

SISTEMA DE EMPUJE PARA TABLERO METÁLICO DE DOBLE ACCIÓN MIXTA

Carlos Gerbaudo	Guillermo Gerbaudo	Mauricio Destefanis	Diego Sampó
MSc. Ingeniero Civil	Dr. Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil
FCEfYN - U.N.C.	FCEfYN - U.N.C.	INGROUP SRL	INGROUP SRL
cgerbaudo@unc.edu.ar	ggerbaudo@unc.edu.ar	ingroup@ingroup-op.com.ar	ingroup@ingroup-op.com.ar

RESUMEN

En este trabajo se describe el sistema constructivo utilizado para el empuje del tablero de doble acción mixta del Puente sobre el Río Negro en Uruguay. El puente es de planta recta de 375 m de longitud total, formado por siete (7) tramos centrales de 45 m de luz parcial y dos (2) tramos extremos de 30 m de luz, y fue diseñado con un tablero de estructura metálica continua de doble acción mixta, apoyado sobre estribos y pilas, con juntas de dilatación en correspondencia con los extremos del tablero.

Las vigas metálicas del tablero fueron montadas, ensambladas y unidas en una playa de lanzamiento ubicada inmediatamente por detrás del Estribo Sureste, se ejecutaron las losas inferiores de hormigón armado, se montaron las prelosas superiores, y luego el sistema fue empujado por un sistema de cables de arrastre con gatos hidráulicos hasta su posición definitiva. Finalmente, se colocó la armadura del tablero in situ y se completó mediante el hormigonado de la capa superior de losa.

En este trabajo técnico se presentan los principales aspectos de la configuración estructural del puente y se describe el sistema y los dispositivos auxiliares necesarios para realizar el empuje del tablero, mostrando los resultados y datos obtenidos durante la ejecución de la obra.

ABSTRACT

This paper describes the construction system used for the launching of a double composite action deck of the Río Negro Bridge. The bridge has a total length of 375 m, with 9 central spans of 45 m and 2 side spans of 30 m. Its design consists on two continuous twin-plate steel girders with lower and upper reinforced concrete slabs, supported by piers and abutments.

The steel girders were placed, assembled and joined in the launching yard, located immediately behind of Southeast abutment, then the lower slabs were concreted, the upper pre-slabs were placed and then the deck was launched to its final position using a hydraulic jacks based cable launching system. Finally, the top reinforcement steel was placed on site and the deck was completed by concreting the upper slab.

In this technical paper main design aspects are discussed and auxiliary devices necessary for the launching of the deck are presented. Finally, results and data
Organiza:

obtained during construction are shown.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo técnico es describir los aspectos relevantes de la configuración estructural del puente y presentar el sistema y dispositivos auxiliares utilizados para el empuje de un tablero metálico de doble acción mixta correspondiente al Nuevo Puente sobre el Río Negro, en la conexión de la Ruta 43 y Camino a La Balsa, Picada de Oribe, República Oriental del Uruguay.

DESCRIPCION DEL PUENTE

El Nuevo Puente sobre Río Negro es de planta recta, de 375 m de longitud total, compuesto por nueve (9) tramos de tablero continuo: dos (2) tramos extremos de 30 m de luz parcial cada uno y siete (7) tramos centrales de 45 m de luz parcial cada uno. En la Figura 1 puede observarse el perfil longitudinal del puente.

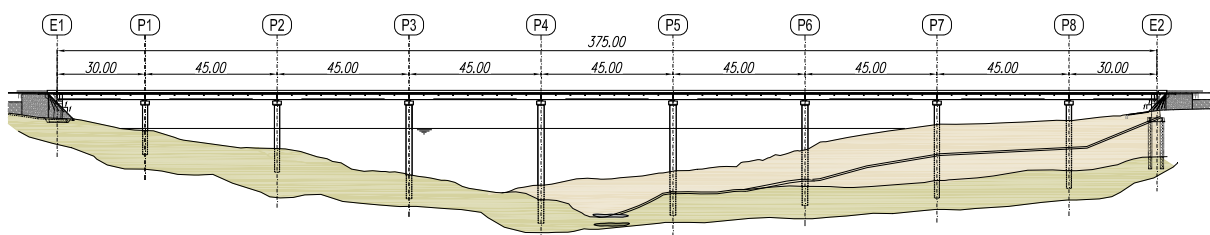


Figura 1. Perfil longitudinal del puente sobre el Río Negro

El tablero de estructura mixta está constituido por dos (2) vigas metálicas de sección “doble te” de alma llena, vinculadas entre sí por una serie de vigas metálicas transversales con un sistema de rigidización horizontal superior conformado por perfiles de sección U, una losa superior semiprefabricada de hormigón armado compuesta por prelasas y una capa de compresión colada in situ, y un conjunto de losas inferiores de hormigón armado dispuestas en las zonas de pilas que presentan momento negativo durante la etapa de servicio del puente, que le confieren la propiedad de doble acción mixta al tablero. En la Figura 2 se puede observar la sección transversal del puente de doble acción mixta.

