

34 ED. Estructures desplegable

Introducció

Aquest capítol tracta de les estructures desplegable o plegable. Es presenten en dues modalitats diferents. En la primera funcionen com un mecanisme que permet el plegat i desplegat amb les avantatges que tal situació comporta, per exemple, en la mobilitat o transport. La segona, una vegada desplegada, deixen de funcionar com un mecanisme i poden tenir una funció mecànica o estructural. En tot cas, es tracta d'estructures de funció estàtica limitada en el temps. Utilitzant el programa de geometria dinàmica GeoGebra, s'han realitzat una sèrie d'aplicacions que més endavant es comentaran. Les qüestions a considerar són les següents:

1. Aprofitant les característiques de GeoGebra, *l'objectiu principal de les aplicacions és observar el procés dinàmic de plegat i desplegat de les estructures.*
2. Perquè una estructura sigui desplegable, és necessari que els seus membres permetin aquesta mobilitat. En aquest cas, es diu que l'estructura és un mecanisme. Al mateix temps, un mecanisme és una estructura que no serveix per suportar estímuls estàtics exteriors, tot i que per plegar i desplegar el mecanisme calgui efectuar algun tipus de sol·licitació.
3. Es definirà grau de llibertat al nombre d'aportacions exteriors a realitzar que permetin que un mecanisme deixi de ser-ho i es converteixi en una estructura estable.
4. A les aplicacions que venen a continuació no es farà un estudi dels seus graus de llibertat. Aquesta no és una qüestió simple i sobrepassa els objectius proposats. Però, en general, es procurarà que les estructures únicament tinguin un sol grau de llibertat, és a dir, que, amb una coacció exterior, l'estructura resulti estable.
5. En general, s'ha intentat que totes les barres que constitueixen l'estructura tinguin la mateixa longitud L . Creiem que aquesta és una propietat molt interessant des del punt de vista constructiu quan es tracta d'estructures desplegables.
6. Freqüentment, les unions entre barres es fan amb articulacions. Un nus genèric té sis graus de llibertat: tres girs i tres desplaçaments. En les articulacions, aquests graus de llibertat queden limitats, permetent únicament el gir de les barres que formen el nus.
7. Com es veurà, moltes de les aplicacions tracten d'estructures formades per tissors. Aquestes estan formades per dues barres. *Sempre que és possible*, els extrems de les barres són de color blau i les interseccions o nusos articulats es representen de color negre. Amb color vermell es representen els punts on la mobilitat és possible.
8. No és objectiu de les aplicacions resoldre problemes estàtics. Aquests poden ser molt simples, per exemple, una força en una tisora que produeix flexió simple a les barres, o la descomposició d'una força entre les barres que formen un nus. O molt complexos, que freqüentment es resolen utilitzant programes d'elements finits. El paper dels graus de llibertat prenen un protagonisme important en el càlcul estàtic de les estructures desplegables.
9. A cap de les aplicacions s'introdueix una escala de longituds. En conseqüència, les unitats de longitud són les que proporciona GeoGebra i se les designa per l'abreviatura GoG. Si es vol treballar a una escala determinada E , simplement s'ha de multiplicar E pel valor obtingut en unitats GoG.

10. Al final d'aquesta memòria es dona una relació dels llibres o estudis que han servit de fonts per elaborar les aplicacions. En especial, l'estudi 'Sistemas estructurales despleables para infraestructuras de intervención urbana autoconstruidas' de Jon Beguiristain Mitxelena, i el llibre 'Hacia una Arquitectura Móvil' de Ricardo Franco Medina que, atès les seves voluntats didàctiques, han permès una permeabilitat molt adequada en GeoGebra.

Les aplicacions proposades són les següents:

- 34.1 ED. Condicions de plegabilitat
- 34.2 ED. Tisores planes
- 34.3 ED. Tisores planes múltiples
- 34.4 ED. Tisores planes en prismes
- 34.5 ED. Tisores en arc
- 34.6 ED. Tisora de quatre barres
- 34.7 ED. Mecanisme de nus girat de sis barres
- 34.8 ED. Arc
- 34.9 ED. Tisora. Paraigües
- 34.10 ED. Triangles
- 34.11 ED. Quadrats
- 34.12 ED. Nau
- 34.13 ED. Tisores planes en tronc de prisma quadrangular deformat
- 34.14 ED. Diafragma
- 34.15 ED. Malla amb barres articulades
- 34.16 ED. Estrella de vuit puntes
- 34.17 ED. Reglades
- 34.18 ED. Cilindres telescòpics
- 34.19 ED. Piràmides
- 34.20 ED. Triangles d'alçada variable
- 34.21 ED. Tisores en polígons
- 34.22 ED. Esferes
- 34.23 ED. Cubs telescòpics
- 34.24 ED. El·lipses articulades com a tisores
- 34.25 ED. Finestres
- 34.26 ED. Làmines amb tisores
- 34.27 ED. Panells circulars
- 34.28 ED. Panells amb tisores

34.1 ED. Condicions de plegabilitat

No totes les estructures poden ser mecanismes ni totes les estructures poden ser desplegables. Les condicions de plegabilitat poden ser complexes per a estructures complexes. Per això, en aquesta primera aplicació es tracten les tisores i les seves condicions de plegabilitat. Una tisora és una estructura formada per dues barres de tal manera unides, que amb una sola articulació permet que una quedi replegada en l'altra formant allò que aparentment sembla un sol segment. Per definició, una tisora és un mecanisme amb un grau de llibertat, atès que, realitzant una sola coacció en l'articulació, es paralitza el moviment de la tisora.

