

PREMIO 1996

Carretera Nacional 632 de Ribadesella a Luarca Tramo: Novellana-Cadavedo; Arco de la Regenta, Viaducto Pintor Fierros

[*Asturias / ESPAÑA*]

Por

Juan José Arenas de Pablo (ICCP), Fernando Hacar Rodríguez (ITOP),
Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos (ICCP), Manuel González González (ICCP),
Ramón Gurriarán Canalejas (ITOP), Marcos J. Pantaleón Prieto (ICCP)

RESUMEN

El tramo Novellana-Cadavedo de la nueva Carretera N-632 discurre entre los municipios de Cuchillero y Valdés, en la zona costera Occidental de Asturias. La longitud del nuevo trazado es de 12.800 m. que sustituye a 22.320 m. de la antigua carretera.

La nueva carretera es esencial en el cambio deseado de las relaciones económicas y humanas, no solo de la región asturiana sino también en el conjunto de la Cornisa Cantábrica.

El elemento estructural más importante es el viaducto del Pintor Fierros, de 381,6 m. de longitud, que salva el río Cabo por medio del Arco de la Regenta, de 194 m. de luz y 50,37 m. de flecha.

ABSTRACT

The new stretch of the N-632 between Novellana and Valdés in the west coast area of Asturias is 12.800 m. long instead of the 22.320 m. of the old road.

The new road is an essential element of the economic and social transformation not only of Asturias but of the whole of the Cantabrian coast.

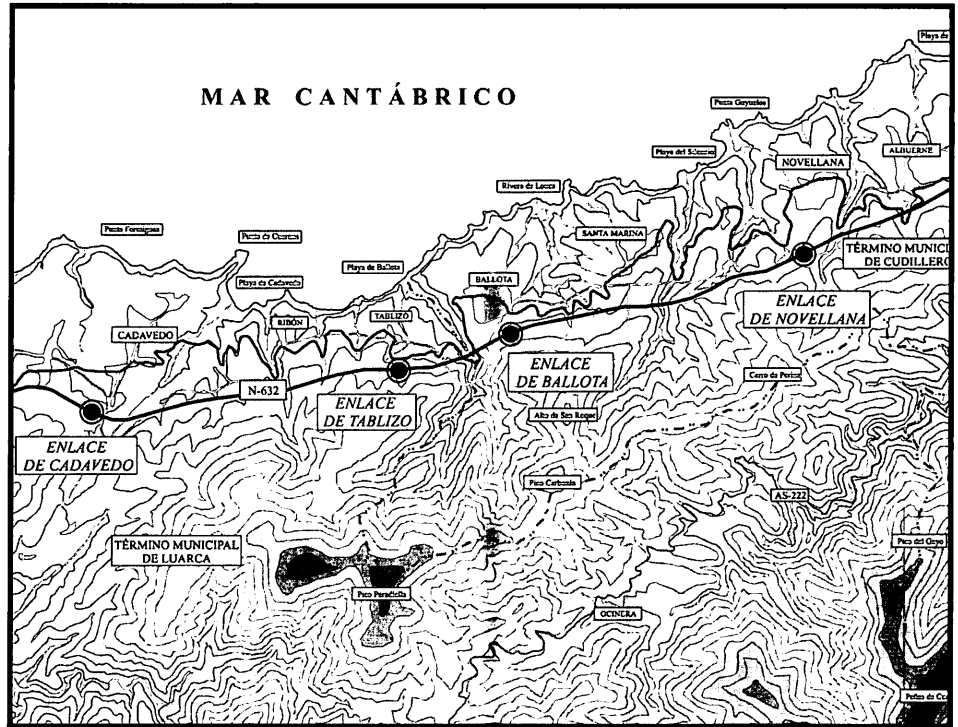
The most important structural element is the Pintor Fierros viaduct, 381,6 m. across the River Cabo. The Regent Arch has a span of 194 m. and a height of 50,37 m.

1. PREÁMBULO

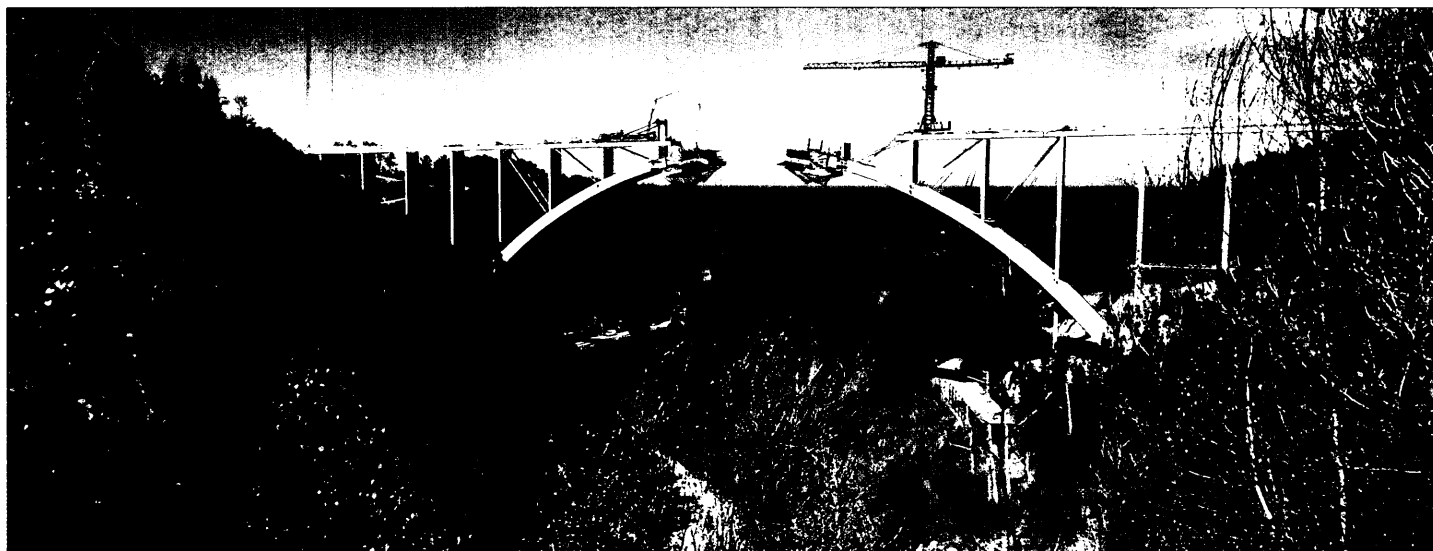
El tramo Novellana-Cadavedo de la nueva Carretera N-632 discurre entre los municipios de Cudillero y Valdés, en la zona costera Occidental de Asturias paralelo a la costa entre los puntos kilométricos 133,560 y 155,880, con una longitud de nuevo trazado de 12.800 m, que sustituyen a 22.320 m de antigua carretera. Pertenece a la red General de Carreteras del Ministerio de Fomento. En 1988 se comenzó a redactar el proyecto de trazado, que se terminó en 1991; el proyecto de construcción se redactó en 1991; la obra fue licitada el 18 de Junio de 1992, adjudicada el 26 de Noviembre de 1992, e inaugurada el 7 de Febrero de 1996. El presupuesto ascendió a 8.068,98 millones de pesetas. Tiene una longitud de 12,8 Km. y sustituye al viejo tramo de 23 Km. La calzada es de 7 m., con arcenes de 2,50 m., y radio mínimo de 450 m. De los 2.000 m. de los nueve grandes viaductos, 382 m. corresponden al Arco de la Regenta Ana Ozores, construido por un novedoso proceso constructivo de avance en voladizo triangulado con tirantes; que aprovecha durante la construcción de la estructura definitiva: el arco, las pilas y el cajón metálico

La necesidad de la obra, derivada de la compleja geografía de Asturias hizo también complejos su proyecto y construcción, ya que Asturias es una región abrupta, fruto de diversos ciclos y plegamientos, su estructura, encajada entre la mar, con sus acantilados, y la Cordillera Cantábrica, esta formada por algunos valles transversales amplios y otros perpendiculares a la costa. Estos últimos desembocan en la mar flanqueados por altos cordales.

Por eso Asturias es mucho más extensa en la realidad que en los coloreados mapas, por eso los 10.500 Km² que le atribuye la geografía física son engañosos. Asturias, como el erizo de nues-



© ANA MULLER



© ANA MULLER

tros nogales, es rugosa; para ir de un lado a otro hay que subir, bajar y vadear constantemente; por eso hay que ver a Asturias no como una hueca piel de tambor sino como un romántico acordeón. Desde nuestra primera Época la topografía fue difícil, aquí siempre fue duro, y arriesgado, entrar salir y comunicarse interiormente. La comunicación a lo largo de la Cornisa siempre fue complicada. En la Época romana existía una vía paralela a la Costa. Posteriormente el camino Costero aparece en referencias medievales, asimismo uno de los Caminos de Santiago discurriría, también, por la Costa ente Avilés y Luarca. En las referencias de los Siglos XVI, XVII se menciona un camino de herradura de 22 leguas, que unía, otra vez por la Costa, a Oviedo con Castropol.

Solo a finales del siglo XIX se convirtió éste camino en Carretera. Carretera complicada cuyo trazado se ha mantenido hasta el presente, cuando se inició, a partir de 1985, una actuación global en el itinerario. Comenzada por los tramos más sencillos, Luarca La Caridad, La Caridad Vegadeo y Avilés Soto del Barco, continuada por otros y culminada por el más complicado, el tramo Novellana Cadavedo, que cierra el itinerario discurriendo por el piedemonte que

limita a un estrecha franja litoral. La nueva carretera es la primera, quizás con la excepción de la calzada Romana, que tiene un nivel funcional similar al resto de las vías españolas de su época, en este caso la nuestra, y capaz de, mediante un desdoblamiento a autopista que se realizará en su momento, mantener en el futuro, y en función del tráfico, ese nivel similar al del resto de la Nación.

La estructura física de Asturias hace que las subcomarcas del Oriente (rasas litorales, surco Sella Piloña), la gran Comarca Central (marcada por el sistema Nalón Narcea), y la Comarca Occidental (rasas costeras, Canero-Esva, Navia y Eo), están aisladas entre si por la naturaleza. Por otro lado las comunicaciones, con una estructura en peine, hacían inviable una relación intercomarcal fluida, de modo que la zona Occidental, a la que da acceso esta carretera, estaba (con tiempos de recorrido del orden de 1 h. 35' para turismos, y de 3 h. para vehículos comerciales, entre Oviedo y Luarca) funcionalmente alejada del Centro de Asturias.

Por otra parte el conjunto de la Cornisa Cantábrica, región industrial en declive, puede tener su salvación en la creación de una gran región lineal poli-

nuclear, que acelere los intercambios, e introduzca la innovación en regiones muy ancladas en la industria anterior y en si mismas.

La nueva carretera es esencial en este cambio deseado de las relaciones económicas y humanas. Al bajar el tiempo de recorrido entre Oviedo y Luarca a, aproximadamente una hora, con una carretera, por otra parte, más cómoda, segura y con un menor consumo de combustible, se han cambiado de modo radical las comunicaciones intraprovinciales, pasándose de viajes periódicos a una relación fluida, constante y diaria. Ello mejorará tanto la relación intercomarcal, como la geografía futura de Asturias.

En cuanto al conjunto de la Cornisa, esta obra y el resto de las actuaciones en el itinerario, permitirán bajar el tiempo de recorrido entre Oviedo y La Coruña al entorno de 3 horas, lo que abre unas relaciones reales, hoy inexistentes.

