les diferències entre cada obra.

La construcció de la primera cúpula geodèsica per Bellapart, l'any 1999, ens permetrà comparar-la amb les dels anys 2006 i 2008, que és quan es fan les altres dues. Aquesta diferència de temps entre algunes d'aquestes obres, ens permetrà veure si canvien els sistemes de construcció i, a més analitzarem quina diferència hi ha entre extraure informació dels arxius de fa 3 anys, amb informació dels arxius de fa 11 anys.

Aquest treball, però, ens pot fer veure altres idees que m'agradaria, si més no, esmentar. Després de parlar amb Francesc Arbós Bellapart (director general de l'empresa Bellapart SAU), he pogut observar que segons ell, no és tant important la utilització de nous materials com el vidre o l'alumini, com l'aparició de nous programes informàtics que permeten dur a terme càlculs geomètrics que fins fa poc havien estat impensables. Segons ell, el vidre o l'alumini ja no es poden considerar nous materials, però si que es pot considerar innovador l'aplicació de capes d'acer al vidre per donar-li millors propietats o, com he dit abans, els nous programes de càlcul.

Ara bé, aquesta visió dels nous materials pot variar. Aquestes obres en les que només s'utilitzen materials com l'alumini o el vidre, fa 100 anys eren completament impensables. Per tant, dins el context històric de l'arquitectura, la introducció de nous materials com l'alumini i el vidre i l'aplicació d'aquests dins el món de la construcció, va ser un canvi tan important, que 100 anys després d'haver-se iniciat encara s'utilitzen. Però si volem buscar: quins han estat el canvis més importants en la construcció dels últims 10 anys? Coincidirem amb la opinió de Francesc Arbós, que té un punt de vista adaptat als canvis més actuals.

Francesc Arbós, qui ha impulsat aquesta iniciativa geodèsica dins la seva empresa, arriba a la conclusió que aquest concepte de visionari és el que dóna vida a l'evolució de l'art arquitectònic. Ell creu que la visió i la innovació alhora de dissenyar noves estructures són essencials. I posa en dubte, si són els nous materials qui permeten als visionaris crear noves invencions, o si els visionaris són capaços de visualitzar tot i les limitacions constructives que han existit i que encara existeixen, fins al punt de ser la seva visió qui permet la utilització de nous materials.

La conversació amb Francesc Arbós va acabar amb la pregunta: Quan es pot considerar que una persona és un visionari (en aquest cas de l'arquitectura)? Tot i la gran diversitat de respostes possibles, els dos varem estar d'acord en què un visionari és aquell capaç d'inventar o descobrir qualsevol cosa útil, i que per tant no només li serveix a ell, sinó a tothom. Per tant l'invent d'un visionari estarà per sobre del temps, i un cop ell mori aquest invent seguirà igualment sent útil. Arbós em va posar l'exemple de Richard Buckminster Fuller i el seu invent de la cúpula geodèsica, de com un cop mort el seu invent ha seguit viu i s'ha continuat aplicant, donant-me com exemples les tres obres que he mencionat anteriorment i que desenvoluparem al llarg d'aquest treball.

Aquesta conversa va donar pas al treball que podreu llegir a continuació, i en el que per sobre de tot intentaré descobrir què és una cúpula geodèsica i com es construeix.

Richard Buckminster Fuller

Introducció a Richard Buckminster Fuller

Richard Buckminster Fuller (12.07.1895-01.07.1983) va ser un inventor, dissenyador, enginyer i visionari americà. Va dedicar la seva vida a trobar la resposta a una pregunta: "Té la humanitat alguna possibilitat de sobreviure exitosament al planeta terra i, si és així com?" Així doncs va intentar descobrir si un sol individu humà era capaç de canviar les condicions dels éssers humans, una cosa que ni tan sols els governs havien pogut fer.

Durant la seva recerca, Fuller va escriure 28 llibres, popularitzant conceptes com el de la *sinergia*, *Dymaxion* o la teoria de la nau especial. També va realitzar moltes invencions, especialment les que entraven en l'àmbit arquitectònic. Algunes de les aportacions més famoses dins d'aquest àmbit van ser la *cúpula geodèsic* i la *Tensegrity*.

Des de petit Fuller ja era propens a inventar artefactes. El seu interès pel disseny va anar creixent, de manera que va anar a estudiar a la Milton Academy, a Massachusetts. Finalment va acabar estudiant a la universitat de Harvard. La seva manera de ser inconformista va portar-lo a ser expulsat dos cops de la universitat.

Va viure la primera etapa de la seva activitat enmig de la pobresa, al baix Chicago, després d'haver fracassat en un negoci de construir vivendes lleugeres. Durant els anys a Chicago va haver de suportar la mort de la seva filla la que el va portar a tenir problemes amb l'alcohol i fins i tot va arribar a tenir idees suïcides. Però va començar a recuperar el seu esperit i va decidir intentar descobrir si un home en el seu estat era capaç de canviar el món.

Més tard va acceptar un lloc a la universitat de Carolina del Nord on va començar a estudiar i a investigar en un projecte que el faria famós, la cúpula geodèsica. Poc després d'haver-la definit, el govern Americà el va contractar per dissenyar petites cúpules per l'exèrcit, i pocs anys després ja hi havia milers de cúpules geodèsiques per tot el món. (Actualment coneixem a la tercera forma més estable del carboni, després del diamant i del grafit amb el nom de *ful·lerè*, per la similitud de l'estructura d'aquests amb l'estructura de la cúpula geodèsica).

Aquesta invenció el va portar a dissenyar i a inventar altres coses completament diferents, per exemple va inventar un automòbil, el *"Dymaxion car"* amb tres rodes: dues al davant i una al darrere, que tenia el motor darrere a diferència dels models que hi havia hagut fins el moment. També havia arribat a dissenyar una cúpula geodèsica capaç de cobrir tot Manhattan. Durant la seva etapa més brillant va redactar les seves idees filosòfiques en 28 llibres.

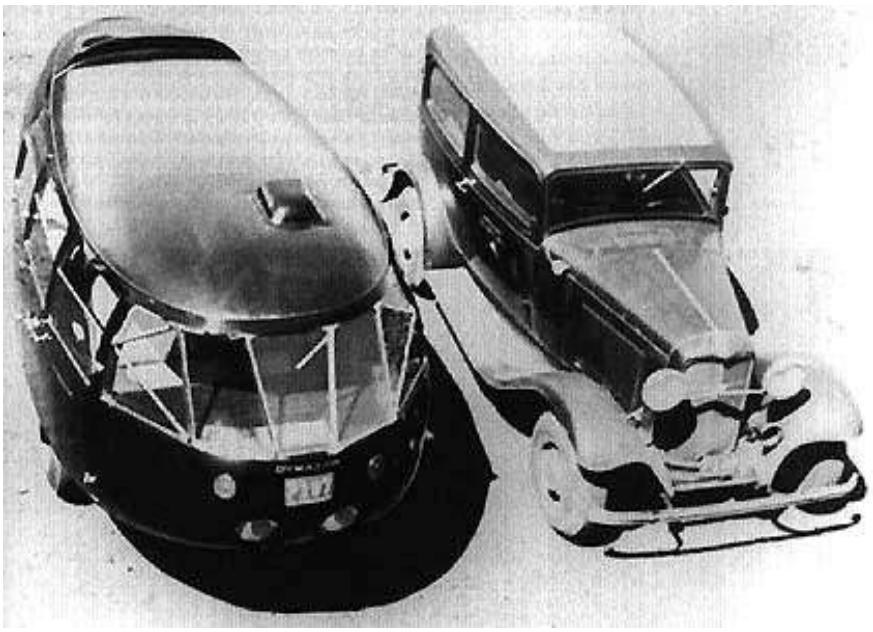
Fuller sempre es va preocupar per la sostenibilitat mediambiental i per la supervivència de la vida humana. Per tant la seva filosofia consistia en aconseguir el màxim rendiment utilitzant els mínims mitjans possibles. Aquesta teoria va ser batejada amb el nom de *Dymaxion* (Dynamic Maximum Tension) per referir-se a la seva filosofia d'obtenir el màxim resultat de cada material. Fuller sempre explicava que a la llarga no era viable que els automòbils funcionessin amb gasolina, ja que era un recurs massa car, i per tant no podia ser que les persones que anaven a treballar amb automòbil gastessin tants diners per només arribar al seu lloc de treball.

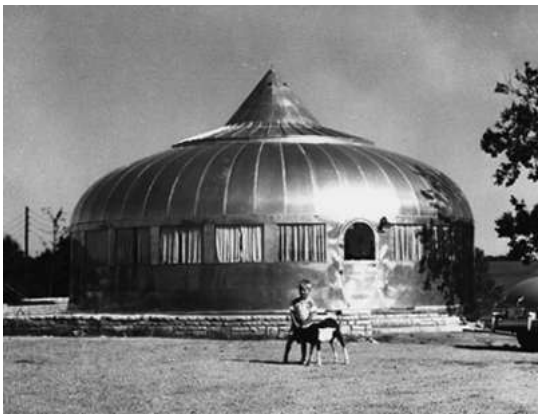
Un altre exemple dels esforços de Fuller per aconseguir trobar el màxim rendiment en tots els aspectes de la vida va ser quan va deduir que una persona podia viure perfectament dormint, únicament 2 hores al dia, utilitzant mitja hora de descans per cada sis. Fuller va viure 2 anys mitjançant aquest mètode, però ho va deixar per falta de compatibilitat amb la resta del món.

Fuller va dissenyar molts aparells, alguns dels quals van arribar a ser completament reveladors, ja que hem de tenir en compte que tots aquests van ser dissenyats fa més de 40 anys, per tant si ara ens semblen invents estranys i futurístics, durant l'època que van ser inventats encara ho devien semblar molt més.

Aquesta fotografia ens mostra un dels element encara existents de la Expo de l'any 1967 a Montreal, Canadà. Aquesta Expo va batre el record de visites de tota la història, 50 milions de persones varen veure-la. Actualment aquesta cúpula geodèsica es diu Biosphère de Montreal i està dedicada a l'aigua i al medi ambient. Aquesta cúpula, gairebé esfèrica, va ser dissenyada per Richard Buckminster Fuller, i és un bon exemple de cúpula geodèsica.

A la imatge de la dreta del text podem veure el "Dymaxion car", situat a l'esquerra de la fotografia. Aquest automòbil és un altre dels més famosos invents que el senyor Fuller va dissenyar. Com podem observar, el "Dymaxion car" no té res a veure amb el Ford de la dreta, que seria el cotxe més comú a l'època. Aquest cotxe no només era especial per la seva forma arrodonida que el feia més aerodinàmic, també ho era perquè només tenia tres rodes, dues al davant i una el darrere, on també hi havia situat el motor a diferència dels models de cotxe que hi havia hagut fins el moment.

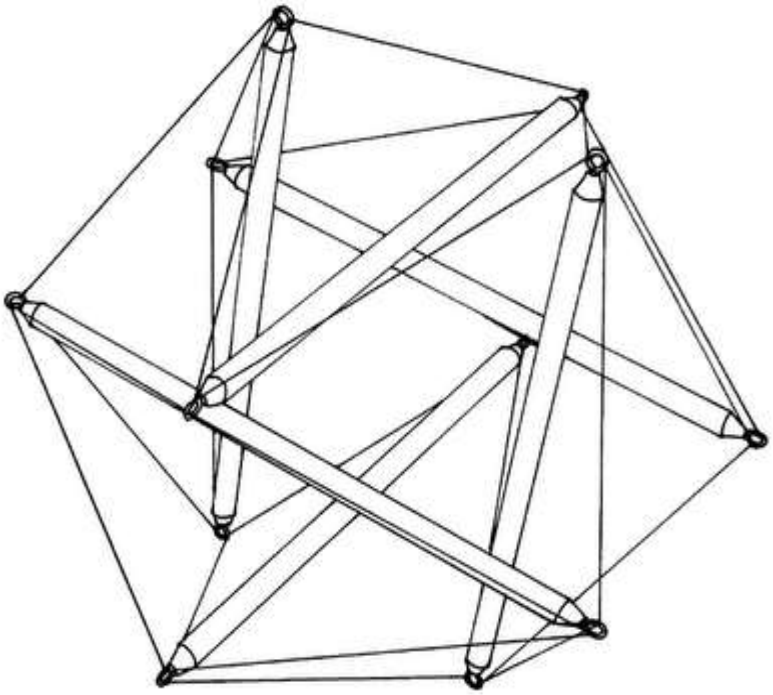




A *la fotografia de l'esquerra podem veure una "Dymaxion house", un prototip de casa inventada per Fuller.*
Segons Fuller aquesta era una casa per poder-hi viure de manera sostenible, era rapida de construir i molt més econòmica que les cases convencionals. Un exemple de les diferències d'aquesta vivenda i la vivenda normal és que el teulat de la casa acumula l'aigua i la fa baixar per un forat que te situat al centre per tal de no haver de gastar aigua innecessària.

Fuller va tenir moltes idees trencadores, algunes d'elles que ara, 50 anys després, encara ens semblen estranyíssimes. Una de les idees més extravagants de totes possiblement sigui el disseny que Fuller va fer d'una cúpula geodèsica de dues milles terrestres de diàmetre capaç de cobrir una part de Manhattan. Segon ell a aquesta cúpula s'hi podria instaurar un clima adequat a la vida humana per tal de poder-hi viure sense cap mena de problema pel que fa a les condicions meteorològiques.
A aquesta fotografia aèria podem veure com hauria quedat Manhattan si hi haguessin construït la cúpula. Cosa que hauria significat que edificis tant alts com l'Empire State quedessin completament coberts per una cúpula molt més alta.

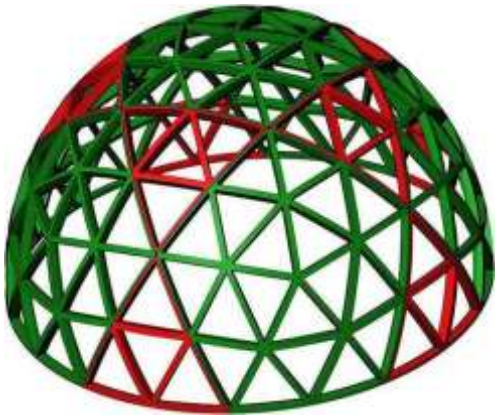
Fuller va ser un dels tres inventors de la Tensegrity*, juntament amb Georges Emmerich i Kenneth d. Snelson. Lògicament cada un d'ells es considera el primer creador de la tensegrity, però es va demostrar que el primer va ser Emmerich, gràcies a un prototip que va construir als anys vint. Però tot i això Fuller va ser el primer de tenir una patent sobre aquest concepte, l'any 1962, mentre que Emmerich i Snelson la varen fer als anys 1964 i 1965 respectivament. A la dreta del text podem veure el primer disseny de tensegrity que va inventar Richard Buckmister Fuller qui va ser el mateix que va establir el terme tensegrity després de l'èxit que va suposar la cúpula geodèsica.*

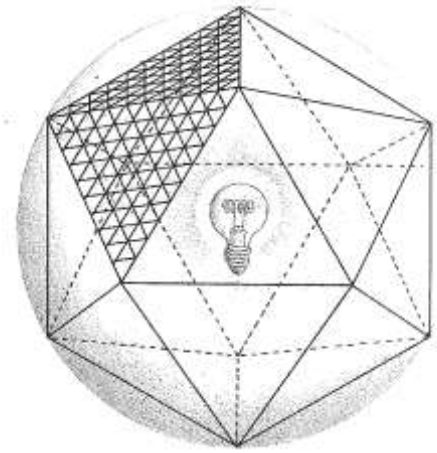


Aquí podem veure un altre dels invents de Richard Buckminster Fuller, el mapa Dymaxion, patentat l'any 1946. Es tracta d'una projecció del mapa convencional terrestre sobre un poliedre de forma més aviat irregular. Fuller assegurava que els seu mapa tenia molts avantatges,per exemple deia que el seu sistema topogràfic mostrava les mides dels països i continents tal com són, i no distorsionades com en el projecte de Mercator.

La Cúpula Geodèsica:

En primer lloc podríem definir una cúpula geodèsica com la part d'una esfera geodèsica, la qual és un poliedre que està format a partir de icosaedres i dodecaedres, però que pot estar formada a partir de qualsevol altre tipus de cos platònic.



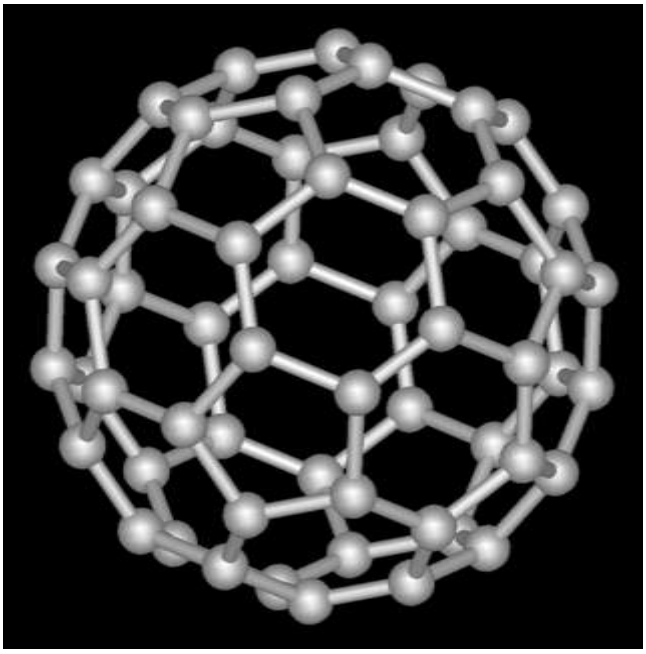


En altre paraules podríem dir que una esfera geodèsica és la projecció de qualsevol cos platònic, per tant si poséssim una bombeta dins un icosaedre de cares transparents, projectaria la ombra d'una esfera geodèsica. Que és el que podem veure a la segona imatge.

Lògicament nosaltres no podem projectar de manera perfecte un icosàedre, per tant l'única manera de poder construir una cúpula geodèsica és fent que l'estructura tingui una freqüència molt alta.

Les esferes i cúpules geodèsiques poden ser catalogades en varies freqüències. La freqüència d'aquestes estructures geodèsiques es calcula mirant el nombre de sòlids platònics que hi ha entre pentàgon i pentàgon. Quan més alta la freqüència, més s'assemblarà a una esfera perfecta, i més resistent serà l'estructura.

Curiosament el nom de la tercera forma més estable del carboni és diu ful·lerè, perquè l'estructura de la molècula d'aquesta comparteix una gran similitud amb les estructures geodèsiques.



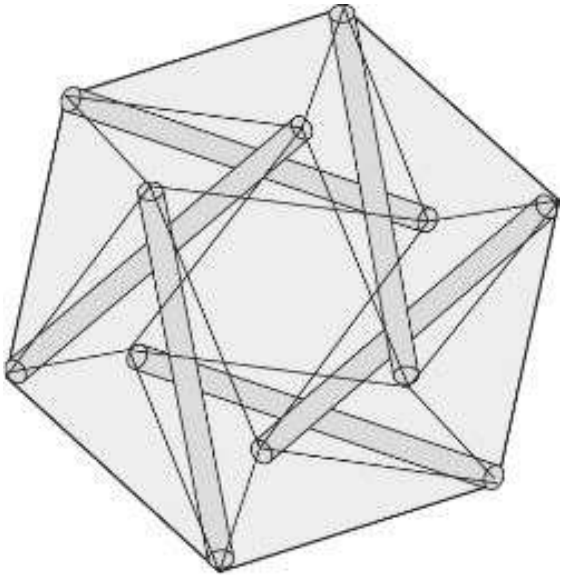
Com podem comprovar a la imatge, hi ha una gran similitud entre les estructures geodèsiques i l'estructura d'aquesta molècula de la tercera forma del carboni, el ful·lerè.
Els ful·lerens varen ser descoberts l'any 1985, molt després dels descobriments estructurals de Richard Buckminster Fuller. Com que el descobriment d'aquesta molècula va ser gairebé vint anys més tard que la creació de la cúpula geodèsica, Fuller no va poder inspirar-se en aquesta esfera geodèsica formada per 20 hexàgons i 12 pentàgons, amb un àtom de carboni a cada vèrtex dels hexàgons, la qual té una estructura que fàcilment podríem comparar amb l'estructura d'una pilota de futbol.

La *Tensegrity*:

És un principi estructural basat en el funcionament de components aïllats comprimits que es troben dins una xarxa tensada de forma contínua, de tal manera que els membres comprimits no es toquen entre si i estan units únicament per mitjà d'elements de tracció (traccionats) que són els que delimiten aquest sistema. Podem dir que una estructura constitueix un sistema de *Tensegrity* si manté un estat d'auto equilibri estable. A les estructures que funcionen mitjançant el sistema *Tensegrity*, els elements sotmesos en compressió solen ser barres, i els elements sotmesos a tracció solen ser cables. Això permet l'existència de moltes varietats de dissenys juntament amb una alta resistència així com lleugeresa i economia de materials.

Per explicar el comportament de la *Tensegrity* i la relació entre la geometria i l'estabilitat podem comparar-lo amb el comportament d'una pilota de futbol, però de manera completament antagònica. Quan està desinflada, la pilota guarda una quantitat d'aire menor de la que pot arribar a guardar quan està inflada, llavors tenim una forma indeterminada. Quan la pilota presenta una forma esfèrica igualant-se la pressió de l'aire a l'interior amb l'exterior, no té rigidesa. I finalment quan la pressió de l'interior és major que la de l'exterior, (i per tant l'aire a pressió, element de compressió és major a l'interior), dóna rigidesa a la pilota (element de tracció).

Això es podria aplicar a la tensegrity, però tenint en compte que la *Tensegrity* es comprimeix quan hi ha rigidesa o sigui quan la pilota està desinflada, i quan està inflada o sigui quan la *Tensegrity* s'estira per ocupar més volum té menys rigidesa, per tant s'aplica a la *Tensegrity* de manera completament antagònica.



Aquí podem veure dos models de *Tensegrity*, ara ens podem imaginar que agafem una de les dues figures, i que d'aquesta li estirem una barra de cada banda com si volguéssim partir-la en dos, llavors veurem que els cables que uneixen les barres esdevindran molt poc rígids, en canvi si fem el mateix, però en lloc d'estirar-ho ho premsem, els cables de la tensegrity esdevindran rígids. Sempre, però, mantindrà la simetria i l'equilibri. Si no la toquem quedarà en un estat entremig, on estarà perfectament equilibrada reposi pel punt que reposi.

Cotxe *Dymaxion*:

Va ser un prototip d'automòbil dissenyat l'any 1933 per l'inventor Richard Buckminster Fuller. La paraula *Dymaxion* va ser una marca que Fuller va donar a moltes de les seves invencions per tal de fer veure que tots els seus invents eren part d'un projecte major que consistia en millorar les condicions de la vida humana, fent-les més sostenibles, concepte actual que Fuller encara no podia conèixer.

El cotxe *Dymaxion* tenia unes característiques completament revolucionaries: gastava 7,8L/100km un fet sorprenent per aquella època i podia transportar a onze passatgers a la velocitat de 193km/hora. El cotxe tenia tres rodes, dues al davant i una al darrera la qual dirigia el cotxe, però la conducció mitjançant només una roda al darrere feia que la conducció fos intuïtiva, especialment quan feia vent contra el lateral del cotxe. Media sis metres de longitud, i per tant era dues vegades més gran que els cotxes de l'època.

