

# II CONGRESO DE **ache** PUENTES Y ESTRUCTURAS

**Realizaciones**

**Puentes**

---



## **VIADUCTO SOBRE EL RÍO IREGUA EN LA VARIANTE DE LA CIRCUNVALACIÓN SUR DE LOGROÑO**

**Florencio J. Del Pozo Vindel**

**José M<sup>a</sup> Arrieta Torrealba**

**José Luis García Navarro**

**Javier Celemín Santillana**

**Antonio Madrid Ramos**

## 1. INTRODUCCIÓN

El Viaducto objeto de la presente comunicación se integra dentro de la actuación correspondiente a la Variante de la Circunvalación Sur de Logroño. Esta nueva vía está formada por dos calzadas, una para cada sentido de circulación, cada una de las cuales dispone de dos carriles de 3,50 m de anchura, arcenes exteriores de 2,50 m y arcenes interiores de 1,00 m de anchura. En dicha actuación se distingue un tramo recto con 400 m de longitud, aproximadamente, que permite el paso sobre el cauce y llanura de inundación del río Iregua, en las afueras de la ciudad.



En este punto la rasante presenta una pendiente constante del 0,8 %.

Con objeto de reducir el ancho total de la estructura, en la zona del puente se ha dispuesto una mediana reducida de 3,00 m de anchura, medidos entre bordes interiores de arcén.

El tablero resultante, con esta sección transversal y los pretilos y barreras necesarios, alcanza una anchura total de 25 m.

## 2.- DESCRIPCIÓN

El viaducto tiene una longitud de 304 m distribuidos en siete vanos. El primero de ellos corresponde al vano principal de 120 m de luz. El puente se completa con cinco vanos adyacentes de 32 m y un vano de 24 m en el extremo opuesto al vano principal.

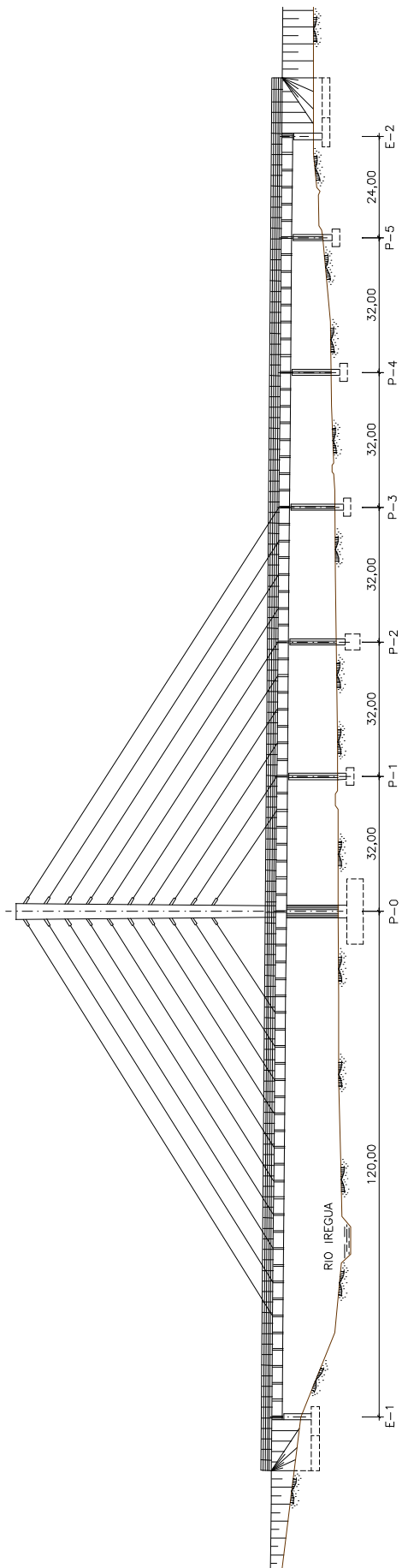
El vano principal se sustenta mediante un único plano de cables situado sobre el eje del puente, configurando una estructura de puente atirantado.

El atirantamiento consta de diez parejas de cables dispuestos en “arpa” ligeramente modificada.

Diez de los cables permiten sustentar el vano principal; se anclan en el eje del tablero y en el único pilono existente. Los otros diez cables sirven de “contrarresto” de los primeros; se anclan en el propio pilono y en el tablero, en diferentes puntos de los cuatro vanos adyacentes al principal.

