



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGUEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO

Trabajo realizado por:

Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso

Dirigido:

Guillermo Capellán Miguel

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, mes de Septiembre

TRABAJO FIN DE MÁSTER

1. MEMORIA

1.1 Introducción

1.2 Información previa

1.3 Estudio Puente Noguero

- 1.3.1 Cronología
- 1.3.2 Ubicación y trazado
- 1.3.3 Geotecnia. Suelo de cimentación
- 1.3.4 Geometría
- 1.3.5 Puentes similares
- 1.3.6 Materiales
- 1.3.7 Funcionamiento Arcos
- 1.3.8 Estudio de Hundimiento

1.4 Estudio de la zona

- 1.4.1 Introducción
- 1.4.2 Factores a estudiar
 - 1.4.2.1 Demografía
 - 1.4.2.2 Economía
 - 1.4.2.3 Tráfico
 - 1.4.2.4 Infraestructura
 - 1.4.2.5 Impacto Ambiental y Espacios Protegidos
 - 1.4.2.6 Cultura y Lugares de Interés
 - 1.4.2.7 Hidrografía
 - 1.4.2.8 Topografía y Cartografía
 - 1.4.2.9 Geología
 - 1.4.2.10 Geotecnia

1.5 Estudio de Alternativas

- 1.5.1 Introducción
- 1.5.2 Criterios
- 1.5.3 Soluciones y Alternativas Planteadas
- 1.5.4 Alternativa favorable Solución Adoptada
- 1.5.5 Características Principales Solución Adoptada

1.6 Solución Adoptada

- 1.6.1 Introducción
- 1.6.2 Geometría
- 1.6.3 Materiales
- 1.6.4 Cálculo estructura
- 1.6.5 Método constructivo
- 1.6.6 Presupuesto

2. ESTUDIO ANTIGUO PUENTE NOGUEROL

2.1 Introducción

2.2 Proceso: Redacción-Construcción-Hundimiento

2.3 Justificación indemnización

2.4 Ubicación y trazado

2.5 Geotecnia. Suelo de Cimentación

2.6 Geometría

2.6.1 Longitudinal

2.6.2 Transversal

2.6.3 Cimentación

2.7 Puentes similares

2.7.1 Puente La Riva-La Población en CA-171

2.7.2 Nuevo Puente La Riva- La Población en CA-171 Arenas&Asociados

2.7.3 Puente de El Llano-Renedo

2.7.4 Viejo Puente Órzales-Península de la Lastra

2.7.5 Nuevo Puente Órzales-La Lastra

2.7.6 Puente de Ferrocarril

2.8 Materiales

2.8.1 Hormigón

2.8.2 Acero

2.9 Funcionamiento Arcos Mamposteros

2.9.1 Método gráfico

2.9.2 Método Heyman

2.10 Estudio de Hundimiento

2.10.1 Introducción

2.10.2 Antecedentes

2.10.2.1 Datos sondeos

2.10.2.2 Asientos

2.10.2.3 Esfuerzos debidos a los asientos

2.10.3 Precedentes

2.10.4 Conclusiones Estudio de Hundimiento

2.10.5 Conclusión final

2.11 Planos

2.11.1 Ubicación y trazado

2.11.1.1 Ubicación

2.11.1.2 Cartografía Base

2.11.2 Definición geométrica

2.11.2.1 Puente Noguerol

- 2.11.2.2 Accesos
- 2.11.3 Trazado
 - 2.11.3.1 Planta general
 - 2.11.3.2 Planta sobre ortofotos
 - 2.11.3.3 Perfiles longitudinales
 - 2.11.3.4 Secciones tipo
 - 2.11.3.5 Estructuras. Detalles tipo

3. ESTUDIO DE LA ZONA

3.1 Introducción

3.2 Factores a estudiar

3.3 Demografía

- 3.3.1 Cantabria
- 3.3.2 Castilla y León
- 3.3.3 Turismo
- 3.3.4 Herramientas Web
- 3.3.5 Conclusiones

3.4 Economía

- 3.4.1 Cantabria
 - 3.4.1.1 Sectores de trabajo
 - 3.4.1.2 Inversión en infraestructura
 - 3.4.1.3 Infraestructura nueva
- 3.4.2 Castilla y León
 - 3.4.2.1 Sectores de trabajo
 - 3.4.2.2 Inversión en infraestructuras
- 3.4.3 Conclusiones

3.5 Tráfico

- 3.5.1 Mapas del tráfico de España de la DGT
- 3.5.2 Beneficios económicos
- 3.5.3 Datos tráfico estudio económico
- 3.5.4 Conclusiones

3.6 Infraestructura

- 3.6.1 Transporte vial
- 3.6.2 Tráfico ferroviario
- 3.6.3 Transporte aéreo
- 3.6.4 Caminos rurales
- 3.6.5 Conclusiones

3.7 Impacto ambiental y espacios protegidos

3.7.1 Conclusiones

3.8 Cultura y lugares de interés

3.8.1 Conclusiones

3.9 Hidrografía

3.9.1 Introducción

3.9.2 Hidrografía española

3.9.3 Sedimentación

3.9.4 Calculo Sedimentación Embalse del Ebro

3.9.5 Conclusiones

3.10 Topografía y cartografía

3.10.1 Introducción

3.10.2 Datos principales

3.10.3 Fallos en Cartografía

3.10.4 Conclusiones

3.11 Geología

3.11.1 Introducción

3.11.2 Libro Montañas de Campoo. Relieve y glaciario

3.11.2.1 Relieve

3.11.3 Estudio previo de terrenos enlace Burgos-Santander

3.11.4 Visor Mapas Cantabria

3.11.5 Guía de cimentaciones para obras de carretera

3.11.6 Mapa geológico

3.11.7 Conclusiones

3.11.8 Hojas 0083 y 0108

3.12 Geotecnia

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

4.1 Introducción

4.2 Explicación Análisis Multicriterio

4.3 Criterios

4.3.1 Pesos asignados a los criterios

4.4 Justificación criterios

4.4.1 Económico

4.4.1.1 Coste carreteras de acceso

4.4.1.2 Coste de ejecución de puentes

4.4.1.3 Beneficio

4.4.2 Ambiental

- 4.4.3 Aumento potencial de la zona
- 4.4.4 Cumplimiento de indemnizaciones
- 4.4.5 Funcional
- 4.4.6 Seguridad Vial
- 4.4.7 Accesibilidad
- 4.4.8 Peso de los criterios

4.5 Alternativas

4.6 Estudio de Alternativas

- 4.6.1 Alternativa 0.1
- 4.6.2 Alternativa 0.2.
 - 4.6.2.1 Criterio económico
 - 4.6.2.2 Criterio ambiental y funcional
 - 4.6.2.3 Tabla final
- 4.6.3 Alternativa 1.1.
 - 4.6.3.1 Criterio económico
 - 4.6.3.2 Criterio ambiental y funcional
 - 4.6.3.3 Seguridad Vial y Accesibilidad
 - 4.6.3.4 Tabla final
- 4.6.4 Alternativa 1.2
- 4.6.5 Alternativa 2
 - 4.6.5.1 Criterio económico: Coste
 - 4.6.5.2 Criterio económico: Beneficio
 - 4.6.5.3 Ambiental
 - 4.6.5.4 Funcional
 - 4.6.5.5 Seguridad Vial y Accesibilidad
 - 4.6.5.6 Tabla final
- 4.6.6 Alternativa 3
 - 4.6.6.1 Criterio funcional
 - 4.6.6.2 Tabla final

4.7 Tabla resumen alternativas

4.8 Alternativa adoptada

- 4.8.1 Ventajas
- 4.8.2 Inconvenientes
- 4.8.3 Características principales
- 4.8.4 Conclusiones

5. SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1 Introducción

5.2 Características de la estructura

- 5.2.1 Generalidades
- 5.2.2 Longitudinalmente
- 5.2.3 Transversalmente
- 5.2.4 Geometría de la Viga Sección Artesa o Cajón
- 5.2.5 Cimentación y Pilas
- 5.2.6 Materiales
 - 5.2.6.1 Hormigón
 - 5.2.6.2 Acero

5.3 Cálculo estructura

- 5.3.1 Objeto de cálculo
- 5.3.2 Acciones Permanentes
 - 5.3.2.1 Peso propio
 - 5.3.2.2 Cargas permanentes
- 5.3.3 Sobrecargas
 - 5.3.3.1 Tráfico
 - 5.3.3.2 Peatones
 - 5.3.3.3 Viento
 - 5.3.3.4 Nieve
 - 5.3.3.5 Otras acciones
 - 5.3.3.6 Resumen cargas
- 5.3.4 Predimensionamiento del Pretensado
 - 5.3.4.1 Introducción
 - 5.3.4.2 Proceso predimensionamiento
 - 5.3.4.3 Resultados del predimensionamiento
- 5.3.5 Comprobaciones
 - 5.3.5.1 Introducción
 - 5.3.5.2 Pérdidas pretensado
 - 5.3.5.3 Combinaciones de cargas
 - 5.3.5.4 Comprobación final
- 5.3.6 Aparatos de apoyo
 - 5.3.6.1 Introducción
 - 5.3.6.2 Planteamiento inicial
 - 5.3.6.3 Soluciones similares
 - 5.3.6.4 Cargas
 - 5.3.6.5 Predimensionamiento
 - 5.3.6.6 Reparto de cargas
 - 5.3.6.7 Comprobación
 - 5.3.6.8 Ahorro económico
- 5.3.7 Pilas y cimentación
 - 5.3.7.1 Introducción

5.3.7.2 Cargas

5.3.7.3 Comprobaciones

5.4 Método Constructivo

5.5 Presupuesto

5.5.1 Introducción

5.5.2 Estimación inicial

5.6 Planos

5.6.1 Ubicación y trazado

5.6.1.1 Ubicación

5.6.1.2 Cartografía Base

5.6.2 Trazado

5.6.2.1 Planta sobre ortofotos

5.6.2.2 Perfil longitudinal

5.6.2.3 Perfil transversal

6. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. Petición ETSICCP Asociación Campurriana Contra la Defensa del Ebro

ANEXO II. "Informe preliminar sobre el Hundimiento de uno de sus tramos". Confederación Hidrográfica del Ebro en el Proyecto del Camino Local de Arija a la Población de Yuso. Sr. Inspector Regional de la 9ª Demarcación D. Rafael Martínez Torres.

1. MEMORIA

1.1. Introducción

El presente proyecto tiene como fin la elección y elaboración de una nueva infraestructura que salve el embalse del Ebro, mediante el análisis multicriterio de diversas alternativas, a través de un estudio pormenorizado de la zona desde muchos niveles. Previo a este análisis se ha realizado un estudio exhaustivo sobre el Antiguo Puente Noguero, analizando sus principales características y su hundimiento. El proyecto va acompañado de planos tanto del antiguo Puente Noguero como de la solución adoptada.

1.2. Información previa

Luego los cuatro grandes capítulos en los que se divide el presente proyecto son:

- Estudio del Puente Noguero
- Estudio de la zona
- Análisis Multicriterio
- Solución adoptada.

Dicha actuación está promovida por la Comisión Campurriana para la Historia del Pantano del Ebro y los ayuntamientos de Campoo de Yuso y Arija. Llevada a la Universidad de Cantabria mediante la propuesta de un Trabajo Final de Máster (TFM) del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos Canales y Puertos.

1.3. Estudio Puente Noguero

Se exponen a continuación las partes en las que se divide el estudio y sus características más importantes:

1.3.1. Cronología

1921-1928: El proyecto del embalse del Ebro se entrega en 1921, comenzando a construir su cuerpo de presa en el año 1928. Con una superficie de 6253 Ha se necesitan realojar a 1875 personas, se lleva a cabo la construcción de nuevas casas y la construcción de variantes de carretera y ferrocarril estando el Puente Noguero entre ellas.

1928-1936: Comienzo de los traslados, demoliciones, realojos, estudios de campo y ejecución de las obras de indemnización.

1936-1939: Guerra Civil Española.

1939-1944: Se renuevan los trabajos en el embalse del Ebro.

1944-1952: Se ejecuta el Puente Noguero. Dividido en dos destajos, uno desde cada margen. realizando parones por los inviernos y realizando proyectos modificados durante su ejecución.

1952-1957: El puente Nogueroles quedó en ruina a finales del año 1952, debido a la cesión de dos de sus arcos y el vuelco de las pilas adyacentes. Presentaba severas grietas y asentamientos, finalmente fue dinamitado en el año 1957. Actualmente sus restos descansan sobre el vaso del embalse del Ebro y únicamente se encuentra a la vista sus estribos y el resto de las pilas en épocas de estiaje

1957-2019: El puente descansa sobre el fondo del embalse del Ebro.

El Puente Nogueroles como obra de indemnización por la construcción del Embalse del Ebro sigue siendo una deuda para la zona, siendo actualmente una de las obras hidráulicas más importantes de la Cuenca del Ebro (3º en capacidad), siendo la cuenca del Ebro la segunda mayor de España.

1.3.2. Ubicación y Trazado

La actuación se sitúa en el Embalse del Ebro, atravesando la traza del puente el embalse de Norte a Sur y abarcando ésta a su vez las Comunidades de Cantabria y Castilla y León (Burgos).

En la Imagen 1.1. se observa la traza del Puente representada por la línea de color rojo, siendo el límite entre comunidades la línea de color gris discontinua que corta el embalse de Este a Oeste. Los principales núcleos poblacionales son La Población (Cantabria) y Arijia (Burgos) marcadas en color verde.

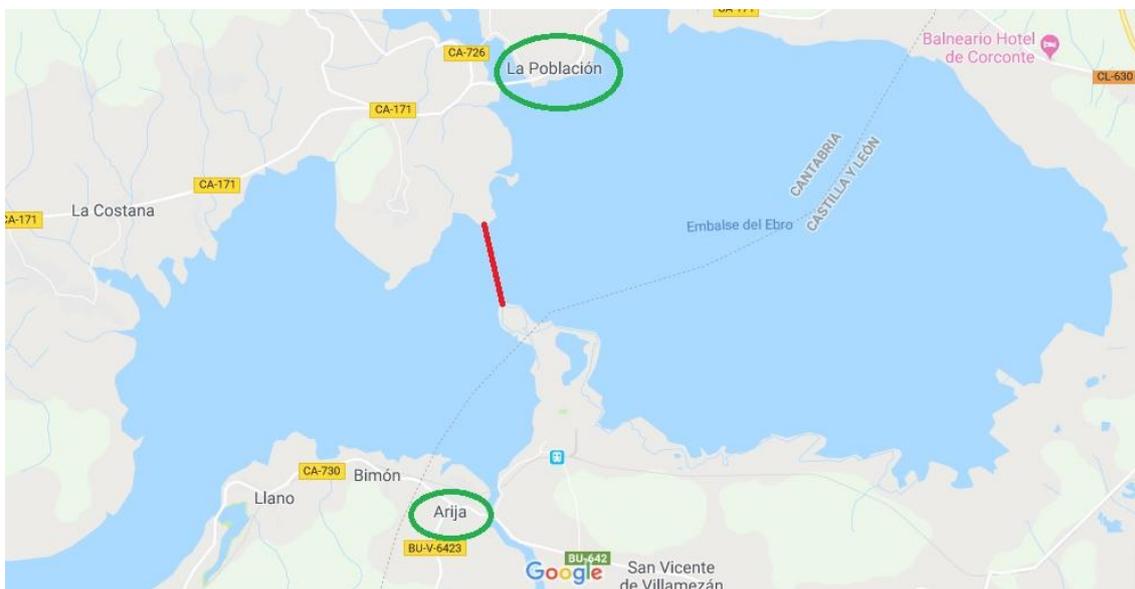


Imagen 1.1. Ubicaciones principales. FUENTE: Google Maps

En la Imagen 1.2 mostrada a continuación se muestra la traza del puente y sus accesos.

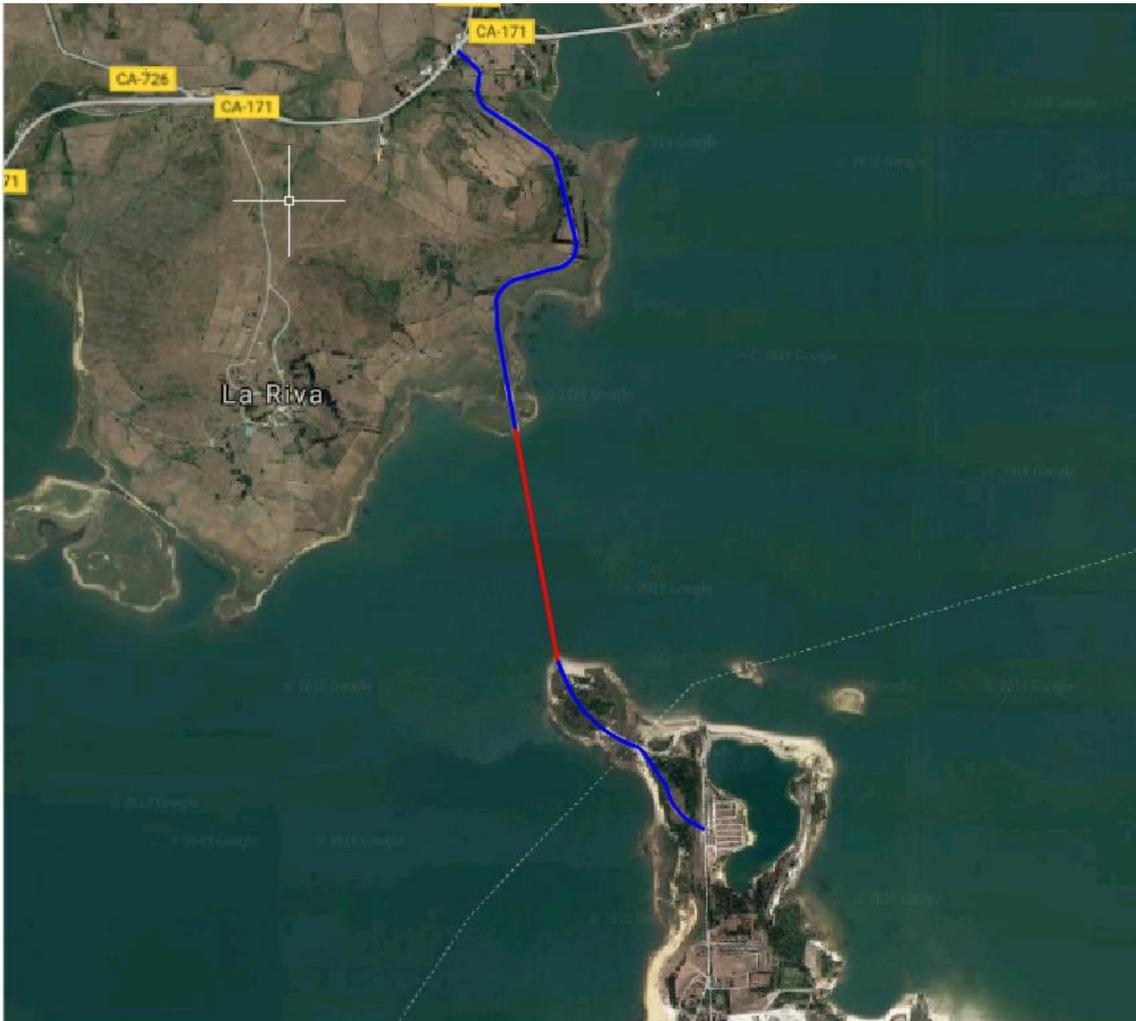


Imagen 1.2 Traza y accesos. FUENTE: Ortofotos PNOA máxima actualidad

El trazado total del puente Noguero y sus accesos son medidos en la Imagen 1.2., obteniendo las longitudes que se muestran a continuación:

- Acceso Cantabria (La Población). Longitud: 1.810 m.
- Acceso Burgos (Arija). Longitud: 870 m.
- Traza Puente Noguero. Longitud: 950 m.
- TOTAL: 3.928 m.

Dicha traza circulaba por la cota correspondiente 840 metros sobre el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) y la cota 140 en el antiguo sistema de altitudes, 2 metros por encima de la cota máxima del embalse, definida esta magnitud por la máxima altura de ola sobre las pilas del puente.

1.3.3. Geotecnia. Suelo de Cimentación

En este apartado se expone la información obtenida acerca de los diferentes estratos que se encuentran en la traza del Puente Noguero.

El terreno de cimentación del puente forma la impermeabilidad del vaso del embalse, tratándose generalmente de una arena arcillosa con bancos sanos y gruesos de arenas de la zona unas resistencias medias al hundimiento de 6 Kg/cm². Esto es lo que se planteó en el proyecto original encontrándose en el fondo del valle y en la llanura de inundación mas próxima estratos arcilloso fangosas que llegan hasta profundidades de 40 metros.

1.3.4. Geometría

Longitudinal

EL puente Noguero estaba formado por una sucesión de arcos a de 18,90 metros y 20 metros rebajados $\frac{1}{4}$ de luz y arcos de medio punto de 10 metros de luz. En la época del 1950 a la sucesión de arcos rebajados se le conocía como Modelo de Puente Especial.

Dentro de la sucesión de arcos se deben de separar en conjuntos formados por 5 o 6 arcos de 18,90 metros de luz que se acotan entre conjuntos por las denominadas Pilas Estriberas (llamadas así por tener las mismas dimensiones que los estribos) y pilas propiamente dichas entre los arcos del grupo. Este fue el planteamiento inicial pasando los estribos a ser pilas estriberas y añadiendo 4 arcos de medio punto de 10 m de luz en la margen de Arija y 2 arcos en la margen de La Población aumentando la longitud del puente, esto se realizó durante la construcción por problemas en las cimentaciones y para disminuir el volumen de terraplenes de acceso y su protección, siendo más barato realizar arcos de acompañamiento que el terraplén de acceso.

Finalmente queda un total de 9 grupos y 43 arcos, en la Imagen 1.3. se puede ver la composición del puente Noguero, así como la numeración de sus pilas y estribos.

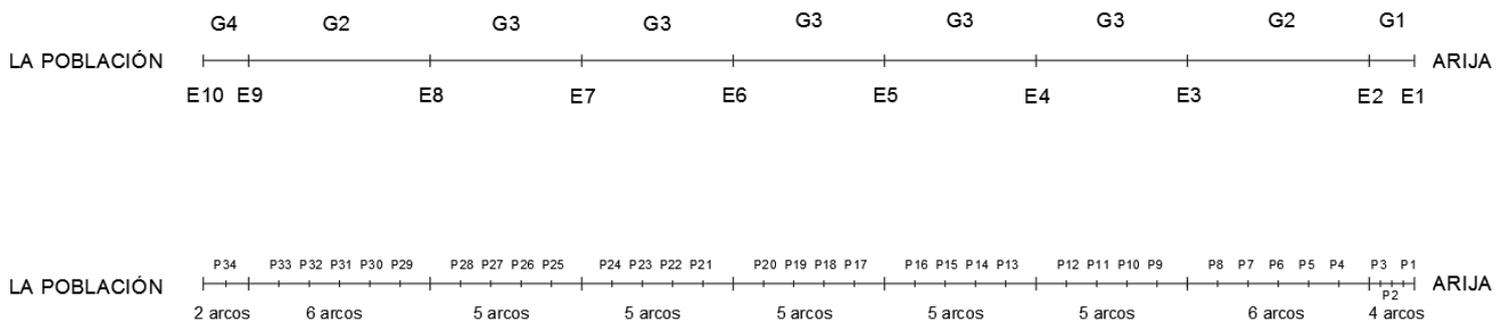


Imagen 1.3. Esquema Puente Noguero. FUENTE: Propia

- **G1:** 4 arcos de medio punto de 10 metros de luz entre los estribos 1-2.
- **G2:** 6 arcos rebajados $\frac{1}{4}$ de luz entre los estribos 2-3 y 8-9.
- **G3:** 5 arcos rebajados $\frac{1}{4}$ de luz entre los estribos 3 al 8.
- **G4:** 2 arcos de medio punto de 10 metros de luz entre los estribos 9-10.

Las dimensiones de las pilas son de 5x2 metros y las pilas estriberas de 6x5 metros. Diseñadas las pilas estribo para soportar el empuje de un arco.

Existen en todos los arcos dos aligeramientos con una luz de 2,5 metros, consiguiendo una mejora de la estética del puente de arcos sucesivos y como desagüe cuando el embalse este próximo a su cota máxima.

Transversal

El tablero tenía 6 metros de anchura y estaba formado por los 5 metros del arco y dos voladizos de 0,5 metros, siendo la anchura en las pilas estriberas de 6 metros. Esta pequeña anchura de tablero se debe al diseño del Puente Noguero, ya que fue diseñado en los años 50 para el paso de carros tirados por animales, vehículos y peatones. Los estándares de seguridad para el paso eran menores y por tanto las anchuras también.

Cimentación

La cimentación del Puente Noguero sufrió modificaciones durante su construcción, se puede dividir en dos cimentaciones claramente diferenciadas:

- **Cimentaciones superficiales en las cercanías a los estribos**
- **Cimentaciones profundas en las cercanías al fondo del valle**

Ambas con una profundidad media de 2 metros. La cimentación profunda se conformó, con un encepado y pilotes de eucalipto de diferentes longitudes trabajando todas por fuste sobre las capas fangosas con profundidad media de 2 metros.

El número y reparto de los pilotes, así como el cambio de dimensiones a pilas y estribos se hizo a medida que avanzaba el puente. Para una pila estribera se llegaron a utilizar más de 40 pilotes de 9 m de longitud y 25 cm de diámetro medio.

1.3.5. Puentes Similares

En este apartado se exponen una serie de puentes realizados durante las obras de indemnización explicando sus características principales y las soluciones llevadas a cabo. Se han analizado los siguientes puentes:

- Puente Viejo entre la Riva y la Población en CA-171.
- Nuevo Puente entre la Riva y la Población de Arenas&Asociados.
- Puente entre el Llano y Renedo.
- Viejo Puente Orzales-Peninsula de la Lastra.
- Nuevo Puente Orzales-Peninsula de la Lasta.
- Puentes del ferrocarril ejecutados como indemnización.

1.3.6. Materiales

Los materiales de los que se formó el Puente Noguero se deben separar en las partes de la estructura que conforman un puente:

- **Tablero:** Hormigón livianamente armado, para constituir la calzada y los voladizos.
- **Arcos y aligeramientos:** Hormigón en masa, ausencia total de acero, tongadas de 20-30 cm. Se cimbraba con encofrados de madera, se vertía y compactaba.
- **Pilas:** Pilas de hormigón en masa recubiertas con ladrillo hidráulico, presentan taludes en sentido longitudinal de 1/50.
- **Cimentación:** Encepado de hormigón livianamente armado o pilotaje sobre propio elemento con vigas de eucalipto hincadas en el terreno. Presentaban diferente número y longitud en función del tipo de pila y su altura. Pasando de los 6 a las 40 vigas de eucalipto y longitud de 8 metros.

1.3.7. Funcionamiento Arcos

Se explica el funcionamiento de los arcos y se realizan cálculos aproximados mediante dos métodos: uno **gráfico** del que se obtienen los valores de las reacciones, y otro numérico según el libro de Mampostería de Estructuras de Fabrica de Jackes **Heyman** publicado por el Instituto Juan de Herrera.

1.3.8. Estudio de Hundimiento

Se exponen las principales características extraídas del estudio de hundimiento tanto de los asientos como de los sondeos. Analizando y explicando el proceso de rotura del arco frente a los esfuerzos debidos al asiento y el proceso de volcado posterior.

1.4. Estudio de la Zona

1.4.1. Introducción

Se estudian las principales características del entorno del proyecto. Dicha zona abarca las Comunidades de Cantabria y Castilla y León, estudiándose la zona relativa al proyecto en general. Esta parte sirve como apoyo para realizar tanto el estudio de alternativas como la parte más relacionada con la ingeniería. La información contenida en este apartado formaría parte de los anejos de un proyecto de ingeniería al uso.

1.4.2. Factores a estudiar

1.4.2.1. Demografía

Se estudiarán los principales focos poblacionales dentro del municipio al que corresponden a ambas orillas del embalse del Ebro utilizando censos y herramientas informáticas Diferenciando las divisiones territoriales que forman parte de cada comunidad.

Presentando la zona núcleos poblacionales pequeños de 40 habitantes repartidos por el territorio con densidades poblacionales bajas desde 5 a 18 habitantes / km².

1.4.2.2. Economía

Se analizan los principales sectores del trabajo en la zona de estudio diferenciando entre comunidades autónomas. Exponiendo cuales pueden beneficiarse por la nueva infraestructura. Así como las diferentes inversiones realizadas en la zona por ambas comunidades autónomas.

1.4.2.3. Tráfico

Se exponen los mapas del tráfico de España más recientes para la zona de estudio. Distinguiendo entre 3 ejes diferenciados y calculando una IMD esperada para la nueva infraestructura

- Eje 1: Corredor Este-Oeste por el Norte del Embalse con dirección Reinosa.
- Eje 2: Corredor Norte-Sur al este del Embalse (Carretera N-623) carretera del escudo.
- Eje 3: Corredor Este-Oeste al Sur del Embalse con dirección Reinosa.

Se calcula la IMD con los datos de la población y su parque de vehículos utilizando las hipótesis realizadas para el día pésimo y un día laborable.

La IMD obtenida en ambos casos es de 300 con un 25% de vehículos pesados.

1.4.2.4. Infraestructura

Se expone la infraestructura de la zona de estudio, diferenciando entre el tipo de transporte estudiando:

- Transporte vial
- Transporte Ferroviario
- Transporte aéreo
- Caminos Rurales

1.4.2.5. Impacto Ambiental y Espacios Protegidos

Se trata el posible impacto ambiental de la obra en el medio, no el impacto ambiental que supuso la construcción del Embalse del Ebro y el anegado del valle.

Actualmente el embalse del Ebro es una zona de biodiversidad tanto vegetal como animal, ya que, al tratarse de un embalse grande en superficie, pero somero, siendo la profundidad máxima de la traza del puente 20 metros, hace que la luz pueda filtrar hasta el interior formados algas, y con estas la oxigenación del agua. De modo que es un embalse rico tanto en flora como en fauna. Además, al tratarse de una gran masa de agua, algunas aves migratorias hacen del embalse del Ebro su zona de migración y anidado.

Luego estos factores hacen que el embalse del Ebro quede dentro de la zona de protección NATURA 2000. Esta red está formada actualmente en España por 1467 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) incluidos en las listas de LIC aprobadas por la comisión europea y por 644

Zonas de Especial Protección para las Aves(ZEPA). Siendo actualmente la zona del embalse del Ebro una zona ZEPA perteneciente a cada comunidad.

1.4.2.6. Cultura y Lugares de Interés

La cultura de la zona está ligada a los caminos rurales que conectan los diferentes puntos de interés, además, se encuentra en una zona de gran cultura bañada el Arte Románico, siendo Cantabria y Castilla y León dos de las comunidades autónomas con más yacimientos y calzadas de España.

Esta cultura destaca por su arquitectura Románica es Iglesias, Monasterios y Ermitas, con cultura más medieval de sus casonas montañosas, además de una cultura más actual como es el Canal de Castilla.

Todo esto unido está unido al Embalse del Ebro, lugar donde se realizan numerosas actividades tanto acuáticas como de ocio.

1.4.2.7. Hidrografía

Para abordar el tema, lo primero es analizar el embalse del Ebro, ya que la Hidrografía de la zona cambió en gran medida con su construcción, quedando ahora el valle sumergido durante todas las épocas del año.

Después se realiza un breve resumen de las cuencas españolas, el recurso hídrico total y las presas en España. Abordando el tema de la sedimentación de embalses y realizando un cálculo de la sedimentación del Embalse del Ebro, teniendo este, al ser un embalse de cabecera unas tasas de aterramiento bajas.

1.4.2.8. Topografía y Cartografía

Se explica el proceso realizado para obtener la cartografía / batimetría del vaso del embalse. Se ha utilizado para ello la cartografía en papel con proyecciones en ED50 adaptándola con base a las ortofotos de 1955 con el Puente Nogueroles en pie, ortofotos de máxima actualidad y la cartografía base de las hojas correspondientes 0083 y 0108.

1.4.2.9. Geología

Se realiza un inciso importante, siendo el apartado del estudio de la zona con más información. Esto es debido a que el desconocimiento de la geología y fue la ruina de la anterior infraestructura el Puente Nogueroles. Se utilizan las siguientes fuentes:

- Libro Montañas de Campoo de Relieve y Glaciario del departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid (UVA) de Enrique Serrano Cañadas.
- Estudio Previo de Terrenos ENLACE Burgos-Santander
- Visor Mapas Cantabria
- Mapa Geológico Escala 1:50.000. Se adjuntan las hojas y los perfiles geológicos que permiten ver el material de la traza.

En las Imágenes 1.4. y 1.5. se muestra la información geológica de la zona.



Imagen 1.4. Corte Geológico IIII donde se aprecia la formación que da impermeabilidad al vaso del embalse. FUENTE: Mapa Geológico

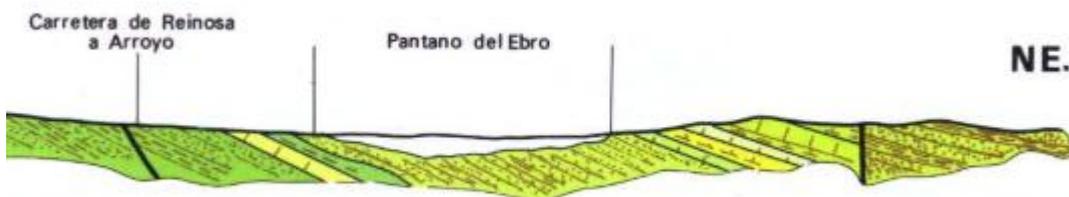


Imagen 1.5. Corte Geológico I donde aparece la zona de estudio. FUENTE: Mapa Geológico

1.4.2.10. Geotecnia

Se exponen los principales datos obtenidos del estudio de Hundimiento del Puente Noguero, señalando los posibles estratos donde puede cimentarse la nueva infraestructura.