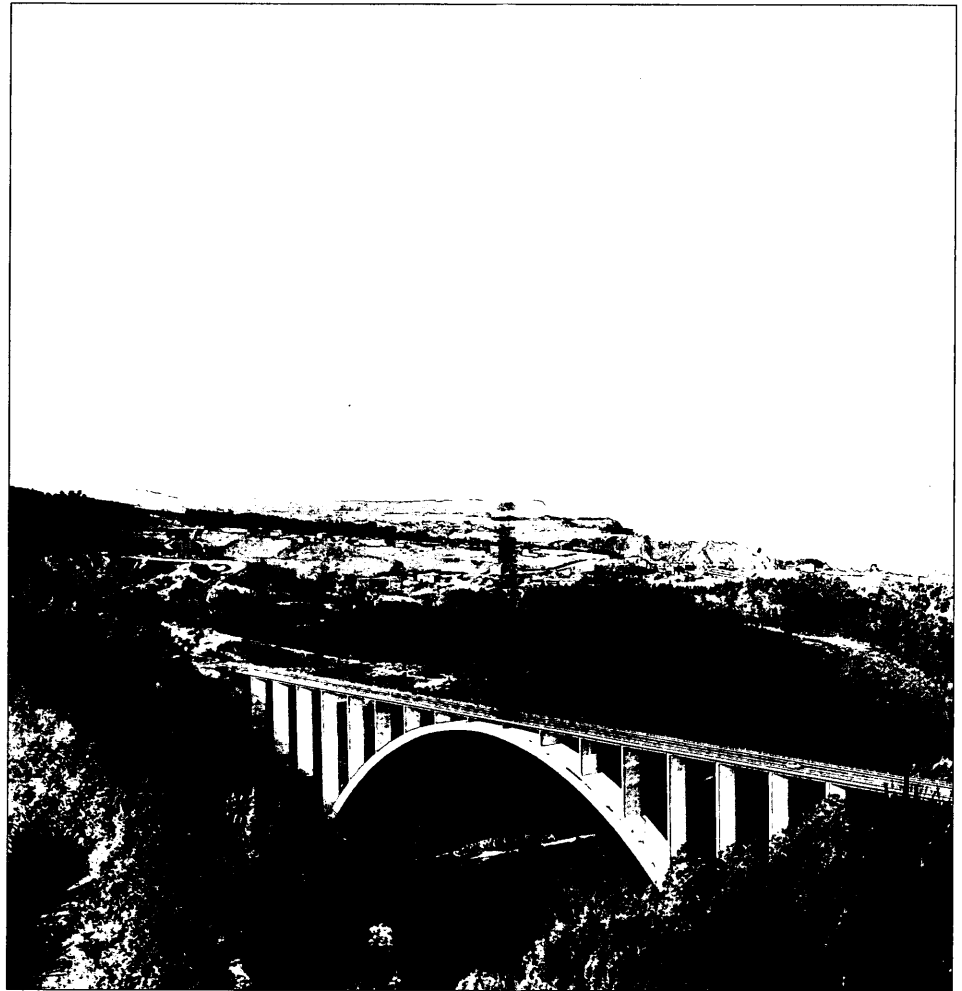
Esta mejora en la funcionalidad incide en las relaciones sociales. Varias Comarcas compartimentadas y endogámicas, se abren al exterior, se producen relaciones entre ellas. Los hombres de la macrociudad del Centro de Asturias conocerán la Costa Occidental, el campo,

sus gentes. Los periféricos podrán acceder a la sanidad, la enseñanza, la cultura. El Occidente ya no será mas el "far west" que, hasta hace, poco mencionaba la prensa. Por otra parte las relaciones sociales entre las Comunidades Autónomas de la Cornisa al simplificarse las comunicaciones, aumentarán y todo intercambio produce, fusión social.

2. EL MARCO DE LA OBRA

Al iniciar el trabajo, nuestra realidad era la zona litoral comprendida entre Novellana y Cadavedo que es muy representativa del territorio de Asturias, región abrupta, encajada entre los acantilados que rompen en la mar y la cornisa Cantábrica.

Físicamente la rasa litoral por la que discurre la nueva carretera es una banda, estrecha, llana y de ancho variable, ocupada por praderías, cultivos y alguna pequeña huerta próxima a los edificios, que nace en la cresta de un abrupto acantilado y que rompe contra el pie de la gigantesca ola de la cadena litoral. En su desarrollo, paralelo a la mar, desaparece en ocasiones, fundida en este, al hacerse la cordillera costa. También en ocasiones es hendida por el verde cuchillo, de plateados reflejos, que forman las profundas vaguadas por las que caen al mar las aguas de diversos regatos, arroyos y ríos. En cada uno de los trozos en los ríos dividen a la rasa se desarrolla la vida asturiana, (aquí, con una estructura aún muy tradicional, basada en la pesca y la agricultura), centrada en las Caserías, lo que implican una determinada distribución del espacio, con una zona de huertas próxima a las viviendas, unos cultivos y prados más lejanos y unas leñas en el monte. Sobre este mosaico de edificaciones y cultivos, en cada espacio reina un pequeño pue-



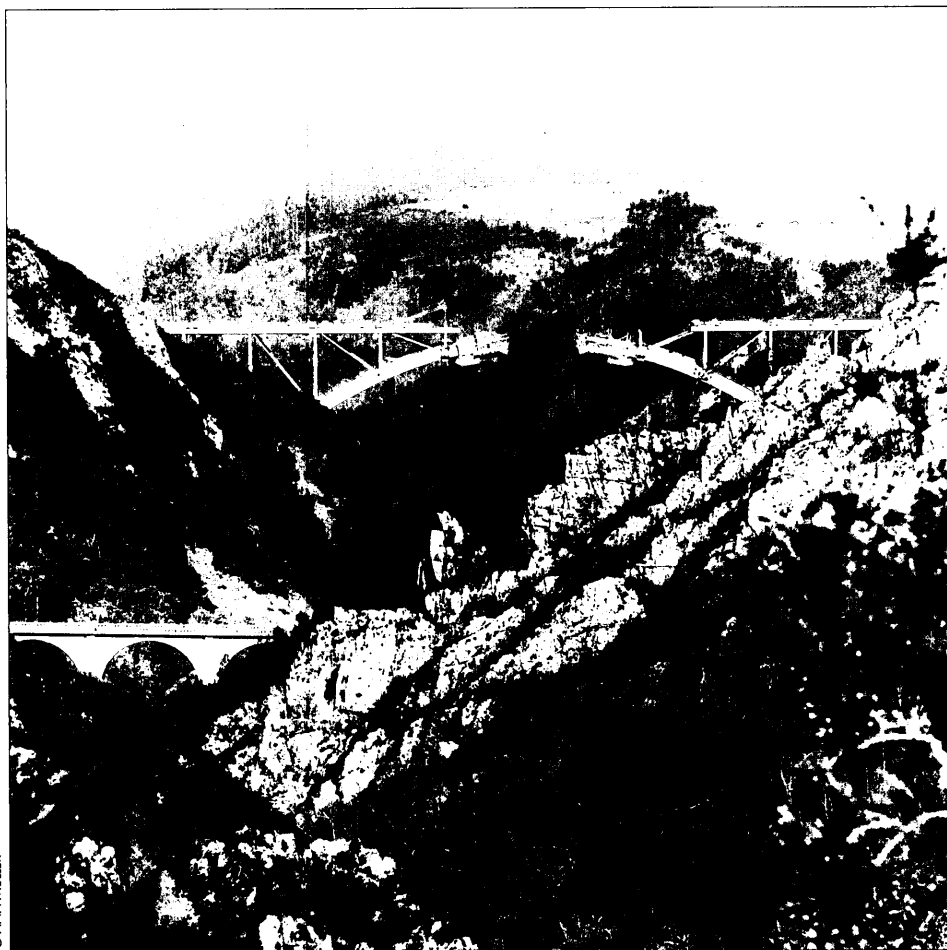
© ANA MULLER

blo, fruto de la agrupación de Caserías y de la existencia de personas, que trabajan fuera de la zona en la industria, que sirve como pequeño centro de servicios. Los pueblos se unen a través de la antigua carretera que, con un trazado que se puede remontar a las calzadas romanas, discurre por la rasa y busca el fondo de los valles, para desde allí ascender penosamente hacia la rasa siguiente. Un pequeño ferrocarril de vía estrecha, a la cota superior enhebra la banda de la carretera, con sus túneles y con sus viaductos de pequeños arcos múltiples.

Nuestra reflexión sobre esta carretera comenzó enmarcándola en el conjunto de Asturias, para darnos cuenta de su similitud con otros estudios que estaban, en fases mas primitivas, siendo

analizados y que fueron proyectados posteriormente; la autopista de Cantábrico, por ejemplo. También en esta fase fuimos conscientes de la, dado que existía la ineluctable exigencia social de construir la carretera y dada la excepcional belleza de Asturias, necesidad de actuar en relación con el paisaje en base a un discurso teórico estructurado. El análisis y la intuición nos hicieron desarrollar un discurso cuyas conclusiones expongo a continuación:

Los conceptos referentes a la belleza de los lugares y el propio concepto de paisaje son polisémicos, habiendo variado a lo largo del tiempo, ya que fruto de una sensibilidad que ve los ritmos de la naturaleza en el espacio, reflejan el alma, la proyección de la sensibilidad y las aspiraciones de cada hombre en el



© ANA MULLER



© ANA MULLER

mundo, y todas ellas cambian con el tiempo.

El paisaje europeo es el fruto de la acción durante siglos del hombre, trabajando siempre en una línea de sensible sentido común.

Una línea muy significativa en las teorías actuales de conservación es "conservadora" en el peor sentido de la palabra, ya que ve al paisaje, no como algo vivo, sino como un cuadro muerto.

En paisajística, como en casi todo en esta vida, el hombre medio rechaza la innovación, por eso en épocas faltas de liderazgo es muy difícil admitir tanto la evolución como la revolución. Pese a todo las nuevas actividades, como las carreteras, pueden formar parte del paisaje si se tiene un sentido correcto de la composición, si se comprende, en toda su profundidad, la cultura popular que creó el paisaje europeo y si se olvida, en cambio, la idea de que el paisaje está "congelado" y que lo nuevo crea un impacto que hay que eliminar o disimular.

Dado que como las carreteras son una exigencia social hay que hacerlas, y dado que los técnicos tenemos que hacerlas formando parte del paisaje y permitiendo, desde ellas, una lectura coherente del entorno. Con ello y con buen gusto, ya que aunque la belleza es subjetiva es objetivable, es posible crear, jugando con la escala y con la composición una belleza paisajística nueva que respete a la naturaleza haciendo a la carretera formar parte de ella.

Para desarrollar estas ideas era necesario integrar las ideas de muchos técnicos, por ello en esa especie de equipo de rugby que formamos todos intervinimos ingenieros, ingenieros expertos en cálculo de puentes, geotécnicos, arquitectos paisajistas, y constructores, de ese "maremagnum" con el orden y el espíritu de equipo que forman la

esencia del rugby salió la obra y, lo que es mejor, el tercer tiempo que nos ha unido para siempre en la amistad.

3. LAS VIVENCIAS DE NOVELLANA-CADAVEDO

3.1. EL TRAZADO

Al mirar el paisaje, e interiorizarlo en nuestra sensibilidad, nacieron visiones de la carretera. La sentíamos como un criatura viva, que debía ver y ser vista con su propia personalidad y que debía armonizar con el entorno.

De esas visiones surgió la idea de la armonía existente en el juego entre dos realidades, gráciles en si mismas, que se funden por instantes, o durante un largo trecho sin perder su independencia y preservando su personalidad.

Por ello concebimos a la carretera como una banda, desenrollada sobre la ladera de la montaña, que sintiendo sus latidos, se fundiese, a veces, con ella pero que mantuviese su personalidad lineal y, en consecuencia, su fuerza, su flexibilidad y su estilización. Comprendido el ritmo de la cordillera litoral, sus variaciones de orientación, sus secuencias de curvatura, y los niveles variables de perderse la rasa en la montaña, lo demás fue dejarse llevar por la música y hacer acordes entre el ritmo de la carretera y el de la naturaleza; surgen así los vértices de las alineaciones y las zonas convexas en las que montaña y vía se funden. Esta idea de contacto, de fusión, nos determinó, en cierto modo, la cota de la carretera ya que hay un nivel, ligeramente más alto que el de los pueblos, en el que la morbidez de la rasa se une con la cadera de la montaña. Allí la vía sin esfuerzo alguno y sin perder su contacto con la sierra se encarna con la ladera y con los núcleos habitados.

La carretera sube y baja acompañando a la rasa, se funde con la montaña, o



serpentea libre en las vaguadas. Solo en un paraje, el mas alto del trazado, en el que la rasa se eleva hacia la montaña con la forma ancestral de un bosque de carbayos vía y montaña se penetran en forma de corto túnel. Para mantener la armonía se limitó la altura máxima de los taludes a un valor compatible tanto con la linealidad de la vía, como con las formas de la montaña, por otra parte se resaltó, mediante viaductos, la revolera que, con fuerte desnivel, la ca-

rrertera hace desde una montaña hasta la siguiente.