El tablero ha sido proyectado mediante una solución continua con sección constante, compuesta por dos cajones monocelulares de hormigón armado, almas inclinadas, 2,50 m de canto y un ancho mínimo de 4,00 m en la base inferior. Ambos cajones están separados 8,00 m entre ejes, de tal forma que dejan un espacio libre de 4,00 m entre ellos.





En el vano principal, en el interior de los cajones, se disponen 4 cables de pretensado exterior en cada uno de ellos. Estos cables se anclan en diversos diafragmas interiores y en la traviesa del estribo 1.



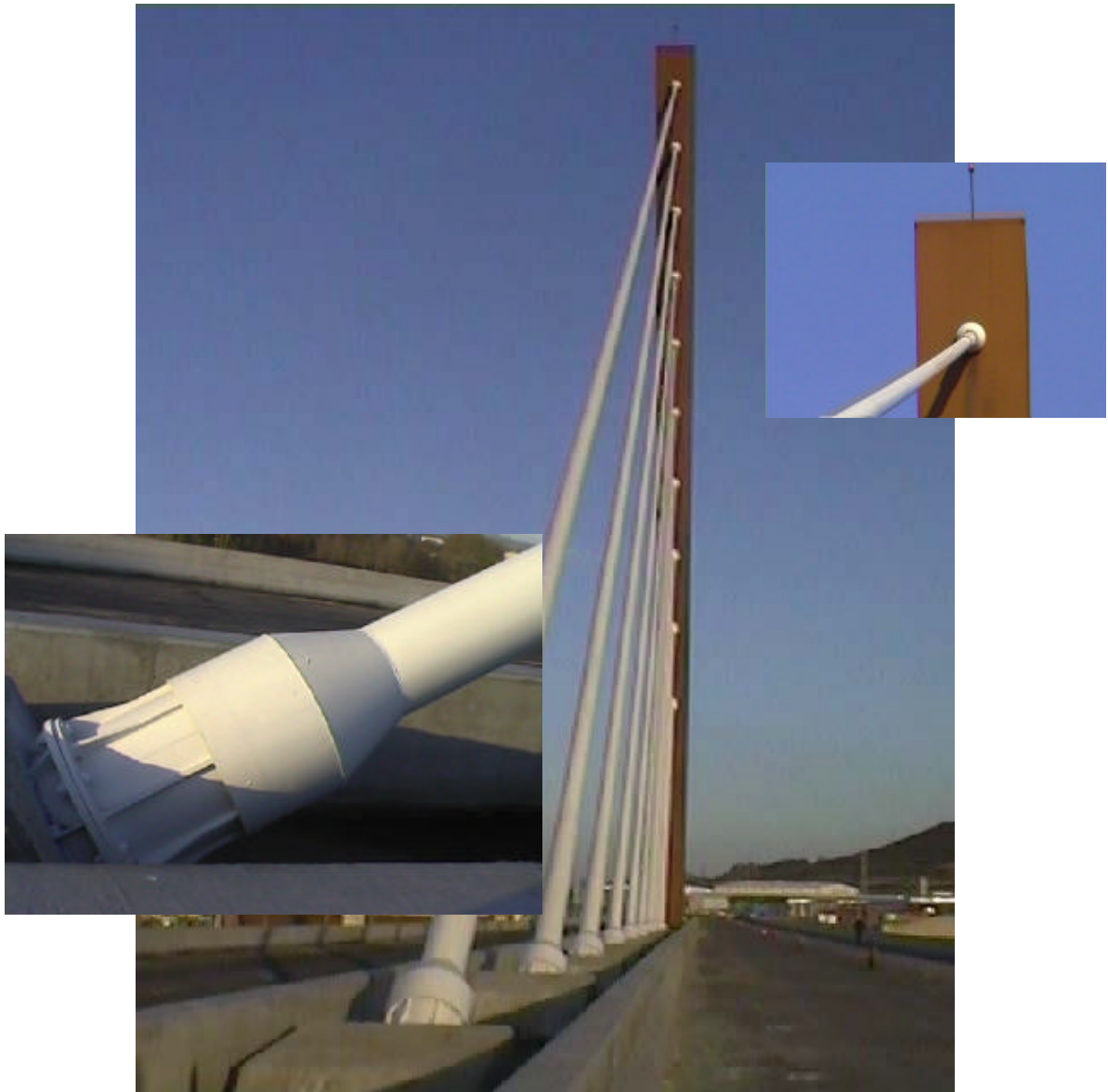
Cada ocho metros, los cajones están unidos por traviesas perpendiculares a los mismos, coincidentes con los anclajes de los tirantes y con los correspondientes diafragmas del interior de los cajones.

