

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Civil

Influencia de la morfología longitudinal y transversal del atirantamiento en el comportamiento resistente de puentes atirantados

Autor: Andrés Mauricio García Chacón

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

Dep. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

**Influencia de la morfología longitudinal y
transversal del atirantamiento en el
comportamiento resistente de puentes atirantados**

Autor:

Andrés Mauricio García Chacón

Tutor:

Antonio Martínez de la Concha

Profesor asociado

Dep. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Influencia de la morfología longitudinal y transversal del atirantamiento en el comportamiento resistente de puentes atirantados

Autor: Andrés Mauricio García Chacón

Tutor: Antonio Martínez de la Concha

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis profesores

A mis amigos y compañeros

En el presente proyecto se estudia la influencia de la distribución de los tirantes en los puentes atirantados mediante el uso de MIDAS CIVIL [14] como herramienta de modelo. Para ello, inicialmente se realiza una breve descripción de la historia, desarrollo y evolución de esta tipología estructural, así como su ámbito de aplicación y los distintos métodos constructivos. Además, se definen los diversos problemas que han de ser tenidos en consideración a la hora de realizar el cálculo, diseño y construcción de un puente de esta categoría.

Para el análisis de la influencia citada se han realizado nueve modelos distintos en la distribución de los tirantes, para observar como varían distintos parámetros en la estructura, tales como las flechas y corrimientos verticales, como los esfuerzos generados en los elementos estructurales y la pretensión inicial necesaria en los tirantes.

La distribución de los tirantes se puede clasificar según dos direcciones:

- Longitudinalmente: variando en los distintos modelos la altura a la cuál es anclado cada par de tirantes a las torres. Puede presentar distribución:
 - En abanico
 - En arpa
 - Intermedia
- Transversalmente: variando la disposición de los planos de atirantamiento, factor que causa además la variación en la geometría de las torres. Se estudian en este trabajo tres distribuciones transversales:
 - Dos planos laterales verticales
 - Dos planos inclinados convergentes al eje de las pilas
 - Un plano centrado vertical

Al unir dos a dos cada una de las distribuciones longitudinales con cada una de las transversales se obtienen los nueve modelos que nos guían para entender cuales de ellos presentan mejor o peor comportamiento frente a cada uno de los parámetros evaluados.

Resumen	ix
Índice	xi
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xiv
1. Puentes atirantados	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>Objetivo</i>	2
1.3. <i>Problemas característicos de los puentes atirantados</i>	4
1.3.1. No linealidades geométricas	4
1.3.2. No linealidades mecánicas del hormigón	8
1.3.3. Problemas reológicos	9
1.3.4. Influencia de errores de ejecución	9
1.4. <i>Métodos constructivos</i>	10
1.4.1. Cimbrado general	10
1.4.2. Dovelas sucesivas	10
1.4.3. Lanzamientos progresivos	10
1.5. <i>Métodos de estimación inicial de cargas en tirantes</i>	10
1.5.1. Por equilibrio de cargas verticales	10
1.5.2. Por momentos flectores nulos	11
1.5.3. Por desplazamientos verticales nulos	12
1.5.4. Por consideración del módulo de elasticidad equivalente	12
1.6. <i>Métodos de determinación de cargas en tirantes</i>	13
1.6.1. Métodos de equilibrio de fuerzas	13
1.6.2. Métodos de desplazamientos	13
1.6.3. Métodos de optimización de energía y errores	13
1.7. <i>Definición de cargas en tirantes en la fase constructiva</i>	16
1.7.1. Método del desmontaje (Backward)	16
1.7.2. Método según el avance de la construcción (Forward)	16
2. Modelización	17
2.1. <i>Geometría</i>	17
2.1.1. Estructura	17
2.1.2. Secciones transversales	24
2.2. <i>Materiales</i>	28
2.3. <i>Apoyos y condiciones de contorno</i>	29
2.3.1. Apoyo en las pilas	29
2.3.2. Apoyo en los extremos del puente	30
2.3.3. Empotramiento en el terreno	31
2.4. <i>Cargas</i>	31
2.4.1. Peso propio	31
2.4.2. Carga muerta por pavimento y barreras	31
2.4.3. Sobrecarga de tráfico según IAP-2011	32
2.4.4. Combinación de cargas	33

<i>2.5. Modelización del proceso constructivo</i>	34
3. Resultados	37
3.1. <i>Pretensión inicial en los tirantes</i>	37
3.1.1. Pretensión inicial en la fase final	37
3.1.2. Pretensión inicial en la fase constructiva	38
3.2. <i>Estado Límite de Servicio</i>	42
3.2.1. Esfuerzo axial en los tirantes	42
3.2.2. Flecha en el dintel	47
3.2.3. Desplome en las torres	50
3.3. <i>Estado Límite Último</i>	54
3.3.1. Dintel	54
3.3.2. Pilas	74
3.4. <i>Evolución en el proceso constructivo</i>	84
3.4.1. Desplazamientos	84
3.4.2. Esfuerzos en el dintel	87
3.4.3. Esfuerzos en las pilas	91
4. Conclusiones	95
Referencias	101
Anexos	103
<i>Anexo A. Matriz de influencia de cada modelo</i>	103

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.3.1.1. Coeficientes de transformación de coordenadas en un elemento barra</i>	8
<i>Tabla 2.1.2.1. Propiedades geométricas de las secciones</i>	28
<i>Tabla 2.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales</i>	29
<i>Tabla 2.4.3.1. Valores de las cargas puntuales y uniformes en cada carril virtual según IAP-11 [13]</i>	33
<i>Tabla 3.1.1.1. Pretensión en los tirantes por puente</i>	38
<i>Tabla 3.2.1.1. Esfuerzo axial máximo en los tirantes en ELS</i>	46
<i>Tabla 3.2.2.1. Flecha máxima en el dintel en ELS</i>	50
<i>Tabla 3.2.3.1. Desplome máximo de las torres en ELS</i>	53
<i>Tabla 3.3.1.1. Esfuerzos axiales máximos en el dintel</i>	58
<i>Tabla 3.3.1.2. Momentos flectores máximos en el dintel</i>	63
<i>Tabla 3.3.1.3. Cortantes máximos en el dintel</i>	68
<i>Tabla 3.3.1.4. Momentos torsores máximos en el dintel</i>	73
<i>Tabla 3.3.2.1. Esfuerzos axiales máximos en las pilas</i>	78
<i>Tabla 3.3.2.2. Momentos flectores máximos en las pilas</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1.1.1. Puente de Strömsund, Suecia</i>	1
<i>Fig. 1.1.2. Puente de la Constitución de 1812, Cádiz, España</i>	2
<i>Fig. 1.2.1. Puente del Centenario, Sevilla, España</i>	3
<i>Fig. 1.2.2. Puente del Alamillo, Sevilla, España</i>	3
<i>Fig. 1.3.1.1. Curvatura de los tirantes (Cable sag)</i>	4
<i>Fig. 1.3.1.2. Comportamiento mecánico de un puente atirantado</i>	5
<i>Fig. 1.3.1.3. Grados de libertad de un elemento a flexo-compresión</i>	5
<i>Fig. 1.3.1.4. Transformación de coordenadas locales a globales de un elemento barra</i>	7
<i>Fig. 1.5.1.1. Equilibrio de cargas verticales en un segmento del dintel</i>	11
<i>Fig. 1.5.2.1. Momento y flecha del segmento aislado del dintel</i>	11
<i>Fig. 1.5.4.1. Módulo de elasticidad equivalente en los tirantes según longitud y tensión</i>	12
<i>Fig. 2.1.1.1. Tirantes en disposición en abanico</i>	17
<i>Fig. 2.1.1.2. Tirantes en disposición en arpa</i>	17
<i>Fig. 2.1.1.3. Tirantes en disposición intermedia</i>	18
<i>Fig. 2.1.1.4. Tirantes en dos planos laterales verticales</i>	18
<i>Fig. 2.1.1.5. Tirantes en dos planos inclinados convergentes</i>	18
<i>Fig. 2.1.1.6. Tirantes en un plano central vertical</i>	19
<i>Fig. 2.1.1.7. Dimensiones longitudinales de los modelos</i>	20
<i>Fig. 2.1.1.8. Geometría de pilas en puentes 2LV-Abanico y 2LV-Intermedia</i>	21
<i>Fig. 2.1.1.9. Geometría de pilas en puente 2LV-Arpa</i>	21
<i>Fig. 2.1.1.10. Geometría en pilas en puentes 2IC-Abanico, 2IC-Arpa, 2IC-Intermedia, 1CV-Abanico y 1CV-Intermedia</i>	22
<i>Fig. 2.1.1.11. Geometría en pilas en puente 1CV-Arpa</i>	23
<i>Fig. 2.1.1.12. Puente de Andalucía, Córdoba, España</i>	23
<i>Fig. 2.1.2.1. Sección transversal de los tirantes</i>	24
<i>Fig. 2.1.2.2. Sección transversal de las pilas</i>	24
<i>Fig. 2.1.2.3. Sección transversal de las vigas riostra en las torres</i>	25
<i>Fig. 2.1.2.4. Sección transversal del dintel bijácena con vigas transversales</i>	25
<i>Fig. 2.1.2.5. Sección del perfil bijácena</i>	26
<i>Fig. 2.1.2.6. Sección de las vigas transversales</i>	26
<i>Fig. 2.1.2.7. Modelización en doble eje del dintel</i>	27
<i>Fig. 2.1.2.8. Sección transversal del dintel en cajón</i>	27
<i>Fig. 2.1.2.9. Modelización del dintel en un solo eje</i>	28

<i>Fig. 2.1.2.10. Detalle de la unión entre los tirantes y el eje del dintel</i>	28
<i>Fig. 2.3.1.1. Sistema de apoyo del dintel en las pilas</i>	29
<i>Fig. 2.3.1.2. Coordenadas locales de los apoyos elásticos en las pilas</i>	30
<i>Fig. 2.3.2.1. Coordenadas locales en los apoyos elásticos en los extremos del puente</i>	30
<i>Fig. 2.3.3.1. Empotramientos de la estructura en el terreno.</i>	31
<i>Fig. 2.4.1. Distribución de las barreras y plataforma del puente</i>	31
<i>Fig. 2.4.3.1. Distribución de los carriles virtuales según IAP-2011</i>	32
<i>Fig. 2.5.1. Apoyos auxiliares en el proceso constructivo</i>	34
<i>Fig. 2.5.2. Secuencia del proceso constructivo</i>	35
<i>Fig. 2.5.3. Secuencia del análisis del proceso constructivo en sentido inverso</i>	36
<i>Fig. 3.1.1.1. Enumeración de los tirantes</i>	37
<i>Fig. 3.1.2.1. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Abanico</i>	39
<i>Fig. 3.1.2.2. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Arpa</i>	39
<i>Fig. 3.1.2.3. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Intermedia</i>	39
<i>Fig. 3.1.2.4. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Abanico</i>	40
<i>Fig. 3.1.2.5. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Arpa</i>	40
<i>Fig. 3.1.2.6. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Intermedia</i>	40
<i>Fig. 3.1.2.7. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 1CV-Abanico</i>	41
<i>Fig. 3.1.2.8. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 1CV-Arpa</i>	41
<i>Fig. 3.1.2.9. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 1CV-Intermedia</i>	41
<i>Fig. 3.2.1.1. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Abanico</i>	42
<i>Fig. 3.2.1.2. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Arpa</i>	43
<i>Fig. 3.2.1.3. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Intermedia</i>	43
<i>Fig. 3.2.1.4. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Abanico</i>	44
<i>Fig. 3.2.1.5. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Arpa</i>	44
<i>Fig. 3.2.1.6. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Intermedia</i>	45
<i>Fig. 3.2.1.7. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 1CV-Abanico</i>	45
<i>Fig. 3.2.1.8. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 1CV-Arpa</i>	46
<i>Fig. 3.2.1.9. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 1CV-Intermedia</i>	46
<i>Fig. 3.2.2.1. Flecha en el dintel del puente 2LV-Abanico</i>	47
<i>Fig. 3.2.2.2. Flecha en el dintel del puente 2LV-Arpa</i>	47
<i>Fig. 3.2.2.3. Flecha en el dintel del puente 2LV-Intermedia</i>	48
<i>Fig. 3.2.2.4. Flecha en el dintel del puente 2IC-Abanico</i>	48
<i>Fig. 3.2.2.5. Flecha en el dintel del puente 2IC-Arpa</i>	48
<i>Fig. 3.2.2.6. Flecha en el dintel del puente 2IC-Intermedia</i>	49
<i>Fig. 3.2.2.7. Flecha en el dintel del puente 1CV-Abanico</i>	49
<i>Fig. 3.2.2.8. Flecha en el dintel del puente 1CV-Arpa</i>	49
<i>Fig. 3.2.2.9. Flecha en el dintel del puente 1CV-Intermedia</i>	50
<i>Fig. 3.2.3.1. Desplome en las torres del puente 2LV-Abanico</i>	50

<i>Fig. 3.2.3.2. Desplome en las torres del puente 2LV-Arpa</i>	51
<i>Fig. 3.2.3.3. Desplome en las torres del puente 2LV-Intermedia</i>	51
<i>Fig. 3.2.3.4. Desplome en las torres del puente 2IC-Abanico</i>	51
<i>Fig. 3.2.3.5. Desplome en las torres del puente 2IC-Arpa</i>	52
<i>Fig. 3.2.3.6. Desplome en las torres del puente 2IC-Intermedia</i>	52
<i>Fig. 3.2.3.7. Desplome en las torres del puente 1CV-Abanico</i>	52
<i>Fig. 3.2.3.8. Desplome en las torres del puente 1CV-Arpa</i>	53
<i>Fig. 3.2.3.9. Desplome en las torres del puente 1CV-Intermedia</i>	53
<i>Fig. 3.3.1.1. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2LV-Abanico</i>	54
<i>Fig. 3.3.1.2. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2LV-Arpa</i>	55
<i>Fig. 3.3.1.3. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2LV-Intermedia</i>	55
<i>Fig. 3.3.1.4. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2IC-Abanico</i>	56
<i>Fig. 3.3.1.5. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2IC-Arpa</i>	56
<i>Fig. 3.3.1.6. Esfuerzo axil en el dintel del puente 2IC-Intermedia</i>	57
<i>Fig. 3.3.1.7. Esfuerzo axil en el dintel del puente 1CV-Abanico</i>	57
<i>Fig. 3.3.1.8. Esfuerzo axil en el dintel del puente 1CV-Arpa</i>	58
<i>Fig. 3.3.1.9. Esfuerzo axil en el dintel del puente 1CV-Intermedia</i>	58
<i>Fig. 3.3.1.10. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Abanico</i>	59
<i>Fig. 3.3.1.11. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Arpa</i>	59
<i>Fig. 3.3.1.12. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Intermedia</i>	60
<i>Fig. 3.3.1.13. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Abanico</i>	60
<i>Fig. 3.3.1.14. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Arpa</i>	61
<i>Fig. 3.3.1.15. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Intermedia</i>	61
<i>Fig. 3.3.1.16. Momento flector en el dintel del puente 1CV-Abanico</i>	62
<i>Fig. 3.3.1.17. Momento flector en el dintel del puente 1CV-Arpa</i>	62
<i>Fig. 3.3.1.18. Momento flector en el dintel del puente 1CV-Intermedia</i>	63
<i>Fig. 3.3.1.19. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Abanico</i>	64
<i>Fig. 3.3.1.20. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Arpa</i>	64
<i>Fig. 3.3.1.21. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Intermedia</i>	65
<i>Fig. 3.3.1.22. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Abanico</i>	65
<i>Fig. 3.3.1.23. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Arpa</i>	66
<i>Fig. 3.3.1.24. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Intermedia</i>	66
<i>Fig. 3.3.1.25. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 1CV-Abanico</i>	67
<i>Fig. 3.3.1.26. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 1CV-Arpa</i>	67
<i>Fig. 3.3.1.27. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 1CV-Intermedia</i>	68
<i>Fig. 3.3.1.28. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Abanico</i>	69
<i>Fig. 3.3.1.29. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Arpa</i>	69
<i>Fig. 3.3.1.30. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Intermedia</i>	70
<i>Fig. 3.3.1.31. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Abanico</i>	70

<i>Fig. 3.3.1.32. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Arpa</i>	71
<i>Fig. 3.3.1.33. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Intermedia</i>	71
<i>Fig. 3.3.1.34. Momento torsor en el dintel del puente 1CV-Abanico</i>	72
<i>Fig. 3.3.1.35. Momento torsor en el dintel del puente 1CV-Arpa</i>	72
<i>Fig. 3.3.1.36. Momento torsor en el dintel del puente 1CV-Intermedia</i>	73
<i>Fig. 3.3.2.1. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2LV-Abanico</i>	74
<i>Fig. 3.3.2.2. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2LV-Arpa</i>	74
<i>Fig. 3.3.2.3. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2LV-Intermedia</i>	75
<i>Fig. 3.3.2.4. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2IC-Abanico</i>	75
<i>Fig. 3.3.2.5. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2IC-Arpa</i>	76
<i>Fig. 3.3.2.6. Esfuerzo axil en las pilas del puente 2IC-Intermedia</i>	76
<i>Fig. 3.3.2.7. Esfuerzo axil en las pilas del puente 1CV-Abanico</i>	77
<i>Fig. 3.3.2.8. Esfuerzo axil en las pilas del puente 1CV-Arpa</i>	77
<i>Fig. 3.3.2.9. Esfuerzo axil en las pilas del puente 1CV-Intermedia</i>	78
<i>Fig. 3.3.2.10. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Abanico</i>	79
<i>Fig. 3.3.2.11. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Arpa</i>	79
<i>Fig. 3.3.2.12. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Intermedia</i>	80
<i>Fig. 3.3.2.13. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Abanico</i>	80
<i>Fig. 3.3.2.14. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Arpa</i>	81
<i>Fig. 3.3.2.15. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Intermedia</i>	81
<i>Fig. 3.3.2.16. Momentos flectores en las pilas del puente 1CV-Abanico</i>	82
<i>Fig. 3.3.2.17. Momentos flectores en las pilas del puente 1CV-Arpa</i>	82
<i>Fig. 3.3.2.18. Momentos flectores en las pilas del puente 1CV-Intermedia</i>	83
<i>Fig. 3.4.1.1. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Abanico</i>	84
<i>Fig. 3.4.1.2. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Arpa</i>	84
<i>Fig. 3.4.1.3. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Intermedia</i>	85
<i>Fig. 3.4.1.4. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Abanico</i>	85
<i>Fig. 3.4.1.5. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Arpa</i>	85
<i>Fig. 3.4.1.6. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Intermedia</i>	86
<i>Fig. 3.4.1.7. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 1CV-Abanico</i>	86
<i>Fig. 3.4.1.8. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 1CV-Arpa</i>	86
<i>Fig. 3.4.1.9. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 1CV-Intermedia</i>	87
<i>Fig. 3.4.2.1. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Abanico</i>	87
<i>Fig. 3.4.2.2. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Arpa</i>	88
<i>Fig. 3.4.2.3. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Intermedia</i>	88

<i>Fig. 3.4.2.4. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Abanico</i>	88
<i>Fig. 3.4.2.5. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Arpa</i>	89
<i>Fig. 3.4.2.6. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Intermedia</i>	89
<i>Fig. 3.4.2.7. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 1CV-Abanico</i>	89
<i>Fig. 3.4.2.8. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 1CV-Arpa</i>	90
<i>Fig. 3.4.2.9. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 1CV-Intermedia</i>	90
<i>Fig. 3.4.3.1. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Abanico</i>	91
<i>Fig. 3.4.3.2. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Arpa</i>	91
<i>Fig. 3.4.3.3. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Intermedia</i>	91
<i>Fig. 3.4.3.4. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Abanico</i>	92
<i>Fig. 3.4.3.5. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Arpa</i>	92
<i>Fig. 3.4.3.6. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Intermedia</i>	92
<i>Fig. 3.4.3.7. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 1CV-Abanico</i>	93
<i>Fig. 3.4.3.8. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 1CV-Arpa</i>	93
<i>Fig. 3.4.3.9. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 1CV-Intermedia</i>	93

1. PUENTES ATIRANTADOS

1.1. Introducción

Como bien indica D. Javier Manterola (2006) [1], los puentes atirantados han visto un desarrollo notable desde la aparición del primer puente moderno en esta tipología estructural. Además de su implantación paulatina, se evidencia cómo ha cambiado el planteamiento de estas estructuras, pasando de suponer que la utilización de tirantes representaba un apoyo rígido para el dintel a la consideración de que, por el contrario, supone una fundación elástica bajo este al ser dispuesta una gran cantidad de tirantes próximos unos a otros.

El puente de Strömsund, Suecia, Fig. 1.1.1 [11] (183 m de luz en el vano central) construido en 1955 nos expone los inicios en la implantación de estos puentes en la era moderna, destacando la poca cantidad de tirantes utilizados, así como su gran separación, lo que conlleva a la necesidad de un gran canto en el dintel. En contraposición a este, el puente de la constitución en Cádiz, España, Fig. 1.1.2 [12] (540 m de luz) fue inaugurado en el 2015 y demuestra la evolución que han sufrido estos puentes, donde el canto del tablero se reduce al mínimo con el apoyo de los múltiples tirantes.



Fig. 1.3.1.1. Puente de Strömsund, Suecia



Fig. 1.3.11.3.1.2. Puente de la Constitución de 1812, Cádiz, España

Este tipo de puentes ha ido tomando lugar, y haciéndose idóneo en ciertos intervalos de luz en los que su utilización resulta más favorable respecto a otras tipologías, como pueden ser los puentes colgantes o puentes de hormigón pretensado.

La aparición de una tipología nueva determina una cuña en una zona determinada, que va desplazando a las tipologías que cubrían ese espacio, hasta abrirse un hueco donde se instala. Hoy en día, podríamos decir que el puente atirantado tiende a ocupar las luces libres comprendidas entre los 100 y 900 m. (Manterola, 2006, p.989-990).

Claramente los límites en luces entre tipologías no están estrictamente establecidos, pero se evidencia que el coste es el delimitador en la conveniencia entre unos y otros, incluso llegan a existir intervalos en las que diversas tipologías presentan competencia y aptitud. Así, el puente de hormigón pretensado aumenta su coste exponencialmente al llegar a luces superiores a 100 m; mientras que en el rango superior del puente atirantado (900 m), este presenta un requerimiento menor de acero en sus tirantes que en los del puente colgante.

Otro beneficio que se destaca del atirantado frente al puente colgante es el de mayor rigidez frente a acciones no simétricas en el tablero y frente a acciones del viento. Sin embargo, al aumentar la luz salvada, la compresión transmitida al dintel es mayor en el puente atirantado, que forzará a rigidizarlo y elevando así el coste y haciéndolo incompetente frente al colgante.

1.2. Objetivo

Además de una motivación estructural, la implantación y desarrollo del puente atirantado se ha visto ampliamente extendido por su gran valor estético. La esbeltez que proporciona expone una armonía con su entorno llevándolo a ser una de las tipologías preferidas en su ámbito, también como una gran obra civil que sirve a su vez de atracción turística.

Todo esto sin perder de vista la gran capacidad que aporta esta disposición en la respuesta estructural a un coste razonable frente a las luces que se ofrecen a ser salvadas. Luces que se apetecen enormes, pueden ser respondidas con una eficiencia y una estética con este puente, el cual en las últimas décadas ha surgido y evolucionado como un planteamiento novedoso y se evidencia en su implantación en gran medida a lo largo del mundo entero. Sin ir más lejos, en la ciudad que cobija a esta escuela, Sevilla, se han ejecutado la construcción del puente del centenario, Fig. 1.2.1 (565 m de longitud del vano atirantado), y del puente del Alamillo, Fig. 1.2.2 (200 m de luz), que además presenta la peculiaridad de el uso de un pílón de contrapeso en lugar de tirantes de compensación en el vano adyacente.



Fig. 1.3.11.3.11. Puente del Centenario, Sevilla, España



Fig. 1.3.1.2. Puente del Alamillo, Sevilla, España

Este meteórico desarrollo e implementación ha servido de motivación para la realización del presente trabajo. Por esto, el objeto de este estudio y documento es obtener una aproximación personal a esta tipología inexplorada en su conjunto en el término de los 4 cursos del grado; poder comprender el funcionamiento de esta tipología y de algunas variables que influyen en las solicitudes al conjunto estructural.

Se pretende, después de la realización de una breve introducción en estos puentes (desde el inicio de su implementación moderna, hasta la definición de las luces propias de estos, así como una comparación superficial con otras tipologías que le compiten), enunciar los problemas a los que se afronta un ingeniero al tomar uso del atirantado, exponer los métodos constructivos y de obtención de los valores del pretensado para los tirantes.

Todo esto con el fin global del trabajo de la determinación y comprobación de la influencia de la disposición de los tirantes en los esfuerzos generados sobre la estructura, y de las flechas obtenidas en el dintel y desplomes en los pilones. El objetivo principal es identificar los aprovechamientos en favor de cada una de las morfologías en cuanto a pretensión inicial en los tirantes, esfuerzos axiales en estos en ELS, flechas y desplomes máximos producidos en el dintel y pilones, respectivamente, esfuerzos en el dintel y pilas en ELU y la evolución según etapas constructivas de pretensiones iniciales en los cables y desplazamientos, axiales y flectores en dinteles y pilas.

1.3. Problemas característicos de los puentes atirantados

La disposición de una gran cantidad de tirantes otorga a la estructura de una gran hiperestaticidad. Como enunció Diego Rubio Peiroten (2010) [8] en su Trabajo Fin de Master: “Los puentes atirantados son estructuras altamente hiperestáticas y a su vez muy flexibles, sobre todo durante el proceso constructivo, debido a las grandes luces a las que están asociados”.

Además de esto, los caracterizan también las no linealidades intrínsecas en ellos, que unidos con la necesidad de construcción por fases debido a sus dimensiones y a los problemas reológicos de los materiales generan que el diseño y construcción de estos sea un proceso delicado y que requiero de un buen desempeño ingenieril.

De esta manera, los principales problemas a considerar son los siguientes:

1.3.1 No linealidades geométricas

- Curvatura de los tirantes:

Los cables en estos puentes no pueden ser modelizados como simples elementos lineales, ya que aparece una curvatura en ellos debido a su inclinación, su peso y longitud, como se ilustra en la Fig 1.3.1.1, tomada de Wang, Ling y Tang (2002) [3]. De esta manera, tanto la curvatura como el módulo de elasticidad de estos dependen del valor de la tensión sufrida, con lo cual, la respuesta está definida en función de la carga existente en los tirantes.

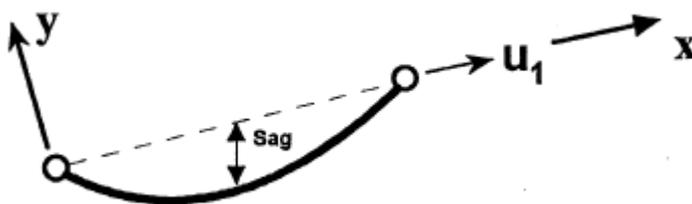


Fig. 1.3.1.1. Curvatura de los tirantes (Cable sag)

La solución a este problema viene mediante el cálculo iterativo y la utilización de un módulo de elasticidad equivalente. Si la variación en la solitud en el tirante al incrementar las cargas es reducida se puede utilizar la fórmula de Ernst, definida como:

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{q^2 L^2 EA}{12 T^3}}$$

Pero si la variación de tensión en este es considerable, se aplica el módulo de elasticidad secante:

$$E_s = \frac{E}{1 + \frac{q^2 L^2 (T_1 + T_2) EA}{24 T_1^2 \cdot T_2^2}}$$

Donde E corresponde al módulo de elasticidad del material, A el área de la sección transversal del tirante, q el peso por unidad de longitud, L la proyección horizontal de la longitud del cable, T la tensión en este, y T_1 y T_2 las tensiones existentes en este antes y después del incremento de las acciones respectivamente.

Cabe destacar que este efecto es mucho más definido e influyente en los puentes colgantes, donde cable principal representa una catenaria.

- Flexo-compresión de los pilones y del tablero:

La flexo-compresión, estudiada con la teoría de segundo orden, genera una reducción de la rigidez a flexión de una barra sometida a compresión, y un aumento si se halla a tracción.

Como podemos observar en las figuras tomadas de Fu y Wang (2014) [5], Fig. 1.3.1.2.a (p-330) y la Fig. 1.3.1.2.b (p-336), que muestran el comportamiento estructural de un puente atirantado debido a la pretensión de los tirantes y a cargas verticales sobre el dintel, tanto este como las pilas se ven sometidos a grandes compresiones. Por lo tanto, si aplicamos teoría de segundo orden, sus rigideces a flexión se verán disminuidos.

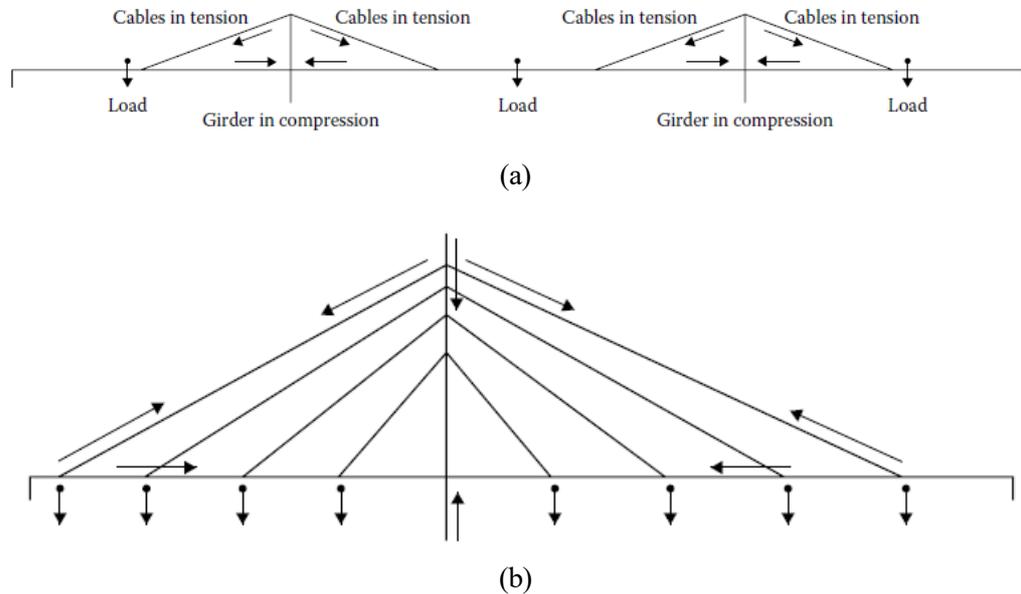


Fig. 1.3.1.2. Comportamiento mecánico de un puente atirantado

Este efecto puede ser evaluado utilizando las funciones de estabilidad. Así, la matriz de rigidez depende de estas funciones y estas a su vez de los axiles, por esto es un problema no lineal.

Consideramos el elemento definido en la Fig. 1.3.1.3 [3], que corresponde a un elemento con 3 grados de libertad (gdl): un gdl de giro por nodo (u_1 y u_2) y un gdl que representa el cambio de longitud, Δl (u_3). Por otro lado, S_j representa la fuerza en el gdl u_j , de esta forma S_1 y S_2 son los momentos flectores en los nodos y u_3 es el axil que actúa sobre el elemento.

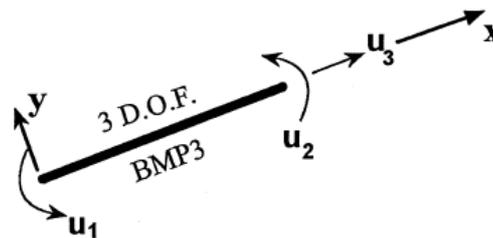


Fig. 1.3.1.3. Grados de libertad de un elemento a flexo-compresión

Al considerar el efecto de flexo-compresión, la matriz de rigidez queda:

$$[KE] = \frac{EI}{l} \begin{bmatrix} C_s & C_t & 0 \\ C_t & C_s & 0 \\ 0 & 0 & R_t(A/I) \end{bmatrix}$$

Donde A y E son los definidos previamente, I el momento de inercia, l la longitud del elemento y C_s, C_t y R_t las funciones de estabilidad definidas en función de las fuerzas y momentos aplicados, S_j , distinguiéndose 2 casos :

- Axil de compresión, $S_3 < 0$:

$$C_s = \frac{J[\sin(J) - J \cos(J)]}{2 - 2 \cos(J) - J \sin(J)},$$

$$C_t = \frac{J[J - \sin(J)]}{2 - 2 \cos(J) - J \sin(J)},$$

$$R_t = \frac{1}{1 - \frac{EAR_{cm}}{4S_3^3 l^2}},$$

Donde:

$$J = \sqrt{(|S_3|/EI)l}$$

$$R_{cm} = J(S_1^2 + S_2^2) [\cot(J) + J \csc^2(J)] - 2(S_1 + S_2)^2 + (S_1 S_2)[1 + J \cot(J)][2J \csc(J)].$$

➤ Axil de tracción, $S_3 < 0$:

$$C_s = \frac{J[\cosh(J) - J \sinh(J)]}{2 - 2 \cosh(J) - J \sinh(J)},$$

$$C_t = \frac{J[\sinh(J) - J]}{2 - 2 \cosh(J) + J \sinh(J)},$$

$$R_t = \frac{1}{1 - \frac{EAR_{tm}}{4S_3^3 l^2}},$$

Donde:

$$J = \sqrt{(|S_3|/EI)l}$$

$$R_{tm} = J(S_1^2 + S_2^2) [\coth(J) + J \cosh^2(J)] - 2(S_1 + S_2)^2 + (S_1 S_2)[1 + J \coth(J)][2J \cosh(J)]$$

- **Grandes desplazamientos:**

Debido a las grandes luces asociadas a esta tipología y a su gran flexibilidad, pueden presentarse fácilmente grandes desplazamientos. Por esto, las ecuaciones de equilibrio han de formularse en la deformada de la estructura y realizar un análisis de segundo orden. De esta manera, mediante los coeficientes de transformación $a_{j\alpha}$ se logra relacionar los gdl en coordenadas locales del elemento, u_j , con los gdl en coordenadas globales, q_α , Fig. 1.3.1.4.

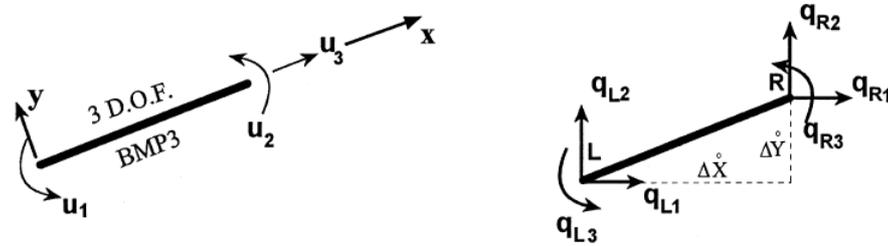


Fig. 1.3.1.4. Transformación de coordenadas locales a globales de un elemento barra

En general, podemos expresar u_j como:

$$u_j = u_j(q_\alpha)$$

Donde u_j pueden ser funciones no lineales cuando hay grandes desplazamientos. Tomando los valores diferenciales tenemos:

$$du_j = a_{j\alpha} dq_\alpha$$

Con esto tenemos los coeficientes de transformación de primer orden:

$$a_{j\alpha} = \partial u_j / \partial q_\alpha$$

Y los coeficientes de segundo orden como:

$$a_{j\alpha,\beta} = \partial a_{j\alpha} / \partial q_\beta = \partial^2 u_j / \partial q_\alpha \partial q_\beta$$

A modo de referencia, Wang, Tseng y Yang (1993) [2] nos definen estos coeficientes en la siguiente tabla:

Tabla 1.3.1.1. Coeficientes de transformación de coordenadas en un elemento barra

$\frac{a_{rj}}$	α					
j	L1	L2	L3	R1	R2	R3
1	-B	A	1	B	-A	0
2	-B	A	0	B	-A	1
3	-C	-D	0	C	D	0

For $j = 1, 2$

$\frac{a_{r,\beta}}$	β					
α	L1	L2	L3	R1	R2	R3
L1	$-H_2$	H_1	0	H_2	$-H_1$	0
L2		H_2	0	$-H_1$	$-H_2$	0
L3			0	0	0	0
R1				$-H_2$	H_1	0
R2					H_2	0
R3	symmetric					0

For $j = 3$

$\frac{a_{r,\beta}}$	β					
α	L1	L2	L3	R1	R2	R3
L1	H_3	H_4	0	$-H_3$	$-H_4$	0
L2		H_5	0	$-H_4$	$-H_5$	0
L3			0	0	0	0
R1				H_3	H_4	0
R2					H_5	0
R3	symmetric					0

In which

$$A = \frac{\Delta x}{l^2}, \quad B = \frac{\Delta y}{l^2}, \quad C = \frac{\Delta x}{l}, \quad D = \frac{\Delta y}{l},$$

$$H_1 = \frac{\Delta x^2 - \Delta y^2}{l^4}, \quad H_2 = \frac{2\Delta x \Delta y}{l^4}, \quad H_3 = \frac{1}{l} - \frac{\Delta x^2}{l^3}, \quad H_4 = \frac{-\Delta x \Delta y}{l^3}, \quad H_5 = \frac{1}{l} - \frac{\Delta y^2}{l^3}.$$

$l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ = deformed element length, Δx = projection of element length on X-axis, and Δy = projection of element length on Y-axis.

Con estos coeficientes, utilizando procedimientos de elementos finitos podemos construir la matriz de rigidez.

Sin embargo, si las cargas de pretensado en los tirantes han sido calculadas correctamente y la longitud del vano es inferior a 600 m, los efectos de grandes desplazamientos se pueden despreciar.

1.3.2 No linealidades mecánicas del hormigón

- Comportamiento no lineal del hormigón:

El diagrama tensión-deformación del hormigón es claramente no lineal. Sin embargo, se pueden utilizar diagramas equivalentes según el estado en el que estudiemos el comportamiento estructural. De esta manera, en fase constructiva y en estado límite de servicio se puede realizar un análisis lineal ya que no se suele superar el límite de $0.4 \cdot f_{cm}$, zona donde el comportamiento se puede considerar lineal.

Sin embargo, en estados de carga avanzados, como en el estudio de estado límite último, se ha de considerar diagramas equivalentes que sean más fieles al comportamiento del material, como el diagrama parábola- rectángulo, o que mantengan la energía de deformación de este, como el

diagrama rectangular del hormigón.

- Fisuración:

La aparición de fisuras en el hormigón genera una no linealidad al disminuir el área e inercia resistentes efectivas, así su módulo de deformación se ve reducido.

Debido a las grandes compresiones a las que se ven sometidos el dintel y los pilones, se puede despreciar la fisuración a tracción en la mayoría de casos, además, se puede simplificar la comprobación de la abertura de la fisura con la colocación de una armadura mínima. También sería necesario comprobar el estado de fisuración a compresión, que se puede simplificar manteniendo la máxima tensión en servicio del hormigón en un valor menor o igual a $0,6 \cdot f_{ck}$.

1.3.3 Problemas reológicos

- Fluencia y retracción en el hormigón:

El hormigón con el tiempo y a carga constante se va ablandando, lo que se traduce en un aumento en las deformaciones. Esto ocurre debido a que el módulo de deformación va disminuyendo a lo largo del tiempo bajo cargas constantes. Se evalúa calculando el coeficiente de fluencia $\varphi(t, t_0)$ que depende de la humedad relativa, el tipo de cemento usado, el espesor de la pieza, la resistencia media del hormigón y, sobre todo, del instante en el cual empiezo a aplicar la carga sobre la pieza. Nos permite hallar la deformación de la siguiente manera:

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t)}{E_c^f(t, t_0)} = \frac{\sigma(t)}{\frac{E_c}{1 + \varphi(t, t_0)}}$$

Por otro lado, la retracción es un fenómeno reológico diferido en el tiempo mientras el fraguado en el que el hormigón se va retrayendo, es decir, se producen deformaciones de contracción que producirán esfuerzos si se ven impedidas. Este efecto depende del espesor de la pieza, del tipo de cemento, de la resistencia media del hormigón y su humedad relativa.

Tiene mayor efecto la fluencia que la retracción.

En los puentes atirantado hay que tener gran consideración en estas propiedades, ya que generan deformaciones diferidas que se ven acusadas debido a las grandes dimensiones de la estructura y de su necesaria construcción por fases; esto especialmente si el dintel es de hormigón. Hay que considerar, por tanto, estas deformaciones y la redistribución de esfuerzos generados.

- Relajación y pérdidas de pretensado en el acero:

La relajación es el fenómeno sufrido por el acero, especialmente como armadura activa, en el que este pierde tensión sin llegar a deformarse. Cuanto más próxima la tensión al límite elástico más se ve afectado por este fenómeno.

Este efecto puede considerarse despreciable ya que se utilizan actualmente aceros de baja relajación. Además, esto permite que las pérdidas en el pretensado de los tirantes sean mínimas.

- Proceso de endurecimiento de la sección:

Como se ha indicado, estos puentes requieren construcción por fases, con lo cual la ganancia de rigidez del hormigón es diferente en distintas zonas. Además, se pueden producir agrietamientos en zonas de juntas.

1.3.4 Influencia de errores de ejecución

De nuevo, debido a las grandes dimensiones de estos puentes y a la inevitabilidad de errores en la ejecución, se han de controlar estos exhaustivamente con unas tolerancias muy restrictivas. Un cambio en la geometría real con respecto a la proyectada inducirá variación en los esfuerzos que sufre la estructura.

1.4. Métodos constructivos

En la actualidad, existen 3 procesos constructivos principales por los cuales se ejecutan estas obras:

1.4.1 Cimbrado general

Método usado cuando existe poca altura entre el dintel y el terreno, teniendo este último una buena capacidad portante, y cuando no existe un curso fluvial importante, carreteras o vías de ferrocarril debajo de este. Evita los problemas de flexibilidad y los efectos diferidos causados por esta, proporcionando mejores condiciones de seguridad y de acceso de maquinaria.

Consiste en la utilización de una estructura auxiliar que soporte al tablero en su proceso de fabricación.

1.4.2 Dovelas sucesivas

Las dovelas son segmentos del dintel, que se van disponiendo progresivamente al avance de este. Puede realizarse in situ, mediante el hormigonado con ayuda de encofrados deslizantes (carros de avance); o con dovelas prefabricadas de hormigón o de acero estructural. En esta última, los segmentos son transportados, ubicados y unidos mediante pretensado o soldadura.

Como indica Rubio Peiroten, D. (2010), es el método más usado, ya que permite mayor versatilidad al enfrentarse a cualquier longitud de vano y altura del dintel, con la desventaja de ser mas susceptible a errores de ejecución y otorgar mayor flexibilidad al dintel.

1.4.3 Lanzamientos progresivos

Se suele aplicar en los vanos laterales o de acceso al vano principal cuando existen pilares de apoyo con luces intermedias convenientes, o en los vanos principales siempre y cuando se utilicen apoyos y sistemas de atirantado (en luces elevadas) provisionales.

Consiste en la construcción por tramos del dintel en los márgenes del puente y su posterior empuje (lanzamiento) mediante gatos hidráulicos, con ayuda de sistemas deslizantes en los pilares, hasta alcanzar el siguiente apoyo, y así sucesivamente hasta conseguir la posición final. La fabricación en los márgenes del puente en vez de "in situ" permite un mayor control de ejecución, disminuyendo los errores y desviaciones.

En los modelos realizados en el presente trabajo se ha optado por el método de dovelas sucesivas con dintel metálico.

1.5. Métodos de estimación inicial de cargas en tirantes

Como se ha indicado, los puentes atirantados representan una altísima hiperestaticidad, por esto la determinación de la carga de pretensión en los tirantes es algo complejo. Se requiere, para la buena convergencia en la determinación de las cargas en estos por medio del método de Newton, iniciar la iteración con un valor cercano o razonable. Este es el motivo por el cual, mediante métodos más sencillos que los que se verán en el apartado 1.6, se procura obtener una estimación inicial conveniente y no iniciar la iteración con valores aleatorios y desconocidos a priori. Para esto tenemos los siguientes métodos:

1.5.1 Por equilibrio de cargas verticales

Se asume que la carga muerta (peso propio más carga muerta adicional) es equilibrada con la componente vertical, T_v , de la carga en el tirante [3]:

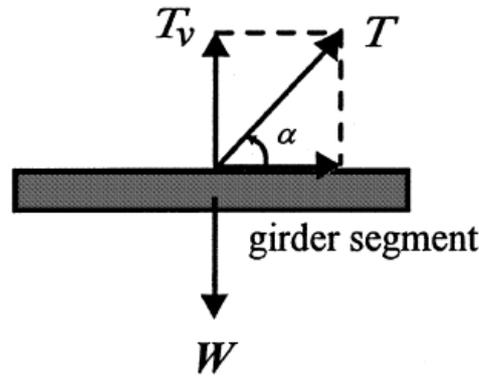


Fig. 1.5.1.1. Equilibrio de cargas verticales en un segmento del dintel

Se obtiene que:

$$T_v = wL$$

Donde w es la carga muerta por unidad de longitud y L la longitud del segmento.

Con lo que la carga inicial en el tirante sería:

$$T = \frac{T_v}{\sin \alpha} = \frac{wL}{\sin \alpha}$$

Siendo α el ángulo entre el dintel y el tirante.

1.5.2 Por momentos flectores nulos

Al aislar un segmento del dintel, considerándolo como simplemente apoyado (los tirantes actúan como apoyos), donde L es la longitud del segmento, se ubica el tirante al cual queremos calcular su carga inicial de prueba en el medio. Se considera la componente vertical del tirante como una fuerza puntual que contrarresta el momento flector producido por la carga muerta [3]:

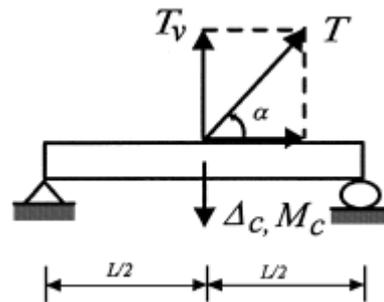


Fig. 1.5.2.1. Momento y flecha del segmento aislado del dintel

$$M_c = \frac{T_v L}{4} - \frac{wL^2}{8}$$

Si hacemos que el momento flector en el centro del vano sea nulo, se obtendría el valor de la componente vertical de la carga en el tirante:

$$T_v = \frac{wL}{2}$$

Con lo que la carga sería:

$$T = \frac{T_v}{\sin \alpha} = \frac{wL}{2 \sin \alpha}$$

1.5.3 Por desplazamientos verticales nulos

Al igual que en el método anterior, Fig. 1.5.2.1, aislamos un segmento y obtenemos en esta ocasión la deflexión producida por la carga muerta y contrarrestada por la componente vertical del cable en el punto medio del segmento del dintel:

$$\Delta_c = \frac{T_v L^3}{48EI} - \frac{5wL^4}{384EI}$$

Si hacemos que la flecha sea nula, obtenemos la carga vertical como:

$$T_v = \frac{5}{8}wL$$

Así, la carga inicial en el tirante sería:

$$T = \frac{T_v}{\sin \alpha} = \frac{5wL}{8 \sin \alpha}$$

1.5.4 Por consideración del módulo de elasticidad equivalente

Como se vió en el apartado 1.3.1 No linealidades geométricas, el efecto de la curvatura del tirante genera que la respuesta del tirante depende de la carga a la cual está sometido. Así se ha definido el módulo de elasticidad equivalente, en el cual a mayor tensión mayor rigidez:

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{q^2 L^2 EA}{12 T^3}} = \frac{E}{1 + \frac{\gamma^2 L^2 E}{12 \sigma^3}}$$

Donde γ es el peso específico del material del tirante.

Una estimación inicial de la carga en el tirante puede ser tomada como aquella que genera una tensión en este que hace al módulo equivalente igual al 80% del módulo real del material. Para ilustrar la variación del módulo de elasticidad según la tensión aplicada, y dependiendo de la longitud horizontal de los tirantes, se grafica en la Fig. 1.5.4.1. Para esto, hemos tomado las longitudes horizontales reales que tendrán nuestros modelos ($L=14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94, 97$ y 104 m), considerando un módulo de elasticidad del acero y un peso específico de:

$$E = 1.9613 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma = 77.09 \text{ kN/m}^3$$

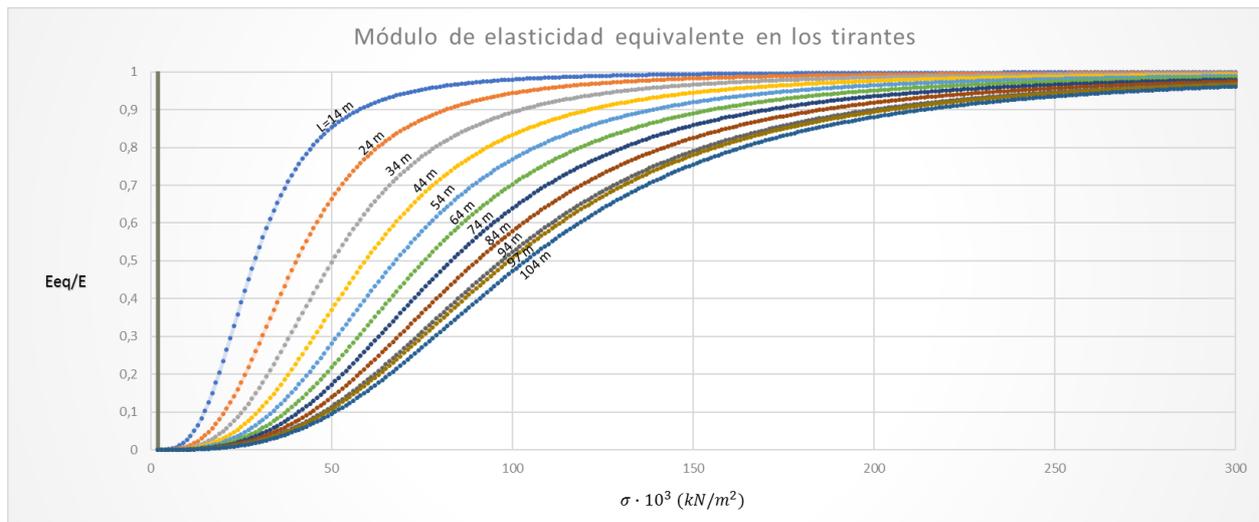


Fig. 1.5.4.1. Módulo de elasticidad equivalente en los tirantes según longitud y tensión

1.6. Métodos de determinación de cargas en tirantes

Trás una estimación inicial de las cargas en los tirantes se procedería a hallar las cargas finales en cada uno. Para esto también existen varios caminos dependiendo de cuál es el objetivo a optimizar: esfuerzos, deformaciones, energía o errores.

Sin importar el objetivo elegido, esto se hace mediante la matriz de influencia, que es la matriz de rigidez de la estructura condensada, que nos permite conocer la interacción entre tirantes y sobre el resto de la estructura. Nos evidencia la influencia de una variación unitaria en la tensión de cada tirante sobre la magnitud de control elegida. Finalmente, mediante la solución de un sistema de ecuaciones lineales se obtiene la combinación de cargas finales para alcanzar el objetivo. Quintana Ytza (2009) [7] nos enumera algunos de los métodos utilizados:

1.6.1 Métodos de equilibrio de fuerzas

Se basan en el equilibrio de las cargas permanentes verticales trasladadas a los nudos de los tirantes con las componentes verticales de las cargas en los tirantes, mientras que las componentes horizontales se ven equilibradas con la compresión en el dintel y las torres. Se destacan:

- Método de la anulación de las reacciones en apoyos ficticios:
Considera al dintel como una viga continua con apoyos rígidos en los tirantes. Se consigue obtener las cargas en los tirantes a partir de la reacción en cada uno de estos apoyos ficticios.
- Método de la carga unidad:
Se considera una carga unidad en el dintel en cada punto de control y mediante superposición se obtiene la combinación de cargas en los tirantes necesarios para lograr la ley de flectores deseada.

1.6.2 Métodos de desplazamientos

El objetivo de estos métodos es la obtención de la rasante deseada. Puede realizarse tanto en el proceso constructivo como en la configuración final. Se considera el dintel como una viga continua con apoyos rígidos en los tirantes y mediante las reacciones en estos se hallan las cargas necesarias en los tirantes para que los desplazamientos verticales en los puntos de unión con el dintel sean nulos. En la consideración del proceso constructivo se realiza esta condición en la última dovela construida.

1.6.3 Métodos de optimización de energía y errores

Se consideran una serie de parámetros a optimizar. Los métodos energéticos procuran minimizar las cargas en los tirantes y se emplea especialmente en la fase final del puente, mientras que los métodos de errores utilizan los mínimos cuadrados de errores de ejecución y se utiliza especialmente en el proceso constructivo. En el caso de los primeros, lo habitual es optimizar la energía elástica de deformación.

De Han y Yan (2003) podemos obtener el proceso de obtención de resultados por este proceso: La energía de deformación viene dada por

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M^2}{EI} dx + \frac{1}{2} \int_0^L \frac{N^2}{EA} dx$$

Que escrito de manera discreta cuando se realiza el análisis por el método de elementos finitos:

$$U = \sum_{i=0}^N \frac{L_i}{4 E_i} \left(\frac{M_{io}^2 + M_{if}^2}{I_i} + \frac{N_{io}^2 + N_{if}^2}{A_i} \right)$$

Donde N es el número total de elementos modelizados en el dintel y pilas, L_i es la longitud del elemento i, E_i es el módulo de elasticidad, I_i es el momento de inercia de la sección, A_i es el área de la sección. M_{io} , M_{if} , N_{io} y N_{if} son los momentos flectores y los axiles en el nodo inicial y final del elemento i, respectivamente.

Bajo la aplicación de las cargas muertas y el pretensado en los tirantes los momentos flectores y los axiles en el dintel y los pilones son:

$$\{M\} = \{M_D\} + \{M_P\} = \{M_D\} + [S_M] * \{P_0\}$$

$$\{N\} = \{N_D\} + \{N_P\} = \{N_D\} + [S_N] * \{P_0\}$$

Donde $\{M_D\}$ y $\{M_P\}$ son los vectores de momentos flectores generados por las cargas muertas y el pretensado, respectivamente; $[S_M]$ es la matriz de influencia de momentos; y $[S_N]$ es la matriz de influencia de axiles, siendo la componente S_{ij} de estas matrices los cambios en el momento o en el axil en el elemento i producido por la fuerza unidad en el tirante j . $\{N_D\}$ y $\{N_P\}$ son los vectores de axiles generados por las cargas muertas y el pretensado en los tirantes, respectivamente. $\{P_0\}$ es el vector de fuerza de pretensado en los tirantes.

Los desplazamientos en el dintel y las pilas vienen dados por:

$$\{F\} = \{F_D\} + \{F_P\} = \{F_D\} + [S_F] * \{P_0\}$$

Donde $\{F\}$ es el vector desplazamiento, $[S_F]$ es la matriz de influencia de desplazamientos, y $\{F_D\}$ y $\{F_P\}$ son los vectores de desplazamientos producidos por las cargas muertas y las cargas en los tirantes, respectivamente.

Sustituyendo las ecuaciones de los momentos flectores y axiles en la ecuación de la energía de deformación en elementos finitos, y sustituyendo:

$$\{\bar{M}\} = [A]\{M\}, \{\bar{N}\} = [B]\{N\}$$

Donde $[A]$ y $[B]$ son diagonales matrices:

$$[A] = \text{Diag} \left[\sqrt{\frac{L_1}{4E_1I_1}}, \sqrt{\frac{L_2}{4E_2I_2}}, \dots, \sqrt{\frac{L_n}{4E_nI_n}} \right]$$

$$[B] = \text{Diag} \left[\sqrt{\frac{L_1}{4E_1A_1}}, \sqrt{\frac{L_2}{4E_2A_2}}, \dots, \sqrt{\frac{L_n}{4E_nA_n}} \right]$$

Se tiene que la energía de deformación se puede representar matricialmente como:

$$U = \{P_0\}^T [\bar{S}]^T [\bar{S}] \{P_0\} + 2\{\bar{P}_D\}^T [\bar{S}] \{P_0\} + \{\bar{P}_D\}^T \{\bar{P}_D\}$$

Donde

$$[\bar{S}] = (\bar{S}_M, \bar{S}_N)^T = [A, B](S_M, S_N)^T$$

$$\{\bar{P}_D\} = \{M_D, N_D\}^T$$

Finalmente, como se pretende minimizar la energía de deformación, hacemos:

$$\frac{\partial U}{\partial P_0} = 0$$

A este problema se le aplican las siguientes restricciones:

- Rango de tensiones en dintel y pilas:

$$\{\sigma\}_L \leq \{\sigma\} \leq \{\sigma\}_U$$

Donde $\{\sigma\}$ representa el vector de tensiones máximas y $\{\sigma\}_L$ y $\{\sigma\}_U$ son los límites inferior y superior de tensiones.

- Rango de tensiones en los tirantes:

$$\{\sigma\}_{LC} \leq \left\{ \frac{P_{0C}}{A_C} \right\} \leq \{\sigma\}_{UC}$$

Donde A_C es el área de un tirante, P_{0C} es la fuerza de pretensado en el tirante, y $\{\sigma\}_{LC}$ y $\{\sigma\}_{UC}$ son los límites inferior y superior de la tensión en los tirantes. Para su funcionamiento normal.

- Desplazamientos en el dintel y pilas:

$$\{|D_i|\} \leq \{\Delta\}$$

Donde $\{|D_i|\}$ es el vector de los valores absolutos de los desplazamientos máximos y $\{\Delta\}$ es el vector de desplazamientos permitidos.

Con la energía de deformación expresada de manera matricial y estas restricciones se puede hallar las cargas en los tirantes que optimicen esta energía mediante métodos matemáticos estándares.