En total es van arribar a fabricar tres prototips, dels quals actualment només n'ha sobreviscut un que està guardat al museu automobilístic de Nevada. El primer prototip va quedar molt danyat per culpa d'un accident a la fira mundial de Chicago de l'any 1933.

Art Kleiner un escriptor explica al seu llibre The Age of Heretics (1933) que Chrisler es va negar a produir el cotxe *Dymaxion* perquè els banquers el van amenaçar dient-li que suspendrien els seus préstecs perquè el cotxe destruiria les ventes de la resta de models de cotxes convencionals i també la dels cotxes de segona mà.

Encara que el model *Dymaxion* no s'arribés mai a construir va influir en moltes altres marques ja que va ser el primer cotxe aerodinàmic i ecològic de la història.

Actualment l'arquitecte Norman Foster ha tornat a reviure aquest projecte i està finançant i actualitzant un nou model de cotxe *Dymaxion* a un taller de East Sussex al Regne Unit, la fabrica del que serà el quart *Dymaxion* de la història.

Casa *Dymaxion*:

Aquest és un altre dels invents *Dymaxion* que tampoc va arribar a triomfar. Les cases dissenyades per Fuller tenien com a objectiu ser el màxim sostenibles possibles i ho eren per varies raons. El primer èxit *Dymaxion* va ser vendre aquestes cases a la Unió Soviètica per fer-les servir com a vivendes temporals durant la guerra. El projecte funcionava i se'n van arribar a instal·lar moltes, però poc abans de finalitzar la guerra el govern va dictar que aquestes vivendes no eren aptes per la vida permanent tot i que els habitants de la cases diguessin que eren càlides, fàcils d'escalfar, ben il·luminades, bones contra els insectes, i definitivament molt superiors a les cases que hi havia hagut fins el moment per viure-hi de manera temporal.

Probablement Fuller va descobrir durant aquest projecte l'efecte cúpula, ja que la casa tenia el sostre en forma de cúpula, un fet que lligat a una bona ventilació fa que la calor perduri i no faci fred. També va col·locar un puntal d'acer inoxidable al centre de la casa per tal de aguantar el sostre. Com que era una casa que buscava ser autònoma i el màxim auto sostenible, emmagatzemava l'aigua de la pluja per tal de no haver de malbaratar aigua.

Estava dissenyada per poder resistir qualsevol de les fortes tempestes que existeixen. També va proposar disminuir el consum diari d'aigua utilitzant un mètode de neteja personal inventat pel mateix Fuller, es deia *fogger* (probablement perquè l'aigua devia tenir forma de boira que en anglès es diu "fog") i consistia en utilitzar partícules d'aigua molt petites dispersades en una part d'aire comprimit. Segons Fuller permetia banyar-se amb una tassa d'aigua. Fuller assegurava que funcionava amb el mateix principi que els desgreixadors comercials, però amb partícules d'aigua molt més petites.

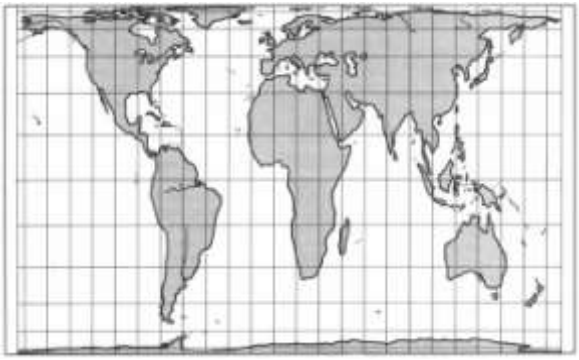
Tota la casa estava construïda amb alumini, tot i que fos més car que altres materials, Fuller deia que la lleugeresa, resistència i durabilitat que proporcionava compensaria el cost inicial. D'altra banda era comprensible que es construïssin amb alumini ja que havien estat construïdes a les fàbriques d'avions sense feina després de la segona guerra mundial.

Mapa *Dymaxion*:

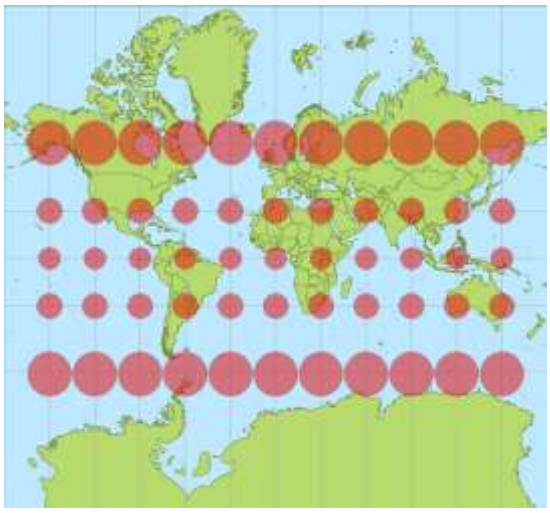
El mapa *Dymaxion* és una projecció del mapa mundial dins un poliedre que pot desplegar-se en una xarxa de moltes formes diferents, i aplanar-se per formar un mapa bidimensional que guarda de manera sorprenent les proporcions amb el globus terrestre. Aquest mapa va ser dissenyat per Fuller i patentat l'any 1946, a la patent la projecció que es mostra és sobre un cubooctàedre. Més tard, a l'any 1954 Fuller va publicar una nova versió titulada *The AirOcean World Map,* que a diferència de l'anterior utilitzava un icosàedre lleugerament modificat per tal de que el mapa quedés ben proporcionat.

Aquest mapa té molts avantatges, el més important de tots probablement és que té molta poca distorsió respecte a la realitat (de manera que aconsegueix ser conforme, respectant les formes, sense trencar l'equilibri de les àrees, per tant respectant les proporcions de les superfícies), ja que la majoria de models de projeccions del mapa del món que hi havia hagut fins el moment havien distorsionat el mapa del globus de tal manera que moltes regions quedaven empetitides mentre que d'altres quedaven engrandides, el que feia que no fos fàcil calcular la mida real d'alguns territoris, alguns exemples d'aquesta distorsió serien el de la projecció Mercator i el de la projecció Gall-peters.

Una altre de les curiositats del mapa *Dymaxion* és que no hi ha ni nord ni sud, per tant no importa de la manera que esta col·locat. Això és així, perquè Fuller deia que a l'univers no existia ni part de dalt ni part de baix, segons ell a l'univers només existeix a dins i a fora, dins, cap el centre de gravetat i fora, lluny del centre de gravetat.



Projecció de Gall-Peters



Projecció Mercator

Projecció Dymaxion

Comença la Recerca:

Com hem pogut observar gairebé cap dels invents que Fuller va inventar va tenir èxit, però tots han influït d'una manera o altra a altres dissenys que més tard han anat apareixent. Dels invents/descobriments que hem vist, els que han perdurat tot aquest temps sent útils i vivint entre nosaltres són la cúpula geodèsica i la *tensegrity*. Anem a la ciutat que anem hi ha moltes possibilitats de trobar-ne alguna de les dues aportacions. A Espanya jo ja n'he situat tres en les que ha intervingut Bellapart, les mateixes tres que he mencionat a la introducció, però el que no he mencionat són les diferències que tenen, el que les fa tan espectaculars, les facilitats o dificultats que comporta construir-les, i molts aspectes més que són els que els fan edificis únics.

Museu de la ciència CosmoCaixa de Madrid

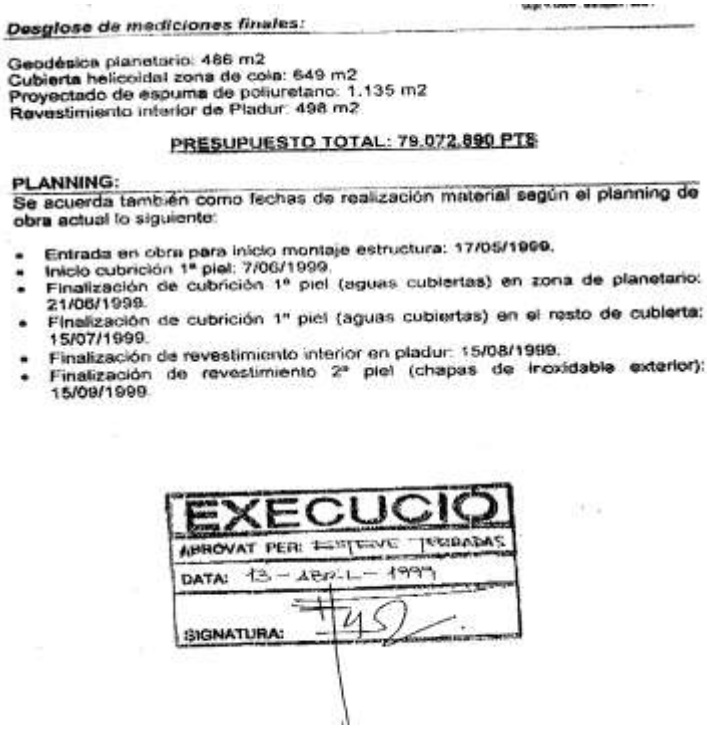
Centre comercial/recreatiu Màgic Badalona

Cúpula de l'hotel Hesperia de Barcelona

Museu de la Ciència CosmoCaixa Madrid

Introducció a l'Obra

Aquesta obra es va dur a terme durant l'any 1999 a Alcobendas, Madrid. Va ser dissenyada per l'arquitecte Esteve i Robert Terradas i la duració de l'obra segons el pla d'obra inicial va del 17/05/1999 fins el 15/9/1999 tot i que va acabar més tard. L'objectiu de l'obra era fer una reforma i una ampliació del museu de la ciència construint-hi un planetari i una rampa coberta que permetés arribar-hi.



Desglose de mediciones finales:

Geodésica planetario: 486 m2
Cubierta helicoidal zona de cola: 649 m2
Proyectado de espuma de poliuretano: 1.135 m2
Revestimiento interior de Pladur: 498 m2

PRESUPUESTO TOTAL: 79.072.890 PTS

PLANNING:
Se acuerda también como fechas de realización material según el planning de obra actual lo siguiente:

- Entrada en obra para inicio montaje estructura: 17/05/1999.
- Inicio cubrición 1ª piel: 7/06/1999.
- Finalización de cubrición 1ª piel (aguas cubiertas) en zona de planetario: 21/06/1999.
- Finalización de cubrición 1ª piel (aguas cubiertas) en el resto de cubierta: 15/07/1999.
- Finalización de revestimiento interior en pladur: 15/08/1999.
- Finalización de revestimiento 2ª piel (chapas de inoxidable exterior): 15/09/1999.

EXECUCIÓ
APROVAT PER: ESTEVE TERRADAS
DATA: 13-ABRIL-1999
SIGNATURA:

Es tracta d'una estructura espacial monocapa de coberta de geometria geodèsica obtinguda per projecció d'un icosàedre sobre una esfera amb freqüència 7 unida a una coberta bovejada de secció variable seguint una directriu corba.

El mallat de la coberta bovejada va ser realitzada informàticament, permetent uniformar la mida dels triangles dels laterals i compensar la reducció de la dimensió per la seva part superior. L'estructura es compon de 840 nusos, 2.344 barres i el tancament de 1535 triangles d'acer inoxidable en la pell exterior.

L'aïllament i l'estanquitat s'aconsegueixen a nivell de la segona pell intermèdia amb panell *sàndwich* d'acer poliuretà i l'acabat interior a base de panells triangulars de guix amb l'ànima de fibra de vidre. Sumant les tres pells que formen l'obra, s'ha utilitzat 3.300 referències diferents de triangles diferents.

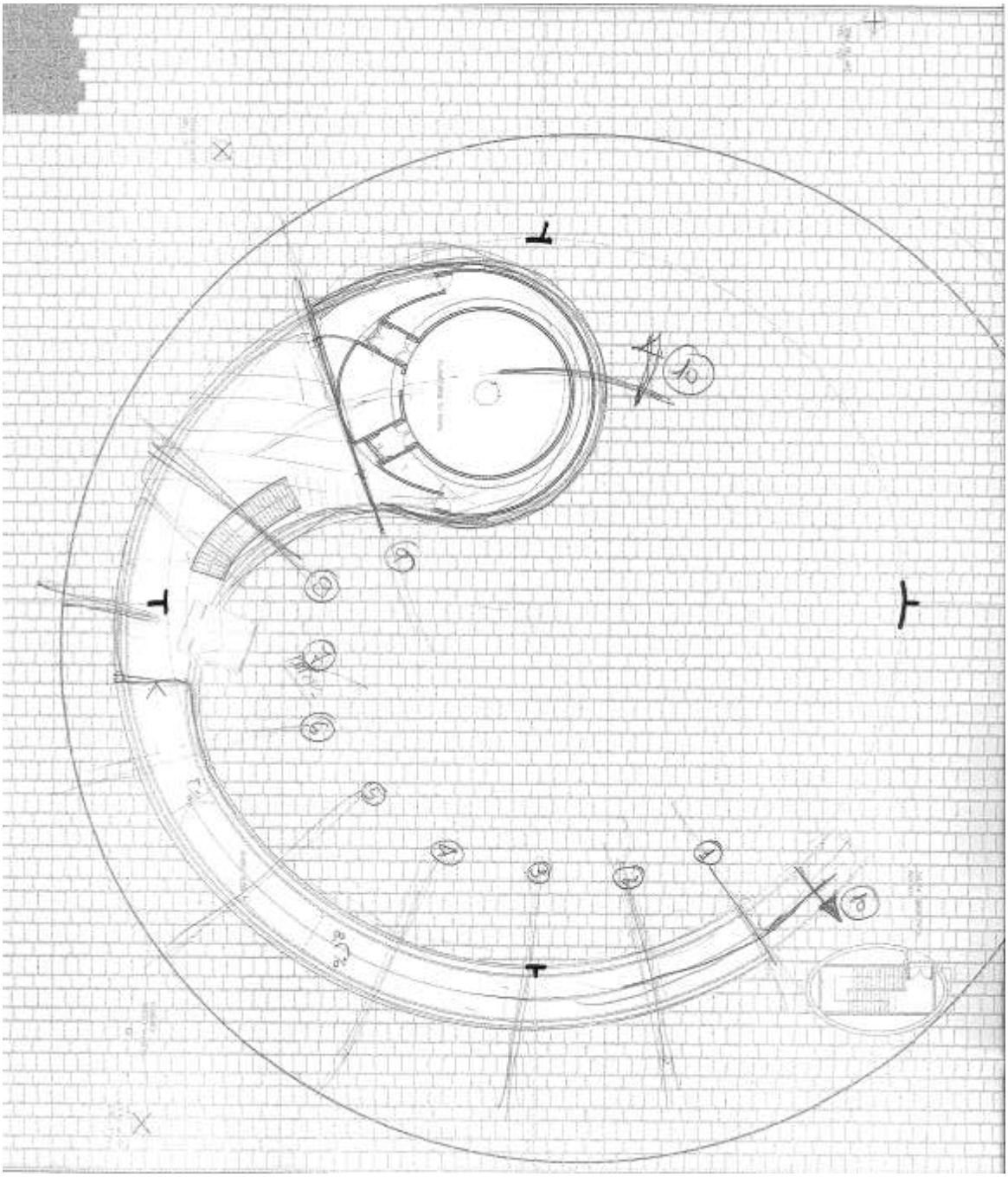
De l'Arquitecte al Projecte Final

Com he explicat anteriorment l'equip d'arquitecte que va dissenyar aquests estructura espacial és el format per Esteve Terradas Muntañola i Robert Terradas Muntañola. Esteve Terradas també ha fet altres obres com per exemple l'ampliació del museu de la ciència de Barcelona i una altre ampliació de la universitat Ramon Llull.

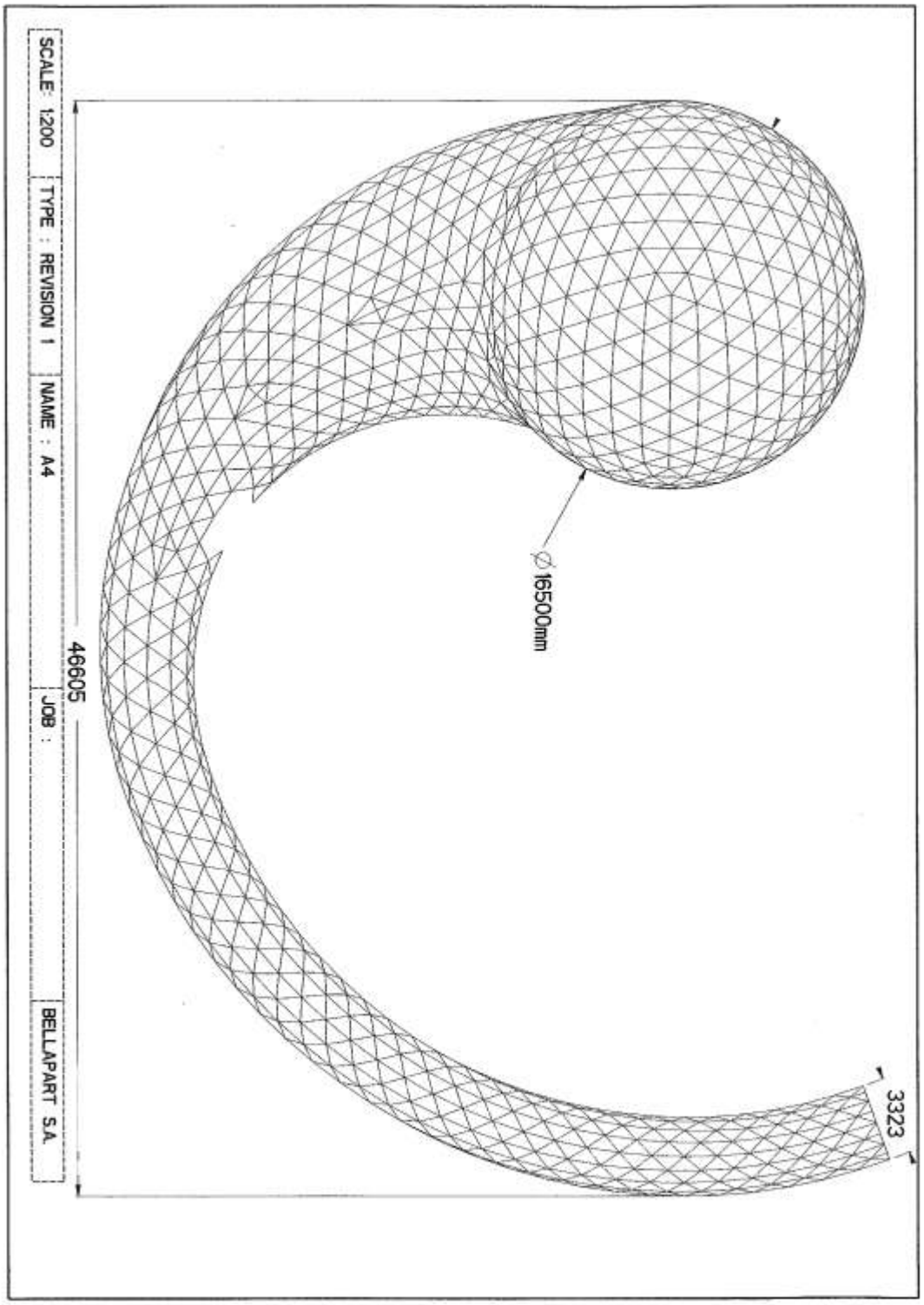
A les dues imatges situades a la part superior del text hi podem veure l'ampliació que Esteve Terradas va dissenyar a la universitat Ramon Llull. I a les fotografies col·locades a la part inferior del text podem veure-hi l'ampliació del museu de la ciència de Barcelona que també va ser dissenyada per Esteve Terradas.

Plànols

Aquest va ser el plànol que els arquitectes Esteve i Robert Terrades van entregar a l'empresa Bellapart perquè estructuressin l'obra:



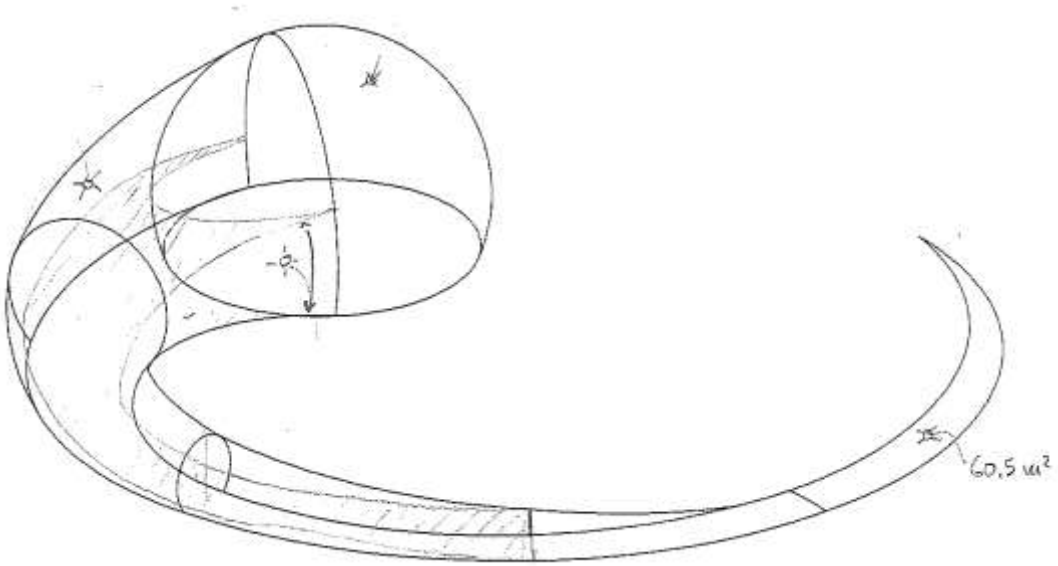
A partir d'aquest projecte, Bellapart va establir com a plànol definitiu de l'obra el següent, i en el que es va basar per construir-la.