1.5. Estudio de Alternativas

1.5.1. Introducción

El siguiente apartado tiene como objeto realizar un análisis multicriterio con el fin de comparar las diferentes alternativas y elegir la tipología óptima para el presente proyecto, Nuevo Puente Noguero o Puente de la Virga sobre el embalse del Ebro. Dicho puente conectará las poblaciones de Arija (Burgos) y La Población (Cantabria).

1.5.2. Criterios

Los criterios como base del análisis multicriterio son los siguientes:

- Económico: se pretende conseguir la mejor alternativa económica al tratarse de una zona de poca población y que a la vez la que obtenga el mayor beneficio económico. Analizando tanto los costes como los beneficios
- Ambiental: en cuanto al encuadre de la estructura en el medio, tanto su construcción, como el impacto durante su vida útil.
- Potencial a la zona: es un criterio bastante amplio que se refiere a la posibilidad de un aumento del turismo (con la mejora de la economía)), económico (nuevas empresas, trabajo), poblacional (debida a economía) etc.

- Cumplimiento indemnizaciones: se debe de cumplir con las indemnizaciones prometidas por la construcción del embalse y la posterior ruina del Antiguo Puente Noguero. La alternativa elegida debe de cumplir las funciones del antiguo puente.
- Funcional: en cuanto al transporte que podrá circular sobre él. Se tendrá en cuenta el tránsito de peatones y vehículos en las diferentes alternativas.
- Seguridad vial: al tratarse de un puente debe de cumplir los estándares de seguridad sobre barreras longitudinales, seguridad usuarios, visibilidad.
- Accesibilidad, debe de cumplir con los estándares de circulación para todos los usuarios.

Una vez nombrados los criterios a utilizar, se les debe de dar un peso según su importancia. Los pesos se obtienen de manera cuantitativa y se utilizará una ponderación con números arábigos del 1 al 5. La tabla con los pesos se muestra en la siguiente tabla:

| Criterios | Peso Análisis(1 a 5) |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Coste Económico | 5 |
| Beneficio Económico | 4 |
| Ambiental | 4 |
| Potencial Zona | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 3 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

1.5.3. Soluciones y Alternativas Planteadas

- **ALTERNATIVA 0.1:** Situación actual, ningún tipo de actuación (Últimos 60 años).

| Criterios | Puntuación |
|-------------------------------------|-------------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 1 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 1 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 1 |
| Funcional | 1 |
| Seguridad Vial | 1 |
| Accesibilidad | 1 |

- **ALTERNATIVA 0.2:** Se estudiará como si el antiguo Puente Noguero aun siguiera en pie, se analizará económicamente su mantenimiento y los cambios requeridos por condiciones de seguridad. También se estudiará la ficticia circulación de la infraestructura. Como es evidente esta alternativa no podrá ser la elegida por no ser posible, pero se estudiará de manera anecdótica y para hacer hincapié en la rehabilitación del puente.

La ficticia circulación se basaría en:

Puente Carretero. Imagen 1.6.

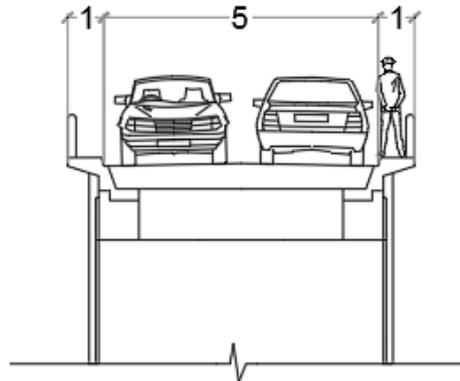


Imagen 1.6. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Puente Noguero Reconvertido en Puente Mixto. FUENTE: Propia

Pasarela Peatonal. Imagen 1.7.

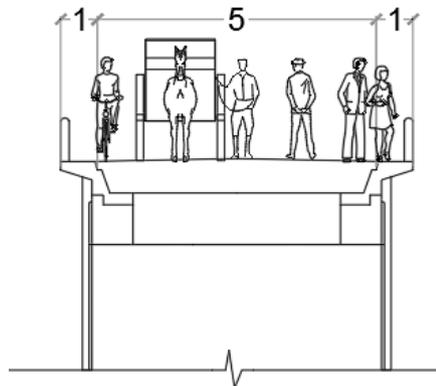


Imagen 1.7. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Puente Noguero Reconvertido en Pasarela Peatonal. FUENTE: Propia

Solución Mixta. Imagen 1.8.

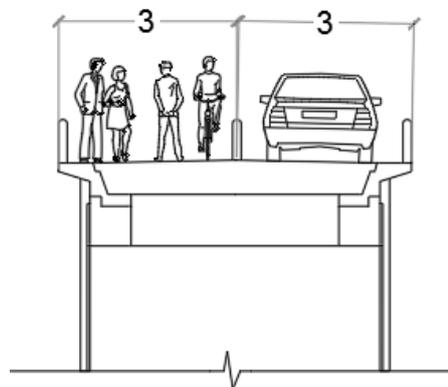


Imagen 1.8. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Puente Noguero Reconvertido en Puente Mixto. FUENTE: Propia

| Criterios | Puntuación |
|-------------------------------------|-------------------|
| Económico - Coste | 3 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 4 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 3 |
| Seguridad Vial | 3 |
| Accesibilidad | 1 |

- **ALTERNATIVA 1:** Construcción de un puente carretero de 950 metros de longitud estudiando distintas tipologías (vigas isostáticas o atirantado). Incluyendo un tramo de 2800 metros de carretera en total en ambos estribos para la unión con las carreteras autonómicas CA-171 y la BU-V 6424 respectivamente. En estas últimas se deberán hacer diferentes actuaciones.
 - **ALTERNATIVA 1.1:** Puente carretero de tipología vigas prefabricadas doble T isostáticas de 30 metros de luz, aparatos de apoyo elastómeros y subestructura y cimentación de hormigón armado.

| Criterios | Puntuación |
|-------------------------------------|-------------------|
| Económico - Coste | 3 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 4 |

- **ALTERNATIVA 1.2:** Puente carretero de tipología atirantado formado por tres vanos uno central y dos de acompañamiento con luces aproximadas de 650 y 150 respectivamente. Se conformaría de tirantes de acero con estructura, subestructura y cimentación de hormigón armado. La longitud de los vanos se estudiará si resulta como solución final.

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 2 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Acesibilidad | 4 |

- **ALTERNATIVA 2:** Construcción de una pasarela peatonal sobre el embalse de tipología de vigas isostáticas artesas o cajón de 30 metros de luz, aparatos de apoyo elastómeros y subestructura y cimentación de hormigón armado. Con un posible ensanchamiento en su zona central para ocio. Se muestra en las Imagen 1.9 y 1.10 un esquema de esta solución.

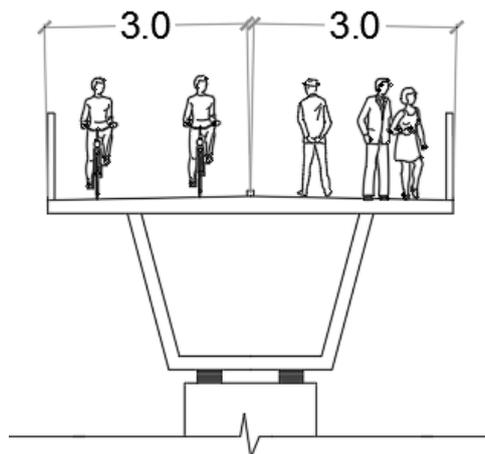


Imagen 1.9. Posible Sección Transversal de Pasarela Peatonal: CASO Ocasión Normal. FUENTE: Propia

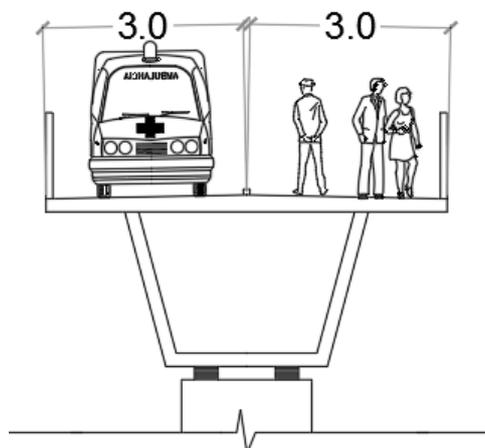


Imagen 1.10. Posible Sección Transversal de Pasarela Peatonal: CASO Ocasión Excepcional. FUENTE: Propia

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 4 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

- **ALTERNATIVA 3:** Inversión en la zona ya sea en infraestructura, sanidad, cultura etc. Se abordará por ejemplo y por tratarse de un proyecto de Ingeniería, una Mejoras en las carretera CA-171, N-623 (Cantabria) y BU-643 que unen La Población y Arija respectivamente.

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 3 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 2 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

1.5.6. Tabla Resumen Final

Tras realizar el estudio de alternativas y puntuar los criterios de las diferentes soluciones y alternativas se obtiene la tabla final y con ella la mejor solución para la zona de estudio.

| Criterios | Peso | Puntuación Alternativa | | | | | |
|------------------------------|------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 0.1 | 0.2 | 1.1 | 1.2 | 2 | 3 |
| Económico - Coste | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| Económico - Beneficio | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| Ambiental | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Potencial Zona | 3 | 1 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 |
| Funcional | 3 | 1 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Seguridad Vial | 5 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Accesibilidad | 5 | 1 | 1 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| TOTAL | | 70 | 113 | 147 | 142 | 164 | 141 |

1.5.4. Alternativa favorable Solución Adoptada

Tras el anterior análisis multicriterio la alternativa favorable a resultado la Alternativa 2 Pasarela Peatonal, a continuación, se muestran sus ventajas e inconvenientes.

VENTAJAS

Las ventajas que se encuentran respecto a las demás alternativas se pueden resumir en:

- Presenta un menor coste que las alternativas 1.1 y 1.2.
- Supone un beneficio para la zona por el ahorro de tiempos de viaje para los vehículos permitidos.
- Mejor alternativa ambiental en nueva infraestructura durante construcción y explotación.
- Cumple las indemnizaciones planteadas.
- Presenta un aumento del potencial turístico de la zona, siendo el camping de Arija uno de los principales beneficiados por ser la nueva infraestructura un paso de gran longitud sobre el embalse del Ebro.
- Siendo una alternativa mixta permite el tránsito de vehículos en diversas situaciones.

INCOVENIENTES

Los inconvenientes que se encuentran son:

- Supone un desembolso importante por parte de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Siendo una zona de muy escasa población.
- No supondría un beneficio monetario por ahorros de tiempo para el ciudadano medio de Arija dirigiéndose al principal foco poblacional que es Reinosa.
- Al no existir este ahorro de viaje, se vería una merma en la posibilidad de nuevas empresas en la zona bien comunicadas con la principal infraestructura que es la autovía A-67.

1.5.5. Características Principales Solución Adoptada

Las características principales de la nueva infraestructura son:

- Vigas prefabricadas de hormigón armado de 30 metros de luz.
- Sección en U o cajón.
- Pilas de hormigón armado.
- Aparatos de apoyos de neopreno zunchado (Apoyos elastómeros).
- Cimentación profunda a base de hormigón armado.
- Curvatura en planta para salvar las pilas y pilas-estribo del antiguo Puente Noguerol.

1.6 Solución Adoptada

1.6.1 Introducción

Se realizará a nivel de anteproyecto la solución adoptada. Basándose ésta en:

- Una pasarela peatonal apoyada sobre vigas prefabricadas pos tensadas de 30 metros de luz. Adoptando el nombre del páramo que salvaría, **Pasarela de la Virga**.

Se deberían ejecutar además para la adecuación completa de la estructura en la zona de estudio las siguientes obras complementarias:

- Nueva Carretera de acceso al Estribo Burgalés (Arija Estribo 1), incluyendo terraplén de acceso para formación explanada y firme además de la protección a base de escollera necesaria.
- Adecuación carretera de acceso al Estribo Cántabro (La Riva Estribo 2), incluyendo ensanche de plataforma y las expropiaciones pertinentes.
- Nuevos parkings en las inmediaciones de los accesos a la infraestructura.

1.6.2. Geometría

La pasarela consistirá por la sucesión de vigas prefabricadas isostáticas simplemente apoyadas en pilas mediante aparatos de apoyo elastómeros.

La longitud final será un poco mayor que su predecesor por tener curvatura en planta, siendo esta curvatura de radio aproximado 1200 metros hacia aguas arriba, dicha curvatura se conseguirá mediante trabajos de campo, realizando un desfase entre las pilas y mediante vigas prefabricadas curvas. Esta curvatura será necesaria para salvar lo que quede de las pilas y pilas-estribo del Puente Noguero, así como los fragmentos de sus arcos y tableros debidos a su dinamitado.

Se conformará de la sucesión de 32 vanos con una longitud total de 1.025 metros, apoyados en 31 pilas y 2 estribos manteniéndose la ubicación del estribo de La Población por presentar el terraplén buenas características, trasladando el estribo de Arija además de para salvar el anterior estribo por el nuevo trazado de acceso.

El ancho de la plataforma viene dado por la sección transversal de la viga prefabricada artesa y la losa hormigonada in situ. Dicha sección transversal está compuesta por dos calzadas diferenciadas de 3 metros una para el tráfico mixto ciclistas vehículos pesados y la otra para el transito libre de peatones.

Se muestra en la Imagen 1.11. y 1.12. un esquema de la sección transversal de este.

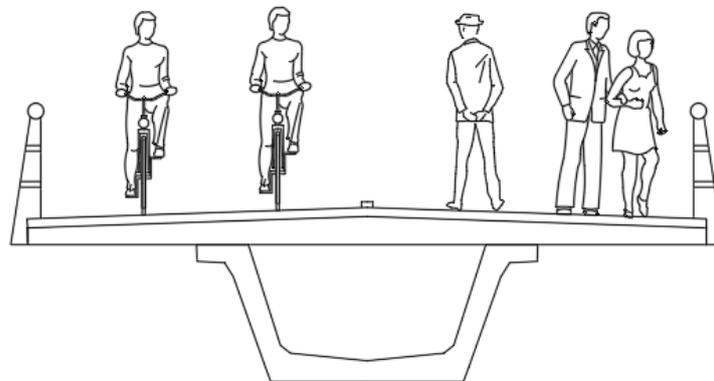


Imagen 1.11. Sección Transversal Pasarela de la Virga Situación Normal Transito peatones y ciclistas. FUENTE: Propia

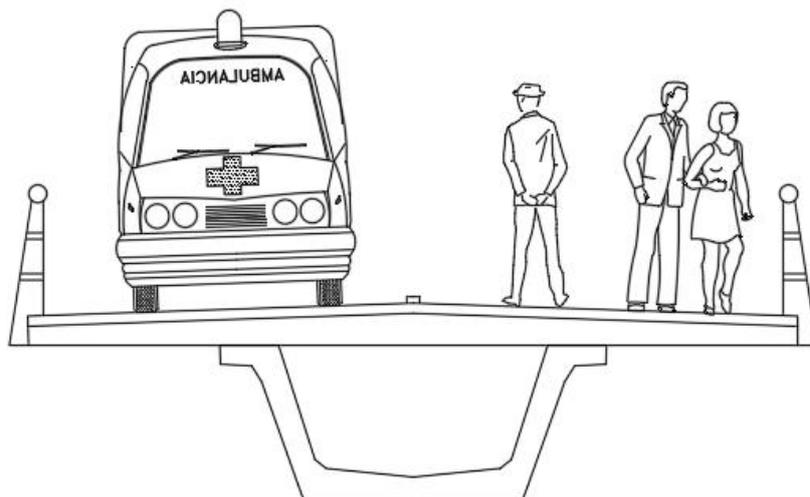


Imagen 1.12. Sección Transversal Pasarela de la Virga. Situación excepcional Tráfico Mixto. FUENTE: Propia

..

Las características geométricas tanto de las pilas como de la cimentación en general (encepado y pilotes) vendrán fuertemente condicionadas por el método constructivo a utilizar y el mal terreno de cimentación.

Las pilas se supondrán rectangulares casi cuadradas con dimensiones de 2,4 x 2,2 metros para la cimentación se plantearían dos soluciones:

- Pilote único (pila-pilote) hincado de $\varnothing 200$ centímetros lanzado mediante barcazas, se empotrará en el terreno competente por debajo de los depósitos de arcillas y fangos.
- Grupo de 4 pilotes de $\varnothing 100$ centímetros con separaciones aproximadas de 0.8 a 1 metro con encepado de al menos 1 metro de altura y mayor dimensión que las pilas.

1.6.3. Materiales

Los materiales que conforman la nueva infraestructura son principalmente acero y hormigón, encontrándonos diferentes tipos:

- Hormigón Prefabricado de taller, es el que conforma las vigas artesas, las características del hormigón serán las proporcionadas por la empresa suministradora. Se puede suponer un HP-35/12/IIA o incluso mejores como un HP-40/12/IIA por tratarse de un prefabricado realizado en taller bajo condiciones adecuadas.
- Hormigón In-situ, utilizara un hormigón HA-35/12/IIA con las siguientes características.
- Acero activo Y-1770-S7, compuesto de 7 alambres y compatible con los torones de 0,6''
- Acero pasivo B-500-S .

El resto de características vienen indicadas en el apartado pertinente.

1.6.4. Cálculo estructura

Objeto de cálculo

Al tratarse la estructura de una sucesión de vigas, siendo a niveles de cálculo biapoyadas, se realizará el cálculo para el tramo que atravesase el cauce del anegado Rio Virga por ser el tramo con mayor altura de pilas y sobre el peor terreno de cimentación. Se realizará el predimensionamiento y comprobación para la sección centro de luz por ser la pésima, el pretensado calculado se ejecutaría en taller y sería el necesario para dicha sección. Teniendo que enfundar parte del pretensado para que no coja adherencia con el hormigón en toda su sección. Esto se ampliará en la solución adoptada.

Quedando no obstante que calcular los estribos cimentados sobre un terreno arenoso de buenas características según lo que indican todos los datos anteriores del Puente Noguero. Así como los cálculos de la sección transversal, siendo a efectos de cálculo de distorsiones una sección cajón cerrada frente a pequeñas solicitaciones de esfuerzos torsores.

Para la obtención de los esfuerzos se puede utilizar cualquier prontuario de estructuras para viga biapoyada y cargas linealmente repartidas y carga concentrada como en el de la Imagen 1.13.

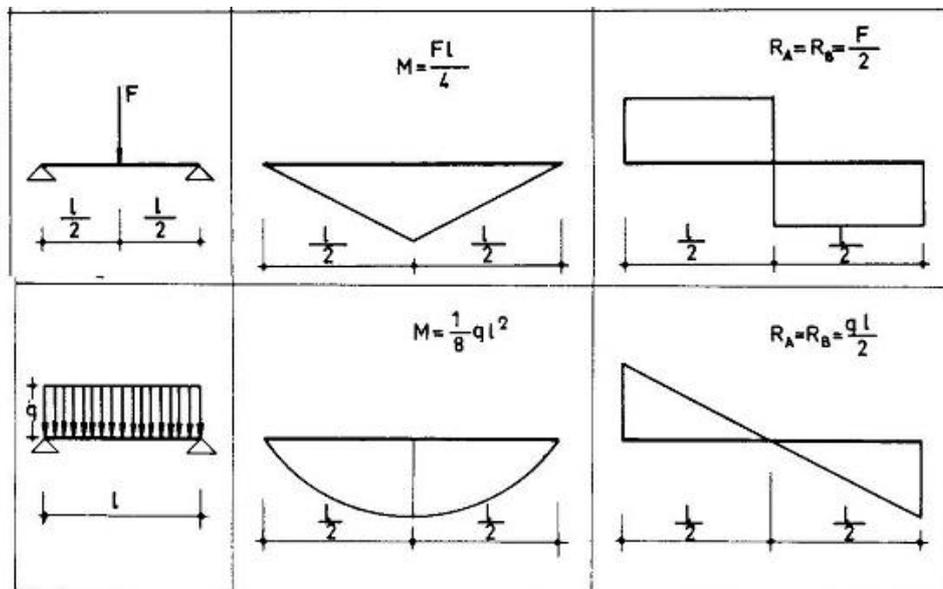


Imagen 1.13. Prontuario Viga Biapoyada Leyes de momentos y cortantes respectivamente. FUENTE:Google

Cargas

La obtención de las cargas se realiza mediante la IAP-21, las cargas que se calculan son las siguientes:

- Peso Propio.
- Cargas permanentes; pavimentos y protección longitudinales.
- Sobrecargas: tráfico y peatones.
- Viento.
- Nieve.

Se tendrán que realizar los grupos de cargas según la IAP para la realización de la combinación pésima. Realizando por tratarse de una solución mixta dos grupos de carga adicionales combinación de los anteriores.

Predimensionamiento Pretensado

Se han de diferenciar dos estados para la fase de predimensionamiento: estado inicial o de vacío (Peso Propio + Pretensado inicial) y estado de servicio (Peso Propio + Pretensado Final + Carga Permanente + Sobrecarga de uso).

ESTADO INICIAL O VACÍO

En este estado no pueden aparecer tracciones en la fibra superior del tablero. También hay que limitar las compresiones en la fibra inferior

ESTADO DE SERVICIO

En el estado en servicio actuará el pretensado final, o lo que es lo mismo, el pretensado a tiempo infinito, y la sobrecarga de uso, junto con el peso propio de la estructura. El momento de diseño en este caso es el momento máximo del estado frecuente ($M_{max, freq}$) e incluirá el momento debido al peso propio, carga permanente y sobrecargas de uso.

Se ha supuesto, en una primera aproximación, un 7% de pérdidas instantáneas y un 20% de pérdidas diferidas. Se utilizarán torones de 140 mm^2 (0,6") y vainas de 100 mm de diámetro, con una capacidad máxima de 19 torones por vaina.

Se realizará un cálculo simplificado mediante una hoja Excel en vez de resolver con diagramas de P y P*e. Se tomaría el valor mínimo calculado que cumpliera estrictamente quedando del lado de la seguridad por la realizar grupos de cargas combinatorios.

De estos cálculos se obtiene un valor aproximada de $P_o = 43200 \text{ KN}$. Cogiendo la tensión inicial de tesado y un área de 140 mm^2 se obtiene el número de torones y vainas inicial. Obteniéndose:

- Número de torones 212.8 -> 213 torones.
- Número de vainas 11.19 -> 12 vainas.

Comprobación Pretensado

Se realizará la comprobación del pretensado realizando las combinaciones de cargas según la EHE0-08.

Se comprobará estrictamente el resultado del predimensionamiento, realizando unos comentarios acerca de dicha comprobación.

Aparatos de apoyo

La normativa de base a la elección y cálculo de los aparatos de apoyo es la siguiente:

- Nota Técnica sobre aparatos de Apoyo para Puentes de Carretera del Ministerio de Fomento.
- UNE-EN 1337-3 Apoyos Estructurales: Parte 3 Apoyos elastoméricos, proporcionada por la Universidad de Cantabria.

La estructura al basarse en la sucesión de vigas isostáticas sin un tablero continuo, hace que la transmisión de los esfuerzos y el planteamiento de los cálculos sea diferente respecto a una estructura de tablero continuo e hiperestática.

Esto es debido fundamentalmente al **Punto Fijo**, siendo este el centro geométrico de los desplazamientos de la estructura. Siendo en una estructura de tablero continua función de las rigideces de pilas, estribos y los aparatos de apoyo calculándose como centro de gravedad de las rigideces de la estructura.

En el caso que nos ocupa se trataría de una manera sencilla como si cada vano (viga prefabricada biapoyada) es un puente aislado, en la que el punto fijo se encontrara en uno de sus apoyos, y los movimientos quedaran libres en el otro apoyo. Permitiendo así la libertad de movimientos en la estructura.

Ante la estructura que se nos plantea y frente al cálculo del vano más cargado los aparatos de apoyo a disponer son:

- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado, permitiendo los movimientos.
- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado anclado o tipo POT para conseguir el **Punto Fijo** de la estructura.

Predimensionamiento

Se utiliza la Nota técnica de aparatos de apoyo, utilizando la recomendación acerca de la limitación de la presión vertical máxima, obtenida durante las combinaciones de la EHE-08 en la comprobación del pretensado. Se obtienen aparatos de apoyo de 300 x 400 mm eligiéndolos de la norma EN-1337-3.

Estas dimensiones de los aparatos de apoyo sirven además para conocer las dimensiones aproximadas que tienen que tener las pilas, por las separaciones necesarias por labores de mantenimiento posteriores respecto al fin de la pila, y la separación que tienen que tener para el cálculo transversal.

Comprobación

Se comprueba según la Normativa UNE EN-1337 -3 en el que las comprobaciones se basan en el cálculo de las deformaciones no pasando un límite, fundamentalmente la tensión debida al vulcanizado que une la placa de acero y el elastómero.

- Deformación de diseño debida a la carga de compresión
- Deformación en cizalla
- Deformación en cizalla por deformación angular.

Estas 3 deformaciones tienen que quedar menores de 7, se puede ir comprobando si cumplen los aparatos mientras se realizan las comprobaciones. Cumpliendo estrictamente las comprobaciones el valor máximo de 7 quedando un valor bajo las cargas e hipótesis tomadas un valor de la deformación total de 1,85.

1.6.5. Método Constructivo

El método constructivo propuesto para la solución adoptada se realiza en base a puentes similares, realizando el método que sea el mejor ambiental, técnica y económicamente posible.

El proceso constructivo a seguir comprende los siguientes pasos:

1. Recopilación de datos del terreno en base al estudio de hundimiento y sus sondeos.
2. Desbroce del terreno y adecuación de caminos hasta ambos estribos, teniendo que realizar terraplenes y sus protecciones.
3. Ejecución del pilotaje prefabricado metálico mediante barcazas. Se hincan en el terreno hasta llegar a las capas competentes. Se utiliza el útil necesario montado sobre una pontona.
4. Se comienza a hormigonar los pilotes metálicos hasta cierta altura de pilote, se deben realizar los trabajos en seco disponiendo las esperas necesarias, bien mediante ataguías o ventanas de tiempo con niveles bajos del embalse.
5. Ejecución de las pilas mediante barcazas, hormigueándolas en seco.
6. Ejecución simultánea de los estribos y las pilas adyacentes en seco mediante pequeños rellenos. Se realizan al mismo tiempo que las restantes pilas.
7. Izado de las vigas con útiles ubicados en las pilas. Se transportan mediante pontonas y se izan. Es necesario realizar maniobras verticales y horizontales para su posicionamiento final.
8. Colocación del resto de vigas mientras se colocan los encofrados perdidos para la formación de la losa.
9. Armado y Hormigonado de la losa
10. Ejecución del firme, colocaciones elementos de seguridad y trabajos finales (limpieza, aceras, reposición ambiental etc.)

1.6.6. Presupuesto

Estimación

Se realizarán unas estimaciones iniciales en base a puentes similares, expuestos tanto en el Estudio del Puente Noguero, así como en la solución adoptada.

La estimación del coste total del puente estaría comprendida entre 13 y 14 millones de euros.

Medición y Presupuesto Tablero

Se realiza la medición y presupuesto para el tablero, estimando el resto de las principales partidas de la construcción del puente. Las unidades de obra planteadas son las siguientes:

- Viga Prefabricada 30 ml de luz pretensada en talle.
- Acero B 500 S Barras Corrugadas.
- HA-35/12/IIA procedente de central puesto mediante vertido / bombeo.
- Encofrados perdidos.
- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado.
- Pavimento peatonal e impermeabilización del tablero.

Los costes por unidad de medida y las mediciones se recogen en la siguiente tabla:

| Nº | UNIDAD DE OBRA | MEDICIÓN | UNIDAD DE MEDIDA | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|----|---|----------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | Viga Prefabricada 30 ml de luz pretensada | 1.025 | m | 1.500 | 1.537.500 |
| 2 | Acero B 500 S Barras Corrugadas | 196.800 | kg | 0,9 | 177.120 |
| 3 | HA-35/12/IIA procedente de central | 1.312 | m3 | 85 | 111.520 |
| 4 | Enconfrados perdidos | 6.150 | m2 | 30 | 184.500 |
| 5 | Aparatos de apoyo elastómeros | 153.600 | dm3 | 26 | 3.993.600 |
| 6 | Pavimento peatonal | 6.150 | m2 | 55 | 338.250 |
| | | | | | 6.342.490 |

Obteniéndose un valor aproximada de 6,5 millones de euros para la ejecución casi completa del tablero. Se realizan las siguientes estimaciones porcentuales respecto del coste total del proyecto de las principales partidas alzadas:

- Cimentación, pilotes y encepado: **30 %**.
- Fuste de pilas y estribos: **8 %**.
- Restante partidas (firmes, terraplenes y protecciones, trabajos de remate de obra...): **12%**

El presupuesto final estimado para la nueva infraestructura ascendería a los 10,5 millones de euros. Con un coste de 1700 € / m2 de tablero.

2. ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGEROL

2.1 Introducción

En el presente capítulo se ha reunido y analizado toda la información recopilada acerca del Puente Noguerol o Viaducto de Arija, exponiéndola de manera clara y concisa y mediante la realización de los planos arquitectónicos, estructurales y cartográficos. Además, se incluye una explicación del funcionamiento de la estructura y las posibles causas que le llevaron a la ruina y su posterior dinamitado.

2.2 Proceso de Redacción – Construcción – Hundimiento

La redacción-construcción del embalse tuvo lugar en varias fases que se muestran a continuación:

- **1902:** Tiene lugar una fuerte sequía en las zonas del bajo Ebro. Se plantea la idea del proyecto en las zonas altas del Ebro para paliar el problema y los problemas futuros de abastecimiento de agua de uso doméstico, regadío, industrial, energético etc. Se promulga un Real Decreto por el que se aprueba el Plan Provisional de Obras Hidráulicas que contempla entre otras la actuación N^o 144 del Pantano de la Virga.
- **1902-1916:** Redacción de estudios de diferente índole, geotécnicos, ambientales, arqueológicos, económicos, demográficos, hidrográficos, de riesgo, etc. La gran cantidad de estudios realizada queda salvada con la dificultad en la redacción de un proyecto tan singular como es una presa, más de esas características y en los años de los que se trata.
- **1916-1928** el célebre Ingeniero Don Manuel Lorenzo Pardo entrega el proyecto del embalse con los siguientes datos generales:
 - Ubicación: Cauce del Río Virga más llanuras de inundación. Se buscaba volver al antiguo lago creándolo artificialmente. Este lago se formaba con las avenidas y crecidas de los ríos incomunicando márgenes, ocupando prácticamente la extensión actual del embalse del Ebro en sus niveles máximos.
 - Capacidad proyecto en Nivel Máximo Normal (NMM) = 540 Hm³.
 - Superficie de 6.253 hectáreas divididas en 4.300 Ha de pastos, 1.750 Ha de prados y 200 Ha de terrenos cultivados.
 - Coste de 21 millones de las antiguas pesetas, presa más barata respecto capacidad del mundo (Tomando como factor de conversión 1 antigua peseta = 3,2 €, la obra asciende a 72 millones de €) Dividiéndose en:
 - Obra hidráulica: 7.5 millones de pesetas (24 millones de €)
 - Indemnizaciones en infraestructuras: 3 millones de pesetas (9.5 millones de €)
 - Indemnizaciones en pagos por tierras, construcción casas, iglesias, industrias, instalaciones etc.: 10.5 millones de pesetas (33.5 millones de €)
 - Caudal en Zaragoza $65 \frac{3}{5}$.
 - Movimiento de 1.875 personas y 400 casas.