En el presente trabajo, para la determinación de la carga en los tirantes de los nueve modelos empleados se ha utilizado un método de optimización de energía. Específicamente se ha utilizado **el método del factor de carga desconocido (Unknown Load Factor Method)** mediante el programa MIDAS CIVIL [14], el cual utiliza una función objetivo que optimiza las tensiones en los cables en la posición inicial de equilibrio pudiéndole imponer restricciones en desplazamientos (utilizado en nuestros modelos), momentos flectores, entre otros. Se le asigna a cada tirante una carga unitaria que será multiplicada por el factor de carga para obtener la carga de pretensado.

La función objetivo puede ser:

- Lineal:

Corresponde al sumatorio del valor absoluto del factor de carga por el factor de peso (consideraremos factor de peso igual 1 para todos los tirantes)

$$Obj. = \sum_{i=1}^n |T_i \cdot W_i|$$

Se traduce en minimizar el total de la carga necesaria en los tirantes.

- Cuadrada

Es el sumatorio de los cuadrados del producto entre el factor de carga y el factor de peso

$$Obj. = \sum_{i=1}^n (T_i \cdot W_i)^2$$

- Del máximo absoluto:

La función es el máximo valor de los valores absolutos de los productos entre el factor de carga y el factor de peso

$$Obj. = \max(|T_1 \cdot W_1|, |T_2 \cdot W_2|, \dots, |T_n \cdot W_n|)$$

Este se traduce en minimizar el valor del tirante más cargado de la estructura.

1.7. Definición de cargas en tirantes en la fase constructiva

Ya que las cargas y la distribución de esfuerzo varían totalmente a medida que se va construyendo la estructura es necesario obtener las cargas en los tirantes para cada fase. Para ello en el modelo se puede avanzar de 2 maneras distintas:

1.7.1 Método del desmontaje (Backward)

Este es el método que se ha utilizado en los modelos del presente trabajo. Consiste en analizar la estructura en su fase final e ir desmontando el puente siguiendo el proceso inverso de la construcción. De esta manera la primera fase en el modelo es la retirada de la carga muerta adicional y posteriormente retirar la dovela central (la última en ser construida) e ir retirando los tirantes y dovelas del vano central en dirección hacia las pilas.

La desventaja de este método recae en que no es posible evaluar los problemas diferidos ya que avanza en dirección contraria, no pudiéndose considerar los efectos de la fase anterior real.

1.7.2 Método según el avance de la construcción (Forward)

En este método la modelización se realiza en el mismo sentido que de la construcción. Permite evaluar los problemas diferidos al considerar los efectos sobre una fase determinada de las anteriores. Como desventaja se tiene que las cargas finales obtenidas en los tirantes pueden distanciarse bastantes de las objetivo, con lo que es necesario un retoque en estas.

2. MODELIZACIÓN

En el presente capítulo se desarrollará el cuerpo del trabajo, donde se definirán los modelos utilizados para la comparación de esfuerzos en la estructura y desplazamientos máximos generados. Todo esto con el fin de ver la influencia de cómo sean dispuestos los tirantes sobre estos parámetros.

2.1. Geometría

2.1.1. Estructura

Para el estudio de la influencia mencionada se realizarán 9 modelos distintos en las que se juegan con las siguientes clasificaciones en la disposición de los tirantes:

- Según su disposición longitudinal:

- Abanico

Todos los tirantes salen de los pilones prácticamente de un mismo punto, siempre respetando la separación entre cada uno de los tirantes con sus vainas.

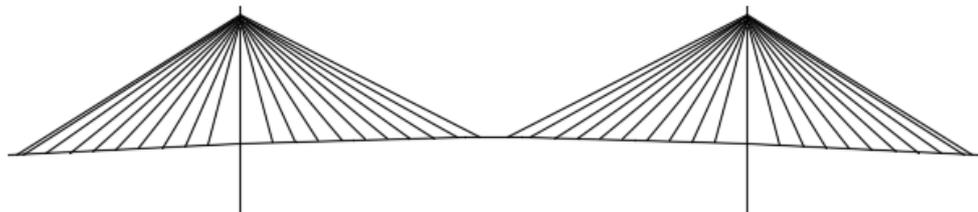


Fig. 2.1.1.1. Tirantes en disposición en abanico

- Arpa

Los tirantes son paralelos entre sí, con lo cual, salen de puntos distintos del pilón.

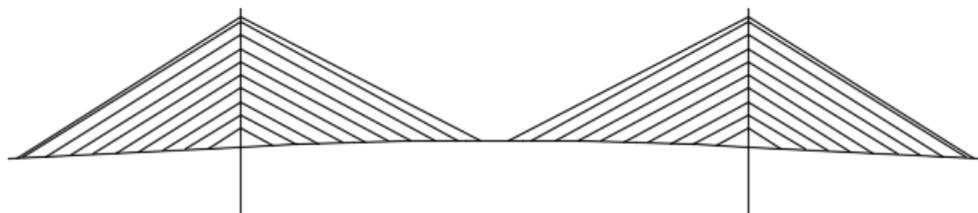


Fig. 2.1.1.2. Tirantes en disposición en arpa

- Intermedia (semi arpa – semi abanico)

En este caso, ni salen de un mismo punto ni son paralelos entre sí. Pero tienden a converger hacia los pilones.

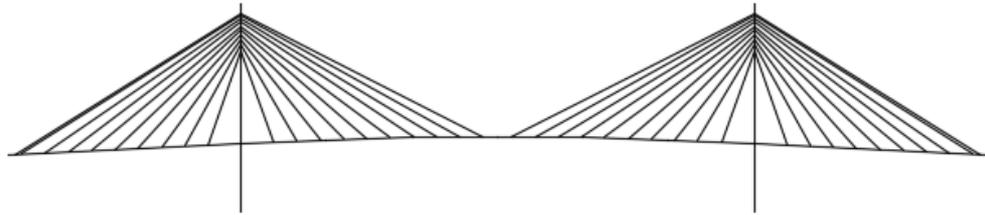


Fig. 2.1.1.3. Tirantes en disposición intermedia

- Según su disposición transversal:
 - Dos planos laterales verticales (2LV)



Fig. 2.1.1.4. Tirantes en dos planos laterales verticales

- Dos planos inclinados convergentes (2IC)



Fig. 2.1.1.5. Tirantes en dos planos inclinados convergentes

➤ Un plano central vertical (1CV)

A los 3 modelos con esta distribución transversal en realidad le corresponden dos planos centrales verticales separados 30 cm, para mantener el mismo número de tirantes de misma sección. Sin embargo, al estar ambos planos juntos en el plano central le denominaremos “un plano central vertical”.

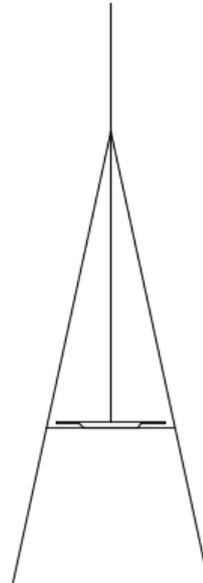


Fig. 2.1.1.6. Tirantes en un plano central vertical

Uniendo cada una de las disposiciones longitudinales con cada una de las transversales tenemos los siguientes 9 modelos:

- Dos planos laterales verticales en abanico (2LV-Abanico) [1.1]
- Dos planos laterales verticales en arpa (2LV-Arpa) [1.2]
- Dos planos laterales verticales en intermedia (2LV-Intermedia) [1.3]
- Dos planos inclinados convergentes en abanico (2IC-Abanico) [2.1]
- Dos planos inclinados convergentes en arpa (2IC-Arpa) [2.2]
- Dos planos inclinados convergentes en intermedia (2IC-Intermedia) [2.3]
- Un plano central vertical en abanico (1CV-Abanico) [3.1]
- Un plano central vertical en arpa (1CV-Arpa) [3.2]
- Un plano central vertical en intermedia (1CV-Intermedia) [3.3]

Cabe destacar que en la modelización de las estructuras en el programa MIDAS CIVIL se han introducido las propiedades geométricas de las secciones (valor del área A , de las inercias a flexión I_{yy} e I_{zz} , y de la inercia a torsión I_{xx}) en vez de la introducción de la geometría total. Esto en base al modelo de referencia usado definido en el tutorial número 2 de MIDAS CIVIL denominado “Cable-stayed backward – Final and construction stage analysis for a cable-stayed bridge” [15], el cuál coincide con el modelo [1.3] 2LV-Intermedia.

Los puentes presentan 3 vanos, uno central de 220 m y dos laterales de 100 m cada uno, haciendo una luz total a salvar de 420 m. Los vanos laterales presentan una pendiente del 5% hacia las pilas y el vano central un arco de radio 2202.7483 m, el radio necesario para ser tangente y servir de transición entre los vanos laterales.

La sección longitudinal es igual en los 9 puentes, salvo en las distancias entre anclajes en las pilas de los tirantes. Así que, ignorando en la Fig. 2.1.1.7 en qué puntos se unen los tirantes a las pilas, la geometría longitudinal de

los 9 modelos queda definida de la siguiente forma:

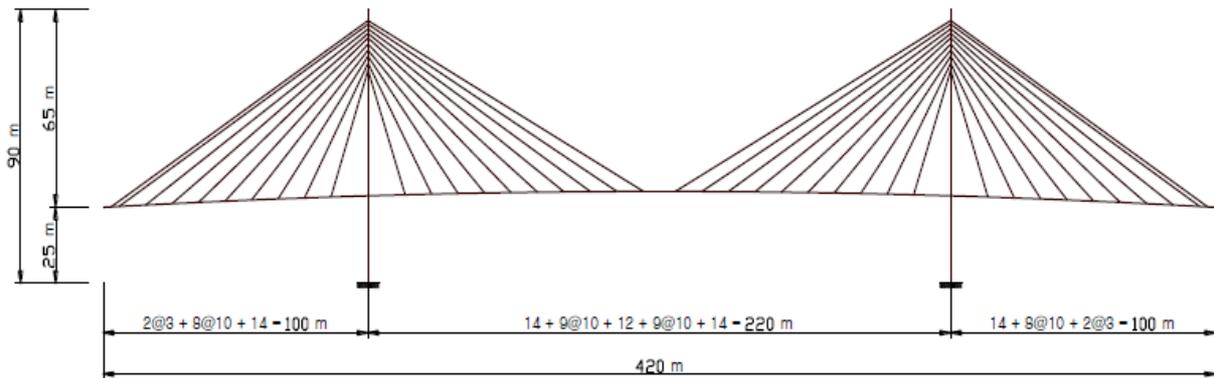


Fig. 2.1.1.7. Dimensiones longitudinales de los modelos

Donde se evidencia que los tirantes se unen con el dintel de la siguiente manera en proyección horizontal, considerando el origen como el inicio del dintel a la izquierda:

- Vanos laterales:
El primero a 3 metros del origen, el segundo a 3 metros del primero y los siguientes 8 tirantes separados 10 metros entre sí. La distancia entre el décimo tirante y la pila es de 14 m.
- Vano central:
Se retoman los tirantes a 14 metros de la pila y los siguientes 9 tirantes están espaciados entre sí 10 metros. La distancia entre los dos tirantes de pilas distintas que se encuentran en el centro del vano es de 12 m.

En cuanto a la separación de los tirantes en su anclaje con las pilas tenemos las siguientes disposiciones (se ilustra en los planos anexados), considerando el origen como el punto más alto de las torres:

- Puentes en abanico [1.1] [2.1] y [3.1]

El primer tirante se halla a 3.7 m.

Del tirante 2 al 10 hay una separación entre ellos de 0.3 m.

Estos 30 cm de separación entre ejes de los tirantes se han considerado para mantener una separación mínima entre ellos, ya que sus vainas presentan un diámetro de 25.5 cm, como se verá en la definición de la sección de los cables.

- Puentes en arpa [1.2] [2.2] y [3.2]

El primer tirante de halla a 3.7 m.

El tirante 2 a una distancia de 1.8 m del primero.

Del tirante 3 al 10 hay una separación de 5.8 m del anterior.

- Puentes en disposición intermedia [1.3] [2.3] y [3.3]

El primer tirante se halla a 3.7 m.

El tirante 2 a una distancia de 1.2 m del primero.

Del 3 al 5 se hallan a una distancia de 1.5 m del anterior.

Del 6 al 8 se hallan a una distancia de 2 m del anterior.

El 9 y 10 se hallan a una distancia de 2.3 m del anterior.

En cuanto a la geometría de las torres, se han empleado las siguientes:

- Puentes 2LV-Abanico [1.1] y 2LV-Intermedia [1.3]

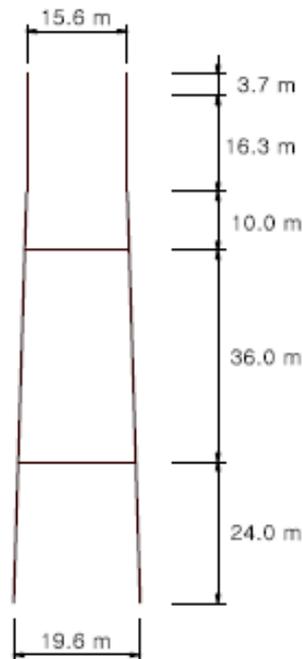


Fig. 2.1.1.8. Geometría de pilas en puentes 2LV-Abanico y 2LV-Intermedia

- Puente 2LV-Arpa [1.2]

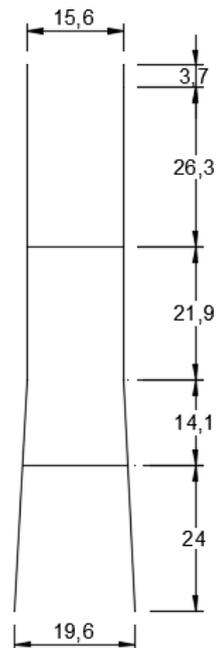


Fig. 2.1.1.9. Geometría de pilas en puente 2LV-Arpa

Este pórtico presenta una zona vertical que baja antes de comenzar el tramo inclinado aún más que el pórtico anterior; la zona inclinada en este asciende hasta los 28.1 m mientras que en el pórtico anterior asciende hasta los 70 m. Esto se debe a que el puente en disposición en arpa requiere que los tirantes más inferiores salgan de la pila a baja altura (a 14.1 m desde la viga de apoyo del dintel).

- Puentes 2IC [2.1] [2.2] y [2.3], 1CV-Abanico [3.1] y 1CV-Intermedia [3.3]

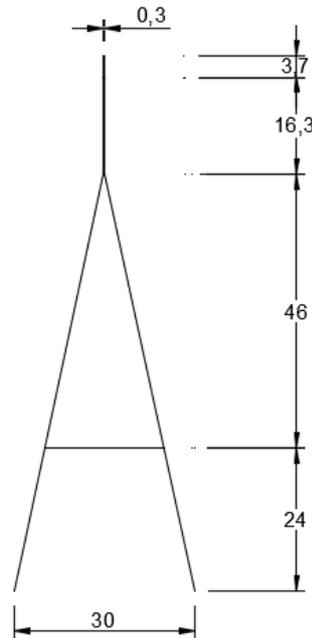


Fig. 2.1.1.10. Geometría en pilas en puentes 2IC-Abanico, 2IC-Arpa, 2IC-Intermedia, 1CV-Abanico y 1CV-Intermedia

Se ha empleado pilones en A ya que en estos puentes los tirantes salen de las pilas del plano central. En el tramo vertical, para mantener las mismas propiedades geométricas del tramo vertical de los pórticos en H anteriores, se ha modelizado por dos columnas separadas entre sí en sus ejes de 0,3 m que corresponde a la separación entre tirantes mínima. Así saldrán cada uno de los planos de tirantes de cada tramo vertical. Se ha usado un “rigid link” para compatibilizar estos segmentos verticales.

En el puente 2IC-Arpa [2.2] no ocurre lo mismo que en el [1.2] (ya descrito) y el 3.2 [3.2] descrito a continuación, en los que la zona vertical asciende hasta una cota baja debido a la necesidad de anclaje del tirante inferior, sino que, por el contrario, los tirantes que requieran ser anclados a una cota más baja que la zona vertical lo harán directamente en los tramos inclinados ya que aun así, los planos de los tirantes permanecerán inclinados y convergentes.

- Puente 1CV-Arpa [3.2]

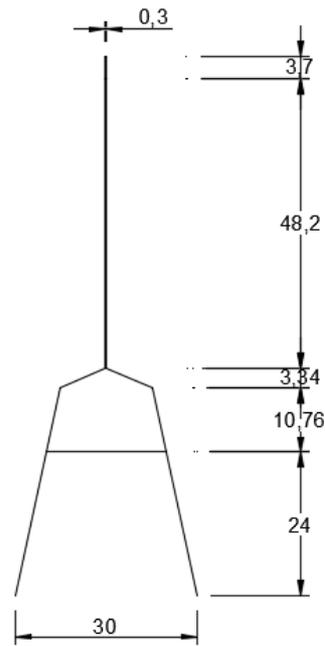


Fig. 2.1.1.11. Geometría en pilas en puente 1CV-Arpa

La geometría de estos pilones se ha determinado tal que el tramo vertical descendiera hasta donde se anclan los tirantes, que al ser de disposición en arpa requieren los tirantes inferiores salir de una cota baja como ocurría en el pórtico del puente [1.2].

Este modelo será completamente de interés académico, ya que no tiene ningún interés real ni práctico el diseño en esta forma modificada de A. La solución más pertinente y sensata sería la disposición de una pila única centrada en el eje del puente y separación de calzada, como en el puente de Andalucía en Córdoba, Fig. 2.1.1.12.



Fig. 2.1.1.12. Puente de Andalucía, Córdoba, España

Aun así, se ha mantenido esta geometría para mantener una similitud con las demás torres y poder hacer una comparación, presentando tramos verticales, tramos inclinados y vigas riostra. El tramo inclinado inferior presenta la misma inclinación que en las torres en A del apartado anterior.

2.1.2. Secciones transversales

Ahora veremos la geometría de las secciones que, como se ha indicado, se han introducido en los modelos mediante el valor de sus propiedades geométricas.

- Tirantes

Al trabajar como un cable solo nos interesa la respuesta a axil ya que no presenta rigidez a flexión. Por esto, la única propiedad que nos define la sección de los tirantes es el área.

Se utilizará para cada tirante un tendón de 37 cordones como se observa en la siguiente figura:

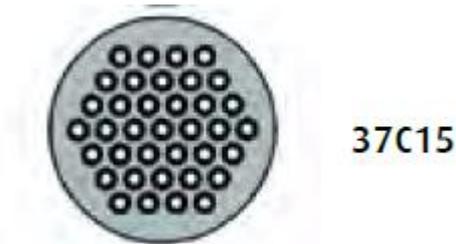


Fig. 2.1.2.1. Sección transversal de los tirantes

Donde cada cordón tiene un área unitaria de 140 mm^2 , con lo que el conjunto en cada tirante presentará un área total:

$$A = 140 \cdot 37 = 5180 \text{ mm}^2 \approx 0.0052 \text{ m}^2$$

- Pilas:

Las pilas, bien sean en un pórtico H o A, presentan una sección transversal en cada una de sus extremidades laterales con este patrón:

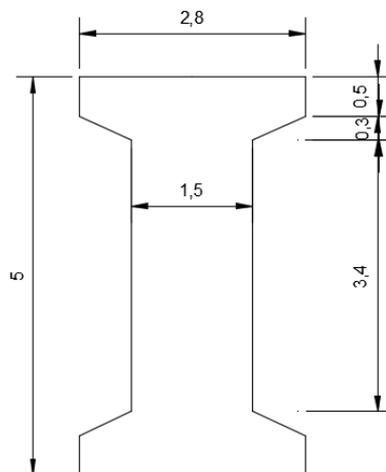


Fig. 2.1.2.2. Sección transversal de las pilas

Las propiedades geométricas introducidas en el modelo son las siguientes:

$$A = 9.2 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 19.51 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 25.567 \text{ m}^4$$

$$I_{zz} = 8.123 \text{ m}^4$$

Además, las vigas riostra que unen las pilas laterales presentan una sección unicelular que responde a este patrón:

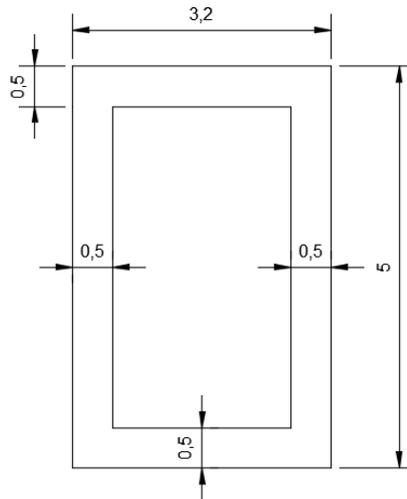


Fig. 2.1.2.3. Sección transversal de las vigas riostra en las torres

tal que sus propiedades mecánicas son:

$$A = 7.2 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 15.79 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 14.4720 \text{ m}^4$$

$$I_{zz} = 7.992 \text{ m}^4$$

- Dinteles:

El dintel se ha modelizado según la distribución transversal de los tirantes. De esta manera se tiene:

- Dintel con viga bijácena

Para Puentes con distribución 2LV ([1.1], [1.2] y [1.3]) y 2IC ([2.1], [2.2] y [2.3]).

En estos modelos se dispone cada una de las jácenas lateralmente en el punto en el que se ancla el tirante, de esta manera recibe la carga concentrada directamente. Además, presenta vigas transversales al avance de los tirantes. Presenta el siguiente patrón geométrico.

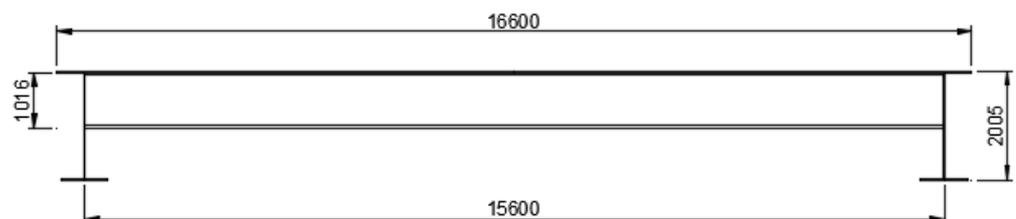


Fig. 2.1.2.4. Sección transversal del dintel bijácena con vigas transversales

Donde el perfil de la viga bijácena es:

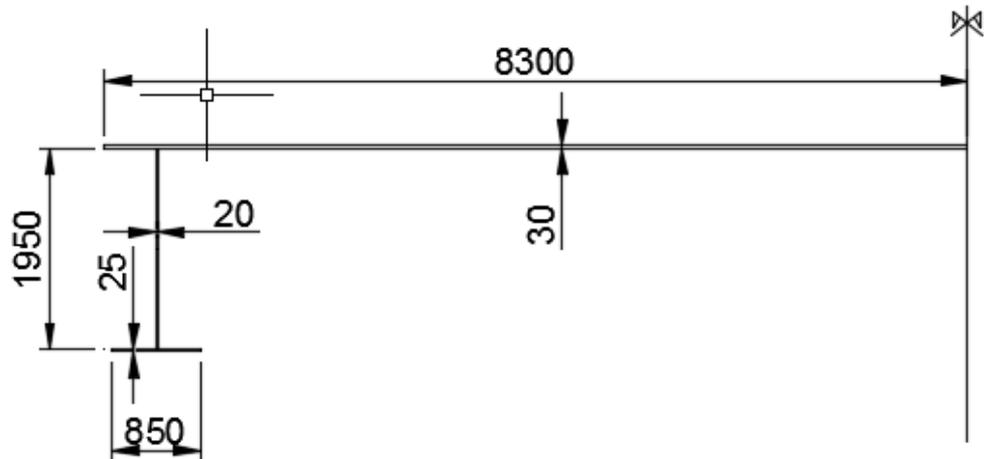


Fig. 2.1.2.5. Sección del perfil bijácena

Los parámetros geométricos corresponden a los siguientes valores:

$$A = 0.3092 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 0.007 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 0.1577 \text{ m}^4$$

$$I_{zz} = 4.7620 \text{ m}^4$$

En cuanto al perfil de la viga transversal, se tiene el siguiente patrón:

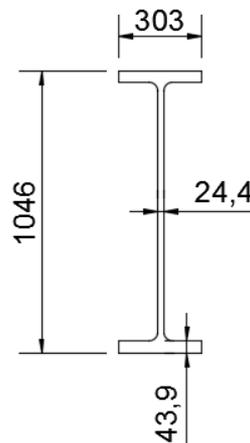


Fig. 2.1.2.6. Sección de las vigas transversales

Los parámetros geométricos introducidos están constituidos tanto por las propiedades de la viga transversal como de la modelización de la rigidez transversal al dividir la viga bijácena en dos ejes separados:

$$A = 0.0499 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 0.0031 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 0.0447 \text{ m}^4$$

$$I_{zz} = 0.1331 \text{ m}^4$$

La distancia entre los dos ejes separados del dintel es de 15.6 m. De esta manera, estos puentes responden a la siguiente modelización del dintel:

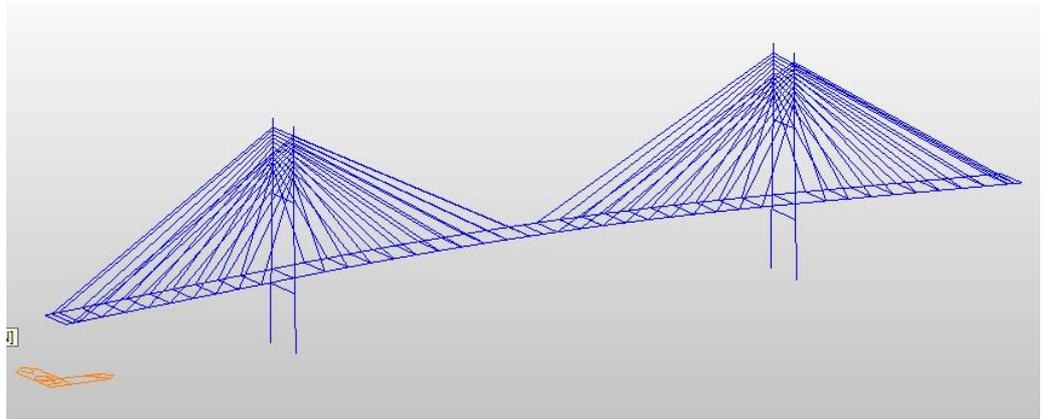


Fig. 2.1.2.7. Modelización en doble eje del dintel

➤ Dintel con viga en cajón

Para puentes con distribución 1CV ([3.1], [3.2] y [3.3]).

Debido a que el atirantamiento central presenta una resistencia a la torsión en el dintel despreciable, todo el esfuerzo torsional es cargado a la viga. Por esta razón, la viga cajón no es competente con esta distribución, requiriéndose una mayor rigidez a torsión como nos la da la viga de sección en cajón. Se ha pretendido que esta sección tenga una respuesta estructural similar al dintel cajón, definiéndose la siguiente sección:

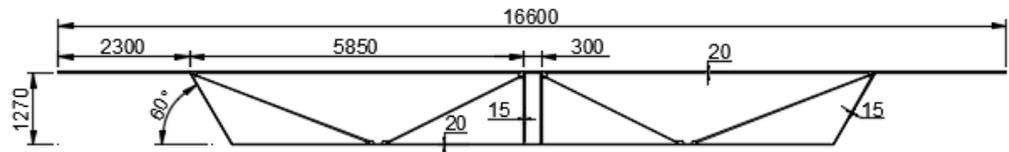


Fig. 2.1.2.8. Sección transversal del dintel en cajón

Los dos planos de tirantes salen sobre las dos almas verticales centrales.

Las propiedades geométricas introducidas en el modelo son las siguientes:

$$A = 0.6238 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 0.6211 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 0.3154 \text{ m}^4$$

$$I_{zz} = 10.9586 \text{ m}^4$$

En la Fig. 2.1.2.9 se ilustra la modelización en un solo eje de la viga. Los tirantes han sido conectados al eje del dintel con un vínculo rígido, Fig. 2.1.2.10.

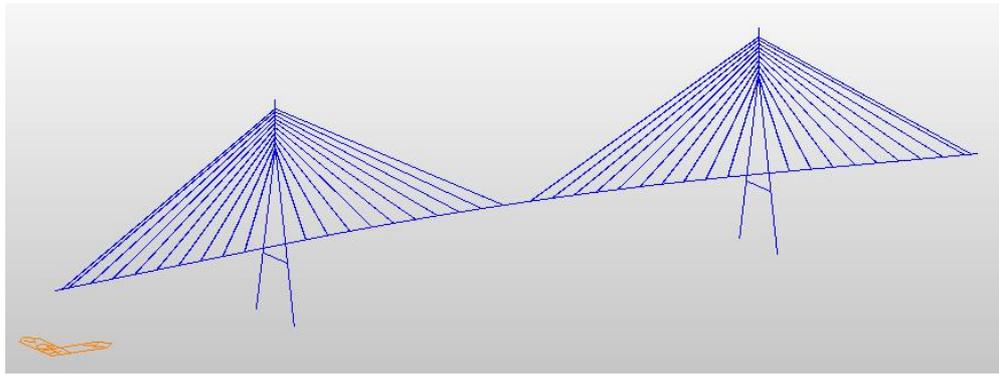


Fig. 2.1.2.9. Modelización del dintel en un solo eje

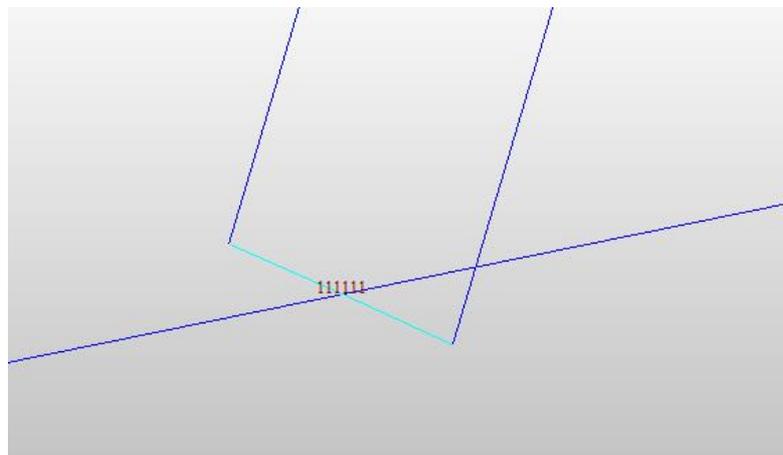


Fig. 2.1.2.10. Detalle de la unión entre los tirantes y el eje del dintel

A modo de resumen, se presenta en la siguiente tabla las propiedades de cada sección:

Tabla 2.1.2.1. Propiedades geométricas de las secciones

Puentes	Sección	A (mm^2)	I_{xx} (mm^4)	I_{yy} (mm^4)	I_{zz} (mm^4)
Todos	Cable	0,0052	0	0	0
	Pilas	9,2	19,510	25,567	8,123
	Vigas riostra	7,2	15,790	14,472	7,992
2LV y 2IC	Dintel bijácena	0,3092	0,007	0,1577	4,762
	Vigas transversales	0,0499	0,0031	0,0447	0,1331
1CV	Dintel cajón	0,6238	0,6211	0,3154	10,9586

2.2. Materiales

Los modelos empleados representan puentes en los que las pilas y sus vigas riostra están construidas con hormigón armado HA-30. Por otro lado, el dintel es de perfil metálico con un acero estructural S275. Los cables son de acero Y1860-S7. Las propiedades de los materiales empleados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2.1.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales

Elemento estructural	Material	E (kN/m^2)	ν	Peso específico γ (kN/m^3)
Cable	Acero Y1860-S7	$1,9613 \cdot 10^8$	0,3	77,09
Pilas	Hormigón HA-30	$2,78 \cdot 10^7$	0,2	23,56
Dintel	Acero S275	$1,9995 \cdot 10^8$	0,3	77,09

2.3. Apoyos y condiciones de contorno

2.3.1. Apoyo en las pilas

Se utiliza el siguiente sistema:

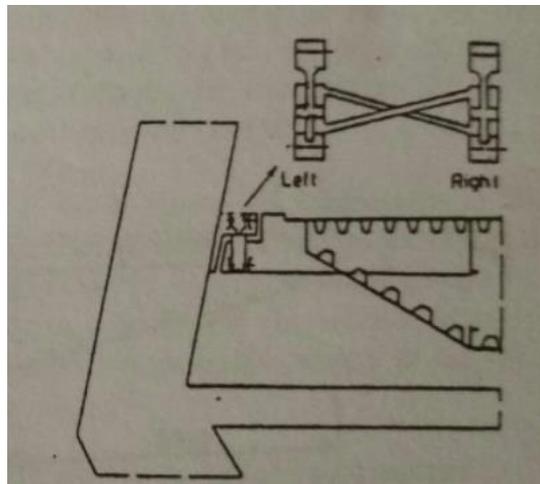


Fig. 2.3.1.1. Sistema de apoyo del dintel en las pilas

Como nos indica Manterola (2006):

“Por medio de gatos hidráulicos acoplados, consigue recoger el par de torsión transmitido por el dintel a la pila sin necesidad de que a su vez se recoja el cortante. De esta manera puede establecer un atirantamiento continuo a lo largo del puente, sin apoyo fijo en la pila, con la consiguiente reducción de las flexiones en el dintel.” (p.1003)

De esta manera, se ha modelizado este apoyo como un apoyo elástico mediante un muelle de longitud 27 cm y presenta las siguientes rigideces en las 3 direcciones locales:

$$SD_x = 73\ 373\ kN/m$$

$$SD_y = 199\ 736\ 032\ kN/m$$

$$SD_z = 73\ 373\ kN/m$$

Donde la coordenada local x se corresponde con la global Z, la local y está en el plano de la pila, y la local z se corresponde con la global X, como se aprecia en la siguiente figura:

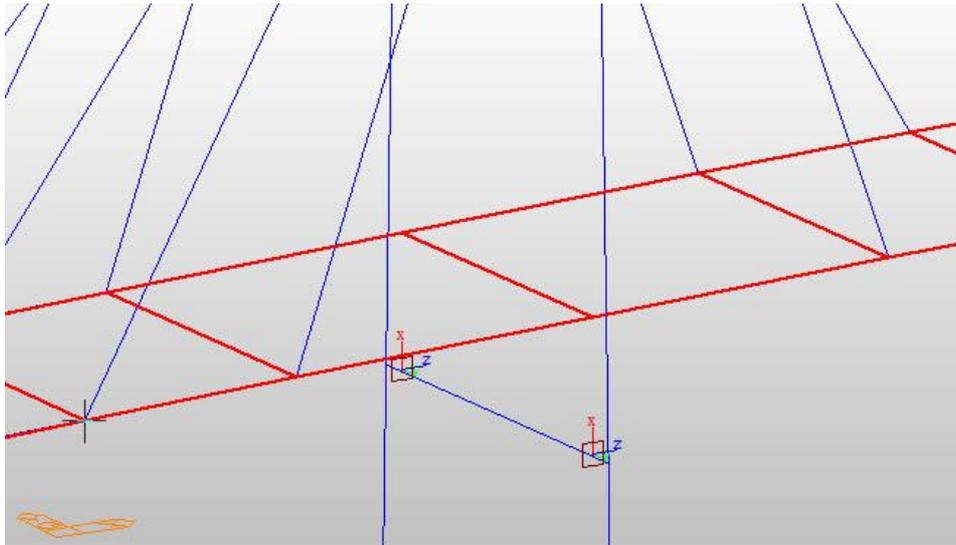


Fig. 2.3.1.2. Coordenadas locales de los apoyos elásticos en las pilas

Desde el dintel hasta el inicio del apoyo elástico se ha empleado un vínculo rígido.

2.3.2. Apoyo en los extremos del puente

Los apoyos ocurren a 3 m de distancia de los extremos, es decir, justo debajo de la conexión con el primer y último par de tirantes. En este caso se aplica un apoyo tal que sí se permite recoger el cortante en esta ocasión. Se modeliza de igual manera mediante un muelle donde su principal rigidez es en la dirección Z (dirección local x):

$$SD_x = 199\,736\,032 \text{ kN/m}$$

$$SD_y = 73\,373 \text{ kN/m}$$

$$SD_z = 73\,373 \text{ kN/m}$$

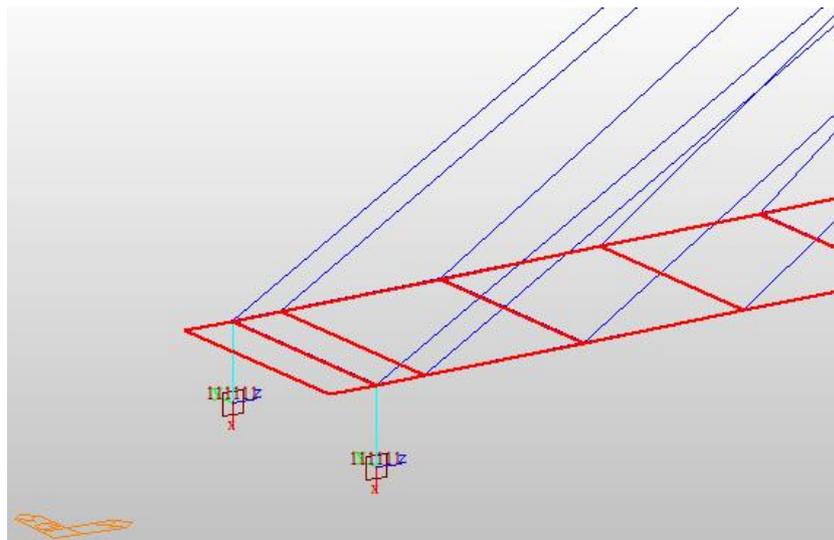


Fig. 2.3.2.1. Coordenadas locales en los apoyos elásticos en los extremos del puente

Igualmente, se ha unido mediante un vínculo rígido el dintel con el inicio del apoyo elástico.

2.3.3. Empotramiento en el terreno

En la finalización de los apoyos elásticos en los extremos del puente, así como en los extremos inferiores de las pilas se han impedido todos los desplazamientos y rotaciones modelizando empotramientos de la estructura en el terreno. Estas restricciones se ilustran en la siguiente figura mediante hexágonos verdes:

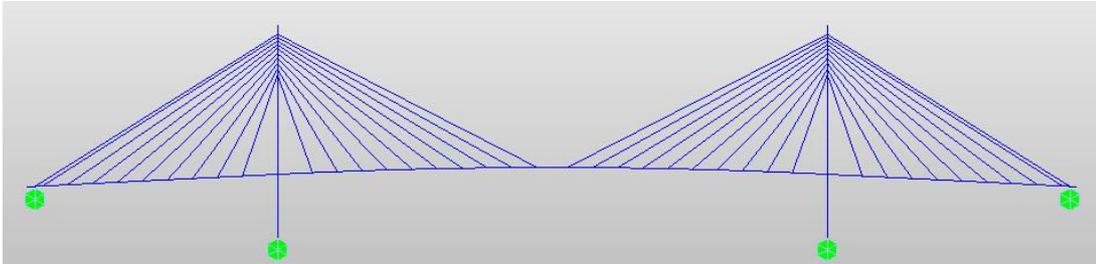


Fig. 2.3.3.1. Empotramientos de la estructura en el terreno.

2.4. Cargas

Las cargas responden al siguiente esquema:

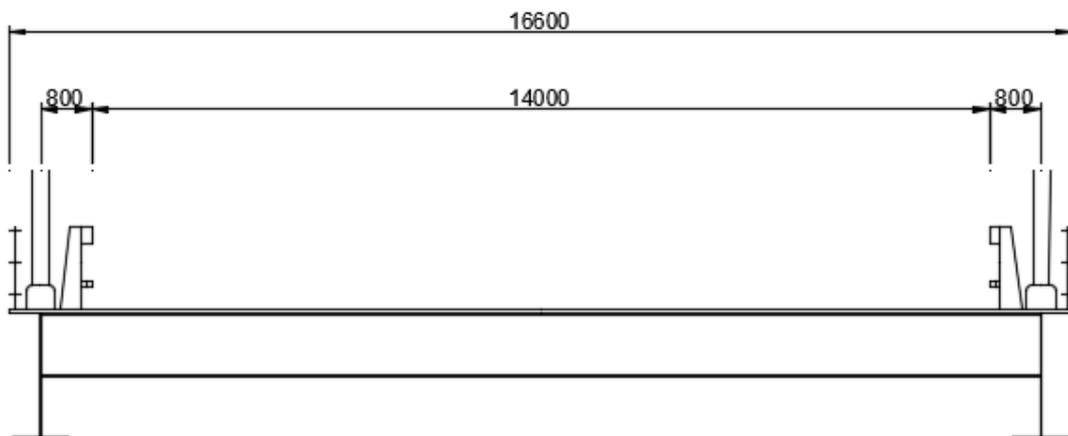


Fig. 2.3.31. Distribución de las barreras y plataforma del puente

2.4.1. Peso propio

Generado automáticamente por el programa mediante el área y densidad de cada material.

2.4.2. Carga muerta por pavimento y barreras

El pavimento solicita al dintel con una carga de 23 kN/m^3 correspondiente a su peso específico. Teniendo un espesor de $9,5 \text{ cm}$ y distribuido a lo ancho (14 m) de la plataforma de la carretera se tiene una carga lineal de:

$$q_{\text{pavimento}} = b \cdot h \cdot \rho_{\text{pav}} = 14 \text{ m} \cdot 0,095 \text{ m} \cdot 23 \text{ kN/m}^3 = 30,59 \text{ kN/m}$$

Por otro lado, las barreras presentan una carga lineal de $2,994 \text{ kN/m}$ a cada lado, haciendo que se tenga un total de:

$$q_{\text{barreras}} = 2 \cdot 2,994 = 5,988 \text{ kN/m}$$

Con lo que se tiene una carga muerta total:

$$q_{pav+barr} = 30,59 + 5,988 = \mathbf{36,578 \text{ kN/m}}$$

Este valor es introducido como carga lineal sobre el elemento que modeliza el dintel de los puentes 1CV ([3-1], [3.2] y [3.3]). Por el contrario, para los demás puentes (2LV y 2IC) al estar modelizado mediante 2 ejes, cada uno de estos se lleva la mitad, es decir:

$$q_{pav+barr, \text{ por eje}} = \frac{36,578}{2} = \mathbf{18,289 \text{ kN/m}}$$

2.4.3. Sobrecarga de tráfico según IAP-2011

La normativa [13] indica que ha de dividirse la plataforma del tablero en n_l carriles virtuales:

- Ancho de la plataforma (entre caras interiores de los pretiles): $w = 14 \text{ m}$

$$n_l = \text{ent} \left(\frac{w}{3} \right) = \text{ent} \left(\frac{14}{3} \right) = 4 \text{ carriles virtuales}$$

- Ancho cada carril virtual: $w_l = 3 \text{ m}$
- Ancho del área remanente: $w_{AR} = 2 \text{ m}$

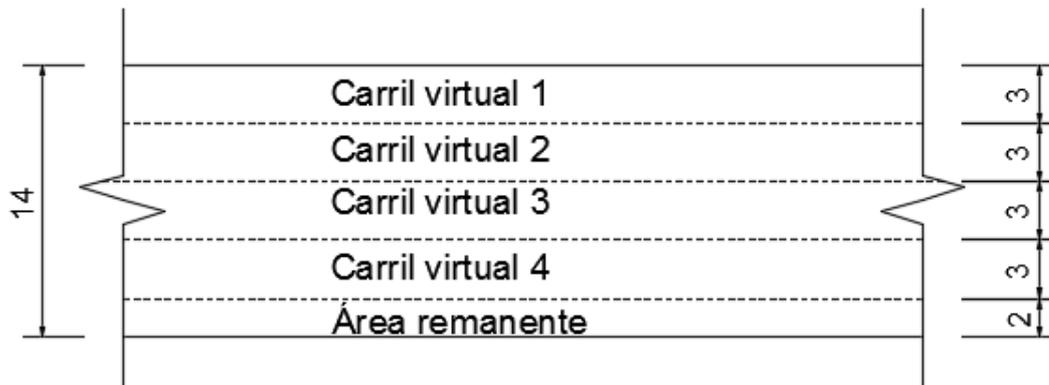


Fig. 2.4.3.1. Distribución de los carriles virtuales según IAP-2011

Donde el eje de cada carril tiene la excentricidad indicada a continuación, referida a:

- EL eje del dintel en los puentes 1CV ([3-1], [3.2] y [3.3]):
 - Carril 1: $e_1 = -2,3 \text{ m}$
 - Carril 2: $e_2 = -5,3 \text{ m}$
 - Carril 3: $e_3 = -8,3 \text{ m}$
 - Carril 4: $e_4 = -11,3 \text{ m}$
 - Área remanente: $e_{AR} = -13,8 \text{ m}$
- Uno de los dos ejes en los puentes con distribución 2LV ([1.1], [1.2] y [1.3]) y 2IC ([2.1], [2.2] y [2.3]):
 - Carril 1: $e_1 = 5,5 \text{ m}$
 - Carril 2: $e_2 = 2,5 \text{ m}$
 - Carril 3: $e_3 = -0,5 \text{ m}$
 - Carril 4: $e_4 = -3,5 \text{ m}$
 - Área remanente: $e_{AR} = -6,0 \text{ m}$

Y consta de:

- Carga vertical por vehículos pesados: vehículos con dos ejes con carga Q_{ik} en cada uno de ellos, aplicado en cada carril i . Separación entre ejes de 1,2 m y separación entre ruedas de un eje de 2 m.
- Sobrecarga uniforme de valor q_{ik} en el carril i , y q_{rk} en el área remanente.

Tabla 2.4.3.1. Valores de las cargas puntuales y uniformes en cada carril virtual según IAP-11 [13]

SITUACIÓN	VEHÍCULO PESADO $2Q_{ik}$ [kN]	SOBRECARGA UNIFORME q_{ik} (ó q_{rk}) [kN/m ²]
Carril virtual 1	2 · 300	9,0
Carril virtual 2	2 · 200	2,5
Carril virtual 3	2 · 100	2,5
Otros carriles virtuales	0	2,5
Área remanente (q_{rk})	0	2,5

Los valores del coeficiente de concomitancia serán:

$$\begin{aligned}\psi_1 &= 0,75 \text{ para los vehículos pesados} \\ \psi_1 &= 0,40 \text{ para la sobrecarga uniforme}\end{aligned}$$

La sobrecarga de tráfico se introduce en MIDAS automáticamente como “moving load” ya que este contiene la normativa en su biblioteca.

2.4.4. Combinación de cargas

Se evaluarán dos combinaciones de cargas correspondientes a ELU y ELS respectivamente según normativa:

- ELU persistente o transitorio

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Donde los coeficientes de mayoración son:

- $\gamma_{G,j} = \gamma_{G,j} = \gamma_{Q,i} = 1,35$ *Desfavorable*
- $\gamma_{G,j} = \gamma_{G,j} = 1,00$ *Favorable*
- $\gamma_{Q,i} = 0$ *Favorable*

- ELS frecuente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Donde los coeficientes de mayoración son:

- $\gamma_{G,j} = \gamma_{G,j} = \gamma_{Q,i} = 1,00$ *Desfavorable*
- $\gamma_{G,j} = \gamma_{G,j} = 1,00$ *Favorable*
- $\gamma_{Q,i} = 0$ *Favorable*

Los valores de los coeficientes de concomitancia para las cargas de tráfico vienen definidos en el apartado de cargas.

2.5. Modelización del proceso constructivo

En el análisis del proceso constructivo hay que considerar que la estructura, las condiciones de contorno y las cargas van cambiando a través de cada etapa. Se utilizará el análisis del proceso inverso (Backward Construction Analysis), en el cual iremos desmontando desde la estructura final hasta tener las torres y el dintel en los vanos laterales; así, solo representaremos la construcción del vano central y el atirantamiento, además de la disposición de la carga muerta.

El motivo de la elección de este sentido de análisis recae en que, debido a las no linealidades, es una metodología habitual de cálculo ya que es más conveniente iniciar con el estado final deseado determinando la tensión y geometría requerida. Esta presenta la ventaja de conocer y definir el estado final de la estructura sin las posibles variaciones de los parámetros deseados al iniciar el análisis desconociendo totalmente las tensiones necesarias. Al presentar dinteles metálicos nuestros nueve puentes, los problemas reológicos del hormigón cesan de tener interés, principal inconveniente en la evaluación por medio de esta metodología.

Por otra parte, antes de terminar la construcción del dintel central se utiliza un auxilio de un apoyo en aproximadamente la mitad de cada vano lateral, justo en el sexto tirante ($x = 46$ m). Estos apoyos impiden los desplazamientos y la rotación según el eje global Z.



Fig. 2.4.41. Apoyos auxiliares en el proceso constructivo

La secuencia real de construcción es la representada por la, Fig. 2.5.2 [15]. La última etapa es la disposición del pavimento y las barreras.

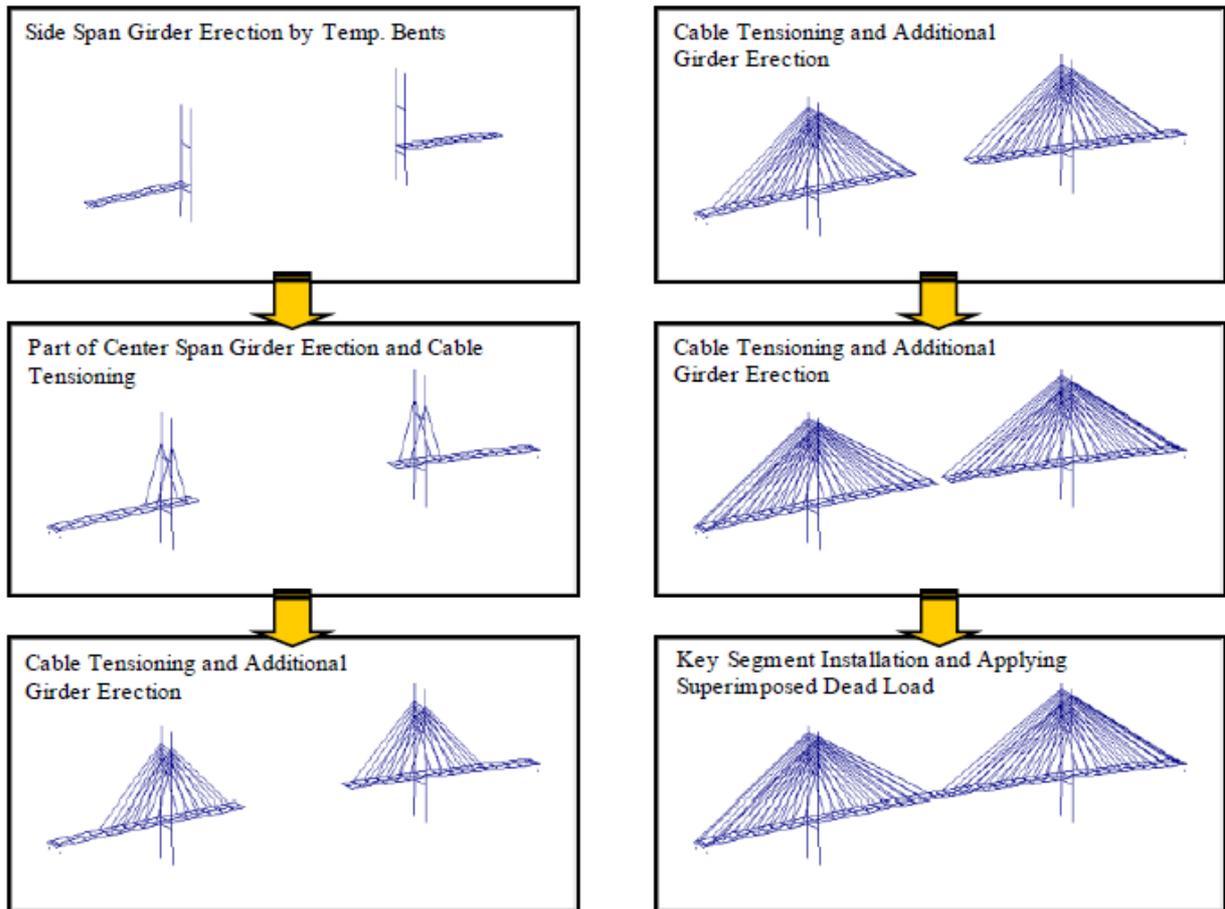


Fig. 2.4.42. Secuencia del proceso constructivo

Así, considerando una numeración de cada par de tirantes en el sentido de avance del puente (del 1 al 20 en la primera pila y del 21 al 40 en la segunda), se generan 32 etapas de construcción para analizar en el sentido inverso al real:

- CS 0: Etapa final (estructur completa, peso propio, carga muerta y tensión inicial en los tirantes)
- CS 1: Remoción de la carga muerta del pavimento y barreras.
- CS 2: Remoción del segmento central y adición del apoyo temporal
- CS 3: Remoción de los tirantes 20 y 21
- CS 4: Remoción de los tirantes 1 y 40
- CS 5: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 6: Remoción de los tirantes 19 y 22
- CS 7: Remoción de los tirantes 2 y 39
- CS 8: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 9: Remoción de los tirantes 18 y 23
- CS 10: Remoción de los tirantes 3 y 38
- CS 11: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 12: Remoción de los tirantes 17 y 24
- CS 13: Remoción de los tirantes 4 y 37
- CS 14: Remoción de los siguientes segmentos del dintel

- CS 15: Remoción de los tirantes 16 y 25
- CS 16: Remoción de los tirantes 5 y 36
- CS 17: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 18: Remoción de los tirantes 15 y 26
- CS 19: Remoción de los tirantes 6 y 35
- CS 20: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 21: Remoción de los tirantes 14 y 27
- CS 22: Remoción de los tirantes 7 y 34
- CS 23: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 24: Remoción de los tirantes 13 y 28
- CS 25: Remoción de los tirantes 8 y 33
- CS 26: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 27: Remoción de los tirantes 12 y 29
- CS 28: Remoción de los tirantes 9 y 32
- CS 29: Remoción de los siguientes segmentos del dintel
- CS 30: Remoción de los tirantes 11 y 30
- CS 31: Remoción de los tirantes 10 y 31
- CS 32: Remoción de los siguientes segmentos del dintel

Así, la secuencia en el análisis en sentido de desmonte sería:

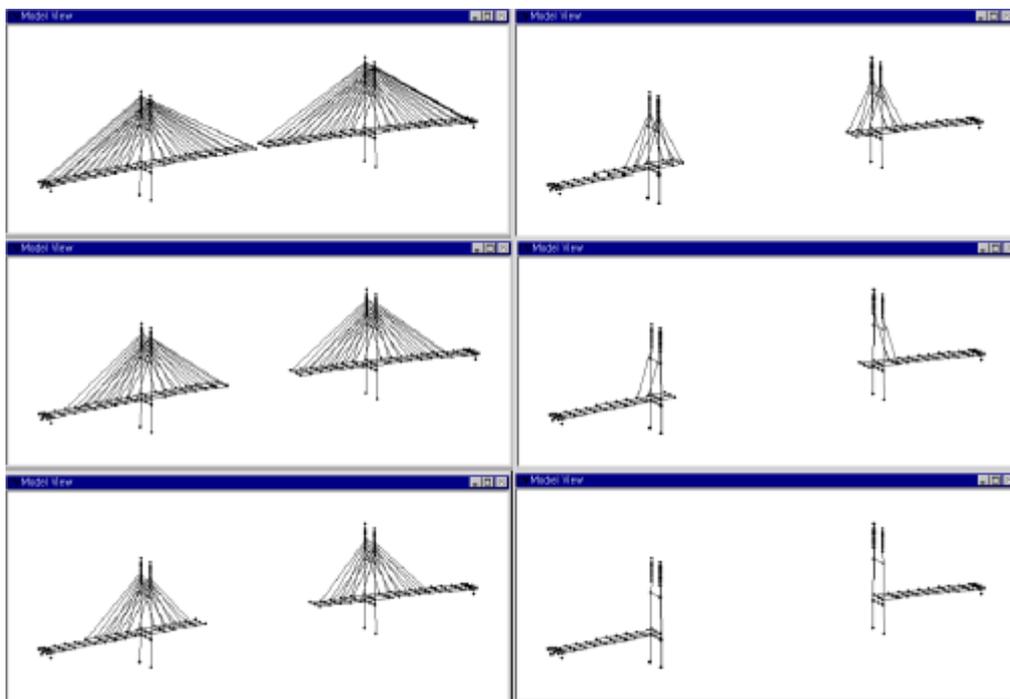


Fig. 2.4.43. Secuencia del análisis del proceso constructivo en sentido inverso

3. RESULTADOS

Los resultados se verán en la siguiente secuencia: pretensión inicial en los tirantes, tanto en la etapa final de construcción como la evolución de esta en determinados tirantes durante la fase constructiva. Posteriormente, se verá en Estado Límite de Servicio (ELS) los desplazamientos (flechas y desplomes) en el dintel y las pilas, así como el esfuerzo axial en los tirantes. En Estado Límite Último (ELU) se verán los esfuerzos producidos en el dintel y las pilas. Finalmente, en determinados puntos de estos dos últimos componentes, se comprobará la evolución de desplazamientos y esfuerzos concretos durante el proceso constructivo.

3.1. Pretensión inicial en los tirantes

3.1.1. Pretensión inicial en la fase final

Ya que los atirantamientos presentan doble simetría (una respecto al plano X-Z central y otra respecto al plano transversal Y-Z en el punto medio del vano central) Basta con definir 20 pretensiones distintas, Fig. 2.2.1.1, para los 80 tirantes.