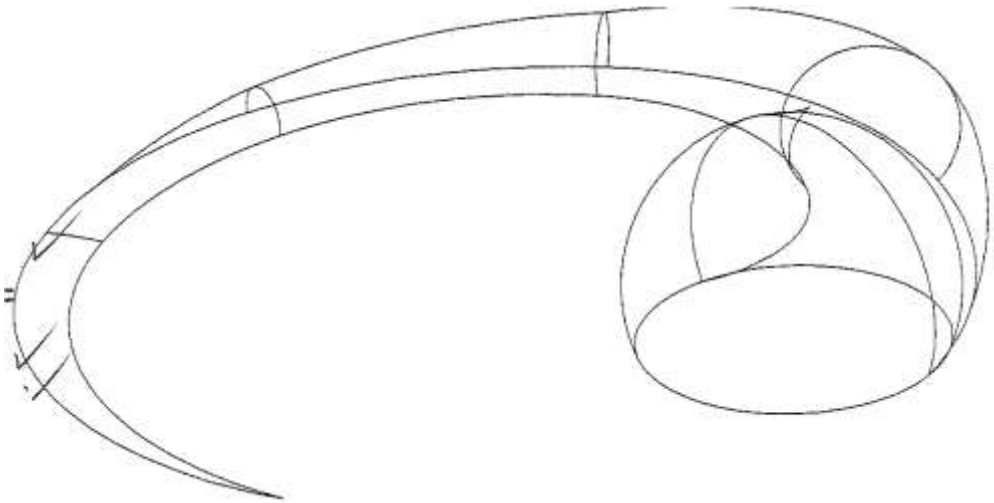


Evolució del projecte:

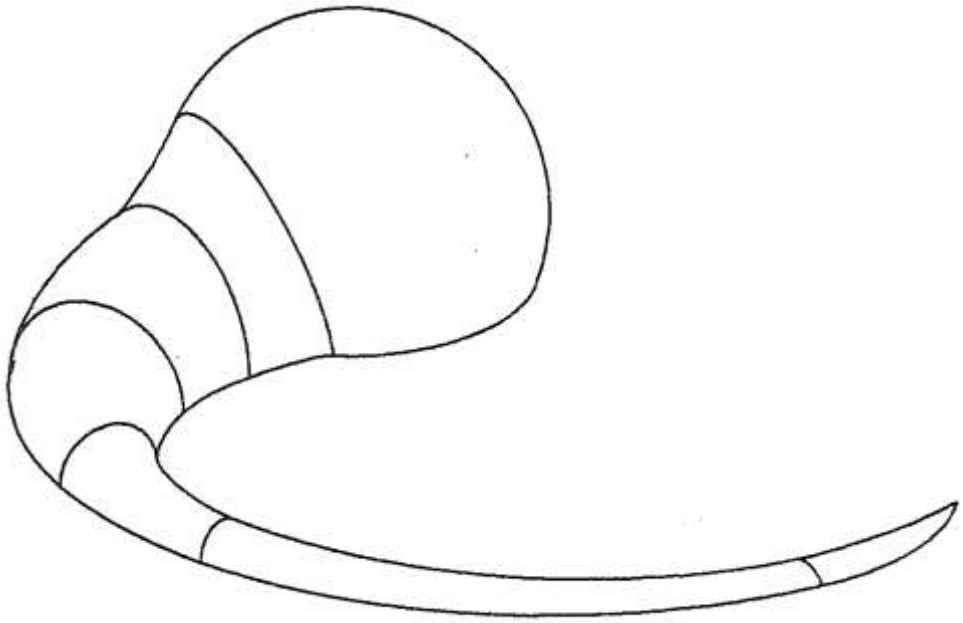
El primer pas de l'obra va se interpretar el plànol de l'arquitecte i aconseguir fer el possible perquè l'obra final fos el més semblant al seu disseny original. Això no és tant fàcil ja que l'objectiu és aconseguir que l'obra respecti la forma i continuï tenint les propietats que l'arquitecte ha dibuixat el plànol, en aquest cas el plànol que podem observar dues pàgines enrere. Tot i això moltes vegades el disseny d'un edifici pot acabar canviant per culpa de possibles problemes que inhabilitin la construcció del disseny inicial. Bellapart va interpretar l'obra i ho va fer plantejant tot el projecte amb geometria geodèsica, ja que semblava que fent-ho d'aquesta manera es podia conservar la forma bovejada a tota l'estructura. Per tant Bellapart va decidir utilitzar un sistema que no havia utilitzat mai per construir el museu de la ciència de Madrid.

Per poder-ho fer van haver de buscar nous mètodes de càlcul, i finalment van utilitzar un sistema informàtic capaç de calcular estructures amb geometria geodèsica. Un cop ho pogueren calcular establiren els primers plànols de l'obra , però aquests van patir diverses variacions abans no es va arribar als plànols definitius.

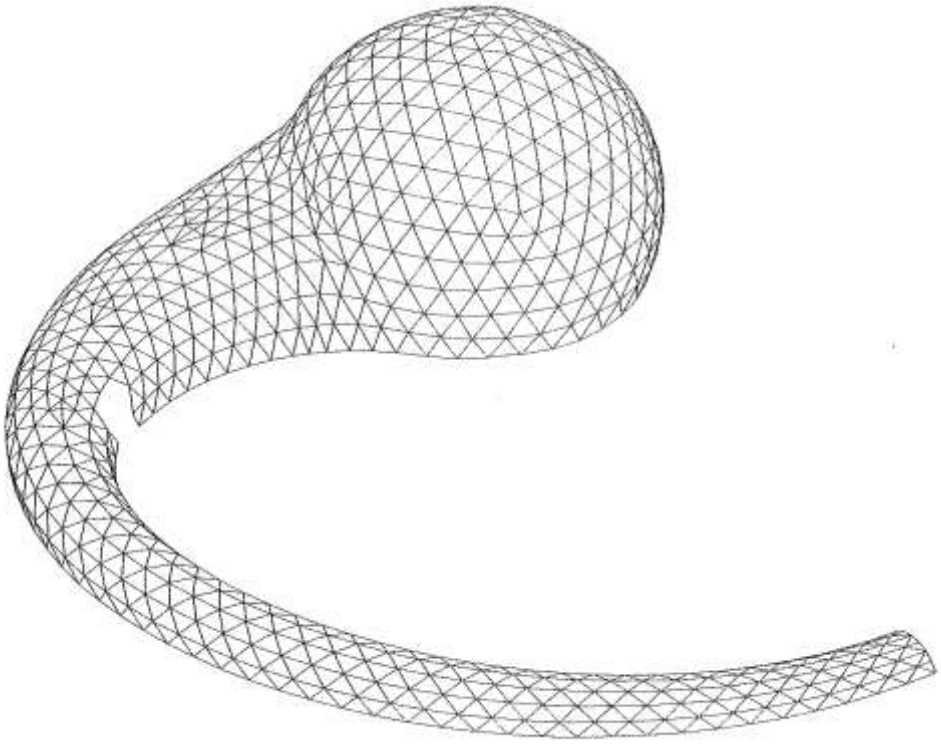




Com podem veure als plànols inicials, la coberta s'uneix perfectament amb la cúpula, de manera que la part més alta de la cúpula baixi progressivament seguint la directriu corba fins arribar al final de l'edifici, o sigui al punt més baix. El problema que va aparèixer en aquest model, va ser que la quantitat de triangles que s'havien d'utilitzar era massa alta, i per tant els costos es disparaven. per això al plànol següent la coberta ja s'uneix amb la cúpula més avall estalviant part dels triangles que s'utilitzaven al plànol anterior.



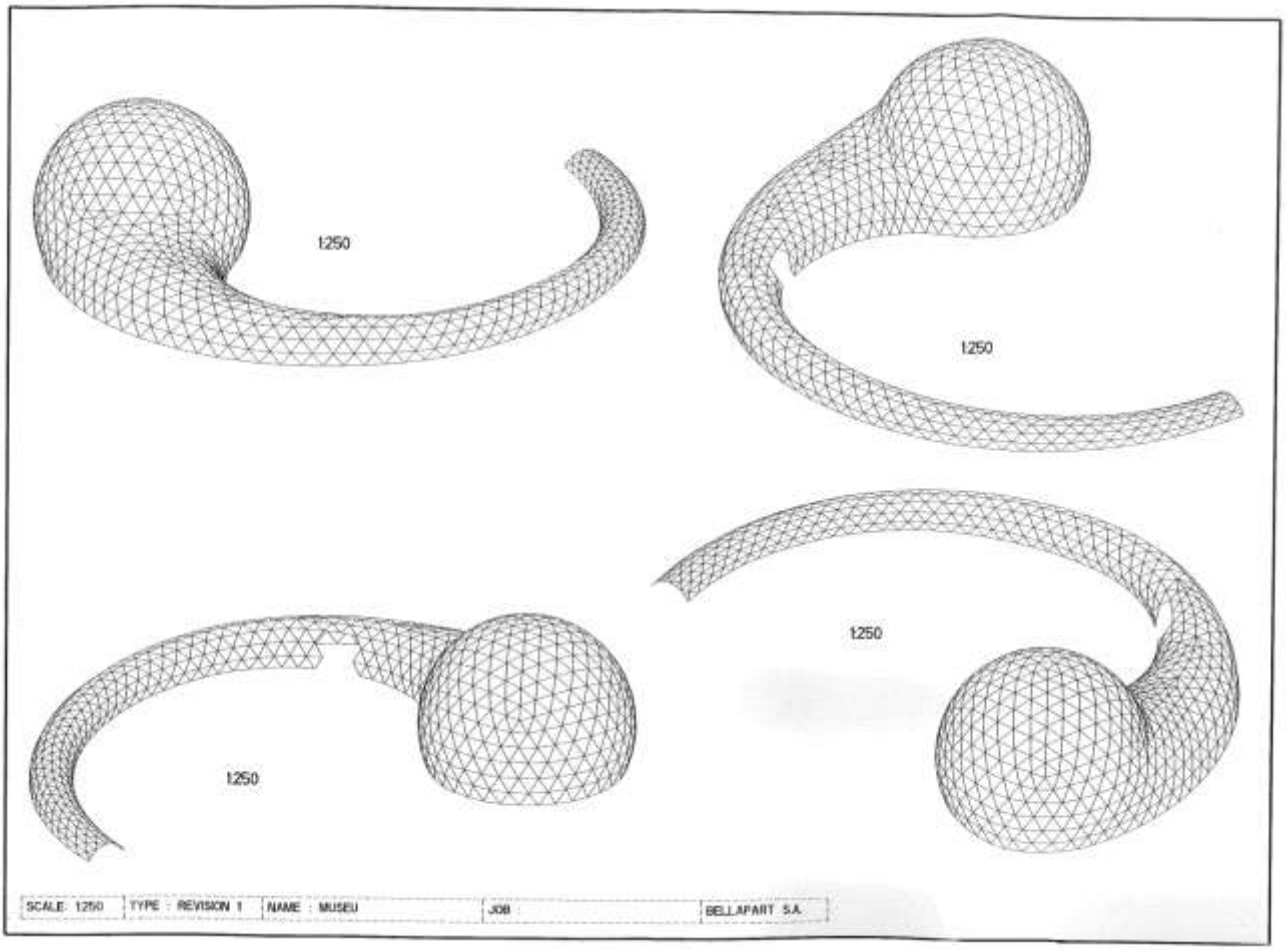
Finalment es va rebaixar encara més la coberta quedant amb una forma que ens podria recordar perfectament a la d'un espermatozoide, i també es va eliminar la cua acabada amb punxa.



Càlcul

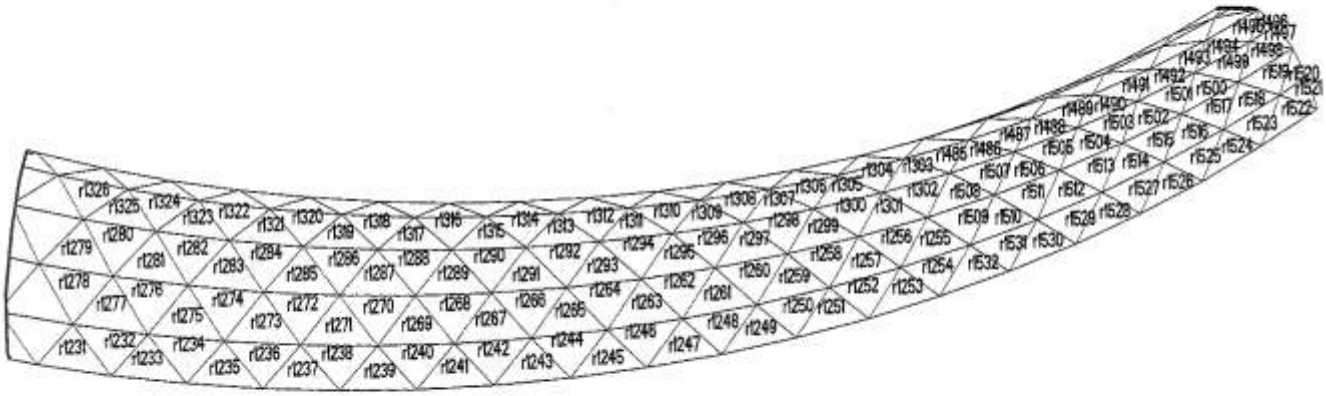
Un cop obtingut el plànol definitiu que és el que farà de directriu per construir l'obra, s'ha de passar a les següents fases: la fase de producció de peces i seguidament la fase de muntatge. Però abans cal fer una breu explicació sobre com es va calcular tota l'estructura geodèsica.

Aquí podem veure com van quedar els quatre perfils definitius. On també s'observa la gran eficiència del càlcul que és el que va definir tota la geometria geodèsica i sense el qual no s'hauria pogut realitzar l'obra.



Si ens fixem en els quatre perfils definitius situats a la imatge superior, s'hi pot apreciar la complexitat d'estructuració de la zona de transició, la qual és la part de l'obra que a portat més problemes al llarg del projecte. També podem veure que tan la porta d'entrada com la forma general de l'obra són gairebé iguals de com estaven al plànol inicial de l'arquitecte, per tant des del meu punt de vista crec que es pot catalogar aquests projecte com una molt bona interpretació de l'inicial.

Tant el càlcul de la coberta bovejada com el de la cúpula es va dur a terme de manera informàtica degut a la complexitat del tipus de construcció ja que tots els 1535 triangles utilitzats tenen el seu lloc assignat, perquè tots tenen una forma diferent per tal d'aconseguir una coberta bovejada que compleixi les directrius d'un sistema de geometria geodèsica. Això va comportar que els triangles no podien ser fabricats en cadena la qual cosa va repercutir clarament als costos de producció. Per distingir els triangles es van enumerar, ja que un cop van anar del lloc de fabricació al lloc de construcció, les persones encarregades de muntar l'obra havien de saber quin era el triangle que havia d'anar a cada lloc. Per tant tots estaven informats de quin forat era el que havia d'ocupar cada triangle de l'1 al 1535. Aquest procés, va comportar molt més temps del que estava previst tant el temps de producció de les peces com el de muntatge de l'obra.



A la imatge superior podem observar l'enumeració del lloc on han d'anar tots els triangles de la par exterior del centre del museu. Aquesta imatge ens ajuda a veure la quantitat de triangles diferents que formen aquesta estructura i per tant la dificultat i la lentitud del muntatge.

Aquí podem observar el que esdevindrà l'obra un cop col·locats tos els triangles respectius, però encara queda un pas abans d'arribar a aquest punt, primer: les peces s'han de produir i després muntar. I aquest pas serà el que explicaré a continuació.

Producció i Muntatge

Producció:

Com s'ha explicat anteriorment la fase de producció de les peces necessàries per muntar aquesta obra és molt complexa ja que l'estructura de l'obra la podem dividir en 1535 panells triangulars d'acer inoxidable polit i brillant, dels quals la gran majoria són diferents entre ells. Això crea dos problemes, el primer: no es pot produir en cadena. I el segon: com que tots els triangles són diferents, a tots se'ls han de fer uns càlculs específics, i això fa que la producció encara sigui més lenta.

Tots aquests factors fan que la producció de l'obra sigui més cara per culpa de la lentitud i el procés artesanal, i encara pot esdevenir més cara si per culpa d'aquests factors no es pot acabar l'obra en els terminis determinats a el començament de l'obra.

L'empresa Bellapart va fabricar la majoria dels productes ella mateixa, a part dels panells de *pladur* i poliuretà i evidentment sense comptar tots els cargols i femelles que van ser comprats a proveïdors els quals només s'ocupen de fabricar aquest tipus de productes.

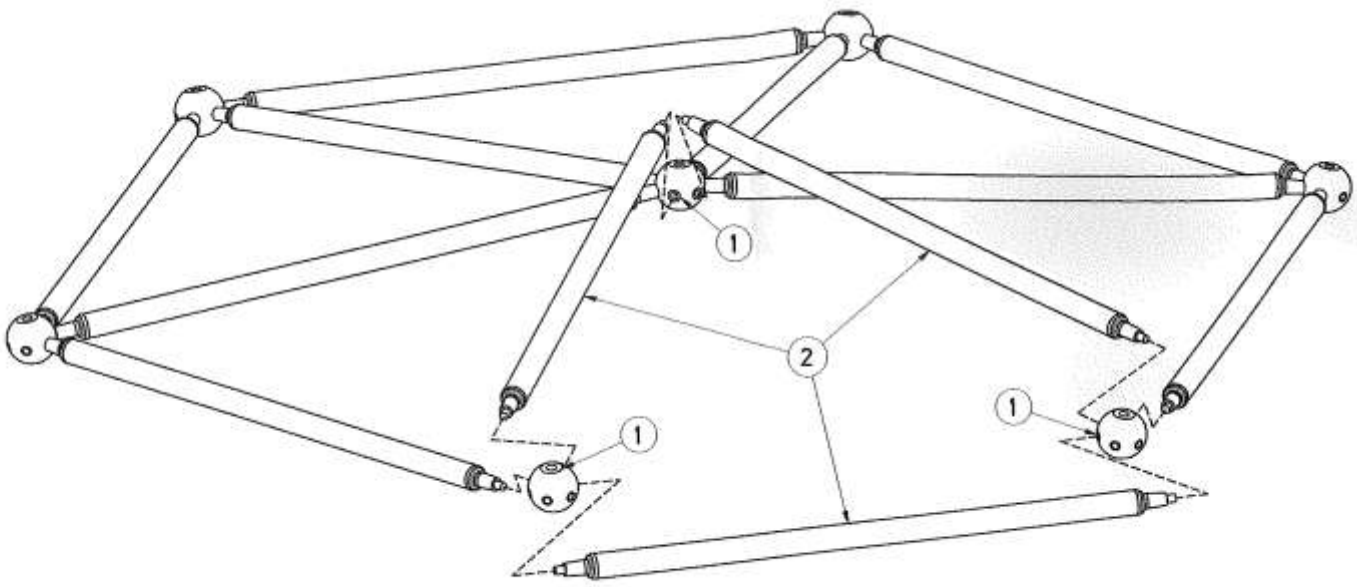
El problema més important que pot aparèixer en produir-se les peces en aquest cas d'acer inoxidable és el transport, ja que sense anar tant lluny a aquesta obra es van haver de transportar tots els materials d'Olot a Madrid el que a part de ser lent, també pot causar problemes d'ordre, ja que com que totes les peces tenien el seu lloc assignat a l'estructura, si durant el viatge es mouen pot ser que compliquin més l'entrega.

Però deixant a part aquesta fase de transport, sembla que gràcies els programes informàtics que ja existien fa 12 anys es va poder produir amb facilitat i sense errors.

Muntatge

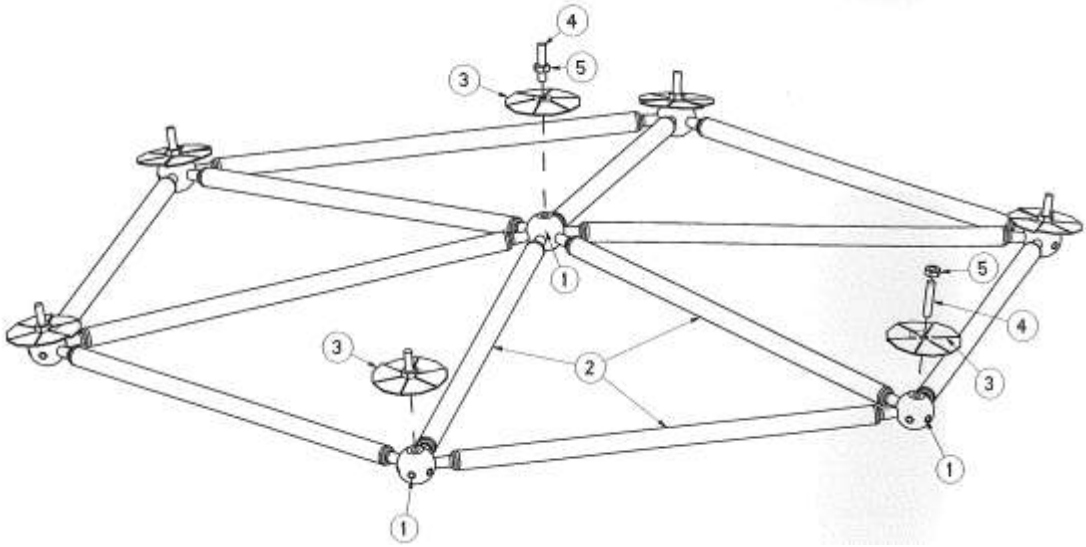
Com s'ha explicat anteriorment els triangles d'aquest tipus d'estructura geodèsica s'uneixen per formar Hexàgons i Pentàgons, per tant per facilitar la construcció els triangles s'unien i es muntaven en la forma que convingués. Per explicar el sistema de muntatge farem servir el sistema d'un Hexàgon i no un Pentàgon.

Es col·loquen 12 tubs estructurals de 50mm de diàmetre i 3mm d'espessor (acer) en forma d'Hexàgon units entre ells per nuclis estructurals també d'acer de 100mm de diàmetre.



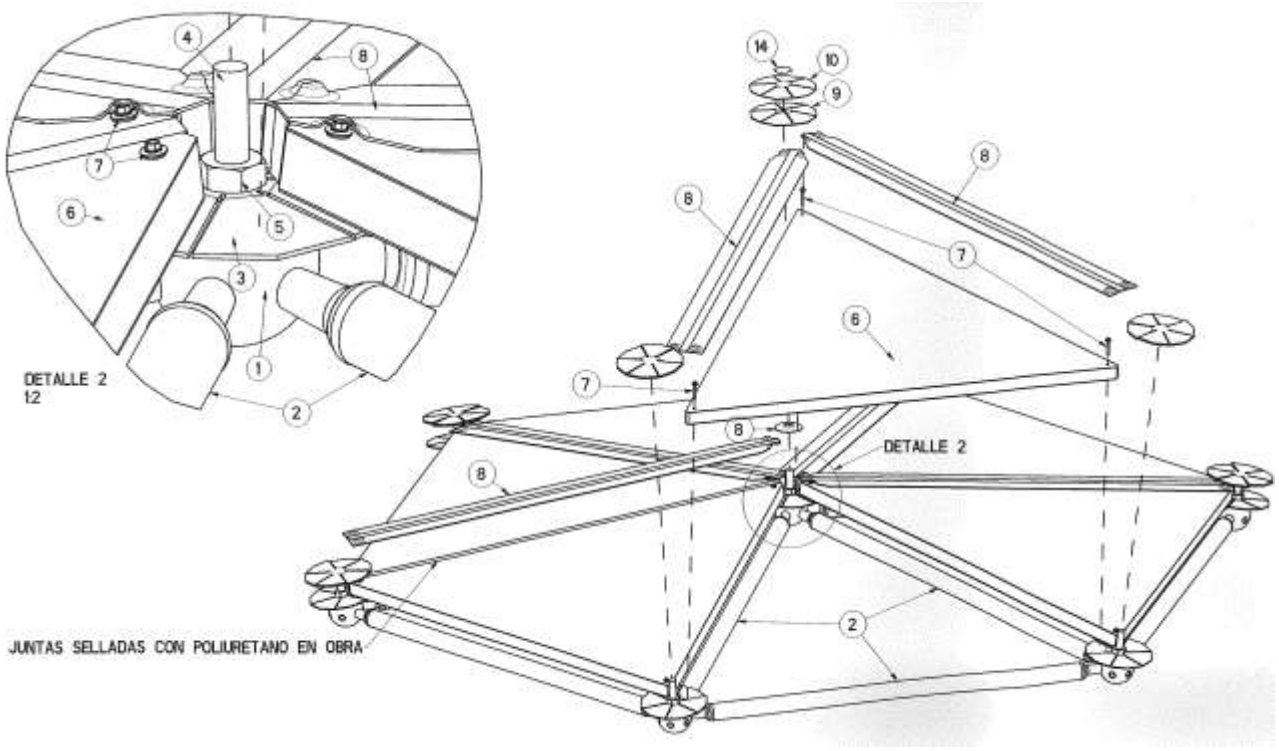
1- Nucleo estructural diametro 100mm (Acero)
2- Tubos estructurales diam. 50mm espesor 3mm (Acero)

Seguidament es col·loquen uns plats d'orientació variable (per aguantar la capa aïllant) travessats per un espàrrec M20 d'acer inoxidable i aguantats per una femella també del 20 i acer inoxidable.

