



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y
PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU
CONSTRUCCIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:

MARISA AURORA MENDOZA LEÓN

ASESOR:

DR. MANUEL JARA DÍAZ

Morelia, Michoacán

Noviembre de 2020

Índice.

Índice.....	I
Lista de figuras.....	III
Lista de cuadros.....	VI
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
Introducción.....	11
1. Puentes atirantados.....	13
1.1. Descripción de un puente atirantado.....	13
1.2. Características principales de sus elementos.....	17
1.2.1. Tirantes.....	17
1.2.2. Torres.....	20
1.2.3. Tablero.....	22
1.3. Flujo de carga en un puente atirantado.....	23
2. Procedimiento de construcción de un puente atirantado.....	25
2.1. Método de avance en voladizo.....	25
2.1.1. Procedimiento constructivo con dovelas “in situ”.....	26
2.1.2. Proceso constructivo con dovelas prefabricadas.....	31
2.2. Puente empujado.....	34
2.2.1. Elementos del proceso constructivo mediante empuje.....	35
2.3. Puente sobre cimbra.....	38
3. Acciones que deben considerarse durante la construcción.....	41
3.1. Carga muerta.....	41
3.2. Cambios de temperatura y gradiente de temperatura.....	43

ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.



3.3.	Contracción y flujo plástico.....	44
3.3.1.	Contracción.....	44
3.3.2.	Flujo plástico.....	46
3.4.	Cargas accidentales.....	48
3.4.1.	Carga por viento.....	49
3.4.2.	Carga por sismo.....	51
4.	Análisis de un Puente Atirantado terminado.....	56
4.1.	Modelado de un Puente Atirantado en SAP2000.....	56
4.2.	Resultados de Análisis.....	60
4.2.1.	Peso propio del puente atirantado.....	60
4.2.2.	Carga muerta adicional.....	60
4.2.3.	Carga viva (Vehículos).....	65
5.	Análisis del puente por etapas.....	73
5.1.	Proceso constructivo del puente atirantado.....	73
5.2.	Análisis de las etapas del puente atirantado.....	76
5.2.1.	Montaje.....	76
5.2.2.	Desmontaje.....	77
6.	Parámetros de control durante la construcción.....	101
6.1.	Parámetro 1: Fuerzas Axiales.....	103
6.2.	Parámetro 2: Desplazamiento.....	104
6.3.	Parámetro 3: Momento.....	106
6.4.	Parámetro 4: Cortante.....	108
	Conclusiones.....	112
	Bibliografía.....	114



Lista de figuras.

Figura 1. Tablero con poca capacidad de carga (Carrión et al, 2005).	13
Figura 2. Tablero con alta capacidad de carga (Carrión et al. 2005).	13
Figura 3. Puente Peatonal UANL, Nuevo León, México (Garza, 2017).	16
Figura 4. Puente Tampico, Tamaulipas, México (Gonzáles, 2013).	16
Figura 5. Puente Ferroviario del Metro de Santo Domingo, República Dominicana (Urbanopolis, 2017).	16
Figura 6. Puente Atirantado del Acueducto de Tempul, Cádiz, España (Yepes, 2016).	16
Figura 7. a) Plano central de atirantamiento (González, 2013), b) Puente Dovalí Jaime (Flores, 2011).	17
Figura 8. a) Dos planos de atirantamiento (González, 2013), b) Puente Río Papaloapan (Flores, 2011)	17
Figura 9. a) Tres planos de atirantamiento (González, 2013), b) Puente Riddes (SCT, 2005).	18
Figura 10. Distribución Arpa (SCT, 2005).	19
Figura 11. a) Distribución Abanico (SCT, 2005, b) Puente Pasco-Kannewick (Wikitravel, 2010). .	19
Figura 12. Distribución Semi-Arpa (SCT, 2005).	19
Figura 13. Distribución Asimétrica (SCT, 2005).	20
Figura 14. Puente de Maracaibo Génes (Kirschbaum, 2018).	20
Figura 15. Flujo de cargas en el sistema de puentes atirantados (Pilar, 2004).	24
Figura 16. Puente Baluarte Bicentenario, construido por medio del método de avance en doble voladizo (León, 2009).	26
Figura 17. Etapas de ejecución de la dovela de pila (Gerardino, 2011).	27
Figura 18. Sección transversal de un carro de avance (Gerardino, 2011).	28
Figura 19. Carro de avance montado en posición para operar (Gerardino, 2011).	29
Figura 20. Construcción del Puente Atirantado La Concordia-Rizo De Oro en Chiapas, México (Ramírez, 2018).	34
Figura 21. Técnica de empuje por medio de gatos hidráulicos y rozamiento (Cárcamo, 2011).	37
Figura 22. Ejemplo de cimbra apoyada sobre el terreno (Yepes, 2015).	39
Figura 23. Ejemplo de cimbra auportante (Yepes, 2015).	40



Figura 24. Espectro de Respuesta de Diseño, (Rodríguez, 2017).....	52
Figura 25. Diseño de Puente Atirantado.	56
Figura 26. Dimensiones de las traveses que constituyen al tablero.	57
Figura 27. Determinación de la dimensión de la torre.....	57
Figura 28. Composición de puente atirantado y arreglo de tirantes.....	58
Figura 29. Modelación en SAP2000 del Puente Atirantado.	59
Figura 30. Puente atirantado con todos sus elementos divididos en elementos finitos.	59
Figura 31. Obtención del peso propio del puente atirantado.	60
Figura 32. Comparativa de las tensiones en los tirantes para los modelos 1 y 2.....	61
Figura 33. Comparación de desplazamientos en el tablero para los modelos 1 y 2.	61
Figura 34. Comparación de desplazamientos en las torres para los modelos 1 y 2.	61
Figura 35. Comparación de Diagramas de Cortante en la torre para los modelos 1 y 2.....	64
Figura 36. Comparación de Diagramas de Momento en la torre para los modelos 1 y 2.	64
Figura 37. Comparación de Diagramas de Cortante en el tablero para los modelos 1 y 2.	64
Figura 38. Comparación de Diagramas de Momento en el tablero para los modelos 1 y 2.	64
Figura 39. Comparativa de fuerzas axiales en los tirantes para los modelos 1 y 2.....	65
Figura 40. Planta croquis de un vehículo pesado (IAP, 1998).	66
Figura 41. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro del claro principal.	66
Figura 42. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro de uno de los claros extremos.....	66
Figura 43. Puente atirantado con carga vehicular (2 camiones) en el claro principal.	67
Figura 44. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro de ambos claros extremos.....	67
Figura 45. Diagrama de momento en el tablero para el caso A. Visualización de efecto espejo entre las mitades que componen al puente.	71
Figura 46. Diagrama de momento en el tablero para el caso B. Visualización de falta de efecto espejo entre mitades, destacando con un ovalo las diferencias entre ambas.	71
Figura 47. Fuerzas Axiales en tirantes para los casos A, B, C y D.	72
Figura 48. Realización de los primeros pares de dovelas y colocación de los tirantes T-2 y T-3. .	73
Figura 49. Realización de los siguientes pares de dovelas y colocación de los tirantes T-1 y T-4.	74
Figura 50. Realización de los últimos pares de dovelas y colocación de los tirantes T-5.	75

Figura 51. Realización del último segmento del claro principal del puente atirantado.	75
Figura 52. Fuerza Axial en tirantes para montaje.	76
Figura 53. Desmontaje de la dovela D-9.....	78
Figura 54. Desmontaje de la dovela D-8.....	80
Figura 55. Desmontaje de la dovela D-7.....	82
Figura 56. Desmontaje tirantes T-5.....	84
Figura 57. Desmontaje de la dovela D-6.....	86
Figura 58. Desmontaje de la dovela D-5.....	88
Figura 59. Desmontaje de tirantes T-1 y T-4.....	90
Figura 60. Desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.....	93
Figura 61. Desmontaje de dovelas D-3 y D-3'.....	95
Figura 62. Desmontaje de los tirantes T2 y T-3.	97
Figura 63. Desmontaje de la dovela D-2.....	99
Figura 64. Desmontaje de la dovela D-1.....	100
Figura 65. Ejemplo de cierre de dovelas en mismos niveles.	102
Figura 66. Punto de revisión para los parámetros de control en tablero.	102
Figura 67. Punto de revisión para los momentos en torre.	103
Figura 68. Punto de revisión para desplazamientos y cortantes en torre.	103



Lista de cuadros.

Cuadro 1. Puentes atirantados en el mundo. (Recopilación, 2018)	14
Cuadro 2. Tipos de torres con los que se puede diseñar un puente atirantado (Caminos, s/f)	21
Cuadro 3. Procedimiento de montaje del carro de avance (Gerardino, 2011)	28
Cuadro 4. Ejemplo de ciclo de trabajo del carro de avance (Gerardino, 2011)	30
Cuadro 5. Peso volumétrico de materiales de uso común (N-PRY-CAR-6-01-003/1)	42
Cuadro 6. Pesos específicos de algunos materiales (Allauca, 2009)	43
Cuadro 7. Valores para V_o y Z_o (Rodríguez, 2017)	49
Cuadro 8. Presión básica PB (Rodríguez, 2017)	50
Cuadro 9. PB para diferentes ángulos de ataque (Rodríguez, 2017)	50
Cuadro 10. Coeficiente de Respuesta Sísmico Elástico respecto al periodo que se presente (Rodríguez, 2017)	51
Cuadro 11. Valores de Factor de Sitio, F_{pga} (Rodríguez, 2017)	52
Cuadro 12. Valores de Factor de sitio, F_a (Rodríguez, 2017)	53
Cuadro 13. Valores de Factor de Sitito, F_V (Rodríguez, 2017)	53
Cuadro 14. Clase de sitio (Rodríguez, 2017)	53
Cuadro 15. Factores de Modificación de Respuesta (R) – Subestructuras (Rodríguez, 2017)	54
Cuadro 16. Factores de Modificación de Respuesta (R) – Conexiones (Rodríguez, 2017)	55
Cuadro 17. Calculo para la terminación de las dimensiones de la torre	57
Cuadro 18. Especificaciones para el arreglo de Tirantes	58
Cuadro 19. Tabla comparativa de tensiones	61
Cuadro 20. Tabla de modos para el modelo 1	62
Cuadro 21. Tabla de modos para el modelo 2	62
Cuadro 22. Tabla comparativa de modos para los modelos 1 y 2	63
Cuadro 23. Comparación de Fuerzas Axiales	65
Cuadro 24. Desplazamientos en el tablero y torres para los casos A, B, C y D	68
Cuadro 25. Diagramas de momentos y cortantes en las torres para los casos A, B, C y D	69
Cuadro 26. Diagramas de momentos y cortantes en el tablero para los casos A, B, C y D	70
Cuadro 27. Tabla de Fuerzas Axiales en los tirantes para los casos A, B, C, y D	72
Cuadro 28. Fuerza Axial en tirantes para montaje	76

Cuadro 29. Desplazamiento en tablero y torres al momento de realizar el montaje del puente atirantado.....	76
Cuadro 30. Diagramas de momentos en tablero y torres del puente atirantado en proceso de montaje.....	77
Cuadro 31. Diagramas de cortantes en tablero y torres del puente atirantado en proceso de montaje.....	77
Cuadro 32. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-9.	78
Cuadro 33. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-9.....	79
Cuadro 34. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-8.	80
Cuadro 35. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-8.....	81
Cuadro 36. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-7.	82
Cuadro 37. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-7.....	83
Cuadro 38. Tabla de modos para el desmontaje del tirante T-5.	84
Cuadro 39. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje del tirante T-5.....	85
Cuadro 40. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-6.	86
Cuadro 41. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-6.....	87
Cuadro 42. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-5.	88
Cuadro 43. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-5.....	89
Cuadro 44. Tabla de modos para el desmontaje de los tirantes T-1 y T-4.	90
Cuadro 45. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de los tirantes T-1 y T-4.....	91
Cuadro 46. Tabla de modos para el desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'	92
Cuadro 47. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.....	93
Cuadro 48. Tabla de modos para el desmontaje de las dovelas D-3 y D-3'	94
Cuadro 49. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de las dovelas D-3 y D-3'.....	95
Cuadro 50. Tabla de modos para el desmontaje de los tirantes T-2 y T-3.	96
Cuadro 51. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de los tirantes T-2 y T-3.....	97
Cuadro 52. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-2.	98
Cuadro 53. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-2.....	99
Cuadro 54. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-1.	100
Cuadro 55. Fuerzas axiales en los tirantes durante el desmontaje del puente.	103
Cuadro 56. Desplazamientos en el tablero para el desmontaje del puente.	104

Cuadro 57. Desplazamientos en la parte superior de la torre para el desmontaje del puente.	105
Cuadro 58. Momentos flexionantes en el tablero para el desmontaje del puente.	106
Cuadro 59. Momentos flexionantes en la torre para el desmontaje del puente.	107
Cuadro 60. Fuerza cortante en el tablero para el desmontaje del puente.	108
Cuadro 61. Fuerza cortante en la torre para el desmontaje del puente.	109
Cuadro 62. Desplazamientos en tablero para casos de carga viva.	110
Cuadro 63. Momentos flexionantes en tablero para casos de carga viva.	110
Cuadro 64. Cortantes en tablero para casos de carga viva.	110
Cuadro 65. Desplazamientos en torre para casos de carga viva.	110
Cuadro 66. Momentos flexionantes en torre para casos de carga viva.	110
Cuadro 67. Cortantes en tablero para casos de carga viva.	110

Resumen.

En el presente trabajo se describe primeramente lo que es un puente atirantado, como está compuesto, como es que trabaja y porque han tenido un gran auge en tiempos actuales. Para los principales elementos componentes, se desarrollan y explican las características, formas, tamaños, planos y demás con las que se distinguen, por medio de ejemplos de puentes realizados en todas partes del mundo. Se explican y desarrollan algunos de los procesos constructivos aplicados para el montaje de estos puentes, y se explican algunas de las acciones que se deben considerar en la construcción. El tema característico a tratar será el control a aplicar para la revisión de parámetros durante esta construcción. Por medio de análisis realizados con el software SAP2000, se ve en primera instancia el comportamiento de un puente propuesto, considerando solo su propio peso, para en seguida aplicar un peso muerto adicional que en este caso fue sólo asfalto, y ver los nuevos resultados que arroja, realizando una comparativa con el anterior. Para comprender el o los comportamientos, es decir la forma de trabajar, como se moverá, como se desplaza y como son las fuerzas en el puente si se le aplican cargas vivas, para esto se contemplan vehículos tanto de forma distribuida en todo el puente como algunos concentrados en ciertos puntos. Por último, se propone un proceso constructivo, para este trabajo se toma el método de doble voladizo, para por medio del desmontaje de cables y dovelas ir realizando los análisis y recabando los resultados, para al finalizar realizar tablas graficas en las cuales nos basaremos para hacer una comparativa. Al final del trabajo se menciona y explica la importancia de considerar estos análisis, ya que por medio de estos se van obteniendo resultados, los cuales serán los esperados al momento de realizar la construcción del puente. Estos resultados y los que van obteniéndose durante las revisiones del puente en las distintas etapas de construcción, se irán comparando para ver si existen diferencias y poder rectificaren caso de posible desajuste. Estos resultados se clasificarán como parámetros a medir, explicados brevemente en el tema final.

Palabras clave: **Revisión. Procesos. Comportamiento. Deflexiones. Momentos.**

ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.



Abstract.

This paper describes firstly what a cable-stayed bridge is, how it is composed, how it works and why they have had a great boom in current times. For the main component elements, the characteristics, shapes, sizes, plans and others with which they are distinguished are developed and explained, by means of examples of bridges made in all parts of the world. Some of the construction processes applied to the assembly of these bridges are explained and developed, and some of the actions to be considered in construction are explained. The characteristic issue to be discussed will be the control to apply for the revision of parameters during this construction. Through analyzes performed with the SAP2000 software, the behavior of a proposed bridge is seen in the first instance, considering only its own weight, to immediately apply an additional dead weight that in this case was only asphalt, and see the new results that throws, making a comparison with the previous one. To understand the behavior (s), that is, the way of working, how it will move, how it travels and how the forces are on the bridge if live loads are applied, for this, vehicles are contemplated both distributed throughout the bridge and Some concentrated on certain points. Finally, a constructive process is proposed, for this work the double cantilever method is taken, for the dismantling of cables and bends to carry out the analysis and gathering the results, to finally make graphical tables on which we will base for make a comparison. At the end of the work, the importance of considering these analyzes is mentioned and explained, since through these results are obtained, which will be those expected at the time of carrying out the construction of the bridge. These results and those that are obtained during the revisions of the bridge in the different stages of construction, will be compared to see if there are differences and can rectify in case of possible mismatch. These results will be classified as parameters to be measured, briefly explained in the final topic.



Introducción.

Los puentes atirantados son aquellos que están formados por tres elementos básicos, tablero, torres y tirantes. Estos tres elementos trabajan en conjunto, siendo los tirantes los que soporten el tablero, y las torres las que reciban en conexión a los tirantes. Tanto tablero como torres se encuentran en compresión y los tirantes bajo tensión. Este tipo de puente ha presentado gran crecimiento de popularidad en todo el mundo, y México no es la excepción, siendo varios ejemplares los que se ubican dentro del territorio nacional, entre los más importantes se encuentran El Puente Baluarte Bicentenario, El Puente de la Unidad, EL Puente Mezcala Solidaridad y EL Puente Tampico, considerándose como los más característicos debido a sus dimensiones hasta el momento. Esta popularidad se debe a las grandes y varias ventajas que estos puentes ofrecen, entre las que se pueden mencionar, la combinación del acero y el concreto, repercutiendo en una estructura económica al poder reducir el consumo de acero y a que al trabajar estos dos materiales en conjunto se tiene una función más correcta y estable durante la vida útil del puente.

En el presente trabajo se muestran los distintos procesos de construcción que pueden ser aplicados para la realización de los puentes atirantados. Encontrando también que, las dovelas que forman el tablero, pueden ser realizadas "in situ", es decir en el lugar, o pueden ser fabricadas en una planta especializada y en seguida ser transportadas al lugar de montaje, esto dependiendo de las condiciones del terreno, y las características (momentos, cargas, flexiones, etc.) deban de presentar. Muy ligado a lo anterior, existen acciones que deben de considerarse durante la construcción, por mencionar algunas se tienen la carga muerta, es decir aparte del mismo peso de la estructura del puente que otros elementos se considerarán. También se tienen los cambios de temperatura, en esto se considera que tanto se contrae, dilata o si hay posibilidades de fisuración.

Siendo los puentes atirantados obras de gran magnitud y siendo funcionales en su mayoría para tránsito vehicular, se requiere tener una mayor precisión de las características que lo representarán al inicio de su vida útil. Es por esto que desde el inicio de su construcción se deben considerar todas las posibilidades de que puede resultar algo distinto a lo planeado, comprendiéndose como "errores" del proceso constructivo, pero ¿cómo darnos cuenta a tiempo de estos errores?, ¿es posible resolverlos? En el trabajo a redactar se explica de forma práctica y muy sencilla las cuestiones anteriores, en el que por medio del análisis de un modelo propuesto se observan los comportamientos que se presentan tanto en la construcción como en la vida del puente.

Primero se analiza el puente de forma que solo su peso propio se considera, en seguida se consideran cargas vehiculares y cargas muertas adicionales, para que por medio de estos análisis se observe como trabajan, se mueven, se deforman o si llegan a fallar los elementos de dicho puente. Dicho programa a utilizar para los análisis a considerar, es SAP2000, se ha optado por el uso de este debido a su fácil manejo y su buena comprensión, además de que el tema a tratar es muy sencillo. Se hacen visualizaciones en el comportamiento modal, para poder ver cuando ocurren los primeros modos en las distintas direcciones. A lo largo del desarrollo de los análisis, se observan varias gráficas, estas nos aportan información necesaria para realizar comparaciones entre las distintas fuerzas que se aplican y serán manejadas como los diagramas resultantes de los valores arrojados por el programa.

Por último, se realiza un análisis al proceso de desmontaje del puente, para que, por medio de este, se pueda dar respuesta a las cuestiones anteriormente mencionadas. Se consideran dos temas sencillos para explicar que es lo más recomendable hacer, para verificar si el proceso constructivo se está realizando correctamente, lo cual se logra mediante el control de los desplazamientos en la torre y en el tablero, el control de las fuerzas de los tirantes, y la revisión de los elementos mecánicos, para evitar que los esfuerzos que producen sean mayores durante la construcción, que durante la vida útil del puente. De esta manera si se llega apreciar alguna variación entre lo esperado, con las variables de control se pueden tener las herramientas necesarias para resolver los posibles errores que se presenten.

1. Puentes atirantados.

1.1. Descripción de un puente atirantado.

Este tipo de puente se encuentra formado principalmente de tres elementos básicos: el tablero, los cables o tirantes y las torres. La distinción de un puente atirantado consiste en que el tablero se encuentra soportado por los tirantes y estos últimos están conectados a las torres. Entre estos tres elementos se encuentra una relación intrínseca, ya que de forma conjunta existe la repartición de cargas, encontrándose puentes donde su tablero soporte la mayor cantidad de carga con pocos tirantes y por ende la torre tenga poca capacidad (Figura 1), de forma viceversa, se encontrarán puentes con tableros de baja capacidad siendo en este caso la torre y bastantes tirantes los que soporten una mayor carga (Figura 2) (León, 2009) y (Carrión et al., 2005).

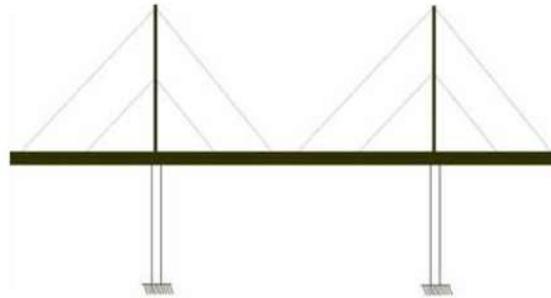


Figura 1. Tablero con poca capacidad de carga (Carrión et al, 2005).

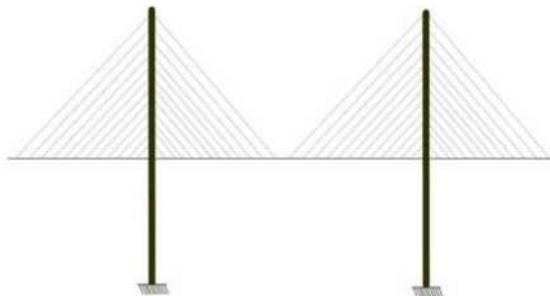


Figura 2. Tablero con alta capacidad de carga (Carrión et al. 2005).

Aunque en el año de 1784, existe uno de los primeros intentos de este tipo de puentes, siendo el diseño de una estructura completamente de madera realizado por el carpintero Alemán C.T. Loescher, la historia de estos puentes, encuentra que se iniciaron como puentes modernos hasta la segunda mitad del s. XX. Volviéndose muy populares debido a que ofrecen grandes ventajas como lo son económicas, estructurales, son de apariencia elegante y pueden tener claros muy grandes pasando los 1,200 m. (González, 2013).

A la fecha y realizando una recopilación de varios artículos, libros y demás documentos, alrededor del mundo se pueden encontrar bastantes puentes atirantados, enlistándose en la Cuadro 1, y colocando sus medidas en cuanto a lo que es su claro.

Cuadro 1. Puentes atirantados en el mundo. (Recopilación, 2018)

Puente	Largo Total (m)	País	Claro Principal (m)	Altura (m)	Ancho Tablero (m)
Alex Fraser Bridge	2,525	Columbia Britanica	465	154	32
Arthur Ravenel Jr Bridge	4,023	Estados Unidos	471	175	29.60
Edong Yangtze River Bridge	1,486	China	926	242.5	33
Gran puente de Tatara	1,480	Japón		226	
Higashi Kobe Bridge	1,800	Japón	485	168	20
Kao-Ping Hsi Bridge	2,617	Taiwan	330	183.5	34.4
Köhlbrand Bridge	3,618	Alemania	325	135	17.5
Meinkochuoo Bridge	1,170	Japón	590		
Most SNP	431	Eslovaquia	303	84.6	21
Nanpu Bridge	1,170	Japón	590		
Pont de Brotonne	1,278	Francia	320	125	19.2
Puente Ada	996	Serbia		202	
Puente Baluarte Bicentenario	1,124	México	520	402.57	20
Puente Bhumibol	1,284	Tailandia	398		
Puente Centenario	1,052	Panamá	420	184	
Puente del Canal de Suez	3,900	Egipto	404	154	
Puente de Câ`n Tho´	2,750	Vietnam		175	23
Puente del Cuerno de Oro	1,388	Rusia	737	226.25	28.5
Puente de la Constitución de 1812	3,092	España	540	187.1	40
Puente de la Unidad	304	México		134	28-35
Puente de Incheon	21,380	Corea del Sur	800	230.5	33.4

Puente del Iroise	800	Francia	400	113	23.1
Puente de la Isla Russki	3,100	Rusia	1,104	320.9	
Puente de Normandía	2,143	Francia	856	214.77	23.6
Puente de Rande	1,558	España	401	152	
Puente de Rio-Antirio	2,880	Grecia	560	110	27.2
Puente de Runyang	35,660	China	1,440	215	
Puente de Saint-Nazaire	3,356	Francia	404	68	13.5
Puente del Severn	1,600	Reino Unido		136	
Puente de Skarnsund	1,010	Noruega	530	152	13
Puente de Øresund	7,845	Dinamarca	490	204	23.5
Puente Duge	1,340	China	720	269	
Puente Grenland	608	Noruega	305	168	12
Puente Huangpu	7,016	China	1,088	306	
Puente Internacional de Guadiana	666	España-Portugal	324		20
Puente John James Audubon	3,927	Estados Unidos	482	402.57	23
Puente Mauricio Báez	606	República Dominicana	390		
Puente Mezcala Solidaridad	891	México	311	162	20
Puente Orinoquia	3,156	Venezuela			24.7
Puente Rama VIII	475	Tailandia	300	160	
Puente Stonecutters	1,596	China	1,018		
Puente de Sunshine Skyway	6,663	Florida	366	131	29
Puente Sutong	8,206	China	1088	306	
Puente Ting Kau	1,177	China	475	201.55	
Rheinkniebrücke	1,519	Europa	319		28.9
Tampico	1,543	México	360	55	18
Tianxingzhou Yangtze River Bridge	4,657	China	504	190	
Viaducto de Millau	2,460	Francia	342	343	32

De la tabla anterior se puede notar que se tienen al Puente Runyang en China con el claro principal más largo (1,440 m), a los Puentes Baluarte Bicentenario en México y al Puente John James Audubon en Estados Unidos con las pilas más altas (402.57 m) y al Puente de la Constitución de 1812 en España con el tablero más ancho (40 m).

Si bien, este tipo de puentes es popular debido a que se pueden salvar grandes obstáculos, la construcción de estos se aprovecha por diversos usos puesto que aseguran la ventaja de ser elegantes y a que deja un espacio libre considerable debajo del tablero. Entre los usos que se les

ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.

pueden dar son: puentes peatonales como el Puente Peatonal UANL (Figura 3) ubicado en Nuevo León, México, puentes para carretera como en Puente Tampico (Figura 4) en Tamaulipas, México, puentes para ferrocarriles como el Puente Ferroviario del Metro de Santo Domingo (Figura 5), República Dominicana, y puentes canal como el Puente Atirantado del Acueducto de Tempul (Figura 6) en Cádiz, España (González, 2013).



Figura 3. Puente Peatonal UANL, Nuevo León, México (Garza, 2017).

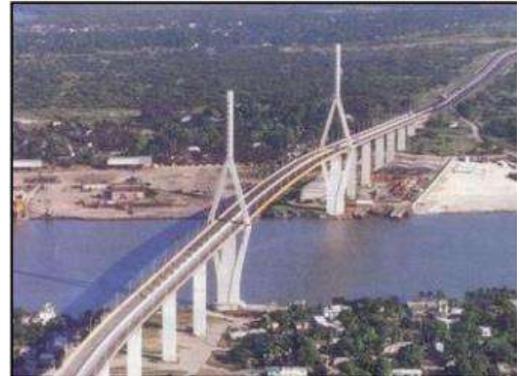


Figura 4. Puente Tampico, Tamaulipas, México (González, 2013).



Figura 5. Puente Ferroviario del Metro de Santo Domingo, República Dominicana (Urbanopolis, 2017).

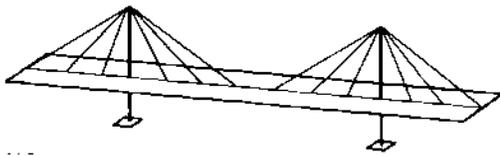


Figura 6. Puente Atirantado del Acueducto de Tempul, Cádiz, España (Yepes, 2016).

1.2. Características principales de sus elementos.

1.2.1. Tirantes.

El elemento que más caracteriza a los puentes atirantados y como el mismo nombre lo menciona son los tirantes. El arreglo de los tirantes interviene directamente en la estructura del puente en su totalidad, la forma en que se construirá y sus dimensiones, así como en la economía del mismo, es por eso que este aspecto es fundamental en el diseño de estos puentes. Así pues, se tiene distintos tipos de suspensión los cuales son: suspensión central o plano central de tirantes (Figura 7a) como es el caso del puente Dovalí Jaime (Figura 7b), suspensión lateral o dos planos de tirantes (Figura 8a) donde el puente Río Papaloapan (Figura 8b) representa este tipo de suspensión y, la suspensión en tres planos (Figura 9a) como el puente Riddes (Figura 9b), en Suiza, actualmente se está considerando la posibilidad de construir puentes hasta con cuatro planos de atirantamiento. (González, 2013), (SCT, 2005) y (Flores, 2011).

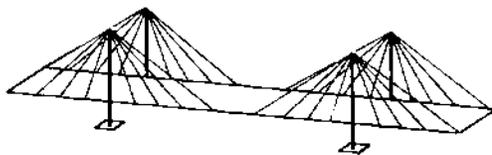


a)



b)

Figura 7. a) Plano central de atirantamiento (González, 2013), **b)** Puente Dovalí Jaime (Flores, 2011).



a)



b)

Figura 8. a) Dos planos de atirantamiento (González, 2013), **b)** Puente Río Papaloapan (Flores, 2011)

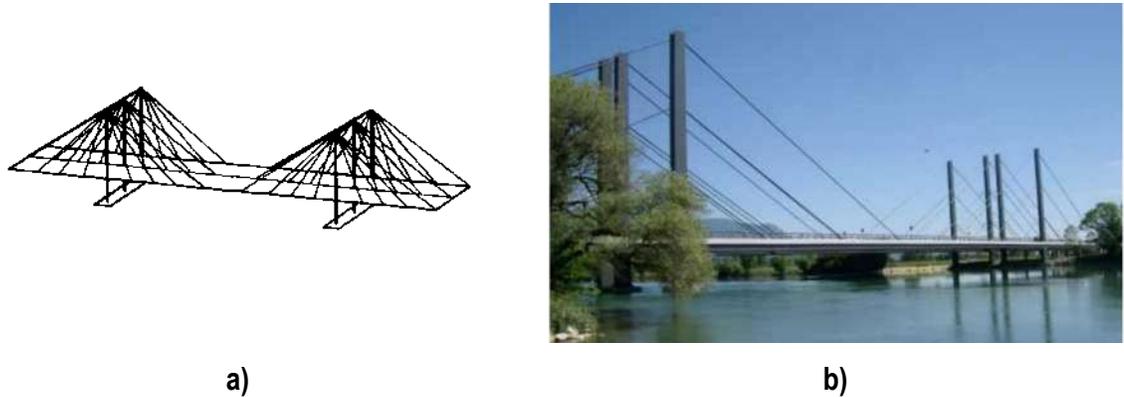


Figura 9. a) Tres planos de atirantamiento (González, 2013), **b)** Puente Riddes (SCT, 2005).

La distribución geométrica de los tirantes es otro aspecto fundamental en lo que respecta a puentes atirantados considerando cuatro tipos de diseño, los cuales se describen en seguida (González, 2013).

1. **Distribución arpa (Figura 10):** donde su principal ventaja es la estética, puesto que en lo estático y en lo económico no se presenta de forma aceptable. En este caso, los tirantes son paralelos y se cruzan entre ellos con ángulo constante, un ejemplo de este tipo de distribución es el puente Riddes (Figura 9b).
2. **Distribución abanico (Figura 11a):** este tipo de distribución se distingue porque los tirantes por junto inician en la parte superior de la torre ofreciendo ventajas como son el de presentar un peso total menor que el de la distribución anterior, la horizontal que se transmite de los tirantes al tablero es menor, la flexión longitudinal en las torres es moderada siempre, se incrementa la estabilidad contra la actividad sísmica, entre otras. Un ejemplo de este tipo de distribución lo muestra el puente Pasco-Kennewick (Figura 11b).
3. **Distribución semi-arpa (Figura 12):** en esta distribución se combinan las dos distribuciones anteriores, haciendo posible que el sistema de anclaje sea eficaz por estar conectado en la parte superior de la torre y, la rigidez de la conexión horizontal entre tablero-torre se reduzca debido a que los tirantes se conectan cerca de la torre.
4. **Distribución asimétrica (Figura 13):** en este caso, un ángulo de 45° es el óptimo para la distribución de tirantes en cuanto a economía nos referimos, sumándole también que al reducir los anclajes en la roca se puede disminuir la componente vertical de la fuerza de anclaje y por ende reducir la pendiente de los tirantes.

5. **Distribución claros múltiples:** la distribución consiste en que los tirantes que soportan el tablero tendrán siempre la misma longitud uno del otro. En este caso, los tableros que componen al puente también tienen siempre la misma longitud, un claro ejemplo de esta distribución es el puente de Maracaibo Génes (Figura 14). este tipo de distribución ha sido difícil de adoptar, puesto que presenta el problema de adecuar una estabilidad longitudinal bajo la acción de carga de tráfico que sea asimétrica.

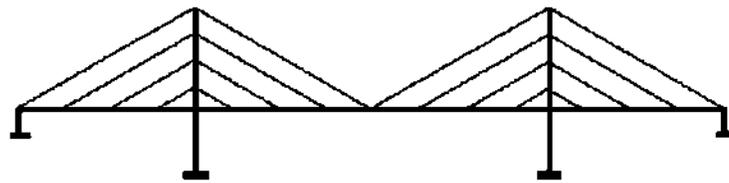


Figura 10. Distribución Arpa (SCT, 2005).

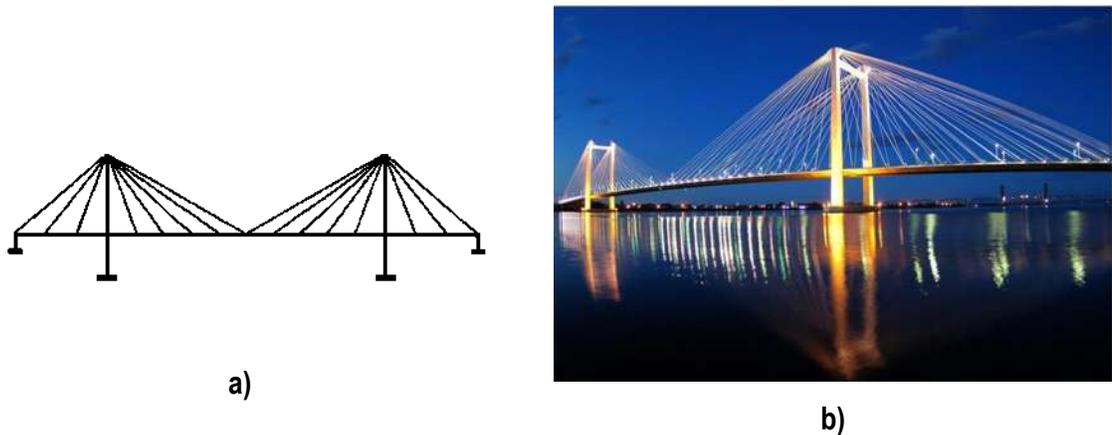


Figura 11. a) Distribución Abanico (SCT, 2005, b) Puente Pasco-Kannewick (Wikitravel, 2010).

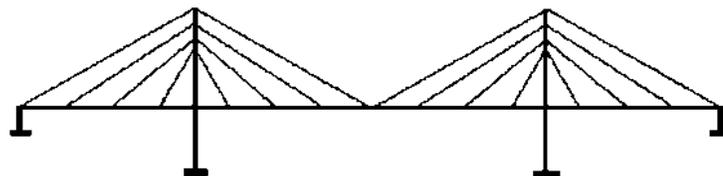


Figura 12. Distribución Semi-Arpa (SCT, 2005).

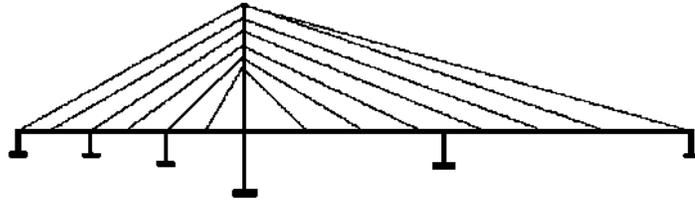


Figura 13. Distribución Asimétrica (SCT, 2005).



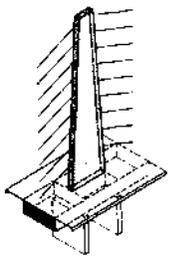
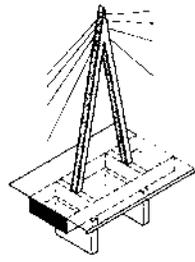
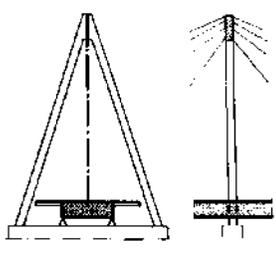
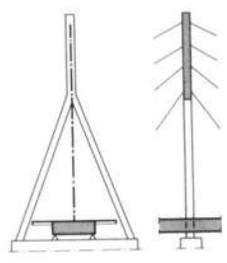
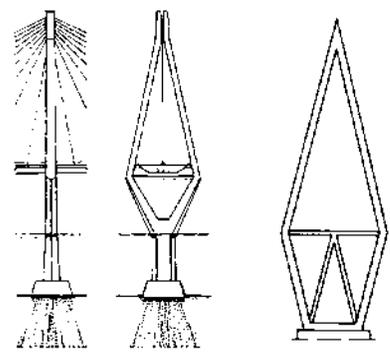
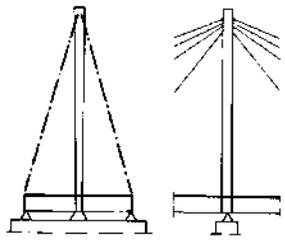
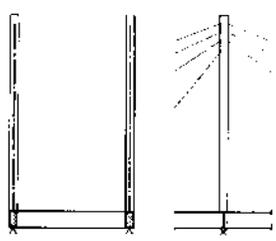
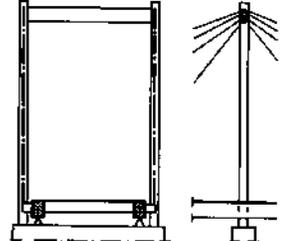
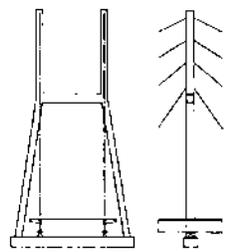
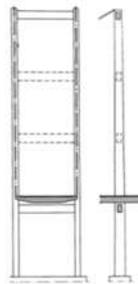
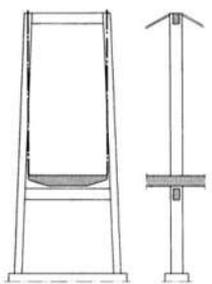
Figura 14. Puente de Maracaibo Génes (Kirschbaum, 2018).

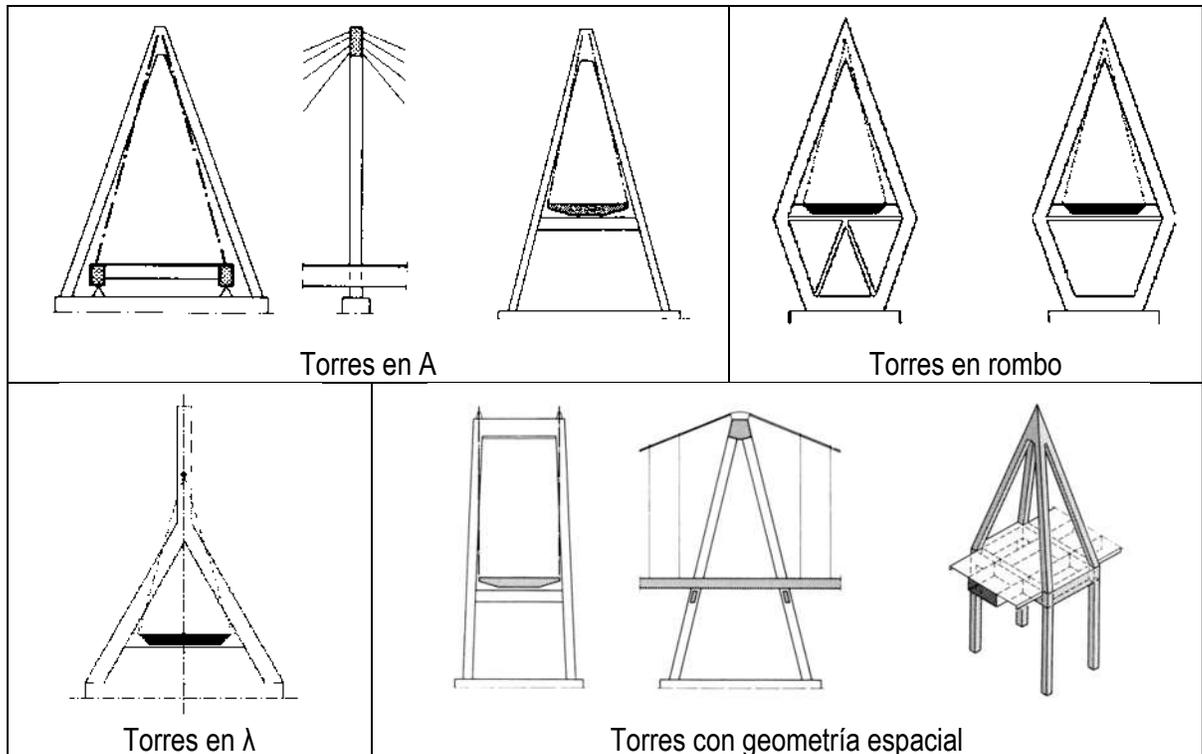
1.2.2. Torres.

Son los elementos verticales en los puentes atirantados y donde se conectan principalmente los tirantes para soportar el tablero, estas presentan una rigidez muy alta trabajando a compresión axial en su mayoría. Las torres se pueden presentar de forma uniaxial y de forma lateral, aunque existen casos en los cuales los cables se encuentran solo a un lado de la torre en donde se ve la necesidad de colocar tirantes que funcionen de contrapeso con la finalidad de reducir los esfuerzos de flexión que se presenta y los desplazamientos que puedan existir en la torre (Ortega & Pozo, 2014).

En cuanto a las formas que se le pueden a las torres, se encuentran diferentes diseños, siendo las más comunes el triángulo, el diamante, de una columna, para el caso en el plano central y, de doble columna paralela o de doble columna con vigas transversales para el caso de dos o más planos. (SCT, 2005). En la Tabla 2 se muestran los distintos diseños de torres.

Cuadro 2. Tipos de torres con los que se puede diseñar un puente atirantado (Caminos, s/f).

Torres para un plano central de tirantes		
 <p>Sección maciza</p>	 <p>Sección en A</p>	 <p>Torre en A</p>
 <p>Torre en λ</p>	 <p>Torres en rombo</p>	
Torres dos o más planos de tirantes		
 <p>Torre única</p>	 <p>Torres aisladas</p>	 <p>Arriostamiento único superior</p>
 <p>Arriostamiento único intermedio</p>	 <p>Arriostamiento múltiple vinculado</p>	 <p>Arriostamiento múltiple independiente</p>



1.2.3. Tablero.

Es el elemento cuya función principal es la de soportar el tráfico de vehículos y peatones. Debido a que los momentos longitudinales en la medida en que el tablero es más rígido se debe considerar que este sea lo más flexible posible, esto conlleva al diseño de puentes atirantados con sección transversal bastante delgada, llegando a tener una relación de esbeltez con un valor de $h/L = 1/500$. Sin embargo, el método de suspensión y el ancho del puente son factores que influyen demasiado en cuanto a rigidez, por todo lo anterior, lo ideal es tener secciones que sean en cajón o marcos espaciales cerrados, ya sean de acero o de concreto (Martínez, 2015) y (González, 2013).

Considerando la existencia de puentes con suspensión lateral múltiple y que esto influye en el peralte del tablero, se tienen dos criterios de diseño distintos en las direcciones longitudinal y transversal, siendo muy difícil encontrar un sistema que sea óptimo para ambos requisitos. Por lo anterior y teniendo un diseño que ofrece un balance entre ambas direcciones, resulta favorable el emplear tres planos de tirantes, donde es conveniente en cuanto a ahorrar materiales en el tablero. Siendo la selección del material una de las principales características que presupuestan el diseño total del puente (González, 2013).