Organiza:

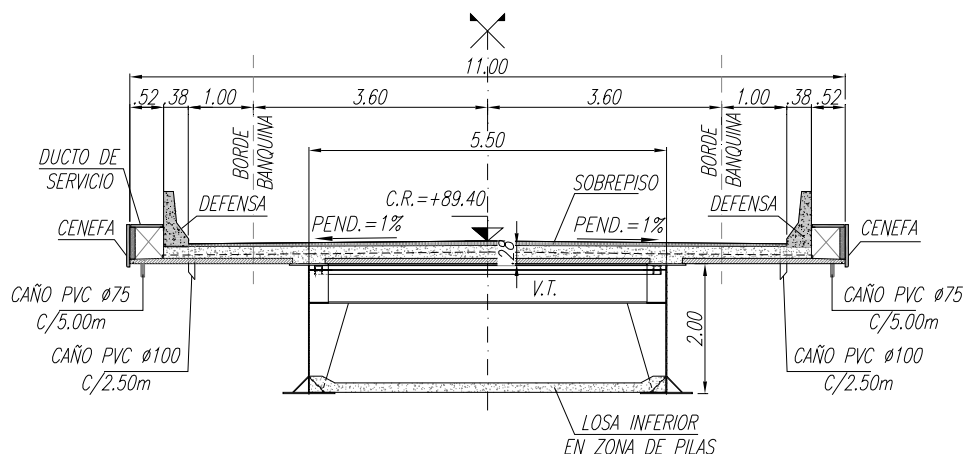


Figura 2. Sección transversal del tablero de doble acción mixta

Los estribos del puente son del tipo abierto y están compuestos por dos contrafuertes de canto constante vinculados a nivel superior por una viga dintel que sirve de apoyo a las vigas principales de tablero. La fundación del estribo oeste es del tipo directa y consta de una base rectangular apoyada sobre el techo de roca, mientras que la cimentación del estribo este está formada por dos pares de pilotes vinculados mediante cabezales ubicados en la base de cada contrafuerte.

Las pilas del puente presentan una configuración estructural tipo pórtico transversal, constituidas por dos columnas de sección circular vinculadas superiormente mediante una viga dintel sobre la que se apoyan las vigas principales del tablero, y fundadas mediante pilotes empotrados en roca.

SISTEMA DE EMPUJE DEL PUENTE Y DISPOSITIVOS AUXILIARES

El empuje del tablero metálico se realizó utilizando la técnica de arrastre mediante un sistema de cables, gatos hidráulicos y piezas metálicas de reacción y tiro. El deslizamiento del tablero se realizó en dos sectores: sobre la pista de ensamblaje y lanzamiento y sobre dispositivos de apoyo especiales dispuestos en los estribos y pilas del puente.

A los fines de optimizar la maniobra de empuje, resultó conveniente utilizar una estructura auxiliar o nariz de lanzamiento ubicada en el frente del empuje, que consta de dos vigas reticuladas metálicas vinculadas entre sí mediante un sistema de rigidización vertical y horizontal. En la parte dorsal de la nariz se materializa una unión abulonada con el primer tramo del tablero metálico del puente. Esta unión es capaz de transmitir las solicitaciones de flexión y corte que se originan durante la maniobra de empuje y apoyo de la nariz sobre las pilas y estribos. La utilización de la nariz de lanzamiento es ventajosa por los siguientes motivos, en primer término, en su extremo libre cuenta con dispositivos especiales para la recuperación de flecha, que se

Organiza:

describen en el presente trabajo, y los suplementos metálicos laterales que sirven de guía para el direccionamiento transversal del tren de empuje a través de los topes laterales dispuestos en los apoyos provisorios colocados en las pilas, que permiten mantener y/o corregir el avance de la estructura en la dirección correcta. Otra ventaja que ofrece la utilización de una nariz de lanzamiento es que su peso propio es inferior al peso del tablero metálico del puente, lo que se traduce en una reducción de las solicitaciones impuestas en las vigas principales cuando el avance de la estructura entre tramos adopta una configuración de voladizo, resultando en una optimización de las secciones de acero de la estructura definitiva. En la Figura 3 se observa la nariz de lanzamiento de acero reticulada vinculada al frente del tablero metálico.



Figura 3. Nariz de lanzamiento de acero reticulada

Previo al inicio de las maniobras de empuje, se deben montar, posicionar y vincular sobre una playa de trabajo tanto la nariz de lanzamiento como las vigas metálicas del tablero, ya que son fabricadas en taller en un conjunto de piezas y partes diseñadas para ser transportadas en barco y por camión hasta la obra. Las tareas de armado y abulonado de la nariz de lanzamiento, y el montaje y unión por soldadura de las partes de vigas metálicas se realizan en la pista de ensamblaje y lanzamiento, ubicada inmediatamente por detrás del estribo oeste y cuya longitud total es de 95 m. En toda la extensión de la pista se construyen dos vigas longitudinales de hormigón armado, provistas de carriles metálicos que sirven de guía para los apoyos deslizantes sobre los que se montan los diferentes tramos de las vigas metálicas a ensamblar y empujar. En la Figura 4 se puede apreciar una sección transversal de la pista, donde se observan todos los elementos mencionados, y en la Figura 5 se muestra una imagen de conjunto de la pista de ensamblaje y lanzamiento con la nariz y el primer tramo de tablero metálico ensamblados, previo a la primera etapa de empuje.