El usuario en general tienen la visión frontal guiada por los elementos significativos de la propia vía (puentes y pasos superiores) siendo el paisaje el referente lejano, viéndose con el rabillo del ojo, de un lado la montaña; la rasa, al fondo la mar, de otro. En los contactos con la montaña y al salir de ellos girando, se ve, se siente en rápido travelling, el estallido del paisaje.



La fusión con el entorno implica también a los habitantes, por ello los enlaces y el área de descanso del puente se diseñaron, además de encajados en el terreno con el criterio de utilizar a los pueblos como zona de servicio de la carretera.

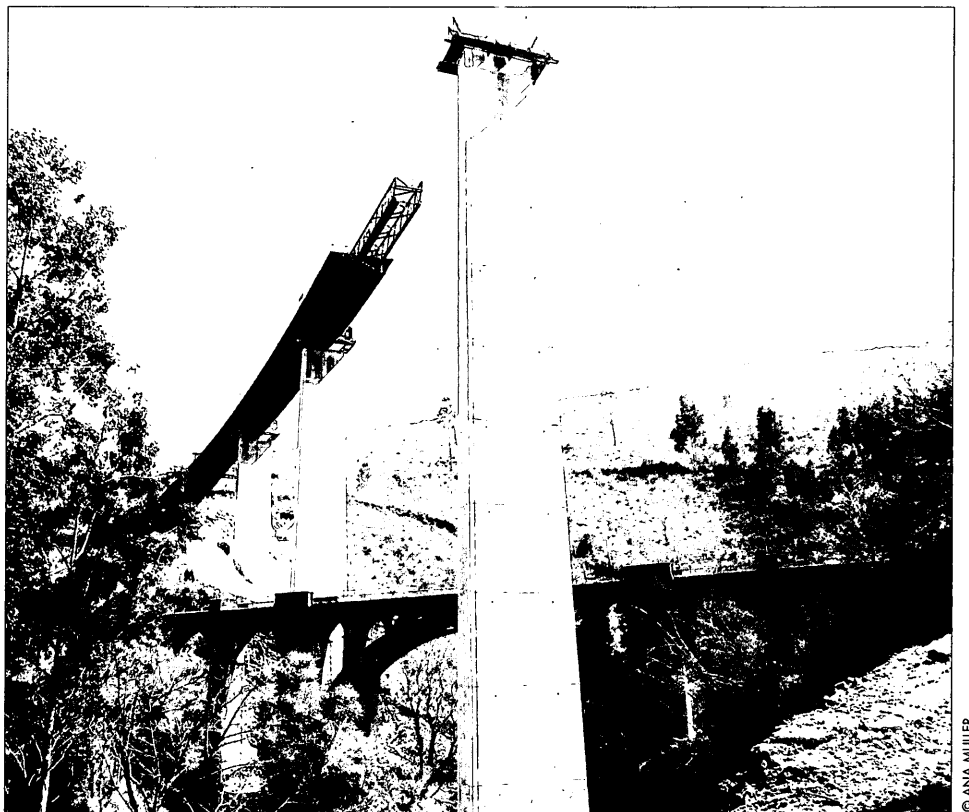
3.2. LOS VIADUCTOS Y LOS PASOS

En nuestra lectura de la carretera la revolera que se desarrolla en las vaguadas es esencial, por eso los puentes pasos y viaductos, ligados y subordinados al conjunto, son fundamentales para la lectura global de la carretera, ya que su tipología es decisiva, a la escala en que se ven, para mantener la armonía entre la ruta y el terreno. La visión de los viejos puentes de Feve, con los que la nueva carretera se entrecruza, nos llevo a una línea de trabajo que condujo a unos puentes guiados por el tablero, que es una línea nítida y fuerte, apoyada en unas pilas, altas y esbeltas. Se proyectaron por ello unos puentes de vanos rectos, en viga continua, de luces medias y cantos significativos, superiores a los que saldrían apurando el calculo; en cambio las pilas que unen los tableros al suelo son muy esbeltas. Esta inmensa tensión horizontal del puente tiene que romper en las laderas. Ello implica fusionar, en planos perpendiculares, la linealidad del puente con la superficie del terreno, realizando a la vez las funciones de apoyo y de contención. En nuestros puentes la solución se plasma en un elemento diferenciado, el estribo, que, a través de una sucesión de superficies curvas, se une a la función de contención, resuelta por medio de muros de hormigón. Muros que se van disolviendo sucesivamente en otros, con diversas formas y en diversos planos, para desaparecer en las laderas.

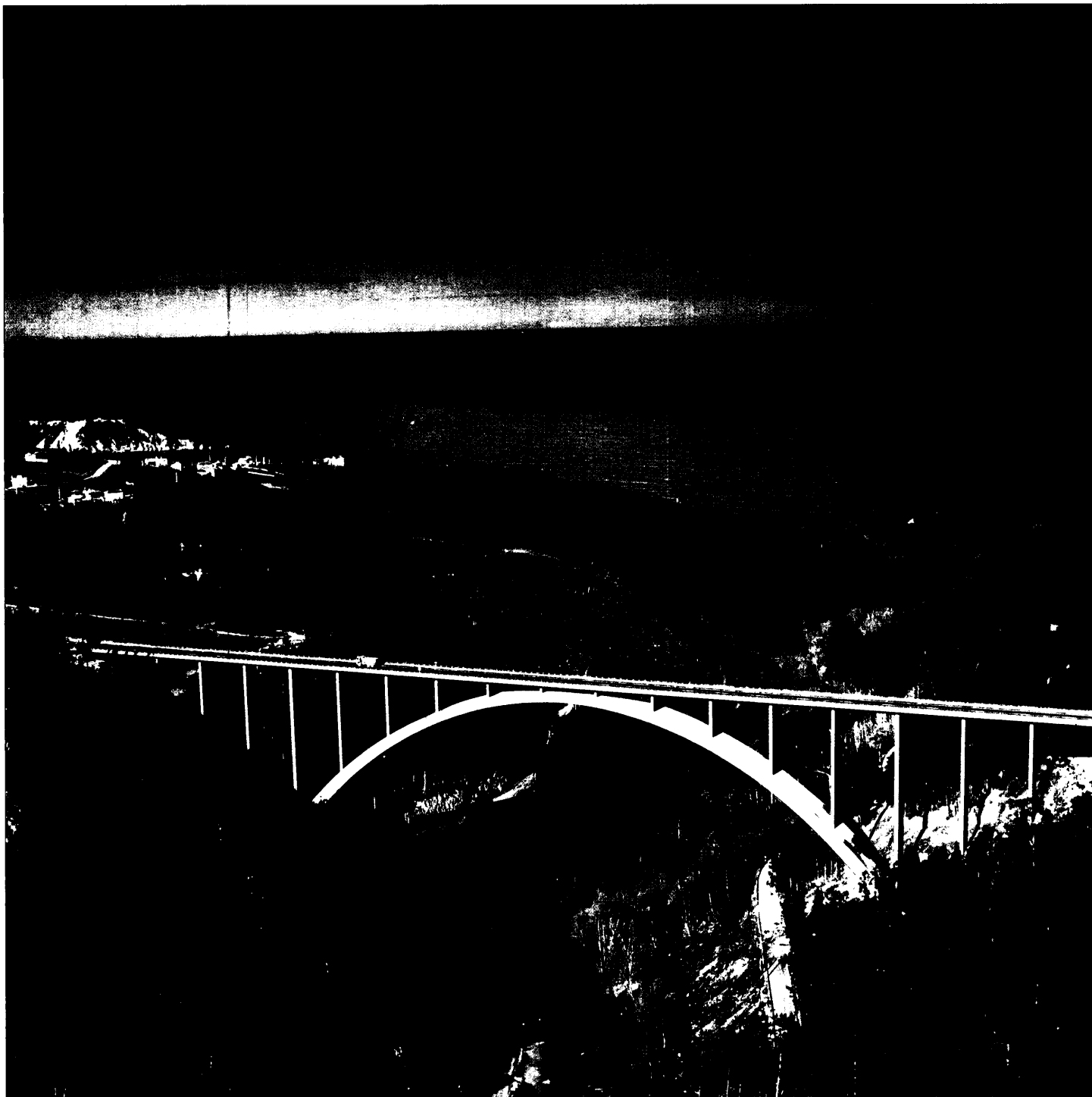
Solo en un puente se hizo un ligero cambio, que nació de imaginar que el terreno de apoyo podía ser un arco; por



© ANA MULLER



© ANA MULLER

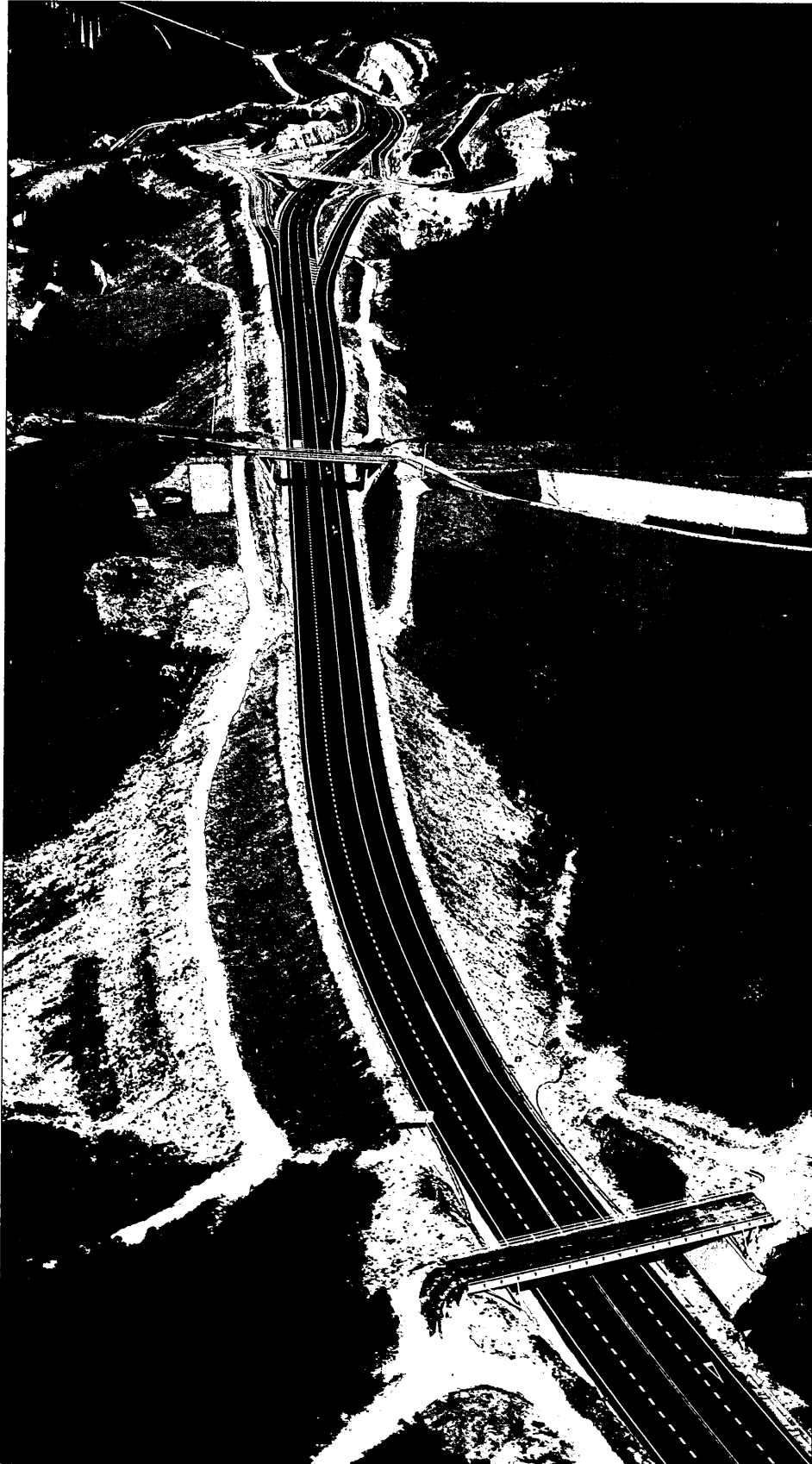


© ANA MULLER

ello se soportó un viaducto, cuyo diseño se ajusta a la línea general, por medio de un arco, ya que el valle del río Cabo por su dimensión, su forma, su profundidad y su ubicación, entre la sierra y la mar llevaba a la mano a dibu-

jar un arco, portador de un viaducto que rimase con los restantes puentes. Tanto la luz del arco (194 m), su flecha (50,37 m), su altura sobre el fondo del valle (105 m) como su forma (tres círculos de 110, 135 y 175 m de radio por

semiarco) estaban, en cierto modo, dados por la naturaleza. Antes de llegar a la solución se tantearon varias alternativas. Las luces mayores eran pretenciosas y faltas de tensión, las menores raquílicas. Otras leyes de curvatura eran ajenas



tanto al valle como a la naturaleza del puente.