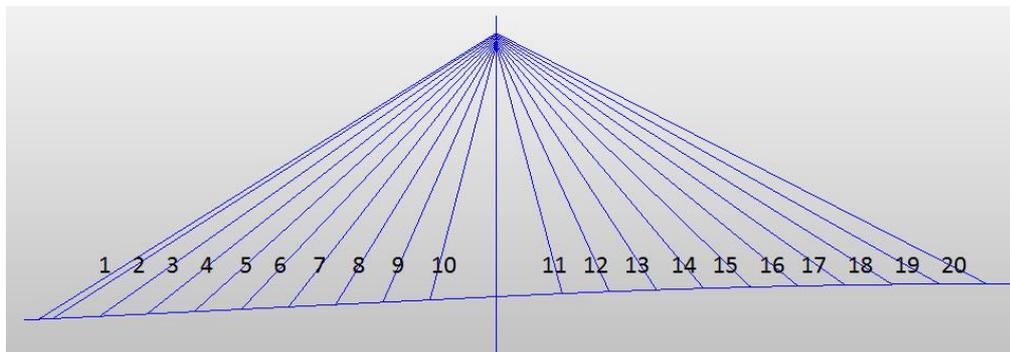


Fig. 3.1.1.1. Enumeración de los tirantes

Ya que la restricción en el desplazamiento de los nodos de unión tirante-dintel sin contar la sobrecarga de tráfico ha sido de 1 cm, se ha obtenido la pretensión de cada tirante mediante la matriz de influencia de cada modelo. Estas matrices se anexan en el anexo A.

En la siguiente tabla se muestran las pretensiones definidas para cada uno de los 9 modelos, y el sumatorio de estas.

Tabla 3.1.1.1. Pretensión en los tirantes por puente

Tensión en los tirantes (kN)									
Puente	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Cable 1	1763,134	1705,207	1781,627	1737,445	1717,233	1782,476	1635,314	1546,346	1637,11
Cable 2	1725,992	1719,4999	1738,298	1699,015	1733,019	1739,014	1599,841	1575,48	1598,44
Cable 3	1621,356	1762,4176	1665,138	1590,994	1780,426	1666,823	1500,328	1663,802	1536,673
Cable 4	1514,602	1717,4893	1589,5	1488,657	1733,518	1592,113	1403,842	1628,955	1473,267
Cable 5	1324,973	1638,3218	1424,555	1318,211	1645,517	1426,091	1237,886	1541,236	1324,427
Cable 6	1096,111	1659,0544	1235,461	1112,898	1658,601	1230,475	1030,459	1554,284	1143,925
Cable 7	993,7743	1835,1106	1113,077	1041,977	1834,412	1108,029	929,4205	1737,006	1026,113
Cable 8	1094,635	2101,6031	1046,731	1191,817	2115,043	1064,417	1016,105	2063,703	975,5709
Cable 9	1293,474	2285,4258	1209,908	1459,701	2331,656	1261,586	1203,918	2383,647	1149,817
Cable 10	1379,738	2284,9573	1534,624	1526,307	2377,378	1605,774	1239,001	2501,063	1470,104
Cable 11	1222,191	2308,8254	1276,743	1134,559	2421,835	1316,918	1187,782	2171,74	1209,431
Cable 12	1284,241	2218,2985	1298,39	1264,03	2271,822	1318,623	1315,357	1994,772	1218,45
Cable 13	1264,011	1812,0132	1310,528	1294,38	1818,073	1317,363	1254,478	1734,956	1228,107
Cable 14	1179,143	1512,3878	1269,216	1220,954	1499,142	1271,591	1068,604	1635,696	1191,572
Cable 15	1132,801	1623,0608	1230,95	1167,824	1623,162	1233,839	972,2649	1603,328	1152,477
Cable 16	1213,818	1793,9064	1253,612	1240,869	1811,98	1259,077	1095,179	1609,544	1163,037
Cable 17	1453,171	1711,2876	1403,855	1477,088	1721,312	1412,1	1327,963	1610,192	1289,797
Cable 18	1685,15	1526,3087	1680,812	1711,213	1504,466	1690,852	1546,138	1536,575	1536,333
Cable 19	1791,13	2096,2361	1842,292	1820,917	2099,352	1852,61	1647,811	1954,049	1681,62
Cable 20	1711,896	1980,8973	1794,891	1743,791	1979,671	1804,789	1576,184	1908,569	1637,465
TOTAL	27745,34	37292,309	28700,21	28242,65	37677,62	28954,56	25787,87	35954,94	26643,74

Como se observa, discriminando según distribución longitudinal de los tirantes, se requiere menor pretensión en los modelos con distribución en abanico ([1.1], [2.1] y [3.1]) y siendo mayor en los modelos en arpa ([1.2], [2.2] y [3.2]). Los modelos con distribución intermedia, como es de esperar, presentan una necesidad de tensión en los cables intermedia. Esta diferencia se ve especialmente en los tirantes interiores (cables 8-13).

La diferencia de pretensión, aproximadamente 10 000 kN entre 20 tirantes haciendo un total de 40 000 kN en el total de los cables, se puede realizar mediante mayor tensión en estos o aumentando el área seccional de ellos. Con lo cual, tender a trabajar en disposición en abanico puede reducir el coste del pretensado e incluso la cuantía de cables a utilizar.

Ahora bien, discriminando según distribución transversal, se ve que la diferencia entre los puentes con atirantamiento lateral vertical (2LV) y con atirantamiento en dos planos inclinados (2IC) es muy poca, siendo levemente superior la necesidad de pretensado en los puentes 2IC.

Por otro lado, los puentes con atirantamiento centrado reducen la necesidad de pretensión, aproximadamente en un 7%; en la totalidad de los 80 tirantes de los modelos, se podría reducir en más de 8 000 kN la carga inicial.

3.1.2. Pretensión inicial en la fase constructiva

Observamos según la Tabla 2.2.1.1, que los tirantes exteriores requieren mayor pretensión en puentes en abanico, mientras que en arpa son los tirantes interiores quienes presentan esta mayor tensión. Así, analizaremos la evolución en la pretensión inicial de cada fase constructiva en el tirante 1 y el tirante 10, teniendo en cuenta que en el proceso de análisis inverso (Backward) el tirante 1 es de los primeros en retirarse, mientras que el 10 es el último en hacerlo, por esto la caída a tensión nula de estos según etapa:

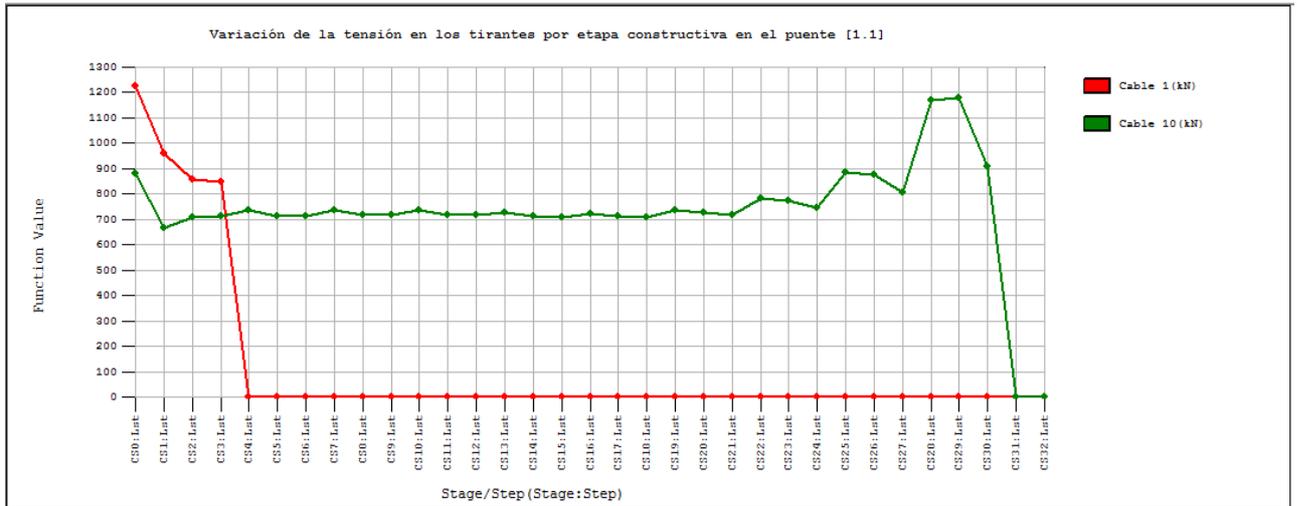


Fig. 3.1.2.1. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Abanico



Fig. 3.1.2.2. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Arpa



Fig. 3.1.2.3. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2LV-Intermedia

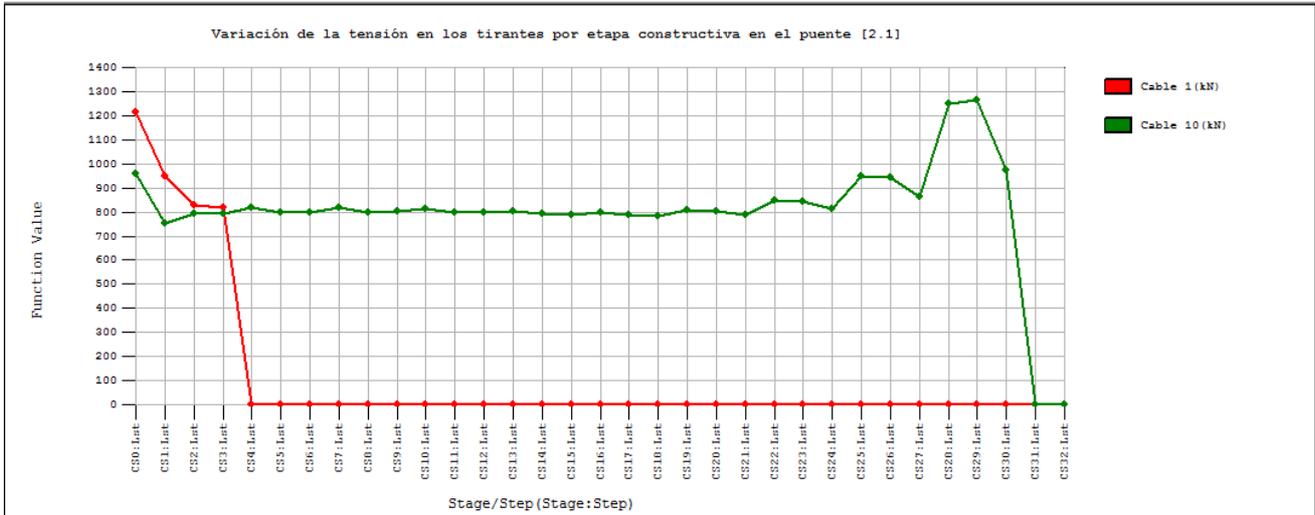


Fig. 3.1.2.4. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Abanico



Fig. 3.1.2.5. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Arpa

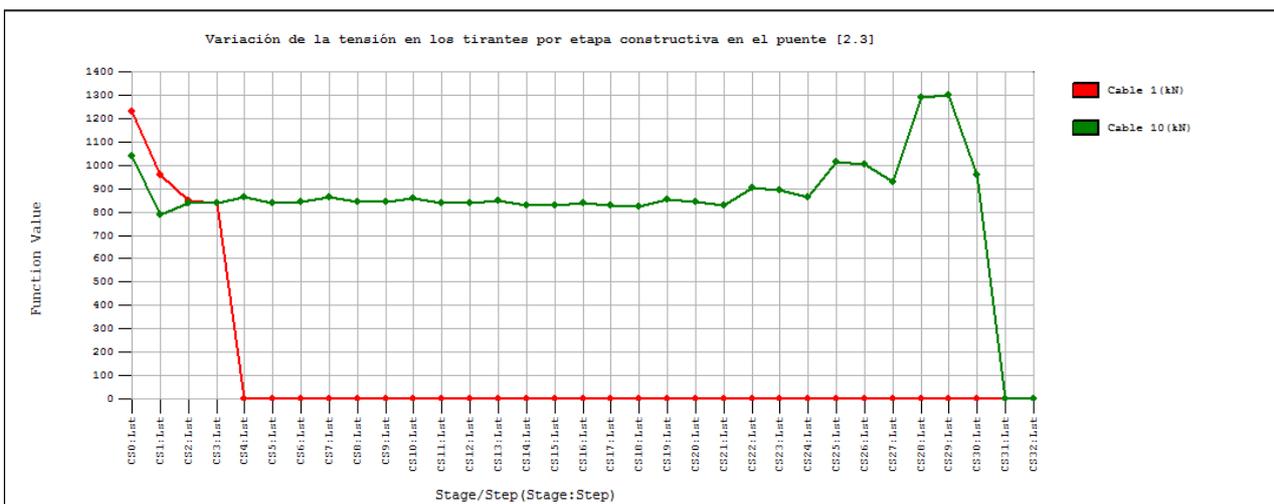


Fig. 3.1.2.6. Variación de la tensión en los tirantes en el puente 2IC-Intermedia

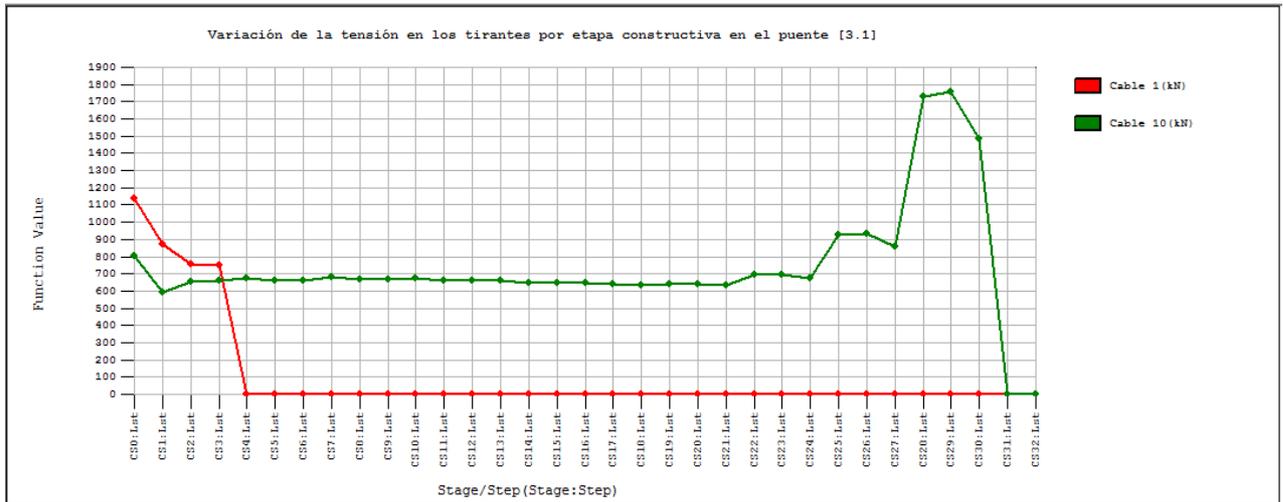


Fig. 3.1.2.7. Variación de la tensión en los tirantes en el puente ICV-Abanico

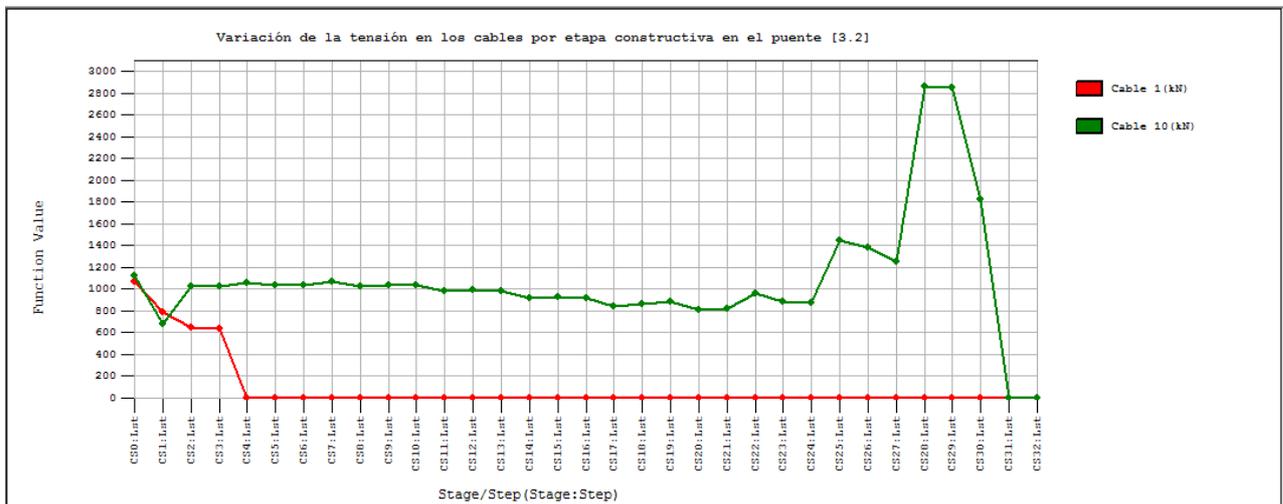


Fig. 3.1.2.8. Variación de la tensión en los tirantes en el puente ICV-Arpa



Fig. 3.1.2.9. Variación de la tensión en los tirantes en el puente ICV-Intermedia

Según las gráficas, se evidencia que (siguiendo el sentido real de construcción) el tirante interior (cable 10) requiere de una alta pretensión en la etapa en la que debe sostener la primera dovela del vano central, reduciéndose hasta un valor casi constante al ir avanzando en la disposición de tirantes. Por el contrario, el tirante exterior (cable 1) tiene una pretensión monótonamente creciente según etapa constructiva desde su aparición.

La tensión que se necesita temporalmente en las etapas CS28 y CS29, las de mayor necesidad de tensión en el cable 10, es mucho mayor en los puentes con disposición en arpa que en aquellos en abanico o intermedia. Esta importante elevación de tensión respecto a su final se debe al poco brazo mecánico que tienen los tirantes interiores en arpa, que viéndose poco apoyado por la ausencia momentánea de los demás tirantes, recae sobre el todo el esfuerzo.

Esta diferencia en la tensión del tirante interior entre la etapa CS29 y la etapa final de construcción se agudiza en los puentes con atirantamiento en un plano central.

3.2. Estado Límite de Servicio

3.2.1. Esfuerzo axial en los tirantes

[1.1]

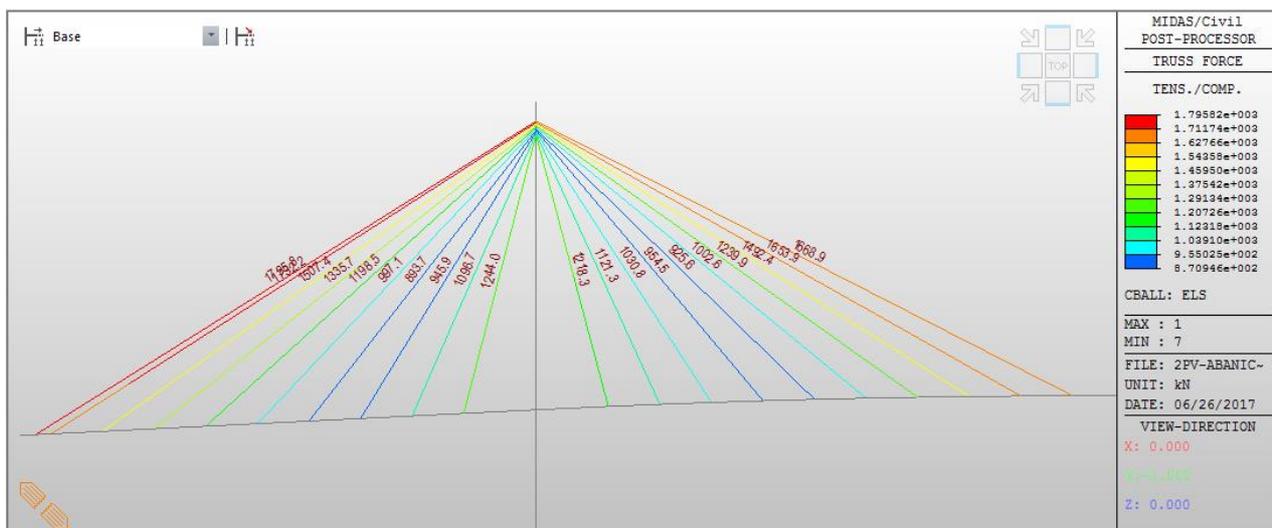


Fig. 3.2.1.1. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Abanico

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [1.1] recae en el tirante 1 y tiene un valor de:

$$N_{1,1} = 1795,82 \text{ kN}$$

[1.2]

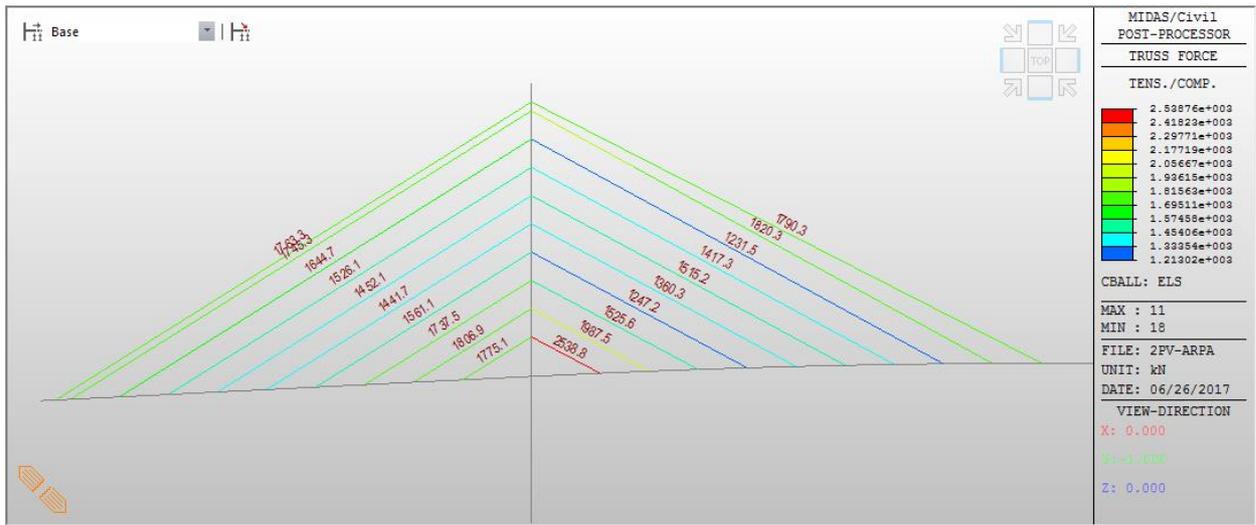


Fig. 3.2.1.2. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Arpa

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [1.2] recae en el tirante 11 y tiene un valor de:

$$N_{1.2} = 2\,538,76\text{ kN}$$

[1.3]

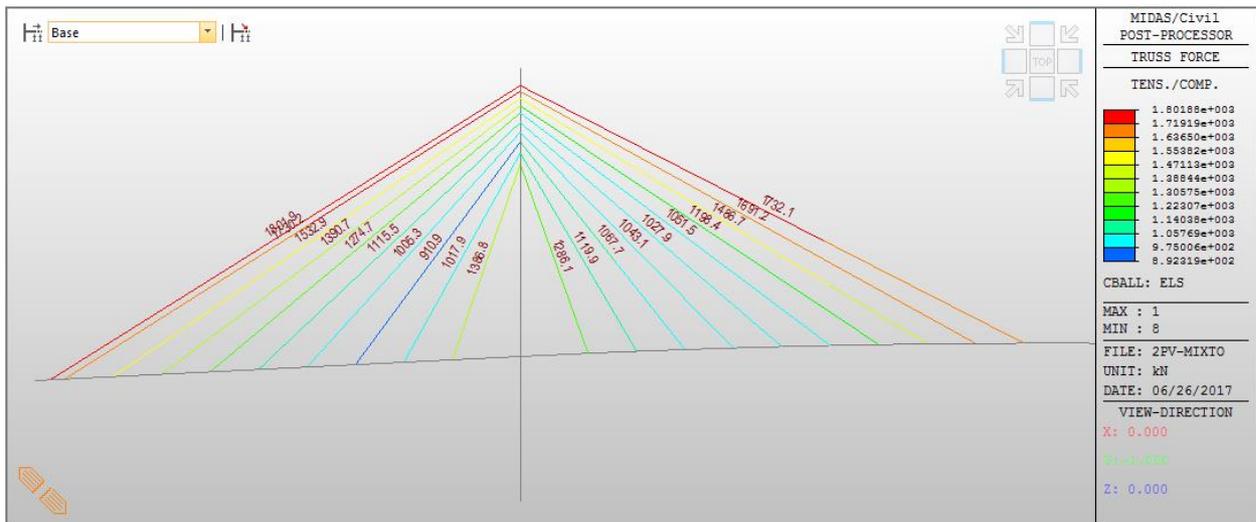


Fig. 3.2.1.3. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2LV-Intermedia

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [1.3] recae en el tirante 1 y tiene un valor de:

$$N_{1.3} = 1\,801,88\text{ kN}$$

[2.1]

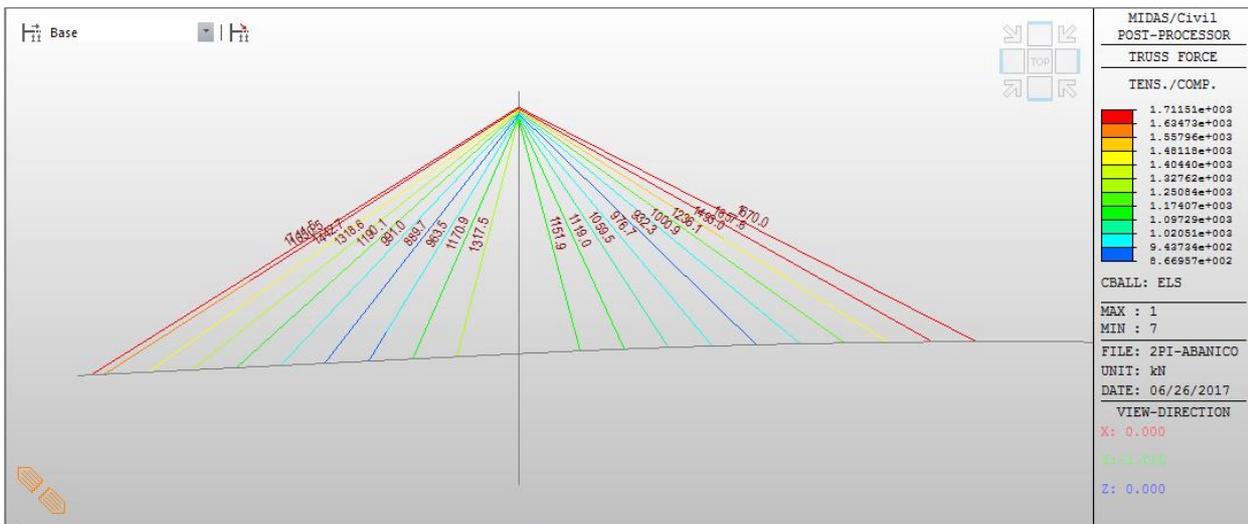


Fig. 3.2.1.4. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Abanico

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [2.1] recae en el tirante 1 y tiene un valor de:

$$N_{2,1} = 1\,711,51\text{ kN}$$

[2.2]

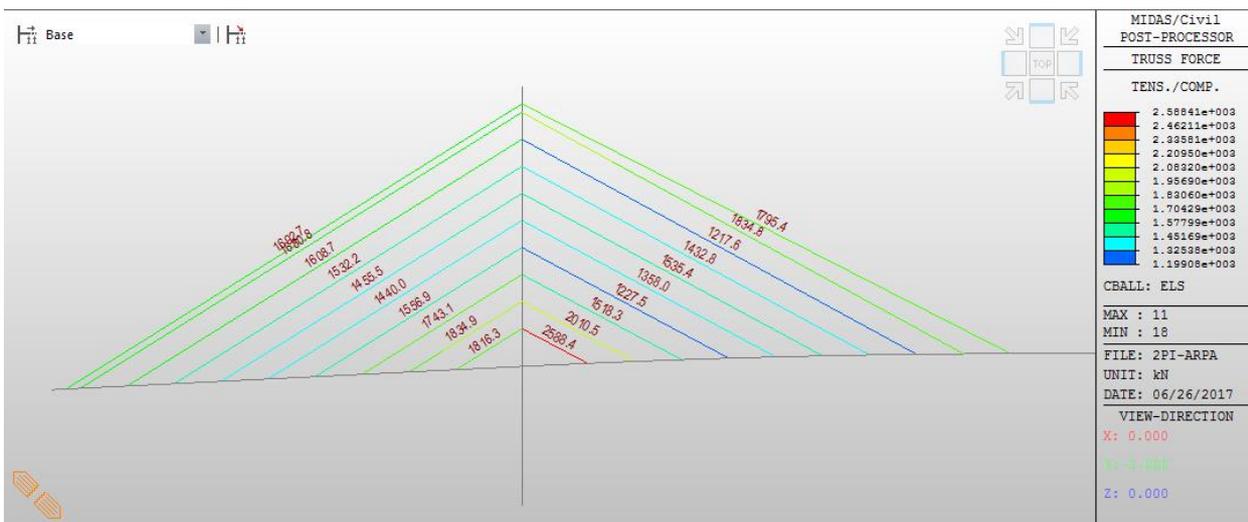


Fig. 3.2.1.5. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Arpa

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [2.2] recae en el tirante 11 y tiene un valor de:

$$N_{2,2} = 2\,588,41\text{ kN}$$

[2.3]

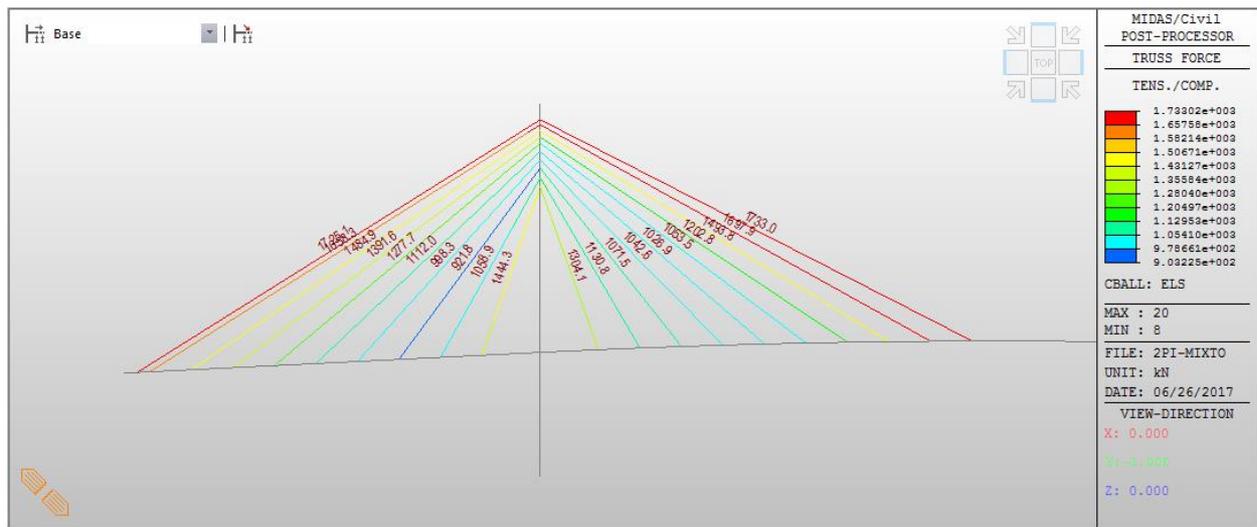
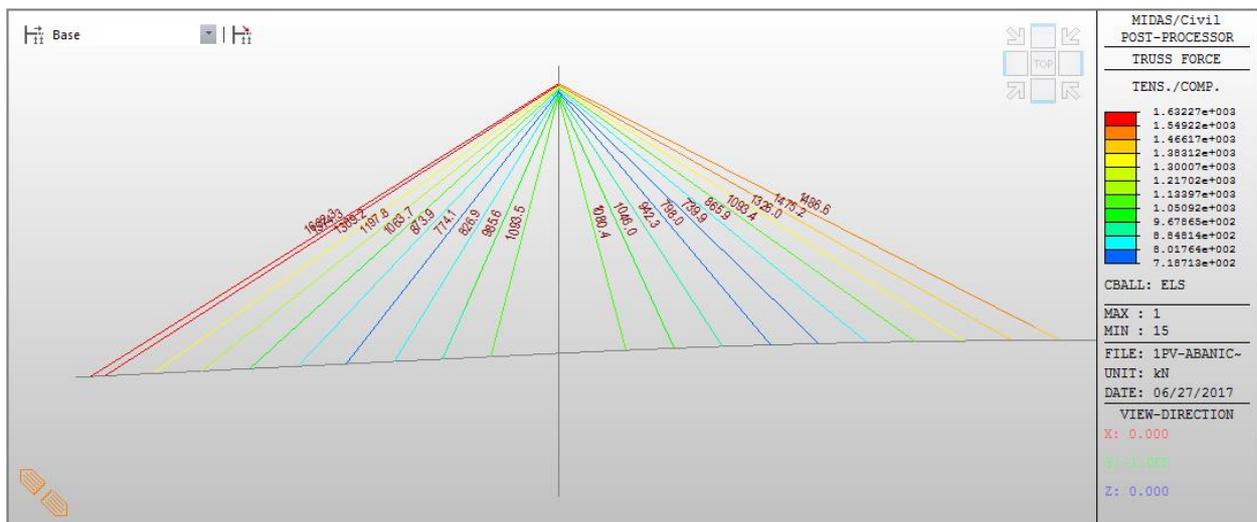


Fig. 3.2.1.6. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 2IC-Intermedia

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [2.3] recae en el tirante 20 y tiene un valor de:

$$N_{2.3} = 1733,02 \text{ kN}$$

[3.1]



[3.2]

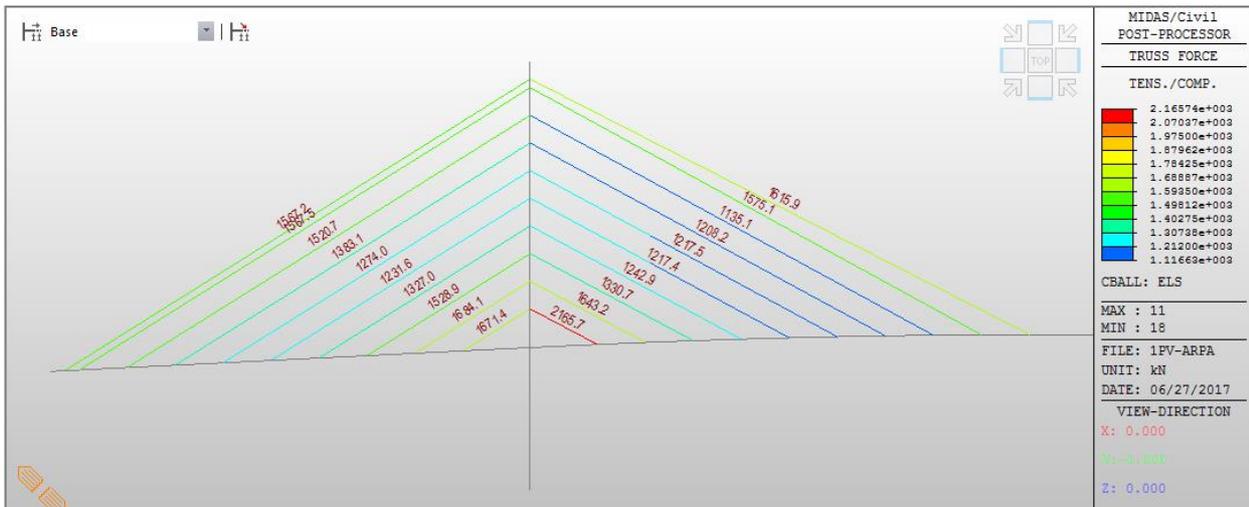


Fig. 3.2.1.8. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 1CV-Arpa

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [3.2] recae en el tirante 11 y tiene un valor de:

$$N_{3,2} = 2\,165,74\text{ kN}$$

[3.3]

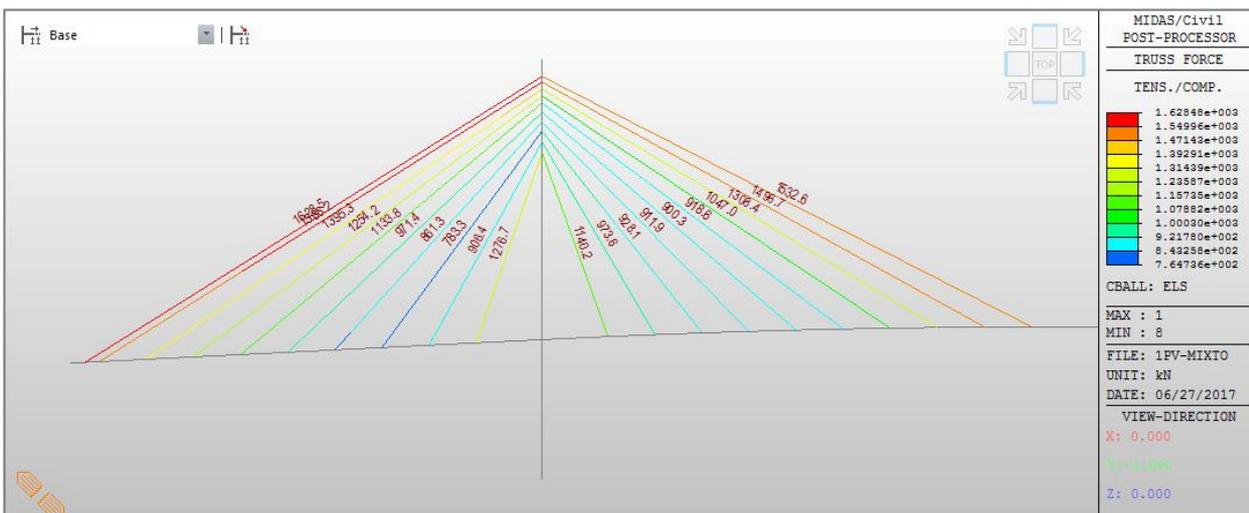


Fig. 3.2.1.9. Tensiones en ELS en los tirantes del puente 1CV-Intermedia

Se tiene que la mayor tensión soportada en el puente [3.3] recae en el tirante 1 y tiene un valor de:

$$N_{3,3} = 1\,628,48\text{ kN}$$

Se resumen en la siguiente tabla las tensiones sufridas por los tirantes en ELS:

Tabla 3.2.1.1. Esfuerzo axial máximo en los tirantes en ELS

Axil máximo en los tirantes-ELS (kN)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	1795,82	2538,76	1801,88
2IC	1711,51	2588,41	1733,02
1CV	1632,27	2165,74	1628,48

Como se evidencia, los tirantes sufrirán mayor esfuerzo si están en disposición en arpa. Y normalmente los tirantes en disposición intermedia presentan un axil intermedio entre arpa y abanico.

Cabe destacar que la tensión en puentes en abanico se presenta en los tirantes exteriores, mientras que en arpa se presenta en los tirantes interiores del vano central.

En cuanto a la distribución transversal, son los atirantamientos en un solo plano central los que soportarán menor axil, mientras que por lo general son los tirantes en 2 planos laterales verticales los que recibirán mayor tensión.

3.2.2. Flecha en el dintel

A continuación se representan los desplazamientos verticales en ELS y se indica el valor de la flecha máxima en el dintel de cada uno de los puentes:

[1.1]

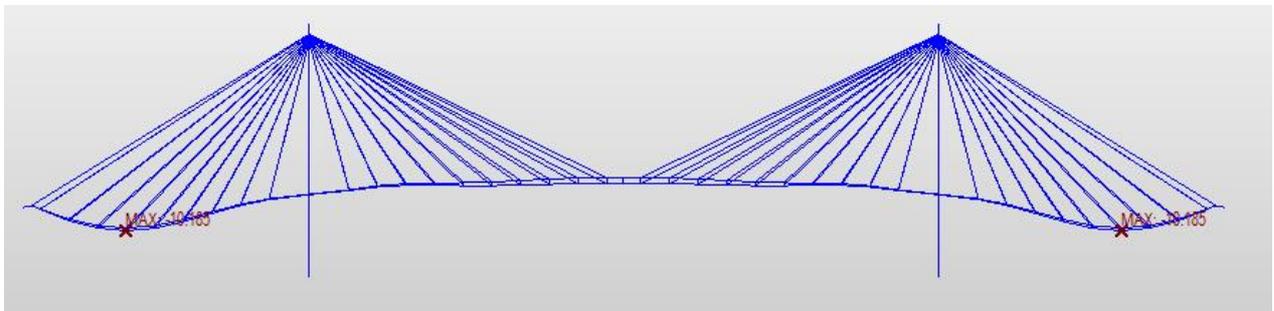


Fig. 3.2.2.1. Flecha en el dintel del puente 2LV-Abanico

$$f_{1.1} = 10,2 \text{ cm}$$

[1.2]

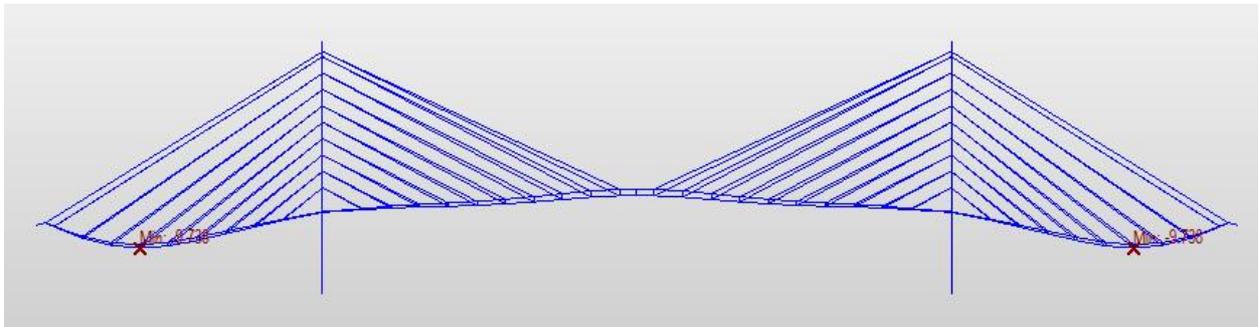
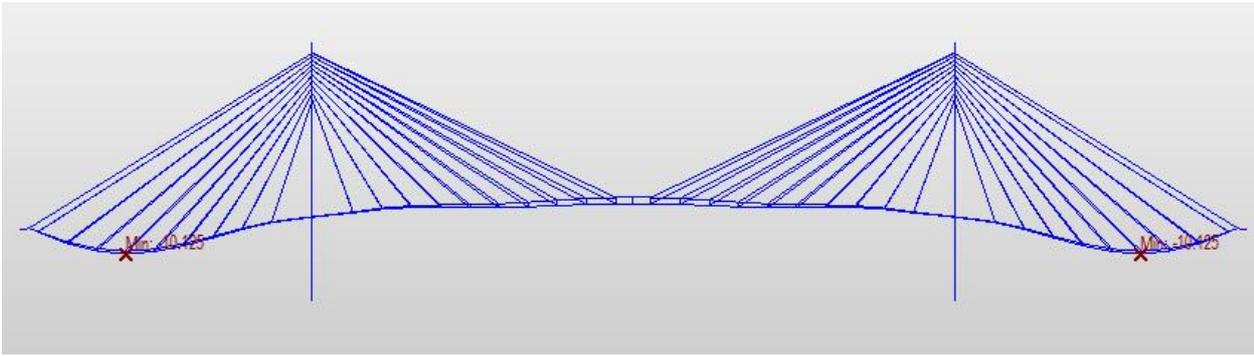


Fig. 3.2.2.2. Flecha en el dintel del puente 2LV-Arpa

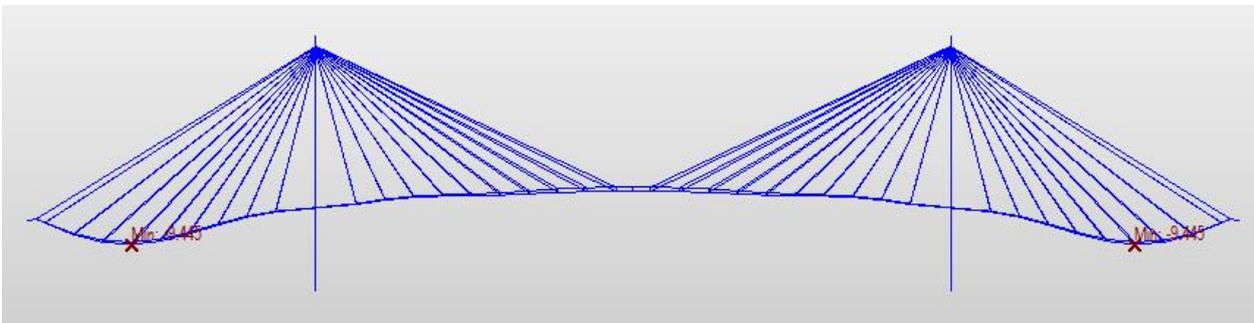
$$f_{1.2} = 9,7 \text{ cm}$$

[1.3]

*Fig. 3.2.2.3. Flecha en el dintel del puente 2LV-Intermedia*

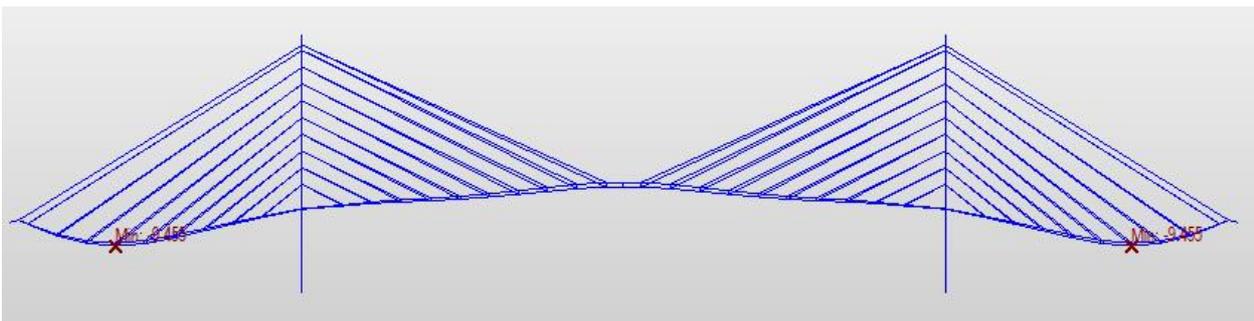
$$f_{1.3} = 10,1 \text{ cm}$$

[2.1]

*Fig. 3.2.2.4. Flecha en el dintel del puente 2IC-Abanico*

$$f_{2.1} = 9,4 \text{ cm}$$

[2.2]

*Fig. 3.2.2.5. Flecha en el dintel del puente 2IC-Arpa*

$$f_{2.2} = 9,5 \text{ cm}$$

[2.3]

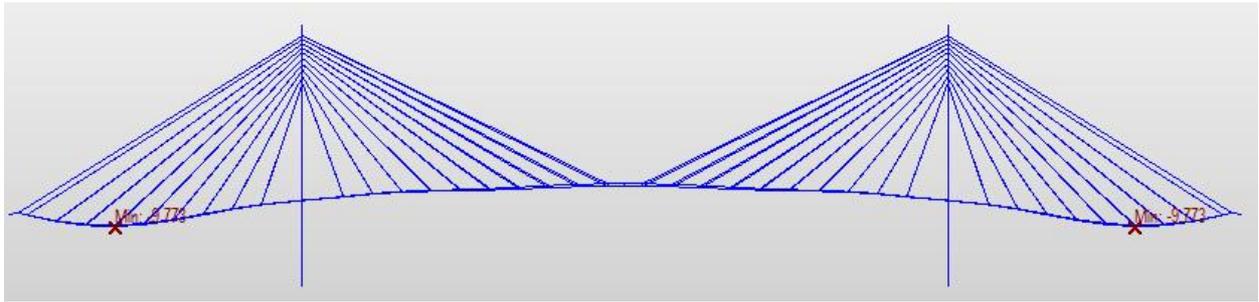


Fig. 3.2.2.6. Flecha en el dintel del puente 2IC-Intermedia

$$f_{2.3} = 9,8 \text{ cm}$$

[3.1]

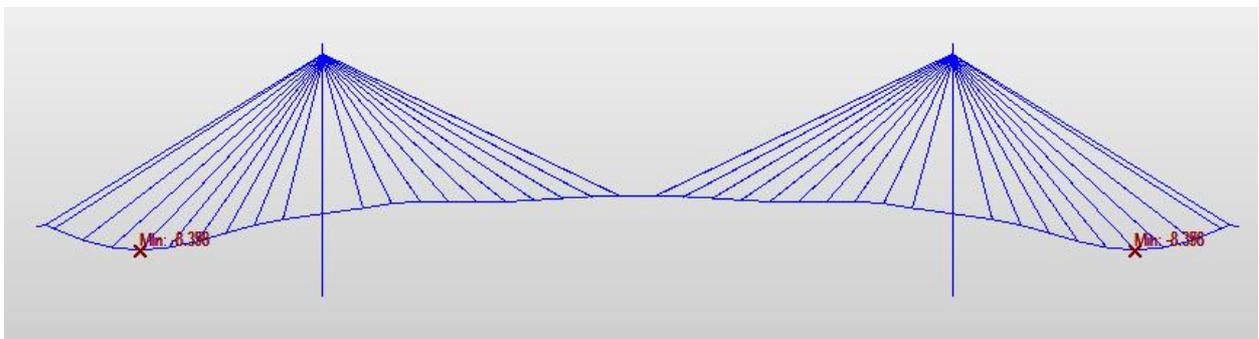


Fig. 3.2.2.7. Flecha en el dintel del puente 1CV-Abanico

$$f_{3.1} = 8,4 \text{ cm}$$

[3.2]

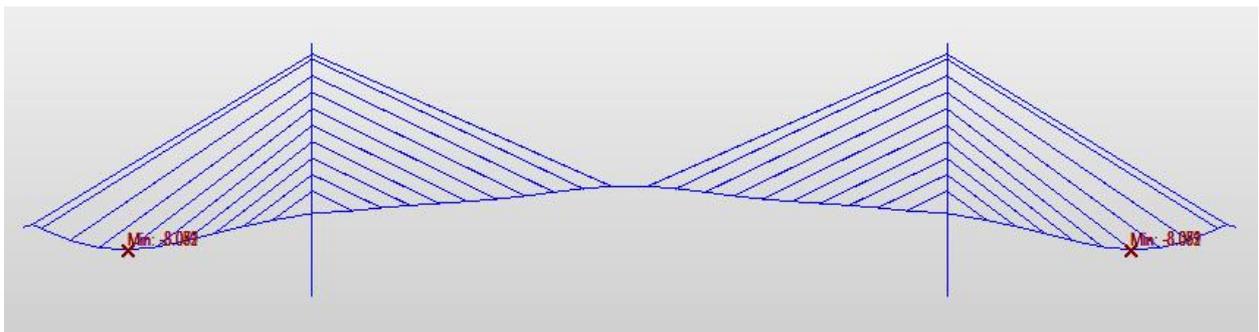


Fig. 3.2.2.8. Flecha en el dintel del puente 1CV-Arpa

$$f_{3.2} = 8,1 \text{ cm}$$

[3.3]

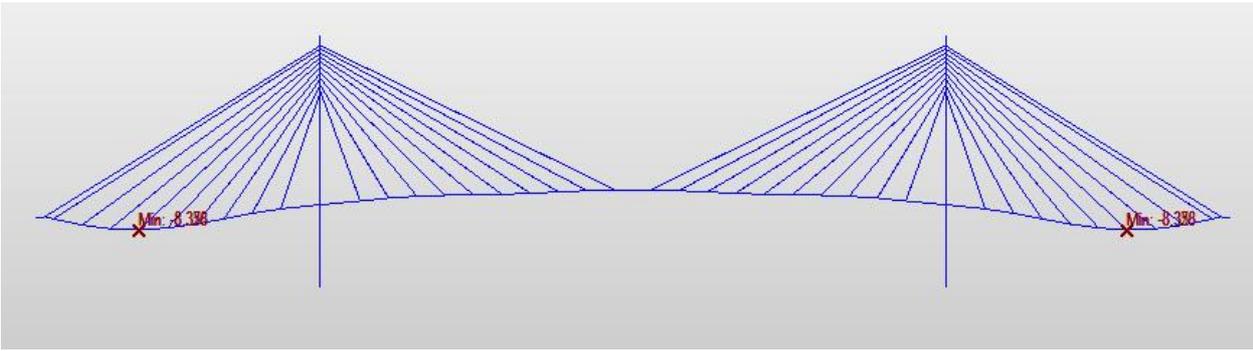


Fig. 3.2.2.9. Flecha en el dintel del puente 1CV-Intermedia

$$f_{3,3} = 8,4 \text{ cm}$$

Se resume en la siguiente tabla las flechas máximas para cada modelo:

Tabla 3.2.2.1. Flecha máxima en el dintel en ELS

Flecha máxima en el dintel (cm)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	10,2	9,7	10,1
2IC	9,4	9,5	9,8
1CV	8,4	8,1	8,4

En cuanto a la distribución longitudinal del atirantamiento, se observa que la flecha es mayor en abanico para los puentes en 2LV y 1CV. Aunque en los puentes 2IC, en arpa se presenta una ligera diferencia con la flecha de una disposición en abanico.

Para la distribución transversal, se evidencia que disponer los tirantes en un solo plano central reduce las flechas, y siendo máximas para el atirantamiento en dos planos verticales laterales. Esto ocurre también, como se verá en el desplome, gracias a que las torres en una sola columna en su cabeza sufrirán un desplazamiento horizontal hacia el vano lateral menor.