Sobre este conjunto se dispone una losa de hormigón de 25 centímetros de espesor. Ésta presenta voladizos laterales sobre los cajones principales de 5,85 m, bajo los cuales se disponen unas piezas de hormigón, compuestas por un jабalcón y una vigueta horizontal. Estas piezas se disponen cada cuatro metros y permiten resistir las flexiones transversales originadas por la luz del voladizo.

Sobre la losa se apoyan las dos calzadas de la circunvalación.

Cada una de las calzadas dispone de barrera-pretil en el borde exterior y otra barrera en el borde interior, ambas debidamente ancladas en el tablero.

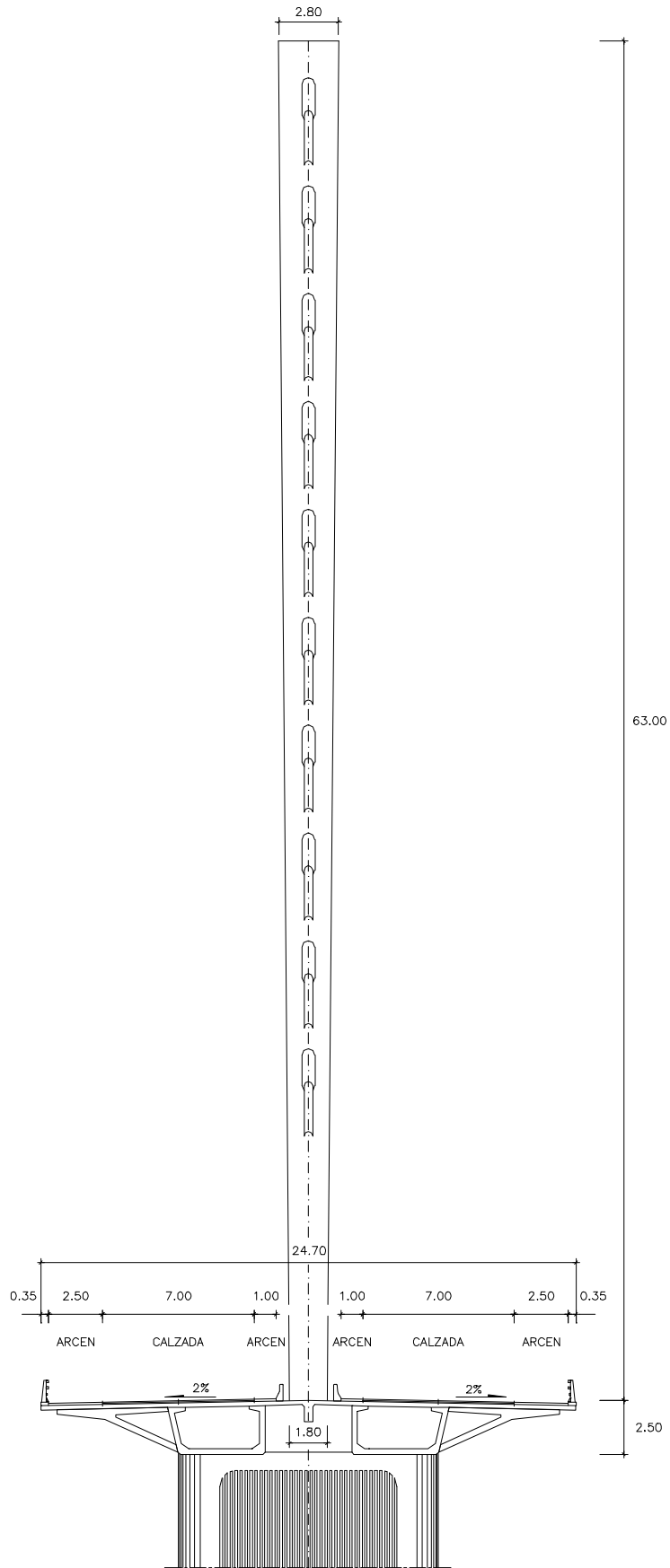
Las barreras interiores servirán, por un lado, para cumplir las normas de seguridad para el tráfico vigentes y, por otro lado, para proteger los tirantes frente a posibles choques de



vehículos. Los cables se anclan en la mediana, en el hueco dejado entre las barreras interiores.

