

11 Objectes estructurals

11.1 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó

11.1.1 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó. Exemple

11.1.2 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó. Exemple

11.1 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó

Per obtenir el doctorat en enginyeria *Corentin Fivet* presenta a l'Académie Universitaire Louvain de Belgique, el desembre de 2013, la tesi *Constraint Based Graphic Static*. És una tesi clara i rigorosa que mereix la màxima atenció, tot i que molt allunyada del que es pretén aquí. En el capítol d'aplicacions explica la reconstrucció de la coberta estructural construïda el 1924 a Chiasso per Robert Maillart (1872 Berna - 1940 Ginebra). L'estudi d'aquesta reconstrucció és intens, detallat. S'analitzen des dels aspectes més elementals fins a les qüestions topològiques, passant per diverses consideracions relacionades amb l'equilibri i les reciprocitats. Aquesta estructura, amb la generalització que permet GeoGebra i les estratègies que s'explicaran més endavant, sembla ideal per intentar un pre-dimensionat estructural en un entorn geomètric.

11.1.1 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó. Exemple

Es tracta d'un pòrtic de formigó simple i simètric, tant de geometria com de càrregues (fig. 11.1).

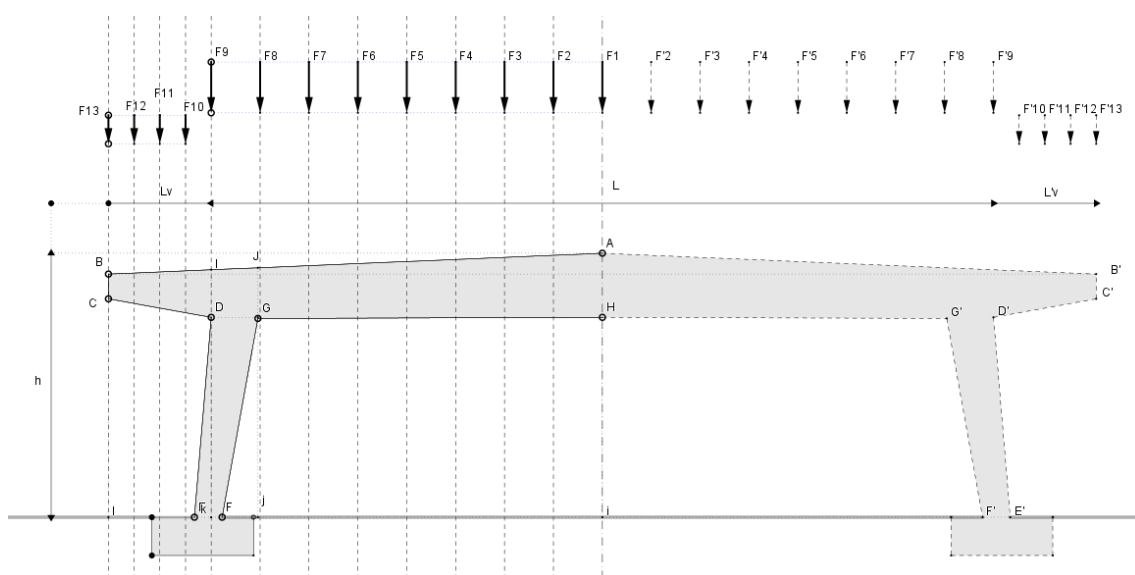


Fig. 11.1

En general, amb GeoGebra no cal considerar les simetries, és a dir, no provoca cap estalvi de temps, però en aquest cas es creu necessari considerar-les per poder observar les forces que es formen en la línia de simetria. La part simètrica del pòrtic es carrega automàticament en treballar la part de l'esquerra. El pòrtic està compost de dos nusos. Cadascun dels nusos està format per tres barres. Una, la principal, és una biga de llum $L = 10.99$ m. A continuació de la biga es troben els voladissos de llum $L_v = 1.44$ m. I finalment, els suports d'alçada $h = 3.71$ m. Les tres barres tenen secció variable. Apart de les cotes indicades, les dimensions en metres més representatives de la geometria del pòrtic són les següents:

B-B'. $L_{\max} = 13.88$

E-E' = 11.39

H-i = 2.81

G-j = 2.79

D-k = 2.81

C-I= 3.07

Aquestes cotes es poden variar dinàmicament movent els punts A i B.