El viaducto sobre el arco se resolvió de manera similar al resto de los puentes, con luces mas cortas que en aquellos por pedirlo así la naturaleza especial del "terreno" que teníamos, el arco, y la exigencia conceptual de mantener la linealidad. Que se acentúa, con la misma técnica que en los otros puentes, por la proporción canto luz de los tableros, por las luces pequeñas de estos, por el paso sin variación de la forma de las pilas desde los vanos exteriores al arco a los que están en este (11 de los 21 vanos del viaducto de 381,6 metros de largo), por el criterio de no apoyar ninguna pila en la clave del arco y por el criterio de mantener un hueco significativo, en clave, entre el arco y el tablero.

Todo ello acentúa la independencia del tablero separado visualmente del arco pero, en una mirada mas profunda, integrado con él. Los materiales (hormigón para el arco, acero para el cajón del tablero y hormigón para su losa), los colores y la barandilla contribuyeron a esta sensación.

Un elemento esencial para nosotros fue el conjunto de los pasos que cruzan la carretera, ya que a través de ellos la vía se integra en el entorno, al fundirse con él, implicándose en el fluir de la vida que, pasando sobre la ruta, discurre entre sus márgenes. Aquí privó también el concepto de linealidad, tanto en el aspecto de diafanidad de la carretera, como en el de que el conductor mantuviese la transparencia de visión. El tablero asimilable a un encaje y el juego de taludes en los emboquillos hacen que ello se consiga. Según la mayor o menor inclinación de los pasos la diafanidad se consiguió bien con tableros de sección trapecial aligerada, bien con tableros formados por celosías tubulares desarrollados espacialmente. Este entramado espacial, que consigue gran transparen-

cia, es complejo estructuralmente pero aparentemente muy natural, lo que se refleja por ejemplo en la complicada zona de apoyos, en la que el tablero, de sutil encaje, se transforma en un felino presto al salto.

4. EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LO IMAGINADO

4.1. EL CONJUNTO

Como ya se ha dicho el trazado tiene una longitud de 12,8 km. La calzada que es de 12 m., dispone de dos carriles de 3,50 m. y dos arcenes de 2,50 m. El radio mínimo empleado es de 450 m.

La máxima pendiente es del 3,5 %. Hay tres carriles de vehículos lentos, la longitud total de vía lenta es de 5.118 m.

A lo largo del trazado hay cuatro enlaces: en Cadavedo, en Tablizo, en Ballota y en Novellana, que se encargan de comunicar la nueva vía con las poblaciones asentadas en la franja litoral.

La explanación de la traza se ha realizado con taludes, que van desde el 1H/2V en zonas de roca, hasta el 1H/1V en desmontes de terreno arcillo limoso. Los terraplenes tienen talud 3H/2V.

El firme se ha diseñado para aprovechar los recursos de la zona y de forma que satisfaga las duras condiciones climáticas, con frecuentes y persistentes lluvias. La categoría del tráfico de dise-

ño es T1. El paquete de firme dispuesto es bituminoso, de 30 cm. sobre una explanada de zahorra natural de 50 cm. de espesor, tipo E3.

El drenaje, tanto longitudinal como transversal, ha sido muy estudiado dado la climatología de la zona.

A la altura de la población de Ribón hay un falso túnel, construido con una bóveda de 13,90 m. de anchura interior y 10 m. de altura, que comprende los dos carriles de la carretera y la vía lenta del lado de Cadavedo, en sentido Galicia Asturias. Su misión es conservar el entorno de una zona boscosa de importante valor medio ambiental y estético.

Para el mantenimiento de los antiguos caminos reales y de uso forestal se han diseñado pasos inferiores y superiores, según las necesidades topográficas.





Los pasos bajos, también empleados en todos de los enlaces, se han diseñado en sección marco.

Los pasos superiores, tanto de caminos como de enlaces, se han diseñado como estructuras mixtas de acero hormigón, de 6 m. y 10 m. de anchura respectivamente. Tienen longitudes entre 26 m. y 46 m. Se distinguen dos tipologías, una primera con canto de 1,36 m. de sección trapezoidal con un núcleo triangular continuo y cerrado, unido

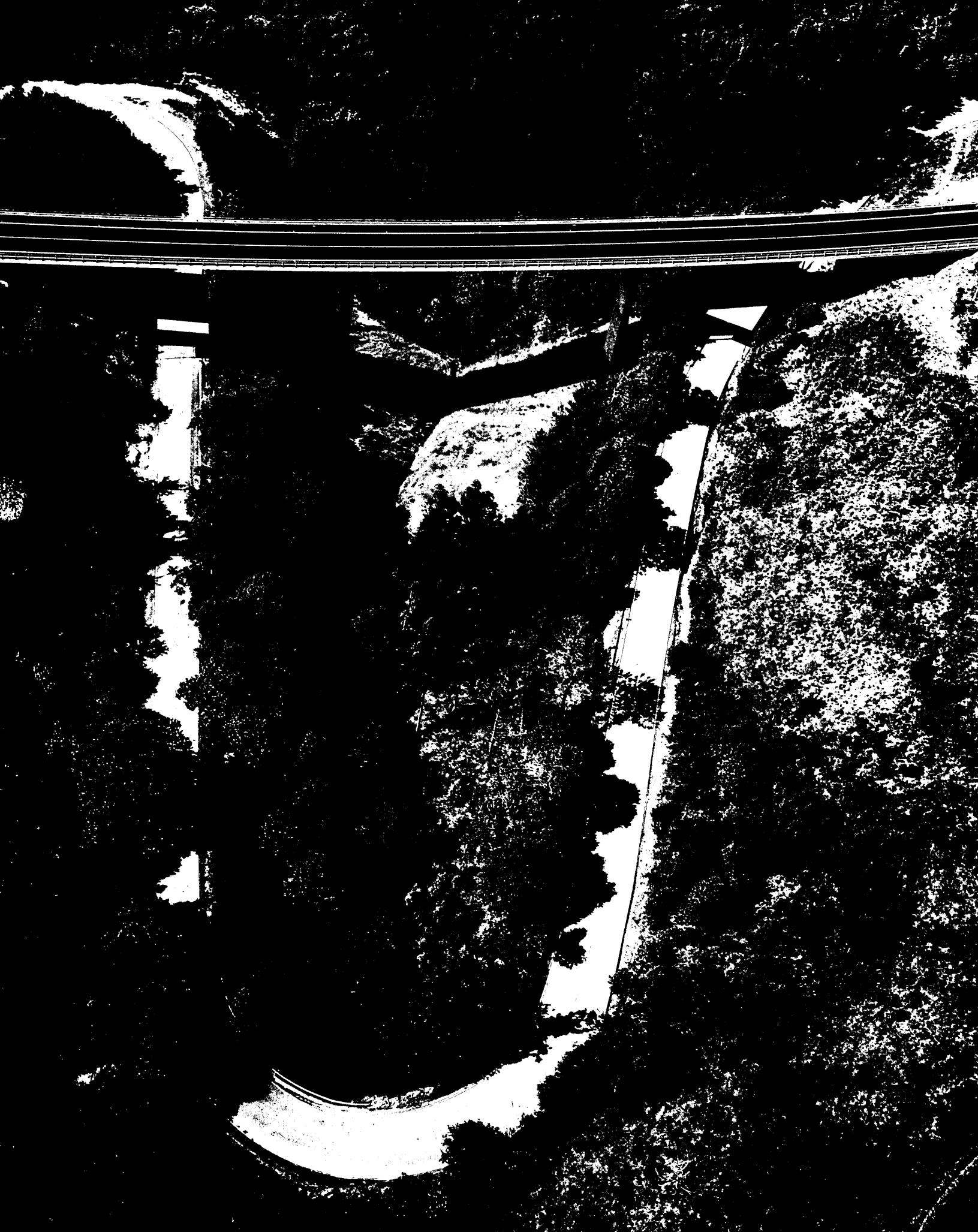
por el vértice superior a la losa. El segundo diseño es una celosía espacial a base de tubos, de 2,10 m. de canto, muy transparente. La primera sección, mas cerrada, se emplea en los caminos mas llanos y la segunda en los caminos con fuerte pendiente. Ambos diseños contribuyen al desarrollo de las posibilidades formales del acero en la construcción de puentes.

Para superar las frecuentes vaguadas que interrumpen la rasa se han cons-

truido 9 grandes viaductos, con una longitud total de prácticamente dos kilómetros; 381,6 m. corresponden al Arco de La Regenta Ana Ozores, el resto son viaductos de una tipología, con ligeros matices, hermana.

El tablero es de sección mixta con 12 m. de anchura y un canto total de 2,20 m. El cajón metálico tiene una anchura de 6,50 m. por un canto de 1,40 m. Esta construido en acero autooxidable y autoprotector, tipo Ensacor de la factoría de Ensidesa en Asturias. Las losas son de hormigón armado con un voladizo de 2,85 m. y un espesor variable entre 0,40 m. y 0,20 m. Están acabadas en hormigón, encofrado con tabla machihembrada. Hay dos viaductos, los de Ferreras y Ribón, en los que para incluir la vía lenta se adopta una anchura total de 14 m. En estos dos casos el cajón metálico también se ensancha a 6,70 m., aumentándose el vuelo de las losas a 3,20 m. y variándose muy ligeramente las dimensiones del canto, que varía entre 0,45 m. y 0,20 m.

Las pilas, en función de la altura son, o macizas de sección recta para alturas de hasta 30 m., o de canto variable y sección hueca para alturas superiores. Los viaductos de Ferreras, Ribón, San Roque, Las Arenas y Albuerno presentan pilas macizas de sección 4,70x1,35 m., con alturas variables entre los 10 m. y los 33 m. Los viaductos de Cándamo y Lindabarcas adoptan la tipología de pilas huecas con canto variable en las dos direcciones, con variación 1/50 en la dimensión mas ancha y 1/90 en la dimensión mas estrecha. La sección mínima en cabeza de pila es de 4,70x1,35 m. La pared de los tabiques es de tan solo 30cm. de espesor. La altura máxima que se alcanza es de 70 m. Como excepción y con un estilo híbrido está el viaducto de Cadavedo que presenta pilas de sección recta en la dirección mas ancha y canto variable (1/90) en la dirección mas estrecha; con





dimensión mínima en cabeza de pila de 4,70x1,35 m. La altura de pilas que se alcanza es de 30 m. La cimentación es, en general, directa sobre zapatas, con la también excepción del viaducto de Cadavedo, que se cimienta sobre encepados soportados por cuatro pilotes cada uno.

Los estribos son de formas curvas que favorecen la transición entre ladera y viaducto. Están cimentados directamente sobre zapatas.

Para la función de barrera de seguridad y barandilla se hizo un diseño compacto que engloba las dos funciones, así como también la imposta. El conjunto, resistente y muy transparente, no impide al viajero observar el paisaje desde su vehículo, y transmite a este una sensación de seguridad.

Dentro del proceso constructivo hay que señalar como significativo el procedimiento de colocación de los tableros metálicos por el sistema de empuje por medios hidráulicos, cuyo proceso constructivo se describe mas adelante.