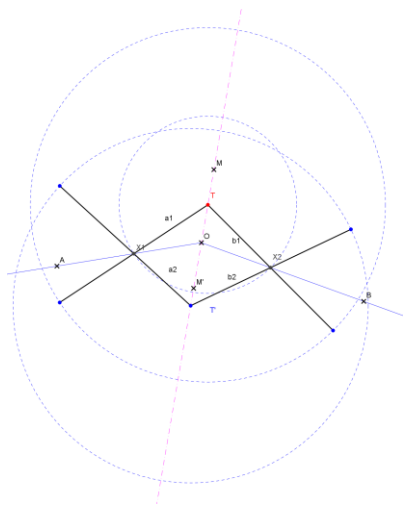


Fig. 34.1

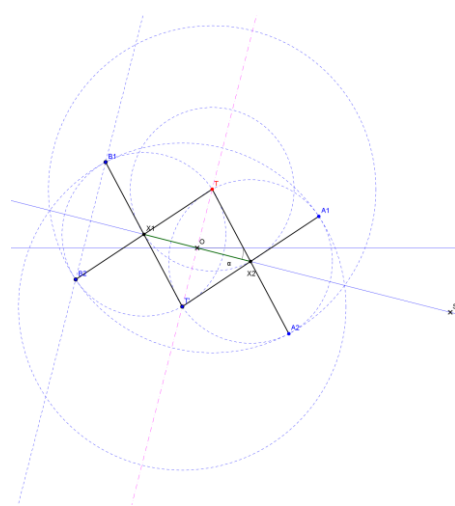


Fig. 34.2

Per a dues tisores unides de la forma que es veu a les figures, tenim que un punt lliscant defineix la casuística C. $C = 1$ defineix el cas general de tisora en dues (2D) o tres (3D) dimensions (fig. 34.1). A la figura, i també a l'aplicació, no es dibuixa la possibilitat que els punts X_1 , X_2 i T no estiguin en el mateix pla, cosa que determinaria la possibilitat del 3D. Perquè la plegabilitat sigui possible, ha de ser $a_1 + a_2 = b_1 + b_2$. El $C = 2$ defineix el cas particular que la o les tisores es trobin únicament en dues dimensions. Perquè la plegabilitat sigui possible, simplement s'ha de donar que els segments $O-X_1 = O-X_2$ (fig. 34.2). Si les condicions de plegabilitat no es donen, l'estructura es pot desestabilitzar en plegar-se, fins i tot es poden perdre barres en la pròpia aplicació.

En els dos casos, un punt lliscant P defineix el procés d'elaboració del dibuix de les tisores acompanyat d'una columna de text on, correlativament, s'expliquen les operacions realitzades. Igualment es dona el moviment del punt T (de color vermell) i la plegabilitat de les tisores. A més, en el cas $C = 2$ es dona la possibilitat de fer una construcció en què les tisores resultants no siguin plegables.

34.2 ED. Tisores planes

Una vegada explicat, en l'aplicació 34.1, com han de ser les tisores perquè la plegabilitat sigui possible, en aquesta aplicació un punt lliscant determina el nombre de tisores n que són objecte d'estudi i un altre indica la longitud de les barres L , que són iguals en tots els casos i per a totes les tisores. El nombre de tisores varia entre $n = 1$ (fig. 34.3) i $n = 4$ (fig. 34.4). Per a cada cas s'indica l'amplada total B , l'altura H i l'angle α que formen les barres. En aquesta memòria no queden representats els casos d' $n = 2$ i $n = 3$.

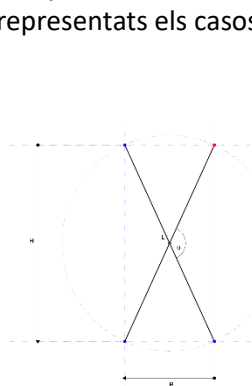


Fig. 34.3

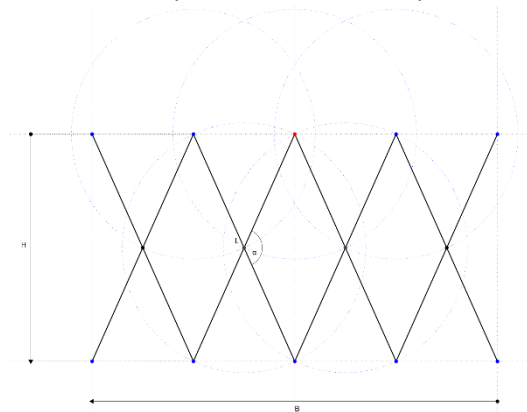


Fig. 34.4

34.3 ED. Tisores planes múltiples

Aquesta aplicació és simplement una ampliació de l'anterior (34.2) en què 16 tisores es col·loquen de la manera que queda representada a la figura 34.5. Un sol punt central de color vermell permet la plegabilitat del conjunt. L'amplada del conjunt és B, l'altura H i l'angle entre barres α . Totes les barres tenen la mateixa longitud L.

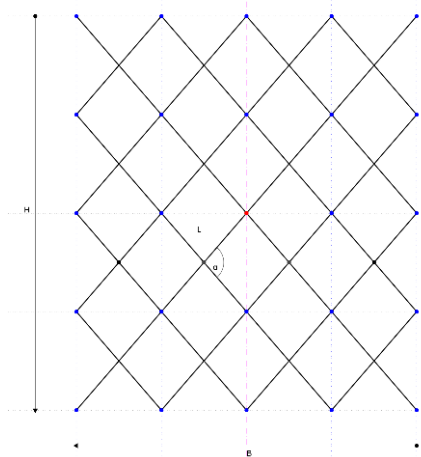


Fig. 34.5

34.4 ED. Tisores planes en prismes

Un punt lliscant permet dibuixar tres tipus de prismes diferents en 3D. El primer és triangular (fig. 34.6), el segon és quadrangular (fig. 34.7) i el tercer és hexagonal (fig. 34.8). A les cares dels prismes es col·loquen tisores de tal manera que, com que es troben a cada cara, en realitat es tracta de tisores encadenades en l'espai. Un punt lliscant 'Desplegable' permet la plegabilitat i desplegabilitat del conjunt a cadascun dels prismes. La longitud de les barres, en tots els casos, és la mateixa: L. Per a cada prisma s'indica la longitud B, que no és més que el costat de la base o altura del prisma i l'altura H.

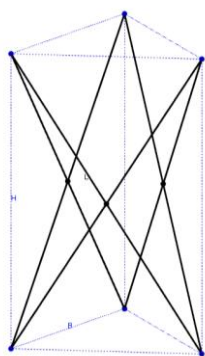


Fig. 34.6

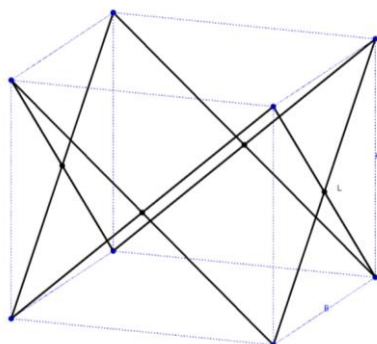


Fig. 34.7

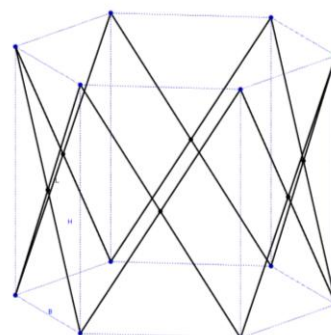


Fig. 34.8

34.5 ED. Tisores en arc

A partir d'un punt qualsevol O i amb radi R, es construeix un arc de cercle d'obertura $2\cdot\beta$. S'encabeixen 10 tisores encadenades, de forma que l'angle d'obertura de cada tisora serà α . Aquest angle servirà igualment per plegar l'estructura. El radi R ha definit un punt T (amb color vermell en la figura 34.9) que servirà per configurar l'estructura. Es donen dues variants del mateix mecanisme. En la primera, les barres tenen la mateixa longitud L però el seu creuament no es produeix a la meitat de la longitud. En la segona, les barres també tenen la mateixa longitud $L/2$ i no existeix creuament entre elles.

