

## 5.- Anàlisi de Resultats.

L'anàlisi d'aquests resultats està orientat a una interpretació estrictament elàstica dels resultats amb el que no es deixa marge a la redistribució d'esforços en plasticitat ni a la ductilitat de la ruptura. Per tant en el moment que els esforços de sol·licitació fruit de qualsevol hipòtesis, superi el valor de l'envolvent de disseny, interpretarem que aquella secció ha arribat al seu estat últim.

La consideració de comportaments plàstics és una excel·lent via d'investigació ja que en aquest cas podria ser determinat la consideració d'aquest processos en la mecànica de ruptura, malauradament és una línia de recerca que queda fora de l'àmbit d'aquesta tesina.

### 5.1. Resultats en el tauler amb secció llosa.

#### 5.1.1. Moment flector en el tauler

Els resultats i tot l'anàlisi s'ha efectuat sobre cada un dels dos nervis longitudinals per separat ja que el comportament de la secció està clarament marcat per la capacitat de resposta d'aquests elements.

El primer que hem d'analitzar és l'envolvent de disseny que recull els màxims i mínims esforços sobre cada secció i de forma qualitativa es mostra a continuació:

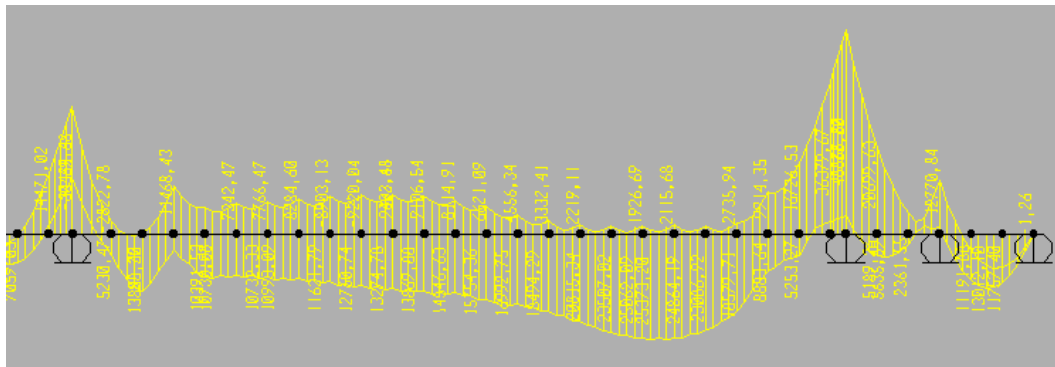


Figura 14: Envolvent de disseny del nervi esquerre del tauler amb secció llosa.  
(Font: Elaboració pròpia)

Per cada un dels nervis hem obtingut una envolvent de disseny diferent, tot i així els valors màxims entre els dos són els que hem fet servir per representar l'envolvent de disseny igual pels dos nervis. La diferència que es dona inicialment entre els dos nervis és degut a la existència de hipòtesis de sobrecàrrega excèntriques, però com l'excentricitat pot ser simètrica, els dos nervis han de dimensionar-se pels mateixos esforços màxims.



En la figura anterior es mostra l'envolvent del nervi esquerre ja que és el que rep directament cas de càrrega excèntrica,

En aquest cas tenim representats en la figura 17 uns moments en cada nervi degut a les sobrecàrregues totals de l'ordre de 25800 kNm en el cas de positius i de l'ordre de 8600 kNm en el cas de negatius en el tram de llum principal, deixant fora del anàlisi les seccions de recolzament.

Tot i així aquest resultat és molt genèric i ens aporta poca informació si no l'acompanya res més. El que és molt important és separar les fraccions de moment segons les càrregues i conèixer la part que li correspon a cada tipus de sobrecàrrega.

Les envolvents obtingudes sobre el nervi esquerre degut a les sobrecàrregues per separat es mostren en les següents figures:

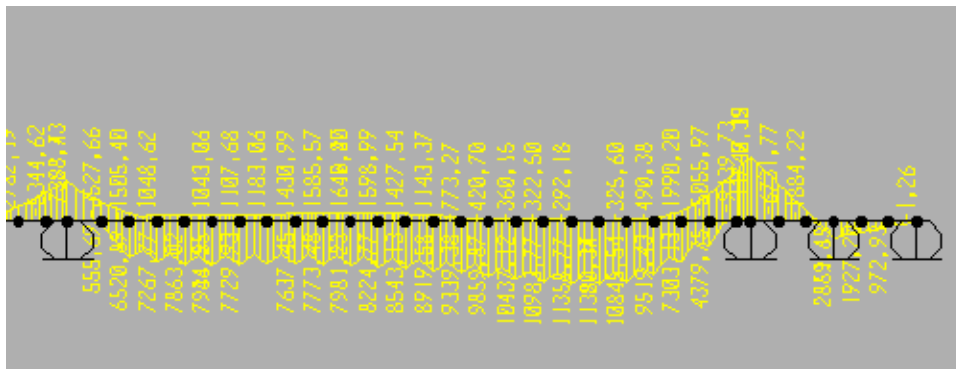


Figura 15: Envolvent de sobrecàrrega puntual de 1200 kN (Q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció llosa.(Font: Elaboració pròpia)

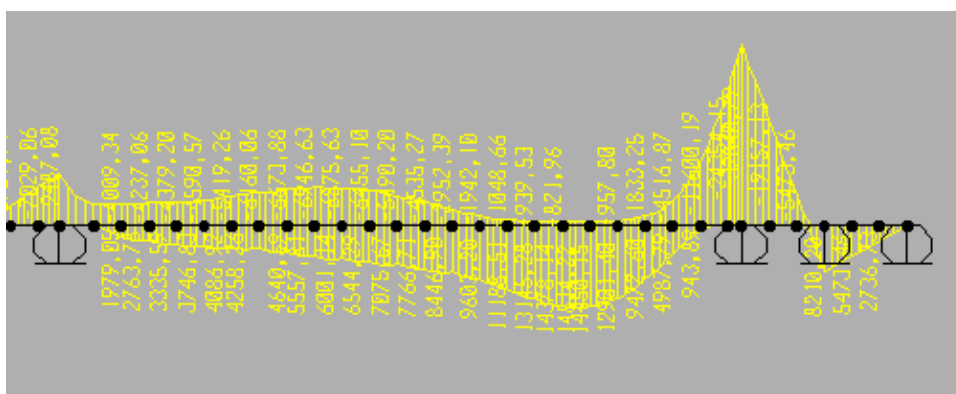


Figura 16: Envolvent de sobrecàrrega repartida de 4 kN/m<sup>2</sup> (q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció llosa.(Font: Elaboració pròpia)

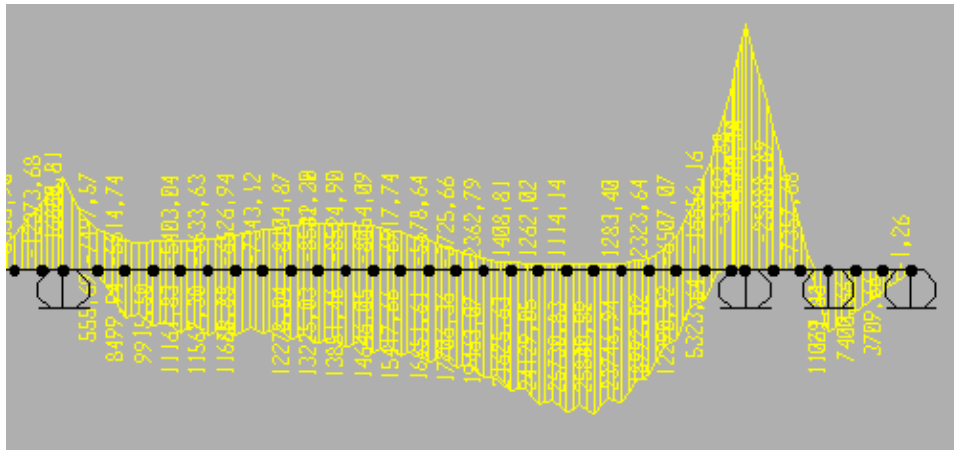


Figura 17: Envolvent de sobrecàrrega total (Q+q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció llosa.  
(Font: Elaboració pròpia)

De les figures anteriors en deduïm que sobre el total del moment flector positiu degut a sobrecàrregues, de l'ordre de 11500 kNm es corresponen als provocats pel pas del vehicle de 1200 kN definit per la norma [9].

D'aquesta informació en podem treure una dada important per saber en l'ordre de magnitud de les dimensions en que ens movem. Aquesta informació ens la dona la llum equivalent isostàtica del pont que es correspon a 37,8 metres en aquest cas amb secció llosa nervada.

Per arribar a obtenir l'envolvent de disseny que es mostra al inici hem de afegir-hi l'envolvent d'estat permanent que hem determinat tal i com s'explica a l'apartat 4.4.2.1. Així doncs l'envolvent de càrregues permanents te la forma següent:

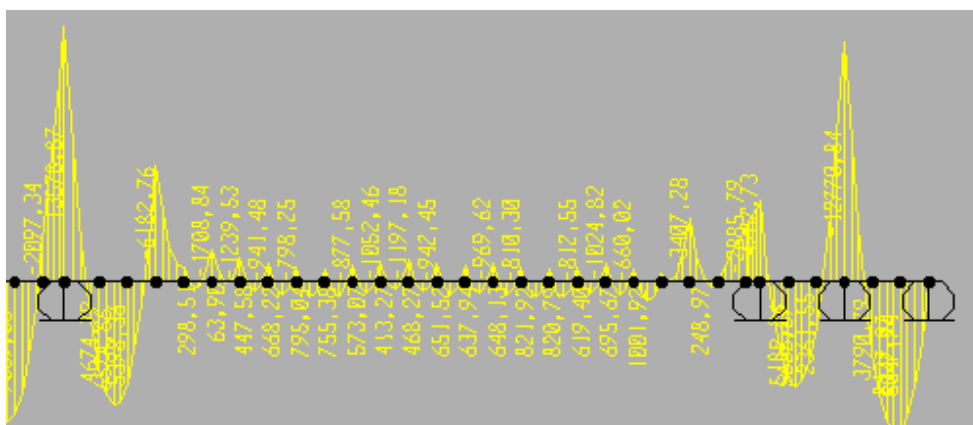


Figura 18: Envolvent de càrregues permanents sobre el nervi esquerre del tauler amb secció llosa.  
(Font: Elaboració pròpia)



Finalment, tenint en compte l'estat permanent i les diferents hipòtesis de sobrecàrrega obtenim l'envolvent de disseny de la que en resulten uns moments de disseny positius i negatius de l'ordre de 25000 kNm i 9300 kNm respectivament.

Es pot veure que el valor màxim de moments positius en l'envolvent de disseny és lleugerament inferior al que hem obtingut en cas de l'envolvent sobrecàrrega. Aquesta disminució és deguda al efecte oposat que exerceixen l'estat permanent i l'estat de sobrecàrrega.

Totes les envolvents dels diferents casos de càrrega es poden veure més detalladament en l'Annex 2.

Una vegada ja tenim l'envolvent de disseny que ens servirà de patró de comparació i ens farà de filtre per determinar aquelles seccions on es superi la resistència a flexió d'aquelles en que els esforços puguin ser resistits sense problema.

El control del moment en el tauler s'ha efectuat per tots els casos de ruptura: T3e, T3d, T11d, T11e, T12e, T12d, T16e, T16d i TR6d on la numeració indica la posició del tirant longitudinalment i la lletra (d/e) indica la situació transversal del tirant, ja sigui dreta o esquerra, així com per les quatre hipòtesis de càrrega que estan definides en l'apartat 4.4.3..Tots els resultat numèrics d'aquest control queden detallats en l'Annex 4.

A mode il·lustratiu comentarem els efectes que té sobre el tauler la ruptura del tirant T12e amb el que serà llavors fàcil d'interpretar la resta dels casos estudiats.

Pel cas del moment flector hem elaborat unes taules comparatives entre els esforços obtinguts en cada situació de ruptura i els valors numèrics l'envolvent de disseny que s'ha representat anteriorment en la figura 14.

De forma esquemàtica es representa en la figura 19 el marge existent entre els esforços de sol·licitació i la resposta. L'envolvent vermella té valors que superen l'envolvent de disseny i per tant no verifica seguretat, en canvi l'envolvent representada en verd és un cas que en cap secció es supera el valor de l'envolvent de disseny i per tant totes les seves seccions verifiquen la seguretat.

Aquesta diferència és el que a les taules designarem com a **"NO SEGUR"** i **"SEGURETAT"** per representar els valors que superen l'envolvent de disseny o no respectivament. Aquesta verificació es fa tant pels moments flexors positius com per els negatius en cada secció.

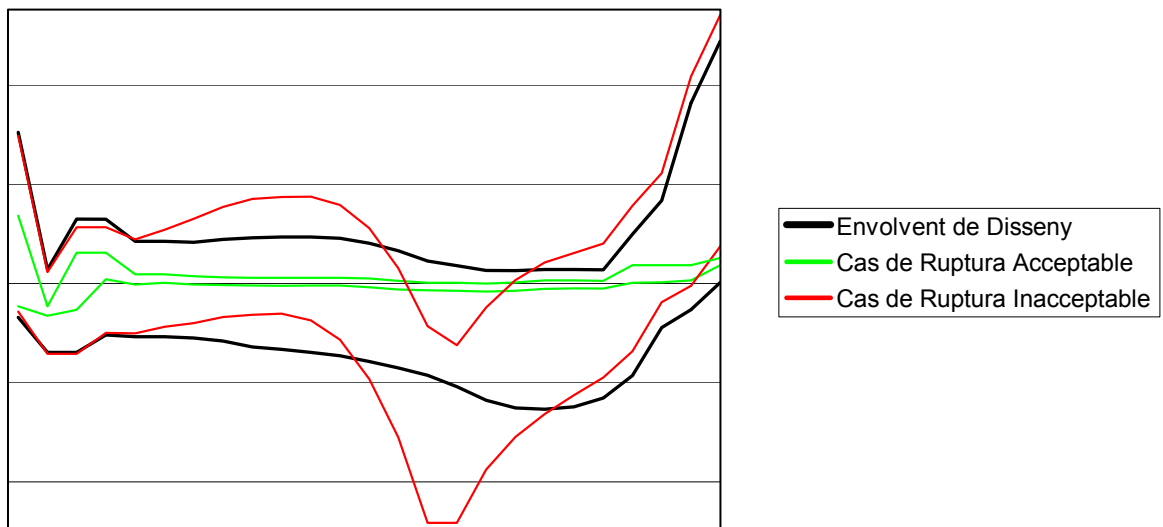


Figura 19: Esquema d'envolvent acceptables i no acceptables en el vànol principal del pont. Exemple corresponent a la ruptura del T12 en la secció llosa nervada. (Font: Elaboració pròpia.)

