

## 11 Objectes estructurals

### 11.55 El pont dels anells. Copenhaguen

El 2015 s'inaugura el Cirkel Broen (Circle Bridge) dissenyant per Olafur Eliasson. Es tracta d'un pont per a vianants a la boca sud del canal de Christianshavn, al centre de Copenhagen, Dinamarca. Consta de 5 plataformes o lloses circulars de diferent diàmetre. Del centre de cada plataforma i superiorment surt un pal metàl·lic de secció variable del qual, a la part superior, neixen un conjunt de cables que moren en el perímetre de la plataforma. Inferiorment, la plataforma té un suport en el centre que penetra a l'aigua fins fonamentar-se en el fons del canal (fig. 11.115 a 11.118a).



Fig. 11.115



Fig. 11.116



Fig. 11.117



Fig. 11.118



Fig. 11.118a

El programa GeoGebra ha permès dibuixar i calcular estàticament el 'Pont dels anells' a partir únicament de la informació proporcionada per les fotografies que es veuen a les figures 11.115 a 11.118a. Les característiques essencials d'aquesta aplicació són les següents.

.1. Se suposa que cadascuna de les 5 plataformes, formades per lloses de formigó armat de forma circular, són independents entre sí i tenen un diàmetre  $D$ . El cantell de la llosa és  $h$  i està sotmesa a una sobrecàrrega gravitatòria uniformement repartida de valor  $q$ . Com que es dona el pes específic del formigó  $\gamma_f$ , això permet calcular el pes propi de la llosa, de manera que la

sobrecàrrega d'utilització i el pes propi són les úniques càrregues que intervenen a l'aplicació (fig. 11.118b).

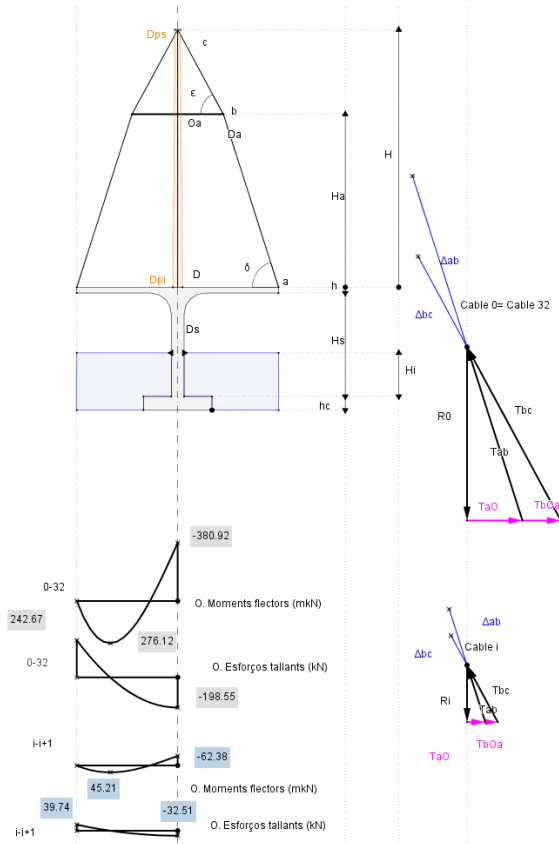
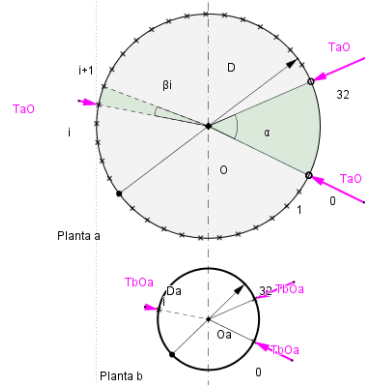


Fig. 11.118b

.2. La llosa s'entrega a un suport igualment de formigó armat de diàmetre  $D_s$  i altura  $H_s$  que es



troba en el centre del cercle que forma la llosa. La transició entre llosa i suport es realitza mitjançant una cartella o 'fungi' de radi  $r$ . Per al càlcul, la llosa es discretitza en triangles circulars amb una entrega simple en el perímetre de la llosa i un encastament perfecte en el centre  $O$  de la llosa. La càrrega sobre aquests triangles circulars és també triangular amb càrrega  $0$  en el punt  $O$  (fig. 11.118c).