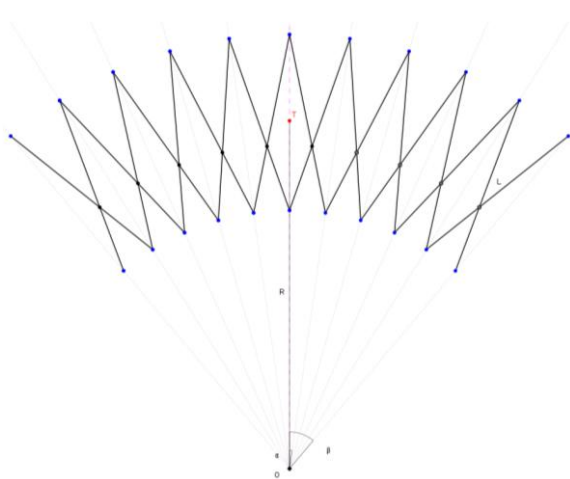


Fig. 34.9

34.6 ED. Tisora de quatre barres

Es tracta d'un cub. A cadascun dels vèrtex oposats del cub es col·loca una barra. Apareixeran quatre barres que es troben en el seu punt mitjà. Si aquest punt de trobada està format per una articulació que permeti el gir de les barres, tindrem una tisora formada per quatre barres. En aquesta aplicació, les barres de color negre s'han considerat fixes i són les de color blau que, amb la seva mobilitat, es pleguen coincidint amb les de color negre. Les barres tenen longitud L i l'angle α determina la separació en planta entre els dos tipus de barres. Si la diagonal del cub té longitud L , el seu costat $a = L/(3^{1/2})$.

El cub abans mencionat es troba situat al centre d'un conjunt de cinc cubs (fig. 34.10). D'aquest i ortogonalment surten quatre cubs que es distancien una longitud d del central. Totes les incidències en el cub central es manifesten en els altres. Si $d = a$, els cubs són tangents. Finalment, si $d = 0$, els cinc cubs coincideixen i les seves barres es poden plegar tal com s'indicava anteriorment.

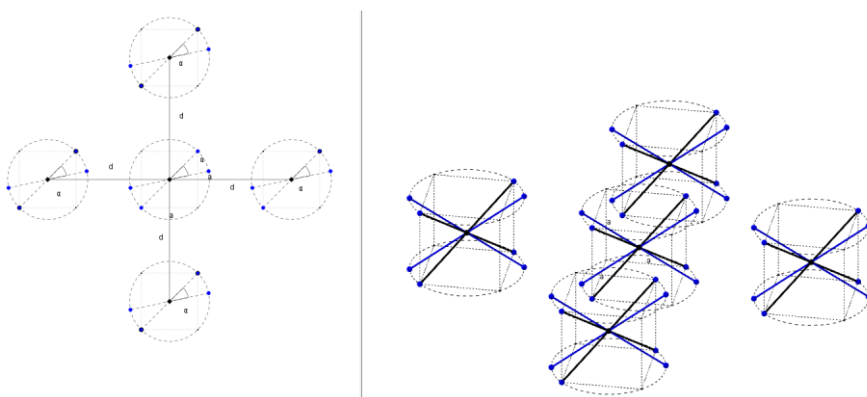
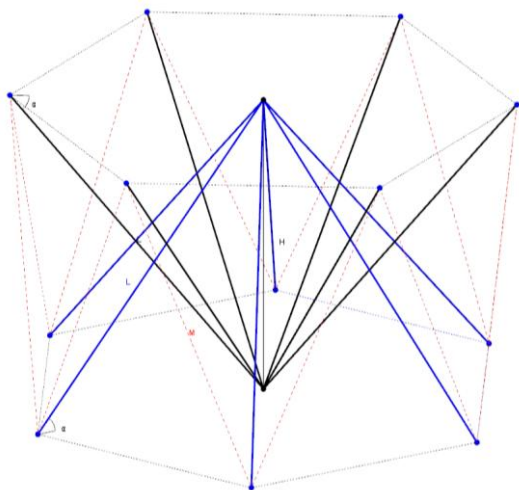


Fig. 34.10

34.7 ED. Mecanisme de nus girat de sis barres

Es parteix d'un prisma hexagonal girat. Del centre de la cara superior de l'hexàgon surten sis barres de color blau que moren en els vèrtexs de la cara inferior. I de la mateixa manera, del centre de la cara inferior del hexàgon surten sis barres de color negre que moren en els vèrtexs de la cara superior. A més, a les cares verticals del prisma apareixen barres dibuixades a punts de color vermell en forma de tisora. Tot això es veu a la figura 34.11. Les barres de color blau i negre tenen la mateixa longitud L , que es troba en un punt lliscant. Les barres de color vermell tenen una longitud M diferent de les de color negre i blau. Quan l'estructura està plegada, la longitud de totes les barres (les de color vermell incloses) tenen la mateixa longitud. Però quan l'estructura es desplega les longituds L i M són diferents. Això vol dir que amb les barres de color vermell no és possible desplegar l'estructura.



L'altura del prisma és H . Aquesta es troba en un punt lliscant que permet la modificació en alçat de l'altura del prisma, de forma que, quan $H=0$, el prisma queda plegat en el pla. A la figura 34.11 s'indica el significat de l'angle α .

Fig. 34.11

34.8 ED. Arc

Aquesta aplicació consisteix en l'abatiment de sis arcs de cercle que es contraposen a l'abatiment d'altres sis arcs simètrics als anteriors. L'amplitud de l'arc b , la fletxa c i la separació entre arcs d es troben als respectius punts lliscants. També en punts lliscants es troben la inclinació dels arcs α i la distància límit a (fig. 34.12). L'estructura queda plegada quan $\alpha=0^\circ$, $d=0$ i la distància mínima a és aproximadament igual a la meitat de la fletxa c , però es poden

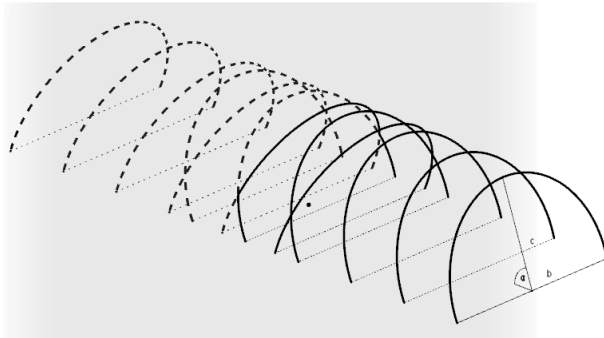


Fig. 34.12

trobar altres situacions de plegat. Es dona la longitud de l'arc L .