El primer efecte amb el que ens fixarem és la diferència de moments que agafen els dos nervis en produir-se la ruptura, en el cas que aquesta es produeixi en una situació de pont sense sobrecàrregues, que es correspon amb el cas definit com DINÀMIC CP . Aquesta situació podria donar-se per exemple degut a fortes ràfegues de vent que produïssin en l'estructura elevats esforços horitzontals.

Els resultats obtinguts son:

NERVI DRET	ENVDISS		DINÀMIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	6845,31	-30464,68	4541,86	-13736,67	SEGURETAT	SEGURETAT
515	13898,3	-2822,78	6450,1	4540,61	SEGURETAT	SEGURETAT
516	13888,72	-12981,56	5281,8	-6269,85	SEGURETAT	SEGURETAT
517	10391,53	-12962,54	-945,41	-6271,72	SEGURETAT	SEGURETAT
518	10730,08	-8482,63	53,45	-2022,03	SEGURETAT	SEGURETAT
519	10732,33	-8470,89	-329,93	-2023,35	SEGURETAT	SEGURETAT
520	10993,09	-8323,41	-102,08	-1712,76	SEGURETAT	SEGURETAT
521	11621,79	-8903,13	-3,71	-1565,46	SEGURETAT	SEGURETAT
522	12760,74	-9220,04	86,65	-1512,79	SEGURETAT	SEGURETAT
523	13274,78	-9393,61	142,35	-1410,94	SEGURETAT	SEGURETAT
524	13869,88	-9402,48	213,48	-1396,59	SEGURETAT	SEGURETAT
525	14546,63	-9106,54	459,78	-1233,58	SEGURETAT	SEGURETAT
526	15754,36	-8114,91	1024,91	-900,64	SEGURETAT	SEGURETAT
527	16992,75	-6621,09	1727,25	-103,09	SEGURETAT	SEGURETAT
528	18494,29	-4556,34	2121,08	498,81	SEGURETAT	SEGURETAT
529	20815,34	-3614,63	2318,29	671,04	SEGURETAT	SEGURETAT
530	23507,02	-2668,51	2426,94	879,11	SEGURETAT	SEGURETAT
531	25062,09	-2609,41	2162,22	366,68	SEGURETAT	SEGURETAT
532	25373,2	-2807,86	1576,82	-270,28	SEGURETAT	SEGURETAT



533	24864,19	-2823,25	1214,66	-358,68	SEGURETAT	SEGURETAT
534	23086,92	-2765,07	1066,89	-568,48	SEGURETAT	SEGURETAT
535	18579,71	-9914,35	-287,74	-4024,03	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8883,64	-16726,53	-778,09	-4032,53	SEGURETAT	SEGURETAT
537	5253,27	-36379,67	-1236,81	-4478,54	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-184,96	-48877,7	-4481,48	-6047,75	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 4: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi DINÀMIC CP.

(Font: Elaboració pròpia).

NERVI ESQU	ENVDISS		DINÀMIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	6845,31	-30464,68	5108,17	-12961,91	SEGURETAT	SEGURETAT
615	13898,3	-2822,78	6936,29	5109,42	SEGURETAT	SEGURETAT
616	13888,72	-12981,56	5688,62	-6048,71	SEGURETAT	SEGURETAT
617	10391,53	-12962,54	-1230,97	-6046,84	SEGURETAT	SEGURETAT
618	10730,08	-8482,63	-544,48	-3104,8	SEGURETAT	SEGURETAT
619	10732,33	-8470,89	-1960,76	-3894,21	SEGURETAT	SEGURETAT
620	10993,09	-8323,41	-2953,24	-5088,52	SEGURETAT	SEGURETAT
621	11621,79	-8903,13	-4222,94	-6431,42	SEGURETAT	SEGURETAT
622	12760,74	-9220,04	-5401,6	-7442,61	SEGURETAT	SEGURETAT
623	13274,78	-9393,61	-6147,83	-7919,68	SEGURETAT	SEGURETAT
624	13869,88	-9402,48	-5922,16	-7934,03	SEGURETAT	SEGURETAT
625	14546,63	-9106,54	-3528,13	-7005,5	SEGURETAT	SEGURETAT
626	15754,36	-8114,91	2330,49	-3929,49	SEGURETAT	SEGURETAT
627	16992,75	-6621,09	11740,48	2307,87	SEGURETAT	SEGURETAT
628	18494,29	-4556,34	24810,34	11723,1	NO SEGUR	SEGURETAT
629	20815,34	-3614,63	24806,49	13616,55	NO SEGUR	SEGURETAT
630	23507,02	-2668,51	13626,8	5852,37	SEGURETAT	SEGURETAT
631	25062,09	-2609,41	5869,39	392,44	SEGURETAT	SEGURETAT
632	25373,2	-2807,86	692,3	-3079,21	SEGURETAT	NO SEGUR
633	24864,19	-2823,25	-2258,52	-4531,91	SEGURETAT	NO SEGUR
634	23086,92	-2765,07	-3286,53	-5132,57	SEGURETAT	NO SEGUR
635	18579,71	-9914,35	-4786,54	-8398,42	SEGURETAT	SEGURETAT
636	8883,64	-16726,53	-4552,93	-8389,93	SEGURETAT	SEGURETAT
637	5253,27	-36379,67	-4806,57	-7490,45	SEGURETAT	SEGURETAT
638	-184,96	-48877,7	-7487,51	-8871,89	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 5: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi DINÀMIC CP.

(Font: Elaboració pròpia).

Aquí ja veiem el primer resultat sorprenent i és que en el nervi que està situat sota del tirant que es trenca, es superen en cinc seccions els esforços de disseny, en canvi en el nervi dret la ruptura d'un tirant de la banda esquerra gairebé no l'afecta i es pot veure com cap de les seves seccions s'apropa al moment de disseny.



Aquest fet ens permet concloure que des del punt de vista estrictament elàstic la secció no resistiria el trencament en una situació en buit, ja que el nervi esquerre col·lapsaria.

Seguirem doncs, veiem com evolucionaria. Ara és qüestió de veure com es quedaria el tauler una vegada els efectes dinàmics ja haguessin passat i s'hagués tornat a una situació estacionaria.

Estudiarem en primer lloc el resultat per càrregues permanents.

NERVI DRET	ENVDISS		ESTÀTIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	6845,31	-30464,68	4607,63	-13658,6	SEGURETAT	SEGURETAT
515	13898,3	-2822,78	6511,73	4606,99	SEGURETAT	SEGURETAT
516	13888,72	-12981,56	5339,47	-6226,76	SEGURETAT	SEGURETAT
517	10391,53	-12962,54	-858,78	-6227,71	SEGURETAT	SEGURETAT
518	10730,08	-8482,63	174,69	-1867,08	SEGURETAT	SEGURETAT
519	10732,33	-8470,89	-135,09	-1867,75	SEGURETAT	SEGURETAT
520	10993,09	-8323,41	169,86	-1478,64	SEGURETAT	SEGURETAT
521	11621,79	-8903,13	328,72	-1256,75	SEGURETAT	SEGURETAT
522	12760,74	-9220,04	437,12	-1159,28	SEGURETAT	SEGURETAT
523	13274,78	-9393,61	445,64	-1147,06	SEGURETAT	SEGURETAT
524	13869,88	-9402,48	391,38	-1153,59	SEGURETAT	SEGURETAT
525	14546,63	-9106,54	436,77	-1143,97	SEGURETAT	SEGURETAT
526	15754,36	-8114,91	749,52	-1047,35	SEGURETAT	SEGURETAT
527	16992,75	-6621,09	1195,04	-518,36	SEGURETAT	SEGURETAT
528	18494,29	-4556,34	1387,31	-158,94	SEGURETAT	SEGURETAT
529	20815,34	-3614,63	1491,99	-140,66	SEGURETAT	SEGURETAT
530	23507,02	-2668,51	1632,87	43,29	SEGURETAT	SEGURETAT
531	25062,09	-2609,41	1498,56	-216,73	SEGURETAT	SEGURETAT
532	25373,2	-2807,86	1103,14	-643,58	SEGURETAT	SEGURETAT
533	24864,19	-2823,25	957,89	-652,63	SEGURETAT	SEGURETAT
534	23086,92	-2765,07	1034,75	-515,46	SEGURETAT	SEGURETAT
535	18579,71	-9914,35	-149,08	-3718,9	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8883,64	-16726,53	-269,96	-3723,19	SEGURETAT	SEGURETAT
537	5253,27	-36379,67	-659,73	-3690,55	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-184,96	-48877,7	-3692,03	-5176,99	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 6: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi ESTÀTIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia).

NERVI ESQU	ENVDISS		ESTÀTIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	6845,31	-30464,68	4893,76	-13267,15	SEGURETAT	SEGURETAT
615	13898,3	-2822,78	6757,38	4894,39	SEGURETAT	SEGURETAT
616	13888,72	-12981,56	5545,02	-6115,03	SEGURETAT	SEGURETAT
617	10391,53	-12962,54	-1003,06	-6114,08	SEGURETAT	SEGURETAT
618	10730,08	-8482,63	-170,06	-2414,16	SEGURETAT	SEGURETAT



619	10732,33	-8470,89	-959,08	-2580,83	SEGURETAT	SEGURETAT
620	10993,09	-8323,41	-1270,72	-3036,81	SEGURETAT	SEGURETAT
621	11621,79	-8903,13	-1803,09	-3644,46	SEGURETAT	SEGURETAT
622	12760,74	-9220,04	-2335,87	-4100,75	SEGURETAT	SEGURETAT
623	13274,78	-9393,61	-2732,54	-4435,67	SEGURETAT	SEGURETAT
624	13869,88	-9402,48	-2708,71	-4442,92	SEGURETAT	SEGURETAT
625	14546,63	-9106,54	-1775,25	-4060,29	SEGURETAT	SEGURETAT
626	15754,36	-8114,91	1042,56	-2577,7	SEGURETAT	SEGURETAT
627	16992,75	-6621,09	5521,02	699,8	SEGURETAT	SEGURETAT
628	18494,29	-4556,34	12055,95	5512,24	SEGURETAT	SEGURETAT
629	20815,34	-3614,63	12054,01	6479,01	SEGURETAT	SEGURETAT
630	23507,02	-2668,51	6679,01	2649,22	SEGURETAT	SEGURETAT
631	25062,09	-2609,41	3096	-203,72	SEGURETAT	SEGURETAT
632	25373,2	-2807,86	492,25	-2062,82	SEGURETAT	SEGURETAT
633	24864,19	-2823,25	-796,97	-2616,33	SEGURETAT	SEGURETAT
634	23086,92	-2765,07	-1164,86	-2797,27	SEGURETAT	NO SEGUR
635	18579,71	-9914,35	-2422,15	-5929,1	SEGURETAT	SEGURETAT
636	8883,64	-16726,53	-2177,24	-5924,81	SEGURETAT	SEGURETAT
637	5253,27	-36379,67	-2463,38	-5212,34	SEGURETAT	SEGURETAT
638	-184,96	-48877,7	-5210,86	-6603,92	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 7: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi ESTÀTIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia).

En el cas hipotètic que el pont hagués resistit l'impacte dinàmic originat per la ruptura del tirant, cas DINÀMIC CP, veiem que la situació és gairebé de normalitat absoluta. Només quedaria fora dels paràmetres de seguretat una secció del nervi esquerre mentre que el nervi dret segueix en molt bones condicions.

Ara bé, què passaria si en aquestes circumstàncies hi passés per sobre la totalitat de la sobrecàrrega utilitzada en el dimensionament? El comportament seguiria sent acceptable?

Això és el que hem analitzat amb la hipòtesi ESTÀTIC SC que es refereix a fer passar el trànsit en una situació efectiva de tenir un tirant menys, ja que la ruptura s'ha produït en estat permanent. Els resultats obtinguts han estat:

NERVI DRET	ENVDISS		ESTÀTIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	6845,31	-30464,68	6778,08	-24593,32	SEGURETAT	SEGURETAT
515	13898,3	-2822,78	8455,17	-118,62	SEGURETAT	SEGURETAT
516	13888,72	-12981,56	7695,03	-13032,12	SEGURETAT	NO SEGUR
517	10391,53	-12962,54	5196,85	-13014,18	SEGURETAT	NO SEGUR
518	10730,08	-8482,63	6030,17	-8664,61	SEGURETAT	NO SEGUR
519	10732,33	-8470,89	6204,38	-8653,64	SEGURETAT	NO SEGUR
520	10993,09	-8323,41	6664,5	-8727,24	SEGURETAT	NO SEGUR
521	11621,79	-8903,13	7455,9	-9126,92	SEGURETAT	NO SEGUR
522	12760,74	-9220,04	8655,86	-9289,76	SEGURETAT	NO SEGUR
523	13274,78	-9393,61	9207,34	-9304,6	SEGURETAT	SEGURETAT
524	13869,88	-9402,48	9870,58	-9295,49	SEGURETAT	SEGURETAT





525	14546,63	-9106,54	10650,12	-8801,18	SEGURETAT	SEGURETAT
526	15754,36	-8114,91	11992,39	-7590,49	SEGURETAT	SEGURETAT
527	16992,75	-6621,09	13338,13	-5911,27	SEGURETAT	SEGURETAT
528	18494,29	-4556,34	14839,73	-3748,79	SEGURETAT	SEGURETAT
529	20815,34	-3614,63	16866,1	-2724,77	SEGURETAT	SEGURETAT
530	23507,02	-2668,51	19082,24	-1772,5	SEGURETAT	SEGURETAT
531	25062,09	-2609,41	20471,16	-1948,13	SEGURETAT	SEGURETAT
532	25373,2	-2807,86	20588,82	-2372,57	SEGURETAT	SEGURETAT
533	24864,19	-2823,25	19926,29	-2398,29	SEGURETAT	SEGURETAT
534	23086,92	-2765,07	17733,24	-2864,36	SEGURETAT	NO SEGUR
535	18579,71	-9914,35	13725,96	-9288,45	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8883,64	-16726,53	4990,82	-14489,67	SEGURETAT	SEGURETAT
537	5253,27	-36379,67	2575,74	-32195,22	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-184,96	-48877,7	-1036,29	-43395,89	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 8: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi ESTÀTIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).