Para preservar el entorno en todo lo posible, dotándole de una obra funcional y necesaria para las nuevas necesidades humanas, y para mejorar la integración de la carretera en el paisaje, complementándole, se dedicó una especial atención a la revegetación de los taludes, armonizándolos con el verdimarrón del entorno, y preservándolos de la erosión. Por ello, además de hidrosiembrar, se han plantado numerosas especies de trepadoras, arbustos y árboles de gran porte que, además de mejorar la estabilidad de los taludes, hacen mas

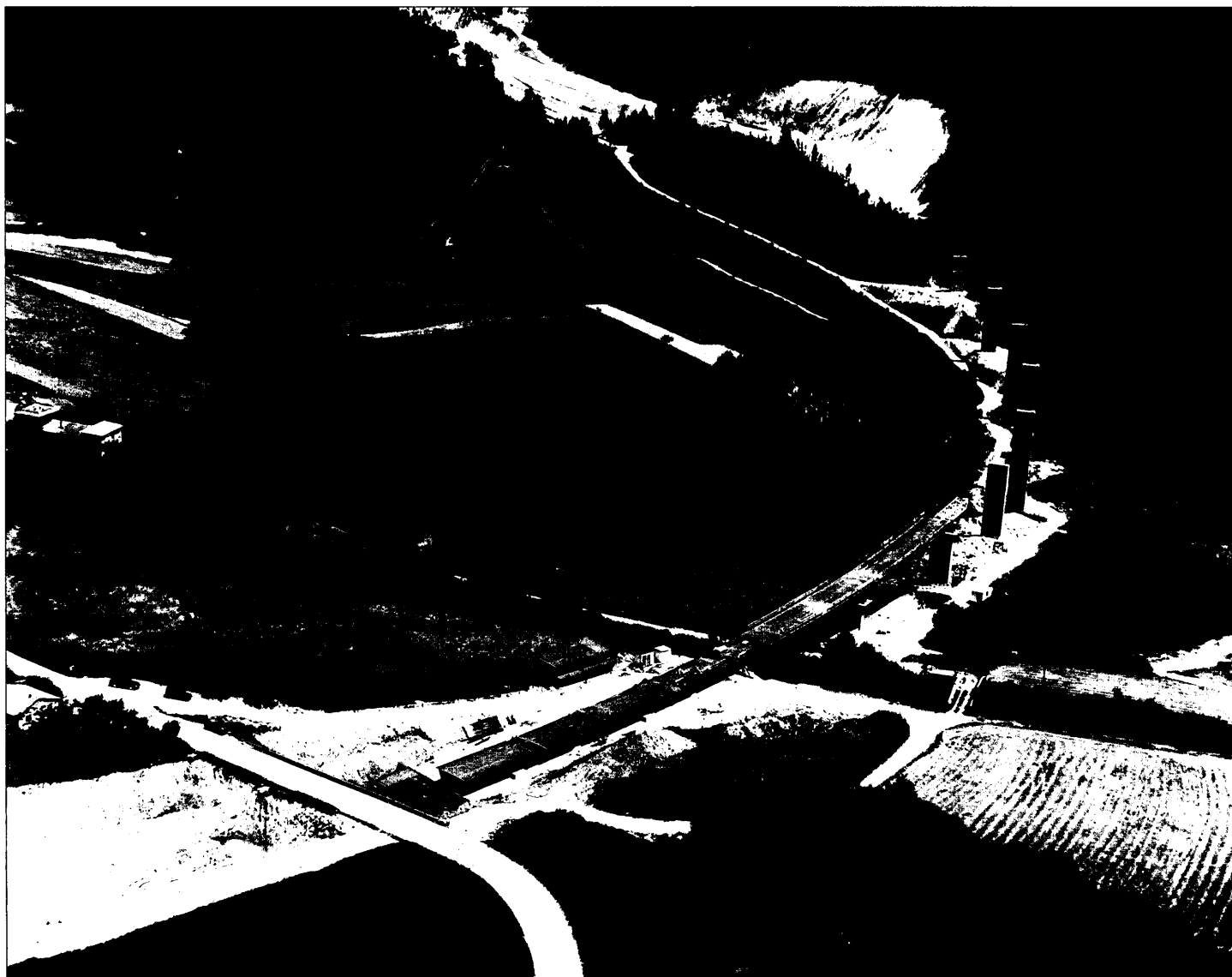
alegre, y agradable, la perspectiva de la carretera a los viajeros.

4.2. CONSTRUCCIÓN DE LOS TABLEROS MIXTOS

Los tableros de esta tipología se han construido mediante un procedimiento que ha sido empleado en los viaductos de Cadavedo, Ferreras, Ribón, Candamo, Las Arenas, Lindabarcas y Albuerno. En el de San Roque y en el Arco de la Regenta la colocación del cajón metálico se realizó con grúa.

El procedimiento consiste en colocar el cajón metálico a pie de estribo, sobre elementos rodantes y, después, mediante un mecanismo hidráulico, irle trasladando (lo que se puede hacer en contra pendiente de hasta un 2%) sobre las pilas hasta llegar a su posición definitiva cuando se apoya en el estribo opuesto.

El cajón se suministra en tramos que se acoplan y sueldan en la bancada tras el estribo de empuje. La bancada se dimensiona en base a la longitud del primer vano multiplicada por 2,5; es decir



con un coeficiente de seguridad al vuelco de 1,5.

El empuje de cajones metálicos presenta siempre el problema de la ligereza de los elementos a trasladar; por ello, en determinados momentos hay poca reacción sobre los gatos de empuje, faltando, en consecuencia, rozamiento para lograr el avance. Se resolvió con un pórtico, que proporciona una reacción sobre los gatos (de presión variable), sin oponerse a la traslación.

Como elementos de rodadura y guiado se emplean tanquetas, que son unos rodillos encadenados de acero especial, muy resistentes y con un coeficiente de rozamiento bajo (3% a 5% de la reacción vertical); los empleados en la obra eran para carga nominal de 100 tn. A nuestro juicio los gatos tenían en nuestro caso, frente al teflón, la ventaja de la sencillez, ya que este requiere una

cuidadosa manipulación que repercute en la rapidez del movimiento, y por otra parte sus ventajas no eran en este caso compensatorias.

Los elementos principales del empuje eran los siguientes:

1- Nariz de lanzamiento:

Es una estructura ligera, en celosía, de 15 m. de longitud, que se coloca en la parte delantera del empuje con el fin de reducir esfuerzos en el tramo volado. Tiene una ménsula donde se ubica una pareja de gatos, capaces de elevar la flecha con la que se llega a las pilas o al estribo final. El peso de esta estructura era de 0,5 tn/m.

2-Tanquetas de rodadura:

Eran unos rodillos encadenados y cerrados que se movían sobre una pe-

queña plataforma metálica, que a su vez hacia de guiado. Estaba construida con aceros especialmente duros, ya que debían resistir el desgaste, y suficientemente tenaces para que no se produjesen entalladuras.

La carga nominal de las tanquetas era de 100 tn., pudiéndose llegar ocasionalmente a 200 tn. Se colocaban sobre neoprenos, para mejorar el apoyo completo de los rodillos sobre la superficie inferior del puente, capaces, obviamente, de girar lo necesario para adaptarse. El coeficiente de rozamiento, medido en porcentaje sobre la carga vertical que soportaban estaba comprendido, según el grado de envejecimiento y la superficie del cajón, entre el 3% y el 5%.

3-Plataformas de pilas:

Eran unas sencillas estructuras colocadas sobre las pilas para retener las tanquetas, arriostrar los rodillos de guiado, y sustentar las plataformas de trabajo del personal de empuje. Para el guiado lateral del tablero se disponían unos rodillos con regulación.

4- Mecanismo hidráulico de empuje:

Constaba de dos parejas de gatos de 100 tn. para la elevación, y de 50 tn. para el empuje.

El sistema de empuje consistía en elevar, primero, el puente con los gatos de elevación, que tienen dispuesto teflón, en la parte inferior, para trasladarse sin ofrecer resistencia y neopreno en contacto con el cajón metálico para mayor rozamiento. A continuación con los gatos de empuje se accionaba sobre estos, trasladando el puente con los propios gatos de elevación. Agotada la carrera de los gatos horizontales, se descendía el tablero posándole sobre una bancada de freno; después se recogían, se volvía a elevar el cajón, despegándolo del freno y se empujaba otra vez, trasladando los gatos verticales y el puente.



© ANA MULLER



Este proceso se repetía tantas veces como era necesario hasta completar el traslado del puente. La carrera de los gatos era de 1 metro. Y la velocidad de desplazamiento era de 0,8 m./minuto.

5- Pórtico de reacción:

Era una estructura anclada al estribo, que sujetaba dos gatos accionados por presión de gas nitrógeno, que actuaban proporcionando una reacción vertical descendente que servía para compensar la reacción del cajón cuando era muy pequeña y no aportaba el suficiente rozamiento para trasladar al conjunto. Interpuestas entre los gatos y el tablero se colocaban dos tanquetas con el fin de facilitar la presión sin oponerse a la traslación.

La idea del sistema salió de la amortiguación hidroneumática de los coches Citroën. Se empleó un gas noble (Nitrógeno) en el que se cumple (despreciando la influencia de la temperatura)

la ley de Boyle ($P \cdot V = cte$). Para el recorrido vertical de las maniobras de empuje, que es de 10 cm., la variación volumétrica en el pistón es mínima, con lo que variación de presión también lo es, consiguiéndose así mantener la fuerza prácticamente constante; lógicamente la presión del nitrógeno se regula con presión de aceite sobre un depósito intercomunicador de pistón.

4.2. LA CONSTRUCCIÓN DEL ARCO DE LA REGENTA ANA OZORES

4.2.1. SENTIDO DE LA OBRA

Como ya se indicó mas arriba, la carretera cruza la garganta del río Cabo a unos 105 metros de altura sobre su cota de fondo, cubriendo una brecha de unos 380 metros de abertura. El valle, de sección en V, con laderas en ángulo entre 30 y 35 grados con la horizontal, está esculpido en pizarras y rocas cuar-

cíticas, capaces de soportar empujes oblicuos.

De la configuración geométrica y geotécnica nació la idea de solventar el cruce mediante un viaducto de arco, del tipo tablero superior. Los puentes arco de hormigón han padecido una fuerte postergación durante varias décadas en el mundo entero, y ello como consecuencia del avance de soluciones de dinteles de hormigón pretensado: avances en voladizo y, últimamente, tableros atirantados. Los ingenieros dejaron de mirar a los arcos por:

A) La necesidad de una estructura provisional o cimbra, que los arcos antiguos requerían y que suponía un fuerte sobrecoste, a la par que una obra provisional que solía resultar arriesgada.

B) A diferencia de los arcos, los dinteles autoportantes constituyen soluciones evolutivas en las que, a lo lar-

go de todo el proceso constructivo, la parte de puente ya construída es capaz de soportarse a sí misma, a las sobrecargas de obras (carro de avance, grúas, etc.) y a la fase siguiente del propio tablero.

C) Aunque el trabajo de flexión del tablero autoportante exija un gasto de acero relativamente elevado, las ventajas constructivas de un único elemento resistente lo hacían claramente preferible a los arcos, donde, además del arco, resulta inevitable el tablero con el añadido de las pilas intermedias de apoyo del último en el primero.

Sin embargo a partir de finales de los setenta y a lo largo de los ochenta, las soluciones arco han regresado, para grandes luces, a la escena de la ingeniería mundial. Ello ha sido posible porque, aprendiendo de los procedimientos constructivos de los tableros autoportantes, los nuevos arcos se construyen sin cimbra, mediante carro de avance y suspensión de tirantes provisionales.

Pero si las soluciones arco han vuelto, ha sido también gracias a que, en valles adecuados, sus ventajas sobre los puentes de tramo recto, con tablero autoportante soportando grandes flexiones, son claras: son ventajas resistentes, deformacionales, de durabilidad y estéticas. Ya que un gran arco planteado como antifunicular de las cargas permanentes será básicamente una pieza de hormigón armado flexocomprimida, poco fisurable. Por otra parte un arco de hormigón con rebajamiento normal constituye una estructura que se deforma poco, que no plantea problemas vibratorios al paso de cargas, y que tampoco, experimenta deformaciones importantes a largo plazo a causa de la fluencia. Finalmente, el encaje paisajístico de un arco en un valle con perfil en V es el más adecuado. Por ello en el cruce del río Cabo, tanto por su topo-



grafía en V como por la calidad superficial y en profundidad de las rocas que lo configuran, nos hallábamos ante un caso claro de encaje limpio de arco de gran luz. La geometría del valle condujo a la ya mencionada bóveda de 194 metros de luz teórica que, con una flecha en clave de 50,37 metros, se configura como arco peraltado.

