

Ripado transversal tras sismo y reparación del paso superior del enlace Talinay en la Ruta del Elqui (Ruta 5), Chile

Transverse ripping after seism and repair of the Talinay link overpass located within the Ruta del Elqui (Route 5), Chili

Laura BENITO GUTIÉRREZ

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Jefe de Obra

laura_b@freyssinet-es.com

Fabián REYES VEJAR

Ingeniero Civil

Freyssinet Chile

Ingeniero Departamento Técnico

freyes@freyssinet.cl

Pablo VILCHEZ MOTINO

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Director Técnico

pablo_v@freyssinet-es.com

Iván SAIZ RUIZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Freyssinet S.A.

Ingeniero Departamento Técnico

ivan_s@freyssinet-es.com

Iván ALENDE DOMÍNGUEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Freyssinet Chile

Director General

ialende@freyssinet.cl

RESUMEN

El paso superior que constituye el enlace Talinay está comprendido dentro de la Ruta del Elqui (Ruta 5) en Chile. La estructura quedó afectada por el sismo acontecido el 16 de septiembre de 2015, de 8.4 grados en la escala de Richter. Se observó el desplazamiento lateral del tablero, roturas y despegues de las juntas, multitud de patologías en los aparatos de apoyo elastoméricos y daños en las barras antisísmicas. A petición de la empresa concesionaria de la explotación, se llevó a cabo el proyecto y posterior ejecución de las operaciones necesarias para devolver a la estructura a sus condiciones previas al evento sísmico.

ABSTRACT

The Talinay link overpass is located within the Ruta del Elqui (Route 5) in Chile. The structure was affected by the earthquake, 8.4 on the Richter scale, occurred on September 16, 2015. The consequences of that event were the lateral displacement of the deck, cracks and joints takeoffs and many damages in the elastomeric bearings. As requested by the concessionaire company of the route, the project was carried out and subsequent execution of the operations necessary to return the structure to its preconditions to the seismic event.

PALABRAS CLAVE: Levantamiento, ripado, apoyos, bases deslizantes, cilindros hidráulicos.

KEYWORDS: Lifting, ripping, elastomeric bearings, skid shoes, hydraulic jacks.

1. Descripción y retos de la obra

La obra de reparación de la estructura del paso superior Talinay entraba dentro de un conjunto de intervenciones sobre un paquete de 12 estructuras de distintas naturalezas (pasos superiores, puentes principales y pasarelas peatonales) en la misma ruta. La zona en la que se localizan las estructuras sufrió de forma intensa los efectos del sismo y la empresa concesionaria planteó la necesidad de restituir las condiciones previas al evento de todas ellas.

El proyecto de Talinay contemplaba, además de la reparación de los daños en los elementos estructurales, la operación fundamental de levantamiento y ripado transversal de la estructura para devolverla a su posición natural. El hecho de tener que llevar a cabo intervenciones en las 12 estructuras de forma consecutiva hizo necesario desarrollar un sistema común para los levantamientos y ripados.

El tablero está formado por vigas doble T prefabricadas y una losa superior de hormigón in situ de espesor medio de 22 cm. Tiene un ancho total de 10.40 m con una pendiente transversal del 1.5%. Se salvan dos vanos de 21.45 m + 21.45 m. La estructura dispone de dos estribos y un apoyo intermedio sobre pila, con una altura máxima de 5.5 m.