34.9 ED. Tisora. Paraigües

Un paraigua és una estructura composta de tisoires. En aquest cas, totes les barres tenen la mateixa longitud L , que es troba en un punt lliscant (fig. 34.13). El plegat es troba en un altre punt lliscant i es pot interpretar de diferent manera segons es plegui en un sentit o en el seu contrari. Els angles α i β defineixen la inclinació entre les diverses barres.

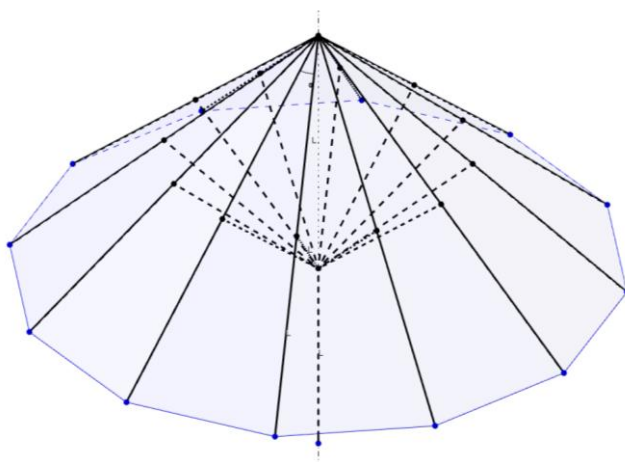


Fig. 34.13

34.10 ED. Triangles

Es tracta d'un conjunt de tretze triangles equilàters de costat L que es pleguen i despleguen sobre un arc de cercle. Els triangles es poden considerar opacs, tal com es veu a la figura 34.14, o bé compostos per tres barres de la mateixa longitud L . L'arc té una amplitud B i una fletxa H . Aquestes tres magnituds L , B i H , es controlen mitjançant punts lliscants. Un dels tretze triangles és inamovible i ocupa la posició central. Els altres sis triangles a banda i banda del central es pleguen sobre aquest amb l'ajuda d'un punt lliscant. L'aplicació dona el radi del cercle R , l'angle α de separació entre triangles i l'angle β que defineix el recorregut de l'arc.

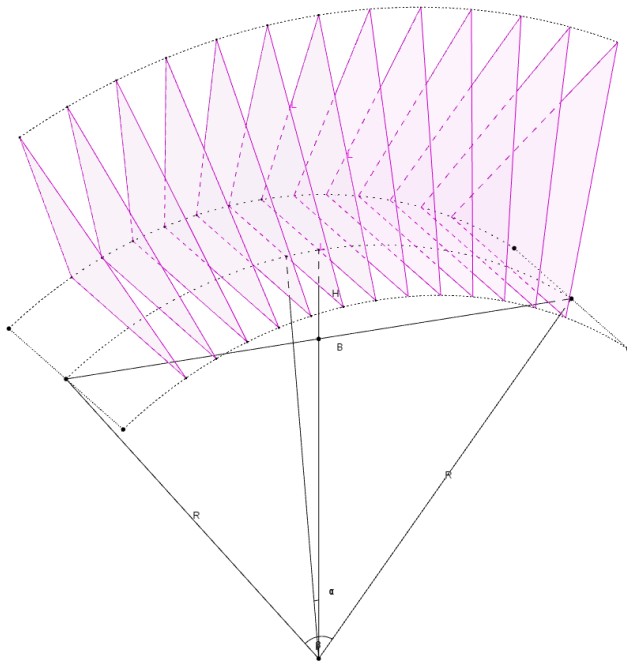


Fig. 34.14

34.11 ED. Quadrats

Al contrari de l'aplicació anterior 34.10, aquí es tenen 8 quadrats de dimensions variables que es pleguen, però són les barres que els generen les que no canvien de longitud L (fig. 34.15).

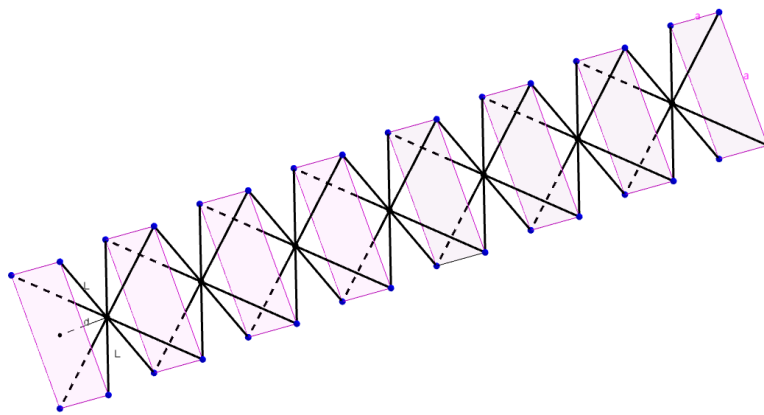


Fig. 34.15

34.12 ED. Nau

Aquesta aplicació es molt diferent de les que s'han tractat fins ara. En primer lloc, no es tracta de tisoires desplegable. En segon lloc, i allò més important, les barres que formen l'estructura no són iguals (fig. 34.16). Es tracta d'una nau composta per onze pòrtics, un central i cinc més a banda i banda, que es poden plegar recollits en el pòrtic central. Aquest té una llum L , una altura H i un angle α que defineixen l'aspecte exterior. En planta, la forma la determina la longitud a , mentre que el decalatge en altura el dona la longitud b . Aquest es dedueix d' a que, junt amb L , H i α , es donen en punts lliscants a la segona pantalla gràfica. Com es deia, la longitud de les barres és diferent en els diferents pòrtics, únicament coincideixen els pòrtics simètrics amb

referència al central. En qualsevol pòrtic les barres que el conformen són iguals dos a dos amb referència a l'eix central vertical. Fent $a = d = 0$ s'aconsegueix una coincidència total del conjunt dels pòrtics.