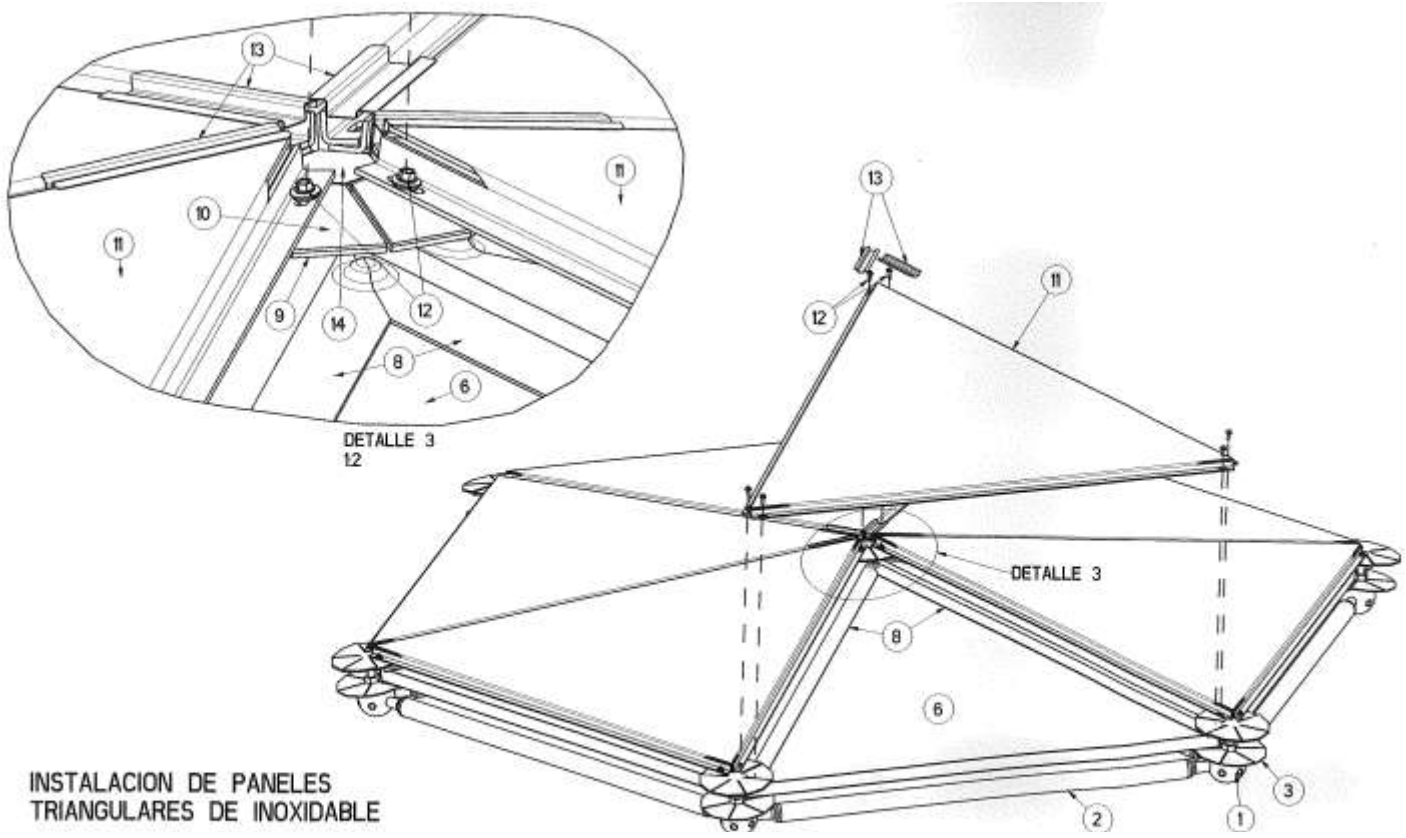


1- Nucleo estructural diametro 100mm (Acero)
2- Tubos estructurales diam. 50mm espesor 3mm (Acero)
3- Platos de orientacion variable, esp. 3mm (Acero)
4- Esparrago M20 (Acero Inox)
5- Tuerca M20 (Acero Inox)
6- Panel de 40mm en poliuretano i recubierto de chapa 0,5mm
7- Tornillo autotaladrante
8- Juntas aislantes entre paneles
9- Platos de orientacion variable, esp. 3mm (Acero ST-44-2)
10- Junta C/EPDM en 3mm de espesor
11- Paneles Triangulares en Acero Inox Pulido Brillante de 3mm de espesor
12- Tornillo autotaladrante (Acero Inox)
13- Omegas tapajuntas en acero inoxidable pulido brillante de espesor 0,5mm
14- Placa embellecerora Inox pulido brillo 0,5mm

El següent pas és col·locar el panell de poliuretà que faci 40mm recobert amb xapa de 0,5m, aquest té una forma triangular per tal de col·locar-lo sobre els tubs i clavar-los al plat d'orientació variable mitjançant un clau auto perforant. I entre panell i panell es posa una junta aïllant.

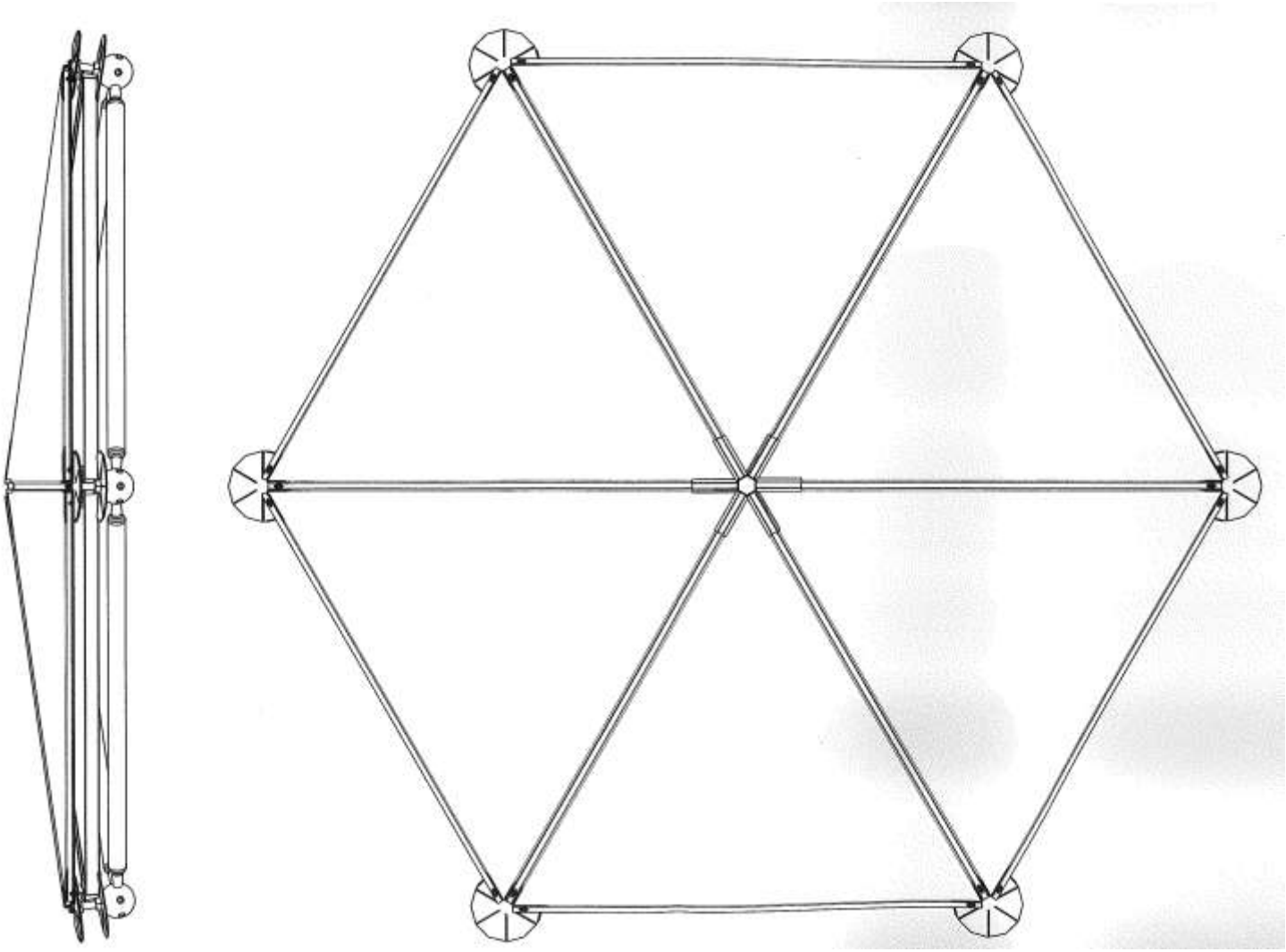


Després de tapar les juntes, es torna a encaixar un plat de orientació variable sobre el mateix espàrrec d'acer inoxidable que el plat inferior, però aquest cop i adjuntem una junta de 3mm d'espessor al damunt. Un cop posats els plats es posen uns panells triangulars d'acer inoxidable polit brillant de 3mm d'espessor sobre el plat d'orientació variable i es claven mitjançant claus auto perforadors com en el panell aïllant posat anteriorment. Per acabar aquest pas es col·loca una placa d'acer inoxidable polit brillant de 0,5mm per tapar la part superior de l'espàrrec d'acer, i així quedar del mateix color que els triangles i es col·loquen unes omegues tapajuntes d'acer inoxidable polit i brillant de 0,5mm a les juntes del voltant del plat d'orientació variable.



1- Nucleo estructural diametro 100mm (Acero)
2- Tubos estructurales diam. 50mm espesor 3mm (Acero)
3- Platos de orientacion variable, esp. 3mm (Acero)
4- Esparrago M20 (Acero Inox)
5- Tuerca M20 (Acero Inox)
6- Panel de 40mm en poliuretano i recubierto de chapa 0,5mm
7- Tornillo autotaladrante
8- Juntas aislantes entre paneles
9- Platos de orientacion variable, esp. 3mm (Acero ST-44.2)
10- Junta C/EPDM en 3mm de espesor
11- Paneles Triangulares en Acero Inox Pulido Brillante de 3mm de espesor
12- Tornillo autotaladrante (Acero Inox)
13- Omegas tapajuntas en acero inoxidable pulido brillante de espesor 0,5mm
14- Placa embellecerora Inox pulido brillo 0,5mm

Finalment tenim l'Hexàgon complert. Evidentment tots els triangles que tocaven al terra no formaven cap Hexàgon, però es feia servir el mateix criteri de muntatge.

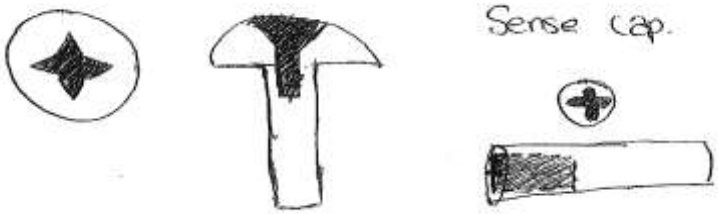


Anècdotes i Problemes

Quan es porta a la pràctica qualsevol projecte, és normal que sorgeixin problemes. Normalment aquests problemes poden ser deguts a una execució errònia del pla previst, o per no haver realitzat de manera correcte la part de càlcul del projecte, el que repercuteix a la part de producció i de muntatge de l'obra. També poden sorgir problemes per culpa de producció o càlculs duts a terme per algú aliè a l'empresa, com per exemple els proveïdors que si serveixen un material en males condicions afectaran l'empresa que no hi ha tingut res a veure.

Un dels problemes que van sorgir durant l'obra va esdevenir durant el muntatge. Com he explicat durant l'apartat de producció i muntatge, els panells triangulars d'acer inoxidable polit i brillant s'uneixen als plats d'orientació variable mitjançant 6 cargols, 2 cargols a cada vèrtex. Doncs durant l'aplicació d'aquests panells es van utilitzar un tipus de cargols que durant aquella mateixa nit se'ls va desenganxar el cap degut el canvi de temperatura. Això va ocorre per culpa d'una mala fabricació per part dels fabricants de cargols, els quals havien fet el forat d'entrada del tornavís massa fondo de manera que quedava tota la part superior del cargol buida de dins, i per tant no eren aptes per unir cap mena de peça ja que el ser buits de dins esdevenien molt poc resistents.

Finalment es van haver de treure tots els cargols clavats als panells triangulars (feina que tot i que pot semblar fàcil va esdevenir molt complicada), i després es van haver de comprar 9210 cargols nous, i aquest cop vigilant que no tonguessin cap defecte.



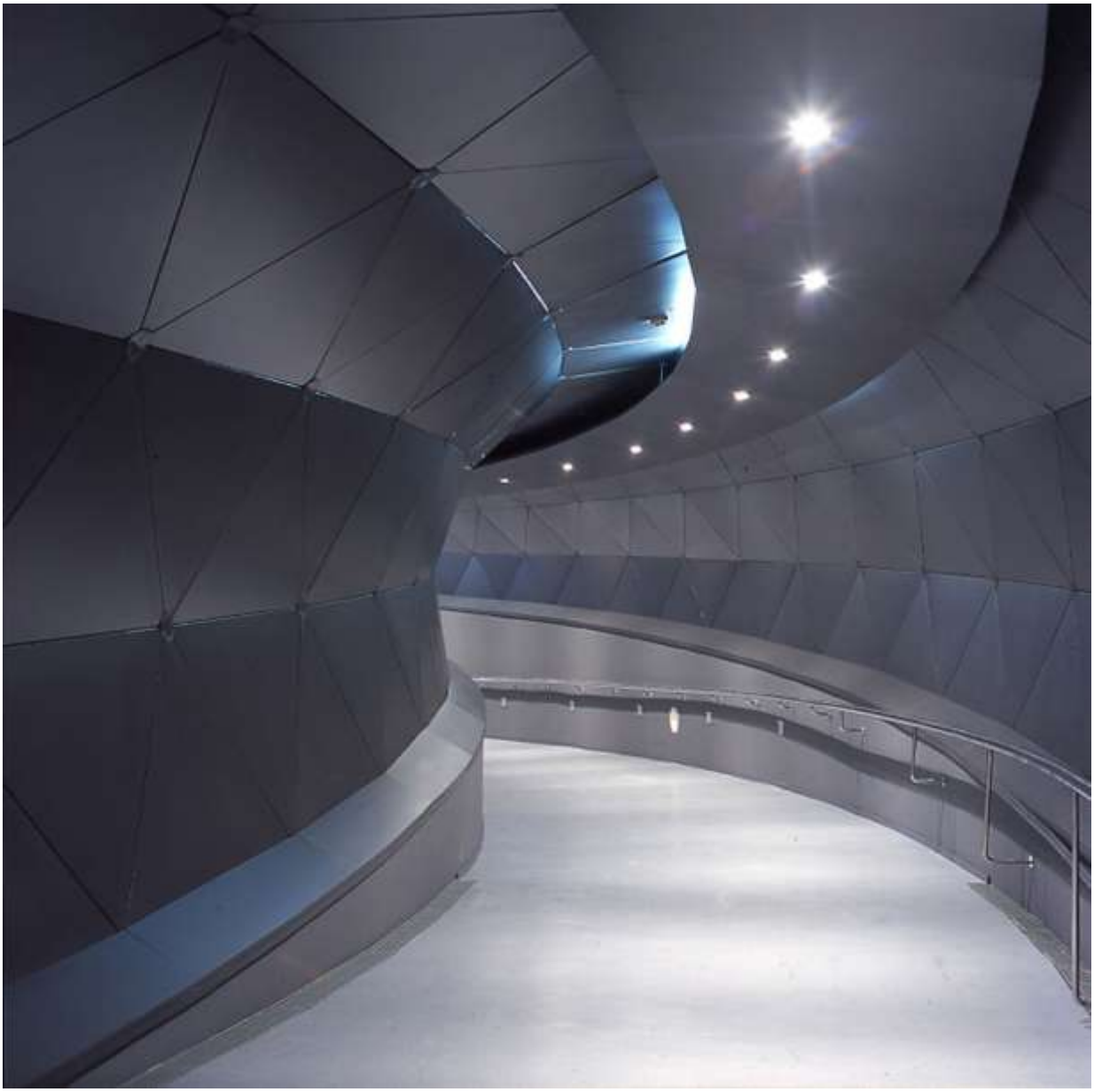
També hi van haver una series de problemes un cop acabat el projecte, ja que es deia que com que el museu es troba molt a prop de l'aeroport de Barajas l'estructura d'acer inoxidable brillant podia enlluernar als avions, però finalment va ser només una por i per sort mai va existir cap mena de problema amb els avions.

Resultat Final

Aquí podem contemplar una fotografia del resultat de totes les parts de que hem anat veient i que tenien com a finalitat aconseguir poder veure l'estructura que es pot veure a la fotografia. A aquesta imatge hi podem apreciar com ha quedat la cúpula geodèsica i tota la coberta tapada amb geometria geodèsica. Ara podem comparar el resultat final amb el plànol definitiu establert al principi del projecte.

Es pot veure una part de la coberta formada pels panells triangulars d'acer inoxidable polit i brillant. A aquesta fotografia es pot observar perfectament el resultat final de l'etapa de muntatge que he explicat anteriorment. Es pot veure tota la pell exterior ans el recobriment brillant de les juntures, i també es pot observar que tots els panells són diferents ja que tots s'orienten de manera diferent.

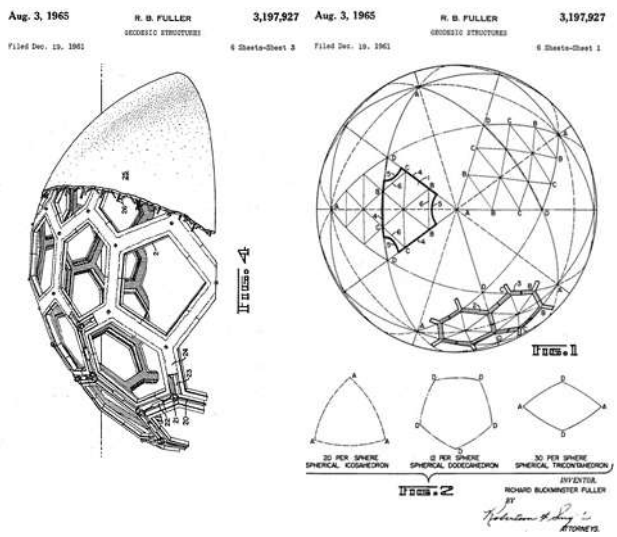
La finalitat pràctica d'aquest edifici és unir el museu de la ciència situat a la plata inferior amb el planetari (la cúpula geodèsica) de la planta superior. I per tant tota la coberta allargada que és el sostre d'una rampa la qual puja de manera progressiva fins arribar als peus del planetari.



S' observa la rampa per la qual s'accedeix al planetari. I també podem observar el recobriment de la paret interior de la coberta la qual segueix la mateixa simfonia geodèsica que a la part exterior. Els panells triangulars que formen aquesta part interior són de pladur *que és un material que serveix com a material antiincendis. Per tant l'interior de la coberta i de la cúpula també va ser fabricat i muntat per Bellapart, el que fa que el nombre de panells triangulats que s'havien de fabricar incrementi encara més. Ja que en total hi ha tres capes de panells triangulars, la més interna que és de* pladur*, la que acabem de comentar, la del mig que està formada per panells triangulars aïllants de poliuretà i la més externa, que està formada per panells triangulars d'acer inoxidable polit i brillant que té una funció bàsicament visual, ja que transmet una gran brillantor a qui ho està contemplant.*

Després de veure la primera obra

Finalment després de veure els passos més rellevants d'aquesta obra podem dir que ja sabem quines són les dificultats de construir una estructura geodèsica, però hem de tenir en compte que quan Fuller va inventar la geodèsia no existia la informàtica, que és el que ara s'utilitza per realitzar tots els càlculs necessaris perquè l'estructura s'aguanti, per tant, Fuller havia de fer tots aquests càlculs mentalment, sense cap mena de programa que l'ajudés, això incrementava les dificultats de construir una cúpula geodèsica fa 40 anys. A més hem de tenir en compte que els sistemes de construcció i muntatge actuals o de fa 10 anys (època en què es va dur a terme el projecte del Museu de la Ciència) tampoc tenen res a veure amb els sistemes de fa 40 anys, per tant, tot el sistema de producció i maquinària o simplement de muntatge, com poden ser les bastides o les grues era molt més complicat ja que no existien els mitjans dels que disposem actualment.



Però tot i aquesta gran quantitat d'inconvenients que sembla que durant el projecte del Museu de la Ciència ja no existien, als següents projectes que es van realitzar 7 i 9 anys més tard veurem que l'evolució de la informàtica encara facilitarà més tant el disseny, com la construcció de la geometria geodèsica. I una prova n'és que la informació que actualment conserva l'empresa Bellapart del projecte del museu de la ciència està tota arxivada en carpetes i a mà, mentre que tota la informació de la construcció del centre comercial de Badalona està dins un CD on hi ha igual o més informació que dins de totes les carpetes on hi ha la informació del Museu de la Ciència.

Ara hem vist tot el projecte del museu de la ciència, i també hem vist part de la vida de Richard Buckminster Fuller el que ens ha servit per entendre la seva filosofia de vida mitjançant els seus invents. Però ens podem preguntar: com és que un invent com el de la cúpula geodèsica va arribar a una empresa de façanes d'Olot? Doncs aquesta connexió es remunta 15 anys enrere quan el director general de Bellapart va anar de vacances amb la seva família a Califòrnia, i mentre estaven allà van anar a visitar Carolina del Nord, on hi ha un museu sobre Buckminster Fuller ja que aquest hi va viure durant una temporada, hi va ser on va descobrir la *tensegrity*. Allà van entrar al museu i el senyor Bellapart va descobrir una nova manera d'entendre l'arquitectura. Fascinat per el descobriment va comprar un llibre que es diu, "Bucky Works" el qual encara conserva, datat del 12-07-1996. Aquest llibre, que a primera vista ens pot semblar inofensiu, va ser el promotor de totes les obres amb geometria geodèsica que l'empresa Bellapart a realitzat al llarg de la seva vida. Per tant si no hagués estat per aquest viatge familiar Bellapart no hauria interpretat mai l'obra del museu de la ciència com una estructura de geometria geodèsica, i per tant cap de les obres geodèsiques posteriors tampoc haurien existit, i ara jo no estaria fent aquest treball.