Organiza:

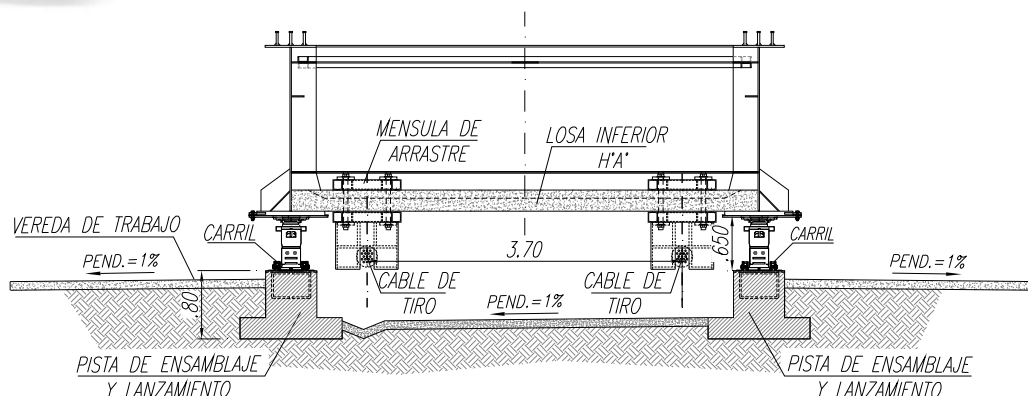


Figura 4. Sección transversal de pista de ensamble y lanzamiento



Figura 5. Vista aérea de la pista de ensamble y lanzamiento

Cada tramo de tablero metálico se monta sobre dos pares de apoyos provisionales llamados “skidshoes”. Estos dispositivos son apoyos que se deslizan sobre el carril metálico de la pista de lanzamiento, y contienen un gato hidráulico vertical que permite soportar la viga metálica en una determinada cota de lanzamiento predefinida en el proyecto. La separación entre los skidshoes de cada carril es función de la longitud de los tramos a lanzar en cada una de las etapas de empuje y de la reacción admisible que puede soportar cada uno de estos dispositivos. Finalmente, la cantidad de skidshoes surge de un estudio de logística de movimiento tendiente a minimizar la cantidad de operaciones con el objeto de optimizar los tiempos y maniobras de

Organiza:

recambio y reposicionamiento de los skidshoes, utilizando la menor cantidad de apoyos deslizantes posibles. En la Figura 6 puede observarse un par de skidshoes sobre los que apoya un tramo de viga metálica sobre el gato hidráulico vertical.



*Figura 6. Skidshoes y carriles metálicos sobre pista de deslizamiento
(Fuente: FORTIS)*

Una vez ensamblada la nariz de lanzamiento y los primeros tramos de viga metálica, completado el estribo y una cantidad suficiente de pilas construidas, al menos dos pilas por delante del tren de empuje, se está en condiciones de comenzar con el empuje del tablero, que se realiza mediante dos unidades de tiro ubicadas en el estribo oeste. Cada unidad hidráulica de tiro se instala en posición horizontal en la cara frontal del estribo a una cota superior a la de la viga dintel, reaccionando contra una viga metálica vertical diseñada para tal fin que se apoya contra el propio estribo, el cual debe ser diseñado para resistir las solicitaciones transmitidas por la viga de reacción en la etapa de lanzamiento.

La fuerza de tiro a desarrollar por el sistema hidráulico es función directa del peso total a desplazar y de la fricción esperada entre el tablero y los dispositivos de apoyo, y se transmite de la unidad de tiro a las vigas metálicas mediante un sistema de cables de alta resistencia vinculados a las losas inferiores mediante un par de piezas de tiro. El peso total a desplazar es de aproximadamente 1900 t, y se compone de los pesos de la nariz de lanzamiento, las vigas metálicas, las losas inferiores de hormigón y las prelasas superiores, que se colocan en la etapa de empuje para evitar posteriores maniobras de montaje una vez ubicado el tablero en su posición definitiva. Para el diseño de todos los componentes del sistema de empuje se adoptó un coeficiente de fricción del 10%, valor recomendado por el proveedor del sistema en base a la experiencia obtenida en proyectos similares. En función de estos valores, la capacidad necesaria total del equipo hidráulico resulta de aproximadamente 200 t, dividida en dos unidades de 100 t cada una. En la Figura 7 se puede observar la ubicación de las unidades hidráulicas, las vigas de reacción y los cables de tiro.