El viaducto se concibe en su totalidad como un tramo recto continuo de unos 381,6 metros de largo, constituido por 21 vanos de 18,20 metros de luz, de los cuales los 11 centrales en vez de apoyar sobre el suelo lo hacen sobre el arco, que de ese modo reemplaza, en el profundo valle, al suelo.

Para el Ministerio de Fomento era obligado, como ya se señaló también más arriba, pensar en la futura ampliación de la carretera a autopista, ello nos

llevó a proyectar un tablero ampliable y una subestructura capaz de soportar esa ampliación.

El arco se diseñó como sección cajón bicelular de hormigón armado, compuesta por tres almas más las tablas superior e inferior; el ancho es, en todo el arco, de 10,50 metros mientras que el canto varía desde 420 centímetros en los arranques hasta 240 centímetros en la sección de clave. La sección, con almas de 40 centímetros y tablas entre 30 y 24 centímetros, resulta ligera y de alto rendimiento en términos mecánicos. La esbeltez necesaria condujo, como ya se dijo antes, a una directriz del arco compuesta por cinco círculos, es decir, en cada semiarco, por tres círculos cuyos radios son, de clave hacia arranques, iguales a 110, 135 y 175 metros. Línea que, por otra parte, se aproxima sufi-



© ANA WÜLLER

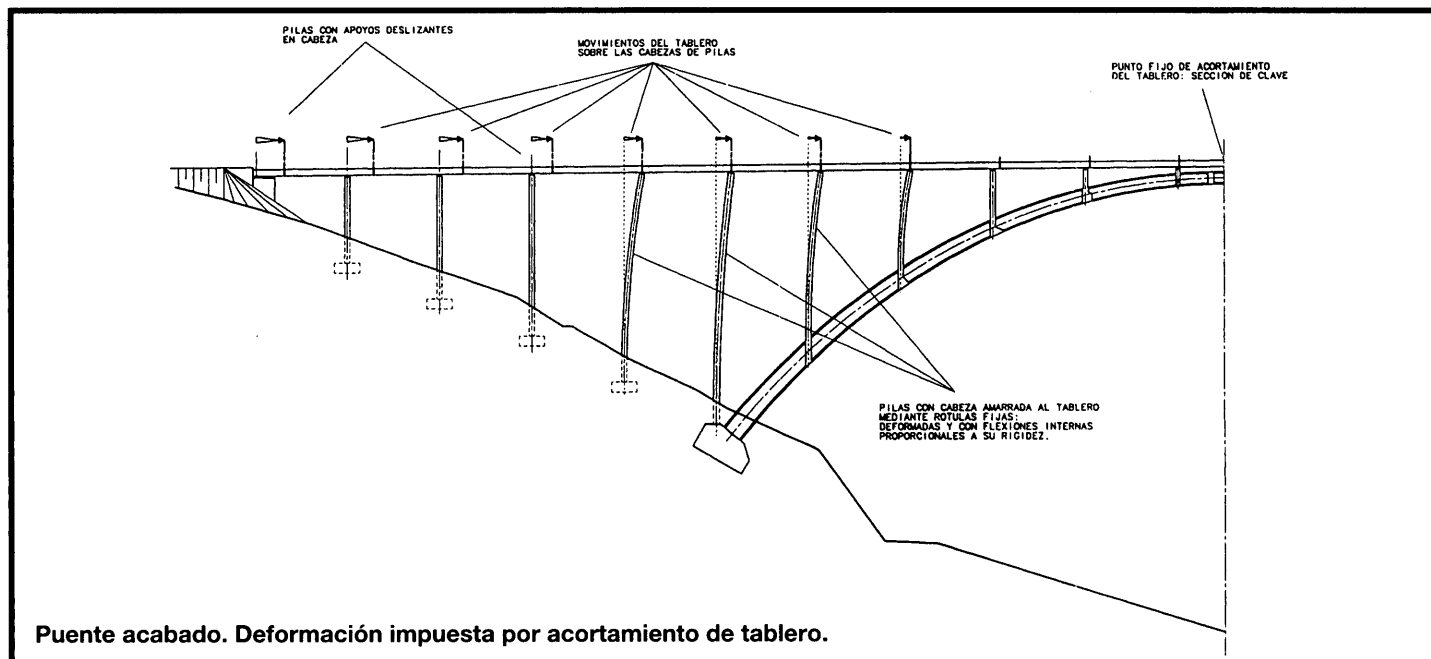
cientemente al teórico antifunicular del peso propio de la estructura.

La visión formal del conjunto nos llevó a pilas de sección rectangular, maciza, con un ancho de 6,50 metros en sentido transversal al puente, y, según su alzado, con el canto mínimo que

fuéramos capaces de justificar y atrevernos a aceptar. Canto que se explica tanto por la estética como por el peso muerto que esas pilas suponen para el arco y que conviene reducir todo lo posible. Por otra parte en este tipo de puentes es esencial que las pilas sean su-

ficientemente flexibles, ya que así se minimizan los esfuerzos secundarios debidos al acortamiento del tablero por retracción y descenso térmico. Por ello proyectamos gruesos de 80 centímetros para la 4 pilas centrales, 1 metro para las siguientes y 120 centímetros para las





Puente acabado. Deformación impuesta por acortamiento de tablero.

de arranques del arco. Espesor o canto que, con su altura de unos 52 metros, confiere a estas últimas pilas una esbeltez mecánica y visual realmente notable.

Las pilas nacen del arco a partir de diafragmas internos, que prolongan su volumen por el interior de éste, macizándolo en una cierta longitud. Son tabiques, que disponen de pasos de hombre para hacer posible la inspección futura por el interior del arco, y que sirven además para anclar en ellos los tirantes provisionales necesarios para construir la bóveda.

La vinculación existente entre las cabezas de pila y el fondo del tablero varía de unas a otras. Sobre los estribos finales y las pilas extremas se han dispuesto aparatos de apoyo deslizantes; en las pilas intermedias placas elásticas de neopreno zunchado, y, en el caso de pilas de gran altura, rótulas fijas que permiten giros relativos pero no desplazamientos de su cabeza respecto al tablero.

El tablero se ha diseñado como estructura de sección mixta acero hormigón. Con la ventaja no sólo de permitir ese ensanche futuro a base de diafragmas internos extensibles hacia el exte-

rior mediante la soldadura de unos jalones y el ensanche de la losa, sino la de resistir durante la construcción los esfuerzos de tracción que impone al tablero el procedimiento constructivo. En la actualidad ese tablero (formado por un cajón metálico tiene de 6,50 m. de ancho, con un canto de 1,40 m. y una losa de hormigón armado de 12 m. de anchura, con espesor variable entre 25 y 40 cm.) funciona con dos carriles de circulación más arcenes; en el futuro, cuando esta carretera pase a ser autopista, su plataforma alcanzará los 22 metros.

4.2.2. EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ARCO

Un puente arco del tamaño de éste, es posible o no en función de que su procedimiento constructivo sea o no resuelto. Por ello, vamos a explicar el viaducto a partir de su sistema constructivo. Las soluciones a ese problema se pueden resumir en estos tres grupos:

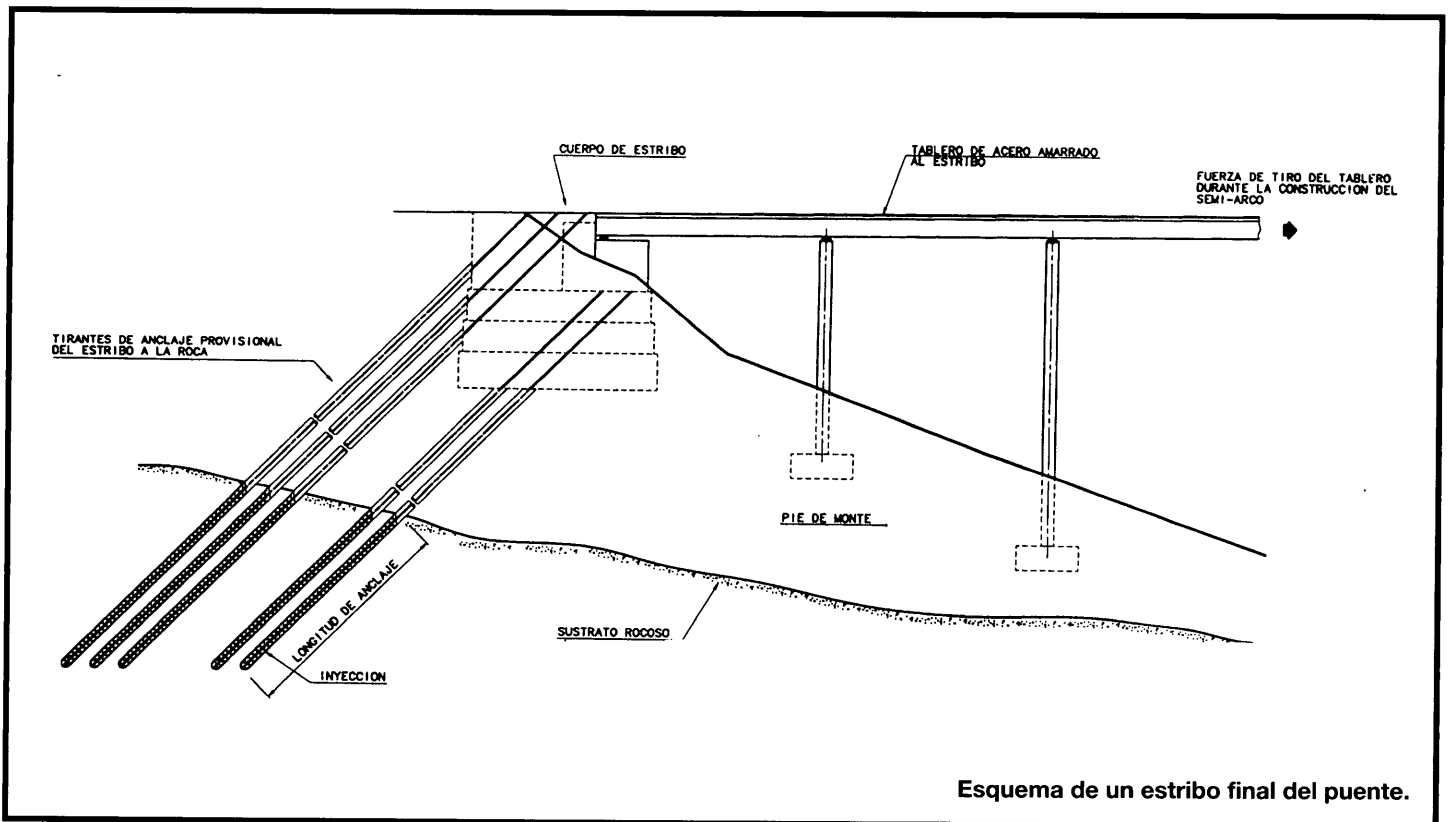
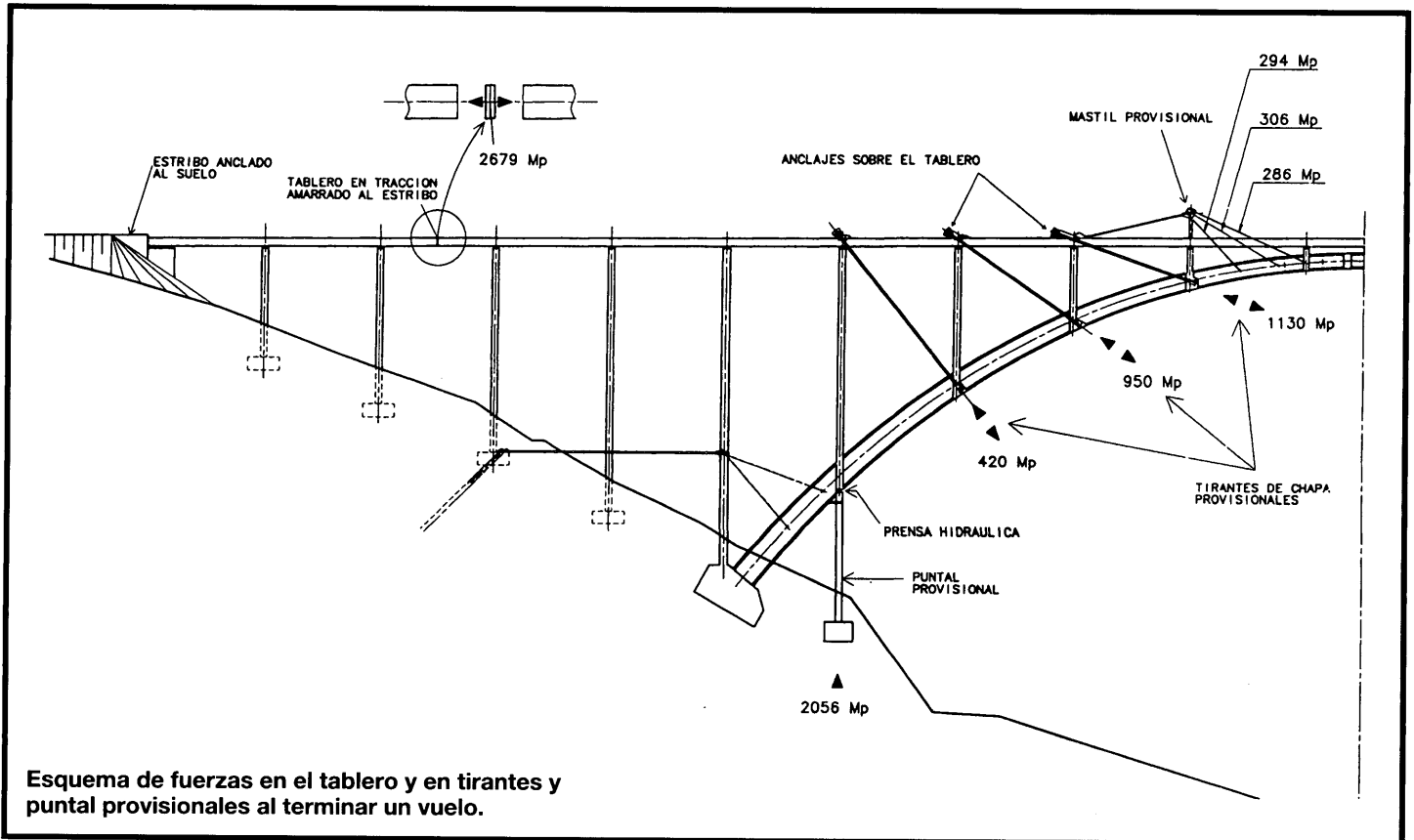
a) Arcos suspendidos de tirantes oblicuos que se construyen en su totalidad exentos, ejecutándose las pi-