Les dimensions dels elements estructurals, igualment en metres són:

A-H= 0.90

J-G= 0.71

I-D= 0.67

B-C= 0.35

D-G= 0.66

E-F= 0.39

Aquestes dimensions es poden variar dinàmicament movent els punts C, D, E, F, G i H.

Observi's que no es dona l'amplada dels elements que componen el pòrtic. Això serà una qüestió a considerar una vegada el pre-dimensionat geomètric quedi resolt i es dimensioni pròpiament el pòrtic, qüestió que no és objecte d'aquesta aplicació.

En GeoGebra o en general en les anàlisis geomètriques, no es pot treballar amb càrregues uniformement repartides. Per definir les càrregues a què està sotmès el pòrtic, es considera que forma part d'un conjunt de pòrtics idèntics amb una amplada de banda de 6 m. Si la càrrega total en els forjats que s'entreguen al pòrtic és de 3.43 kN/m^2 (350 kp/m^2), tindrem que sobre aquests gravita una càrrega de 20.65 kN/m en el tram central i de 20.80 kN/m en els voladissos. Traduint aquestes càrregues en el pòrtic de l'exemple tindrem que les càrregues són $d'F_1=F_2=\dots=F_9= 13.36 \text{ kN}$ separades 0.69 m en el tram central i $d'F_{10}=F_{11}=\dots=F_{13}= 7.51 \text{ kN}$ separades 0.36 m en els voladissos.

Les estratègies. Es proposen tres estratègies. Evidentment, cada situació estructural tindrà unes estratègies diferents. En els nostres exemples, les estratègies estan dirigides al nus format per la biga, el voladís i el suport. Atès que en la teoria de bieles i tirants, permessa a la normativa actual, es fan estratègies diferents del comportament estructural, de la mateixa manera es pot actuar en aquest cas. En efecte, la càrrega del voladís, la de la biga en les proximitats del nus i la reacció del suport per a aquestes dues càrregues han d'estar en equilibri, però no només això, és necessari que les línies d'acció d'aquestes forces passin per l'interior (o millor pel nucli central) dels respectius elements, de forma que es creï el menor nombre de moments flectors associats a les excentricitats. Òbviament, el formigó armat admet la consideració d'excentricitats, però l'absència d'aquestes permet estructures més estables i més econòmiques. Al mateix temps, en ajustar les càrregues en el nus, es veuen modificades les accions i els valors d'aquestes en la resta del pòrtic i, especialment, a la biga, atès que interessa que el conjunt de traccions i compressions es creï en els llocs adequats amb les menors excentricitats possibles. És com si es volgués canalitzar les càrregues del voladís i part de les de la biga en el suport, i la resta de les càrregues fessin funcionar a flexió la biga central. Amb un pre-dimensionat adequat serà possible aquesta situació. La canalització de càrregues segueix, en certa manera, la teoria de bieles abans esmentada. Es tracta, doncs, d'un nou enfoc estructural en què la geometria es pot aplicar en tota la seva extensió i la qüestió didàctica queda garantida.

Estratègia1. (fig. 11.2). Es mouen els punts O1, O2, O3 i Estratègia1 fins que s'aconsegueix el següent:

.Que les línies d'acció de les forces F_a , F_b i F_c es canalitzin respectivament pel voladís, la biga en l'entorn de les càrregues F_8 i F_9 i el suport. Aquestes forces hauran de ser

assumides per aquests elements. Aquestes forces estan en equilibri, tal com es comprova per reciprocitat en el diagrama de forces, i no produeixen moments d'excentricitat addicional. Això és independent del moment en el voladís, que es calcula de la forma habitual, del moment de la biga en el suport, que ve en funció de les rigideses relatives de biga i suport i, finalment, de les càrregues axials en el suport, que en aquest cas i per a càrregues gravitatòries serà $F_1/2 + F_2 + \dots + F_{13}$.