Organiza:

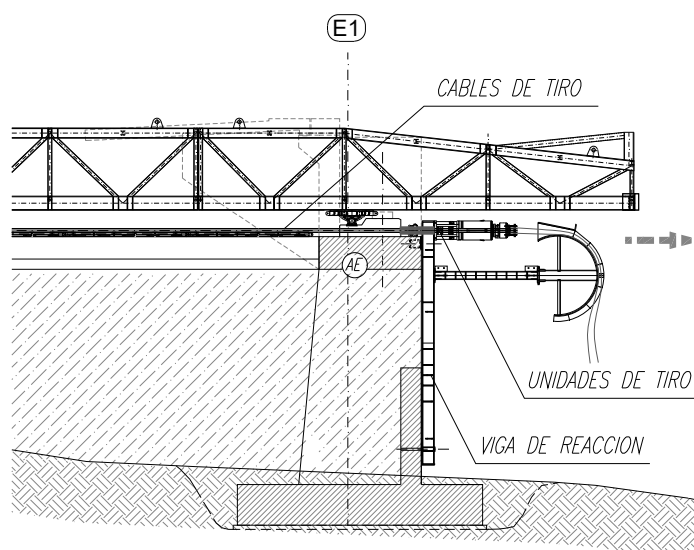


Figura 7. Unidades de tiro y vigas de reacción en Estribo Oeste

Tal como se ha mencionado, la conexión de cada cable de tiro al tablero metálico a desplazar se materializa a través de un par de piezas metálicas de conexión que se vinculan a las losas inferiores de hormigón armado que se disponen entre las alas inferiores de las vigas metálicas en correspondencia con las pilas del puente. La pieza de tiro se compone de dos bastidores rígidos metálicos formados por perfiles y placas de acero ubicados en ambas caras de la losa, tal como se indica en la Figura 8, donde se observa la parte inferior de la pieza metálica en la imagen izquierda y la parte superior en la imagen derecha. Las dos piezas se vinculan entre sí mediante una serie de pernos de acero de alta resistencia que atraviesan la losa por orificios dejados expofeso, que permiten transferir la fuerza de los cables a la losa mediante un mecanismo de fricción entre hormigón y acero, aplicando una fuerza de pretensado a los pernos mediante un torque calibrado.



Figura 8. Pieza de tiro. Izquierda parte inferior y derecha parte superior

Organiza:

Adicionalmente, en el contacto entre las piezas metálicas y las caras de la losa de hormigón se coloca una manta de alta fricción, que garantiza un coeficiente de fricción igual a 1.0 entre dichas superficies. La pieza inferior tiene adosada una ménsula metálica formada por placas de acero soldadas donde se vincula el bloque de anclaje del cable de tiro.

Una práctica usual en sistemas constructivos de puentes empujados es la ubicación de la vinculación de los cables de tiro en las almas de las vigas del tablero mediante dispositivos especialmente diseñados para la conexión de los cables. En el caso del puente en análisis resulta ventajoso aprovechar la construcción de las losas inferiores para ubicar las piezas de conexión del sistema de tiro, ya que se reduce considerablemente la excentricidad entre los cables y la estructura a empujar, lo que se traduce en menores esfuerzos de flexión en las vigas principales y en las vigas auxiliares de reacción de los gatos para la etapa de empuje. En el presente caso la reducción de la excentricidad resultó del orden del 50%, y consecuentemente fue posible disminuir las piezas auxiliares del sistema de empuje. Además, se evita la necesidad de adicionar sistemas de rigidización en las almas de las vigas principales para resistir la flexión local de las placas producto de la aplicación de fuerzas puntuales transferidas por los cables de tiro.

Al comenzar con la maniobra de empuje, la nariz de lanzamiento adopta un esquema de voladizo al trasladarse desde el estribo hasta alcanzar la primera pila, similar a lo que ocurre en las sucesivas etapas posteriores entre las pilas restantes. La nariz en voladizo presenta una deformación vertical hacia abajo producto de su peso propio, que depende de la rigidez de la estructura y de la longitud entre puntos de apoyo, y que varía desde un valor nulo en el estribo a un valor máximo en el extremo delantero de la nariz un instante antes de alcanzar el apoyo en la pila. Para continuar con el avance del tablero se debe restituir esta flecha levantando la estructura y posicionando nuevamente el cordón inferior de la nariz al nivel de los dispositivos de apoyo provisorios colocados en las pilas. Esto se logra mediante dispositivos mecánicos de recuperación de flecha ubicados en el extremo delantero de la nariz, compuestos por gatos hidráulicos y un sistema de perfiles metálicos y patines que pisan sobre el dintel de la pila y permiten restituir la flecha, para luego desplazarse hacia adelante hasta posicionar el cordón inferior de la nariz sobre el dispositivo de apoyo y continuar con la maniobra de empuje. Todo el sistema descripto se puede observar en la Figura 9.

En relación a los apoyos provisorios deslizantes para realizar el empuje, es importante remarcar que se utilizan diferentes tipos según se trate de un tablero de hormigón pretensado o uno conformado por vigas metálicas debido a la configuración geométrica del perfil longitudinal de cada solución estructural.