Para puentes atirantados se utilizan principalmente acero o concreto para la realización de tableros, existiendo algunos otros tableros que combinan el acero y el concreto. El tablero de acero es hoy en día tres veces más costoso que el tablero de concreto, siendo el tablero de concreto el responsable de construir puentes en voladizo. Para los tableros de concreto, las fuerzas en la sección transversal permanecen moderadas durante la construcción y el equipo que se requiere para el montaje es muy poco. Pero son los tableros acero-concreto los que presentan grandes ventajas, para este tipo de tablero se tiene una reducción considerable en la carga muerta y es más fácil en el montaje de los elementos de acero, sin embargo, hay que tomar en cuenta que aunque la carga muerta para un tablero acero-concreto es mayor que un tablero de acero es una desventaja crítica en puentes atirantados donde los claros son muy grandes.

Dependiendo del material que se utilice para la realización del tablero es que se sabe la capacidad que han de requerir los tirantes, la torre y la cimentación. A continuación se enlista un posible indicador acerca de la capacidad mencionada.

- Tablero de acero = (255 – 357 Kg/m²)
- Tablero acero-concreto = (663 – 867 Kg/m²)
- Tablero de concreto = (1020 – 1531 Kg/m²)

1.3. Flujo de carga en un puente atirantado.

Un puente atirantado está compuesto de un tablero y los elementos de soporte que son las torres, las cuales se encuentran en compresión, así como de tirantes en tensión que son los que soportan el tablero (Figura 15). El trabajo en conjunto de los elementos de un puente atirantado, permite que sus componentes horizontales sean tomadas por las vigas y que no sean demasiados anclajes los que se requieran (León, 2009).

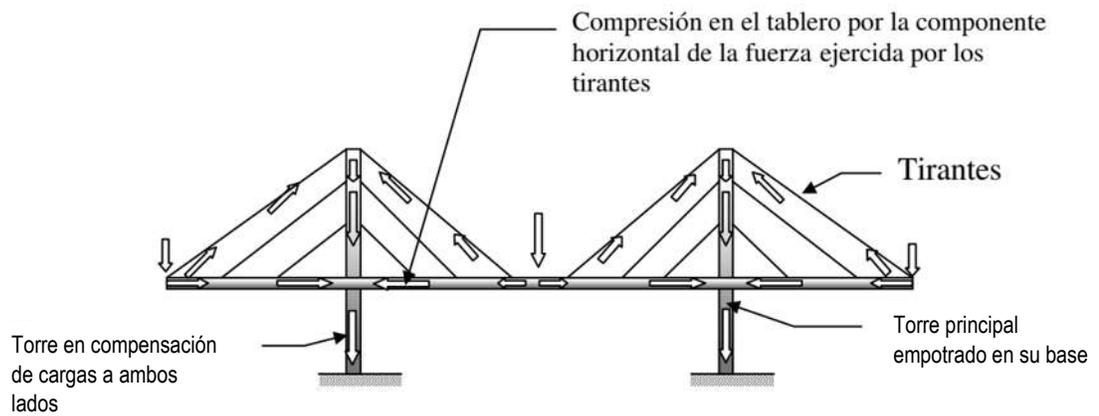


Figura 15. Flujo de cargas en el sistema de puentes atirantados (Pilar, 2004).

2. Procedimiento de construcción de un puente atirantado.

2.1. Método de avance en voladizo.

Este método se encuentra fuertemente relacionado a la construcción de puentes donde sus claros tienen grandes distancias o cuando las pilas son muy altas. Por esta razón es que este método es de los procesos de construcción más aplicados en puentes atirantados. De forma sencilla, este método consiste en construir progresivamente los claros comenzando de un punto fijo, usualmente se inicia de las torres, es decir, con ayuda de medios de elevación especializados se sostienen las dovelas en el sitio a colocar para ser unidas a las anteriores, las dovelas que se utilizan pueden ser prefabricadas o realizadas "in situ", donde para estas últimas es recomendable el uso de un carro de avance el cual se apoya a las dovelas anteriores. Por último, cada dovela se establece por medio del pretensado de tirantes (Llopis, 2014/2015) y (Yepes, 2015).

Para el método de avance en voladizo existen dos procesos, describiéndose en seguida.

- a) **Avance en voladizo:** prácticamente es como se describe en el párrafo anterior, siendo el avance en una sola dirección, a esta se le conoce también como construcción evolutiva.
- b) **Avance en doble voladizo:** nuevamente se comienza de un punto fijo, donde la torre es el inicio, pero a diferencia de avance en voladizo, se realiza la construcción en forma de "T" mediante voladizos a ambos lados de la pila. Este proceso es más conocido como voladizos compensados. En México, para la construcción del Puente Baluarte Bicentenario se hizo aplicación de este proceso constructivo, mostrándose un poco su realización en la siguiente figura.

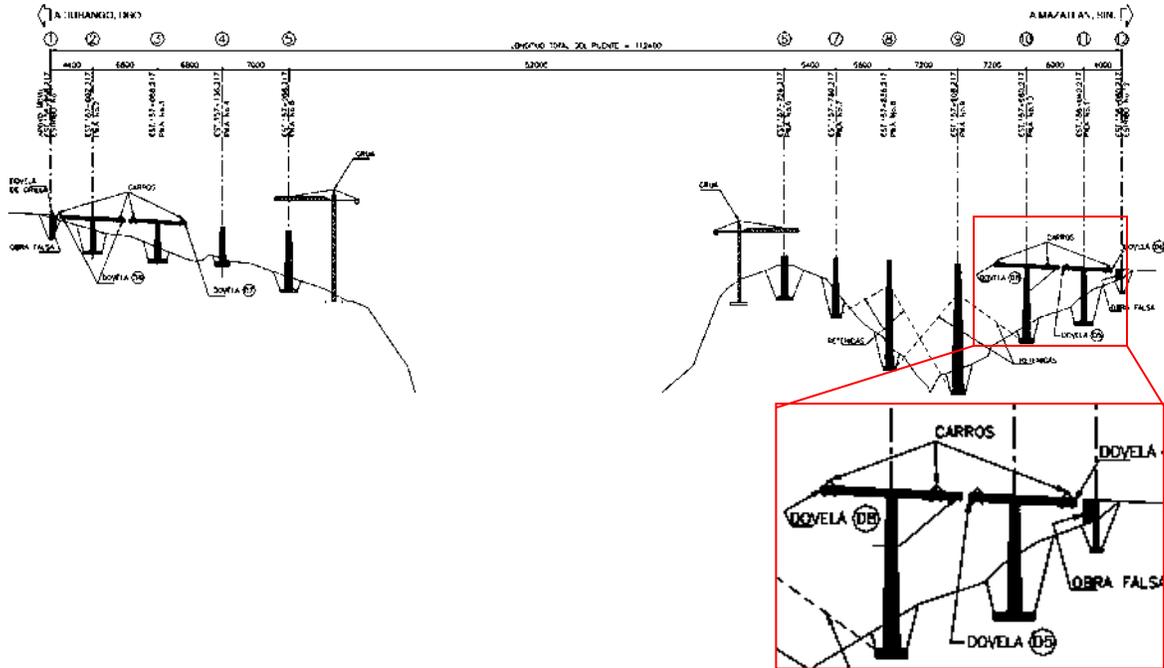


Figura 16. Puente Baluarte Bicentenario, construido por medio del método de avance en doble voladizo (León, 2009).

Así pues, conociendo las anteriores descripciones se procede a describir el procedimiento de construcción de este método, tanto para dovelas realizadas “in situ” como para dovelas prefabricadas.

2.1.1. Procedimiento constructivo con dovelas “in situ”.

Este sistema se define como la realización de la estructura vertiendo el concreto fresco sobre un cimbrado. Tratándose en la ejecución de puentes es factible la utilización de cimbras metálicas especiales que hacen más fácil los trabajos así como reducir los tiempos de montaje. Para entender mejor, la forma de ejecución consiste en subdividir el tablero en dovelas con una longitud entre 3 y 5 metros que se realizan una tras otra, para la construcción de estas dovelas se utilizan carros que se apoyan en la parte que ya ha sido ejecutada. Sin detallar mucho, a continuación, se presenta un resumen de cómo es que se realiza la dovela de pila (Gerardino, 2011).

- **Ejecución de las dovelas de pila:** esta suele descomponerse en tres etapas, la primera etapa es la ejecución de la plataforma inferior (Figura 17a), la segunda etapa es la ejecución de los alzados laterales y las riostras transversales (Figura 17b.), la tercera etapa consiste en realizar la losa superior (Figura 17c).

ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.

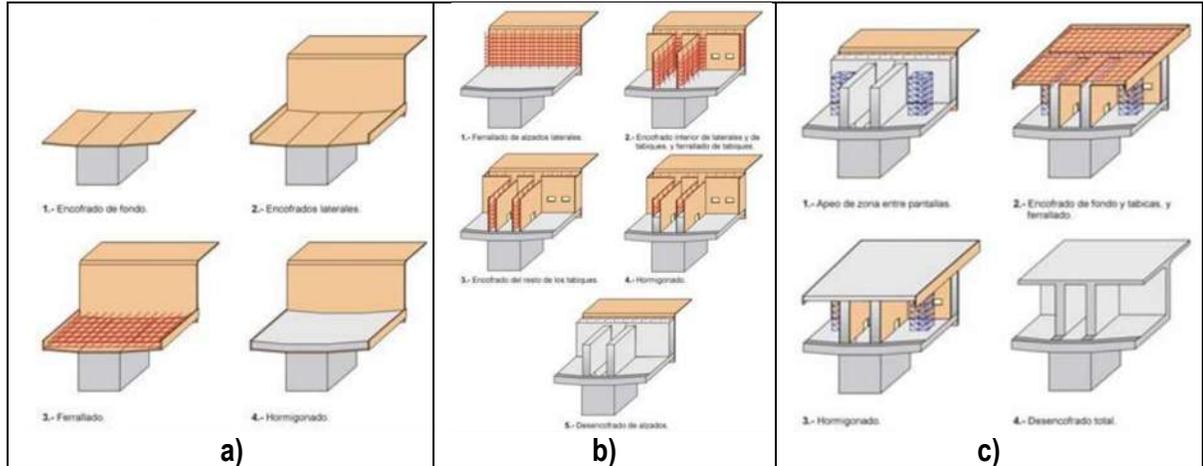


Figura 17. Etapas de ejecución de la dovela de pila (Gerardino, 2011).

- **Ejecución del tablero:** conforme se ejecutan pares de dovelas se realizan pretensados de voladizos por medio de cables para cada alma.
 - **Carros de avance:** estos pueden trasladar las dovelas y colocarlas o llevar cimbrados con los que se realizan las dovelas y estos entran en funcionamiento apenas se termina la ejecución de la dovela de pila. Un carro de avance consta de vigas metálicas principales, viga metálica transversal, apoyos frontales, anclaje trasero, vigas de rodadura, vigas y elementos que soportan el encofrado, pisos de trabajo, elementos auxiliares (Figura 18).

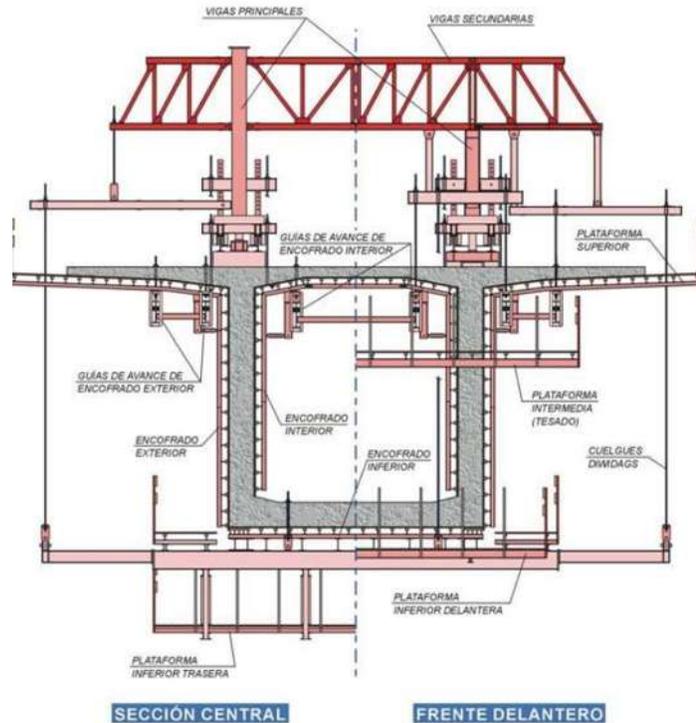


Figura 18. Sección transversal de un carro de avance (Gerardino, 2011).

- **Montaje de los carros de avance:** en el siguiente cuadro se enlista el procedimiento para montar el carro de avance y en la figura 19 se muestra como se encuentra el carro de avance en posición.

Cuadro 3. Procedimiento de montaje del carro de avance (Gerardino, 2011).

No.	Proceso o etapa	Descripción
1	Calces de carril a carril.	Se ubican sobre la dovela construida anteriormente.
2	Carros y vigas principales en rombo.	Se encuentra formado por dos vigas de celosía en forma de rombo, estas se desplazan sobre las vigas carril y montan todos los elementos de transporte y anclaje, constituyendo la estructura principal del carro.
3	Vigas de celosía, arriostramiento horizontal y péndolas de cuelgue.	El montaje de las vigas de celosía se realiza por módulos lo más grandes que sea posible, sin limitar la capacidad de elevación de la grúa torre.
4	Armaduras de los cimbrados.	
5	Montaje de estructura de sustentación y pisos de trabajo.	
6	Equipo hidráulico.	

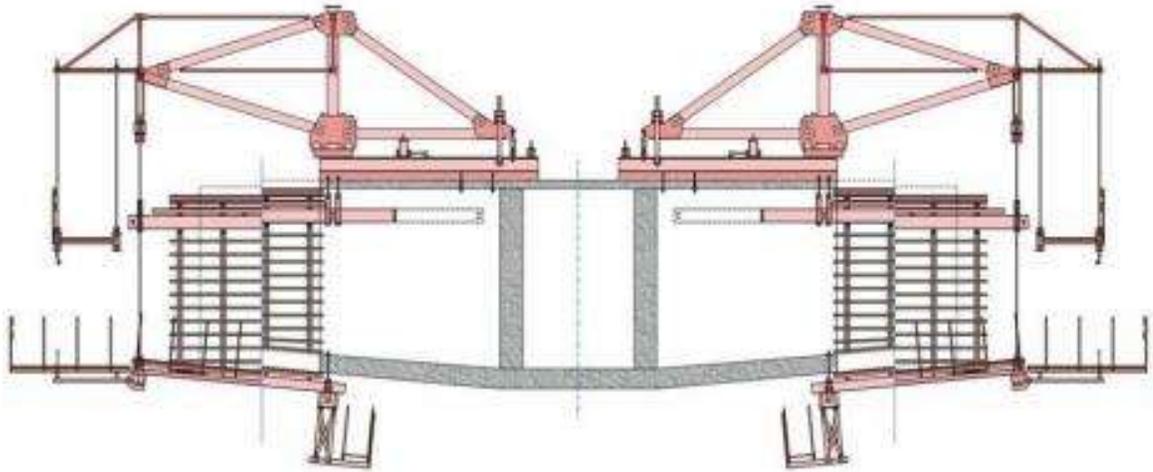


Figura 19. Carro de avance montado en posición para operar (Gerardino, 2011).

- **Avance:** con el carro de avance montado y anclado al tablero, se lanzan las vigas carril sobre la dovela colada donde deben anclarse nuevamente. En seguida, se libera el carro de sus anclajes traseros y éste es desplazado sobre las vigas hasta la siguiente posición de colado y se vuelve a fijar al tablero.
- **Puesta en cota:** se realiza por medio de equipos hidráulicos verticales, posteriormente se realiza el último ajuste con apoyo de la grúa torre. Después de haber sido trasladado el carro se realiza su posicionamiento, para esto, se realiza su alineación en eje fijando el encofrado sobre la dovela anterior y al mismo tiempo se corrige en planta y alzado los puntos característicos. En la siguiente tabla se tiene un ejemplo de la ejecución a seguir en un ciclo de avance de dovelas.

Cuadro 4. Ejemplo de ciclo de trabajo del carro de avance (Gerardino, 2011).

Ciclo semanal de avance		Carro 1	Carro 2
LUNES	M	Rotura de probetas (254.929 kg/cm ²) y tesado	
	T	Traslado de carros y posicionamiento	
MARTES	M	Colocación de acero de refuerzo	Posicionamiento
	T		Colocación de acero de refuerzo
MIÉRCOLES	M	Colocación de vainas	Colocación de acero de refuerzo
	T	Colocación de acero de refuerzo y remates de encofrado	Colocación de vainas
JUEVES	M	Colado	Colocación de acero de refuerzo y remates de encofrado
	T	-	Colado
VIERNES	M	Enfilado	
	T	Apertura de encofrado	

- **Ejecución de las dovelas:** se describe de forma simple las operaciones que se ejecutan en un ciclo de trabajo.
 1. **Avance y fijación del carro:** una vez que el concreto alcanza una resistencia de 254.929 kg/cm² se realiza la separación del encofrado y el tesado de los tirantes de pretensado. Con ayuda del sistema hidráulico se mueve el carro así como los encofrados interior y exterior, una vez realizado el avance se procede al posicionamiento del carro y a la nivelación de su posición definitiva.
 2. **Colocación del acero de refuerzo de la losa inferior:** esta se realiza por medios manuales.
 3. **Encofrado:** una vez terminado de colocar el acero de refuerzo se procede rápidamente a desplegar y situar en posición el encofrado interior, sujetándolo primeramente a la zona delantera de la dovela anterior.
 4. **Colocación de acero de refuerzo y vainas de la losa superior:** conforme avanza el proceso de voladizos se anclan tirantes por cada par de dovelas, tras haber colocado las vainas de tesado se realiza en seguida la colocación de capa superior del armado de la losa.
 5. **Nivelación definitiva del carro:** se realiza una comprobación topográfica de la cota del carro.
 6. **Colado de la dovela:** se comienza colando la losa inferior de la sección transversal, en seguida se hace el colado de las partes laterales y para finalizar se realiza el colado de la losa superior. La forma de colar se realiza comenzando por el extremo libre de la dovela y avanzando hacia lo anterior dovela.

7. **Curado del concreto:** las superficies del concreto que se encuentran expuestas deben de curarse para evitar su fisuración por un proceso no controlado de retracción, este curado se debe comenzar en cuanto el concreto ha empezado a fraguar.
 8. **Enfilado y tesado de los tirantes del proceso constructivo:** algunas empresas siguen un proceso constructivo indicando el orden de tesado, las fuerzas y las presiones equivalentes según los equipos utilizados, así como los alargamientos teóricos previstos y los valores de alarma.
 9. **Inyección de las vainas:** la inyección se introduce dentro de la vaina a través de los tubos de PVC de purga que se han conectado a las vainas.
- **Proceso de desmontaje del carro de avance:** se procede con el desmontaje de los carros de avance aplicando el proceso inverso de montaje, esto se hace cuando el proceso constructivo se encuentra al centro del vano y después de haber realizado la última pareja de dovelas.
 - **Dovela de cierre:** se movilizan los dos semi-vanos con vigas metálicas y se utiliza la plataforma inferior de ambos carros para que funcione como superficie de trabajo, la cimbra exterior e interior se sustituyen por cimbra "in situ" más ligera.
 - **Tesado de cierre:** es la operación final en donde se realiza el tesado de continuidad, para esto se produce la unión de los dos voladizos contiguos y convirtiendo a ambos en una viga continua, para absorber las cargas de uso.

2.1.2. Proceso constructivo con dovelas prefabricadas.

Para este caso, las dovelas son prefabricadas en una zona cercana al puente, esta zona es mayormente conocida como fabrica, las dovelas prefabricadas (con un peso entre 50t y 100t) son montadas en obra, el proceso constructivo es similar al de con dovelas "in situ". El utilizar dovelas prefabricadas tiene más ventajas, puesto resulta más económico, los puentes se construyen en menos tiempo y se puede aplicar para puentes muy largos. Este sistema constructivo consiste en la división del tablero en elementos obtenidos al cortarlo por planos perpendiculares a su eje, en el que cada elemento tiene una sección transversal completa del tablero (Gerardino, 2011). A continuación, se explica un proceso constructivo aplicado para la fabricación de los viaductos de Piedrafita como ejemplo.

- **Parque de prefabricación:** dependiendo de la rapidez con la que se quiere realizar el puente y del espacio que se tenga para la fábrica es que se disponen las líneas de fabricación de dovelas, estas líneas de fabricación deberán tener una infraestructura para la elaboración, distribución y puesta en obra del concreto, producción, curado, parque de acero de refuerzo y manipulación y acopio de elementos fabricados.
- **Fabricación de dovelas:** para esto se utiliza el método de la dovela conjugada, donde se utiliza como cimbra de una cara la dovela con la que va a estar en contacto, esto se realiza para para que coincida geométricamente entre cara las dovelas que son adyacentes. El método de dovela conjugada se divide a su vez en dos métodos, los cuales se explican en seguida.
 - **Método de la línea larga:** radica en la ejecución de una cama con la geometría del fondo del tablero que se va a fabricar, sobre la que se colará la totalidad del tablero dovela a dovela con ayuda de una cimbra que se traslada a lo largo del mismo.
 - **Método de la línea corta:** se pueden seguir los siguientes pasos para la fabricación de las dovelas.
 1. Suministro y prefabricación del acero de refuerzo.
 2. Acero de refuerzo de la dovela: se realiza el montaje del acero sobre dos pre-moldes que reproducen la forma exterior de la dovela.
 3. Ubicación de puestos de observaciones topográficas.
 4. Colocación del encofrado interior: se monta la cimbra plegada sobre la ménsula de la estructura ménsula de la estructura auxiliar, se lanza a través de la máscara, y se coloca. En el caso de las dovelas de apoyo en pila, la cimbra interior se coloca directamente, no a través de la máscara.
 5. Colocación de la máscara: la máscara es la cimbra anterior de la dovela. Tiene por sección la sección transversal de la dovela, en forma de cajón con un hueco para introducir a través de este el encofrado interior. En el caso de la dovela central, al no tener dovela conjugada, se hace entre dos macaras, la fija y otra móvil.
 6. Cimbrado lateral y carros de fondo: una vez que se encuentra en posición la dovela conjugada con respecto de la máscara, se ajustan las demás cimbras: el carro de fondo, el cual se utiliza para posicionar la dovela conjugada y como cimbra inferior de la dovela y también es donde descansa la dovela hasta que abandona la línea

de fabricación, las cimbras laterales y la cimbra interior, de manera que unan el perímetro de la máscara y el de la dovela conjugada.

7. Dovela conjugada: es la que se ha colado previamente y que va a funcionar como cimbra posterior de la dovela a colar.
 8. Colado y vibrado: se hace el colado con bomba, el vibrado se realiza con vibradores externos acoplados a la propia cimbra, así como vibradores de aguja.
 9. Curado.
 10. Retirada de la dovela conjugada: se desplaza la dovela conjugada con su carro de fondo a la zona de espera y retira de la dovela conjugada, pasando la que acababa de ser fabricada a su posición de nueva dovela conjugada para la siguiente dovela.
 11. Acopio de las dovelas.
- **Colocación de dovelas:** se puede realizar la colocación de dovelas por medio de grúas, esto siempre y cuando exista la posibilidad de poder acceder por la parte inferior de la obra, aunque esto solo se aplica en ocasiones muy remotas. Para comprender mejor la forma más efectiva de colocación de dovelas, se explica en seguida el método de viga de lanzamiento.
 1. Se usa una viga principal en celosía, donde el cordón inferior actúa como puente-grúa. El montaje de dovelas se realiza con ayuda de apoyos colocados sobre la cabeza de pila, cada apoyo cuenta con tres gatos, uno vertical y dos horizontales.
 2. Tal como en el método de dovelas "in situ", se comienza por la colocación de la dovela en pila, y se continúa con la colocación de las demás dovelas para formar una T.
 3. Una vez que las dovelas quedan ubicadas cercanas a su posición, se procede a aplicar resina en el paramento de la dovela anclándose a la dovela anterior por medio de barras pretensadas.
 4. Conforme se realiza el montaje de dovelas se va pretensando definitivamente, de igual manera se realiza la inyección de mortero sobre los apoyos, quedando de esta forma el tablero sobre sus apoyos.
 5. Para este caso, se tiene montadas de dos a tres pares de dovelas por día, resultando más efectivo y más rápido la aplicación del método de dovelas pretensadas a diferencia que las dovelas realizadas "in situ".

2.2. Puente empujado.

Este método se distingue porque primeramente se monta el tablero detrás del estribo y después es empujado siendo deslizado sobre las pilas hasta alcanzar su posición definitiva el llegar al otro estribo. Para este método también se realiza la construcción del tablero por medio de dovelas, pudiendo ser estas prefabricadas o hechas "in situ". Cabe mencionar que para la construcción de puentes con este proceso de construcción, no es necesaria la utilización de cimbra que lo soporte, puesto que este va moviéndose sobre las pilas hasta su terminación completa (Llopis, 2014/2015) y (Yepes, 2015).

Este tipo de procedimiento se aprovecha, por sus grandes ventajas, para la construcción de largos puentes, siendo los 600 metros de longitud donde es más conveniente su aplicación. Para este caso, lo óptimo es el empuje de claros de entre 30 a 60 metros, habiendo algunos casos en los que el empuje va desde los 20 a los 90 metros (Yepes, 2015). Se ha requerido la aplicación de este procedimiento para el puente atirantado de La Concordia-Rizo de Oro en Chiapas, México, esto debido a las condiciones que presenta el terreno.



Figura 20. Construcción del Puente Atirantado La Concordia-Rizo De Oro en Chiapas, México (Ramírez, 2018).

Para que la ejecución de puentes con este método constructivo sea de forma correcta y eficiente se deben considerar algunas condiciones en su geometría, mencionándolas en seguida:

- El canto de la superestructura a lanzar debe ser constante, para evitar desajustes en la alineación vertical.
- Debe existir un alineamiento en planta por el cual pueda ser empujada la superestructura, como lo son en una recta, circunferencia constante, hélice de paso constante y elipse, en el caso de existir doble alineamiento, existe la posibilidad de lanzar la superestructura desde ambos estribos, con el propósito de ejecutarla con el alineamiento propio y enlazarse donde se produce el cambio de alineamiento.
- Un ancho constante; en el caso de anchos variables no significativas, pueden ser corregidas mediante el ajuste de las guías laterales.
- Lograr que los tramos de lanzamiento sean con el mínimo peso propio posible; en el caso de puentes mixtos, se recomienda que el lanzamiento sea sin la losa de concreto ni la carpeta de rodado. (Cárcamo, 2011) (Rosignoli, 2002).

2.2.1. Elementos del proceso constructivo mediante empuje.

Para obtener un puente con una estructura estable y que funcione de manera eficiente, se consideran imprescindibles algunos elementos para este procedimiento constructivo, mencionándolos y describiéndolos en seguida.

- **Parque de fabricación:** es aquella estructura auxiliar que se encuentra conectada a los estribos del puente a realizar, cuya función es la de construir las secciones que se lanzaran, consistiendo en cimbrar, armar, rigidizar y realizar diafragmas, entre más cosas, el parque de fabricación también ayuda en el proceso de empuje. Cabe mencionar que las secciones pueden ser construidas “in situ” o prefabricadas.
- **Empuje mediante gatos hidráulicos:** se describen dos técnicas que son aplicables para el empuje de puentes.
 - **Empuje mediante gatos hidráulicos y barras de empuje:** este sistema se compone de barras de pretensado que pasan a través de gatos hidráulicos huecos, los gatos hidráulicos se encuentran anclados a la superestructura y al estribo del puente. Esta técnica no resulta efectiva para lanzamientos de grandes extensiones, esto se debe al

poco avance que se obtiene por parte del sistema, siendo aplicado solo en estructuras ligeras y con claros de poca longitud.

- **Empuje mediante gatos hidráulicos y rozamiento:** en esta técnica, la fuerza de empuje para el lanzamiento, es traspasa a la superestructura mediante rozamiento entre el gato hidráulico y el alma del tablero. Para comprender mejor como se aplica esta técnica, se tiene como apoyo el siguiente procedimiento breve.
 1. El sistema se compone de un gato hidráulico vertical, el cual es empujado por un pistón a través de una superficie compuesta por placas de acero y teflón.
 2. El sistema trabaja con pares de gatos hidráulicos, cuando un par realiza el empuje el otro vuelve al origen para continuar con el lanzamiento.
 3. El primer desplazamiento lo produce el gato vertical, este se extiende para elevar el tablero que se lanzara. Una vez que el tablero se encuentra elevado el pistón horizontal empuja al gato vertical transmitiendo la fuerza de empuje al tablero por rozamiento, produciéndose el desplazamiento horizontal.
 4. Al haber finalizado el empuje de la sección, el gato vertical vuelve a su posición inicial haciendo descender el tablero a su apoyo definitivo. Este ciclo se repite constantemente a una velocidad cercana de 10 m/h (Cárcamo, 2011). El ciclo explicado se muestra en la figura 21.

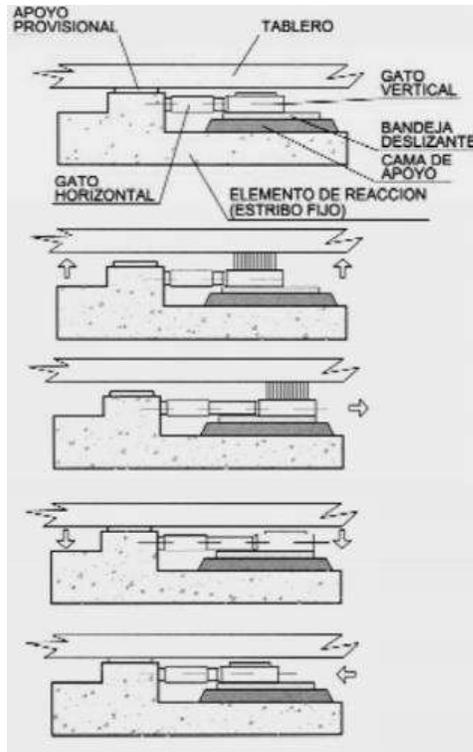


Figura 21. Técnica de empuje por medio de gatos hidráulicos y rozamiento (Cárcamo, 2011).

- **Apoyos deslizantes para lanzamiento:** se definen como aquellos apoyos especiales que se usan solo para el lanzamiento del tablero, estos son reemplazados por apoyos definitivos una vez terminado el procedimiento. Existen ocasiones en que a los apoyos definitivos se le aplica un nivel deslizante en la que también su única función es la de realizar el lanzamiento. En la actualidad, se usan apoyos deslizantes compuestos por Teflón (politetrafluoroetileno (PTFE)) y Neopreno (policloropreno), esto debido a que tienen las grandes ventajas que tienen, ya que presentan poca fricción al lanzamiento y a su excelente distribución de cargas verticales. Al aplicar esta técnica se debe tener especial cuidado en que el rozamiento no afecte a la pila durante el rozamiento, puesto que la pila pudiera llegar a colapsar por pandeo, ya que la fuerza de rozamiento actúa como fuerza horizontal sobre esta. Se puede llegar a tener un rozamiento constante de 1% si se lubrica completamente la superficie que se va a empujar.
- **Guías laterales:** son apoyos laterales que ayudan a mantener el alineamiento de la superestructura y que puedan resistir fuerzas horizontales como lo son el viento y sismo durante la construcción del puente. Estas guías se ubican justo donde han sido soldadas las secciones, puesto que, de esta forma se tiene una nivelación exacta y un alineamiento

curvo, esto ayuda a que, al realizar el primer lanzamiento, este vaya con el alineamiento correcto. A parte de ubicar las guías en el estribo también se ubican en las pilas, para que, al entrar en esta zona, las secciones tengan un calce perfecto. El diseño de las guías laterales va directamente asociado a la altura o profundidad del cajón metálico a lanzar y de la masa de estas secciones (Cárcamo, 2011).

2.3. Puente sobre cimbra.

Este método constructivo solo se podrá aplicar cuando el puente se considere con un diseño de baja altura, considerando también que el terreno deberá tener las condiciones en cuanto que el suelo presenta una muy buena capacidad resistencia, de igual manera, de debe tomar en cuenta que no exista cruce alguno de algún cauce de agua o vías de tren. El procedimiento de ejecución consiste en primeramente realizar las pilas y estribos para en seguida colocar las dovelas con ayuda de cimbras, de esta manera al estar terminado el tablero se procede al tesado de los tirantes, lo que permite también el descimbrado y puesta en carga (Luis, 2015) y (Quintana, 2009).

Este método es, posiblemente, el menos aplicado para la construcción de puentes atirantados, ya que el elemento económico no entra dentro de los factores como ventaja, puesto que la utilización de cimbras requieren grandes gastos, otro factor importante a considerar es que el tiempo empleado en la colocación o uso de cimbras es demasiado, por lo que la terminación del puente en sí, será de un periodo bastante largo. (Luis, 2015). Existen dos técnicas de aplicar este método, el primero es la cimbra apoyada sobre el terreno y el segundo es por cimbras autoportantes, a continuación se explican algunas características de estas técnicas.

- **Cimbra apoyada sobre el terreno (Figura 22):** como su nombre lo dice, consiste en colocar las cimbras sobre el terreno para de esta manera colar las dovelas siendo coladas “in situ”, por la anterior razón es que con esta técnica es posible la colocación de dovelas de hasta 100 m. “Hoy en día se emplean cimbras metálicas reutilizables, de fácil montaje y desmontaje, en el caso de cimbras altas, se emplean apoyos de gran capacidad y vigas trianguladas de gran canto; son cimbras huecas que permiten el paso de vehículos durante la construcción del puente” (Yepes, 2015).



Figura 22. Ejemplo de cimbra apoyada sobre el terreno (Yepes, 2015).

- **Cimbra autoportate (Figura 23):** se trata de una viga metálica la cual es apoyada en las pilas del mismo puente para realizar la construcción completa de claros. Una vez que se ha ejecutado el primer claro, la viga metálica se traslada de forma horizontal y apoyándose de las siguientes pilas hasta colocarse al siguiente claro. Realizando una comparativa entre sistema y el método de avance en voladizo, se encuentra la gran ventaja de que con este sistema se tiene un ahorro de pretensado al no creas en la estructura construida esfuerzos de voladizo durante las próximas fases de la obra. Las dovelas a colocar por medio de esta técnica tienen una longitud cercana a los 40 m. (Yepes, 2015).



Figura 23. Ejemplo de cimbra auportante (Yepes, 2015).

3. Acciones que deben considerarse durante la construcción.

3.1. Carga muerta.

La carga muerta se encuentra constituida por la estructura del mismo puente, pero también se consideran los elementos no estructurales, tales como son la carpeta asfáltica en la calzada de la estructura; guarniciones, banquetas y parapetos; tuberías, conductos, cables, postes y demás elementos de instalaciones de servicio público. En algunas ocasiones es necesario contemplar si existirán equipos, casetas y señales que ocuparán una posición fija sobre la estructura, (N-PRY-CAR-6-01-001). Para determinar las cargas muertas se considera lo siguiente:

1. “Es conveniente evitar la colocación de carpetas asfálticas sobre puentes y estructuras similares, procurando que la superficie superior del concreto de las losas de la calzada sea la superficie de rodamiento. En este caso, si se prevé que la estructura estará sujeta al tránsito pesado, se incrementa el recubrimiento de la parrilla superior del acero de refuerzo de las losas, en cero coma cinco (0,5) centímetros por encima del recubrimiento normal y este sobrepeso se considera como capa de desgaste”, (N-PRY-CAR-6-01-003/1).
2. “Para el cálculo de la carga muerta de materiales de uso común, pueden tomarse los pesos volumétricos que se indican en el Cuadro 5 que se muestra en seguida. En el caso de materiales no incluidos en ese cuadro, el peso volumétrico nominal se determina mediante un estudio estadístico de los pesos volumétricos obtenidos de muestras del material y será igual al valor que tenga una probabilidad de no ser excedido del dos por ciento”, (N-PRY-CAR-6-01-003/1).

Cuadro 5. *Peso volumétrico de materiales de uso común (N-PRY-CAR-6-01-003/1).*

Material	Peso volumétrico (kg/m3)
Acero o fundición de acero	7,850
Hierro colado	7,210
Aleaciones de aluminio	2,800
Madera tratada o sin tratar	800
Concreto asfáltico	2,200
Concreto hidráulico simple	2,300
Concreto hidráulico reforzado	2,400
Tierra, arena, grava o balasto compactados	1,900
Tierra, arena o grava sueltas	1,600
Macadam o grava compactada con rodillo	2,240
Relleno de escoria	960
Pavimento (que no sea de madera)	2,400
Mampostería de piedra	2,720
Vía de ferrocarril (rieles, guarda riel y accesorios)	300

Con la definición realizada por Allauca Palta, José Luis, se comprende un poco mejor lo mencionado en el apartado anterior, así como también muestra una tabla con pesos específicos para algunos materiales.

“El peso propio se determinará considerando todos los elementos que sean indispensables para que la estructura funcione como tal. Las cargas muertas incluirán el peso de todos los elementos no estructurales, tales como veredas, superficies de rodadura, balasto, rieles, durmientes, barandas, postes, tuberías, ductos y cables.

El peso propio de las cargas muertas serán estimados sobre la base de las dimensiones indicadas en planos y en cada caso considerando los valores medios de los correspondientes pesos específicos.”

Cuadro 6. Pesos específicos de algunos materiales (Allauca, 2009).

Material	Peso específico (kgf/m ³)
Agua dulce	1,000
Agua salada	1,020
Acero	7,850
Aluminio	2,800
Arena, tierra o grava sueltas, arcilla	1,600
Arena, tierra o grava compactas	1,900
Asfalto, macadam	2,200
Concreto ligero	1,740
Concreto normal	2,400
Concreto armado	2,500
Hierro forjado	7,200
Balasto	2,250
Madera	1,020
Mampostería de piedra	2,700
Rieles y accesorios (por metro lineal de vía férrea)	300

3.2. Cambios de temperatura y gradiente de temperatura.

Debido a las condiciones del lugar en donde se encontrará el puente a realizar, se debe de tomar en cuenta que los cambios bruscos de temperatura pueden producir efectos al concreto que se aplicará, tales efectos van desde la contracción y la dilatación, así como la fisuración. Por la anterior razón, es recomendable un monitoreo térmico, a forma de tener un adecuado seguimiento y un control que eviten daños a las losas del tablero, cabe mencionar que tales daños pueden llevar consigo reparaciones costosas y posiblemente la reconstrucción. De igual modo, se encuentra que las losas que constituyen al tablero de un puente, puede sufrir el efecto de alabeo, debido al gradiente de temperatura que se presenta en esta. Este tipo de daño se caracteriza por ser la distorsión que sufre la losa tomando una forma curva ya sea hacia arriba o hacia abajo, presentándose así encorvaciones en los bordes. Comprendiendo mejor, de por qué ocurre un alabeo, se encuentra que la forma básica de su ocurrencia es por la contracción diferencial que se origina cuando la superficie se seca y el núcleo todavía se encuentra en estado plástico, también se tiene registro de presentar alabeo inmediato, los cuales ocurren debido a que se tiene un curado pobre y un secado rápido de la superficie (Yale, 2017).

Por lo anterior, es recomendable realizar un monitoreo térmico y seguir las siguientes recomendaciones para clima cálido y clima frío:

- **Clima cálido:**
 - Utilizar retardantes para controlar los tiempos de fraguado, sobre todo en tiempos de trayectos largos.
 - Utilizar cementos de bajo calor de hidratación y evitar utilizar cementos de alta resistencia inicial.
 - Crear sombras en los acopios de agregados y rociarlos con agua.
 - En condiciones de calor extremas, considerar posponer el mezclado hasta llegar al sitio de la obra, es decir, cargar los materiales dentro del camión sin hacer girar el tambor y cargando el cemento en último lugar.
 - Pintar la mezcladora del camión de blanco con el objeto de evitar una alta absorción solar y consecuentemente un calentamiento del concreto.
- **Clima frío:**
 - Utilizar concreto con aire incorporado cuando se esperen exposiciones a la humedad.
 - Colocar y mantenga el concreto a la temperatura recomendada.
 - Verter el concreto al asentamiento práctico más bajo posible.
 - Limitar los cambios rápidos de temperatura cuando se retiren las medidas de protección.

3.3. Contracción y flujo plástico.

Para este tipo de estructuras, el concreto usado presenta grandes desventajas, como ya se había mencionado con anterioridad, la contracción es uno de los problemas que puede sufrir este material, así mismo también se considerará el flujo plástico como detalle de gran importancia a considerar.

3.3.1. Contracción.

La definición más simple que se le puede dar a contracción es: “este, es el acortamiento que experimenta el concreto durante el proceso de endurecimiento y secado”. Esta condición se debe principalmente a la pérdida de agua en exceso que ocurre por la evaporación, (Ottazzi, 2004). De la cita antes mencionada, se toman los principales factores que afectan la contracción:

- La contracción por secado depende de la relación agua/cemento. Considerando la naturaleza misma del proceso, resulta claro que el factor determinante de la magnitud final de la contracción es el contenido original de agua en la mezcla, a mayor contenido de agua es de esperarse mayor contracción.
- La contracción sucede en la pasta de cemento-agua por lo tanto, una mezcla rica en pasta se contraerá más que otra pobre.
- Depende fuertemente de las condiciones ambientales (humedad relativa) especialmente a edades tempranas. A mayor humedad mayor contracción.
- A mayor finura de molido del cemento, corresponde una mayor contracción.
- Depende de la relación (volumen del elemento)/(área de la superficie expuesta) ya que las capas exteriores del elemento pierden humedad más rápidamente que las interiores. En consecuencia las capas interiores restringen a las exteriores generando esfuerzos de tracción en la superficie del elemento. En elementos grandes o masivos la relación anterior es mayor, por lo tanto la contracción será menor ya que habrá más concreto húmedo restringiendo la contracción.

Así pues, nos menciona también que existen tres formas distintas de contracción:

- Contracción por secado: que se produce por la pérdida de humedad en el concreto.
- La contracción autógena: que es causada por la hidratación del cemento.
- La contracción por carbonatación: es un tipo de contracción secundaria que suele ocurrir en ambientes ricos en dióxido de carbono (CO_2) por la reacción de diversos productos de la hidratación del cemento con el CO_2 del medio ambiente.

De la misma cita, se recomiendan seguir los siguientes puntos para controlar la contracción:

- Mediante un curado apropiado del concreto.
- Mediante el empleo de dosificaciones o mezclas de concreto apropiadas.
- Evitar las temperaturas altas en el concreto durante su colocación y curado.
- Mediante el uso de juntas de llenado o de construcción.
- Mediante el uso de juntas de control.
- Mediante el empleo de refuerzo de acero adecuadamente distribuido.
- Mediante el uso de cementos expansivos.

3.3.2. Flujo plástico.

El flujo plástico se define como una deformación inelástica del concreto bajo esfuerzos sostenidos. Este ocurre solo si el concreto se encuentra sometido a esfuerzos de compresión o de tracción, esto quiere decir, que si el elemento no se encuentra con carga no se presenta el flujo plástico. (Ottazzi, 2004). A continuación, se describen los factores principales que afectan la magnitud del flujo plástico:

- La duración de la carga. Si las cargas son de corta duración, como el viento o el sismo, no se produce dicho efecto. El flujo plástico asociado a cargas de naturaleza sostenida como el peso propio de los elementos estructurales.
- La edad a la cual se le aplican esfuerzos sostenidos al concreto. Si el concreto se carga a edades tempranas, el flujo plástico es mayor. Si el concreto se carga a los siete días, el flujo plástico es un 20% mayor que si se carga a los treinta días (ACI 209).
- El flujo plástico depende de la magnitud del esfuerzo de compresión aplicado. Hasta un esfuerzo de aproximadamente $0.5 f'c$, las deformaciones por flujo plástico son proporcionales a las deformaciones elásticas y por ende a la magnitud del esfuerzo aplicado. Más allá de este esfuerzo el flujo plástico se incrementa rápidamente. Para esfuerzos sostenidos entre el 75% a 85% de $f'c$ el flujo plástico puede llevar el elemento a la falla.
- Depende de la cantidad de armadura y de las dimensiones del elemento. Las dimensiones del elemento afectan en dos sentidos. El primero tiene que ver con la intensidad del esfuerzo, es claro que si el elemento tiene dimensiones mayores que las necesarias por resistencia. El esfuerzo aplicado será bajo y en consecuencia también del flujo plástico.
- Depende de la composición del concreto. Lo único que experimenta flujo plástico es la pasta de cemento, los agregados no lo experimentan. Por lo tanto a mayor contenido de pasta mayor será el flujo plástico.
- Depende de la humedad relativa promedio del ambiente, a mayor humedad menor flujo plástico, esto es debido a que una parte de dicha afección se debe a la migración de agua libre en los poros hacia el exterior del concreto.

Según la norma AASHTO 2017, las funciones tanto para contracción como para flujo plástico, pueden tomarse en cuenta las que se especifican en el CEB-FIP 1990 (código de modelo para estructuras de concreto).

