

## 10 Reticulars

### 10.23 Pont penjant. C. Eficiència estructural

Agafant com a base el document 'Integrated Structural Analysis and Design' de Erik Larsen, Malmö-2017, que estudia l'eficiència estructural en un pont penjant i, aprofitant les facilitats que proporciona GeoGebra per a aquests tipus d'anàlisis, s'han realitzat 10 variacions estructurals en el pont penjant que es veu en les figures amb la finalitat de treure'n conseqüències amb referència a la idoneïtat de la seva silueta estructural.

Anomenem aquestes variacions per casos (fig. 10.55), que es troben en un punt lliscant a la segona pantalla gràfica, amb la següent relació amb les figures.

Cas 1: Pol O1. Cable portador. Referència	Cas 1. Fig. 10.45
Cas 2: Pol O2. Cable portador. Concavitat plana	Cas 2. Fig. 10.46
Cas 3: Pol O3. Cable portador. Concavitat corba	Cas 3. Fig. 10.47
Cas 4: Pol O4. Cable portador. Genèric	Cas 4. Fig. 10.48
Cas 5: Pol O5. Cable portador. Ancoratge dret. Superior	Cas 5. Fig. 10.49
Cas 6: Pol O6. Cable portador. Ancoratge dret. Inferior	Cas 6. Fig. 10.50
Cas 7: Pol O7. Cable portador. Ancoratge dret. Genèric	Cas 7. Fig. 10.51
Cas 8: Pol O1. Suprimir tirants exteriors	Cas 8. Fig. 10.52
Cas 9: Pol O1. Suprimir tirants interiors	Cas 9. Fig. 10.53
Cas 10: Pol O1. Suprimir tirants exteriors i interiors	Cas 10. Fig. 10.54