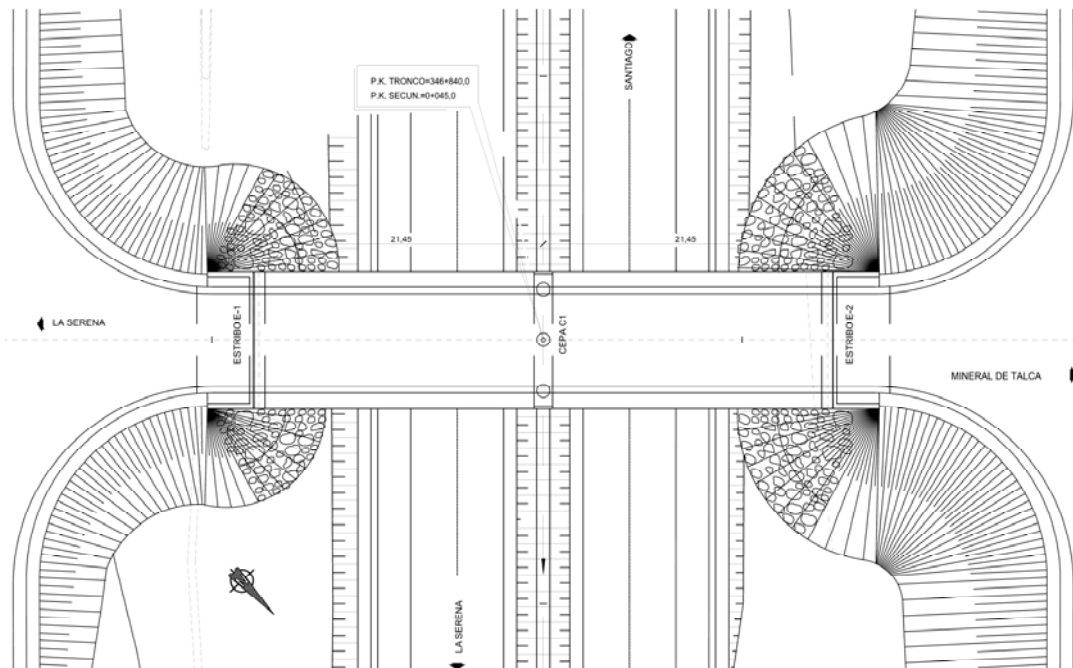


Figura 1. Planta del paso superior Talinay.

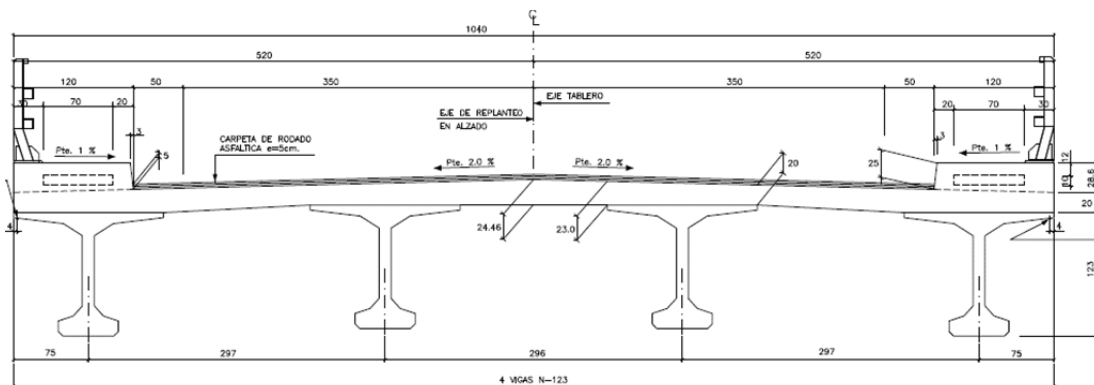


Figura 2. Sección transversal del tablero.

El sismo desplazó el tablero 8 cm en el estribo oeste, mientras que no produjo movimiento en el estribo opuesto, es decir, el tablero había experimentado un giro. La operación necesaria no era por tanto un ripado tradicional de traslación donde los desplazamientos son transversales al eje del tablero y de igual magnitud en ambos estribos, sino que era necesario descomponer el giro en una sucesión de pequeños desplazamientos en el eje desplazado, pero previendo los movimientos en los otros ejes y cuidando en todo caso de que no se produjera el cierre de la junta por ninguno de los lados, y corrigiendo si fuese necesario mediante aplicación de desplazamientos en el otro estribo. Esta cuestión conllevó la necesidad de realizar un estudio en detalle del encaje geométrico y la estimación de la posición del punto fijo o de movimiento nulo en cada fase.

Para ejecutar el ripado de la estructura era necesario llevar a cabo el levantamiento previo del tablero. En este punto se presentó un segundo problema, pues la altura libre disponible bajo las vigas existentes era insuficiente para colocar los gatos hidráulicos requeridos a tal fin. Se optó por ejecutar en todos los ejes de apoyos diafragmas de hormigón que tenían varias funciones: poder levantar entre vigas sin problemas de altura para el alojamiento de los gatos, liberar las posiciones bajo las vigas para poder instalar el sistema de deslizamiento, y proporcionar al tablero rigidez transversal adicional para hacer frente a los esfuerzos horizontales transmitidos entre ejes por arrastre al realizar el desplazamiento tirando solo de uno de ellos.