El único pilono del puente se sitúa entre el primer vano, que es principal, y el segundo. Alcanza una altura de 63 m sobre la cara superior de tablero. Se trata de una pieza mixta de acero-hormigón, con sección transversal en cajón tricelular.

Las células están construidas en acero. Las dos laterales se rellenan de hormigón en toda la altura del pilono. La central, en cambio, solamente se rellena en los 14 m inferiores, pues la parte superior sirve para alojar los elementos de anclaje de los tirantes.







La base del pilono se empotra en el tablero en una traviesa macizada, donde también lo hace la denominada pila 0. El empotramiento pilono-tablero se materializa embebiendo en el hormigón las chapas del pilono y disponiendo conectadores tipo perno.

La pila 0 es una pieza construida en hormigón armado, con sección cajón bicelular. Las dimensiones exteriores de la sección transversal de esta pieza son 12,00 m de anchura, en dirección transversal al eje del puente, y 3,00 m en la dirección longitudinal.

Las restantes pilas están constituidas por dos fustes macizos de hormigón armado, cada uno de los cuales soporta uno de los cajones principales del tablero. La sección transversal de estos fustes es rectangular con esquinas redondeadas y tiene 2,50 m de anchura en dirección transversal y 1,50 m en dirección longitudinal.



En las tres pilas más próximas a la pila 0, el tablero está anclado mediante cables de pretensado, que sirven de contrarresto al tiro vertical inducido por los tirantes de retenida.

Los estribos están formados por dos fustes de hormigón armado, similares a los de las pilas. En el estribo 1, dada su mayor altura, se dispone un zócalo que une ambos fustes en su parte inferior.

Las tierras se contienen en el trasdós de estos estribos, mediante un sistema de muros prefabricados independiente de los estribos.

La cimentación de pilas y estribos se realiza de forma directa, mediante zapatas de hormigón armado.

### **3.- PROCESO CONSTRUCTIVO**

La primera fase de la construcción del puente ha consistido en la ejecución de las pilas y estribos. Se comenzó por las pilas finales y el estribo 2, pues la construcción del tablero se iniciaría desde el final, acabando en el vano principal.

Una vez que el estribo 2 y las pilas 3, 4 y 5 ya estaban completadas, comenzó la construcción del tablero. Este proceso se realizó apoyando los encofrados sobre una cimbra convencional colocada sobre el terreno. La altura de la cimbra no superó los 10 m en esta zona.

El hormigonado se realizó por fases, de tal forma que se ejecutaba de una sola vez el tramo que faltaba en cada momento, para completar un vano y una parte del siguiente. Una vez que se completaba una fase, se pasaba a construir la fase siguiente.

A su vez, cada fase de hormigonado se dividía en dos etapas. En la primera de ellas se hormigonaban las vigas-cajón principales, las traviesas, los diafragmas y los jabalcones. En la segunda etapa se hormigonaba la losa superior.

Este proceso se repitió hasta llegar al vano principal, de tal forma que coincidía la construcción de la segunda etapa de una fase con la primera etapa de la fase siguiente.

Mientras tanto, se estaba retirando la cimbra de la fase que se había terminado de construir en el paso anterior, ya que cada vano de 32 m era resistente como hormigón armado.

Este proceso se pudo repetir en el vano central, pues se construyeron unos apoyos provisionales con una separación entre ellos similar a la de las pilas definitivas del vano principal (32 m), sobre las que quedó apoyado el tablero hasta la puesta en tensión de los tirantes.

Estos apoyos provisionales estaban constituidos por torres metálicas convencionales, apoyadas en losas de hormigón, que podían ser retiradas al finalizar la obra.

Una vez completado el tablero, se comenzó la construcción del pilono. La parte metálica del mismo se montó en taller, en tramos de diversa longitud. En obra, se soldaron los tramos en su posición definitiva. Simultáneamente, se realizaba el hormigonado interior del cajón, que se unía a la parte metálica mediante conectadores tipo perno.

Terminado el pilono, se colocaron los cables de los tirantes y del pretensado exterior y se procedió a su puesta en tensión.

Al finalizar este proceso, el tablero se había despegado de las torres provisionales, como estaba previsto, por lo que se procedió a su retirada.