las y el tablero tras su finalización como arco.

b) Arcos que se construyen conjuntamente con las pilas y el tablero, como grandes voladizos en celosía, disponiéndose tirantes provisionales en las diagonales que van de la coronación de una pila al nudo base de la siguiente sobre el arco.

c) Arcos construidos como sendas pilas curvas, sensiblemente verticales que, al final, se giran alrededor de sus bases hasta encontrarse en la clave.

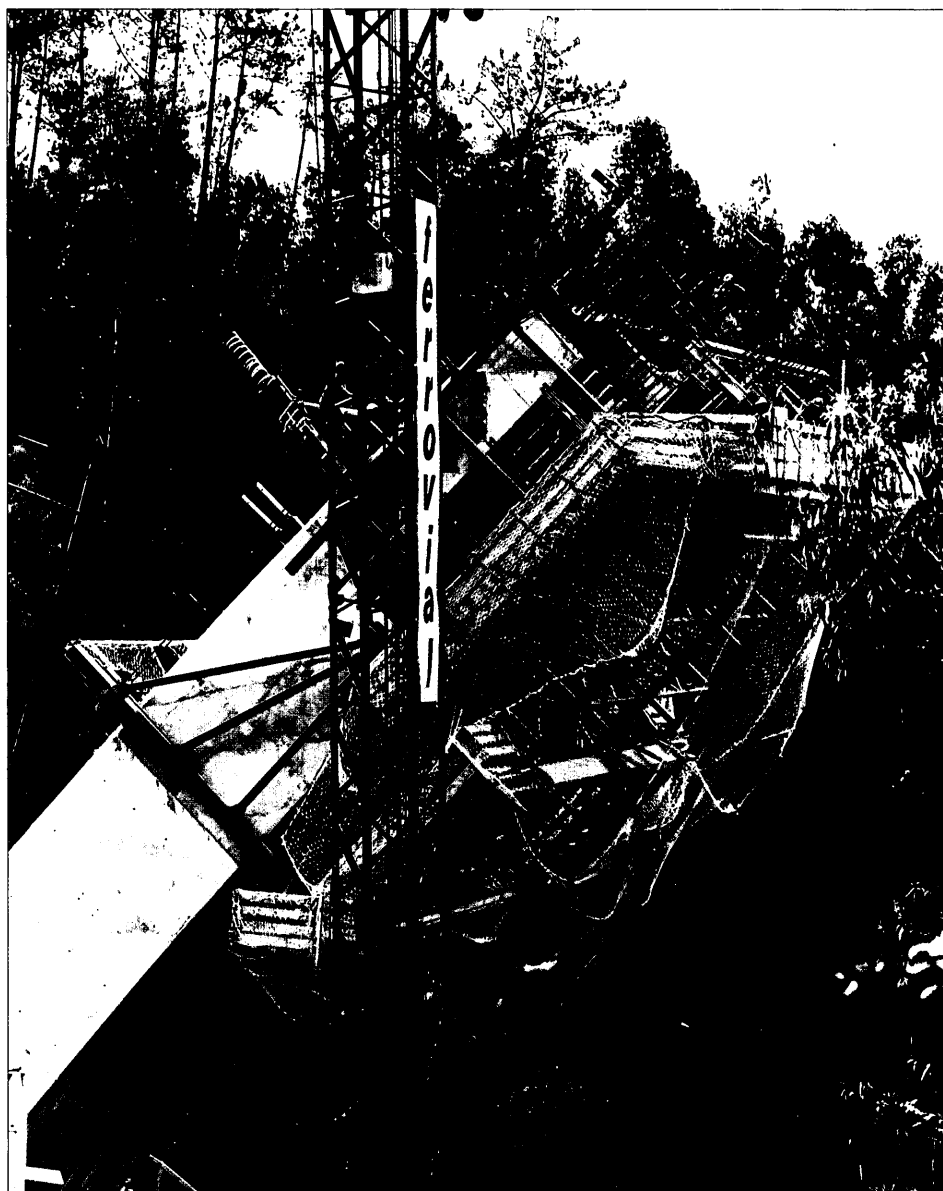
Desechado el tercer grupo, del que conocemos un solo ejemplar alemán, nuestra preferencia fue por la opción del grupo "b"; dado que la rigidez conjunta de la estructura que avanza en voladizo, en esencia una triangulación, resulta muy superior a la del arco en vuelo exento, siendo, en consecuencia, los problemas de movimientos y flechas de construcción muy inferiores. Además, un arco exento que se termina como tal y que ha de soportar las fuerzas del peso propio de pilas y tablero, desarrollándose no de un modo proporcional sino



creciendo por incrementos bruscos desde arranques hacia clave, padece unas flexiones en las fases provisionales, debidas al desequilibrio de cargas, que pueden dar al traste con su capacidad resistente.

Por ello, decidimos proyectar en base, (dejando al margen la parte del viaducto exterior al arco que se construyó de modo convencional) a ejecutar el arco, por dovelas sucesivas, mediante un carro de avance, cuya traslación entre puestas sucesivas se hace por medio de un mecanismo hidráulico, e ir completando, y asegurando, la obra mediante pilas y vanos de tablero con un decalaje respecto al arco de un vano; se organiza así una triangulación en base a diagonales provisionales, pretensadas en cada etapa a una carga determinada. El tiro de esos tirantes temporales es recogido por el tablero, que, a estos efectos, funciona provisionalmente como un dintel traccionado y amarrado longitudinalmente al estribo final. Tablero que, al estar constituido por sólo acero estructural durante todo ese proceso, es perfectamente capaz de aceptar esos esfuerzos de tracción.

Como tirantes provisionales hemos utilizado piezas de acero estructural soldado, de sección cajón. A diferencia de las barras o cordones de acero de pretensado que se han empleado sistemáticamente en Suiza, Francia y Alemania, el uso de cajones de chapa, idea sugerida en el planeamiento de la obra por el Contratista, se ha revelado adecuado y económico; su implantación exigió diseñar los gatos hidráulicos para su puesta en carga, así como los topes de anclaje que el sistema requería. También por razones constructivas, y también en la fase de obra, dada la facilidad de acceso al intradós del arco en sus zonas de arranques, se decidió sustituir los tirantes oblicuos del primer recuadro de cada semiarco por un puntal vertical dispuesto bajo el arco; puntal que, dotado



de una prensa hidráulica en cabeza, era capaz de transmitir a la estructura, en cada fase de la construcción, la reacción vertical adecuada. Hay que indicar, que, también en el primer cuadrante y en el simétrico, el pretensado no cuelga del cajón metálico, sino de la pila 5, arriostada y anclada a la zapata de la pila 3.

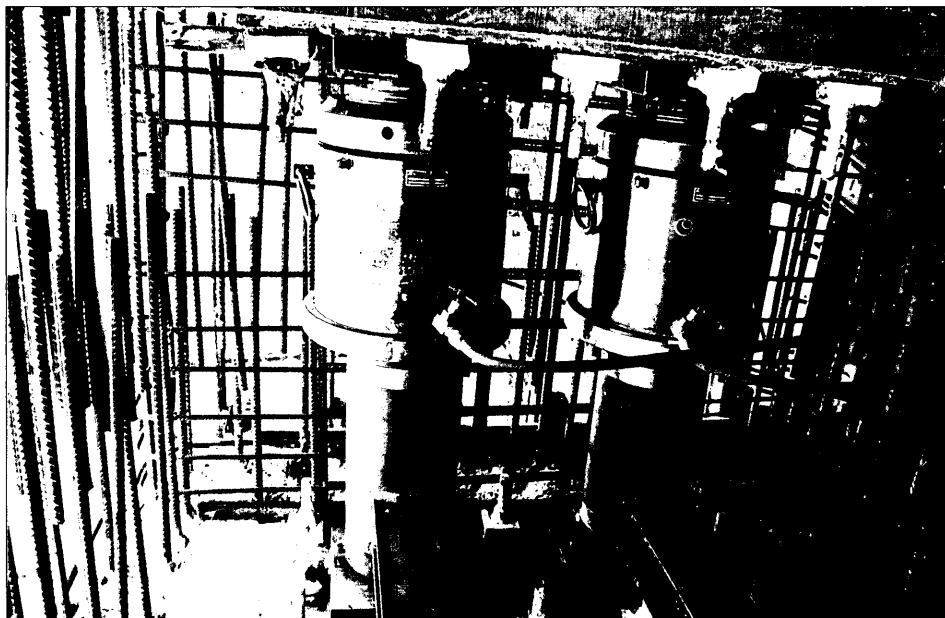
Asimismo hay que señalar que en el último cuadrante y su simétrico, entre las pilas 9 y 10, sin anular los tirantes pretensados, se coloca otra pareja de tendones pretensados en lugar del tirante de acero estructural. Las tres parejas

mencionadas, que cuelgan de la vertical de la pila 9, tienen su anclaje elevado sobre el cajón, mediante un mástil de 7 metros de altura, del que se ancla la pareja de tendones (de 19 de 0,6"), sin suprimir las dos parejas de 9 de 0,6"; con lo que se consigue un tiro no excesivamente inclinado.

El ciclo constructivo de esta estructura incluía las siguientes operaciones:

A) Realización sucesiva de un conjunto de dovelas del arco (en general cuatro unidades) que incluyen a la





dovela que comprende el siguiente diafragma de pila vertical. Esto supone volar, en proyección horizontal, 18,20 metros de arco, lo que exige disponer dos tirantes inclinados adicionales que amarran las secciones intermedias del arco dentro del vano en cuestión; tirantes que eran desactivados y desmontados después de poner en carga el tirante principal siguiente.

B) Tesado inicial de la anteúltima de las dovelas de arco de tal serie, que incluye tanto el diafragma de pila, como los anclajes inferiores del tirante principal provisional.