Por tanto la ejecución planteaba los siguientes retos:

- Determinación de puntos de pivote.
- Desarrollo de un sistema que permitiera desplazar la estructura horizontalmente minimizando los esfuerzos en la misma y que pudiera ser aplicable a todas las estructuras donde era necesario realizar giros o ripados.
- Desarrollo de un método de trabajo y control preciso y automatizado de las cargas y desplazamientos.



Figura 3. Vista general Puente (momento de corte de tráfico para realizar el ripado)

2. Desarrollo del sistema de ripado

El hecho de que hubiese varias estructuras con necesidades similares implicaba la necesidad de concebir unos sistemas de levantamiento y ripado que fuesen aplicables en todas ellas. La premisa era imperativa: la adopción de soluciones sencillas, de fácil y rápida ejecución, eficientes productivamente, funcionales, seguras y económicas. Así, se hizo un estudio individualizado de cada una de las estructuras y, a posteriori, se desarrolló un estudio de optimización de manera que una misma solución sirviera al mayor número de ellas posible.

Como se ha mencionado anteriormente, para desarrollar un movimiento de giro tirando únicamente de un eje es necesario prever la fuerza de rozamiento que existirá en cada uno de los ejes restantes (de los que no se tira) y las distancias de éstos al punto fijo. El valor teórico inferior de la fuerza de tiro sería el sumatorio del producto de las reacciones horizontales (peso por rozamiento) por sus distancias al centro de giro, dividido por la distancia entre éste y el punto de aplicación de la fuerza. El problema presentado era por tanto estimar las fuerzas en los siguientes puntos: 4 puntos de apoyo en cada uno de los estribos, y 8 puntos de apoyo en la pila central [3].

Se decidió llevar a cabo la operación disponiendo bases deslizantes en cada posición en la que existía un aparato de apoyo elastomérico. La fuerza máxima mayorada de tiro se estimó en 40 t considerando un 10% de rozamiento máximo. Las anteriores premisas, teniendo en cuenta que las luces de los 2 vanos eran iguales, supusieron que la fuerza a movilizar era la equivalente al 100% de la suma de las reacciones horizontales que aparecerían en los apoyos existentes en el eje del estribo que era necesario recuperar más el 50% de la suma de las reacciones horizontales en los apoyos en la pila central. Se consideró que los puntos del estribo opuesto iban a tener una influencia nula sobre la carga de tiro, pues su distancia al punto de giro era despreciable.

Las bases deslizantes tenían un cuerpo de acero y se componían de dos partes: la base fija, cuya cara superior estaba compuesta por una capa de acero austenítico y una base móvil cuya cara inferior tenía encastrada una lámina de teflón y que deslizaría sobre la anterior. Los detalles y materiales elegidos fueron los determinados en la UNE EN 1337-02 y 05 [1, 2] para apoyos mecánicos tipo POT.

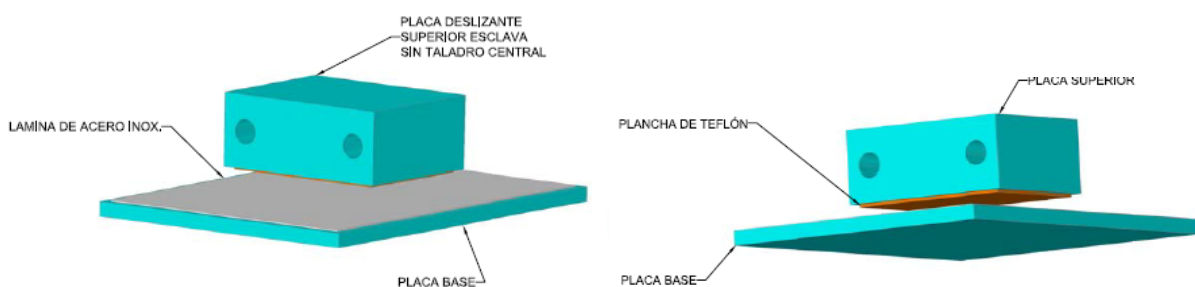


Figura 4. Base deslizante.