- Cuerpo de presa de escollera y tierra de 22 metros de altura.
 - Aumento de la energía hidroeléctrica a lo largo del Ebro de 88.000 CV.
 - Indemnizaciones:
 - Construcción de alrededor de 400 casas en los nuevos márgenes del embalse.
 - Variante del Ferrocarril de la Robla a Valmaseda (20 Km).
 - Variante de carretera de Reinosa a Cabañas de Virtus (12Km y 300 m viaducto).
 - Carretera de Reinosa a las Rozas (15 Km).
 - Carretera de Arijá a la Población (4Km carreteras y 950 m viaducto).
 - Carretera de Órzales a la Península de la Lastra (400 m viaducto).
 - Carretera de Horna a la de Reinosa y Las Rozas (300 m de viaducto).
 - Iglesias en sustitución de las anteriores (3 en total).
 - Tierras de labranza y ganaderas a pesetas/hectárea.
 - Carretera de la Población a la Riva sobre arroyo afluente del río Virga (100 metros de viaducto).
 - Los trámites para la ejecución del proyecto duraron 12 años, siendo finalmente la aprobación definitiva el 30 de julio de 1921 y comenzando las obras con la colocación de *“la primera piedra”* El 28 de mayo de 1928.
- **1928-1936:** Comienzo de los traslados, demoliciones, realojos, estudios de campo, y de algunas de las obras de indemnización ya mencionadas. Principalmente las relacionadas con el vaso del embalse y su cuerpo de presa, así como la infraestructura ferroviaria, ya que permitía conectar Reinosa con las principales capitales del norte de España como Bilbao y Santander para el abastecimiento de recursos. **A fecha de 6 de febrero de 1929 el ingeniero José González Lacasa presenta a la Confederación Hidrográfica del Ebro el proyecto de la carretera vecinal de la Población, La Llana a Arijá.**
- **1936-1939:** Guerra Civil Española, se suspenden todo tipo de obras en el embalse. La guerra fue especialmente dura en la zona de Burgos. **A fecha de 11 de abril de 1936 se aprueba definitivamente el proyecto de la carretera vecinal de la Población, La Llana a Arijá siendo la solución el Puente Nogueroles y sus accesos.**
- **1939-1944:** Construcción del embalse, que finaliza unos años después, época de crisis en España a causa de la Guerra Civil Española. Tras la Guerra Civil, se vuelven a publicar los datos del embalse con sus indemnizaciones apareciendo el Puente Nogueroles en todas ellas. Hay un cambio en el cuerpo de presa del embalse, cambiándose a una presa de hormigón de 34 metros de altura hasta coronación. Son revisados los precios para el pago de las infraestructuras, no para las indemnizaciones monetarias que quedaban de liquidar.
- **A fecha de noviembre de 1942 Proyecto de Replanteo previo del camino local de Arijá a la Población de Yuso de Rene Petit de Ory y Luis Remancho Villar.**
 - **A fecha del 30 de junio de 1944 se aprueba el Proyecto Primitivo de Camino Local de Arijá.**
 - **A fecha de 19 de Diciembre de 1944 son adjudicados por la dirección general de obras hidráulicas dichos destajos a D. Perfecto Nogueroles Rodríguez con la baja del 12.03 %, el 2 de noviembre de 1945 se autoriza la cimentación de pilotaje para el viaducto y también se autoriza la redacción del proyecto reformado por el cambio de sistema de cimentación.**

- **1944-1952.** Se comienza a construir el puente Nogueroles en 1944. Es ejecutado en diferentes años debido a los fuertes inviernos que paralizan los trabajos. También es debido a la ejecución de diferentes viaductos de Indemnización que se realizaban al mismo tiempo, teniendo que repartir los recursos entre las obras. Esto hizo que se tardara hasta el año 1950 en constituir todas las pilas y comenzar a hormigonar los arcos.

La construcción se le adjudica a la empresa de Construcción Nogueroles S.L como se menciona anteriormente, de la que tomo el nombre. Dicha construcción se llevó a cabo en dos partes diferenciadas comenzando cada una por un margen del embalse.

A continuación, se explicará brevemente las diferentes fases del **proceso constructivo**.

1. Desbroce y limpieza del terreno.
2. Movimientos de tierra con medios mecánicos para preparación pilotaje con una profundidad media de 2 metros en plano de cimentación.
3. Hincado de los pilotes de eucalipto mediante medios mecánicos en los estribos y las pilas con dificultades, con maza de 1200 Kg y rechazo de 3 centímetros.
4. Hormigonado de los encepados sobre los pilotes hincados con encofrado de madera o sobre el propio terreno.
5. Construcción de las pilas de hormigón en masa con revestimiento de ladrillo hidráulico, utilizando este revestimiento de fábrica como encofrado. Se utilizaron andamios de madera para los fustes de altura máximo de 18 metros.
6. Colocación del encofrado apoyado a las pilas para dar apoyo a el arco.
7. Hormigonado de los arcos y aligeramientos en tongadas de al menos 30 centímetros.
8. Armado y Hormigonado del tablero y sus voladizos.
9. Remates finales de obra.

Se encontraron problemas en el estribo 1 (Arija) haciendo que los trabajos fueran más lentos y por tanto quedando la unión de ambas partes más cercano a este estribo.

En el año 1946 se habría completado la construcción del cuerpo de presa y ya estaría lista para llenarse el embalse, pero se comienzan a realizar las obras complementarias de indemnización. No obstante, se produjeron diferentes embalses y desembalses en los años 1946, 1947, 1948, 1949 y 1950 con alturas que oscilaban entre los 2 y 10 metros. Mientras tanto se realizaban las cimentaciones del Puente Nogueroles quedando algunas de ellas sumergidas y realizando cambios en el terreno afectando a la consolidación sobre el que se apoyaban las pilas y estribos aun no cargados

A fecha de 6 de junio de 1950 se aprueba el 2º Proyecto Reformado con cambios en el número de arcos para disminuir el volumen de los terraplenes de acceso y el encargo del estudio de la cimentación debido a los sondeos realizados.

A comienzos del año 1951 ya estarían construidas todas las pilas y estribos en altura (Altura máxima pila 18 metros). Los trabajos se centraban en la constitución de los arcos de hormigón restantes ejecutándose desde ambas márgenes. Se apreciaban ya fisuras en los fustes de pilas y estribos, así como en el trasdós e intradós de los arcos hormigonados debido a la acción del oleaje producida por los vientos dominantes SO, O y NO y las consolidaciones del terreno sobre todo en las pilas Nº 14 15 y 16

A finales del año 1952 el día 28 de septiembre, a día de domingo, se hundieron varios tramos del puente Noguero y se vuelcan sus pilas adyacentes quedando imposible ahora el paso a través de la infraestructura (se estudiará con más detalle en el apartado 2.10. Estudio de Hundimiento).

En la Imagen 2.1. se puede ver cuál fue la parte que se derrumbó, quedando más cercana a la margen de Arijia (Estribo 1) y siendo la parte que atraviesa el cauce del Río Virga.

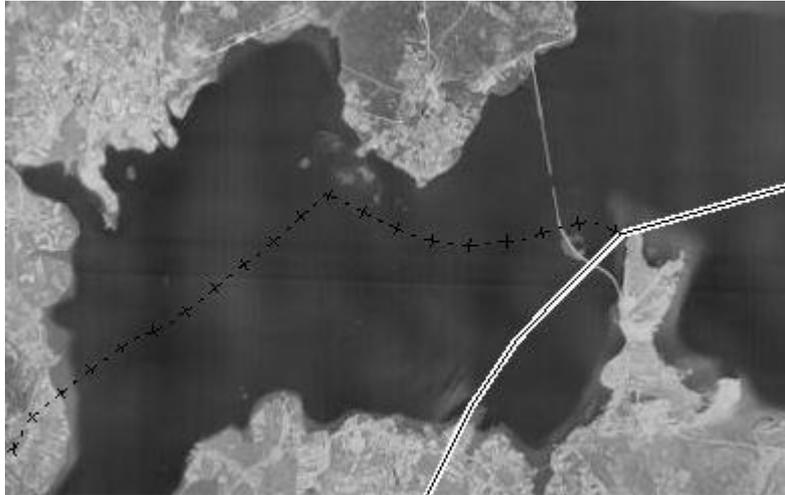


Imagen 2.1.. Ortofoto. FUENTE: Mapas Cantabria 1952

- **1952-1957:** Se inaugura y comienzan a llenarse las cotas superiores del embalse del Ebro (Altura máxima de 38 metros altura media 10 metros). Los tramos siguen hundidos y se establece un transporte de barcas que salvaba ambas orillas. Más tarde se acaba realizando una pasarela peatonal colgante para el paso de peatones y bicicletas debido a la presión social y la necesidad de la infraestructura como comunicación de la zona. Durante este periodo de tiempo se fue deteriorando el estado del puente debido a los siguientes factores:

- Embalses y desembalses
- Consolidación del terreno
- Aumento cargas estructura (tránsito peatonal)

Las severas grietas siguen aumentando debido al reajuste del hormigón para adaptarse a los nuevos esfuerzos principalmente de tracción para los que no fue diseñado.

A fecha del 31 de enero de 1953 Se emite el informe Preliminar sobre el Hundimiento de uno de los tramos del Puente Noguero.

En el año 1954 se suspende definitivamente el servicio de barcas y se cierra la infraestructura.

- **1957-1961:** Ante estas grietas y con el tramo del puente hundido Se decide por seguridad ciudadana y la imposibilidad de utilización cerrar el Puente Noguero y dinamitar su tablero para prevenir futuros derrumbes.

A fecha de 21 de junio de 1957 se emite el Acta de Recepcion Unica y definitiva del Puente Noguero con los tramos hundidos y a falta de los últimos remates, que es aprobada el 29 de agosto del mismo año.

A fecha de 31 de enero de 1961 se emite la Memoria de Liquidación del Puente Nogueroles estando ya su tablero dinamitado.

- **1961-2019:** El puente descansa sobre el fondo del embalse del Ebro emergiendo parte de los fustes de pilas y estribos en las épocas de estiaje.

El Puente Nogueroles como obra de indemnización del Embalse del Ebro sigue siendo una deuda por la construcción del Embalse del Ebro.

“Nunca hubo otra obra hidráulica como el Pantano del Ebro que, siendo tan barata, ocasionase tantos perjuicios a unos y tantos beneficios a otros.”

Siendo actualmente una de las obras hidráulicas más importantes de la Cuenca del Ebro (3ª en capacidad), siendo la cuenca del Ebro la segunda mayor de España después de la Cuenca del Duero.

2.3 Justificación Indemnización

El Puente Nogueroles como obra de indemnización comunicaba ambos márgenes del embalse del Ebro de norte a sur. Hasta entonces, la conexión existente entre ambos pueblos (La Población y Arijá), se salvaba por un paseo a pie o en bici bajando al valle (Páramo de la Virga) y cruzando un puente de madera que salvaba las aguas del río Virga. El trazado del puente era recto y sin pendientes, esto permitía no solo a los pueblos, sino a las dos comunidades, tener una mejor comunicación, potenciando la zona en los siguientes aspectos:

- Económico
- Turístico
- Ocio
- Cultural
- Demográfico

No obstante, durante la época del diseño y construcción del puente Nogueroles, y en la actualidad la economía de la zona de estudio, se basa principalmente en la agricultura, ganadería y el turismo. Con la construcción del embalse se perdió gran parte de las tierras de cultivo y pastoreo, así como las minas y la industria (Fábrica la Cristalera) minorando parte de su economía y teniendo el Puente Nogueroles que suplir esta carencia con una mejora de la economía de la zona, teniendo que ser una zona de paso tanto del embalse como conexión entre comunidades autónomas.

Citando del Estudio de Hundimiento de uno de sus tramos del Proyecto Camino de Arijá a la Población *"Este viaducto, del primero camino que habría que cruzar el amplio embalse, e la vaguada de la Virga fue planteado, con amplitud y notoria urgencia por su interés social. Mas, al mismo tiempo debía proyectarse y construirse con obligada economía; como obra esencialmente accesoria, aunque ineludible".*

2.4. Ubicación y trazado

Como se mencionó brevemente en la memoria, el trazado del puente Nogueroles salva el embalse del Ebro en su zona más estrecha, comunicando ambos márgenes. Atravesando las Provincias de Cantabria y Castilla y León (Burgos), y uniendo las poblaciones de la Población

(Cantabria) y Arijá (Castilla y León (Burgos)).

En la Imagen 2.2. se puede ver el trazado propio del Puente de 950 metros de longitud (Rojo) así como las diferentes carreteras caminos de acceso al puente Noguero (Azul) siendo en total 2.978 metros de carreteras de acceso.

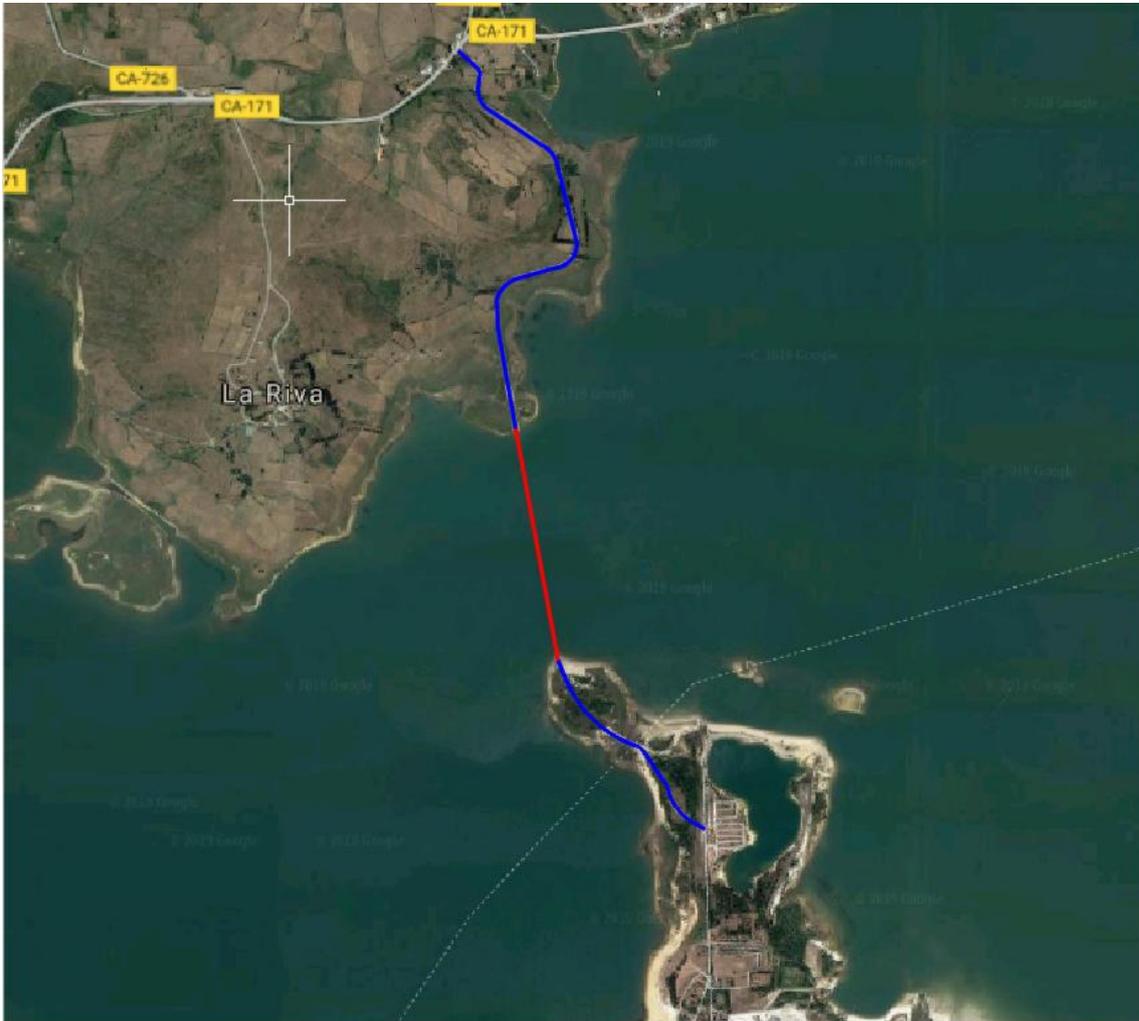


Imagen 2.2. Ortofoto más actual. Traza en Rojo y Accesos en Azul. FUENTE: Mapas de Cantabria

El trazado total del puente Noguero y sus accesos son medidos en la Imagen 2.2., obteniendo las longitudes que se muestran a continuación:

- Acceso Cantabria (La Población). Longitud: 1.810 m.
- Acceso Burgos (Arijá). Longitud: 870 m.
- Traza Puente Noguero. Longitud: 950 m.
- TOTAL: 3.928 m.

El trazado del puente circula en la cota 148 siendo dos metros por encima del máximo nivel del embalse del Ebro. Cuando se diseñó y construyó el antiguo Puente Noguero el sistema de altitudes era diferente, por lo que la cota actual del puente sería la 840 sobre el Nivel Medio

del Mar en Alicante (NMMA) con una diferencia de cota de 708 metros. Esta diferencia de cota sirve igualmente para actualizar la cartografía existente del vaso del Embalse del Ebro.

Actualmente dichas carreteras de acceso están o cubiertas de vegetación o son carreteras de acceso con capa de rodadura, por lo que en el proyecto económico se deberán tener en cuenta su reforma para que pueda ser accesible para cualquier tipo de usuario, sea cual sea su medio de transporte. A continuación, se explicará el estado actual de los accesos:

- **Estribo 1 (Arija):** No se puede acceder al estribo, en los niveles altos del embalse queda anegado impidiendo el paso, además de existir carteles de riesgo de caídas en toda la zona. Esto es debido a que el terraplén de acceso al estribo a desaparecido a causa de la falta de mantenimiento del revestimiento por el cese de la infraestructura.

El trazado en la zona de conexión con Arija queda inundado al alcanzar el embalse su cota máxima, esto se puede contrastar en las siguientes imágenes 2.3., 2.4. y 2.5., quedando únicamente el terraplén de formación del trazado.

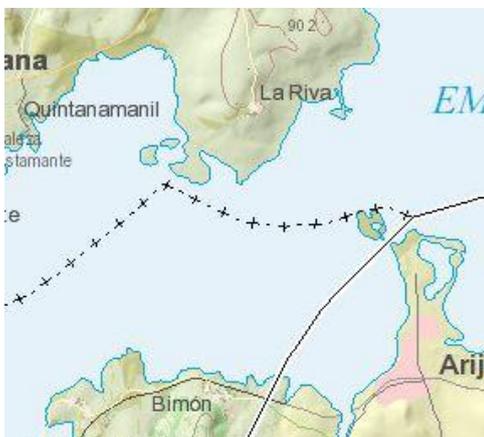


Imagen 2.3. Toponimia. FUENTE: Mapas de Cantabria



Imagen 2.4. Actual vista. FUENTE: Mapas de Cantabria 2005



Imagen 2.5. Vista Estribo 1 desde Playa de Arija. FUENTE: Propia

- **Estribo 2 (La Población):** Se puede acceder por la nacional CA-171 antes de entrar al Puente de Arenas y Asociados enfrente de la panadería de La Población. Actualmente es utilizado como acceso a las fincas privadas con una anchura aproximada de 3 metros y arcenes de medio metro. Presentando la capa de rodadura un mal estado con un gran número de reparaciones. Se pueden recorrer de los 1800 metros unos 1000 metros aproximadamente, hasta que se llega a una portilla. De aquí en adelante no se puede circular por ser un camino de tierra el resto del trazado pertenece al pueblo de la Riva. En las siguientes imágenes desde la 2.6. a la 2.9. se puede ver el estado actual.



Imagen 2.6. Portilla a la entrada del Estribo 2 a la Poblacion. FUENTE: Propia



*Imagen 2.7. Estado actual de la carretera de acceso I.
FUENTE: Propia*



*Imagen 2.8. Estado actual de la carretera de acceso II.
FUENTE: Propia*



Imagen 2.9. Vista desde Portilla a terraplen de acceso y Estribo. FUENTE: Propia

2.5. Geotecnia. Suelo de Cimentación

A continuación mencionan brevemente los datos con los que se elaboró el proyecto inicial del Puente Noguero.

El terreno de cimentación del puente es el mismo que forma la impermeabilidad del vaso del embalse, tratándose generalmente de una arena arcillosa con bancos sanos y gruesos de arenas de la zona unas resistencias medias al hundimiento de 6 Kg/cm². En la actualidad a esta arena arcillosa se la denomina Facies Utrillas y es una formación que aparece a lo largo de la península. Se puede presuponer el desconocimiento de las propiedades que afectan más a la cimentación (Hundimiento, Vuelco principalmente) conociendo perfectamente su capacidad de impermeabilidad.

Esta capa de Facies Utrillas predomina en la margen de Arija, que es la capa cercana, o mezclada con el lignito, que explotaba la antigua fábrica la Cristalera de Arija que extraía el Caolín de la capa para poder utilizarlo como materia prima.

Además de la principal capa, al tratarse de una zona que ha sufrido grandes cambios durante su formación existen diferentes capas que pueden encontrarse en mayor o menor medida:

- Bolos y gravas procedentes del deshielo
- Arcillas por separado
- Arenas por separado (terrones) gran calidad explotada actualmente
- Calizas Karsticas
- Fangos y lodos a cualquier profundidad
- Lignito (utilizado por la fábrica de Vidrio)
- Gravas consolidadas
- Areniscas flojas de gran espesor
- Bolos procedentes de la Cordillera arrastrados por deshielo
- Calizas Kársticas como soporte

En el proyecto básico no se realizaron sondeos con toma de testigo al comienzo de la obra del Puente Noguero más que las excavaciones pertinentes para llegar al plano de cimentación (2 metros de profundidad), realizados después durante el 2º Proyecto Reformado por los problemas en la cimentación.

Si se realizaron en el estudio de hundimiento del tramo central en los que se encuentran algunas de las citadas formaciones en mayor o menor espesor no encontrándose en la gran mayoría de los sondeos la capa resistente, llegando solamente hasta los 30 metros de profundidad. En la margen Burgalesa (Arija) predominan los sondeos en capas arcilloso-fangosas hasta los mencionados 30 metros de profundidad, quedando imposible la toma de testigos. Se entrará en más detalle en el apartado 2.10. Estudio del hundimiento del Puente Noguero.

2.6. Geometría

2.6.1. Longitudinal

EL puente Noguero estaba formado por una sucesión de arcos a de 18,90 metros y 20 metros rebajados $\frac{1}{4}$ de luz y arcos de medio punto de 10 metros de luz. En la época del 1950 a la sucesión de arcos rebajados se le conocía como Modelo de Puente Especial.

El Puente Especial es un modelo en el que se prescinde del acero para su construcción y que se basa en un arco de hormigón en masa o mampostería, trabajando únicamente en axil de compresión.

Dentro de la sucesión de arcos se deben de separar en conjuntos formados por 5 o 6 arcos de 18,90 metros de luz que se acotan entre conjuntos por las denominadas Pilas Estriberas (llamadas así por tener las mismas dimensiones que los estribos) y pilas propiamente dichas entre los arcos del grupo. Este fue el planteamiento inicial pasando los estribos a ser pilas estriberas y añadiendo 4 arcos de medio punto de 10 m de luz en la margen de Arija y 2 arcos en la margen de La Población aumentando la longitud del puente, esto se realizó durante la construcción por problemas en las cimentaciones y para disminuir el volumen de terraplenes de acceso y su protección, siendo más barato realizar arcos de acompañamiento que el terraplén de acceso.

Finalmente queda un total de 9 grupos y 43 arcos, en la Imagen 2.10. se puede ver la composición del puente Noguero, así como la numeración de sus pilas y estribos.

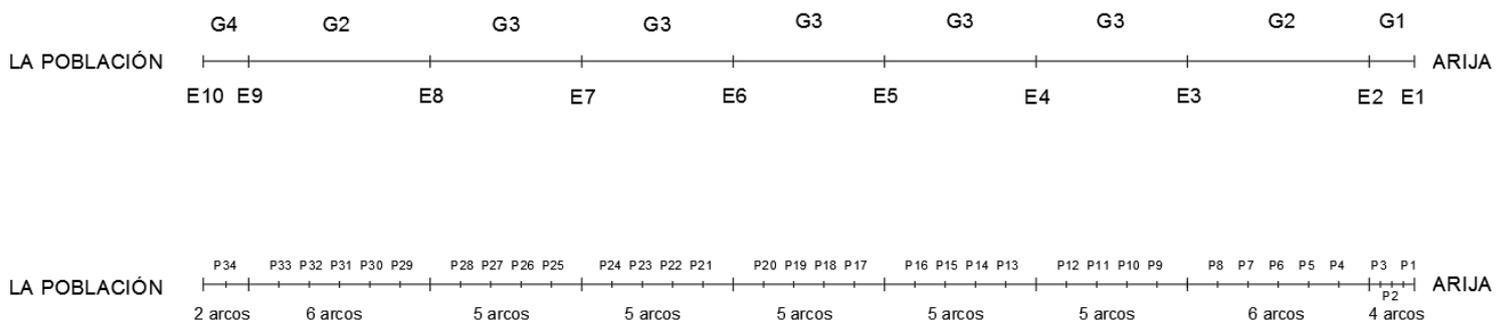


Imagen 2.10. Esquema Puente Noguero. FUENTE: Propia

- **G1:** 4 arcos de medio punto de 10 metros de luz entre los estribos 1-2.
- **G2:** 6 arcos rebajados $\frac{1}{4}$ de luz entre los estribos 2-3 y 8-9.
- **G3:** 5 arcos rebajados $\frac{1}{4}$ de luz entre los estribos 3 al 8.
- **G4:** 2 arcos de medio punto de 10 metros de luz entre los estribos 9-10.

Las dimensiones de las pilas son de 5x2 metros y las pilas estriberas de 6x5 metros. Ambas pilas estaban diseñadas para soportar el empuje de un arco. La protección longitudinal se basaba en:

- Vallas conformadas de tubos metálicos cuadrados de 3 travesaños horizontales aproximadamente a 0, 0,6 y 1,2 metros de altura en arcos y pilas.
- Pretil mampostero de altura menor en pilas estriberas asemejarle a pretil de hormigón armado.

Ambas estructuras se apoyan o anclan en el tablero de espesor aproximado de 0,3 metros de altura.

Existen en todos los arcos dos aligeramientos con una luz de 2,5 metros, consiguiendo una mejora de la estética del puente de arcos sucesivos y como desagüe cuando el embalse este próximo a su cota máxima.

Las pilas presentan un talud de 1/50 en el sentido longitudinal del puente para mejorar el soporte frente al empuje de los arcos.

2.6.2. Transversal

El tablero tenía 6 metros de anchura y estaba formado por los 5 metros del arco y dos voladizos de 0,5 metros, siendo la anchura en las pilas estriberas de 6 metros. Esta pequeña anchura de tablero se debe al diseño del Puente Noguerol, ya que fue diseñado en los años 50 para el paso de carros tirados por animales, vehículos y peatones. Los estándares de seguridad para el paso eran menores y por tanto las anchuras también.

Quedando una sección de 0,5 metros para el paso de peatones en ambos voladizos y dos carriles de 2,5 metros sin separación longitudinal.

En la actualidad la anchura mínima de un tablero para un puente Carretero por el que se circula con total seguridad y comodidad son 7 metros, teniendo en cuenta una anchura de 3,5 metros por carril de circulación y sentido, más la anchura necesaria para colocar las protecciones longitudinales.

Por lo que en la actualidad, el Puente Noguerol no tendría unas condiciones de seguridad y trazado óptimas para ser un tramo carretero del enlace Norte-Sur en la carretera N-623, por ser un cuello de botella del trazado al paso de vehículos pesados.

2.6.3. Cimentación

La cimentación del Puente Noguerol que puede consultarse en los planos del apartado 2.11, y que sufrió modificaciones durante su construcción, se puede dividir en dos cimentaciones

claramente diferenciadas. Se definirán según la Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera del Ministerio de Fomento explicando brevemente las indicaciones dadas en esta.

Cimentación Superficial: Dentro del ámbito de aplicación de esta Guía se entiende como cimentación superficial aquella que transmite las cargas de la estructura a las capas más superficiales del terreno. Cuando la profundidad de cimentación es claramente mayor que el ancho (o dimensión menor en planta) del elemento de cimentación (zapata), la cimentación debe considerarse semiprofunda o profunda. Las recomendaciones que se formulan en esta parte son aplicables a aquellos cimientos que se apoyan a profundidades del orden de hasta dos veces el ancho de la cimentación ($D \leq 2B$). Para profundidades mayores, también podrán utilizarse dichas recomendaciones, si bien el resultado de su aplicación puede resultar excesivamente conservador.

El elemento estructural de apoyo o transmisión de cargas de una cimentación superficial se denomina «zapata» y generalmente su planta es de forma rectangular. El resto de características que puede tener este elemento son variadas. Véase figura 4.1.

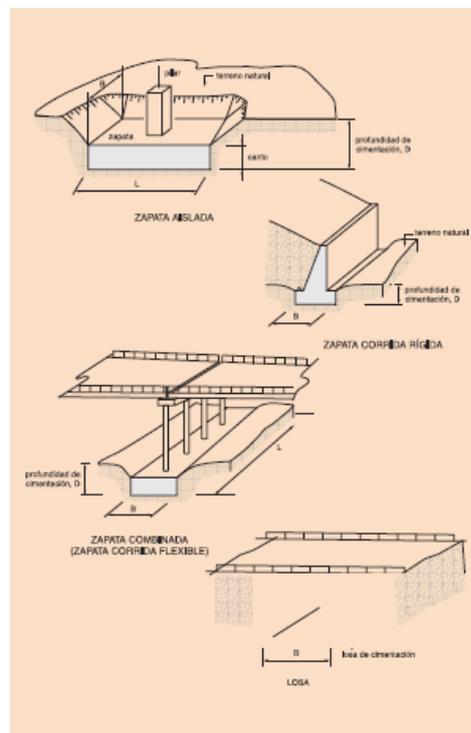


Figura 4.1 Esquema de Cimentaciones Superficiales

- La cimentación superficial de las pilas de los puentes suele hacerse mediante zapatas aisladas, una por cada apoyo de la estructura.

Para una profundidad media de 2 metros y unas anchuras de pilas de 5 x 2 metros tomando la dimensión menor en planta de 2 metros resulta que una cimentación superficial se apoyaría en los primeros 4 metros. Luego el Puente Noguero según sus planos y Proyectos reformados se compondría de cimentación superficial en las cercanías al Estribo de la Población donde nos encontramos zonas de arenas más compactas donde la solución de cimentación superficial es correcta estructuralmente.

Cimentación Profunda: La cimentación de puentes y otras estructuras en obras de carretera exige, en general, la transmisión de grandes cargas concentradas, por lo que en ocasiones la cimentación directa (zapatas superficiales) no es conveniente.

La presencia de espesores grandes de suelos blandos próximos a la superficie es una de las razones principales para proyectar una cimentación profunda, pero, además, existen otros motivos que pueden hacerla más recomendable. La previsión de posibles socavaciones en cauces fluviales o en zonas costeras o la presencia de heterogeneidades importantes (cavidades cársticas, por ejemplo) son también motivos frecuentes para elegir una cimentación profunda.

En todo caso, la elección del tipo de cimentación, superficial o profunda, debe hacerse lo antes posible, pues los reconocimientos geotécnicos necesarios para el Proyecto normalmente serán diferentes en uno y otro caso. Generalmente, tales reconocimientos, en caso de duda, deben permitir el proyecto de ambas alternativas.

Las pequeñas obras de fábrica y los terraplenes no suelen requerir cimentación profunda excepto en zonas de terrenos muy blandos. En esos casos se suelen realizar tratamientos de mejora del terreno, aunque también pueden realizarse pilotajes de sustentación, que suelen ser pilotes de pequeña capacidad unitaria espaciados regularmente. Los tipos de cimentación profunda que pueden resultar en un determinado proyecto son muy

variados, si bien, a efectos de ordenar las recomendaciones que siguen, pueden agruparse de la manera siguiente:

- **Pilotes aislados:** También denominados pila-pilote. Suelen ser elementos de gran capacidad portante que prolongan la estructura de la pila de apoyo dentro del terreno, hasta la profundidad requerida. Es una solución bastante extendida para puentes de luces moderadas. Se ha aplicado en muchas ocasiones con pilotes hincados.
- **Grupos de pilotes:** Es la solución más usual. La carga de la pila se transmite a varios pilotes a través de un encepado relativamente rígido, que enlaza sus cabezas.
- **Zonas pilotadas:** Pilotes regularmente espaciados que en ocasiones se usan para reducir asentamientos o mejorar la seguridad frente al hundimiento de losas, terraplenes etc. Suelen ser pilotes de escasa capacidad de soporte individual.

En cuanto a su forma de trabajo, los pilotes o los pilotajes pueden clasificarse en (véase figura 5.1):

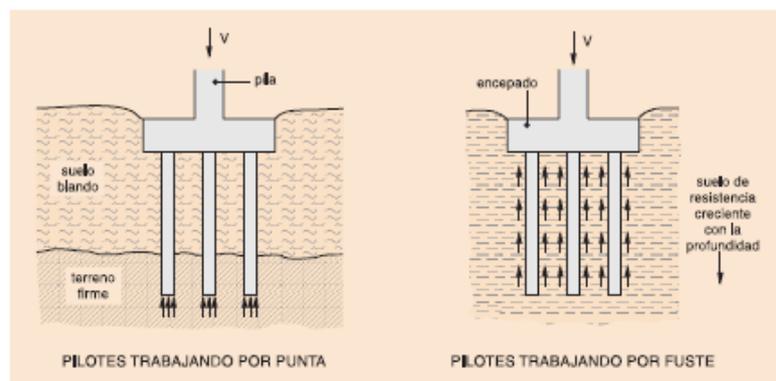


Figura 5.1 Esquema de Cimentaciones en Profundidad

a) **Pilotes por fuste:** En aquellos terrenos en los que la capacidad portante crece de una manera paulatina con la profundidad, sin existir un nivel claramente más resistente, el piloto transmitirá su carga al terreno fundamentalmente a través del fuste. Se suelen denominar pilotes «flotantes».

b) **Pilotes por punta:** En aquellos terrenos en los que aparezca, a cierta profundidad, un estrato claramente más resistente, las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta. Se suelen denominar pilotes "columna".

La cimentación del Puente Noguerol según planos y el proyecto 2º Reformado en la margen del estribo de Arija. Concretamente en el cauce y la llanura de inundación del río Virga. Se conformó, con un pequeño encepado y pilotes de eucalipto de diferentes longitudes trabajando todas por fuste sobre las capas fangosas con profundidad media de 2 metros.

El número y reparto de los pilotes, así como el cambio de dimensiones a pilas y estribos se hizo a medida que avanzaba el puente. Para una pila estribera se llegaron a utilizar más de 40 pilotes de 9 m de longitud y 25 cm de diámetro medio.