Fig. 10.55

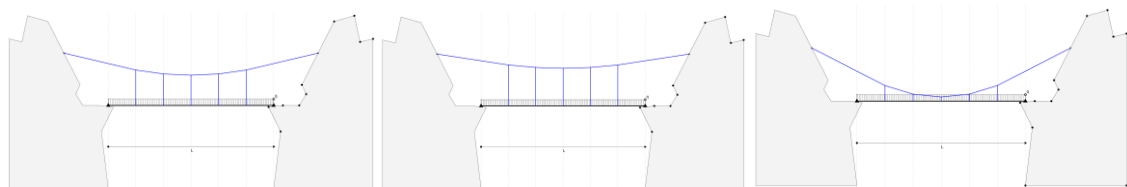


Fig. 10.45

Fig. 10.46

Fig. 10.47

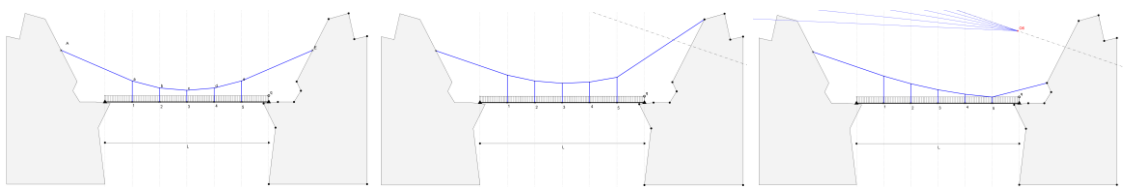


Fig. 10.48

Fig. 10.49

Fig. 10.50

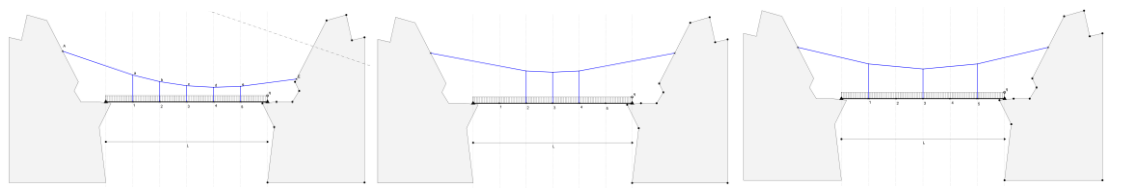


Fig. 10.51

Fig. 10.52

Fig. 10.53

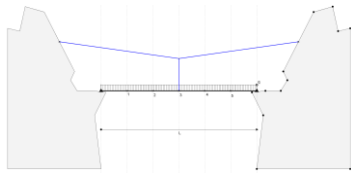


Fig. 10.54

Cas...	$\Sigma FL(kNm)$ ...	k
1...	5617.44.....	1
2...	8397.18.....	1.49
3...	2837.69.....	0.51
4...	3283.09.....	0.58
5...	4667.48.....	0.83
6...	8234.99.....	1.47
7...	5214.08.....	0.93
8...	5519.23.....	0.98
9...	5617.44.....	1
10...	5421.03.....	0.97

L'estudi d'eficiència estructural es fa utilitzant la fórmula de Beghini (2014), que relaciona la llum de les barres  $L_i$  amb la força a què estan sotmeses  $F_i$ , de la següent manera  $\sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i$  (kNm). Això s'ha fet amb els 10 cassos aquí contemplats.

Encara que la llum i càrrega del pont poden determinar-se amb l'ajuda de punts mòbils, també es pot fer el mateix mitjançant l'escala de longituds i càrregues controlades per punts lliscants. Es realitza primerament un estudi fent constant la llum i la càrrega. Llum  $L=25$  m Càrrega  $q=3$  kN/m i, lògicament, sense que la silueta de la muntanya canvi. Els resultats, segons la fórmula de Beghini i amb coeficients, es troben a la fig. 10.56.

Fig. 10.56

Comentem aquests resultats:

.a. El Cas 1 es pren com a referència. Els ancoratges del cable portador es troben en el punt mig de la superfície plana que presenta la muntanya. Sembla el més raonable. El pol O1 del polígon funicular de forces està col·locat en una línia horitzontal de simetria amb referència a la col·locació de les forces. El seu valor de  $\sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i = 5617.44$  kNm i el seu coeficient  $k=1$ .

.b. Els cassos 2 i 3 tenen els pols O2 i O3, respectivament, del polígon de forces. Es troben a la mateixa línia horitzontal on es troba el pol O1. El primer proporciona al polígon funicular de les formes, és a dir al cable portador, una concavitat plana i el segon una concavitat corba. El pol O1 es troba en el punt mig entre els pols O2 i O3. Els ancoratges a la muntanya no canvien amb referència al Cas 1. La primera conclusió amb referència a la silueta del cable portador és que **les concavitats corbes són més eficients (0.51) que les planes (1.49)**.

.c. El Cas 4 es genèric. El pol O4 es pot moure sobre la línia horitzontal on es troben els pols fixos O1, O2 i O3. El valor k varia per a cada posició del pol O4. Per a cada posició, per tant, es tindrà un valor de l'eficàcia. Aquest cas s'ha creat perquè es pugui dimensionar el pont penjant. En conseqüència, es donen les longituds de les barres i les forces a cadascuna d'elles.

.d. El cassos 5 i 6 conserven la posició de l'ancoratge de l'esquerra com en el Cas 1, però en el de la dreta, el cable portador s'ancora en el punt més alt en el Cas 5, i el més baix en el Cas 6. Des de l'inici de les forces del polígon de forces es traça una línia amb la inclinació que es cregui convenient. Els pols O5 i O6 es troben en aquesta línia. S'observa que **la posició més alta de l'ancoratge és més eficient (0.83) que la part més baixa (1.47)**, qüestió segurament motivada perquè en el ancoratge més baix la concavitat és més plana que en el més alt.

.e. El Cas 7 es similar al Cas 4. Es genèric, i el seu pol mòbil O7 es mou en la mateixa línia que els pols O5 i O6 i dintre dels seus límits. El valor k varia per a cada posició del pol O7. Per a cada posició, per tant, es tindrà un valor de l'eficàcia. El cas s'ha creat perquè es pugui dimensionar el pont penjant. En conseqüència, es donen les longituds de les barres i les forces a cadascuna d'elles. Observi's que, per a certa posició del pol O7, l'ancoratge pot sortir fora de la influència de la muntanya. En aquest cas, el polígon funicular es desestabilitza i el cable portador deixa d'existir.