Habida cuenta de que el coeficiente de fricción acero austenítico-teflón depende de la presión de contacto entre ambos materiales, disminuyendo el rozamiento conforme aumenta la presión, se consideró un coeficiente de rozamiento estático del 10% (para iniciar el movimiento de tiro) y un 5% de dinámico (en movimiento), teniendo en cuenta las incertidumbres que acarrearían los siguientes aspectos:

- Incertidumbres del comportamiento que iba a tener la estructura, cuando se tirase de un extremo de la misma.

- Necesidad de ser conservador a la hora de dimensionar las piezas de reacción y la capacidad del gato en base a la fuerza de tiro, cuyo fallo o error de concepción podía suponer la inviabilidad de la operación.
- Condiciones en obra imprevistas, como por ejemplo que podrían ensuciarse las superficies de deslizamiento y aumentar en consecuencia el rozamiento.

Presión de contacto σ_p (MPa)	≤ 5	10	20	≥ 30
PTFE alveolado/acero austenítico o cromo duro	0,08	0,06	0,04	0,03 (0,025) ^a

Tabla 1. Coeficientes de rozamiento de cálculo según UNE-EN-1337-02.

Las bases se conectaron entre sí con barras roscadas de acero empalmadas cuyo extremo era se conectado a una viga de reacción en el lateral del estribo, donde un gato hueco, a través del cual pasaba la barra de tiro, apoyaría para efectuar el movimiento mediante tiro. Este sistema permitía repartir el esfuerzo de tiro exclusivamente entre las bases de un eje, sin transmisión a la estructura. En el estribo opuesto se instalaba el mismo conjunto de elementos, bloqueado para poder materializar un punto fijo sobre el que girase el resto de la estructura, o activo para corregir desplazamiento si fuese necesario. En la pila se dispusieron bases deslizantes de libre movimiento.



Figura 5. Bases deslizantes conectadas con barras y sensores de desplazamiento.

3. Los diafragmas

Dentro del conjunto de elementos auxiliares que fue necesario construir para poder llevar a cabo las operaciones, los diafragmas constituían unos elementos críticos en cuanto a su papel, ya que de su correcto diseño y ejecución dependía que el tablero pudiera ser levantado y tuviera una capacidad adecuada frente a los esfuerzos transversales transmitidos por arrastre al resto de ejes desde donde no se tiraba y, en consecuencia, que la operación de ripado tuviese éxito.

Para optimizar estos elementos, considerando las acciones solicitantes y tratando de simplificar al mínimo los mecanismos resistentes de respuesta que habrían de movilizar, se prescribió la colocación de los cilindros hidráulicos de levantamiento lo más próximos posible a las vigas del tablero. De este modo se conseguía que las cargas entraran directamente a las vigas activando el rasante entre ambos elementos. Los diafragmas se cosieron a las vigas mediante postesado con

barras de alto límite elástico tipo Freyssibar, lo cual garantizaba el comportamiento solidario de todo el ámbito del eje formado por las vigas originales y los nuevos macizados entre ellas, con la mínima afección sobre las primeras en forma de taladros que pudieran dañar armaduras existentes. Se dispusieron también jaulas de armadura pasiva para permitir una correcta difusión de las cargas en la matriz de hormigón y absorber los efectos de las cargas concentradas.



Figura 6. Ejecución de diafragmas.

4. Orden cronológico de las operaciones

La secuencia de actuación, en pasos generales, fue la siguiente:

- a. Preparación de estructura: Liberación de coacciones (juntas y barreras), retirada de barras antisísmicas, ejecución de los elementos auxiliares (diafragmas), etc.
- b. Colocación de los sistemas hidráulicos y de control automático para ejecutar el levantamiento.
- c. Levantamiento sincronizado de la estructura.
- d. Montaje del sistema de ripado.
- e. Transferencia del peso sobre el sistema deslizante.
- f. Restitución del tablero a su posición definitiva mediante ripado incremental.
- g. Nuevo levantamiento del tablero para liberación del sistema de ripado.
- h. Sustitución de los aparatos de apoyo elastoméricos.
- i. Descenso para transferencia de cargas sobre los nuevos aparatos de apoyo.
- j. Reinstalación de barras antisísmicas y juntas.