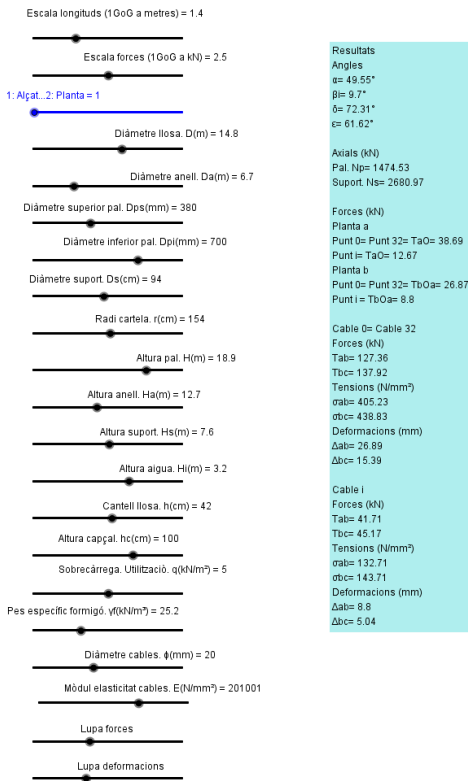
.3. El suport penetra a l'aigua una profunditat  $H_i$  i acaba en un capçal d'altura  $h_c$  i dimensions no definides.

Fig. 11.118c

.4. Del centre de la llosa neix un suport o pal metàl·lic de forma troncocònica de diàmetre inferior  $D_{pi}$ , superior  $D_{ps}$  i altura  $H$ . A una certa altura del pal  $H_a$  es troba l'anell que dona nom al pont. Aquest anell, de diàmetre  $D_a$ , no té una funció estructural definida, però com que provoca una forma no lineal als cables, es troba comprimit amb uns esforços que es definiran en el punt .6.

.5. Del perímetre de la llosa neixen 33 cables de diàmetre  $\phi$  que moren a la part superior del pal. Aquests cables suporten el perímetre de la llosa. Entre el primer  $0$  i l'últim  $32$  es pot deixar una certa distància (i no dues, com s'observa en alguna de les plataformes) que es controla per punts mòbils. Cada cop que aquesta distància es modifica, s'ajusta al mateix temps la distància entre

els altres cables, anomenats com i. Aquests moviments queden definits pels angles  $\alpha$  i  $\beta$ i. A la primera pantalla gràfica es troba la descomposició de forces i els seus valors calculats per l'estàtica gràfica (fig. 11.118b). Es dona el mòdul d'elasticitat de l'acer dels cables E que permeten calcular la seva deformació. Aquesta deformació afecta a la planeïtat de la llosa i als moments derivats que es puguin crear, però aquesta qüestió no es contempla a la present aplicació.



.6. En el quadre de resultats es donen els esforços de compressió a la llosa provocat per els cables TaO, tant en els punts 0 i 32 com en els punts i. De la mateixa manera, es donen els esforços de compressió en l'anell, de valors TbOa. En el mateix quadre, i pels cables indicats, es donen les forces que es generen en els cables Tab i Tbc, les seves tensions  $\sigma$ ab i  $\sigma$ bc i les deformacions  $\Delta$ ab i  $\Delta$ bc. Els valors dels esforços axials, que es calculen en el pal i el suport, són respectivament Np i Ns (fig.11.118d). Lògicament, quan els valors de  $\delta$  i  $\epsilon$  coincideixen, no es generen forces de compressió en l'anell.

.7. Els diagrames de moments flectores i esforços tallants en els triangles circulars deduïts de la discretització en 0-32...O i i-i+1...O es troben a la primera pantalla gràfica (fig. 11.118b).

.8. No es tenen en compte els esforços horitzontals. No es donen les tensions en el pal, per això tampoc es demana el seu gruix. Tampoc es calculen les tensions en el suport de formigó.

Fig. 11.118d

A la pantalla 3D es representa el 'Pont dels anells' (fig. 11.118e). El moviment de la pantalla permet contemplar el pont des de diferents angles per poder apreciar-lo íntegrament.



Fig. 11.118e