La dotación de pilotes de eucalipto se aproxima a la mostrada a continuación:

1. Pila 13-50 pilotes.
2. Estribos 150 pilotes.
3. pilas estriberas 86-160 pilotes.

2.7. Puentes similares

Durante la construcción del embalse del Ebro se realizaron carreteras y variantes (Consultar Cronología) con la consecución de la construcción de puentes debido a la orografía(montañas y valles) de la zona y el trazado rígido en planta y perfil del ferrocarril.

2.7.1 Puente La Riva – La Población en CA-171

La conexión entre Arija y La Población salvada por el Puente Noguerol necesitaría de otra obra complementaria de indemnización entre la Población y la Riva quedando ahora la conexión natural sobre el Arroyo de Lanchares afluente del río Virga inundada por el embalse del Ebro. Que se puede ver en la imagen 2.11.

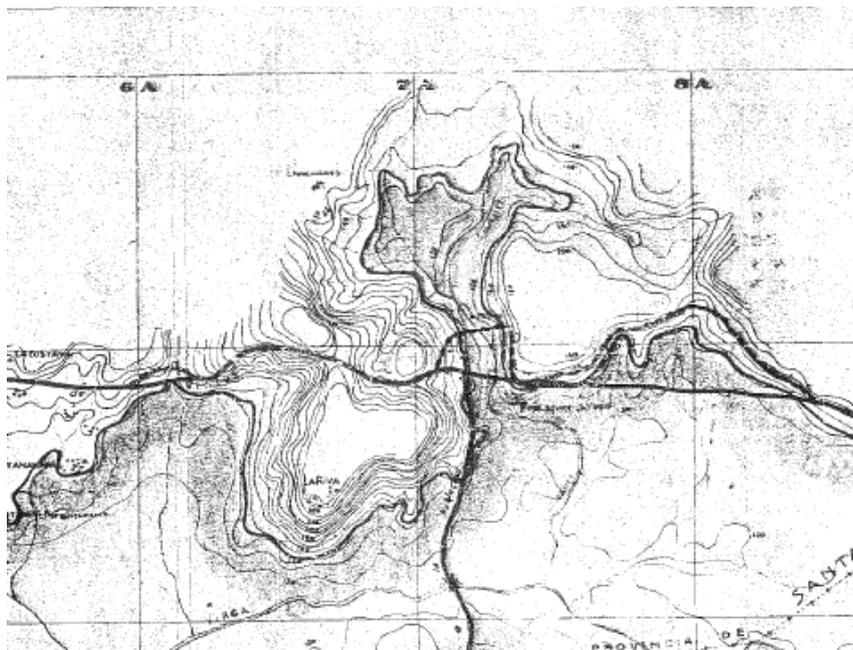


Imagen 2.11.. Recorte del plano Cartográfico general FUENTE: Proyecto del Embalse del Ebro 1916

Se realizó un puente de características similares al puente Nogueroles, con las siguientes características generales:

- Arcos y péndolas verticales de hormigón en masa.
- Tablero de hormigón escasamente armado.
- Longitud de 90 metros.
- Formado por sucesión de 9 arcos de 8,90 metros de luz rebajados $\frac{1}{4}$ de luz.
- Pilas de dimensiones 5 x 2 metros.
- Dos voladizos de 0,5 metros a cada lado de hormigón armado.
- Vigas verticales en vez de aligeramientos.
- Anchura total 6 metros repartidos en 2 metros de acera y dos carriles de 2 metros uno por sentido.
- Protección longitudinal peatonal formada por barras de acero.
- Sin protección entre acera y carril.

El puente se muestra en las Imágenes 2.12, 2.13 y 2.14. expuestas a continuación.



Imagen 2.12. Vista Puente La Población- La Riva desde el Centro Ornitológico de La Población. FUENTE: Propia



Imagen 2.13. Vista Tablero y Protección de estribo. FUENTE: Google Maps



Imagen 2.14. Imagen la entrada al Puente La Población-La Riva. FUENTE: Google Maps

Debido a los estándares del diseño de los Puentes realizados en las obras de indemnización en los años 50 actualmente han quedado en desuso. Teniendo que construir nuevas infraestructuras aguas abajo o aguas arriba de ellos.

2.7.2 Nuevo Puente La Riva – La Población en CA-171 Arenas&Asociados

En el caso de este puente se realizó uno aguas abajo a 500 metros de distancia para además mejorar el trazado de la carretera en el acceso. Fue llevado a cabo por la empresa Arenas y Asociados y promovido por el Gobierno de Cantabria, y tiene las siguientes características generales extraídas de la página de Arenas y Asociados:

<http://www.arenasing.com/proyectos/puentes-viarios/puente-sobre-el-embalse-del-ebro>

La puesta en servicio de la carretera CA-171 entre las localidades cántabras de Reinosa y Corconte, la cual discurre paralelamente al margen norte del Embalse del Ebro, hizo necesaria la construcción de un nuevo puente que diera adecuado acceso a Corconte, debido al estado del puente de fábrica existente.

Arenas&Asociados diseñó un nuevo puente, dentro de un Proyecto Modificado, sustituyendo una estructura de 90 metros de luz propuesta en avance en voladizos por otra más racional, un puente con doble acción mixta bjaceno.

Este puente mixto de acero y hormigón armado, con cinco vanos de entre 40 y 48 metros de luz, se desarrolla a lo largo de 225 metros sobre la lámina de agua del Embalse del Ebro. Una vez finalizada la construcción, la imagen de la delgada línea blanca del tablero sobre las firmes pilas, creemos que constituye una nueva referencia en el paisaje del embalse.

Como datos adicionales y de utilidad para el presente trabajo final de máster:

- Promovido por el Gobierno de Cantabria.
- Pilotaje de hormigón armado hasta profundidades de 40 metros.
- Está al comienzo del páramo de la Virga sobre el cauce del Arroyo de Lanchares.
- Anchura de 12,8 metros repartida en dos carriles de 3.5 metros y dos aceras a cada lado de 1 metro de anchura.
- Protección longitudinal entre acera y carriles.

A continuación se muestran distintas vistas del puente en las imágenes 2.15, 2.16 y 2.17.



Imagen 2.15. Vista general del puente. FUENTE: Página Web Arenas&Asociados



Imagen 2.16. Imagen trabajos en seco. FUENTE: Página Web Arenas&Asociados

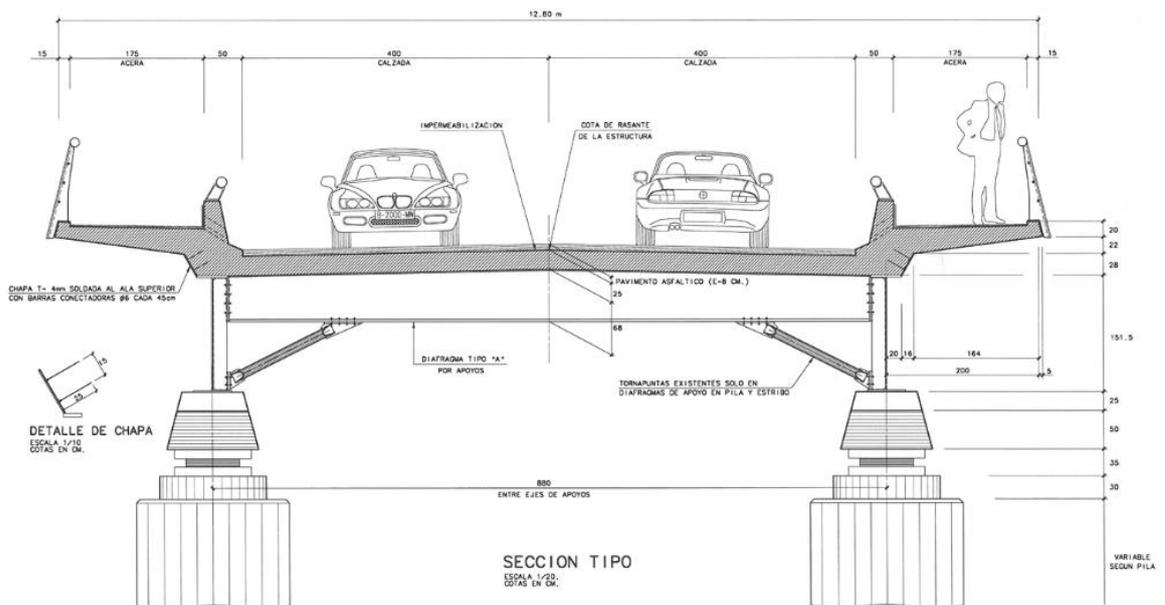


Imagen 2.17. Sección Transversal. FUENTE: Página Web Arenas&Asociados

2.7.3 Puente de El Llano –Renedo

Se trata de otra de las obras de indemnización del Embalse del Ebro adaptada para los nuevos estándares de seguridad. Recorre la carretera CA-730 y une las poblaciones de EL Llano y Renedo. Tiene las siguientes características generales:

- Obra de Indemnización quedando anegada la unión por las lenguas de agua del Embalse del Ebro y sobre el arroyo de La Fuente otro de los afluentes del Virga.
- Arcos de hormigón en masa.
- Tablero de hormigón armado con voladizos ejecutados posteriormente al proyecto de la indemnización.
- Longitud de 120 metros.
- Formado por sucesión de 9 arcos de 8,90 metros de luz de medio punto.
- Pilas de dimensiones 5 x 1,5 metros.
- Dos voladizos a cada lado de hormigón armado ejecutados posteriormente a 2007.
- Terraplén de acceso con protección.
- Anchura total aproximada de 10 metros repartidos en 1,5 metros de acera a cada lado y dos carriles de 3 metros uno por sentido.
- Protección longitudinal de pretil metálico.
- Sin protección entre acera y carril.

En las imágenes 2.18, 2.19 y 2.20 se puede observar el puente:



Imagen 2.18. Fotografía realizada en 2005 antes de la reforma. FUENTE: Google Imágenes



Imagen 2.19. Fotografía del puente, se aprecian el voladizo derecho ejecutado. FUENTE: Google Maps 2014



Imagen 2.20. Vista del puente reformado. FUENTE: Google Maps

2.7.4 Viejo Puente Órzales – Península de la Lastra

Se trata de otra de las obras de indemnización del Embalse del Ebro tras quedar anegado el paso y por la formación de la Península de La Lastra, circulaba en la carretera CA-171 a su paso por Órzales. Actualmente está en pie, pero no es utilizado, el acceso ambos estribos esta demolido por seguridad ciudadana. Se construyó otro puente a escasos 10 metros que se expondrá en el siguiente apartado.

Tiene las siguientes características generales:

- Obra de Indemnización quedando anegada la unión por otra de las lenguas de agua de mayor dimensión en planta del Embalse del Ebro.
- Arcos de hormigón en masa.
- Tablero de hormigón livianamente armado.
- Longitud aproximada de 340 metros.
- Formado por sucesión de arcos de medio punto y arcos rebajados de diferentes luces.
- Dividido en grupos unidos con pilas de mayor dimensión o arcos de mayor luz semejante al Puente Nogueroles con apartaderos de dimensiones 6.5 x 17.5 metros.
- Pilas de distintas dimensiones diferenciando entre pilas y pilas-estribos.
- Terraplén de acceso con protección.
- Anchura total aproximada de 3,5 metros conformando un único carril.
- Protección longitudinal de secciones cuadradas de acero

A continuación se muestran diferentes vistas del puente en las imágenes 2.21-26.



Imagen 2.21. Vista longitudinal de los diferentes grupos nuevo Puente al fondo. FUENTE: Google Maps



Imagen 2.22. Vista en Planta de ambos Puentes.
FUENTE: Google Maps



Imagen 2.23. Vista desde Estribo en Península de la Lastra Puente Nuevo a la derecha. FUENTE: Propia

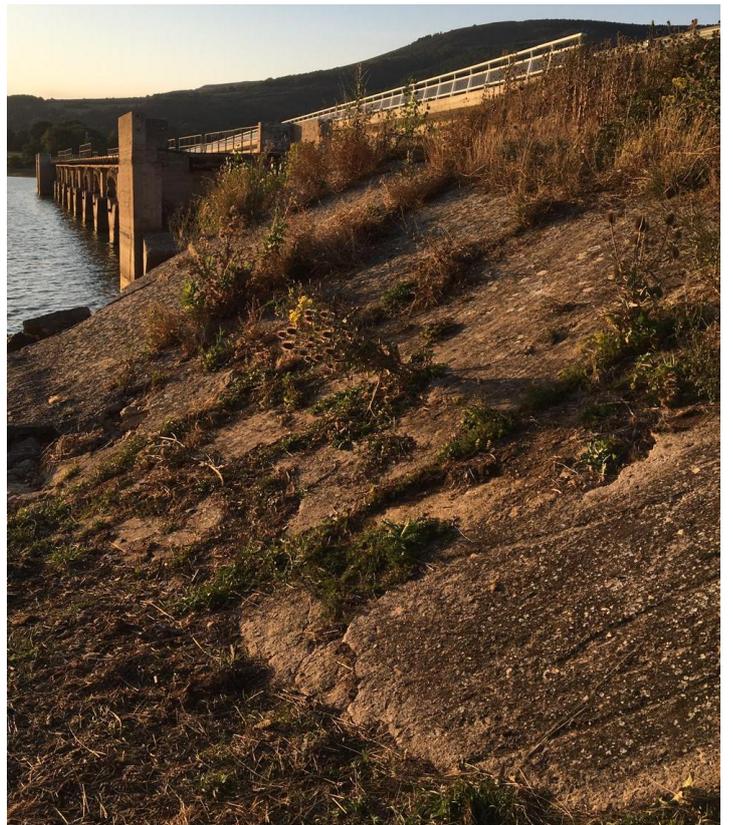


Imagen 2.24. Vista desde Estribo en Península de la Lastra
Terraplén de Acceso. FUENTE: Propia



Imagen 2.25. Vista Longitudinal desde Nuevo Puente. FUENTE: Propia



Imagen 2.26. Pila tipo presentado este severas grietas en el arranque de los arcos. FUENTE: Propia

2.7.5 Nuevo Puente Órzales- La Lastra

En el caso de este puente se realizó a escasos 10 metros de distancia como una mejora de la conexión con la península de la Lastra y promovido por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Tiene las siguientes características generales:

- Tablero y pilas de hormigón armado.
- Menor longitud que su predecesor, longitud aproximada de 300 metros.
- Promovido por el Gobierno de Cantabria.
- Anchura total de 8 metros repartida en dos carriles de 3 metros y dos aceras a cada lado de 1 metro.
- Puente de nuevo diseño con aparatos de apoyo entre la unión tablero-pilares.
- Terraplén de acceso con protección de escollera.
- Protección longitudinal a base de vallas de acero.

A continuación se muestran unas imágenes del puente desde la 2.27 a la 2.28:



Imagen 2.27. Construcción estribo y primera pila. FUENTE: Mapas Cantabria Ortofoto 2010



Imagen 2.28. Vista del tablero y protección escollera. FUENTE: Google Maps

2.7.6 Puentes de Ferrocarril

Hasta este punto solo se han tratado los puentes carreteros por estar la obra del Puente Noguero dentro de este grupo. No obstante, son muchos los puentes de ferrocarril de mayor o menor luz ejecutados durante las obras de indemnización, siendo todos ellos de medio punto y de luces entre los 5 y 15 metros. El prescindir de los rebajes en los arcos se presupone por las mayores cargas del ferrocarril. A continuación se muestran unos ejemplos de estas obras en las imágenes 2.29, 2.30 y 2.31:



Imagen 2.29. Fotografía de Rueda la Bota Puentes del Ebro : Puente de ferrocarril en Arija. FUENTE: Propia

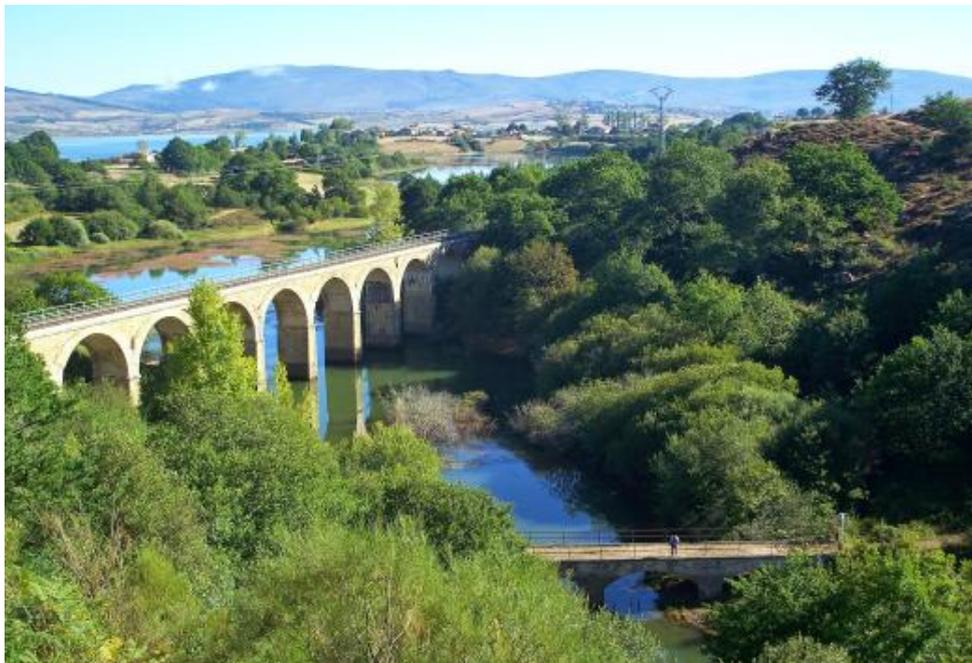


Imagen 2.30. Fotografía. de Rueda la Bota. Puentes del Ebro: Puente de ferrocarril de la Robla .LLano de Valdearroyo. FUENTE: Propia



Imagen 2.31. Puente del Ferrocarril de Arija estado Actual. FUENTE: Propia

2.7.7. Conclusiones

Como conclusión de este apartado de recopilación de un minúsculo grupo de los puentes ejecutados en las carreteras y variantes de la Indemnización del Embalse del Ebro. Se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Los estándares de diseño y seguridad han cambiado teniendo que adaptarlos o construir nuevos puentes aguas arriba o abajo.
- El Viaducto de Modelo especial ejecutado durante las obras de indemnización es una estructura que trabajando únicamente a compresión sin sufrir asientos inesperados y con un mantenimiento adecuado puede llegar a los 100 años de vida útil (Según EHE-08 Tabla 5.1 Vida Útil Nominal de las diferentes tipos de estructuras)
- Los puentes ejecutados como indemnización fueron, son y serán el medio de comunicación para la zona afectada por el embalse del Ebro.

2.8. Materiales

Los materiales de los que se formó el Puente Nogueroles se deben separar en las partes de la estructura que conforman un puente:

- **Tablero:** Hormigón livianamente armado, para constituir la calzada y los voladizos.
- **Arcos y aligeramientos:** Hormigón en masa, ausencia total de acero, tongadas de 20-30 cm. Se cimbraba con encofrados de madera, se vertía y compactaba.
- **Pilas:** Pilas de hormigón en masa recubiertas con ladrillo hidráulico, presentan taludes en sentido longitudinal de 1/50.
- **Cimentación:** Encepado de hormigón livianamente armado o pilotaje sobre propio elemento con vigas de eucalipto hincadas en el terreno. Presentaban diferente número y longitud en función del tipo de pila y su altura. Pasando de los 6 a las 40 vigas de eucalipto y longitud de 8 metros.

2.8.1. Hormigón

La dosificación de hormigón real en obra se desconoce ya que fue variando la dotación de cemento durante la ejecución, dependiendo de la pila que se tratase y la parte de la obra. La dosificación utilizada para el proyecto del Puente de la Lastra se encuentra en la Imagen 2.32. mostrada a continuación así como su ubicación en la Imagen 2.33.:

| | Hormigón nº 1. | Hormigón nº 2. |
|---------------|----------------|----------------|
| Cemento | 200 Kgs. | 150 Kgs. |
| Arena | 515 litros | 525 litros |
| Piedra | 1030 " | 1050 " |

o sea referidas al metro cúbico de hormigón puesto en obra:

| | Hormigón nº 1. | Hormigón nº 2. |
|---------------|----------------|----------------|
| Cemento | 195 Kgs. | 149 Kgs. |
| Arena | 504 litros | 521 litros |
| Piedra | 108 " | 1043 " |

El primero se prescribe para todas las obras sumergidas constante o frecuentemente, excepción hecha de ciertos rellenos especificados en los presupuestos parciales, y en todas aquellas obras o partes de las mismas que exijan gran resistencia por estar sometidas a esfuerzos de alguna consideración, como son por ejemplo, las soleras de pozos, cimientos de pilas y estribos, ... o bóvedas, tubos, (no armados), revestimientos, chapas ... &. El hormigón nº 2, de un uso frecuente, y bien probado, constituye una fábrica apropiada por sus condiciones y costo para los restantes usos, rellenos, muros al aire libre, estribos y aletas de obras de desagüe eventual, o sumergidas con poca frecuencia, cimientos de edificaciones ... &.

La dosificación del hormigón armado es la muy corriente de 350 kilogramos de cemento por 400 litros de arena y 800 de gravilla.

Imagen 2.32. Dosificaciones de hormigón. FUENTE: Proyecto del Puente de Orzales a la península de la Lastra

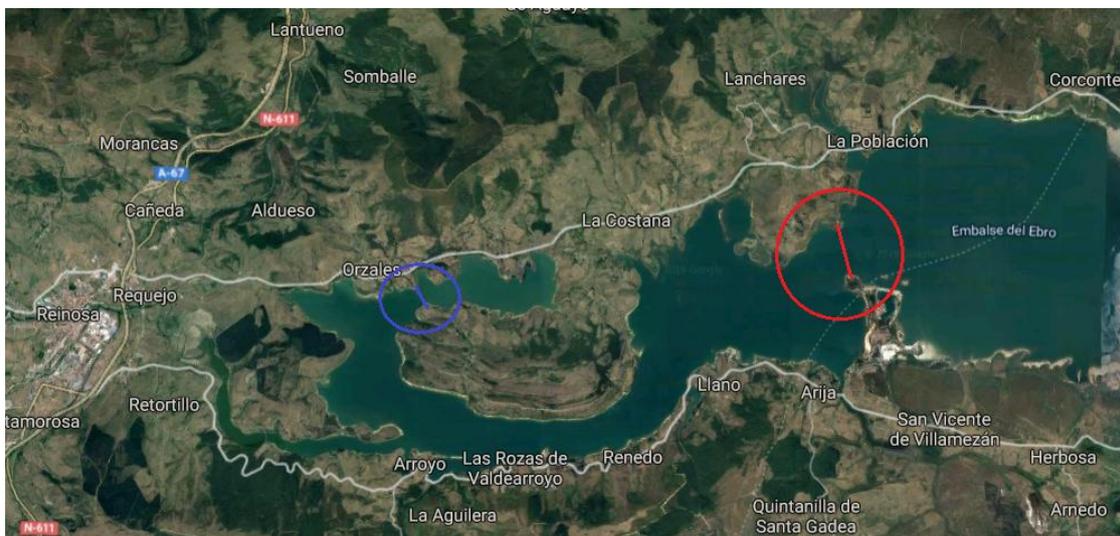


Imagen 2.33. Ubicación Puente de Orzales en azul. FUENTE: Google Maps

2.8.2. Acero

Una de las causas de ruina más escuchadas del puente Noguero es la falta de acero proveniente principalmente de Bilbao. Es cierto que la formación de grietas en el puente Noguero se hubiera atenuado si los arcos hubieran sido armados, ya que el acero podría haber absorbido las tracciones que el hormigón no pudo soportar, no obstante, estas tracciones fueron generadas principalmente, pero no únicamente, por asentamientos de la cimentación. La cimentación, formada a base de cortos pilotes de madera, se hubiera solventado de mejor manera mediante pilotes de hormigón armado llegando hasta capas más profundas reduciendo en gran medida este asiento. No obstante:

- La ruina del Puente Noguero hubiera sido atenuada con el armado correspondiente pero el puente acabaría cediendo debido a los asentamientos que sufrió la estructura de hasta 30 centímetros.
- EL Modelo de Puente Especial, trabajando completamente a compresión, es un tipo de estructura fiable utilizada para la construcción de puentes desde los primeros puentes mamposteros siempre que su fábrica trabaje estrictamente a compresión.

2.9. Funcionamiento Arcos Mamposteros

El funcionamiento del arco de hormigón en masa, se puede asemejar a un arco de mampostería trabajando ambos a compresión si se aceptan las siguientes hipótesis:

- Línea de empujes del arco contenida dentro del núcleo central de la sección resistente del mismo.
- Material isótropo y heterogéneo.
- Nula resistencia a tracción.
- Mecanismos de colapso de la teoría de la plasticidad (rotulas plásticas).

Para estudiar el funcionamiento de los arcos se abordarán dos métodos: uno meramente gráfico del que se obtienen los valores de las reacciones, y otro numérico según el libro de Mampostería de Estructuras de Fabrica de Jackes Heyman publicado por el Instituto Juan de Herrera.

2.9.1 Método gráfico

Para comenzar con la explicación del trabajo de un arco, se debe mencionar los diferentes tipos de arcos que se pueden encontrar en función de su rebajamiento para entender mejor su funcionamiento, un esquema se muestra en la Imagen 2.34.

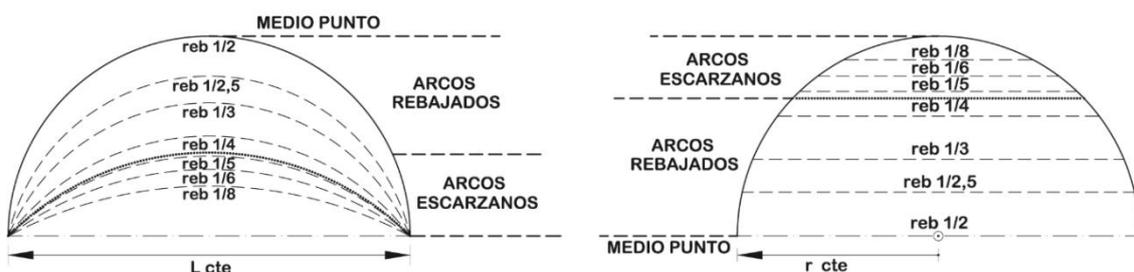


Imagen 2.34. Diferentes tipos de arcos según su rebaje FUENTE: Google Images

En un arco de medio punto o arco Romano la reacción en el arranque del arco es vertical, mientras más se reduce la flecha, mayor es la reacción sobre sus laterales. Se muestra en la Imagen 2.35. un esquema aclaratorio.

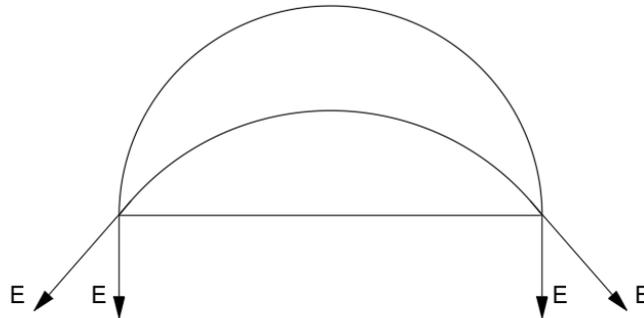


Imagen 2.35.. Comparativa reacciones(empuje) Arco Medio Punto y Arco Rebajado. FUENTE: Google Images

Para calcular. las reacciones mediante el método gráfico se debe calcular el Peso Propio del arco, aligeramientos de hormigón en masa, relleno de mampostería y el tablero.

Se calculará midiendo las áreas de AutoCAD y se tomará un peso específico según la EHE-08:

- Peso Específico = $22 \text{ KN} / \text{m}^3$

Este peso específico se tomará para la estructura al completo, ya que se podría tomar $18 \text{ KN} / \text{m}^3$ para el hormigón en masa de los arcos, $22 \text{ KN} / \text{m}^3$ para el tablero livianamente armado y $20 \text{ KN} / \text{m}^3$ para el relleno entre ambos.

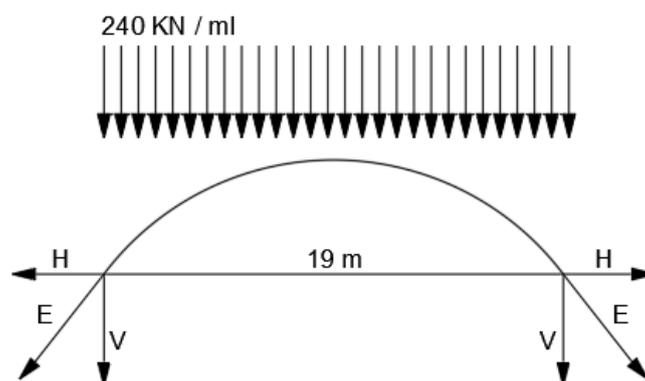
El área resultante es de 40.71 m^2 y 5 metros de anchura resultando 203.55 m^3

El peso total resultante finalmente será:

$$\text{Peso} = \text{Peso Especifico} \times \text{Volumen}$$

$$\text{Peso} = 22 \text{ KN} / \text{m}^3 * 203.55 \text{ m}^3 = 4560 \text{ KN}$$

Para el cálculo grafico me interesa saber el peso por ml de puente en sentido longitudinal:



$$q = \frac{4560KN}{19 m} = 240 KN/ml$$

Luego la reacción vertical equivaldrá a:

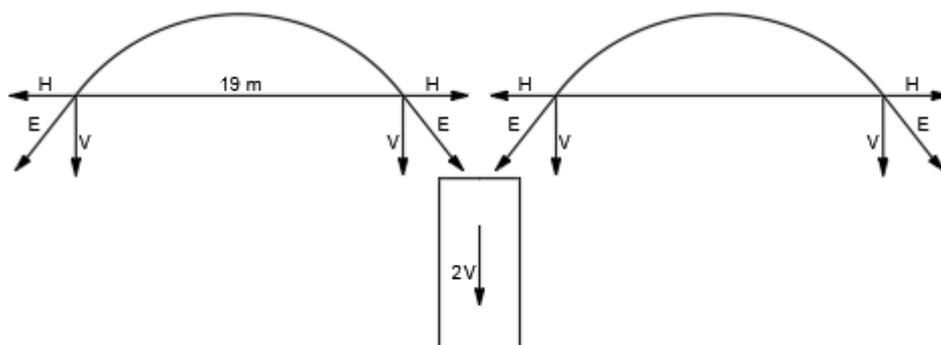
$$V = \frac{q * L}{2} = \frac{240 \frac{KN}{ml} * 19m}{2} = 2280 KN$$

Para obtener el resto de fuerzas se realizan mediciones al dibujo superior para compararlas con las distancias de la fuerza del empuje E. Los valores obtenidos han sido:

$$E = 3445KN$$

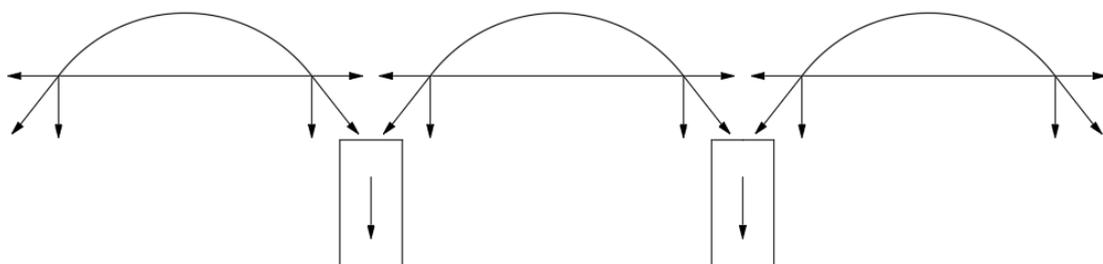
$$H = 1140KN$$

Cada pila del puente estará sometida a fuerzas de empuje de sentido contrario y mismo valor, en el que las componentes horizontales se anulan, siendo el valor de la reacción que soporta la pila y que serviría para realizar cálculos de hundimientos de la pila la siguiente:



$$2 * V = 4560 KN$$

Este sencillo método grafico nos permite obtener de una manera rápida un orden de magnitud del valor de las cargas que soportaba la estructura. Dada la disposición de los arcos dentro del puente las componentes horizontales de las reacciones se anulan una a una. Aislando así a la pila de cargas horizontales principales.



Formando a su vez la sucesión de arcos apoyados en pilas ordinarias conjuntos o grupos suprimiendo así la reacción horizontal de dicho empuje, unidos estos grupos mediante las pilas estriberas. Diseñadas para resistir frente al vuelco el empuje de un arco por sus dimensiones y pilotaje.

En la Imagen 2.37 del Puente Noguero, en la que aparece su grupo de arcos hundido y las pilas ordinarias volcadas, han quedado los grupos adyacentes en pie resistiendo el empuje del arco las pilas estriberas. Se puede presuponer que la ruina de uno de sus arcos hiciera volcar las pilas ordinarias hacia el tramo hundido quedando todo en ruina hasta el estribo. Se aprecia claramente que, aunque están en pie, los arcos presentan distorsiones hacia aguas adentro debido a la pérdida del empuje por la ruina del grupo.



Imagen 2.37. Puente Noguero con el grupo hundido y las pilas volcadas. FUENTE: Arija.org

2.9.2 Método Heyman

Para dicho cálculo se deben asumir las hipótesis arriba mencionadas. En comparación con el puente Noguero la mayoría de los puentes que se estudian en el libro son de mampostería de piedra como el puente del Claire College.