3.2.3. Desplome en las torres

A continuación se representan los desplazamientos horizontales en ELS y se indica el valor del desplome máximo de las torres en cada uno de los puentes:

[1.1]

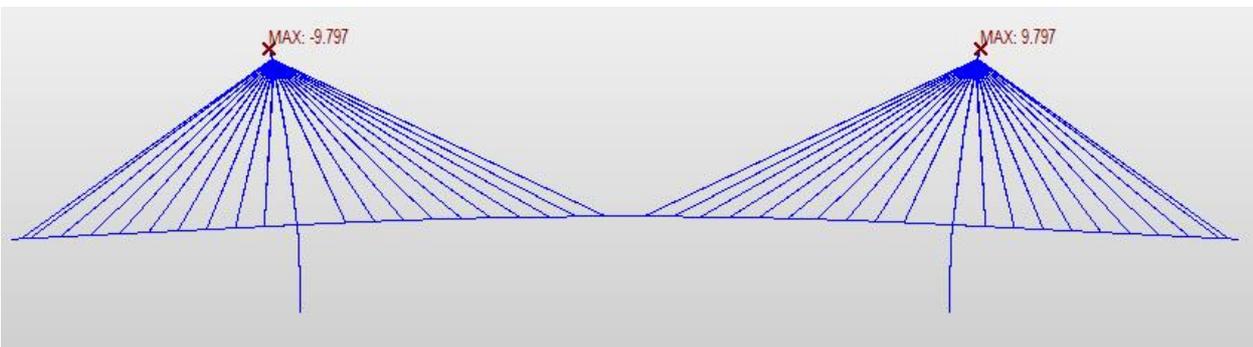


Fig. 3.2.3.1. Desplome en las torres del puente 2LV-Abanico

$$H_{1,1} = 9,8 \text{ cm}$$

[1.2]

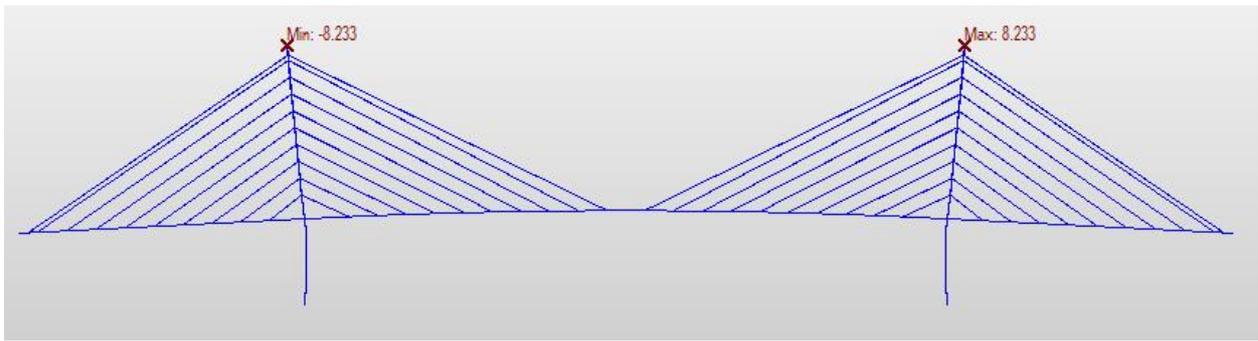


Fig. 3.2.3.2. Desplome en las torres del puente 2LV-Arpa

$$H_{1,2} = 8,2 \text{ cm}$$

[1.3]

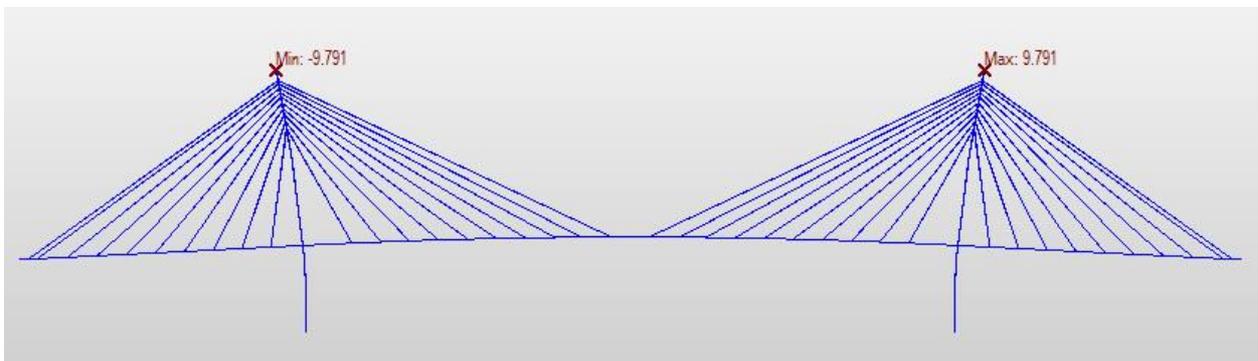


Fig. 3.2.3.3. Desplome en las torres del puente 2LV-Intermedia

$$H_{1,3} = 9,8 \text{ cm}$$

[2.1]

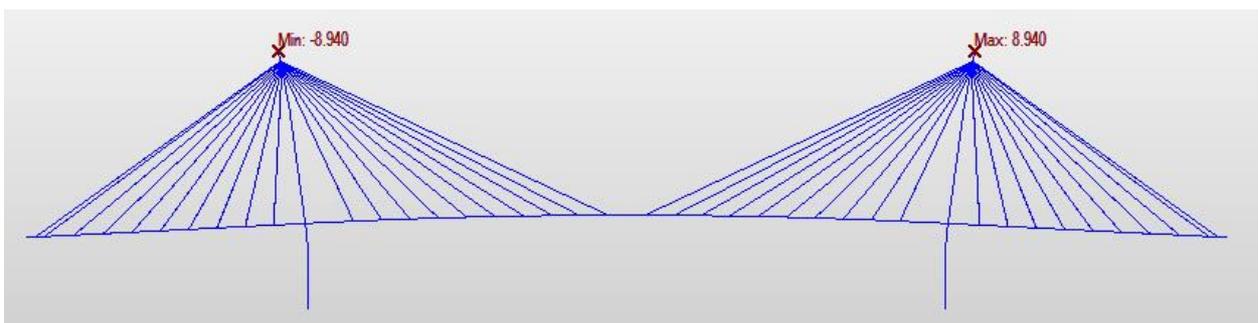
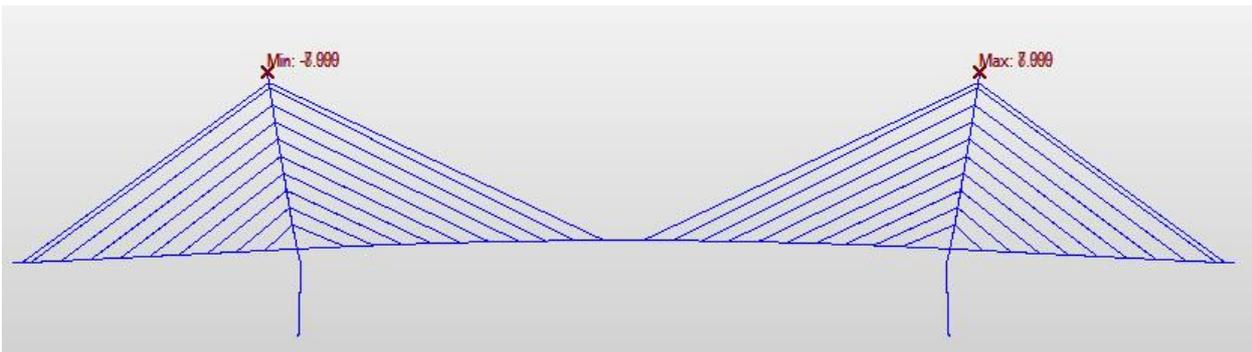


Fig. 3.2.3.4. Desplome en las torres del puente 2IC-Abanico

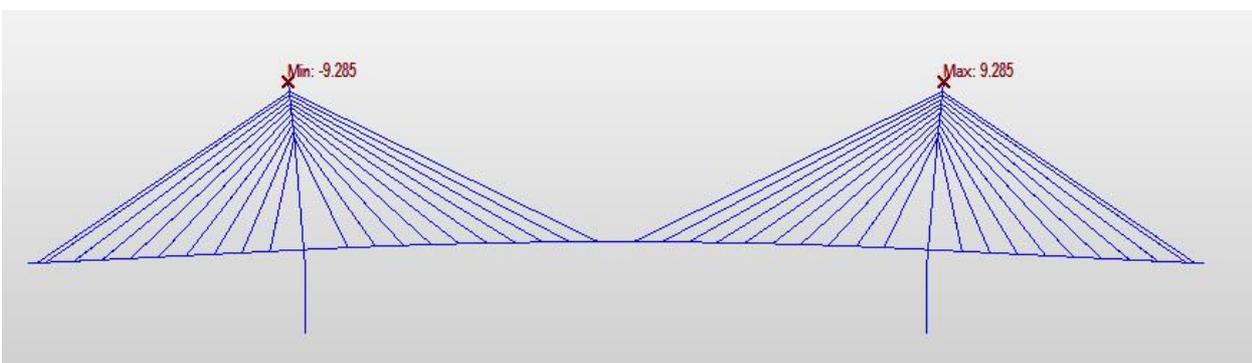
$$H_{2,1} = 8,9 \text{ cm}$$

[2.2]

*Fig. 3.2.3.5. Desplome en las torres del puente 2IC-Arpa*

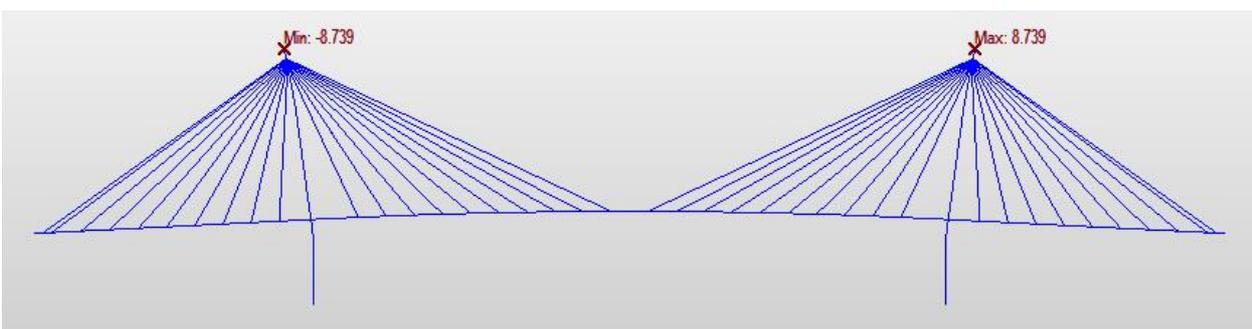
$$H_{2.2} = 8,0 \text{ cm}$$

[2.3]

*Fig. 3.2.3.6. Desplome en las torres del puente 2IC-Intermedia*

$$H_{2.3} = 9,3 \text{ cm}$$

[3.1]

*Fig. 3.2.3.7. Desplome en las torres del puente 1CV-Abanico*

$$H_{3.1} = 8,7 \text{ cm}$$

[3.2]

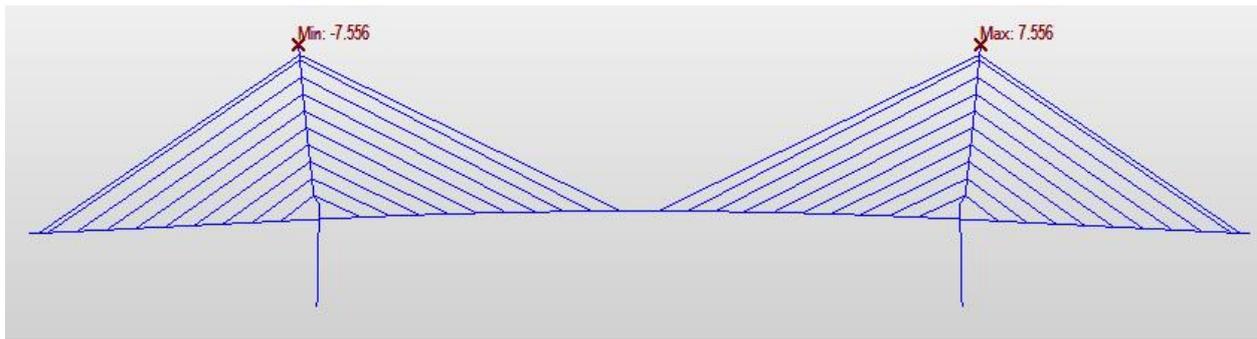


Fig. 3.2.3.8. Desplome en las torres del puente 1CV-Arpa

$$H_{3,2} = 7,6 \text{ cm}$$

[3.3]

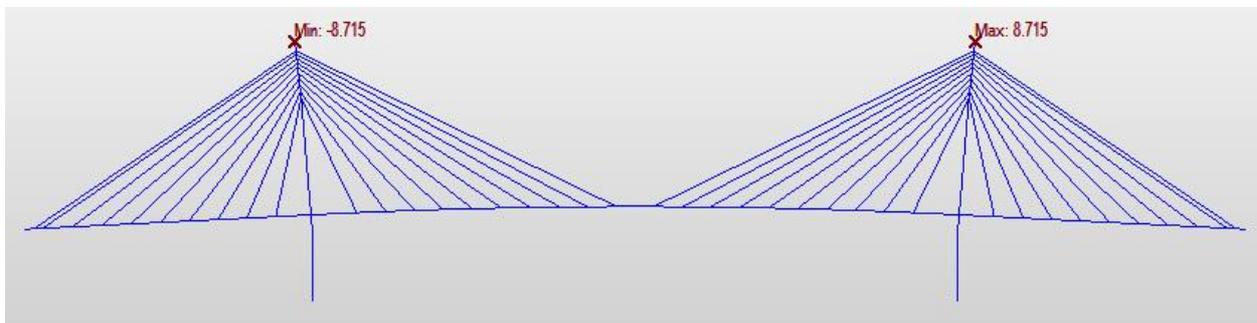


Fig. 3.2.3.9. Desplome en las torres del puente 1CV-Intermedia

$$H_{3,3} = 8,7 \text{ cm}$$

Se resume en la siguiente tabla los desplomes máximos para cada modelo:

Tabla 3.2.3.1. Desplome máximo de las torres en ELS

Desplome máximo en las torres (cm)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	9,8	8,2	9,8
2IC	8,9	8	9,3
1CV	8,7	7,6	8,7

Según la distribución longitudinal de los puentes, se observa que el desplome es mayor en el atirantamiento en abanico que en arpa. Esto se debe a que en la primera los tirantes están anclados en la cabeza de la torre, viéndose menos distribuidas las fuerzas horizontales transmitidas por los tirantes.

Según la disposición transversal se observa que el modelo más beneficioso para reducir los desplomes es el de un plano centrado; mientras que, por el contrario, el menos beneficioso sería el de disponer de 2 planos laterales verticales.

La preferencia de la utilización de dos planos inclinados respecto al de 2 planos verticales en cuanto a flecha en el dintel y desplome en las torres ya la indicaba Manterola (2006):

“Una variante del atirantamiento lateral, profusamente empleada por su eficacia, se constituye cuando los tirantes, en lugar de conservarse en un plano vertical, se disponen en dos planos inclinados que convergen en el eje de la pila. Si suponemos [...] que el tablero no tiene rigidez torsional alguna, la respuesta ante una sollicitación excéntrica, en el caso del puente con dos planos de atirantamiento vertical, será deformar únicamente el plano directamente cargado. Si los planos de los tirantes

convergen en el eje de la pila, el corrimiento horizontal de la cabeza de la pila no sólo estará coaccionado por los tirantes de ambos lados, situados en la parte posterior, sino que ese corrimiento pondrá en carga, a compresión, el tirante opuesto a la situación de la carga en el mismo vano y a tracción a los del vano de compensación. El giro teórico del dintel será del orden de la mitad.” (p.997)

Inclinar los planos de atirantamiento supone aumentar la rigidez torsional del puente.

3.3. Estado Límite Último

3.3.1. Dintel

- Axil

A continuación se representa el esfuerzo axial en el dintel y se indica el valor máximo a tracción y a compresión:

[1.1]

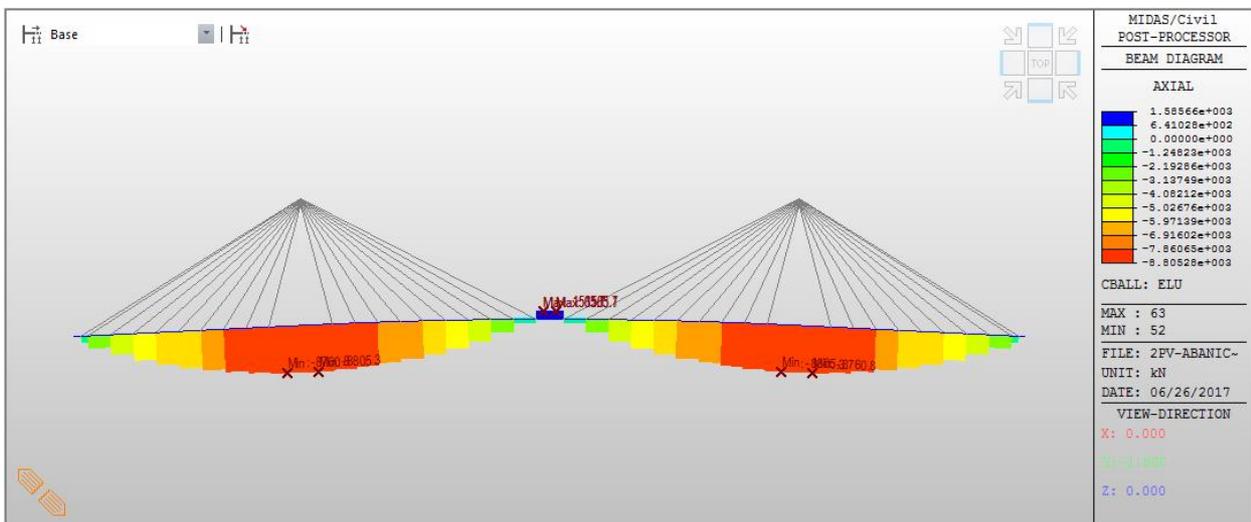


Fig. 3.3.1.1. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2LV-Abanico

$$N_{1,1}^T = 1\,585,66 \text{ kN} ; \quad N_{1,1}^C = 8\,805,28 \text{ kN}$$

[1.2]

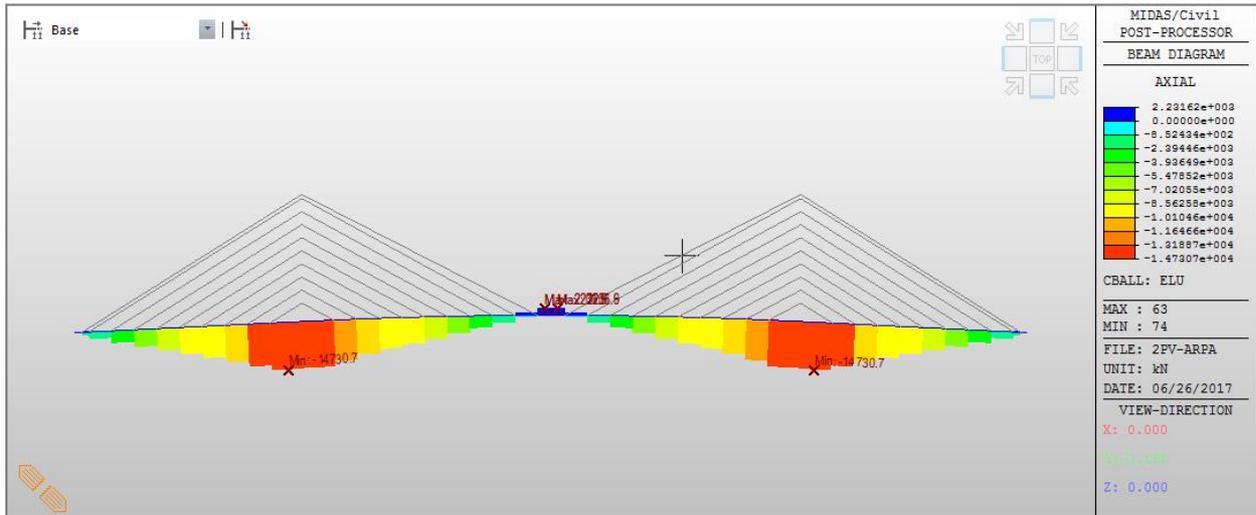


Fig. 3.3.1.2. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2LV-Arpa

$$N_{1.2}^T = 2\,231,62\text{ kN} \quad ; \quad N_{1.2}^C = 14\,730,7\text{ kN}$$

[1.3]

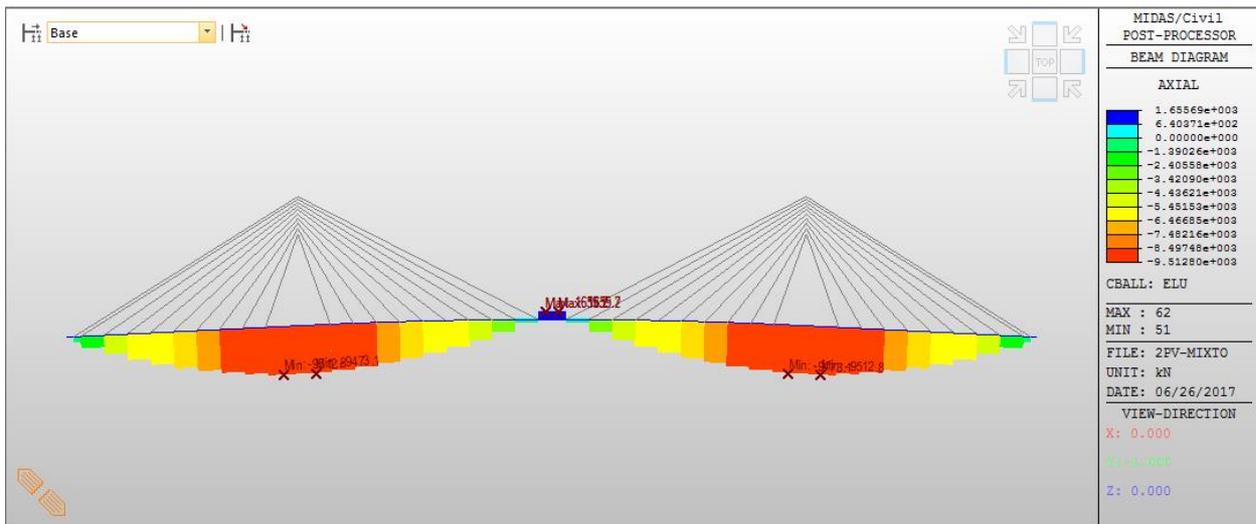


Fig. 3.3.1.3. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2LV-Intermedia

$$N_{1.3}^T = 1\,655,69\text{ kN} \quad ; \quad N_{1.3}^C = 9\,512,8\text{ kN}$$

[2.1]

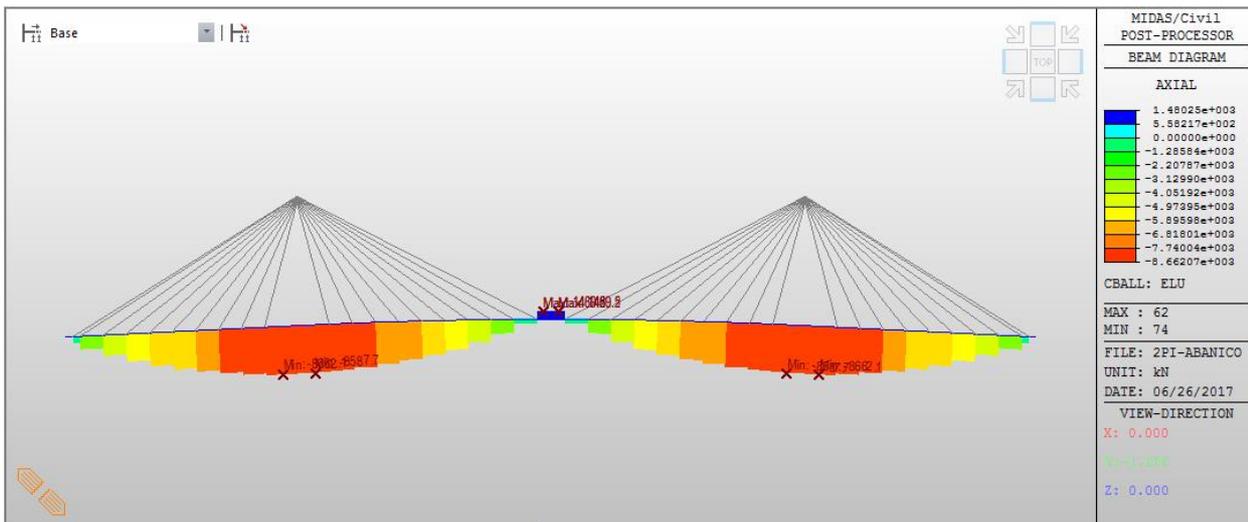


Fig. 3.3.1.4. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2IC-Abanico

$$N_{2,1}^T = 1\,480,25\text{ kN} \quad ; \quad N_{2,1}^C = 8\,662,07\text{ kN}$$

[2.2]

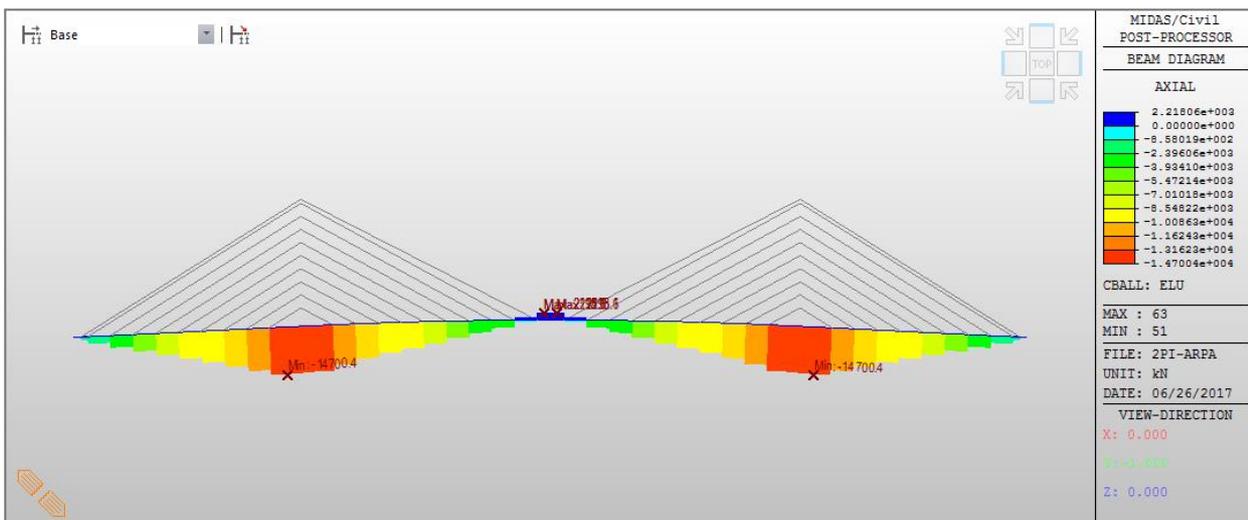


Fig. 3.3.1.5. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2IC-Arpa

$$N_{2,2}^T = 2\,218,06\text{ kN} \quad ; \quad N_{2,2}^C = 14\,700,4\text{ kN}$$

[2.3]

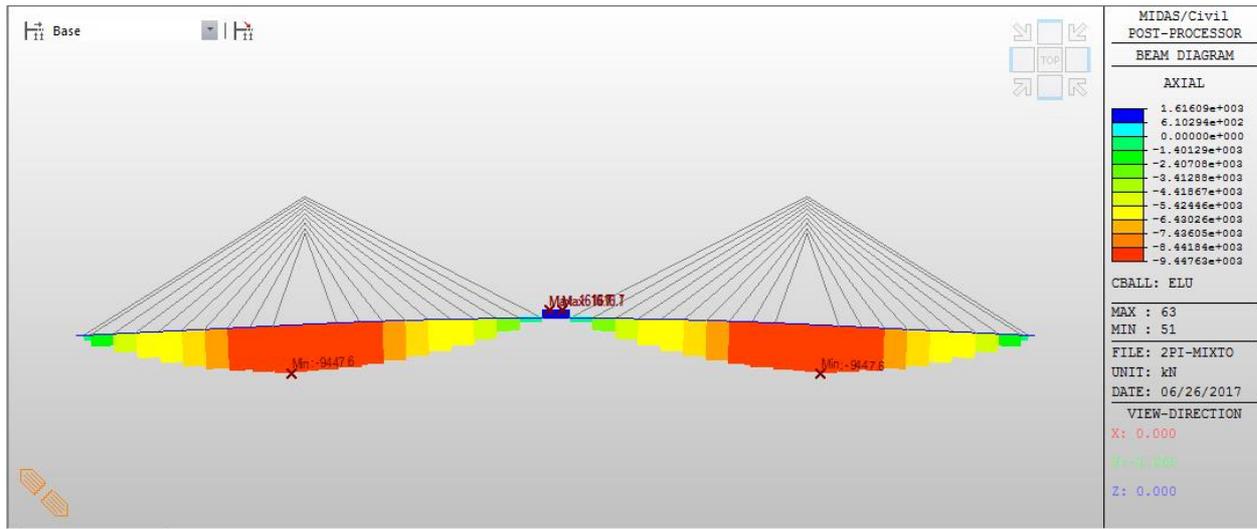


Fig. 3.3.1.6. Esfuerzo axial en el dintel del puente 2IC-Intermedia

$$N_{2,3}^T = 1\ 616,09\ kN ; N_{2,3}^C = 9\ 447,63\ kN$$

[3.1]

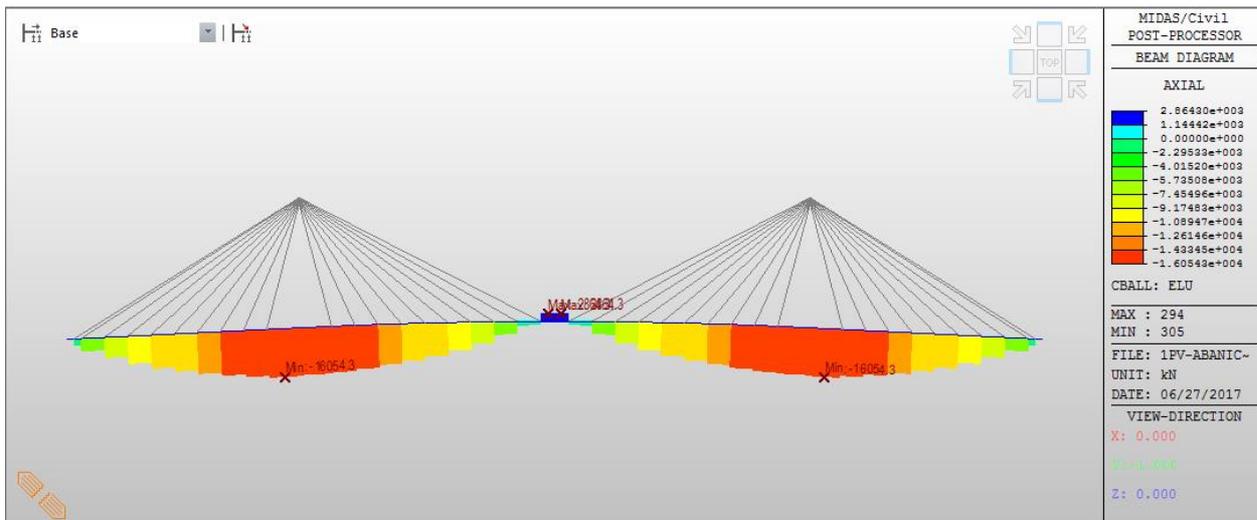


Fig. 3.3.1.7. Esfuerzo axial en el dintel del puente 1CV-Abanico

$$N_{3,1}^T = 2\ 864,30\ kN ; N_{3,1}^C = 16\ 054,3\ kN$$

[3.2]

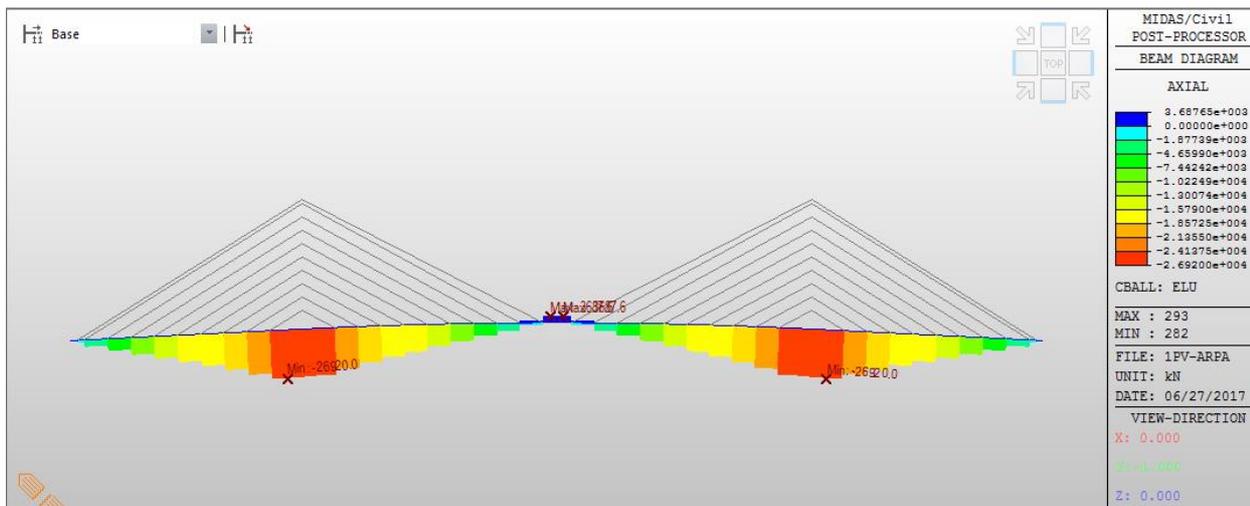


Fig. 3.3.1.8. Esfuerzo axial en el dintel del puente 1CV-Arpa

$$N_{3,2}^T = 3\ 687,65\ kN \ ; \ N_{3,2}^C = 26\ 920,0\ kN$$

[3.3]

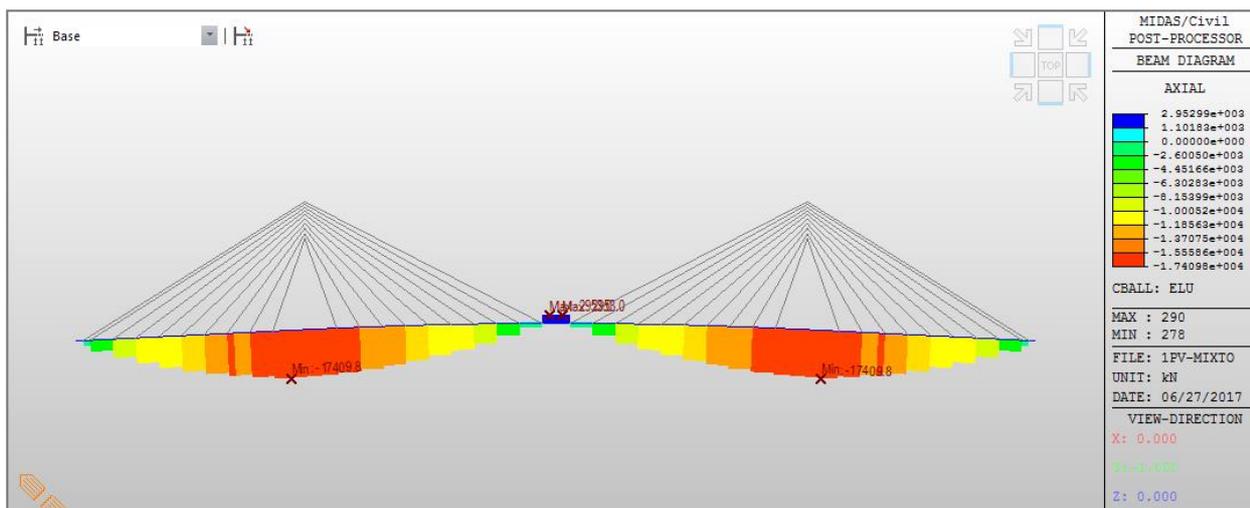


Fig. 3.3.1.9. Esfuerzo axial en el dintel del puente 1CV-Intermedia

$$N_{3,3}^T = 2\ 952,99\ kN \ ; \ N_{3,3}^C = 17\ 409,8\ kN$$

Se resume en la siguiente tabla los esfuerzos axiales de tracción y compresión para cada modelo. Los valores en los puentes 2LV y 2IC, al ser esfuerzos en cada uno de los dos ejes con los que se ha modelizado el dintel, se han multiplicado por dos para compararlos con los puentes 1CV de un solo eje directriz:

Tabla 3.3.1.1. Esfuerzos axiales máximos en el dintel

Tracciones (+) y compresiones (-) máximas en el dintel (kN)						
	Abanico		Arpa		Intermedia	
2LV	3171,32	-17610,56	4463,24	-29461,4	3311,38	-19025,6
2IC	2960,5	-17324,14	4436,12	-29400,8	3232,18	-18895,26
1CV	2864,3	-16054,3	3687,65	-26920	2952,99	-17409,8

Se evidencia que una disposición en arpa aumenta los esfuerzos axiales soportados por el dintel. Con

lo cuál, respecto a los axiles introducidos, es conveniente tender los anclajes de los tirantes hacia la cabeza de las torres hacia una disposición en abanico.

En cuanto a los planos de los tirantes, se observa que el sistema que introduce menores axiles corresponde al de un solo plano centrado de tirantes. Por el contrario, el que más imprime estos esfuerzos es el correspondiente a un atirantamiento en dos planos laterales verticales, habiendo una pequeña diferencia respecto al atirantamiento inclinado.

- Momento flector

A continuación se representa el momento flector en el dintel y se indica el valor máximo de momento positivo y negativo:

[1.1]

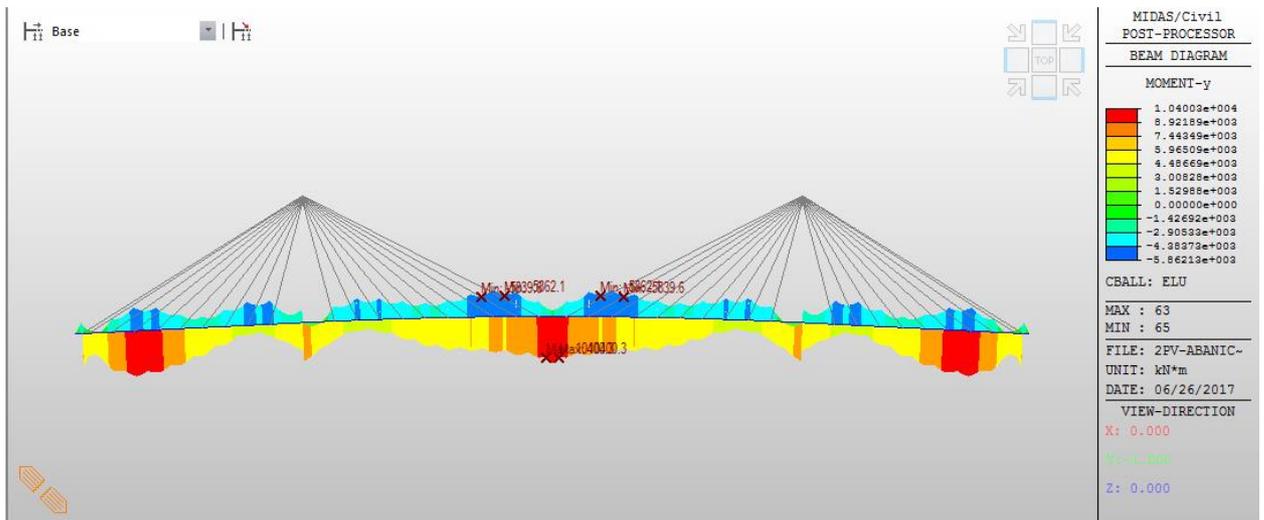


Fig. 3.3.1.10. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Abanico

$$M_{1,1}^+ = 10\,400,3 \text{ mkN} ; M_{1,1}^- = 5\,862,13 \text{ mkN}$$

[1.2]

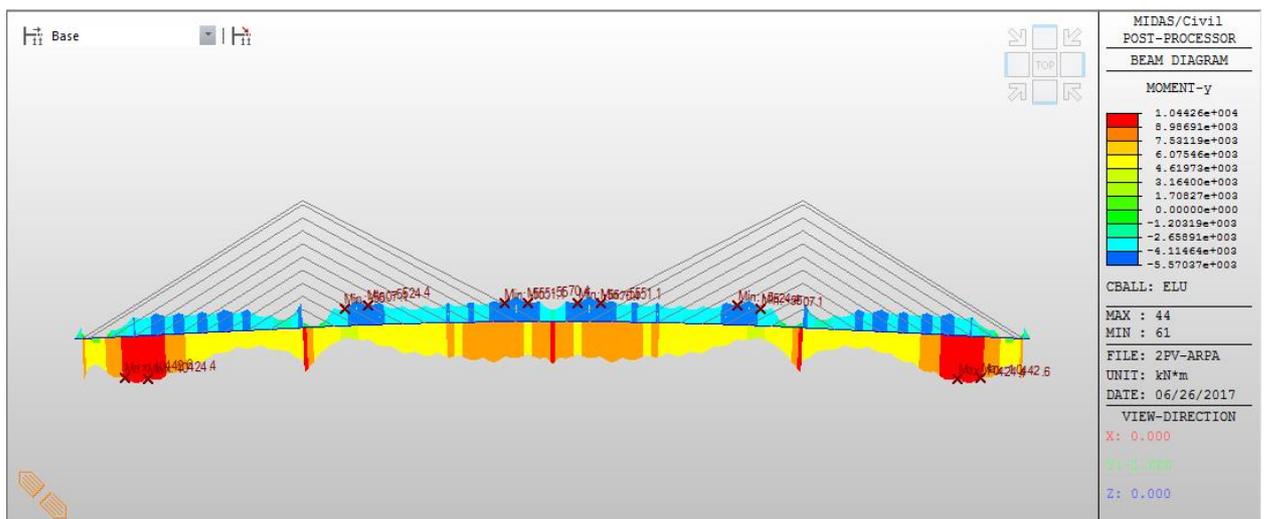


Fig. 3.3.1.11. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Arpa

$$M_{1,2}^+ = 10\,442,6 \text{ mkN} ; M_{1,2}^- = 5\,570,37 \text{ mkN}$$

[1.3]

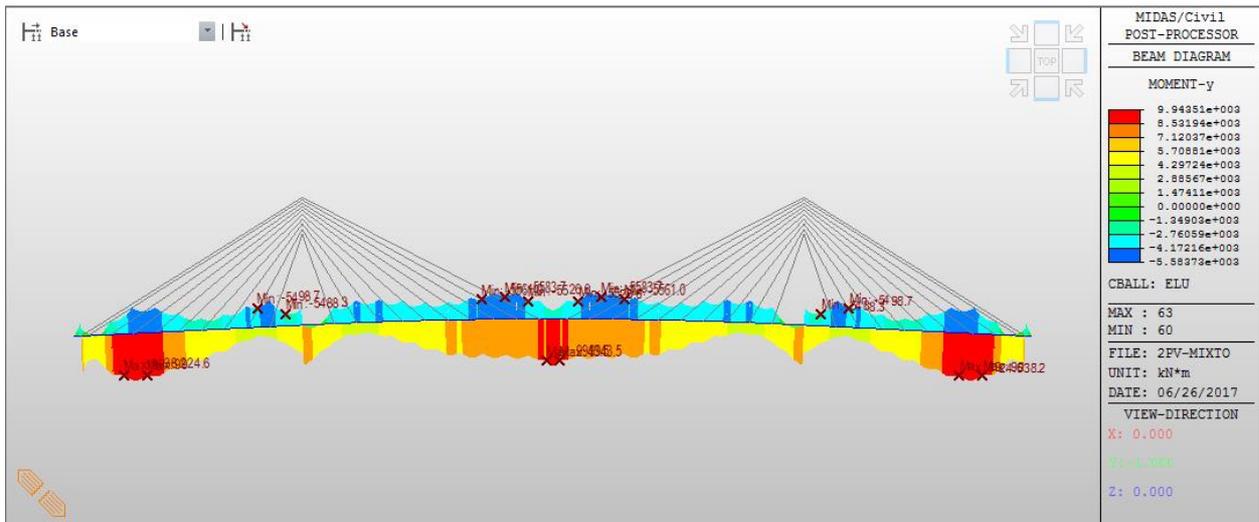


Fig. 3.3.1.12. Momento flector en el dintel del puente 2LV-Intermedia

$$M_{1.3}^+ = 9\,943,51\text{ mkN} \ ; \ M_{1.3}^- = 5\,583,73\text{ mkN}$$

[2.1]

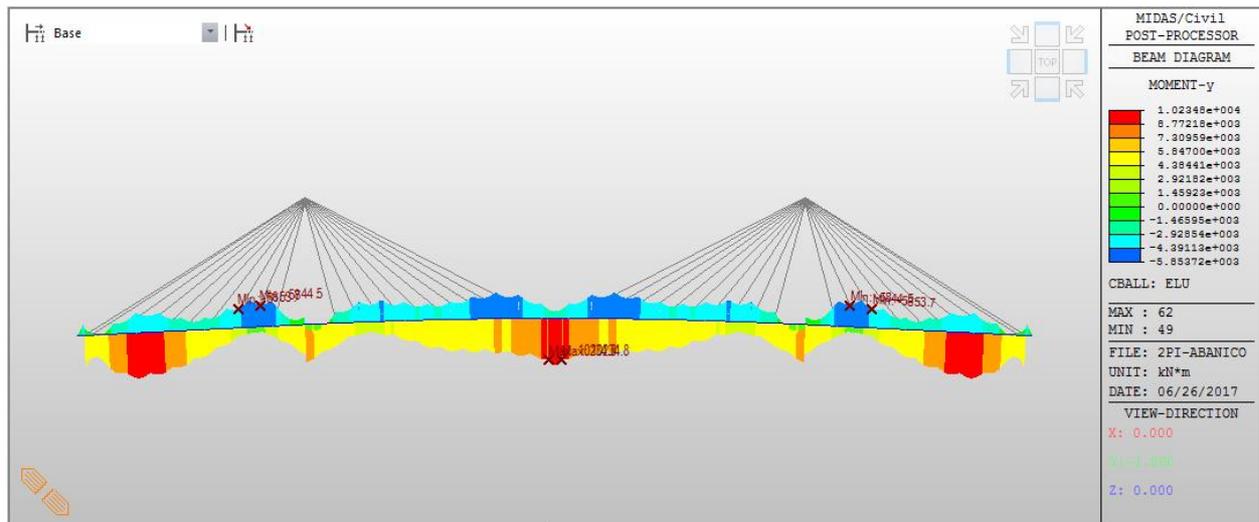


Fig. 3.3.1.13. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Abanico

$$M_{2.1}^+ = 10\,234,8\text{ mkN} \ ; \ M_{2.1}^- = 5\,853,72\text{ mkN}$$

[2.2]

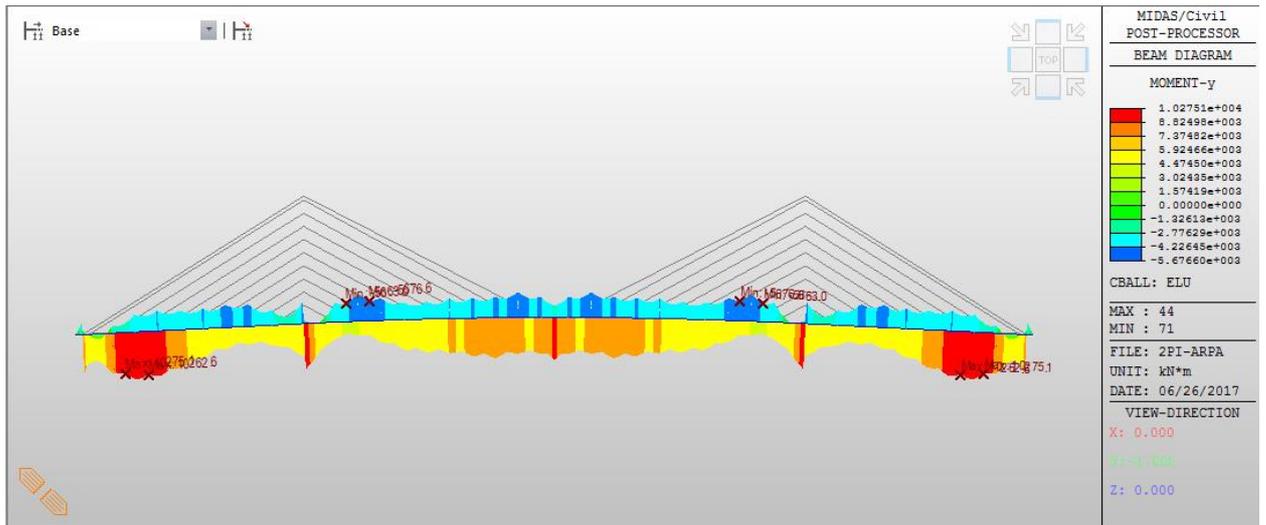


Fig. 3.3.1.14. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Arpa

$$M_{2,2}^+ = 10\ 275,1\ mkN \ ; \ M_{2,2}^- = 5\ 676,60\ mkN$$

[2.3]

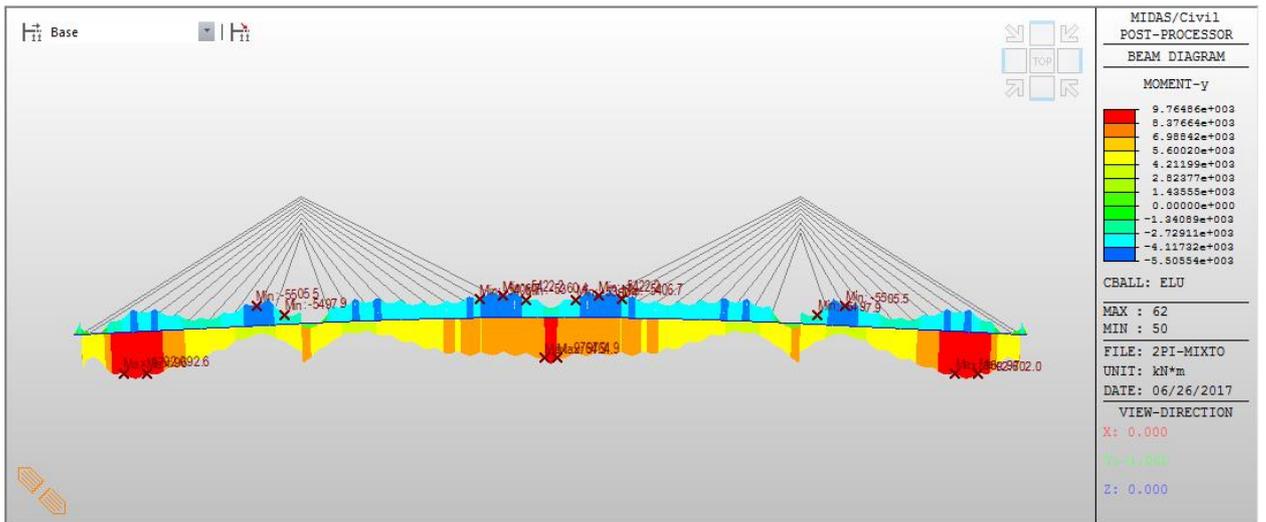


Fig. 3.3.1.15. Momento flector en el dintel del puente 2IC-Intermedia

$$M_{2,3}^+ = 9\ 764,86\ mkN \ ; \ M_{2,3}^- = 5\ 505,54\ mkN$$

[3.1]

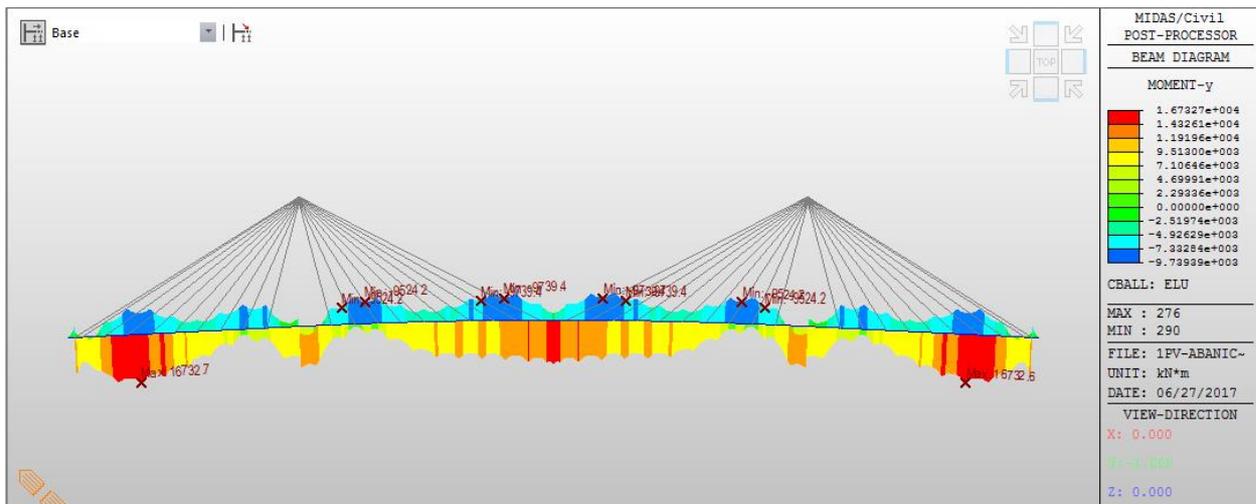


Fig. 3.3.1.16. Momento flector en el dintel del puente ICV-Abanico

$$M_{3,1}^+ = 16\,732,7 \text{ mkN} ; M_{3,1}^- = 9\,739,39 \text{ mkN}$$

[3.2]

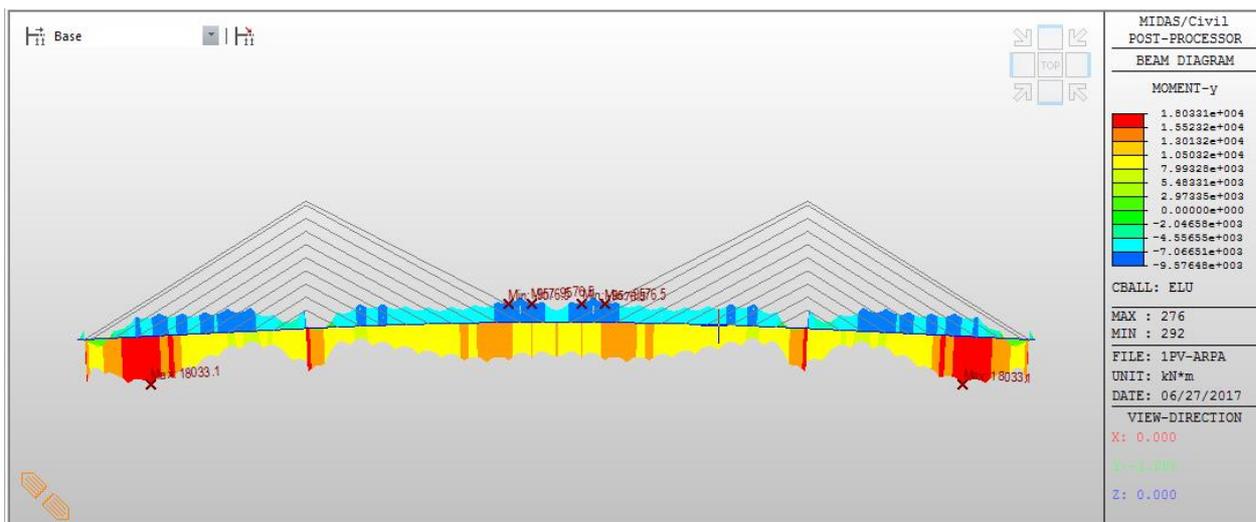


Fig. 3.3.1.17. Momento flector en el dintel del puente ICV-Arpa

$$M_{3,2}^+ = 18\,033,1 \text{ mkN} ; M_{3,2}^- = 9\,576,48 \text{ mkN}$$

[3.3]

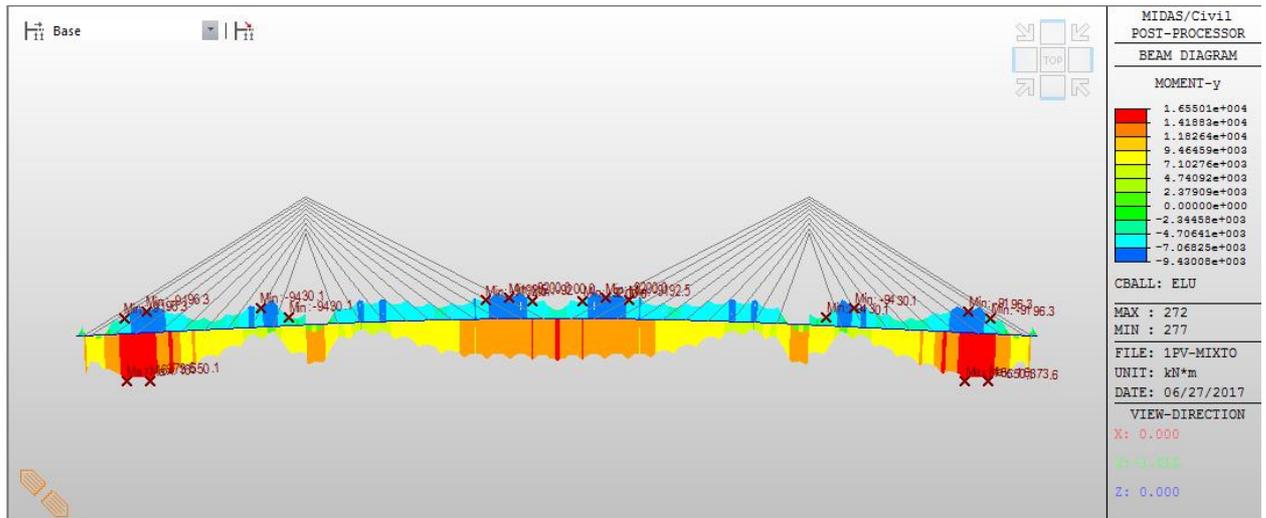


Fig. 3.3.1.18. Momento flector en el dintel del puente 1CV-Intermedia

$$M_{3,3}^+ = 16\,550,1 \text{ mkN} ; M_{3,3}^- = 9\,430,08 \text{ mkN}$$

Se resume en la siguiente tabla los momentos flectores para cada modelo, tanto positivos como negativos. Los valores en los puentes 2LV y 2IC, al ser esfuerzos en cada uno de los dos ejes con los que se ha modelizado el dintel, se han multiplicado por dos para compararlos con los puentes 1CV de un solo eje directriz:

Tabla 3.3.1.2. Momentos flectores máximos en el dintel

Momentos flectores positivos (+) y negativos (-) máximos en el dintel (mkN)						
	Abanico		Arpa		Intermedia	
2LV	20800,6	-11724,26	20885,2	-11140,74	19887,02	-11167,46
2IC	20469,6	-11707,44	20550,2	-11353,2	19529,72	-11011,08
1CV	16732,7	-9739,39	18033,1	-9576,48	16550,1	-9430,08

Como se observa, los momentos flectores positivos en arpa son mínimamente superiores a los de un puente en disposición en abanico; sin embargo, los momentos negativos son ligeramente inferiores en arpa que en abanico. Por otra parte, los modelos con disposición intermedia presentan menor flector tanto positivo como negativo, salvo en el 2LV, el cual es despreciablemente superior al del modelo en arpa.

En cuanto a la disposición transversal, la distribución que introduce menores momentos flectores tanto positivos como negativos es el de un plano centrado de atirantamiento, esto es debido a que en esta disposición los tirantes colaboran más, cargando en menor medida al dintel, por lo que son los tirantes los que absorben gran cantidad de flectores. Al dintel al que más recae momentos flectores es al correspondiente a puentes de atirantamiento lateral vertical.