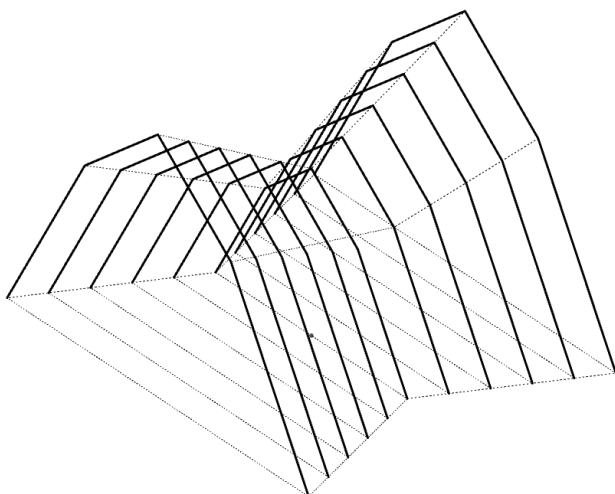
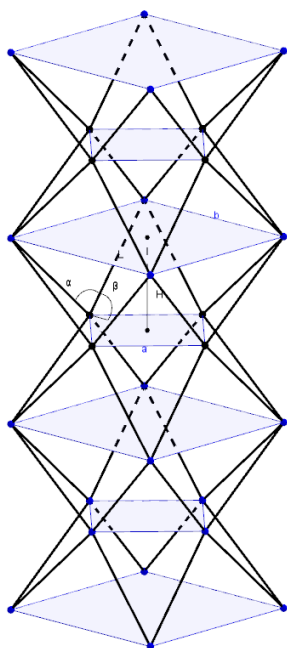


Fig. 34.16

34.13 ED. Tisores planes en tronc de prisma quadrangular deformat



Es parteix d'un quadrat de costat a que forma el pla de simetria del conjunt. D'aquest i de cadascun dels seus vèrtexs, neixen dues barres de longitud L que moren en els vèrtexs d'un altre quadrat, de costat b , que està girat 45 graus en referència al quadrat anterior i té una altura H . Aquest procés es repeteix en alçada, tant superior com inferiorment, fins adoptar la forma que es veu a la figura 34.17. Les dimensions a , L i H es troben en punts lliscants a la segona pantalla gràfica de l'aplicació. L'estructura es plega i desplega en funció dels valors que adopta H . Per a $H = 0$, l'estructura queda totalment plegada. Es dona el valor del costat b i els angles α i β , que formen les barres entre sí i les barres amb el pla de simetria.

Fig. 34.17

34.14 ED. Diafragma

Un diafragma és un mecanisme utilitzat en òptica i, especialment, en les càmeres fotogràfiques. En aquesta aplicació s'ha partit d'un conjunt de 12 triangles com a elements plans que constitueixen el diafragma. La seva amplada és b i altura h . El centroide dels triangles G , quan estan totalment desplegats, es distribueix pel perímetre d'un cercle de radi R formant un angle entre ells d' $\alpha = 30^\circ$ (fig. 34.18). Quan es troba totalment plegat, l'angle $\alpha = 0^\circ$ i es poden considerar valors d' α intermedis. Al mateix temps, els triangles poden girar sobre si mateixos un angle β pel punt G , de tal manera que l'efecte diafragma es pot obtenir de moltes maneres. Els valors d' R , b , h , α i β es regulen pels respectius punts lliscants que es troben a la segona pantalla gràfica. Atès que no es tracta d'una qüestió estructural, aquesta aplicació té com a objectiu utilitzar les propietats del programa GeoGebra per observar un mecanisme pla desplegable.

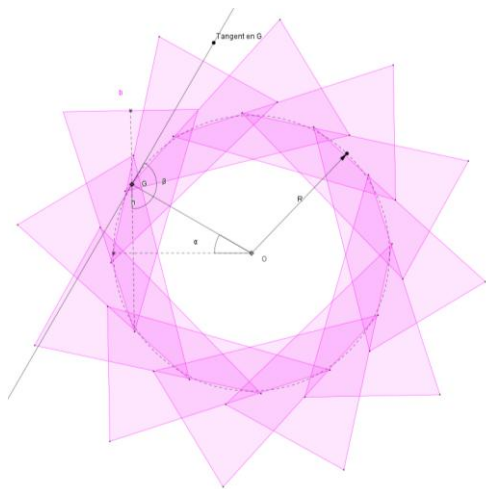


Fig. 34.18

34.15 ED. Malla amb barres articulades

Es parteix d'una quadrícula quadrada en planta de dimensions $a \cdot a$. És la malla que defineix la generació de l'estructura. Dels vèrtexs de cadascun dels quadrats, es traça un segment de longitud L . Aquests segments seran les barres de l'estructura, que es troben en un sol punt, a una altura h des del centroide del quadrat i amb una inclinació α del pla de la malla (fig. 34.19).

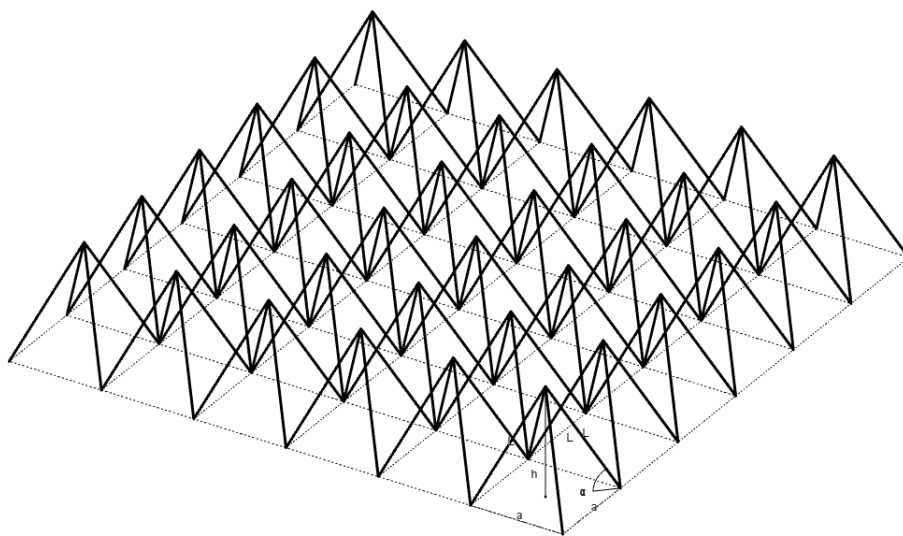


Fig. 34.19

34.16 ED. Estrella de vuit puntes

Es tracta d'una estrella de vuit puntes, d'amplitud β i radi exterior R . Les puntes d'aquesta estrella les formen barres de longitud L , de tal forma que defineixen un radi interior de valor r (fig. 34.20). Quan l'estrella està completament desplegada, l'angle que formen les puntes α és de 45° . Però quan aquest angle, que es troba en un punt lliscant, té valors inferiors a 45° , l'estructura de barres es va plegant en conseqüència, fins que per a $\alpha = 0^\circ$ l'estructura queda completament plegada. En alçat, l'estrella està situada al centre de 3 estrelles superiors i 3 inferiors formant un total de 7 estrelles que estan separades una distància H . Quan $H = 0$, les

estrelles queden totalment plegades. D'aquesta manera, l'aplicació desenvolupada amb GeoGebra permet un plegat en planta i en alçat.