- **Contracción**

La deformación por contracción está dada por:

$$\varepsilon_{CS}(t, t_s) = \varepsilon_{CSO} \beta_s(t - t_s)$$

Donde:

- t_s Edad del concreto al comienzo del secado, en días.
 $\beta_s(t - t_s)$ Función que describe el desarrollo de la contracción con el tiempo.
 ε_{CSO} Coeficiente ficticio por contracción, calculado como:

$$\varepsilon_{CSO} = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH}$$

Con:

$$\beta_s(f_{cm}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cm}/10)]10^{-6} \quad \beta_{RH} = -1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right]$$

Donde:

- f_{cm} Resistencia a la compresión del concreto, en kg/ cm².
 β_{sc} Coeficiente que depende del tipo de concreto; 4 para concreto de bajo fraguado; 5 para concreto normal y cemento de endurecimiento rápido; 8 para concreto de alta resistencia y endurecimiento rápido.

- **Flujo plástico**

El coeficiente por flujo plástico del concreto se calcula como:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t - t_0)$$

Donde:

- $t =$ Edad del concreto, en días.
 $t_0 =$ Edad del concreto al momento de aplicar la carga, en días.
 $\beta_c(t - t_0) =$ Función que describe el desarrollo del flujo plástico con el tiempo.
 $\varphi_0 =$ Coeficiente ficticio de flujo plástico, calculado como:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0)$$

Siendo:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0.46(h - 100)^{1/3}} \quad \beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{(f_{cm}/10)^{0.5}} \quad \beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}}$$

Donde:

- RH = Humedad relativa del ambiente (%)
 h = Tamaño ficticio del elemento estructural = $(2A_c)/u$ (mm)
 A_c = Área de la sección transversal del elemento (mm²)
 u = Perímetro de la sección transversal en contacto con la atmósfera (mm)
 f_{cm} = Resistencia del concreto a los 28 días, en kg/cm²

La función que describe el desarrollo del flujo plástico en el tiempo es:

$$\beta_c(t - t_o) = \left[\frac{t - t_o}{\beta_H + t - t_o} \right]^{0.3}$$

Con:

$$\beta_H = 150 \left\{ 1 + \left(1.2 \frac{RH}{100} \right)^{18} \right\} \frac{h}{100} + 250 \leq 1500$$

La ecuación que describe el desarrollo del flujo plástico con el tiempo es dada por:

$$\beta_s(t - t_s) = \left[\frac{t - t_s}{350(h/100)^2 + t - t_s} \right]^{0.5}$$

3.4. Cargas accidentales.

Este tipo de cargas son aquellas que ocurren de forma casual durante la vida de las estructuras, estas cargas no son constantes y llegan a alcanzar valores de gran magnitud. Una carga accidental puede ser la ocasionada por sismo, viento, explosiones, incendios y otros fenómenos extraordinarios que pudieran ocurrir. Con lo anterior se entiende que, este tipo de carga no se debe en sí, al funcionamiento de la estructura y que tiene periodos relativamente cortos de duración. Para este trabajo, solo se explicará de forma breve lo que es el sismo y el viento, en este caso se toma en consideración el trabajo realizado por el MSc. Ing. Arturo Rodríguez Serquén, que a su vez considera las normas AASHTO 2014, sirviendo como un claro ejemplo, de cómo es que se deben considerar estas cargas en los puentes en general, es decir, que no es exclusivo de puentes atirantados.

3.4.1. Carga por viento

Entiéndase como carga de viento o por viento a cualquiera de las fuerzas ejercidas por una masa de aire en movimiento, que provoca una presión en ciertas partes de la estructura, mientras que se produce una succión en otras. Este tipo de carga se considera que está uniformemente distribuida sobre el área que se encuentra expuesta al viento. La siguiente función se utiliza para el ajuste de la velocidad de viento de diseño en puentes que se sostienen a una altura a más de 9.15 m. sobre el nivel del terreno o del agua.

$$V_{DZ} = 2.5V_O \left(\frac{V_g}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_O} \right)$$

Donde:

- V_{DZ} = Velocidad del viento de diseño a la altura de diseño Z (km/h).
- V_O = Velocidad friccional (km/h).
- V_g = Velocidad del viento a 9.15 m sobre el nivel del terreno de diseño (km/h). En ausencia de datos $V_g = V_B = 160$ km/h
- V_B = Velocidad básica del viento igual a 160 km/h a una altura de 9.15 m.
- Z_O = Longitud de fricción que trae el viento aguas arriba (m).
- Z = Altura de la estructura > 9.15 m.

En el siguiente cuadro se muestran los valores que toman V_O y Z_O dependiendo de las áreas en que se encuentre el puente.

Cuadro 7. Valores para V_o y Z_o (Rodríguez, 2017).

Condición	Terreno Abierto	Área Suburbana	Área Urbana
V_O (km/h)	13.2	17.5	19.3
Z_O (m)	0.07	1.00	2.50

Del mismo modo, se aplica la siguiente función para obtener la presión de viento sobre las estructuras, explicando más adelante las cargas en las superestructuras en dado caso de que el viento se presente con un ángulo de oblicuidad.

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{160} \right)^2$$

- P_D = Presión del viento de diseño (kg/ m²).
- P_B = Presión básica del viento (kg/ m²).

En el próximo cuadro se especifican los valores para presión básica P_B correspondiente a $V_B = 160$ km/h.

Cuadro 8. Presión básica P_B (Rodríguez, 2017).

Componente de la superestructura	Carga a barlovento (kg/ m ²).	Carga a sotavento (kg/ m ²).
Reticulados, columnas y arcos	245	122
Vigas	245	No aplica
Grandes superficies planas	195	No aplica

Para este caso, nos explica que “la carga total de viento no se debe tomar menor que 445 kg/m en el plano de un cordón a barlovento ni 223 kg/m en el plano de un cordón a sotavento de un componente reticulado o en arco, ni se deberá tomar menor que 445 kg/m en componentes de vigas o vigas cajón” (Rodríguez, 2017).

En el siguiente cuadro se colocan los valores para P_B para diferentes ángulos de ataque y siendo correspondientes a $V_B = 160$ km/h.

Cuadro 9. P_B para diferentes ángulos de ataque (Rodríguez, 2017).

Ángulo de oblicuidad del viento (°)	Reticulados, columnas y arcos		Vigas	
	Carga lateral (kg/ m ²).	Carga longitudinal (kg/ m ²).	Carga lateral (kg/ m ²).	Carga longitudinal (kg/ m ²).
0	365	0	245	0
15	342	60	215	30
30	317	137	200	60
45	230	200	160	78
60	117	245	83	93

Las fuerzas que se aplican de forma directa a la subestructura, nos explica que son fuerzas transversales y longitudinales que se deberán calcular en base a una presión básica del viento supuesta de 195 kg/m², y que para direcciones del viento oblicuas, con respecto de la estructura, la fuerza se debe resolver en componentes perpendiculares a las elevaciones posterior y frontal de la estructura. Se consideran sensibles al viento, aquellos puentes así como sus componentes estructurales, donde tengan una relación de tramo/ancho o profundidad superior a 30, en este caso, se deben considerar solicitaciones aeroelásticas en su diseño (Rodríguez, 2017).

3.4.2. Carga por sismo.

Esta carga es de tipo horizontal oscilante que soporta la estructura cuando se presenta un terremoto. “Las cargas sísmicas se toman como solicitaciones horizontales determinadas en base al coeficiente de respuesta elástica, C_{sm} , y al peso equivalente de la superestructura, ajustados por el factor de modificación de respuesta, R ” (Rodríguez, 2017).

En el siguiente cuadro se enlistan los coeficientes de respuesta sísmico elástico para distintos periodos:

Cuadro 10. Coeficiente de Respuesta Sísmico Elástico respecto al periodo que se presente (Rodríguez, 2017).

Tipo de periodo	Coeficiente de Respuesta Sísmico Elástico
Periodo $\leq T_o$	$C_{sm} = A_S + (S_{DS} - A_S)(T_m/T_o)$
$T_o \leq$ Periodo $\leq T_S$	$C_{sm} = S_{DS}$
Periodo $\geq T_S$	$C_{sm} = S_{D1}/T_m$

Donde:

$$A_S = F_{pga}(PGA)$$

$$S_{DS} = F_a S_S$$

PGA = Coeficiente de aceleración pico del terreno sobre la roca.

S_S = Coeficiente de aceleración de respuesta espectral horizontal en 0.2 segundos de periodo sobre roca.

T_m = Periodo de vibración del modo m th (s).

T_o = Periodo de referencia usado para definir la figura espectral = $0.2T_S$ (S)

T_S = Esquina del periodo en el cual los cambios de espectro de ser independiente del periodo pasan a ser transversalmente proporcional al periodo = S_{D1}/S_{DS} (S)

$$S_{D1} = F_V S_1$$

S_1 = Coeficiente de aceleración de respuesta espectral horizontal en periodo de 0.1 seg. sobre roca.

Como ejemplo, se muestra el espectro de respuesta al 5% de diseño amortiguado en la figura 24.

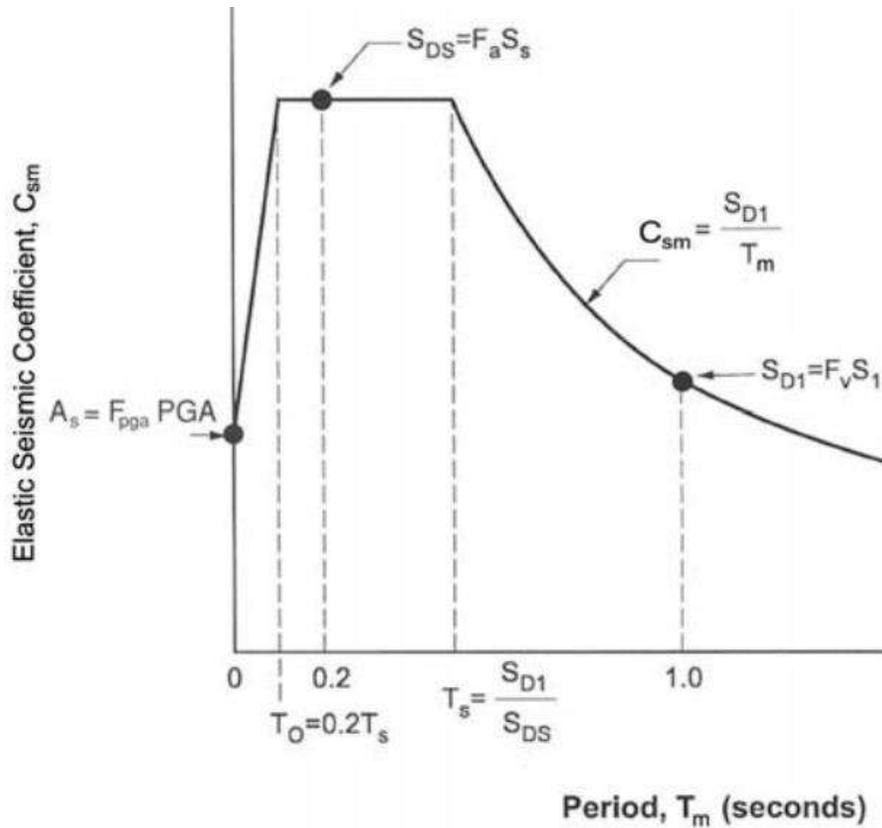


Figura 24. Espectro de Respuesta de Diseño, (Rodríguez, 2017).

F_{pga} , F_a y F_v son factores de sitio que serán usados en el período cero y en el rango de períodos corto y largo. Para la obtención de estos factores se usarán las clases de sitio que se muestran en el cuadro # así como los valores para los coeficientes PGA , S_s y S_1 que se obtengan conforme a estudios. En los próximos cuadros, se muestran los valores a obtener para los factores de sitio, respecto a la clase de sitio y para los coeficientes PGA , S_s y S_1 .

Cuadro 11. Valores de Factor de Sitio, F_{pga} (Rodríguez, 2017).

Clase de sitio	Coeficiente de aceleración pico del terreno (PGA)				
	$PGA < 0.10$	$PGA = 0.20$	$PGA = 0.30$	$PGA = 0.40$	$PGA > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	-	-	-	-	-

Cuadro 12. Valores de Factor de sitio, F_a (Rodríguez, 2017).

Clase de sitio	Coeficiente de aceleración espectral en Periodo 0.2 seg (S_s)				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.76$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	-	-	-	-	-

Cuadro 13. Valores de Factor de Sitio, F_V (Rodríguez, 2017).

Clase de sitio	Coeficiente de aceleración espectral en Periodo 0.1 seg (S_1)				
	$S_1 < 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_s > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	-	-	-	-	-

- NOTAS:
1. Usar la interpolación lineal para valores intermedios de PGA , S_s y S_1 .
 2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios de clase F.

Cuadro 14. Clase de sitio (Rodríguez, 2017).

Clases de Sitio	Tipo de Suelo y Perfil
A	Roca dura con medida de velocidad de corte, $V_s > 1524 m/seg$
B	Roca con $762 m/seg < V_s < 1524 m/seg$
C	Suelo muy denso y roca suelo $365.76 m/seg < V_s < 762 m/seg$
D	Suelo rígido con $182.88 m/seg < V_s < 365.76 m/seg$
E	Perfil de suelo son $V_s < 182.88 m/seg$, o cualquier perfil con más de 3.05 m de arcilla blanda definida como suelo con $PI > 20$, $w > 40\%$ y $S_u < 0.24 kg/cm^2$
F	Suelos que requieren evaluaciones específicas de sitio, tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Turbas o arcillas altamente orgánicas ($H > 3.05$ m de turba o arcilla altamente orgánica donde H = espesor del suelo). • Arcillas de alta plasticidad ($H > 7.62$ m con $PI > 75$) • Estratos de Arcillas de buen espesor, blandas o semirrígidas ($H > 36.58$m).

NOTA: Cuando las propiedades del suelo no son conocidas con suficiente detalle para determinar la clase de sitio, se emprenderá una investigación de sitio suficiente para definir su clase. Las clases de sitio E y F no serán supuestas a no ser que la Entidad determine la clase de sitio E o F o estas sean establecidas por datos geotécnicos.

Donde:

- V_s = Promedio de la velocidad de onda de corte para perfiles de suelo superiores a los 30.48 m.
 N = Promedio de la cantidad de golpes de la prueba SPT (Sondeo de Penetración Estándar) para perfiles de suelo superiores a 30.48 m.
 S_u = Promedio de resistencia al corte no drenada en kg/cm^2 para perfiles de suelo superiores a 30.48 m.
 PI = Índice plástico.
 w = Contenido de humedad.

Dependiendo de la importancia que se le dé al puente, estos se clasificarán de la siguiente manera:

- **Puentes críticos:** estos puentes deben estar abiertos en todo momento en seguida de haber ocurrido un sismo importante, esto para poder ser usados por el tránsito de todos los vehículos y por los vehículos de emergencia o para fines de seguridad, (periodo de recurrencia 2,500 años).
- **Puentes esenciales:** estos puentes deben estar abiertos inmediatamente después del sismo de diseño, para permitir el tránsito de vehículos de emergencia o para fines de seguridad, (periodo de recurrencia de 1,000 años).
- **Otros puentes.**

Para las subestructuras y las uniones entre partes de estructuras se obtendrán solicitaciones sísmicas de diseño, las cuales se determinan mediante la división de las solicitaciones obtenidas por medio de un análisis elástico y el correspondiente factor de modificación de respuesta R . Dicho factor se especifica en los cuadros 15 y 16.

Cuadro 15. Factores de Modificación de Respuesta (R) – Subestructuras (Rodríguez, 2017).

Subestructura	Categoría según la importancia		
	Crítica	Esencial	Otras
Pilar tipo muro – mayor dimensión.	1.5	1.5	2.0
Caballetes de pilotes de concreto armado.			
• Solo pilotes verticales.	1.5	2.0	3.0
• Con pilotes inclinado.	1.5	1.5	2.0
Columnas simples.	1.5	2.0	3.0
Caballote de pilotes de acero o pilotes compuestos de acero y concreto.			
• Solo pilotes verticales.	1.5	3.5	5.0
• Con pilotes inclinados.	1.5	2.0	3.0
Caballetes multicolumna.	1.5	3.5	5.0

Cuadro 16. Factores de Modificación de Respuesta (R) – Conexiones (Rodríguez, 2017).

Unión	Todas las categorías
Superestructura – Estribo	0.8
Juntas de expansión dentro de un tramo de la superestructura	0.8
Columnas, pilares o caballetes de pilotes – Viga cabecera o superestructura	1.0
Columnas o pilares - Fundaciones	1.0

Para este tipo de carga se debe asumir que actúan en cualquier dirección lateral. Estas sollicitaciones sísmicas elásticas se deben combinar de la siguiente manera:

- 100 % del valor absoluto en una de las direcciones ortogonales combinado con 30 % del valor absoluto en la segunda dirección ortogonal.
- 100 % del valor absoluto en la segunda dirección ortogonal combinado con 30 % del valor absoluto en la primera dirección ortogonal.

4. Análisis de un Puente Atirantado terminado.

4.1. Modelado de un Puente Atirantado en SAP2000.

SAP2000 es un software que se aplica y se recomienda para el cálculo de estructuras. Se hace especial uso en la utilización de este programa para la realización del presente trabajo, puesto que se basa en el Método de Elementos Finitos (MEF), el cual es indispensable para el correcto análisis de un puente atirantado. Además, este software es de los más sencillos de entender en cuanto a su manejo, calculo y resultados, siendo ideal para obtener una mayor comprensión de este trabajo.

El puente a modelar presenta un sistema de configuración de atirantamiento a dos planos de tipo abanico, estando constituido por un tablero de 10 metros de ancho y una longitud de 168 metros, esta longitud estará conformada por 22 tramos donde, los 4 tramos extremos tienen una longitud parcial de 6 metros y los 18 tramos internos presentan una longitud de 8 metros. Se han contemplado 4 torres de 30 metros de altura, estando 10 metros entre la cimentación y el tablero y los otros 20 metros sobre el tablero. Para sostener el tablero en conexión con las torres, se requieren de 20 tirantes de acero inoxidable en total, quedando 5 tirantes por torre. Esto se entiende mejor en la figura siguiente, que describe el diseño de este puente.

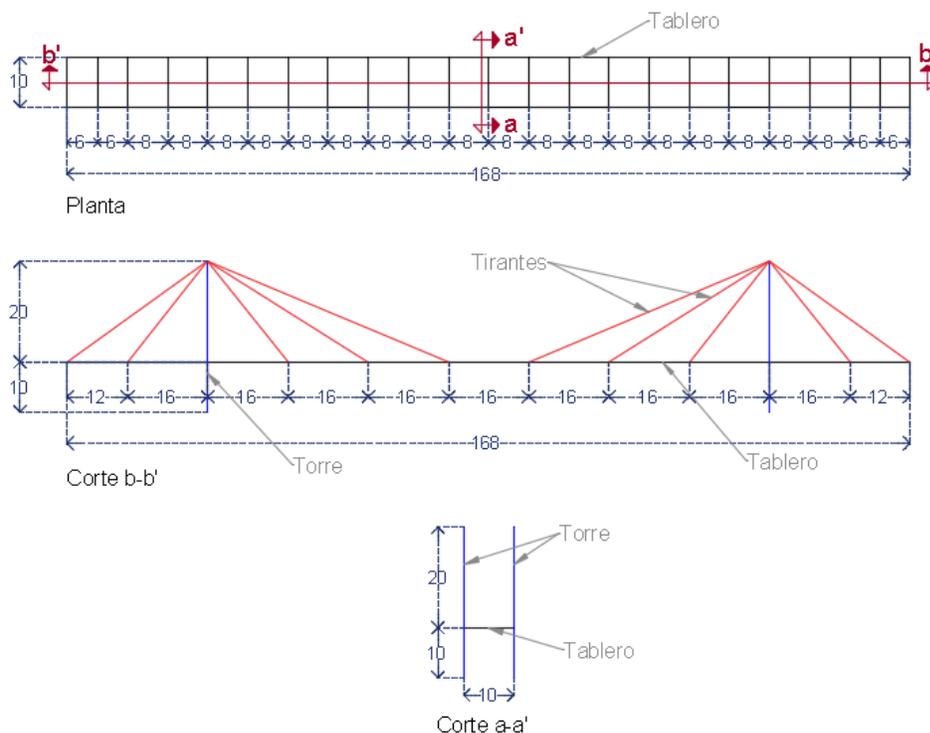


Figura 25. Diseño de Puente Atirantado.

Este puente se compone tanto de acero como de concreto, siendo más específico, los tirantes estarán compuestos de acero inoxidable de grado 50 y el tablero, así como las torres, serán de concreto con un $f'c = 300kg/cm^2$. La estructura del tablero se establece por traveses, en donde, en sentido "Y" tendrán dimensiones de 1.00 m x 0.75 m y en sentido "X" son traveses de dimensiones 1.00 m x 0.50 m (Figura 26). Las torres se conforman por una estructura hueca, en donde las paredes de esta sección deberán cumplir con la especificación de que la suma de sus áreas será igual a uno (Figura 27). En el cuadro 18 se muestran las especificaciones que deben presentar los materiales, así como las áreas y tensiones que deben tener los tirantes, en la figura 28 se muestra el acomodo y arreglo del puente en su totalidad. Se asignan los elementos Shell (Caparazón) al tablero, con espesor requerido de 0.29, quedando una estructura como la mostrada en la figura 29.

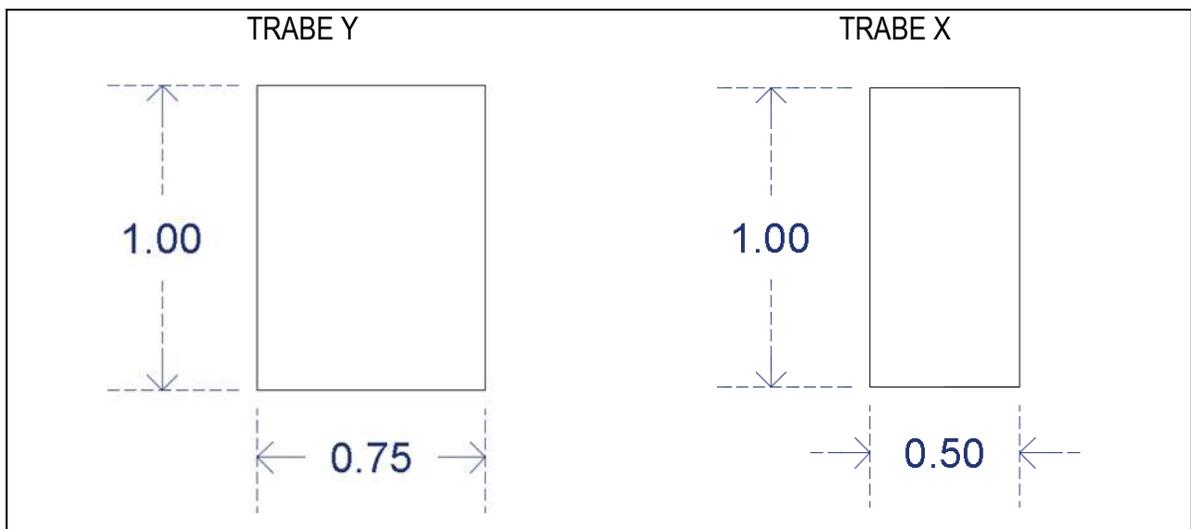


Figura 26. Dimensiones de las traveses que constituyen al tablero.

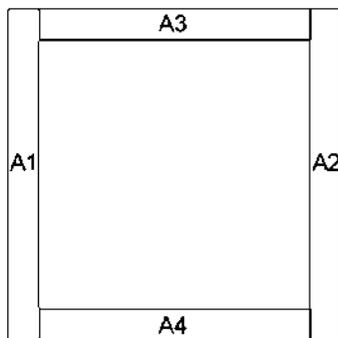


Figura 27. Determinación de la dimensión de la torre.

Cuadro 17. Cálculo para la terminación de las dimensiones de la torre.

	Base (B)	Altura (H)	Area (B*H)
A1	0.16	1.723	0.276
A2	0.16	1.723	0.276
A3	0.16	1.403	0.224
A4	0.16	1.403	0.224
		Suma =	1.000

Cuadro 18. Especificaciones para el arreglo de Tirantes.

No. Tirante	Área (m ²)	Tensión (tonf)
1	0.0208	447.460
2	0.0062	229.296
3	0.0062	286.989
4	0.0124	267.922
5	0.0124	391.018
Peso del cable =	7.849 tonf/m³	

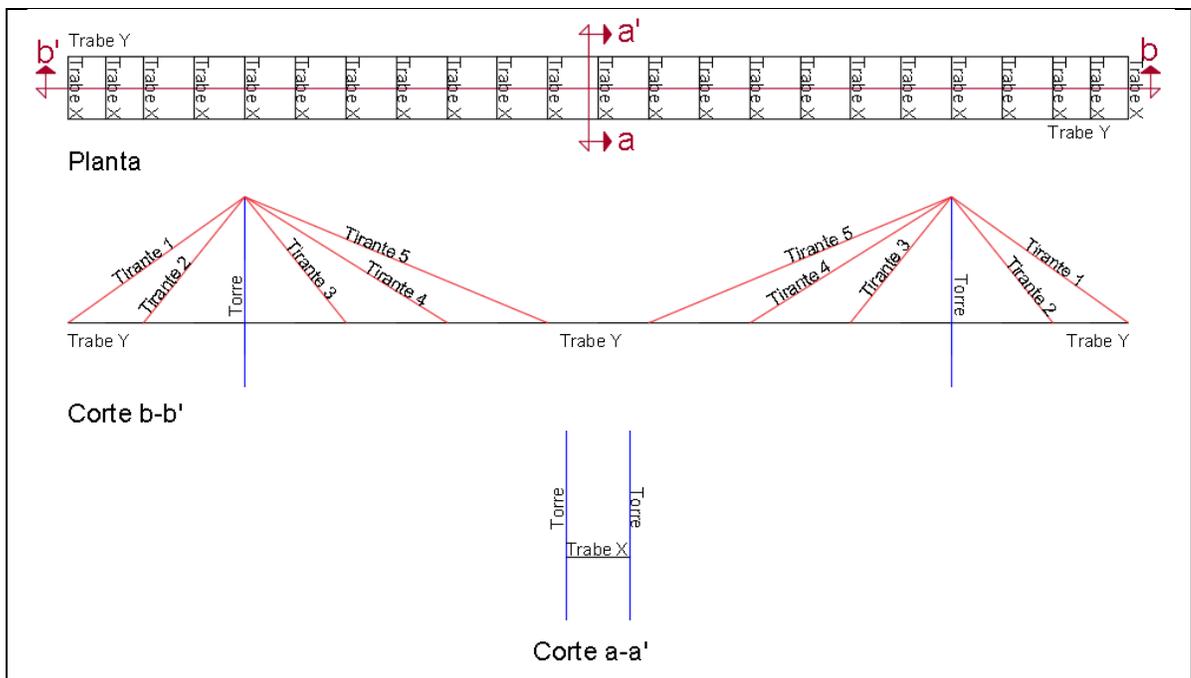


Figura 28. Composición de puente atirantado y arreglo de tirantes.

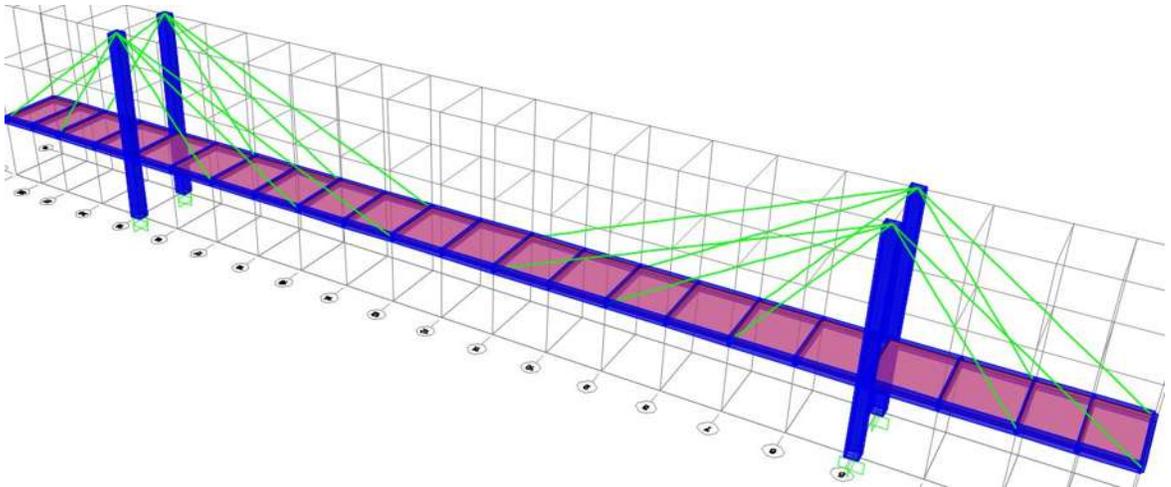


Figura 29. Modelación en SAP2000 del Puente Atirantado.

Recordando que la utilización de este programa se está aprovechando para poderse basar en el Método de Elementos Finitos, se procede a que todos los elementos de concreto se dividan en elementos de un 1 m, quedándonos un modelo en SAP2000 como se muestra en la figura 30.

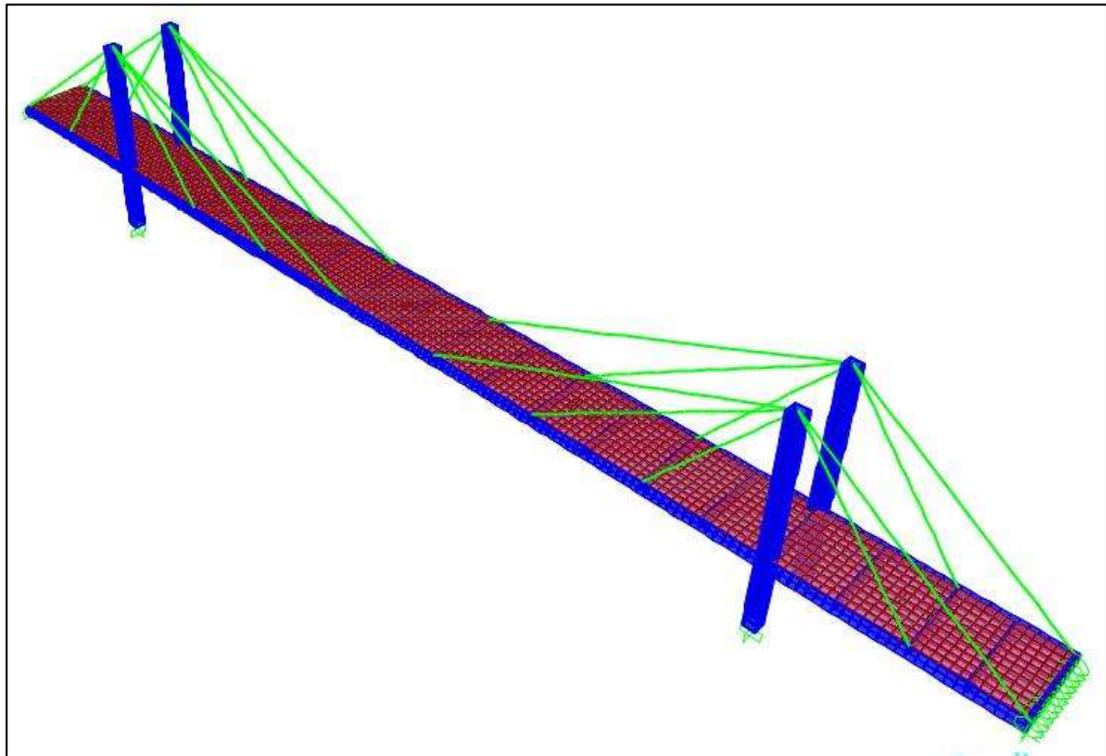


Figura 30. Puente atirantado con todos sus elementos divididos en elementos finitos.

4.2. Resultados de Análisis.

4.2.1. Peso propio del puente atirantado.

El peso propio se puede describir como la carga producida por la gravedad en la masa de los elementos constructivos, es decir, para este puente el peso propio se constituye por las traveses y la losa que conforman al tablero, así como las torres y los tirantes. En este caso, el peso propio también puede ser obtenido por medio de SAP2000, donde nos arroja un valor de 2 405.44 ton, esto se puede visualizar en la siguiente figura.

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m
▶	DEAD	LinStatic	-2.967E-13	8.476E-11	2405.4423	202057.1567	-12027.2117	1.531E-10

Figura 31. Obtención del peso propio del puente atirantado.

4.2.2. Carga muerta adicional.

Para la carga muerta adicional en el puente, solo se considera un asfalto de 12 cm de espesor con un peso específico de 2.2 ton/m³, teniendo un valor de carga de 0.264 ton/m². Considerando esta carga, se realiza un primer análisis al puente, obteniendo resultados desfavorables, al observar que las deformaciones tanto en el centro del tablero como en la parte superior de las torres eran bastante considerables, es decir, que se presentaban valores alejados a 0 (cero), siendo esto casi incorrecto puesto que la estructura debe presentarse estable al no tener ninguna carga adicional (viva).

Para corregir lo anterior expuesto, se procede a realizar un cambio en los valores de las tensiones de los cables, la forma en que se realizó fue por mera iteración, y buscando lo más posible acercarnos a 0 (cero). Con estos primeros análisis, se realiza una comparativa de los resultados obtenidos para dos modelos, siendo el modelo 1 donde se obtienen deformaciones desfavorables y el modelo 2 el que se toma como el correcto. La primera comparativa que se realiza es en cuanto a las tensiones de los cables, siendo las que se muestran en el cuadro 19 y para visualizar mejor que tan brusco fue el cambio de unas tensiones a otras, en la figura 32 se observa una gráfica con esta relación.

Cuadro 19. Tabla comparativa de tensiones.

No. tirante	Tensión modelo 1 (tonf)	Tensión modelo 2 (tonf)
1	447.460	850.460
2	229.296	385.296
3	286.989	286.989
4	267.922	260.922
5	391.018	268.118

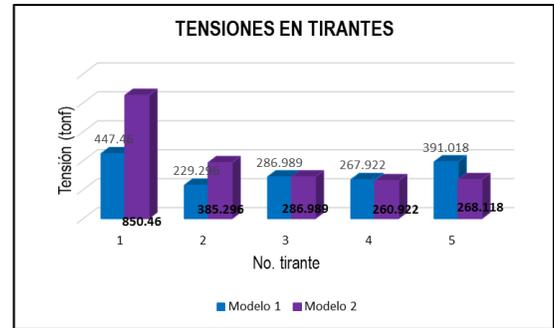


Figura 32. Comparativa de las tensiones en los tirantes para los modelos 1 y 2.

La siguiente comparación y donde más se notan las diferencias entre los modelos, es en los desplazamientos tanto para el tablero como para las torres, tal y como se puede apreciar en las figuras 33 y 34. Las deformaciones obtenidas para el centro del tablero son: modelo 1 = -0.0556, modelo 2 = (-0.000034), y para la parte superior de las torres son: modelo 1 = 0.079728, modelo 2 = (-0.0010). Por lo que se puede apreciar con estos valores, el modelo 2 es con el que trabajaremos para realizar los siguientes análisis.

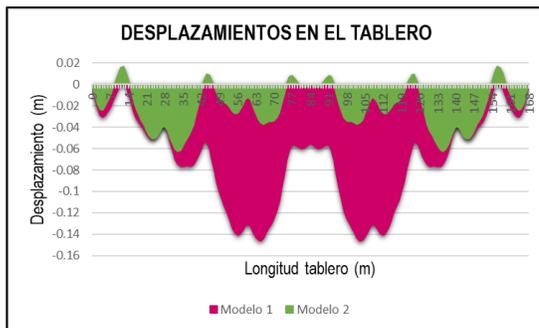


Figura 33. Comparación de desplazamientos en el tablero para los modelos 1 y 2.

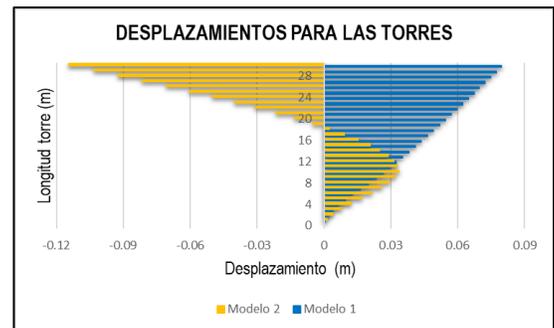


Figura 34. Comparación de desplazamientos en las torres para los modelos 1 y 2.

En los modos del puente también se pueden apreciar ligeras diferencias, para esto, se puede observar en las tablas de modos obtenidas de SAP2000 (Cuadros 20 y 21) y en la configuración de los primeros modos para ambos modelos (Cuadro 22).

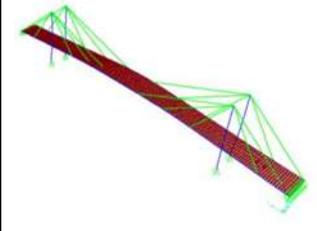
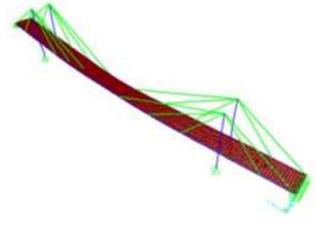
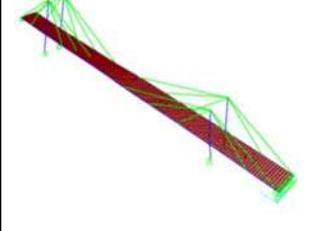
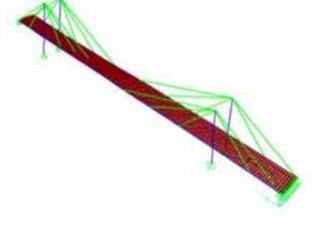
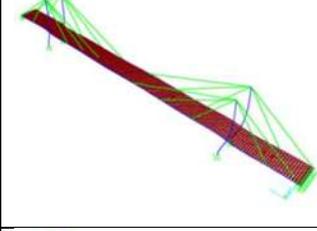
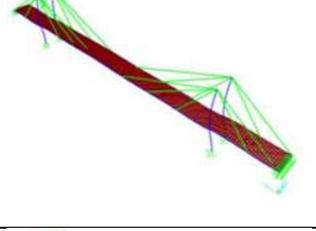
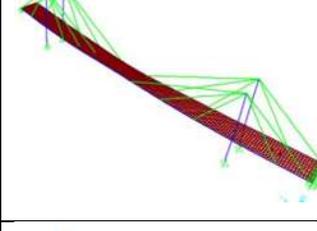
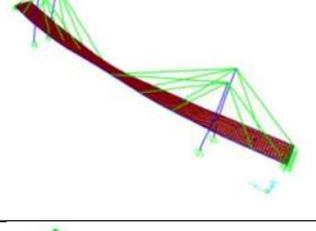
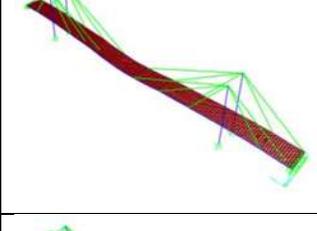
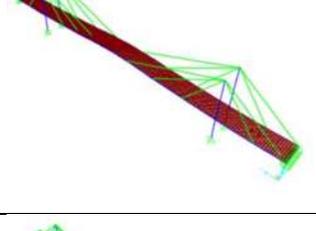
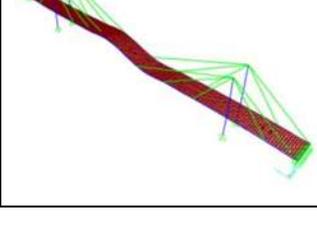
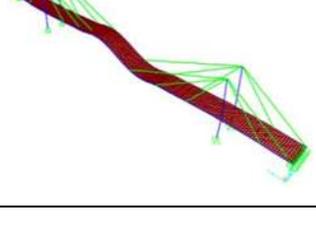
Cuadro 20. Tabla de modos para el modelo 1.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios (MODELO 1)							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	2.337998	0.581653	9.596E-20	4.457E-18	9.038E-19	0.407734	0.427333
2	1.736313	7.031E-17	1.288E-19	1.239E-15	2.574E-16	4.758E-18	0.229074
3	1.698206	1.627E-19	0.968343	1.342E-19	0.01187	6.35E-19	0.002521
4	1.648963	0.319054	0	0	7.106E-20	0.387224	0.234405
5	1.314048	2.51E-19	9.065E-20	0.408971	0.300166	0.05739	1.402E-18
6	1.07334	3.428E-17	0.005218	6.96E-18	0.019947	1.168E-16	0.000014
7	1.006749	7.289E-17	1.518E-17	0.000253	0.000185	0.000035	4.58E-17
8	1.006743	1.422E-17	8.637E-07	3.634E-17	0.000088	1.336E-16	2.249E-09
9	0.94374	0.007754	2.355E-17	2.906E-18	4.322E-17	0.002707	0.005697
10	0.918996	1.253E-17	3.722E-18	2.03E-18	7.868E-18	3.395E-18	0.007895
11	0.841275	0.069787	3.251E-16	7.075E-17	4.634E-16	0.008565	0.051271
12	0.809687	1.938E-18	1.474E-18	3.499E-18	2.876E-17	9.46E-16	0.01913
13	0.628693	9.126E-18	9.233E-16	0.070535	0.05177	0.009898	1.094E-17
14	0.60155	2.024E-19	1.043E-15	4.849E-17	4.734E-16	1.759E-17	0.000568
15	0.593609	4.127E-16	1.629E-07	1.539E-15	0.01462	9.566E-15	4.239E-10
16	0.535475	1.233E-16	1.922E-15	0.004264	0.00313	0.000598	3.952E-17
17	0.465471	1.523E-16	7.566E-16	0.049917	0.036637	0.007005	8.852E-17
18	0.461626	5.148E-17	0.007868	3.472E-15	0.022082	5.026E-16	0.00002
19	0.440416	2.174E-15	0.000323	1.736E-14	0.11131	1.384E-14	8.406E-07
20	0.440347	1.472E-15	8.536E-15	0.277928	0.203987	0.039001	2.642E-15
SUMA		0.978	0.982	0.812			

Cuadro 21. Tabla de modos para el modelo 2.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios (MODELO 2)							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	2.271081	0.564057	0.000000333	8.84E-12	3.234E-08	0.364358	0.416199
2	1.732827	0.000074	2.534E-07	1.125E-09	2.748E-08	0.000365	0.230067
3	1.698156	1.539E-12	0.965768	3.09E-09	0.012096	7.611E-12	0.002519
4	1.660635	0.359711	0.000000894	1.088E-08	1.045E-07	0.418081	0.261991
5	1.31665	4.083E-09	0.000003062	0.405183	0.300101	0.054436	3.364E-10
6	1.074173	1.221E-08	0.004979	5.066E-07	0.019726	6.038E-08	0.000013
7	0.929368	0.000328	7.682E-12	0.00026	0.000192	0.002131	0.000027
8	0.929366	0.000328	1.419E-07	1.643E-10	0.00008	0.00162	0.000027
9	0.928194	0.000014	0.000003749	6.272E-07	6.851E-07	0.00173	2.517E-07
10	0.873522	0.000058	0.000002998	1.026E-07	3.956E-07	0.000285	0.000698
11	0.793915	0.051541	1.828E-07	1.747E-07	6.373E-08	0.0188	0.041585
12	0.785955	0.000199	5.423E-07	1.072E-07	1.039E-07	0.000984	0.024193
13	0.628804	1.076E-09	2.516E-07	0.07063	0.052189	0.009462	8.875E-11
14	0.601241	0.000003588	0.000001945	0.000001401	5.959E-07	0.000018	0.000529
15	0.593721	9.249E-10	2.017E-09	2.796E-07	0.014578	4.582E-09	1.435E-10
16	0.535475	1.536E-10	1.224E-11	0.004247	0.003133	0.000568	1.258E-11
17	0.465347	9.275E-09	0.000000598	0.048649	0.035848	0.006503	7.631E-10
18	0.461493	6.503E-09	0.007768	6.72E-08	0.021592	3.216E-08	0.000021
19	0.440347	2.686E-07	0.000314	9.121E-07	0.111292	0.000001328	5.623E-07
20	0.440282	2.688E-07	5.315E-08	0.276767	0.204292	0.036724	2.216E-08
SUMA		0.976	0.979	0.806			

Cuadro 22. Tabla comparativa de modos para los modelos 1 y 2.

MODELO 1		MODELO 2	
MODO	VISTA 3D	MODO	VISTA 3D
UX = 0.581653		UX = 0.564057	
RZ = 0.229074		UZ = 0.230067	
UY = 0.968343		UY = 0.965768	
RY = 0.387224		RY = 0.418081	
UZ = 0.408971		UZ = 0.405183	
RX = 0.019947		RX = 0.019726	

Las últimas comparaciones que se presentan son respecto a los diagramas de momentos y cortantes tanto en tablero y en torres, así como las fuerzas axiales en los tirantes. Obteniendo las formas que se observan en las próximas figuras y los resultados que llenan la tabla para los cables.