- Cortante

A continuación se representa el esfuerzo cortante en el dintel y se indica su valor máximo:

[1.1]

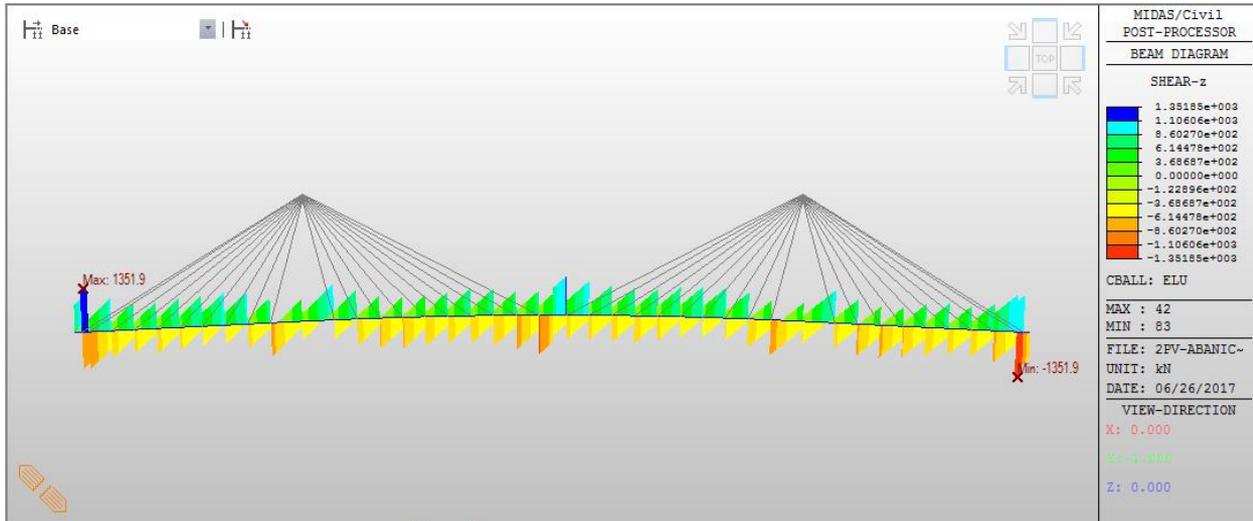


Fig. 3.3.1.19. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Abanico

$$V_{1.1} = 1\,352,85 \text{ kN}$$

[1.2]

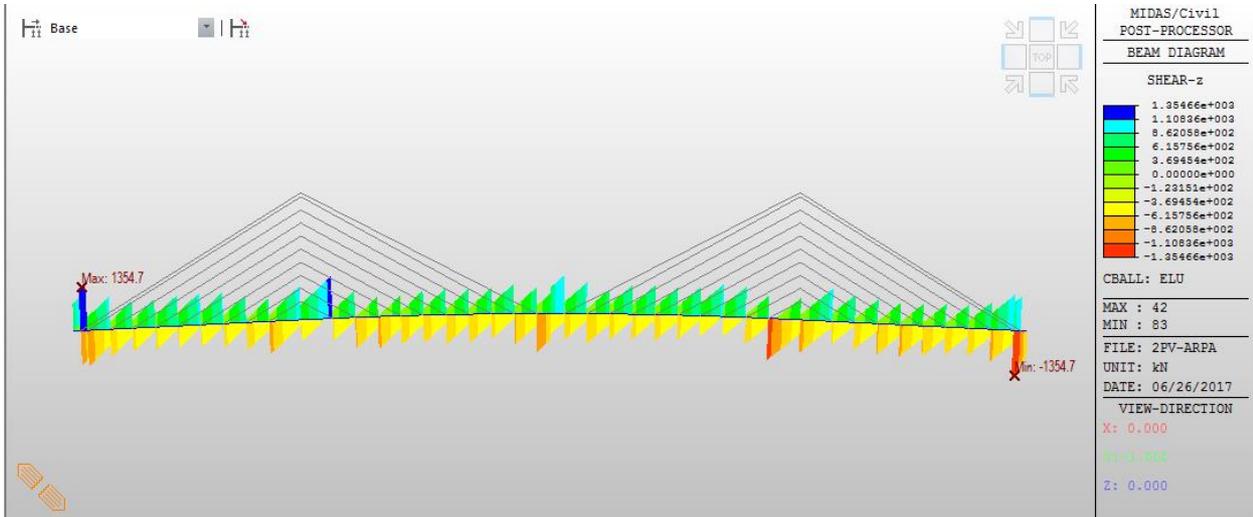


Fig. 3.3.1.20. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Arpa

$$V_{1.2} = 1\,354,66 \text{ kN}$$

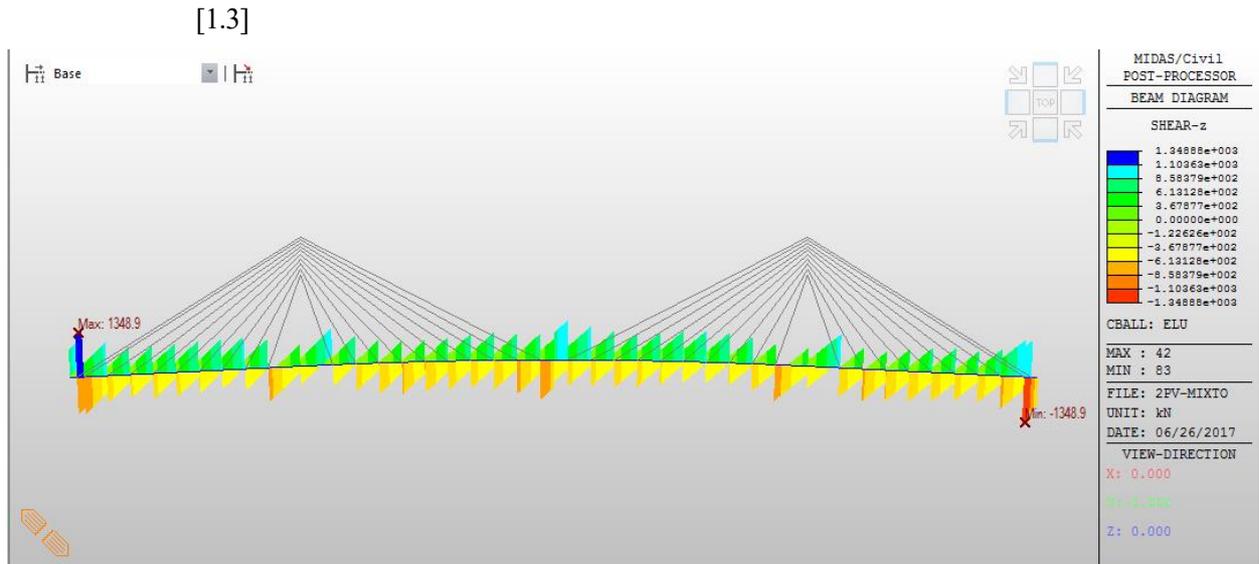


Fig. 3.3.1.21. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2LV-Intermedia

$$V_{1.3} = 1\,348,88\text{ kN}$$

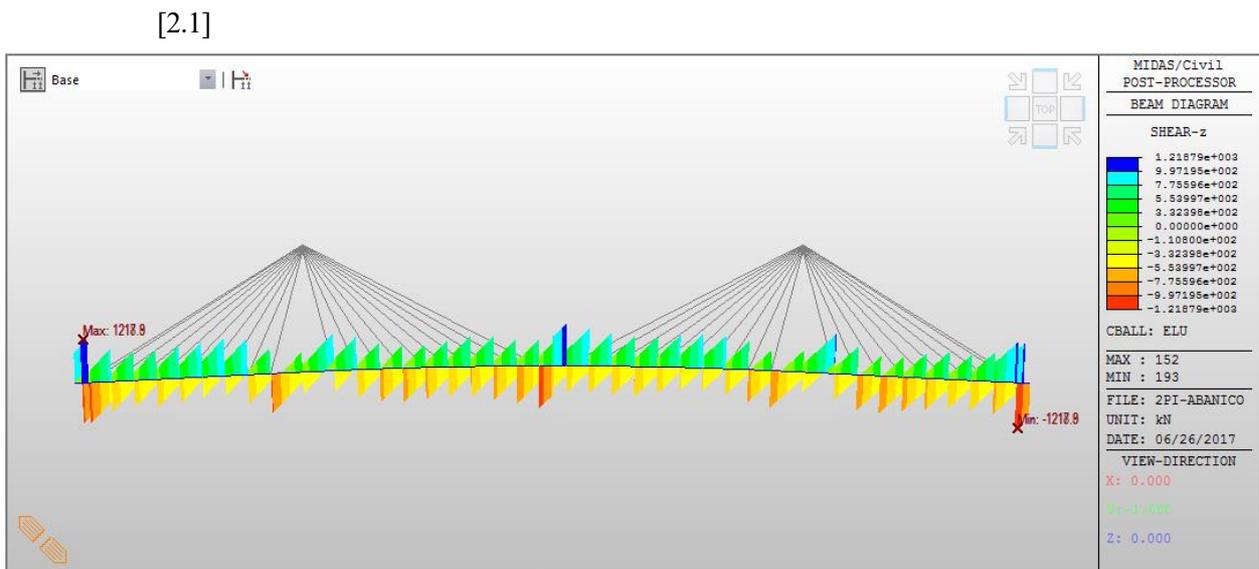


Fig. 3.3.1.22. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Abanico

$$V_{2.1} = 1\,218,79\text{ kN}$$

[2.2]

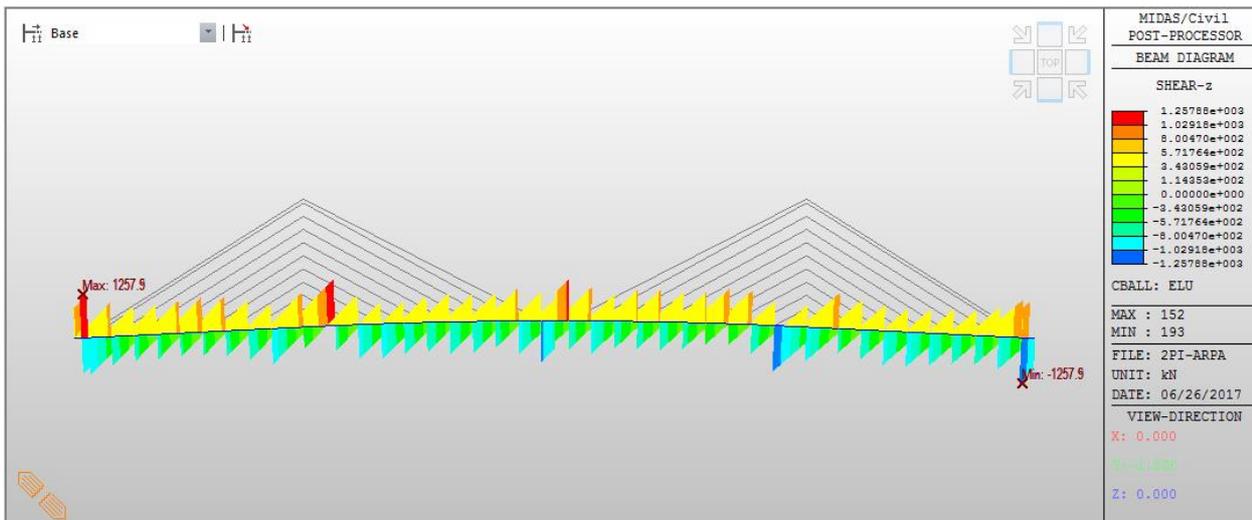


Fig. 3.3.1.23. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Arpa

$$V_{2,2} = 1\,257,88\text{ kN}$$

[2.3]

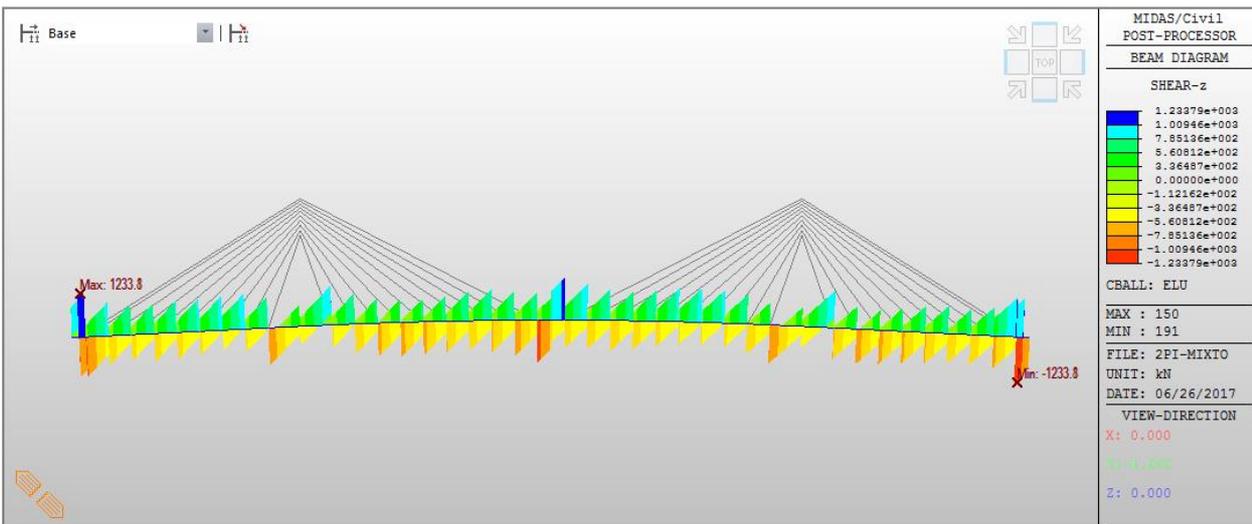


Fig. 3.3.1.24. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 2IC-Intermedia

$$V_{2,3} = 1\,233,79\text{ kN}$$

[3.1]

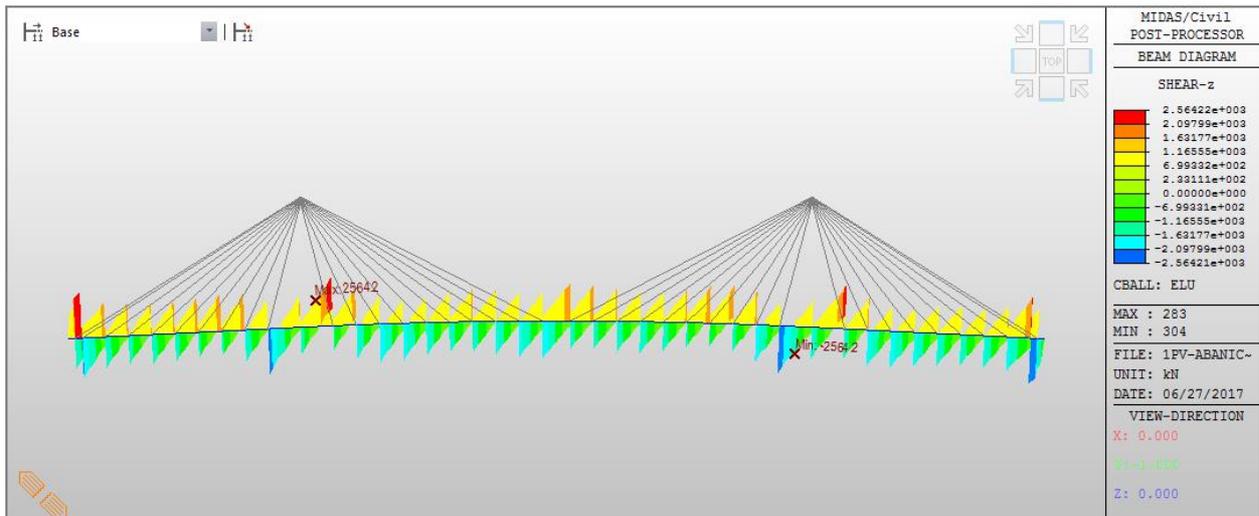


Fig. 3.3.1.25. Esfuerzo cortante en el dintel del puente ICV-Abanico

$$V_{3.1} = 2\,564,22\text{ kN}$$

[3.2]

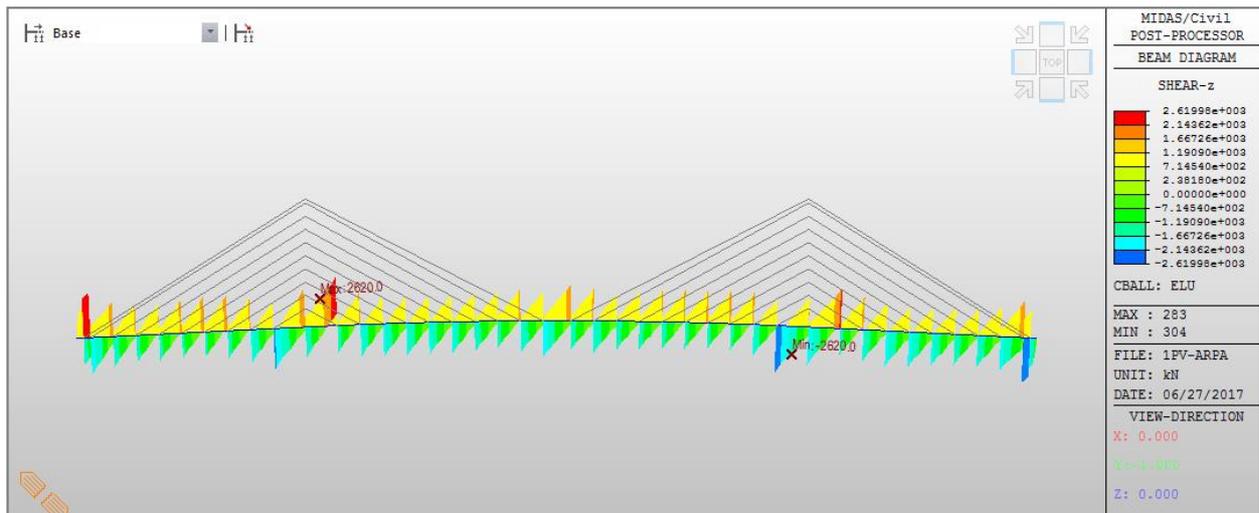


Fig. 3.3.1.26. Esfuerzo cortante en el dintel del puente ICV-Arpa

$$V_{3.2} = 2\,619,98\text{ kN}$$

[3.3]

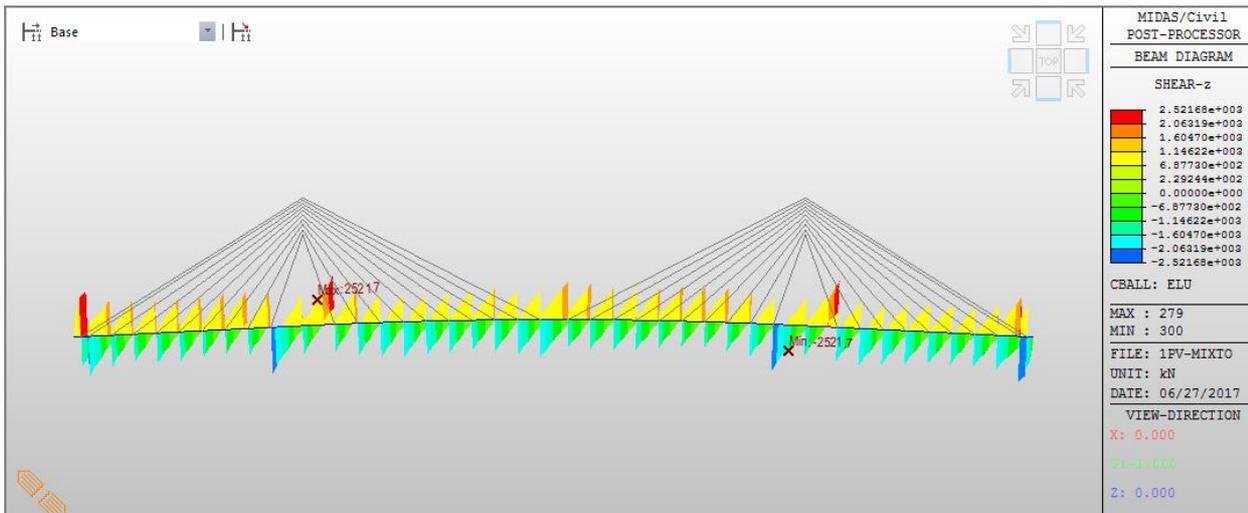


Fig. 3.3.1.27. Esfuerzo cortante en el dintel del puente 1CV-Intermedia

$$V_{3,3} = 2\,521,68\text{ kN}$$

Se resume en la siguiente tabla los esfuerzos cortantes para cada modelo. Los valores en los puentes 2LV y 2IC, al ser esfuerzos en cada uno de los dos ejes con los que se ha modelizado el dintel, se han multiplicado por dos para compararlos con los puentes 1CV de un solo eje directriz:

Tabla 3.3.1.3. Cortantes máximos en el dintel

Cortante máximo en el dintel (kN)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	2705,7	2709,32	2697,76
2IC	2437,58	2515,76	2467,58
1CV	2564,22	2619,98	2521,68

Se puede observar que los puentes en abanico presentan menor cortante en su dintel que en los de arpa, notándose más esta diferencia en el atirantamiento inclinado.

Por otra parte, es el atirantamiento en dos planos inclinados los que muestran un menor valor de cortante en el dintel de la estructura. Observándose como es el dintel del atirantamiento lateral vertical el que peor se comporta.

Además, se puede observar como la utilización de tirantes se asemeja a la disposición de apoyos elásticos del dintel en los puntos de anclaje.

- Momento torsor

A continuación se representa el momento torsor en el dintel y se indica su valor máximo. Como el torsor máximo para los puentes 2LV y 2IC se presenta aislado en los extremos del Intel, también se especifica para estos puentes su valor en el medio del vano central:

[1.1]

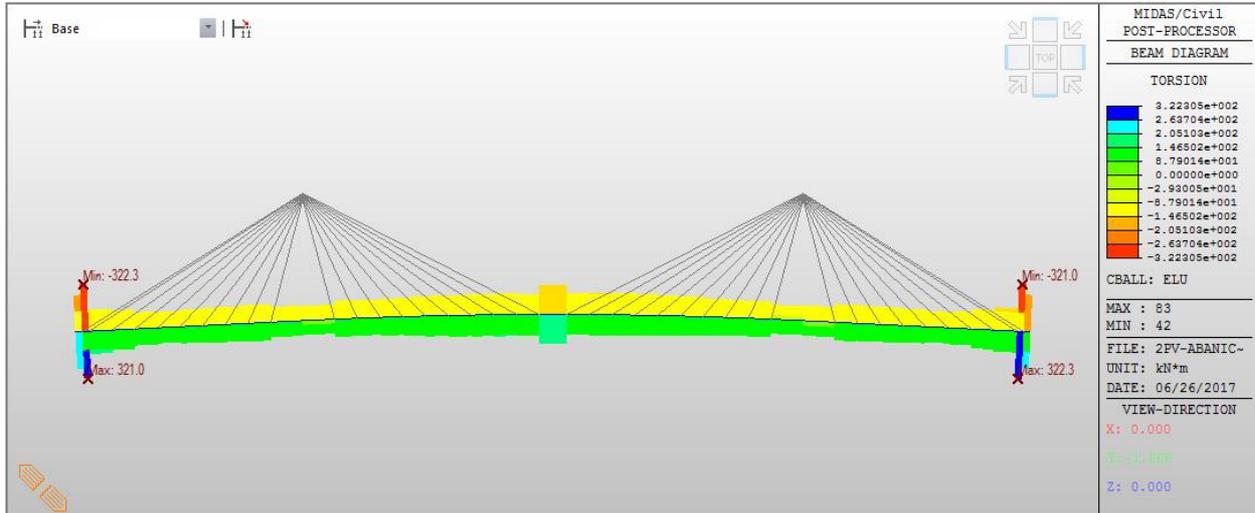


Fig. 3.3.1.28. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Abanico

$$T_{1.1}^{max} = 322,305 \text{ mkN} ; T_{1.1}^C = 197,3 \text{ mkN}$$

[1.2]

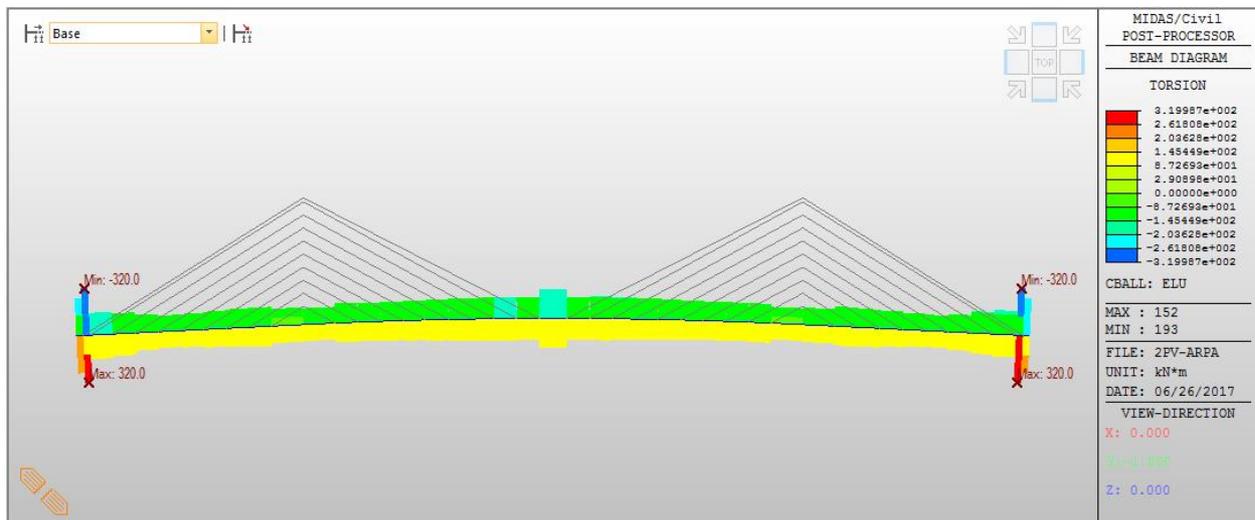


Fig. 3.3.1.29. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Arpa

$$T_{1.2}^{max} = 319,987 \text{ mkN} ; T_{1.2}^C = 198,7 \text{ mkN}$$

[1.3]

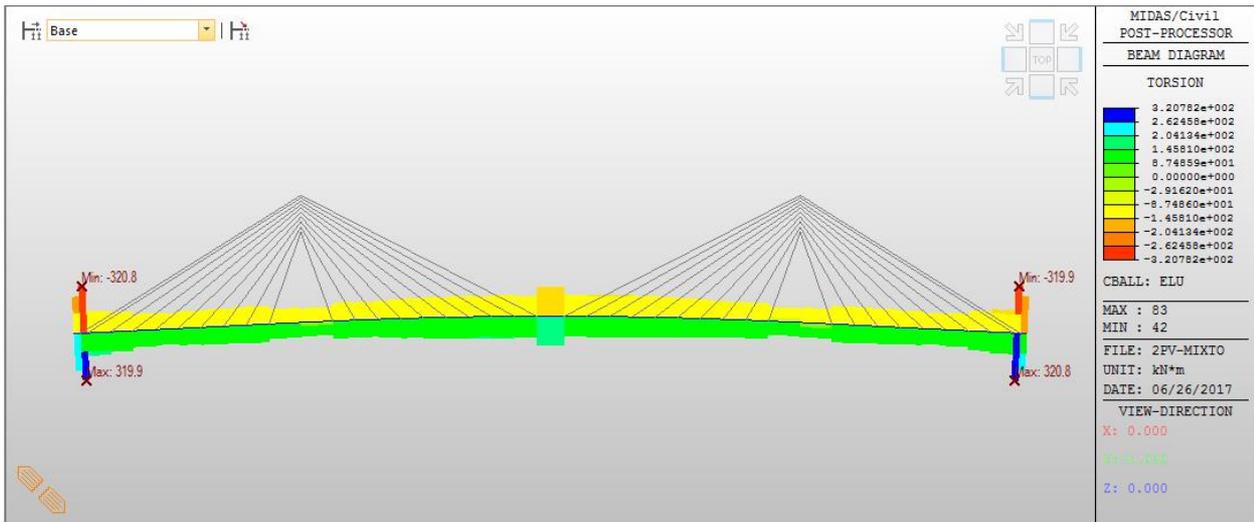


Fig. 3.3.1.30. Momento torsor en el dintel del puente 2LV-Intermedia

$$T_{1,3}^{max} = 320,782 \text{ mkN} \ ; \ T_{1,3}^C = 196,4 \text{ mkN}$$

[2.1]

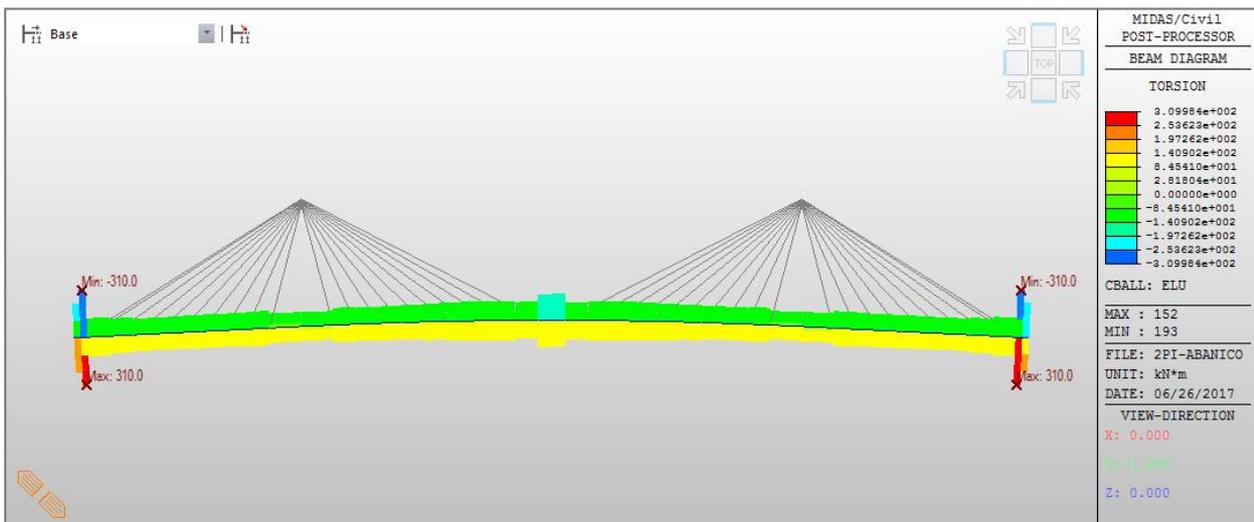


Fig. 3.3.1.31. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Abanico

$$T_{2,1}^{max} = 309,984 \text{ mkN} \ ; \ T_{2,1}^C = 175,8 \text{ mkN}$$

[2.2]

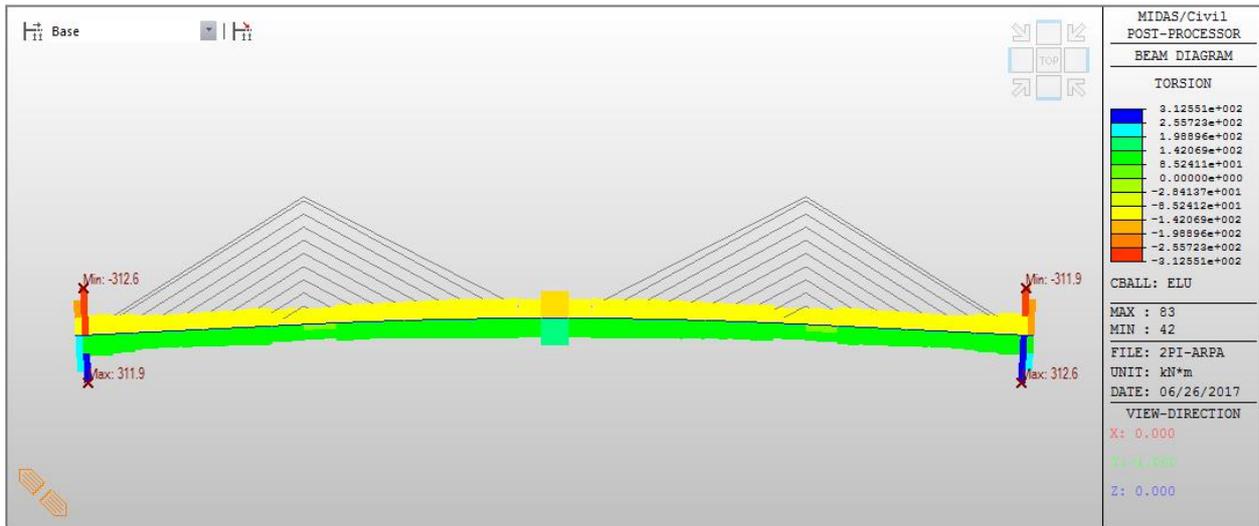


Fig. 3.3.1.32. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Arpa

$$T_{2.2}^{max} = 312,551 \text{ mkN} ; T_{2.2}^C = 179,4 \text{ mkN}$$

[2.3]

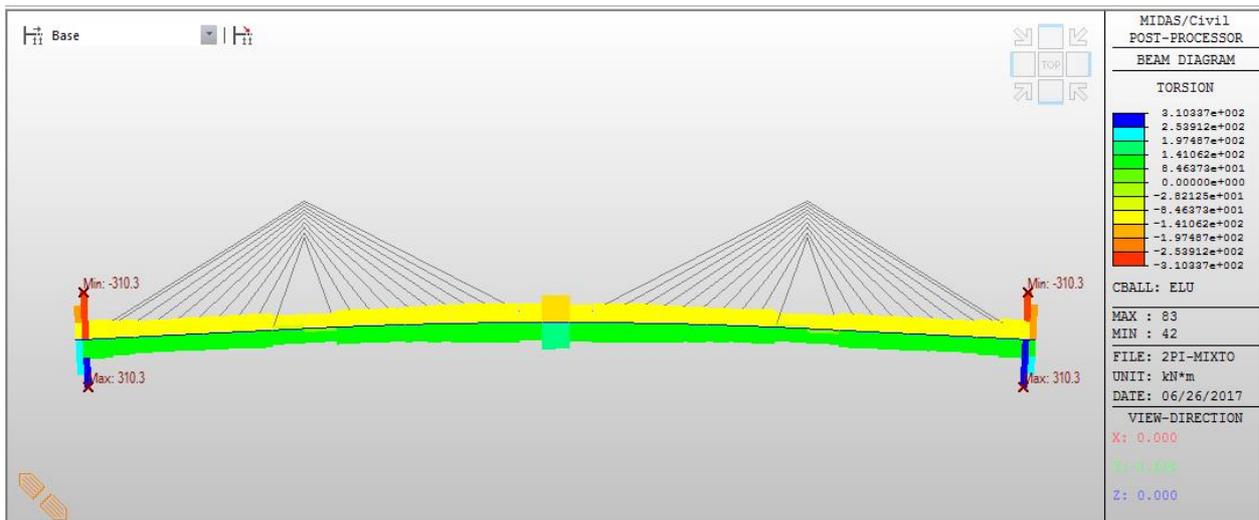


Fig. 3.3.1.33. Momento torsor en el dintel del puente 2IC-Intermedia

$$T_{2.3}^{max} = 310,337 \text{ mkN} ; T_{2.3}^C = 176,3 \text{ mkN}$$

[3.1]

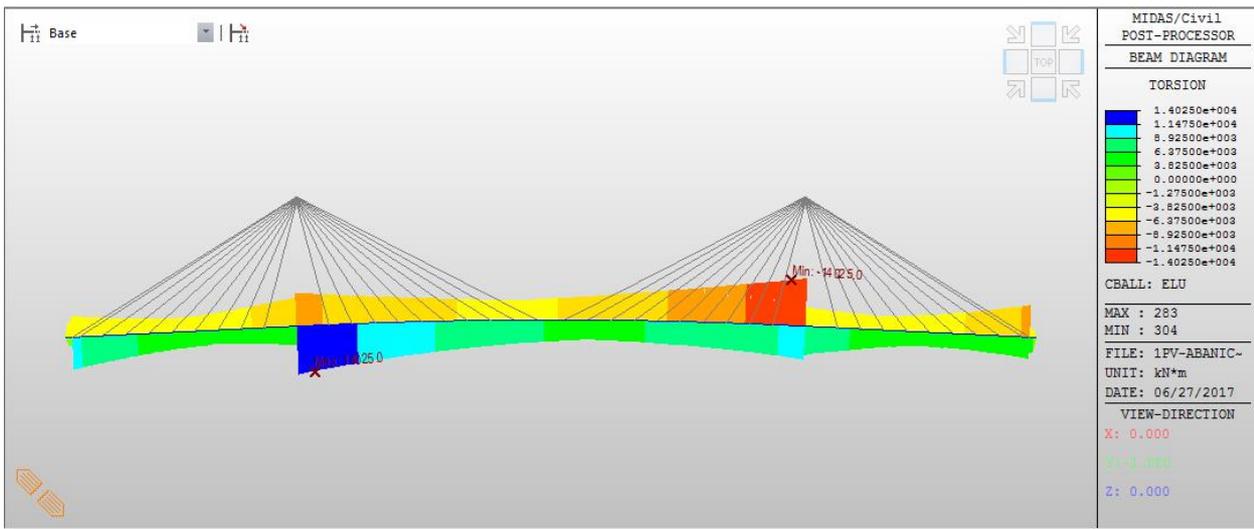


Fig. 3.3.1.34. Momento torsor en el dintel del puente ICV-Abanico

$$T_{3,1} = 14\ 025,0\ mkN$$

[3.2]

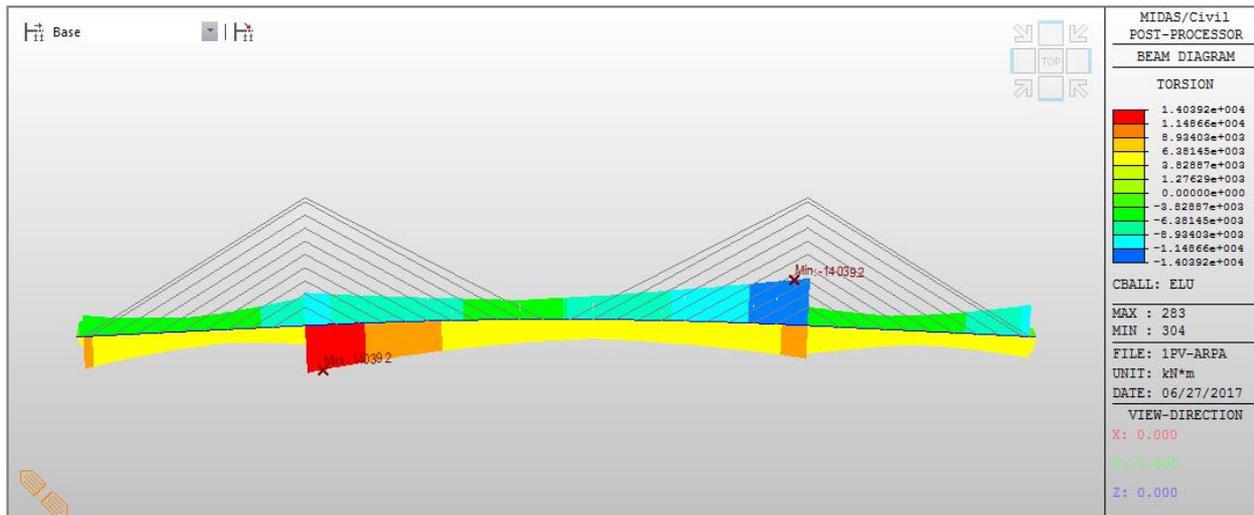


Fig. 3.3.1.35. Momento torsor en el dintel del puente ICV-Arpa

$$T_{3,2} = 14\ 039,2\ mkN$$

[3.3]

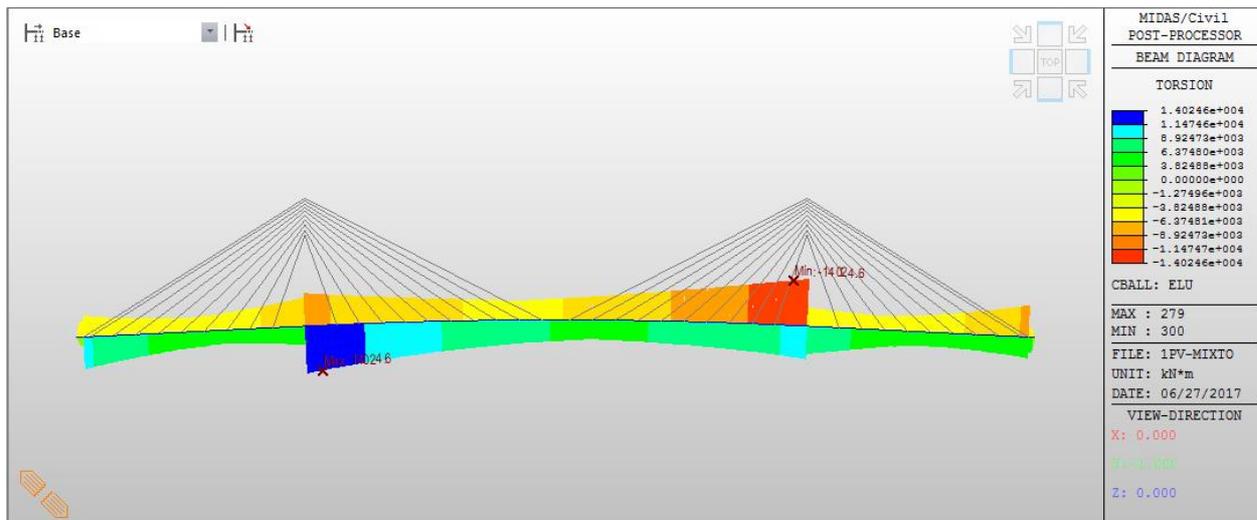


Fig. 3.3.1.36. Momento torsor en el dintel del puente 1CV-Intermedia

$$T_{3,3} = 14\,024,6 \text{ mkN}$$

Se resume en la siguiente tabla los momentos torsores para cada modelo. No encontramos la necesidad de asimilar los puentes modelizados con dos ejes a los de un único eje ya que evidentemente el dintel en estos últimos tiene mucha más rigidez a torsión (sección en cajón) que los de sección bijácena; con lo cual, el torsor soportado por el dintel será mucho mayor. Esto se debe al poco apoyo en la resistencia torsional de un plano central de tirantes en vez de planos laterales.

Tabla 3.3.1.4. Momentos torsores máximos en el dintel

Momento torsor máximo en el dintel (mkN)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	322,305	319,987	320,782
2IC	309,984	312,551	310,337
1CV	14025	14039,2	14024,6

Se observa como en los puentes con atirantamiento lateral vertical aumenta el torsor introducido al dintel a medida que anclamos los tirantes más a la cabeza de las torres; presentándose mayor esfuerzo en la disposición en abanico. Sin embargo, en los de atirantamiento inclinado y atirantamiento centrado es el modelo de distribución en arpa quien le transfiere mayor torsor al dintel.

En los modelos con atirantamiento centrado, como se ha mencionado, el torsor recae sobre el dintel, mientras que en atirantamientos laterales este se ve absorbido por medio de axiles en los tirantes. Por esto, el mejor comportamiento es el del atirantamiento lateral inclinado, ya que se apoya en los tirantes de cada lado para soportar el torsor, así como de las torres; ya que como se mencionó anteriormente, esta distribución en los tirantes se traduce en un aumento de la rigidez torsional. El atirantamiento en un plano centrado es pésimo frente a esta solicitud en el dintel.

3.3.2. Pilas

- Axil

A continuación se representa el esfuerzo axial en las pilas y se indica el valor máximo de compresión:

[1.1]

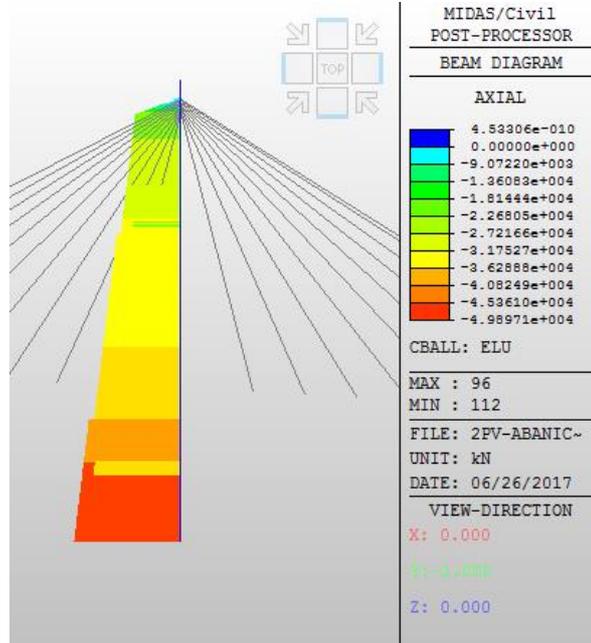


Fig. 3.3.2.1. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2LV-Abanico

$$N_{1.1} = 49\,897,1 \text{ kN}$$

[1.2]

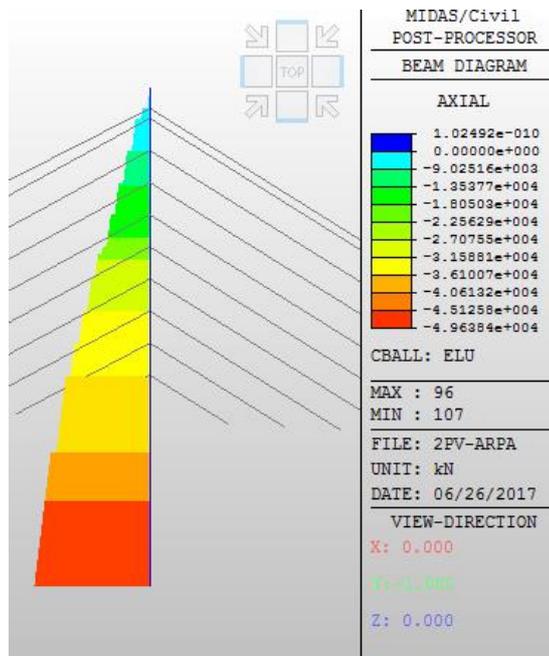


Fig. 3.3.2.2. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2LV-Arpa

$$N_{1.2} = 49\,638,4 \text{ kN}$$

[1.3]

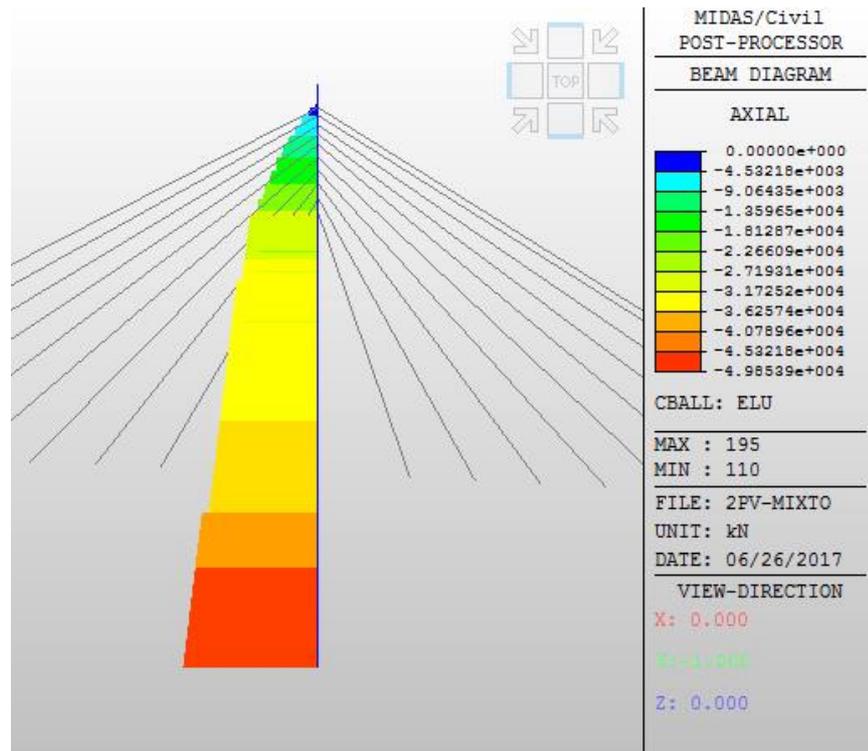


Fig. 3.3.2.3. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2LV-Intermedia

$$N_{1,3} = 49\ 853,9\ kN$$

[2.1]

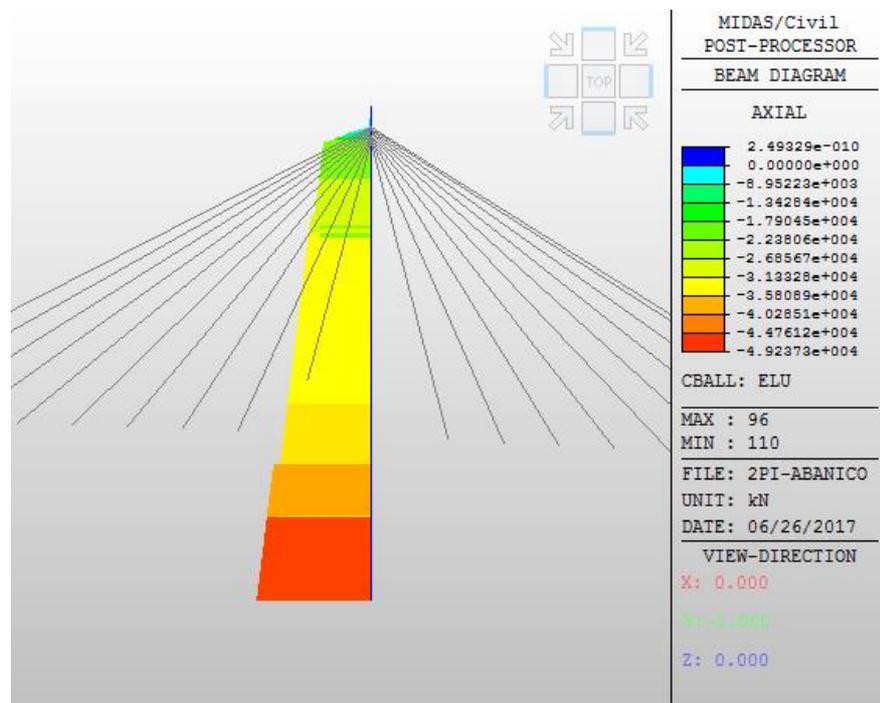


Fig. 3.3.2.4. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2IC-Abanico

$$N_{2,1} = 49\ 237,3\ kN$$

[2.2]

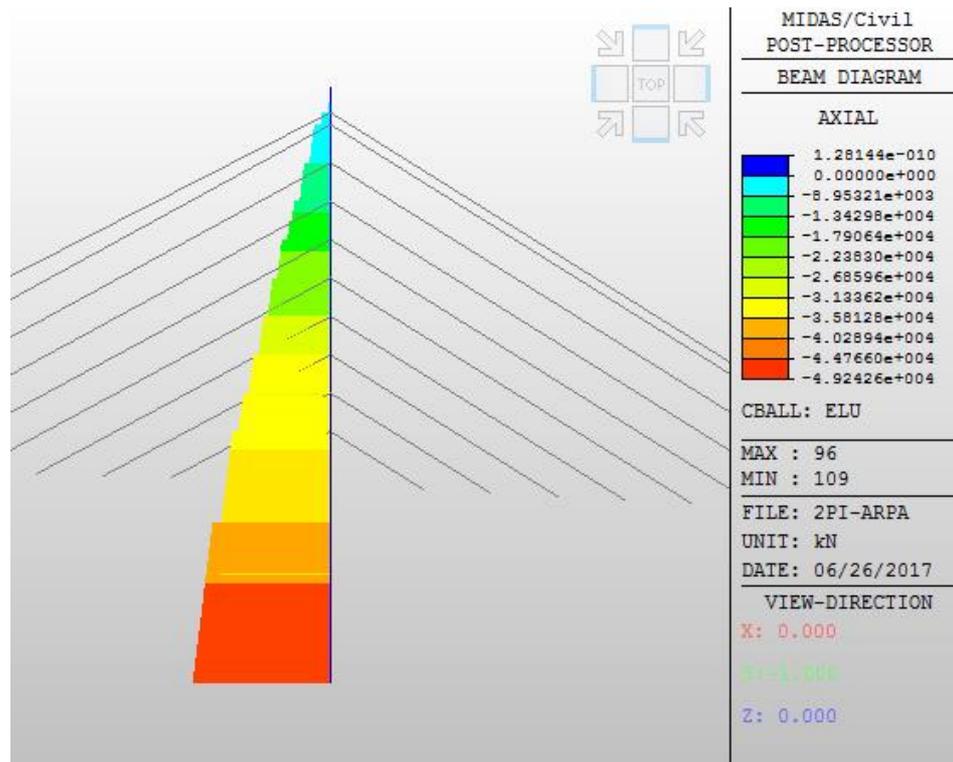


Fig. 3.3.2.5. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2IC-Arpa

$$N_{2,2} = 49\,242,6 \text{ kN}$$

[2.3]

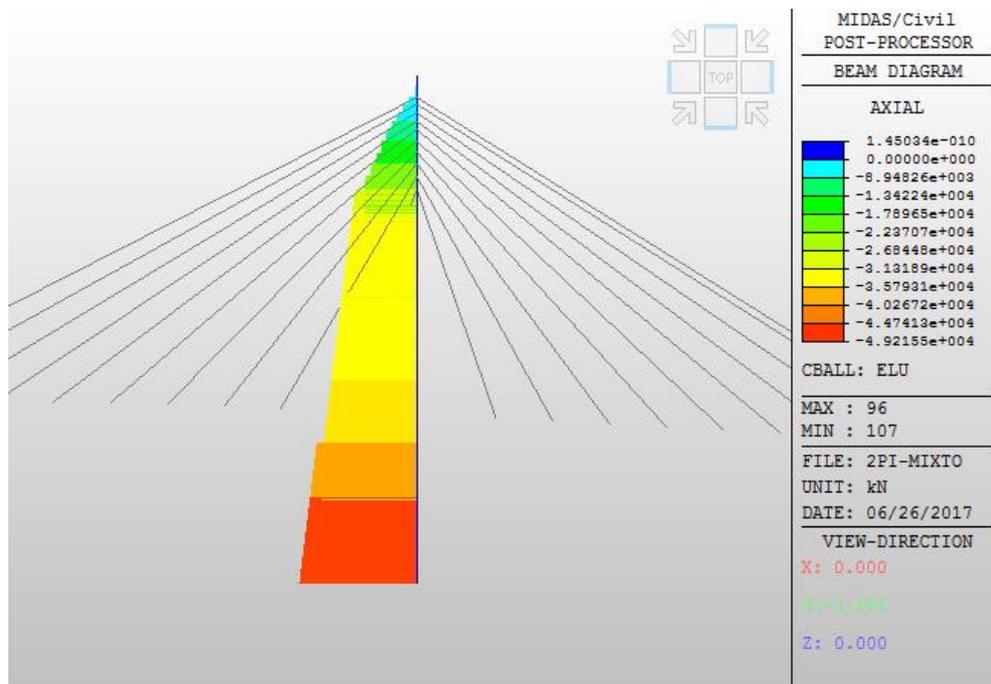


Fig. 3.3.2.6. Esfuerzo axial en las pilas del puente 2IC-Intermedia

$$N_{2,3} = 49\,215,5 \text{ kN}$$

[3.1]

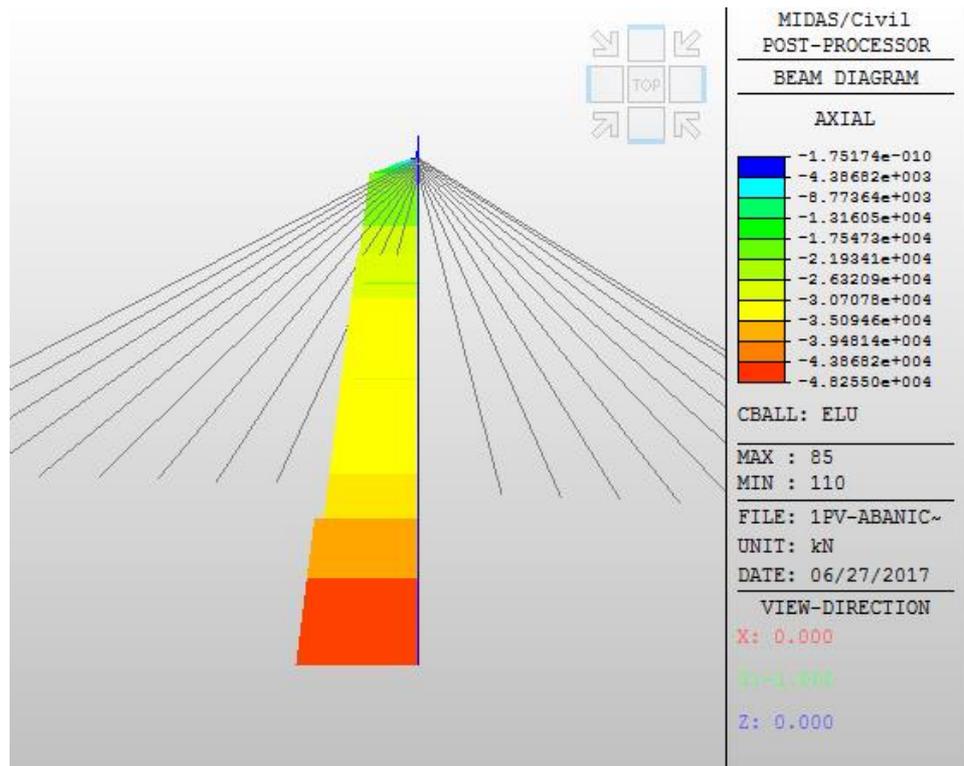


Fig. 3.3.2.7. Esfuerzo axial en las pilas del puente ICV-Abanico

$$N_{3.1} = 48\ 255,0\text{ kN}$$

[3.2]

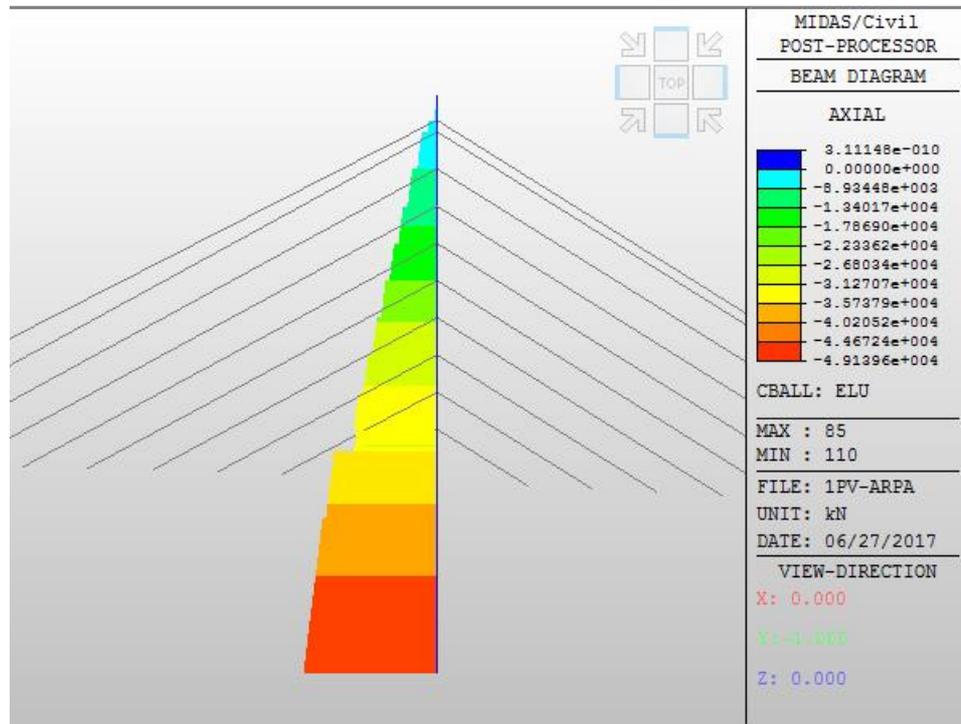


Fig. 3.3.2.8. Esfuerzo axial en las pilas del puente ICV-Arpa

$$N_{3.2} = 49\ 139,6\text{ kN}$$

[3.3]

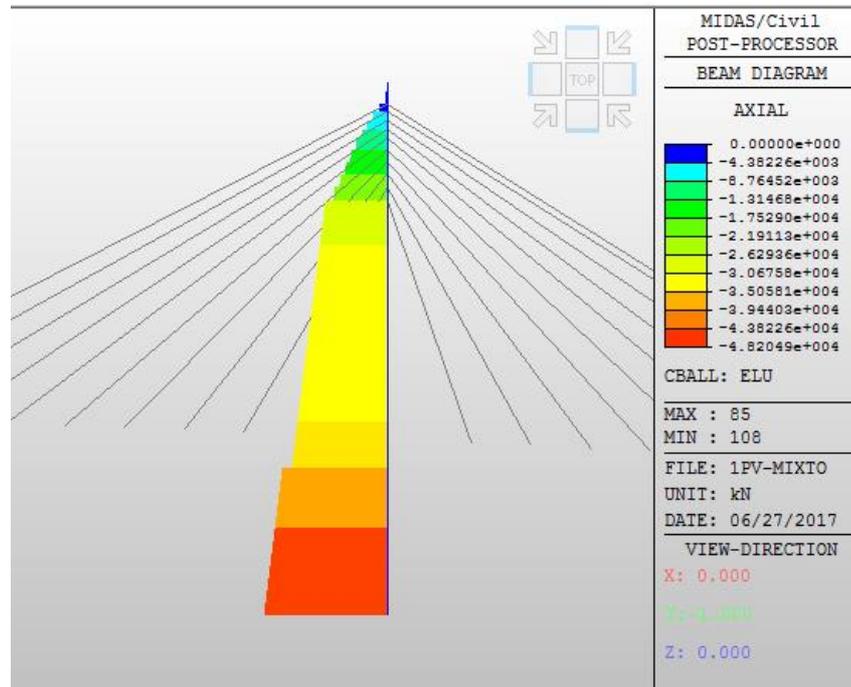


Fig. 3.3.2.9. Esfuerzo axial en las pilas del puente 1CV-Intermedia

$$N_{3,3} = 48\,204,9 \text{ kN}$$

Se resume en la siguiente tabla los esfuerzos axiales de compresión máximos para cada modelo:

Tabla 3.3.2.1. Esfuerzos axiales máximos en las pilas

Compresiones máximas en las pilas (kN)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	49897,1	49638,4	49853,9
2IC	49237,3	49242,6	49215,5
1CV	48255	49139,6	48204,9

Antes de comparar, destacar la diferencia en la geometría de las pilas necesarias para los distintos modelos, los primeros 3 modelos presentando torres en H y el resto de ellos torres en A. Por esto, la comparación en estos no es tan precisa como se desearía.