En comparación con el método gráfico es un método más preciso que se basa en el cálculo de los momentos ejercidos por sendos semiarcos que gravitan sobre la pila calculando con ello las reacciones (empuje) del arco sobre la pila. Se debe de definir el concepto de Línea de Empuje.

Línea de empuje: Es el lugar geométrico de los centros de empujes de paso de los esfuerzos en los planos de corte en una estructura dada. Esta línea de empujes es en realidad una forma de explicar el equilibrio de un conjunto de estructuras en contacto sometida a un sistema de cargas. Es decir si dentro del arco estudiado existe una línea de empujes que quede dentro de su ancho, la estructura resistirá dichos esfuerzos. Ajustándose dicha línea ante cambios en los esfuerzos. En la Imagen 2.38. se muestra un esquema de este concepto:

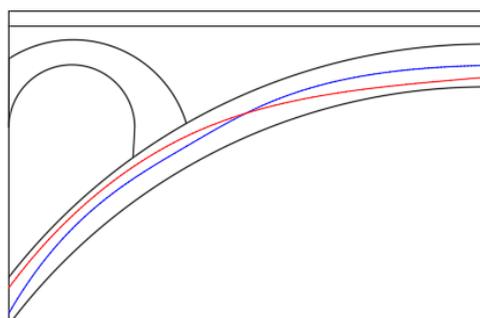


Imagen 2.38. Posibles Líneas de empuje en equilibrio en semiarco del puente Noguero. FUENTE: Propia

Se medirán las áreas en AutoCAD y se dividirá cada semiarco de longitud 9,5 metros en 5 partes de 1,9 m de longitud, los cálculos se realizarán con una hoja Excel. Se muestra el esquema en la Imagen 2.39 y 2.40..

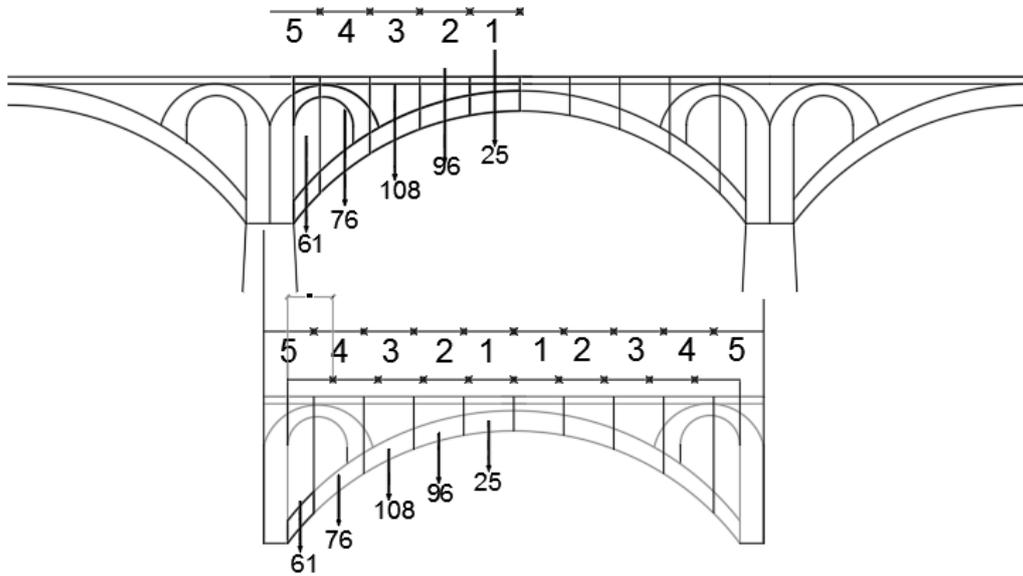


Imagen 2.39. Numeración de las secciones en los arcos del Puente Noguero y las cargas calculadas en KN. FUENTE: Libro de Juan de Herrera sobre estructuras de fábrica

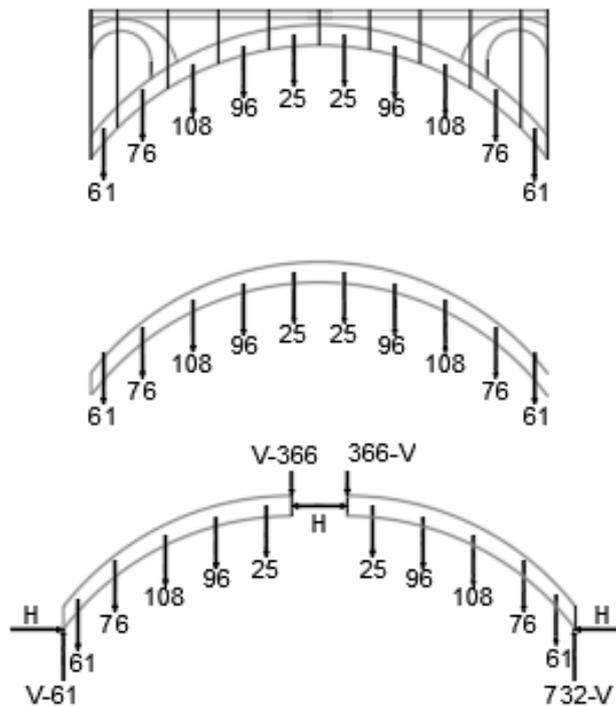


Imagen 2.40. Pasos para calcular los esfuerzos según metodología. FUENTE: Libro de Juan de Herrera sobre estructuras de fábrica

| N °Seccion | Areas(m2) | | | Anchuras(m) | | | Volumen(m3) | | |
|------------|-----------|---------|---------|----------------|---------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Arcos | Tablero | Relleno | Arco + Relleno | Tablero | Longitud | H.Arcos | H.Tablero | Relleno |
| 1 | 1.79 | 0.63 | 0.75 | 5.00 | 6.00 | 1.90 | 17.01 | 7.18 | 7.13 |
| 2 | 1.81 | 0.63 | 1.54 | 5.00 | 6.00 | 1.90 | 17.20 | 7.18 | 14.63 |
| 3 | 2.05 | 0.63 | 3.00 | 5.00 | 6.00 | 1.90 | 19.48 | 7.18 | 28.50 |
| 4 | 3.92 | 0.63 | 0.68 | 5.00 | 6.00 | 1.90 | 37.24 | 7.18 | 6.46 |
| 5 | 1.75 | 0.33 | 0.21 | 5.00 | 6.00 | 1.10 | 9.63 | 2.18 | 1.16 |

| N °Seccion | Volumen(m3) | | | Peso(KN) | | | | |
|------------|-------------|-----------|---------|----------|----------|---------|------------|-----------------|
| | H.Arcos | H.Tablero | Relleno | H.Masa | H.Armado | Relleno | Peso Total | Peso Redondeado |
| 1 | 17.01 | 5.99 | 7.13 | 306.09 | 131.67 | 14.25 | 452.01 | 452 |
| 2 | 17.20 | 5.99 | 14.63 | 309.51 | 131.67 | 29.26 | 470.44 | 470 |
| 3 | 19.48 | 5.99 | 28.50 | 350.55 | 131.67 | 57.00 | 539.22 | 540 |
| 4 | 37.24 | 5.99 | 6.46 | 670.32 | 131.67 | 12.92 | 814.91 | 815 |
| 5 | 16.63 | 3.14 | 2.00 | 299.25 | 68.97 | 3.99 | 372.21 | 372 |
| | | | | | | | | 2649 |

| N °Sección | Peso(KN) | Distancia | Momento |
|------------|----------|-----------|---------|
| 1 | 61 | 8.55 | 521.55 |
| 2 | 76 | 6.65 | 505.4 |
| 3 | 108 | 4.75 | 513 |
| 4 | 96 | 2.85 | 273.6 |
| 5 | 42 | 0.95 | 39.9 |
| | | | 1853.45 |

| | | | | | |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Sección | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| distancia(m) | 8.55 | 6.65 | 4.75 | 2.85 | 0.95 |
| y (m) (INTRASDOS) | | | | | 5.625 |
| Pp(KN) | 452 | 470 | 540 | 815 | 372 |
| Σ Pp(KN) | 452 | 922 | 1462 | 2277 | 2649 |
| Mpp (KN) | 3864.6 | 3125.5 | 2565 | 2322.75 | 353.4 |
| Σ Mpp(KN) | 521.55 | 3647.05 | 6212.05 | 8534.8 | 8888.2 |

Una vez llegado a este punto ya se podrían calcular las reacciones como las calculadas en el Método gráfico, no obstante, este método se basa en el cálculo de la línea de empujes y en las aberturas en el trasdós o intradós del arco, que en este se casó se asemejan al crecimiento de las fisuras según las imágenes 2.41, 2.42 y 2.43.

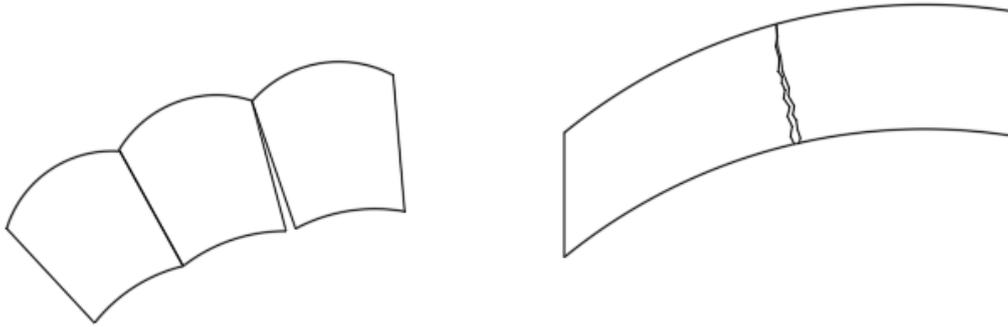


Imagen 2.41. Apertura de dovelas y apertura por grietas en el intradós del arco. FUENTE: Propia

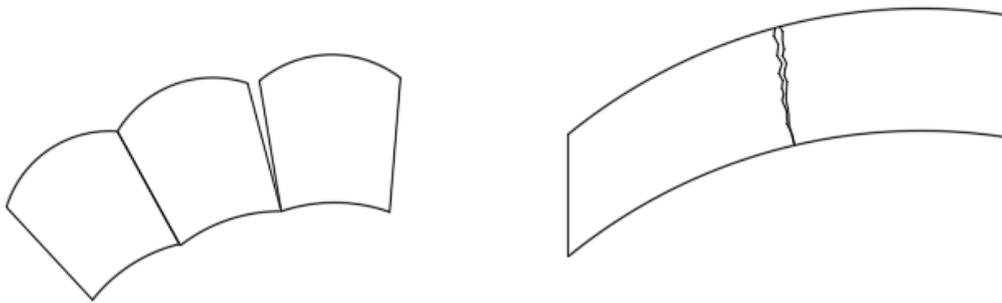


Imagen 2.42. Apertura de dovelas y apertura por grietas en el intradós del arco. FUENTE: Propia

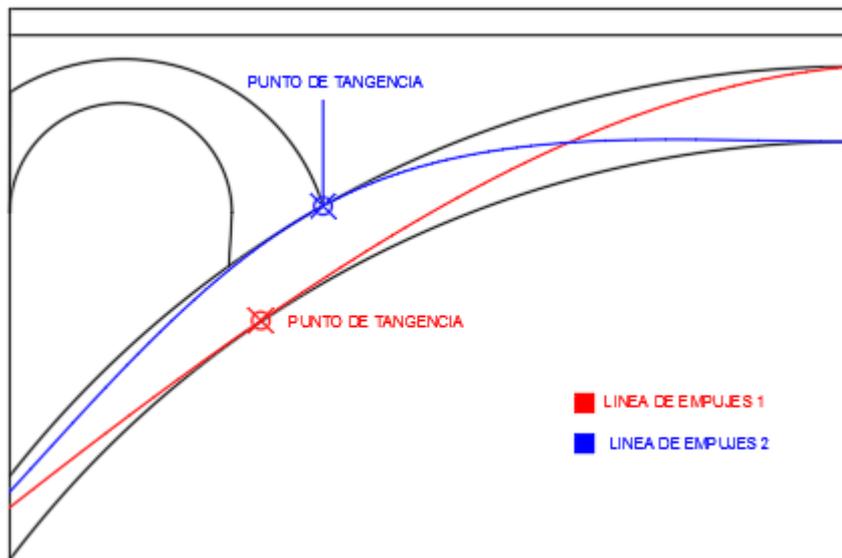


Figura 2.43. Distintas líneas de empuje según esfuerzo en trasdós o intradós. FUENTE: Propia

Finalmente se obtienen las reacciones para ambas líneas de empuje obteniendo un valor máximo y uno mínimo, quedando lógicamente los valores del cálculo gráfico entre medias.

| Cálculo Seccion Ultima(L1) | | Cálculo Seccion Ultima(L2) | |
|----------------------------|--------|----------------------------|---------|
| H(KN) | 2894 | H(KN) | 3467.62 |
| V(KN) | 2649 | V(KN) | 2649 |
| E(KN) | 3923.5 | E(KN) | 4363.2 |

2.10. Estudio de Hundimiento

2.10.1. Introducción

El estudio de hundimiento se basará en los datos del "Informe preliminar sobre el Hundimiento de uno de sus tramos" de la Confederación Hidrográfica del Ebro en el Proyecto del Camino Local de Arija a la Población de Yuso siendo el autor el Sr. Inspector Regional de la 9ª Demarcación D. Rafael Martínez Torres.

A continuación se han recopilado las partes más significativas y se explican brevemente sin realizar ningún tipo de cálculo complejo o computacional.

El citado documento puede consultar dentro de los anexos a la memoria siendo el Anexo nº II.

2.10.2. Antecedentes

Se lleva a cabo la cimentación sobre bancos sanos y gruesos de arena de la zona según todos los datos y antecedentes, con presiones verticales límites de 6 Kg/cm². En el proyecto primitivo se calculó en cargas medias desde 3,6 a 468 Kg/cm², en la combinación más desfavorable, para las pilas ordinarias que eran las más cargadas, reduciéndose posteriormente durante la ejecución por el aumento de las dimensiones de las zapatas cumpliendo rigurosamente por este aumento.

Como comprobación al cálculo gráfico que solo tiene en cuenta el peso propio mayorado por el peso específico sin tener en cuenta cargas permanentes ni sobrecargas se tiene:

- Carga vertical 2V=4560 KN.
- Zapatas en cimentación superficial con dimensiones de 6 x 2 metros.

$$\sigma = \frac{2V}{A} = \frac{4560 \text{ KN}}{12 \text{ m}^2} = 380 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} = 3.8 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Citando del informe *"Sin embargo, cuando se acaba su redacción fue hallado, incidentalmente, un documento, presentado por la Cristalería Española, en 1922 valorado en mucho, lo que había gastado para mejorar el camino de la fábrica a la población de Yuso: porque habían tenido que sanear su travesía del fondo del Valle y cimentar, con trabajos importantes, su puente sobre el rio Virga: por el mal terreno fangoso en que se asentaban"*

En las siguientes imágenes de la 2.44 a 2.46. se puede apreciar el cambio de tonalidad existente en la llanura de inundación próxima al cauce del río Virga. Esto se debe a los materiales arcillosos se depositaron en esta llanura debido a las sucesivas crecidas del río.



Imagen 2.44. Los resistentes del pantano del Ebro: Vista de la los pueblos sumergidos La Magdalena y Medianedo además del río Virga. FUENTE: Los resistentes del pantano del Ebro. Jesús M. Fernández Navamuel



Imagen 2.45. Los Resistentes del Pantano del Ebro: Emplazamiento del cuerpo de presa, al fondo La Magdanlena , Medianedo y Quintanilla de Valdearroyo de izquierda a derecha. FUENTE: Los resistentes del pantano del Ebro. Jesús M. Fernández Navamuel

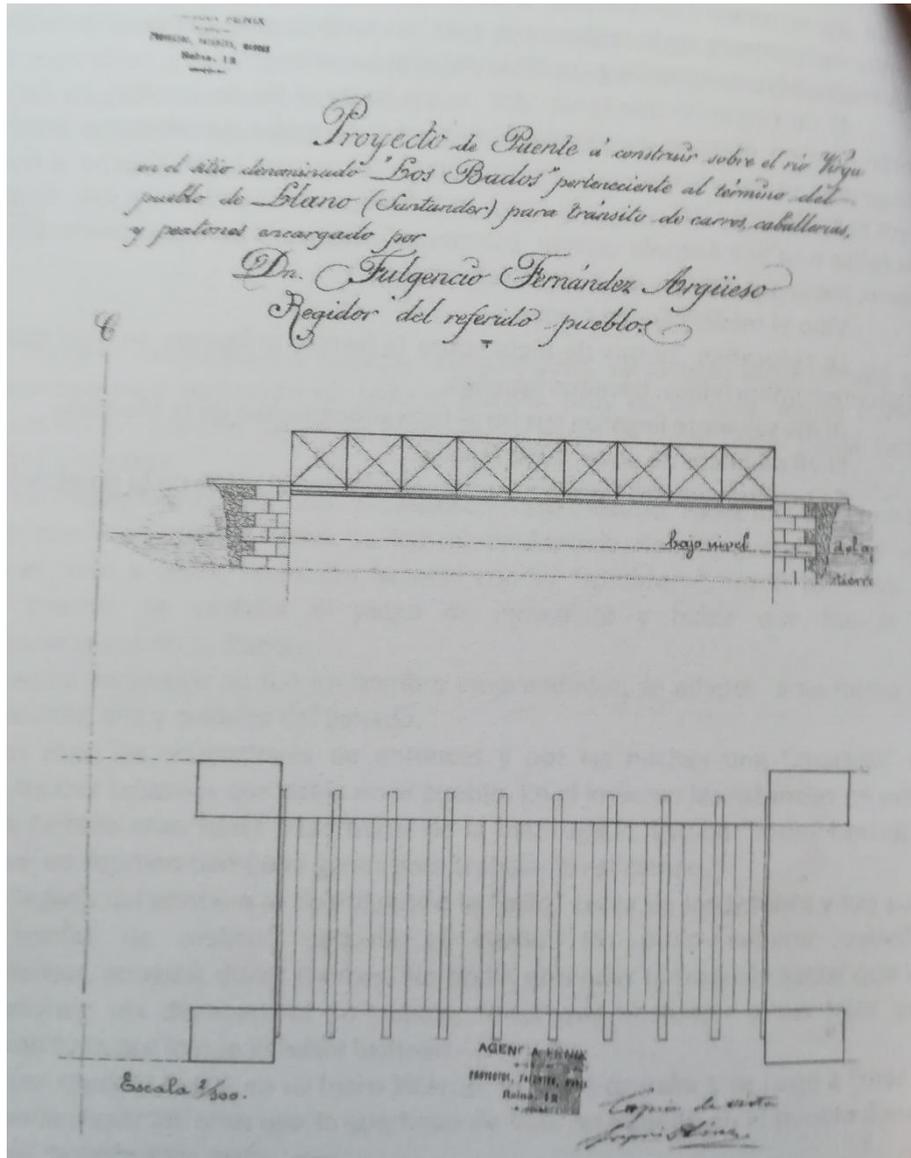


Imagen 2.46. Plano planta y sección longitudinal del Puente sobre el río Virga en el Camino Arija la Población . Escala 2/300 LUZ de 8,70 metros. FUENTE: Los resistentes del pantano del Ebro. Jesús M. Fernández Navamuel

2.10.2.1. Datos Sondeos

Los siguientes sondeos se realizaron durante la ejecución del Puente Noguero con el proyecto 2º Reformado (Ver Proceso Redacción-Construcción-Hundimiento):

- Sondeo Nº 1: Terreno blando con turba, arenas y arcillas fangosas en más de 20 metros.
- Sondeo Nº 2: Bancos sanos de arena hasta los 20 metros.
- Sondeo Nº 3: Terreno blando con turba, arenas y arcillas fangosas en más de 22 metros.
- Sondeo Nº 4: Bancos sanos de arena hasta los 20 metros.
- Sondeos Nº 5 ,6, 7 y 8: Terreno vario con grijo y alguno con turba, cerca de la superficie; seguidos de arcillas más o menos arenosas, pero fangosas y blandas, en los 18 y más de 20 metros.

En las pilas 12 a la 24 se necesitaría entonces consolidación del terreno para reducir los asientos futuros. Siendo estos los que se realizarían mediante cimentación profunda. En la Imagen 2.47. se muestra un croquis de la cimentación.

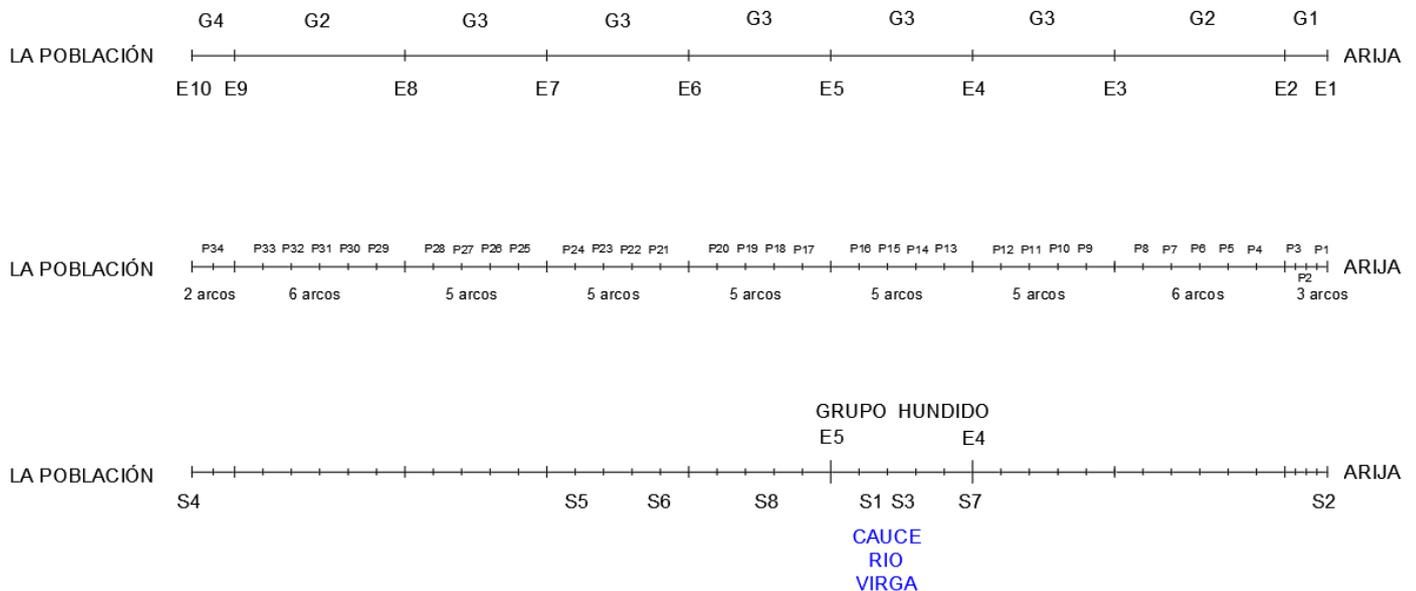


Imagen 2.47. Croquis del estudio de Hundimiento Campaña de Sondeos Realizados. FUENTE: Propia

Más tarde, se realizarán como apoyo al estudio del Hundimiento más sondeos denominados RODIO(R) con toma de muestras de sus extracciones para sus ensayos en la sección de mecánica del suelo del laboratorio de transporte de la Confederación Hidrográfica del Ebro con base en Zaragoza y posteriormente la Jefatura de Sondeos e Informes Geológicos realizara el sondeo Rº0:

- Sondeo Rº0: El terreno que se describe en profundidad es el más conciso, presenta arenas fangosas, obscuras hasta 3 metros. Pasando a ser más amarillentas y fangosas hasta los 6,65 metros. Después arcillas grises fangosas hasta los 10,85 metros que iban empeorando hasta los 13,70 metros. A continuación arenas amarillentas hasta los 16,20 metros sin llegar a tomar testigo hasta los 21,25 metros de profundidad.
- Sondeo Rº1: El terreno se basa en sucesivas capas superficiales, arenas algo gruesas, finas y aun fangosas seguidas pronto de arenas grises, más o menos fangosas o arenosas de capacidad y permeabilidad variable. Pero estas arcillas eran tan blandas que con la humedad natural sobrepasan el límite líquido. Después arcillas arenosas con algo de turba y a continuación arcillas grises de consistencia variable llegando hasta los 19 metros de profundidad.
- Sondeo Rº2 Mismas capas que el sondeo Rº1, pero llegando a alcanzar capas de margas y areniscas firmes y antiguas con toma de testigo en 3 metros. Llegando este a más profundidad hasta los 30 metros.

En la Imagen 2.48. se muestra un esquema de la localización de estos sondeos:

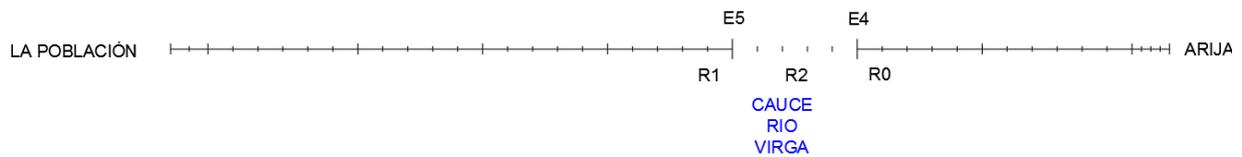


Imagen 2.48. Croquis del estudio de Hundimiento Campaña de Sondeos Realizados posteriormente por RODIO y Jefatura de Informes Geológicos. FUENTE: Propia

2.10.2.2. Asientos

Se mencionarán los asientos encontrados en las pilas ejecutados durante un periodo de estiaje, pudiéndose acceder a los planos de cimentación de alguna de las pilas. Estos asientos se podrían calcular actualmente en arcillas y arenas mediante modelos computacionales.

Para poder tener una base de los asientos apoyándose en la guía de cimentaciones para obras de carretera, los asientos orientativos admitidos son para cimentaciones superficiales los siguientes:

- Asiento máximo de zapatas aisladas = 2,5 cm.
- Asiento máximo de losas de cimentación = 5 cm.
- Asiento diferencial máximo entre apoyos contiguos = $L/200$ a $L/500$ dependiendo de la rigidez de la estructura (L = distancia entre apoyos).
- Inclinaciones máximas: entre $\theta = 1/1000$ y $6/1000$.

Los asientos encontrados en el estudio son los siguientes:

- Pilas 1 a 5 asientos mínimos (1-2 centímetros) por bancos de arenas compactos.
- Pila estribo 7 a pila 34 asientos mínimos (1-2 centímetros) por bancos de arenas compactos.
- Pila estribo 6 a pila nº28 mayores asientos de media 15 centímetros.
- Pila estribo 1 a pila nº27 asientos desde 1 centímetro hasta 17 centímetros.

2.10.2.3. Esfuerzos debidos a los asientos

Para entender qué esfuerzos que sufre una estructura rígida e hiperestática frente a los esfuerzos se modelizará como si el arco se tratase de un pórtico recto. Es una aproximación alejada de la realidad, pero sirve para entender el concepto.

En la Imagen 2.49. se muestra un esquema de como se ha realizado el cálculo:

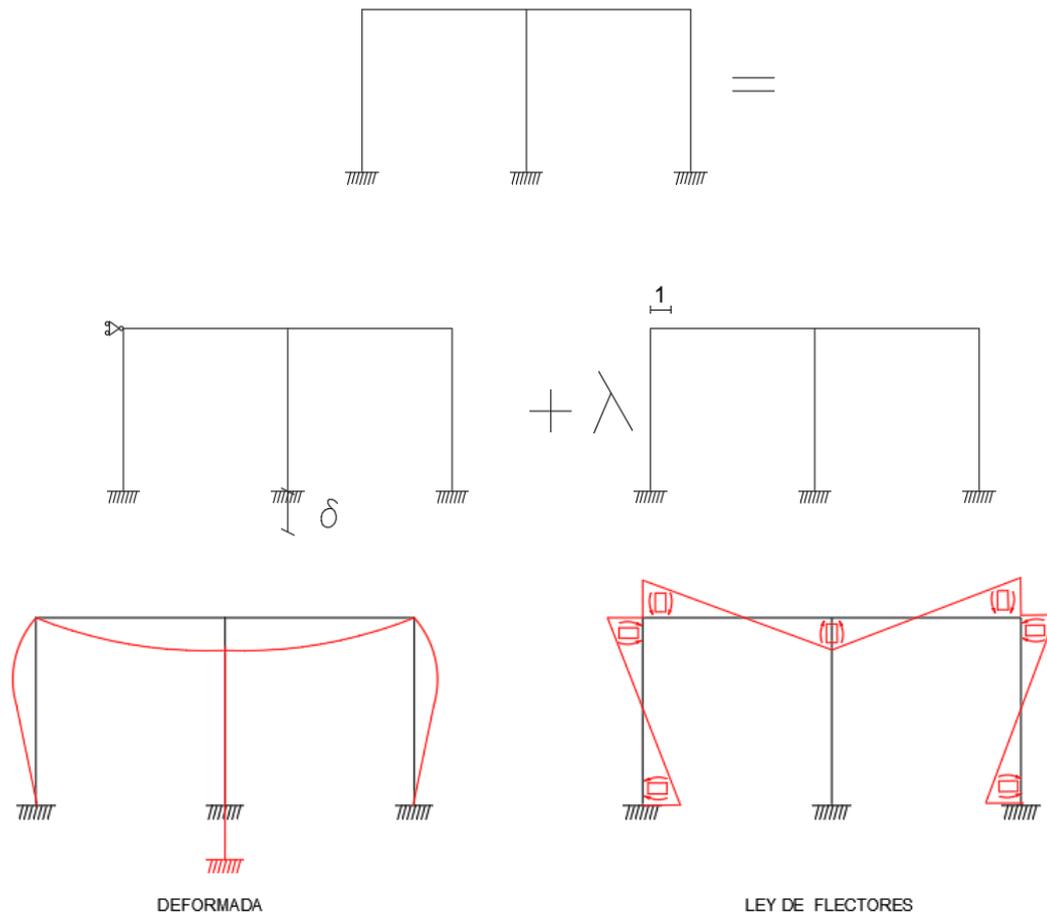


Imagen 2.49. Calculo Mediante Fuerza Unidad para obtener los esfuerzos frente a asientos. FUENTE:Propia

2.10.3. Precedentes

La ingeniería ha avanzado increíblemente desde la concepción de los puentes de la Indemnización, en este caso la referencia es al avance de los puentes y la geotecnia:

- **Ingeniería de Puentes de Hormigón**, actualmente las uniones entre tablero y pila se realizan mediante los denominados aparatos de apoyo consistentes principalmente en apoyos elastómeros o mecánicos. Formados los elastómeros de capas de caucho vulcanizadas con chapas de acero, estas permiten absorber los esfuerzos generados por el tablero a la vez que transmite las cargas a la cimentación y esta a su vez al terreno. Consiguiendo así pilas muy esbeltas para tableros de grandes dimensiones. No es el caso del Puente Noguero que presenta pilas de la misma anchura que el tablero más parecido a los puentes mamposteros que al diseño actual. Generando así estructuras hiperestáticas con uniones “rígidas” entre el tablero y las pilas, entrando en la tipología de Puentes Pórtico.
- **Geotecnia**, actualmente es una de las ramas de la ingeniería civil que ha ido siempre de la mano de la ejecución principalmente de puentes y canales. Dando un gran salto a mediados del siglo XX por las publicaciones de Terzaghi y Lambe, considerados los padres de la geotecnia. Dio otro gran salto a comienzos del siglo XXI con la computación. Existen

numerosos métodos actualmente para analizar los terrenos arenosos y los arcillosos con diferentes situaciones de Largo Plazo y Corto Plazo., con mitologías diferentes para las cimentaciones superficiales y las cimentaciones profundas.

2.10.4. Conclusiones

Las conclusiones finales que se obtuvieron de dicho informe son:

1. Que, si las pilas con cimentación profunda están sobre el terreno como el del sondeo Rº1 y Sº5 estarían en equilibrio estricto, hundiéndose las que se encontraran en peor terreno de cimentación, el cercano al cauce del Rio Virga
2. La resistencia del número de pilotes tan cercanos (menor que la separación entre pilotes según guía cimentaciones) ha de ser inferior a la suma de las supuestas para cada uno. Siendo menor que la calculada en el proyecto.
3. El terreno es muy compresible y de gran espesor. La estructura ha tenido que sufrir asentamientos notorios y progresivos a causa de los embalses y desembalses. Produciéndose en el tiempo debido al periodo de consolidación de largo plazo.
4. A causa de la construcción del Embalse del Ebro, existe la posibilidad de que el subsuelo haya empeorado también acrecentándose con la construcción de las pilas.