.Que l'equilibri de les forces F_a , F_b i F_c produeixi un sistema d'accions de tracció en la biga $f_1, f_2, \dots, f_8$ on és primordial que aquesta línia funicular es trobi inclosa en l'interior de la biga. Es una línia que simula l'acer a tracció a la biga.

.Que l'esforç de compressió en el formigó F_f sigui assumit per la biga.

.Que els esforços de compressió en el formigó en la biga produïts directament per les càrregues que sobre ella graviten ($F_1 \dots F_7$) siguin absorbits per la pròpia biga.

.Que, de la mateixa manera, els esforços de simetria F_d i F_e siguin assumits per la biga.

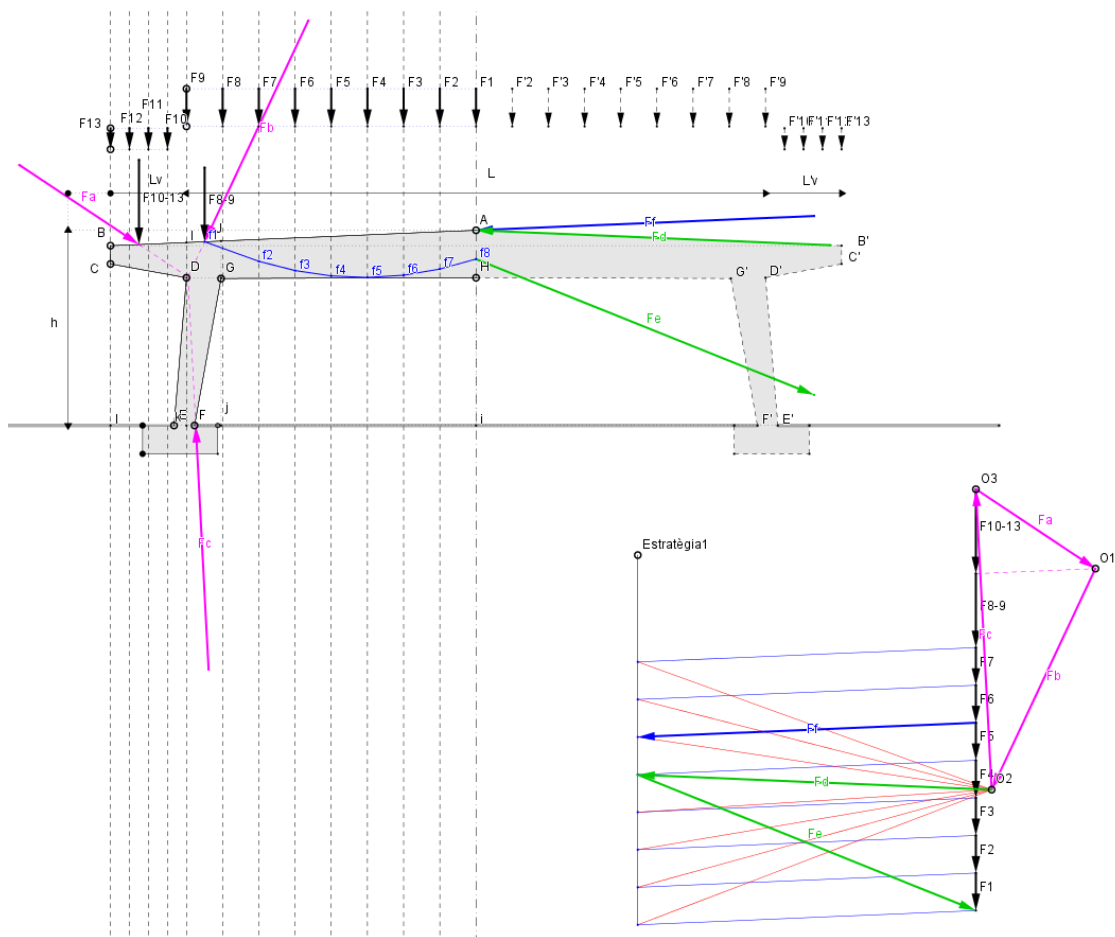
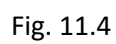
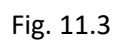


Fig. 11.2

Si aquestes qüestions es poden aconseguir, com en l'actual exemple, aquest és l'objectiu. Si no és possible, s'han de modificar les dimensions dels elements estructurals.