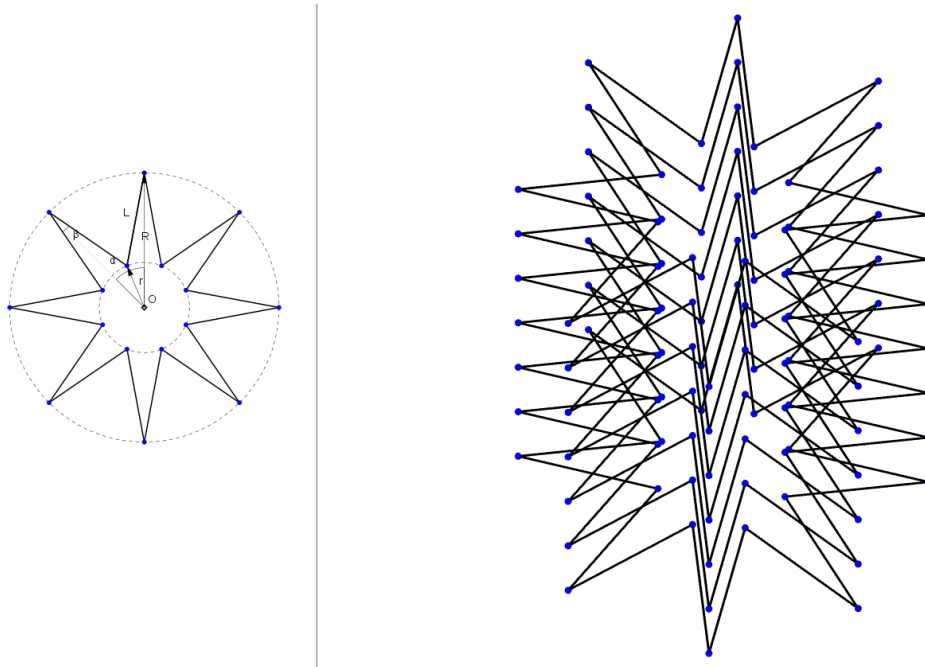


Fig. 34.20

34.17 ED. Reglades

Es parteix d'un cercle de radi R . D'aquest parteixen 12 barres de longitud L separades un angle

α constant. Les barres, entre elles, es troben dislocades en altura també un angle α . Aquestes, en la seva part superior, es veuen reflectides i situades en un cercle de dimensió inferior a R però col·locades en el mateix pla que les barres anteriors. Com que aquestes també han de tenir una dimensió L , es troben en un punt inferior al cercle d'origen de radi R (fig. 34.21). El punt lliscant que permet determinar l'amplitud de l'angle α serveix igualment per plegar l'estructura ($\alpha=0$), en el benentès que els dos grups de barres es pleguen en dues línies independents.

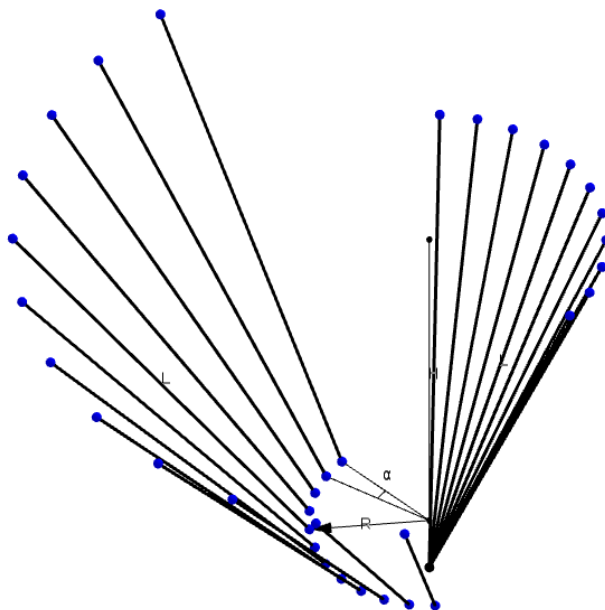


Fig. 34.21

34.18 ED. Cilindres telescòpics

Es tracta de 5 cilindres de la mateixa longitud L . Es parteix d'un cilindre fix (de color blau a la figura 34.22) de diàmetre exterior D i gruix e . A una distància r de la base d'aquest apareix un altre de longitud també L , diàmetre exterior $D-2e$ i gruix e . Aquest llisca de l'anterior. I amb el mateix criteri es construeixen els altres tres. D'aquesta manera, en plegar-se els 4 cilindres, queden reclosos en el primer de color blau. Atès que tots tenen la mateixa longitud L , funcionen com un telescopi.

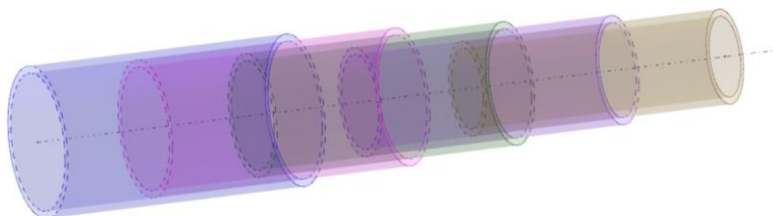


Fig. 34.22

34.19 ED. Piràmides

Es tenen 7 piràmides de base hexagonal maclades, tal com es veu a la figura 24.23. Cadascuna d'elles està inscrita en un cercle de radi r . Cada piràmide consta de 6 cares compostes per triangles isòsceles. Aquestes giren, amb referència a la base, un angle α comprès entre 0° i 90° . El gir permet el plegat i desplegat de les piràmides. En aquesta aplicació, a diferència d'altres, les dimensions dels costats i l'àrea dels triangles varia en funció del valor d' α .

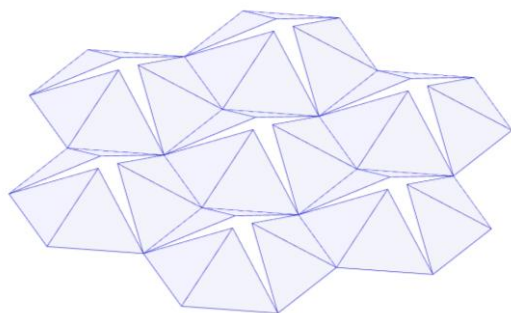


Fig. 34.23

34.20 ED. Triangles d'alçada variable

Es parteix d'un triangle central inamovible i de 5 triangles a banda i banda d'aquest. Els 10 triangles, atès que tenen una altura menor que el central, es pleguen quedant abraçats pel central. L'aplicació permet dues variants controlades per un punt lliscant. La primera (fig. 34.24) suposa que totes les barres, en aquest cas els costats dels triangles, tenen la mateixa longitud L . L'altura del triangle central és h i el desfasament en alçada és δ . La segona (fig. 34.25) suposa que els costats del triangle són diferents. Es dona l'amplada del triangle central b i, l'altura, i el desfasament en alçada és el mateix que a la primera variant. A la pantalla gràfica i a les dues variants es dona un pla de referència que servirà per relacionar les alçades a cadascuna de les variants. El punt lliscat t , de separació entre triangles, servirà per desplegar i plegar els triangles.