En los modelos con torres en H (2LV) se observa como se reducen las compresiones transmitidas a las pilas en disposición en arpa, siendo mayores para las de abanico. Por otro lado, en los modelos con torres en A, el mayor esfuerzo axial se produce para las distribuciones en arpa y menores en abanico.

Se puede observar que el incremento en la zona de anclaje de los tirantes es más paulatino en disposiciones más distribuidas de atirantamiento, evidentemente; así el gradiente de axiles es mayor en la zona de anclaje en puentes en abanico.

Distinguiendo según los planos de atirantamiento, las compresiones son inferiores en el atirantamiento centrado y máximas en un atirantamiento lateral vertical. Esto se ve también influenciado en gran medida en que las torres en A (2IC y 1CV) presentan mayor inclinación en sus pilas, reduciendo el axil producido por el peso propio.

- Momento flector

A continuación se representan los momentos flectores generados en las pilas y se indica su valor máximo:

[1.1]

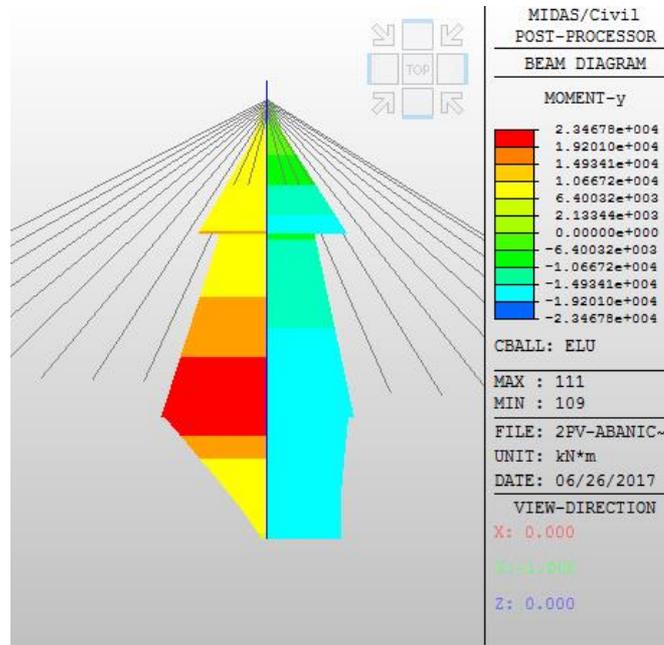


Fig. 3.3.2.10. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Abanico

$$M_{1,1} = 23\,467,8 \text{ mkN}$$

[1.2]

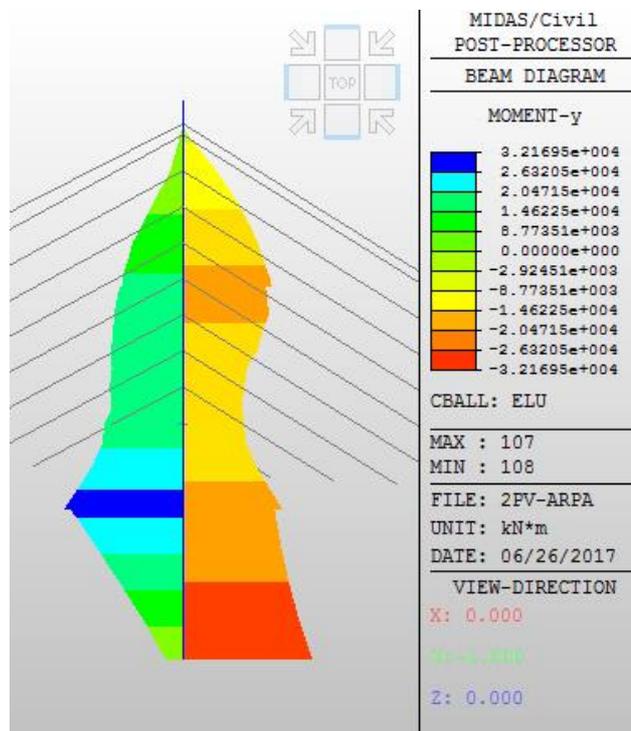


Fig. 3.3.2.11. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Arpa

$$M_{1,2} = 32\,169,5 \text{ mkN}$$

[1.3]

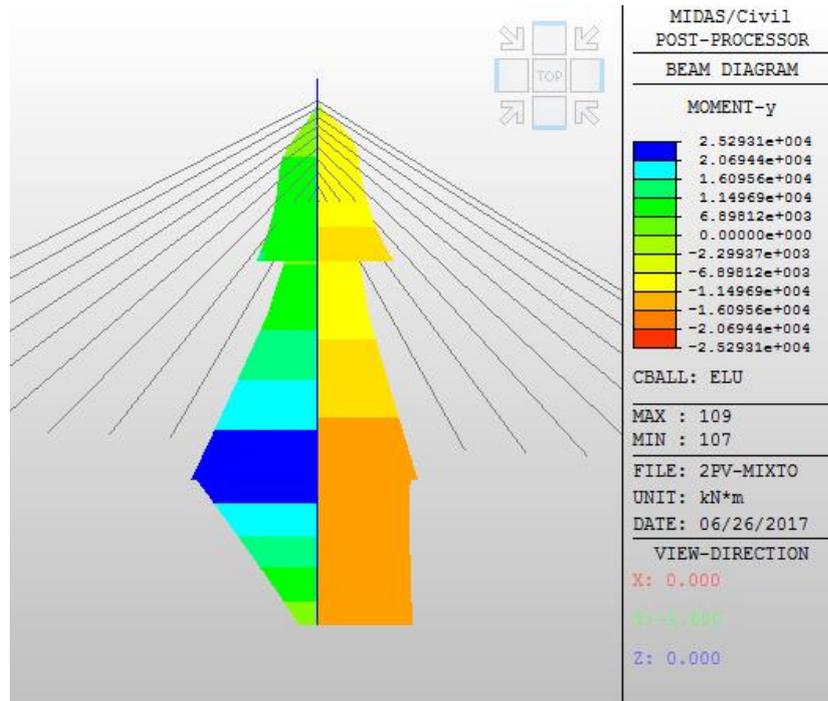


Fig. 3.3.2.12. Momentos flectores en las pilas del puente 2LV-Intermedia

$$M_{1.3} = 25\,293,1 \text{ m kN}$$

[2.1]

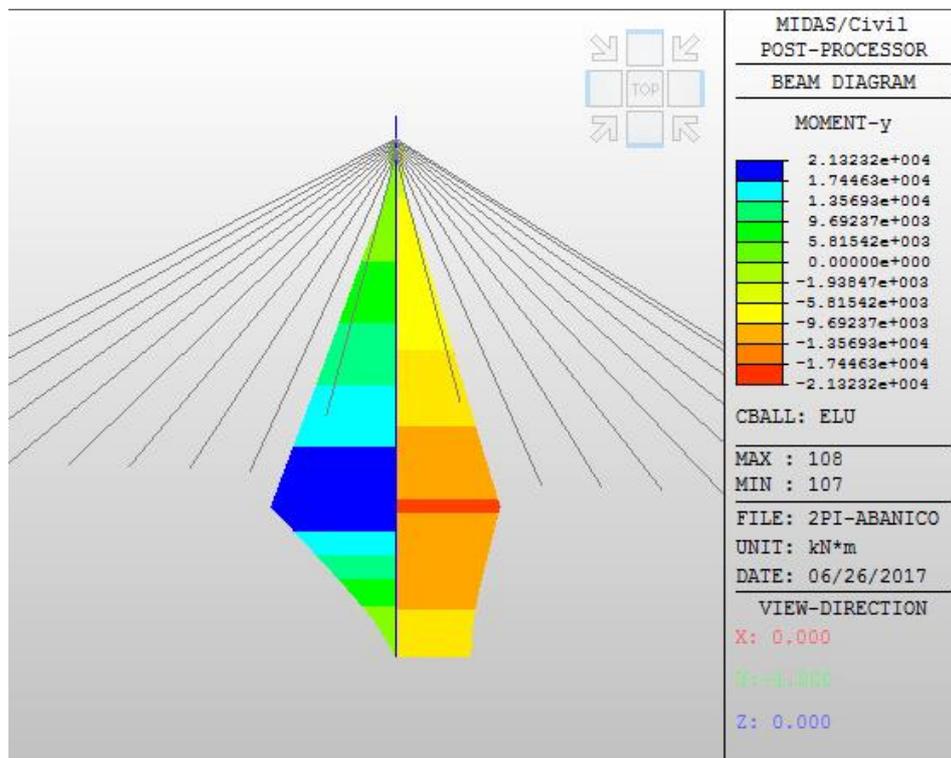


Fig. 3.3.2.13. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Abanico

$$M_{2.1} = 21\,323,2 \text{ m kN}$$

[2.2]

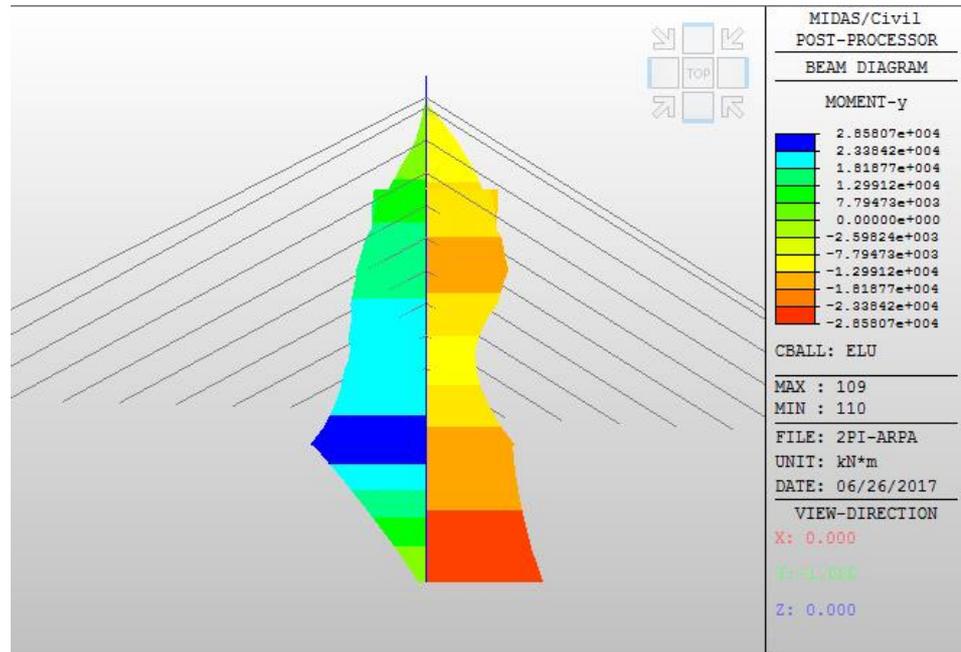


Fig. 3.3.2.14. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Arpa

$$M_{2,2} = 28\,580,7\text{ mkN}$$

[2.3]

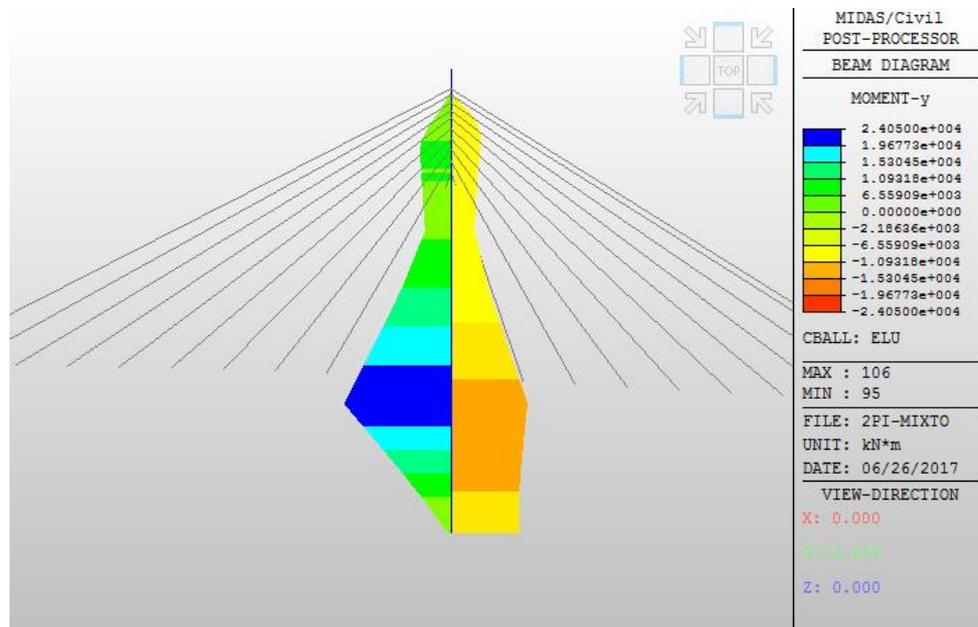


Fig. 3.3.2.15. Momentos flectores en las pilas del puente 2IC-Intermedia

$$M_{2,3} = 24\,050,0\text{ mkN}$$

[3.1]

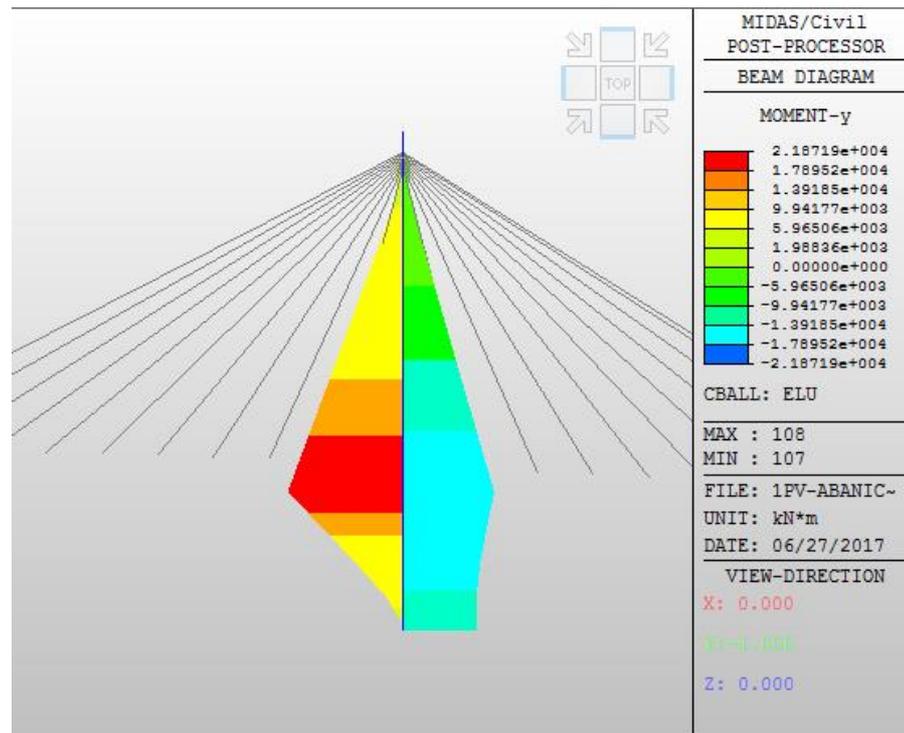


Fig. 3.3.2.16. Momentos flectores en las pilas del puente ICV-Abanico

$$M_{3,1} = 21\ 871,9\ \text{mkN}$$

[3.2]

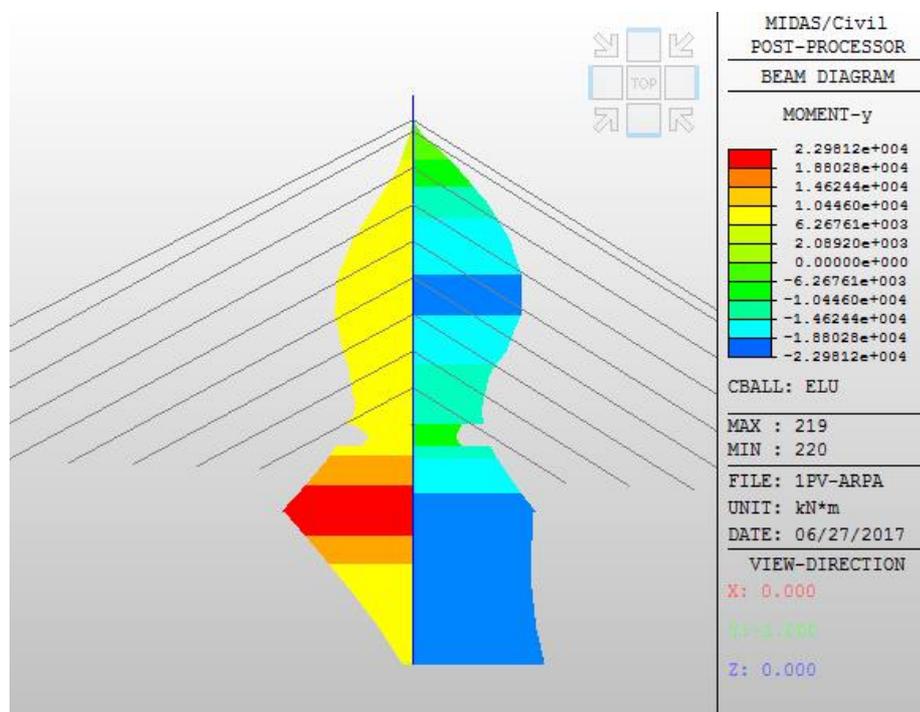


Fig. 3.3.2.17. Momentos flectores en las pilas del puente ICV-Arpa

$$M_{3,2} = 22\ 981,2\ \text{mkN}$$

[3.3]

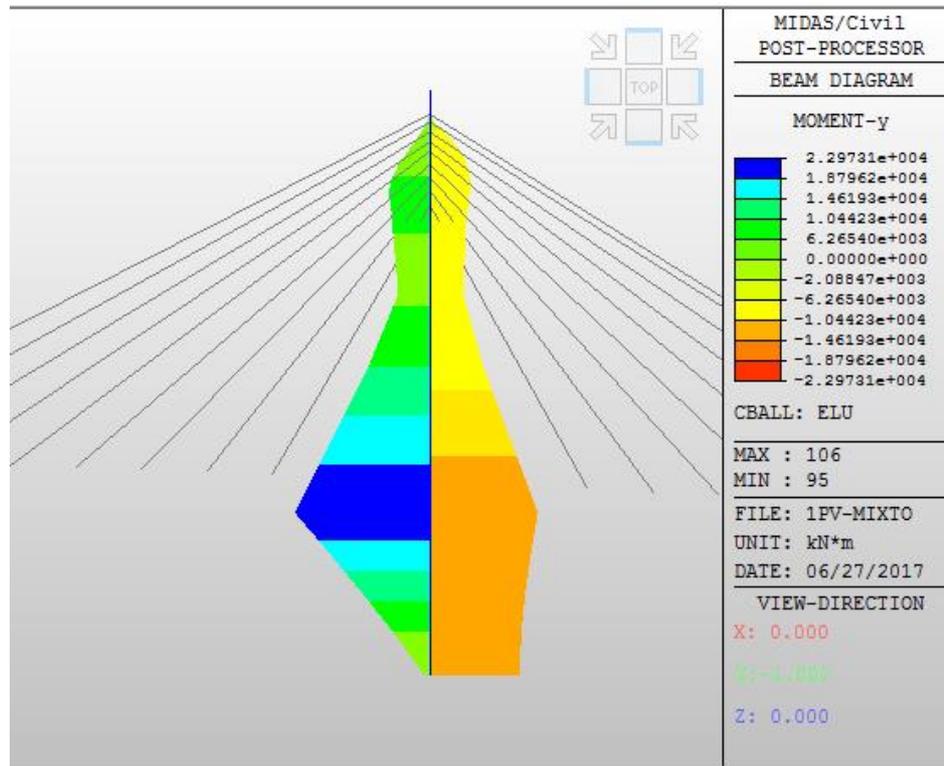


Fig. 3.3.2.18. Momentos flectores en las pilas del puente 1CV-Intermedia

$$M_{3,3} = 22\,973,1 \text{ mkN}$$

Se resume en la siguiente tabla los momentos flectores máximos producidos en las pilas para cada modelo:

Tabla 3.3.2.2. Momentos flectores máximos en las pilas

Momentos flectores máximos en las pilas (mkN)			
	Abanico	Arpa	Intermedia
2LV	23467,8	32169,5	25293,1
2IC	21323,2	28580,7	24050
1CV	21871,9	22981,2	22973,1

En cuanto a la distribución longitudinal del atirantamiento, se observa una reducción importante en los momentos flectores de las pilas con tirantes en abanico, elevándose en hasta un 37% para atirantamiento en arpa. Con lo cuál, es clara la conveniencia de un atirantamiento en la cabeza de las torres frente a un atirantamiento distribuido.

Finalmente, discriminando por la distribución transversal, se observa que en lo general es el atirantamiento centrado el que presenta menores momentos flectores en las pilas, siendo siempre mayor en los modelos de torres en H (atirantamiento lateral vertical).

3.4. Evolución en el proceso constructivo

Para analizar este apartado la evolución en los desplazamientos verticales del dintel y horizontales de las torres, los esfuerzos axil y flector tanto del dintel como de las pilas.

3.4.1. Desplazamientos

El desplazamiento vertical del dintel se analizará a 26 m del avance del puente, es decir, en el punto de anclaje del cuarto tirante del vano de compensación. Se ha tomado un punto de este vano ya que está presente en todas las etapas constructivas analizadas y se encuentra a mitad de camino entre el extremo y el apoyo temporal.

En cuanto al desplazamiento horizontal de la torre se tomará la evolución del punto más alto de esta.

[1.1]

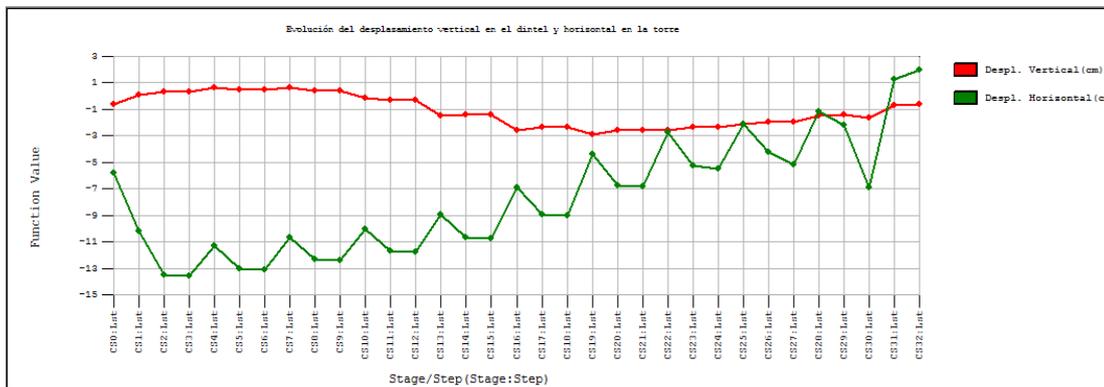


Fig. 3.4.1.1. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Abanico

[1.2]

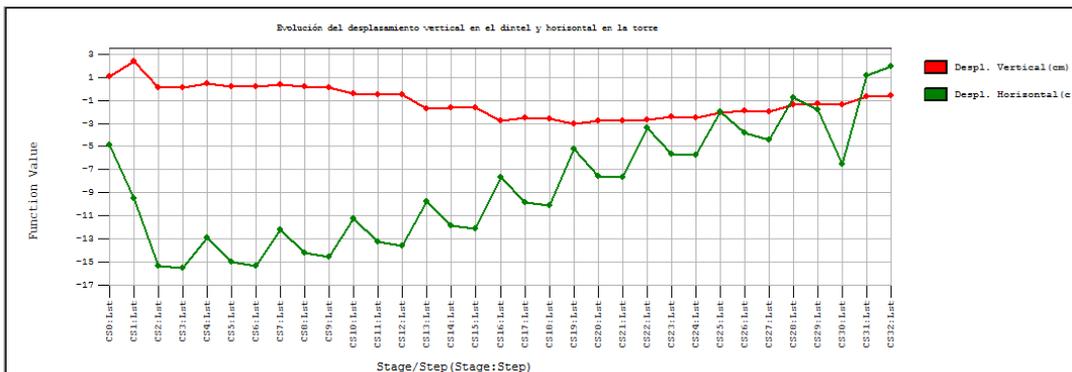


Fig. 3.4.1.2. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Arpa

[1.3]

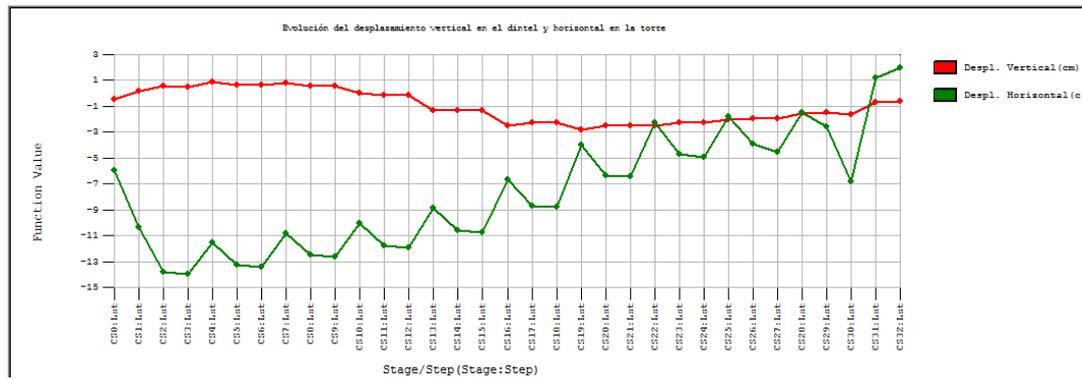


Fig. 3.4.1.3. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2LV-Intermedia

[2.1]

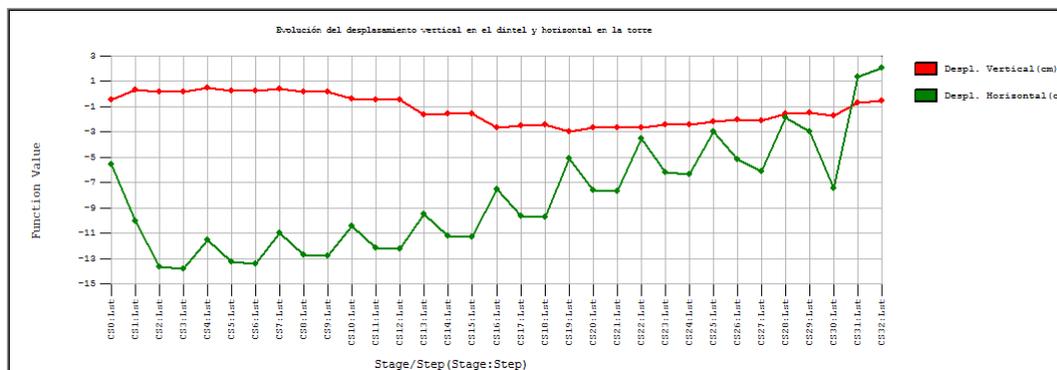


Fig. 3.4.1.4. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Abanico

[2.2]

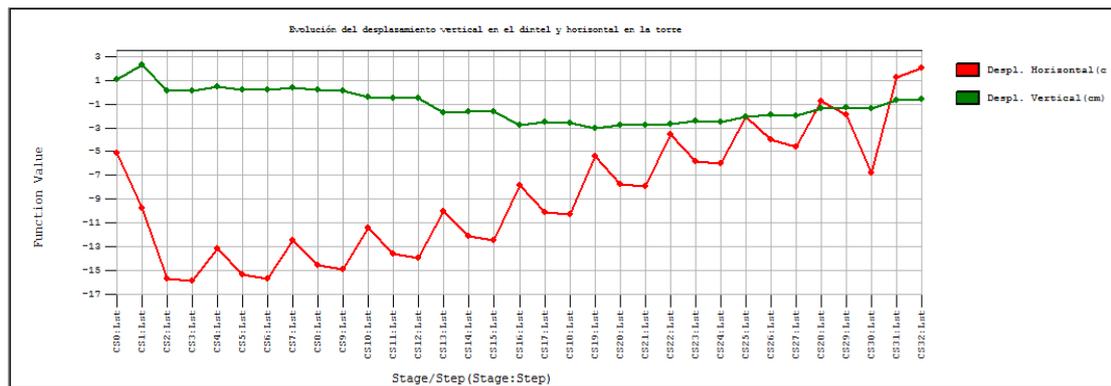


Fig. 3.4.1.5. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Arpa

[2.3]

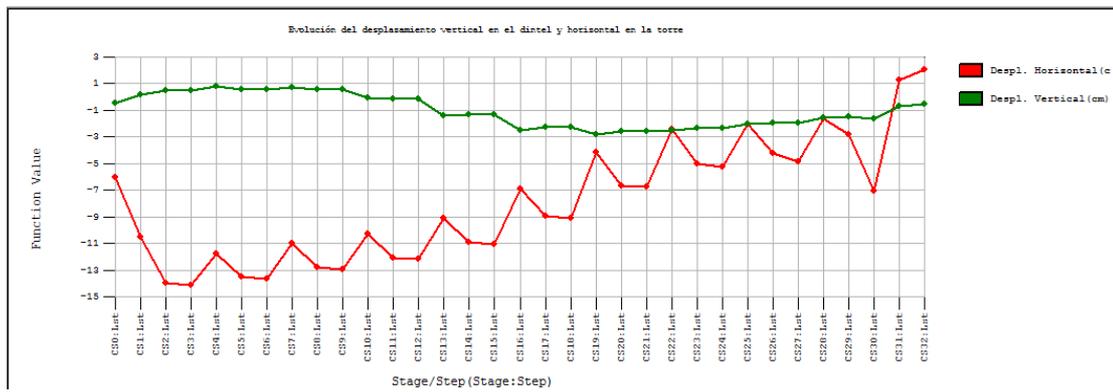


Fig. 3.4.1.6. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 2IC-Intermedia

[3.1]

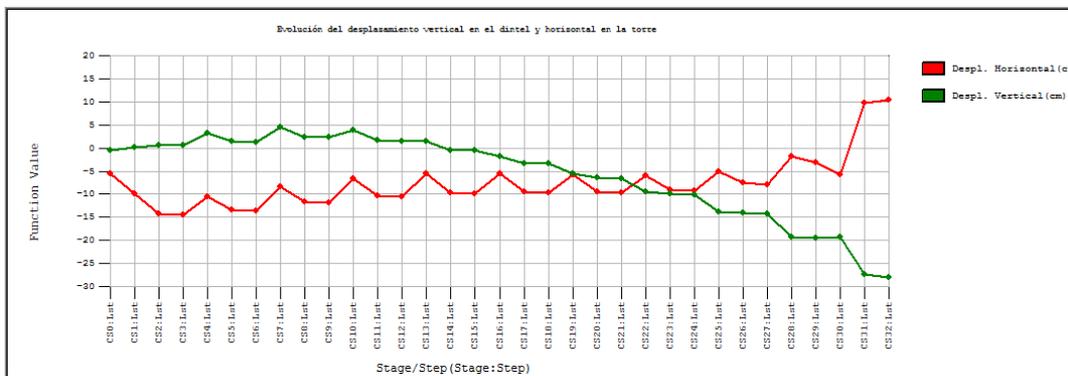


Fig. 3.4.1.7. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 1CV-Abanico

[3.2]

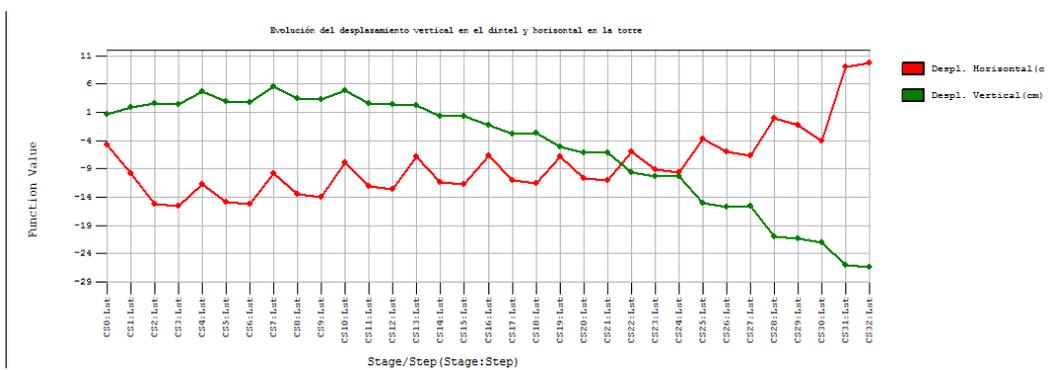


Fig. 3.4.1.8. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente 1CV-Arpa

[3.3]

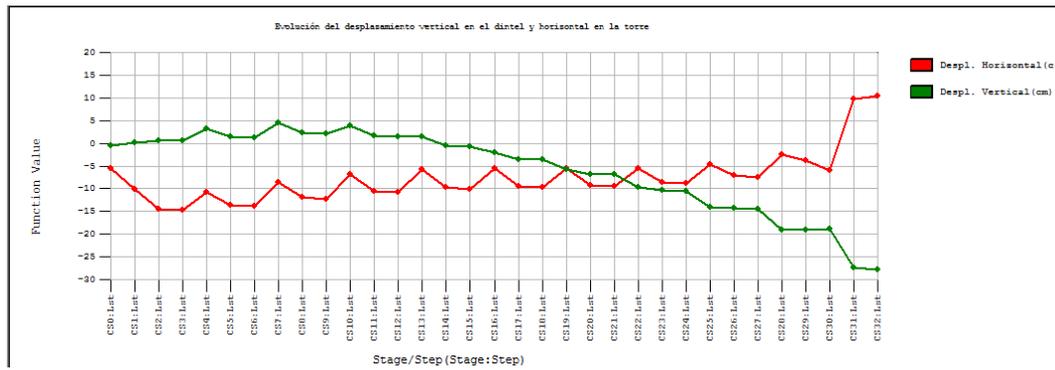


Fig. 3.4.1.9. Evolución por etapas del despl. Vert. (dintel) y despl. Hor. (Torre) en el puente ICV-Intermedia

Como se observa, el desplazamiento vertical en el dintel suele mantenerse aproximadamente constante gracias al apoyo temporal, a excepción de los puentes de atirantamiento centrado, en los cuales la flecha obtenida en las primeras etapas (siguiendo el sentido real de construcción) son bastante pronunciadas.

Se puede detallar que los puentes en abanico sufren menores contraflechas en este punto en su proceso constructivo en comparación con los puentes en arpa, pero las flechas suelen ser similares.

3.4.2. Esfuerzos en el dintel

Se analizará el esfuerzo axial y el momento flector en el mismo punto de evaluación del desplazamiento vertical, a 26 m del avance del puente.

[1.1]

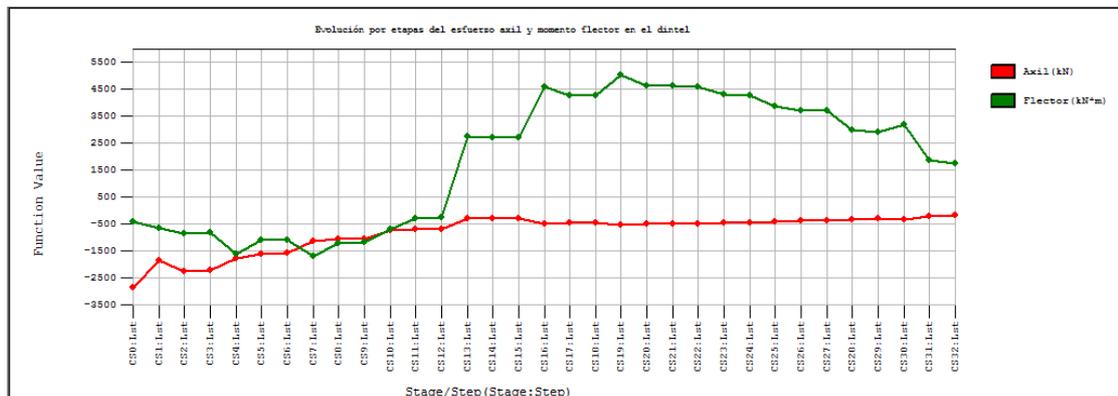


Fig. 3.4.2.1. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Abanico

[1.2]

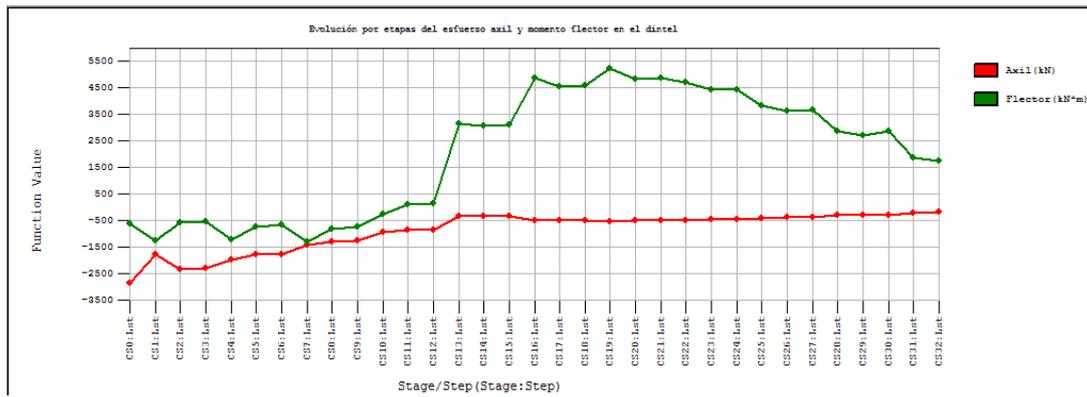


Fig. 3.4.2.2. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Arpa

[1.3]

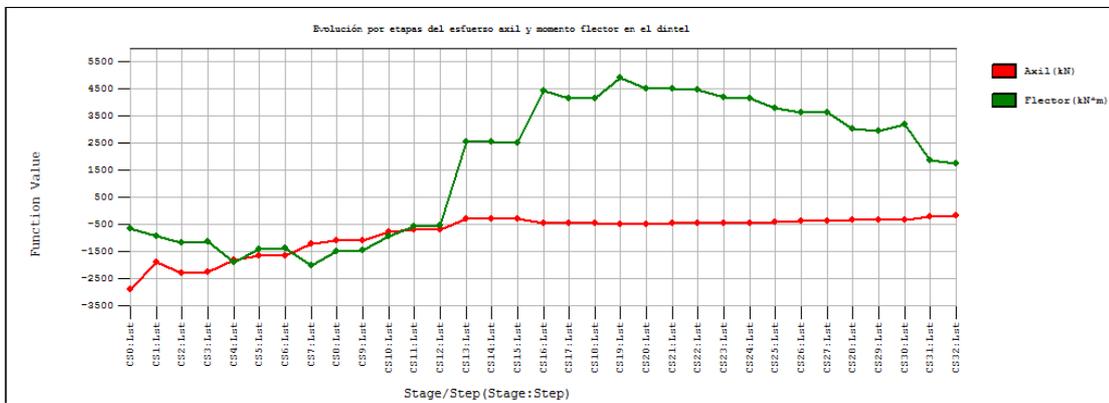


Fig. 3.4.2.3. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2LV-Intermedia

[2.1]

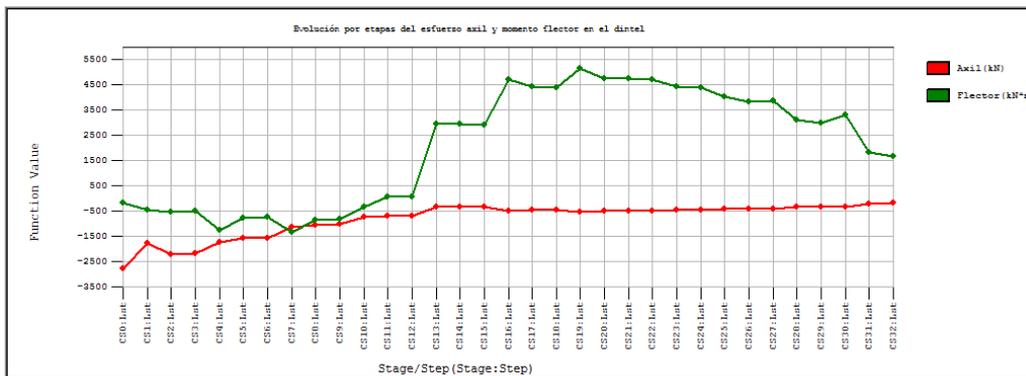


Fig. 3.4.2.4. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Abanico

[2.2]

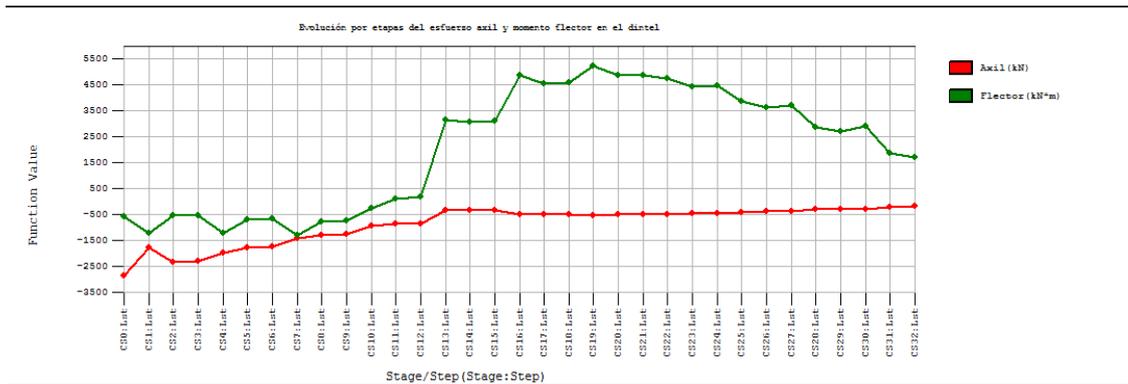


Fig. 3.4.2.5. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Arpa

[2.3]

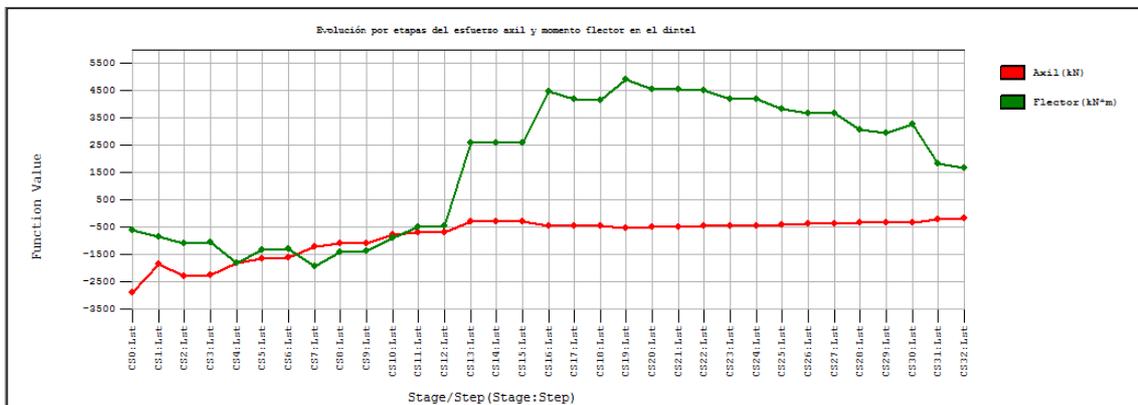


Fig. 3.4.2.6. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 2IC-Intermedia

[3.1]

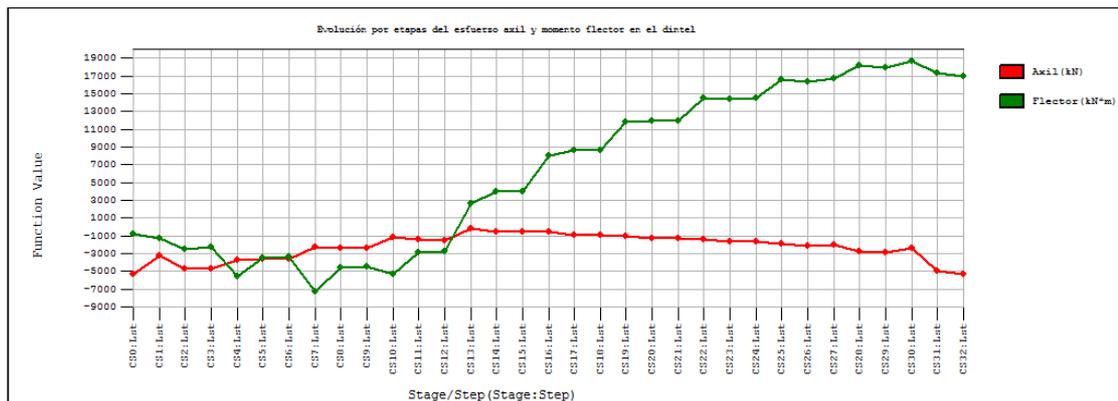


Fig. 3.4.2.7. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente 1CV-Abanico

[3.2]

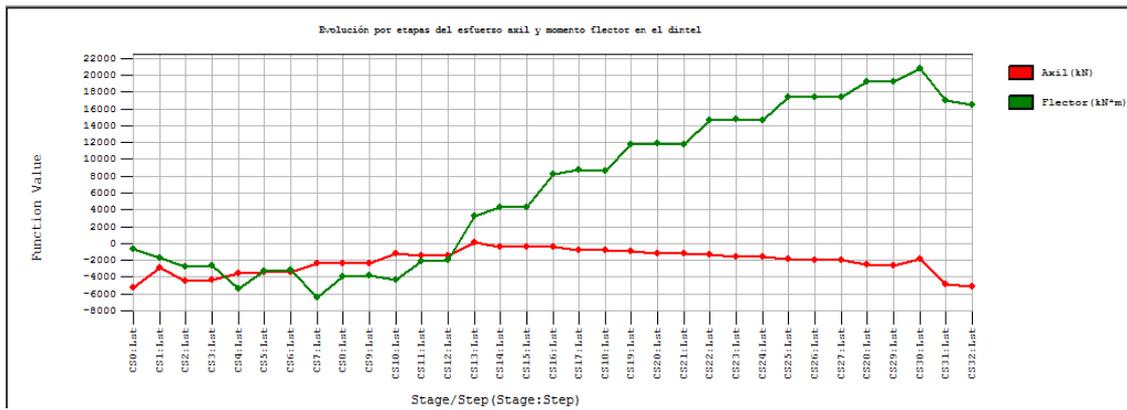


Fig. 3.4.2.8. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente ICV-Arpa

[3.3]

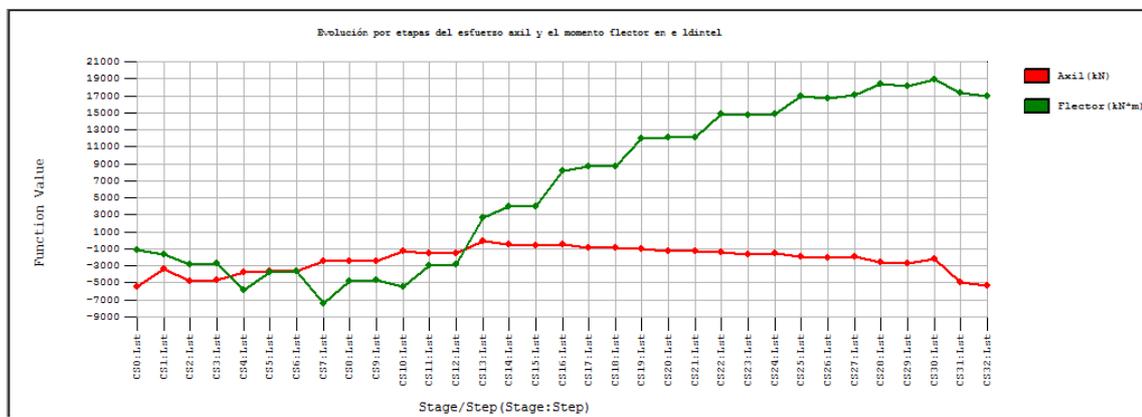


Fig. 3.4.2.9. Evolución por etapas del axil y momento flector en el dintel en el puente ICV-Intermedia

Siguiendo el sentido real constructivo, se observa que el axil en el dintel va incrementándose paulatinamente a medida que avanzan las etapas, salvo en los puentes con atirantamiento centrado en el cual se inicia teniendo aproximadamente el mismo valor del esfuerzo axil que al final del proceso. Los esfuerzos son de compresión siempre en este punto.

Según los resultados, no suele haber una diferencia importante entre los modelos, más que la que se ha visto en el axil de la fase final en los apartados anteriores, que otorga ventaja a la distribución en abanico en este aspecto.

En cuanto al momento flector, se observa como en las primeras etapas de la construcción se presentan flectores positivos dominando el peso propio de la estructura, mientras que en las últimas etapas la generación de apoyos elásticos mediante la disposición de tirantes hace que el momento flector sea negativo.

En puentes en disposición en abanico se representan gráficas movidas hacia abajo respecto a los de arpa, esto quiere decir que los primeros presentan menores momentos positivos pero mayores momentos negativos que en los segundos.

3.4.3. Esfuerzos en las pilas

Se analizará la evolución en el axil y el momento flector producidos en la zona baja de las pilas, punto donde se presentan tanto las mayores compresiones como momentos flectores.