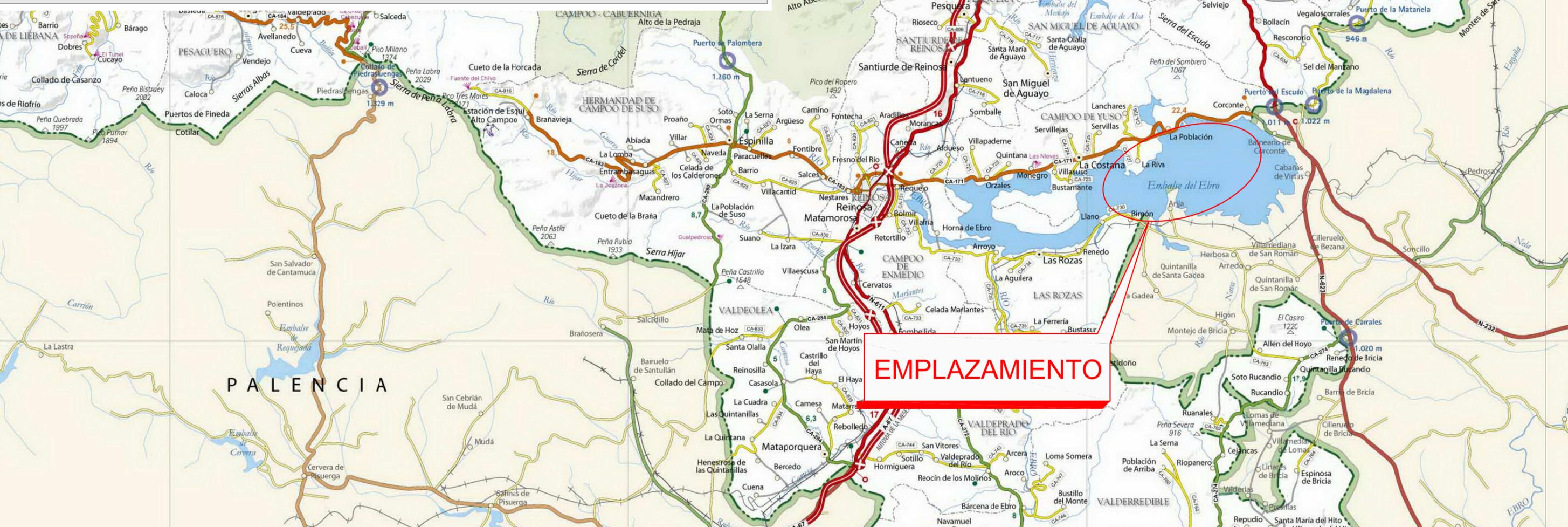
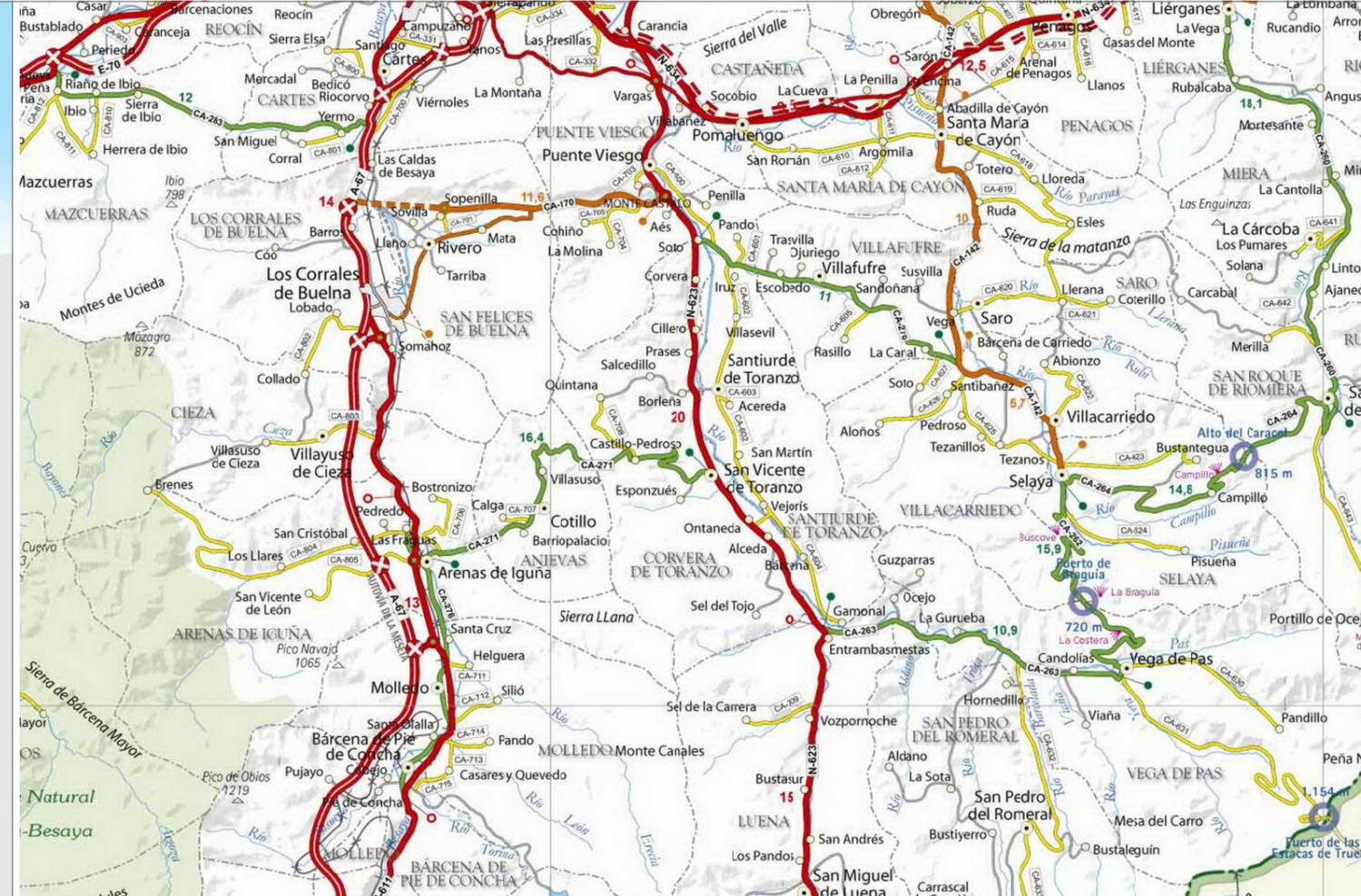
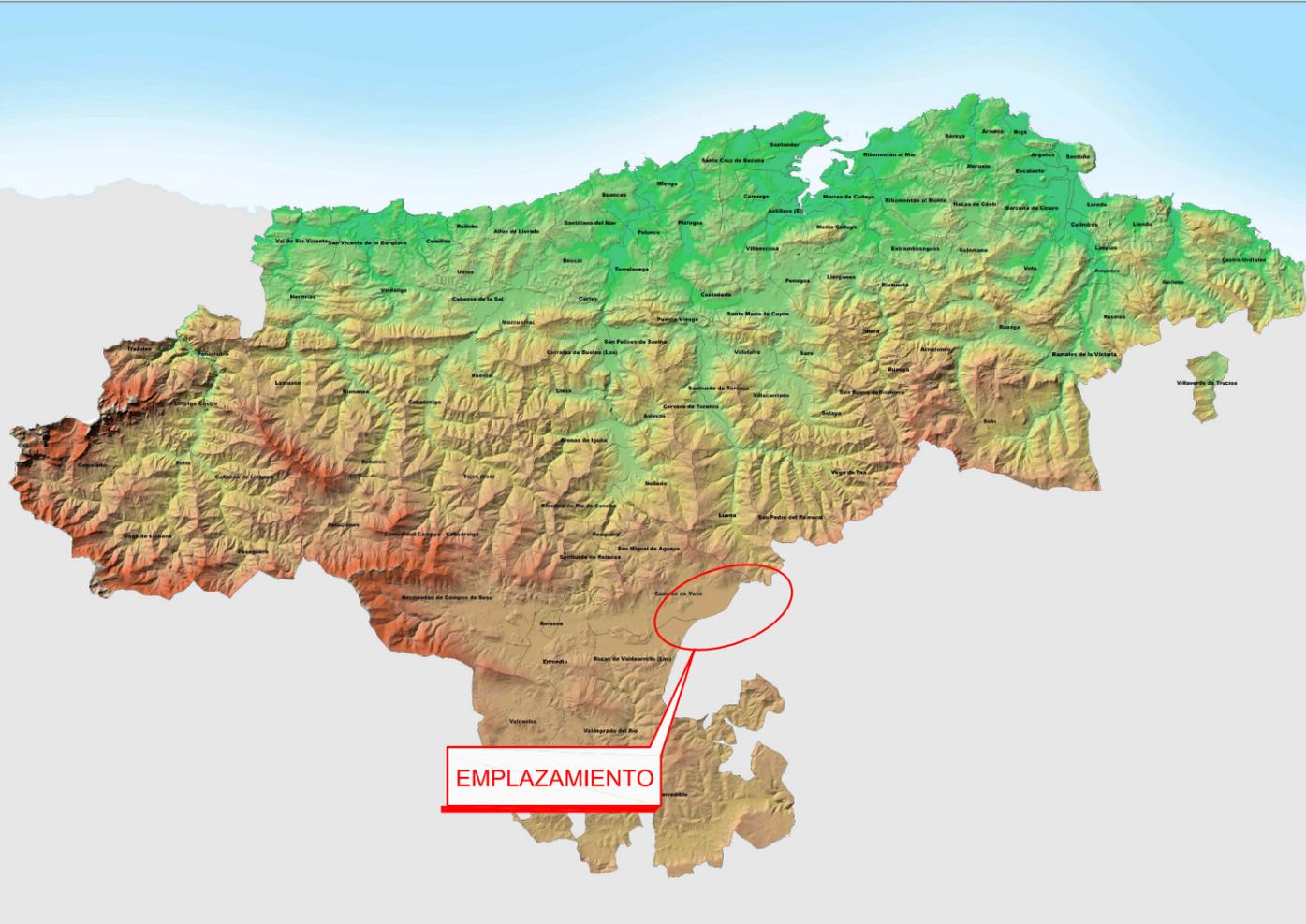
Como conclusión final, se puede extraer que la ruina del puente Noguero se basa en el hundimiento de los pilares en el terreno de cimentación formado por materiales no cohesivos (Citando el informe) “arcillas , fangos , terrones de arena quedando imposible la toma de testigos en los sondeos de 4 cimentaciones de pilas “.

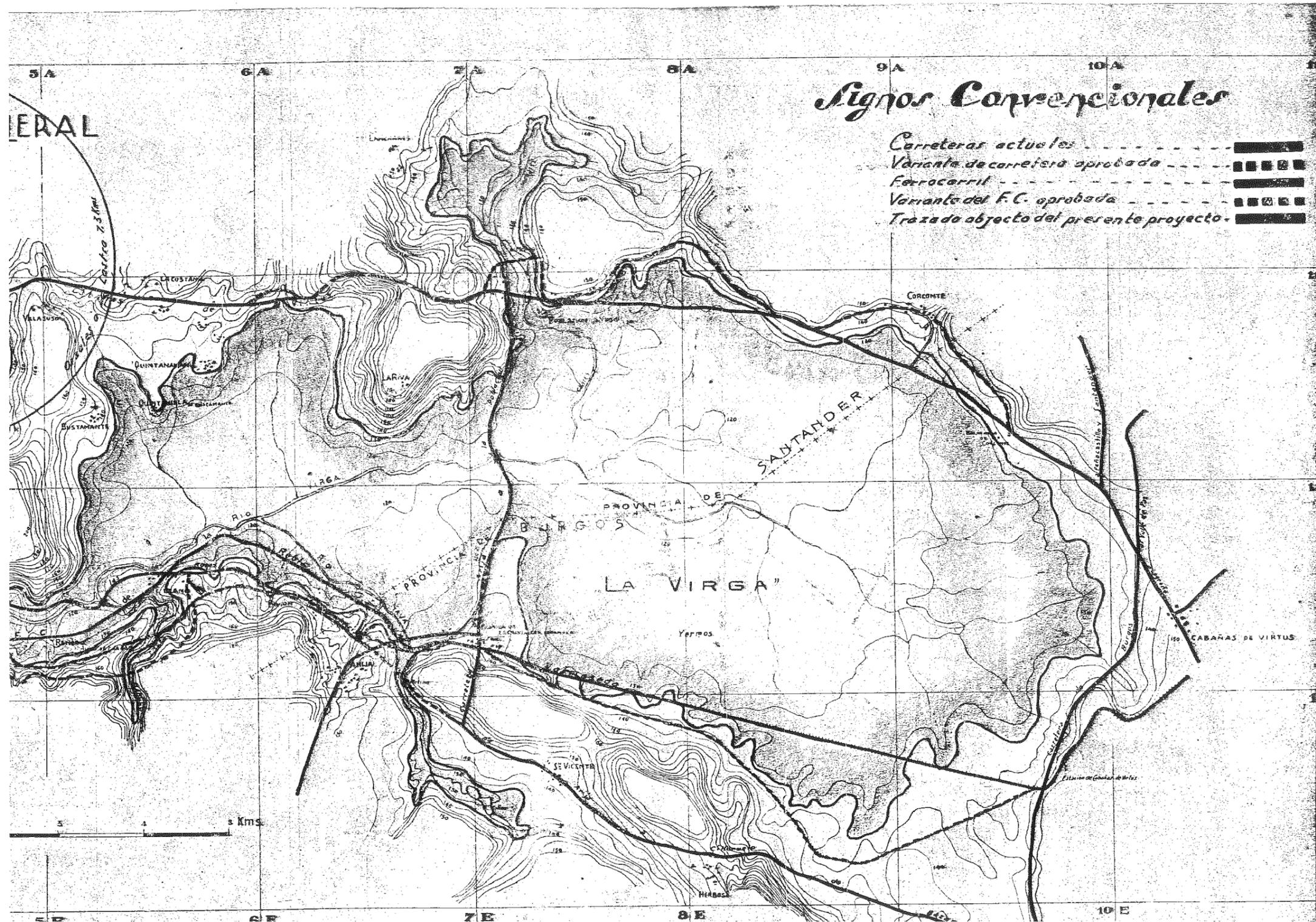
Este mal terreno de cimentación, asociado al largo periodo de construcción y de consolidación del terreno (espaciados los pilares en el tiempo hasta 3 años), así como los embalses y desembalses de agua hacen que cuando el puente entre en carga las pilas cercanas al cauce del rio Virga (Pilas Nº 13 a 16 y Pilas-Estribos 3 y 4) asienten más de lo esperado (hasta 30 centímetros).

Esta situación generó en dicha estructura hiperestática sendos momentos hiperestáticos a los arcos de hormigón en masa, que a causa de no contar con ningún tipo de armado no puede soportar los movimientos más que fisurándose y ajustando su línea de empuje. Este reajuste es lo que le permite al hormigón en masa estar en equilibrio formando una cuña (Ver Croquis Calculo Heyman), llegando a un punto que no puede reajustarse más frente a los asentamientos y cede, creando una reacción en cadena de vuelco de las pilas adyacentes.

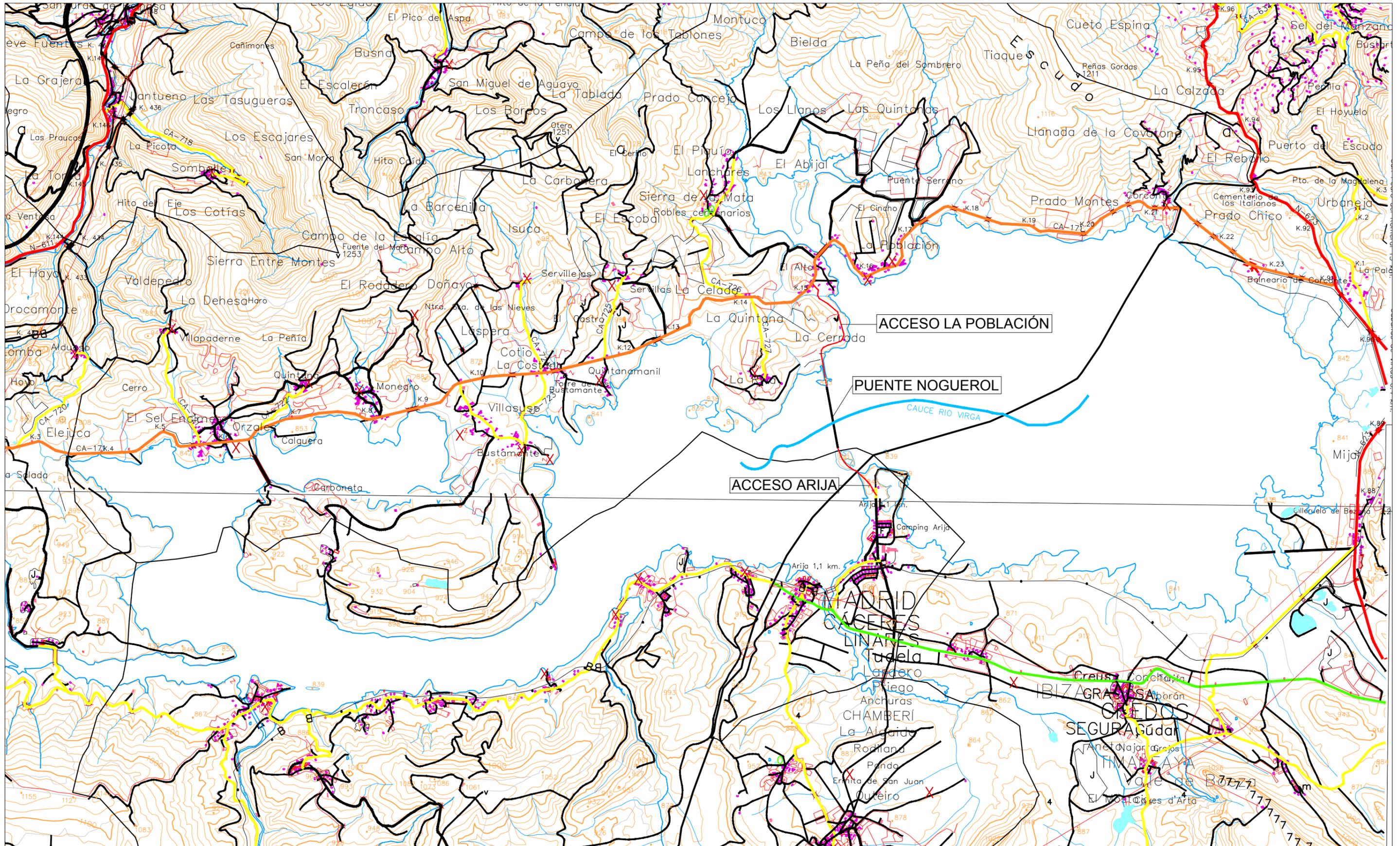
Este fenómeno es debido a que el grupo deja de funcionar correctamente y las pilas ordinarias no pueden resistir el empuje de su arco inmediato, llegando este proceso de vuelco en cadena hasta las pilas estribos que están diseñadas para resistir el empuje de un arco. Después del hundimiento del grupo nos encontramos con una separación entre estribos aproximada de 110 metros.

2.11. Planos

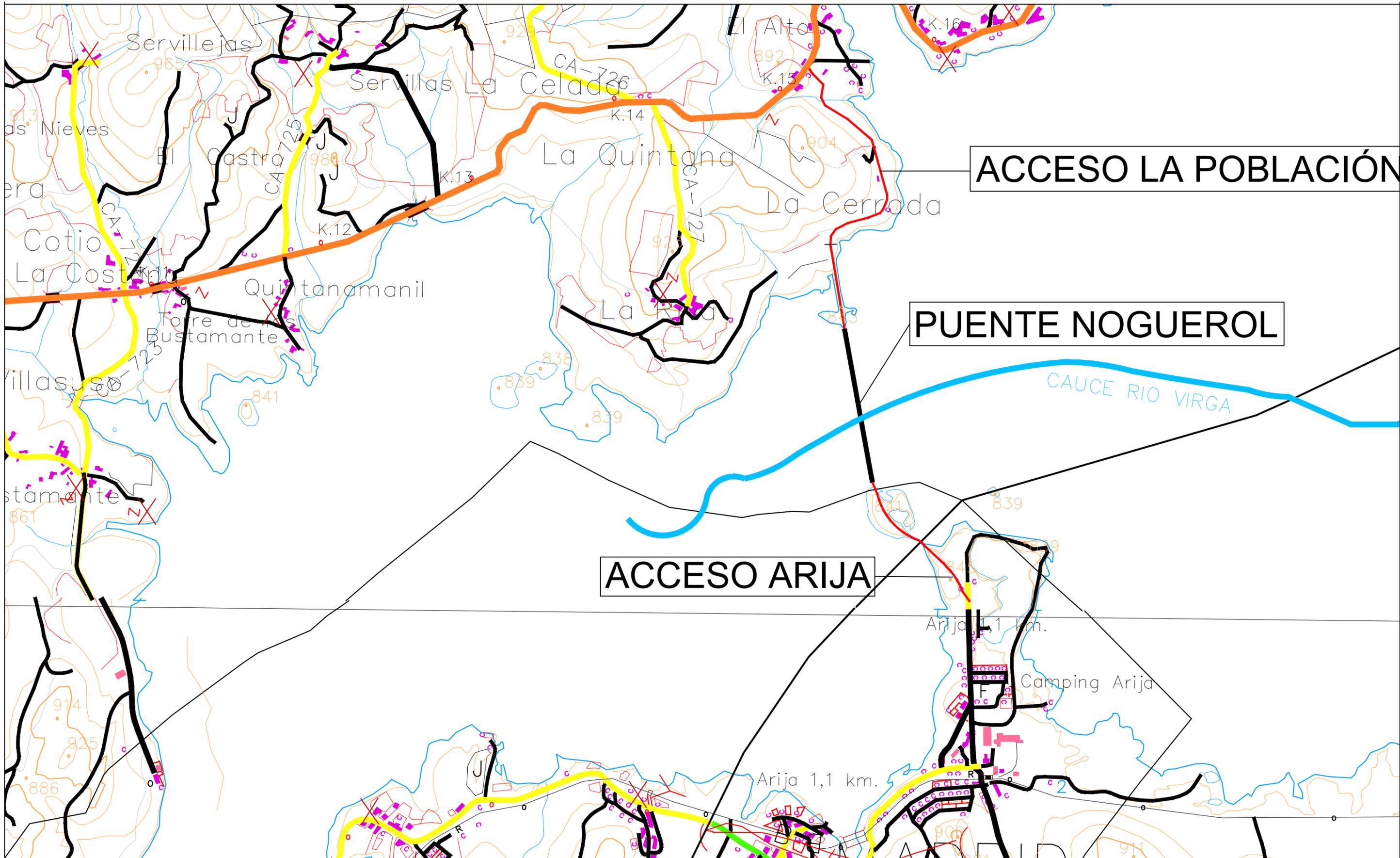




PROYECTO EMBALSE DEL EBRO 1916
 PROYECCIONES ED50
 DISTINTO SISTEMA DE ALTITUDES
 DIFERENCIA DE COTAS PARA NMM 708 m



| | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|---------------------------------|---|--------------|-------------------------|-----------------|-------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO | ESCALA: A3 - 1/50.000 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGUEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO | Nº DE PLANO | DESIGNACIÓN | FECHA |
| | PROYECTO | Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | | | HOJA 1 DE 1 | DEFINICIÓN GEOMETRICA 2 | SEPTIEMBRE 2019 | |



ACCESO LA POBLACIÓN

PUENTE NOGUEROL

ACCESO ARIJA

CAUCE RIO VIRGA

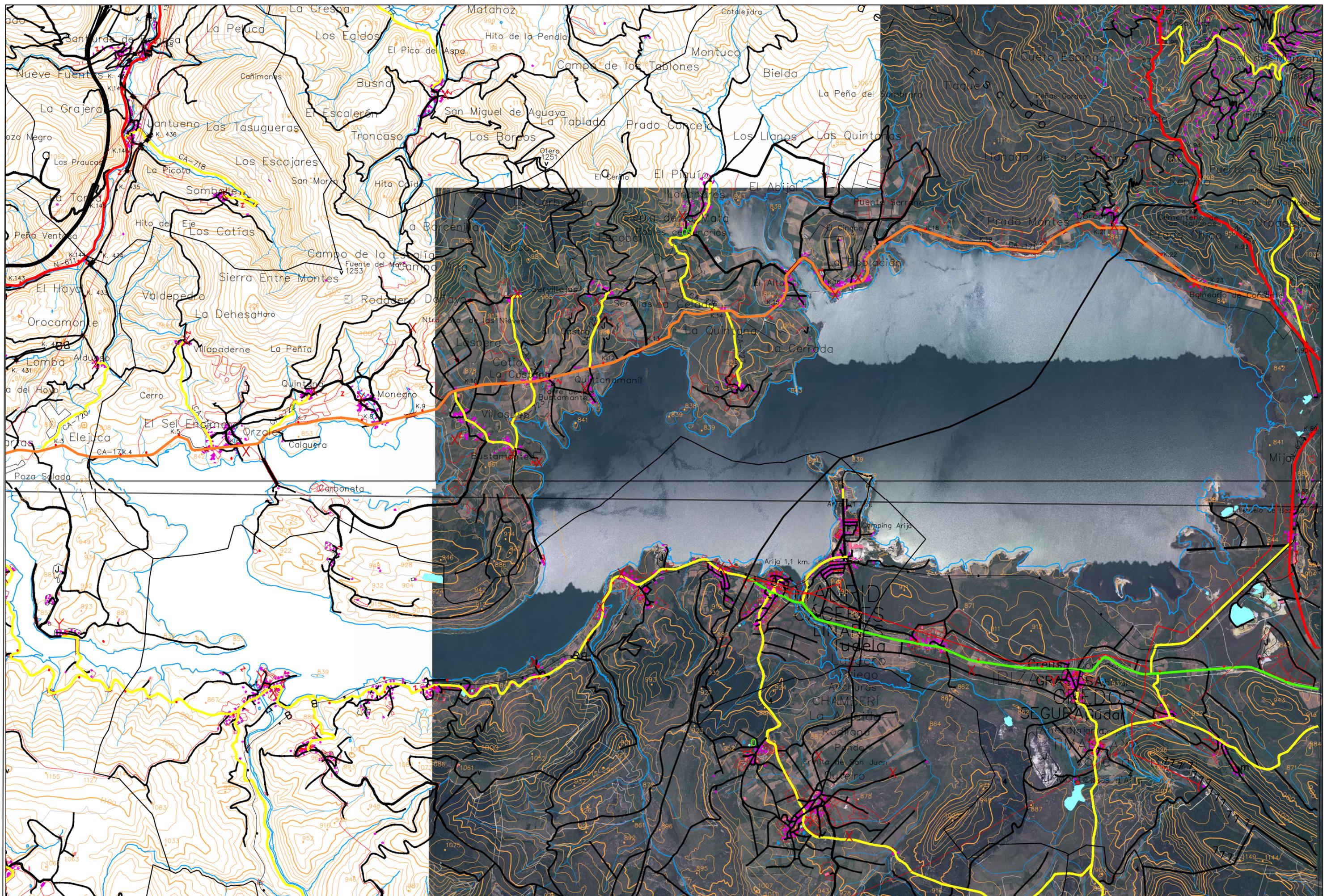
| | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|--------------------------------|---|--------------|-------------|-------------|--------------------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO | ESCALA: A3 - 1/5.000 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGUEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO | Nº DE PLANO | DESIGNACIÓN | FECHA SEPTIEMBRE 2019 |
| | PROYECTO | Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | | | | | | |
| | | | | | | HOJA | 1 DE 1 | |



| | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|---------------|---|--------------|-------------|------------------------------------|-----------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO | ESCALA | TÍTULO DEL PROYECTO | AYUNTAMIENTO | Nº DE PLANO | DESIGNACION | FECHA |
| | PROYECTO | Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | A3 - 1/50.000 | ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | | 1 | ORTOFOTO 1957 + CARTOGRAFÍA ACTUAL | SEPTIEMBRE 2019 |
| | | | | | | HOJA 1 DE 1 | | |

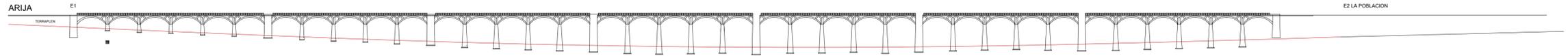


| | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--|-------------------------|--|--------------|---------------------------------|---|-----------------------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER PROYECTO | AUTOR DEL PROYECTO Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | ESCALA: A3 - 1/2.500 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO | N° DE PLANO 1 HOJA 1 DE 1 | DESIGNACIÓN ORTOFOTO 1957 + CARTOGRAFÍA ACTUAL | FECHA SEPTIEMBRE 2019 |
|---|------------------------------------|--|-------------------------|--|--------------|---------------------------------|---|-----------------------------|

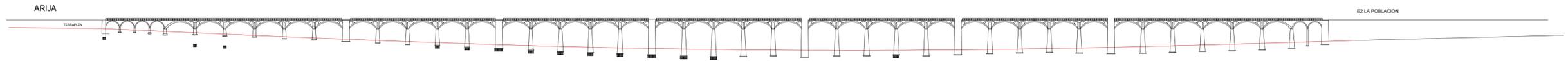


| | | | | | | | |
|---|------------------------|--|-------------------------|--|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | ESCALA A3 - 1/50.000 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO N.º DE PLANO 1 | DESIGNACION ORTOFOTO 2011 + CARTOGRAFÍA ACTUAL | FECHA SEPTIEMBRE 2019 |
| | PROYECTO | | | | HOJA 1 DE 1 | | |

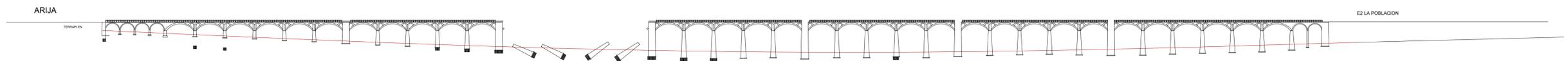
PRIMER PROYECTO



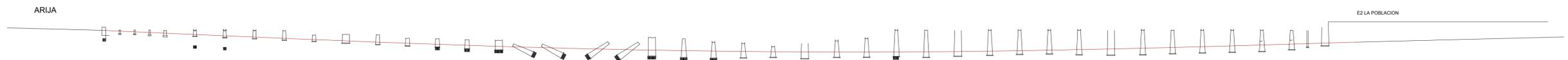
SEGUNDO REFORMADO

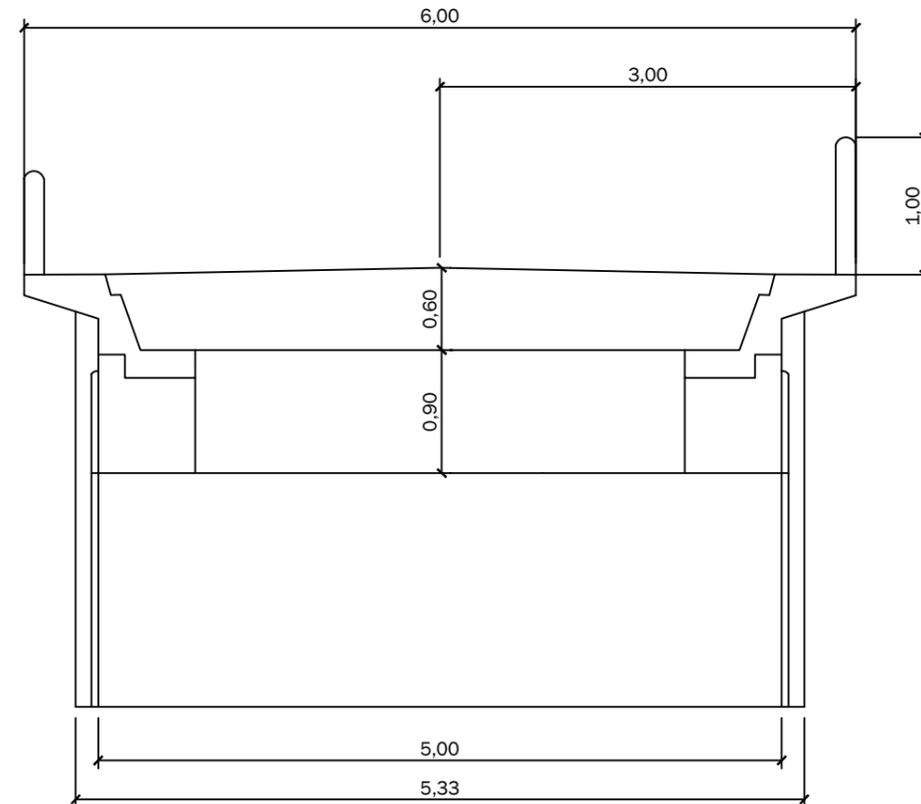
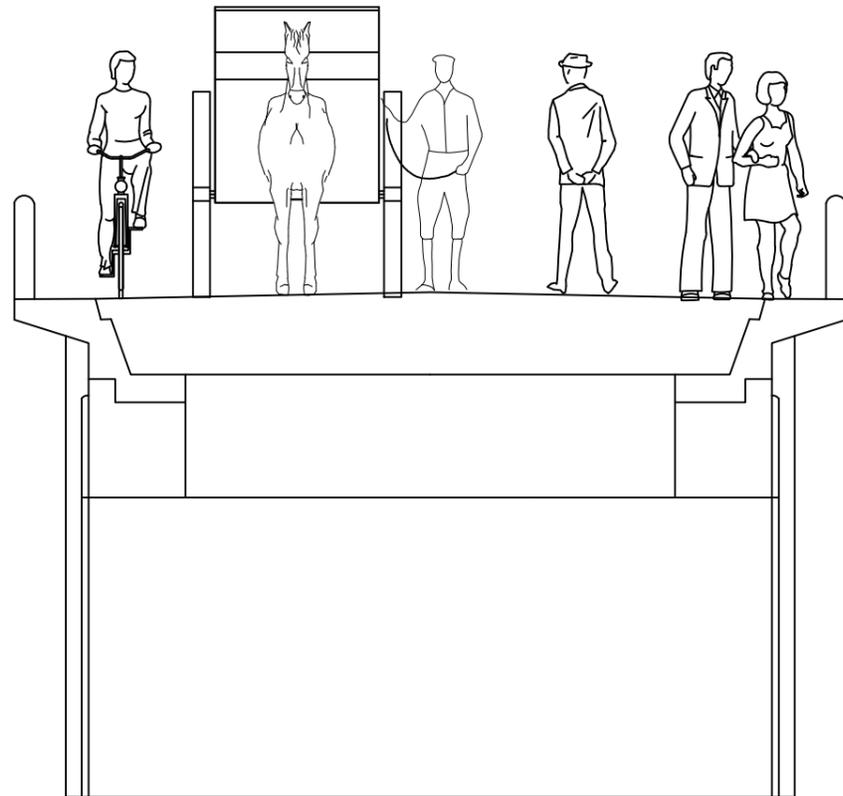
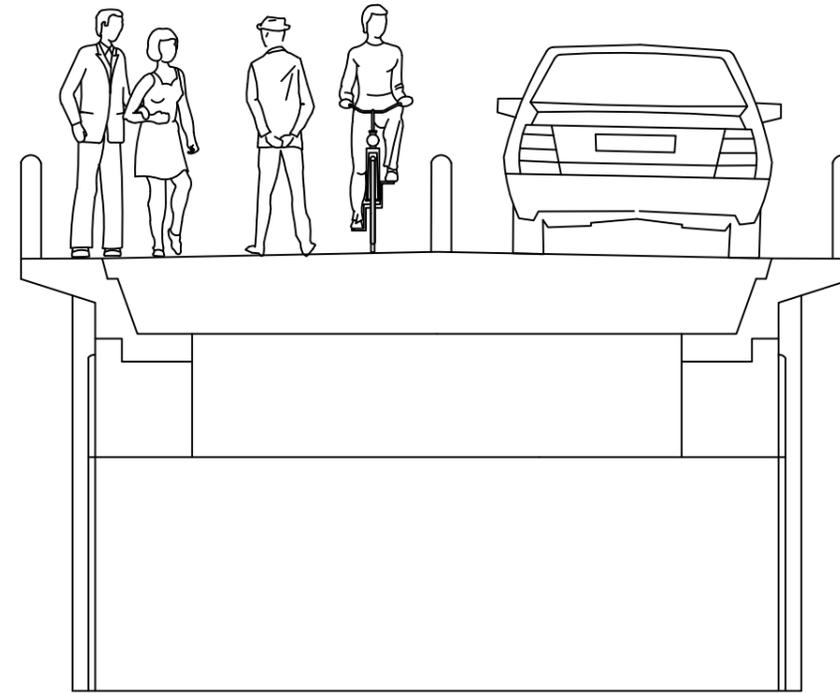
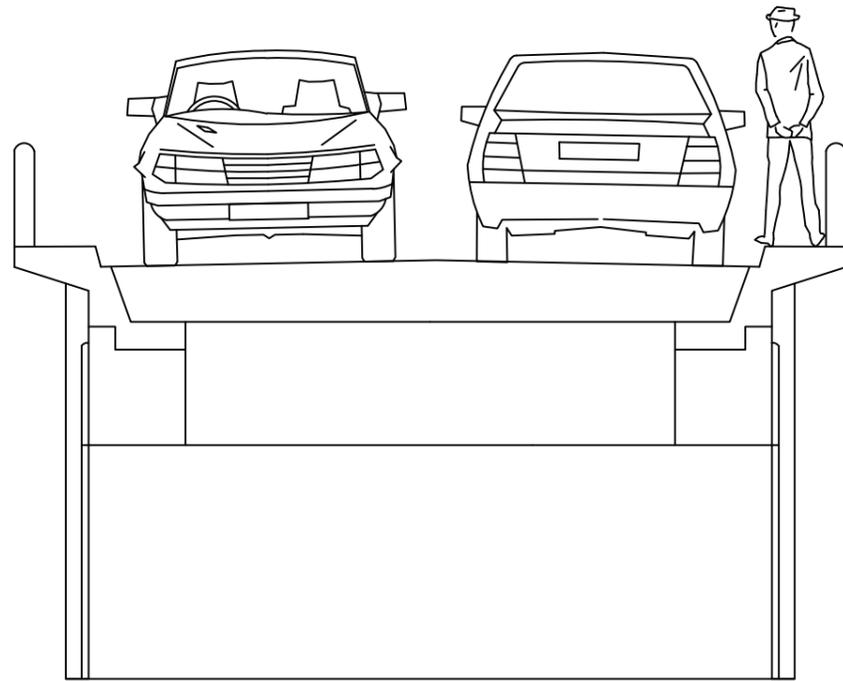