La operación finalizó cuando se dejó la estructura en su posición original, lo cual supuso un desplazamiento de 8 cm.



Figura 7. Vista superior después de la ejecución del ripado (ver marcas viales de calzada alineadas).

5. Control automático de cargas y desplazamientos

Para tener un control total de todas las cargas y movimientos a los que había que someter al tablero era fundamental poder conectar cada uno de los cilindros que formaban parte del circuito hidráulico a una central de control automatizado.

Los sensores de desplazamiento tipo hilo permitían la conexión en cualquier punto de la estructura. La precisión de medida de estos dispositivos es de 0.1 mm entre la parte fija de la estructura y la que se desplaza.

El software integrado utilizaba la información obtenida a través de los sensores para controlar la elevación, el descenso y el posicionamiento de la estructura. Al variar el caudal de aceite hacia cada uno de los cilindros, controlar fuerzas y desplazamientos, el sistema mantenía un control total muy preciso. Este control garantizaba la integridad estructural y aumentaba la productividad y seguridad en la elevación y el ripado, eliminando la intervención manual.

El sistema estaba dotado de una serie de alarmas y paros automáticos que aseguraba la precisión de los movimientos a la vez que no permitía superar los niveles de carga límite establecidos. Los valores límite fueron, por un lado, unos desplazamientos verticales relativos entre vigas no superiores a 3 mm, y por otro, las cargas estimadas en diseño que se presentan en el apartado 7.



Figura 8. Central hidráulica automatizada (FREYSSILAO).

6. Resumen de datos técnicos

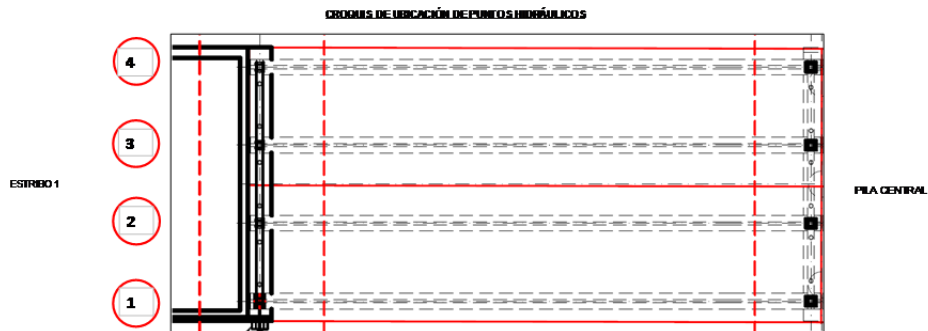
- Propiedad: ABERTIS CHILE
- Proyecto: JLS / FREYSSINET
- Peso total del tablero obtenido en las operaciones: 550 t
- Carga esperada por punto de levantamiento: 33 t
- Carga de levantamiento media registrada por punto: 35 t
- Altura de levantamiento máxima realizada: 14 cm
- Carga real máxima de ripado: 27 t
- Puntos hidráulicos sincronizados: 16 puntos de levantamiento + 2 puntos de ripado
- Sensores de desplazamiento conectados: 16 + 2
- Tiempo de ejecución del ripado: 30 minutos
- Desplazamiento total lateral del tablero: 8 cm

7. Resultados obtenidos en las operaciones y conclusiones

Para analizar el comportamiento de la estructura en el transcurso de las operaciones se presentan los datos correspondientes a las fuerzas y los desplazamientos obtenidos en los puntos de levantamiento de todo el tablero (estribos y pila central).

	OBRA: 11-5150 PASO SUPERIOR TALINAY CONTROL DE EJECUCIÓN - HOJA DE CONTROL DE CALIDAD	
	LECTURA DE FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN VANO 1	
	res: 0	11-5357 ITP 001

Punto Hidráulico	Galón por punto	Area total (cm2)	Capac. punto (kcr)	Presiones máximas (bar)	Presiones esperadas C.P. (bar)	Fuerzas máximas (kcr)	Fuerzas esperadas (kcr)	Desplaz. esperado (mm)	Fuerzas máx. levantamiento (kcr)	Desplaz. Obtenido (mm)	% F esperada	%F máxima
1	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	33	130,3	102%	44%
2	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	31	130,2	91%	39%
3	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	35	130,4	103%	44%
4	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	34	130,4	105%	46%
5	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	33	130,3	104%	45%
6	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	30	130,1	88%	38%
7	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	35	130,3	103%	44%
8	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	35	130,4	108%	47%