[1.1]

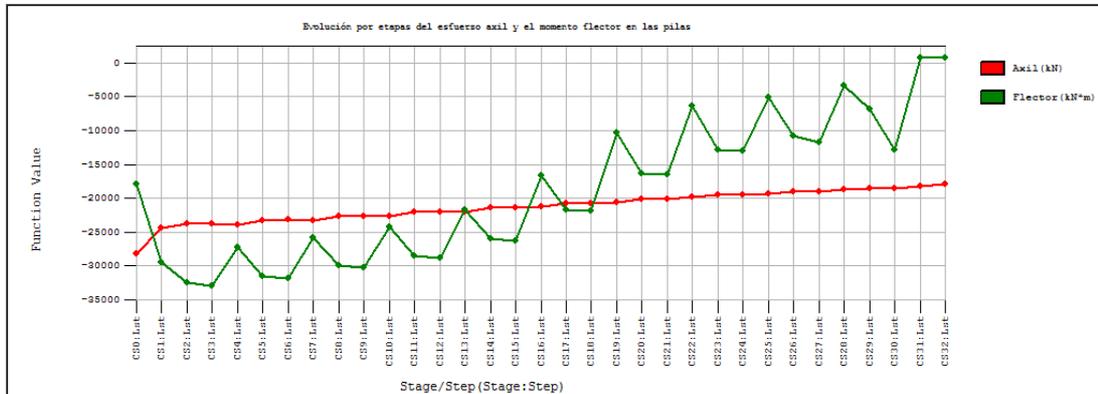


Fig. 3.4.3.1. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Abanico

[1.2]

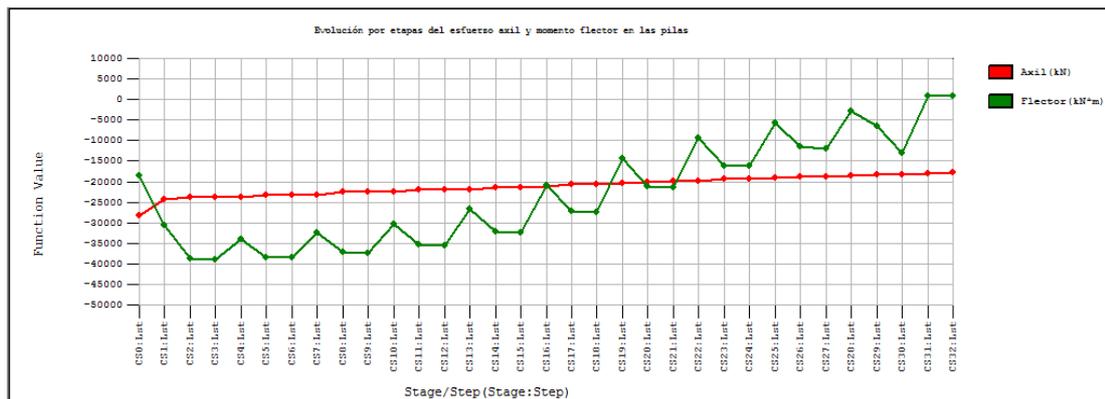


Fig. 3.4.3.2. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Arpa

[1.3]

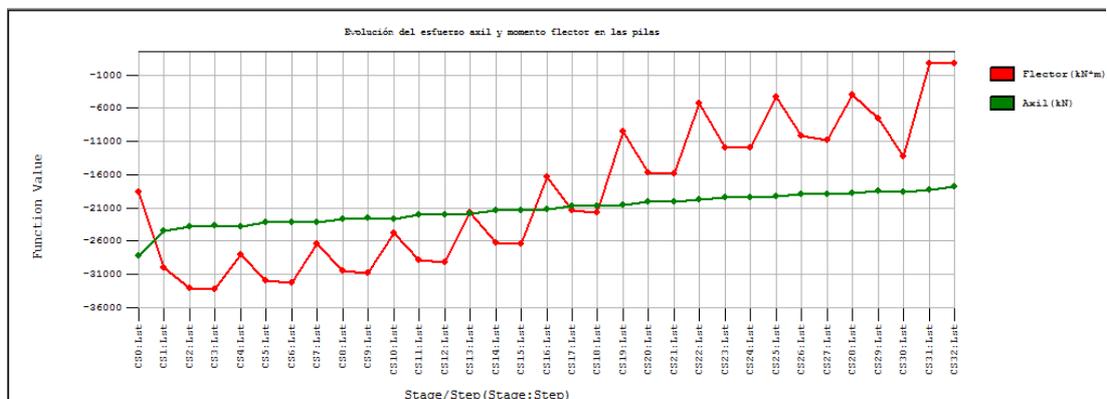


Fig. 3.4.3.3. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2LV-Intermedia

[2.1]

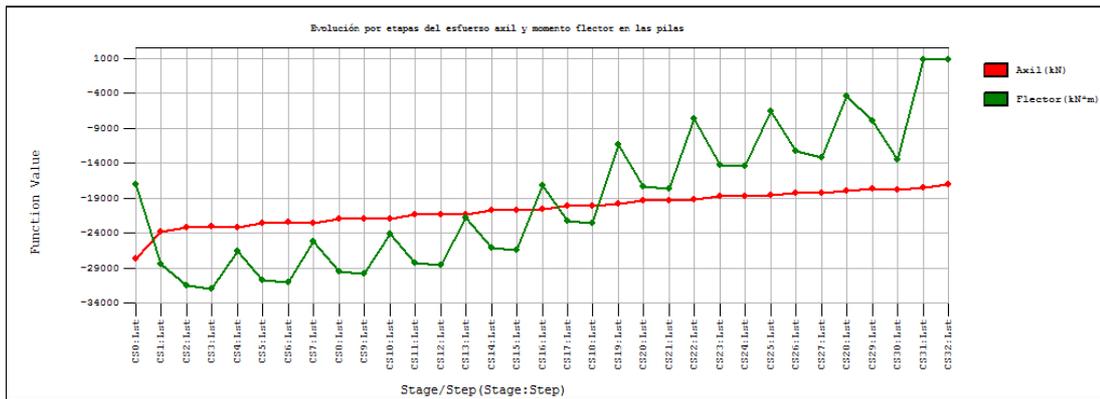


Fig. 3.4.3.4. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Abanico

[2.2]

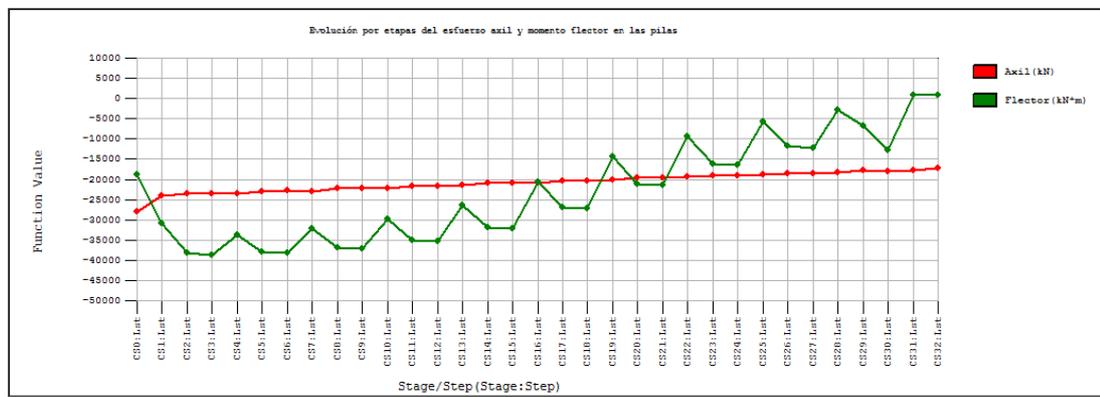


Fig. 3.4.3.5. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Arpa

[2.3]

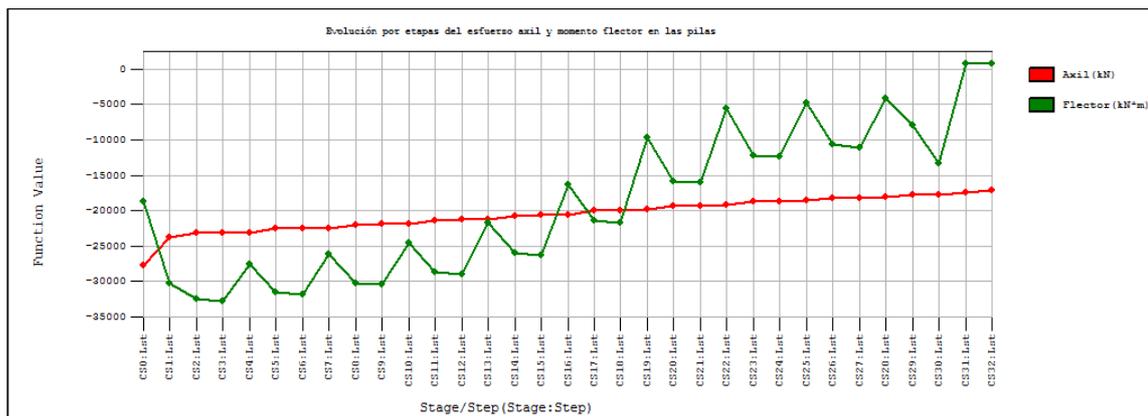


Fig. 3.4.3.6. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente 2IC-Intermedia

[3.1]

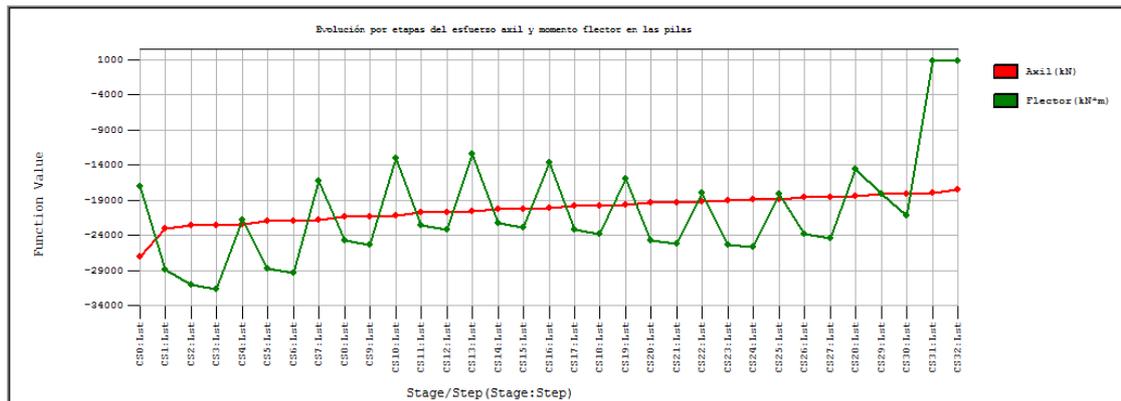


Fig. 3.4.3.7. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente ICV-Abanico

[3.2]

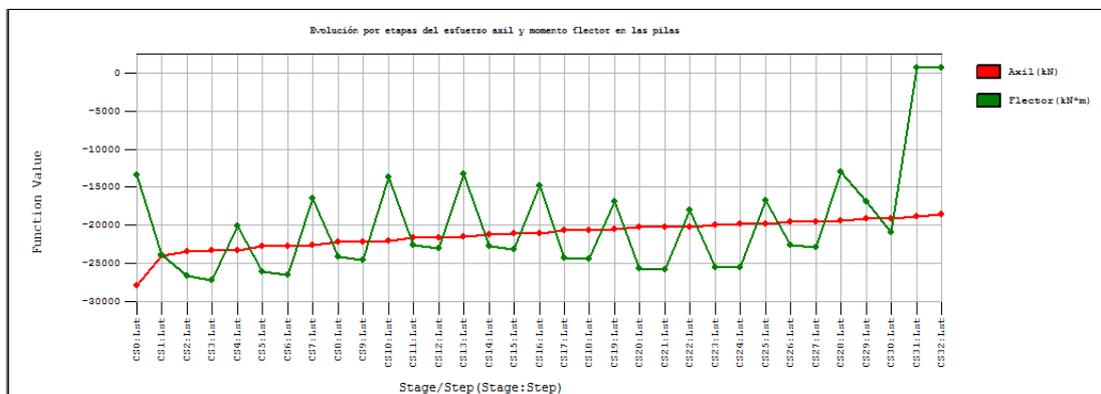


Fig. 3.4.3.8. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente ICV-Arpa

[3.3]

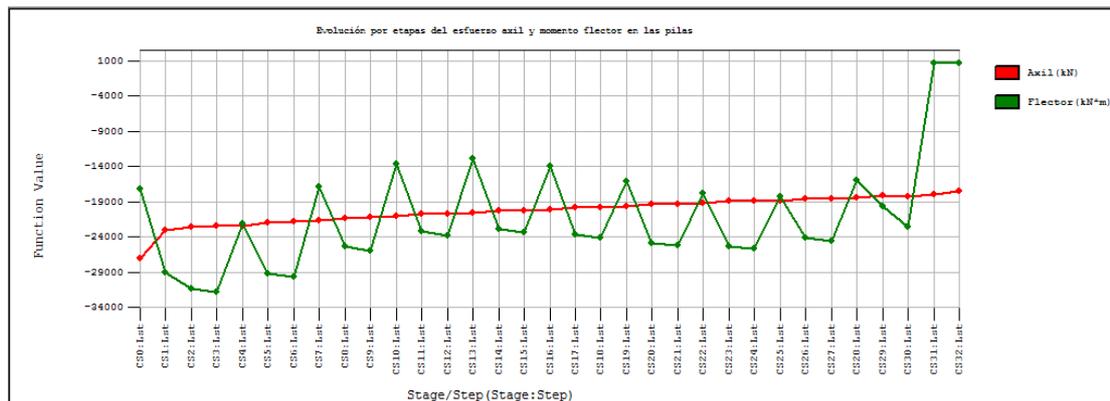


Fig. 3.4.3.9. Evolución por etapas del axil y momento flector las pilas en el puente ICV-Intermedia

Como se puede ver, el esfuerzo axil va aumentando paulatinamente a medida que se van anclando tirantes, elementos que le transfieren compresiones a las torres, iniciando con el axil generado por el peso propio de esta.

Son los modelos con disposición en arpa quienes muestran mayor compresión en las pilas a medida que se instalan el atirantamiento.

En cuanto al momento flector, se presenta que al principio el momento flector es prácticamente nulo y va aumentando su valor de manera zig-zageante debido a que la introducción primero del tirante en el vano de compensación genera un momento que se compensará hasta la ubicación de su tirante conjugado en el vano central.

Se evidencia que los momentos flectores en la base de las pilas son mayores para disposiciones en arpa que en abanico.

4. CONCLUSIONES

Los puentes atirantados pueden presentar gran variedad en su geometría, según la cual se pueden obtener mayores aprovechamientos en ciertas características que en otro con distinta morfología. Así, se ha cumplido con el objetivo marcado ya que se han identificado dichos aprovechamientos en favor de cada una de las morfologías en cuanto a pretensión inicial en los tirantes, esfuerzos axiales en estos en ELS, flechas y desplomes máximos producidos en el dintel y pilones, respectivamente, esfuerzos en el dintel y pilas en ELU y la evolución según etapas constructivas de pretensiones iniciales en los cables y desplazamientos, axiales y flectores en dinteles y pilas.

Según se ha observado en los resultados y siguiendo el esquema en estos, se tiene:

- Pretensión inicial en los tirantes en su fase final

Los puentes que presentan anclaje del atirantamiento en las pilas concentrado a mayor altura (teniendo la distribución en abanico como máximo) requerirán menor fuerza de pretensión inicial en los tirantes, pudiéndose realizar por medio de la reducción del peso del acero (menor área seccional de los tirantes) o con disminución de la fuerza aplicada por los gatos hidráulicos. En contraposición, entre mayor distribución en este anclaje en las pilas (distribución en arpa como máxima distribución) producirá la necesidad de mayor pretensión en los tirantes.

La distribución transversal más óptima en los tirantes corresponde a un plano centrado, reduciendo hasta un 7% la pretensión requerida. Por otro lado, el atirantamiento en dos planos inclinados convergentes al eje de los pilones requiere un leve aumento en la pretensión con respecto al atirantamiento en dos planos laterales verticales.

- Pretensión en los tirantes exteriores e interiores en su proceso constructivo

En el inicio de la construcción del vano central se requiere una alta pretensión en el cable 10 (tirante interior) para resistir el peso de las primeras dovelas ubicadas. Los tirantes exteriores (cable 1) desde su anclaje requieren un aumento progresivo en la pretensión.

Igualmente, son las disposiciones distribuidas de anclaje (Arpa) las que requieren mayor pretensión temporal en las etapas constructivas. A medida que se aumenta la cota de anclaje y la concentración de este en la cabeza de la torre se reduce la pretensión.

Transversalmente, la diferencia en los cables interiores, es decir, el valor necesario en las primeras etapas constructivas respecto a la pretensión final es mayor en un plano centrado de atirantamiento, seguido por planos inclinados convergentes.

- Axil en los tirantes (ELS)

Se genera mayor esfuerzo axial en los tirantes en disposiciones en arpa que en abanico. Esto nos indica que los cables se colaboran mutuamente a medida que están más próximos los unos de los otros, siendo los tirantes exteriores quienes se ven más solicitados. En cambio, en arpa son los tirantes interiores quienes sufren mayor sollicitación.

Por otro lado, si el atirantamiento se realiza en dos planos laterales verticales los cables tendrán que soportar una mayor tensión, siendo la morfología en un plano centrado la que presenta mayor coordinación de los tirantes para reducir la sollicitación.

- Flecha en el dintel (ELS)

Se presentan mayores desplazamientos verticales en el dintel en distribución en abanico que en arpa para atirantamientos verticales, sin embargo, la disposición en abanico genera una menor flecha en el atirantamiento inclinado.

La distribución transversal genera mayor influencia en este parámetro. Si se dispone un plano centrado de tirantes este desplazamiento vertical se ve reducido, siendo mayor en dos planos inclinados y presentándose peor comportamiento frente a las flechas en planos laterales verticales.

- Desplome en los pilones (ELS)

Según la morfología longitudinal, concentrar los tirantes en la cabeza de la torre generará a su vez una concentración de la componente horizontal de la fuerza transmitida hacia la segunda produciendo mayor corrimiento horizontal. A menor concentración de tirantes en la pila, mayor distribución de las fuerzas horizontales transmitidas y menor desplome generado.

Transversalmente se evidencia que dos planos laterales verticales aumentan el desplazamiento horizontal de la cabeza, mientras que el plano centrado representa la mejor solución frente a este parámetro. La inclinación de los planos de atirantamiento presenta una mejora frente a los verticales, pero no alcanza la competencia del plano centrado.

- Axil en el dintel (ELU)

Una disposición en abanico reduce los esfuerzos axiles introducidos en el dintel al estar los tirantes en mayor posición vertical, transmitiendo así menores componentes horizontales al tablero.

Según la morfología transversal, es el atirantamiento centrado el que produce menores axiles en el dintel, siendo muy similares los atirantamientos en dos planos, aunque con una leve ventaja en los planos inclinados.

- Momento flector en el dintel (ELU)

La disposición en abanico produce menores momentos flectores positivos pero mayores negativos respecto a un atirantamiento distribuido. Así, a medida que concentramos más el atirantamiento en la cabeza de las pilas se va desplazando la ley de flectores hacia arriba.

Por otro lado, en atirantamiento centrado se producen menores momentos flectores (tanto positivos como negativos) al absorber los tirantes mayor cantidad de este esfuerzo, liberando al tablero en mayor medida en la resistencia de estos esfuerzos. El atirantamiento inclinado colabora en mayor medida respecto al atirantamiento lateral vertical.

- Cortante en el dintel (ELU)

El atirantamiento distribuido en arpa produce menor colaboración por parte de los tirantes en la resistencia del cortante producido en el dintel, siendo este esfuerzo de mayor valor que en los tirantes con morfología en abanico.

En lo referente a la disposición transversal, la que mejor comportamiento frente a este esfuerzo es la correspondiente a los dos planos inclinados, presentándose un aumento del 5% aproximadamente para el uso de un plano centrado y hasta un 11% más de esfuerzo cortante en puentes con atirantamiento en dos planos laterales verticales.

- Torsión en el dintel (ELU)

En el atirantamiento lateral vertical aumenta el torsor sufrido por el dintel a medida que se concentran más los tirantes en la cabeza de los pilones, presentándose mayor esfuerzo en la disposición en abanico. Por el contrario, en el atirantamiento inclinado y en el atirantamiento centrado es el modelo de distribución en arpa en el que se presenta mayor torsión en el dintel.

En cuanto a la morfología transversal, se tiene que, en la utilización de dos planos laterales verticales o inclinados de atirantamiento, este colabora en gran medida en la absorción de este esfuerzo, sin embargo, en el atirantamiento centrado recae prácticamente todo el torsor en el dintel. La inclinación de los tirantes significa un aumento en la rigidez torsional de la estructura.

- Axil en las pilas (ELU)

En los modelos con torres en H (atirantamiento lateral vertical) se reducen las compresiones transmitidas a las pilas en disposición en arpa y se aumentan para un atirantamiento concentrado en la cabeza de las torres. En modelos con pilones en A (tirantes en planos inclinados y en un plano centrado) el mayor esfuerzo axil se produce en el atirantamiento en arpa, reduciéndose en abanico.

El gradiente de axiles es mayor para los puentes en abanico ya que los tirantes transmiten compresiones a las pilas, y estando estos concentrados en la parte superior de estas, el incremento de este esfuerzo se produce a un ritmo mayor en la zona de anclaje.

Según los planos de atirantamientos, las compresiones son inferiores en el atirantamiento centrado y máxima en el lateral vertical.

- Momento flector en las pilas (ELU)

En cuanto a este esfuerzo, es más clara la diferencia con respecto a la morfología longitudinal. El atirantamiento en arpa puede producir un aumento del 37% del valor del momento flector máximo frente a tirantes en abanico.

Por otro lado, es el atirantamiento centrado el que presenta mejor comportamiento frente este parámetro obteniendo menores valores de flectores. En los modelos con planos laterales verticales y torres en H se producen los mayores flectores sufridos.

- Desplazamiento vertical en los vanos laterales (proceso constructivo)

Gracias a la colaboración de un apoyo temporal en medio de los vanos de compensación se producen desplazamientos verticales pequeños y prácticamente constantes durante las etapas constructivas, a excepción del atirantamiento centrado donde se producen importantes desplazamientos en las primeras etapas de construcción.

La diferencia en cuanto a la distribución longitudinal de las flechas generadas es despreciable. Aunque se produce un aumento en las contraflechas sufridas para puentes en arpa.

- Desplazamiento horizontal en el extremo superior de las torres (proceso constructivo)

Cabe destacar que, salvo en las primeras etapas de construcción, el desplazamiento horizontal de la cabeza de las torres se produce hacia el exterior, hacia los vanos laterales. En distribución en arpa se ven aumentados estos desplazamientos.

La utilización de un plano centrado de tirantes genera mayores desplazamientos del extremo superior de la pila durante el proceso constructivo y se puede despreciar la diferencia hallada entre los puentes con atirantamiento lateral vertical e inclinado.

- Axil en el vano lateral (proceso constructivo)

La compresión transmitida al dintel se va incrementando paulatinamente a medida que avanza la obra, salvo en el atirantamiento centrado donde el valor inicial y el final de axil son muy similares, reduciéndose a mitad del proceso.

No se presenta mucha diferencia en cuanto a la morfología longitudinal mas allá de la indicada en los esfuerzos axiles producidos en la fase final, donde la disposición en abanico produce mejor comportamiento.

- Momento flector en el vano lateral (proceso constructivo)

En las primeras etapas de construcción se presentan flectores positivos debido al peso propio de la estructura, mientras que en las etapas finales el atirantamiento produce apoyos elásticos a lo largo del dintel generando flectores negativos.

En puentes en abanico se desplaza la ley de flectores hacia abajo respecto a los puentes en arpa, produciéndose mayores momentos negativos y menores momentos positivos a medida que concentramos el atirantamiento en la cabeza de las torres.

- Axil en el extremo inferior de las torres (proceso constructivo)

Este va aumentando desde el valor del peso propio de los pilones a medida que se instalan los tirantes y estos le transmiten compresiones.

Son los modelos en arpa los que muestran mayor compresión en la base de las pilas, reduciéndose a medida que concentramos y elevamos el atirantamiento.

En cuanto a la morfología transversal no se aprecia mucha diferencia en los valores del esfuerzo axil.

- Momento flector en el extremo inferior de las torres (proceso constructivo)

El momento flector al inicio de la construcción del vano central es prácticamente nulo y su valor va aumentado a través de las distintas etapas en forma de zig-zag, en donde los picos de mayor momento flector se generan al instalar cada tirante de un solo lado (en el vano lateral) a falta del tirante conjugado que compense el esfuerzo, y reduciéndose al instalar cada dovela.

La distribución en abanico genera menores momentos flectores en la base de las pilas que en puentes con disposición en arpa. Sin embargo, no se aprecia mucha diferencia en lo referente a la morfología transversal del atirantamiento.

A modo de resumen, a continuación, se describen los parámetros en los que se obtienen mejores aprovechamientos y comportamientos por morfología utilizada. Los puentes con disposición en abanico presentan una mayor ventaja en cuanto al peso de acero a utilizar en el atirantamiento, o bien, menor pretensión inicial en este; además se consiguen menores tensiones en ELS en los tirantes, menores axiles transmitidos al dintel, así como menores momentos flectores positivos y cortantes en este; también transmite este sistema menores compresiones (en torres en H) y momentos flectores a las torres.

Los puentes con distribución longitudinal en arpa muestran preferencia en cuanto a una menor flecha generada en el dintel y menor corrimiento horizontal de la cabeza de las torres; se generan menores momentos negativos en el dintel y menores axiles en las torres con geometría en A. Los puentes con distribución intermedia gozan de ventajas intermedias de las disposiciones anteriores, por lo que suelen ser los puentes atirantados con mayor difusión en la actualidad, teniendo también en cuenta que en los puentes en abanico surge la dificultad de anclar todo el conjunto de tirantes en la cabeza de la pila.

Según la distribución de planos de atirantamiento, la utilización de un solo plano centrado requiere menor peso en el atirantamiento, se generan menores tensiones en ELS para los tirantes, se obtienen menores flechas y desplazamientos horizontales en las torres, así como se reducen los momentos flectores y compresiones en las torres. Sin embargo, el gran defecto que presenta este atirantamiento es la poca aportación en la rigidez torsional de la estructura, recayendo sobre el dintel todo el esfuerzo torsor; también el cortante se ve aumentado en este planteamiento. Esto último lo soluciona bastante bien la utilización de 2 planos de tirantes inclinados convergentes hacia el eje de la pila, que hace uso de una mayor coordinación entre los elementos estructurales, apoyándose mutuamente los tirantes opuestos según el plano central y junto con las torres.

En general, esta tipología estructural demuestra tener una gran versatilidad en la que entran múltiples factores y parámetros a definir, siendo además estructuras de altísima hiperestaticidad. Su alcance en grandes luces a salvar, así como la ausencia de pilares en el vano central, genera que sean puentes bastante competentes en estos ámbitos, cuando se halla una gran distancia a superar y cuando se requiere evitar el uso de pilares en medio, bien sea por imposibilidad geográfica, funcional o estética.

La utilización de tirantes reduce eficientemente el canto necesario para el dintel, pudiendo maximizar en gran cantidad la esbeltez de esta viga. Los momentos transmitidos al dintel se ven disminuidos al presentar una cantidad continua de apoyos elásticos, lo cual es lo que representan finalmente los cables dispuestos. Por esto se reduce en un valor importante el peso de la estructura y sus consecuentes costes.

REFERENCIAS

- [1] MANTEROLA ARMISEN, J. *Puentes: Apuntes para su Diseño, Cálculo y Construcción*, vol. 2. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2006. ISBN 84-38003-22-2
- [2] WANG, P. H., TSENG, T. C. y YANG, C. G. Initial Shape of Cable-Stayed Bridges. En BATHE, K. J. y TOPPING, B. H. V. *Computers and Structures*, vol. 46. Gran Bretaña: Pergamon Press Ltd, 1993, No. 6, pp. 1095-1106. ISSN 0045-7949
- [3] WANG, P. H., LIN, H. T. y TANG, T. Y. Study on Nonlinear Analysis of a Highly Redundant Cable-Stayed Bridge. En BATHE, K. J. y TOPPING, B. H. V. *Computers and Structures*, vol. 80. Gran Bretaña: Pergamon Press Ltd, 2002, No. 2, pp. 165-182. ISSN 0045-7949
- [4] HAN, D. J. y YAN, Q. Cable Force Adjustment and Construction Control. En CHEN, W. F. y DUAN, L. *Bridge Engineering: Construction and Maintenance*. Boca Raton: CRC Press, 2003, Capítulo 7. ISBN 978-0-8493-1684-5
- [5] FU, CH. C. y WANG, SH. *Computational Analysis and Design of Bridge Structures*. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 978-1466579842
- [6] CHEN, D. W., AU, F. T. K., THAM, L. G. y LEE, P. K. K. Determination of Initial Cable Forces in Prestressed Concrete Cable-Stayed Bridges for Given Design Deck Profiles Using the Force Equilibrium Method. En BATHE, K. J. y TOPPING, B. H. V. *Computers and Structures*, vol. 74. Gran Bretaña: Pergamon Press Ltd, 2000, No. 1, pp. 1-9. ISSN 0045-7949
- [7] QUINTANA YTZA, M. F. Métodos Constructivos de Puentes Atirantados- Estudio de la Distribución de Fuerzas en los Tirantes. En *Memoria de trabajos de Difusión Científica y Técnica*. Montevideo: Facultad de Ingeniería- Universidad de Montevideo, 2009, No. 7, pp. 13-28. ISSN 1510-7450
- [8] RUBIO PEIROTÉN, D. *Métodos de Definición de Cargas en Tirantes en Puentes Atirantados*, Proyecto Fin de Master. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [9] ORTEGA PELÁEZ, M. A. y POZO OCAMPO, J. D. *Análisis No Lineal de Cables y su Aplicación para Puentes Atirantados y Colgantes*, Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Civil. Cuenca, Ecuador: Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, 2014.
- [10] FLEMING, J. F. Nonlinear Static Analysis of Cable-Stayed Bridge Structures. En BATHE, K. J. y TOPPING, B. H. V. *Computers and Structures*, vol. 10. Gran Bretaña: Pergamon Press Ltd, 1979, No. 4, pp. 621-635. ISSN 0045-7949
- [11] STRUCTURALIA. (2017). Los primeros puentes atirantado. Evolución de la técnica [Fotografía]. Recuperado de <http://www.structuralia.com/lat/blog/23-carreteras/10002149-los-primeros-puentes-atirantados-evolucion-de-la-tecnica> puente de Strömsund
- [12] GALVÍN SERRANO, M. (2015). Puente de la constitución de 1812 [Fotografía]. Recuperado de <http://megaconstrucciones.net/?construccion=puente-constitucion-1812>

- [13] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, IAP-11*. (2011). Disponible en Ministerio de Fomento: <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2E268DB6-87AC-41C9-A331-32C63C25195C/111523/0820303.pdf>
- [14] MIDAS ENGINEERING SOFTWARE (2016). *MIDAS CIVIL* (Versión 2.2) [Software]. Disponible en Simulsoft Ingenieros: <http://www.simulsoft-ingenieros.es/nuestras-soluciones/midas-civil/>
- [15] MIDAS ENGINEERING SOFTWARE (2016). 02, *Cable-stayed backward – Final and construction stage analysis for a cable-stayed bridge* [Tutorial de Software]. Disponible en Simulsoft Ingenieros: <http://www.simulsoft-ingenieros.es/nuestras-soluciones/midas-civil/midas-civil-documentos/>

Anexo A. Matriz de influencia de cada modelo

- [1.1] Puente 2LV-Abanico

Factor	Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45	
		Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0032885	3,896E-06	-0,002909	-0,008174	-0,00954	-0,009366	-0,007822	-0,004278	0,0002709	0,0023213	-0,001419	-0,01	-0,003221	0,0046279	0,0078517	0,0066988	0,0039665	0,0020109	0,0010024	-0,000637	-0,003905	-0,007423	
SelfWeight	1	0,0002659	-1,71E-08	-0,000284	-0,000724	0,0002006	0,0020443	0,003691	0,0040443	0,0024982	-0,000839	-0,005208	-0,011667	-0,028452	-0,046188	-0,066024	-0,088197	-0,113383	-0,141568	-0,171436	-0,200199	-0,223889	-0,238152	
Additional Load	1	0,000214	2,494E-07	-0,000212	-0,000491	0,0002216	0,0016004	0,0029019	0,0033913	0,0026326	0,0006362	-0,002145	-0,006232	-0,016211	-0,026799	-0,038828	-0,05243	-0,06795	-0,085306	-0,103635	-0,121201	-0,135588	-0,144197	
SelfWeight	1	0,0002659	-1,71E-08	-0,000284	-0,000724	0,0002006	0,0020443	0,003691	0,0040443	0,0024982	-0,000839	-0,005208	-0,011667	-0,028452	-0,046188	-0,066024	-0,088197	-0,113383	-0,141568	-0,171436	-0,200199	-0,223889	-0,238152	
Tension 1	1763,134073	3,76E-06	4,472E-10	-3,88E-06	-1,68E-05	-2,64E-05	-3,1E-05	-3,08E-05	-2,68E-05	-2,07E-05	-1,37E-05	-6,83E-06	1,522E-07	6,625E-06	1,278E-05	1,92E-05	2,561E-05	3,193E-05	3,806E-05	4,381E-05	4,881E-05	5,261E-05	5,476E-05	
Tension 2	1725,991538	2,426E-06	4,682E-10	-2,54E-06	-1,25E-05	-2,14E-05	-2,64E-05	-2,7E-05	-2,42E-05	-1,9E-05	-1,27E-05	-6,38E-06	1,046E-07	6,117E-06	1,179E-05	1,772E-05	2,363E-05	2,947E-05	3,513E-05	4,044E-05	4,506E-05	4,857E-05	5,056E-05	
Tension 3	1621,356013	-6,21E-07	4,487E-10	6,724E-07	1,749E-06	-2,48E-06	-8,48E-06	-1,27E-05	-1,39E-05	-1,23E-05	-8,9E-06	-4,76E-06	-7,1E-08	4,259E-06	8,224E-06	1,234E-05	1,646E-05	2,052E-05	2,448E-05	2,818E-05	3,141E-05	3,386E-05	3,524E-05	
Tension 4	1514,602114	-1,93E-06	3,449E-10	2,052E-06	9,393E-06	1,341E-05	9,69E-06	2,928E-06	-2,5E-06	-5,02E-06	-4,85E-06	-3,07E-06	-2,6E-07	2,424E-06	4,763E-06	7,159E-06	9,543E-06	1,19E-05	1,419E-05	1,634E-05	1,821E-05	1,963E-05	2,044E-05	
Tension 5	1324,973289	-2,07E-06	2,167E-10	2,192E-06	1,063E-05	1,872E-05	2,216E-05	1,706E-05	8,944E-06	2,539E-06	-7,37E-07	-1,41E-06	-4,32E-07	9,254E-07	2,032E-06	3,122E-06	4,179E-06	5,212E-06	6,214E-06	7,153E-06	7,97E-06	8,589E-06	8,938E-06	
Tension 6	1096,11118	-1,58E-06	1,014E-10	1,671E-06	8,358E-06	1,606E-05	2,3E-05	2,529E-05	1,91E-05	1,037E-05	3,804E-06	4,651E-07	-5,09E-07	-1,34E-07	2,382E-07	5,626E-07	8,309E-07	1,061E-06	1,266E-06	1,451E-06	1,608E-06	1,726E-06	1,792E-06	
Tension 7	993,7743104	-8,97E-07	0	9,482E-07	4,899E-06	1,016E-05	1,649E-05	2,249E-05	2,432E-05	1,787E-05	9,297E-06	3,159E-06	-3,04E-07	-7,81E-07	-7,16E-07	-6,47E-07	-6,51E-07	-7,23E-07	-8,38E-07	-9,7E-07	-1,09E-06	-1,19E-06	-1,25E-06	
Tension 8	1094,635444	-2,85E-07	0	3,044E-07	1,749E-06	4,259E-06	8,272E-06	1,378E-05	1,954E-05	2,158E-05	1,537E-05	7,259E-06	5,436E-07	-1,03E-06	-1,06E-06	-8,93E-07	-7,73E-07	-7,53E-07	-8,15E-07	-9,2E-07	-1,03E-06	-1,13E-06	-1,19E-06	
Tension 9	1293,473764	1,424E-07	-1,01E-10	-1,41E-07	-4,33E-07	-1,57E-08	1,662E-06	5,062E-06	1,025E-05	1,605E-05	1,836E-05	1,233E-05	2,539E-06	-7,1E-07	-9,48E-07	-6,09E-07	-1,87E-07	1,447E-07	3,636E-07	4,952E-07	5,705E-07	6,121E-07	6,322E-07	
Tension 10	1379,737989	3,501E-07	-1,29E-10	-3,56E-07	-1,48E-06	-2,15E-06	-1,99E-06	-5,87E-07	2,425E-06	7,144E-06	1,252E-05	1,454E-05	5,91E-06	7,505E-07	-2,46E-07	-1,32E-07	3,858E-07	9,583E-07	1,458E-06	1,858E-06	2,16E-06	2,369E-06	2,482E-06	
Tension 11	1222,190977	-1,96E-07	1,057E-10	2,014E-07	8,442E-07	1,262E-06	1,336E-06	1,066E-06	5,462E-07	-5,26E-09	-1,63E-07	8,215E-07	6,013E-06	1,435E-05	1,195E-05	6,362E-06	1,602E-06	-1,48E-06	-3,16E-06	-3,97E-06	-4,3E-06	-4,41E-06	-4,45E-06	
Tension 12	1284,240502	-1,27E-07	0	1,341E-07	6,008E-07	9,445E-07	1,051E-06	8,859E-07	4,717E-07	-9,99E-08	-5,96E-07	-4,94E-07	2,551E-06	1,182E-05	1,737E-05	1,458E-05	8,475E-06	3,08E-06	-6,15E-07	-2,81E-06	-3,98E-06	-4,55E-06	-4,78E-06	
Tension 13	1264,010805	-1,88E-08	0	2,646E-08	1,787E-07	3,348E-07	4,108E-07	3,614E-07	1,679E-07	-1,58E-07	-5,36E-07	-7,15E-07	5,161E-07	6,566E-06	1,411E-05	1,98E-05	1,725E-05	1,108E-05	5,253E-06	9,347E-07	-1,88E-06	-3,52E-06	-4,29E-06	
Tension 14	1179,143276	7,447E-08	0	-6,65E-08	-1,91E-07	-2,1E-07	-1,8E-07	-1,52E-07	-1,63E-07	-2,44E-07	-3,96E-07	-5,55E-07	-3,15E-07	2,622E-06	8,253E-06	1,635E-05	2,24E-05	2,018E-05	1,397E-05	7,674E-06	2,735E-06	-5,4E-07	-2,21E-06	
Tension 15	1132,800815	1,448E-07	0	-1,36E-07	-4,64E-07	-6,14E-07	-6,25E-07	-5,51E-07	-4,45E-07	-3,51E-07	-3,09E-07	-3,49E-07	-4,94E-07	4,886E-07	3,758E-06	1,019E-05	1,887E-05	2,519E-05	2,323E-05	1,703E-05	1,059E-05	5,699E-06	3,026E-06	
Tension 16	1213,817852	1,915E-07	0	-1,81E-07	-6,3E-07	-8,47E-07	-8,76E-07	-7,76E-07	-6,05E-07	-4,14E-07	-2,52E-07	-1,83E-07	-4,13E-07	-4,11E-07	1,114E-06	5,156E-06	1,235E-05	2,15E-05	2,809E-05	2,668E-05	2,125E-05	1,591E-05	1,269E-05	
Tension 17	1453,171313	2,07E-07	0	-1,93E-07	-6,46E-07	-8,39E-07	-8,41E-07	-7,21E-07	-5,36E-07	-3,29E-07	-1,38E-07	-3,06E-08	-2,7E-07	-7E-07	-2,58E-07	1,801E-06	6,566E-06	1,453E-05	2,441E-05	3,196E-05	3,229E-05	2,926E-05	2,678E-05	
Tension 18	1685,150497	1,771E-07	0	-1,57E-07	-4,42E-07	-4,75E-07	-3,79E-07	-2,4E-07	-9,88E-08	2,938E-08	1,332E-07	1,677E-07	-1,47E-07	-8,07E-07	-1,02E-06	-3,65E-07	2,244E-06	7,975E-06	1,732E-05	2,904E-05	3,911E-05	4,284E-05	4,334E-05	
Tension 19	1791,130048	8,549E-08	1,135E-10	-5,61E-08	5,538E-08	3,658E-07	6,512E-07	8,125E-07	8,408E-07	7,737E-07	6,504E-07	4,681E-07	-6,76E-08	-9,74E-07	-1,66E-06	-1,96E-06	-9,32E-07	2,784E-06	1,052E-05	2,272E-05	3,788E-05	5,153E-05	5,809E-05	
Tension 20	1711,896426	-7,9E-08	2,405E-10	1,217E-07	8,979E-07	1,763E-06	2,347E-06	2,533E-06	2,369E-06	1,975E-06	1,468E-06	9,064E-07	-3,3E-08	-1,31E-06	-2,43E-06	-3,41E-06	-3,43E-06	-1,12E-06	5,127E-06	1,647E-05	3,262E-05	5,076E-05	6,452E-05	

- [1.2] Puente 2LV-Arpa

Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45	
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
	Value	0,0041214	4,28E-06	-0,003557	-0,008713	-0,007357	-0,002822	0,0030107	0,0081646	0,01	0,0064649	-0,001594	-0,01	-0,000792	0,0070937	0,0088351	0,0065447	0,0037411	0,0016394	0,0001617	-0,000253	0,0002311	-0,000154
SelfWeight	1	0,0024611	-2,22E-07	-0,002535	-0,010828	-0,017014	-0,019998	-0,019781	-0,017054	-0,012977	-0,009118	-0,00743	-0,011863	-0,033319	-0,056637	-0,082697	-0,110389	-0,139209	-0,168527	-0,197165	-0,223198	-0,243962	-0,256343
Additional Load	1	0,0016503	1,201E-07	-0,001685	-0,007125	-0,011134	-0,013044	-0,012862	-0,011026	-0,008269	-0,005595	-0,004263	-0,006718	-0,019978	-0,034435	-0,050593	-0,067703	-0,085404	-0,10328	-0,120612	-0,136254	-0,148644	-0,155983
SelfWeight	1	0,0024611	-2,22E-07	-0,002535	-0,010828	-0,017014	-0,019998	-0,019781	-0,017054	-0,012977	-0,009118	-0,00743	-0,011863	-0,033319	-0,056637	-0,082697	-0,110389	-0,139209	-0,168527	-0,197165	-0,223198	-0,243962	-0,256343
Tension 1	1705,206992	3,374E-06	5,232E-10	-3,48E-06	-1,51E-05	-2,39E-05	-2,83E-05	-2,85E-05	-2,54E-05	-2,03E-05	-1,41E-05	-7,52E-06	8,962E-08	7,123E-06	1,29E-05	1,871E-05	2,466E-05	3,083E-05	3,715E-05	4,331E-05	4,884E-05	5,312E-05	5,557E-05
Tension 2	1719,499876	2E-06	5,334E-10	-2,1E-06	-1,06E-05	-1,83E-05	-2,3E-05	-2,41E-05	-2,22E-05	-1,81E-05	-1,27E-05	-6,87E-06	4,742E-08	6,491E-06	1,177E-05	1,709E-05	2,252E-05	2,814E-05	3,388E-05	3,947E-05	4,446E-05	4,832E-05	5,052E-05
Tension 3	1762,417562	-9,52E-07	4,784E-10	1,015E-06	3,431E-06	7,428E-07	-4,23E-06	-8,37E-06	-1,04E-05	-1E-05	-7,87E-06	-4,6E-06	-1,09E-07	4,252E-06	7,816E-06	1,141E-05	1,509E-05	1,886E-05	2,268E-05	2,635E-05	2,959E-05	3,207E-05	3,348E-05
Tension 4	1717,48928	-2,05E-06	3,56E-10	2,17E-06	1E-05	1,489E-05	1,264E-05	6,903E-06	1,455E-06	-1,98E-06	-3,1E-06	-2,41E-06	-2,6E-07	2,226E-06	4,284E-06	6,384E-06	8,529E-06	1,071E-05	1,287E-05	1,491E-05	1,667E-05	1,8E-05	1,874E-05
Tension 5	1638,321782	-2,05E-06	2,278E-10	2,174E-06	1,054E-05	1,863E-05	2,26E-05	1,9E-05	1,2E-05	5,573E-06	1,403E-06	-3,83E-07	-3,57E-07	6,861E-07	1,661E-06	2,692E-06	3,74E-06	4,77E-06	5,738E-06	6,601E-06	7,315E-06	7,836E-06	8,124E-06
Tension 6	1659,054412	-1,56E-06	1,237E-10	1,648E-06	8,196E-06	1,56E-05	2,215E-05	2,458E-05	1,985E-05	1,226E-05	5,696E-06	1,618E-06	-3,3E-07	-3E-07	3,856E-08	4,513E-07	8,492E-07	1,182E-06	1,428E-06	1,592E-06	1,691E-06	1,745E-06	1,77E-06
Tension 7	1835,110617	-9,4E-07	0	9,935E-07	5,057E-06	1,018E-05	1,592E-05	2,094E-05	2,229E-05	1,709E-05	9,677E-06	3,761E-06	-7,37E-08	-7,38E-07	-6,66E-07	-4,98E-07	-3,8E-07	-3,69E-07	-4,58E-07	-6,13E-07	-7,88E-07	-9,37E-07	-1,03E-06
Tension 8	2101,603132	-3,83E-07	0	4,083E-07	2,199E-06	4,841E-06	8,464E-06	1,281E-05	1,674E-05	1,753E-05	1,249E-05	5,99E-06	5,532E-07	-5,94E-07	-5,28E-07	-3,41E-07	-2,44E-07	-2,88E-07	-4,5E-07	-6,76E-07	-9,11E-07	-1,1E-06	-1,22E-06
Tension 9	2285,425797	6,694E-08	0	-6,04E-08	-6,3E-08	5,055E-07	1,948E-06	4,429E-06	7,767E-06	1,102E-05	1,176E-05	7,631E-06	1,689E-06	2,851E-07	5,037E-07	8,56E-07	1,078E-06	1,119E-06	1,016E-06	8,317E-07	6,29E-07	4,61E-07	3,645E-07
Tension 10	2284,957331	4,38E-07	-1,25E-10	-4,42E-07	-1,84E-06	-2,82E-06	-3,09E-06	-2,42E-06	-6,61E-07	2,11E-06	5,247E-06	6,764E-06	3,327E-06	2,169E-06	2,608E-06	3,133E-06	3,48E-06	3,609E-06	3,568E-06	3,428E-06	3,26E-06	3,119E-06	3,039E-06
Tension 11	2308,825371	-3,56E-07	1,183E-10	3,641E-07	1,584E-06	2,614E-06	3,305E-06	3,606E-06	3,521E-06	3,101E-06	2,482E-06	2,002E-06	3,229E-06	6,611E-06	4,966E-06	1,748E-06	-1,09E-06	-3,01E-06	-4,08E-06	-4,54E-06	-4,66E-06	-4,63E-06	-4,59E-06
Tension 12	2218,298522	-1,15E-07	0	1,23E-07	5,882E-07	1,024E-06	1,327E-06	1,436E-06	1,32E-06	9,898E-07	5,416E-07	2,694E-07	1,608E-06	7,259E-06	1,114E-05	1,014E-05	6,661E-06	3,12E-06	3,819E-07	-1,43E-06	-2,5E-06	-3,07E-06	-3,31E-06
Tension 13	1812,013223	3,637E-08	0	-2,82E-08	-2,62E-08	6,183E-08	1,586E-07	1,949E-07	1,186E-07	-8,57E-08	-3,56E-07	-4,85E-07	5,071E-07	5,491E-06	1,161E-05	1,63E-05	1,517E-05	1,096E-05	6,447E-06	2,742E-06	1,207E-07	-1,5E-06	-2,3E-06
Tension 14	1512,387797	1,204E-07	0	-1,11E-07	-3,51E-07	-4,29E-07	-4,18E-07	-3,95E-07	-4,22E-07	-5,21E-07	-6,51E-07	-6,83E-07	-8,44E-08	3,373E-06	8,919E-06	1,598E-05	2,089E-05	1,935E-05	1,434E-05	8,894E-06	4,386E-06	1,286E-06	-3,26E-07
Tension 15	1623,06081	1,662E-07	0	-1,55E-07	-5,14E-07	-6,64E-07	-6,83E-07	-6,54E-07	-6,4E-07	-6,56E-07	-6,74E-07	-6,29E-07	-3,21E-07	1,682E-06	5,707E-06	1,219E-05	1,979E-05	2,473E-05	2,281E-05	1,722E-05	1,13E-05	6,722E-06	4,195E-06
Tension 16	1793,906368	1,94E-07	0	-1,81E-07	-6,02E-07	-7,88E-07	-8,24E-07	-7,93E-07	-7,45E-07	-6,93E-07	-6,19E-07	-5,04E-07	-3,53E-07	5,813E-07	3,055E-06	7,856E-06	1,502E-05	2,305E-05	2,817E-05	2,632E-05	2,099E-05	1,582E-05	1,27E-05
Tension 17	1711,287559	2,107E-07	0	-1,95E-07	-6,43E-07	-8,48E-07	-9,03E-07	-8,81E-07	-8,18E-07	-7,19E-07	-5,75E-07	-3,94E-07	-2,88E-07	-1,57E-08	1,227E-06	4,228E-06	9,689E-06	1,757E-05	2,639E-05	3,245E-05	3,193E-05	2,852E-05	2,588E-05
Tension 18	1526,308744	2,097E-07	0	-1,91E-07	-6,02E-07	-7,88E-07	-8,59E-07	-8,7E-07	-8,34E-07	-7,37E-07	-5,62E-07	-3,27E-07	-1,96E-07	-2,66E-07	1,283E-07	1,624E-06	5,173E-06	1,155E-05	2,081E-05	3,156E-05	4,021E-05	4,288E-05	4,284E-05
Tension 19	2096,236128	1,733E-07	1,285E-10	-1,48E-07	-3,96E-07	-4,81E-07	-5,51E-07	-6,39E-07	-7,08E-07	-6,98E-07	-5,6E-07	-3,02E-07	-1,13E-07	-3,16E-07	-4,48E-07	-4,74E-08	1,879E-06	6,517E-06	1,484E-05	2,7E-05	4,15E-05	5,421E-05	6,016E-05
Tension 20	1980,897316	2,577E-08	2,547E-10	1,178E-08	3,641E-07	7,878E-07	1,008E-06	9,772E-07	7,715E-07	5,12E-07	3,056E-07	1,925E-07	-7,06E-08	-7,71E-07	-1,49E-06	-1,97E-06	-1,28E-06	1,866E-06	8,81E-06	2,043E-05	3,635E-05	5,397E-05	6,732E-05

• [1.3] Puente 2LV-Intermedia

	Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0033622	3,972E-06	-0,002947	-0,007937	-0,008803	-0,008486	-0,007678	-0,005842	-0,002973	-0,000854	-0,002856	-0,01	-0,003165	0,0045384	0,0079796	0,0071352	0,0042229	0,0016598	0,0005059	-4,2E-05	-0,001444	-0,003503
SelfWeight	1	0,0005287	-4,19E-08	-0,000551	-0,001852	-0,001525	0,0002075	0,0023086	0,0035851	0,0031293	0,0005952	-0,003666	-0,01077	-0,027594	-0,045712	-0,06656	-0,090174	-0,116846	-0,146226	-0,176824	-0,205858	-0,229521	-0,243684
Additional Load	1	0,0003893	2,33E-07	-0,00039	-0,001248	-0,000947	0,0003329	0,0019046	0,0029768	0,0029258	0,0014725	-0,0012	-0,005666	-0,015693	-0,026573	-0,039293	-0,053837	-0,070304	-0,088405	-0,107175	-0,124889	-0,13924	-0,147775
SelfWeight	1	0,0005287	-4,19E-08	-0,000551	-0,001852	-0,001525	0,0002075	0,0023086	0,0035851	0,0031293	0,0005952	-0,003666	-0,01077	-0,027594	-0,045712	-0,06656	-0,090174	-0,116846	-0,146226	-0,176824	-0,205858	-0,229521	-0,243684
Tension 1	1781,627345	3,72E-06	4,545E-10	-3,84E-06	-1,66E-05	-2,62E-05	-3,08E-05	-3,06E-05	-2,68E-05	-2,07E-05	-1,38E-05	-6,9E-06	1,53E-07	6,705E-06	1,284E-05	1,925E-05	2,568E-05	3,207E-05	3,832E-05	4,419E-05	4,932E-05	5,322E-05	5,543E-05
Tension 2	1738,298404	2,365E-06	4,715E-10	-2,48E-06	-1,22E-05	-2,09E-05	-2,59E-05	-2,67E-05	-2,39E-05	-1,88E-05	-1,26E-05	-6,4E-06	1,086E-07	6,158E-06	1,179E-05	1,766E-05	2,353E-05	2,936E-05	3,505E-05	4,039E-05	4,505E-05	4,859E-05	5,059E-05
Tension 3	1665,137988	-6,5E-07	4,474E-10	7,021E-07	1,92E-06	-2,09E-06	-7,93E-06	-1,21E-05	-1,34E-05	-1,2E-05	-8,73E-06	-4,7E-06	-6,13E-08	4,253E-06	8,163E-06	1,221E-05	1,627E-05	2,03E-05	2,423E-05	2,792E-05	3,114E-05	3,358E-05	3,496E-05
Tension 4	1589,499807	-1,92E-06	3,425E-10	2,037E-06	9,334E-06	1,339E-05	9,87E-06	3,275E-06	-2,13E-06	-4,73E-06	-4,68E-06	-2,99E-06	-2,45E-07	2,417E-06	4,722E-06	7,079E-06	9,431E-06	1,176E-05	1,404E-05	1,618E-05	1,804E-05	1,945E-05	2,025E-05
Tension 5	1424,555054	-2,04E-06	2,161E-10	2,162E-06	1,048E-05	1,844E-05	2,184E-05	1,691E-05	8,969E-06	2,615E-06	-6,78E-07	-1,38E-06	-4,19E-07	9,408E-07	2,042E-06	3,124E-06	4,182E-06	5,221E-06	6,234E-06	7,183E-06	8,009E-06	8,636E-06	8,99E-06
Tension 6	1235,46085	-1,55E-06	1,04E-10	1,642E-06	8,201E-06	1,571E-05	2,238E-05	2,45E-05	1,845E-05	9,93E-06	3,533E-06	3,304E-07	-5,12E-07	-6,89E-08	3,28E-07	6,664E-07	9,477E-07	1,192E-06	1,412E-06	1,61E-06	1,779E-06	1,905E-06	1,975E-06
Tension 7	1113,076782	-8,9E-07	0	9,414E-07	4,848E-06	9,978E-06	1,602E-05	2,16E-05	2,309E-05	1,672E-05	8,437E-06	2,665E-06	-3,69E-07	-6,59E-07	-5,49E-07	-4,73E-07	-4,78E-07	-5,52E-07	-6,67E-07	-7,96E-07	-9,18E-07	-1,02E-06	-1,07E-06
Tension 8	1046,731047	-3,02E-07	0	3,22E-07	1,813E-06	4,29E-06	8,108E-06	1,32E-05	1,835E-05	1,988E-05	1,378E-05	6,193E-06	3,345E-07	-8,63E-07	-8,2E-07	-6,68E-07	-5,9E-07	-6,13E-07	-7,12E-07	-8,49E-07	-9,89E-07	-1,1E-06	-1,17E-06
Tension 9	1209,908176	1,168E-07	0	-1,15E-07	-3,29E-07	1,01E-07	1,659E-06	4,739E-06	9,367E-06	1,447E-05	1,635E-05	1,07E-05	2,118E-06	-5,27E-07	-6,33E-07	-3,08E-07	3,967E-08	2,822E-07	4,133E-07	4,645E-07	4,709E-07	4,602E-07	4,505E-07
Tension 10	1534,623813	3,347E-07	-1,15E-10	-3,4E-07	-1,42E-06	-2,1E-06	-2,03E-06	-8,38E-07	1,816E-06	6,048E-06	1,098E-05	1,302E-05	5,383E-06	8,411E-07	4,325E-08	2,031E-07	6,773E-07	1,165E-06	1,566E-06	1,865E-06	2,077E-06	2,215E-06	2,287E-06
Tension 11	1276,743186	-1,93E-07	0	1,975E-07	8,325E-07	1,268E-06	1,392E-06	1,197E-06	7,586E-07	2,595E-07	7,132E-08	8,723E-07	5,449E-06	1,28E-05	1,041E-05	5,311E-06	1,074E-06	-1,62E-06	-3,06E-06	-3,7E-06	-3,93E-06	-3,98E-06	-3,98E-06
Tension 12	1298,389521	-1,16E-07	0	1,219E-07	5,522E-07	8,87E-07	1,024E-06	9,268E-07	6,041E-07	1,2E-07	-3,46E-07	-3,63E-07	2,081E-06	1,016E-05	1,538E-05	1,309E-05	7,72E-06	2,915E-06	-4,15E-07	-2,41E-06	-3,48E-06	-4E-06	-4,21E-06
Tension 13	1310,528252	-9,12E-09	0	1,632E-08	1,365E-07	2,773E-07	3,646E-07	3,533E-07	2,189E-07	-4,07E-08	-3,76E-07	-5,99E-07	2,797E-07	5,499E-06	1,256E-05	1,821E-05	1,622E-05	1,071E-05	5,355E-06	1,297E-06	-1,39E-06	-2,98E-06	-3,74E-06
Tension 14	1269,215668	7,829E-08	0	-7,05E-08	-2,07E-07	-2,32E-07	-1,97E-07	-1,52E-07	-1,38E-07	-1,88E-07	-3,17E-07	-4,87E-07	-3,9E-07	2,161E-06	7,461E-06	1,53E-05	2,133E-05	1,952E-05	1,379E-05	7,839E-06	3,092E-06	-9,21E-08	-1,73E-06
Tension 15	1230,949537	1,452E-07	0	-1,37E-07	-4,65E-07	-6,13E-07	-6,22E-07	-5,46E-07	-4,35E-07	-3,35E-07	-2,89E-07	-3,28E-07	-4,99E-07	3,925E-07	3,547E-06	9,838E-06	1,833E-05	2,455E-05	2,282E-05	1,694E-05	1,074E-05	5,977E-06	3,366E-06
Tension 16	1253,611731	1,924E-07	0	-1,82E-07	-6,32E-07	-8,51E-07	-8,85E-07	-7,92E-07	-6,29E-07	-4,42E-07	-2,79E-07	-1,99E-07	-3,98E-07	-3,48E-07	1,199E-06	5,251E-06	1,24E-05	2,14E-05	2,785E-05	2,651E-05	2,122E-05	1,599E-05	1,282E-05
Tension 17	1403,855098	2,085E-07	0	-1,95E-07	-6,5E-07	-8,46E-07	-8,54E-07	-7,42E-07	-5,67E-07	-3,68E-07	-1,8E-07	-6,15E-08	-2,54E-07	-5,98E-07	-9,59E-08	2,032E-06	6,859E-06	1,48E-05	2,453E-05	3,187E-05	3,215E-05	2,913E-05	2,667E-05
Tension 18	1680,812272	1,831E-07	0	-1,63E-07	-4,68E-07	-5,19E-07	-4,4E-07	-3,14E-07	-1,81E-07	-5,6E-08	5,573E-08	1,159E-07	-1,33E-07	-6,94E-07	-8,39E-07	-9,56E-08	2,626E-06	8,454E-06	1,78E-05	2,936E-05	3,92E-05	4,278E-05	4,321E-05
Tension 19	1842,291646	9,904E-08	1,137E-10	-6,99E-08	-6,12E-09	2,595E-07	5,085E-07	6,455E-07	6,638E-07	6,044E-07	5,113E-07	3,856E-07	-5,4E-08	-8,44E-07	-1,45E-06	-1,66E-06	-5,2E-07	3,346E-06	1,121E-05	2,343E-05	3,849E-05	5,195E-05	5,839E-05
Tension 20	1794,89101	-5,88E-08	2,419E-10	1,01E-07	8,05E-07	1,602E-06	2,13E-06	2,279E-06	2,103E-06	1,725E-06	1,268E-06	7,946E-07	-1,86E-08	-1,16E-06	-2,19E-06	-3,09E-06	-3,01E-06	-5,51E-07	5,872E-06	1,736E-05	3,359E-05	5,171E-05	6,544E-05