Hotel Hesperia de Barcelona

Introducció a l'Obra

Aquesta obra es va dur a terme a mitjans del 2006 a Barcelona, va ser dissenyada per *Roger Stirk Harbour & Partners* un dels millors equips d'arquitectes del món.

L'edifici és un hotel i a la part superior hi ha la cúpula geodèsica que serveix per cobrir el restaurant creant una vista panoràmica de la zona. La cúpula de 22m de diàmetre i 42 tones de pes va ser construïda totalment a nivell del sòl i posteriorment hissada mitjançant una grua de 850 tones fins la seva posició final a 105m de altura movent amb seguretat els 219 panells de vidre especial de control solar que la componen.

Aquest procés va requerir 8 mesos de treball a l'empresa Bellapart, tant a nivell d'enginyeria com de producció i muntatge. Per aquesta aplicació es va desenvolupar un nou sistema estructural, precís i elegant capaç de resistir tant les elevadíssimes càrregues de vent a què va a estar sotmesa la cúpula, com a les generades durant la maniobra de elevació.

De les cúpules geodèsiques que hem vist o veurem aquesta és la que està a més altura i la que representa menys part d'una esfera, ja que ni tant sols és la meitat d'una esfera geodèsica mentre que tant el Cosmo caixa de Madrid com la pilota de Badalona són més de la meitat d'una esfera geodèsica.

Entre altres coses aquest edifici resulta sorprenent ja que el diàmetre de la cúpula és més llarg que l'amplada de l'edifici el que fa que la cúpula sobresurti pels costats, el que fa més difícil el muntatge, però a la vegada fa que la cúpula cridi més l'atenció i que per tant es vegi més.

De l'Arquitecte al Projecte Final

Com ja hem dit el dissenyador d'aquest hotel va ser en Richard Rogers i el seu equip. És un dels millors equips d'arquitectes del món, i des del meu punt de vista han fet obres realment extraordinàries. Aquesta va ser la primera obra que Bellapart va treballar amb Roger & Partners. Però actualment han treballat junts amb dues obres més: la bodega de Protos (Espanya) i l'hotel Berkeley (Londres).

Per fer-nos una idea de qui és Ricard Rogers ara veurem algunes de les seves obres més simbòliques, i també veurem les dues obres que va i està duent a terme juntament amb l'empresa Bellapart.

El Millennium Dome és una de les obres més importants i famoses que ha fet l'equip de Richard Rogers. El Millennium Dome es va fer a Londres per dur-hi a terme una enorme exposició d'entrada al nou mil·lenni, que es va inaugurar el dia 1 de gener de l'any 2000 i va tancar al 31 de desembre del mateix any. Actualment es vol fer servir com a pavelló per fer alguns esports durant les olimpíades i també per fer-hi concerts.

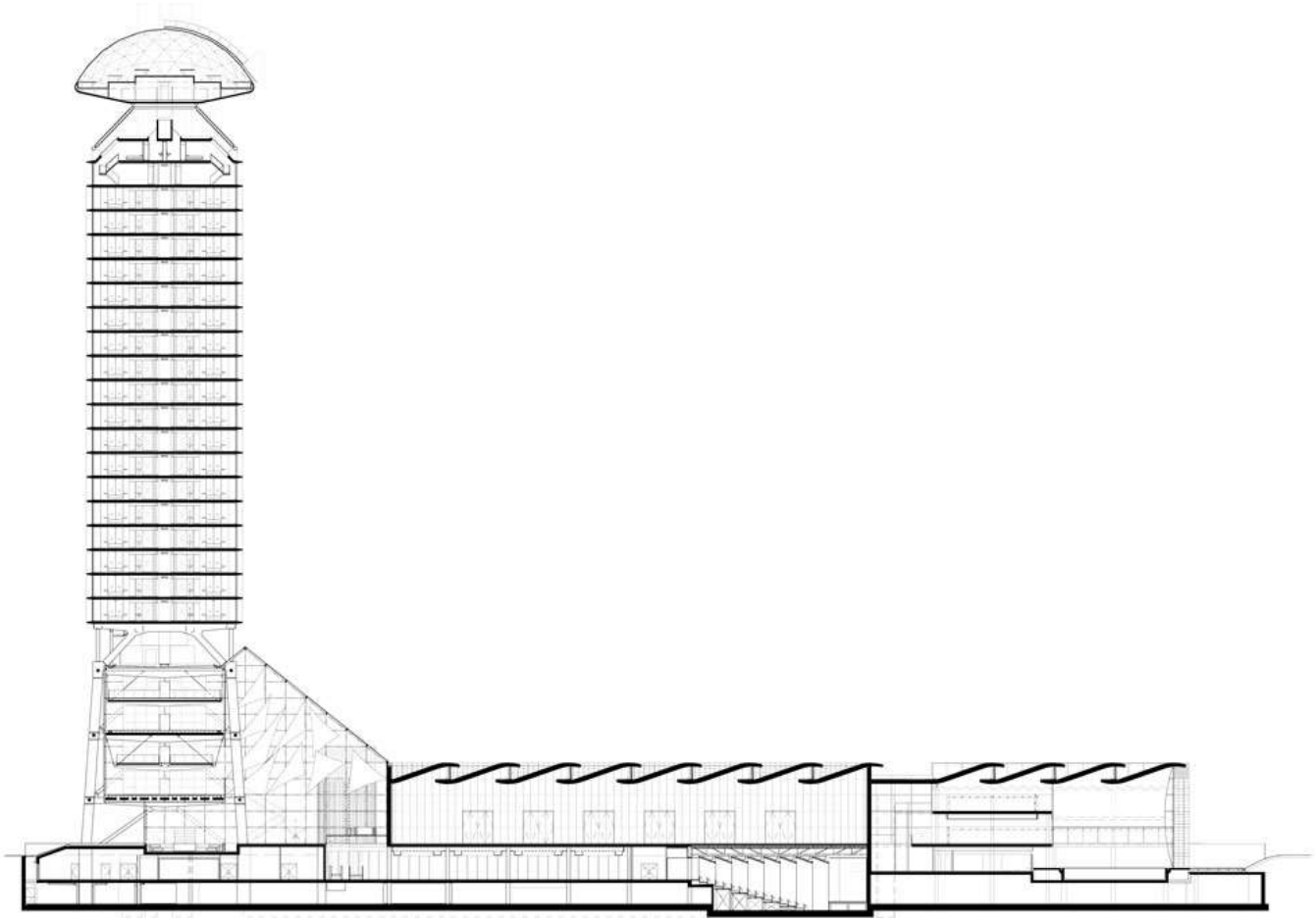
El Millennium Dome és l'estructura de sostre únic més gran del món. A més tot el que el forma té un significat. Per exemple hi ha 12 torres de 100 metres que representen els 12 mesos de l'any, i el diàmetre de la cúpula és de 365 metres com els dies que té un any. El centre de la cúpula arriba a 50 metres d'altura els que sembla sorprenent ja que degut a la magnitud d'aquesta cúpula tot semblà més baix.

La reforma i transformació en centre comercial de les Arenes de Barcelona també va ser duta a terme per l'equip de Rogers & Partners. Una obra situada a Barcelona en què es va fer aixecar tota la façana de l'antiga plaça de braus un pis més on ara hi ha l'entrada del centre comercial, i per tal de fer-la més visible. A més va incorporar una cúpula amb forma de plat a la part superior de la plaça de 76metres de diàmetre. És una obra absolutament espectacular que ara serveix com a centre comercial a Barcelona.

A les imatges superiors podem veure la bodega de Protos de "Peñafiel" Valladolid. Aquestes bodegues també van ser dissenyades per l'equip Richard Rogers, i Bellapart es va ocupar del càlcul i muntatge dels vitralls de cada arc. Aquesta obra va ser duta a terme durant l'any 2008, dos anys més tard que l'hotel Hesperia. Per tant aquesta va ser la segona obra en què Bellapart va treballar juntament amb l'equip Rogers & Partners. Però no va ser l'última ja que en aquests moments s'està duent a terme una altre obra juntament amb aquest equip, el "hall" de l'hotel Berkeley de Londres, però encara no està acabada.

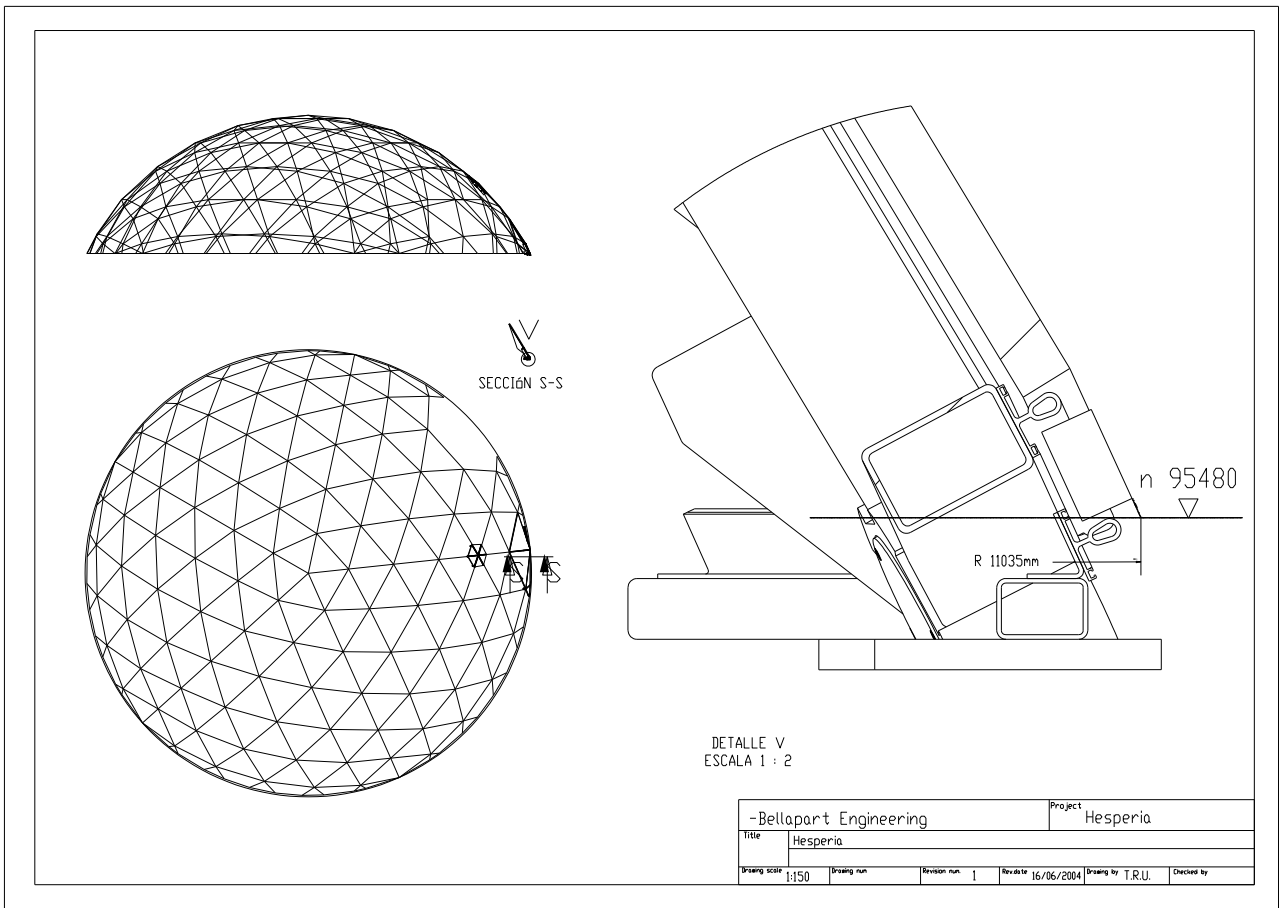
Plànols

El plànol inicial i final de l'hotel Hesperia no va patir gairebé cap mena de variació en el que respecte el treball de Bellapart. Aquesta obra a diferència de les altres dues ,que ja hem vist o que veurem, és l'única en que va ser l'arquitecte qui ja havia decidit que s'havia de fer una cúpula geodèsica, per tant la feina de Bellapart va ser procurar que fos possible aquesta cúpula seguint el plànol entregat per l'equip d'arquitectes. La feina de Bellapart va ser fer els càlculs necessaris per aconseguir que el resultat final de l'obra fos el màxim d'igual possible al disseny original de l'arquitecte.

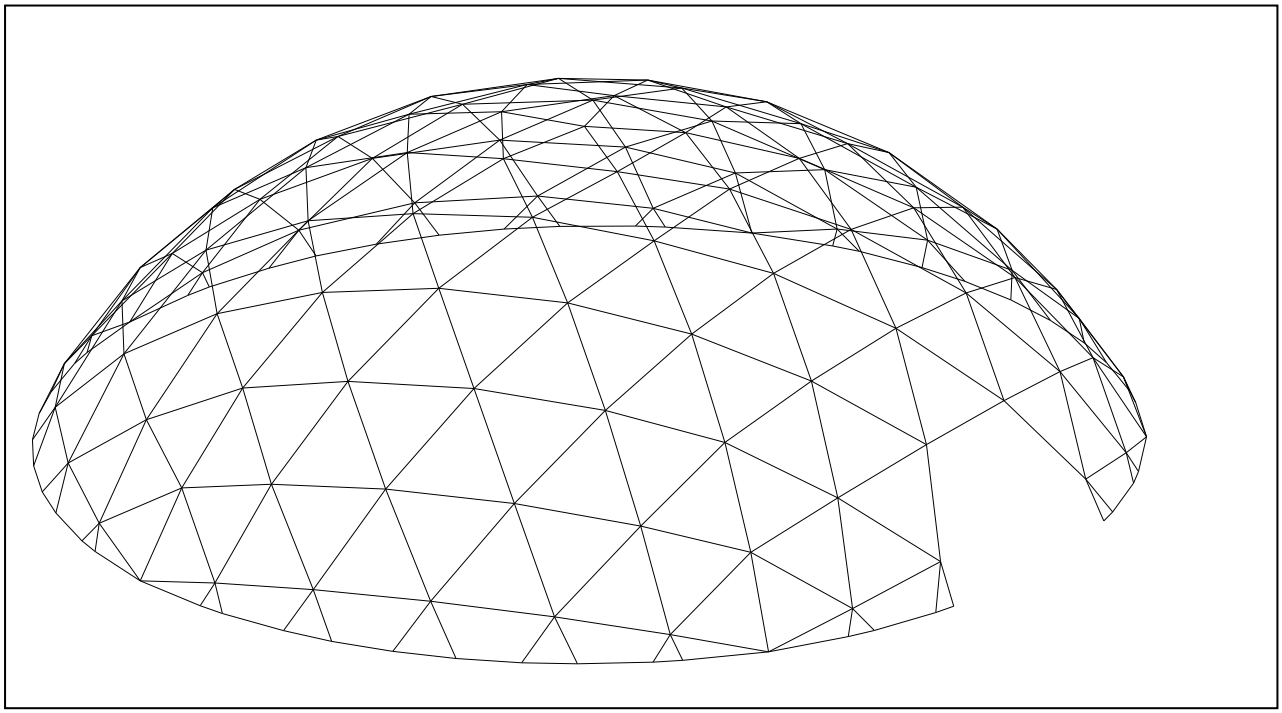


Aquest és l'alçat del plànol de l'obra, del qual Bellapart només es va ocupar de fer la cúpula i la Tensegrity situada a l'atri de l'hotel de la qual parlarem més endavant. Com podem veure al plànol el punt més complicat de l'obra es troba a la cúpula, degut a que la seva situació es troba al punt més elevat de l'edifici a 105 metres d'altura. Com veurem més endavant, la cúpula va haver de ser muntada i seguidament pujada al seu lloc per una grua. Possiblement la part més complicada de totes ja que pujar una cúpula muntada, de 22 metres de diàmetre i 42 tones de pes, és extremadament complicat i arriscat.

Aquest plànol és el que Bellapart va fer per dur a terme els càlculs de la cúpula. Com podem veure es tracta d'una cúpula que representa una menor part d'esfera que la cúpula del Cosmo Caixa Madrid, i com veurem més endavant també representa menys part d'una esfera que la cúpula del centre comercial Màgic Badalona.

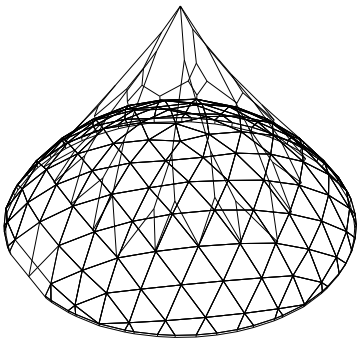


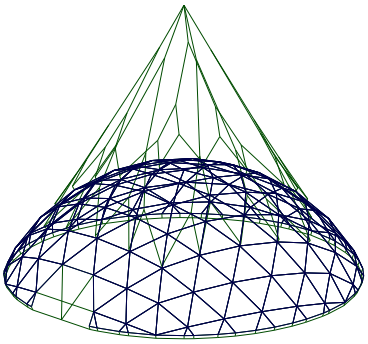
Aquest esquema fet mitjançant l'AutoCAD mostra el plànol final de la cúpula i el sistema de forjat que Bellapart va fer servir per a aquesta obra. I a la part inferior podem veure el plànol de la cúpula amb més definició.



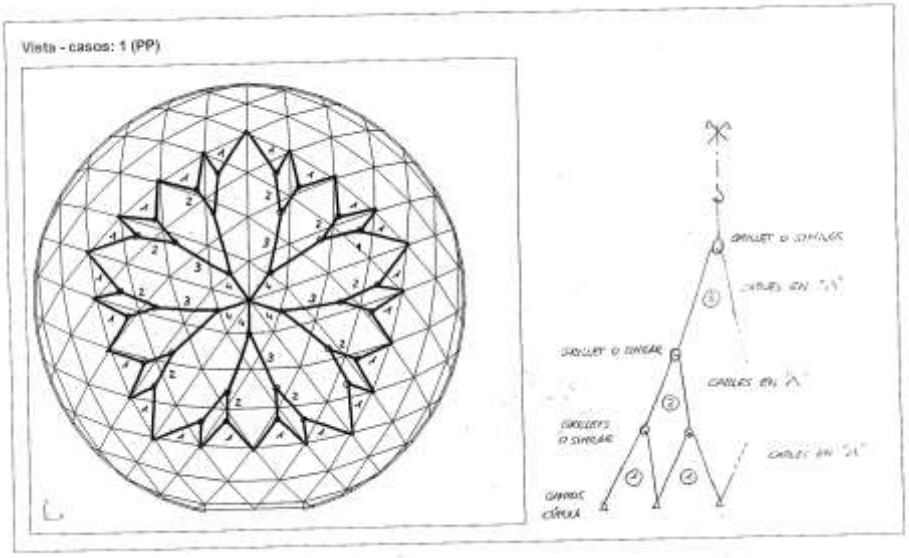
Càlcul

El càlcul d'aquesta obra es va fer mitjançant programes informàtics completament especialitzats en el càlcul de estructures geodèsiques. Però no només es va haver de calcular la cúpula, també es va haver de calcular l'elevació mitjançant la grua d'aquesta. Aquest punt és molt important perquè si no hagués estat pels càlculs que van definir el sistema de subjecció de la cúpula mentre era enlairada hauria perillat tota l'obra. Aquests càlculs eren tant difícils de realitzar degut a les fortes càrregues de vent que el sistema de subjecció havia de suportar mentre elevava la cúpula fins a 105 metres d'alçada.





Aquest és el sistema que es va dur a terme per elevar la cúpula amb la grua fins a 105 metres d'alçada. Aquest sistema va ser dissenyat per Bellapart ja que la primera idea que a un se li acudeix per pujar una cúpula és enganxant-la amb cables rectes de la mateixa mida, però si un dels cables fos mig mil·límetre més petit hauria de suportar tot el pes de la cúpula aquest de sol, el que faria que es trenqués i desestabilitzés la cúpula, per tant una cosa que pot semblar senzilla va esdevenir molt complicada. Finalment Bellapart va arribar a la conclusió que aquest sistema era el millor per enlairar la cúpula. Està format per 20 ganxos agafats a la cúpula dels quals en surt un cable que dona la volta a una politja la qual està enganxada a un altre cable etcètera, això fa que com que els cables donen la volta a la politja encara que un cable sigui més curt rodarà per la politja i s'estabilitzarà. A al imatge de la part inferior podem veure el funcionament vist des de dalt.



Producció i Muntatge

Producció

Com a la obra anterior tots els panells triangulars que es van utilitzen a aquesta obra van ser produïts per Bellapart. Per tant les complicacions de producció van ser les mateixes que a la obra del Cosmo caixa de Madrid, però amb molts menys panells triangulars. A aquesta cúpula hi ha un total de 219 panells triangulars, mentre que al cobert i el planetari del Cosmo caixa hi ha 1535 panells triangulars, això ens diu clarament que el factor productiu tot i tenir la seva rellevància habitual no va ser tant difícil i important com la primera vegada que Bellapart construïa una cúpula geodèsica.

Muntatge

Com hem vist la gran dificultat a l'hora de dur el projecte va ser el muntatge de la cúpula degut a l'alçada en què aquesta havia d'estar situada. L'equip d'arquitectes Roger, va proposar construir una part de la cúpula a baix i una altre a d'alt de l'edifici, i així només caldria pujar el casquet de la cúpula, però a l'equip de Bellapart va creure que seria millor construir tota la cúpula a terra i un cop acabada pujar-la, i ho va fer saber a l'equip Roger, qui no hi va posar cap objecció. Tot i que les dificultats que s'havien d'afrontar ara eren molt difícils d'assolir, Bellapart creia que hauria estat pitjor construir una part de la cúpula des de d'alt, ja que l'equip no tenia ni els mitjans ni les mesures de seguretat per fer-ho i això els hauria dut a un increment no calculat de les despeses.

El primer pas:

El primer pas del muntatge de la cúpula és construir l'esquelet d'aquesta. Unint tots els tubs formant triangles, i aquests formant Hexàgons, que finalment formaran la cúpula. Com podrem veure a al imatge de continuació

El segon pas:

El segon pas consistia en posar els panells triangulars de vidre als seus llocs corresponents. A la imatge podem veure alguns dels panells triangulars ja instal·lats, i la major part encara per posar.

Seguidament es van posant tots els panells, que encara que sembli una tasca ràpida, és molt lenta, ja que es tracta d'una cúpula de 219 panells i de 6,5 metres d'altura el que fa que tot i que sigui una feina mecànica necessita el seu temps. A la imatge de la part inferior es pot comprovar que ja gairebé s'han col·locat tos els panells triangulars, i també es pot veure que el muntatge dels panells es feia mitjançant una plataforma elevadora.

El tercer pas:

Un cop posats tots els panells triangulars es varen posar totes les juntes aïllants entre cada panell, seguint un sistema molt semblant al de la cúpula del Cosmo Caixa Madrid, i a la Pilota de Badalona. Un cop acabat aquest pas la cúpula ja estava preparada per ser enlairada. Però aquí va aparèixer un problema, ja que segons el plànol que havia rebut Bellapart al casquet de la cúpula hi anaven uns panells especials on si havien d'haver col·locat uns extractors per poder ventilar el local .Però un cop Bellapart ho havia muntat justament abans de pujar la cúpula, els propietaris van decidir que no feien falta, i tot i que Bellapart va insistir en què es necessitaven algunes obertures per poder ventilar la cúpula, destinada a exercir de restaurant, no se'n va fer cap.