	OBRA: 11-5150 PASO SUPERIOR TALINAY CONTROL DE EJECUCIÓN - HOJA DE CONTROL DE CALIDAD	
	LECTURA DE FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN VANO 2	
	res: 0	11-5357 ITP 002

Punto Hidráulico	Galón por punto	Area total (cm2)	Capac. punto (kcr)	Presiones máximas (bar)	Presiones esperadas C.P. (bar)	Fuerzas máximas (kcr)	Fuerzas esperadas (kcr)	Desplaz. esperado (mm)	Fuerzas máx. levantamiento (kcr)	Desplaz. Obtenido (mm)	% F esperada	%F máxima
9	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	34	130,1	105%	46%
10	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	33	134,8	96%	42%
11	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	33	134,8	97%	42%
12	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	35	130,2	108%	47%
13	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	36	130,3	111%	48%
14	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	29	130,9	85%	37%
15	2 ud.x GLP 1002	293,6	200	263	114	79	34	140	32	130,3	94%	41%
16	1 ud.x GLP 2002	285,6	200	295	111	74	32	140	33	130,2	102%	44%

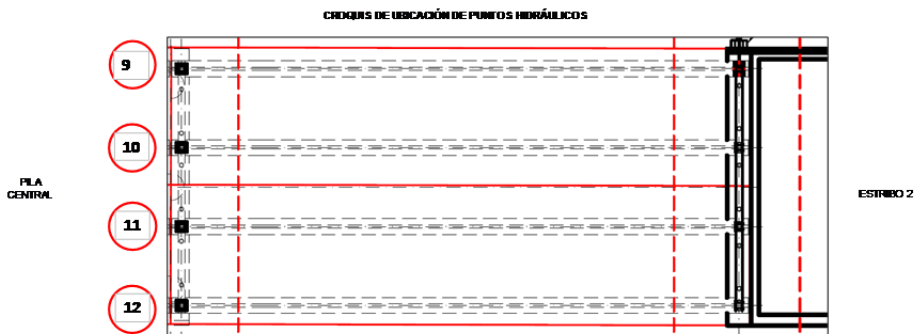


Figura 8. Hojas de registro de fuerzas en el levantamiento.

Puede observarse que las fuerzas realmente medidas arrojaron valores muy próximos a los estimados. En todo caso, al tratarse de cargas relativamente bajas, incluso las mayores desviaciones suponen diferencias de carga pequeñas en valor absoluto.

El levantamiento completo se realizó en tres etapas debido a la limitación que suponía la carrera máxima de los gatos. Como el levantamiento final fue del orden de 14 cm, y la carrera disponible solo de 50 mm, no pudo levantarse hasta la cota necesaria en una única operación. En las imágenes de la figura 8 solo se indican las cotas finales alcanzadas.

Todas las vigas comprendidas en un mismo eje fueron levantadas sin diferencias de cota superiores a 3 mm entre sí. Atendiendo a las cargas registradas, se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro o próximos al rango de $\pm 10\%$ con respecto a los esperados.

La fuerza y el coeficiente de rozamiento obtenidos en la operación de ripado fueron de 27 t y 9.8% (máximo en estático) respectivamente, y del orden de 12 a 15 t, y 4.3 - 5.5% (promedio en dinámico) respectivamente, muy similares a los teóricos considerados e indicados anteriormente.

Agradecimientos

Ministerio de Obras Públicas, Coordinación de Concesiones: D. Gonzalo Solís. Inspector Fiscal de Explotación.

Abertis Autopistas Chile: D. Jorge Villarroel y D. Ángel García.

GESA, empresa concesionaria de la Ruta del Elqui: D. Jean Cathalifaud, Gerente General.

JLS Ingeniería: José Luis Seguel, Gerente General

Referencias

- [1] UNE EN 1337-02:2006, Apoyos estructurales. Parte 2: Elementos de deslizamiento, Enero 2006.
- [2] UNE EN 1337-05:2006, Apoyos estructurales. Parte 5: Apoyos "pot", Junio 2006.
- [3] Manual de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, 2015.