L'Estratègia2 (fig. 11.3) canalitza les càrregues F_7, F_8 i F_9 i l'Estratègia3 (fig. 11.4) les F_6, F_7, F_8 i F_9 , amb un procés constructiu i uns objectius idèntics als indicats a l'Estratègia1.



Estudiem a continuació els valors obtinguts en cadascuna de les tres estratègies:

Forces en kN

	Estratègia1	Estratègia2	Estratègia3
Forces en el nus:			
Fa	51.01	56.98	68.22
Fb	86.83	105.23	136.7
Fc	86.83	117.36	135.55
Fa+Fb+Fc	224.67	279.57	340.47

Traccions en el formigó			
f1-f2	133.73	134.51	160.18
f2-f3	129.8	131.02	157.25
f3-f4	127.16	128.81	155.25
f4-f5	125.89	127.97	154.46
f5-f6	126.03	128.52	154.83
f6-f7	127.57	130.45	-
f7-f8	130.47	-	-
Σf_i	900.65	781.29	781.89

Compressions en el formigó			
Ff	120.28	134.12	178.35

Forces de simetria			
Fd	125.89	128.08	154.58
Fe	129.51	139.40	179.71

Pot observar-se que:

.A mesura que l'estratègia passa de l' 1 a la 3, els valors d'Fa, Fb i Fc augmenten progressivament.

.De forma semblant passa en les compressions del formigó i en les forces de simetria.

.En canvi, els esforços de tracció en el formigó són significatius en l'Estratègia1 i menors i pràcticament coincidents en la 2 i la 3.

De forma provisional, es pot concloure que si els esforços de tracció en el formigó, és a dir, l'armat a tracció a la biga, és assumit per aquesta, la millor estratègia, interpretant com a millor estratègia la que provoca menors esforços en els elements estructurals, seria la primera. És l'estratègia que considera el menor nombre de càrregues a canalitzar al pilar per aconseguir l'equilibri del nus.

11.1.2 Pre-dimensionat d'un pòrtic simple de formigó. Exemple

Quant al pòrtic, s'ha eliminat el voladís $L_v = 0.03$ m i $F_{10}=F_{11}=...=F_{13} = 0.09$ kN (valors molt semblants a zero en GeoGebra), es perd l'efecte beneficiós del voladís i l'equilibri entre Fa (amb valors compresos entre 0.40 i 0.52 kN, també semblants a zero), Fb i Fc es fa difícil. Observem els resultats més rellevants a la segona pantalla gràfica de GeoGebra:

.Com era d'esperar, la situació més favorable la proporciona l'Estratègia1 amb valors de Fa+Fb+Fc, de Σf_i i de compressions en el formigó sensiblement menors que les obtingudes amb les altres dues estratègies.

.En intentar l'equilibri en el nus i una posició favorable del polígon funicular en les traccions del formigó, es produeix una inestabilitat geomètrica a l'Estratègia3. Seria prudent no considerar aquesta estratègia. Tot i aquesta circumstància, resulta curiós observar que les traccions en el formigó resulten més favorables a l'Estratègia3 que a la 2.

.És suficient passar la dimensió A-H de 0.90 a 0.97 m perquè desaparegui la inestabilitat geomètrica. D'aquesta manera es veu que l'equilibri s'obté, no només modificant les càrregues o creant estratègies, sinó també propasant un sistema de dimensions (o de pre-dimensions) a l'estructura en el qual es permeti l'estabilitat global.

En tot cas, la filosofia que s'exposa en l'Exemple1 es perd amb l'eliminació del voladís de l'Exemple2. Figures (fig. 11.5), (fig. 11.6) i (fig. 11.7).