A aquestes imatges podem veure-hi els panells triangulars especials per col·locar-hi els extractors. Com es pot apreciar es tractaven de 10 panells, que anaven col·locats al voltant del pentàgon principal de la obra geodèsica. Treure aquests panells per canviar-los per uns de nous va suposar la fabricació de nous panells, i les pertinents pèrdues, tant temporals com econòmiques.

Finalment un cop pujada la cúpula i acabada l'obra els propietaris van veure que necessitarien algunes obertures a la cúpula, i per tant Bellapart tot i els esforços que va realitzar per no haver de treballar a 105 metres d'altura, va haver d'acabar-hi treballant per muntar uns nous panells que substituïssin als 5 panells situats a la part més superior de l'obra. Aquests panells podran obrir-se com una petita finestra per poder ventilar el restaurant.

El quart pas:

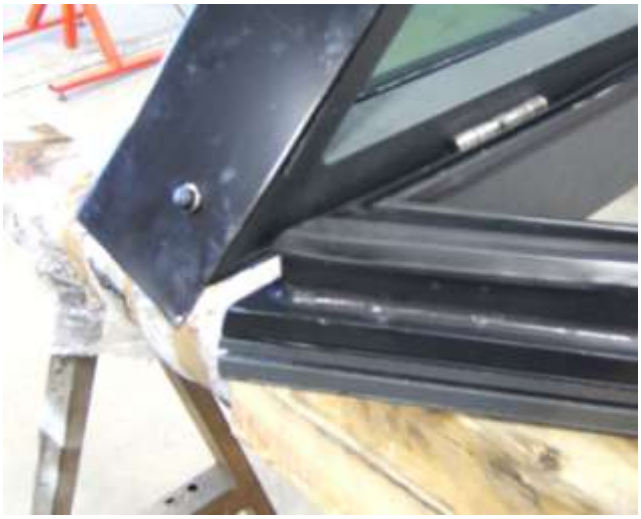
Com era d'esperar el quart pas consistia en pujar la cúpula fins al seu lloc final. Per fer-ho, com hem dit anteriorment es va utilitzar una grua que sostenia la cúpula mitjançant un sistema creat i calculat per Bellapart. Va ser un procés complicat degut a que quan es va realitzar feia més vent del que s'havia esperat, però finalment va anar tot perfecte, fins el punt que a l'hora de col·locar la cúpula al seu lloc, només hi va haver 5 mil·límetres de error, quan el marge d'error era de uns 30 mil·límetres. Per tant Bellapart va conciiderar d'èxit total tot el muntatge de l'obra.

Anècdotes i Problemes

Durant els 8 mesos de treball dedicats a aquesta obra van aparèixer molts problemes. Com hem vist a l'apartat de muntatge, i va haver un problema amb els panells de ventilació que havien d'anar col·locats a la part superior i que finalment van haver d'ésser muntats a 105 metres d'alçada.

Una altra anècdota que podríem mencionar d'aquesta obra és que al plànol de Richard Rogers, hi havia una persiana a la cúpula per tal de parar el sol. Es tractava d'una persiana de forma triangular que baixava del centre del casquet de la cúpula fins a la base d'aquesta i que mitjançant un motor es movia seguint al sol, fent així que el sol mai entrés directament a la cúpula, i a la vegada que no s'hagués de tapar amb persianes tot el contorn de la cúpula.

Finalment, però, els propietaris de l'hotel van decidir que no feia falta i que era massa car, els mateixos propietaris que van dir que no feien falta obertures per ventilar, més tard van haver-les de fer. Actualment si fa gaire sol el restaurant de la cúpula queda tancat ja que es veu que tant els clients com els cambrers deien que era impossible d'aguantar.



Aquestes són les finestres que Bellapart van haver de dissenyar, produir i fabricar per poder ventilar el restaurant de la cúpula.

Atri de l'Hotel Hesperia

Bellapart no només va fer la cúpula geodèsica de l'hotel Hesperia Tower, a més, va dur a terme la construcció de les façanes de l'atri, i ho va fer mitjançant un sistema de *Tensegrity*, un sistema patentat per Richard Buckminster Fuller l'any 1962.

L'atri es compon de dues façanes i una coberta de vidre aïllant de control solar baix emissiu que envolta un espai diàfan de 30,5 m x 20 m a la planta. La coberta de vidre parteix d'una altura de 10 metres sobre el sòl i s'eleva en un angle de 39º fins una altura de 24 m per a arribar a la sisena planta de la torre. L'estructura de gran lleugeresa, es compon d'una retícula de perfils tubulars rectangulars d'acer de petit calibre, suportats interiorment per un sistema estructural tipus *Tensegrity*, que com molt bé sabem va ser un invent patentat per Buckminster Fuller a mitjans de segle.

Tres nusos principals s'aguanten a l'espai a 12 m d'altura formant una estructura *d'arriostramient* de gran complexitat composta per un gran nombre de barres. Per a la composició d'aquesta estructura i dels nusos que reben les barres es van fabricar grans peces mecanitzades d'acer.

Durant el muntatge de l'estructura es va dur a terme el delicat procés de tensat del sistema de *arriostramient*, operació que es va desenvolupar en fases. Al terme de cada fase, es van instal·lar noves barres i es van anar controlant constantment els desplaçaments dels nusos estructurals. També es van anar comprovant els esforços soferts en tot moment pels tirants mitjançant un sistema *d'extensometria*.

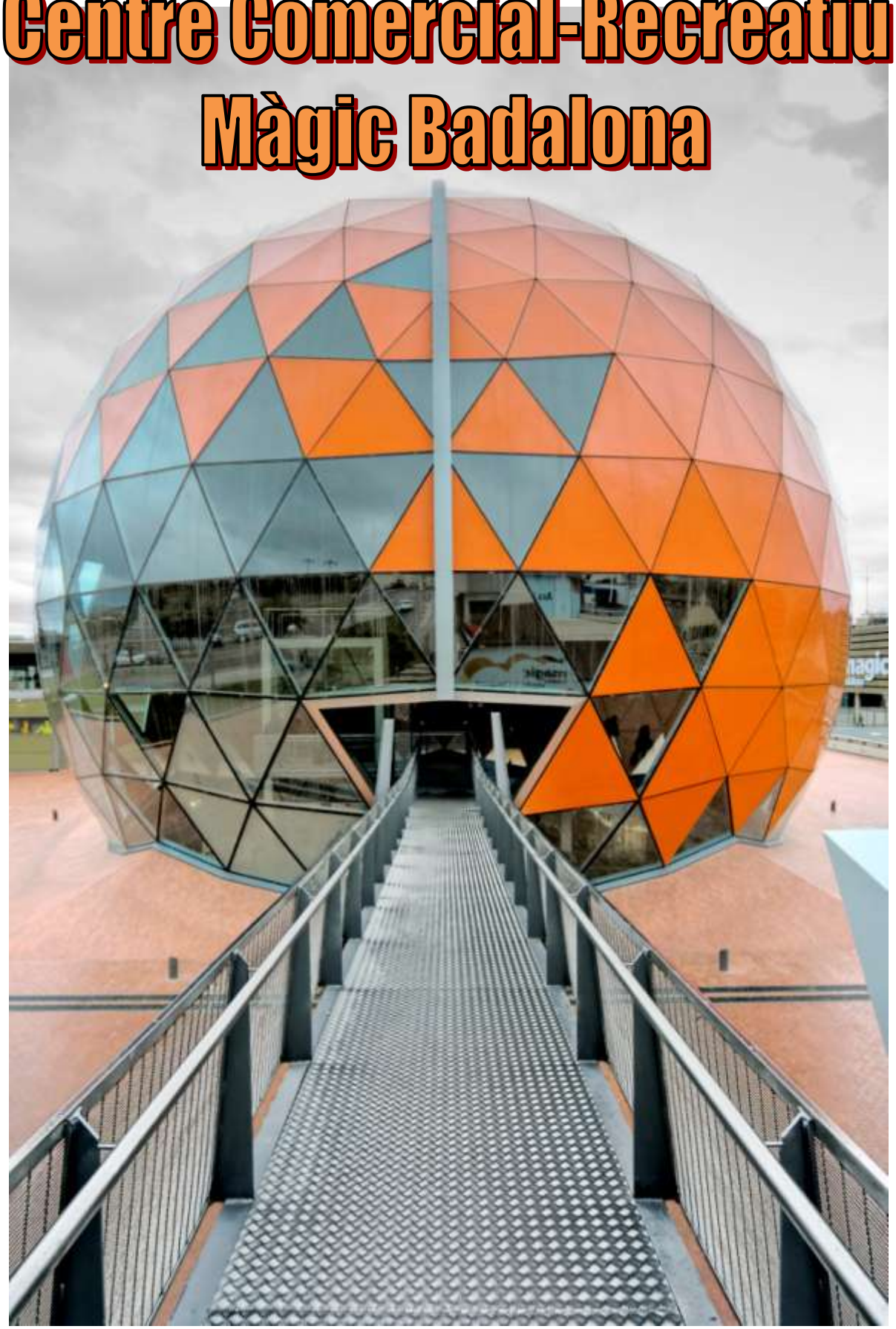
Un cop més ens trobem observant una estructura que va ser inventada per Fuller, però aquest cop no es tracta de la cúpula geodèsica, sinó de la *Tensegrity*.

Resultat Final

Un cop acabats de solucionar tots els problemes anteriors, i després de la finalització de la construcció de l'atri, l'obra es va donar per finalitzada. Després de 8 mesos de treball, l'empresa Bellapart va acabar la seva feina a l'obra.

A continuació podem veure dues fotografies de l'obra acabada, tant des de l'interior com des de l'exterior.

Centre Comercial-Recreatiu Màgic Badalona



Introducció a l'Obra

Aquesta obra situada a Badalona duta a terme durant l'any 2007 i que es va finalitzar a principis del 2008 va ser dissenyada per Pontsirenas Puig i associats.

El centre és un element representatiu del bàsquet en general i del bàsquet badaloní en particular. Es tracta d'una cúpula de 32 metres de diàmetre i 25 metres d'altura. L'estructura, realitzada amb el sistema *Bubble* de Bellapart, està composta per 816 barres i 284 nusos tots d'acer S355 mecanitzats al CNC i lacats al forn. El revestiment exterior està compost per 442 panells triangulars de fibra de vidre i 97 vidres també triangulars amb una superfície mitja de 5 m² aproximadament.

La superfície exterior consta de 5 lames d'alumini de 60 cm corbades per allotjar línies d'il·luminació.

Aquí podem veure la cúpula des del darrere, on podem apreciar la magnitud dels panells triangulars i l'estrany disseny de la base de la cúpula. A diferència de les altres obres que hem vist aquesta té la base completament adaptada als triangles, per tant tots els triangles d'aquesta obra són sencers. D'altra banda a les obres que hem vist anteriorment, les bases tallaven amb triangles sencers, sinó amb triangles seccionats, per tal de que la base de la cúpula fos perpendicular al terra.

Tot i que als plànols veurem tot el centre esportiu, Bellapart només es va ocupar de construir la cúpula, per tant serà el que explicarem sobre aquesta obra.

Aquest edifici té com a finalitat esdevenir un centre comercial i esportiu, sobretot centrat en el bàsquet com es pot deduir per la inevitable similitud entre la cúpula i una pilota de bàsquet.

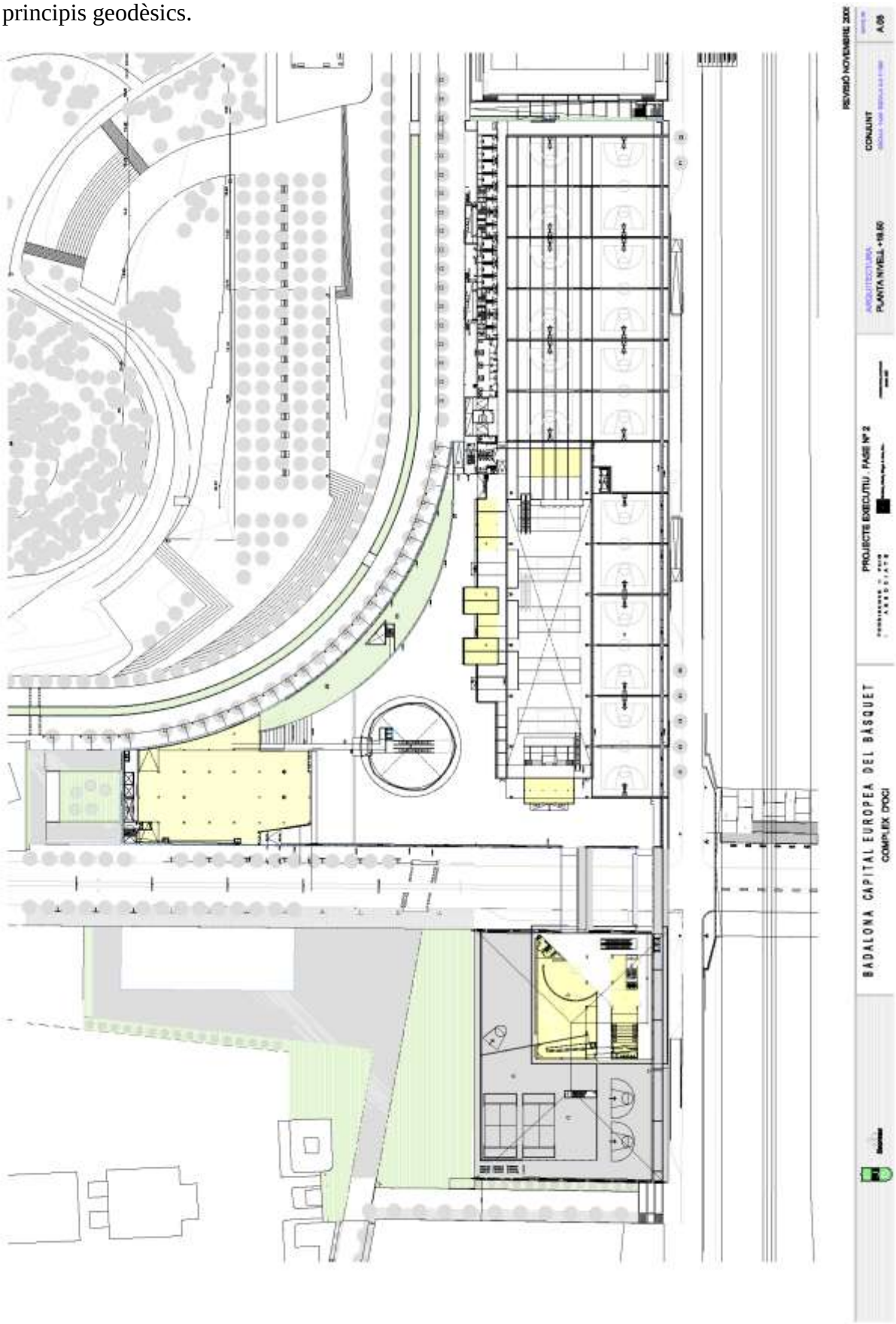
De l'Arquitecte al Projecte Final

Com he explicat anteriorment l'equip d'arquitectes que va dur a terme aquets treball va ser Ponsirenas Puig i associats. Pel que he pogut veure és un equip d'arquitectes que majoritàriament es dedica a dissenyar naus industrials, oficines tècniques i habitatges. Aquesta va ser una de les primeres obres enfocades a l'oci i d'equipament esportiu. D'altra banda tampoc no he pogut trobar cap altre disseny que estigues format per una cúpula i és que també el primer disseny d'aquest equip que té com element més important una cúpula.

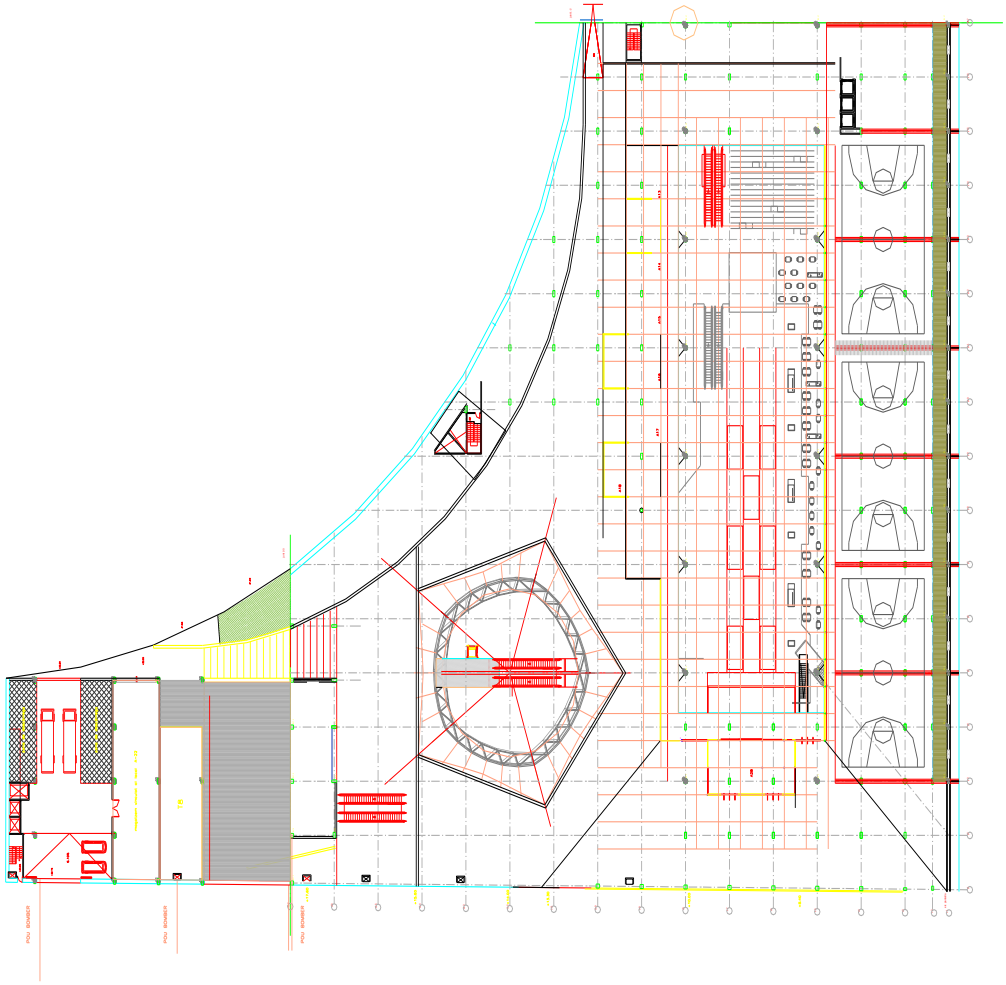
Aquest és un projecte que va dur a terme l'equip d'arquitectes Ponsirenas Puig durant el 2005 i el 2006. Està situat a l'entrada nord de Badalona. És un edifici d'oficines de 2500 metres quadrats. Aquest es un dels projectes més interessants que ha dut a terme aquest equip d'arquitectes, ja que per on està situat de la ciutat podria semblar un conjunt de cases adossades, però el disseny que va aconseguir va fer que quedés integrat en la situació i a la vegada que es veiés que no es tractava d'un habitatge sinó d'unes oficines.

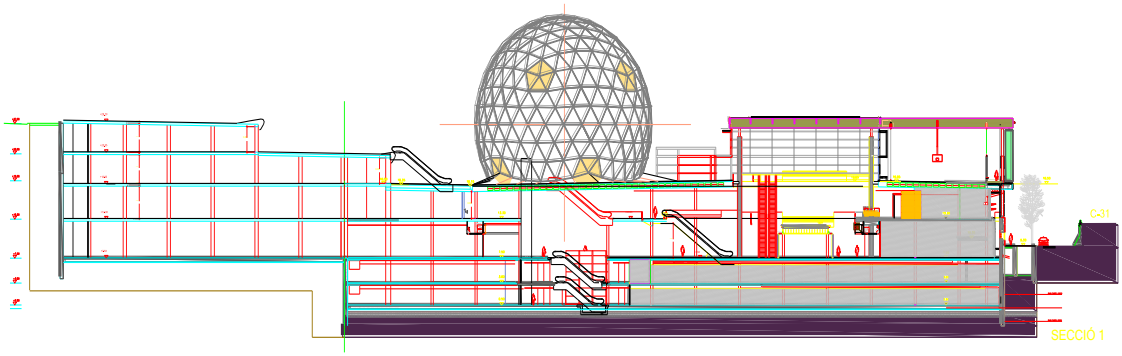
Plànols

A partir del plànol següent, Bellapart va derivar tota l'obra final. Com que nosaltres ens centrarem amb el disseny de la cúpula hem de saber que l'equip d'arquitectes volia una cúpula que semblés una pilota de basquet, però va ser Bellapart qui va decidir que aquesta estigués estructurada amb els principis geodèsics.



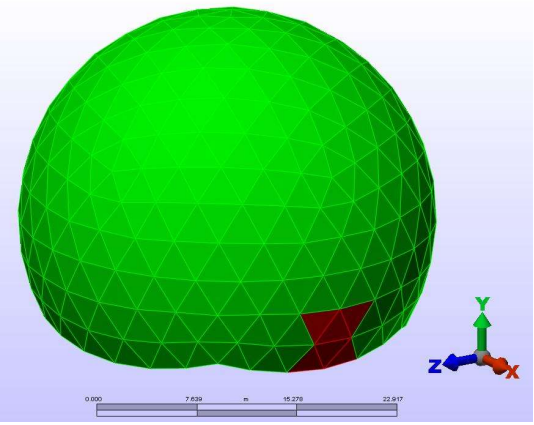
Aquest és el projecte que va presentar Bellapart. Va ser aprovat, el que el va convertir en el plànol final de l'obra. Aquest plànol ha estat dibuixat mitjançant l' AutoCAD i és el programa que va fer servir Bellapart per dur a terme tota l'obra





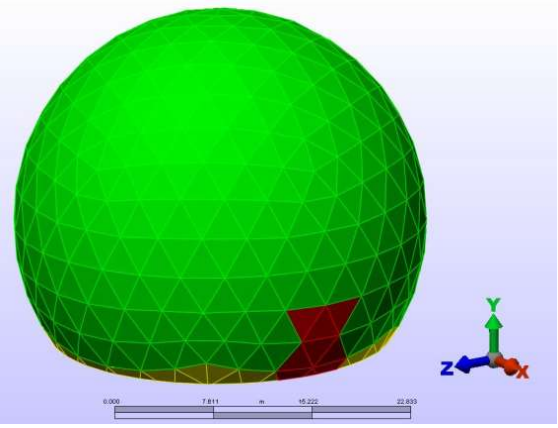
Evolució del projecte

Evidentment no es va arribar al plànol final directament, ja que hi ha moltes possibilitat i s'ha de trobar la més eficient per a les parts. S'hi van presentar 4 opcions diferents de com fer el forjat de la cúpula. Aquest document va ser enviat per Bellapart a l'equip d'arquitectes per tal que aquests decidissin quina era l'opció que els agradava més.