Todo el proceso de tesado fue analizado cuidadosamente mediante un adecuado sistema de instrumentación, que permitía en cada momento conocer las tensiones en los tirantes, los movimientos en los puntos característicos y la temperatura en algunos puntos.

Tras el preceptivo análisis de los datos obtenidos por el sistema y de otras mediciones de comprobación que se realizaron, se decidió retesar algunos de los tirantes, aumentando su sección efectiva mediante el enfilado de algunos torones adicionales. La posibilidad de esta contingencia ya había sido prevista en el proyecto.

Una vez terminada esta tarea, se procedió a la colocación de barreras y pavimento. Éste último incluye un espesor de rasanteo para mayor confort del usuario.

Al final el puente quedó en perfectas condiciones para su puesta en servicio.

#### 4.-DATOS TÉCNICOS

Propiedad: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras.

Demarcación de Carreteras del Estado en La Rioja

Construcción: NAZVI, PLODER, PUENTES Y CALZADAS,  
CONSTRUCCIONES SARRIÓN

Proyecto: Proyectos y Estructuras PROES S.A.

Asistencia Técnica: IBERINSA, IDEAM, TECNOPROYEC

Instrumentación: KINESIA

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
<b>Dimensiones</b>	
Longitud del puente	304 m
Luz máxima	120 m
Anchura de tablero	24'70 m
Altura de pilono	63'00 m
<b>Atirantamiento</b>	
Nº de pilonos	1
Nº de tirantes	20
Disposición longitudinal	Arpa (ligeramente rectificada)
Disposición transversal	Plano único de tirantes en mediana
Sistema de tirantes	FREYSSINET
Sistema de tesado	Isotensión
<b>Tablero</b>	
Materiales	Hormigón armado
Tipo de sección transversal	Bijácena: Dos cajones monocelulares
Otras características	Pretensado exterior en vano principal
<b>Pilono</b>	
Materiales	Mixto hormigón-acero estructural
Sección transversal	Cajón tritelular

**II CONGRESO DE ACHE**  
**PUENTES Y ESTRUCTURAS EDIFICACIÓN**

**Realizaciones**  
**Puentes**



**Una metodología para el control de la puesta en tensión de los tirantes del puente  
sobre el río Iregua en Logroño.**

**Francisco Millanes Mato**  
**Javier Pascual Santos**  
**José Ignacio Díaz de Argote Cervera**

**IDEAM, S.A.**

## 1. INTRODUCCION

El puente sobre el río Iregua es un puente atirantado que consta de un vano largo de 120 metros y cinco vanos cortos, cuatro de 32 metros y uno de 24. El vano largo salva el río Iregua que discurre por debajo del tablero. La altura media de las pilas es de unos 15 metros. El tablero esta formado por dos cajones que materializan una anchura total de plataforma de 24,70 metros. El sistema de tirantes esta formado por veinte tirantes que se encuentran en un único plano central y se reparten simétricamente a ambos lados del pilono, diez a cada lado. El pilono es mixto y tiene 63 metros de alto desde la cota superior del tablero. La sección del pilono es rectangular y variable creciente con la cota del mismo. Dicha sección pasa de los 1,80×2,50 metros en la base del pilono hasta los 2,80×3,80 metros en la coronación. La sección transversal del fuste está dividida en tres zonas. Una central de mayor anchura en la que se aloja el sistema de tirantes y dos laterales más pequeñas. El pilono va relleno completamente de hormigón HA-60 hasta la cota inmediatamente debajo del primer tirante, a partir de la cual sólo se rellenan de hormigón las células laterales.

El principal objeto del control realizado durante el tesado del puente sobre el río Iregua ha sido disponer en cada fase de tesado de un conocimiento suficiente del estado del puente en sus valores más significativos para, por contraste con los valores teóricos previstos, poder adoptar las medidas correctoras oportunas en función de la respuesta real detectada.

La instalación de la instrumentación general empleada fue realizada por Kinesia, empresa puntera en nuestro país en este tipo de trabajos, que también colaboró estrechamente con IDEAM, S.A. en la interpretación de los resultados a medida que se producían los tesados. La principal ventaja del sistema utilizado es que permite el seguimiento en tiempo real del estado del puente. El sistema parte de un ordenador que se instala en el interior de uno de los cajones del puente. Dicho ordenador realiza medidas periódicas de las magnitudes instrumentadas que registra en una base de datos. El acceso a dicha base de datos se puede realizar desde cualquier ordenador por medio de un programa de comunicaciones sencillo. De esta forma se puede tener acceso al estado del puente desde cualquier punto sin necesidad de estar físicamente a pie de obra.