Organiza:

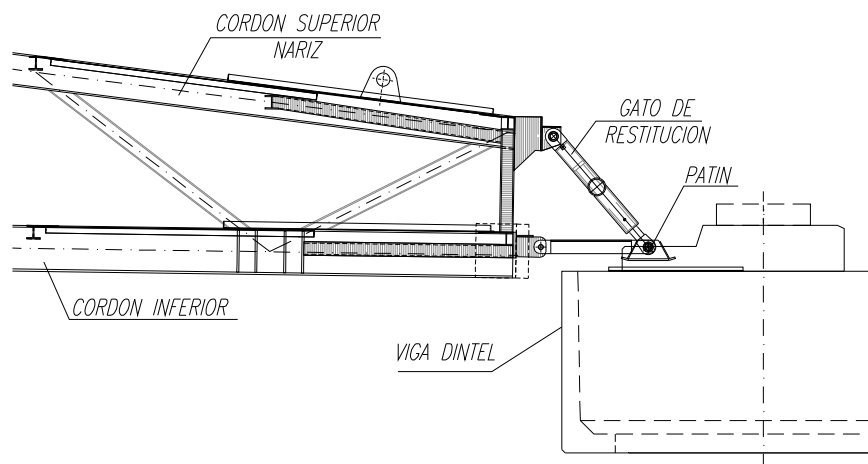


Figura 9. Sistema de recuperación de flecha mediante un mecanismo hidráulico

En efecto, los tableros compuestos por vigas metálicas deben estar provistos de una contraflecha constructiva de proyecto, que compensa las deformaciones que sufre la estructura cuando se aplica la carga de la losa superior y las cargas permanentes, es decir, la cara inferior de las vigas metálicas no es horizontal, sino que en cada punto posee una ligera pendiente producto de una curva suave que materializa la contraflecha, además de pequeñas irregularidades constructivas que se originan en el ensamblaje de la estructura.

La interacción entre la superficie inferior de la viga metálica y la superficie superior del dispositivo de apoyo provisorio se esquematiza en la Figura 10, donde se aprecia la cinemática del movimiento de la viga metálica provista de contraflecha y de los apoyos provisorios, observándose que estos dispositivos deben permitir un cierto grado de rotación hacia ambos lados de la vertical mientras avanza el empuje, para lograr la compatibilidad geométrica y el contacto pleno entre la cara inferior de la viga y la superficie del deslizador.

En general, para el empuje de tableros de vigas metálicas con contraflecha se utilizan dispositivos provisorios basculantes formados por una pieza metálica montada sobre una rótula esférica para lograr el movimiento necesario del apoyo deslizante durante el empuje.

En el caso en estudio, se diseñó un aparato provisorio especial, formado por una caja metálica rígida, un par de placas o pads o pastillas de neopreno armado rígidas con superficie de teflón, que se apoyan sobre una placa de neopreno flexible de 20 mm de espesor ubicada inmediatamente por debajo de las pastillas deslizantes, lo que permite la rotación de las pastillas por la deformación y giro de la capa inferior de neopreno. Este dispositivo es relativamente compacto, y resulta fácil de colocar y retirar.

Organiza:

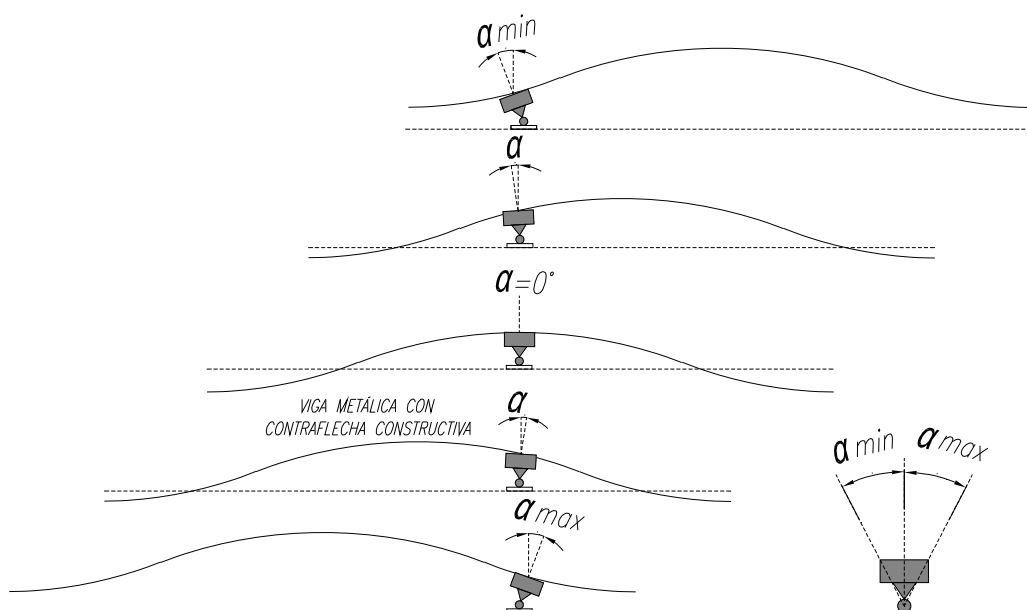


Figura 10. Interacción entre apoyo deslizante y viga metálica con contraflecha

En la Figura 11 se presenta una imagen del dispositivo provisorio de apoyo deslizante utilizado en el proyecto, donde se observa la caja metálica, el tope o guía transversal provisto de un pad de teflón, los pads de neopreno armado con una lámina superior de teflón de baja fricción y el neopreno interior sujeto por topes de ángulos metálicos. Adicionalmente, en forma habitual, se lubrica la cara inferior de la platabanda de la viga metálica durante la operación de empuje con el fin de disminuir el rozamiento entre las superficies.