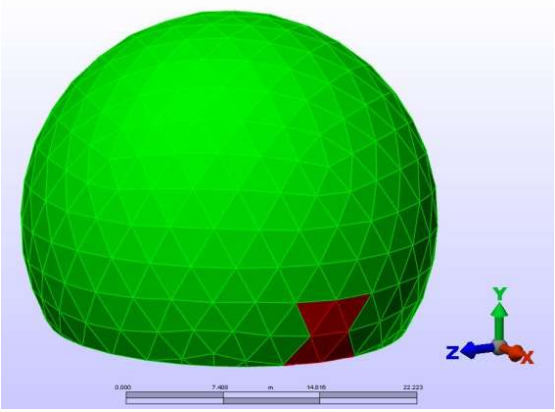


Opció 1

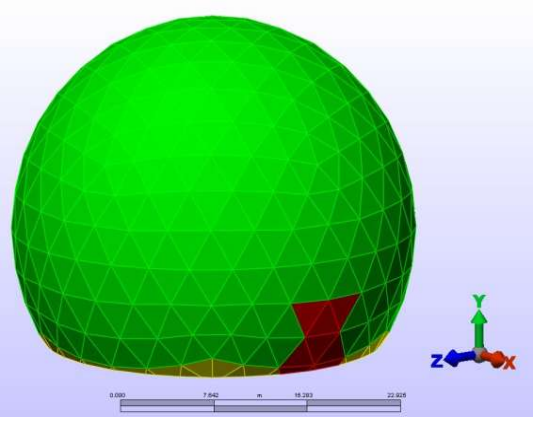
Opció 1



Opció 2



Opció 3



Opció 4

Finalment es va escollir l'opció 1, ja que si la comparem amb la imatge col·locada a la part inferior de la opció 1 veurem que el forjat que finalment va ser construït és aquest. Aplicar aquesta opció significava reduir el perímetre de l'esfera, com també no haver de fabricar fraccions de panells triangulars, ja que la forma en què quedava el forjat permetia panells sencers.

DATA: 04-07-07
PROJECTE: 06247 - Sacresa CBJ

ESTUDI: Entrega de l'esfera contra el forjat de base

Objectiu:

Estudiar les diferents possibilitats d'entrega de l'esfera contra el forjat de base i determinar la més adequada.

OPCIÓ 1: Mur de formigó fins el perímetre dels primers triangles principals de la cúpula

Nº recolzaments:	30 - 1 (porta) = 29 uts.
Nº nodes:	286 - 1 (porta) = 285 uts. incloent els suports
Nº barres:	540 - 6 (porta) = 534 uts.
Superfície cúpula:	2362.8 m^2
Superfície porta:	29.4 m^2

Altura total cúpula:	25m a partir del nivell +18.40
Radi cúpula	16m
Altura dintell porta:	6m a partir del nivell +18.40
Amplada mín porta:	3.445m

Avantatges:

- Espaiat bastant uniforme dels suports. Tots els nusos de fixació estan situats sobre el perímetre d'un dels triangles principals de la cúpula.
- Suports el més petits possible. L'espaiat uniforme dels suports garanteix un repartiment de la càrrega el més equitatiu possible. A més, la geometria de les barres que es fixen sobre els suports (angles importants i barres bastant simètriques) permet un correcte centratge dels eixos de les barres en el centre del suport, evitant moments flectors innecessaris i minimitzant les reaccions horitzontals.
- Una única tipologia de suport, adaptada als angles específics de cada nus.
- Estètica. Triangles de dimensions bastant uniformes, sense retalls, etc.
- No hi ha increment de metres quadrats en les partides adjudicades a Bellapart.

Inconvenients:

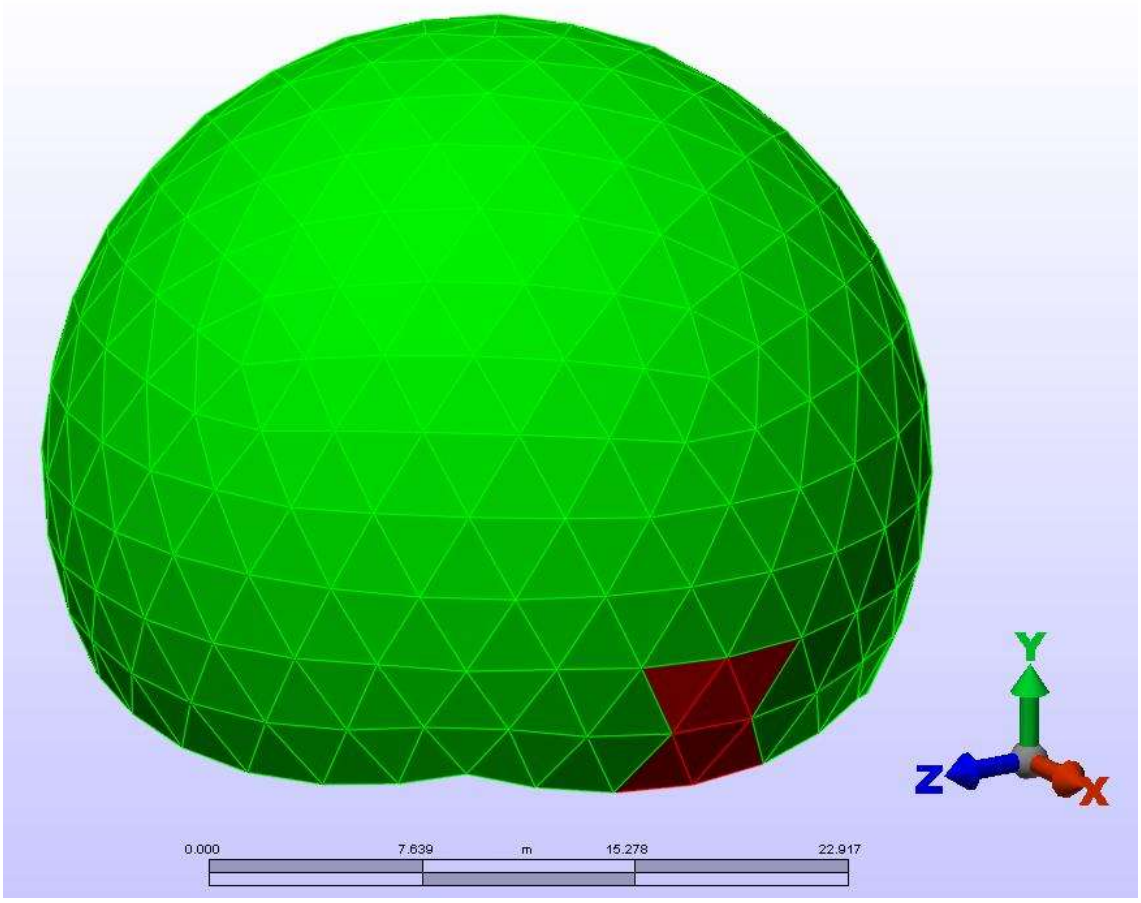
- S'ha de construir el mur de formigó

Aquesta és la opció recomanada per Bellapart / Strain.

La geometria exacta del mur es donaria una vegada redactat el projecte, per tal d'adaptar-lo al disseny dels suports. Hi haurà temps de construir el mur mentre es fabrica l'estructura metàl.lica i els vidres.

Per tal de facilitar l'encofrat proposem que:

- El mur tingui les cares interior i exterior perfectament verticals, en lloc de seguir una geometria esfèrica.
- Per tant, el mur haurà de tenir una amplada variable, amb una cara interior circular (arran del forat en el forjat) i una cara exterior resseguint cinc arcs no concèntrics segons es mostra en els croquis adjunts.
- El mur tindrà una altura variable en sentit tangencial, però la cara superior serà plana en sentit radial. Els suports fabricats per Bellapart adaptaran l'angle d'entrega de l'esfera a la cara superior del mur.


Y
Z
X
0.000
7.639
m
15.278
22.917

OPCIÓ 2: Allargar la cúpula fins al forjat.
Allargar 600mm el forjat en tot el perímetre.

Nº recolzaments:	55 - 2 (porta) = 53 uts.
Nº nodes:	341 - 3 (porta) = 338 uts. incloent els suports
Nº barres:	595 - 11 (porta) = 584 uts.
Superfície cúpula:	2362.8 m^2
Superfície faldilla addicional:	97.2 m^2
Superfície porta:	35.6 m^2

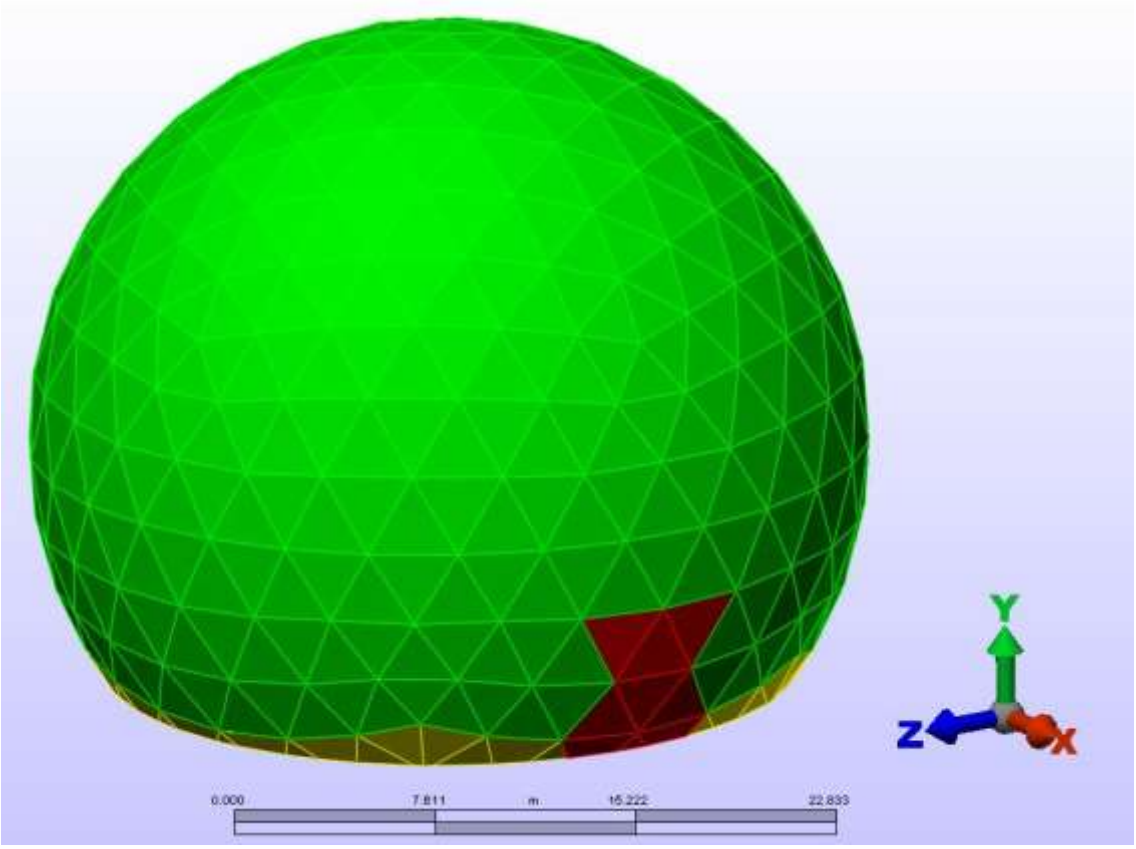
Altura total cúpula:	25m a partir del nivell +18.40
Radi cúpula	16m
Altura dintell porta:	6m a partir del nivell +18.40
Amplada mín porta:	3.445m

Avantatges:

- No s'ha de construir el mur de formigó.

Inconvenients:

- Cal allargar el forjat 600mm en tot el perímetre.
- L'esfera es recolza totalment en la zona allargada del forjat.
- Espaiat no uniforme dels suports.
- Diferències importants de càrrega entre suports.
- S'esperen reaccions horitzontals en els suports degudes a pes propi.
- Algunes tipologies de suport: Suports de doble nus, suports de triple nus.
- Angle molt petit entre barres en alguns suports. Com es resoldrà ?
- Aspecte estètic: Triangles retallats en tot el perímetre de la base. Alguns retalls de triangle molt petits.
- Increment de superfície construïda per Bellapart.



OPCIÓ 3: Allargar la cúpula fins al forjat.
Rebaixar l'altura de la cúpula per poder recolzar-la sobre el forjat existent.

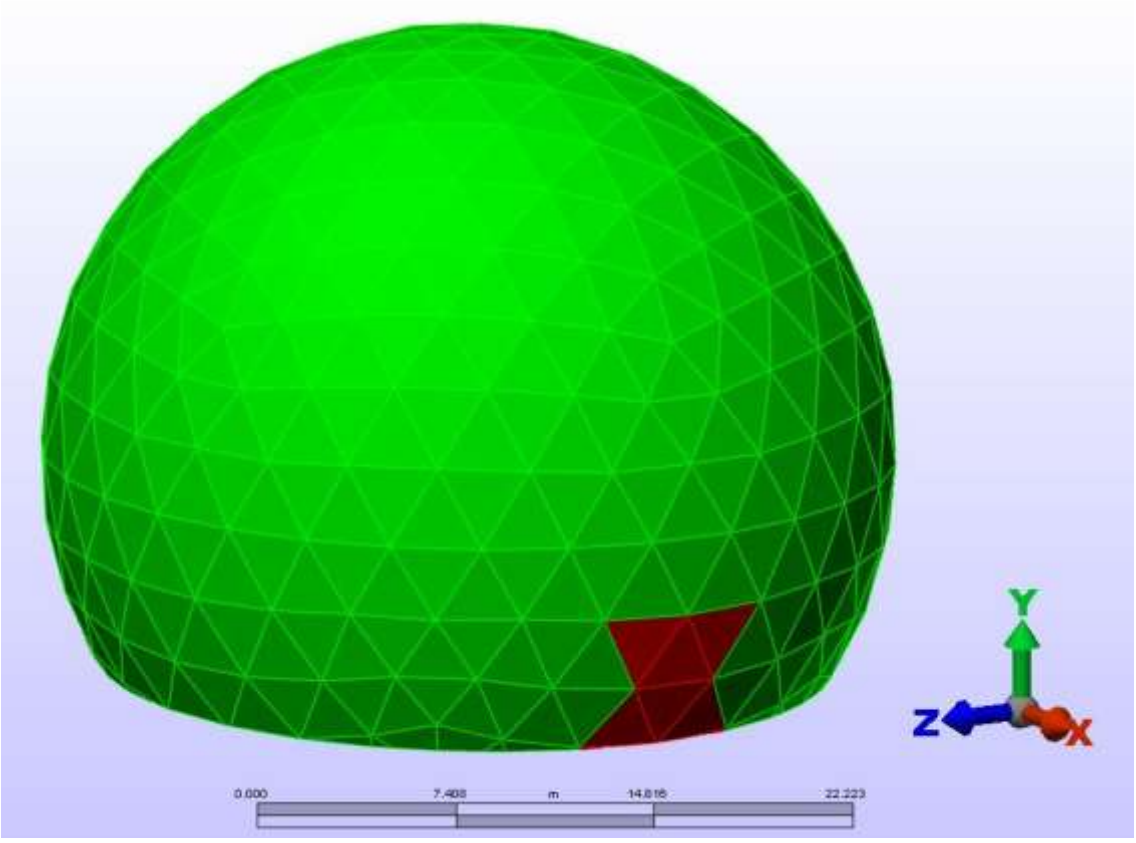
Nº recolzaments:	53 uts. fusionant nusos molt propers (61 uts. sense fusionar + 4 uts. porta)
Nº nodes:	340 - porta - fusionats = 324 uts. incloent els suports
Nº barres:	550 uts aprox (depèn del disseny de la base)
Superfície cúpula:	2379.8 m^2
Superfície porta:	29.6 m^2
Altura total cúpula:	24.15m a partir del nivell +18.40
Radi cúpula	16m
Altura dintell porta:	5.15m a partir del nivell +18.40
Amplada mín porta:	3.445m

Avantatges:

- No s'ha de fer cap modificació en el formigó existent.
- Petit increment de la superfície construïda per Bellapart.

Inconvenients:

- Espaiat no uniforme dels suports.
- Diferències importants de càrrega entre suports.
- S'esperen reaccions horitzontals en els suports
- S'esperen moments flectors a pes propi al menys en els suports que fusionen dos nusos de recolzament molt propers.
- Molt diverses tipologies de suport: Suports que fusionen nusos propers, suports de simple nus, suports de doble nus, etc.
- Dificultat per construir suports que fusionen nusos molt propers. No es pot partir de barra perforada d'acer.
- Angle encara més petit entre barres en alguns suports. Com es resoldrà ?
- Aspecte estètic: Triangles retallats en tot el perímetre de la base. Alguns retalls de triangle molt petits.



OPCIÓ 4: Allargar la cúpula fins al forjat.
Augmentar el diàmetre de l'esfera per poder recolzar-la sobre el forjat existent.

Nº recolzaments:	51 uts. fusionant nusos molt propers (53 uts. sense fusionar + 2 uts. porta)
Nº nodes:	341 - porta - fusionats = 334 uts. incloent els suports
Nº barres:	595 - porta = 578 uts.
Superfície cúpula:	2543.4 m^2
Superfície faldilla addicional:	71.5 m^2
Superfície porta:	36.0 m^2
Altura total cúpula:	25.6m a partir del nivell +18.40
Radi cúpula	16.6m
Altura dintell porta:	5.89m a partir del nivell +18.40
Amplada mín porta:	3.575m

Avantatges:

- No s'ha de construir el mur de formigó.
- Pocs suports que fusionen nusos propers (però difícils de construir).

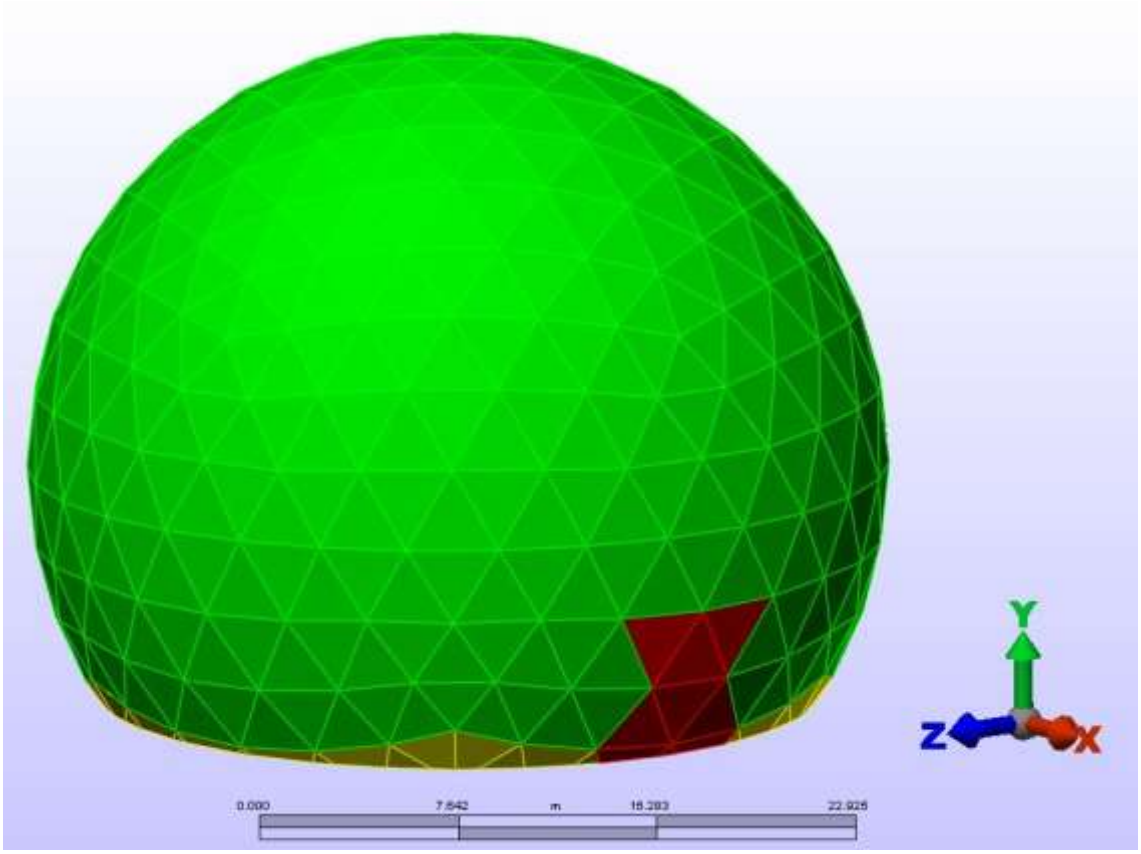
Inconvenients:

- En algunes zones els suports intersecten amb el muret existent on entrega la impermeabilització de la coberta.
- Espaiat no uniforme dels suports.
- Diferències importants de càrrega entre suports.
- S'esperen reaccions horitzontals en els suports.
- S'esperen moments flectors a pes propi al menys en els suports que fusionen dos nusos de recolzament propers.
- Diverses tipologies de suport: Suports que fusionen nusos propers, suports de simple nus, suports de doble nus, etc.
- Dificultat per construir suports que fusionen nusos molt propers. No es pot partir de barra perforada d'acer.
- Angle petit entre barres en alguns suports.
- Aspecte estètic: Triangles retallats en tot el perímetre de la base. Alguns retalls de triangle molt petits.

Conclusions:

Bellapart recomana clarament l'opció 1, que presenta importants avantatges tant a nivell estructural com constructiu i estètic.

L'opció 3 és la més desfavorable, al nostre entendre, degut a les importants dificultats per resoldre la trobada de la cúpula amb el forjat (nusos de suport de molt diverses tipologies i difícil solució, etc) seguida per la opció 4, que presenta els mateixos inconvenients però en zones més petites i localitzades.

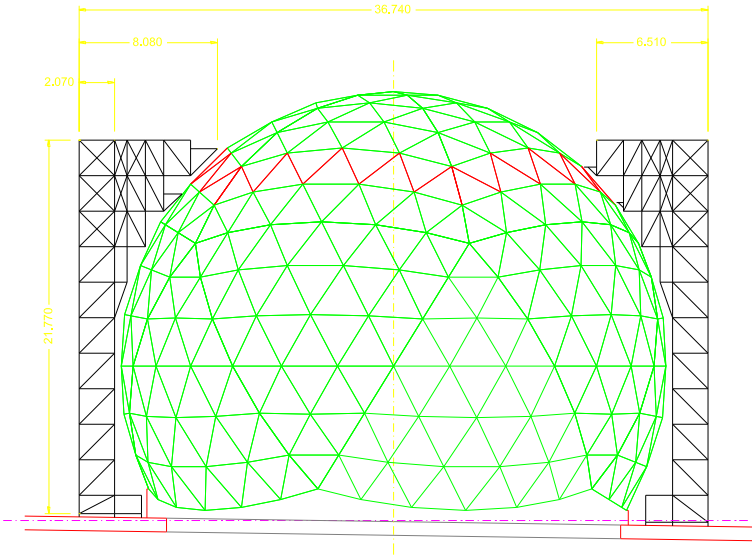

Y
Z
X
0.000
7.642
m
15.283
22.925

Càlcul

El càlcul d'aquesta obra es va dur a terme mitjançant programes informàtics. A diferència de la cúpula del Cosmo Caixa de Madrid, el càlcul d'aquesta obra va ser molt menys complex per l'evolució de la informàtica que s'ha produït els darrers anys. Com hem pogut veure en les imatges anteriors, l'empresa Bellapart feia i encara fa servir l'AutoCAD per visualitzar les estructures geodèsiques.