El principal parámetro de instrumentación escogido fue lógicamente la tensión en los tirantes. Dicha tensión se obtenía mediante la colocación de una célula de carga en un torón de cada uno de los tirantes, que se conectó al ordenador. De esta manera, y con el apoyo del sistema de isotensión realizado por Freyssinet durante el tesado, se conocían en todo momento las fuerzas en todos los tirantes con gran precisión sin más que leer el ordenador. Otros parámetros instrumentados fueron:

- El gradiente térmico vertical en el tablero mediante la introducción de dos sondas de temperatura, una en la parte superior de la losa y otra en la parte inferior.
- La temperatura ambiente y la temperatura en la parte superior del pilono.
- El giro transversal en la parte superior del pilono y el giro longitudinal.
- La reacción en el estribo 1.
- Tensiones en el pilono en dos secciones, tanto en metal como en hormigón. Y tensiones en el tablero de hormigón.
- El giro en el tablero mediante dos clinómetros próximos ubicados en las proximidades de una sección crítica, que permitirán obtener el momento flector a partir de la curvatura media obtenida.
- La flecha en los tres apeos provisionales sobre los que reposaba el tramo principal previamente al tesado.

En un principio estaba previsto instrumentar directamente las reacciones en los apeos provisionales. Con ello se pretendía tener un conocimiento muy preciso del peso real del puente y de esta forma poder predecir con mayor exactitud el desarrollo del tesado y ajustar consecuentemente los cálculos teóricos. No obstante, por una falta de disponibilidad en los medios auxiliares previstos en obra no fue posible la instrumentación directa de la reacción en los apeos, perdiendo como dato inicial el peso real del puente ejecutado, aspecto que, como es sabido, resulta esencial en la respuesta de los puentes atirantados durante el tesado.

## **2. TRABAJO PREVIO AL PROCESO CONSTRUCTIVO.**

Lo más importante, y lo que a nuestro juicio era de más utilidad, era no tanto el tener un modelo que reflejase perfectamente el comportamiento del puente durante el tesado bajo

unas determinadas hipótesis de peso y rigidez, sino más bien disponer de una franja de valores de los distintos parámetros instrumentados en función de distintas hipótesis de partida respecto al peso real del puente y precisión de las fuerzas aplicadas a los tirantes, de manera que a medida que fuera avanzando el proceso constructivo los valores obtenidos con la instrumentación fueran aproximándose a alguna de las hipótesis adoptadas, que sería entonces la considerada como real. Para ello se pensó en realizar cuatro modelos que reflejasen las distintas posibilidades de comportamiento del puente que se estimaron como posibles. Dichos modelos fueron:

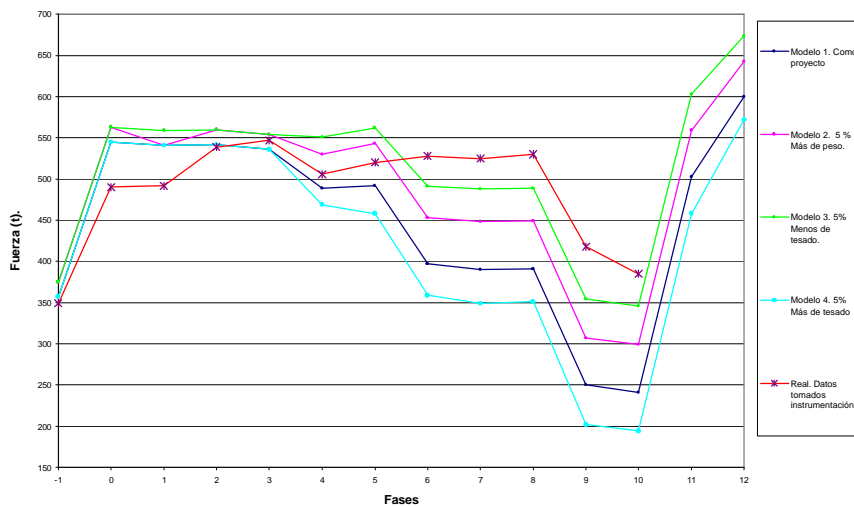
- Modelo nominal: Peso de proyecto y tesado de proyecto.
- Modelo con un 5% de sobrepeso y tesado de proyecto.
- Modelo con un 5% de sobrepeso y un 5% menos de tesado.
- Modelo con el peso nominal y un sobretesado del 5%.