• [2.1] Puente 2IC-Abanico

	Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0032078	3,852E-06	-0,00282	-0,007569	-0,007881	-0,006058	-0,002504	0,0029336	0,0085536	0,01	0,0035353	-0,01	-0,005825	0,0019667	0,0060881	0,0058594	0,0036619	0,0018997	0,0009455	-0,000634	-0,003811	-0,007255
SelfWeight	1	0,0002245	9,824E-09	-0,000242	-0,000563	0,000422	0,0022652	0,0038769	0,0042008	0,002665	-0,000622	-0,00499	-0,012046	-0,029488	-0,04735	-0,067306	-0,089655	-0,11506	-0,143477	-0,173564	-0,202509	-0,22633	-0,240663
Additional Load	1	0,0001913	2,651E-07	-0,000189	-0,000407	0,0003307	0,0016984	0,0029714	0,0034422	0,0027014	0,0007656	-0,001964	-0,006353	-0,016789	-0,027511	-0,039649	-0,053374	-0,06903	-0,086526	-0,104983	-0,122654	-0,137117	-0,145766
SelfWeight	1	0,0002245	9,824E-09	-0,000242	-0,000563	0,000422	0,0022652	0,0038769	0,0042008	0,002665	-0,000622	-0,00499	-0,012046	-0,029488	-0,04735	-0,067306	-0,089655	-0,11506	-0,143477	-0,173564	-0,202509	-0,22633	-0,240663
Tension 1	1737,444852	3,791E-06	4,287E-10	-3,91E-06	-1,69E-05	-2,67E-05	-3,14E-05	-3,11E-05	-2,72E-05	-2,11E-05	-1,41E-05	-7,21E-06	1,476E-07	6,981E-06	1,314E-05	1,955E-05	2,597E-05	3,233E-05	3,853E-05	4,435E-05	4,941E-05	5,327E-05	5,544E-05
Tension 2	1699,015383	2,456E-06	4,511E-10	-2,57E-06	-1,27E-05	-2,16E-05	-2,67E-05	-2,74E-05	-2,45E-05	-1,93E-05	-1,31E-05	-6,73E-06	9,983E-08	6,443E-06	1,213E-05	1,804E-05	2,397E-05	2,984E-05	3,557E-05	4,094E-05	4,562E-05	4,918E-05	5,119E-05
Tension 3	1590,994014	-6E-07	4,368E-10	6,499E-07	1,654E-06	-2,63E-06	-8,65E-06	-1,29E-05	-1,41E-05	-1,26E-05	-9,15E-06	-5E-06	-7,66E-08	4,484E-06	8,46E-06	1,258E-05	1,671E-05	2,08E-05	2,48E-05	2,856E-05	3,182E-05	3,431E-05	3,571E-05
Tension 4	1488,657378	-1,92E-06	3,381E-10	2,04E-06	9,345E-06	1,334E-05	9,622E-06	2,863E-06	-2,58E-06	-5,12E-06	-4,99E-06	-3,21E-06	-2,65E-07	2,557E-06	4,908E-06	7,309E-06	9,707E-06	1,209E-05	1,441E-05	1,659E-05	1,849E-05	1,994E-05	2,075E-05
Tension 5	1318,210682	-2,07E-06	2,139E-10	2,191E-06	1,063E-05	1,873E-05	2,218E-05	1,71E-05	8,987E-06	2,558E-06	-7,55E-07	-1,46E-06	-4,35E-07	9,827E-07	2,101E-06	3,199E-06	4,269E-06	5,319E-06	6,34E-06	7,297E-06	8,13E-06	8,762E-06	9,117E-06
Tension 6	1112,897702	-1,59E-06	1,016E-10	1,679E-06	8,397E-06	1,614E-05	2,31E-05	2,541E-05	1,923E-05	1,05E-05	3,897E-06	5,122E-07	-5,05E-07	-1,38E-07	2,41E-07	5,762E-07	8,553E-07	1,095E-06	1,308E-06	1,5E-06	1,663E-06	1,785E-06	1,853E-06
Tension 7	1041,977241	-9,11E-07	0	9,633E-07	4,97E-06	1,029E-05	1,666E-05	2,269E-05	2,454E-05	1,81E-05	9,5E-06	3,306E-06	-2,87E-07	-8,46E-07	-7,81E-07	-7,01E-07	-6,95E-07	-7,63E-07	-8,79E-07	-1,01E-06	-1,14E-06	-1,25E-06	-1,31E-06
Tension 8	1191,816623	-3,07E-07	0	3,277E-07	1,852E-06	4,435E-06	8,508E-06	1,406E-05	1,984E-05	2,188E-05	1,568E-05	7,515E-06	5,766E-07	-1,18E-06	-1,21E-06	-1,03E-06	-9,04E-07	-8,86E-07	-9,59E-07	-1,08E-06	-1,21E-06	-1,32E-06	-1,39E-06
Tension 9	1459,700836	1,085E-07	0	-1,07E-07	-2,87E-07	2,223E-07	1,968E-06	5,415E-06	1,063E-05	1,644E-05	1,875E-05	1,268E-05	2,58E-06	-9,47E-07	-1,2E-06	-8,53E-07	-4,25E-07	-1,04E-07	8,959E-08	1,882E-07	2,3E-07	2,443E-07	2,483E-07
Tension 10	1526,307216	3,073E-07	-1,12E-10	-3,13E-07	-1,3E-06	-1,87E-06	-1,64E-06	-2E-07	2,84E-06	7,581E-06	1,296E-05	1,491E-05	5,929E-06	4,465E-07	-5,69E-07	-4,43E-07	7,397E-08	6,244E-07	1,086E-06	1,439E-06	1,695E-06	1,866E-06	1,957E-06
Tension 11	1134,559016	-1,55E-07	0	1,601E-07	6,758E-07	1,004E-06	1,033E-06	7,51E-07	2,332E-07	-3,21E-07	-4,87E-07	5,176E-07	6,011E-06	1,469E-05	1,235E-05	6,766E-06	1,982E-06	-1,11E-06	-2,79E-06	-3,58E-06	-3,88E-06	-3,97E-06	-3,99E-06
Tension 12	1264,030329	-9,84E-08	0	1,052E-07	4,834E-07	7,646E-07	8,385E-07	6,615E-07	2,424E-07	-3,39E-07	-8,47E-07	-7,27E-07	2,579E-06	1,214E-05	1,773E-05	1,495E-05	8,825E-06	3,404E-06	-3,12E-07	-2,52E-06	-3,69E-06	-4,25E-06	-4,48E-06
Tension 13	1294,379923	-4,59E-09	0	1,222E-08	1,213E-07	2,47E-07	3,066E-07	2,494E-07	4,937E-08	-2,88E-07	-6,77E-07	-8,47E-07	5,433E-07	6,804E-06	1,44E-05	2,008E-05	1,752E-05	1,133E-05	5,475E-06	1,126E-06	-1,71E-06	-3,36E-06	-4,15E-06
Tension 14	1220,95407	7,968E-08	0	-7,17E-08	-2,11E-07	-2,4E-07	-2,17E-07	-1,92E-07	-2,09E-07	-2,98E-07	-4,6E-07	-6,17E-07	-3,01E-07	2,762E-06	8,451E-06	1,657E-05	2,261E-05	2,038E-05	1,414E-05	7,818E-06	2,848E-06	-4,53E-07	-2,14E-06
Tension 15	1167,824444	1,46E-07	0	-1,37E-07	-4,68E-07	-6,18E-07	-6,3E-07	-5,58E-07	-4,55E-07	-3,67E-07	-3,33E-07	-3,76E-07	-4,91E-07	5,554E-07	3,875E-06	1,035E-05	1,904E-05	2,535E-05	2,338E-05	1,716E-05	1,07E-05	5,79E-06	3,103E-06
Tension 16	1240,868875	1,913E-07	0	-1,81E-07	-6,28E-07	-8,43E-07	-8,71E-07	-7,71E-07	-6,02E-07	-4,15E-07	-2,59E-07	-1,95E-07	-4,15E-07	-3,86E-07	1,171E-06	5,255E-06	1,248E-05	2,165E-05	2,823E-05	2,682E-05	2,138E-05	1,603E-05	1,28E-05
Tension 17	1477,087732	2,064E-07	0	-1,93E-07	-6,42E-07	-8,32E-07	-8,32E-07	-7,11E-07	-5,28E-07	-3,25E-07	-1,4E-07	-3,82E-08	-2,75E-07	-6,97E-07	-2,41E-07	1,849E-06	6,654E-06	1,465E-05	2,455E-05	3,21E-05	3,243E-05	2,941E-05	2,693E-05
Tension 18	1711,213047	1,759E-07	0	-1,56E-07	-4,36E-07	-4,63E-07	-3,65E-07	-2,25E-07	-8,49E-08	3,943E-08	1,37E-07	1,641E-07	-1,52E-07	-8,16E-07	-1,03E-06	-3,59E-07	2,285E-06	8,057E-06	1,744E-05	2,918E-05	3,926E-05	4,3E-05	4,351E-05
Tension 19	1820,917035	8,312E-08	1,152E-10	-5,36E-08	6,755E-08	3,866E-07	6,774E-07	8,407E-07	8,676E-07	7,958E-07	6,653E-07	4,738E-07	-7,18E-08	-9,95E-07	-1,69E-06	-1,98E-06	-9,34E-07	2,822E-06	1,06E-05	2,284E-05	3,803E-05	5,168E-05	5,826E-05
Tension 20	1743,791281	-8,35E-08	2,43E-10	1,264E-07	9,197E-07	1,8E-06	2,393E-06	2,582E-06	2,417E-06	2,018E-06	1,503E-06	9,296E-07	-3,66E-08	-1,35E-06	-2,49E-06	-3,47E-06	-3,47E-06	-1,12E-06	5,168E-06	1,655E-05	3,274E-05	5,089E-05	6,465E-05

• [2.2] Puente 2IC-Arpa

	Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0041484	4,292E-06	-0,003584	-0,008846	-0,007639	-0,003246	0,0025642	0,0078803	0,01	0,0066644	-0,001478	-0,01	5,741E-05	0,0082167	0,0097984	0,0072309	0,0042428	0,0020017	0,0003179	-0,00032	5,136E-05	-0,000375
SelfWeight	1	0,0024241	-1,94E-07	-0,0025	-0,010713	-0,016889	-0,01992	-0,019774	-0,017114	-0,013084	-0,009255	-0,007605	-0,012271	-0,034049	-0,057578	-0,083914	-0,111945	-0,141132	-0,170799	-0,199731	-0,225982	-0,246891	-0,259346
Additional Load	1	0,0016302	1,358E-07	-0,001666	-0,007065	-0,011072	-0,013004	-0,012845	-0,011016	-0,008245	-0,005543	-0,004199	-0,006781	-0,020272	-0,034906	-0,051283	-0,068642	-0,086594	-0,104698	-0,122214	-0,137989	-0,150465	-0,157848
SelfWeight	1	0,0024241	-1,94E-07	-0,0025	-0,010713	-0,016889	-0,01992	-0,019774	-0,017114	-0,013084	-0,009255	-0,007605	-0,012271	-0,034049	-0,057578	-0,083914	-0,111945	-0,141132	-0,170799	-0,199731	-0,225982	-0,246891	-0,259346
Tension 1	1717,23263	3,402E-06	5,046E-10	-3,51E-06	-1,52E-05	-2,41E-05	-2,85E-05	-2,87E-05	-2,57E-05	-2,05E-05	-1,42E-05	-7,66E-06	8,397E-08	7,242E-06	1,305E-05	1,89E-05	2,491E-05	3,118E-05	3,76E-05	4,387E-05	4,949E-05	5,384E-05	5,632E-05
Tension 2	1733,019052	2,027E-06	5,165E-10	-2,13E-06	-1,07E-05	-1,85E-05	-2,32E-05	-2,43E-05	-2,24E-05	-1,82E-05	-1,29E-05	-7E-06	4,209E-08	6,601E-06	1,191E-05	1,727E-05	2,276E-05	2,847E-05	3,43E-05	3,997E-05	4,505E-05	4,897E-05	5,12E-05
Tension 3	1780,426174	-9,33E-07	4,674E-10	9,964E-07	3,356E-06	6,392E-07	-4,34E-06	-8,48E-06	-1,05E-05	-1,01E-05	-7,96E-06	-4,68E-06	-1,13E-07	4,326E-06	7,913E-06	1,154E-05	1,526E-05	1,909E-05	2,297E-05	2,67E-05	3E-05	3,252E-05	3,395E-05
Tension 4	1733,517714	-2,04E-06	3,5E-10	2,16E-06	9,964E-06	1,484E-05	1,26E-05	6,875E-06	1,432E-06	-2,01E-06	-3,13E-06	-2,44E-06	-2,62E-07	2,267E-06	4,343E-06	6,466E-06	8,641E-06	1,086E-05	1,306E-05	1,513E-05	1,692E-05	1,828E-05	1,904E-05
Tension 5	1645,516507	-2,05E-06	2,256E-10	2,172E-06	1,053E-05	1,862E-05	2,259E-05	1,901E-05	1,203E-05	5,596E-06	1,414E-06	-3,83E-07	-3,57E-07	7,017E-07	1,692E-06	2,742E-06	3,812E-06	4,864E-06	5,854E-06	6,735E-06	7,462E-06	7,992E-06	8,285E-06
Tension 6	1658,600887	-1,56E-06	1,24E-10	1,653E-06	8,221E-06	1,564E-05	2,22E-05	2,464E-05	1,991E-05	1,232E-05	5,743E-06	1,646E-06	-3,28E-07	-3,05E-07	4,431E-08	4,724E-07	8,86E-07	1,231E-06	1,486E-06	1,654E-06	1,755E-06	1,81E-06	1,834E-06
Tension 7	1834,412098	-9,49E-07	0	1,003E-06	5,1E-06	1,026E-05	1,601E-05	2,103E-05	2,238E-05	1,718E-05	9,748E-06	3,811E-06	-6,88E-08	-7,61E-07	-6,85E-07	-5,06E-07	-3,8E-07	-3,64E-07	-4,53E-07	-6,11E-07	-7,91E-07	-9,45E-07	-1,04E-06
Tension 8	2115,043134	-3,94E-07	0	4,195E-07	2,25E-06	4,927E-06	8,576E-06	1,293E-05	1,686E-05	1,763E-05	1,257E-05	6,053E-06	5,598E-07	-6,31E-07	-5,68E-07	-3,77E-07	-2,78E-07	-3,24E-07	-4,91E-07	-7,25E-07	-9,68E-07	-1,17E-06	-1,28E-06
Tension 9	2331,656381	5,514E-08	0	-4,84E-08	-1,15E-08	5,907E-07	2,057E-06	4,55E-06	7,886E-06	1,112E-05	1,185E-05	7,694E-06	1,696E-06	2,42E-07	4,531E-07	8,031E-07	1,022E-06	1,056E-06	9,433E-07	7,477E-07	5,342E-07	3,575E-07	2,559E-07
Tension 10	2377,377852	4,273E-07	-1,21E-10	-4,31E-07	-1,79E-06	-2,75E-06	-3E-06	-2,33E-06	-5,72E-07	2,192E-06	5,315E-06	6,813E-06	3,335E-06	2,142E-06	2,574E-06	3,092E-06	3,43E-06	3,548E-06	3,495E-06	3,343E-06	3,163E-06	3,013E-06	2,928E-06
Tension 11	2421,834923	-3,46E-07	1,145E-10	3,545E-07	1,546E-06	2,557E-06	3,241E-06	3,543E-06	3,465E-06	3,052E-06	2,44E-06	1,97E-06	3,232E-06	6,655E-06	5,029E-06	1,823E-06	-1,01E-06	-2,93E-06	-4E-06	-4,46E-06	-4,57E-06	-4,54E-06	-4,5E-06
Tension 12	2271,821844	-1,07E-07	0	1,147E-07	5,551E-07	9,74E-07	1,269E-06	1,377E-06	1,263E-06	9,347E-07	4,89E-07	2,247E-07	1,612E-06	7,317E-06	1,122E-05	1,023E-05	6,77E-06	3,232E-06	4,898E-07	-1,33E-06	-2,41E-06	-2,97E-06	-3,22E-06
Tension 13	1818,072729	4,152E-08	0	-3,32E-08	-4,57E-08	3,328E-08	1,26E-07	1,612E-07	8,38E-08	-1,23E-07	-3,97E-07	-5,22E-07	5,118E-07	5,55E-06	1,169E-05	1,639E-05	1,528E-05	1,108E-05	6,566E-06	2,85E-06	2,151E-07	-1,42E-06	-2,22E-06
Tension 14	1499,141971	1,228E-07	0	-1,13E-07	-3,59E-07	-4,39E-07	-4,27E-07	-4,03E-07	-4,33E-07	-5,38E-07	-6,75E-07	-7,08E-07	-8,07E-08	3,423E-06	8,993E-06	1,607E-05	2,099E-05	1,947E-05	1,446E-05	9,012E-06	4,492E-06	1,381E-06	-2,39E-07
Tension 15	1623,162218	1,671E-07	0	-1,56E-07	-5,15E-07	-6,62E-07	-6,78E-07	-6,5E-07	-6,38E-07	-6,61E-07	-6,87E-07	-6,46E-07	-3,19E-07	1,72E-06	5,77E-06	1,227E-05	1,989E-05	2,483E-05	2,292E-05	1,735E-05	1,143E-05	6,842E-06	4,31E-06
Tension 16	1811,980474	1,948E-07	0	-1,82E-07	-6,03E-07	-7,86E-07	-8,2E-07	-7,89E-07	-7,44E-07	-6,96E-07	-6,28E-07	-5,17E-07	-3,53E-07	6,081E-07	3,106E-06	7,934E-06	1,512E-05	2,316E-05	2,829E-05	2,645E-05	2,113E-05	1,596E-05	1,285E-05
Tension 17	1721,312021	2,126E-07	0	-1,97E-07	-6,49E-07	-8,56E-07	-9,12E-07	-8,9E-07	-8,28E-07	-7,31E-07	-5,88E-07	-4,07E-07	-2,91E-07	3,583E-09	1,269E-06	4,302E-06	9,799E-06	1,771E-05	2,654E-05	3,26E-05	3,21E-05	2,869E-05	2,605E-05
Tension 18	1504,466029	2,125E-07	0	-1,93E-07	-6,13E-07	-8,05E-07	-8,8E-07	-8,93E-07	-8,57E-07	-7,59E-07	-5,82E-07	-3,43E-07	-1,99E-07	-2,5E-07	1,619E-07	1,688E-06	5,277E-06	1,17E-05	2,099E-05	3,175E-05	4,04E-05	4,309E-05	4,305E-05
Tension 19	2099,352349	1,766E-07	1,294E-10	-1,51E-07	-4,1E-07	-5,04E-07	-5,84E-07	-6,77E-07	-7,48E-07	-7,36E-07	-5,93E-07	-3,25E-07	-1,15E-07	-2,98E-07	-4,14E-07	1,2E-08	1,975E-06	6,657E-06	1,502E-05	2,721E-05	4,171E-05	5,443E-05	6,037E-05
Tension 20	1979,671038	2,735E-08	2,563E-10	1,029E-08	3,579E-07	7,763E-07	9,909E-07	9,553E-07	7,473E-07	4,885E-07	2,858E-07	1,787E-07	-7,32E-08	-7,64E-07	-1,47E-06	-1,94E-06	-1,22E-06	1,964E-06	8,95E-06	2,06E-05	3,654E-05	5,416E-05	6,751E-05

• [2.3] Puente 2IC-Intermedia

	Constraint	Node 23	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 34	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0033918	4,134E-06	-0,002977	-0,008067	-0,008991	-0,008631	-0,007612	-0,005357	-0,002001	0,0003031	-0,002114	-0,01	-0,002939	0,0047368	0,0079677	0,0069053	0,0038928	0,0013739	0,0003667	1,41E-06	-0,001242	-0,003207
SelfWeight	1	0,0004892	-1,37E-08	-0,000512	-0,00171	-0,00135	0,0003436	0,0023652	0,0035677	0,0030891	0,0006014	-0,003611	-0,011199	-0,02866	-0,046933	-0,067939	-0,091752	-0,118654	-0,148268	-0,179081	-0,208292	-0,232081	-0,246314
Additional Load	1	0,0003679	2,494E-07	-0,000369	-0,001176	-0,000869	0,0003752	0,0018885	0,0029119	0,0028552	0,0014578	-0,001134	-0,005829	-0,016307	-0,027339	-0,040187	-0,054864	-0,071471	-0,089709	-0,108603	-0,126419	-0,140842	-0,149416
SelfWeight	1	0,0004892	-1,37E-08	-0,000512	-0,00171	-0,00135	0,0003436	0,0023652	0,0035677	0,0030891	0,0006014	-0,003611	-0,011199	-0,02866	-0,046933	-0,067939	-0,091752	-0,118654	-0,148268	-0,179081	-0,208292	-0,232081	-0,246314
Tension 1	1782,475977	3,751E-06	4,353E-10	-3,87E-06	-1,68E-05	-2,65E-05	-3,12E-05	-3,1E-05	-2,71E-05	-2,11E-05	-1,41E-05	-7,24E-06	1,463E-07	7,018E-06	1,316E-05	1,956E-05	2,602E-05	3,247E-05	3,88E-05	4,475E-05	4,995E-05	5,391E-05	5,615E-05
Tension 2	1739,013533	2,395E-06	4,541E-10	-2,51E-06	-1,24E-05	-2,11E-05	-2,62E-05	-2,7E-05	-2,42E-05	-1,91E-05	-1,3E-05	-6,71E-06	1,018E-07	6,443E-06	1,208E-05	1,794E-05	2,385E-05	2,973E-05	3,549E-05	4,091E-05	4,563E-05	4,922E-05	5,125E-05
Tension 3	1666,823334	-6,29E-07	4,354E-10	6,804E-07	1,829E-06	-2,22E-06	-8,08E-06	-1,23E-05	-1,36E-05	-1,22E-05	-8,95E-06	-4,91E-06	-6,91E-08	4,449E-06	8,368E-06	1,242E-05	1,651E-05	2,057E-05	2,456E-05	2,83E-05	3,156E-05	3,404E-05	3,544E-05
Tension 4	1592,112733	-1,91E-06	3,356E-10	2,026E-06	9,291E-06	1,333E-05	9,819E-06	3,231E-06	-2,18E-06	-4,81E-06	-4,79E-06	-3,11E-06	-2,53E-07	2,532E-06	4,849E-06	7,215E-06	9,586E-06	1,195E-05	1,426E-05	1,643E-05	1,832E-05	1,976E-05	2,057E-05
Tension 5	1426,091048	-2,04E-06	2,132E-10	2,161E-06	1,049E-05	1,845E-05	2,187E-05	1,697E-05	9,037E-06	2,659E-06	-6,78E-07	-1,42E-06	-4,24E-07	9,905E-07	2,103E-06	3,197E-06	4,27E-06	5,328E-06	6,36E-06	7,33E-06	8,173E-06	8,813E-06	9,173E-06
Tension 6	1230,474519	-1,56E-06	1,04E-10	1,65E-06	8,24E-06	1,578E-05	2,249E-05	2,464E-05	1,861E-05	1,009E-05	3,648E-06	3,875E-07	-5,07E-07	-7,24E-08	3,323E-07	6,829E-07	9,764E-07	1,231E-06	1,46E-06	1,666E-06	1,84E-06	1,971E-06	2,044E-06
Tension 7	1108,029311	-9,03E-07	0	9,553E-07	4,914E-06	1,01E-05	1,619E-05	2,181E-05	2,332E-05	1,697E-05	8,671E-06	2,828E-06	-3,46E-07	-7,14E-07	-6,05E-07	-5,16E-07	-5,11E-07	-5,79E-07	-6,93E-07	-8,24E-07	-9,5E-07	-1,05E-06	-1,11E-06
Tension 8	1064,416784	-3,21E-07	0	3,423E-07	1,904E-06	4,451E-06	8,332E-06	1,347E-05	1,865E-05	2,021E-05	1,412E-05	6,475E-06	3,815E-07	-9,83E-07	-9,51E-07	-7,88E-07	-7,01E-07	-7,23E-07	-8,29E-07	-9,78E-07	-1,13E-06	-1,26E-06	-1,33E-06
Tension 9	1261,586274	8,687E-08	0	-8,48E-08	-1,99E-07	3,179E-07	1,946E-06	5,082E-06	9,754E-06	1,488E-05	1,676E-05	1,108E-05	2,179E-06	-7,28E-07	-8,6E-07	-5,27E-07	-1,74E-07	6,06E-08	1,727E-07	1,985E-07	1,786E-07	1,462E-07	1,238E-07
Tension 10	1605,77395	2,941E-07	0	-2,99E-07	-1,25E-06	-1,83E-06	-1,68E-06	-4,47E-07	2,244E-06	6,501E-06	1,142E-05	1,338E-05	5,407E-06	5,75E-07	-2,49E-07	-8,91E-08	3,776E-07	8,432E-07	1,21E-06	1,469E-06	1,641E-06	1,748E-06	1,801E-06
Tension 11	1316,918254	-1,54E-07	0	1,587E-07	6,741E-07	1,023E-06	1,103E-06	8,941E-07	4,576E-07	-3,83E-08	-2,25E-07	6,041E-07	5,455E-06	1,313E-05	1,083E-05	5,737E-06	1,471E-06	-1,25E-06	-2,7E-06	-3,34E-06	-3,55E-06	-3,58E-06	-3,57E-06
Tension 12	1318,622724	-9,09E-08	0	9,726E-08	4,519E-07	7,323E-07	8,392E-07	7,286E-07	3,987E-07	-9,47E-08	-5,68E-07	-5,59E-07	2,135E-06	1,051E-05	1,577E-05	1,347E-05	8,075E-06	3,227E-06	-1,4E-07	-2,16E-06	-3,24E-06	-3,76E-06	-3,97E-06
Tension 13	1317,362856	2,073E-09	0	5,172E-09	9,188E-08	2,091E-07	2,825E-07	2,63E-07	1,203E-07	-1,52E-07	-4,98E-07	-7,1E-07	3,234E-07	5,768E-06	1,288E-05	1,852E-05	1,65E-05	1,096E-05	5,56E-06	1,46E-06	-1,26E-06	-2,87E-06	-3,64E-06
Tension 14	1271,591459	8,213E-08	0	-7,43E-08	-2,21E-07	-2,53E-07	-2,22E-07	-1,81E-07	-1,72E-07	-2,31E-07	-3,71E-07	-5,4E-07	-3,69E-07	2,319E-06	7,691E-06	1,555E-05	2,155E-05	1,973E-05	1,396E-05	7,973E-06	3,189E-06	-2,32E-08	-1,67E-06
Tension 15	1233,839312	1,461E-07	0	-1,37E-07	-4,66E-07	-6,14E-07	-6,23E-07	-5,47E-07	-4,39E-07	-3,46E-07	-3,07E-07	-3,52E-07	-4,95E-07	4,658E-07	3,682E-06	1,002E-05	1,853E-05	2,473E-05	2,298E-05	1,707E-05	1,085E-05	6,064E-06	3,438E-06
Tension 16	1259,076894	1,923E-07	0	-1,82E-07	-6,3E-07	-8,47E-07	-8,79E-07	-7,85E-07	-6,23E-07	-4,4E-07	-2,83E-07	-2,1E-07	-4,02E-07	-3,24E-07	1,262E-06	5,366E-06	1,255E-05	2,157E-05	2,8E-05	2,665E-05	2,135E-05	1,611E-05	1,294E-05
Tension 17	1412,099962	2,082E-07	0	-1,94E-07	-6,47E-07	-8,41E-07	-8,46E-07	-7,33E-07	-5,57E-07	-3,61E-07	-1,79E-07	-6,8E-08	-2,61E-07	-6E-07	-8,06E-08	2,086E-06	6,96E-06	1,494E-05	2,468E-05	3,202E-05	3,23E-05	2,93E-05	2,684E-05
Tension 18	1690,851504	1,823E-07	0	-1,62E-07	-4,63E-07	-5,09E-07	-4,27E-07	-2,99E-07	-1,67E-07	-4,4E-08	6,173E-08	1,132E-07	-1,4E-07	-7,09E-07	-8,54E-07	-8,91E-08	2,673E-06	8,548E-06	1,793E-05	2,952E-05	3,936E-05	4,295E-05	4,339E-05
Tension 19	1852,6099	9,69E-08	1,152E-10	-6,76E-08	5,177E-09	2,791E-07	5,338E-07	6,733E-07	6,909E-07	6,274E-07	5,269E-07	3,906E-07	-5,99E-08	-8,69E-07	-1,48E-06	-1,69E-06	-5,21E-07	3,391E-06	1,13E-05	2,357E-05	3,864E-05	5,212E-05	5,857E-05
Tension 20	1804,788734	-6,33E-08	2,444E-10	1,058E-07	8,267E-07	1,638E-06	2,176E-06	2,329E-06	2,151E-06	1,767E-06	1,301E-06	8,144E-07	-2,34E-08	-1,2E-06	-2,24E-06	-3,15E-06	-3,05E-06	-5,53E-07	5,92E-06	1,746E-05	3,371E-05	5,185E-05	6,558E-05

• [3.1] Puente 1CV-Abanico

	Constraint	Node 165	Node 176	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0032034	-0,01	4,043E-06	-0,002835	-0,00811	-0,009573	-0,009464	-0,008119	-0,005096	-0,001316	0,0001141	-0,003511	-0,000805	0,0076988	0,01	0,0068432	0,0023441	-0,00031	-0,001024	-0,00165	-0,003537	-0,005891
SelfWeight	1	0,0003218	-0,011189	2,134E-07	-0,000329	-0,000932	-0,000225	0,001389	0,0028897	0,0032724	0,0019732	-0,000942	-0,004872	-0,026688	-0,042497	-0,060181	-0,080027	-0,102618	-0,127878	-0,154569	-0,180159	-0,201113	-0,213638
Additional Load	1	0,000173	-0,006289	2,69E-07	-0,00017	-0,00032	0,000483	0,0019031	0,0032097	0,0036918	0,0029366	0,0009584	-0,001836	-0,016625	-0,027215	-0,039217	-0,052816	-0,068365	-0,08577	-0,104158	-0,121781	-0,136213	-0,144848
SelfWeight	1	0,0003218	-0,011189	2,134E-07	-0,000329	-0,000932	-0,000225	0,001389	0,0028897	0,0032724	0,0019732	-0,000942	-0,004872	-0,026688	-0,042497	-0,060181	-0,080027	-0,102618	-0,127878	-0,154569	-0,180159	-0,201113	-0,213638
Tension 1	1635,313601	3,791E-06	1,502E-07	4,271E-10	-3,91E-06	-1,69E-05	-2,67E-05	-3,13E-05	-3,11E-05	-2,72E-05	-2,11E-05	-1,41E-05	-7,19E-06	6,979E-06	1,312E-05	1,951E-05	2,591E-05	3,225E-05	3,843E-05	4,424E-05	4,929E-05	5,314E-05	5,532E-05
Tension 2	1599,841434	2,455E-06	1,026E-07	4,497E-10	-2,57E-06	-1,27E-05	-2,16E-05	-2,66E-05	-2,73E-05	-2,45E-05	-1,93E-05	-1,3E-05	-6,72E-06	6,44E-06	1,211E-05	1,801E-05	2,391E-05	2,977E-05	3,548E-05	4,083E-05	4,55E-05	4,905E-05	5,106E-05
Tension 3	1500,327997	-5,99E-07	-7,3E-08	4,357E-10	6,492E-07	1,648E-06	-2,64E-06	-8,67E-06	-1,29E-05	-1,41E-05	-1,25E-05	-9,14E-06	-4,99E-06	4,479E-06	8,443E-06	1,254E-05	1,665E-05	2,073E-05	2,472E-05	2,846E-05	3,172E-05	3,42E-05	3,56E-05
Tension 4	1403,842016	-1,92E-06	-2,62E-07	3,371E-10	2,037E-06	9,328E-06	1,331E-05	9,568E-06	2,801E-06	-2,63E-06	-5,15E-06	-4,99E-06	-3,2E-06	2,552E-06	4,891E-06	7,278E-06	9,661E-06	1,203E-05	1,434E-05	1,651E-05	1,84E-05	1,984E-05	2,065E-05
Tension 5	1237,885807	-2,06E-06	-4,34E-07	2,131E-10	2,184E-06	1,06E-05	1,867E-05	2,21E-05	1,7E-05	8,884E-06	2,479E-06	-7,99E-07	-1,47E-06	9,805E-07	2,089E-06	3,175E-06	4,234E-06	5,272E-06	6,283E-06	7,231E-06	8,057E-06	8,684E-06	9,037E-06
Tension 6	1030,458878	-1,58E-06	-5,1E-07	1,011E-10	1,67E-06	8,353E-06	1,606E-05	2,3E-05	2,529E-05	1,909E-05	1,036E-05	3,802E-06	4,643E-07	-1,34E-07	2,39E-07	5,645E-07	8,337E-07	1,064E-06	1,27E-06	1,455E-06	1,613E-06	1,731E-06	1,797E-06
Tension 7	929,4204564	-9,03E-07	-3,03E-07	0	9,546E-07	4,926E-06	1,02E-05	1,654E-05	2,254E-05	2,438E-05	1,793E-05	9,354E-06	3,216E-06	-8,34E-07	-7,7E-07	-6,98E-07	-7,01E-07	-7,78E-07	-9,01E-07	-1,04E-06	-1,17E-06	-1,28E-06	-1,34E-06
Tension 8	1016,104887	-3,02E-07	5,486E-07	0	3,216E-07	1,82E-06	4,368E-06	8,4E-06	1,391E-05	1,967E-05	2,171E-05	1,551E-05	7,392E-06	-1,16E-06	-1,19E-06	-1,02E-06	-8,97E-07	-8,88E-07	-9,68E-07	-1,09E-06	-1,23E-06	-1,34E-06	-1,41E-06
Tension 9	1203,917898	1,11E-07	2,55E-06	0	-1,1E-07	-3,04E-07	1,816E-07	1,893E-06	5,299E-06	1,048E-05	1,628E-05	1,86E-05	1,256E-05	-9,29E-07	-1,18E-06	-8,28E-07	-4,1E-07	-9,81E-08	8,806E-08	1,815E-07	2,201E-07	2,326E-07	2,358E-07
Tension 10	1239,000556	3,08E-07	5,927E-06	-1,12E-10	-3,14E-07	-1,3E-06	-1,89E-06	-1,68E-06	-2,72E-07	2,735E-06	7,456E-06	1,285E-05	1,486E-05	4,601E-07	-5,5E-07	-4,24E-07	8,924E-08	6,347E-07	1,091E-06	1,441E-06	1,694E-06	1,864E-06	1,954E-06
Tension 11	1187,781599	-1,55E-07	6,007E-06	0	1,596E-07	6,743E-07	1,003E-06	1,034E-06	7,555E-07	2,426E-07	-3,07E-07	-4,72E-07	5,292E-07	1,463E-05	1,224E-05	6,639E-06	1,885E-06	-1,17E-06	-2,81E-06	-3,56E-06	-3,85E-06	-3,93E-06	-3,94E-06
Tension 12	1315,356703	-9,73E-08	2,545E-06	0	1,041E-07	4,788E-07	7,585E-07	8,342E-07	6,629E-07	2,527E-07	-3,19E-07	-8,23E-07	-7,11E-07	1,202E-05	1,758E-05	1,479E-05	6,68E-06	3,304E-06	-3,61E-07	-2,52E-06	-3,66E-06	-4,2E-06	-4,42E-06
Tension 13	1254,477517	-3,8E-09	5,125E-07	0	1,136E-08	1,174E-07	2,413E-07	3,018E-07	2,49E-07	5,662E-08	-2,71E-07	-6,55E-07	-8,31E-07	6,674E-06	1,422E-05	1,991E-05	1,735E-05	1,119E-05	5,381E-06	1,08E-06	-1,71E-06	-3,34E-06	-4,1E-06
Tension 14	1068,603836	7,974E-08	-3,17E-07	0	-7,18E-08	-2,12E-07	-2,42E-07	-2,18E-07	-1,91E-07	-2,04E-07	-2,87E-07	-4,45E-07	-6,04E-07	2,668E-06	8,298E-06	1,639E-05	2,243E-05	2,022E-05	1,401E-05	7,724E-06	2,792E-06	-4,79E-07	-2,15E-06
Tension 15	972,2648706	1,454E-07	-4,95E-07	0	-1,37E-07	-4,67E-07	-6,17E-07	-6,29E-07	-5,56E-07	-4,51E-07	-3,61E-07	-3,24E-07	-3,67E-07	5,055E-07	3,772E-06	1,02E-05	1,887E-05	2,519E-05	2,323E-05	1,703E-05	1,06E-05	5,706E-06	3,032E-06
Tension 16	1095,178554	1,904E-07	-4,12E-07	0	-1,8E-07	-6,25E-07	-8,4E-07	-8,68E-07	-7,68E-07	-6E-07	-4,13E-07	-2,56E-07	-1,91E-07	-4,02E-07	1,118E-06	5,155E-06	1,234E-05	2,149E-05	2,808E-05	2,667E-05	2,123E-05	1,589E-05	1,267E-05
Tension 17	1327,962636	2,055E-07	-2,7E-07	0	-1,92E-07	-6,39E-07	-8,29E-07	-8,29E-07	-7,09E-07	-5,28E-07	-3,25E-07	-1,41E-07	-3,81E-08	-6,92E-07	-2,56E-07	1,797E-06	6,558E-06	1,452E-05	2,44E-05	3,195E-05	3,227E-05	2,924E-05	2,676E-05
Tension 18	1546,137899	1,75E-07	-1,47E-07	0	-1,55E-07	-4,33E-07	-4,61E-07	-3,64E-07	-2,25E-07	-8,72E-08	3,532E-08	1,322E-07	1,611E-07	-8E-07	-1,02E-06	-3,72E-07	2,232E-06	7,958E-06	1,73E-05	2,902E-05	3,909E-05	4,281E-05	4,331E-05
Tension 19	1647,811104	8,228E-08	-6,73E-08	1,151E-10	-5,29E-08	6,931E-08	3,876E-07	6,765E-07	8,372E-07	8,616E-07	7,88E-07	6,572E-07	4,682E-07	-9,74E-07	-1,67E-06	-1,97E-06	-9,53E-07	2,756E-06	1,048E-05	2,268E-05	3,784E-05	5,148E-05	5,804E-05
Tension 20	1576,183572	-8,45E-08	-3,29E-08	2,431E-10	1,273E-07	9,215E-07	1,8E-06	2,39E-06	2,575E-06	2,407E-06	2,006E-06	1,491E-06	9,217E-07	-1,33E-06	-2,46E-06	-3,44E-06	-3,47E-06	-1,16E-06	5,072E-06	1,641E-05	3,255E-05	5,068E-05	6,445E-05

- [3.2] Puente 1CV-Arpa

	Constraint	Node 165	Node 176	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Value	0,0040618	-0,01	4,307E-06	-0,003522	-0,008981	-0,008256	-0,00431	0,0013678	0,0070559	0,01	0,0075338	-0,000257	-0,00394	0,0029402	0,0056362	0,0048215	0,0025239	0,0004644	-0,000329	0,0004702	0,0021133	0,0027271
SelfWeight	1	0,002051	-0,011813	1,717E-07	-0,002112	-0,009143	-0,014635	-0,017669	-0,018171	-0,016583	-0,013677	-0,010545	-0,008685	-0,031997	-0,054253	-0,079206	-0,105639	-0,132965	-0,160529	-0,187209	-0,211235	-0,230209	-0,241402
Additional Load	1	0,001409	-0,006838	2,548E-07	-0,00144	-0,006124	-0,009665	-0,011497	-0,011594	-0,010274	-0,008093	-0,005846	-0,004606	-0,020204	-0,035071	-0,051902	-0,069808	-0,088323	-0,106965	-0,124975	-0,141174	-0,153971	-0,161535
SelfWeight	1	0,002051	-0,011813	1,717E-07	-0,002112	-0,009143	-0,014635	-0,017669	-0,018171	-0,016583	-0,013677	-0,010545	-0,008685	-0,031997	-0,054253	-0,079206	-0,105639	-0,132965	-0,160529	-0,187209	-0,211235	-0,230209	-0,241402
Tension 1	1546,346114	3,576E-06	5,705E-08	4,029E-10	-3,69E-06	-1,6E-05	-2,52E-05	-2,98E-05	-2,99E-05	-2,64E-05	-2,08E-05	-1,42E-05	-7,48E-06	6,986E-06	1,291E-05	1,913E-05	2,563E-05	3,241E-05	3,931E-05	4,6E-05	5,196E-05	5,655E-05	5,917E-05
Tension 2	1575,479803	2,184E-06	1,745E-08	4,242E-10	-2,29E-06	-1,14E-05	-1,96E-05	-2,44E-05	-2,54E-05	-2,31E-05	-1,85E-05	-1,28E-05	-6,84E-06	6,367E-06	1,178E-05	1,747E-05	2,341E-05	2,958E-05	3,585E-05	4,19E-05	4,729E-05	5,143E-05	5,378E-05
Tension 3	1663,80248	-8,27E-07	-1,3E-07	4,054E-10	8,866E-07	2,885E-06	-9,23E-08	-5,16E-06	-9,21E-06	-1,1E-05	-1,04E-05	-7,95E-06	-4,57E-06	4,166E-06	7,82E-06	1,166E-05	1,567E-05	1,982E-05	2,399E-05	2,797E-05	3,147E-05	3,414E-05	3,566E-05
Tension 4	1628,954561	-1,97E-06	-2,73E-07	3,125E-10	2,093E-06	9,676E-06	1,44E-05	1,208E-05	6,405E-06	1,096E-06	-2,17E-06	-3,14E-06	-2,39E-06	2,168E-06	4,279E-06	6,527E-06	8,874E-06	1,128E-05	1,365E-05	1,587E-05	1,779E-05	1,923E-05	2,004E-05
Tension 5	1541,235644	-2,01E-06	-3,64E-07	2,042E-10	2,132E-06	1,036E-05	1,836E-05	2,23E-05	1,874E-05	1,182E-05	5,487E-06	1,396E-06	-3,58E-07	6,414E-07	1,644E-06	2,757E-06	3,918E-06	5,071E-06	6,158E-06	7,127E-06	7,927E-06	8,512E-06	8,835E-06
Tension 6	1554,283962	-1,54E-06	-3,34E-07	1,111E-10	1,626E-06	8,105E-06	1,547E-05	2,2E-05	2,446E-05	1,977E-05	1,224E-05	5,719E-06	1,652E-06	-3,44E-07	5,768E-09	4,646E-07	9,274E-07	1,331E-06	1,645E-06	1,87E-06	2,019E-06	2,109E-06	2,154E-06
Tension 7	1737,00576	-9,3E-07	-7,57E-08	0	9,83E-07	5,013E-06	1,012E-05	1,586E-05	2,089E-05	2,227E-05	1,711E-05	9,719E-06	3,805E-06	-7,88E-07	-7,14E-07	-5,2E-07	-3,64E-07	-3,09E-07	-3,56E-07	-4,74E-07	-6,18E-07	-7,46E-07	-8,23E-07
Tension 8	2063,702896	-3,84E-07	5,525E-07	0	4,089E-07	2,202E-06	4,846E-06	8,476E-06	1,283E-05	1,677E-05	1,757E-05	1,254E-05	6,032E-06	-6,42E-07	-5,85E-07	-3,95E-07	-2,88E-07	-3,21E-07	-4,71E-07	-6,88E-07	-9,15E-07	-1,1E-06	-1,21E-06
Tension 9	2383,64678	4,504E-08	1,69E-06	0	-3,81E-08	2,836E-08	6,423E-07	2,098E-06	4,563E-06	7,864E-06	1,107E-05	1,179E-05	7,642E-06	2,645E-07	4,582E-07	7,663E-07	9,328E-07	9,146E-07	7,54E-07	5,178E-07	2,721E-07	7,251E-08	-4,16E-08
Tension 10	2501,062614	3,756E-07	3,334E-06	0	-3,78E-07	-1,57E-06	-2,43E-06	-2,67E-06	-2,07E-06	-4,47E-07	2,173E-06	5,198E-06	6,692E-06	2,232E-06	2,621E-06	3,007E-06	3,164E-06	3,088E-06	2,849E-06	2,532E-06	2,216E-06	1,968E-06	1,829E-06
Tension 11	2171,740365	-2,93E-07	3,212E-06	0	2,998E-07	1,315E-06	2,206E-06	2,857E-06	3,212E-06	3,249E-06	2,976E-06	2,477E-06	2,041E-06	6,499E-06	4,863E-06	1,751E-06	-9,21E-07	-2,66E-06	-3,55E-06	-3,85E-06	-3,83E-06	-3,7E-06	-3,61E-06
Tension 12	1994,771789	-9,67E-08	1,602E-06	0	1,041E-07	5,084E-07	9,009E-07	1,186E-06	1,302E-06	1,211E-06	9,127E-07	4,942E-07	2,407E-07	7,257E-06	1,114E-05	1,015E-05	6,713E-06	3,211E-06	5,125E-07	-1,27E-06	-2,31E-06	-2,85E-06	-3,08E-06
Tension 13	1734,955893	3,349E-08	5,066E-07	0	-2,51E-08	-1,33E-08	7,918E-08	1,717E-07	1,954E-07	1,006E-07	-1,23E-07	-4,06E-07	-5,31E-07	5,531E-06	1,165E-05	1,632E-05	1,516E-05	1,094E-05	6,394E-06	2,667E-06	2,88E-08	-1,61E-06	-2,41E-06
Tension 14	1635,695594	1,113E-07	-8,26E-08	0	-1,02E-07	-3,11E-07	-3,71E-07	-3,57E-07	-3,5E-07	-4,04E-07	-5,35E-07	-6,88E-07	-7,22E-07	3,418E-06	8,963E-06	1,6E-05	2,088E-05	1,929E-05	1,424E-05	8,764E-06	4,227E-06	1,107E-06	-5,16E-07
Tension 15	1603,328331	1,592E-07	-3,19E-07	0	-1,48E-07	-4,83E-07	-6,18E-07	-6,34E-07	-6,16E-07	-6,21E-07	-6,59E-07	-6,95E-07	-6,55E-07	1,715E-06	5,74E-06	1,22E-05	1,978E-05	2,469E-05	2,274E-05	1,713E-05	1,119E-05	6,598E-06	4,062E-06
Tension 16	1609,543574	1,925E-07	-3,52E-07	0	-1,79E-07	-5,95E-07	-7,76E-07	-8,11E-07	-7,83E-07	-7,41E-07	-6,96E-07	-6,28E-07	-5,15E-07	5,983E-07	3,073E-06	7,87E-06	1,502E-05	2,305E-05	2,816E-05	2,631E-05	2,097E-05	1,579E-05	1,267E-05
Tension 17	1610,191518	2,142E-07	-2,88E-07	0	-1,99E-07	-6,57E-07	-8,68E-07	-9,24E-07	-8,99E-07	-8,3E-07	-7,25E-07	-5,77E-07	-3,95E-07	-1,16E-08	1,234E-06	4,24E-06	9,71E-06	1,76E-05	2,643E-05	3,25E-05	3,199E-05	2,858E-05	2,594E-05
Tension 18	1536,57522	2,149E-07	-1,97E-07	0	-1,96E-07	-6,24E-07	-8,2E-07	-8,94E-07	-9E-07	-8,54E-07	-7,46E-07	-5,64E-07	-3,27E-07	-2,67E-07	1,291E-07	1,634E-06	5,195E-06	1,159E-05	2,086E-05	3,162E-05	4,028E-05	4,297E-05	4,293E-05
Tension 19	1954,048969	1,748E-07	-1,14E-07	1,28E-10	-1,5E-07	-4,02E-07	-4,9E-07	-5,61E-07	-6,49E-07	-7,18E-07	-7,07E-07	-5,7E-07	-3,1E-07	-3,12E-07	-4,45E-07	-4,62E-08	1,88E-06	6,519E-06	1,485E-05	2,701E-05	4,15E-05	5,422E-05	6,016E-05
Tension 20	1908,568657	1,7E-08	-7,15E-08	2,6E-10	2,083E-08	4,025E-07	8,464E-07	1,073E-06	1,034E-06	8,103E-07	5,286E-07	3,031E-07	1,821E-07	-7,67E-07	-1,5E-06	-2E-06	-1,34E-06	1,777E-06	8,694E-06	2,029E-05	3,62E-05	5,38E-05	6,714E-05

• [3.3] Puente 1CV-Intermedia

	Constraint	Node 165	Node 176	Node 24	Node 25	Node 26	Node 27	Node 28	Node 29	Node 30	Node 31	Node 32	Node 33	Node 36	Node 37	Node 38	Node 39	Node 40	Node 41	Node 42	Node 43	Node 44	Node 45	
Factor	Upper Bound	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	Lower Bound	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
	Value	0,0032959	-0,01	4,227E-06	-0,002896	-0,007998	-0,009062	-0,008821	-0,007965	-0,006018	-0,003054	-0,000958	-0,003072	-0,003014	0,0045761	0,0080287	0,0072665	0,0042994	0,001427	-0,000176	-0,001021	-0,002334	-0,00404	
SelfWeight		1	0,0005551	-0,010359	1,925E-07	-0,000566	-0,001937	-0,001764	-0,000252	0,0016513	0,0028563	0,0025293	0,0003308	-0,003496	-0,025837	-0,041976	-0,060582	-0,081744	-0,105691	-0,132043	-0,159406	-0,185252	-0,206192	-0,218633
Additional Load		1	0,0003466	-0,005722	2,533E-07	-0,000347	-0,001072	-0,000681	0,0006362	0,0022061	0,0032617	0,0032042	0,0017631	-0,000917	-0,016077	-0,026954	-0,039653	-0,054204	-0,070711	-0,088874	-0,107713	-0,125493	-0,139896	-0,148461
SelfWeight		1	0,0005551	-0,010359	1,925E-07	-0,000566	-0,001937	-0,001764	-0,000252	0,0016513	0,0028563	0,0025293	0,0003308	-0,003496	-0,025837	-0,041976	-0,060582	-0,081744	-0,105691	-0,132043	-0,159406	-0,185252	-0,206192	-0,218633
Tension 1	1637,11006		3,752E-06	1,499E-07	4,337E-10	-3,87E-06	-1,68E-05	-2,65E-05	-3,11E-05	-3,09E-05	-2,71E-05	-2,1E-05	-1,41E-05	-7,23E-06	7,022E-06	1,315E-05	1,952E-05	2,596E-05	3,238E-05	3,869E-05	4,463E-05	4,982E-05	5,378E-05	5,601E-05
Tension 2	1598,440087		2,395E-06	1,058E-07	4,527E-10	-2,51E-06	-1,24E-05	-2,11E-05	-2,62E-05	-2,69E-05	-2,42E-05	-1,91E-05	-1,29E-05	-6,7E-06	6,447E-06	1,207E-05	1,791E-05	2,379E-05	2,965E-05	3,539E-05	4,079E-05	4,55E-05	4,909E-05	5,112E-05
Tension 3	1536,67335		-6,27E-07	-6,38E-08	4,344E-10	6,791E-07	1,82E-06	-2,25E-06	-8,11E-06	-1,23E-05	-1,36E-05	-1,22E-05	-8,94E-06	-4,9E-06	4,45E-06	8,355E-06	1,239E-05	1,645E-05	2,05E-05	2,447E-05	2,82E-05	3,145E-05	3,393E-05	3,533E-05
Tension 4	1473,267469		-1,9E-06	-2,47E-07	3,347E-10	2,022E-06	9,271E-06	1,329E-05	9,752E-06	3,153E-06	-2,25E-06	-4,85E-06	-4,81E-06	-3,11E-06	2,531E-06	4,836E-06	7,186E-06	9,541E-06	1,189E-05	1,419E-05	1,635E-05	1,823E-05	1,966E-05	2,047E-05
Tension 5	1324,426674		-2,03E-06	-4,21E-07	2,124E-10	2,154E-06	1,045E-05	1,839E-05	2,178E-05	1,685E-05	8,91E-06	2,558E-06	-7,36E-07	-1,44E-06	9,913E-07	2,094E-06	3,175E-06	4,235E-06	5,281E-06	6,303E-06	7,264E-06	8,1E-06	8,735E-06	9,093E-06
Tension 6	1143,924513		-1,55E-06	-5,13E-07	1,036E-10	1,64E-06	8,194E-06	1,57E-05	2,237E-05	2,449E-05	1,844E-05	9,923E-06	3,527E-06	3,255E-07	-6,53E-08	3,328E-07	6,722E-07	9,544E-07	1,199E-06	1,421E-06	1,62E-06	1,789E-06	1,917E-06	1,987E-06
Tension 7	1026,113017		-8,95E-07	-3,68E-07	0	9,466E-07	4,87E-06	1,001E-05	1,606E-05	2,165E-05	2,313E-05	1,676E-05	8,481E-06	2,707E-06	-6,99E-07	-5,91E-07	-5,13E-07	-5,19E-07	-5,97E-07	-7,18E-07	-8,55E-07	-9,84E-07	-1,09E-06	-1,15E-06
Tension 8	975,570941		-3,16E-07	3,386E-07	0	3,368E-07	1,874E-06	4,384E-06	8,219E-06	1,331E-05	1,846E-05	1,999E-05	1,389E-05	6,299E-06	-9,62E-07	-9,24E-07	-7,71E-07	-6,97E-07	-7,31E-07	-8,46E-07	-1E-06	-1,16E-06	-1,28E-06	-1,36E-06
Tension 9	1149,816956		8,859E-08	2,127E-06	0	-8,67E-08	-2,13E-07	2,792E-07	1,868E-06	4,955E-06	9,577E-06	1,468E-05	1,656E-05	1,09E-05	-7,07E-07	-8,25E-07	-5E-07	-1,61E-07	6,107E-08	1,633E-07	1,827E-07	1,591E-07	1,247E-07	1,014E-07
Tension 10	1470,103549		2,949E-07	5,399E-06	0	-3E-07	-1,26E-06	-1,85E-06	-1,73E-06	-5,36E-07	2,11E-06	6,336E-06	1,128E-05	1,33E-05	5,909E-07	-2,27E-07	-6,63E-08	3,957E-07	8,549E-07	1,216E-06	1,471E-06	1,641E-06	1,745E-06	1,799E-06
Tension 11	1209,431449		-1,54E-07	5,443E-06	0	1,581E-07	6,716E-07	1,021E-06	1,102E-06	8,983E-07	4,683E-07	-2,16E-08	-2,06E-07	6,176E-07	1,304E-05	1,067E-05	5,569E-06	1,346E-06	-1,32E-06	-2,72E-06	-3,32E-06	-3,51E-06	-3,53E-06	-3,51E-06
Tension 12	1218,449952		-8,9E-08	2,076E-06	0	9,526E-08	4,434E-07	7,201E-07	8,283E-07	7,25E-07	4,076E-07	-7,16E-08	-5,37E-07	-5,41E-07	1,033E-05	1,556E-05	1,326E-05	7,905E-06	3,118E-06	-1,86E-07	-2,15E-06	-3,2E-06	-3,69E-06	-3,89E-06
Tension 13	1228,106876		3,556E-09	2,765E-07	0	3,586E-09	8,466E-08	1,981E-07	2,716E-07	2,573E-07	1,249E-07	-1,34E-07	-4,71E-07	-6,9E-07	5,584E-06	1,264E-05	1,83E-05	1,631E-05	1,081E-05	5,465E-06	1,42E-06	-1,26E-06	-2,84E-06	-3,59E-06
Tension 14	1191,571787		8,25E-08	-3,92E-07	0	-7,47E-08	-2,24E-07	-2,57E-07	-2,27E-07	-1,83E-07	-1,69E-07	-2,2E-07	-3,53E-07	-5,24E-07	2,195E-06	7,494E-06	1,533E-05	2,135E-05	1,955E-05	1,382E-05	7,879E-06	3,137E-06	-4,27E-08	-1,67E-06
Tension 15	1152,476875		1,455E-07	-4,99E-07	0	-1,37E-07	-4,65E-07	-6,13E-07	-6,23E-07	-5,46E-07	-4,36E-07	-3,4E-07	-2,98E-07	-3,41E-07	4,046E-07	3,555E-06	9,842E-06	1,833E-05	2,455E-05	2,282E-05	1,694E-05	1,074E-05	5,982E-06	3,371E-06
Tension 16	1163,037145		1,913E-07	-3,98E-07	0	-1,81E-07	-6,27E-07	-8,43E-07	-8,75E-07	-7,82E-07	-6,2E-07	-4,38E-07	-2,81E-07	-2,06E-07	-3,41E-07	1,201E-06	5,247E-06	1,239E-05	2,139E-05	2,783E-05	2,65E-05	2,121E-05	1,598E-05	1,281E-05
Tension 17	1289,796563		2,071E-07	-2,53E-07	0	-1,93E-07	-6,43E-07	-8,36E-07	-8,42E-07	-7,3E-07	-5,56E-07	-3,62E-07	-1,8E-07	-6,81E-08	-5,91E-07	-9,57E-08	2,026E-06	6,848E-06	1,479E-05	2,451E-05	3,186E-05	3,213E-05	2,912E-05	2,666E-05
Tension 18	1536,333332		1,812E-07	-1,33E-07	0	-1,61E-07	-4,6E-07	-5,06E-07	-4,24E-07	-2,98E-07	-1,68E-07	-4,82E-08	5,606E-08	1,093E-07	-6,87E-07	-8,39E-07	-1,04E-07	2,612E-06	8,436E-06	1,778E-05	2,934E-05	3,918E-05	4,275E-05	4,318E-05
Tension 19	1681,619909		9,582E-08	-5,36E-08	1,152E-10	-6,66E-08	7,956E-09	2,816E-07	5,345E-07	6,711E-07	6,854E-07	6,189E-07	5,171E-07	3,834E-07	-8,42E-07	-1,45E-06	-1,68E-06	-5,43E-07	3,317E-06	1,117E-05	2,339E-05	3,844E-05	5,191E-05	5,835E-05
Tension 20	1637,464956		-6,45E-08	-1,83E-08	2,447E-10	1,069E-07	8,295E-07	1,64E-06	2,174E-06	2,323E-06	2,14E-06	1,753E-06	1,287E-06	8,042E-07	-1,17E-06	-2,21E-06	-3,12E-06	-3,05E-06	-5,99E-07	5,814E-06	1,73E-05	3,351E-05	5,163E-05	6,535E-05