Figura 11. Dispositivo provisorio de apoyo deslizante provisto de guía lateral

Organiza:

Como ya se mencionó, estos dispositivos cuentan con guías laterales integradas al propio aparato, convenientemente ubicadas en función de las tolerancias establecidas, cuyo objeto es el de contener/corregir el movimiento transversal de la nariz de lanzamiento en la maniobra de aproximación a la pila durante el empuje.

En cada etapa de empuje se aplica el mismo procedimiento: las piezas del tablero metálico se montan y unen sobre la pista de ensamblaje y lanzamiento, luego se hormigona la losa inferior con un sistema convencional de encofrado, posteriormente se colocan las piezas de tiro, se conectan los cables de las unidades hidráulicas y se procede al empuje del tramo por arrastre hasta que la pieza de tiro llega al sector del estribo, donde se finaliza la etapa y se repite el procedimiento. Las únicas secuencias del empuje que presentan particularidades son la primera y la última. En la primera etapa, se debe ensamblar y empujar el conjunto del primer tramo de vigas metálicas con la nariz de lanzamiento, y este tramo inicial del frente del tren de empuje requiere un par de maniobras particulares que se deben diseñar para esta fase del empuje. En la última etapa, y como consecuencia de ubicar la pieza de tiro a nivel de la losa inferior, se debe utilizar una estructura especial llamada “contranariz”, que está unida al extremo posterior del último tramo de las vigas metálicas, ya que se necesita de una distancia adicional de tiro por detrás del extremo de las vigas que ofrezca la suficiente carrera de los cables para llegar hacia la posición definitiva del tablero. A su vez, esta pieza permite la correcta transferencia de fuerza de los cables de tiro a las vigas metálicas mediante un sistema de perfiles metálicos ubicados en correspondencia con las almas de las vigas del tablero y una losa inferior de hormigón sobre la que se vincula la pieza de tiro de la misma forma que en las etapas intermedias de empuje.

En la Figura 12 se puede observar la contranariz adosada al último tramo de tablero metálico, con los cables de acero conectados a la parte inferior de la pieza de tiro. Resulta importante destacar la necesidad de un correcto diseño de esta pieza ya que en la última etapa de empuje el peso a desplazar se corresponde con la totalidad del tablero, y por lo tanto la fuerza a desarrollar y a transferir hacia las vigas metálicas es la máxima fuerza de diseño.

Una vez finalizadas todas las etapas de empuje, el tablero se encuentra en su posición definitiva apoyado en todos los dispositivos provisorios deslizantes ubicados en pilas y estribos. A continuación, se deben colocar los dispositivos de apoyo definitivos y retirar los apoyos provisorios deslizantes. Para facilitar esta tarea, durante todas las maniobras de lanzamiento, la cota superior de los dispositivos deslizantes, y por lo tanto la cota del tablero lanzado, se ubicó 50 mm por arriba de la cota de proyecto, permitiendo así disponer de un mayor espacio libre para la colocación de los apoyos definitivos. Una vez colocados en posición los apoyos definitivos, se procede al gateo del tablero, a la remoción de los apoyos deslizantes, y luego al descenso del tablero hasta su posición definitiva.

Organiza:



Figura 12. Contranariz ubicada al final del tren de empuje

Al finalizar el procedimiento de gateo y reemplazo de los apoyos de las vigas, el tablero ya se encuentra en su posición de proyecto y resta solamente el hormigonado de la losa superior y la construcción de terminaciones tales como la carpeta de rodamiento, defensas, losas de aproximación y juntas de dilatación extremas.

SECUENCIA DE ENSAMBLAJE Y LANZAMIENTO DEL TABLERO

A partir del sistema de lanzamiento descripto, la secuencia completa de empuje del puente se realizó en nueve etapas, que se describen a continuación:

Etapas 1

- Ensamblaje de la nariz de lanzamiento y del primer tramo de tablero metálico sobre la playa de maniobra, realizando las uniones soldadas y abulonadas previstas en el proyecto.
- Ejecución de losa inferior hormigonada in situ.
- Montaje de prelosas de tablero sobre las vigas metálicas, previendo no colocar prelosas en los primeros 45 m del frente de empuje del tablero, con el objeto de alivianar el tramo en voladizo durante la maniobra de lanzamiento.
- Conexión de la pieza de tiro a la losa inferior, y posterior vinculación de los cables de la unidad de tiro.
- Lanzamiento longitudinal del tablero metálico. El empuje se realiza lentamente a una velocidad controlada hasta que la pieza de tiro llegue al sector del estribo

Organiza:

y la nariz de lanzamiento haya pisado la primera pila. Una referencia general es que el movimiento del tablero se realiza a razón de 5 a 6 m/hora, por lo que el movimiento de un segmento típico de 45 m de longitud se realiza en un tiempo de 8 a 9 horas.