C) Después se levanta, la pila de hormigón que nace del nudo formado por el eje del arco y el tirante que se acaba de poner en carga. Inicialmente, y para tener siempre equilibrado el peso actuante de pila, se había previsto ir aumentando la fuerza en el tirante a medida que la altura de esa pila creciera, pero el uso de tirantes de chapa, con sección transversal importante (a diferencia de las barras pretensadas, cuya tracción crece fuertemente al subir la pila), nos evitó muchas ope-

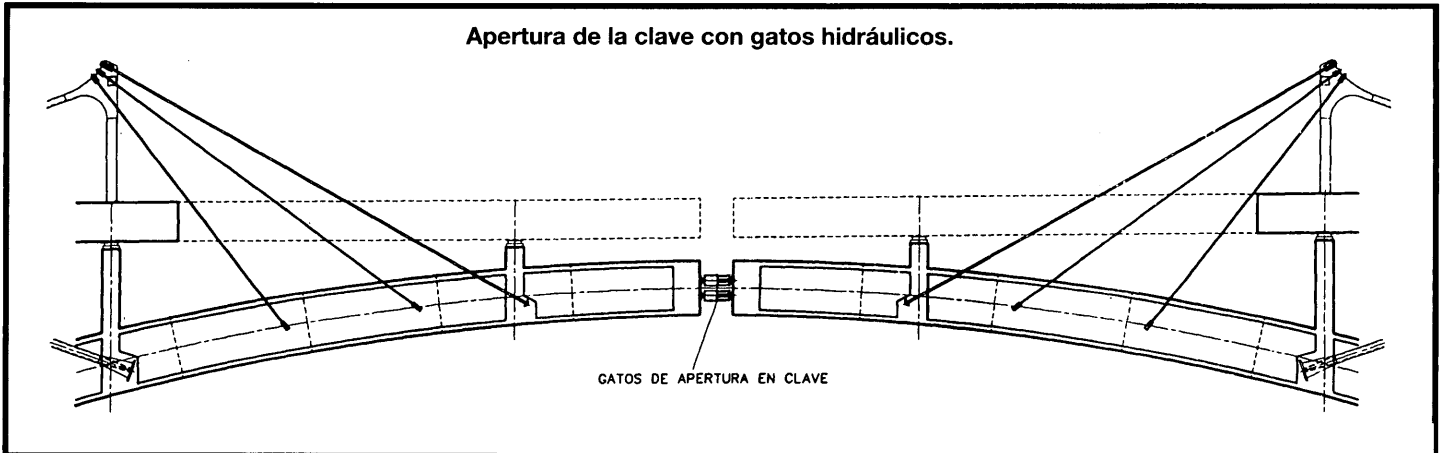
raciones delicadas. Cabe decir al respecto que la rigidez que esos tirantes de chapa prestaban a la estructura provisional fue tal que el máximo descenso vertical, debido al peso de una pila, producido en el nudo de apoyo en el arco, no llegó a 6 milímetros. Los tirantes se tensan por medio de cuatro gatos hidráulicos de 500 tn. cada uno.

D) A continuación se prolonga el tablero construido. Para ello mediante una grúa automóvil de 350 tn., que, apoyada en el tramo anterior y girando 180° sobre sí misma, sitúa al nuevo tramo de tablero metálico, el cual se suelda al tramo ya construido y anclado al estribo correspondiente. En ese momento el tablero esta preparado para soportar el nuevo esfuerzo de tracción que el tramo siguiente de arco va a introducir. Entonces el ciclo está concluido, iniciándose el siguiente. Como elemento auxiliar de construcción se emplean dos grandes grúas torre, que discurren sobre una vía carrileira, montada sobre los tramos de cajón metálico ya colocados sobre las pilas.

Es importante destacar el papel decisivo que durante todo este proceso desempeñan los estribos finales, que amarran en horizontal al tablero. Al contemplar una imagen cualquiera del proceso constructivo y asociarla a una celosía en voladizo de canto variable, se entiende sin dificultad que mientras el arco desempeña allí al papel de par comprimido que empuja contra su zapata (como va a ocurrir cuando el puente esté acabado), es el tablero el que hace de par traccionado. El estribo es entonces el elemento de sujeción y estabilidad imprescindible. Para ello fue preciso anclarlo contra la roca subyacente con tirantes pretensados oblicuos.

Para que el arco empezase a trabajar como tal fue necesario realizar el cierre en clave entre ambos semiarcos, para ello se les da apoyo mutuo mediante gatos hidráulicos apoyados en sus bordes. Cuando la batería de ocho gatos, de 550 toneladas de fuerza útil cada uno, comienza a actuar, el arco nace como tal. En consecuencia disminuyen las fuerzas sobre los tirantes provisionales y el tiro que cada semitablero produce sobre su estribo. Las fuerzas entre los semiarcos se pueden regular a voluntad. Podríamos, por ejemplo, elevar esa fuerza voluntaria entre semiarcos hasta el valor teórico que la situación de peso propio produciría en ese mismo arco si se hubiera construido sobre una cimbra fija. O bien, anticipando pérdidas de empuje debidas a acortamiento diferidos del arco por retracción y fluencia, elevar esa fuerza a un valor algo mayor del estricto: esa fue la opción elegida. Como muestra de la deformabilidad de los semiarcos, está el dato siguiente: al aplicar una fuerza en gatos de 2.000 Mp. se produjo una abertura horizontal entre semiarcos de 128 milímetros (o sea, cada semiarco retrocedió por acortamiento 64 milímetros), mientras sus bordes se

Apertura de la clave con gatos hidráulicos.



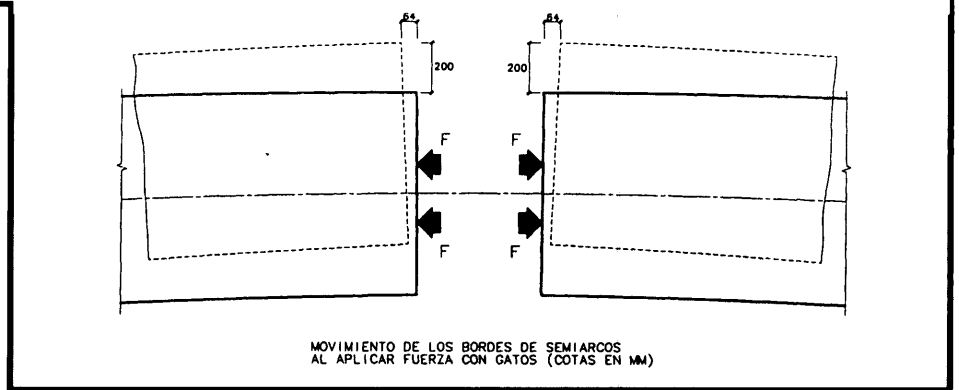
GATOS DE APERTURA EN CLAVE

elevaban sobre la horizontal 20 centímetros.

El llenado de la dovela de clave con los gatos debidamente bloqueados, el aflojamiento de éstos tras fraguado de ese hormigón, de modo que la fuerza generada por las prensas hidráulicas pase a ser transmitida por el hormigón de esa dovela central, fueron las operaciones siguientes que se culminaron con un destesado progresivo de los tirantes provisionales, para hacerles perder la fuerza residual que conservaban tras el cierre en clave; destesado que incluye a los puntales verticales dispuestos bajo las dos pilas inmediatas a los arranques del arco.

Ayudándonos por unos carros auto-encofrantes se hormigonaron los voladizos, para completar la sección mixta. Se ejecutaron en tramos de 22 m., empezando por ambos lados y avanzando simétricamente hacia el centro.

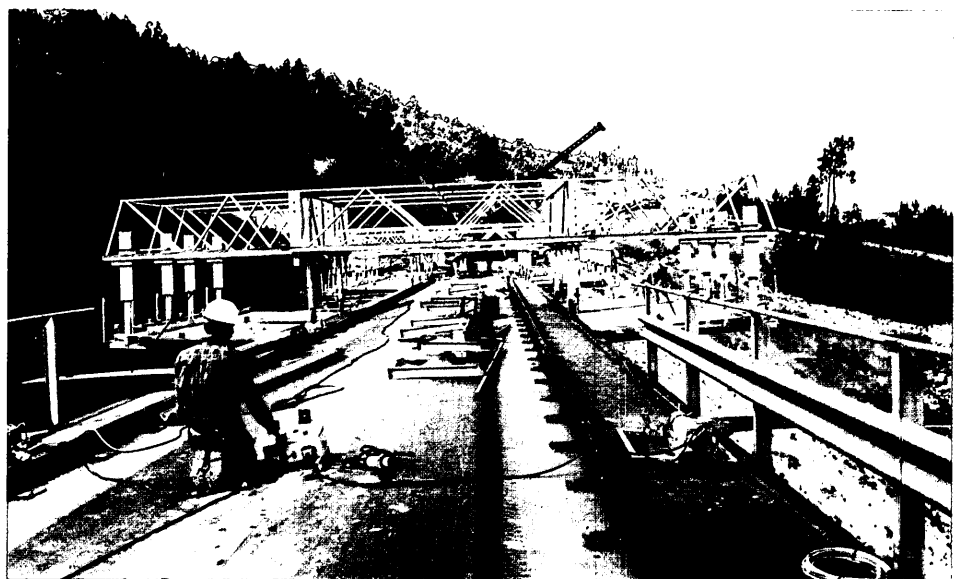
Con el hormigonado de la barrera metálica y la imposta concluyó el proceso constructivo del Arco de La Regenta Ana Ozores.



MOVIMIENTO DE LOS BORDES DE SEMIARCOS AL APLICAR FUERZA CON GATOS (COTAS EN MM)

medían y procesaban en tiempo real y con las tensiones en los tirantes, los axiles en los puntales, los axiles y las tensiones en el tablero, y las tensiones en las dovelas. Los datos se comparaban con los valores teóricos.

El cierre del arco y el destesado posterior también fue instrumentado, tanto en la apertura en clave como en el proceso de destesado de los tirantes provisionales, que se hizo según una secuencia predeterminada.



4.2.3. LA INSTRUMENTACIÓN DEL ARCO

Al margen de los controles convencionales se instrumentaron una serie de secciones (los 2 puntales, 4 dovelas, 6 tirantes y 6 secciones de tablero). Se



© ANA MULLER

5. EL EQUIPO

Una obra de este tipo solo se puede hacer, como se dijo al principio "jugando al rugby". En la redacción del proyecto participamos una serie de personas, del Ministerio de Fomento: D. Fernando Hácár Rodríguez, D. Ramón Gurriarán Canalejas y D. Ignacio Gar-

cía-Arango; de APIA XXI, en la asistencia técnica para la redacción del proyecto y esencialmente en el cálculo de los puentes: D. Juan José Arenas de Pablo y D. Marcos J. Pantaleón Prieto. En la construcción de la obra participamos las mismas personas y además, del Ministerio de Fomento D. José Manuel Fernández García, de APIA XXI en la asistencia a

la dirección de obra: D. Mariano Villameriel Fernández, Dña. Isabel Arcos Sánchez del Villar, D. Aitor Llano Alday, D. José Alonso Vera y D. Flavio Valperga. Dentro del equipo participaron también, en el encaje paisajístico y estructural, D. Fernando Rodríguez Torres y D. Ernesto Montaner Pedrosa. En la construcción, parte esencial por las aportaciones hechas que modificaron, en cuanto a los procedimientos constructivos las ideas iniciales del proyecto, por parte de la Empresa constructora Ferroviaria, estuvieron: D. Manuel Jesús González, D. Juan Francisco Resines Portilla y José Miguel Pérez de Mendiuren.

Hay que señalar que esta obra fue fruto de una colaboración entre equipos diversos de la Administración, el Constructor y el Consultor. El proyecto fue el fruto de muchas horas de reflexión y de intercambio de ideas, habiendo sido esencial, como ya se dijo, la aportación de los ingenieros de la empresa. Ello es normal, porque si no es imposible hacer una obra de éstas, de las que antes decían que las hacía el Diablo. Quizás, porque, en el alma popular, el Diablo simbolizaba un cierto conocimiento, unido a alguna osadía impregnada por el orgullo de un grupo de personas; saber, osadía, orgullo y anonimato que nacen del Pueblo y que atribuidos a un sola persona la conducían, quizás justamente, por antisocial a la hoguera. ♦♦



© ANA MULLER