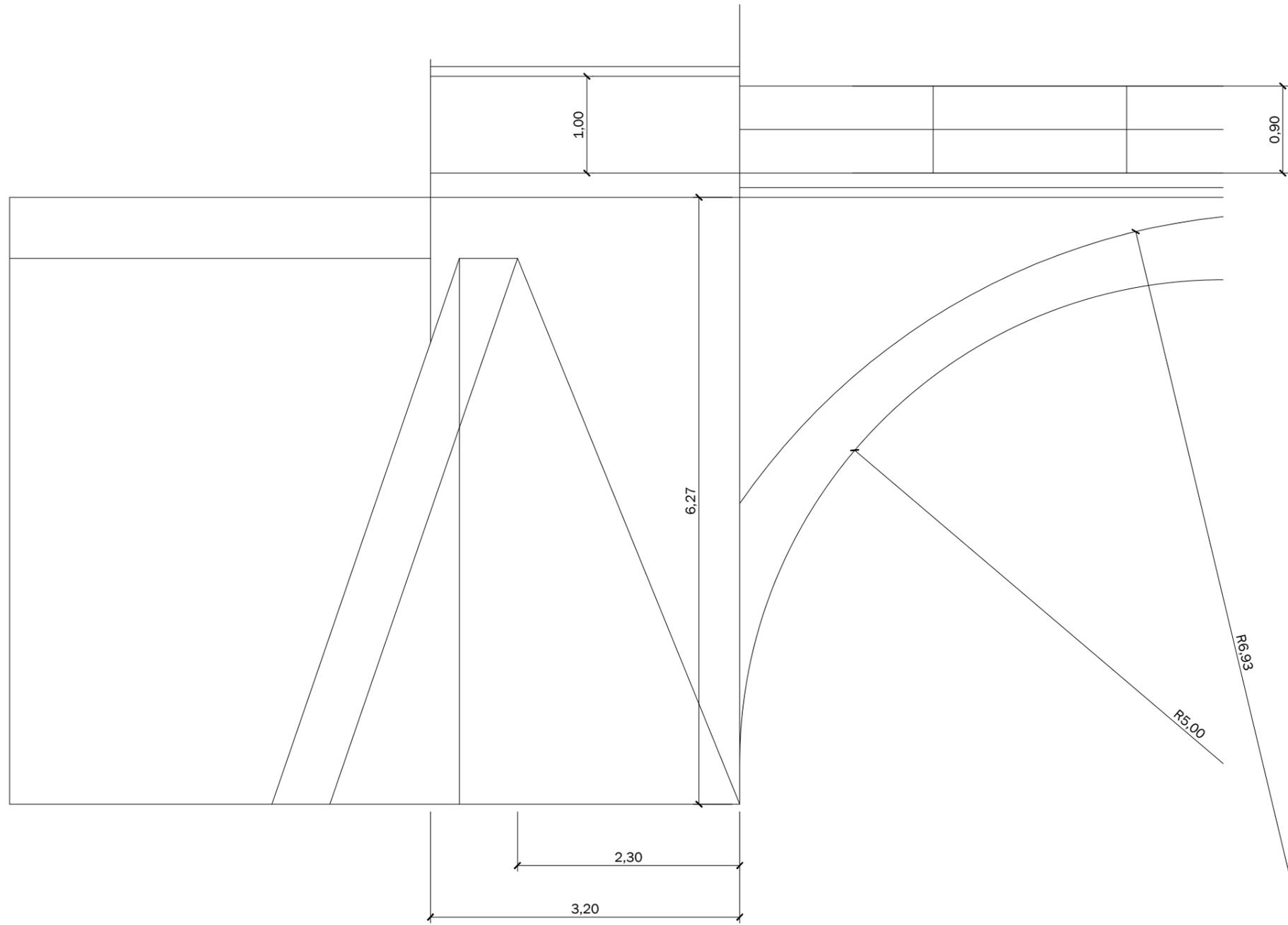
TRAMO HUNDIDO

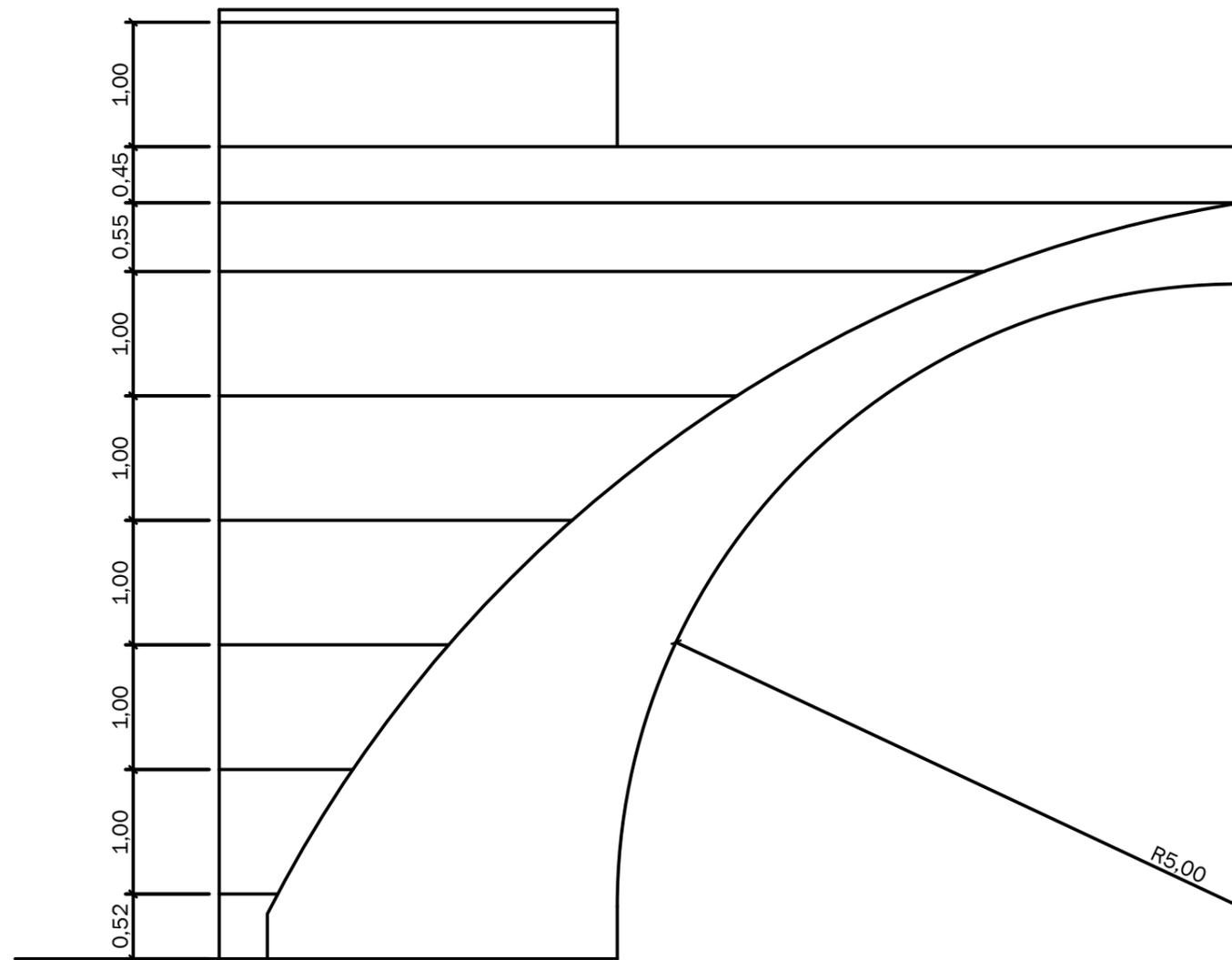


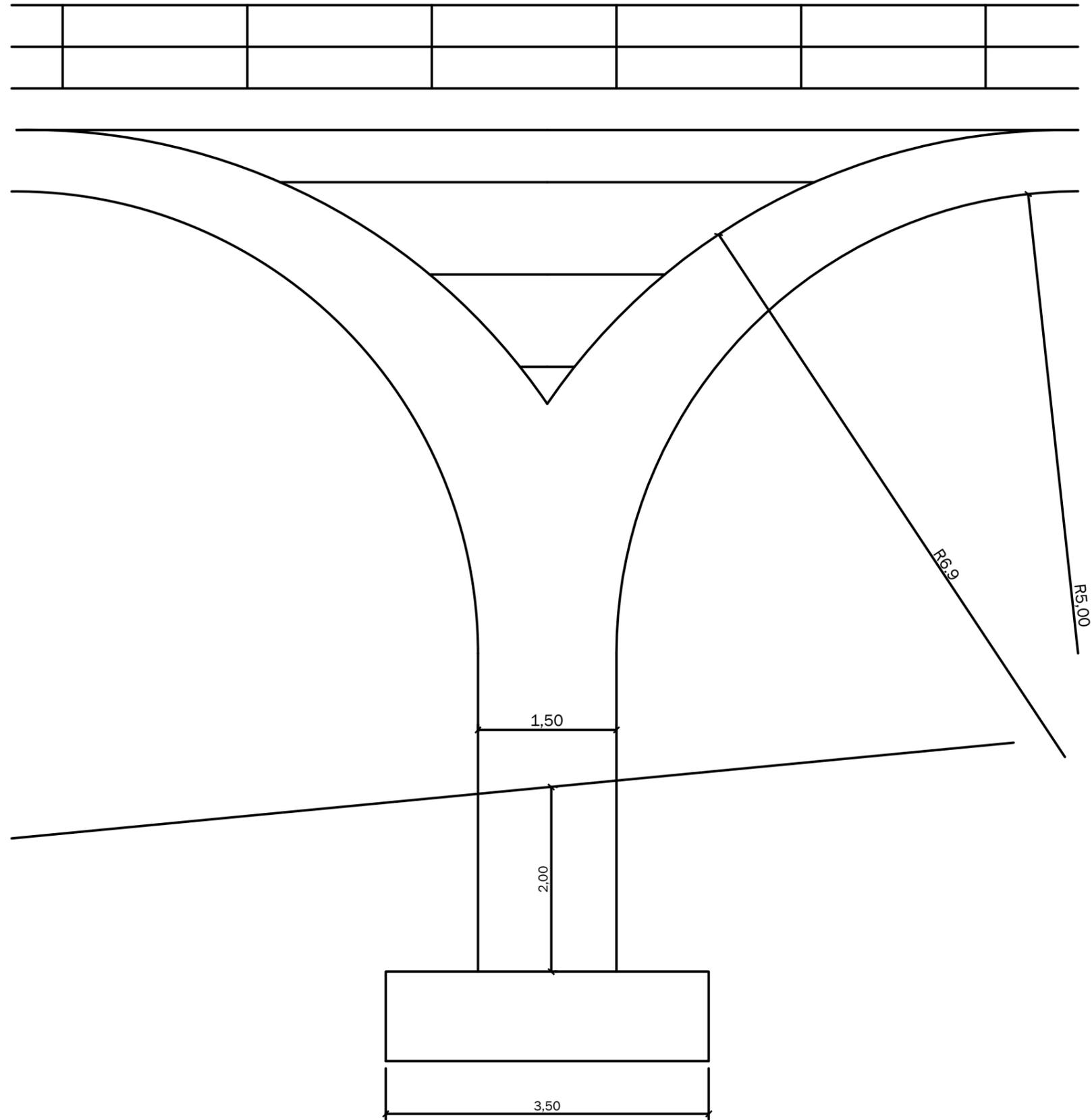
ESTADO ACTUAL

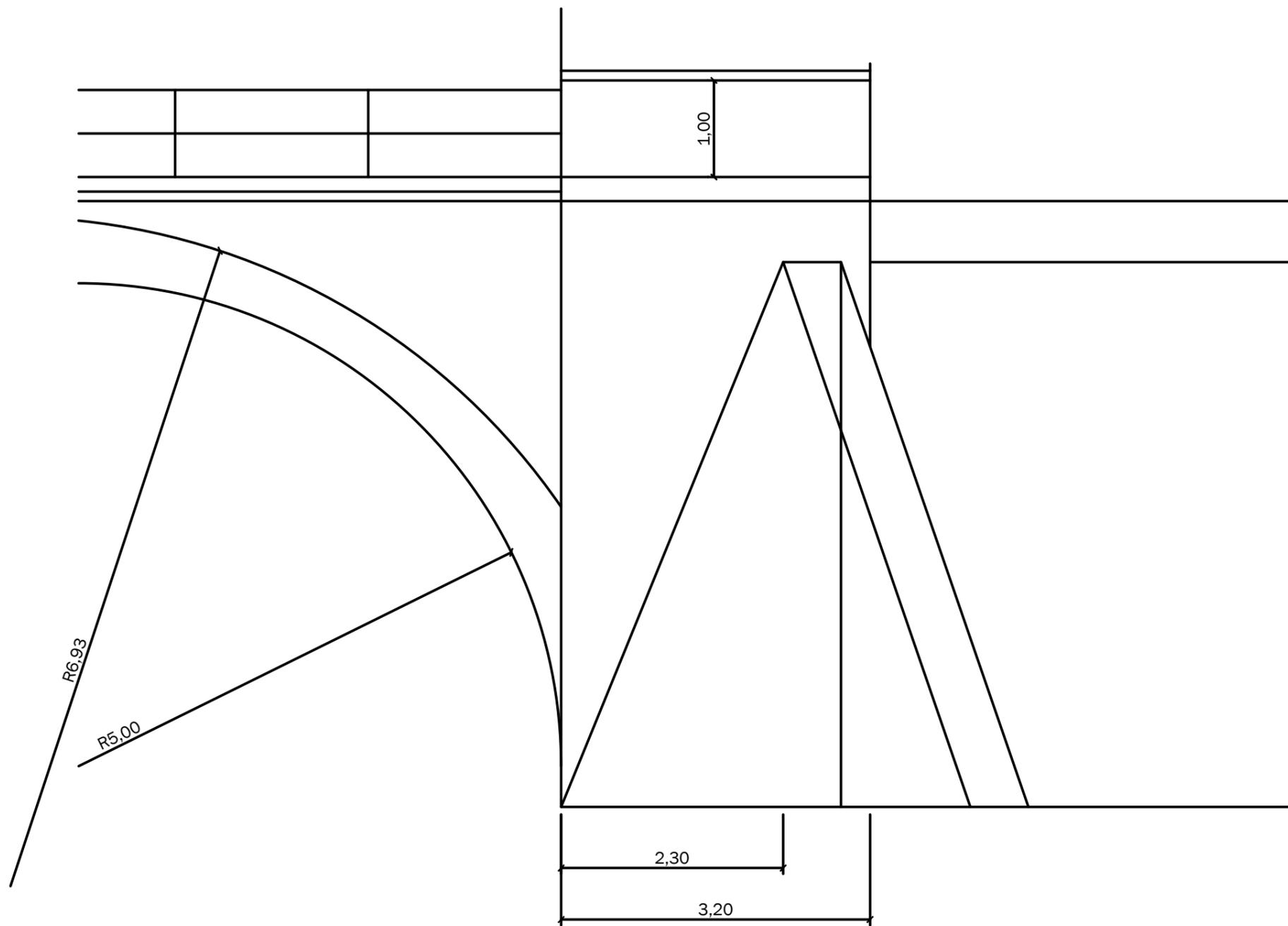


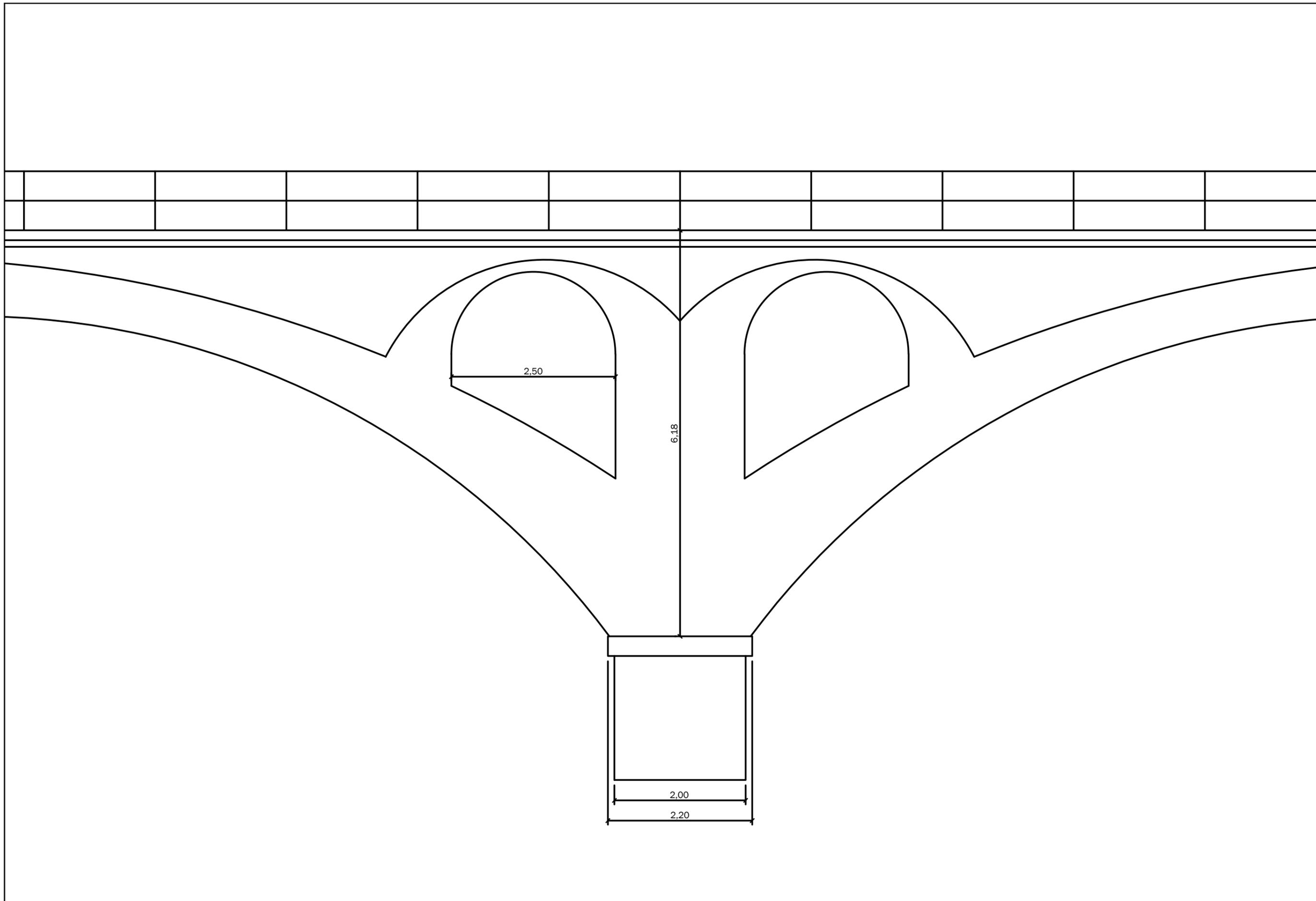


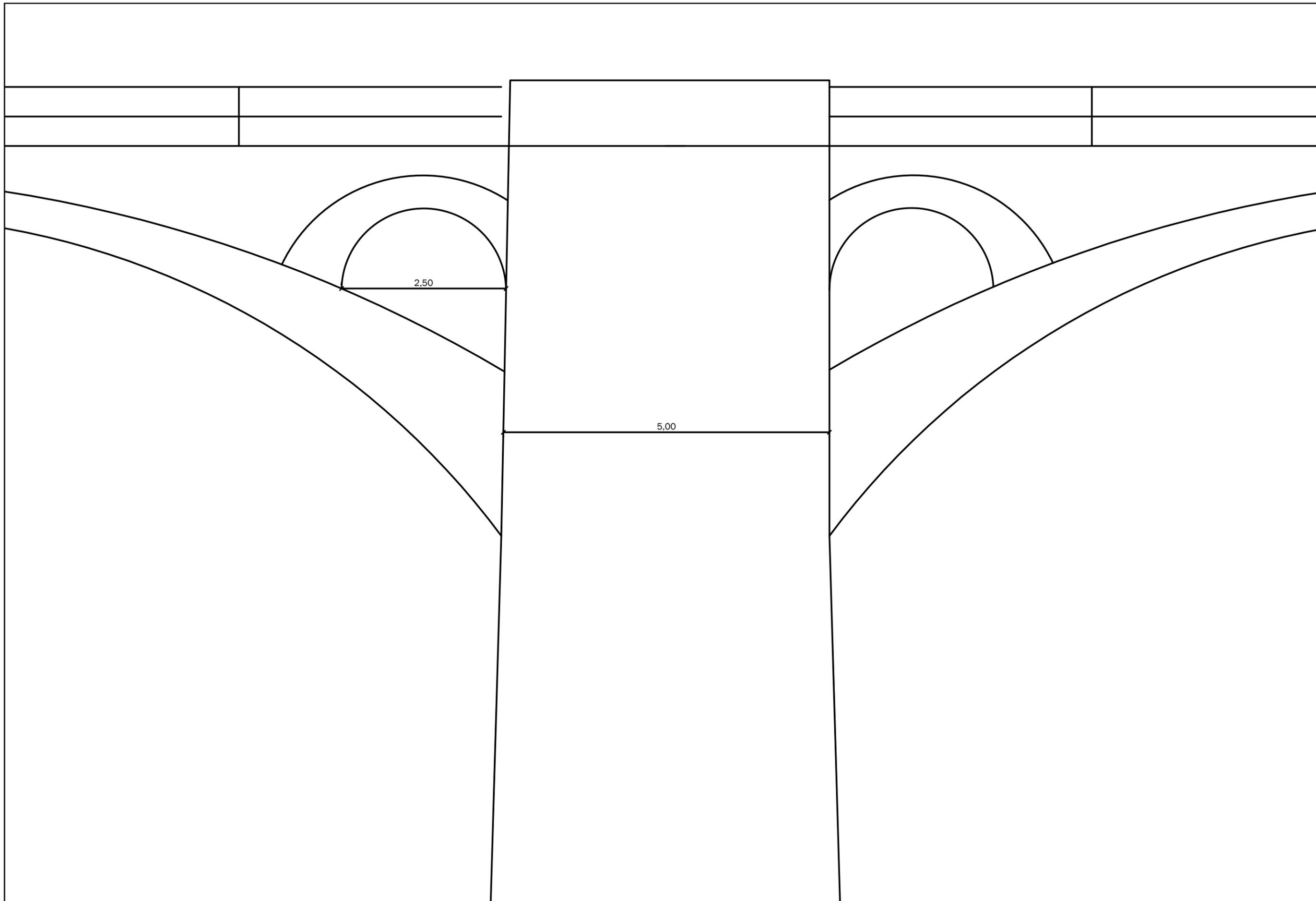


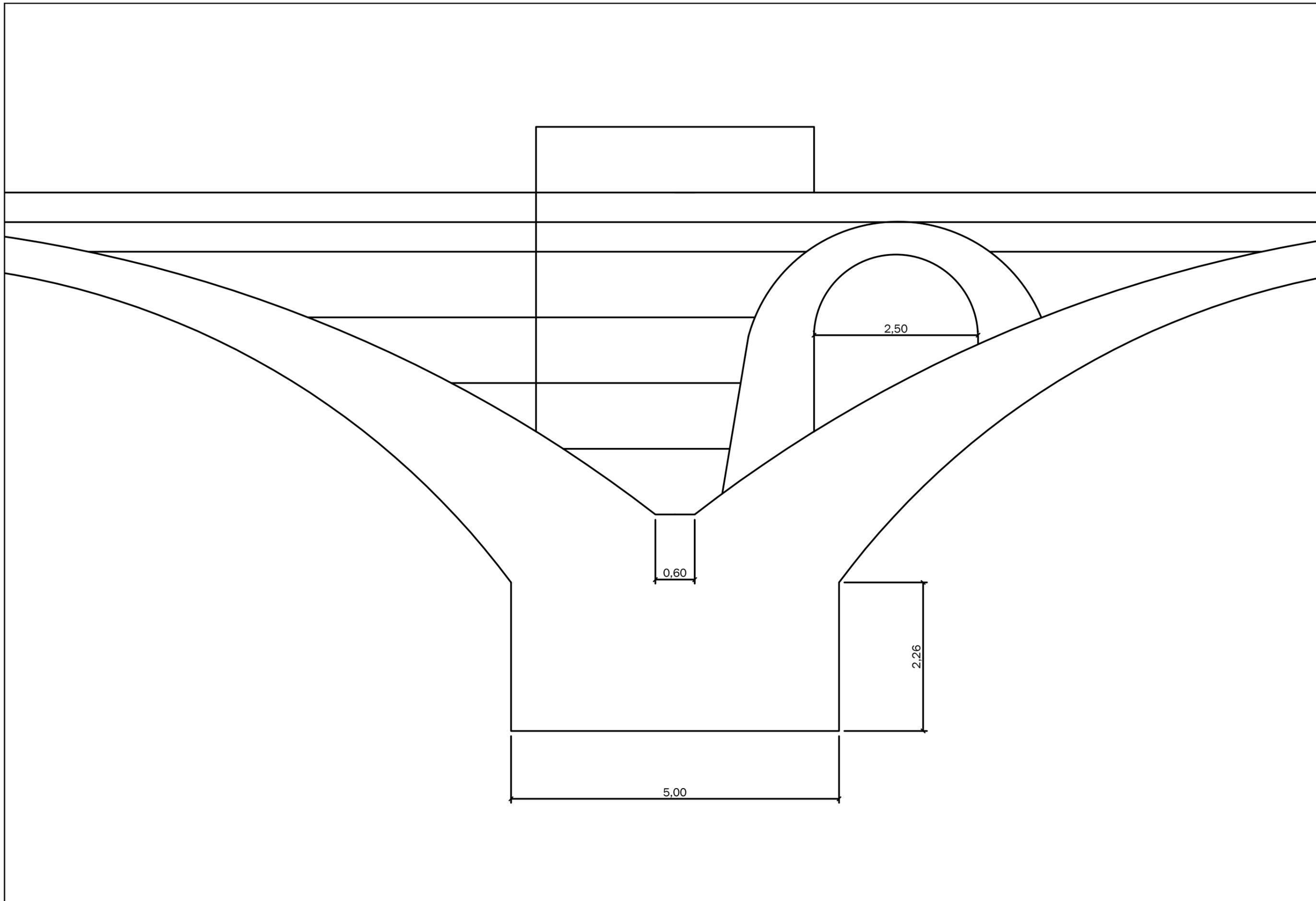


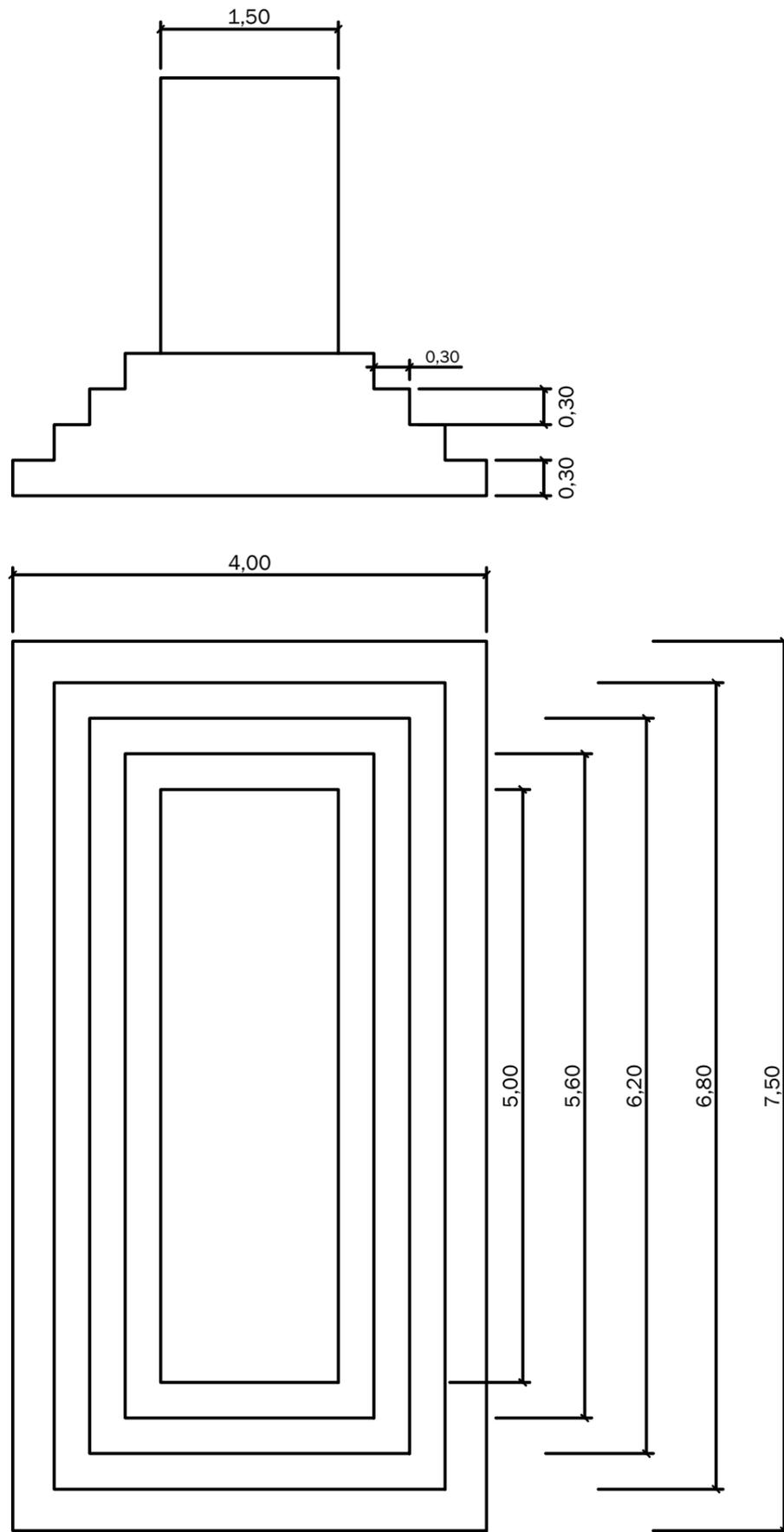


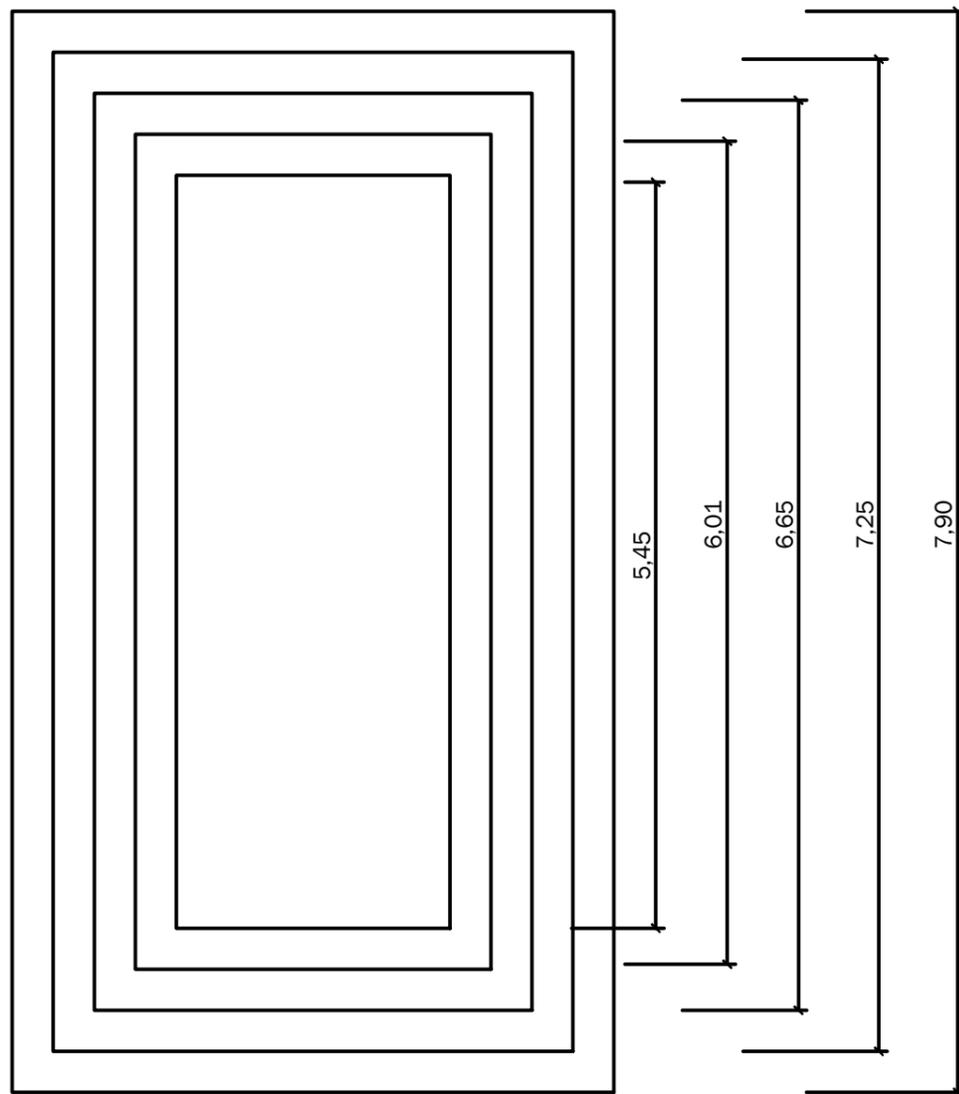
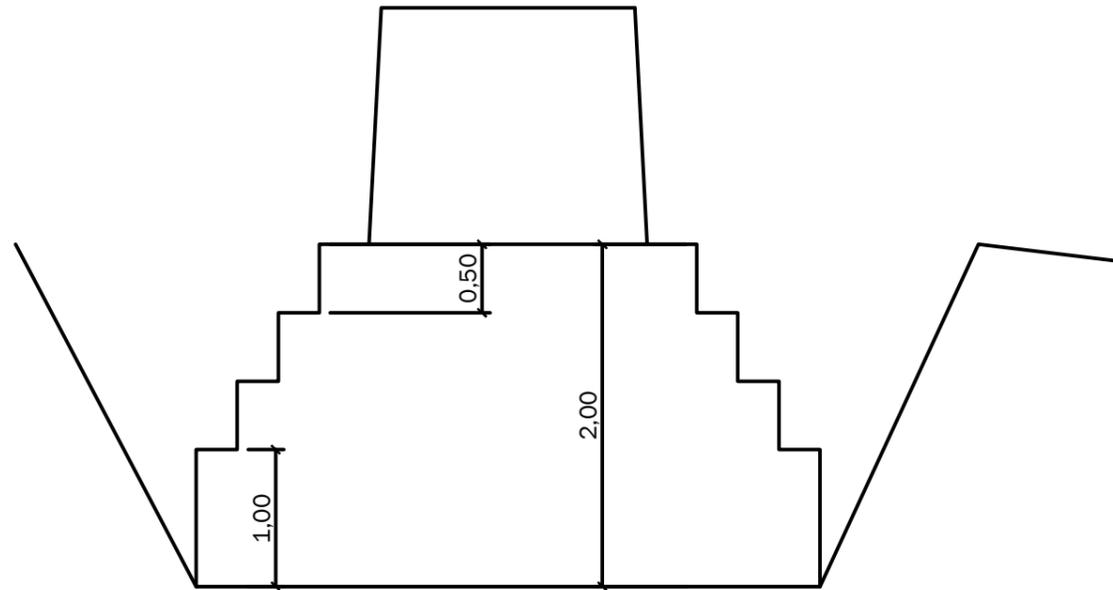


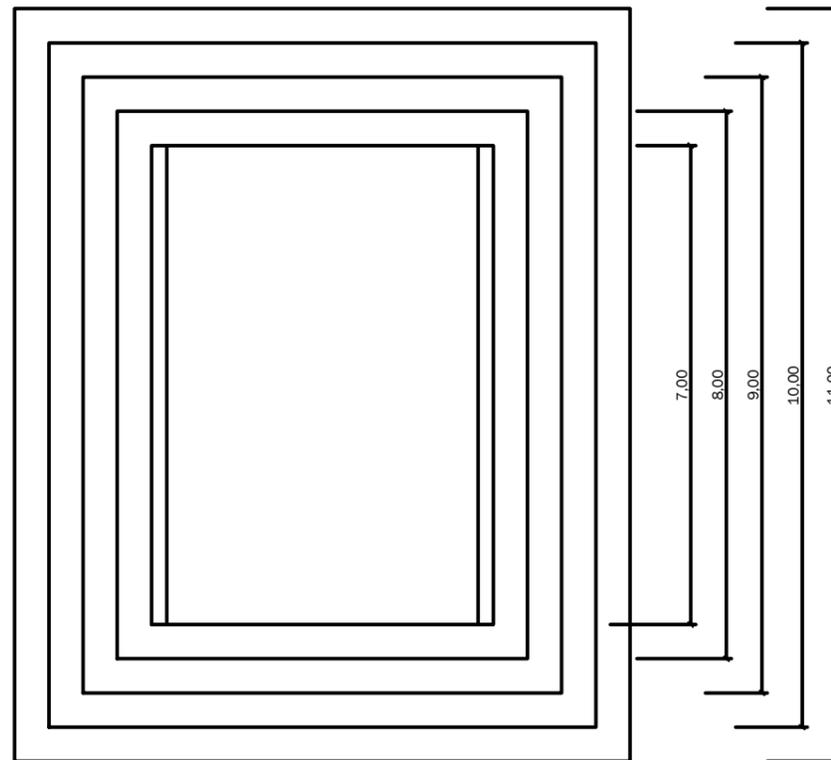
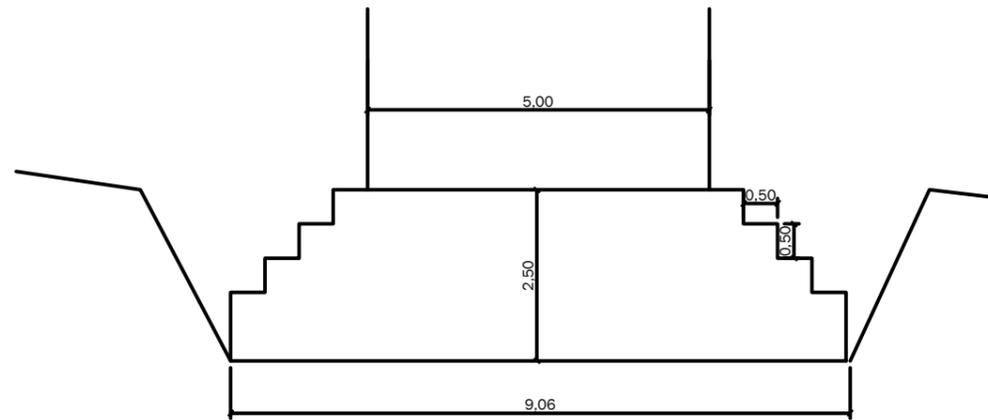


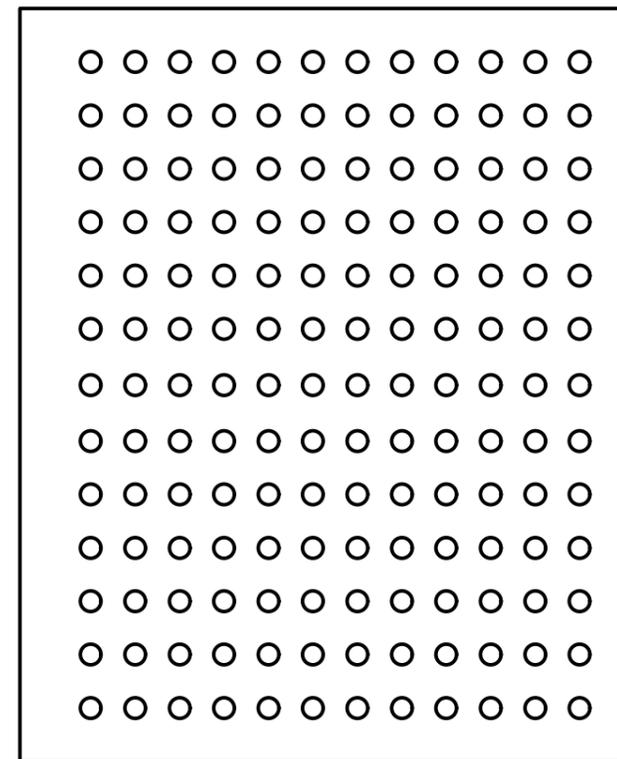
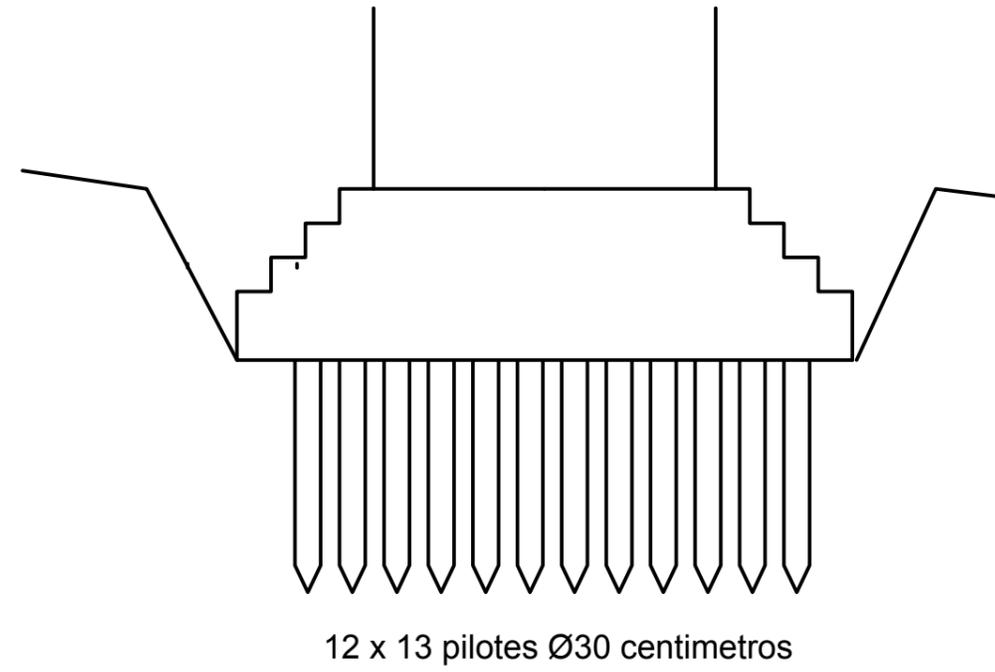
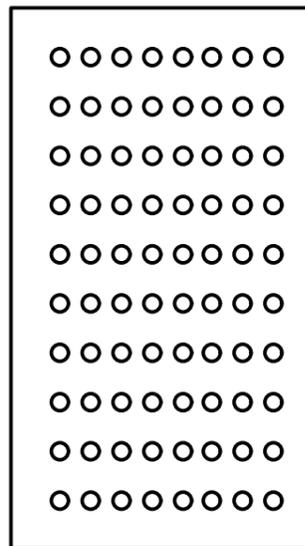
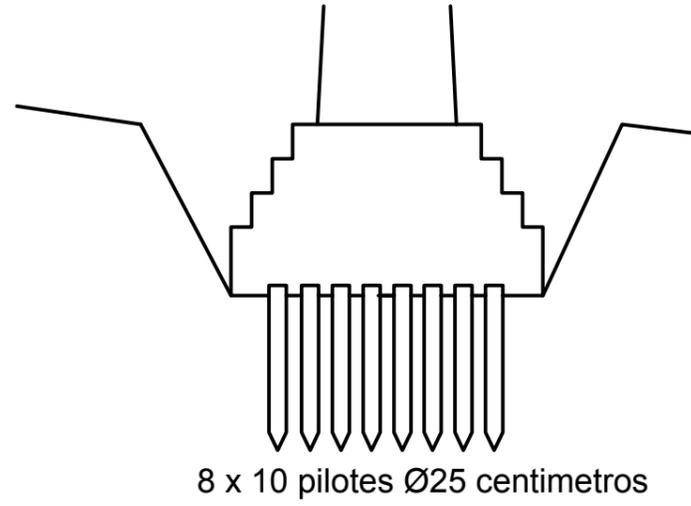












3. ESTUDIO DE LA ZONA

3.1. Introducción

El presente apartado tiene por objetivo estudiar las principales características del entorno del proyecto. Dicha zona abarca las Comunidades de Cantabria y Castilla y León, estudiándose la zona relativa al proyecto en general. Esta parte sirve como apoyo para realizar tanto el estudio de alternativas como la parte más ingenieril. La información contenida en este apartado formaría parte de los anejos de un proyecto de ingeniería al uso.

3.2. Factores a estudiar

Los principales factores a estudiar para poder comparar las alternativas son los siguientes:

- Demografía
- Economía
- Trafico
- Infraestructura
- Climatología
- Impacto Ambiental y Espacios Protegidos
- Hidrografía
- Geología y Geotecnia
- Topografía

3.3. Demografía

Para la realización del estudio demográfico se estudiarán los principales focos poblacionales dentro del municipio al que corresponden a ambas orillas del embalse del Ebro diferenciando las divisiones territoriales que forman parte de cada comunidad.

3.3.1. Cantabria

Los principales focos poblacionales, de mayor a menor proximidad al puente Noguero, y formando todos parte de la Comarca de Campoo-Los Valles y del Municipio de Campoo de Yuso son los siguientes:

- La Riva
- La Población
- Lancharés
- La Costana
- Bustamante
- Corconte
- Orzales
- Monegro

- Quintana
- Quitanamanil
- Servillejas
- Villapaderne
- Villasuso

La demografía del municipio obtenida del Catastro de Cantabria se puede observar en la Imagen 3.1.:

| CAMPO DE YUSO | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 | 2018 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Poblacion de Hecho | 524 | 545 | 629 | 474 | 361 | 317 | 293 | 267 | 270 | - |
| Poblacion de Derecho | 2588 | 2586 | 2368 | 1832 | 1247 | 993 | 838 | 759 | 691 | 668 |
| Hogares | 2400 | 2396 | 2315 | 1748 | 1209 | 957 | 813 | 270 | 270 | 270 |

Imagen 3.1. Demografía Campoo de Yuso obtenida del Instituto Cántabro de Estadística (ICANE). FUENTE: Propia

En la Imagen 3.2.se puede observar el cambio poblacional sufrido por La Población, siendo el principal núcleo poblacional Cántabro cercano al Puente Noguero.

| LA POBLACIÓN | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | 2016 | 2018 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Poblacion | 138 | 135 | 133 | 130 | 136 | 142 | 133 | 111 | 116 | 109 |

Imagen 3.2. Demografía de La Población desde el 2000 a 2018. FUENTE: Propia

Se observa una elevada pérdida de población desde el año 1930, con tendencia a seguir bajando en la actualidad. Con una población dispersa repartida en 13 pequeños pueblos de pocos habitantes, siendo la densidad población del municipio de Campoo de Yuso de 7,5 habitantes/km².

La población de la Comarca de Campó tiene 20.500 habitantes, siendo el municipio de Campoo de Yuso el 3.5 % de la población total, la gran mayoría pertenece al principal núcleo Poblacional que es Reinosa, contando en el último censo de 2018 con un total de 9095 habitantes. En la Imagen 3.3. se observa la evolución de la población de Reinosa.

| REINOSA | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 | 2018 |
|--------------------|------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Poblacion de Hecho | 8606 | 8.481 | 9.45 | 10.044 | 10.863 | 13.172 | 12.852 | 10.694 | 10.500 | 9095 |

Imagen 3.3. Demografía de Reinosa desde 1930 hasta 2018. FUENTE: Propia

La densidad poblacional municipio Reinosa 2200 habitantes / km². Reinosa queda a modo de ínsula territorial dentro del municipio de Campoo de En medio con una densidad poblacional conjunta de aproximadamente 50 habitantes / km².

Los municipios cántabros colindantes a Campoo de Yuso son San Miguel de Aguayo, Santidurde de Reinosa, Campoo de En medio y Las Rozas de Valdearrollo con 150, 250, 4000 y 200 habitantes respectivamente en el último censo poblacional.

3.3.2. Castilla y León

Dentro de la comunidad de Castilla y León los municipios que son parte del estudio pertenecen a la provincia de Burgos, concretamente a la comarca de Las Merindades y al municipio de Arija, teniendo un total de 360 núcleos poblacionales. Los principales municipios de mayor a menor distancia al Puente Nogueroles son los siguientes:

- Arija
- San Vicente de Villamezán
- Llano
- Bimon
- Herbosa
- Arnedo
- Villamediana de San Román
- Quintanilla de San Roman
- Cabañas de Virtus

La demografía del municipio de Arija se muestra en la Imagen 3.4. mostrada a continuación.

| ARIJA | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 | 2018 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Poblacion de Hecho | 2187 | 1631 | 1909 | 490 | 310 | 289 | 282 | 218 | 162 | 268 |
| Poblacion de Derecho | 2234 | 1765 | 2010 | 512 | 318 | 300 | 291 | 218 | 162 | 126 |
| Hogares | 446 | 358 | 488 | 147 | 106 | 106 | 101 | 100 | 75 | 75 |

Imagen 3.4. Demografía del municipio de Arija desde 1930 a 2018. FUENTE:Propia

Siendo el Municipio y pueblo de Arija el principal núcleo poblacional Burgalés de los estudiados, que tendría beneficio por la nueva infraestructura, pudiendo llegar incluso a duplicar o triplicar la población en épocas veraniegas debido a la migración de la población hacia zonas más pobladas volviendo esta en épocas estivales o por tener segundas residencias en la zona. La densidad poblacional del municipio es de 18 habitantes / km².

La población de la Comarca de las Merindades es de 22.000 habitantes, siendo la población de Arija el 0.75 % de la Comarca.

Los municipios colindantes a Arija son los municipios Burgaleses de Alfoz de Santa Gadea, Valle de Valdebezana y el municipio Cántabro de Las Rozas de Valdearroyo con poblaciones en el último censo de 100, 480 y 268 respectivamente.

3.3.3. Turismo

En lo que respecta al turismo es referido a la cantidad de personas que visitan el entorno del Embalse del Ebro por motivos puramente vacacionales o turísticos. Según un estudio realizado en 2015 se aproxima que 155.000 personas visitan al año la zona. Esta información queda recogida en la Imagen 3.5. mostrada a continuación.

Tabla 4.1. Estimación aproximada de la superficie, la población habitual, la población estacional y el número de visitantes en las zonas beneficiadas por el Puente

| | Superficie | Población habitual | Población estacional | Visitantes con alojam. (al año) | Visitantes sin alojam. (al año) | Empleo (Afiliados S. Social) |