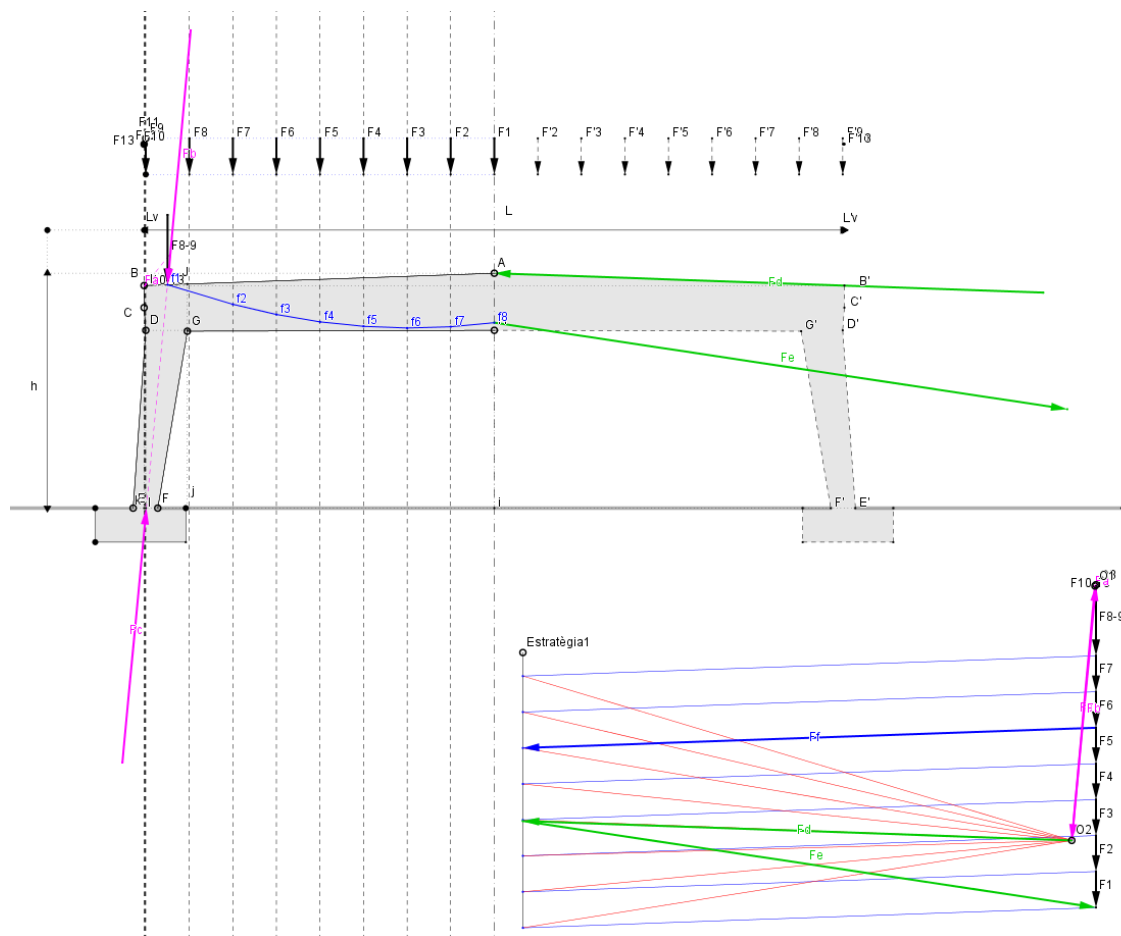


Fig. 11.5

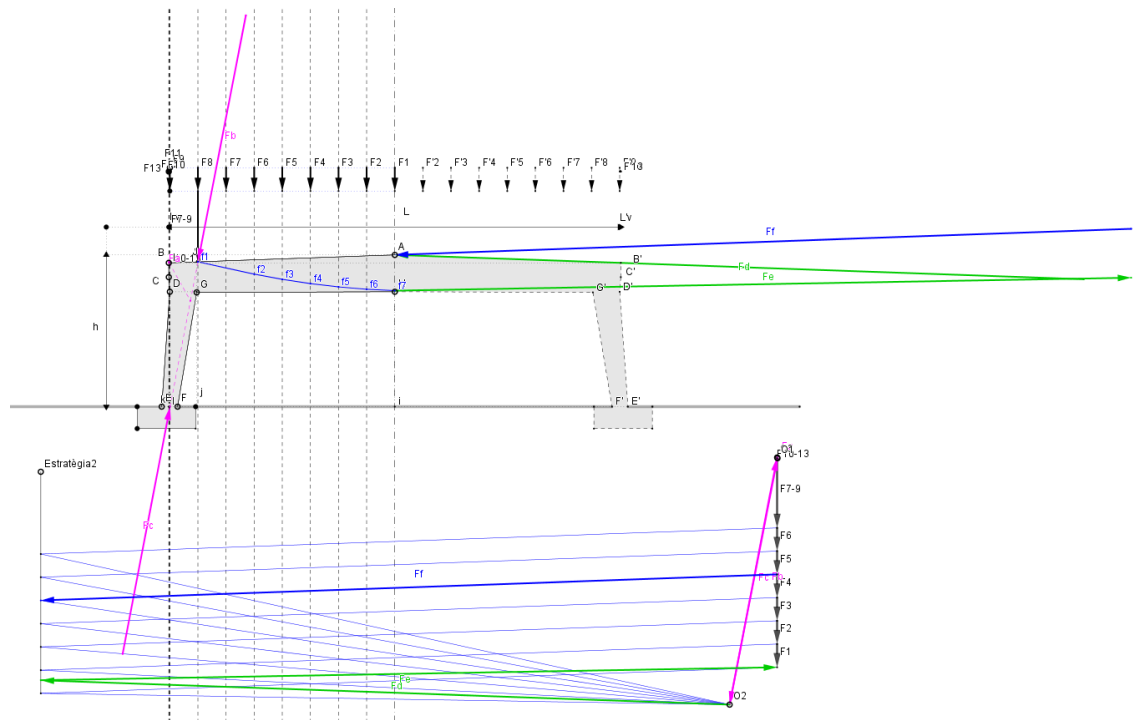