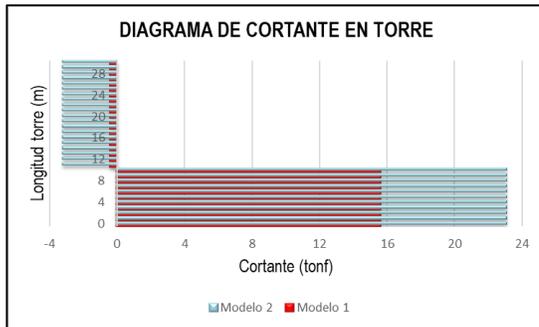


Figura 35. Comparación de Diagramas de Cortante en la torre para los modelos 1 y 2.

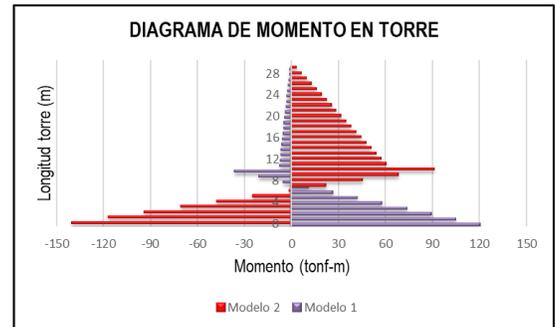


Figura 36. Comparación de Diagramas de Momento en la torre para los modelos 1 y 2.

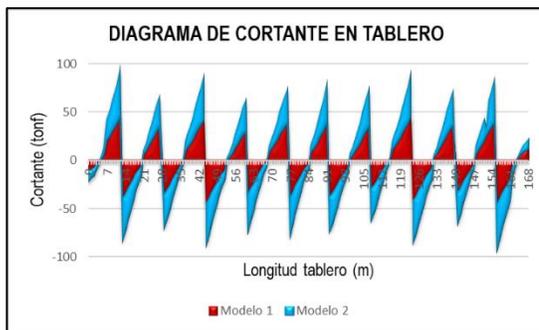


Figura 37. Comparación de Diagramas de Cortante en el tablero para los modelos 1 y 2.

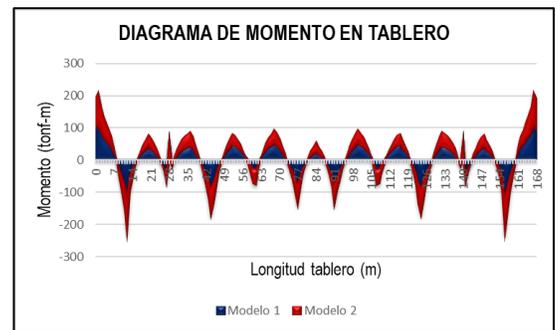


Figura 38. Comparación de Diagramas de Momento en el tablero para los modelos 1 y 2.

Cuadro 23. Comparación de Fuerzas Axiales.

FUERZAS AXIALES (tonf)		
No. tirante	Modelo 1	Modelo 2
1	570.16	571.51
2	172.91	179.79
3	172.37	171.61
4	200.34	214.58
5	321.03	310.25

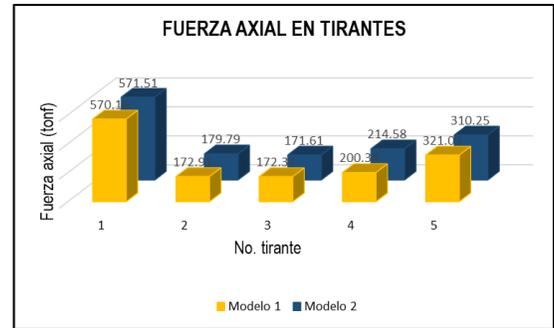


Figura 39. Comparativa de fuerzas axiales en los tirantes para los modelos 1 y 2.

Si se analizan los resultados obtenidos para ambos modelos, se puede observar que, primeramente, son muy parecidos entre sí, con esto se puede mencionar que las primeras tensiones utilizadas están cercanas a las óptimas para mantener el puente en un estado favorable. Aun con lo anterior, donde más se puede notar una mayor diferencia entre ambos modelos es en los desplazamientos para el tablero como para las torres, donde se ve que las formas entre los dos modelos no se parecen y de igual forma ayuda a comprender que efectivamente el modelo dos es el más cercano a lo correcto en la realidad, por lo que será este en el que se basaran los siguientes análisis para el puente en revisión.

4.2.3. Carga viva (Vehículos).

En la carga viva se considera el peso de uno o dos camiones, para la cual se toma en cuenta la instrucción de la IAP-98, donde se menciona que: “Uno o dos vehículos de 60 ton, cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al de la calzada, y formando cada uno por seis cargas de 10 ton. La separación entre cargas en sentido longitudinal será de un metro y medio (1.50 m), y en sentido transversal de dos metros (2.00 m)” (Figura 39). Así mismo se considera una carga distribuida y representa la carga de vehículos que se encuentran circulando por el puente, para esto la IAP-98 menciona que: “Una sobrecarga uniforme de 0.40 ton/m² extendida en toda la plataforma del tablero o en parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento en estudio” (IAP, 1998).

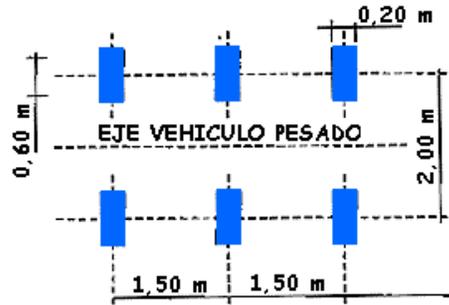


Figura 40. Planta croquis de un vehículo pesado (IAP, 1998).

En la vida de un puente se presentan distintos tipos de cargas, a lo que se hace referencia con eso, es que la carga del vehículo se produce en distintas partes del puente e incluso estar dos o más vehículos al mismo tiempo colocándose en varias partes del tablero en el puente. Por esta razón se analizarán distintos tipos de casos tal como se especifican a continuación.

- **Caso A.** Se contempla la carga de un vehículo en el centro del tablero (Figura 40).

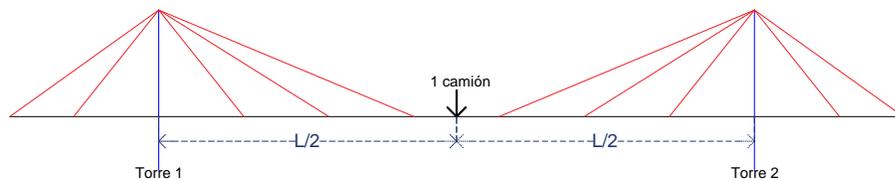


Figura 41. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro del claro principal.

- **Caso B.** Se contempla la carga de un vehículo en el centro de uno de los claros extremos. (Figura 41).

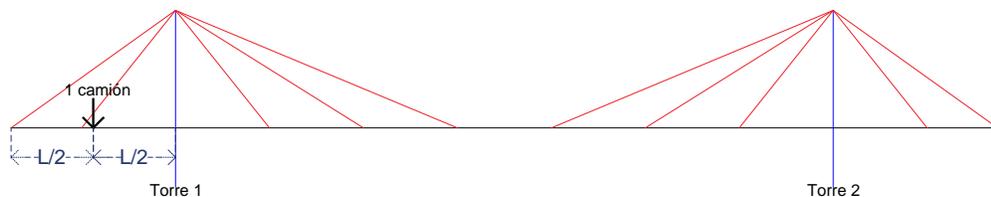


Figura 42. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro de uno de los claros extremos.

- **Caso C.** Se contempla la carga de dos vehículos a un cuarto en el claro principal (Figura 42).

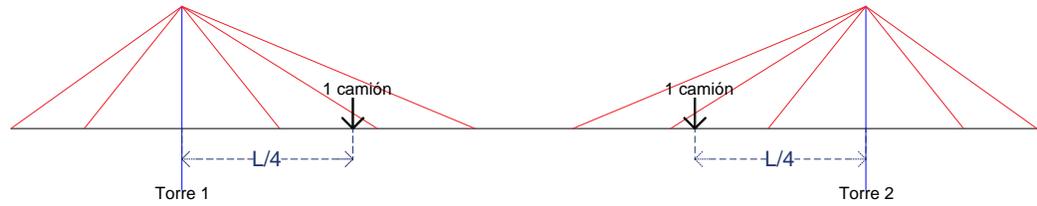


Figura 43. Puente atirantado con carga vehicular (2 camiones) en el claro principal.

- **Caso D.** Se contempla la carga de un vehículo en el centro de ambos claros extremos. (Figura 43).

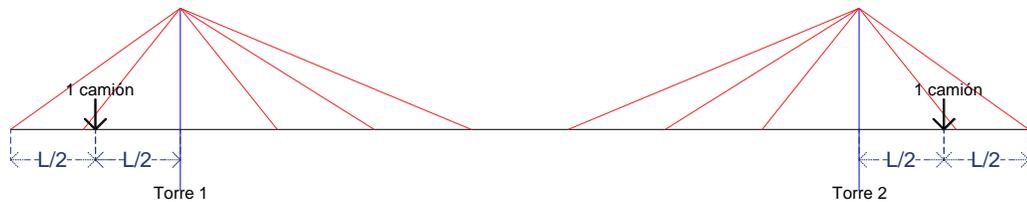
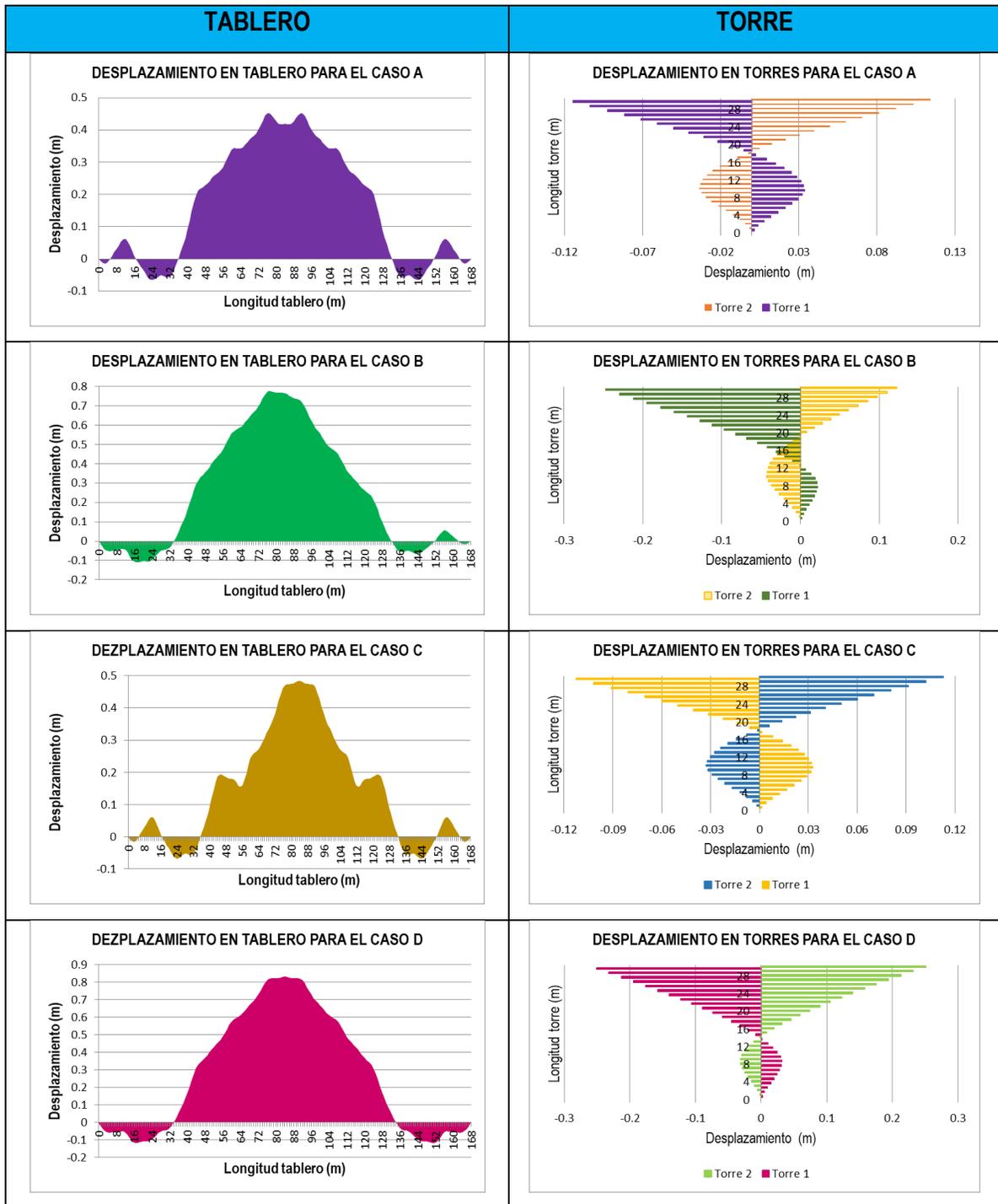


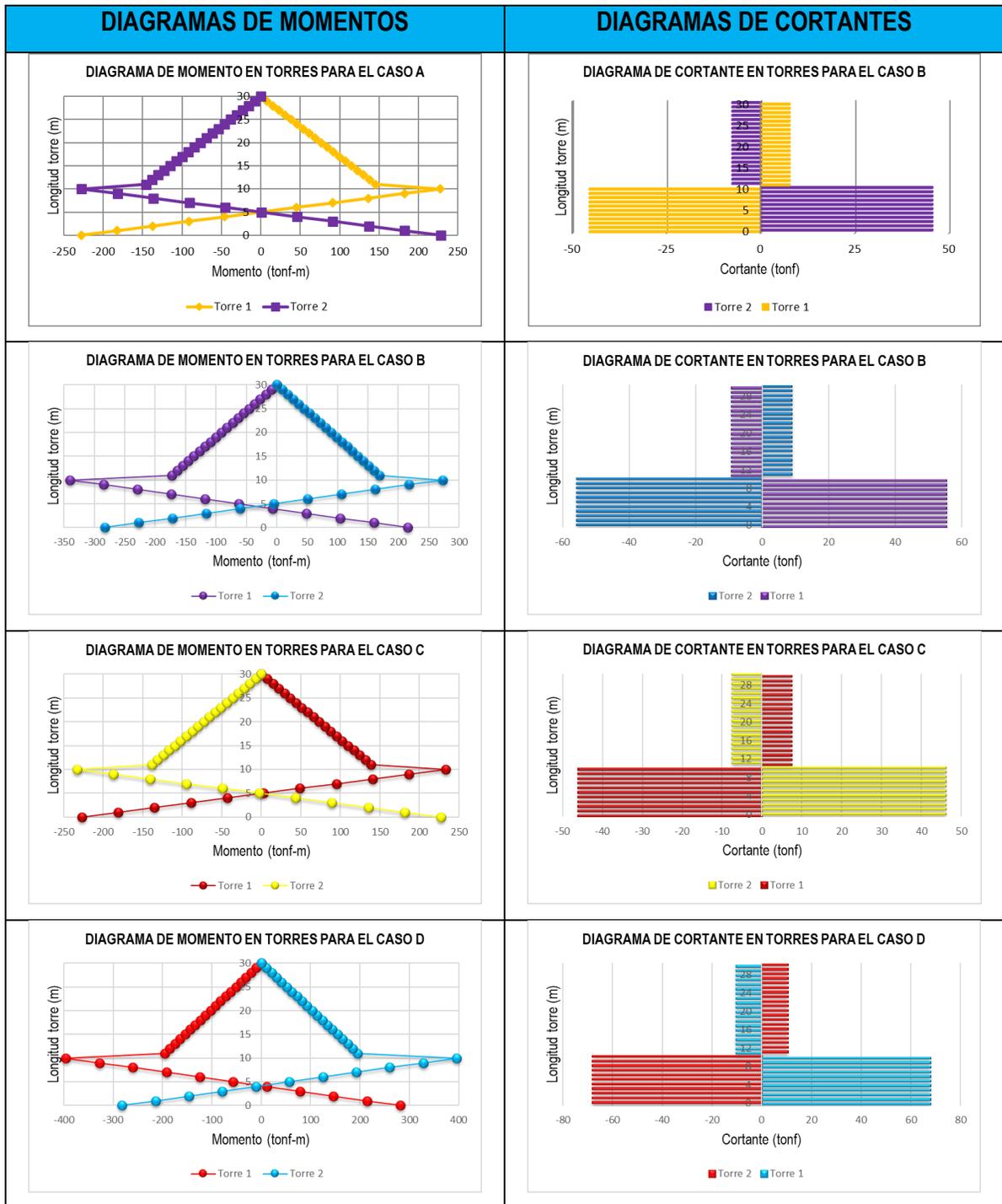
Figura 44. Puente atirantado con carga vehicular (un camión) en el centro de ambos claros extremos.

Para visualizar mejor las diferencias que se presentan en los resultados para los 4 casos, se trabajara con tablas donde se anexan las gráficas o diagramas correspondientes a desplazamientos, momentos y cortantes tanto para las torres como para el tablero. Esto, con el fin de ver como es el comportamiento del puente en su totalidad en distintas circunstancias

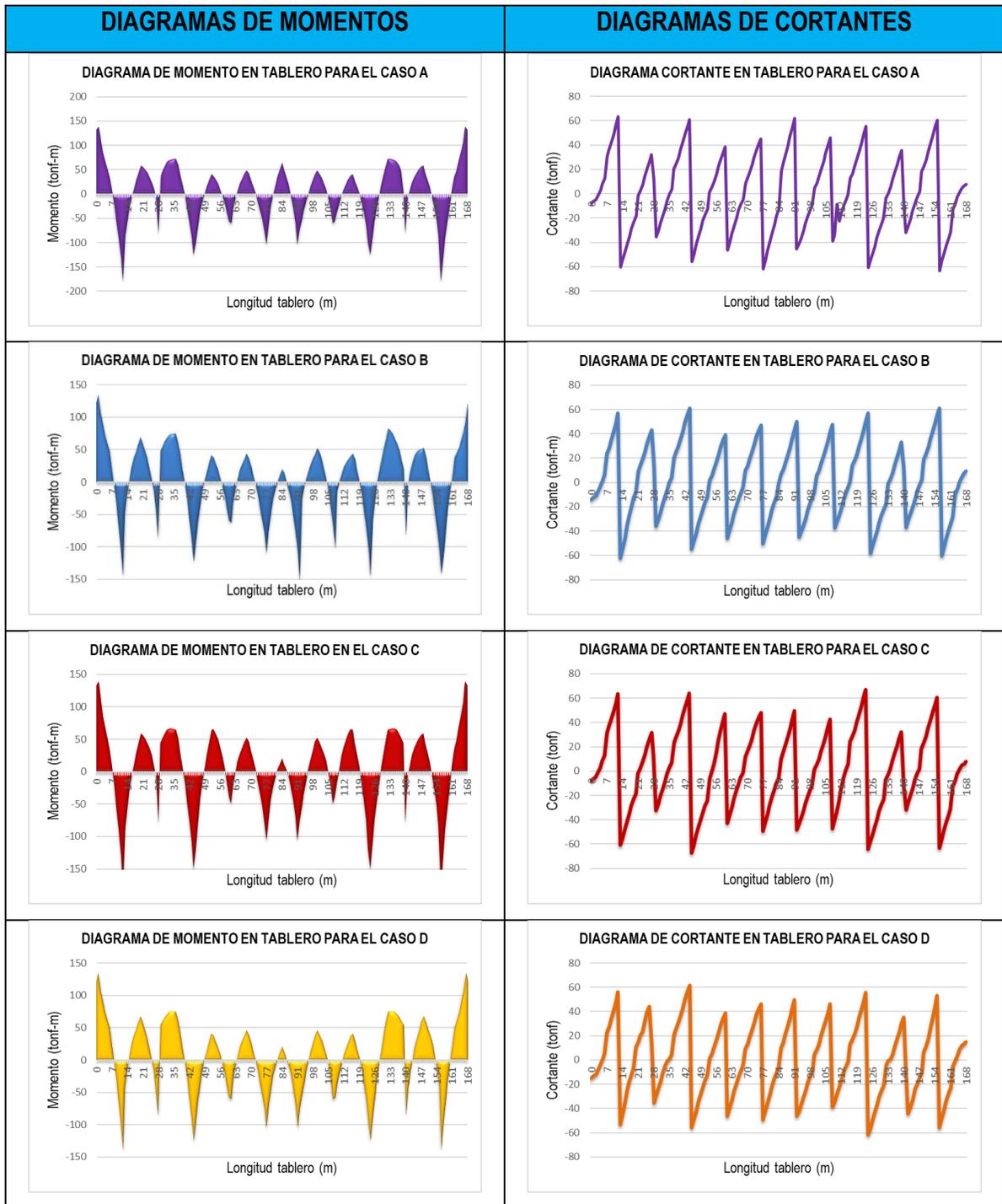
Cuadro 24. Desplazamientos en el tablero y torres para los casos A, B, C y D.



Cuadro 25. Diagramas de momentos y cortantes en las torres para los casos A, B, C y D.



Cuadro 26. Diagramas de momentos y cortantes en el tablero para los casos A, B, C y D.



Al analizar de forma detallada los casos A, B, C y D, se observan los siguientes puntos que se enlistan a continuación:

1. En cuanto a la forma que nos dibujan las gráficas, en todos los casos y para todos los análisis, el caso B es que más se diferencia con este aspecto. Para entender mejor a lo que se refiere este párrafo tomemos como ejemplo las figuras 44 y 45, también trabajaremos simulando un espejo entre los diagramas para comprender mejor. Tomemos como referencia la figura 44, correspondiente al diagrama de momentos para el caso A, en esta figura tenemos la primera mitad (lado izquierdo del puente) con ciertos valores y cierta forma arrojada, si lo comparamos con la segunda mitad, se simula un espejo, quedando mismos valores y misma forma, pero en direcciones contrarias. Esto no ocurre con la figura 45, respectiva al diagrama de momentos para el caso B. Si tomamos como ejemplo lo de las mitades y lo del espejo, no ocurre lo mismo, si siendo parecidos entre sí, pero se presenta una irregularidad en la forma de la segunda mitad lo cual no los hace similares. Esto se debe a la carga que se le está aplicando al puente, puesto que recordemos que el caso B contempla la carga del camión en solo un extremo del puente, y esto arroja un análisis correctamente ejecutado.

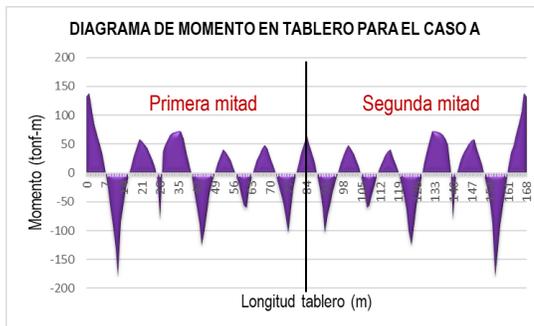


Figura 45. Diagrama de momento en el tablero para el caso A. Visualización de efecto espejo entre las mitades que componen al puente.

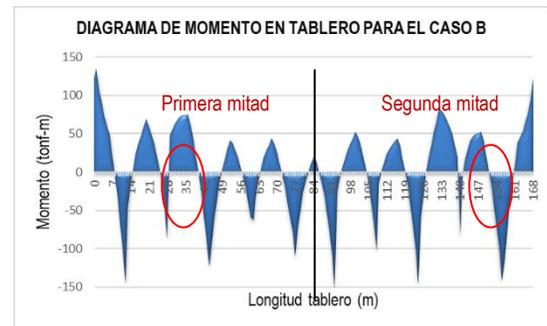


Figura 46. Diagrama de momento en el tablero para el caso B. Visualización de falta de efecto espejo entre mitades, destacando con un ovalo las diferencias entre ambas.

2. En cuanto a los valores, también se logran distinguir las diferencias entre un caso y otro, apreciándose que, aunque se encuentran dentro de un rango de valores en conjunto, de forma individual oscilan con otro rango distintivo para el caso al que trabaje el puente.

Del mismo modo, se puede encontrar que es muy notoria la diferencia entre las fuerzas axiales que se presentan en los cables para los distintos casos, tal y como se muestra en la tabla y gráfica siguientes.

Cuadro 27. Tabla de Fuerzas Axiales en los tirantes para los casos A, B, C, y D.

FUERZAS AXIALES (tonf)				
No. Tirante	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
1	771.52	727.14	778.8	727.14
2	248.41	258.26	249.09	254.34
3	233.38	232.33	258.33	234.57
4	262.87	262.87	286.87	262.87
5	441.32	407.98	409.57	402.53



Figura 47. Fuerzas Axiales en tirantes para los casos A, B, C y D.

5. Análisis del puente por etapas.

5.1. Proceso constructivo del puente atirantado.

Un puente atirantado, recordando lo redactado en el capítulo 1, se considera de gran ventaja, puesto que son grandes claros los que puede salvar, grandes alturas las que puede concebir y los cables que lo caracterizan tienen que trabajar con grandes magnitudes. Es por esto que es de suma importancia que este tipo de puente sea analizado contemplando las distintas etapas que lo desarrollan en su construcción. Este análisis se contempla con la finalidad de considerar los cambios de carga que se van presentando en la estructura del puente durante su construcción y hasta su terminación. Por lo anterior mencionado, para este puente en particular, se describe de forma general el proceso constructivo a seguir, tal y como se enumera en seguida.

1. Preparación del terreno.
2. Construcción de la cimentación.
3. Construcción de las torres.
4. Etapa 1, (Figura 46).
 - a. Se realiza la dovela en pila (D-1), específicamente se utiliza el método en doble voladizo, por lo que se realizan las primeras dos dovelas a ambos lados de la pila, estas dovelas cuentan con un peso de 108.48 tonf cada una, siendo sus dimensiones de 8 m de largo y 10 m de ancho.
 - b. Montaje del carro de avance (c-a) con un peso de 40 tonf.
 - c. Realización de las dovelas número dos (D-2), con un largo de 8 m y un peso de 108.48 tonf.
 - d. Colocación y tensado de los cables No. 2 (T-2) (tensión = 385.296 tonf) y No. 3 (T-3) (tensión = 286.989 tonf).
 - e. Desplazamiento del carro de avance (c-a) (40 tonf).

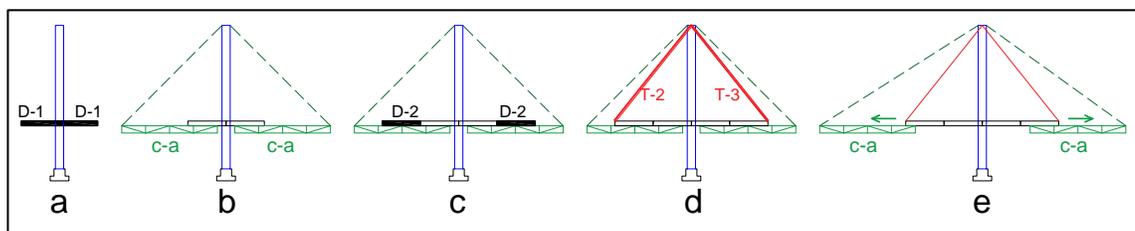


Figura 48. Realización de los primeros pares de dovelas y colocación de los tirantes T-2 y T-3.

5. Etapa 2, (Figura 47).
 - a. Realización de las dovelas número 3 y 3', de un lado se coloca una dovela de largo 8 m y pesos 108.48 tonf (D-3), al otro extremo se coloca una dovela de 6 m y peso de 87.36 tonf (D-3').
 - b. Realización de las dovelas número 4 y 4', de un lado se coloca una dovela de largo 8 m y pesos 108.48 tonf (D-4), al otro extremo se coloca una dovela de 6 m y peso de 87.36 tonf (D-4').
 - c. Colocación y tensado de los cables No. 1 (T-1) (tensión = 836.460 tonf) y No. 4 (T-4) (tensión = 260.922).
 - d. Desplazamiento del carro de avance (c-a) (40 tonf).

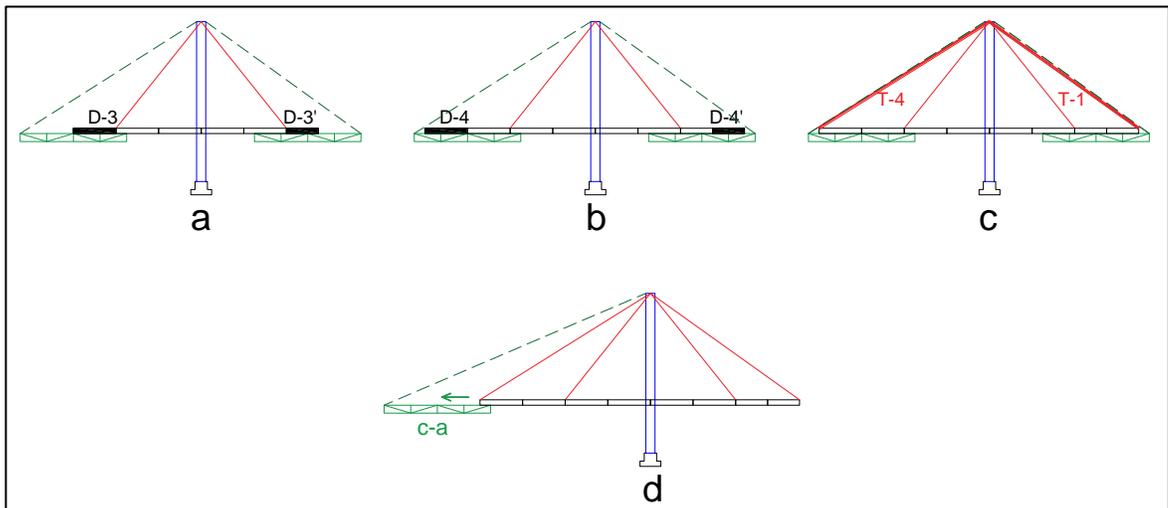


Figura 49. Realización de los siguientes pares de dovelas y colocación de los tirantes T-1 y T-4.

6. Etapa 3, (Figura 48).
 - a. Realización de la dovela número 5, largo 8 m y peso de 108.48 tonf.
 - b. Realización de la dovela número 6, largo 8 m y peso de 108.48 tonf.
 - c. Colocación y tensado de los tirantes T-5 (tensión = 267.518 tonf).
 - d. Desplazamiento del carro de avance (40 tonf).

Nota: por ser un puente en donde se presentan claros con distintos largos en los extremos y en el centro, a partir de esta etapa ya se comienza a trabajar solo en el centro, puesto que los extremos ya han sido completados.

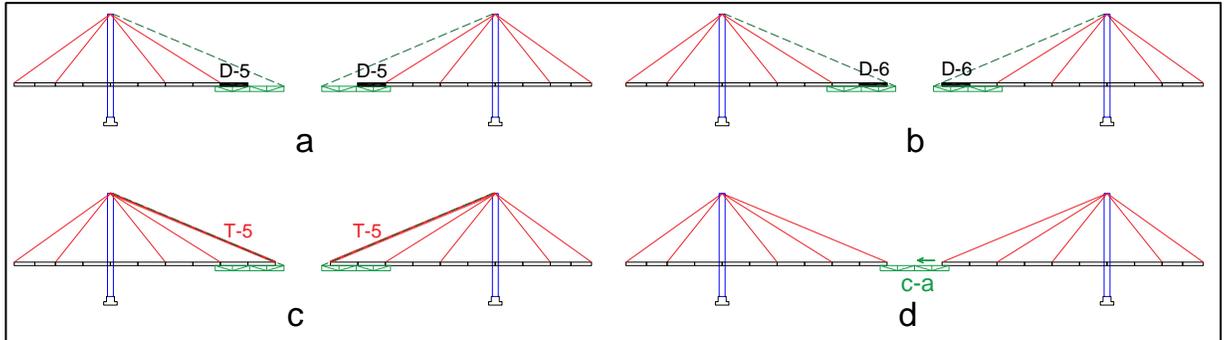


Figura 50. Realización de los últimos pares de dovelas y colocación de los tirantes T-5.

7. Etapa 4. La última etapa consiste en realizar el cierre del tablero, para esta parte se procederá de la manera en que se describe en seguida, (Figura 49).
 - a. Realización de dovela número 7 (D-7), con un largo de 4 m y peso de 66.24 tonf.
 - b. Realización de dovela número 8 (D-8), con un largo de 3 m y un peso de 55.68 tonf.
 - c. Realización de dovela de cierre (D-9), con un largo de 2 m y un peso de 45.12 tonf.

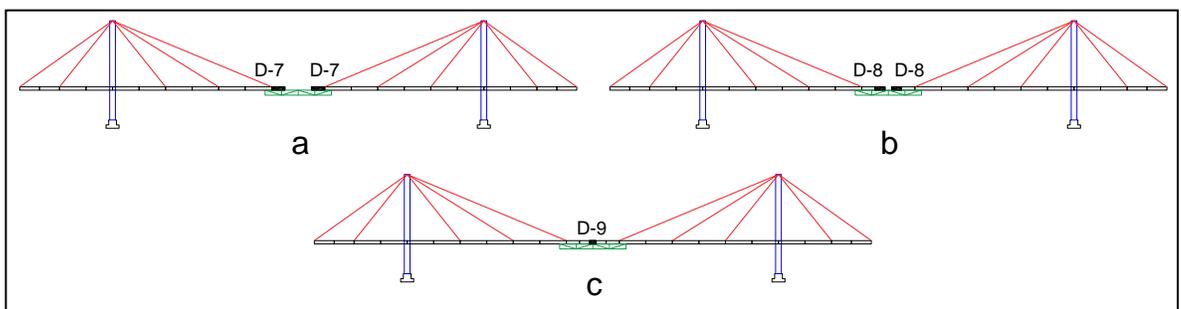


Figura 51. Realización del último segmento del claro principal del puente atirantado.

8. Desmontaje del carro de avance.
9. Colocación y tendido de la carpeta asfáltica.

5.2. Análisis de las etapas del puente atirantado.

5.2.1. Montaje.

El proceso de construcción anteriormente descrito, servirá de apoyo para analizar el puente a través de las etapas especificadas, esto para saber el comportamiento del puente durante su realización, de este modo se pueden conocer los valores que se van obteniendo en las pilas y el tablero para los momentos, cortantes y deflexiones, así como de los cables serán las fuerzas axiales que se presentan.

Fuerza Axial en cables.

Cuadro 28. Fuerza Axial en tirantes para montaje.

No. tirante	Fuerza Axial (tonf)
1	970.13
2	238.03
3	230.21
4	373.90
5	549.99

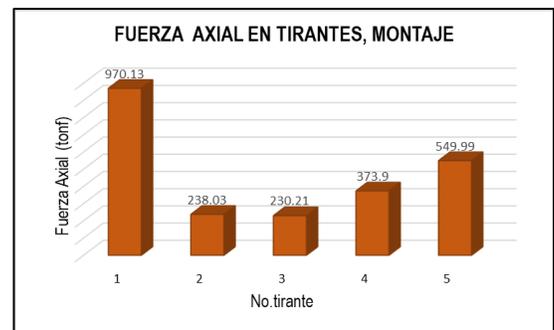


Figura 52. Fuerza Axial en tirantes para montaje.

Desplazamientos.

Cuadro 29. Desplazamiento en tablero y torres al momento de realizar el montaje del puente atirantado.

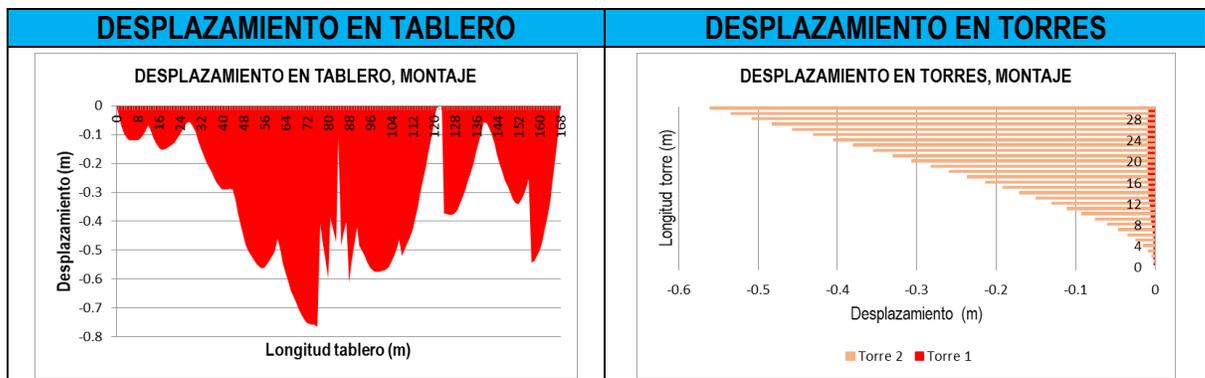


Diagrama de momentos

Cuadro 30. Diagramas de momentos en tablero y torres del puente atirantado en proceso de montaje.

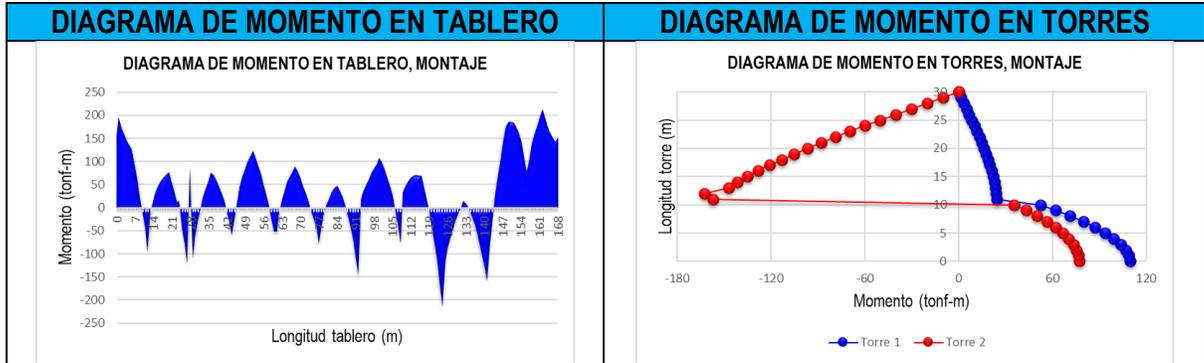
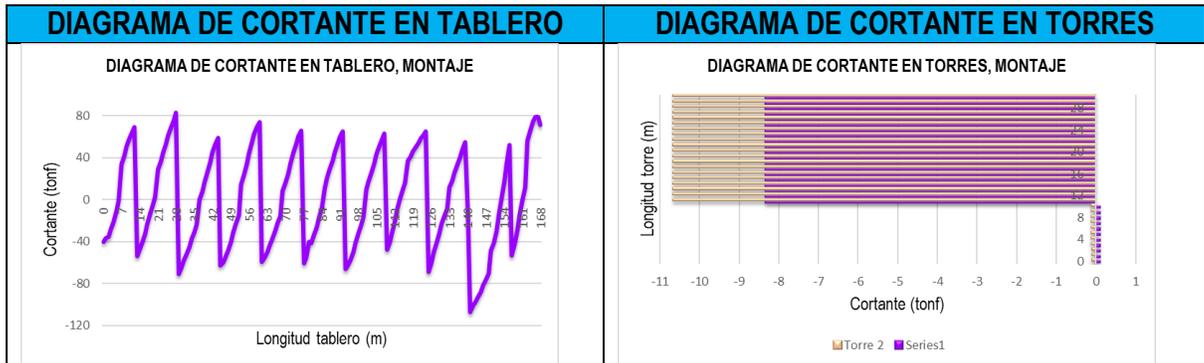


Diagrama de cortantes

Cuadro 31. Diagramas de cortantes en tablero y torres del puente atirantado en proceso de montaje.



5.2.2. Desmontaje.

Para realizar los análisis con respecto al desmontaje del puente, se procede de manera distinta a la que se describió para el montaje, en este caso se comenzara del centro del tablero y hacia los extremos, contemplando el desmontaje por dovelas y no por etapas. El proceso a tomar en cuenta se describe en seguida, al igual que se presentan los resultados en cuanto a las fuerzas que arroja el análisis para cada paso. Para estos casos se contempla un peso de 40 tonf, perteneciente a un carro de avance que se contempla para su construcción.

1. Desmontaje de la dovela central, en este caso es la dovela No. 9 de 2 m de longitud.

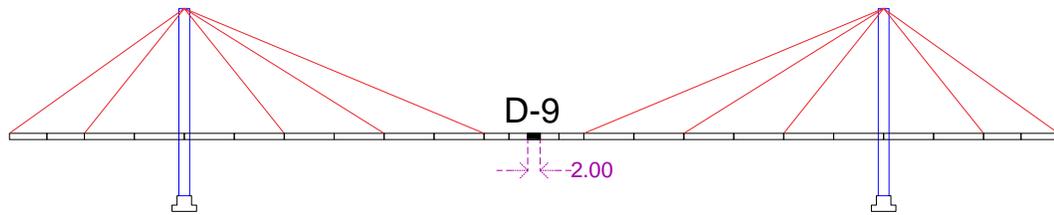
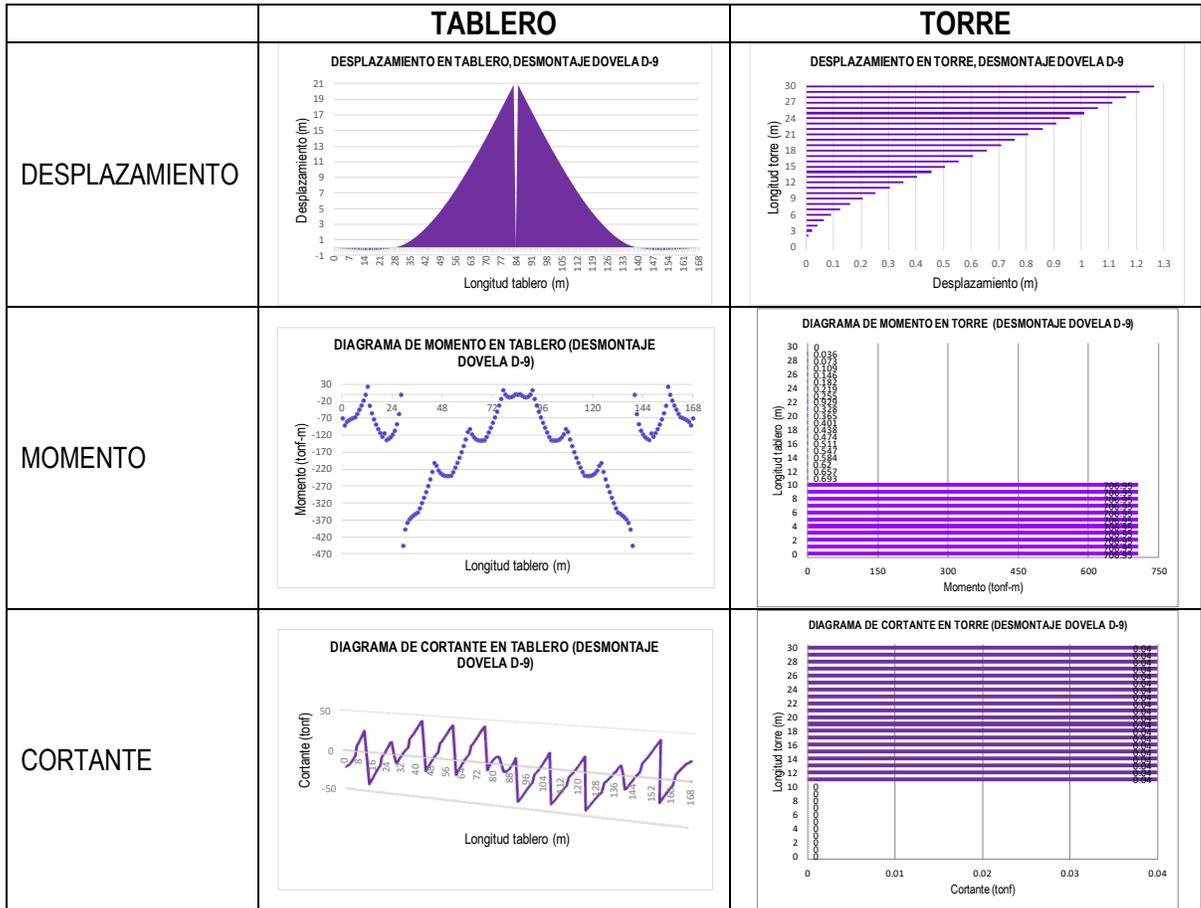


Figura 53. Desmontaje de la dovela D-9.