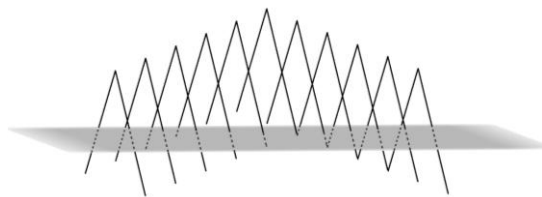


Fig. 34.24

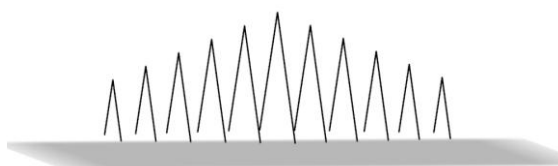


Fig. 34.25

34.21 ED. Tisores en polígons

A partir del radi interior de la construcció r , es formen polígons regulars que queden definits en un punt lliscant. Són 3: pentàgon, hexàgon i octògon. Des dels vèrtexs d'aquests polígons es llancen barres, totes de la mateixa longitud L . Les formes generades (figures 34.26, 34.27 i 34.28) es pleguen a partir del radi interior r . La longitud de les barres queda condicionada pel valor del radi interior.

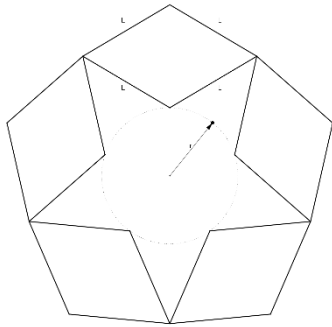


Fig. 34.26

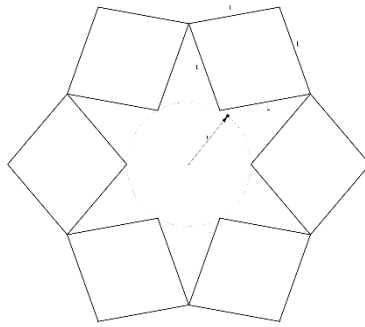


Fig. 34.27

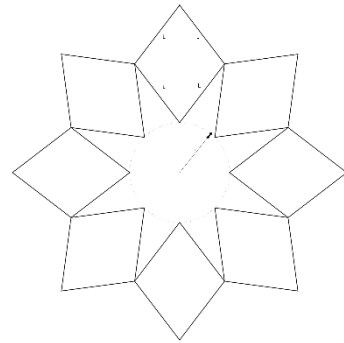


Fig. 34.28

34.22 ED. Esferes

En el llibre '*Hacia una Arquitectura Móvil*' escrit per *Ricardo Franco Medina* de la *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano* editat el 2010 i que s'inclou a la bibliografia que es troba al final d'aquesta memòria, s'expliquen les superfícies rotacionals amb un exemple molt interessant. Es tracta d'una esfera (o semiesfera) en què es creen segments a mode de grillons d'una taronja (fig. 34.29). Els grillons, tots de la mateixa superfície però de diferent diàmetre, poden quedar plegats sobre un principal, que és el més extern.

A l'aplicació es donen els següents punts lliscants:

1. El radi R de l'esfera principal i superior
2. En l'interior de l'esfera principal es conformen 5 grillons amb una distància entre ells de valor δ
3. A l'esfera principal i superior es dona l'obertura de grilló Ob_s
4. Als altres grillons se'ls dona una obertura Ob

Per tant, una vegada definits el radi de l'esfera exterior i la distància entre esferes o grillons, l'obertura de grillons de les 5 esferes determinarà el plegat i desplegat de l'estructura.

GeoGebra no permet fer, de forma automàtica, aquests tipus de construccions: és necessari parametritzar l'esfera. Una vegada parametritzada, els diferents valors que es donen en els paràmetres permetran tot tipus de moviments i siluetes. Fins i tot serà possible, encara que no es contempli en aquesta aplicació, fer esferes deformades en forma de fus.

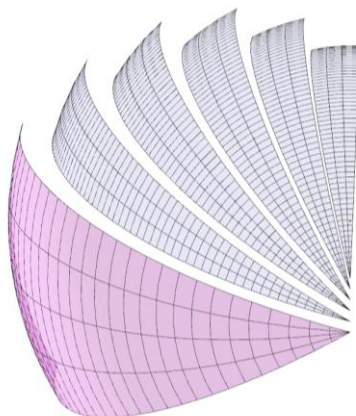
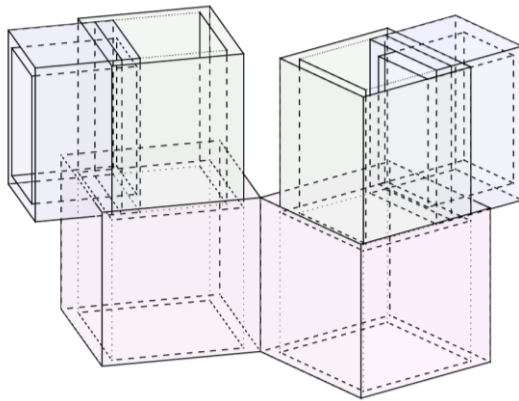


Fig. 34.29

34.23 ED. Cubs telescòpics

Es disposa de 6 cubs: 2 de color blau, 2 de color verd i 2 de color vermell (fig. 34.30). El primer



moviment és el dels cubs de color blau que llisquen horitzontalment en l'interior dels cubs verds. Això ho fa possible un punt lliscant anomenat 'Moviment telescòpic' MT. Quan $MT=0$, és a dir, quan els cubs blaus queden absolutament plegats en l'interior dels cubs verds, apareix un nou punt lliscant anomenat 'Plegat i desplegat vertical' δv , a partir del qual els cubs verds i blaus llisquen verticalment en l'interior dels cubs de color vermell. Quan $\delta v=0$ apareix un nou punt lliscant 'Plegat i desplegat horitzontal' α a partir del qual tots els 6 (3+3) cubs poden

Fig. 34.30

girar amb una aresta comuna fins a plegar-se.