Estos modelos fueron realizados con el programa de ordenador DIFEV, de generación propia en IDEAM, S.A., que reproduce exactamente la secuencia constructiva del puente, teniendo en cuenta los momentos de hormigonado de los distintos tramos y considerando los fenómenos reológicos que se producen en el puente tanto durante las distintas fases de hormigonado como en situación de carga permanente definitiva.

Con estos modelos se prepararon unos gráficos con los parámetros de instrumentación más importantes que se habían escogido previamente, como la tensión en todos los tirantes, la reacción en el estribo y la flecha ascendente prevista en los apeos provisionales, con especial hincapié en el instante de desapeo previsto. En ellos se irían introduciendo las medidas reales tomadas de la instrumentación en cada fase de tesado a medida que se iban produciendo, constituyendo una herramienta fundamental para el control, al permitir en cada caso obtener una visión de conjunto de la respuesta del puente y estimar así con precisión el estado real del puente en sus parámetros más inciertos: peso real y tesado real en los tirantes. Un ejemplo de dichos gráficos se presenta a continuación:



EVOLUCION DE LA REACCION EN EL ESTRIBO



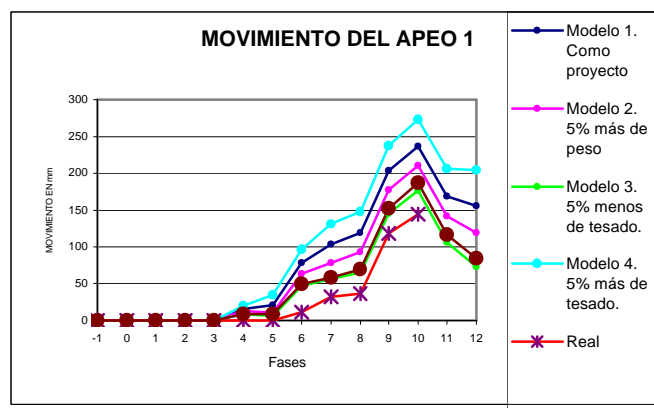
En el gráfico se puede observar la variación de la reacción en el estribo 1 a medida que se van avanzando las fases de tesado, con cada uno de los modelos realizados (distintas hipótesis en cuanto a peso real y fuerzas de tesado de los tirantes).

### 3. DESARROLLO DEL TESADO.

Una vez realizado el trabajo previo al proceso constructivo descrito ya solo quedaba el desarrollo del tesado. Dicho tesado se desarrollaba en 10 fases correspondientes al tesado de pares simétricos de tirantes (Veinte en total). La fase 11 que se indica en los gráficos corresponde a la colocación de la carga muerta y la fase 12 al tiempo infinito.

En las primeras fases del tesado, en las que todavía no se ha producido el desapeo de la estructura, los resultados tomados de la instrumentación eran prácticamente coincidentes con los resultados obtenidos en los modelos realizados, debido a que en estas primeras fases no existían movimientos apreciables, por lo que la tensión en los tirantes tesados variaba muy poco con la puesta en tensión de los siguientes. Además se comprobó mediante las células de carga que los tirantes fueron tesados a la tensión del proyecto con una gran precisión. De esta manera, los modelos que partían de un error en el tesado fueron descartados, adoptándose como válido básicamente el tesado nominal y limitando entonces la incertidumbre relativa a los datos de partida al peso del tablero.

A medida que fueron avanzando las fases de tesado se fue apreciando un sobrepeso importante en el puente. Este dato quedó confirmado en la fase 4, en la cual estaba previsto que el puente se desapease en el primero de los apeos. Esto no se produjo hasta la fase 6, lo que indicaba un sobrepeso bastante importante. Ello llevo a pensar que el sobrepeso podía superar el 5 % inicialmente contemplado, y que podía llegar al 10 % o incluso más. Por ello se introdujo un nuevo modelo que reflejase un 10 % más de peso. Con ello se logró reproducir de una forma bastante precisa cuál era el comportamiento del puente en todos los parámetros de control escogidos, que convergían bastante bien en un sobrepeso en el entorno del 12%. Este extremo se puede apreciar con claridad en el siguiente gráfico. En él se aprecian las curvas de flechas en uno de los apeos a medida que avanzó el tesado y cómo el modelo del 10 % del sobrepeso es el que más se aproximaba a la realidad, quedándose incluso algo corto, ya que el sobrepeso estimado finalmente se estableció en el 12%.