Fig. 11.6

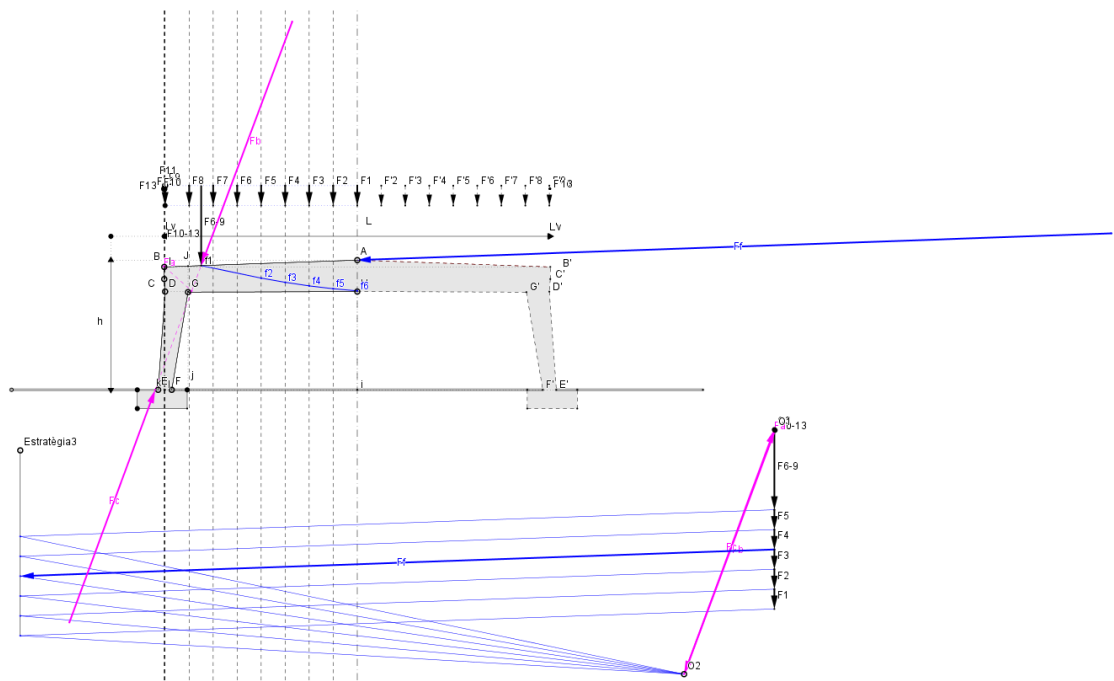


Fig. 11.7