Durant aquest projecte es van haver de calcular: les càrregues, els vidres, l'estructura, la geometria geodèsica, el pes del casquet de la cúpula i la bastida. Aquests serien els punts de càlcul més importants.

Calcular les carregues consisteix, entre d'altres, en descobrir quin és l'efecte del vent sobre l'estructura, i per tant l'objectiu és descobrir quin és el material adequat per dur a terme l'obra, i de quina manera s'ha de subjectar per tal que la carrega del vent no posi en perill l'estructura. Calcular els vidres consisteix en veure com s'ha de fabricar el vidre perquè la llum els travessi amb la facilitat que ho hagi de fer, i perquè a la vegada siguin resistents. Calcular el pes del casquet de la cúpula serveix per saber quina és la carrega que ha de suportar l'estructura i per tant construir-la d'una manera o d'una altra i a més el casquet va ser construït a part i seguidament es va pujar a la part superior de la pilota per tal d'acabar l'obra. I per últim fer el càlcul de la bastida, ja que per poder muntar estructures de tanta magnitud hi ha 'haver unes bastides prou capacitades, i que mantinguin una forma que faciliti el muntatge de l'obra. En aquest cas la bastida mantindrà un forma arrodonida per tal de facilitar el muntatge de la cúpula.



A la imatge de l'esquerre podem veure-hi el plànol de la bastida amb les mides que es varen utilitzar per dur-ho a terme,i com podem veure hi ha una franja hexagonal de color vermell que és la franja que delimita el casquet de la cúpula. A la imatge de l'esquerre podem veure el casquet acabat i preparat per ser col·locat a la seva part corresponent la qual estaria a la secció que al plànol està pintat de vermell com s'ha dit anteriorment.

Producció i Muntatge

Producció

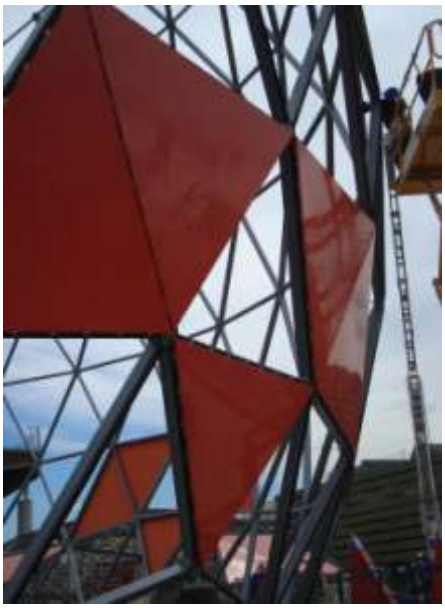
La producció de les peces de l'obra no va dur cap mena de contratemps, ja que a diferència del Cosmo caixa de Madrid la quantitat de panells triangulars que s'havien de produir era molt més reduïda. Per tant només es tractava de produir panells triangular la majoria dels quals eren diferents entre ells, i dels que s'havia de descomptar tots els panells triangulars de fibra de vidre taronges, que varen ser produïts per un proveïdor diferent. Després d'haver produït i rebut tot el material necessari per començar l'obra, es va transportar d'Olot a Badalona, on va començar la fase de muntatge.

Muntatge

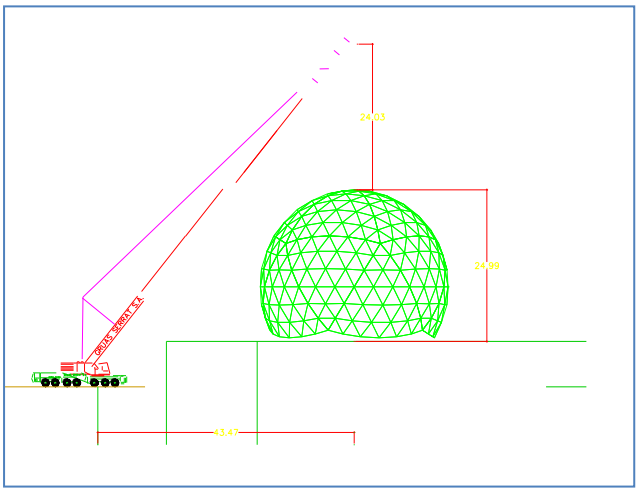
Per muntar una cúpula d'aquestes dimensions es necessita seguir uns passos específics. Aquests en teoria, constaven d'un primer pas que consistia en muntar la bastida, però tot i haver fet els càlculs d'aquesta finalment es va optar per construir l'obra mitjançant grues i plataformes elevadores, cosa que podrem anar veient a les fotografies que hi ha a continuació.
Els passos van ser: primer muntar l'esquelet de la cúpula on hi aniran clavats tots el panells triangulars. Un cop acabat aquest pas es varen col·locar el panells triangulars opacs de color taronja i després es va col·locar el casquet superior. Per acabar es varen muntar els vidres transparents als llocs restants. Com ja hem vist anteriorment el càlcul de la bastida es va dur a terme, però per poder muntar la part superior de la cúpula s'ha de construir el casquet a part i després pujar-lo amb un grua i enganxar-la a la resta de la cúpula ja acabada.

A les imatges superior podem veure com es va anar construint l'esquelet de la cúpula. Aquest està format per 816 barres i 284 nusos d'acer S355 mecanitzat al CNC i lacats al forn. A al imatge de la dreta podem veure un hexàgon format per aquestes barres d'acer que ens podria recordar perfectament als hexàgons de la fase de muntatge de l'obra Cosmo Caixa de Madrid, en el qual el treball es va centrar més en el muntatge de cada un dels panells perquè la dificultat d'aquella obra era muntar tots els 1535 panells bé. En canvi les dificultats d'aquesta obra encara han de aparèixer...

Després de muntar l'esquelet de la cúpula es van començar a col·locar els panells triangulars de fibra de vidre taronges, tant a la part inferior de la cúpula com al casquet que també havia estat muntat al costat de la resta de la cúpula.

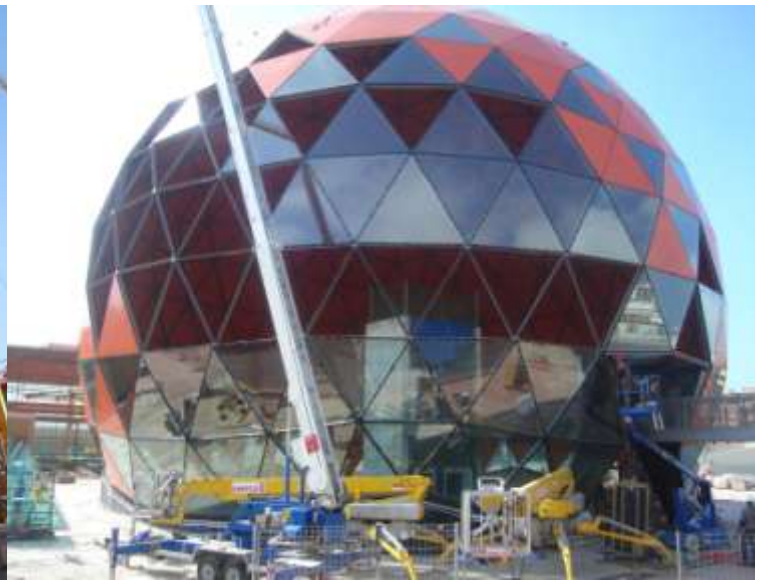


Com es pot observar a les imatges següents, el casquet de la cúpula va ser pujat amb la grua abans d'haver acabat de muntar la resta de panells triangulars de fibra de vidre taronges de la part inferior de la cúpula.



A la imatge de la part superior esquerra podem veure un plànol fet amb l'AutoCAD per veure a quina distància s'havia de posar la grua per aixecar el casquet i col·locar-lo sobre la resta de la cúpula. A la imatge de la dreta podem veure com ja la grua està aixecant el casquet. I a la imatge inferior podem veure com la grua ja ha col·locat el casquet al seu lloc.

Després de col·locar el casquet a la cúpula es va acabar de col·locar tots els panells triangulars de fibra de vidre taronges dels quals en total n'hi ha 442. I després es van començar a posar els panells triangulars de vidre, que són 92.



A les fotografies superiors podem veure l'evolució de l'obra. A la de l'esquerra hi podem veure com la cúpula es va omplint de panells triangulars taronges, i a la de la dreta com es van col·locant els panells triangulars de vidre transparents un cop posats els panells triangulars opacs taronges.
Com es pot observar tota la cúpula va ser muntada mitjançant grues, per tant el càlcul de la bastida va servir per veure que era millor utilitzar grues per la construcció de l'obra.

Un cop col·locats tos els panells de la cúpula es van haver de posar juntes aïllants entremig de tots els panells. Aquest pas també es va dur a terme mitjançant les grues i les plataformes elevadores per poder arribar als panells més elevats, però com hem dit anteriorment el casquet es va pujar acabat i com no és d'estranyar ja tenia les juntes aïllants posades abans de pujar-lo a dalt de la cúpula.

A la imatge superior podem veure com van quedar els panells triangulars un cop posades les juntes. I a la imatge sobreposada a podem veure com eren abans de posar les juntures.

Resultat Final

Després de polir alguns detalls es va donar per finalitzada l'obra. A les imatges inferiors podem veure com va quedar la cúpula, tant de fora com de dins.

Anècdotes i Problemes

Com hem anat veien a les dues obres anteriors sempre hi ha algun problema a l'hora de l'execució pràctica sigui per culpa d'un mal càlcul o per culpa d'algun proveïdor etc. Com hem de suposar aquesta obra no va ser cap excepció. En aquest cas hi va haver un problema a la hora de col·locar una espuma aïllant entre la capa inferior dels panells triangulars i els panells triangulars.

A continuació hi ha un document enviat per l' Amade explicant els problemes que havien aparegut a l'estructura. Aquest problema consistia en unes aparicions de rugositats al centre dels panells triangulars. I l'Amade hi va trobar 3 possibles raons.

Aquí podem veure clarament les rugositats que van aparèixer als panells triangulars, que com s'explicarà al document que hi ha a continuació apareixen al centre dels panells.

A la imatge de l'esquerre podem veure com van quedar els panells un cop muntats, i a la de la dreta veiem com el cap d'un temps els panells van començar a patir aquestes rugositats. Per tant l'objectiu era aconseguir que els panells fossin capaços de se sempre com el principi i per tant que no patissin variacions. Però finalment es va descobrir que la culpa no era de com es va muntar ni de com es va aplicar l'escuma, sinó perquè els panells triangulars de color taronges eren de mala qualitat i per tant la culpa va ser dels proveïdors. Tot i que es va acabar descobrint quina va ser la causa, actualment encara s'estan buscant solucions per resoldre el problema. Per tant cap de les tres raons que veurem a continuació serà la verdadera.

TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL - CONCLUSIONES

4.3.- Conclusiones y sugerencias sobre las posibles causas de la rugosidad

La inspección visual del panel que se instaló en Badalona muestra que hay más rugosidad en la parte central del panel que en su perímetro.

Se han extraído unas cuantas muestras cuadradas de este panel y se ha inspeccionado visualmente su sección transversal. Estas inspecciones muestran que hay un gran número de huecos entre la piel (gel-coat y capa de fibra de vidrio) y el núcleo de espuma. El espesor de la capa de fibra de vidrio sobre estos huecos se ha medido y tiende a ser más fina que en las otras regiones donde no existen huecos.

Un mapeado tridimensional de la superficie evidencia esta correlación entre la posición de las depresiones (rugosidad) y la localización de los huecos.

La inspección visual del nuevo panel ilustra que hay diferencias con el panel instalado: Los huecos son mucho más pequeños y la piel más gruesa en el nuevo panel que en el instalado en obra.

El calentamiento del nuevo panel por un período largo de tiempo para simular el efecto de calentamiento del sol no causó la aparición de rugosidad.

La Calorimetría Diferencial de Escaneo (DSC) no generó resultados fiables respecto el grado de curado.

La Dilatometría y el Análisis Dinamo-Mecánico (DMA) mostraron que: i) cuando se calientan los paneles hay una retracción debida al curado residual; ii) la retracción se inhibe en dirección transversal mientras que es muy clara en dirección paralela; iii) el nuevo panel está curado en un mayor grado que el panel original instalado en obra.

4.3.1.- Posibles causas de la rugosidad del panel

Los hechos explicados anteriormente y la información recibida por Bellapart acerca del proceso de fabricación sugieren que la rugosidad está causada por los siguientes hechos:

El gel-coat se coloca encima del molde y luego la primera capa de composite de mat de fibra de vidrio se deposita encima del gel-coat. A partir de la medición del espesor de la piel (gel-coat + capa de fibra de vidrio) parece que el espesor de esta capa no es homogeneo. Cuando se coloca la espuma encima de esta capa, las áreas más finas de la piel resultan en huecos entre la piel y la espuma. Aplicando presión encima de la espuma se reducirían estos huecos. Sin embargo, parece que las grandes medidas de los paneles sólo permitieron aplicar presión en el perímetro del panel y no en la parte central.

Cuando los paneles con estos huecos se instalaron en obra, la exposición solar calentó el panel y se realizó un curado residual. Dado que la retracción fue principalmente impedida en dirección transversal, la retracción en dirección longitudinal fue grande. Luego, la capa sobre los huecos fue estirada como una membrana fijada perimetralmente (no había soporte bajo la misma debido a la presencia del hueco) y se creó la rugosidad.

El hecho de que el nuevo panel no muestre rugosidad después de calentarlo puede atribuirse al hecho que: i) Los huecos son más pequeños, probablemente debido a las dimensiones más pequeñas del panel que permitió una mejor adhesión (por prensado manual?) entre la espuma y la piel, ii) el espesor de la piel (gel-coat + capa de fibra de vidrio) es superior y más homogeneo que en el panel original, iii) el grado de curado es más alto (quizás fue fabricado a una temperatura superior que los paneles originales).

Altres Obres Relacionades

Tot i que fins ara només hem parlat de les cúpules de Bellapart i de la Cúpula de la Expo de Canadà de l'any 1967, hi ha moltes més cúpules geodèsiques al món, com la "Géode"de Paris o la cúpula del museu Dalí que també són cúpules geodèsiques espectaculars.

Aquí podem veure la Géode de París un dels emblemes més importants del món de la geodèsia. Està situat al parc de la Villette, al 19è districte de París. Construïda per l'arquitecte Adrien Fainsilber i l'enginyer Gérard Chamayou, va ser inaugurada el 6 de maig de 1985. Existeixen altres geodes a França, però aquesta és, amb la cúpula del Palais des Sports l'única geoda de la regió parisenca, d'ençà del tancament de la de La Défense el 2001. Tot i que La Géode hagi obert les seves portes un any abans que la Cité des Sciences et de l'Industrie, hi està força lligada.
La Géode constitueix un edifici separat darrere la Cité des Sciences et de l'Industrie. Es tracta d'una esfera de 36 metres de diàmetre, composta de 6433 triangles esfèrics equilaterals d'acer, que reflecteixen la llum, una mica com un mirall. La seva construcció i la seva disposició van costar 130 milions de francs.

La cúpula de la geodèsica del teatre del museu Dalí de Figueres des de l'interior. És una cúpula de freqüència 12, absolutament espectacular la qual va ser reconstruïda l'any 1998, el que d'alguna manera també va poder influir en el disseny geodèsic de la cúpula del museu de la ciència de Madrid que va ser construïda l'any següent. Va ser dissenyada per l'equip d'arquitectes Clotet, Paricio i Associació de Barcelona després de guanyar un concurs per dur a terme l'obra.

Conclusions

Finalment un cop acabat el treball, podem procedir a fer les conclusions d'aquest. Per una banda s'ha intentat resoldre tots els objectius mencionats a la introducció del treball. Durant el treball he pogut veure quin són els passos que s'han de seguir en una obra, des del projecte entregat per l'arquitecte, fins al muntatge final.

Aquí he pogut treure les meves primeres conclusions. Durant tota la meva vida he sentit a dir que un arquitecte és l'element més important dins el disseny d'una obra, però després de veure els projectes de diferents obres, i després de parlar amb membres de l'empresa Bellapart d'enginyeria, he descobert la gran importància dels enginyers i la sobrevaloració dels arquitectes. Les meves conclusions són que l'enginyer és el verdader creador de les obres, ja que converteix en realitat el que acostuma a ser un petit esbós de l'arquitecte. Evidentment molts cops l'esbós varia segons el que diu l'enginyer per tal de fer-ne possible la construcció. Com a exemple del que dic hi ha tots els projectes vistos anteriorment. Un dels exemples més clars podria ser el disseny de l'estructura especial del CosmoCaixa de Madrid, on va ser l'empresa d'enginyeria qui va decidir construir una cúpula, i fer-ho de forma geodèsica, i a més adaptar tota la coberta per fer-la amb la mateixa matemàtica geodèsica i també van ser els enginyers qui van decidir el material que s'utilitzaria a l'obra.

Un cop acabat el treball també he pogut comparar la obra del 1999 amb les del 2006 i la del 2008. Evidentment el canvi entre la primera obra i la última és enorme, ja que només pel simple fet de treure informació ja va ser molt més difícil. Aquí clarament he pogut observar l'aparició de la informàtica, ja que a la obra del 1999 tots els arxius que he hagut d'extreure estan escrits amb grans carpetes i llibretes, on fins i tot si poden trobar càlculs i dibuixos fets a mà. Mentre que a la obra del 2008, només vaig haver de necessitar un CD per extreure igual o més informació que a la primera.

Evidentment no només he vist aquesta diferència entre l'obra del CosmoCaixa Madrid i les de Barcelona i Badalona. Per començar a l'apartat de càlcul hi ha una gran diferència, ja que tots els programes que actualment s'utilitzen per fer geodèsiques al 1999 encara no s'havien inventat, i per

tant s'havia de calcular cada panell triangular un a un, el que comportava que s'hagués de fer un repàs abans de produir-ho ja que sempre hi havia algun error. Evidentment quan van aparèixer programes informàtics que calculaven les estructures geodèsiques aquest procediment va esdevenir un procediment més sense cap mena de dificultat especial. Per tant la diferència més important entre l'obra inicial i les finals és l'aparició de programes informàtics els quals permeten dur a terme grans càlculs estructurals. Això per tant fa que els obres actuals es puguin dur a terme amb més facilitat i rapidesa.

També durant aquest treball es pot observar la quantitat de problemes que apareixen en una obra arquitectònica, amb els proveïdors, amb els càlculs, amb el transport… Coses que semblen que no passen mai i que un cop acabat aquest treball es veu que aquests problemes per als qui estan dins aquest món és una cosa completament quotidiana i normal, i que a cada obra hi ha problemes, i segur que a les obres tractades al treball encara en van aparèixer molts més. I tot i que els problemes que hem vist que va tenir Bellapart alhora de dur a terme aquestes obres sempre han estat per culpa de procediments aliens a l'empresa, sempre han repercutit negativament a Bellapart, com és el cas dels panells de pilota de Badalona els quals encara ara es van degradant i com que l'empresa que en té la culpa ja no existeix, és Bellapart qui haurà d'assumir els costos d'arreglar-ho.

Però el més important d'aquest treball ha estat descobrir una persona tan espectacular com Richard Buckminster Fuller. Descobrint amb ell tota la seva filosofia de vida i els seus invents. Tot això per mi era completament desconegut i gràcies a aquest treball he pogut investigar un dels grans visionaris del segle XX, i el que encara és més important, he pogut veure que tot i que els seus invents no prosperessin ni tinguessin èxit, Fuller va interferir més al món del que ens pensem, ja que actualment marques de cotxes amb molt de renom es basen amb el "*Dymaxion car*" per dissenyar els seus cotxes de manera més aerodinàmica perquè gastin menys i siguin més sostenibles. Com va dir Fuller: aquest model de vida no és sostenible. Ara 70 anys més tard ens comencem a acostar a la filosofia *Dymaxion*, buscant la sostenibilitat, concepte que ja havia estat utilitzat per Fuller i que ara s'està fent servir contínuament. Si ara ja construïm els cotxes basant-nos en la teoria *Dymaxion*, potser algun dia utilitzarem les "*Dymaxion house*", i altres invents *Dymaxion* de Fuller, qui va preveure que això passaria, i que potser d'aquí a pocs anys sigui reconegut com un dels grans visionaris del segle XX.

Agraïments

Jesús Gutiérrez: agraïments pel meu tutor, qui m'ha ajudat a desenvolupar el treball, i qui va donar-me l'idea de fer un treball sobre Bellapart.

Bellapart: agraïments per a Bellapart i els seus membres els quals m'han ajudat a accedir als arxius i s'han disposat a ajudar-me sempre que em fes falta.

Francesc Arbós Bellapart: especialment agrair a Francesc Arbós qui em va proporcionar informació de Bellapart i les seves obres sempre que ho necessites, i va estar disposat a parlar del treball sempre que li fos possible.

Jordi Nebot: agraïments per Jordi Nebot per la seva implicació alhora d'explicar-me les anècdotes de diverses obres en l'etapa del muntatge.

Família: agraïments a tota la meva família, qui sempre que he necessitat alguna cosa pel que respecte al treball m'ha ajudat.

Sara Arbós: i en especial a la meva germana Sara per ajudar-me a solucionar els problemes tècnics que van anar sorgint al llarg del treball.

Sr. Ling: agraïments per el senyor Ling (arquitecte de l'equip de Foster), qui després d'explicar-li el contingut del meu treball, va enviar-me un llibre i un DVD de Buckminster Fuller (*Dymaxion Car Buckminster Fuller i Bucky & Spaceship Earth*).

Richard Buckminster Fuller: i per últim agrair al senyor Fuller sense qui el treball no hauria estat possible. Deixant clar a més que la frase que s'utilitza com a títol és seva.

Moltes gràcies a tots

Carta d'agraïment que vaig enviar al Sr. Ling

Dear Mr. N. Ling,

This is Agustí Arbós, Francesc Arbós' son.
I am writing to thank you for your kind gifts. I must admit I was incredibly shocked when I saw the *Dymaxion Car* book and the *Bucky & Spaceship Earth documentary* . They will be and incredible source of information for my ongoing investigation.

Again, thank you very much for your help.

Yours sincerely,

Agustí Arbós Torrent

Bibliografia

http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller

http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%BApula_geod%C3%A9sica

http://es.wikipedia.org/wiki/Tensegridad

http://es.wikipedia.org/wiki/La_G%C3%A9ode

http://es.wikipedia.org/wiki/Mapa_Dymaxion

http://es.wikipedia.org/wiki/Dymaxion

http://es.wikipedia.org/wiki/Casa_Dymaxion

Bucky & Spaceship Earth documentary

Dymaxion Car Book

http://www.bellapart.com/

Tots els arxius de Bellapart sobre:

Cosmo Caixa Madrid

Hotel Hesperia

Pilota de Badalona.