Etapas 2 a 8

- Ensamblaje y realización de uniones soladas del siguiente tramo de tablero metálico al tablero ya lanzado.
- Ejecución de losa inferior hormigonada in situ.
- Montaje de prelosas de tablero sobre las vigas metálicas.
- Conexión de la pieza de tiro a la losa inferior, y posterior vinculación de los cables de la unidad de tiro.
- Lanzamiento longitudinal del tablero metálico. El empuje se realiza lentamente a una velocidad controlada hasta que la pieza de tiro llegue al sector del estribo y la nariz de lanzamiento haya pisado la siguiente pila.

Etapas 9

- Ensamblaje del último tramo de tablero metálico, montaje y unión por soldadura de la contranariz vinculada a dicho tramo.
- Ejecución de losa inferior de la contranariz hormigonada in situ.
- Montaje de prelosas de tablero sobre las vigas metálicas.
- Conexión de la pieza de tiro a la losa de la contranariz, y posterior vinculación de los cables de la unidad de tiro.
- Lanzamiento longitudinal del tablero metálico. El empuje se realiza lentamente a una velocidad controlada hasta que el tablero llegue a su posición definitiva.

Durante cada una de las etapas de lanzamiento se realizan los controles y monitoreos necesarios para garantizar una maniobra de empuje segura y exitosa. En general, se controlan las fuerzas de tiro en relación a las estimaciones de proyecto, las reacciones en los skidshoes, las deformaciones en la viga de lanzamiento, y el movimiento de la cabeza de las pilas durante el empuje.

Una vez completado el lanzamiento y ubicado el tablero en su posición final sobre los apoyos definitivos, se completa el montaje de las prelosas de los primeros 45 m de tablero, para luego colocar las armaduras y realizar el hormigonado de la losa superior. Finalmente, una vez concluida la construcción de la losa del tablero, se procede a realizar las terminaciones ejecutando las defensas New Jersey, la carpeta de rodamiento, las losas de aproximación y las juntas de dilatación extremas.

En la bibliografía especializada [1] y [2] se pueden encontrar mayores detalles de los sistemas y componentes de empuje para puentes mixtos.

Organiza:

RESULTADOS Y DATOS DEL PROCEDIMIENTO DE EMPUJE

A continuación, se presentan datos de interés recolectados durante la operación de empuje del tablero metálico de doble acción mixta.

Flecha a recuperar en cada etapa

Se presentan en la Tabla 1 los valores de la deformación vertical del extremo de la nariz de lanzamiento a restituir en cada etapa de empuje. Los descensos se miden con respecto a la posición teórica no deformada, que coincide con la cota superior del apoyo deslizante. En la mencionada tabla se observan los valores de descenso medidos, que se contrastan con las flechas calculadas para cada etapa mediante modelos numéricos de elementos finitos, con el objeto de controlar este parámetro como indicador de la rigidez del sistema nariz de lanzamiento y vigas metálicas del frente de empuje.

Tabla 1. Comparación de flechas a restituir medidas y calculadas

Flecha	Etapa								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Medida [mm]	120	280	190	240	215	215	245	245	70
Teórica [mm]	137	308	219	250	245	248	244	244	49
Relación	88%	91%	87%	96%	88%	87%	100%	100%	143%

Se observa en la Tabla 1 que las deformaciones registradas durante el empuje resultan muy similares a los valores teóricos obtenidos con los modelos de cálculo, indicando un grado de rigidez satisfactorio y acorde a las previsiones del diseño. La mayor variabilidad que se observa en la última etapa se debe a que los valores de la flecha para este caso son considerablemente inferiores que para el resto de las etapas, ya que la luz del tramo es menor y el peso del tablero metálico se encuentra apoyado en un esquema estático de viga continua, volando solo la nariz de lanzamiento, y la precisión del modelo numérico en la predicción de las deformaciones tiende a disminuir cuando se reduce el orden de magnitud de los descensos absolutos calculados.

Valores de fricción registrados durante el empuje

A partir de los valores de la fuerza de tiro de las unidades hidráulicas registrados en una central de adquisición de datos y del peso total desplazado se puede determinar el coeficiente de fricción del sistema, cuyo valor es variable durante la maniobra de empuje de cada etapa. En la Tabla 2 se resumen los valores máximos, medios y mínimos del coeficiente de fricción de cada etapa.