NERVI ESQU	ENVDISS		ESTÀTIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	6845,31	-30464,68	5449,17	-30068,7	SEGURETAT	SEGURETAT
615	13898,3	-2822,78	14049,58	-2546,89	NO SEGUR	SEGURETAT
616	13888,72	-12981,56	14040,85	-11390,38	NO SEGUR	SEGURETAT
617	10391,53	-12962,54	10158,56	-11389,29	SEGURETAT	SEGURETAT
618	10730,08	-8482,63	10381,82	-8163,54	SEGURETAT	SEGURETAT
619	10732,33	-8470,89	9557,48	-9497,67	SEGURETAT	NO SEGUR
620	10993,09	-8323,41	9471,19	-11031,17	SEGURETAT	NO SEGUR
621	11621,79	-8903,13	8995,17	-12658,76	SEGURETAT	NO SEGUR
622	12760,74	-9220,04	9402,53	-13738,4	SEGURETAT	NO SEGUR
623	13274,78	-9393,61	9572,34	-13999,52	SEGURETAT	NO SEGUR
624	13869,88	-9402,48	10465,2	-14017,89	SEGURETAT	NO SEGUR
625	14546,63	-9106,54	12677,82	-12869,22	SEGURETAT	NO SEGUR
626	15754,36	-8114,91	17703	-9825,37	NO SEGUR	NO SEGUR
627	16992,75	-6621,09	24820,17	-4712,13	NO SEGUR	SEGURETAT
628	18494,29	-4556,34	35488,72	2367,43	NO SEGUR	SEGURETAT
629	20815,34	-3614,63	35487,23	5315,59	NO SEGUR	SEGURETAT
630	23507,02	-2668,51	30338,53	1602,47	NO SEGUR	SEGURETAT
631	25062,09	-2609,41	27727,18	-1271,72	NO SEGUR	SEGURETAT
632	25373,2	-2807,86	25708,87	-3269,18	NO SEGUR	NO SEGUR
633	24864,19	-2823,25	23553,64	-4258,96	SEGURETAT	NO SEGUR
634	23086,92	-2765,07	20850,49	-5707,73	SEGURETAT	NO SEGUR
635	18579,71	-9914,35	16007,2	-13207,95	SEGURETAT	NO SEGUR
636	8883,64	-16726,53	6241,58	-19873,41	SEGURETAT	NO SEGUR
637	5253,27	-36379,67	2838,92	-39431,85	SEGURETAT	NO SEGUR
638	-184,96	-48877,7	-5210,86	-51892,49	SEGURETAT	NO SEGUR

Taula 9: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi ESTÀTIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).



En aquest cas ja es veu que la situació començaria a ser més crítica tant pel propi nervi esquerre com també ho comença a ser més pel nervi dret. En el cas del nervi esquerre la ruptura del tauler començaria a generalitzar-se mentre que en el nervi dret les primeres seccions esgotarien.

Aquest resultat sorprèn menys ja que un pont amb un tirant menys alguna carència estructural ha de tenir, i amb l'aplicació de la sobrecàrrega aquest fenomen es posa ja de manifest.

No obstant cal dir que la situació d'estat permanent tampoc és tant dolenta com era d'esperar. Finalment veurem les conseqüències que tindria la ruptura del tirant en una situació de tenir la sobrecàrrega actuant en tot al pont, és a dir, en el cas de tenir el pont ple.

NERVI DRET	ENVDISS		DINÀMIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	6845,31	-30464,68	6712,32	-24671,39	SEGURETAT	SEGURETAT
515	13898,3	-2822,78	8393,55	-185	SEGURETAT	SEGURETAT
516	13888,72	-12981,56	7637,36	-13075,21	SEGURETAT	NO SEGUR
517	10391,53	-12962,54	5110,22	-13058,2	SEGURETAT	NO SEGUR
518	10730,08	-8482,63	5925,77	-8819,55	SEGURETAT	NO SEGUR
519	10732,33	-8470,89	5989,92	-8855,78	SEGURETAT	NO SEGUR
520	10993,09	-8323,41	6392,56	-9036,99	SEGURETAT	NO SEGUR
521	11621,79	-8903,13	7111,6	-9483,08	SEGURETAT	NO SEGUR
522	12760,74	-9220,04	8306,91	-9637,19	SEGURETAT	NO SEGUR
523	13274,78	-9393,61	8923,76	-9626,32	SEGURETAT	NO SEGUR
524	13869,88	-9402,48	9732,11	-9552,26	SEGURETAT	NO SEGUR
525	14546,63	-9106,54	10729,43	-8890,79	SEGURETAT	SEGURETAT
526	15754,36	-8114,91	12332,13	-7443,79	SEGURETAT	SEGURETAT
527	16992,75	-6621,09	13928,81	-5496	SEGURETAT	SEGURETAT
528	18494,29	-4556,34	15611,51	-3091,04	SEGURETAT	SEGURETAT
529	20815,34	-3614,63	17699,69	-1913,07	SEGURETAT	SEGURETAT
530	23507,02	-2668,51	19855,44	-936,68	SEGURETAT	SEGURETAT
531	25062,09	-2609,41	21094,7	-1364,71	SEGURETAT	SEGURETAT
532	25373,2	-2807,86	21112,68	-1999,27	SEGURETAT	SEGURETAT
533	24864,19	-2823,25	20236,89	-2132,97	SEGURETAT	SEGURETAT
534	23086,92	-2765,07	17874,79	-2941,63	SEGURETAT	NO SEGUR
535	18579,71	-9914,35	13642,8	-9593,58	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8883,64	-16726,53	4662,36	-15064,06	SEGURETAT	SEGURETAT
537	5253,27	-36379,67	1998,65	-32983,22	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-184,96	-48877,7	-1825,74	-44266,64	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 10: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi DINÀMIC SC.

(Font: Elaboració pròpia).

NERVI ESQU	ENVDISS		DINÀMIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	6845,31	-30464,68	5663,58	-29763,46	SEGURETAT	SEGURETAT
615	13898,3	-2822,78	14192,38	-2331,86	NO SEGUR	SEGURETAT



616	13888,72	-12981,56	14184,45	-11324,06	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
617	10391,53	-12962,54	9930,65	-11322,05	<b>SEGURETAT</b>	<b>SEGURETAT</b>
618	10730,08	-8482,63	10038,92	-8854,18	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
619	10732,33	-8470,89	8711,65	-10811,04	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
620	10993,09	-8323,41	7973,26	-13082,88	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
621	11621,79	-8903,13	6758,87	-15445,72	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
622	12760,74	-9220,04	6292,42	-17080,25	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
623	13274,78	-9393,61	6122,69	-17483,53	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
624	13869,88	-9402,48	7406,88	-17509	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
625	14546,63	-9106,54	11337,12	-15814,43	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
626	15754,36	-8114,91	19322,26	-11177,16	<b>NO SEGUR</b>	<b>NO SEGUR</b>
627	16992,75	-6621,09	31039,63	-3104,06	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
628	18494,29	-4556,34	48243,11	8578,29	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
629	20815,34	-3614,63	48239,71	12453,13	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
630	23507,02	-2668,51	37481,14	4805,62	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
631	25062,09	-2609,41	30938,75	-675,56	<b>NO SEGUR</b>	<b>SEGURETAT</b>
632	25373,2	-2807,86	26314,4	-4285,57	<b>NO SEGUR</b>	<b>NO SEGUR</b>
633	24864,19	-2823,25	22546,1	-6174,54	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
634	23086,92	-2765,07	18942,45	-8043,03	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
635	18579,71	-9914,35	13677,78	-15677,27	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
636	8883,64	-16726,53	3776,46	-22219,29	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
637	5253,27	-36379,67	495,73	-41709,96	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>
638	-184,96	-48877,7	-7487,51	-54160,46	<b>SEGURETAT</b>	<b>NO SEGUR</b>

Taula 11: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12e en la hipòtesi DINÀMIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).

El que s'observa és que el nervi esquerre ja col·lapsaria en la majoria de seccions mentre que el nervi dret, tot i tenir molts problemes, es manté millor.

Arribem doncs, a la conclusió que en tots els casos de ruptura d'un tirant davant es produeix l'esgotament seccional del tauler quan la ruptura es produeix en estat permanent de càrregues, tenint en compte els efectes dinàmics de la mateixa. Però el que sorprèn més encara és que en un hipotètic estat estacionari de càrrega permanent, en algun cas, les seccions també estarien sol·licitades per sobre de la seva capacitat última amb el que tindríem un possible col·lapse de l'estructura.

Cas de ruptura	Dinàmic CP	Estàtic CP
T3d	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
T3e	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
T11d	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
T11e	<b>NO verifica</b>	<b>NO verifica</b>
T12d	<b>NO verifica</b>	<b>NO verifica</b>
T12e	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
T16d	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
T16e	<b>NO verifica</b>	<b>SI verifica</b>
TR6d	<b>SI verifica</b>	<b>SI verifica</b>

Taula 12: Casos que resisteixen l'estat permanent.  
(Font: Elaboració pròpia).



Tot i així però, es veu que la ruptura d'un tirant de retenció (cas TR6d) té una implicació molt menor en el comportament del tauler, aspecte que és realment sorprenent i inesperat ja que els resultats diuen que la ruptura del tirant de retenció no implica el col·lapse del pont sota càrregues permanents i que en servei, és capaç de resistir certa sobrecàrrega d'ús.

És en base a aquest resultat obtingut que també s'ha obert l'objectiu d'intentar determinar el percentatge de sobrecàrrega possible de passar-hi sense arribar a l'esgotament de la secció.

En el cas de la secció llosa s'ha arribat a la determinació que es mostra de manera esquemàtica en les taules 13 i 14.

El mètode de verificació ha estat el mateix que s'ha fet servir i ja s'ha explicat pel cas de les diferents hipòtesis de ruptura dels tirants, és a dir, comparant els esforços que ens dóna el SAP amb els moments de disseny.

Tots els valors de les diferents combinacions es poden veure quantificats en l'Annex 6 amb més detall.

% de sc	0,25q	0,5q	0,75q	q
0,25Q	☐	☐	☐	☐
0,5Q	☐	☐	☐	☐
Q	☐	☐	☐	✗

Taula 13: Percentatge de sc que pot passar si la ruptura del TR6d es produeix en estat permanent.  
(Font: Elaboració pròpia).

% de sc	0,25q	0,5q	0,75q	q
0,25Q	☐	☐	☐	☐
0,5Q	☐	☐	☐	✗
Q	☐	☐	✗	✗

Taula 14: Percentatge de sc que pot passar si la ruptura del TR6d es produeix de forma concomitant amb el pas de la sobrecàrrega.  
(Font: Elaboració pròpia).

El que podem garantir és que si la ruptura del TR6d es produeix en condicions d'estat permanent, no hi haurà cap problema per la seguretat del pont ja sigui en el propi estat permanent o ja siguin el cas de passar-hi la part de sobrecàrrega que sigui.

Per l'altre costat, si la ruptura es produís mentre hi discórrer la sobrecàrrega no passaria res sempre que comptant amb tota la part corresponent als dos vehicles tipus (Q), no es superés el 75% de la càrrega repartida (q) màxima o, si hi passés la totalitat de la càrrega puntual, la sobrecàrrega s'hauria de limitar al 25%.



Per acabar és necessari remarcar una conseqüència molt interessant i és, que la única situació sostenible o que com a mínim representa més seguretat, en la secció de llosa nevada és, contra tota intuïció, la ruptura d'un dels tirants de retenció, resultat realment sorprenent.

### **5.1.2. Axil en els tirants**

Per analitzar els tirants, el criteri de comparació no és amb els esforços obtinguts de l'envolvent de disseny sinó que en deduïm la resistència de les seccions comparant l'axil obtingut en les mateixes hipòtesis de ruptura i de càrregues que en el cas del tauler, amb les tensions últimes i admissibles permeses per aquest tipus d'element estructural.

Així interpretarem que un cable esgota quan l'axil que el sol·licita supera l'axil últim obtingut en funció de l'àrea d'acer i del seu límit elàstic.

Els resultats obtinguts han estat molt interessants i sobretot sorprenents ja que s'esperava certa redistribució entre els tirants restants després d'una ruptura. El que realment hem observat és que la tensió dels tirants intactes augmenta mínimament quedant encara molt lluny de les tensions de ruptura. Diem encara ja que les tensions admissibles en els tirants es restringeixen per sota de 45% de les tensions de ruptura.

De tota manera, les tensions en certes ocasions ni arriben a superar la tensió admissible corresponent a cada tirant en els més pròxims al tirant trencat. Això és el que realment sorprèn ja que estem dient que en cas de la ruptura d'un dels tirants l'únic efecte que produiria sobre els altres seria, en cas de prolongar-se aquesta situació, efectes de relaxació i a més de valor mínim sobre alguns dels tirants restants.

Com a exemple del que acabem d'exposar i com a mostra dels resultats obtinguts, tornarem a comentar el cas de la ruptura del tirant T12e.

Primerament veiem com es comporten els tirants del mateix costat quan es produeix la ruptura del T12e.

En la figura 20 la limitació per l'òptim funcionament dels tirants ve marcada pels valors de  $N_{adm}$  que es corresponen als axils pels que la tensió en l'acer del tirant és igual a  $0,45f_u$ . A la figura també hi podem veure, a nivell informatiu, les envolvents de càrregues permanents (ENV CP) i les de l'estat de servei (ENV SC), que evidentment queden per sota del límit de l'axil admissible.

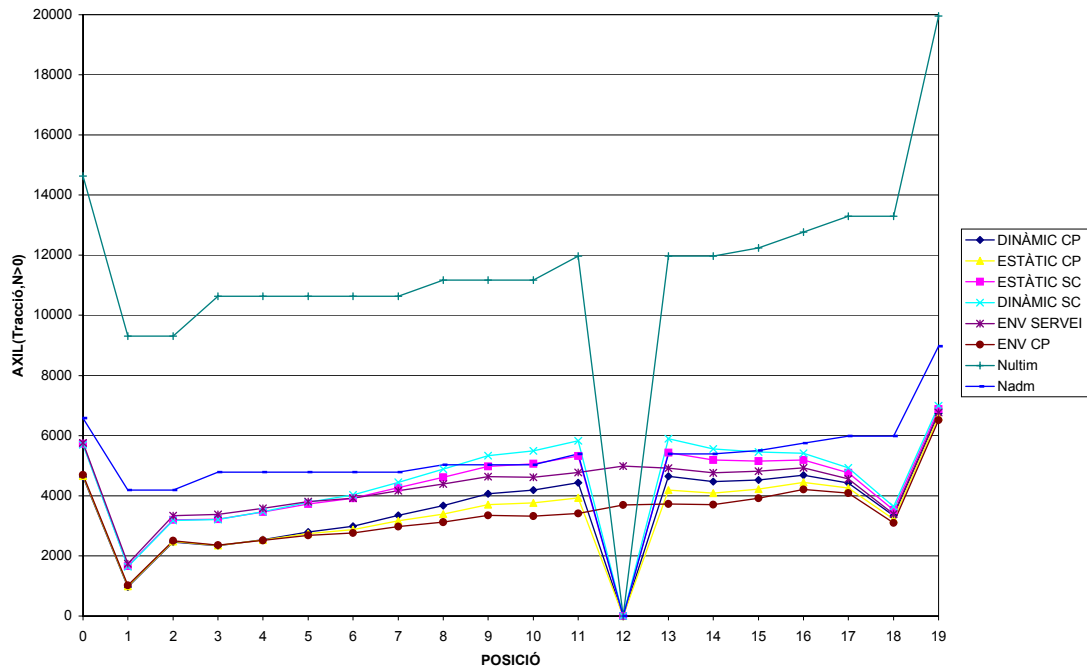


Figura 20: Axils que apareixen en la resta de tirants davanters del marge esquerre en produir-se la ruptura del T12e. (Font: Elaboració pròpia).

Analitzant ja la situació que representa la ruptura del T12e pels tirants, veiem que, com ha de ser, l'axil en el tirant T12e passa automàticament a valor nul.

Seguint l'ordre emprat per analitzar el tauler veiem en aquest cas que la hipòtesi DINÀMIC CP, de ruptura en buit en estat permanent, produeix un increment de tensió en els tirants però ni tan sols arriben a tenir la càrrega que tindrien en una situació de normalitat amb tota la sobrecàrrega actuant, que correspon a l'envolvent de sobrecàrrega.

En el cas ESTÀTIC CP, les condicions són evidentment millors que en l'anterior i només veiem un petit augment de l'axil en els tirants pròxims. Tant en el cas dinàmic com en l'estàtic l'efecte de la ruptura en estat permanent es va esmorteïnt a mesura que ens allunyem del tirant trencat i veiem que pel cas de càrrega permanent afecta a 6 tirants a banda i banda del que es trenca.

Si en aquesta situació de ruptura en buit li fem discórrer la sobrecàrrega, cas que hem anomenat ESTÀTIC SC, els axils en els tirants més propers com el T10e, el T11e i el T12e superen mínimament l'axil admissible. Aquesta sobretensió es de com a màxim del 3% cosa que evidentment no representa cap problema per la seguretat dels tirants.

Finalment veiem que si la ruptura es produís en servei, hipòtesi DINÀMIC SC, estaríem en una situació similar a l'estàtica amb sobrecàrrega amb l'única diferència que ara sobrepassaríem l'axil admissible en un 11%. Tot i ser més elevat que el cas anterior, l'increment segueix sent menyspreable ja que ens situaríem tot just a la vora del 55% de la capacitat última del tirant, a més a més hem de tenir en compte que es tractaria d'una situació transitòria.



Tot aquest raonament de tranquil·litat pel que fa als tirants, es traduiria en una situació de seguretat global en cas que el tauler també respongués positivament i resistís. Aquesta situació, com ja hem dit, succeeix en el cas de produir-se la ruptura del tirant de retenció TR6d. Els resultats de la resta de casos queden recollits a l'Annex 5.

Anem a veure què és el que els succeeix als tirants que es troben en marge contrari al que s'hi ha produït la ruptura. Aquest comportament queda representat a la figura 21.

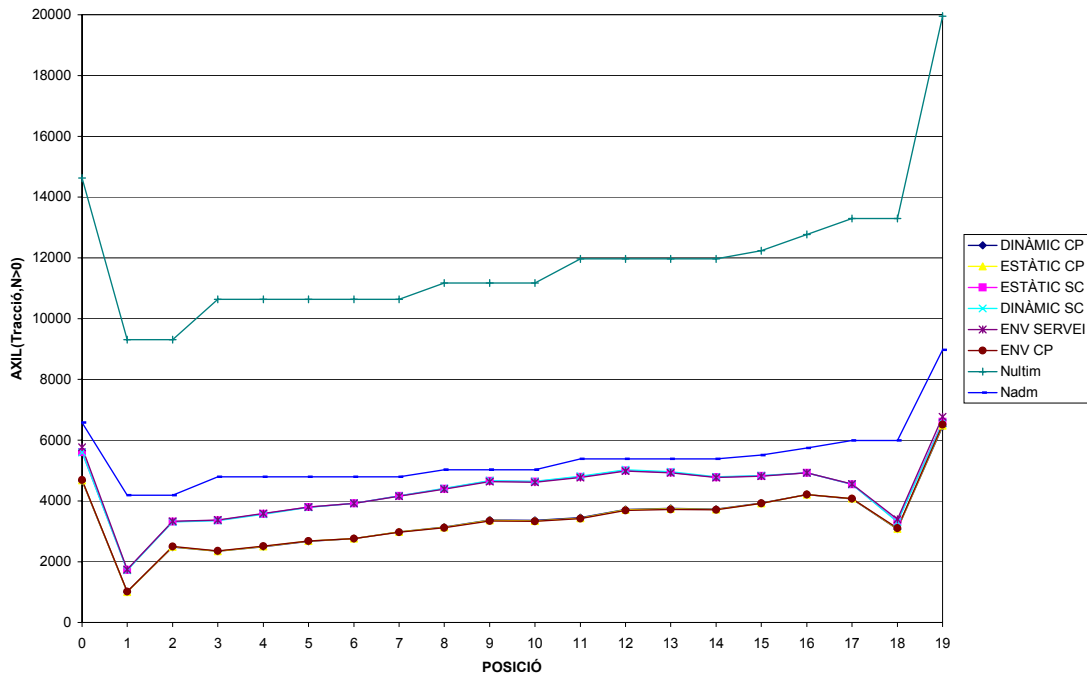


Figura 21: Axils que apareixen en els tirants davanters del marge dret en produir-se la ruptura del T12e. (Font: Elaboració pròpia).

La situació que es produeix és realment sorprenent ja que aquests tirants pràcticament ni se n'adonen que en un moment determinat se'n perd un.

A més a més podem apreciar una molt petita redistribució d'esforços ja que en estat de sobrecàrrega aquest tirants no només no es carreguen més sinó que poden arribar a descarregar-se de l'ordre del 2%. És una dada insignificant però ens reflecteix l'elevat grau d'hiperestatisme d'aquest tipus d'estructura i per tant la redistribució entre els tirants és molt major que en el tauler.

Aquest comportament tant diferenciat en els tirants és degut a l'elevada rigidesa que donen els diafragmes i la poca rigidesa a torsió dels nervis longitudinals provoquen un gir de sòlid rígid en la direcció transversal cosa que impedeix que es carreguin més els tirants contraris.



Un efecte similar succeeix en els tirants de retenció que també són molt poc susceptibles a l'hora de detectar la ruptura d'algun dels tirants davanters, tal com podem veure en l'exemple dels tirants de retenció del marge esquerre:

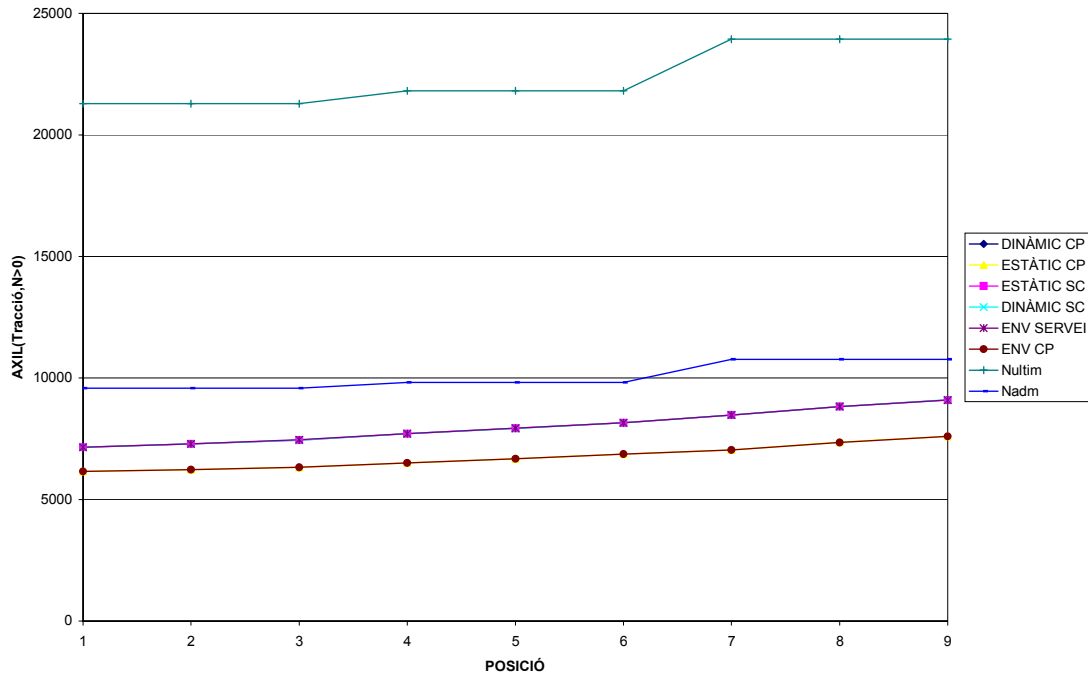


Figura 22: Axils que apareixen en els tirants de retenció marge esquerre en produir-se la ruptura del T12e. (Font: Elaboració pròpia).

En aquest cas de manera equivalent amb els tirants del marge contrari, els tirants de retenció es veuen ridículament destesats degut a que al produir-se la ruptura hi ha un efecte similar a que la torre es recolza més sobre els tirants de retenció i és per això que s'hi redueix la tensió.

Tots els resultats de les diferents hipòtesis per les ruptures dels tirants T3e, T11e, el T12e, el T16e i el TR6d es mostren en l'Annex 5.

Així doncs, aquests resultats ens porten a concloure que pel fa als tirants, la ruptura d'un d'ells no representa cap tipus de perill estructural sobre els altres i per tant, si analitzem de forma aïllada el sistema d'atirament sota la ruptura d'un d'ells, podrien seguir suportant la totalitat de la sobrecàrrega sense més conseqüència que una petita pèrdua d'eficàcia en aquells tirants que estiguessin sotmesos de forma permanent a tensions superiors a l'admissible, que recordem, no plantegen cap problema a nivell de seguretat en el seu ús.

La resistència i seguretat global queda subordinada al comportament del tauler.





### 5.1.3. Deformabilitat en el tauler

Pel que fa a les deformacions en els diferents casos de ruptura i per les diferents hipòtesis de càrrega, obtenim els valors de moviment vertical màxim que es reflecteix a la taula 15.

	DINÀMIC CP	ESTÀTIC CP	ESTÀTIC SC	DINÀMIC SC
<b>T3e</b>	0,1045	0,0501	0,5893	0,5843
<b>T11e</b>	0,2126	0,1066	0,7152	0,8186
<b>T12e</b>	0,2204	0,1145	0,7349	0,8343
<b>T16e</b>	0,0836	0,0462	0,6356	0,6724
<b>TR6d</b>	0,0963	0,0490	0,6409	0,6882

Taula 15: Fletxes màximes en el vànol principal en el tauler de secció llosa nervada en diferents hipòtesis de càrrega. Unitats en metres.  
(Font: Elaboració pròpia).

Veiem que en alguna situació la deformació és molt important però és de suposar que no seria un problema en cas de tractar-se d'una situació eventual i tenint en compte la gran llum del vànol, la relació  $L/\delta$  segueix sent acceptable per deformacions.

En estat de servei en condicions normals les deformacions obtingudes són:

ESTAT CP	ESTAT SC	ESTAT SERVEI
0,0064	0,41415	0,4202

Taula 16: Fletxes màximes en el vànol principal en el tauler de secció llosa nervada. Unitats en metres.  
(Font: Elaboració pròpia).

Comparativament veiem que el tauler es deforma de manera considerable responnent així a la seva condició de tauler flexible.

Pel que fa referència als tirants seria bo conèixer quins són aquells que en uns situació de ruptura produeixen majors deformacions:

- En estat permanent: són els tirants intermitjos que provoquen una deformació de l'ordre del doble de la que originaria un tirant proper a la torre o un tirant dels de major longitud.
- En estat de servei: tornen a ser els tirants intermitjos tot i que la deformació no arriba a doblar-se.



## 5.2. Resultats en el tauler amb secció calaix.

En aquest cas el comportament es seguirà estudiant separatament per a cada nervi, tot i que la resposta real no es tan equivalent com en el cas de la llosa sinó que en aquest cas de secció calaix, els esforços sobre la secció serien en una primera aproximació, la suma dels dos nervis.

Recordar també que ara estem davant d'un sistema de tirants central format per dos plans paral·lels de tirants, per tant també estudiarem el cas en que una secció perdi un tirant (casos T#P), o el cas en que es perdi la parella de tirants(casos T#T).

### 5.2.1. Moment flector en el tauler

Seguint el mateix procediment que hem fet servir per estudiar el cas de la llosa nervada, estudiarem el cas de la secció calaix. A la figura 22 podem veure l'envolvent de disseny utilitzada durant tot el procés d'anàlisi d'aquesta secció.

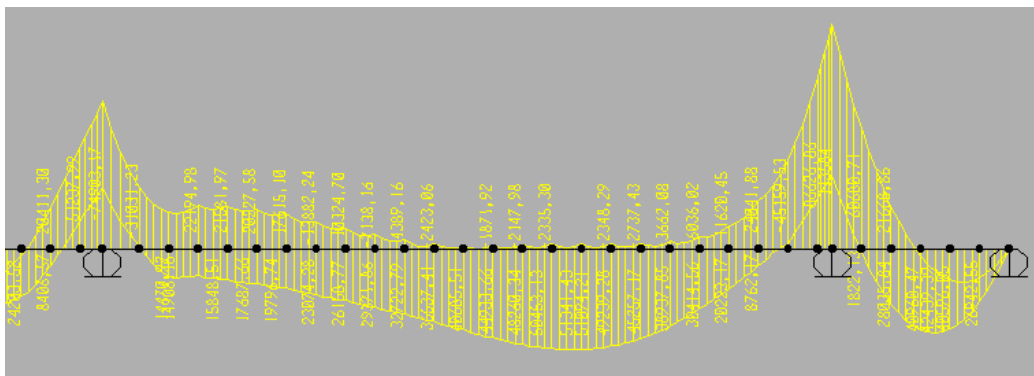


Figura 23: Envolvent de disseny del nervi esquerre del tauler amb secció calaix.

En el cas de la secció calaix seguirem analitzant només el nervi esquerre ja que segueix sent el més carregat, tot i que en aquest cas la diferència no és tant notable com en el cas de la llosa nervada.

Aquesta diferència entre la resposta d'una secció i l'altra, radica en que l'excentricitat de la càrrega influeix en menor importància. Per quantificar la desigualtat podem dir que el nervi més carregat ho és en un 4,5% mentre que en el cas de la llosa la diferència arribava al 29,6%. Per tant seguirem referint-nos al nervi esquerre per mantenir el criteri.

En aquesta secció ens trobem amb uns moments màxims i mínims de disseny de 51500 kNm i -22200 kNm respectivament en el tram de tauler comprès en la llum principal, molt superiors als obtinguts en la llosa nervada. Això ja ens indica que el tauler es carrega molt més en el cas de la secció calaix que en el cas de la llosa nervada resultat que ja esperàvem.



Pel que fa al moment corresponent a la sobrecàrrega puntual de 1200 kN donen uns valors de moment en el tauler lleugerament superiors respecte el cas anterior de 11535 kNm que donen lloc a una llum isostàtica equivalent de 38,45 metres.

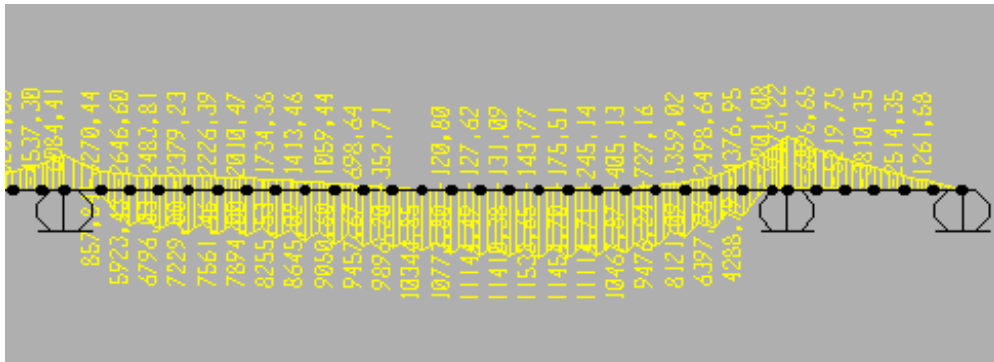


Figura 24: Envolvent de sobrecàrrega puntual de 1200 kN (Q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció calaix. (Font: Elaboració pròpia)

Pel que fa als esforços sobre el tauler deguts a la sobrecàrrega uniforme i la hipòtesi de sobrecàrrega total, podem veure'n les envoltants en les figures 25 i 26 que mostrem a continuació:

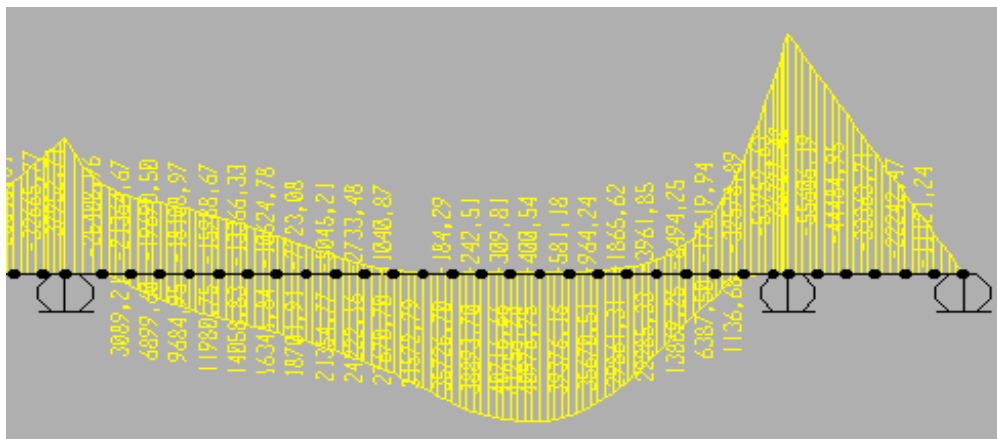


Figura 25: Envolvent de sobrecàrrega repartida de 4 kN/m<sup>2</sup> (q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció calaix. (Obs: l'escala és diferent) (Font: Elaboració pròpia)

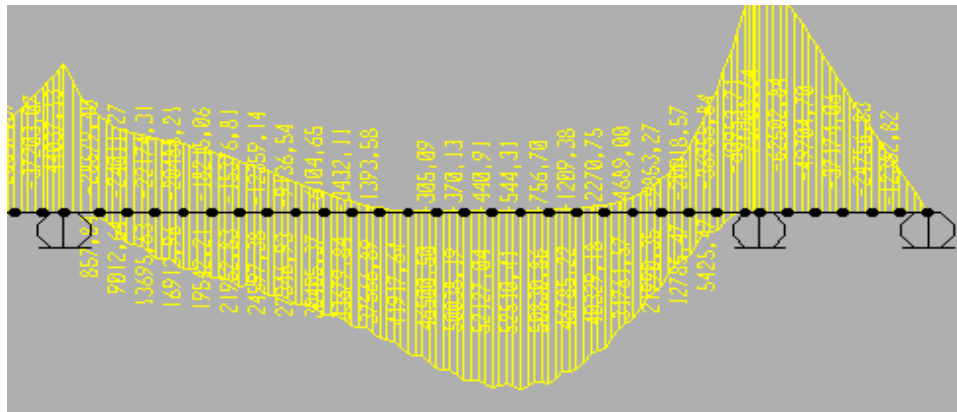


Figura 26: Envolvent de sobrecàrrega total (Q+q) sobre el nervi esquerre del tauler amb secció calaix. (Obs: l'escala és diferent)  
(Font: Elaboració pròpia)

Per arribar a l'envolvent que representi les condicions de disseny i ens torni a servir com a filtre de definició de seguretat, hi hem d'afegir la situació de càrregues permanents com són el pes propi, les càrregues mortes i les forces de tesat.

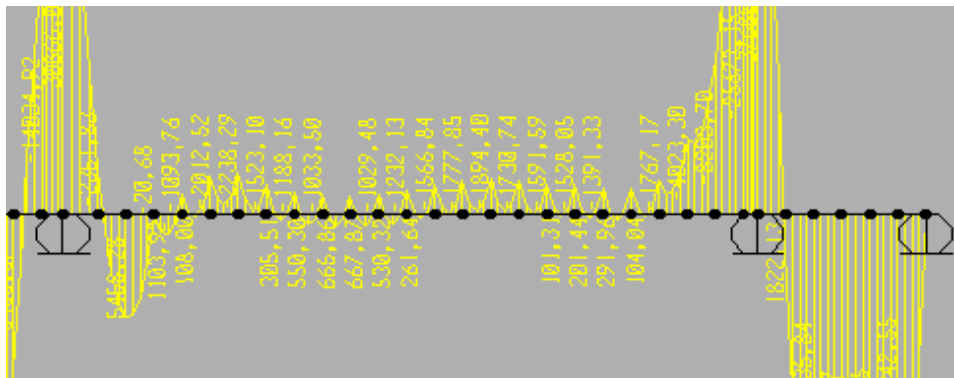


Figura 27: Envolvent de càrregues permanents sobre el nervi esquerre del tauler amb secció calaix.(Obs: l'escala és diferent)  
(Font: Elaboració pròpia)

En aquest cas el que es desenvoluparà íntegrament és el de la ruptura d'un dels dos tirants corresponents a la parella T12, donant lloc al cas T12P.

Tot i així, cal recordar que els casos analitzats han estat la ruptura d'un o dels dos tirants de les parelles T3, T11, T12,T16 i el tirant TR6d. De la mateixa manera que en el cas de la llosa nervada els resultats obtinguts en la resta de simulacions de ruptura apareixen en l'Annex 4.

El primer cas que veurem és de la ruptura en estat permanent, cas DINÀMIC CP, que es tracta del cas menys desfavorable. Si, a més a més no col·lapsa, més tard podrem fer-hi passar la sobrecàrrega.



NERVI DRET	ENVDISS		DINÀMIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	-1702,74	-74903,17	-3973,09	-30719,83	SEGURETAT	SEGURETAT
515	14470,92	-31031,23	2425,37	-3973,09	SEGURETAT	SEGURETAT
516	14906,16	-22194,98	2425,37	-4465,25	SEGURETAT	SEGURETAT
517	15848,51	-22194,98	-3790,65	-6750,24	SEGURETAT	SEGURETAT
518	17687,66	-21581,97	-5949,34	-8530,02	SEGURETAT	SEGURETAT
519	19796,74	-20227,58	-7186,46	-9165,16	SEGURETAT	SEGURETAT
520	23074,28	-17615,1	-7075,62	-9165,16	SEGURETAT	SEGURETAT
521	26158,77	-13882,24	-6087,27	-8308,34	SEGURETAT	SEGURETAT
522	29371,86	-10324,95	-4694,43	-7188,48	SEGURETAT	SEGURETAT
523	32722,79	-7138,63	-2494,47	-5524,22	SEGURETAT	SEGURETAT
524	36537,41	-4389,69	484,2	-3145,69	SEGURETAT	SEGURETAT
525	40685,51	-2423,61	4306,09	33,03	SEGURETAT	SEGURETAT
526	44933,66	-1872,1	8996,7	4069,31	SEGURETAT	SEGURETAT
527	48260,34	-2148,02	15007,44	8978,01	SEGURETAT	SEGURETAT
528	50453,13	-2335,3	22094,48	15007,44	SEGURETAT	SEGURETAT
529	51341,43	-2335,3	22094,48	16034,46	SEGURETAT	SEGURETAT
530	51094,21	-2348,29	16034,46	10797,49	SEGURETAT	SEGURETAT
531	49239,28	-2737,43	10896,74	6211,08	SEGURETAT	SEGURETAT
532	45257,17	-3662,08	6486,9	2330,99	SEGURETAT	SEGURETAT
533	38937,85	-6036,02	2713,8	-1121,18	SEGURETAT	SEGURETAT
534	30414,56	-11620,45	-749,2	-4616,66	SEGURETAT	SEGURETAT
535	20223,17	-24041,88	-4616,66	-9610,99	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8762,17	-45159,53	-9610,99	-16261,13	SEGURETAT	SEGURETAT
537	-4463,14	-86626,86	-16261,13	-36200,33	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-25673,15	-113584,29	-36200,33	-49437,62	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 17: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi DINÀMIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia)

NERVI ESQU	ENVDISS		DINÀMIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	-1702,74	-74903,17	-3973,09	-30719,83	SEGURETAT	SEGURETAT
615	14470,92	-31031,23	2425,37	-3973,09	SEGURETAT	SEGURETAT
616	14906,16	-22194,98	2425,37	-4465,25	SEGURETAT	SEGURETAT
617	15848,51	-22194,98	-3790,65	-6750,24	SEGURETAT	SEGURETAT
618	17687,66	-21581,97	-5949,34	-8530,02	SEGURETAT	SEGURETAT
619	19796,74	-20227,58	-7186,46	-9165,16	SEGURETAT	SEGURETAT
620	23074,28	-17615,1	-7075,62	-9165,16	SEGURETAT	SEGURETAT
621	26158,77	-13882,24	-6087,27	-8308,34	SEGURETAT	SEGURETAT
622	29371,86	-10324,95	-4694,43	-7188,48	SEGURETAT	SEGURETAT
623	32722,79	-7138,63	-2494,47	-5524,22	SEGURETAT	SEGURETAT
624	36537,41	-4389,69	484,2	-3145,69	SEGURETAT	SEGURETAT
625	40685,51	-2423,61	4306,09	33,03	SEGURETAT	SEGURETAT
626	44933,66	-1872,1	8996,7	4069,31	SEGURETAT	SEGURETAT
627	48260,34	-2148,02	15007,44	8978,01	SEGURETAT	SEGURETAT
628	50453,13	-2335,3	22094,48	15007,44	SEGURETAT	SEGURETAT
629	51341,43	-2335,3	22094,48	16034,46	SEGURETAT	SEGURETAT
630	51094,21	-2348,29	16034,46	10797,49	SEGURETAT	SEGURETAT



631	49239,28	-2737,43	10896,74	6211,08	SEGURETAT	SEGURETAT
632	45257,17	-3662,08	6486,9	2330,99	SEGURETAT	SEGURETAT
633	38937,85	-6036,02	2713,8	-1121,18	SEGURETAT	SEGURETAT
634	30414,56	-11620,45	-749,2	-4616,66	SEGURETAT	SEGURETAT
635	20223,17	-24041,88	-4616,66	-9610,99	SEGURETAT	SEGURETAT
636	8762,17	-45159,53	-9610,99	-16261,13	SEGURETAT	SEGURETAT
637	-4463,14	-86626,86	-16261,13	-36200,33	SEGURETAT	SEGURETAT
638	-25673,15	-113584,29	-36200,33	-49437,62	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 18: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi DINÀMIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia)

Podem veure que el cas verifica perfectament la resistència en totes les seccions. A més a més podem comparar que en el cas de llosa nervada eren crítiques aquí deixen de ser-ho.

Tal com acabem de veure l'estat dinàmic és resistit perfectament, per tant es de suposar que l'estat estacionari de càrregues permanent sigui igualment acceptable.

NERVI DRET	ENVDISS		ESTÀTIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	-1702,74	-74903,17	-3142,58	-30794,73	SEGURETAT	SEGURETAT
515	14470,92	-31031,23	3979,02	-3142,58	SEGURETAT	SEGURETAT
516	14906,16	-22194,98	3979,02	-2188,46	SEGURETAT	SEGURETAT
517	15848,51	-22194,98	-1358,66	-3852,64	SEGURETAT	SEGURETAT
518	17687,66	-21581,97	-2860,87	-5191,35	SEGURETAT	SEGURETAT
519	19796,74	-20227,58	-3742,94	-5616,79	SEGURETAT	SEGURETAT
520	23074,28	-17615,1	-3563,52	-5616,79	SEGURETAT	SEGURETAT
521	26158,77	-13882,24	-2812,5	-4832,52	SEGURETAT	SEGURETAT
522	29371,86	-10324,95	-2008,14	-4114,74	SEGURETAT	SEGURETAT
523	32722,79	-7138,63	-963,03	-3223,8	SEGURETAT	SEGURETAT
524	36537,41	-4389,69	393,24	-2024,54	SEGURETAT	SEGURETAT
525	40685,51	-2423,61	2133,22	-511,25	SEGURETAT	SEGURETAT
526	44933,66	-1872,1	4266,47	1353,58	SEGURETAT	SEGURETAT
527	48260,34	-2148,02	6946,66	3576,28	SEGURETAT	SEGURETAT
528	50453,13	-2335,3	10202,5	6408,98	SEGURETAT	SEGURETAT
529	51341,43	-2335,3	10333,77	6934,03	SEGURETAT	SEGURETAT
530	51094,21	-2348,29	7559,13	4451,04	SEGURETAT	SEGURETAT
531	49239,28	-2737,43	5145,79	2246,62	SEGURETAT	SEGURETAT
532	45257,17	-3662,08	3036,86	424,19	SEGURETAT	SEGURETAT
533	38937,85	-6036,02	1254,79	-1236,87	SEGURETAT	SEGURETAT
534	30414,56	-11620,45	-471,05	-3156,98	SEGURETAT	SEGURETAT
535	20223,17	-24041,88	-2809,04	-6748,63	SEGURETAT	SEGURETAT
536	8762,17	-45159,53	-6748,63	-12133,62	SEGURETAT	SEGURETAT
537	-4463,14	-86626,86	-12133,62	-30807,66	SEGURETAT	SEGURETAT
538	-25673,15	-113584,29	-30807,66	-43414,97	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 19: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi ESTÀTIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia)



NERVI ESQU	ENVDISS		ESTÀTIC CP		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	-1702,74	-74903,17	-3142,58	-30794,73	SEGURETAT	SEGURETAT
615	14470,92	-31031,23	3979,02	-3142,58	SEGURETAT	SEGURETAT
616	14906,16	-22194,98	3979,02	-2188,46	SEGURETAT	SEGURETAT
617	15848,51	-22194,98	-1358,66	-3852,64	SEGURETAT	SEGURETAT
618	17687,66	-21581,97	-2860,87	-5191,35	SEGURETAT	SEGURETAT
619	19796,74	-20227,58	-3742,94	-5616,79	SEGURETAT	SEGURETAT
620	23074,28	-17615,1	-3563,52	-5616,79	SEGURETAT	SEGURETAT
621	26158,77	-13882,24	-2812,5	-4832,52	SEGURETAT	SEGURETAT
622	29371,86	-10324,95	-2008,14	-4114,74	SEGURETAT	SEGURETAT
623	32722,79	-7138,63	-963,03	-3223,8	SEGURETAT	SEGURETAT
624	36537,41	-4389,69	393,24	-2024,54	SEGURETAT	SEGURETAT
625	40685,51	-2423,61	2133,22	-511,25	SEGURETAT	SEGURETAT
626	44933,66	-1872,1	4266,47	1353,58	SEGURETAT	SEGURETAT
627	48260,34	-2148,02	6946,66	3576,28	SEGURETAT	SEGURETAT
628	50453,13	-2335,3	10202,5	6408,98	SEGURETAT	SEGURETAT
629	51341,43	-2335,3	10333,77	6934,03	SEGURETAT	SEGURETAT
630	51094,21	-2348,29	7559,13	4451,04	SEGURETAT	SEGURETAT
631	49239,28	-2737,43	5145,79	2246,62	SEGURETAT	SEGURETAT
632	45257,17	-3662,08	3036,86	424,19	SEGURETAT	SEGURETAT
633	38937,85	-6036,02	1254,79	-1236,87	SEGURETAT	SEGURETAT
634	30414,56	-11620,45	-471,05	-3156,98	SEGURETAT	SEGURETAT
635	20223,17	-24041,88	-2809,04	-6748,63	SEGURETAT	SEGURETAT
636	8762,17	-45159,53	-6748,63	-12133,62	SEGURETAT	SEGURETAT
637	-4463,14	-86626,86	-12133,62	-30807,66	SEGURETAT	SEGURETAT
638	-25673,15	-113584,29	-30807,66	-43414,97	SEGURETAT	SEGURETAT

Taula 20: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi ESTÀTIC CP.  
(Font: Elaboració pròpia)

I això és el que es queda reflectit a les taules 19 i 20 que la verificació també es compleix i, lògicament, els valors dels esforços són menors.

Cal dir que degut a que ens trobem amb una disposició d'atirament central, els esforços, en estat permanent, són els mateixos en els dos nervis degut a que no tenim excentricitat en la càrrega, a diferència del que succeïa en el cas de la llosa nervada que, degut a l'asimetria dels tirants al produir-se la ruptura els esforços eren diferents en cada nervi tot i que la càrrega permanent no ho fos.

Amb el resultat favorable en estat permanent és el moment de fer passar la sobrecàrrega per sobre el pont i veure'n la resposta en una situació estacionària, representada per la hipòtesis ESTÀTIC SC.

NERVI DRET	ENVDISS		ESTÀTIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	-1702,74	-74903,17	-2493,48	-72888,36	SEGURETAT	SEGURETAT
515	14470,92	-31031,23	11005,61	-31415,88	SEGURETAT	NO SEGUR
516	14906,16	-22194,98	11562,98	-24607,59	SEGURETAT	NO SEGUR



Anàlisi de Resultats

517	15848,51	-22194,98	11323,88	-24707	SEGURETAT	NO SEGUR
518	17687,66	-21581,97	12663,62	-24707	SEGURETAT	NO SEGUR
519	19796,74	-20227,58	14493,49	-23841,17	SEGURETAT	NO SEGUR
520	23074,28	-17615,1	17415,42	-21453,53	SEGURETAT	NO SEGUR
521	26158,77	-13882,24	20921,8	-17602,16	SEGURETAT	NO SEGUR
522	29371,86	-10324,95	24781,18	-13584,24	SEGURETAT	NO SEGUR
523	32722,79	-7138,63	29295,69	-9525,35	SEGURETAT	NO SEGUR
524	36537,41	-4389,69	34852,09	-5523,7	SEGURETAT	NO SEGUR
525	40685,51	-2423,61	41377,95	-1886,01	NO SEGUR	SEGURETAT
526	44933,66	-1872,1	48566,44	1101,1	NO SEGUR	SEGURETAT
527	48260,34	-2148,02	55393,56	3276,31	NO SEGUR	SEGURETAT
528	50453,13	-2335,3	61397,2	6047,24	NO SEGUR	SEGURETAT
529	51341,43	-2335,3	61694,02	6429,37	NO SEGUR	SEGURETAT
530	51094,21	-2348,29	58437,32	3744,61	NO SEGUR	SEGURETAT
531	49239,28	-2737,43	53872,27	1090,35	NO SEGUR	SEGURETAT
532	45257,17	-3662,08	47285,13	-1786,73	NO SEGUR	SEGURETAT
533	38937,85	-6036,02	38725,31	-5901,1	SEGURETAT	SEGURETAT
534	30414,56	-11620,45	28311,71	-13089,65	SEGURETAT	NO SEGUR
535	20223,17	-24041,88	16584,94	-26972,33	SEGURETAT	NO SEGUR
536	8762,17	-45159,53	3941,91	-49258,5	SEGURETAT	NO SEGUR
537	-4463,14	-86626,86	-8411,29	-91444,72	SEGURETAT	NO SEGUR
538	-25673,15	-113584,29	-30891,14	-118349,34	SEGURETAT	NO SEGUR

Taula 21: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi ESTÀTIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).

NERVI ESQU	ENVDISS		ESTÀTIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	-1702,74	-74903,17	-2284,73	-74822,34	SEGURETAT	SEGURETAT
615	14470,92	-31031,23	12991,27	-31930	SEGURETAT	NO SEGUR
616	14906,16	-22194,98	13253,33	-24667,5	SEGURETAT	NO SEGUR
617	15848,51	-22194,98	13225,51	-24729,04	SEGURETAT	NO SEGUR
618	17687,66	-21581,97	14588,63	-24729,04	SEGURETAT	NO SEGUR
619	19796,74	-20227,58	16423,59	-23850,16	SEGURETAT	NO SEGUR
620	23074,28	-17615,1	19673,37	-21455,7	SEGURETAT	NO SEGUR
621	26158,77	-13882,24	23120,7	-17601,78	SEGURETAT	NO SEGUR
622	29371,86	-10324,95	27045,66	-13583,99	SEGURETAT	NO SEGUR
623	32722,79	-7138,63	31560,02	-9524,88	SEGURETAT	NO SEGUR
624	36537,41	-4389,69	37114,71	-5523,17	NO SEGUR	NO SEGUR
625	40685,51	-2423,61	43639,19	-1885,46	NO SEGUR	SEGURETAT
626	44933,66	-1872,1	50826,5	1101,19	NO SEGUR	SEGURETAT
627	48260,34	-2148,02	57652,55	3276,49	NO SEGUR	SEGURETAT
628	50453,13	-2335,3	63650,61	6047,28	NO SEGUR	SEGURETAT
629	51341,43	-2335,3	63650,61	6429,17	NO SEGUR	SEGURETAT
630	51094,21	-2348,29	60694,36	3743,85	NO SEGUR	SEGURETAT
631	49239,28	-2737,43	56127,28	1087,78	NO SEGUR	SEGURETAT
632	45257,17	-3662,08	49536,73	-1793,58	NO SEGUR	SEGURETAT
633	38937,85	-6036,02	40968,59	-5918,81	NO SEGUR	SEGURETAT
634	30414,56	-11620,45	30534,09	-13140,23	NO SEGUR	NO SEGUR
635	20223,17	-24041,88	18753,27	-27117,75	SEGURETAT	NO SEGUR
636	8762,17	-45159,53	5972,27	-49662,8	SEGURETAT	NO SEGUR





637	-4463,14	-86626,86	-6726,37	-92512,06	SEGURETAT	NO SEGUR
638	-25673,15	-113584,29	-31010,56	-120144,47	SEGURETAT	NO SEGUR

Taula 22: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi ESTÀTIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).

Com era d'esperar des d'un principi, la sobrecàrrega ja no és resistida. Veiem que es produeix un esgotament en la major part del vànol central, i per tant hem de dir que no existeix seguretat en aquesta hipòtesi.

Tot i així els valors que són superiors als de disseny ho són en un ordre del 20%, és a dir, que la situació no és que sigui totalment caòtica sinó que en aquest cas es podria arribar a dimensionar el tauler amb uns moments superiors dins un ordre de magnitud acceptable.

Però abans de treure'n més conclusions hem de veure què passaria si es trenqués amb tota la sobrecàrrega actuant. Això ho veiem en els resultats de l'estat DINÀMIC SC.

NERVI DRET	ENVDISS		DINÀMIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
514	-1702,74	-74903,17	-3323,99	-72813,46	SEGURETAT	SEGURETAT
515	14470,92	-31031,23	9451,96	-32246,39	SEGURETAT	NO SEGUR
516	14906,16	-22194,98	9828,55	-26884,38	SEGURETAT	NO SEGUR
517	15848,51	-22194,98	8581,49	-27604,6	SEGURETAT	NO SEGUR
518	17687,66	-21581,97	9435,22	-27604,6	SEGURETAT	NO SEGUR
519	19796,74	-20227,58	10997,54	-27179,83	SEGURETAT	NO SEGUR
520	23074,28	-17615,1	13928,31	-25001,9	SEGURETAT	NO SEGUR
521	26158,77	-13882,24	17780,21	-21077,97	SEGURETAT	NO SEGUR
522	29371,86	-10324,95	22480,76	-16657,97	SEGURETAT	NO SEGUR
523	32722,79	-7138,63	28174,53	-11825,77	SEGURETAT	NO SEGUR
524	36537,41	-4389,69	35396,37	-6644,86	SEGURETAT	NO SEGUR
525	40685,51	-2423,61	44093,68	-1341,73	NO SEGUR	SEGURETAT
526	44933,66	-1872,1	53968,17	3816,82	NO SEGUR	SEGURETAT
527	48260,34	-2148,02	63992,02	8678,04	NO SEGUR	SEGURETAT
528	50453,13	-2335,3	73685,8	14645,7	NO SEGUR	SEGURETAT
529	51341,43	-2335,3	73685,8	15529,8	NO SEGUR	SEGURETAT
530	51094,21	-2348,29	67537,74	10091,07	NO SEGUR	SEGURETAT
531	49239,28	-2737,43	60218,73	5054,81	NO SEGUR	SEGURETAT
532	45257,17	-3662,08	51249,58	120,07	NO SEGUR	SEGURETAT
533	38937,85	-6036,02	40632,11	-5785,41	NO SEGUR	SEGURETAT
534	30414,56	-11620,45	28427,4	-14549,33	SEGURETAT	NO SEGUR
535	20223,17	-24041,88	15125,26	-29834,69	SEGURETAT	NO SEGUR
536	8762,17	-45159,53	1079,55	-53386,02	SEGURETAT	NO SEGUR
537	-4463,14	-86626,86	-12538,81	-96837,39	SEGURETAT	NO SEGUR
538	-25673,15	-113584,29	-36283,81	-124372	SEGURETAT	NO SEGUR

Taula 23: Mf en les barres del nervi dret en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi DINÀMIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).



NERVI ESQU	ENVDISS		DINÀMIC SC		Verificació Mf max	Verificació Mf min
	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)	Mf max(kNm)	Mf min(kNm)		
614	-1702,74	-74903,17	-3115,24	-74747,44	SEGURETAT	SEGURETAT
615	14470,92	-31031,23	11437,62	-32760,51	SEGURETAT	NO SEGUR
616	14906,16	-22194,98	11518,89	-26944,29	SEGURETAT	NO SEGUR
617	15848,51	-22194,98	10483,11	-27626,64	SEGURETAT	NO SEGUR
618	17687,66	-21581,97	11360,23	-27626,64	SEGURETAT	NO SEGUR
619	19796,74	-20227,58	12927,65	-27188,82	SEGURETAT	NO SEGUR
620	23074,28	-17615,1	16197,55	-25004,07	SEGURETAT	NO SEGUR
621	26158,77	-13882,24	20046,96	-21077,6	SEGURETAT	NO SEGUR
622	29371,86	-10324,95	24745,24	-16657,72	SEGURETAT	NO SEGUR
623	32722,79	-7138,63	30438,86	-11825,3	SEGURETAT	NO SEGUR
624	36537,41	-4389,69	37658,99	-6644,32	NO SEGUR	NO SEGUR
625	40685,51	-2423,61	46354,91	-1341,17	NO SEGUR	SEGURETAT
626	44933,66	-1872,1	56228,23	3816,91	NO SEGUR	SEGURETAT
627	48260,34	-2148,02	66251,02	8678,22	NO SEGUR	SEGURETAT
628	50453,13	-2335,3	75939,2	14645,75	NO SEGUR	SEGURETAT
629	51341,43	-2335,3	75939,2	15529,6	NO SEGUR	SEGURETAT
630	51094,21	-2348,29	69794,79	10090,3	NO SEGUR	SEGURETAT
631	49239,28	-2737,43	62473,73	5052,23	NO SEGUR	SEGURETAT
632	45257,17	-3662,08	53501,19	113,23	NO SEGUR	SEGURETAT
633	38937,85	-6036,02	42875,39	-5803,13	NO SEGUR	SEGURETAT
634	30414,56	-11620,45	30649,77	-14599,91	NO SEGUR	NO SEGUR
635	20223,17	-24041,88	17293,59	-29980,11	SEGURETAT	NO SEGUR
636	8762,17	-45159,53	3109,9	-53790,32	SEGURETAT	NO SEGUR
637	-4463,14	-86626,86	-10853,89	-97904,73	SEGURETAT	NO SEGUR
638	-25673,15	-113584,29	-36403,23	-126167,13	SEGURETAT	NO SEGUR

Taula 24: Mf en les barres del nervi esquerre en cas de la ruptura del T12P en la hipòtesi DINÀMIC SC.  
(Font: Elaboració pròpia).

Seguim estant en una situació de col·lapse del tauler però amb uns valors molt més importants ja que en vàries seccions s'arriba a superar en un 50% els valors de moment de disseny.

Així doncs amb l'actuació de la sobrecàrrega la ruptura, ara com ara, seria inevitable. En canvi l'estat permanent es comporta molt millor en aquesta secció i per tant en els casos que es resisteixi en totes les seccions l'estat permanent, determinarem la fracció de sobrecàrrega admissible en situació estacionària. Amb aquestes dades volem quantificar el volum de trànsit que podria seguir utilitzant el pont mentre es duessin a terme treballs de reposició del tirant trencat.

També veurem el percentatge amb el que el pont resistiria la ruptura d'un tirants en els casos que verifiquen l'estat permanent. Els casos que han verificat la seguretat, en aquest estat permanent, en el tauler els mostrem de manera resumida en la taula 25 i els valors numèrics es poden consultar a l'Annex 4.



Cas de ruptura	Dinàmic CP	Estàtic CP
T3P	NO verifica	NO verifica
T3T	NO verifica	NO verifica
T11P	SI verifica	SI verifica
T11T	NO verifica	SI verifica
T12P	SI verifica	SI verifica
T12T	NO verifica	SI verifica
T16P	NO verifica	NO verifica
T16T	NO verifica	NO verifica
TR6d	SI verifica	SI verifica

Taula 25: Casos que resisteixen l'estat permanent.  
(Font: Elaboració pròpia).

Aquests resultats revelen que si es produeix la ruptura de un dels tirants de la parella en les posicions T11 o T12 (casos T11P i T12P) o es trenca un tirant de retenció (cas TR6d), la secció resisteix perfectament l'estat permanent.

Una altra vegada ens trobem amb la sorprenent situació que la ruptura d'un tirant de retenció no representa cap problema pel tauler del pont, en contra del que intuïtivament ens havíem pensat.

Així doncs, tal i com ens esperàvem, la resposta del tauler a la ruptura d'un tirant és molt més tranquil·litzadora.

En aquest sentit cal afegir que aquests són els resultats s'obtenen de la lectura estricta i objectiva de les dades obtingudes comparades amb les envoltants de disseny, cosa fa que no sembla a priori massa més alentador que el cas anterior però, si mirem una mica més veiem que en els demés casos de ruptura d'un tirant de les diferents parelles només es superen els valors del moment de disseny en de l'ordre de 10 elements barra sobre 76 que es controlen, dins els quals alguns estan amb un sobrevalor inferior al 10% respecte el moment de disseny.

Una cosa similar passa en el cas de la ruptura dels dos tirants d'una parella on com a màxim 20 barres superen el moment de disseny tot i que en algun cas l'excés és inferior al 25% sobre els valors de disseny.

És en base al tractament global de les dades resultants que podem dir que el comportament d'aquest tipus de tauler és més alentador en cas de produir-se la ruptura d'un tirant.

Tal i com hem comentat abans, hem intentat determinar el percentatge de càrrega d'ús que podria circular tant en el cas que la ruptura es produeixi en estat permanent com la fracció de sobrecàrrega amb la que la secció podria suportar una ruptura en servei.

Aquests resultats queden quantificats numèricament a l'Annex 6 i de forma qualitativa es mostren a continuació:



% de sc	0,25q			0,5q			0,75q			q		
	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d
0,25Q	□	□	□	□	□	□	□	×	□	×	×	×
0,5Q	□	□	□	□	□	□	×	×	□	×	×	×
Q	□	□	□	□	□	□	×	×	□	×	×	×

Taula 26: Percentatge de sc que pot passar si les ruptures del T11P, T12P o TR6d es produeixen en estat permanent. (Font: Elaboració pròpia).

% de sc	0,25q			0,5q			0,75q			q		
	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d	T11P	T12P	TR6d
0,25Q	□	□	□	×	□	□	×	×	□	×	×	×
0,5Q	□	×	□	×	×	□	×	×	□	×	×	×
Q	□	×	□	×	×	□	×	×	□	×	×	×

Taula 27: Percentatge de sc que pot passar si les ruptures del T11P, T12P o TR6d es produeixen de forma concomitant amb el pas de la sobrecàrrega. (Font: Elaboració pròpia).

De la mateixa manera que en el cas de la llosa nervada ens hem de quedar amb l'última combinació que supera la verificació, encara que es pot afinar més si es veuen els resultats numèrics.

Per exemple en el cas de la ruptura d'un dels tirants de la parella T12, en una situació de ruptura en estat de sobrecàrrega només es supera en una secció de control la combinació 0,5Q + 0,25q però estrictament l'hem de descartar. Mentre que en l'estat estacionari arribaríem sense problemes, per exemple, fins a la combinació de Q + 0,5 q.

Altres combinacions surten de les taules 26 i 27 pels casos de ruptura en estat permanent i en estat de servei respectivament.

Recordar però, que s'ha fet l'anàlisi des d'un punt de vista estrictament elàstic i és per això que només s'ha determinat el percentatge en els casos que verifiquen l'estat permanent, tant estacionari com dinàmic.

### 5.2.3. Axil en els tirants

En aquest cas el que succeeix te una part que ens sorprèn, però d'altra banda també obtenim uns resultats més o menys esperats.

L'efecte que esperàvem és que en una tipologia amb una secció de tauler rígida, el paper que hi juguen els tirants sigui menys determinant i el que aquí veiem és justament això.

Ja sigui en la ruptura d'un dels tirants o en la ruptura total de la parella, l'increment d'axil que es produeix en la resta és molt petit i no només això sinó que, fins i tot en cap moment es supera la tensió admissible en cap tirant. És a dir, que la



redistribució d'axils és tal que en cas que el tauler resisteixi, el sistema d'atirantament podria seguir en servei sense cap mena de complicació.

Per veure el que succeeix en els tirants interpretarem el cas de la ruptura d'un dels tirants del T12, cas T12P, i la ruptura total de la mateixa parella, cas T12T.

Primerament veiem què passa en el cas T12T sobre la resta de les parelles de tirants davanters.

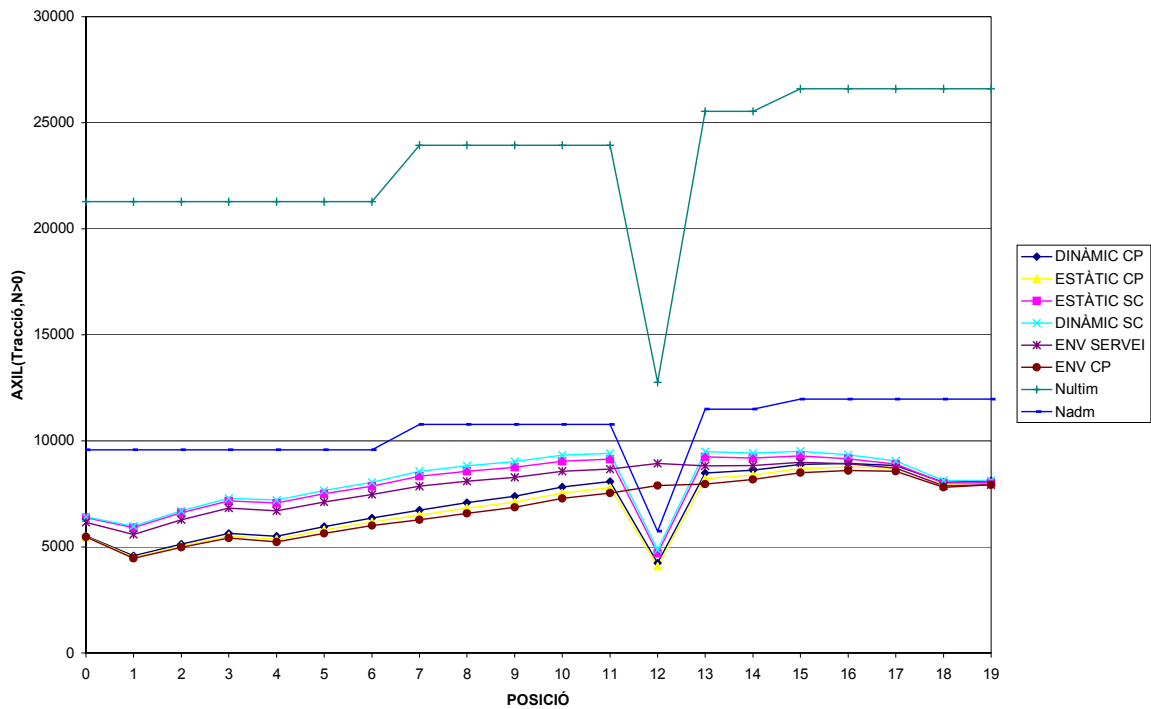


Figura 28: Axils que apareixen en la resta de parelles de tirants en produir-se la ruptura d'un tirant de la parella T12 (casT12P). (Font: Elaboració pròpia).

En aquest cas la situació dels tirants és molt més relaxada ja que el marge existent entre l'axil admissible i els resultats de les diferents hipòtesis és molt més gran.

A part d'aquest fet, un altre aspecte notable és la coherent reducció de capacitat última del tirant que queda intacte en la parella on es produeix la ruptura. Aquesta reducció de resposta coincideix amb la meitat estricta de la que tenia la parella conjuntament ja que la secció dels dos tirants és la mateixa.

Comentant els diversos casos de càrrega i de ruptura el que podem veure és que en tot moment ens quedem per sota dels valors admissibles d'axil. Això ens permet assegurar que en aquest cas no es produiria en cap moment problemes de relaxació en la resta de tirants.



També podem veure que les hipòtesis realitzades en estat permanent com són la ESTÀTIC CP i DINÀMIC CP, en cap moment superen ni tan sols els esforços produïts en servei (ENV SERVEI).

En el pitjor dels casos l'increment de tensió en els tirants suposa un augment de l'axil del 6,6 % en el cas de ruptura en estat de servei, cas DINÀMIC SC, sobre l'envolvent de l'estat en servei sense ruptura.

Així doncs es pot veure que la ruptura d'un dels tirants té molt poca implicació en el posterior comportament de la resta dels tirants davanters.

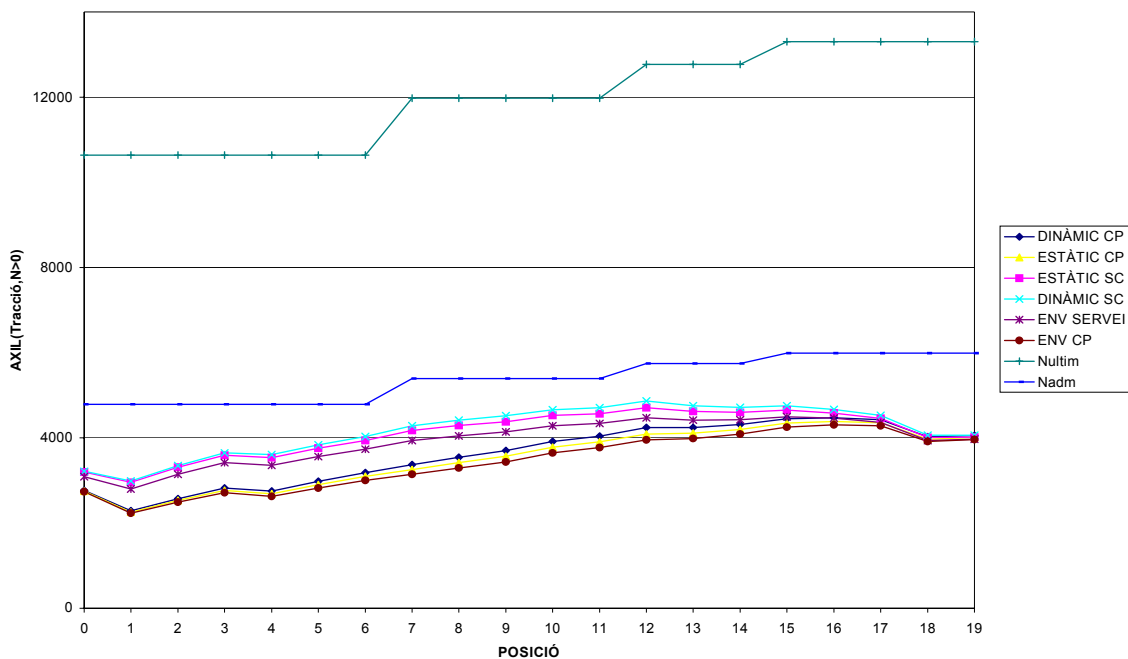


Figura 29: Axils que apareixen en la resta de tirants en produir-se la ruptura d'un tirant de la parella T12 (casT12P).  
(Font: Elaboració pròpia).

Tot i així, seria convenient veure què li passa a cada un dels tirants per separat, és a dir no veure el comportament de la parella com queda reflectit en la figura 28 sinó veure l'increment de tensió en cada un d'ells.(veure figura 29)

En aquest cas el que esperàvem veure és si el tirant que queda sencer, patia alguna sobretensió important o no. El resultat ha estat que proporcionalment l'augment de tensió en aquest tirant és una mica major que en els altres. En el T12 tenim un increment del 6,9% mentre que en els pròxims a ell l'increment és de l'ordre del 6,5 % sobre l'estat de servei.

Com es pot veure la diferencia no és destacable cosa que ens indica un cop més l'enorme redistribució d'esforços en els tirants degut a l'elevat grau d'hiperestaticisme de l'estructura.



El resultat obtingut en cas de que la ruptura fos total, ens torna a mostrar que el nivell d'axil en els tirants està perfectament acotat dins dels valors de normalitat i per tant tampoc suposaria cap més problema per a la resta de tirants. Aquest comportament és el que es representa en la figura següent:

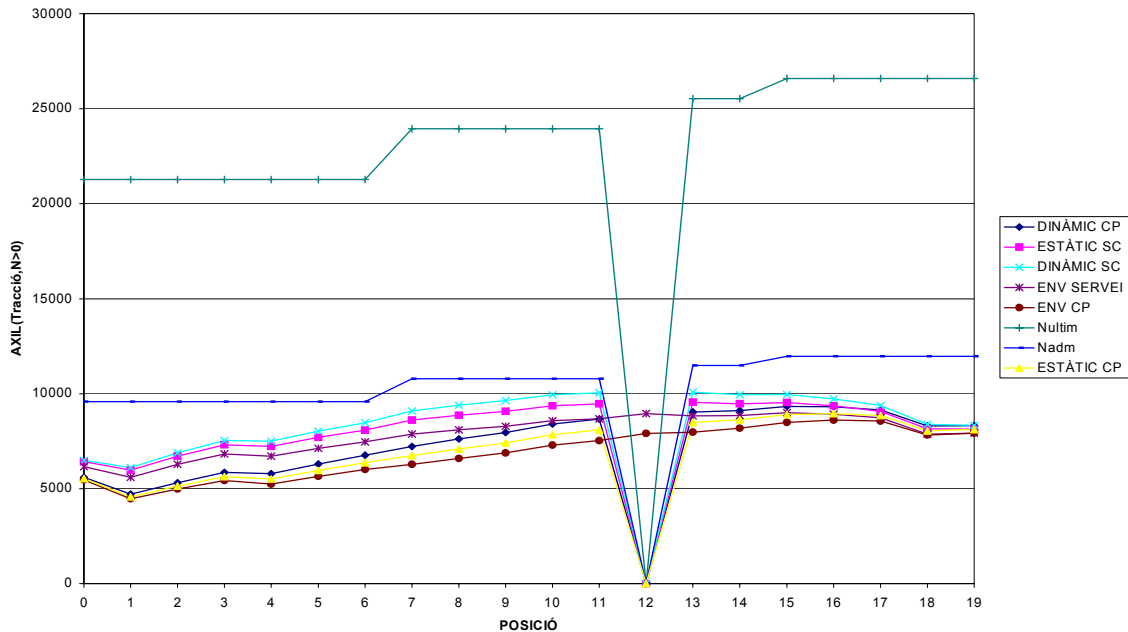


Figura 30: Axils que apareixen en la resta de parelles de tirants en produir-se la ruptura total de la parella T12 (casT12T).  
(Font: Elaboració pròpia).

En aquest cas l'increment d'axil en els tirants que presenten major afectació és de l'ordre del 13,5% per sobre el valor de l'envolvent de servei, i tampoc arribem a assolir valors per sobre de l'axil admissible en cap tirant.

Finalment veiem com queden els tirants de retenció al produir-se la ruptura d'un dels davanters.

Podrem veure en la figura 31 que l'estat tensional dels tirants de retenció torna a ser quasi invariable davant una situació de ruptura d'un tirant davanter. Igualment podem tornar a comentar que es produeix un cert destesat ja que la ruptura d'un dels tirants davanters es tradueix una altra vegada en un 'recolzament' de la torre sobre els tirants de retenció.

Els resultats que s'obtenen dels tirants de retenció en la hipòtesi de ruptura total són equivalents a aquests i per tant ja no els mostrem en aquesta interpretació.

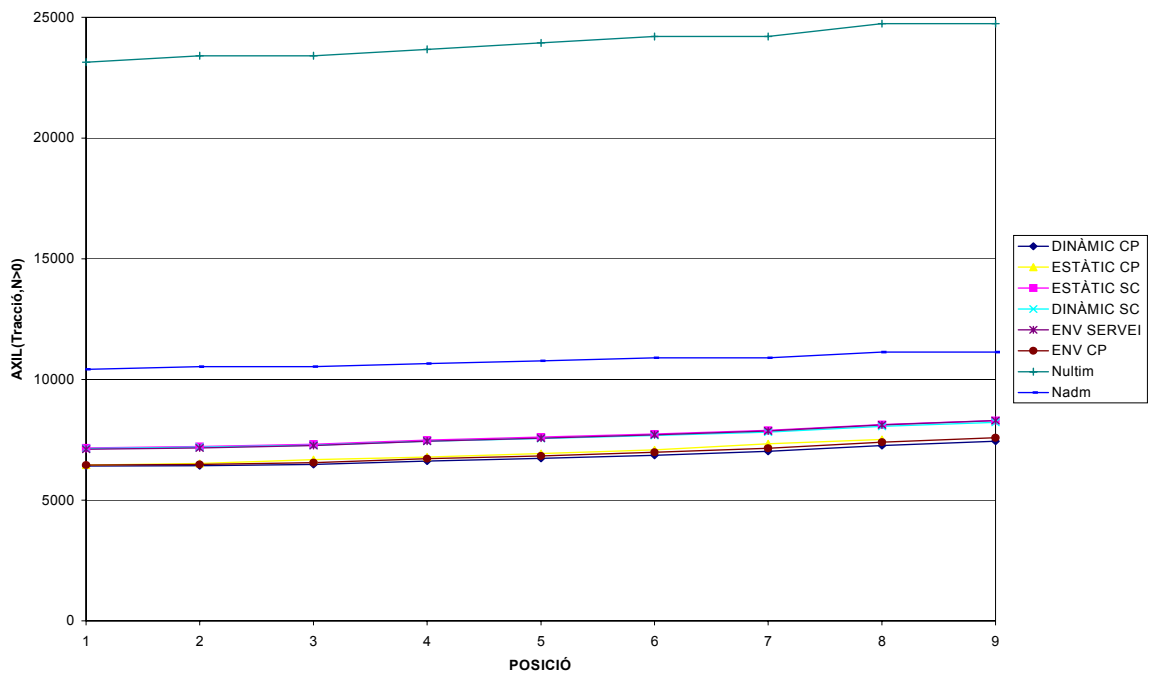


Figura 31: Axils que apareixen els tirants de retenció marge dret en produir-se la ruptura d'un dels tirants de la parella T12 (casT12T).  
(Font: Elaboració pròpia).

Els resultats de tots els casos analitzats, que són equivalents a la llosa nervada, el T3, el T11, el T12, el T16 i el TR6d tant en cas de ruptura parcial (un tirant, casos P) com total (dos tirants, casos T) es troben desenvolupats a l'Annex 5.

### 5.2.3. Deformabilitat en el tauler

En aquest cas la secció és molt més rígida i això es reflecteix en les deformacions produïdes per la ruptura dels tirants. També les deformacions en condicions de normalitat són menors en comparació amb les de la secció de llosa nervada.

	DINÀMIC CP	ESTÀTIC CP	ESTÀTIC SC	DINÀMIC SC
<b>T3P</b>	0,0260	0,0130	0,2494	0,2558
<b>T3T</b>	0,0552	0,0281	0,2591	0,2730
<b>T11P</b>	0,0464	0,0212	0,2690	0,2946
<b>T11T</b>	0,0991	0,0467	0,2956	0,3480
<b>T12P</b>	0,0454	0,0208	0,2637	0,2873
<b>T12T</b>	0,0969	0,0459	0,2949	0,3438
<b>T16P</b>	0,0230	0,0100	0,2479	0,2549
<b>T16T</b>	0,0501	0,0231	0,2552	0,2725
<b>TR6d</b>	0,0475	0,0209	0,2677	0,2944

Taula 28: Fletxes màximes en el vanyol principal en el tauler de secció calaix en les diferents hipòtesis de càrrega. Unitats en metres.  
(Font: Elaboració pròpia).





ESTAT CP	ESTAT SC	ESTAT SERVEI
-0,00266	0,2417	0,2417

Taula 29: Fletxes màximes en el vànol principal en el tauler de secció calaix. Unitats en metres.

(Font: Elaboració pròpia).

Podem veure en aquest cas també que la ruptura dels cables intermitjos són els que produeixen majors deformacions en el tauler mentre que si es trenca un dels cables propers a la torre les deformacions en estat de permanent són pràcticament menyspreables, i menors encara si es trenca un dels tirants llargs.

Per altra banda, en situació de servei les diferències no són tant marcades tot i que la ruptura dels tirants centrals segueixen assolint les màximes deformacions.

### 5.3. Altres resultats

Per tancar aquest capítol de resultats resumirem de manera global el que hem anat veient fins ara.

Pel que fa al diferent comportament de les dues seccions ja es veu reflectit en les envoltants de disseny doncs en el cas de la llosa els moments suportats són molt menors que en els cas del calaix i viceversa si parlem de les tensions en els tirants.

Referent al comportament dels tirants també cal afegir que una resposta comuna i força interessant és que al produir-se la ruptura d'algun dels tirants davanters es produeix una compressió en els tirants de retenció, que es tradueix en una petita pèrdua de tensió insignificant de l'ordre de 10% en situacions d'estat permanent i menors en sobrecàrrega com a valor mig. Aquest fenomen és degut a que al perdre un tirant la torre es comporta com si es recolzés més sobre els tirants de retenció fent que aquests es destesin mínimament.

Aquest es traca si més no d'un resultat interessant, no tant per aquest cas en concret ja que a l'estar els tirants de retenció ancorats sobre el terreny, una pèrdua de tensió no implica més conseqüències. Però en el cas que no fos així i els tirants de retenció estiguessin ancorats en les vànols d'accés, es podria produir una pèrdua d'eficàcia dels tirants de retenció i del sistema d'atirament del vànol d'accés. Però de totes maneres aquesta és una consideració que queda fora de la zona d'estudi d'aquesta la tesina.

D'altra banda el comportament dels tirants davanters és molt similar, ja que en cap dels dos casos hi ha perill de ruptura sobre la resta, però es diferencien en que en el cas de la llosa s'arriba a superar la tensió admissible mentre que en el del calaix seguim per sota d'aquest límit en tot moment.

Per acabar podríem dir que en el cas de ruptura d'un tirant si estem davant d'un pont amb una secció flexible, implica un daltabaix en el comportament del tauler mentre que en el cas de tenir una secció rígida com és el calaix, els moments en el



tauler també s'incrementen però no tant descontroladament com en el cas de la llosa.

Recordar també que la seguretat estructural del conjunt es veu supeditada a la resistència o no, del tauler individualment ja que pel que fa als tirants la seva resposta és excel·lent.