Cuadro 32. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-9.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO																																																																																																																																																																																																																																								
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-9) <table border="1"> <thead> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.8105</td><td>0.11485</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.06670</td><td>0.08898</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.8105</td><td>0.11648</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.06765</td><td>0.08049</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.7427</td><td>0.40625</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.39342</td><td>0.72453</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.7427</td><td>0.27110</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.26254</td><td>0.00505</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.6916</td><td>0.00000</td><td>0.57052</td><td>0.00259</td><td>0.00123</td><td>0.00036</td><td>0.00148</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.6916</td><td>0.00000</td><td>0.38462</td><td>0.00384</td><td>0.01382</td><td>0.00054</td><td>0.00100</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.2798</td><td>0.00000</td><td>0.01138</td><td>0.14371</td><td>0.18180</td><td>0.02010</td><td>0.00003</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.2798</td><td>0.00000</td><td>0.00655</td><td>0.24968</td><td>0.12234</td><td>0.03492</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.9927</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00109</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.9927</td><td>0.00427</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00289</td><td>0.00325</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00018</td><td>0.00027</td><td>0.00003</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00008</td><td>0.00000</td><td>0.00001</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.8006</td><td>0.03729</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00475</td><td>0.00440</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.8006</td><td>0.02732</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00348</td><td>0.06604</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.7177</td><td>0.00000</td><td>0.00007</td><td>0.01070</td><td>0.00016</td><td>0.00150</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.7177</td><td>0.00000</td><td>0.00003</td><td>0.02718</td><td>0.03552</td><td>0.00380</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.5889</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00857</td><td>0.00035</td><td>0.00120</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.5889</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.03312</td><td>0.04221</td><td>0.00463</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.4660</td><td>0.00129</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00068</td><td>0.00286</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.4660</td><td>0.00180</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00096</td><td>0.00029</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.4614</td><td>0.00000</td><td>0.00029</td><td>0.04272</td><td>0.04205</td><td>0.00598</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.4614</td><td>0.00000</td><td>0.00772</td><td>0.00161</td><td>0.01240</td><td>0.00023</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.4544</td><td>0.00003</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00021</td><td>0.00026</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.4544</td><td>0.00160</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.01091</td><td>0.00138</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.4403</td><td>0.00000</td><td>0.00008</td><td>0.21913</td><td>0.05709</td><td>0.03065</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.4403</td><td>0.00000</td><td>0.00025</td><td>0.06576</td><td>0.26406</td><td>0.00920</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>SUMA</td><td></td><td>0.982</td><td>0.981</td><td>0.809</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	4.8105	0.11485	0.00000	0.00000	0.00000	0.06670	0.08898	2	4.8105	0.11648	0.00000	0.00000	0.00000	0.06765	0.08049	3	1.7427	0.40625	0.00000	0.00000	0.00000	0.39342	0.72453	4	1.7427	0.27110	0.00000	0.00000	0.00000	0.26254	0.00505	5	1.6916	0.00000	0.57052	0.00259	0.00123	0.00036	0.00148	6	1.6916	0.00000	0.38462	0.00384	0.01382	0.00054	0.00100	7	1.2798	0.00000	0.01138	0.14371	0.18180	0.02010	0.00003	8	1.2798	0.00000	0.00655	0.24968	0.12234	0.03492	0.00002	9	0.9927	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00109	10	0.9927	0.00427	0.00000	0.00000	0.00000	0.00289	0.00325	11	0.9294	0.00000	0.00000	0.00018	0.00027	0.00003	0.00000	12	0.9294	0.00000	0.00000	0.00008	0.00000	0.00001	0.00000	13	0.8006	0.03729	0.00000	0.00000	0.00000	0.00475	0.00440	14	0.8006	0.02732	0.00000	0.00000	0.00000	0.00348	0.06604	15	0.7177	0.00000	0.00007	0.01070	0.00016	0.00150	0.00000	16	0.7177	0.00000	0.00003	0.02718	0.03552	0.00380	0.00000	17	0.5889	0.00000	0.00000	0.00857	0.00035	0.00120	0.00000	18	0.5889	0.00000	0.00000	0.03312	0.04221	0.00463	0.00000	19	0.4660	0.00129	0.00000	0.00000	0.00000	0.00068	0.00286	20	0.4660	0.00180	0.00000	0.00000	0.00000	0.00096	0.00029	21	0.4614	0.00000	0.00029	0.04272	0.04205	0.00598	0.00000	22	0.4614	0.00000	0.00772	0.00161	0.01240	0.00023	0.00002	23	0.4544	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00021	0.00026	24	0.4544	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	0.01091	0.00138	25	0.4403	0.00000	0.00008	0.21913	0.05709	0.03065	0.00000	26	0.4403	0.00000	0.00025	0.06576	0.26406	0.00920	0.00000	SUMA		0.982	0.981	0.809					UX = 0.11485
								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																																		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																																										
1	4.8105	0.11485	0.00000	0.00000	0.00000	0.06670	0.08898																																																																																																																																																																																																																																										
2	4.8105	0.11648	0.00000	0.00000	0.00000	0.06765	0.08049																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.7427	0.40625	0.00000	0.00000	0.00000	0.39342	0.72453																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.7427	0.27110	0.00000	0.00000	0.00000	0.26254	0.00505																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.6916	0.00000	0.57052	0.00259	0.00123	0.00036	0.00148																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.6916	0.00000	0.38462	0.00384	0.01382	0.00054	0.00100																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.2798	0.00000	0.01138	0.14371	0.18180	0.02010	0.00003																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.2798	0.00000	0.00655	0.24968	0.12234	0.03492	0.00002																																																																																																																																																																																																																																										
9	0.9927	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00109																																																																																																																																																																																																																																										
10	0.9927	0.00427	0.00000	0.00000	0.00000	0.00289	0.00325																																																																																																																																																																																																																																										
11	0.9294	0.00000	0.00000	0.00018	0.00027	0.00003	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
12	0.9294	0.00000	0.00000	0.00008	0.00000	0.00001	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
13	0.8006	0.03729	0.00000	0.00000	0.00000	0.00475	0.00440																																																																																																																																																																																																																																										
14	0.8006	0.02732	0.00000	0.00000	0.00000	0.00348	0.06604																																																																																																																																																																																																																																										
15	0.7177	0.00000	0.00007	0.01070	0.00016	0.00150	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
16	0.7177	0.00000	0.00003	0.02718	0.03552	0.00380	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
17	0.5889	0.00000	0.00000	0.00857	0.00035	0.00120	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
18	0.5889	0.00000	0.00000	0.03312	0.04221	0.00463	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
19	0.4660	0.00129	0.00000	0.00000	0.00000	0.00068	0.00286																																																																																																																																																																																																																																										
20	0.4660	0.00180	0.00000	0.00000	0.00000	0.00096	0.00029																																																																																																																																																																																																																																										
21	0.4614	0.00000	0.00029	0.04272	0.04205	0.00598	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
22	0.4614	0.00000	0.00772	0.00161	0.01240	0.00023	0.00002																																																																																																																																																																																																																																										
23	0.4544	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00021	0.00026																																																																																																																																																																																																																																										
24	0.4544	0.00160	0.00000	0.00000	0.00000	0.01091	0.00138																																																																																																																																																																																																																																										
25	0.4403	0.00000	0.00008	0.21913	0.05709	0.03065	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
26	0.4403	0.00000	0.00025	0.06576	0.26406	0.00920	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
SUMA		0.982	0.981	0.809																																																																																																																																																																																																																																													
									RZ = 0.72453																																																																																																																																																																																																																																								
									UY = 0.57052																																																																																																																																																																																																																																								
									RX = 0.18180																																																																																																																																																																																																																																								
									UZ = 0.24968																																																																																																																																																																																																																																								
									RY = 0.01091																																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 33. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-9.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-9.

Tablero

Desplazamiento = 20.94 m

Momento = 444.87 tonf-m

Cortante = 43.72 tonf

Torres

Desplazamiento = 1.26 m

Momento = 706.95 tonf-m

Cortante = 0.04 tonf

2. Desmontaje de la dovela No. 8 de 3 m de longitud.

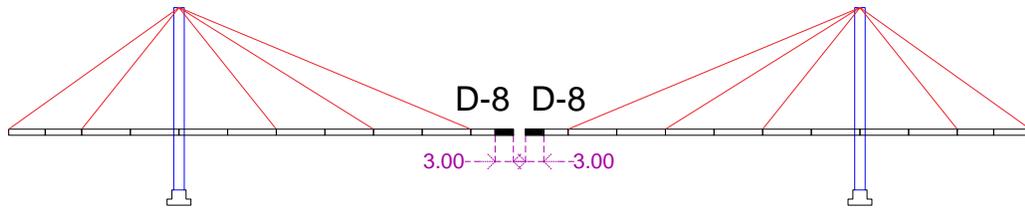
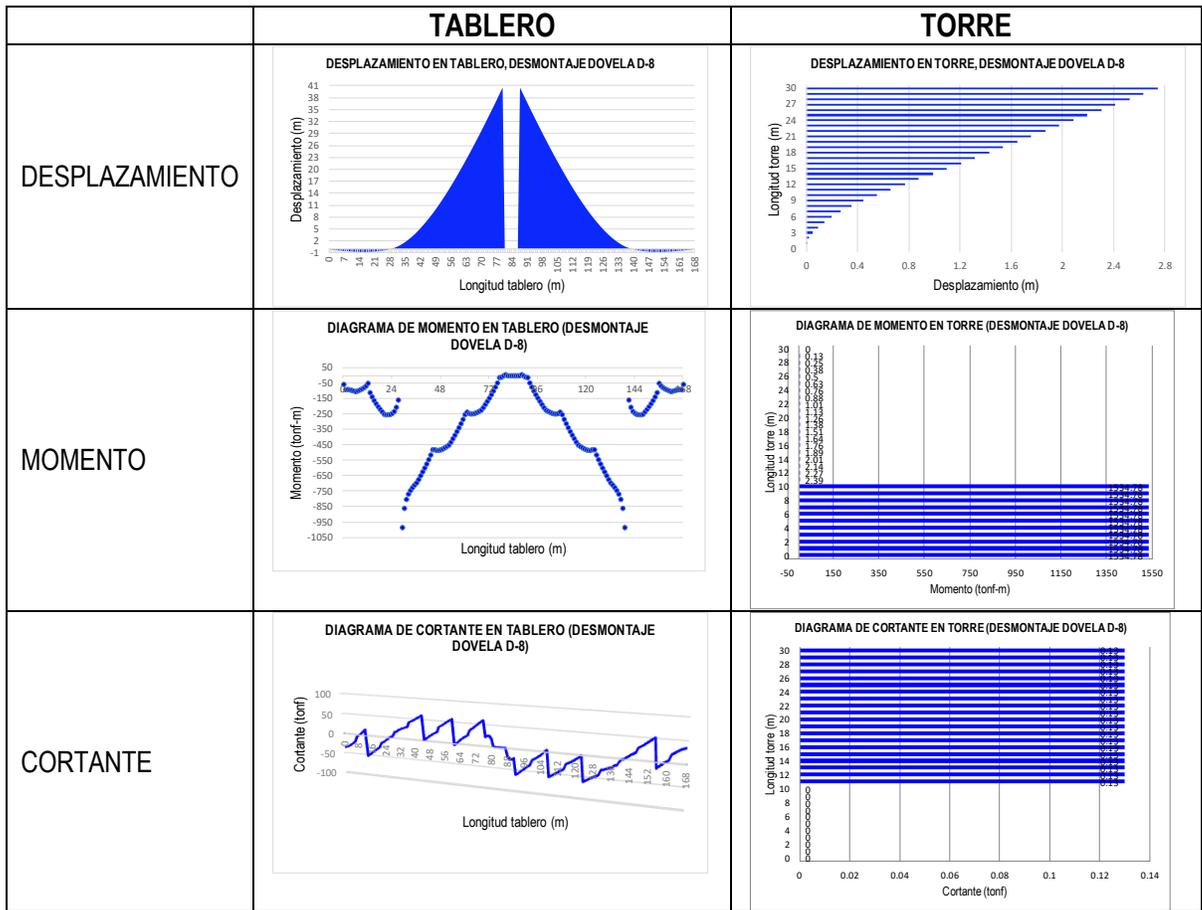


Figura 54. Desmontaje de la dovela D-8.

Cuadro 34. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-8.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-8)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5150</td><td>0.10481</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.06052</td><td>0.07202</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.5150</td><td>0.10477</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.06050</td><td>0.08041</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.7411</td><td>0.52920</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.50624</td><td>0.14375</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.7411</td><td>0.16980</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.16243</td><td>0.60337</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.6680</td><td>0.00000</td><td>0.00135</td><td>0.00446</td><td>0.00369</td><td>0.00062</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.6680</td><td>0.00000</td><td>0.95779</td><td>0.00001</td><td>0.01020</td><td>0.00000</td><td>0.00247</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.1845</td><td>0.00000</td><td>0.00866</td><td>0.13981</td><td>0.04133</td><td>0.01943</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.1845</td><td>0.00000</td><td>0.00458</td><td>0.26446</td><td>0.27252</td><td>0.03676</td><td>0.00001</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00028</td><td>0.00016</td><td>0.00004</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00001</td><td>0.00013</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.9290</td><td>0.00039</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00110</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.9290</td><td>0.00070</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00199</td><td>0.00104</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.7977</td><td>0.00159</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00022</td><td>0.03501</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.7977</td><td>0.06621</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00920</td><td>0.03828</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.5955</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.04548</td><td>0.01609</td><td>0.00632</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.5955</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.01035</td><td>0.04069</td><td>0.00144</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.4929</td><td>0.00000</td><td>0.00018</td><td>0.00014</td><td>0.00086</td><td>0.00002</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.4929</td><td>0.00000</td><td>0.00009</td><td>0.00031</td><td>0.00000</td><td>0.00004</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.4603</td><td>0.00000</td><td>0.00739</td><td>0.00328</td><td>0.01026</td><td>0.00046</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.4603</td><td>0.00000</td><td>0.00052</td><td>0.04710</td><td>0.05043</td><td>0.00655</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.4400</td><td>0.00000</td><td>0.00040</td><td>0.01091</td><td>0.05829</td><td>0.00152</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.4400</td><td>0.00000</td><td>0.00002</td><td>0.27730</td><td>0.26446</td><td>0.03855</td><td>0.00000</td></tr> <tr> <td>SUMA</td> <td></td> <td>0.977</td> <td>0.981</td> <td>0.804</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-8)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	4.5150	0.10481	0.00000	0.00000	0.00000	0.06052	0.07202	2	4.5150	0.10477	0.00000	0.00000	0.00000	0.06050	0.08041	3	1.7411	0.52920	0.00000	0.00000	0.00000	0.50624	0.14375	4	1.7411	0.16980	0.00000	0.00000	0.00000	0.16243	0.60337	5	1.6680	0.00000	0.00135	0.00446	0.00369	0.00062	0.00000	6	1.6680	0.00000	0.95779	0.00001	0.01020	0.00000	0.00247	7	1.1845	0.00000	0.00866	0.13981	0.04133	0.01943	0.00002	8	1.1845	0.00000	0.00458	0.26446	0.27252	0.03676	0.00001	9	0.9294	0.00000	0.00000	0.00028	0.00016	0.00004	0.00000	10	0.9294	0.00000	0.00000	0.00001	0.00013	0.00000	0.00000	11	0.9290	0.00039	0.00000	0.00000	0.00000	0.00110	0.00002	12	0.9290	0.00070	0.00000	0.00000	0.00000	0.00199	0.00104	13	0.7977	0.00159	0.00000	0.00000	0.00000	0.00022	0.03501	14	0.7977	0.06621	0.00000	0.00000	0.00000	0.00920	0.03828	15	0.5955	0.00000	0.00000	0.04548	0.01609	0.00632	0.00000	16	0.5955	0.00000	0.00000	0.01035	0.04069	0.00144	0.00000	17	0.4929	0.00000	0.00018	0.00014	0.00086	0.00002	0.00000	18	0.4929	0.00000	0.00009	0.00031	0.00000	0.00004	0.00000	19	0.4603	0.00000	0.00739	0.00328	0.01026	0.00046	0.00002	20	0.4603	0.00000	0.00052	0.04710	0.05043	0.00655	0.00000	21	0.4400	0.00000	0.00040	0.01091	0.05829	0.00152	0.00000	22	0.4400	0.00000	0.00002	0.27730	0.26446	0.03855	0.00000	SUMA		0.977	0.981	0.804					UX = 0.10481
								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-8)																																																																																																																																																																																																																	
								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																										
								Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																										
								1	4.5150	0.10481	0.00000	0.00000	0.00000	0.06052	0.07202																																																																																																																																																																																																										
								2	4.5150	0.10477	0.00000	0.00000	0.00000	0.06050	0.08041																																																																																																																																																																																																										
								3	1.7411	0.52920	0.00000	0.00000	0.00000	0.50624	0.14375																																																																																																																																																																																																										
								4	1.7411	0.16980	0.00000	0.00000	0.00000	0.16243	0.60337																																																																																																																																																																																																										
								5	1.6680	0.00000	0.00135	0.00446	0.00369	0.00062	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								6	1.6680	0.00000	0.95779	0.00001	0.01020	0.00000	0.00247																																																																																																																																																																																																										
								7	1.1845	0.00000	0.00866	0.13981	0.04133	0.01943	0.00002																																																																																																																																																																																																										
								8	1.1845	0.00000	0.00458	0.26446	0.27252	0.03676	0.00001																																																																																																																																																																																																										
								9	0.9294	0.00000	0.00000	0.00028	0.00016	0.00004	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								10	0.9294	0.00000	0.00000	0.00001	0.00013	0.00000	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								11	0.9290	0.00039	0.00000	0.00000	0.00000	0.00110	0.00002																																																																																																																																																																																																										
								12	0.9290	0.00070	0.00000	0.00000	0.00000	0.00199	0.00104																																																																																																																																																																																																										
								13	0.7977	0.00159	0.00000	0.00000	0.00000	0.00022	0.03501																																																																																																																																																																																																										
								14	0.7977	0.06621	0.00000	0.00000	0.00000	0.00920	0.03828																																																																																																																																																																																																										
								15	0.5955	0.00000	0.00000	0.04548	0.01609	0.00632	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								16	0.5955	0.00000	0.00000	0.01035	0.04069	0.00144	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								17	0.4929	0.00000	0.00018	0.00014	0.00086	0.00002	0.00000																																																																																																																																																																																																										
								18	0.4929	0.00000	0.00009	0.00031	0.00000	0.00004	0.00000																																																																																																																																																																																																										
19	0.4603	0.00000	0.00739	0.00328	0.01026	0.00046	0.00002																																																																																																																																																																																																																		
20	0.4603	0.00000	0.00052	0.04710	0.05043	0.00655	0.00000																																																																																																																																																																																																																		
21	0.4400	0.00000	0.00040	0.01091	0.05829	0.00152	0.00000																																																																																																																																																																																																																		
22	0.4400	0.00000	0.00002	0.27730	0.26446	0.03855	0.00000																																																																																																																																																																																																																		
SUMA		0.977	0.981	0.804																																																																																																																																																																																																																					
	RZ = 0.60337																																																																																																																																																																																																																								
	UZ = 0.00446																																																																																																																																																																																																																								
	UY = 0.95779																																																																																																																																																																																																																								
	RX = 0.27252																																																																																																																																																																																																																								
	RY = 0.00110																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 35. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-8.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-8.

Tablero

Desplazamiento = 40.63 m

Momento = 984.82 tonf-m

Cortante = 60.8 tonf

Torres

Desplazamiento = 2.74 m

Momento = 1534.78 tonf-m

Cortante = 0.13 tonf

3. Desmontaje de la dovela No. 7 de 4 m de longitud.

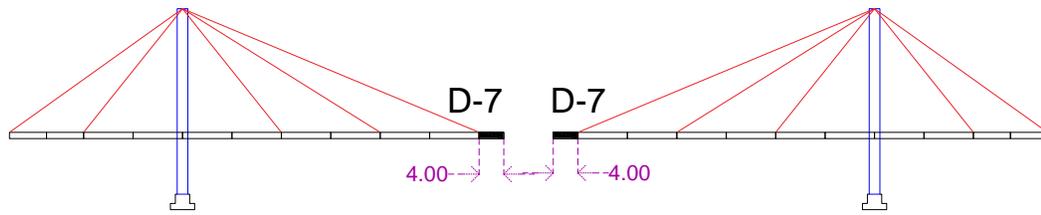
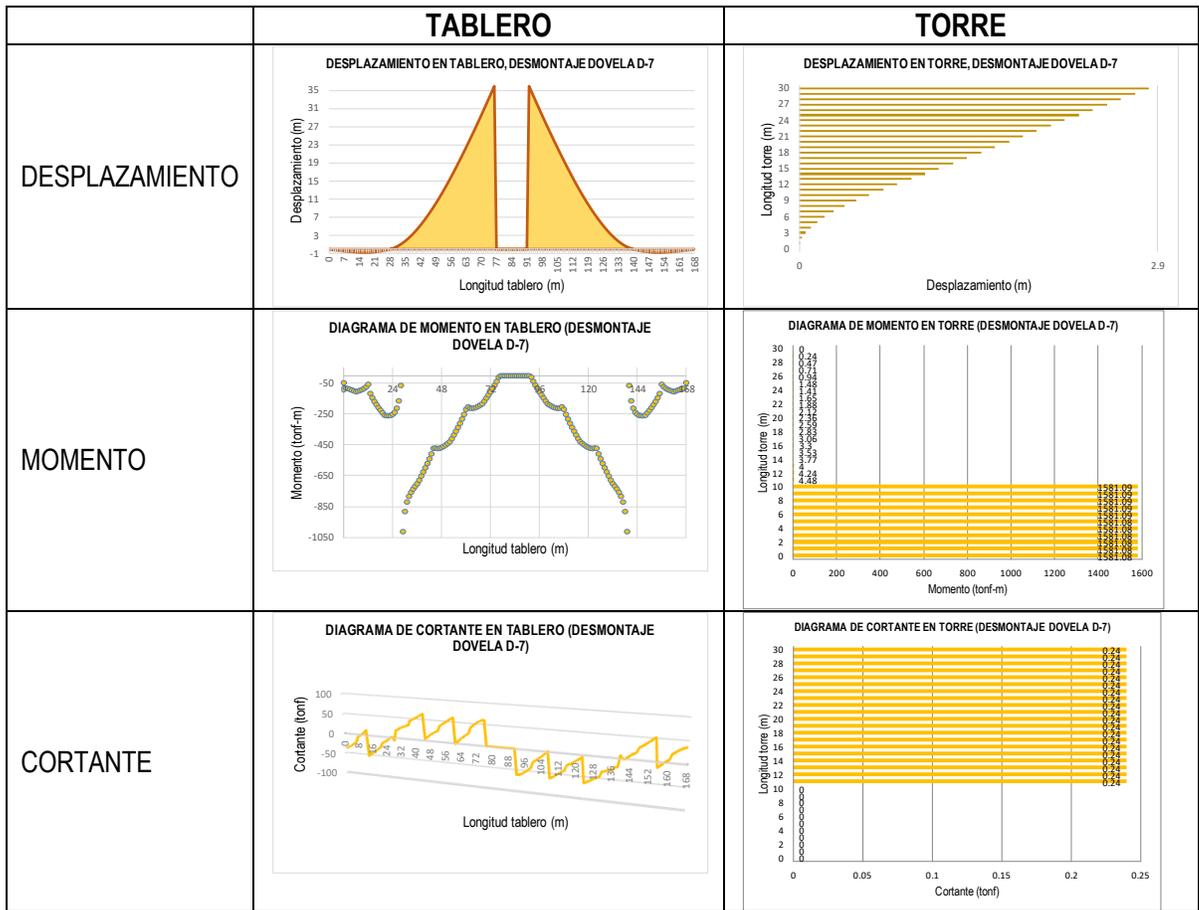


Figura 55. Desmontaje de la dovela D-7.

Cuadro 36. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-7.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-7)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.1452</td><td>0.08893</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.05087</td><td>0.06604</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.1452</td><td>0.08894</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.05088</td><td>0.06196</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.7388</td><td>0.72720</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.68521</td><td>0.48351</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.7388</td><td>0.00232</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00219</td><td>0.28767</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.6369</td><td>0.00000</td><td>0.74897</td><td>0.00071</td><td>0.00485</td><td>0.00010</td><td>0.00191</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.6369</td><td>0.00000</td><td>0.21180</td><td>0.00250</td><td>0.00836</td><td>0.00035</td><td>0.00054</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.0984</td><td>0.00000</td><td>0.00895</td><td>0.05633</td><td>0.00362</td><td>0.00776</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.0984</td><td>0.00000</td><td>0.00150</td><td>0.33616</td><td>0.30175</td><td>0.04632</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00034</td><td>0.00026</td><td>0.00005</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.9294</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00007</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.8638</td><td>0.00149</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00171</td><td>0.00089</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.8638</td><td>0.00002</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00002</td><td>0.00085</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.7900</td><td>0.00295</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00053</td><td>0.03873</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.7900</td><td>0.06527</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.01164</td><td>0.03411</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.5909</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.03023</td><td>0.04817</td><td>0.00417</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.5909</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.01811</td><td>0.00044</td><td>0.00250</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.4621</td><td>0.00000</td><td>0.00777</td><td>0.00448</td><td>0.03863</td><td>0.00062</td><td>0.00002</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.4621</td><td>0.00000</td><td>0.00089</td><td>0.03903</td><td>0.01443</td><td>0.00538</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.4406</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.30435</td><td>0.25041</td><td>0.04194</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.4406</td><td>0.00000</td><td>0.00027</td><td>0.00275</td><td>0.08967</td><td>0.00038</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.4125</td><td>0.00416</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00872</td><td>0.00350</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.4125</td><td>0.00007</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00015</td><td>0.00076</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.4068</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00027</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.4068</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00343</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.3594</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.03239</td><td>0.01959</td><td>0.00446</td><td>0.00000</td></tr> <tr> <td>SUMA</td> <td></td> <td>0.981</td> <td>0.980</td> <td>0.827</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-7)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	4.1452	0.08893	0.00000	0.00000	0.00000	0.05087	0.06604	2	4.1452	0.08894	0.00000	0.00000	0.00000	0.05088	0.06196	3	1.7388	0.72720	0.00000	0.00000	0.00000	0.68521	0.48351	4	1.7388	0.00232	0.00000	0.00000	0.00000	0.00219	0.28767	5	1.6369	0.00000	0.74897	0.00071	0.00485	0.00010	0.00191	6	1.6369	0.00000	0.21180	0.00250	0.00836	0.00035	0.00054	7	1.0984	0.00000	0.00895	0.05633	0.00362	0.00776	0.00002	8	1.0984	0.00000	0.00150	0.33616	0.30175	0.04632	0.00000	9	0.9294	0.00000	0.00000	0.00034	0.00026	0.00005	0.00000	10	0.9294	0.00000	0.00000	0.00000	0.00007	0.00000	0.00000	11	0.8638	0.00149	0.00000	0.00000	0.00000	0.00171	0.00089	12	0.8638	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00085	13	0.7900	0.00295	0.00000	0.00000	0.00000	0.00053	0.03873	14	0.7900	0.06527	0.00000	0.00000	0.00000	0.01164	0.03411	15	0.5909	0.00000	0.00000	0.03023	0.04817	0.00417	0.00000	16	0.5909	0.00000	0.00000	0.01811	0.00044	0.00250	0.00000	17	0.4621	0.00000	0.00777	0.00448	0.03863	0.00062	0.00002	18	0.4621	0.00000	0.00089	0.03903	0.01443	0.00538	0.00000	19	0.4406	0.00000	0.00000	0.30435	0.25041	0.04194	0.00000	20	0.4406	0.00000	0.00027	0.00275	0.08967	0.00038	0.00000	21	0.4125	0.00416	0.00000	0.00000	0.00000	0.00872	0.00350	22	0.4125	0.00007	0.00000	0.00000	0.00000	0.00015	0.00076	23	0.4068	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00027	0.00000	24	0.4068	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00343	0.00000	25	0.3594	0.00000	0.00000	0.03239	0.01959	0.00446	0.00000	SUMA		0.981	0.980	0.827					UX = 0.08893
								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-7)																																																																																																																																																																																																																																									
								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																																		
								Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																																		
								1	4.1452	0.08893	0.00000	0.00000	0.00000	0.05087	0.06604																																																																																																																																																																																																																																		
								2	4.1452	0.08894	0.00000	0.00000	0.00000	0.05088	0.06196																																																																																																																																																																																																																																		
								3	1.7388	0.72720	0.00000	0.00000	0.00000	0.68521	0.48351																																																																																																																																																																																																																																		
								4	1.7388	0.00232	0.00000	0.00000	0.00000	0.00219	0.28767																																																																																																																																																																																																																																		
								5	1.6369	0.00000	0.74897	0.00071	0.00485	0.00010	0.00191																																																																																																																																																																																																																																		
								6	1.6369	0.00000	0.21180	0.00250	0.00836	0.00035	0.00054																																																																																																																																																																																																																																		
								7	1.0984	0.00000	0.00895	0.05633	0.00362	0.00776	0.00002																																																																																																																																																																																																																																		
								8	1.0984	0.00000	0.00150	0.33616	0.30175	0.04632	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								9	0.9294	0.00000	0.00000	0.00034	0.00026	0.00005	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								10	0.9294	0.00000	0.00000	0.00000	0.00007	0.00000	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								11	0.8638	0.00149	0.00000	0.00000	0.00000	0.00171	0.00089																																																																																																																																																																																																																																		
								12	0.8638	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00085																																																																																																																																																																																																																																		
								13	0.7900	0.00295	0.00000	0.00000	0.00000	0.00053	0.03873																																																																																																																																																																																																																																		
								14	0.7900	0.06527	0.00000	0.00000	0.00000	0.01164	0.03411																																																																																																																																																																																																																																		
								15	0.5909	0.00000	0.00000	0.03023	0.04817	0.00417	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								16	0.5909	0.00000	0.00000	0.01811	0.00044	0.00250	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								17	0.4621	0.00000	0.00777	0.00448	0.03863	0.00062	0.00002																																																																																																																																																																																																																																		
								18	0.4621	0.00000	0.00089	0.03903	0.01443	0.00538	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								19	0.4406	0.00000	0.00000	0.30435	0.25041	0.04194	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								20	0.4406	0.00000	0.00027	0.00275	0.08967	0.00038	0.00000																																																																																																																																																																																																																																		
								21	0.4125	0.00416	0.00000	0.00000	0.00000	0.00872	0.00350																																																																																																																																																																																																																																		
22	0.4125	0.00007	0.00000	0.00000	0.00000	0.00015	0.00076																																																																																																																																																																																																																																										
23	0.4068	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00027	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
24	0.4068	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00343	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
25	0.3594	0.00000	0.00000	0.03239	0.01959	0.00446	0.00000																																																																																																																																																																																																																																										
SUMA		0.981	0.980	0.827																																																																																																																																																																																																																																													
									RZ = 0.28767																																																																																																																																																																																																																																								
									UY = 0.74897																																																																																																																																																																																																																																								
									UZ = 0.05633																																																																																																																																																																																																																																								
									RX = 0.00007																																																																																																																																																																																																																																								
									RY = 0.00171																																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 37. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-7.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-7.

Tablero

Desplazamiento = 35.98 m

Momento = 1011.32 tonf-m

Cortante = 63.99 tonf

Torres

Desplazamiento = 2.83 m

Momento = 1581.08 tonf-m

Cortante = 0.24 tonf

4. Desmontaje tirante No. 5.

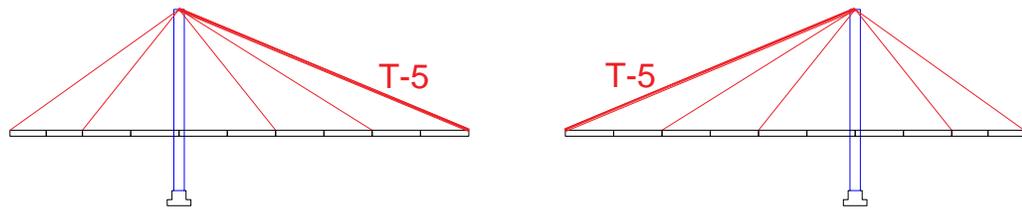
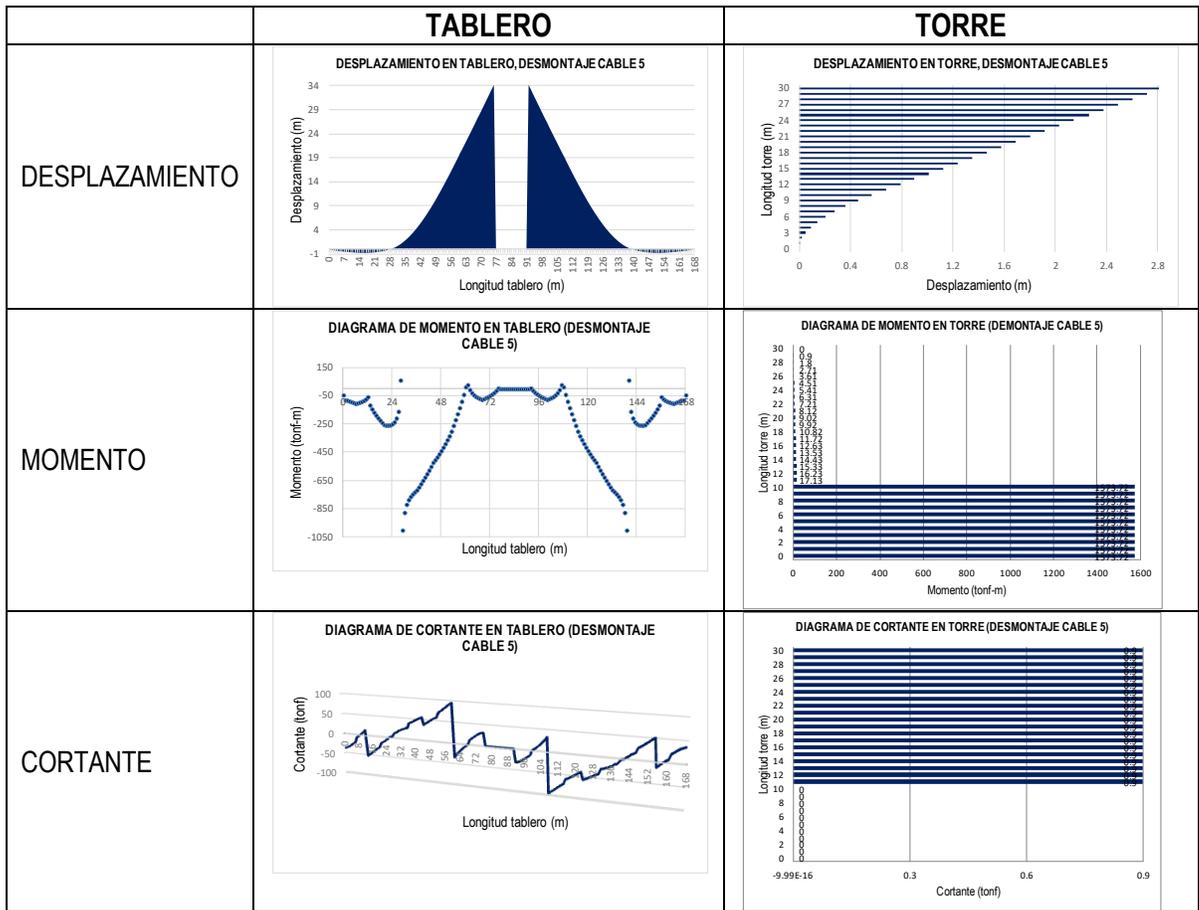


Figura 56. Desmontaje tirantes T-5.

Cuadro 38. Tabla de modos para el desmontaje del tirante T-5.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO																																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE CABLE 5)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5555</td><td>0.07547</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.04101</td><td>0.05037</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.5555</td><td>0.07546</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.04101</td><td>0.05825</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.4444</td><td>0.00000</td><td>0.00136</td><td>0.07117</td><td>0.03789</td><td>0.01000</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.4444</td><td>0.00000</td><td>0.00135</td><td>0.07126</td><td>0.06639</td><td>0.01001</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.7431</td><td>0.02229</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.02061</td><td>0.13235</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.7431</td><td>0.73908</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.68326</td><td>0.66260</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.6237</td><td>0.00000</td><td>0.48824</td><td>0.00000</td><td>0.00661</td><td>0.00000</td><td>0.00124</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.6237</td><td>0.00000</td><td>0.47722</td><td>0.00000</td><td>0.00621</td><td>0.00000</td><td>0.00122</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.0945</td><td>0.00272</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00350</td><td>0.00320</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.0945</td><td>0.00049</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00063</td><td>0.00010</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.8973</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00014</td><td>0.00012</td><td>0.00002</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.8973</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00005</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.8263</td><td>0.00000</td><td>0.00022</td><td>0.27308</td><td>0.15413</td><td>0.03836</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.8263</td><td>0.00000</td><td>0.00247</td><td>0.02381</td><td>0.09069</td><td>0.00335</td><td>0.00001</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.7841</td><td>0.05305</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00519</td><td>0.03120</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.7841</td><td>0.00093</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00009</td><td>0.02778</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.5914</td><td>0.00645</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00359</td><td>0.00194</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.5914</td><td>0.00178</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00099</td><td>0.00664</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.4655</td><td>0.00000</td><td>0.00551</td><td>0.01604</td><td>0.00018</td><td>0.00225</td><td>0.00001</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.4655</td><td>0.00000</td><td>0.00318</td><td>0.02783</td><td>0.05428</td><td>0.00391</td><td>0.00001</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.4405</td><td>0.00000</td><td>0.00020</td><td>0.01918</td><td>0.20687</td><td>0.00269</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.4405</td><td>0.00000</td><td>0.00001</td><td>0.29375</td><td>0.13923</td><td>0.04126</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.4318</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00018</td><td>0.00013</td><td>0.00003</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.4318</td><td>0.00000</td><td>0.00027</td><td>0.00000</td><td>0.00001</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.4078</td><td>0.00357</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.01181</td><td>0.00206</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.4078</td><td>0.00010</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00000</td><td>0.00032</td><td>0.00163</td></tr> <tr><td>27</td><td>0.3592</td><td>0.00000</td><td>0.00002</td><td>0.02975</td><td>0.01073</td><td>0.00418</td><td>0.00000</td></tr> <tr><td>SUMA</td><td></td><td>0.981</td><td>0.980</td><td>0.826</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE CABLE 5)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	4.5555	0.07547	0.00000	0.00000	0.00000	0.04101	0.05037	2	4.5555	0.07546	0.00000	0.00000	0.00000	0.04101	0.05825	3	2.4444	0.00000	0.00136	0.07117	0.03789	0.01000	0.00000	4	2.4444	0.00000	0.00135	0.07126	0.06639	0.01001	0.00000	5	1.7431	0.02229	0.00000	0.00000	0.00000	0.02061	0.13235	6	1.7431	0.73908	0.00000	0.00000	0.00000	0.68326	0.66260	7	1.6237	0.00000	0.48824	0.00000	0.00661	0.00000	0.00124	8	1.6237	0.00000	0.47722	0.00000	0.00621	0.00000	0.00122	9	1.0945	0.00272	0.00000	0.00000	0.00000	0.00350	0.00320	10	1.0945	0.00049	0.00000	0.00000	0.00000	0.00063	0.00010	11	0.8973	0.00000	0.00000	0.00014	0.00012	0.00002	0.00000	12	0.8973	0.00000	0.00000	0.00000	0.00005	0.00000	0.00000	13	0.8263	0.00000	0.00022	0.27308	0.15413	0.03836	0.00000	14	0.8263	0.00000	0.00247	0.02381	0.09069	0.00335	0.00001	15	0.7841	0.05305	0.00000	0.00000	0.00000	0.00519	0.03120	16	0.7841	0.00093	0.00000	0.00000	0.00000	0.00009	0.02778	17	0.5914	0.00645	0.00000	0.00000	0.00000	0.00359	0.00194	18	0.5914	0.00178	0.00000	0.00000	0.00000	0.00099	0.00664	19	0.4655	0.00000	0.00551	0.01604	0.00018	0.00225	0.00001	20	0.4655	0.00000	0.00318	0.02783	0.05428	0.00391	0.00001	21	0.4405	0.00000	0.00020	0.01918	0.20687	0.00269	0.00000	22	0.4405	0.00000	0.00001	0.29375	0.13923	0.04126	0.00000	23	0.4318	0.00000	0.00000	0.00018	0.00013	0.00003	0.00000	24	0.4318	0.00000	0.00027	0.00000	0.00001	0.00000	0.00000	25	0.4078	0.00357	0.00000	0.00000	0.00000	0.01181	0.00206	26	0.4078	0.00010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00032	0.00163	27	0.3592	0.00000	0.00002	0.02975	0.01073	0.00418	0.00000	SUMA		0.981	0.980	0.826					UX = 0.07547
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE CABLE 5)																																																																																																																																																																																																																																																																	
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																																																										
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4.5555	0.07547	0.00000	0.00000	0.00000	0.04101	0.05037																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4.5555	0.07546	0.00000	0.00000	0.00000	0.04101	0.05825																																																																																																																																																																																																																																																										
3	2.4444	0.00000	0.00136	0.07117	0.03789	0.01000	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
4	2.4444	0.00000	0.00135	0.07126	0.06639	0.01001	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.7431	0.02229	0.00000	0.00000	0.00000	0.02061	0.13235																																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.7431	0.73908	0.00000	0.00000	0.00000	0.68326	0.66260																																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.6237	0.00000	0.48824	0.00000	0.00661	0.00000	0.00124																																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.6237	0.00000	0.47722	0.00000	0.00621	0.00000	0.00122																																																																																																																																																																																																																																																										
9	1.0945	0.00272	0.00000	0.00000	0.00000	0.00350	0.00320																																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.0945	0.00049	0.00000	0.00000	0.00000	0.00063	0.00010																																																																																																																																																																																																																																																										
11	0.8973	0.00000	0.00000	0.00014	0.00012	0.00002	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
12	0.8973	0.00000	0.00000	0.00000	0.00005	0.00000	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
13	0.8263	0.00000	0.00022	0.27308	0.15413	0.03836	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
14	0.8263	0.00000	0.00247	0.02381	0.09069	0.00335	0.00001																																																																																																																																																																																																																																																										
15	0.7841	0.05305	0.00000	0.00000	0.00000	0.00519	0.03120																																																																																																																																																																																																																																																										
16	0.7841	0.00093	0.00000	0.00000	0.00000	0.00009	0.02778																																																																																																																																																																																																																																																										
17	0.5914	0.00645	0.00000	0.00000	0.00000	0.00359	0.00194																																																																																																																																																																																																																																																										
18	0.5914	0.00178	0.00000	0.00000	0.00000	0.00099	0.00664																																																																																																																																																																																																																																																										
19	0.4655	0.00000	0.00551	0.01604	0.00018	0.00225	0.00001																																																																																																																																																																																																																																																										
20	0.4655	0.00000	0.00318	0.02783	0.05428	0.00391	0.00001																																																																																																																																																																																																																																																										
21	0.4405	0.00000	0.00020	0.01918	0.20687	0.00269	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
22	0.4405	0.00000	0.00001	0.29375	0.13923	0.04126	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
23	0.4318	0.00000	0.00000	0.00018	0.00013	0.00003	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
24	0.4318	0.00000	0.00027	0.00000	0.00001	0.00000	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
25	0.4078	0.00357	0.00000	0.00000	0.00000	0.01181	0.00206																																																																																																																																																																																																																																																										
26	0.4078	0.00010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00032	0.00163																																																																																																																																																																																																																																																										
27	0.3592	0.00000	0.00002	0.02975	0.01073	0.00418	0.00000																																																																																																																																																																																																																																																										
SUMA		0.981	0.980	0.826																																																																																																																																																																																																																																																													
									UZ = 0.07117																																																																																																																																																																																																																																																								
									RZ = 0.13235																																																																																																																																																																																																																																																								
									UY = 0.48824																																																																																																																																																																																																																																																								
									RY = 0.00350																																																																																																																																																																																																																																																								
									RX = 0.00005																																																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 39. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje del tirante T-5.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje del tirante T-5.