Organiza:

Tabla 2. Registro de valores de fricción en cada etapa

Fricción	Etapa								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Máxima [%]	12.8	14.2	12.6	13.0	11.9	10.3	10.4	10.3	9.7
Media [%]	11.0	12.9	12.0	11.4	10.7	9.2	9.8	9.1	8.6
Mínima [%]	9.6	11.6	10.7	9.8	8.8	9.0	8.5	8.5	8.1

Del análisis de los registros de fricción, tal como se aprecia en la Figura 14, en todas las etapas se obtiene un valor máximo inicial correspondiente a la fricción estática, es decir, el coeficiente de fricción que se debe vencer para iniciar el movimiento, y una vez superado este umbral, los valores de fricción disminuyen y se corresponden con los coeficientes de fricción dinámica, con valores medios del orden de 10 % que son característicos para sistemas de empuje de superficies de acero sobre teflón. Se puede apreciar también en la Tabla 2 un hecho típico del deslizamiento por fricción de dos superficies, que al aumentar el peso deslizado disminuye el coeficiente de fricción.

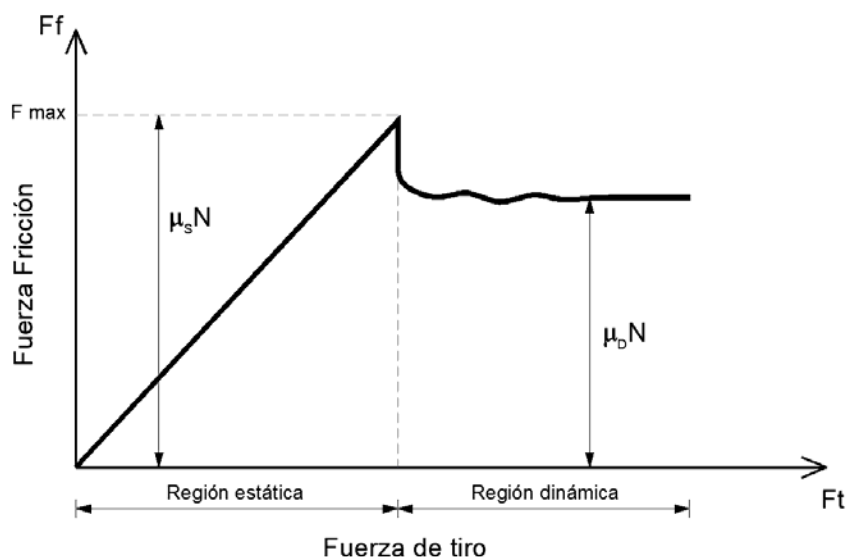


Figura 13. Evolución de las fuerzas de fricción durante el empuje

CONCLUSIONES

A partir de todo lo expuesto en relación al sistema de empuje y los dispositivos auxiliares utilizados en el lanzamiento del tablero, puede afirmarse que numerosos aspectos del diseño del puente están fuertemente ligados al método constructivo a utilizar y a la tecnología específica a implementar, en el caso de estudio el método de empuje mediante arrastre con cables de acero.

Organiza:

Un conocimiento íntegro del sistema de empuje del tablero a utilizar en el proyecto permite abordar el diseño del puente de una manera eficiente desde un principio y evitar futuras intervenciones y ajustes del diseño en base a posibles cambios relacionados con el método constructivo y los dispositivos a utilizar. Es decir, en la medida de lo posible debe estar definido el sistema completo de empuje con todos sus dispositivos y el proveedor del sistema antes de comenzar con el desarrollo de la ingeniería de detalle del puente.

La vinculación del sistema de tiro a la losa inferior es un ejemplo de cómo en algunas ocasiones el método constructivo se puede amoldar al diseño del puente, ya que se aprovecha la losa inferior diseñada para brindar el efecto de doble acción mixta del tablero para conectar las piezas de tiro, lo que permite disminuir la excentricidad de las fuerzas de tiro y reducir las solicitaciones en las vigas metálicas del tablero, evitando la necesidad de rigidizaciones y colocación de elementos auxiliares en el alma de las vigas metálicas para la vinculación de los cables de tiro.

La utilización de apoyos provisorios deslizantes compuestos por pads armados de neopreno con teflón montados sobre una capa de neopreno flexible tiene varias ventajas entre las que se puede mencionar la simplicidad de su funcionamiento, su geometría compacta, que permite lanzar el puente a una cota muy cercana a la cota definitiva simplificando así el gateo del puente en la etapa de recambio de apoyos deslizantes por los apoyos definitivos, y su capacidad rotacional, que permite compatibilizar la pendiente del ala inferior de la viga que se origina por la contraflecha de proyecto del puente, evitando así la necesidad de utilizar apoyos basculantes.

El monitoreo durante el empuje de los parámetros tales como las fuerzas de tiro en cada etapa, las reacciones en los skidshoes, la flecha a recuperar en la nariz de lanzamiento, y la fricción desarrollada durante las etapas de empuje permite disponer de un mecanismo de control del procedimiento de empuje al contrastar los registros con los valores esperados de cada parámetro, alertando ante cualquier situación fuera de lo previsto para tomar acciones correctivas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Monografía 39, Tableros Empujados, Editor: ACHE, Asociación Española de Ingeniería Estructural, España.
- [2] Rosignoli, M., Bridge Launching, 2nd Edition, Tomas Telford Limited, 2014.

Organiza: