

# LA RESTAURACIÓN DEL «VIADUCTO MADRID» EN REDONDELA (PONTEVEDRA)

## THE RESTORATION OF THE «MADRID VIADUCT» IN REDONDELA (PONTEVEDRA)

CARLOS NÁRDIZ ORTIZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*nardiz@ciccp.udc.es*

MIGUEL A. CAÑADAS MERCADO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*mcanadas@mcanadas.com*

**RESUMEN:** Los intentos realizados para restaurar el Viaducto de Redondela en los años 80, amenazado por la corrosión desde la década anterior después del abandono del paso por el viaducto de la línea de Madrid a Vigo, sólo se concretaron en unos trabajos previos a finales de los años 90, y en la redacción posterior del proyecto de restauración de la estructura metálica. El conocimiento del estado del viaducto derivado de los trabajos previos, en los que además de limpiar, sanear y aplicar a la estructura metálica una pintura de imprimación, se realizaron ensayos para el conocimiento de las características mecánicas y los daños sufridos por los elementos estructurales del viaducto, permitió la redacción del proyecto de restauración, según una metodología que consideramos necesaria para acometer la restauración de este tipo de obras, de forma que los elementos estructurales que sea necesario sustituir o reforzar, estén perfectamente definidos en el proyecto. El Viaducto de Redondela, por otra parte, por su valor simbólico para los habitantes de Redondela, junto con el otro viaducto de ferrocarril que sobrevuela el cielo de esta villa, y por su valor como patrimonio cultural y urbano a escala nacional, necesita llevar a cabo urgentemente las obras de restauración proyectadas, y aquellas obras que se precisen para su rehabilitación, si no se quiere evitar su desaparición.

**PALABRAS CLAVE:** PATRIMONIO DE LA INGENIERÍA, VIADUCTO, FERROCARRIL, RESTAURACIÓN, REHABILITACIÓN

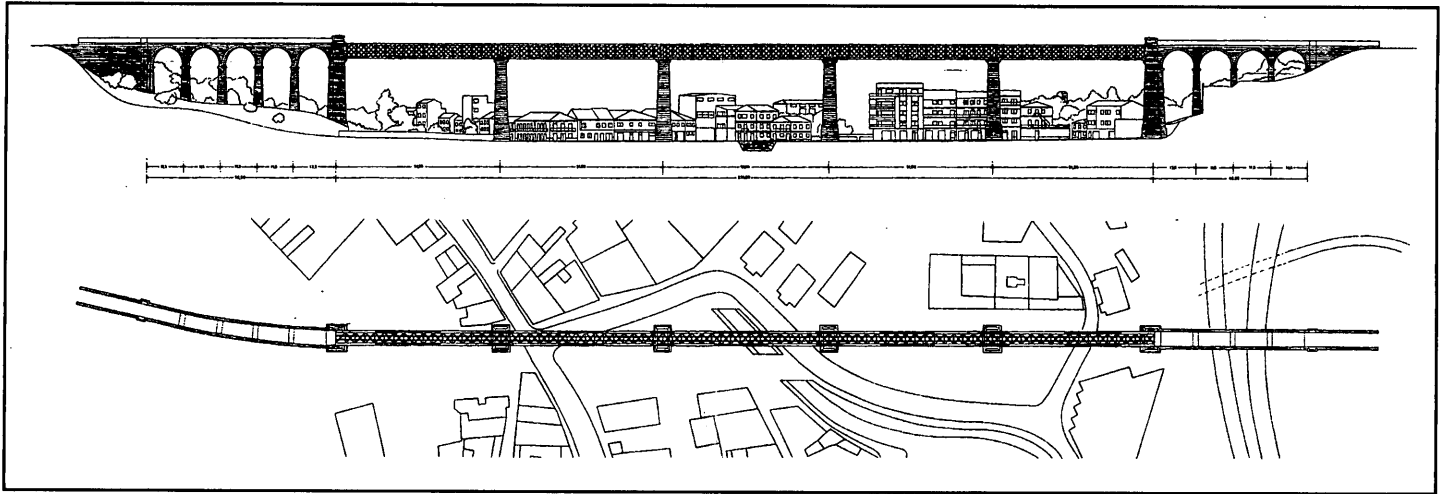
**ABSTRACT:** The attempts made in the 80's to restore the Redondela Viaduct on the Madrid - Vigo railway line as a result of ongoing corrosion ever since the viaduct was put into disuse in the 70's, only resulted in certain preliminary works carried out towards the end of the 90's and the subsequent drafting of a project to restore the steel structure. As a result of these preliminary works, which included cleaning, repairing and the application of a primer coat to the steel structure, together with tests carried out to ascertain the mechanical characteristics and the damage suffered by the structural elements of the viaduct, it was then possible to draft the restoration project. The project followed a methodology considered necessary to tackle the restoration of this type of structure and, subsequently, the structural elements needing replacement or strengthening are all perfectly defined in the project. The Redondela viaduct, together with the other railway viaduct which passes the town, have a symbolic value for the inhabitants of Redondela and forms part of this country's cultural and urban heritage. This then demands the urgent execution of the designed restoration works together with all other rehabilitation works in order to prevent its disappearance.

**KEYWORDS:** ENGINEERING HERITAGE, RAILWAY, VIADUCT, RESTORATION, REHABILITATION

### 1. INTRODUCCIÓN

El conocido como "Viaducto Madrid", en Redondela, dejó de prestar servicio a la línea férrea Madrid-Vigo a mediados de los años setenta del pasado siglo. Desde entonces, el proceso de corrosión fue avanzando progresivamente por ausencia de conservación, suponiendo su estado anterior una preocupación creciente para los habitantes de Redondela, población sobre cuyo centro urbano discurre el viaducto.

La preocupación por el estado del "Viaducto Madrid" se remita a principios de los 80, en donde la patina de óxido que cubría sus elementos metálicos, dio lugar a los primeros informes encargados por la Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia sobre el estado del viaducto. Del año 1982, data un primer informe redactado por los ingenieros de caminos Segundo Alvarado, Rafael Astor, Manuel Durán y Carlos Nárdiz, y del año 87, el informe de Salvador Tarragó y Julio Mar-



Planta y alzado del viaducto de Redondela.

finéz Calzón, ligado a una propuesta de rehabilitación. La preocupación sobre el estado del viaducto se vió desde entonces reflejada periódicamente en la prensa.

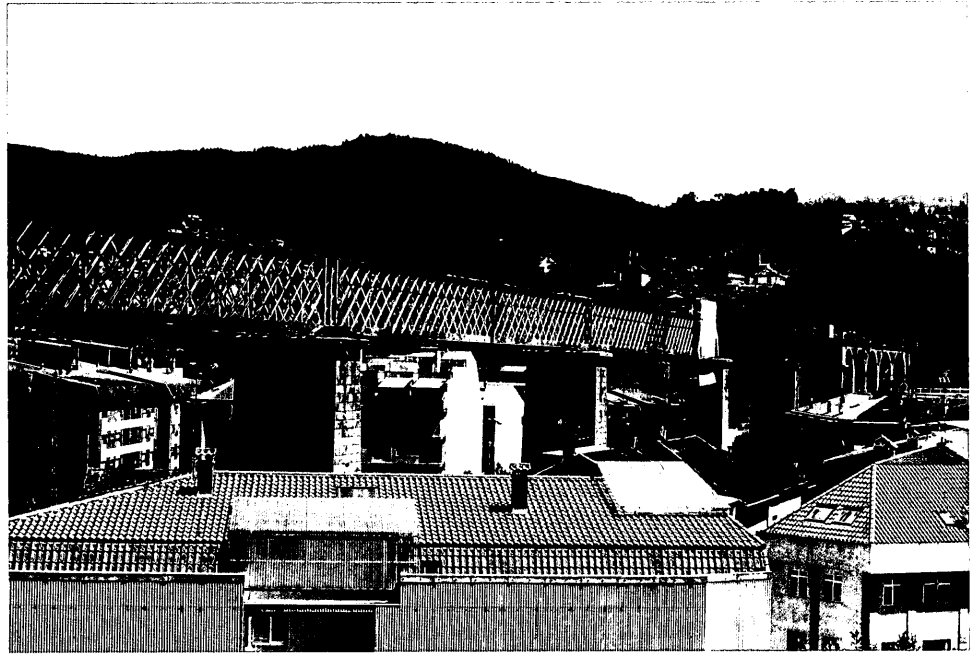
El carácter histórico, e incluso simbólico que tiene el viaducto, hizo que el clamor por acometer de inmediato su restauración, fuese no solamente una demanda de los ciudadanos de Redondela, sino de todos aquellos que ven en esta obra de ingeniería del pasado, ligada a la construcción del ferrocarril en Galicia, un patrimonio cultural y urbano a escala

nacional, cuyas dimensiones y situación lo convierten posiblemente en el puente de ferrocarril más interesante del siglo pasado que se conserva en España.

El Proyecto del Viaducto de Redondela fue redactado en 1872 por los ingenieros franceses de la "Compagnie de Fives Lilles", que fue a su vez la encargada de su construcción. Los limitados planos que se conservan del proyecto inicial, nos muestran el tramo metálico del viaducto apoyado en pilas metálicas, justificadas entonces por el temor existente a los asien-



Estado anterior del viaducto.



Estado anterior de las vigas de celosía, montantes, arriostramientos y viguetas. A la derecha, trabajos previos a la restauración, con el andamiaje móvil sobre el viaducto.

tos de las pilas de fábrica de gran altura. Estas pilas fueron elegidas acertadamente después durante la construcción, en sustitución de las pilas metálicas.

En Redondela se encuentra también el otro viaducto de ferrocarril, conocido como de Pontevedra, por haberse construido en los años 90 del siglo XIX, para prolongar la línea de Orense-Vigo hasta Pontevedra. Ambos viaductos aparecían recogidos en el libro "Puentes Históricos de Galicia" (Segundo Alvarado, Manuel Durán y Carlos Nárdiz, 1989) con un estudio monográfico de los mismos. Hoy, los dos viaductos de ferrocarril sobrevuelan el paisaje de Redondela, de tal manera que este núcleo no podría ser ya reconocido sin el recuerdo de los viaductos.

## 2. DESCRIPCIÓN

El "Viaducto Madrid" salva el valle y el núcleo de Redondela, mediante dos tramos de acceso construidos con bóvedas de sillería, y un tramo principal, construido con vigas de celosía metálica, sobre las que se apoya el tablero superior. Los dos tramos de acceso están formados por cinco y cuatro bóvedas de 10 m de luz cada una, y el tramo central por una viga de celosía continua, apoyada en cuatro pilas de fábrica, que dejan cinco vanos de 50 m de luz.

La tipología del puente responde a otros puentes de ferrocarril de la época, con tramos rectos formados por vigas de celosía continuas que sustentan un tablero superior. La tipología de viga continua se repite en otros puentes de ferrocarril de la época, y su aparición se corresponde con la extensión del uso del hierro (material dúctil y capaz de resistir tracciones

con seguridad) como material estructural en la ingeniería civil. Recordemos que en una etapa inmediatamente anterior, basada en el uso estructural de la fundición (material más resistente a la corrosión que el hierro, pero con el grave inconveniente de su fragilidad y, por tanto, de su inadecuación para trabajar a flexión o a tracción), la tipología más usada en puentes estaba basada en el arco.

A través de los planos de la planta y alzado del tablero (en los que nos apoyamos inicialmente en los realizados por Salvador Tarragó y Julio Martínez Calzón), nos relacionamos con las diagonales que conforman el alma de las vigas de celosía, de 3º orden, con el canto de las vigas, en torno a 1/11 de la luz, con los montantes, con las viguetas, largueros y arriostramientos de los vanos del tablero. Esta planta y este alzado, eran sin embargo insuficientes para describir el puente, por lo que realizamos un primer levantamiento in situ del vano próximo al apoyo (único al que podíamos acceder para comprender mejor el puente), ya que no disponíamos de planos del mismo, por no existir ni incluso en el proyecto del puente original que pudimos consultar en el Archivo de la Administración de Alcalá de Henares. Solamente pudimos disponer de una sección, que se correspondía parcialmente con la sección del tramo intermedio, y en la que no se reflejaban los refuerzos que sufrieron las viguetas y largueros después, ni las distintas secciones que aparecían en los apoyos y en los vanos del tramo metálico del viaducto.

La cabezas superior e inferior de las vigas de celosía, tienen un núcleo común en T formado por piezas de hierro pудelado (al que luego nos referiremos), unidas por angulares mediante roblones. Sobre este núcleo común, se van superponiendo chapas sucesivas que siguen el diagrama escalonado

de esfuerzos, con el que se simplificaba en el época la ley de momentos flectores. Posteriormente, con motivo del refuerzo de las viguetas y largueros, se reforzaron con perfiles laminados en U los tramos centrales y los tramos en torno a los apoyos de las pilas, coincidentes con los tramos de mayor momento.

Las dos cabezas aparecen unidas mediante las diagonales (que constituyen propiamente el alma de las vigas), las cuales están formadas por chapas de palastro unidas a dos angulares en L mediante roblones, que les aportan la rigidez necesaria, y que están presentes tanto en las barras a tracción como en las barras a compresión. La unión entre las diagonales y las cabezas se realiza de manera alterna a cada lado del alma de las cabezas en T.

Las vigas de celosía aparecen complementadas mediante los montantes, que en este caso, como se ve en la sección transversal, juegan un papel fundamental de relación entre las cabezas y las diagonales, evitando a su vez la deformabilidad en sección de las vigas al paso de las cargas. Estos montantes, se unen mediante roblones al alma de las cabezas, teniendo secciones más reducidas en la parte intermedia de las vigas, para dejar paso a las diagonales.

Son estos montantes los que reciben directamente las cargas de las viguetas y se las transmiten a las cabezas superior e inferior de las dos vigas principales de celosía que constituyen el esqueleto resistente del puente. Las viguetas, formadas por perfiles laminados en doble T, construidas con dos cabezas y un alma unida con perfiles angulares mediante roblones, aparecen reforzadas inferiormente por vigas en vientre de pez, colocadas posiblemente en los años 20 ó 30 del siglo XX para hacer frente al aumento de las sobrecargas. Estas vigas permiten a su vez el paso del arriostamiento transversal que vemos en sección.

A la resistencia de las viguetas al paso de las sobrecargas, contribuían además los largueros, dispuestos bajos los carriles, que limitaban la deformabilidad de las viguetas. Los largueros están formados por vigas en doble T, de menor canto que las viguetas, unidos mediante angulares roblonados a las mismas. Cuando se reforzaron las viguetas se reforzaron los largueros, en este caso a través de vigas rectas, con su alma central aligerada con cruces de San Andrés que tienen el mismo canto que el refuerzo de las viguetas. En la sección puede verse también lo que se conserva del anterior andén en voladizo, sobre el cual apoyaba un pequeño paso de madera bordeado con una barandilla, hoy desaparecida.

### **3. LOS TRABAJOS PREVIOS A LA RESTAURACIÓN**

En el año 1997 redactamos el proyecto de "Trabajos Previos a Restauración do Viaducto Madrid en Redondela (Pontevedra)" que sirvió de base a su contratación en 1999, y la finalización de los "trabajos previos" en el año 2000. Los tra-

bajos previos se realizaron mediante la colocación de un andamiaje metálico colgado sobre la estructura metálica del viaducto, movido sobre carriles situados en la cabeza superior de las vigas, y protegido en todo su contorno de una lona ignífuga, que permitió independizar la limpieza del viaducto de los edificios del entorno. Con ellos se acometió la limpieza y saneamiento de la estructura metálica del viaducto con chorro de agua a presión y mezcla de arena, para la eliminación del óxido acumulado; la aplicación a toda la superficie de la estructura metálica del viaducto, limpiada y saneada, de una capa de imprimación con pintura de calidad epoxi aluminio; la realización de ensayos tanto para el control de la ejecución de la obra, como para el conocimiento de los daños sufridos por la estructura a causa de la corrosión, y para el conocimiento de las características mecánicas del viaducto. No fue necesario, sin embargo, la reposición o refuerzo de los elementos estructurales más urgentes que recogían los trabajos previos, cuyas deficiencias pusiese de manifiesto la limpieza y el saneamiento de la estructura metálica.

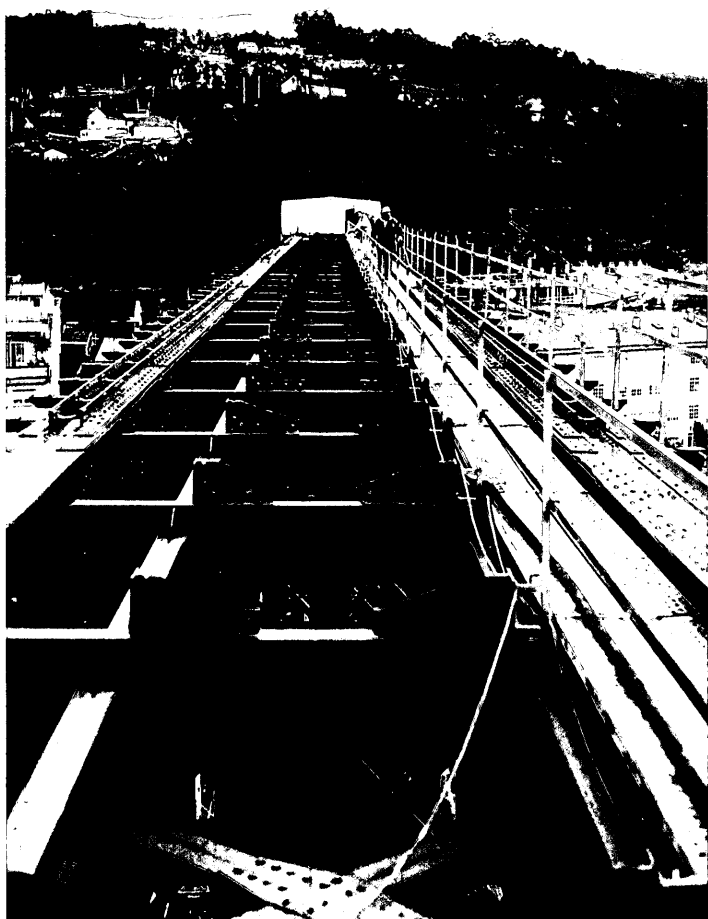
El conocimiento que resultó de esta primera intervención sobre el viaducto, tanto de las características de estructura metálica del viaducto, como de su estado actual, fue la base con la que se redactó "Levantamiento Planimétrico del Estado Actual y Análisis Estructural del Viaducto Madrid en Redondela (Pontevedra)" que presentamos a la Dirección Xeral de Patrimonio Cultural a finales del año 2000.

Se entendía, en todo caso, que el levantamiento planimétrico se refería a la estructura metálica, ya que en una fase posterior, como se hacía referencia en la propuesta de restauración que acompañaba a los trabajos previos, debería acometerse tanto la limpieza y restauración de la estructura de la fábrica de los accesos y de las pilas (en general en buen estado, por lo que su coste sería mínimo) y la rehabilitación del viaducto para un uso distinto del que se construyó, al estar desviada desde mediados de los años 70 la línea de ferrocarril de Vigo a Ourense.

El levantamiento planimétrico del estado actual del Viaducto, por otra parte, fue la base sobre la que se redactó el proyecto de restauración de la estructura metálica del viaducto, por lo que previamente a la justificación del proyecto que redactamos, comentaremos, como hacíamos en el levantamiento planimétrico, su estado actual.

En los trabajos previos realizábamos un diagnóstico inicial del estado del Viaducto. En ellos decíamos que la simple inspección visual mostraba que el viaducto en esos momentos era recuperable, y que la corrosión no amenazaba estructuralmente los elementos principales.

Los planos que aportábamos con el levantamiento planimétrico, en los que se señalaban los defectos estructurales derivados de la corrosión, después de la limpieza y el saneamiento de la estructura metálica, con la separación entre los perfiles medida por los distintos grados y con las pérdidas de sección de la estructura metálica, establecidas también en sus



distintos grados (que luego comentaremos), nos relacionaban con un diagnóstico más ajustado del estado actual del viaducto. Los planos que acompañaban al levantamiento planimétrico se adjuntaban al proyecto de restauración, incluidos los defectos estructurales de los cinco vanos del viaducto Madrid.

Los planos aparecían ordenados en veintidós tramos, correspondiendo cada tramo a la distancia de 12 m, que existe entre cuatro montantes de las vigas principales, separados cada uno 3 m. El último tramo, con el que cubríamos los cinco vanos del viaducto, era el de menor longitud, al incluir solamente la separación entre dos montantes. En cada tramo, se recogían seis planos, que se correspondían con los alzados de las dos vigas del viaducto, con la planta superior e inferior de las viguetas, largueros y arriostramientos, con las secciones de los distintos tramos y con los alzados de los largueros y sus refuerzos.

En dichos planos se complementaban las secciones de los elementos estructurales del viaducto con la medida di-

**Tablero del viaducto durante los trabajos previos y estado de la estructura metálica después de los trabajos previos.**

recta de los espesores reales con aparatos de ultrasonidos, y aunque en estos planos se recogían los espesores medios, los ensayos realizados aportaban datos del espesor real de todos los elementos estructurales, en los que aparte de la pérdida de espesor derivadas de la corrosión, existían pequeñas diferencias entre los distintos tramos. Igualmente en estos planos, se recogían hasta ocho tipos distintos de diagonales y seis tipos distintos de arriostramientos de piso.

De ellos deducíamos que la corrosión había afectado fundamentalmente a las diagonales de las vigas principales de celosía, a los arriostramientos de los pisos superior e inferior, y a las cartelas de unión de los arriostramientos entre sí y con las cabezas superiores e inferiores de las vigas. Igualmente había afectado a las cabezas superiores de las vigas aligeradas con las que se reforzaron en los años 20 y 30 del siglo XX las vigas y los largueros, construidas ya con acero. Se trataba, por tanto, de elementos estructurales secun-

darios en los que la acumulación de la suciedad y el agua, habían acelerado el proceso de corrosión.

Los elementos principales, las cabezas superior e inferior de las vigas principales de celosía, los montantes, los arriostamientos de los apoyos y centros de vano, las viguetas y los largueros, no habían sufrido en la misma medida el proceso de corrosión, determinando los espesores reales que se recogían en el levantamiento planimétrico, pérdidas de espesor que no afectaban al comportamiento estructural del viaducto.

El análisis de los materiales del Viaducto Madrid y de los daños observados en la estructura metálica, que se comentan a continuación, junto con las distintas secciones de los elementos estructurales, nos permitieron entender mejor las características con las que se construyó el viaducto en Redondela, diferenciando los elementos estructurales primitivos, de los refuerzos posteriores.

#### 4. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL VIADUCTO

##### 4.1. Materiales Existentes y sus Características.

El material original del viaducto es un hierro pudelado típico de las grandes construcciones metálicas de la segunda mitad del siglo XIX. Dicho material, con un contenido de carbono muy inferior al de un acero, era obtenido mediante descarbonación de la fundición en hornos de reverbero (procedimiento de pudelado), "quemando" parte del carbono de la misma.

El material así obtenido era una masa semisólida, algo esponjosa, que aún contenía escoria, y que presentaba una falta de homogeneidad tal en sus propiedades mecánicas, que lo hacía poco apto para aplicaciones estructurales. Para resolver este problema, dicha masa era fraccionada en "bolas" de unos 50 kg. de peso que eran sometidas a unos tratamientos mecánicos posteriores de los que dependían las propiedades resistentes del hierro y, por tanto, su precio y sus aplicaciones.

Usando la terminología de la Inglaterra victoriana, el producto de menor calidad en la escala de los hierros era el denominado "No. 1 iron", que se obtenía a partir de la bola anterior mediante su martillado mecánico para ser compactada; posteriormente se le daba forma sin recalentamiento (eran típicas las barras de 1 pulgada cuadrada de sección), inicialmente a golpes (antes del desarrollo de los procedimientos de laminado) y posteriormente mediante laminado.

El destino real de este "No. 1 iron" ("pudelado pero no apilado", "puddled but not piled") era servir de punto de partida, en forma de stock de barras, para fabricar hierro de calidad superior, y no era utilizado para ninguna aplicación estructural. Ensayos de la época muestran que su resistencia última a tracción presenta una dispersión grande (de 140 N/mm<sup>2</sup> a 390 N/mm<sup>2</sup>), con una ductilidad más bien baja

para un hierro dulce (alargamiento en rotura entre un 0% y un 5%).

El producto inmediatamente superior en la escala de calidades era el denominado "No. 2 bar". Este hierro se obtenía de la siguiente manera: 1) las barras del "No. 1 iron" eran cortadas en trozos de unos 0,50 m. de longitud y apiladas en capas sucesivas de direcciones ortogonales hasta formar cubos de unos 0,50 m. de arista atados con alambre de hierro; 2) Esta pila de barras era calentada hasta la "temperatura de soldadura" (unos 1.300 °C) y entonces era golpeada mecánicamente hasta soldar las barras y convertir la pila en una masa sólida; 3) A continuación, la masa era laminada en caliente y convertida de nuevo en barras.

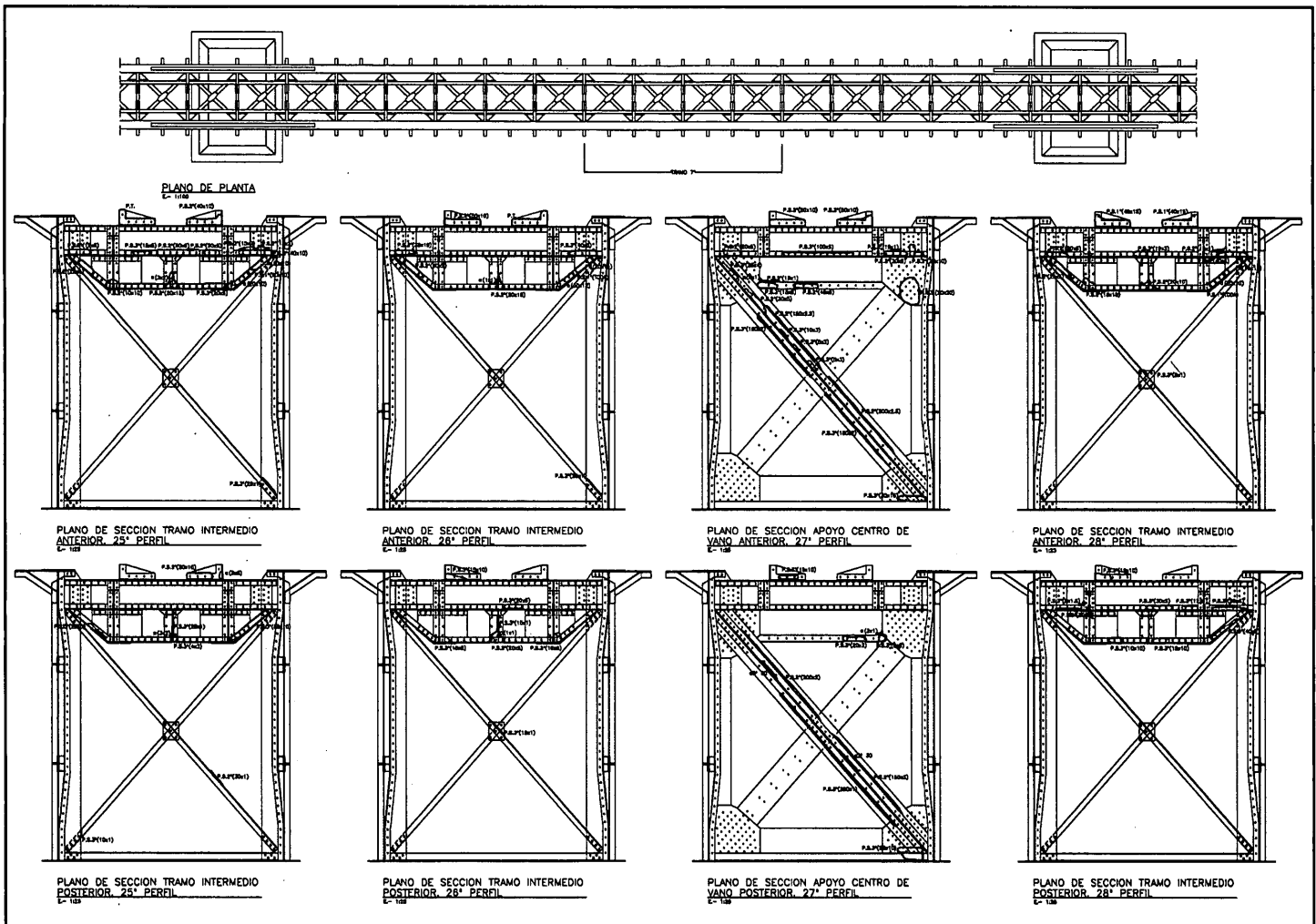
Esta "No. 2 bar" era el hierro comercial de menor calidad, y era destinado a ser usado en trabajos de herrería. Aplicando de nuevo el proceso anterior a las "No. 2 bar" se obtenían las "No. 3 bar", válidas para aplicaciones estructurales en edificación e ingeniería civil. Hemos de suponer, por tanto, que el hierro utilizado en el viaducto se corresponde con un producto de calidad similar a las citadas "No. 3 bar".

Según ensayos de la época, una resistencia a tracción típica de un hierro nº 2 ("No. 2 bar") podía ser de unos 410 N/mm<sup>2</sup>, con un alargamiento en rotura siempre superior al 10%. Las características mecánicas de un hierro nº 3 ("No. 3 bar") deberían ser cuantitativamente similares a las de un hierro nº 2, pero con la ventaja de tener garantizada una uniformidad muy superior en sus propiedades.

Los ensayos realizados sobre muestras obtenidas del viaducto, nos indican que el límite elástico (0,2%) del hierro es del orden de 270 N/mm<sup>2</sup> y, por tanto, similar al del un acero estructural "corriente" contemporáneo (por ejemplo, un A42b de la NBE-EA-95, o su equivalente actual S 275 JR de la UNE EN 10025). Su resistencia última a rotura sería algo inferior a la de los aceros citados, pero con la contrapartida de una mayor ductilidad (alargamiento en rotura del orden del 30%).

Presenta, sin embargo, el inconveniente de poseer un contenido alto en azufre, según revelan los ensayos realizados (0,09%), lo que nos condujo a restringir severamente el uso de la soldadura como medio de unión. De todas formas, el debido respeto a la estructura original ya nos hizo adoptar las uniones atornilladas con tornillos de alta resistencia simulando roblones como el método de unión más adecuado a nuestro caso, prefiriendo, por tanto, la sustitución de elementos completos.

En las observaciones iniciales del viaducto nos llamó la atención el hecho de que refuerzos realizados con acero años después de la construcción de la estructura original solían presentar un grado de corrosión más avanzado que el hierro original, lo cual se explica al comprobar que el hierro presenta un potencial electroquímico de disolución en cloruro sódico ligeramente inferior al del acero, lo que convierte al hierro en un metal más "noble" que el acero y, por tanto, resulta protegido por él.



#### 4.2. Daños observados en la estructura metálica y su clasificación.

Los daños observados en el viaducto se debían fundamentalmente a la corrosión de los materiales metálicos, prácticamente sin protección durante sus años de abandono, e inmersos en una atmósfera agresiva (proximidad al mar y elevada densidad del tráfico de vehículos en su entorno).

En el Proyecto recogíamos los Ensayos realizados durante los trabajos previos, que nos permitieron conocer los daños debidos a la corrosión. En este sentido, pudimos apreciar que la intensidad de la corrosión era algo mayor en las vigas más próximas al mar que en las orientadas hacia el interior.

Se consideraron y cuantificaron en este sentido dos tipos de daños derivados de la corrosión:

- Pérdida de sección en elementos metálicos, determinada mediante la medición de espesores de acero con ultrasonidos, y que fue clasificada en los grupos que a continuación se indican en función de la pérdida de es-

#### Sección de un tramo de viaducto y daños observados.

pesor ocurrida respecto al espesor teórico inicial (adoptando como tal al existente en zonas de piezas en las que se ha estimado que el grado de corrosión era insignificante):

- P.S.-1º: Pérdida de espesor entre 5 mm. y 10 mm.
- P.S.-2º: Pérdida de espesor entre 2 mm. y 5 mm.
- P.S.-3º: Pérdida de espesor entre 1 mm. y 2 mm.
- P.T.: Pérdida de espesor total en una chapa.

- En elementos compuestos por más de un perfil simple (por ejemplo, en diagonales formadas por dos ángulos L acoplados y unidos por roblones) la corrosión en ambos perfiles simples progresando desde sus caras en contacto creó una capa de óxidos de hierro confinada entre los dos perfiles. El aumento de volumen que experimentó el material al oxidarse ha tendido a separar los dos perfiles, pero al oponerse a esta separación los roblones, se ha producido un abombamiento de ambos perfiles entre roblón y roblón. En estos casos se midió el abombamiento

máximo o separación máxima entre perfiles y se clasificó de acuerdo con los siguientes grados:

- $\alpha$ -1º: Separación entre perfiles igual o superior a 20 mm.
  - $\alpha$ -2º: Separación entre perfiles entre 10 mm. y 15 mm.
  - $\alpha$ -3º: Separación entre perfiles inferior a 5 mm.
- Respecto a las consecuencias estructurales de la corrosión, pudimos observar graves reducciones de sección en diversos elementos, llegando a veces a alcanzarse su completa inutilización, debiendo citarse por su mayor importancia el caso de diversas diagonales de las vigas principales. También hay que citar la pérdida de continuidad en algunos nudos de la celosía horizontal superior.
  - Reducciones fuertes de sección también se identificaron en ciertos elementos secundarios sin trascendencia estructural (por ejemplo, en las barras de soporte bajo los desaparecidos carriles), lo que consideramos que tenía importancia solamente desde el punto de vista estético.

## 5. EL PROYECTO DE RESTAURACIÓN DERIVADO DEL ESTADO ACTUAL

La restauración del viaducto, se relacionaba por una parte con la sustitución de los elementos estructurales afectados por la corrosión, con grados que no serían admisibles en orden a una conservación futura del mismo, y por otro con la aplicación de las correspondientes capas de pintura que complementasen la pintura de imprimación dada en los trabajos previos, conjuntamente con la limpieza y el saneamiento de la estructura metálica.

Se entendía, por tanto, como decíamos antes, que la propuesta de la restauración que recogía el proyecto se refería a la estructura metálica del viaducto, ya que en una fase posterior habría que definir las condiciones de la estructura de fábrica de los estribos y las pilas, cuyo estado parece adecuado. Únicamente en la proximidad de los apoyos se detectaron grietas, originadas por el movimiento de los mismos, que hoy aparecen detenidas al no estar actuando las sobrecargas sobre el viaducto. Los apoyos, formados por juegos de cinco rodillos cilíndricos, muestran que no están sirviendo para las contracciones y dilataciones del viaducto con la temperatura. La desaparición de los movimientos derivados de las sobrecargas dinámicas, por la inviabilidad de recuperar el viaducto para un uso parecido al anterior, hace que el estado de los apoyos de las vigas principales no sea importante desde el punto de vista del comportamiento estructural futuro del viaducto.

En función del alcance de los daños existentes en cada elemento de la estructura, se propuso una serie de repara-

ciones tendentes a restablecer, dentro de lo posible, un grado aceptable de eficacia estructural de cara a los usos futuros de la estructura, todo ello sin perjuicio de las imprescindibles revisiones periódicas y otras posibles reparaciones que sin duda sería forzoso realizar a lo largo de la vida futura del viaducto si se deseaba evitar su desaparición.

Concentrándonos en la estructura metálica, se proponía sustituir diagonales completas, cuando aparecían afectadas en gran parte de su longitud por abombamientos entre perfiles debidos a la corrosión en grados  $\alpha$ -1º, y sustituciones parciales cuando el grado de corrosión  $\alpha$ -1º había afectado a tramos parciales de las barras. Igualmente se proponía sustituir arriostramientos completos, cuando la corrosión había penetrado en los mismos grados entre los perfiles, siendo inviable su limpieza por cualquier otro procedimiento, o que existiese pérdida de sección en grados PS-1º PS-2º que afectase a su comportamiento estructural. Al mismo tiempo se sustituían las cartelas que servían para la conexión de los arriostramientos entre sí, o con las vigas o viguetas, cuyas pérdidas de sección P.S-1º, P.S-2º o PT, comprometiesen su comportamiento estructural.

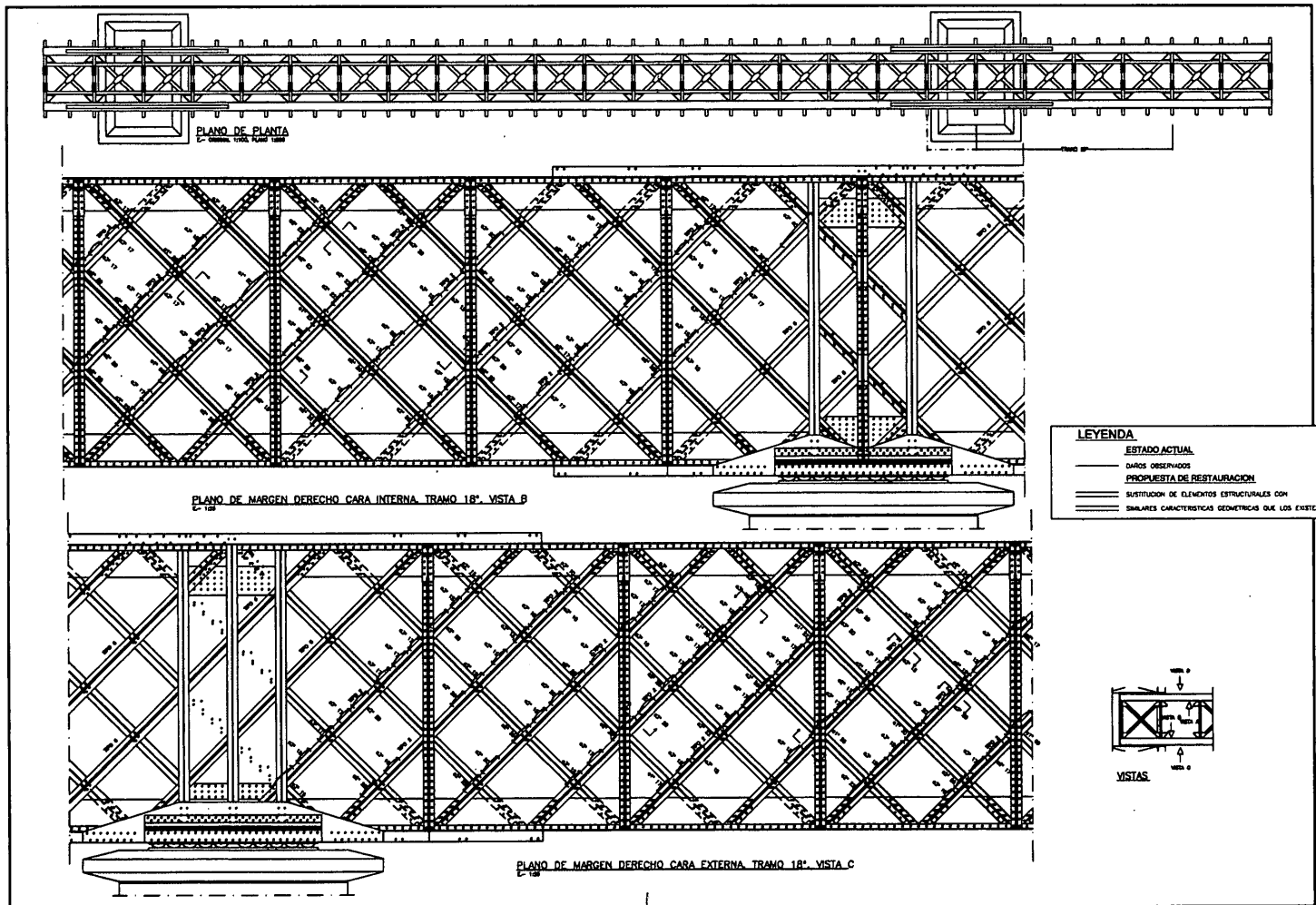
En relación con la sustitución de las diagonales de las almas de las vigas principales, y con los arriostramientos, solo se permitía tener desmontada e interrumpida una única diagonal o arriostramiento, debiendo quedar esta completamente conectada y acabada antes de proceder a desmontar o a interrumpir otro elemento estructural.

Frente a la alternativa de la soldadura, utilizada en reparaciones parciales que se han hecho del viaducto, proponíamos la sustitución de piezas completas, excepto en algunos tramos parciales de las diagonales. Ello se debía a la alta proporción de azufre que resultó de los ensayos realizados con el material original del puente. No ocurría así con las vigas aligeradas de refuerzo de las viguetas y montantes, cuyo acero permitía la utilización de la soldadura sin riesgo. Estas vigas de refuerzo, aparecían, con pérdidas de espesor importante en las cabezas inferiores, receptoras directas de la sujeción derivada en su momento del uso del viaducto.

La necesidad, sin embargo, de sustituir estas cabezas inferiores, que podría justificarse por efectos estéticos, no nos pareció necesaria por limitaciones económicas, al aparecer tapadas por el tablero el día que se rehabilite el viaducto. Estas cabezas inferiores, por otra parte, al responder a un aumento de las sobrecargas dinámicas, y haber desaparecido éstas, por estar el viaducto resistiendo hoy su peso propio, ya no son necesarias.

Los refuerzos y sustitución de barras y chapas se proyectaron con acero S275RJ (según UNE EN 10025 Y Eurocódigo 3), utilizándose en la sustitución de los perfiles, los del mismo tipo existente en el mercado cuya sección es la más parecida a la original, por lo que se proponía una tabla de equivalencias.





Propuesta de restauración de un tramo de vigas de celosía del viaducto.

Las uniones entre los nuevos elementos colocados, entre sí, y con los antiguos, se proyectaron con tornillos de alta resistencia con cabeza redonda (falsos roblones), con el fin de mantener en lo posible la imagen de las uniones del viaducto original. Todos los elementos de acero que se montasen, en sustitución de los elementos antiguos, considerábamos que debían estar chorreados e imprimados con la misma pintura de imprimación que el resto de los elementos metálicos limpiados y saneados durante los trabajos previos.

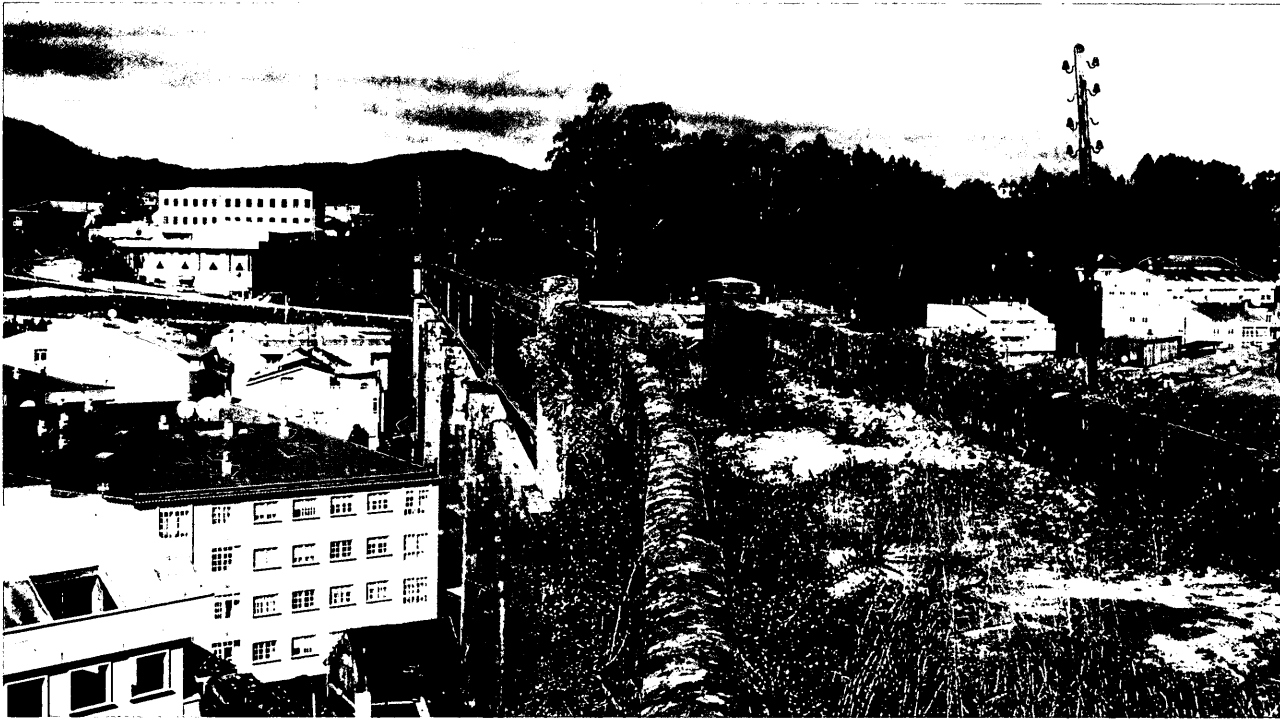
La pintura de imprimación aplicada en los trabajos previos, considerábamos que era totalmente insuficiente para la protección del viaducto contra la corrosión, de tal manera que si la restauración recogida en nuestro proyecto, se retrasase en el tiempo, advertíamos que la corrosión volvería a atacar a los elementos limpiados y saneados, haciendo inútil la fase previa de la restauración. La aplicación de la pintura de acabado que sirviese en el futuro para la protección del viaducto contra la corrosión, requería además la limpieza previa de todas las superficies imprimadas, la

aplicación de una capa intermedia de pintura del mismo tipo que la pintura de la capa de imprimación, y finalmente la aplicación de una capa intermedia con pintura epoxi aluminio y una capa de acabado a base de poliuretano alifático.

## 6. LA PROPUESTA FUTURA DE RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN

En la Memoria de los trabajos previos recogíamos las tres fases que considerábamos necesarias para la restauración y rehabilitación del Viaducto Madrid en Redondela.

En la FASE I, incluíamos los trabajos previos ya realizada, con la limpieza y el saneamiento de la estructura metálica del viaducto. En la FASE II, incluíamos la reparación de los elementos estructurales del viaducto, el pintado posterior de la estructura metálica, que recogía el proyecto de restauración que acabamos de comentar. Quedando, por tanto, para la FASE III, la reparación de las estructuras de fábrica, en gene-



Estado actual del acceso y el tablero del viaducto.

ral en buen estado, excepto en la proximidad de los apoyos en las pilas y estribos, y la rehabilitación del viaducto para un uso distinto de aquel para el que se construyó, al estar desviada la línea.

Aunque como decíamos antes, el estado de la movilidad de los apoyos no es importante desde el punto de vista del comportamiento estructural futuro del viaducto, si lo será en el futuro desde el punto de vista de las contracciones y dilataciones del viaducto con la temperatura, por lo que en esta fase habría que intentar su sustitución, junto con la reparación de los enlosados que sirven de transición con las pilas y estribos.

Liberado el viaducto del paso de los trenes, consideramos que su uso futuro debería ser peatonal, y estar ligado al atractivo de atravesar el valle por el viaducto y dar continuidad al recorrido peatonal, o a los medios no motorizados que se apoyen en la traza abandonada de la vía de ferrocarril. Incluso la accesibilidad actual entre el núcleo urbano de Redondela, y el futuro tablero del viaducto, podría ser mejorada.

En cualquier caso, dejar el Viaducto Madrid una vez restaurado sin uso, contribuiría a su deterioro posterior, por lo que el esfuerzo realizado en estas dos fases, la ejecutada, y la que recogíamos en el proyecto, que acabamos de explicar, aún no ejecutada, necesitaría complementarse con la rehabilitación para un uso compatible con su papel de elemento patrimonial, que forma parte de patrimonio histórico, urbano y paisajístico de Redondela, y de Galicia. No es exagerado decir, que la actuación que proyectamos para la Consellería de Cultura e Comunicación Social de la Xunta de Galicia en este Viaducto, puede servir de modelo a otras actuaciones en el futuro, en Galicia y fuera de Galicia.

#### NOTA FINAL

Agradecimiento.- Deseamos agradecer a D. Juan Baltar (de EMESA) sus valiosas opiniones, comentarios y sugerencias durante la redacción de los Trabajos Previos, y a los técnicos de la Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia (Dirección Xeral de Patrimonio Cultural) su apoyo y confianza. ■

#### BIBLIOGRAFÍA

–Alvarado, Segundo. Durán, Manuel. Nárdiz, Carlos. "Puentes Históricos de Galicia". Xunta de Galicia. 1989.

–Friedman, D. "Historical Building Construction. Design, Materials & Technology". W.W. Norton & Co. New York. 1995  
–Nárdiz Ortiz, Carlos. "El territorio y los caminos en Galicia. Planos históricos en la red

viaria". Colección "Ciencias y Humanidades" de CICCIP. Madrid. 1992.

–Morgan, J. "The Strength of Victorian Wrought Iron". Proceedings ICE, Structures & Buildings, Nov. 1999.