Tablero

Desplazamiento = 34.13 m
Momento = 1000.93 tonf-m
Cortante = 95.80 tonf

Torres

Desplazamiento = 2.83 m
Momento = 1573.72tonf-m
Cortante = 0.90 tonf

5. Desmontaje de la dovela No. 6 de 8 m de longitud.

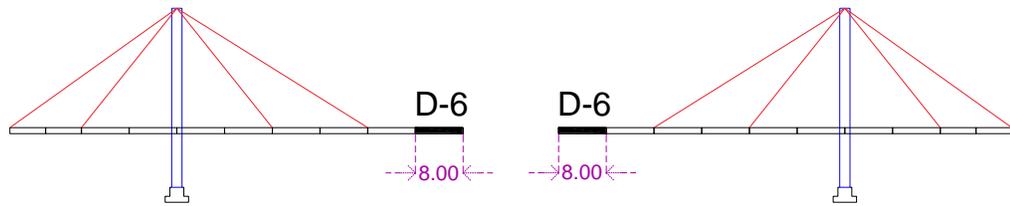
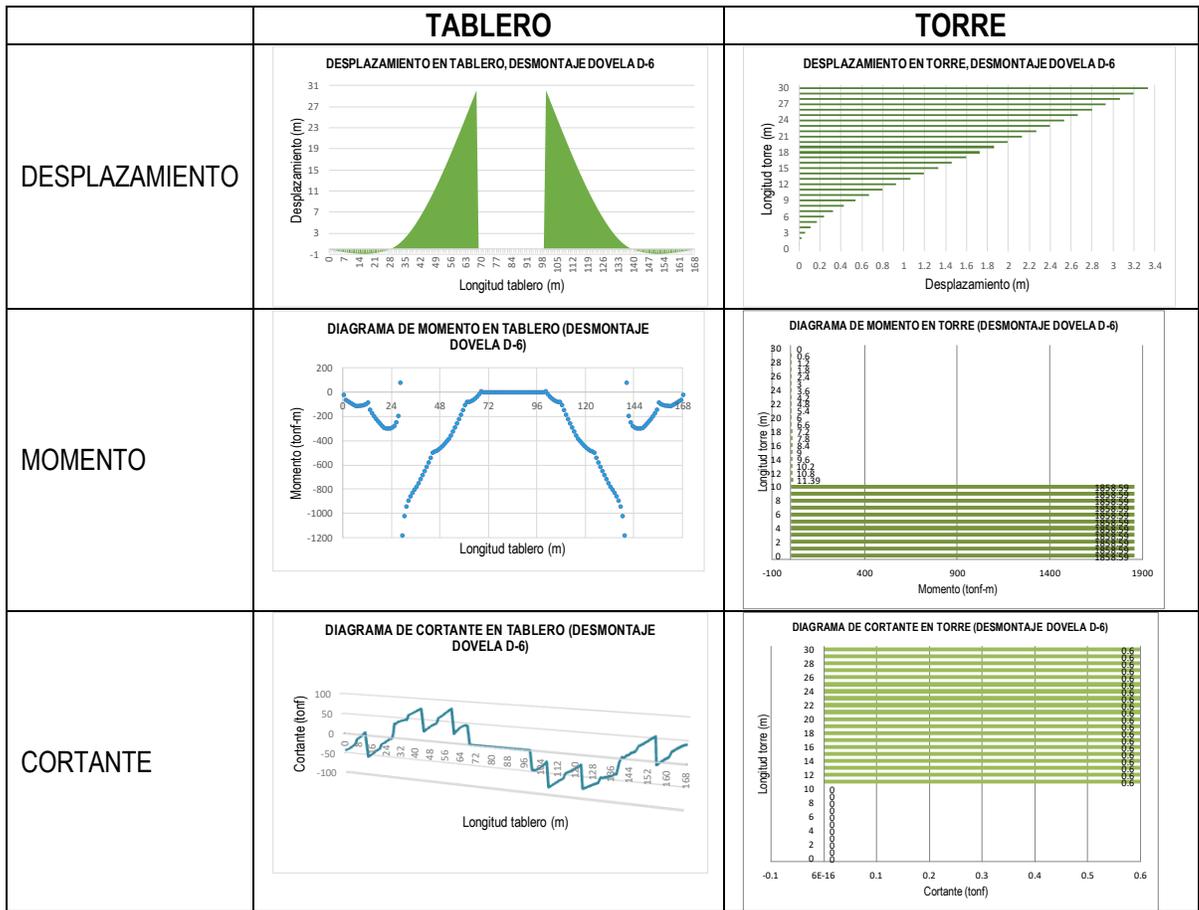


Figura 57. Desmontaje de la dovela D-6.

Cuadro 40. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-6.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODOS																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-6)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.69500</td><td>0.03491</td><td>2.5E-19</td><td>1E-18</td><td>3.8E-18</td><td>0.01704</td><td>0.03661</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.69500</td><td>0.0331</td><td>4.6E-19</td><td>3.8E-19</td><td>5E-19</td><td>0.01616</td><td>0.01357</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.72747</td><td>0.03873</td><td>2E-17</td><td>3.3E-17</td><td>1.9E-16</td><td>0.03472</td><td>0.11225</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.72747</td><td>0.80012</td><td>2.4E-17</td><td>2.4E-18</td><td>1.6E-19</td><td>0.71724</td><td>0.7377</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.55731</td><td>7.9E-17</td><td>0.31639</td><td>0.00122</td><td>0.00807</td><td>0.00017</td><td>0.00079</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.55731</td><td>6.7E-18</td><td>0.64287</td><td>0.0006</td><td>0.00433</td><td>8.3E-05</td><td>0.0016</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.00686</td><td>1E-18</td><td>0.0038</td><td>0.10867</td><td>0.03617</td><td>0.01494</td><td>9.4E-06</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.00686</td><td>6.6E-17</td><td>0.00388</td><td>0.10666</td><td>0.12952</td><td>0.01466</td><td>9.6E-06</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.89731</td><td>1.5E-17</td><td>5.3E-09</td><td>2.3E-06</td><td>6.8E-05</td><td>3.2E-07</td><td>1.3E-11</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.89731</td><td>4.2E-17</td><td>4.1E-11</td><td>0.0003</td><td>0.00024</td><td>4.2E-05</td><td>9.6E-14</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.78476</td><td>0.05381</td><td>2.1E-17</td><td>9E-17</td><td>8.5E-17</td><td>0.00205</td><td>0.02938</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.78476</td><td>0.00144</td><td>1.2E-15</td><td>6E-17</td><td>7.7E-16</td><td>5.5E-05</td><td>0.02932</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.75470</td><td>1.6E-15</td><td>0.00069</td><td>0.02937</td><td>6.4E-05</td><td>0.00404</td><td>1.7E-06</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.75470</td><td>3E-17</td><td>0.00015</td><td>0.13912</td><td>0.14019</td><td>0.01912</td><td>3.6E-07</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.67987</td><td>0.01352</td><td>4.4E-17</td><td>1.7E-16</td><td>6.1E-17</td><td>0.01428</td><td>0.0074</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.67987</td><td>0.00038</td><td>2.2E-15</td><td>8.2E-17</td><td>1.9E-16</td><td>0.0004</td><td>0.00704</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.46333</td><td>2E-15</td><td>0.00054</td><td>0.04653</td><td>0.02076</td><td>0.0064</td><td>1.3E-06</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.46333</td><td>6E-16</td><td>0.00938</td><td>0.00267</td><td>0.03825</td><td>0.00037</td><td>2.3E-05</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.44628</td><td>0.00018</td><td>5.3E-16</td><td>3.1E-15</td><td>1.3E-15</td><td>0.00073</td><td>5.3E-05</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.44628</td><td>5.3E-05</td><td>6.4E-14</td><td>7.5E-15</td><td>3.2E-15</td><td>0.00021</td><td>0.00019</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.44047</td><td>1.3E-16</td><td>0.00001</td><td>0.32796</td><td>0.30268</td><td>0.04508</td><td>2.6E-08</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.44047</td><td>2.8E-16</td><td>0.00026</td><td>0.01325</td><td>0.06553</td><td>0.00182</td><td>6.3E-07</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.35922</td><td>7.9E-16</td><td>0.00013</td><td>0.02336</td><td>0.00094</td><td>0.00321</td><td>3.2E-07</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.35922</td><td>2.3E-14</td><td>0.00026</td><td>0.01168</td><td>0.05198</td><td>0.00161</td><td>6.5E-07</td></tr> <tr> <td>SUMA</td> <td></td> <td>0.976</td> <td>0.978</td> <td>0.811</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-6)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	3.69500	0.03491	2.5E-19	1E-18	3.8E-18	0.01704	0.03661	2	3.69500	0.0331	4.6E-19	3.8E-19	5E-19	0.01616	0.01357	3	1.72747	0.03873	2E-17	3.3E-17	1.9E-16	0.03472	0.11225	4	1.72747	0.80012	2.4E-17	2.4E-18	1.6E-19	0.71724	0.7377	5	1.55731	7.9E-17	0.31639	0.00122	0.00807	0.00017	0.00079	6	1.55731	6.7E-18	0.64287	0.0006	0.00433	8.3E-05	0.0016	7	1.00686	1E-18	0.0038	0.10867	0.03617	0.01494	9.4E-06	8	1.00686	6.6E-17	0.00388	0.10666	0.12952	0.01466	9.6E-06	9	0.89731	1.5E-17	5.3E-09	2.3E-06	6.8E-05	3.2E-07	1.3E-11	10	0.89731	4.2E-17	4.1E-11	0.0003	0.00024	4.2E-05	9.6E-14	11	0.78476	0.05381	2.1E-17	9E-17	8.5E-17	0.00205	0.02938	12	0.78476	0.00144	1.2E-15	6E-17	7.7E-16	5.5E-05	0.02932	13	0.75470	1.6E-15	0.00069	0.02937	6.4E-05	0.00404	1.7E-06	14	0.75470	3E-17	0.00015	0.13912	0.14019	0.01912	3.6E-07	15	0.67987	0.01352	4.4E-17	1.7E-16	6.1E-17	0.01428	0.0074	16	0.67987	0.00038	2.2E-15	8.2E-17	1.9E-16	0.0004	0.00704	17	0.46333	2E-15	0.00054	0.04653	0.02076	0.0064	1.3E-06	18	0.46333	6E-16	0.00938	0.00267	0.03825	0.00037	2.3E-05	19	0.44628	0.00018	5.3E-16	3.1E-15	1.3E-15	0.00073	5.3E-05	20	0.44628	5.3E-05	6.4E-14	7.5E-15	3.2E-15	0.00021	0.00019	21	0.44047	1.3E-16	0.00001	0.32796	0.30268	0.04508	2.6E-08	22	0.44047	2.8E-16	0.00026	0.01325	0.06553	0.00182	6.3E-07	23	0.35922	7.9E-16	0.00013	0.02336	0.00094	0.00321	3.2E-07	24	0.35922	2.3E-14	0.00026	0.01168	0.05198	0.00161	6.5E-07	SUMA		0.976	0.978	0.811					RZ = 0.03661
								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-6)																																																																																																																																																																																																																																	
								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																										
								Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																										
								1	3.69500	0.03491	2.5E-19	1E-18	3.8E-18	0.01704	0.03661																																																																																																																																																																																																																										
								2	3.69500	0.0331	4.6E-19	3.8E-19	5E-19	0.01616	0.01357																																																																																																																																																																																																																										
								3	1.72747	0.03873	2E-17	3.3E-17	1.9E-16	0.03472	0.11225																																																																																																																																																																																																																										
								4	1.72747	0.80012	2.4E-17	2.4E-18	1.6E-19	0.71724	0.7377																																																																																																																																																																																																																										
								5	1.55731	7.9E-17	0.31639	0.00122	0.00807	0.00017	0.00079																																																																																																																																																																																																																										
								6	1.55731	6.7E-18	0.64287	0.0006	0.00433	8.3E-05	0.0016																																																																																																																																																																																																																										
								7	1.00686	1E-18	0.0038	0.10867	0.03617	0.01494	9.4E-06																																																																																																																																																																																																																										
								8	1.00686	6.6E-17	0.00388	0.10666	0.12952	0.01466	9.6E-06																																																																																																																																																																																																																										
								9	0.89731	1.5E-17	5.3E-09	2.3E-06	6.8E-05	3.2E-07	1.3E-11																																																																																																																																																																																																																										
								10	0.89731	4.2E-17	4.1E-11	0.0003	0.00024	4.2E-05	9.6E-14																																																																																																																																																																																																																										
								11	0.78476	0.05381	2.1E-17	9E-17	8.5E-17	0.00205	0.02938																																																																																																																																																																																																																										
								12	0.78476	0.00144	1.2E-15	6E-17	7.7E-16	5.5E-05	0.02932																																																																																																																																																																																																																										
								13	0.75470	1.6E-15	0.00069	0.02937	6.4E-05	0.00404	1.7E-06																																																																																																																																																																																																																										
								14	0.75470	3E-17	0.00015	0.13912	0.14019	0.01912	3.6E-07																																																																																																																																																																																																																										
								15	0.67987	0.01352	4.4E-17	1.7E-16	6.1E-17	0.01428	0.0074																																																																																																																																																																																																																										
								16	0.67987	0.00038	2.2E-15	8.2E-17	1.9E-16	0.0004	0.00704																																																																																																																																																																																																																										
								17	0.46333	2E-15	0.00054	0.04653	0.02076	0.0064	1.3E-06																																																																																																																																																																																																																										
								18	0.46333	6E-16	0.00938	0.00267	0.03825	0.00037	2.3E-05																																																																																																																																																																																																																										
								19	0.44628	0.00018	5.3E-16	3.1E-15	1.3E-15	0.00073	5.3E-05																																																																																																																																																																																																																										
								20	0.44628	5.3E-05	6.4E-14	7.5E-15	3.2E-15	0.00021	0.00019																																																																																																																																																																																																																										
21	0.44047	1.3E-16	0.00001	0.32796	0.30268	0.04508	2.6E-08																																																																																																																																																																																																																																		
22	0.44047	2.8E-16	0.00026	0.01325	0.06553	0.00182	6.3E-07																																																																																																																																																																																																																																		
23	0.35922	7.9E-16	0.00013	0.02336	0.00094	0.00321	3.2E-07																																																																																																																																																																																																																																		
24	0.35922	2.3E-14	0.00026	0.01168	0.05198	0.00161	6.5E-07																																																																																																																																																																																																																																		
SUMA		0.976	0.978	0.811																																																																																																																																																																																																																																					
	UX = 0.0331																																																																																																																																																																																																																																								
	UY = 0.31639																																																																																																																																																																																																																																								
	UZ = 0.10867																																																																																																																																																																																																																																								
	RX = 0.12952																																																																																																																																																																																																																																								
	RY = 0.01428																																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 41. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-6.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-6.

Tablero

Desplazamiento = 30.11 m
Momento = 1182.51 tonf-m
Cortante = 82.04 tonf

Torres

Desplazamiento = 3.33 m
Momento = 1858.59 tonf-m
Cortante = 0.60 tonf

6. Desmontaje de la dovela No. 5 de 8 m de longitud.

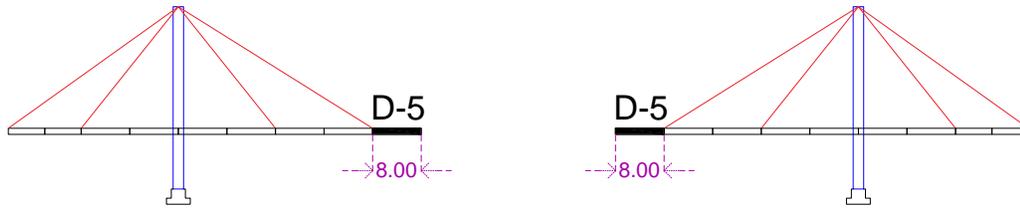
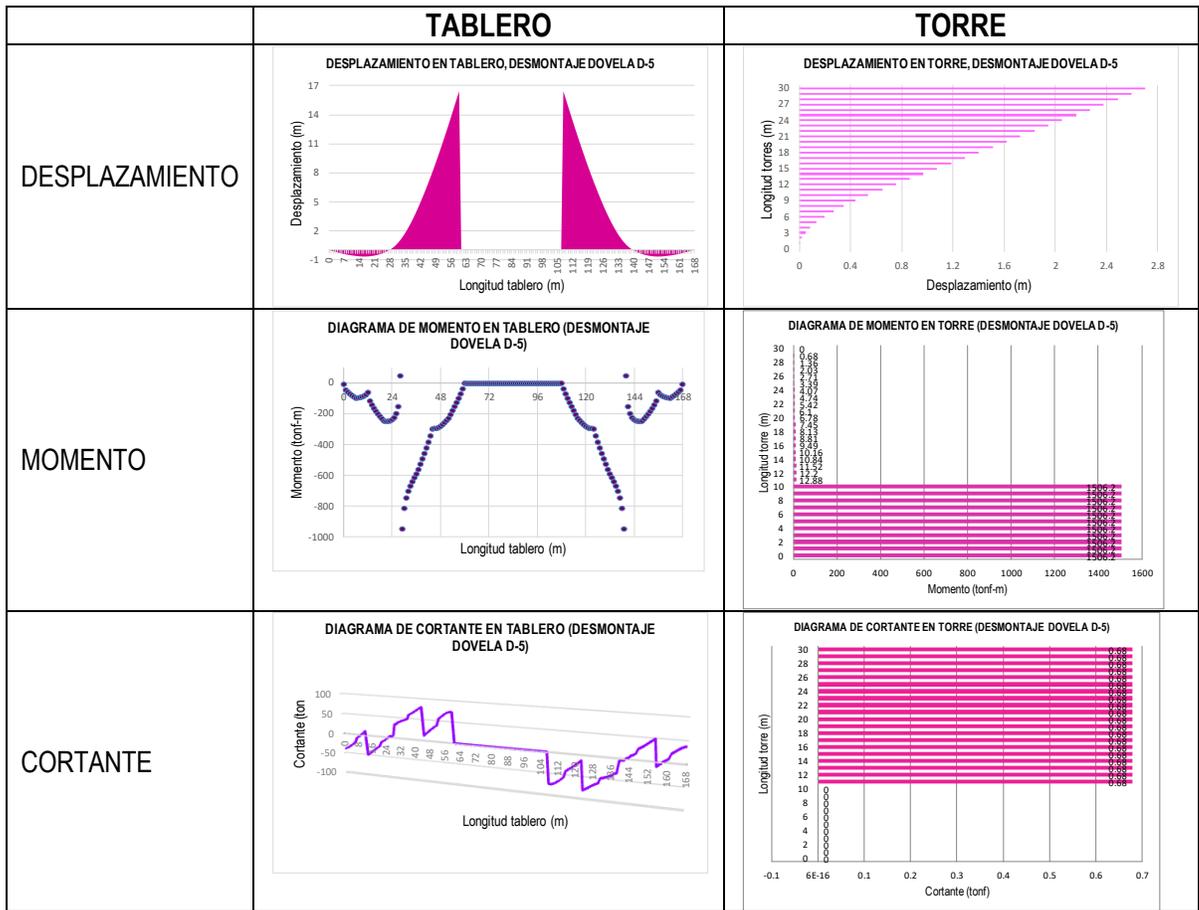


Figura 58. Desmontaje de la dovela D-5.

Cuadro 42. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-5.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-5)									
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless		
1	2.9995	0.00109	2.8E-20	4.3E-18	3.9E-18	2.9E-05	0.0051		RZ = 0.0051
2	2.9995	0.00111	0	3E-18	3.1E-18	0.00003	0.01576		
3	1.6803	0.4513	1.8E-19	1.5E-18	3.4E-18	0.39812	0.83516		
4	1.6803	0.441	0	4.7E-19	7.6E-19	0.38903	0.0344		
5	1.4811	1.7E-19	0.49171	0.00028	0.00419	3.7E-05	0.00119		
6	1.4811	1.4E-18	0.46808	0.00029	0.0082	3.9E-05	0.00113		
7	0.8973	8.4E-18	1.8E-07	3.8E-05	0.00018	5.2E-06	4.3E-10		
8	0.8973	3.3E-19	3.3E-08	0.00021	6.8E-05	2.8E-05	8.1E-11		
9	0.7733	0.0203	3.5E-18	2.8E-17	2.7E-17	0.00077	0.00048		
10	0.7733	0.05695	3.3E-16	3.1E-15	5E-16	0.00217	0.07869		
11	0.7659	1.2E-17	0.00347	0.00168	0.04872	0.00023	8.4E-06		
12	0.7659	6.8E-17	1.9E-05	0.30941	0.19852	0.04145	4.6E-08		
13	0.5652	0.00136	6.3E-17	6.7E-16	1.3E-16	0.00586	0.00325		
14	0.5652	0.00207	4.4E-16	1.3E-15	1.9E-16	0.00893	0.00026		
15	0.4688	5.6E-17	0.00744	0.00555	0.00034	0.00074	1.8E-05		
16	0.4688	2E-16	0.00474	0.00871	0.01986	0.00117	1.1E-05		
17	0.4428	1.8E-16	1.3E-06	0.30182	0.44208	0.04044	3.2E-09		
18	0.4428	3E-15	3.3E-06	0.12218	0.00188	0.01637	8E-09		
19	0.3594	1.1E-15	7.5E-05	0.03243	0.04852	0.00435	1.8E-07		
20	0.3594	3.4E-14	0.00038	0.00639	0.00906	0.00086	9.2E-07		
21	0.3383	0.00014	1.8E-15	6.2E-14	1.8E-13	0.00125	0.0002		
22	0.3383	2.8E-05	4.6E-16	4.8E-14	3.3E-13	0.00025	3.1E-05		
23	0.3095	0.00029	8.9E-16	8.4E-18	4.8E-15	0.00213	7.7E-07		
24	0.3095	0.00083	2.8E-15	4.5E-15	7.3E-14	0.00606	0.00107		
25	0.3014	0.00026	6.4E-16	3E-15	4.1E-15	0.00844	1.4E-06		
26	0.3014	0.00052	7.5E-16	8.7E-14	5.7E-13	0.01706	0.00075		
27	0.2876	3.1E-14	0.00032	0.0007	0.00018	9.4E-05	7.7E-07		
28	0.2876	6.7E-18	0.00015	0.00149	0.00142	0.0002	3.6E-07		
29	0.2552	3.8E-09	2.9E-15	7.8E-13	4.9E-13	2.1E-06	2.9E-06		
30	0.2552	1.9E-07	4.3E-15	1.3E-13	3.6E-13	0.00011	3.7E-07		
31	0.2484	4E-15	0.00381	0.00038	0.00015	0.00005	9.2E-06		
32	0.2484	5.4E-15	0.0009	0.00159	0.00219	0.00021	2.2E-06		
33	0.2369	1.9E-07	2.7E-15	1.4E-14	1.3E-14	0.00394	7.3E-08		
34	0.2369	3.5E-08	1E-13	6.4E-14	9.6E-14	0.00071	1.4E-07		
35	0.2361	1.6E-15	0.00026	5.7E-08	0.0001	7.7E-09	6.3E-07		
36	0.2361	6.8E-16	4.2E-06	3.6E-06	8.2E-06	4.8E-07	1E-08		
37	0.2218	6.2E-15	4.4E-06	0.00158	0.00852	0.00021	1.1E-08		
38	0.2218	2.2E-15	7.4E-07	0.00939	0.0031	0.00126	1.8E-09		
SUMA		0.977	0.981	0.804					
									UX = 0.441
									UY = 0.49171
									RX = 0.00018
									UZ = 0.00021
									RY = 0.00586

Cuadro 43. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-5.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-5.

Tablero

Desplazamiento = 16.45 m

Momento = 944.04 tonf-m

Cortante = 80.35 tonf

Torres

Desplazamiento = 2.70 m

Momento = 1506.20 tonf-m

Cortante = 0.68 tonf

7. Desmontaje de los tirantes No. 1 y 4.

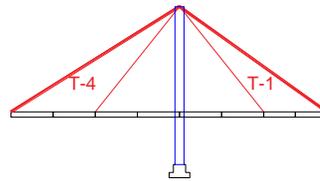
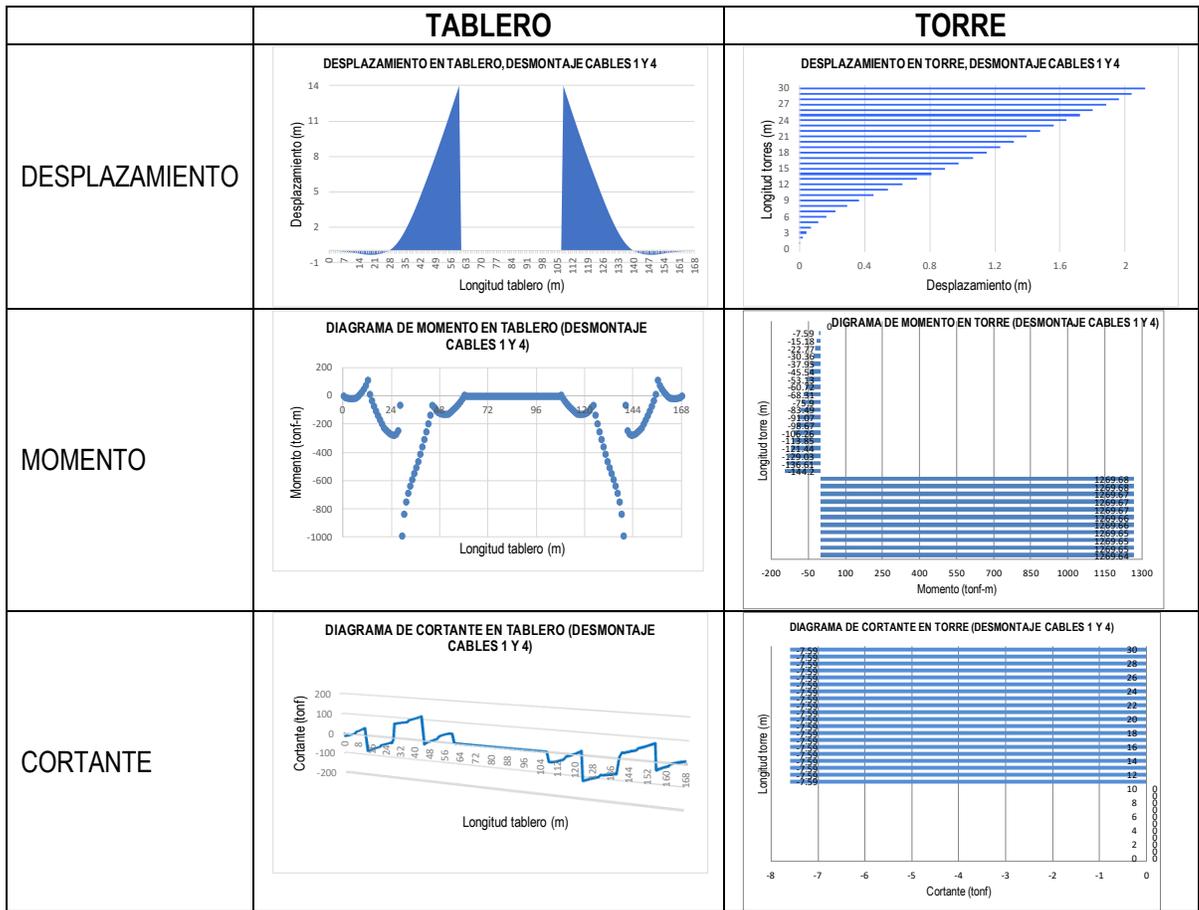


Figura 59. Desmontaje de tirantes T-1 y T-4.

Cuadro 44. Tabla de modos para el desmontaje de los tirantes T-1 y T-4.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE CABLES 1 Y 4)									RZ = 0.01824
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless		UX = 0.00484
1	3.9471	0.00484	0	1.8E-20	2.6E-19	0.00231	0.01824		
2	3.9471	0.00484	0	0	2.9E-20	0.00231	0.0004		UY = 0.37636
3	3.169	1.2E-18	0.02852	0.05366	0.04277	0.00754	6.9E-05		
4	3.169	0	0.02648	0.0578	0.03369	0.00812	6.4E-05		RX = 0.000063
5	1.7157	2.5E-18	0.37636	0.01148	0.05149	0.00161	0.00091		
6	1.7157	2E-18	0.27604	0.01565	0.00023	0.0022	0.00067		
7	1.7104	0.35294	1.6E-19	4.7E-20	1E-18	0.31993	0.01013		
8	1.7104	0.50074	7.4E-19	2.4E-19	1.1E-16	0.45391	0.83288		
9	1.3233	0.00012	1.1E-16	4.9E-16	1E-15	0.00573	0.00026		
10	1.3233	1.6E-05	1.4E-20	2.2E-18	1.2E-17	0.00079	0.00024		
11	1.0075	1.3E-16	0.04279	0.01068	0.0031	0.0015	0.0001		
12	1.0075	0	0.22086	0.00207	0.01103	0.00029	0.00054		
13	0.9511	1.8E-20	2.3E-08	0.00042	0.00036	5.9E-05	5.6E-11		
14	0.9511	1.8E-18	6.4E-07	1.5E-05	6.3E-05	2.1E-06	1.5E-09		
15	0.8106	0.08621	1.3E-16	1.7E-16	7.7E-18	9.4E-05	0.0248		
16	0.8106	0.02354	2.4E-18	0	1.4E-16	2.6E-05	0.08404		
17	0.6747	0.0002	5.1E-17	1.9E-17	4.1E-18	0.00355	4.1E-06		
18	0.6747	9.8E-05	6.9E-19	6.5E-17	6.8E-17	0.00179	0.00047		
19	0.4746	9.3E-16	3.3E-06	0.58978	0.51692	0.08284	8E-09		
20	0.4746	5.4E-16	8.5E-05	0.0228	0.09426	0.0032	2.1E-07		
21	0.4109	3.3E-16	0.0025	0.00771	4.4E-05	0.00108	6E-06		
22	0.4109	1.4E-15	0.00127	0.01518	0.025	0.00213	3.1E-06		
23	0.3742	8.2E-15	0.00042	0.00192	0.0005	0.00027	1E-06		
24	0.3742	1.5E-14	0.00026	0.00309	0.00845	0.00043	6.4E-07		
25	0.3413	0.00247	2.6E-17	6.6E-16	1.6E-16	0.02202	0.00214		
26	0.3413	9.2E-05	5.3E-16	1.3E-15	7.8E-14	0.00082	0.00037		
27	0.2956	0.00029	8.1E-15	1.1E-14	8.2E-16	0.00444	0.00107		
28	0.2956	0.00118	3.7E-16	2.4E-15	6.9E-15	0.01806	0.00036		
29	0.275	7.5E-06	1.5E-16	6.3E-15	1.4E-14	0.00035	3.2E-06		
30	0.275	1.1E-07	5.8E-18	2.3E-14	1.3E-14	5.2E-06	1.7E-05		
31	0.26	5.3E-15	0.00336	2.7E-05	0.00083	3.8E-06	8.1E-06		
32	0.26	2E-15	0.00011	0.00082	0.00037	0.00012	2.7E-07		
33	0.2548	1.2E-06	1.5E-17	3.4E-15	2.1E-14	6.6E-06	1E-07		
34	0.2548	4.9E-07	5.4E-16	8E-15	3.4E-15	2.8E-06	2.1E-06		
35	0.2501	2E-06	1.4E-18	2.9E-15	2.2E-15	0.00057	1.3E-07		
36	0.2501	4.9E-06	3.7E-16	4.3E-15	1.3E-16	0.00139	5.6E-06		
37	0.2412	2.7E-15	5.5E-05	0.00044	0.00019	6.2E-05	1.3E-07		
38	0.2412	3.3E-16	0.00154	1.6E-05	0.0005	2.2E-06	3.7E-06		
39	0.2195	6.1E-15	1.8E-05	0.01854	0.02242	0.0026	4.4E-08		
SUMA		0.978	0.981	0.812					

Cuadro 45. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de los tirantes T-1 y T-4.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de los tirantes T-1 y T-4.

Tablero

Desplazamiento = 13.98 m

Momento = 988.69 tonf-m

Cortante = 117.05 tonf

Torres

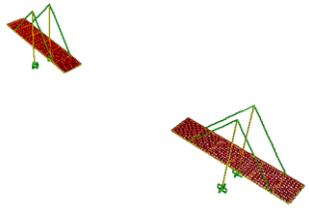
Desplazamiento = 2.12 m

Momento = 1269.68 tonf-m

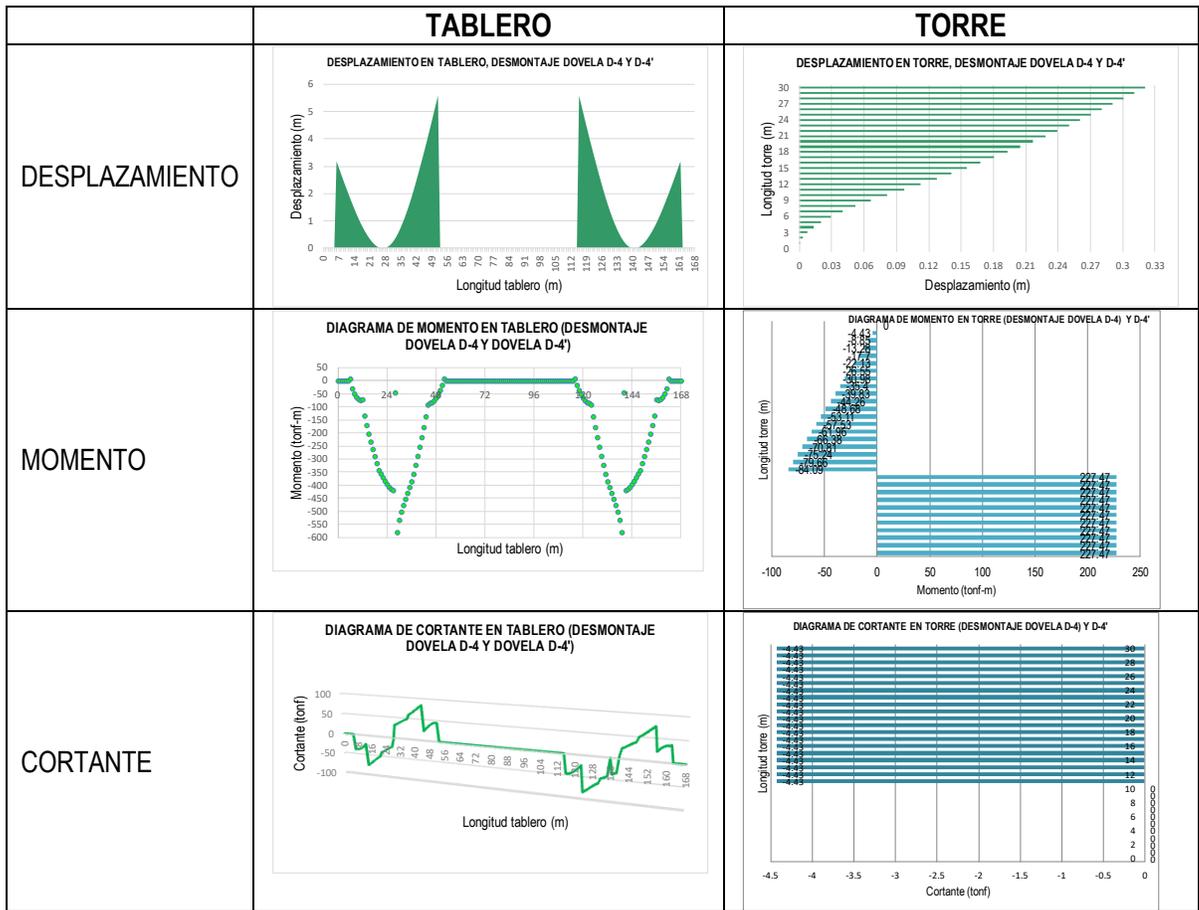
Cortante = 7.59 tonf

8. Desmontaje de la dovela No. 4 de 8 m de longitud y la dovela No. 4' de 6 m de longitud.

Cuadro 46. Tabla de modos para el desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-4 Y D-4')									UY = 0.9026
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless		
1	3.2411	5.6E-20	0.09026	0.00147	0.00411	0.0002	0.00022		
2	3.2411	4.9E-20	0.07534	0.00176	0.01486	0.00024	0.00018		
3	2.8301	0.00155	4.3E-20	8.5E-18	4.8E-17	0.0006	0.0011		
4	2.8301	0.00157	0	1.5E-18	4.9E-20	0.00061	0.00964		
5	1.5803	0.76015	1.4E-19	8.2E-18	1.3E-18	0.73432	0.70572		
6	1.5803	0.04638	5.4E-18	5.8E-17	1.7E-15	0.04481	0.09102		
7	1.2503	2.4E-06	7.3E-17	6.9E-16	5.4E-17	5.9E-07	0.00091		
8	1.2503	3.5E-05	2.7E-17	4.2E-19	2.4E-16	8.5E-06	7.4E-06		
9	1.2442	3.3E-18	0.66371	0.00048	0.00365	6.6E-05	0.00161		
10	1.2442	2.4E-19	0.08532	0.00375	0.00617	0.00051	0.00021		
11	0.9511	2.2E-16	3.6E-06	5.2E-05	1.4E-05	7E-06	8.7E-09		
12	0.9511	2.4E-17	6E-07	0.00031	0.00034	4.2E-05	1.5E-09		
13	0.7621	1.1E-17	0.0008	0.12058	0.10133	0.01638	1.9E-06		
14	0.7621	6.3E-17	0.02642	0.00366	0.0185	0.0005	6.4E-05		
15	0.7586	0.12145	1.4E-19	9.9E-20	5.5E-20	0.00256	0.03109		
16	0.7586	0.0406	9.4E-18	8.1E-18	5.9E-18	0.00086	0.13004		
17	0.5784	8.4E-18	0.00474	0.0245	0.0076	0.00333	1.2E-05		
18	0.5784	2.7E-18	0.02231	0.00521	0.02246	0.00071	5.4E-05		
19	0.4603	3.6E-15	8E-07	0.5761	0.27895	0.07825	1.9E-09		
20	0.4603	1.7E-15	1.5E-05	0.03115	0.31576	0.00423	3.6E-08		
21	0.4416	4.5E-06	1.2E-19	2.6E-17	2.2E-18	0.00855	9.9E-07		
22	0.4416	1.7E-06	9.6E-17	1.4E-20	2.3E-15	0.00333	5.3E-06		
23	0.3554	3.3E-05	1.2E-16	8E-15	3.7E-16	0.0072	3.2E-06		
24	0.3554	8.7E-06	1.2E-16	1.4E-14	7.5E-16	0.00188	6.9E-05		
25	0.3196	8.1E-05	1.4E-15	8.8E-15	1.6E-14	0.01206	0.00019		
26	0.3196	0.00015	1.6E-16	9.7E-14	7.7E-15	0.02162	2.8E-05		
27	0.2709	2E-17	1.5E-05	0.0001	0.00012	1.4E-05	3.6E-08		
28	0.2709	2.7E-14	0.00007	2.1E-05	2.8E-06	2.9E-06	1.7E-07		
29	0.2543	8.1E-07	1.6E-15	5.8E-15	1.2E-14	2.9E-06	3.1E-07		
30	0.2543	2.1E-07	6.5E-16	3.5E-15	3.1E-13	7.7E-07	8.5E-06		
31	0.2488	3.7E-16	0.00101	1.6E-05	1.9E-06	2.2E-06	2.4E-06		
32	0.2488	4.9E-14	0.00598	2.8E-06	3.8E-05	3.8E-07	1.5E-05		
33	0.2283	3.4E-16	0.00008	0.00385	0.00085	0.00052	1.9E-07		
34	0.2283	5E-17	0.00019	0.00166	0.0045	0.00023	4.5E-07		
35	0.2179	5E-09	1.8E-15	9.3E-14	6.4E-15	2.6E-06	1.2E-06		
36	0.2179	2.3E-06	3.7E-15	1.3E-12	1.1E-12	0.00117	1.4E-06		
37	0.1983	2.8E-20	3E-07	0.0033	0.00164	0.00045	7.3E-10		
38	0.1983	2.5E-17	6.4E-06	0.00016	0.00176	2.1E-05	1.5E-08		
39	0.1791	4.7E-17	1.9E-06	0.01284	0.017	0.00174	4.7E-09		
40	0.1791	3.1E-15	5.5E-06	0.00455	4.5E-05	0.00062	1.3E-08		
41	0.1777	5.8E-05	1.6E-14	5.9E-14	6.3E-14	5.2E-06	0.00013		
42	0.1777	0.00014	1E-15	2.3E-13	1.3E-13	1.2E-05	4.1E-05		
43	0.1712	0.00393	7.9E-14	1.7E-13	2.6E-13	0.00127	0.00168		
44	0.1712	0.00038	4.6E-15	4.4E-14	1.2E-13	0.00012	0.0026		
45	0.169	4E-17	9.9E-06	7.2E-05	6.9E-05	9.8E-06	2.4E-08		
46	0.169	1.1E-16	9.7E-05	7.4E-06	3.5E-06	1E-06	2.3E-07		
47	0.1644	1.8E-16	3.2E-08	0.03155	0.01577	0.00429	7.8E-11		
SUMA		0.977	0.976	0.827					

Cuadro 47. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.

Tablero

Desplazamiento = 5.59 m

Momento = 580.94 tonf-m

Cortante = 84.91 tonf

Torres

Desplazamiento = 0.32 m

Momento = 227.47 tonf-m

Cortante = 4.43 tonf

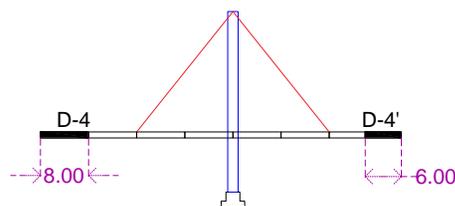


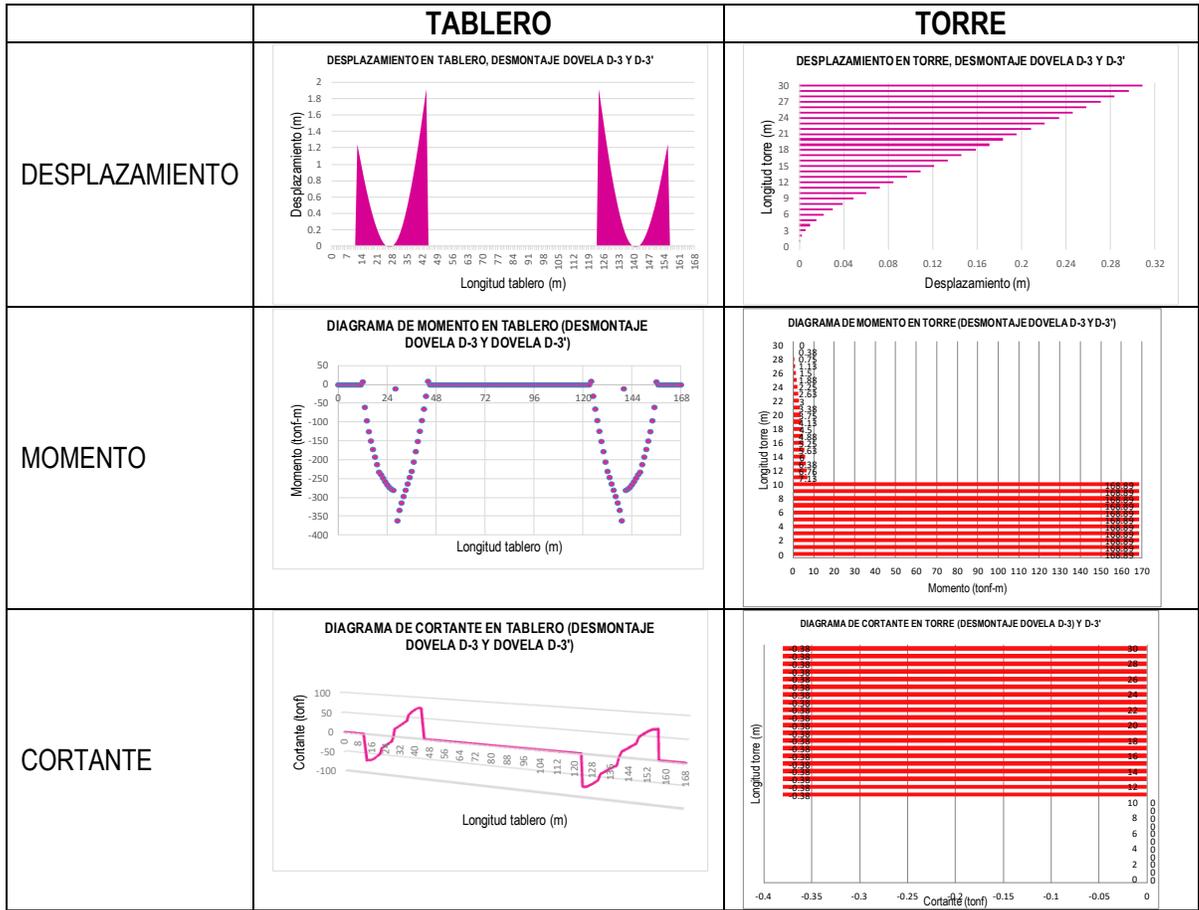
Figura 60. Desmontaje de las dovelas D-4 y D-4'.