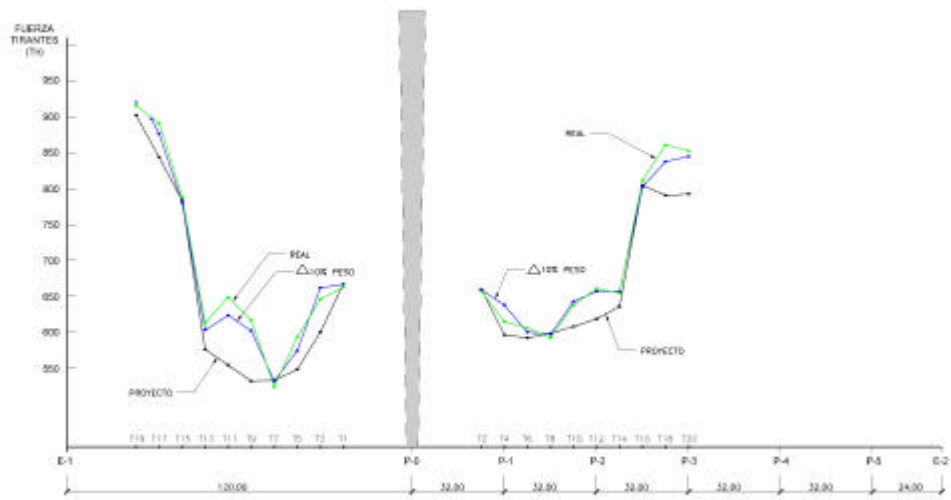
#### 4. MEDIDAS CORRECTORAS.

Como se ha indicado anteriormente, el estado teórico del tablero en la hipótesis de tesado nominal y sobrepeso del 12% se aproximaba con gran precisión al estado real obtenido en la instrumentación. Por ello, se realizó un control completo del estado límite de servicio y estado límite último del tablero y tirantes en esta hipótesis, concluyéndose que el tablero se encontraba en condiciones satisfactorias sin necesidad de realizar ningún retesado. No obstante, los tirantes se encontraban dimensionados algo más estrictos, de modo que el único problema que conllevaba el sobrepeso del puente

era la sobretensión que el incremento de peso introducía en los tirantes, que provocaba que algunos de los tirantes sobrepasaran la tensión máxima admisible ( $0,45 f_{pu}$ ), con los problemas de fatiga y durabilidad que esta situación pudiera producir. Para resolver este problema se abordó la introducción de más cordones en los tirantes que presentaban una sobretensión. Esto fue posible porque los anclajes de los tirantes se habían previsto con holgura suficiente frente al número real de torones proyectados, por lo que era posible introducir algún cordón más. Como condicionante esencial de la operación, y dado que el resultado de todos los controles del tablero había resultado satisfactorio, ésta debía diseñarse para no alterar la fuerza inicial de los tirantes, ya que en este caso debería realizarse de nuevo el control en ELS y ELU del puente. La dinámica seguida fue la siguiente:

En primer lugar se tesaron los nuevos cordones introducidos a la misma tensión del cordón de referencia. Con ello se producía un aumento de la fuerza total en el tirante. Para evitar este exceso de fuerza en el tirante se procedió a la introducción del gato de pesaje de manera que dicho gato destesó el tirante completo hasta la fuerza que tenía al inicio de la operación. De esta manera a la conclusión del proceso se obtenía un tirante con la misma fuerza pero con un número mayor de cordones y, por lo tanto, con los cordones a menor tensión y sin problemas de sobretensión. Lógicamente, obtener el número de cordones a introducir para alcanzar la tensión final inferior a  $0,45 f_{pu}$  en la hipótesis pésima resulta inmediato.

Por último, se adjunta un gráfico donde se puede apreciar el estado final de fuerzas finales en los tirantes obtenido de la instrumentación, comparado con el nominal de proyecto y el que se obtiene en un modelo que incorpora el 10% del sobrepeso. Puede apreciarse cómo, salvo alguna alteración de carácter local, el sobrepeso estimado en el entorno del 12% proporciona un ajuste muy satisfactorio.



**Fuerzas en tirantes al término de la puesta en tensión**