.f. En els casos 8, 9 i 10 les variacions estructurals en el pont penjant han consistit en la supressió d'alguns dels tirants, conservant el pol del Cas 1 de referència, O1. En el Cas 8, s'han suprimit els tirants exteriors (fig. 10.52), en el Cas 9 els tirants suprimitos han estat els dos interiors (fig. 10.53). En el Cas 10, únicament ha quedat el tirant del mig (fig. 10.54). En els tres casos el coeficient k ha estat menor o igual a 1. **Podem classificar aquests tres casos com a eficients.** Observi's que el coeficient k del Cas 9 coincideix amb el de referència  $k=1$ . Però en els tres casos las alteracions de llums en el tauler són evidents i això no es contempla amb el mètode de Beghini d'avaluació de la eficiència. Per tant, creiem que **el Cas 1 és més eficient que el conjunt de casos 8, 9 i 10.**

.g. Quan la llum varia, per exemple,  $L=50$  m o/i la càrrega varia  $q=4.22$  kN/m, i els valors de k es modifiquen lleugerament. Són de ressaltar el Cas 3 i el 5, que han perdut eficiència, és a dir, **han invertit el criteri d'eficiència** amb referència al Cas 1. Els casos 2, 6, 8, 9 i 10 mantenen el seu valor d'eficiència.

Eficiència estructural	Cas.	$\Sigma FL(kNm)$	k
1	13484.24	1	1
2	18574.32	1.38	
3	14585.08	1.08	
4	13457.32	1	
5	14020.96	1.04	
6	17902.94	1.33	
7	20307.19	1.51	
8	12462.3	0.92	
9	13290.59	0.99	
10	11869.61	0.88	

Fig. 10.57

Amb la intenció d'acotar amb més precisió l'eficàcia estructural, s'ha construït el següent gràfic (fig. 10.58).

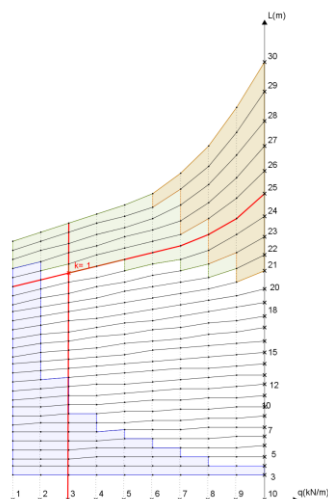


Fig. 10.58

.S'adopta com a referència el Cas 1, amb  $k=1$ . És el que té una càrrega  $q=3$  kN/m i una llum  $L=25$  m. Amb el pol O1 es calculen les eficiències k per càrregues, que varien de 1 a 10 kN/m, i llums entre 3 i 30 m. En el gràfic queden indicades de color vermell.

.L'ombregat de color blau correspon a casos en què la càrrega o/i la llum és petita. El cable portador adopta una forma gairebé lineal que no té sentit com a pont penjant.

.L'ombregat de color taronja defineix casos en què el cable portador passa per sota del tauler. Els tirants estarien subjectes a compressió, cosa que tampoc té sentit en el pont penjant.

.L'ombregat de color verd i taronja correspon a casos en què l'eficiència és major que la unitat  $k>1$ , és a dir, el pont deixa de ser eficient.

.La zona no ombrejada correspon als casos d'eficiència, és a dir,  $k<1$ . Les zones més baixes del gràfic són les més eficients. De aquesta manera, per exemple, és més eficient la combinació de  $L=7$  m i  $q=9$  kN/m amb  $k=0.28$ , que  $L=20$  m i  $q=6$  kN/m amb  $k=0.84$ . En el full de càlcul de l'aplicació es poden observar els valors de k.