34.24 ED. El·lipses articulades com a tisores

Dues el·lipses en l'espai tenen un eix comú pel què poden girar, plegar-se i desplegar-se (fig.34.31). Als extrems d'aquestes el·lipses apareixen dues superfícies, igualment en forma d'el·lipse, que s'han col·locat per donar expressivitat a les que giren.

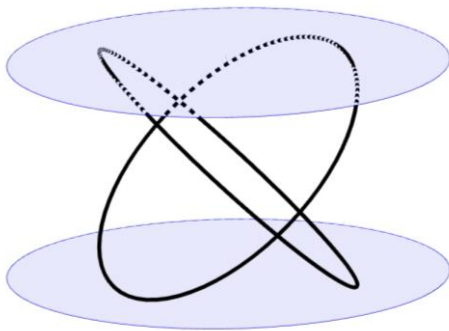
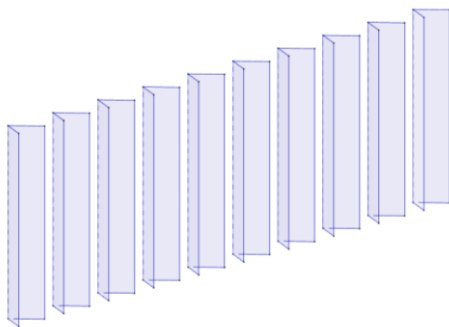


Fig. 34.31

34.25 ED. Finestres

Es tracta d'un conjunt de 10 perfils en forma d'L de costats iguals, de dimensions $F \times F$. Es troben

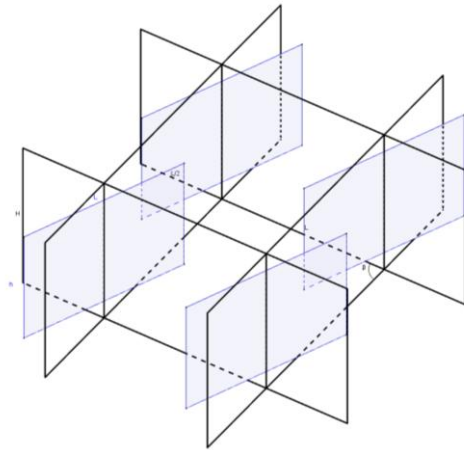


en l'espai i tenen una funció de finestra. Tots ells estan alineats amb una separació L i una altura H . L'angle α , que es troba en un punt lliscant, permet definir l'obertura del perfil L de tal manera que, per $\alpha=0^\circ$ les eles queden absolutament desplegades formant un panell totalment opac, amb l'única condició que la longitud de la finestra F sigui la màxima possible. Quan $\alpha=90^\circ$ les eles queden totalment tancades i el panell queda obert. Sota aquesta posició, fent $L=0$, l'estructura queda totalment plegada (fig. 34.32).

Fig. 34.32

34.26 ED. Làmines amb tisores

Les tisores compostes per barres en el pla s'han estudiat a les aplicacions 34.1, 34.2 i 34.3. En

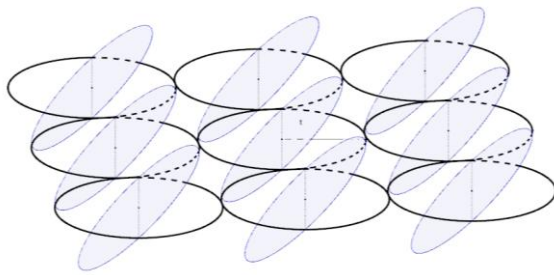


aquesta aplicació, a partir d'una tisora simple, es col·loquen làmines plegables en els nusos de les tisores. D'aquesta manera s'obté una estructura amb un doble sistema de plegat-desplegat en un context de 3D. D'una banda, les làmines es mouen en funció de l'angle α i de l'altra, les tisores ho fan amb els desplaçaments del punt O, que es troba a la primera pantalla gràfica. Les tisores tenen una altura H i, per tant, es tracta d'una doble tisora en l'espai. Les làmines tenen una altura h de tal manera que h no pot ser més gran que H. Amb els moviments del punt O, i fent $\alpha = 0$, s'aconsegueix el plegat total de l'estructura (fig. 34.33).

Fig. 34.33

34.27 ED. Panells circulars

Es tracta de 9 cercles tangents de radi R, tal com es veu a la figura 34.34. Aquests cercles tenen

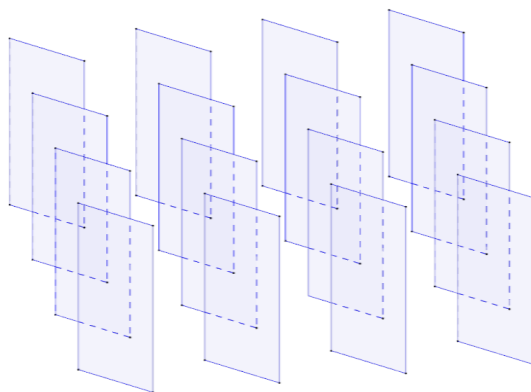


un diàmetre variable i un angle α , regulable per un punt lliscant. El diàmetre defineix un cercle que té la funció d'un panell circular, amb una inclinació que ve determinada pel segment t, que també està regulat per un punt lliscant (fig. 34.34).

Fig. 34.34

34.28 ED. Panells amb tisores

Aquesta aplicació és una ampliació de la 34.3. L'ampliació ha consistit en duplicar en alçada



l'entramat de tisores que es donaven a l'aplicació indicada. Una vegada feta l'ampliació, s'han col·locat panells, tal com es veu a la figura 34.35, i s'ha suprimit en 3D l'entramat de tisores. Aquest queda visible a la pantalla en 2D, on s'indiquen les dimensions del conjunt B i H, l'angle α de les tisores i la longitud de les barres, totes de la mateixa longitud L. L'estructura es plega i desplega amb el moviment del punt O que es troba a la primera pantalla gràfica. Degut a l'excés d'informació de l'aplicació,

Fig. 34.35

els moviments han de ser el més lents possible. La longitud de les barres de les tisores L i l'altura de l'estructura h es troben com a punts lliscants a la segona pantalla gràfica.

Fonts utilitzades:

·'Sistemas estructurales despleables para infraestructuras de intervención urbana autoconstruidas'. Jon Beguiristain Mitxelena.

Universidad del Pais Vasco. Euskal Herriko Unibertsitatea. 2016

·'Estructuras espaciales desmontables y despleables'. Estudio de la obra del arquitecto Emilio Pérez Piñero. Lina Puertas del Rio. Escuela Tecnica Superior de Arquitectura de Madrid. 1989.

·'Estructuras espaciales despleables curvas'. Félix Escrig-J. P. Valcárcel. Consejo Superior de Investigaciones Científicas

·'Hacia una Arquitectura Móvil'. Ricardo Franco Medina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 2010