9. Desmontaje de la dovela No. 3 de 8 m de longitud y la dovela No. 3' de 6 m de longitud.

Cuadro 48. Tabla de modos para el desmontaje de las dovelas D-3 y D-3'.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-3 Y D-3')									
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless		
1	2.2682	0	0.18357	6.6E-08	0.01021	8.3E-09	0.00045		UY = 0.18357
2	2.2682	9.3E-20	0.18432	6.5E-08	0.01034	8.2E-09	0.00045		
3	1.8391	0.0013	0	0	0	0.00165	0.01214		
4	1.8391	0.0013	0	0	0	0.00166	0.00256		
5	1.4569	0.36087	5.4E-20	0	1.6E-20	0.38327	0.68952		
6	1.4569	0.37341	4.8E-20	0	0	0.39659	0.03174		
7	0.9512	4.8E-19	6.2E-08	0.00051	0.00061	6.4E-05	1.5E-10		RZ = 0.01214
8	0.9512	5E-17	2.5E-07	0.00013	9.7E-06	1.6E-05	6.1E-10		
9	0.8998	3.1E-20	0.41085	5E-08	0.00071	6.3E-09	0.001		
10	0.8998	5.4E-19	0.17769	1.1E-07	0.0003	1.4E-08	0.00043		
11	0.8828	2.3E-05	7.9E-18	6.6E-18	7.4E-18	8.4E-06	0.00025		
12	0.8828	0.00012	1.2E-17	4.2E-17	4.6E-17	4.4E-05	0.00031		
13	0.6926	0.03695	2.3E-19	2.7E-17	1.1E-16	0.00191	0.16072		RY = 0.39659
14	0.6926	0.18991	1.8E-19	1.2E-17	5.4E-17	0.00984	0.06452		
15	0.4571	1.3E-18	1.2E-08	0.04934	0.06003	0.00622	2.9E-11		
16	0.4571	1E-16	9.8E-10	0.60791	0.58304	0.07657	2.4E-12		
17	0.3581	1.7E-17	0.00151	2.8E-08	6.9E-06	3.5E-09	3.7E-06		
18	0.3581	4.2E-17	0.00023	1.8E-07	3.9E-07	2.3E-08	5.6E-07		
19	0.3229	1.9E-06	1.8E-18	3.5E-17	1.3E-16	0.00112	1.3E-05		RX = 0.00061
20	0.3229	7.6E-05	1.2E-16	2.2E-15	7.7E-15	0.04374	6.4E-05		
21	0.2676	3.2E-10	4.2E-16	1.5E-14	3.4E-15	6.9E-08	1.1E-07		
22	0.2676	3.7E-10	6.5E-16	1.3E-16	1.9E-16	8E-08	1.2E-07		
23	0.2407	1.6E-16	1.2E-05	1.5E-07	4E-08	1.9E-08	2.9E-08		
24	0.2407	1E-16	0.01076	1.7E-10	1.4E-05	2E-11	2.6E-05		
25	0.2315	7.5E-15	4.8E-09	0.00065	0.00041	8.2E-05	1.1E-11		UX = 0.18991
26	0.2315	7.2E-18	2.1E-06	1.5E-06	0.00023	1.9E-07	5E-09		
27	0.2214	2.8E-11	9.4E-16	1.7E-15	8.5E-16	8.1E-10	1.6E-05		
28	0.2214	3.3E-09	2E-16	1.2E-14	8.7E-16	9.7E-08	1.7E-07		
29	0.1993	8.6E-15	6.8E-09	0.00696	0.00069	0.00088	1.6E-11		
30	0.1993	2.6E-15	7.9E-09	0.00596	0.01195	0.00075	1.9E-11		
31	0.1904	0.00374	2.7E-16	3.7E-15	6E-15	0.00011	0.0022		UZ = 0.60791
32	0.1904	4.5E-05	1.3E-14	5.6E-14	2.5E-15	1.3E-06	0.00154		
33	0.1744	5.5E-16	9.6E-06	1.5E-08	8E-09	1.9E-09	2.3E-08		
34	0.1744	2.2E-16	0.00012	1.2E-09	4.9E-07	1.5E-10	2.9E-07		
35	0.1715	5.6E-16	2.6E-08	0.05142	0.07906	0.00648	6.4E-11		
36	0.1715	3.2E-18	4.6E-08	0.0297	0.0003	0.00374	1.1E-10		
37	0.1657	1.4E-15	4.3E-05	2.5E-05	3.5E-08	3.2E-06	1E-07		
38	0.1657	1.2E-14	2.1E-05	5.1E-05	7.9E-05	6.4E-06	5.2E-08		
39	0.1544	5.3E-16	4.6E-10	0.03939	0.00688	0.00496	1.1E-12		
40	0.1544	1.1E-14	8.4E-10	0.02148	0.05269	0.00271	2.2E-12		
SUMA		0.968	0.969	0.814					

Cuadro 49. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de las dovelas D-3 y D-3'.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de las dovelas D-3 y D-3'.

Tablero

Desplazamiento = 1.92 m

Momento = 360.75 tonf-m

Cortante = 75.67 tonf

Torres

Desplazamiento = 0.31 m

Momento = 168.89 tonf-m

Cortante = 0.38 tonf

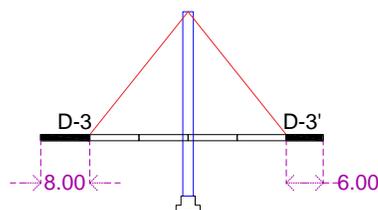


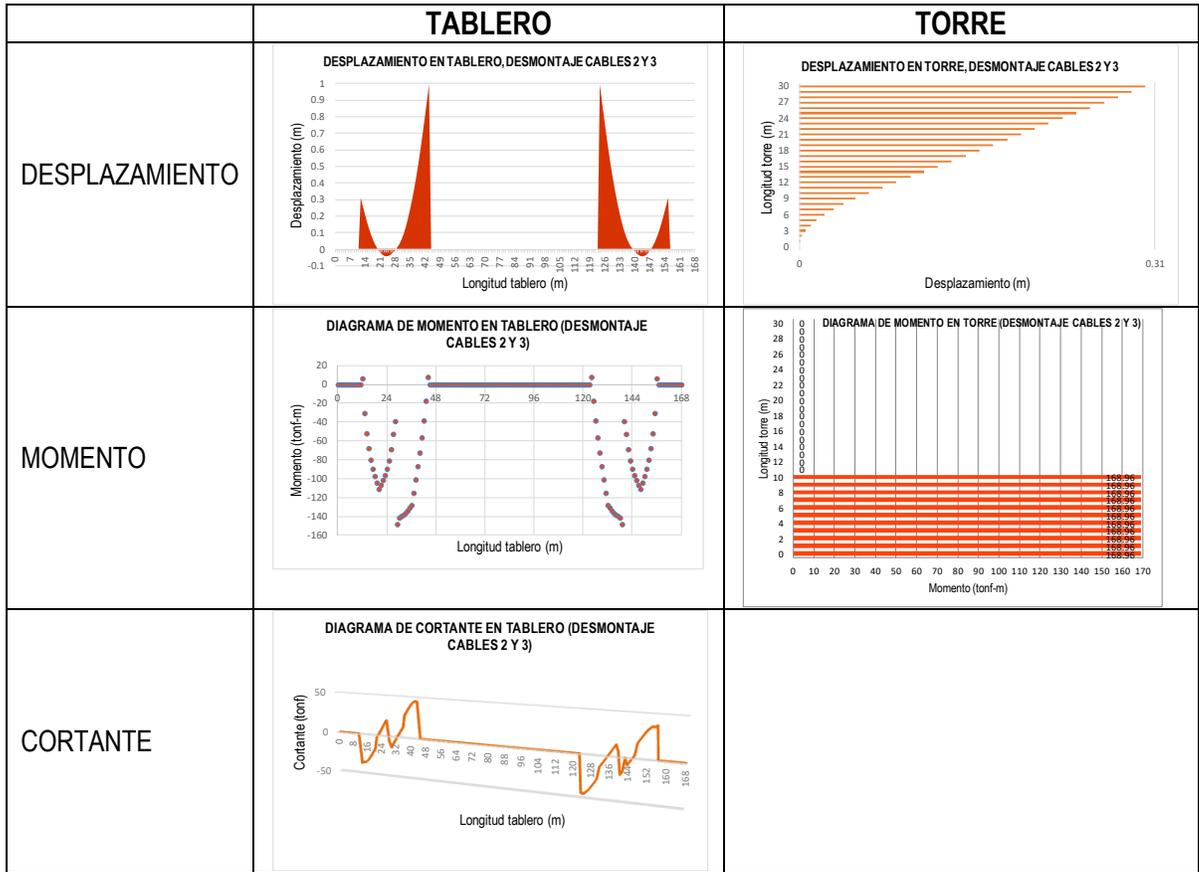
Figura 61. Desmontaje de dovelas D-3 y D-3'

10. Desmontaje de los tirantes No. 2 y 3.

Cuadro 50. Tabla de modos para el desmontaje de los tirantes T-2 y T-3.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE CABLES 2 Y 3)									UY = 0.12818
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ		
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless		RZ = 0.00026
1	3.5529	0	0.12818	1.7E-10	0.00937	2.1E-11	0.00031		
2	3.5529	0	0.1289	1.7E-10	0.00942	2.1E-11	0.00031		RX = 0.42189
3	2.3275	2.9E-09	6.7E-19	1.1E-17	8.2E-18	5.5E-10	0.00026		
4	2.3275	1.2E-10	4.1E-20	2E-20	2.5E-19	2.3E-11	0.00632		UX = 0.02183
5	1.694	0.33406	6E-18	3.6E-18	5.8E-17	0.40277	0.03465		
6	1.694	0.28049	1.6E-18	6.9E-19	7.9E-18	0.33818	0.57338		UX = 0.02183
7	1.5562	4.7E-19	8.6E-08	0.20184	0.42189	0.02585	2.1E-10		
8	1.5562	3.2E-20	6.7E-08	0.25987	0.02996	0.03328	1.6E-10		UX = 0.02183
9	1.4165	2.2E-18	0.00011	2E-07	1.2E-06	2.6E-08	2.7E-07		
10	1.4165	1.9E-18	0.34153	6.6E-11	0.0016	8.4E-12	0.00083		UX = 0.02183
11	1.1726	8E-18	1E-11	0.00011	1.5E-05	1.4E-05	2.4E-14		
12	1.1726	0	1.6E-11	7.1E-05	0.00016	9.2E-06	3.8E-14		UX = 0.02183
13	1.0314	8E-10	1.8E-18	2.9E-18	1.7E-17	9.3E-09	0.00058		
14	1.0314	5.3E-10	2.2E-18	1.2E-18	6.2E-17	6.1E-09	0.00088		UX = 0.02183
15	0.8516	1.5E-06	7.8E-18	1.6E-17	3E-18	1.1E-06	6.1E-06		
16	0.8516	1.2E-06	3.8E-19	2.1E-19	0	8.8E-07	2.4E-05		UX = 0.02183
17	0.8017	0.02581	0	9.1E-20	3.6E-19	0.00271	0.04603		
18	0.8017	0.02183	7.3E-18	2.9E-18	9.5E-19	0.00229	0.00113		UX = 0.02183
19	0.7467	0.2575	1.8E-19	2.6E-20	7.7E-19	0.06555	0.09244		
20	0.7467	0.04416	2.3E-17	1.3E-17	7.8E-20	0.01124	0.20601		UX = 0.02183
21	0.7434	2.5E-20	0.0553	1.3E-10	0.00014	1.6E-11	0.00013		
22	0.7434	0	0.30308	2.3E-11	0.00076	2.9E-12	0.00074		UX = 0.02183
23	0.3424	1.4E-17	8.2E-05	2.8E-06	1.4E-06	3.6E-07	2E-07		
24	0.3424	5.6E-17	0.00762	3.1E-08	3.7E-06	3.9E-09	1.8E-05		UX = 0.02183
25	0.3227	1.2E-16	1E-07	0.0034	0.07863	0.00044	2.4E-10		
26	0.3227	6.3E-19	1.9E-09	0.17939	0.10027	0.02297	4.6E-12		UX = 0.02183
27	0.2248	1.3E-09	3.7E-15	7.8E-17	4.5E-13	3.1E-07	2.8E-06		
28	0.2248	5.2E-10	1.1E-15	6.2E-15	8.5E-15	1.3E-07	7.2E-06		UX = 0.02183
29	0.2079	2.6E-06	1.7E-16	3.6E-14	1.2E-14	0.00615	4.9E-06		
30	0.2079	2.5E-06	6.1E-16	7.7E-17	5.6E-14	0.00612	1.8E-07		UX = 0.02183
31	0.1955	2.8E-15	1.7E-13	0.0154	0.01217	0.00197	6.9E-15		
32	0.1955	7.6E-15	1.2E-11	0.00022	0.00311	2.9E-05	1.2E-14		UX = 0.02183
33	0.1841	0.00315	3.5E-18	5.8E-16	7.8E-15	4.7E-06	0.0034		
34	0.1841	0.00047	1.3E-16	3.2E-15	1.1E-13	6.9E-07	0.00017		UX = 0.02183
35	0.1811	8.1E-16	0.00369	1.7E-11	3.3E-06	1.5E-12	8.9E-06		
36	0.1811	2.8E-16	0.0005	1.3E-10	4.3E-07	1.8E-11	1.2E-06		UX = 0.02183
37	0.1788	5.5E-10	1.2E-16	5.3E-18	3.2E-18	9E-09	1.7E-06		
38	0.1788	5.3E-10	2E-15	3.6E-15	1.4E-13	8.7E-09	1.9E-06		UX = 0.02183
39	0.1733	2.5E-15	0.00015	2.1E-07	3E-07	2.7E-08	3.7E-07		
40	0.1733	2.8E-15	0.00025	1.2E-07	4.7E-09	1.6E-08	6.1E-07		UX = 0.02183
41	0.1729	3.3E-17	4E-12	0.05032	0.03284	0.00644	1.1E-14		
42	0.1729	9.6E-15	4.9E-09	0.00004	0.01646	5.1E-06	1.3E-11		UX = 0.02183
43	0.1644	3E-15	4.8E-07	1.8E-05	5.9E-06	2.4E-06	1.2E-09		
44	0.1644	2.4E-17	2.1E-06	4.3E-06	1.6E-05	5.5E-07	5E-09		UX = 0.02183
45	0.163	4.9E-18	2.6E-10	0.00063	0.00051	8.1E-05	6.7E-13		
46	0.163	3E-17	1.4E-08	1.2E-05	0.00012	1.5E-06	3.5E-11		UX = 0.02183
47	0.1224	6.9E-17	9.2E-12	0.13619	0.11771	0.01744	2.4E-14		
SUMA		0.967	0.969	0.848					

Cuadro 51. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de los tirantes T-2 y T-3.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de los tirantes T-2 y T-3.

Tablero

Desplazamiento = 1.00 m

Momento = 148.31 tonf-m

Cortante = 45.65 tonf

Torres

Desplazamiento = 0.30 m

Momento = 168.96 tonf-m

Cortante = 0 tonf

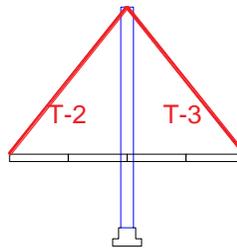
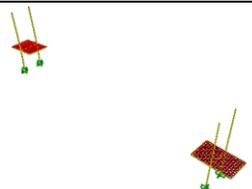
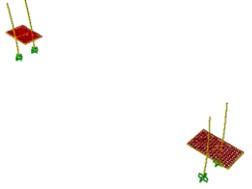
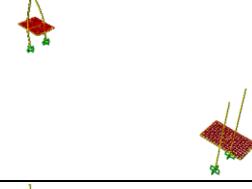
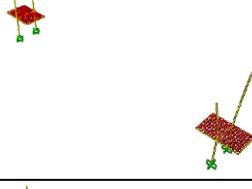
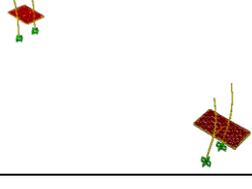


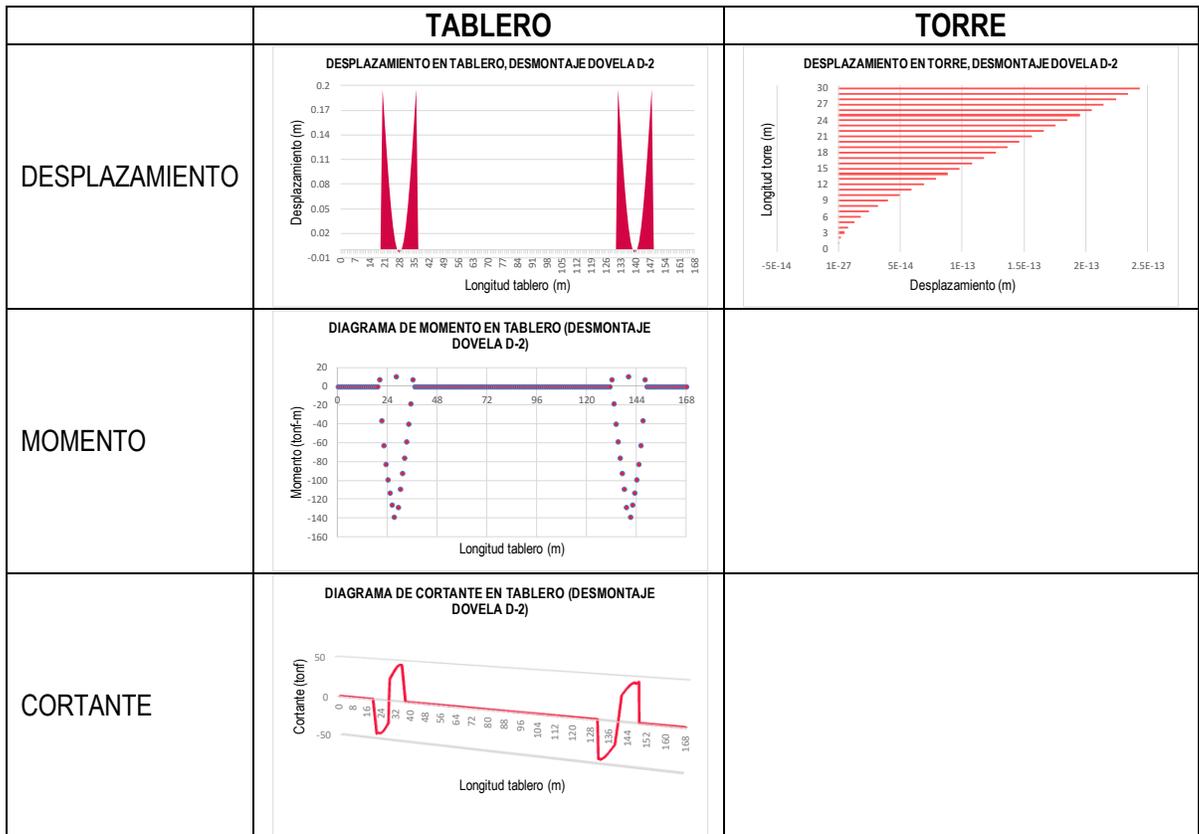
Figura 62. Desmontaje de los tirantes T2 y T-3.

11. Desmontaje de la dovela No. 2 de 8 m una longitud.

Cuadro 52. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-2.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-2)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.4509</td><td>0</td><td>0.26347</td><td>2E-20</td><td>0.00904</td><td>0</td><td>0.00064</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.4509</td><td>0</td><td>0.2635</td><td>1.1E-20</td><td>0.00904</td><td>0</td><td>0.00064</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.7099</td><td>1.3E-18</td><td>1.9E-19</td><td>1.2E-17</td><td>2E-17</td><td>9.1E-19</td><td>6E-07</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.7099</td><td>1.7E-18</td><td>9.6E-19</td><td>6.2E-17</td><td>8.6E-17</td><td>8.9E-18</td><td>0.00167</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.5965</td><td>0.49885</td><td>1.6E-19</td><td>1.7E-18</td><td>5.8E-19</td><td>0.68048</td><td>0.21722</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.5965</td><td>0.04702</td><td>2.8E-19</td><td>1.2E-16</td><td>1.4E-16</td><td>0.06414</td><td>0.32558</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.1746</td><td>0</td><td>2.9E-20</td><td>0.00046</td><td>0.00085</td><td>0.00005</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.1746</td><td>2.8E-20</td><td>1.2E-19</td><td>0.00045</td><td>3.2E-05</td><td>4.9E-05</td><td>5.1E-20</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.6809</td><td>4.6E-19</td><td>0.02654</td><td>2.4E-17</td><td>0.00016</td><td>3.1E-18</td><td>6.5E-05</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.6809</td><td>1.1E-17</td><td>0.00183</td><td>7.5E-17</td><td>1.1E-05</td><td>5.2E-17</td><td>4.5E-06</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.6582</td><td>3.3E-18</td><td>1.5E-17</td><td>7.9E-17</td><td>2E-17</td><td>4.6E-17</td><td>0.00019</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.6582</td><td>8.4E-17</td><td>1.4E-18</td><td>1.5E-16</td><td>2.8E-20</td><td>5.2E-17</td><td>0.00111</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.6052</td><td>0.34032</td><td>5.2E-17</td><td>1.8E-17</td><td>2.7E-16</td><td>0.05879</td><td>0.12453</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.6052</td><td>0.0562</td><td>6.3E-18</td><td>9.3E-18</td><td>1.3E-20</td><td>0.00971</td><td>0.26975</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.5608</td><td>1.1E-19</td><td>0.34546</td><td>1.9E-19</td><td>0.00077</td><td>1.6E-18</td><td>0.00084</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.5608</td><td>5.4E-18</td><td>0.04244</td><td>8.6E-19</td><td>9.4E-05</td><td>1.1E-17</td><td>0.0001</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.4884</td><td>6.4E-17</td><td>6.3E-17</td><td>0.10652</td><td>0.32329</td><td>0.01174</td><td>1.5E-19</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.4884</td><td>4.4E-16</td><td>1.7E-15</td><td>0.29748</td><td>0.07298</td><td>0.03278</td><td>2.3E-17</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.363</td><td>3.2E-20</td><td>2.2E-18</td><td>1.5E-17</td><td>1.5E-18</td><td>3.7E-17</td><td>7.7E-05</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.363</td><td>2.1E-17</td><td>1.4E-18</td><td>1.6E-17</td><td>8.7E-17</td><td>7E-17</td><td>2.5E-05</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.306</td><td>1.9E-05</td><td>7.1E-19</td><td>9.8E-18</td><td>9.8E-17</td><td>0.00828</td><td>4.7E-05</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.306</td><td>3.5E-05</td><td>4.1E-17</td><td>6.2E-17</td><td>2.8E-17</td><td>0.01526</td><td>6.2E-06</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.1953</td><td>5.8E-17</td><td>6.7E-17</td><td>0.02858</td><td>0.01912</td><td>0.00315</td><td>1.2E-16</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.1953</td><td>2.1E-14</td><td>8.6E-16</td><td>3.5E-06</td><td>0.00891</td><td>3.9E-07</td><td>2.4E-14</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.177</td><td>3.1E-14</td><td>6.3E-15</td><td>1.4E-14</td><td>4.5E-15</td><td>7.7E-16</td><td>1.6E-05</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.177</td><td>2.8E-15</td><td>1.2E-16</td><td>2.5E-13</td><td>1.5E-13</td><td>3.1E-15</td><td>7.7E-07</td></tr> <tr><td>27</td><td>0.1754</td><td>2.5E-15</td><td>0.00914</td><td>5E-14</td><td>9.1E-06</td><td>1.1E-14</td><td>2.2E-05</td></tr> <tr><td>28</td><td>0.1754</td><td>1.3E-14</td><td>7.6E-06</td><td>1.8E-14</td><td>7.6E-09</td><td>2.7E-15</td><td>1.9E-08</td></tr> <tr><td>29</td><td>0.1754</td><td>0.00475</td><td>8.1E-16</td><td>5.3E-16</td><td>3.1E-16</td><td>0.00018</td><td>0.00908</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.1754</td><td>0.00474</td><td>1.4E-17</td><td>3.7E-14</td><td>4.9E-16</td><td>0.00018</td><td>0.00036</td></tr> <tr><td>31</td><td>0.1663</td><td>7.5E-17</td><td>3.7E-16</td><td>0.10818</td><td>0.05685</td><td>0.01192</td><td>7.2E-16</td></tr> <tr><td>32</td><td>0.1663</td><td>2.7E-15</td><td>1.8E-16</td><td>0.00353</td><td>0.05272</td><td>0.00039</td><td>2E-15</td></tr> <tr><td>33</td><td>0.1662</td><td>8.3E-15</td><td>2.3E-07</td><td>8.4E-16</td><td>2.7E-10</td><td>3E-16</td><td>5.7E-10</td></tr> <tr><td>34</td><td>0.1662</td><td>3.4E-16</td><td>0.00033</td><td>9.4E-14</td><td>3.8E-07</td><td>1.8E-14</td><td>8.1E-07</td></tr> <tr><td>35</td><td>0.1234</td><td>1.9E-15</td><td>2.6E-15</td><td>0.27457</td><td>0.1379</td><td>0.03026</td><td>4.7E-15</td></tr> <tr> <td>SUMA</td> <td></td> <td>0.952</td> <td>0.953</td> <td>0.820</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-2)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	2.4509	0	0.26347	2E-20	0.00904	0	0.00064	2	2.4509	0	0.2635	1.1E-20	0.00904	0	0.00064	3	1.7099	1.3E-18	1.9E-19	1.2E-17	2E-17	9.1E-19	6E-07	4	1.7099	1.7E-18	9.6E-19	6.2E-17	8.6E-17	8.9E-18	0.00167	5	1.5965	0.49885	1.6E-19	1.7E-18	5.8E-19	0.68048	0.21722	6	1.5965	0.04702	2.8E-19	1.2E-16	1.4E-16	0.06414	0.32558	7	1.1746	0	2.9E-20	0.00046	0.00085	0.00005	0	8	1.1746	2.8E-20	1.2E-19	0.00045	3.2E-05	4.9E-05	5.1E-20	9	0.6809	4.6E-19	0.02654	2.4E-17	0.00016	3.1E-18	6.5E-05	10	0.6809	1.1E-17	0.00183	7.5E-17	1.1E-05	5.2E-17	4.5E-06	11	0.6582	3.3E-18	1.5E-17	7.9E-17	2E-17	4.6E-17	0.00019	12	0.6582	8.4E-17	1.4E-18	1.5E-16	2.8E-20	5.2E-17	0.00111	13	0.6052	0.34032	5.2E-17	1.8E-17	2.7E-16	0.05879	0.12453	14	0.6052	0.0562	6.3E-18	9.3E-18	1.3E-20	0.00971	0.26975	15	0.5608	1.1E-19	0.34546	1.9E-19	0.00077	1.6E-18	0.00084	16	0.5608	5.4E-18	0.04244	8.6E-19	9.4E-05	1.1E-17	0.0001	17	0.4884	6.4E-17	6.3E-17	0.10652	0.32329	0.01174	1.5E-19	18	0.4884	4.4E-16	1.7E-15	0.29748	0.07298	0.03278	2.3E-17	19	0.363	3.2E-20	2.2E-18	1.5E-17	1.5E-18	3.7E-17	7.7E-05	20	0.363	2.1E-17	1.4E-18	1.6E-17	8.7E-17	7E-17	2.5E-05	21	0.306	1.9E-05	7.1E-19	9.8E-18	9.8E-17	0.00828	4.7E-05	22	0.306	3.5E-05	4.1E-17	6.2E-17	2.8E-17	0.01526	6.2E-06	23	0.1953	5.8E-17	6.7E-17	0.02858	0.01912	0.00315	1.2E-16	24	0.1953	2.1E-14	8.6E-16	3.5E-06	0.00891	3.9E-07	2.4E-14	25	0.177	3.1E-14	6.3E-15	1.4E-14	4.5E-15	7.7E-16	1.6E-05	26	0.177	2.8E-15	1.2E-16	2.5E-13	1.5E-13	3.1E-15	7.7E-07	27	0.1754	2.5E-15	0.00914	5E-14	9.1E-06	1.1E-14	2.2E-05	28	0.1754	1.3E-14	7.6E-06	1.8E-14	7.6E-09	2.7E-15	1.9E-08	29	0.1754	0.00475	8.1E-16	5.3E-16	3.1E-16	0.00018	0.00908	30	0.1754	0.00474	1.4E-17	3.7E-14	4.9E-16	0.00018	0.00036	31	0.1663	7.5E-17	3.7E-16	0.10818	0.05685	0.01192	7.2E-16	32	0.1663	2.7E-15	1.8E-16	0.00353	0.05272	0.00039	2E-15	33	0.1662	8.3E-15	2.3E-07	8.4E-16	2.7E-10	3E-16	5.7E-10	34	0.1662	3.4E-16	0.00033	9.4E-14	3.8E-07	1.8E-14	8.1E-07	35	0.1234	1.9E-15	2.6E-15	0.27457	0.1379	0.03026	4.7E-15	SUMA		0.952	0.953	0.820					UY = 0.26347
TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	2.4509	0	0.26347	2E-20	0.00904	0	0.00064																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	2.4509	0	0.2635	1.1E-20	0.00904	0	0.00064																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	1.7099	1.3E-18	1.9E-19	1.2E-17	2E-17	9.1E-19	6E-07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	1.7099	1.7E-18	9.6E-19	6.2E-17	8.6E-17	8.9E-18	0.00167																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
5	1.5965	0.49885	1.6E-19	1.7E-18	5.8E-19	0.68048	0.21722																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
6	1.5965	0.04702	2.8E-19	1.2E-16	1.4E-16	0.06414	0.32558																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
7	1.1746	0	2.9E-20	0.00046	0.00085	0.00005	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
8	1.1746	2.8E-20	1.2E-19	0.00045	3.2E-05	4.9E-05	5.1E-20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
9	0.6809	4.6E-19	0.02654	2.4E-17	0.00016	3.1E-18	6.5E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
10	0.6809	1.1E-17	0.00183	7.5E-17	1.1E-05	5.2E-17	4.5E-06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
11	0.6582	3.3E-18	1.5E-17	7.9E-17	2E-17	4.6E-17	0.00019																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
12	0.6582	8.4E-17	1.4E-18	1.5E-16	2.8E-20	5.2E-17	0.00111																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
13	0.6052	0.34032	5.2E-17	1.8E-17	2.7E-16	0.05879	0.12453																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
14	0.6052	0.0562	6.3E-18	9.3E-18	1.3E-20	0.00971	0.26975																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
15	0.5608	1.1E-19	0.34546	1.9E-19	0.00077	1.6E-18	0.00084																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
16	0.5608	5.4E-18	0.04244	8.6E-19	9.4E-05	1.1E-17	0.0001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
17	0.4884	6.4E-17	6.3E-17	0.10652	0.32329	0.01174	1.5E-19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
18	0.4884	4.4E-16	1.7E-15	0.29748	0.07298	0.03278	2.3E-17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
19	0.363	3.2E-20	2.2E-18	1.5E-17	1.5E-18	3.7E-17	7.7E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
20	0.363	2.1E-17	1.4E-18	1.6E-17	8.7E-17	7E-17	2.5E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
21	0.306	1.9E-05	7.1E-19	9.8E-18	9.8E-17	0.00828	4.7E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
22	0.306	3.5E-05	4.1E-17	6.2E-17	2.8E-17	0.01526	6.2E-06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
23	0.1953	5.8E-17	6.7E-17	0.02858	0.01912	0.00315	1.2E-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
24	0.1953	2.1E-14	8.6E-16	3.5E-06	0.00891	3.9E-07	2.4E-14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
25	0.177	3.1E-14	6.3E-15	1.4E-14	4.5E-15	7.7E-16	1.6E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
26	0.177	2.8E-15	1.2E-16	2.5E-13	1.5E-13	3.1E-15	7.7E-07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
27	0.1754	2.5E-15	0.00914	5E-14	9.1E-06	1.1E-14	2.2E-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
28	0.1754	1.3E-14	7.6E-06	1.8E-14	7.6E-09	2.7E-15	1.9E-08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
29	0.1754	0.00475	8.1E-16	5.3E-16	3.1E-16	0.00018	0.00908																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
30	0.1754	0.00474	1.4E-17	3.7E-14	4.9E-16	0.00018	0.00036																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
31	0.1663	7.5E-17	3.7E-16	0.10818	0.05685	0.01192	7.2E-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
32	0.1663	2.7E-15	1.8E-16	0.00353	0.05272	0.00039	2E-15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
33	0.1662	8.3E-15	2.3E-07	8.4E-16	2.7E-10	3E-16	5.7E-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
34	0.1662	3.4E-16	0.00033	9.4E-14	3.8E-07	1.8E-14	8.1E-07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
35	0.1234	1.9E-15	2.6E-15	0.27457	0.1379	0.03026	4.7E-15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
SUMA		0.952	0.953	0.820																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
									RZ = 6E-07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
									RY = 0.68048																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
									RX = 0.00085																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
									UZ = 0.00045																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
									UX = 0.34032																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Cuadro 53. Diagramas en tablero y torre para el desmontaje de la dovela D-2.



Valores máximos para las fuerzas actuantes en tablero y torres tras el desmontaje de la dovela D-2.

Tablero

Desplazamiento = 0.20 m

Momento = 138.41 tonf-m

Cortante = 45.25 tonf

Torres

Desplazamiento = 2.44e-13 m

Momento = 0 tonf-m

Cortante = 0 tonf

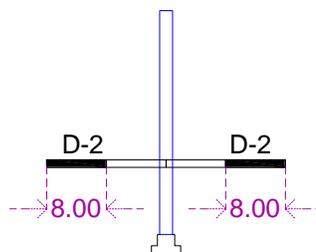


Figura 63. Desmontaje de la dovela D-2.

12. Desmontaje de la dovela No. 1 de 8 m una longitud.

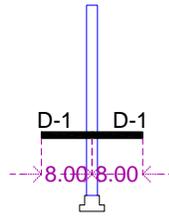


Figura 64. Desmontaje de la dovela D-1.

Cuadro 54. Tabla de modos para el desmontaje de la dovela D-1.

TABLA DE MODOS								VISTA 3D	MODOS																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-1)</th> </tr> <tr> <th>StepNum</th> <th>Period</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>RX</th> <th>RY</th> <th>RZ</th> </tr> <tr> <th>Unitless</th> <th>Sec</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> <th>Unitless</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.139</td><td>1.6E-05</td><td>0.14789</td><td>1.7E-17</td><td>0.00668</td><td>2.2E-05</td><td>0.00195</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.139</td><td>0.14988</td><td>0.00695</td><td>2.5E-18</td><td>0.00031</td><td>0.20005</td><td>0.01009</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.139</td><td>0.01238</td><td>0.14815</td><td>0</td><td>0.00669</td><td>0.01652</td><td>4.5E-05</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.139</td><td>0.13241</td><td>0.00003</td><td>0</td><td>1.3E-06</td><td>0.17673</td><td>0.00971</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.139</td><td>0.00312</td><td>0.13954</td><td>0</td><td>0.0063</td><td>0.00417</td><td>0.00062</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.139</td><td>0.04091</td><td>0.14891</td><td>0</td><td>0.00673</td><td>0.0546</td><td>0.06132</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.139</td><td>0.13601</td><td>0.03395</td><td>0</td><td>0.00153</td><td>0.18154</td><td>0.23686</td></tr> <tr><td>8</td><td>2.139</td><td>0.1507</td><td>2.9E-06</td><td>0</td><td>1.3E-07</td><td>0.20115</td><td>0.30484</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.3517</td><td>0.05221</td><td>0.04971</td><td>3.5E-19</td><td>0.00018</td><td>0.00557</td><td>0.05434</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.3517</td><td>0.09616</td><td>0.00275</td><td>5.4E-19</td><td>9.9E-06</td><td>0.01026</td><td>0.08781</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.3517</td><td>0.00736</td><td>0.03893</td><td>1.3E-17</td><td>0.00014</td><td>0.00079</td><td>0.00972</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.3517</td><td>0.00157</td><td>0.02875</td><td>1.6E-16</td><td>0.0001</td><td>0.00017</td><td>0.00013</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.3517</td><td>0.00065</td><td>0.00649</td><td>2.9E-18</td><td>2.3E-05</td><td>6.9E-05</td><td>0.00126</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.3517</td><td>0.03053</td><td>0.0003</td><td>6E-19</td><td>1.1E-06</td><td>0.00326</td><td>0.01382</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.3517</td><td>0.00184</td><td>0.01714</td><td>3.8E-18</td><td>6.2E-05</td><td>0.0002</td><td>0.02679</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.3517</td><td>0.00595</td><td>0.05218</td><td>1E-16</td><td>0.00019</td><td>0.00063</td><td>0.0024</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.1313</td><td>0.01802</td><td>0.00452</td><td>6.1E-16</td><td>5.7E-06</td><td>0.00067</td><td>0.00731</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.1313</td><td>0.00348</td><td>0.02259</td><td>8E-17</td><td>2.8E-05</td><td>0.00013</td><td>0.00082</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.1313</td><td>0.00916</td><td>0.00491</td><td>9.4E-16</td><td>6.2E-06</td><td>0.00034</td><td>0.00258</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.1313</td><td>0.00799</td><td>0.00666</td><td>3.5E-16</td><td>8.4E-06</td><td>0.0003</td><td>0.01315</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.1313</td><td>3.4E-05</td><td>0.00031</td><td>4.2E-15</td><td>3.9E-07</td><td>1.3E-06</td><td>0.0164</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.1313</td><td>0.0038</td><td>0.02428</td><td>1.3E-16</td><td>3.1E-05</td><td>0.00014</td><td>0.00013</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.1313</td><td>0.00151</td><td>0.00471</td><td>1.2E-17</td><td>5.9E-06</td><td>5.6E-05</td><td>0.0017</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.1313</td><td>0.02506</td><td>0.00105</td><td>6.8E-16</td><td>1.3E-06</td><td>0.00093</td><td>0.02695</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.1018</td><td>6.5E-16</td><td>5.4E-17</td><td>0.78854</td><td>0.44208</td><td>0.0391</td><td>1.7E-15</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.1018</td><td>3.6E-16</td><td>7.4E-16</td><td>0.02413</td><td>0.20737</td><td>0.01531</td><td>6.3E-16</td></tr> <tr><td>SUMA</td><td></td><td>0.891</td><td>0.891</td><td>0.813</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-1)								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	1	2.139	1.6E-05	0.14789	1.7E-17	0.00668	2.2E-05	0.00195	2	2.139	0.14988	0.00695	2.5E-18	0.00031	0.20005	0.01009	3	2.139	0.01238	0.14815	0	0.00669	0.01652	4.5E-05	4	2.139	0.13241	0.00003	0	1.3E-06	0.17673	0.00971	5	2.139	0.00312	0.13954	0	0.0063	0.00417	0.00062	6	2.139	0.04091	0.14891	0	0.00673	0.0546	0.06132	7	2.139	0.13601	0.03395	0	0.00153	0.18154	0.23686	8	2.139	0.1507	2.9E-06	0	1.3E-07	0.20115	0.30484	9	0.3517	0.05221	0.04971	3.5E-19	0.00018	0.00557	0.05434	10	0.3517	0.09616	0.00275	5.4E-19	9.9E-06	0.01026	0.08781	11	0.3517	0.00736	0.03893	1.3E-17	0.00014	0.00079	0.00972	12	0.3517	0.00157	0.02875	1.6E-16	0.0001	0.00017	0.00013	13	0.3517	0.00065	0.00649	2.9E-18	2.3E-05	6.9E-05	0.00126	14	0.3517	0.03053	0.0003	6E-19	1.1E-06	0.00326	0.01382	15	0.3517	0.00184	0.01714	3.8E-18	6.2E-05	0.0002	0.02679	16	0.3517	0.00595	0.05218	1E-16	0.00019	0.00063	0.0024	17	0.1313	0.01802	0.00452	6.1E-16	5.7E-06	0.00067	0.00731	18	0.1313	0.00348	0.02259	8E-17	2.8E-05	0.00013	0.00082	19	0.1313	0.00916	0.00491	9.4E-16	6.2E-06	0.00034	0.00258	20	0.1313	0.00799	0.00666	3.5E-16	8.4E-06	0.0003	0.01315	21	0.1313	3.4E-05	0.00031	4.2E-15	3.9E-07	1.3E-06	0.0164	22	0.1313	0.0038	0.02428	1.3E-16	3.1E-05	0.00014	0.00013	23	0.1313	0.00151	0.00471	1.2E-17	5.9E-06	5.6E-05	0.0017	24	0.1313	0.02506	0.00105	6.8E-16	1.3E-06	0.00093	0.02695	25	0.1018	6.5E-16	5.4E-17	0.78854	0.44208	0.0391	1.7E-15	26	0.1018	3.6E-16	7.4E-16	0.02413	0.20737	0.01531	6.3E-16	SUMA		0.891	0.891	0.813					UY = 0.14789
								TABLE: Modal Participating Mass Ratios (DESMONTAJE DOVELA D-1)																																																																																																																																																																																																																																																	
								StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ																																																																																																																																																																																																																																										
								Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless																																																																																																																																																																																																																																										
								1	2.139	1.6E-05	0.14789	1.7E-17	0.00668	2.2E-05	0.00195																																																																																																																																																																																																																																										
								2	2.139	0.14988	0.00695	2.5E-18	0.00031	0.20005	0.01009																																																																																																																																																																																																																																										
								3	2.139	0.01238	0.14815	0	0.00669	0.01652	4.5E-05																																																																																																																																																																																																																																										
								4	2.139	0.13241	0.00003	0	1.3E-06	0.17673	0.00971																																																																																																																																																																																																																																										
								5	2.139	0.00312	0.13954	0	0.0063	0.00417	0.00062																																																																																																																																																																																																																																										
								6	2.139	0.04091	0.14891	0	0.00673	0.0546	0.06132																																																																																																																																																																																																																																										
								7	2.139	0.13601	0.03395	0	0.00153	0.18154	0.23686																																																																																																																																																																																																																																										
								8	2.139	0.1507	2.9E-06	0	1.3E-07	0.20115	0.30484																																																																																																																																																																																																																																										
								9	0.3517	0.05221	0.04971	3.5E-19	0.00018	0.00557	0.05434																																																																																																																																																																																																																																										
								10	0.3517	0.09616	0.00275	5.4E-19	9.9E-06	0.01026	0.08781																																																																																																																																																																																																																																										
								11	0.3517	0.00736	0.03893	1.3E-17	0.00014	0.00079	0.00972																																																																																																																																																																																																																																										
								12	0.3517	0.00157	0.02875	1.6E-16	0.0001	0.00017	0.00013																																																																																																																																																																																																																																										
								13	0.3517	0.00065	0.00649	2.9E-18	2.3E-05	6.9E-05	0.00126																																																																																																																																																																																																																																										
								14	0.3517	0.03053	0.0003	6E-19	1.1E-06	0.00326	0.01382																																																																																																																																																																																																																																										
								15	0.3517	0.00184	0.01714	3.8E-18	6.2E-05	0.0002	0.02679																																																																																																																																																																																																																																										
								16	0.3517	0.00595	0.05218	1E-16	0.00019	0.00063	0.0024																																																																																																																																																																																																																																										
								17	0.1313	0.01802	0.00452	6.1E-16	5.7E-06	0.00067	0.00731																																																																																																																																																																																																																																										
								18	0.1313	0.00348	0.02259	8E-17	2.8E-05	0.00013	0.00082																																																																																																																																																																																																																																										
								19	0.1313	0.00916	0.00491	9.4E-16	6.2E-06	0.00034	0.00258																																																																																																																																																																																																																																										
								20	0.1313	0.00799	0.00666	3.5E-16	8.4E-06	0.0003	0.01315																																																																																																																																																																																																																																										
								21	0.1313	3.4E-05	0.00031	4.2E-15	3.9E-07	1.3E-06	0.0164																																																																																																																																																																																																																																										
								22	0.1313	0.0038	0.02428	1.3E-16	3.1E-05	0.00014	0.00013																																																																																																																																																																																																																																										
23	0.1313	0.00151	0.00471	1.2E-17	5.9E-06	5.6E-05	0.0017																																																																																																																																																																																																																																																		
24	0.1313	0.02506	0.00105	6.8E-16	1.3E-06	0.00093	0.02695																																																																																																																																																																																																																																																		
25	0.1018	6.5E-16	5.4E-17	0.78854	0.44208	0.0391	1.7E-15																																																																																																																																																																																																																																																		
26	0.1018	3.6E-16	7.4E-16	0.02413	0.20737	0.01531	6.3E-16																																																																																																																																																																																																																																																		
SUMA		0.891	0.891	0.813																																																																																																																																																																																																																																																					
	RY = 0.20005																																																																																																																																																																																																																																																								
	RZ = 0.23686																																																																																																																																																																																																																																																								
	UX = 0.09616																																																																																																																																																																																																																																																								
	UZ = 0.78854																																																																																																																																																																																																																																																								
	RX = 0.20737																																																																																																																																																																																																																																																								

6. Parámetros de control durante la construcción.

Todo proceso constructivo, necesita un control específico que permita ir verificando que los resultados que se van obteniendo sean los correctos y que dicha construcción se comportará conforme y para lo que está siendo creada. En puentes atirantados, no es la excepción, y tratándose de una obra muy completa y de gran magnitud, es mayor el énfasis y las revisiones que se tienen que hacer durante todas las etapas de montaje. Para cumplir con lo anterior se tienen los parámetros de control, los cuales son la recolección sistemática de datos que nos permiten llevar el control sobre los resultados durante la construcción. Estos parámetros se aplican de forma que se irá comparando los resultados obtenidos por medio de un análisis estructural, contra lo que se está obteniendo al término de cada etapa. Entendido de una manera más sencilla, el control puede ser considerado como la detección o corrección de las variaciones de dichas comparaciones. Para nuestro caso, se tiene como ejemplo, y más fácil comprender con el mismo proceso constructivo propuesto (correspondiente a método de construcción en doble voladizo), en donde el montaje de dovelas se inicia en los extremos para cerrar en la parte central del tablero, si no se llevaran las revisiones necesarias de los parámetros de control y no se tuviera un análisis respectivo, podría darse el caso de que las dovelas al cerrar el tablero, o incluso antes, tuvieran una gran diferencia de niveles, pudiendo ser un problema irreparable. Esto último puede apreciarse sencillamente en la figura en seguida mostrada, donde para una mejor comprensión, se divide el puente atirantado, teniendo así dos partes, las cuales han sido llamadas Mitad 1 y Mitad 2, ambas mitades, al llegar al centro o al realizarse el cierre del tablero, tienen el mismo nivel, es decir que entre una dovela y otra no existen diferencias de altitudes, pudiendo considerar la mitad 1 como el espejo de la mitad 2. Para el caso del presente trabajo, se revisan cuatro parámetros de control, que permiten entender que ya se tienen valores que nos servirán como guía para las revisiones periódicas de las obtenciones durante el proceso de construcción, estos parámetros se enlistan en seguida, realizando una comparativa de los valores más altos obtenidos para el desmontaje del puente atirantado. La comparativa no se hace meramente por comparar los resultados, sino para observar el comportamiento de desmontaje.

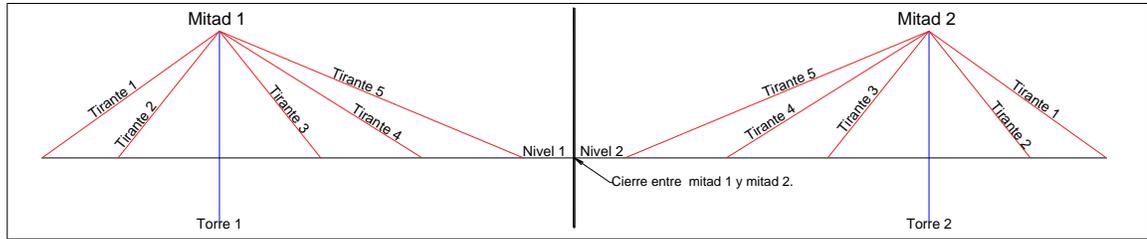


Figura 65. Ejemplo de cierre de dovelas en mismos niveles.

Para el presente trabajo, se toman en cuenta solo unos puntos a revisar, con esto es suficiente para comprender el proceso de revisión de los parámetros de control. Los puntos que se toman en cuenta a revisar son: en el tablero, para la obtención de las fuerzas actuantes se revisa el punto medio del tablero en sentido “x” y alineado a las torres (figura 66), en torres, se toman dos puntos, el primer punto es a la altura del tablero (figura 67), y se revisan los valores respectivos a momentos, el segundo punto es en la parte superior de la torre (figura 68), revisándose los valores de desplazamientos y cortantes. Los puntos a considerar se tomaron así puesto que, el punto del tablero se buscó que fuera un punto donde existieran valores en la mayoría del proceso de desmontaje de las dovelas, y en cuanto a los puntos para las torres de consideran dos, ya que el momento presenta valores solo del tablero hacia abajo, siendo en la parte contraria de valor cero, por lo que no permitiría realizar las observaciones necesarias de comparación.

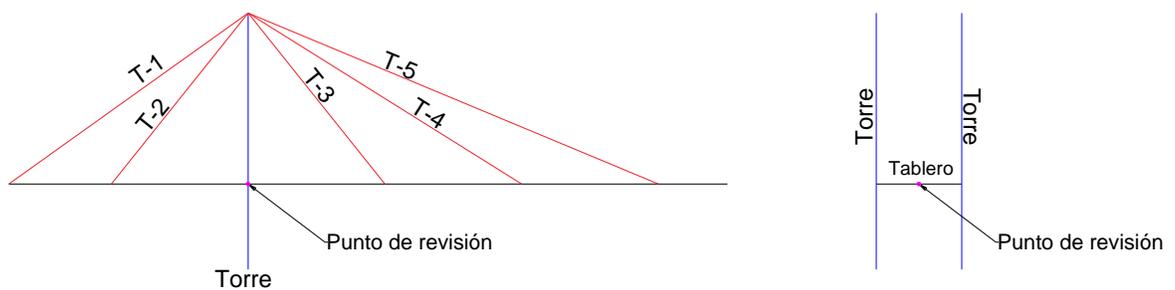


Figura 66. Punto de revisión para los parámetros de control en tablero.

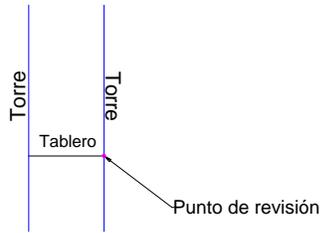


Figura 67. Punto de revisión para los momentos en torre.

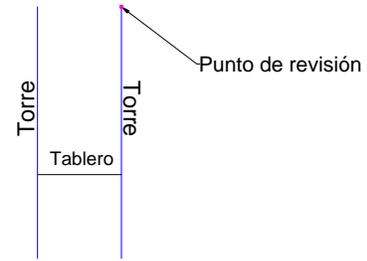
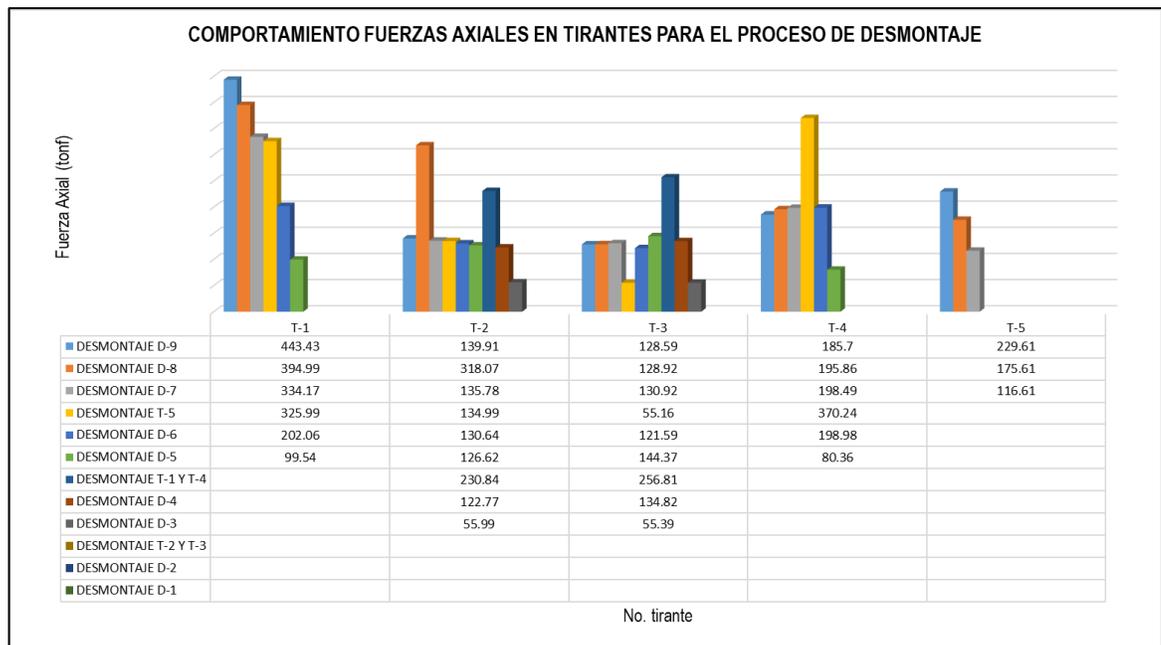


Figura 68. Punto de revisión para desplazamientos y cortantes en torre.

6.1. Parámetro 1: Fuerzas Axiales.

- Tirantes

Cuadro 55. Fuerzas axiales en los tirantes durante el desmontaje del puente.



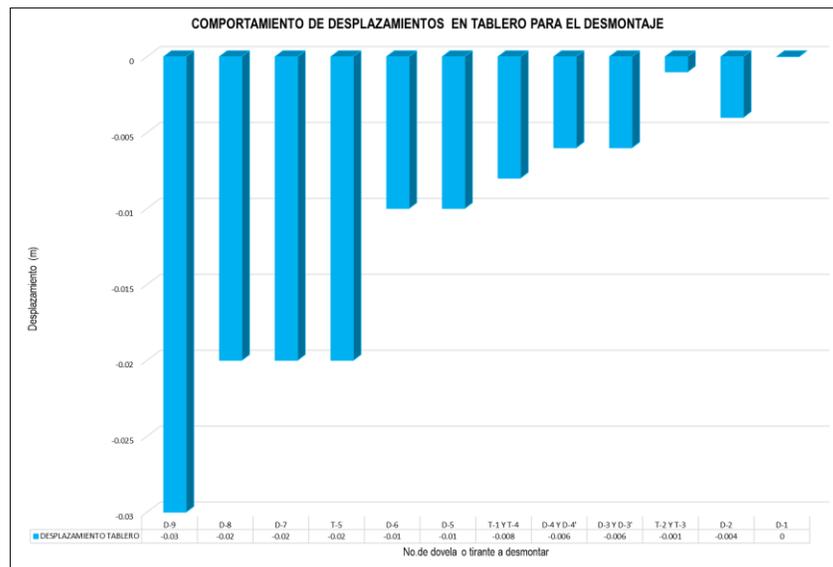
La fuerza axial es aquella fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme. Para el puente atirantado propuesto como parámetro 1 se revisará la fuerza axial en los tirantes, ya que son los elementos de los que depende la estabilidad de toda la estructura. Para el análisis realizado, se verifican los comportamientos de cada uno de los tirantes, y se hace una comparación entre ellos. Tenemos que para el tirante T-5 siempre hay decrementos en los resultados y que estos resultados

solo se presentan hasta el desmontaje de la dovela D-7. Esto ocurre debido a que primeramente al empezar a retirar dovelas es menos la carga que tiene que empezar a soportar el tirante, por tanto, se tensiona menos, y lo segundo es debido, a que como se está aplicando el desmontaje tanto de dovelas como de tirantes para el puente, llega el momento en que se tiene que realizar el desmontaje de dicho tirante, por lo que al no existir ya no es necesario verificar resultados para este. Para los tirantes T-1 y T-4, se puede ver que a pesar de ser retirados en la misma etapa tienen un comportamiento distinto uno de otro, así mismo pasa para los tirantes T-2 y T-3, esto debido a que la carga que tienen que soportar son distintas de un lado y de otro, puesto que recordemos que a los lados extremos del puente se presentan dovelas de 6 m de longitud. Lo mismo ocurre en cuanto a que al terminar la etapa de desmontaje de los correspondientes cables, el programa de análisis ya no arroja resultados, siendo esto lo correcto y trabajando de forma adecuada hasta donde se puede apreciar.

6.2. Parámetro 2: Desplazamiento.

- Tablero

Cuadro 56. Desplazamientos en el tablero para el desmontaje del puente.

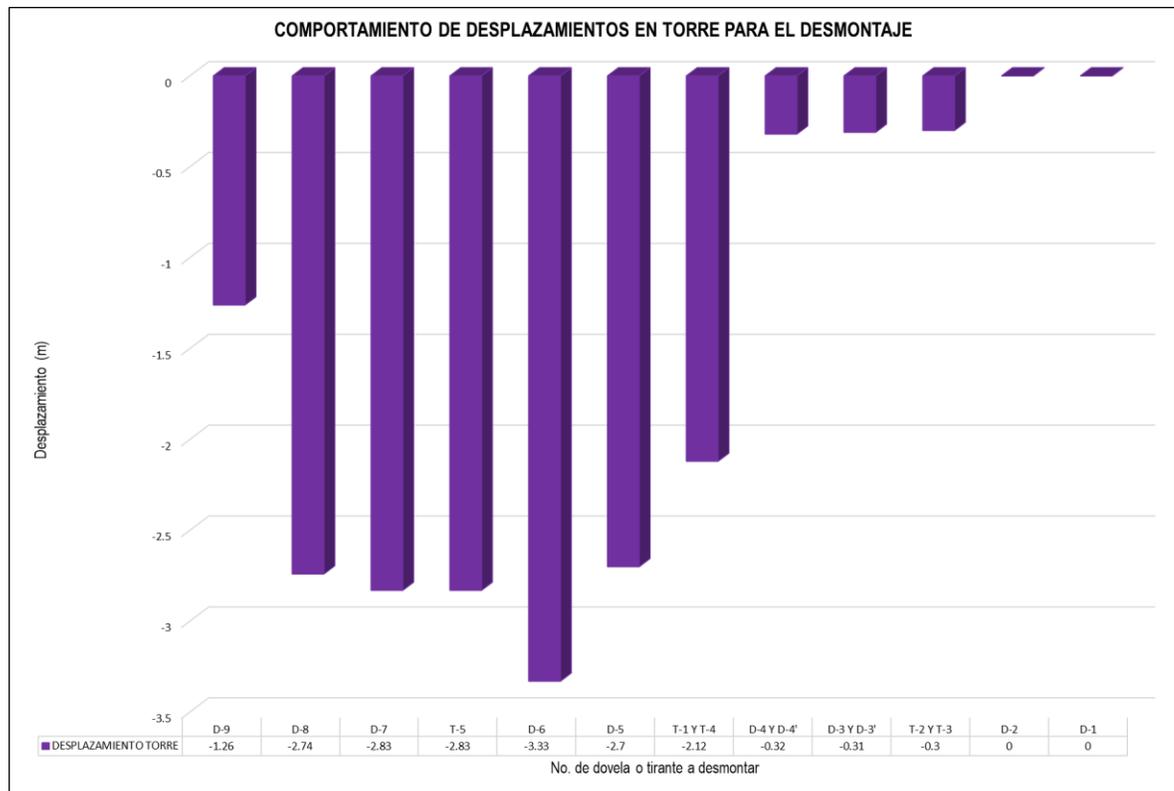


El desplazamiento de una estructura puede entenderse como aquellos pequeños cambios que hay en su forma cuando dicha estructura está bajo la acción de fuerzas, dicho de otra forma, cualquier punto de la estructura se desplazará hacia una nueva posición. Esto no aplica para los puntos de apoyo, los cuales permanecen en la misma posición. Para el puente atirantado que se propuso, el ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.

parámetro se revisará en los elementos de tablero y torre. Para los resultados del tablero, se tiene el comportamiento mostrado en la gráfica del cuadro 56, en el cual se puede observar que en la mayoría de los desmontajes existen disminuciones en los valores resultantes, ubicando solo un crecimiento de los tirante T-2 y T-3 a la dovela D-2. Los cambios más bruscos en la disminución se presentan después de retirar los cables. Aun así siempre se presentan valores relativamente pequeños.

- Torre

Cuadro 57. Desplazamientos en la parte superior de la torre para el desmontaje del puente.



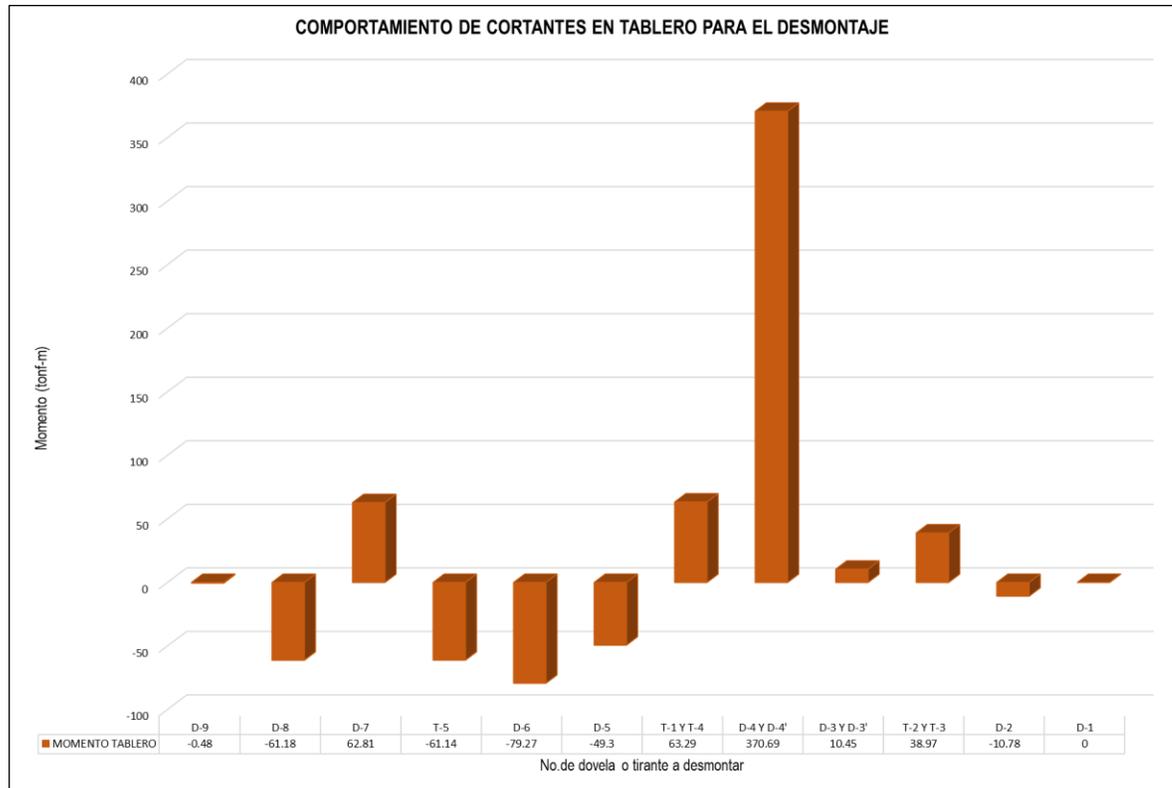
El comportamiento en las torres, se muestra bastante distinto al del tablero, en este se puede ver como existen dos incrementos bastante notorios, y varias disminuciones muy pronunciadas. En este caso se nota aún más, que los cambios abruptos ocurren en seguida de desmontarse los cables que sostenían al tablero. Una vez que se han retirado los tirantes T-1 y T-4, se presentan valores cercanos a -0.30 m, esto se sugiere correcto, puesto que es menos la carga a soportar y además que el último cable ayuda bastante en dicho soporte. Para el desmontaje de las dovelas D-2 y D-1 no se presentan valores, debido a que se comienza a trabajar en equilibrio de pesos y longitudes de

dichas dovelas, o en su caso, los resultados pueden ser despreciables ya que se encuentran muy cercanos a cero.

6.3. Parámetro 3: Momento.

- Tablero

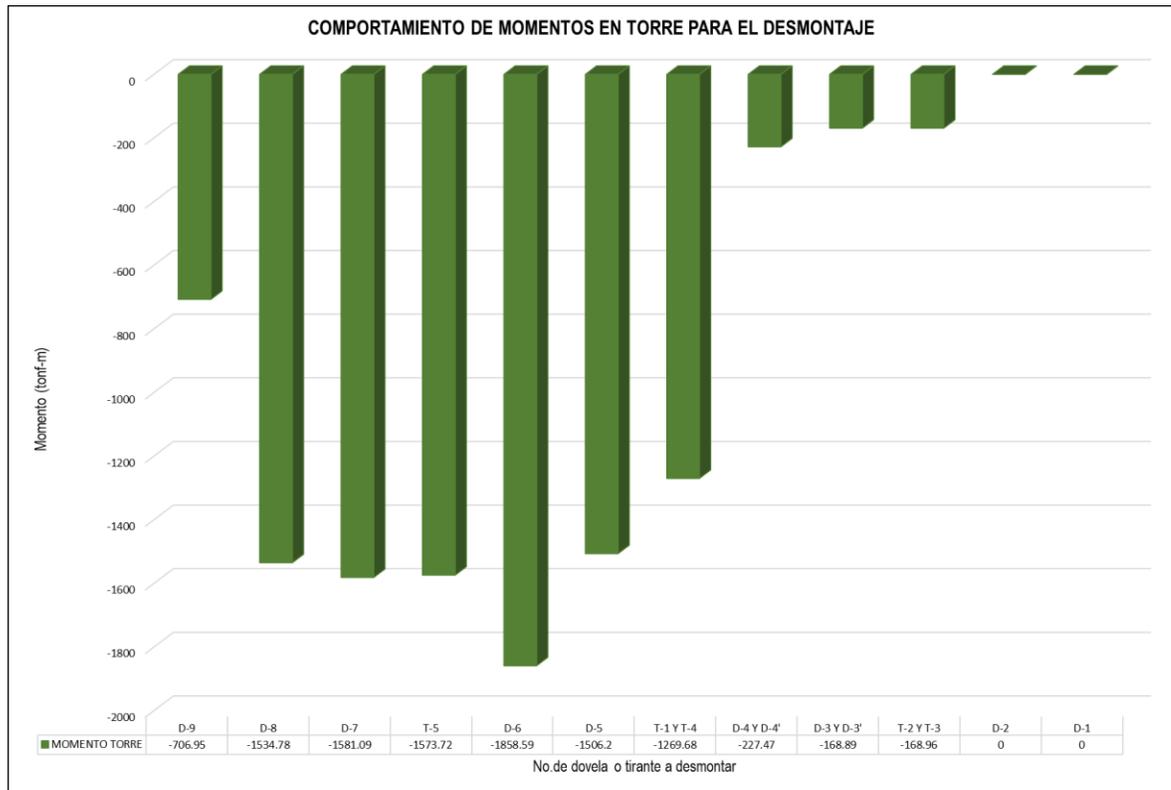
Cuadro 58. Momentos flexionantes en el tablero para el desmontaje del puente.



El momento o momento de flexión se define como el momento de una fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal, que es perpendicular al eje longitudinal en la extensión de la que se produce la flexión. El momento es uno de los parámetros más importantes o básicos que se tienen que controlar en toda estructura, y el hecho de ser un puente atirantado una obra de gran magnitud y de constante uso, no se exceptúa y al contrario más estricto se debe de ser en cuanto a las verificaciones de resultados se trata. Dado el comportamiento mostrado en la gráfica anterior, después de realizado el desmontaje de la mayoría de estructura del puente, se puede considerar como correcto. En cuanto a la revisión del tablero se trata, se puede apreciar que realizando una comparación de los tres últimos parámetros, esta es la que es más irregular, incluso presentando los valores más altos; estas dos observaciones son características de que la forma de ir trabajando el puente al irse desmontado es el adecuado.

- Torre.

Cuadro 59. Momentos flexionantes en la torre para el desmontaje del puente.

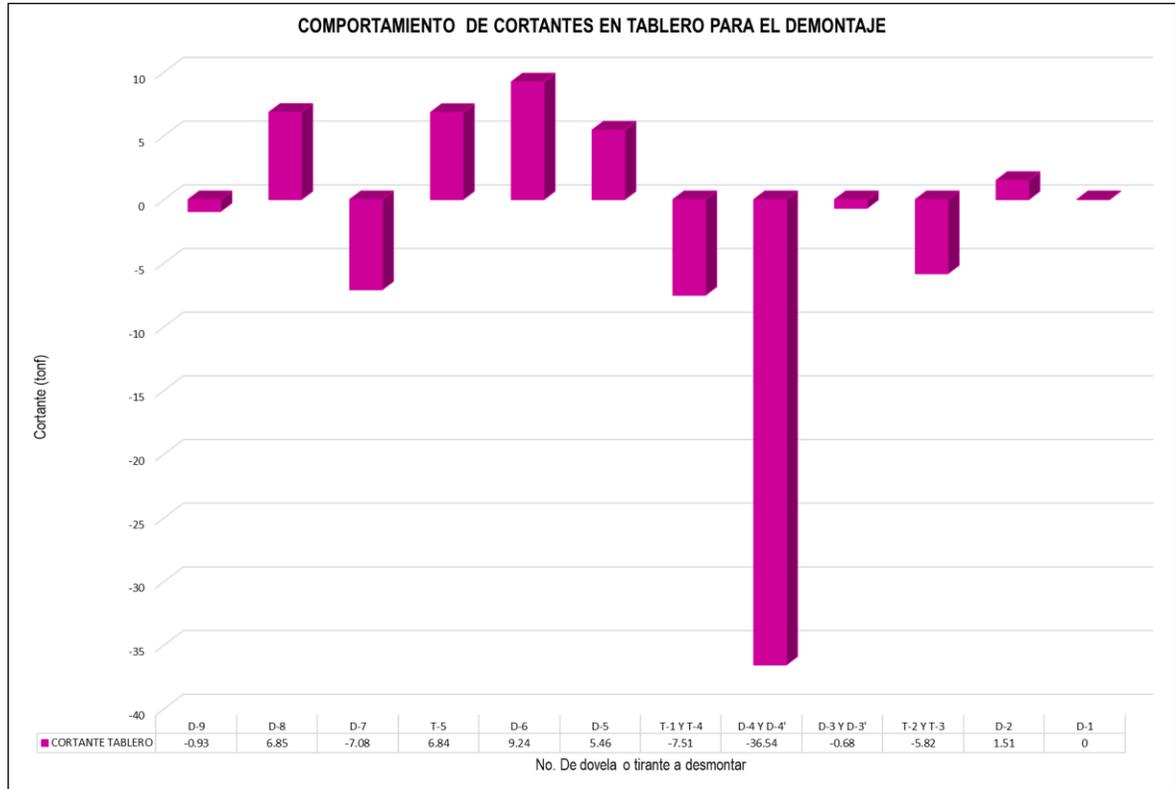


El comportamiento de esta gráfica tiene un comportamiento similar a los desplazamientos en la torre. Lo anterior solo siendo una observación sencilla en cuanto a las formas que se “dibujan”. Algo que cabe mencionar es la gran diferencia que existe entre los resultados que arrojan los momentos. Esto ocurre así al ser algo típico de vigas, pilares (torres) y losas, en donde estos elementos suelen “deformarse” predominantemente por flexión.

6.4. Parámetro 4: Cortante.

- Tablero

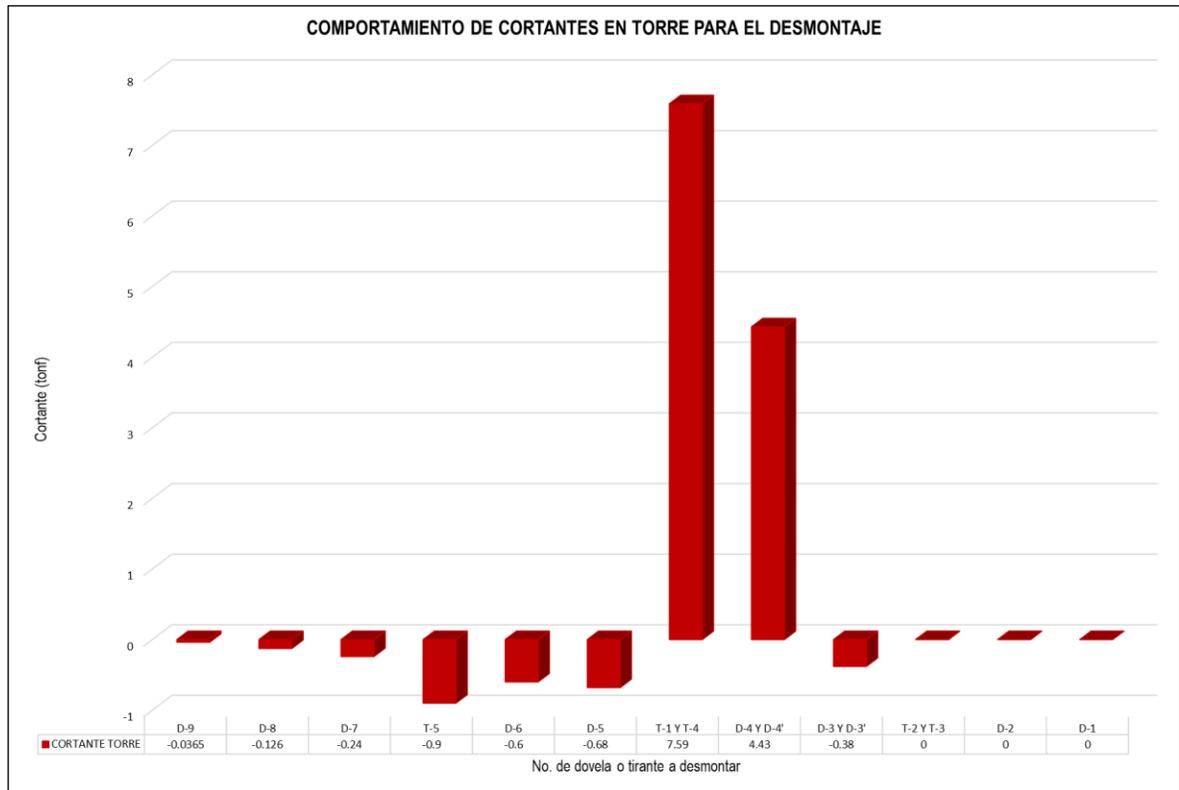
Cuadro 60. Fuerza cortante en el tablero para el desmontaje del puente.



El esfuerzo cortante se denomina como tal, porque esa fuerza paralela a la sección tiende a cortar la barra por dicha sección. Por la anterior definición, es que el ultimo parámetro considerado es de los principales y básicos a revisar, recordando que esto sirve como apoyo para un correcto funcionamiento tanto en las etapas, al término y la vida útil del puente. Enfocándonos a la distribución grafica de los valores arrojados de cortante, se observa que dicha distribución es muy dispareja, es decir, en ninguno de los casos hay incrementos o disminuciones constantes o graduales, siendo estas muy ligeras o abruptas.

- Torre

Cuadro 61. Fuerza cortante en la torre para el desmontaje del puente.



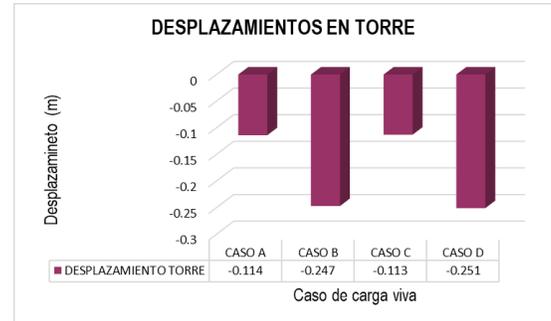
La presente gráfica, es por varias razones la más dispereja, en cuanto a los resultados obtenidos. Mostrando para la mayoría de las etapas, valores cercanos a cero. Siendo la excepción los valores arrojados para el desmontaje de los tirantes T-1, T-4 y las dovelas D-4, D-4'. Dado que el esfuerzo cortante siempre o la mayoría de las veces se presenta con valores sumamente pequeños, en este caso para los últimos tres pasos de desmontaje no se registran datos, debido a lo que ya se comentó en situaciones anteriores, los valores que se están presentando son en extremo pequeños, y se acercan demasiado a cero, por lo que pueden ser despreciados para una mejor comprensión del comportamiento.

Recordemos que lo anterior se tiene que comparar con los resultados productos de las revisiones que se irán realizando durante la construcción del puente atirantado. Para finalizar el trabajo realizado, se hace una última comparativa, tomando en cuenta el proceso de construcción (proceso de desmontaje) y el funcionamiento (casos A, B, C y D) del puente. Para esto, se toman los mismos criterios de revisión que para la obtención de valores de parámetros de control, es decir, los puntos de revisión se realizan en los lugares especificados. Con las revisiones hechas y cotejando los valores resultantes, se tienen las siguientes gráficas.

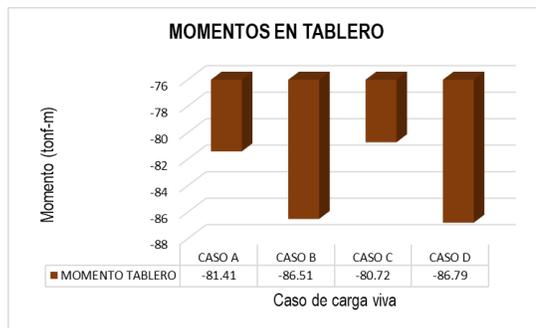
Cuadro 62. Desplazamientos en tablero para casos de carga viva.



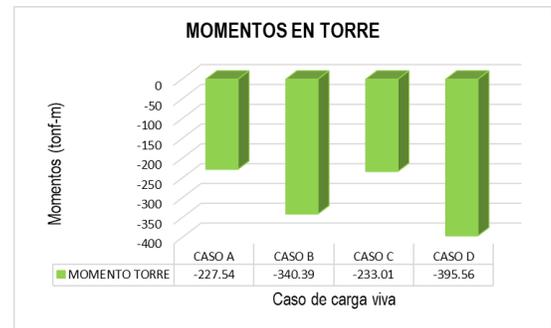
Cuadro 65. Desplazamientos en torre para casos de carga viva.



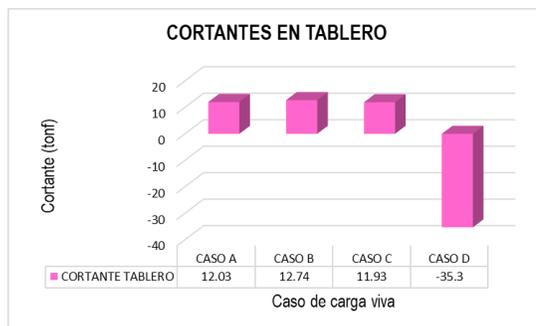
Cuadro 63. Momentos flexionantes en tablero para casos de carga viva.



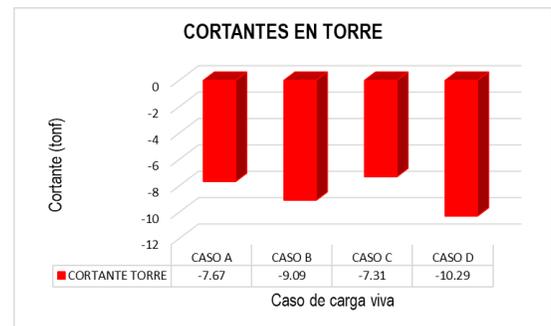
Cuadro 66. Momentos flexionantes en torre para casos de carga viva.



Cuadro 64. Cortantes en tablero para casos de carga viva.



Cuadro 67. Cortantes en tablero para casos de carga viva.



De esta última comparación, se aprecia que los valores resultantes para desplazamientos y momentos son mucho mayores en el proceso de construcción, indicando que se tiene que corregir dicho proceso. Para una solución sencilla, se puede proceder de la siguiente manera, se realizan iteraciones en las tensiones de los tirantes, aumentando estas en los tirantes más largos del puente

ANÁLISIS DE UN PUEBTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.

(T-5 y T-1). Es decir, el proceso a seguir es el mismo aplicado que para la comparación de los modelos 1 y 2, en el cual se hicieron varias iteraciones en tensiones hasta llegar a valores de cero, o cercanos, en la parte media del tablero y en la parte superior de las torres. Para este caso se procede igual, igualmente se tiene que ir revisando que los valores de cero en el centro del tablero y en la parte superior de la torre permanezcan, pero se deberán ir realizando comparaciones entre los análisis para el proceso de desmontaje y el proceso de asignación de carga viva, hasta llegar a resultados donde los valores para todas las etapas de desmontaje y para todos los parámetros sean siempre menores a los arrojados para los análisis donde se asignan cargas vivas.

Conclusiones.

Conforme a lo expuesto en el presente trabajo, se logra el objetivo de saber, primeramente, como es que se comporta un puente atirantado durante su construcción y una vez que empieza su vida útil. Pero también que es de suma importancia el llevar un control estricto en su proceso de montaje, para que al comienzo y mientras transcurre su tiempo de funcionamiento, este los haga de la manera más adecuada. Se hace bastante énfasis en que los tirantes deben ser capaces de soportar las grandes cargas que el tablero les genere, por supuesto se toman muy en cuenta las características que forman a este tipo de puentes, por eso la razón de que en primer lugar se desarrollen los temas que explican, los materiales, distancias, planos, las formas en que se colocan los tirantes.

Lo que se trata en más medida en el presente, es la construcción del puente, ya que no son muchos casos los que se basen en este tema, cabe aclarar que si es muy común encontrar los procesos de construcción a seguir y todos los requerimientos adicionales que conlleva, como lo sería el buen uso y manejo del carro de avance, pero lo que se pretendió fue hacer notar la gran importancia de llevar revisiones periódicas durante esta. Para dichas revisiones hay que saber qué es lo que se tiene que revisar, como hay que revisarlas y que es lo que se espera con estas revisiones. Pues bien, una forma muy sencilla de hacerla es estableciendo parámetros de control, que como se mencionó, los que se estarían revisando para el puente atirantado propuesto, son las fuerzas axiales en los tirantes, los desplazamientos, momentos y cortantes tanto en el tablero como en las torres, donde estos son mediciones adicionales para llevar un mejor control. Se dice que son adicionales, puesto que ya es muy sabido que toda obra, por muy pequeña que sea se hacen revisiones periódicas, en este caso, aparte de ir verificando los valores en cuanto al fraguado de concreto, su elasticidad, la forma en que se contrae, la fluencia del acero, se hacen las mediciones en los elementos mecánicos para obtener una estructura eficiente y que cumpla con los requisitos indispensables para que funcione de forma correcta y se construya sin errores. Sin embargo, en el caso particular de los puentes atirantados es indispensable el control de la construcción para ir corrigiendo cualquier desviación relativa al proyecto estructural, para no tener problemas al momento de cerrar la estructura.

En el tema final, correspondiente a parámetros de control durante la construcción, se grafican los valores correspondientes a los datos contra los que se tienen que comparar los resultados durante el proceso de construcción, claro está en que existirá un rango de error, siendo muy pequeño este,

ANÁLISIS DE UN PUENTE ATIRANTADO Y PARÁMETROS DE CONTROL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.

pero al hecho de estar extremadamente cerca o el que no exista ninguna diferencia entre ambos, se da a entender que el puente está siendo construido conforme a lo especificado y que no hay motivo de preocupación, por el contrario, al observar alguna diferencia quiere entenderse que hay existencia de error, lo cual no es motivo de preocupación, pero esto mismo servirá para corregir toda anomalía presente en el momento. Con esto último, se da por entendido que las preguntas expresadas en la introducción quedan contestadas en su totalidad. Puesto que se logra la meta de aclarar la forma más sencilla de verificar que la obra está cumpliendo con las especificaciones dadas y presentadas durante la realización del proyecto.

Sin embargo, para los análisis hechos y después de revisar a detalle los resultados arrojados por el software, se concluye que el puente atirantado propuesto no es apto para iniciar un proceso de construcción, esto se concluye de la manera especificada anterior, puesto que los valores resultantes para los elementos mecánicos en el proceso de construcción son mayores a los valores para los casos de asignación de cargas vivas. Con respecto a esto, se tiene que los valores de mayor deformación, momento flexionante y cortante en el tablero ocurren al desmontar la dovelas D-9, la dovela D-4 y la dovela D-4, respectivamente, mientras que para las torres estos ocurren al desmontar la dovela D-6, la dovela D-6 y los tirantes T-1 y T-4. En este caso en particular es necesario corregir las tensiones que se aplican durante el proceso constructivo para no tener elementos mecánicos mayores durante la construcción del puente.

Bibliografía.

- Allauca, P. (2009) “Simulación de Puentes mediante el software SAP 2000 y Calificación de materiales y soldaduras.”, Tesis de Licenciatura, Consultado [en línea] [12 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/272/3/15T00423.pdf>).
- Cárcamo, V. (2011) “Análisis del sistema constructivo Empuje de Puentes, aplicado a Puentes mixtos.”, Tesis de Licenciatura, Consultado [en línea] [15 Septiembre 2018] Disponible en internet (URL: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfci265a/doc/bmfci265a.pdf>).
- Carrión, V., Hernández, J., Terán, G. (2005) “Estudio Experimental de un Puente Atirantado, Evaluación de Cables.”, Artículo técnico SCT, Consultado [en línea] [05 Octubre 2018] Disponible en internet (URL: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt265.pdf>).
- Dorgan, L. (2017) “LRFD Bridge Design Manual (Manual de diseño de puentes LRFD).”, Departamento de transportes, Minnesota, Consultado [en línea] [02 Noviembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://www.dot.state.mn.us/bridge/pdf/lrfdmanual/lrfdbridgedesignmanual.pdf>).
- Gerardino, P. (2011) “Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos.”, Tesis de Maestría, Consultado [en línea] [18 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12701/Estudio%20Comparativo%20de%20Puentes%20Construidos%20por%20Voladizos%20Sucesivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).
- González, G. (2013) “Análisis de la Inestabilidad Aeroelástica de Puentes Atirantados.”, Tesis de Maestría, Consultado [en línea] [08 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: <http://eprints.uanl.mx/3817/1/1080251122.pdf>).
- León, G. (2009) “Modulación de la Construcción por etapas de un Puente Atirantado en Doble Voladizo.”, Tesis de Maestría, Consultado [en línea] [04 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3374/leongarcia.pdf?sequence=1>).
- Llopis, D. (2015) “Análisis y Dimensiones de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos con Dovelas “In Situ”.”, Tesis de Licenciatura, Consultado [en línea] [15 Septiembre de 2018], Disponible en internet (URL: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90213/fichero/Jorge+Llopis+Dur%C3%A1n+T.F.G.pdf+>).
- Mansilla, D., Millanes, M., Ortega, C. (S/F) “Contraste Normativo y Experimental de los efectos Térmicos en Puentes de Hormigón, Metálicos y Mixtos.”, Artículo V Congreso de ACHE, Consultado [en línea] [05 Noviembre 2018], Disponible en internet (URL: http://www.ideam.es/wp-content/uploads/2017/03/pon461_2.pdf).
- Norma N.PRY.CAR.6.01.003/01 (2001) “Carretera, Proyecto de Puentes y Estructuras, Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares.”, Norma SCT, Consultado [en línea] [08 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-6-01-003-01.pdf>).
- NRMCA (S/F) “El Concreto en la Práctica, ¿Qué, Por qué y cómo?, CIP27 – Vaciados (Colados) en clima frío.”, Artículo Técnico de la National Ready Concrete Association (NRMCA), Consultado [en línea] [08 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: [https://www.nrmca.org/~/media/Files/Technical%20Articles/27/CIP27%20-%20Vaciados%20\(Colados\)%20en%20clima%20frio.pdf](https://www.nrmca.org/~/media/Files/Technical%20Articles/27/CIP27%20-%20Vaciados%20(Colados)%20en%20clima%20frio.pdf)).

línea] [06 Noviembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP27es.pdf>).

Ortega, P., Pozo, O. (2014) "Análisis no lineal de cables y su aplicación para puentes atirantados y colgantes.", Tesis de Licenciatura, Consultado [en línea] [05 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <http://dspace.ucuena.edu.ec/bitstream/123456789/20817/1/tesis.pdf>).

Yela, Q. (2017) "Determinación del Gradiente Térmico en Losas de Pavimentos de Concreto Hidráulico.", Tesis de Licenciatura, Consultado [en línea] [08 Noviembre 2018], Disponible en internet (URL: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7052/1/Jorge%20Roberto%20Yela%20Quijada.pdf>).

Yepes, P. (2013) "Construcción de puentes empujados.", Artículo Poliblogs, Consultado [en línea] [22 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2013/06/22/construccion-de-puentes-empujados/>).

Yepes, P. (2015) "Construcción de puentes viga de hormigón pretensado.", Artículo Poliblogs, Consultado [en línea] [28 Agosto 2018], Disponible en internet (URL: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/10/02/construccion-puentes-viga/>).

Yepes, P. (2018) "Carros de encofrado para la construcción de puentes por avance en voladizo.", Artículo poliblogs, Consultado [en línea] [29 Agosto 2018], Disponible en internet (URL: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/avance-en-voladizo/>).

Imágenes.

Garza, K. (2017) "San Nicolás inaugura el primer puente peatonal atirantado.", Periódico El Horizonte, Consultado [en línea] [15 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: <https://d.elhorizonte.mx/local/san-nicolas-inaugura-el-primer-puente-peatonal-atirantado/1831478>).

Kirschbaum, R. (2018) "Quién fue Riccardo Morandi, el creador del puente que colapsó en Génova.", Artículo Clarín, Mundo, Consultado [en línea] [20 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: https://www.clarin.com/mundo/riccardo-morandi-creador-puente-colapso-genova_0_HyxuaY_xU7.html).

Martínez, A. (2015) "Puentes Atirantados.", Trabajo Académico Prezi, Consultado [en línea] [20 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: <https://prezi.com/krkymrc2a2te/puentes-atirantados/>).

Pilar, D. (2004) "Lecciones del concurso de Puentes EIA.", Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia), Consultado [en línea] [03 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n1/n1a02.pdf>).

Ramírez, D. (2018) "Puente Atirantado de La Concordia, al 70%.", Periódico Cuarto Poder, Consultado [en línea] [21 Agosto 2018], Disponible en internet (URL: <http://www.cuartopoder.mx/chiapas/puenteatirantadodelaconcordiaal70/192890>).

S/N. (2017) "Puente del metro de Santo Domingo tiene el vano más largo del mundo en su tipo.", Artículo Urbanopolis, Consultado [en línea] [15 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: <https://www.urbanopolis.com/2017/10/15/puente-del-metro-de-santo-domingo-tiene-el-vano-mas-largo-del-mundo-en-su-tipo/>).

<http://urbanopolis.net/2017/02/02/puente-del-metro-de-santo-domingo-tiene-el-vano-mas-largo-del-mundo-en-su-tipo/>).

S/N. (2018) "Ting Kau Bridge.", Artículos Acciona Canadá, Consultado [en línea] [03 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://www.acciona.ca/projects/construction/roads-bridges-and-special-structures/ting-kau-bridge/>).

S/N. (S/F) "Cablebridgewa.JPG", Artículo Wikitravel, Consultado [en línea] [17 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://wikitravel.org/en/File:Cablebridgewa.JPG>).

S/N. (S/F) "Puentes atirantados. Orígenes.", Artículos Caminos, Consultado [en línea] [20 Octubre 2018], Disponible en internet (URL: http://caminos.udc.es/info/assignaturas/622/contenido_publico/recursos/P2_07_atirantados.pdf)

Yepes, P. (2016) "El acueducto del Tempul, de Eduardo Torroja.", Artículo Poliblogs, Consultado [en línea] [15 Septiembre 2018], Disponible en internet (URL: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/03/02/el-acueducto-del-tempul-de-eduardo-torroja/>).