|--------------|------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Zona 1 | 90 | 282 | 550 | 8.000 | 85.000 | 180 |
| Zona 2 | | 216 | 200 | 1.000 | | |
| Zona 3 | | 184 | 200 | 1.000 | | |
| Zona 4 | 106 | 417 | 2.500 | 15.000 | 40.000 | 140 |
| Zona 5 | 56 | 250 | 1.000 | 3.500 | 30.000 | 30 |
| Zona 6 | 250 | 12.584 | - | - | - | 3.900 |
| TOTAL | 252 | 1.349 | 4.450 | 28.500 | 155.000 | 350 |

Imagen 3.5. Dato referidos al número de visitantes. FUENTE: Los Beneficios económicos que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno

Las zonas que se estudian en la Imagen 3.5. se podrían agrupar en:

- ZONAS 1-3: Norte del Embalse principalmente Cantabria.
- ZONAS 4-5: Sur del Embalse cogiendo principalmente Burgos y parte de Cantabria.
- ZONAS 6: Reinosa como principal foco poblacional.

Teniendo en cuenta que la tendencia actual de crecimiento del turismo es de un 3 % anual (según datos de ocupación turística Cantabria 2019) en el arco de la bahía de Santander. Se podría estimar que la mitad, un 1.5 % al año, crecería el turismo de la zona del Embalse del Ebro convirtiéndose junto con Picos de Europa en una de las paradas obligatorias del turismo de Cantabria, así como de Burgos y Palencia.

$$Visitantes_{2019} = Visitantes_{2015} * (1 + Tasa Incremento)^{años} = 165.000 \text{ visitantes}$$

Como se mencionó anteriormente el embalse del Ebro es uno de los principales complementos del denominado "turismo de montaña" y "turismo rural" más demandado en la zona de estudio.

3.3.4. Herramientas Web

Se utilizará a modo de complemento una nueva herramienta gratuita de Google Earth creada por la NASA 'The Population Estimation'

<https://sedac.ciesin.columbia.edu/mapping/popest/gpw-v4/>

Esta herramienta permite crear una zona poligonal que estima la población de la zona. En el siguiente recorte de la herramienta se muestra con una leyenda de colores sencilla la población de la zona, aumentando la tonalidad a oscuro cuanto mayor es la densidad poblacional. En la Imagen 3.7. se observa como el principal foco poblacional es Reinosa (marcado en color negro) y como la traza aproximada del puente Noguero (en rojo) y la Población y Arijia tienen la misma densidad poblacional (marcados en naranja y azul respectivamente).

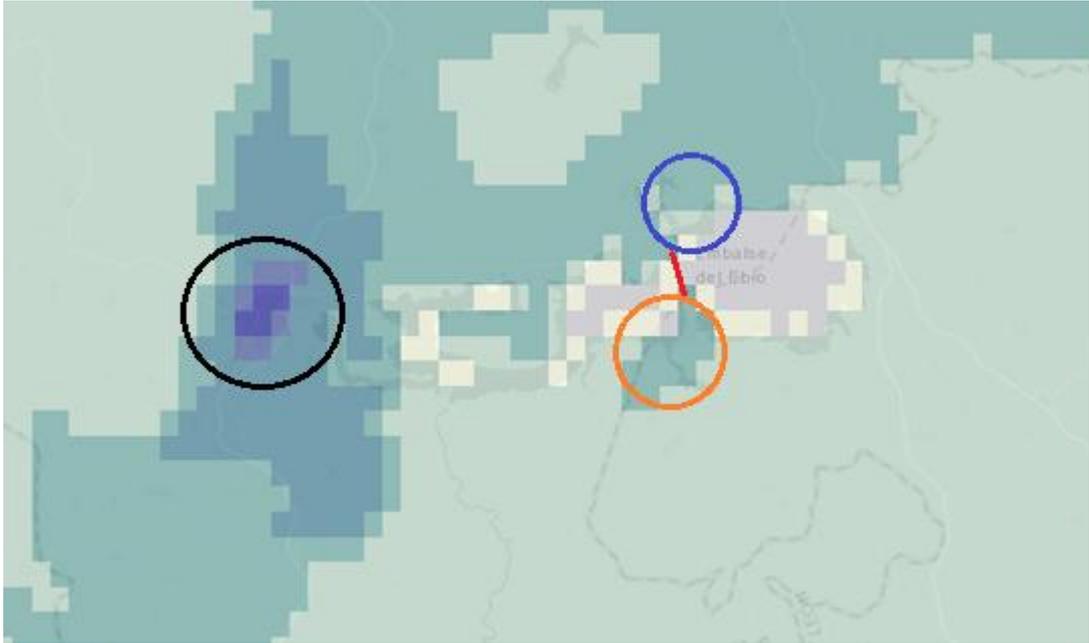


Imagen 3.6. Recorte del área centrado en la zona del Puente Noguero. FUENTE: Google Earth

En la Imagen 3.7. se recoge un recorte de un área mayor de la misma aplicación.

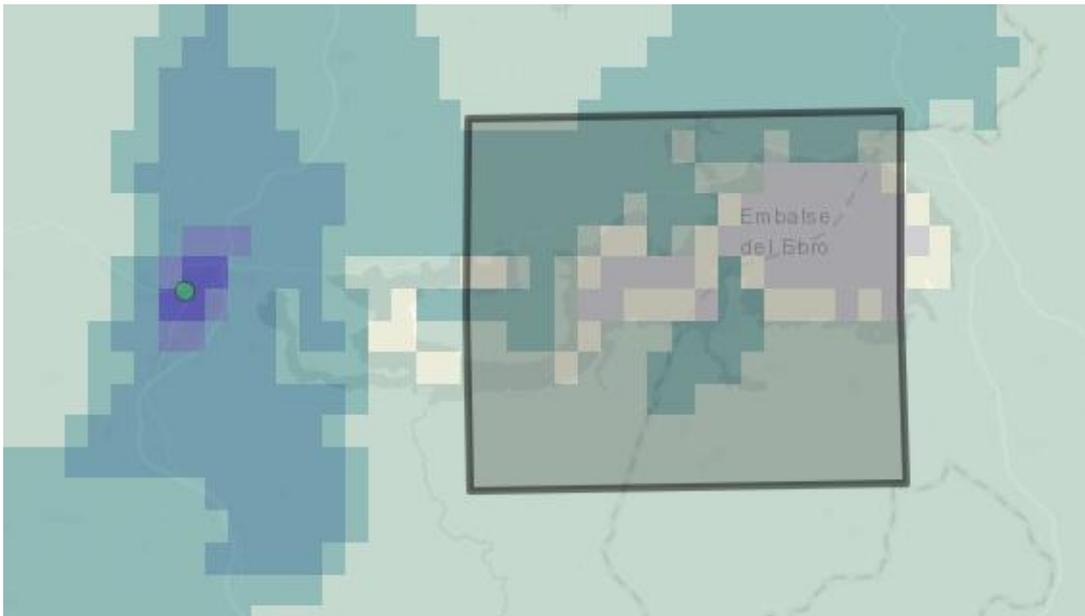


Imagen 3.7. Selección de 100 Km² centrado en el Puente Noguero: 880 habitantes con una densidad poblacional de 8.8 habitantes / Km². FUENTE: Google Earth

3.3.5. Conclusiones

Como conclusión del primer factor a estudiar, como base para el estudio de alternativas se pueden extrapolar las siguientes conclusiones:

- La población de la zona es dispersa, con densidades poblacionales bajas. El principal núcleo poblacional tanto de Cantabria como de Burgos es Reinosa.

- La población de la zona que se beneficiaría principalmente de la nueva infraestructura son 235 personas (Arija y La Población)
- La zona sur del embalse de las Rozas de Valdearroyo hacia el este sería la más beneficiada. Tendría mejoras respecto al tiempo y trazado. Esto supondría una mejora para una población fija de 965 personas.
- La mayoría de la población es mayor de 40 años, la población joven ha tenido que emigrar.
- El turismo en la zona seguirá creciendo siendo este uno de los principales focos de la economía.

3.4. Economía

Para explicar la economía de la zona se vuelve a diferenciar entre Cantabria y Castilla y León, (Burgos). Se ha estudiado cómo se reparte la economía en los diferentes sectores y los principales negocios de la zona, así como las últimas inversiones en infraestructuras en ambas comunidades autónomas.

3.4.1. Cantabria

3.4.1.1 Sectores de trabajo

Se estudiará el Municipio de Campoo de Yuso y el Municipio de las Rozas de Valdearroyo, estando el sustento de la zona basado principalmente en los sectores secundario y terciario, de forma que la población se divide entre el sector servicios y el sector industrial de Reinosa y la zona. En la Imagen 3.8. queda recogida la información de los sectores de trabajo del municipio de Campoo de Yuso.

| CAMPO DE YUSO | Municipio | Cantabria |
|-------------------|-----------|-----------|
| Sector Primario | 34.0 | 6.0 |
| Construcción | 11.7 | 13.5 |
| Industria | 14.5 | 18.9 |
| Setor Terciario | 39.7 | 61.6 |
| Tasa de Actividad | 47.8 | 52.5 |
| Tasa de Paro | 14.7 | 14.2 |

Imagen 3.8. Sectores del Trabajo en el Municipio de Campo de Yuso

FUENTE :<http://www.cantabria102municipios.com/>

3.4.1.2 Inversión en Infraestructura

Para saber cuál es la inversión se deben buscar el Boletín Oficial de Cantabria (BOC). Las últimas inversiones datan del año 2018 y 2019 y son las siguientes.

- Rectificación de curvas y mejora de puentes en varios tramos de la N-621 Tramo del Desfiladero de la Hermida con un coste de 7.1 millones de €.

- Autovía A-67 Cantabria-meseta. Ramal de continuidad Sierrapando-Barreda y mejora de los enlaces de Sierrapando, Barreda y Torrelavega. Provincia de Cantabria. Con un coste de 109.000.000 € y un plazo de 40 meses. Que ha sufrido problemas en la ejecución en este año 2019.

En los presupuestos finales de Cantabria aprobados durante este año con motivo de las elecciones no se contempla ningún tipo de inversión en nuevas infraestructuras en las inmediaciones del embalse.

3.4.1.3. Infraestructura nueva

En los últimos años se han realizado tres inversiones importantes en la zona y todas promovidas por la Comunidad de Cantabria, estas se pueden ver en el apartado correspondiente del estudio del Puente Noguerol que son:

- Puente entre la Población y la Riva de Arenas y Asociados.
- Puente a la Península de la Lastra o puente de Orzales fue promovido por la CHE.
- Ampliación en tablero del Puente entre Llano y Renedo.

3.4.2. Castilla y León

3.4.2.1. Sectores del Trabajo

Dentro de la Comunidad autónoma de Castilla y León el estudio es en la Provincia de Burgos, más concretamente de la Comarca de las Merindades, siendo Arija un Municipio de esta Comarca como se mencionó anteriormente.

Se ha obtenido la información de otra fuente diferente a los apartados anteriores al tratarse de otra Comunidad Autónoma. (<https://www.cceiburgos.es/sites/default/files/ficheros-publicados/oportunidades-negocio-merindades.pdf>) En la Imagen 3.9. se muestra información los sectores de trabajo del municipio de Arija.

| Economía Burgos ARIJA | Municipio | Comarca |
|--------------------------|-----------|---------|
| Sector Primario | | 16.1 |
| Construcción | | 20.61 |
| Industria | | 17.91 |
| Setor Terciario | | 45.39 |
| Tasa de Actividad | | 64 |
| Tasa de Paro | | 7.59 |

Imagen 3.9. Sectores del Trabajo en el Municipio de Arija: FUENTE: Propia

3.4.2.2. Inversión en Infraestructura

La inversión en infraestructura por parte de Castilla y León (Burgos) en la zona de estudio es escasa, presentando todos los tramos de carretera un peor estado que las carreteras cántabras. Este hecho se puede apreciar al circular por el tramo sur del embalse dirección N-623 (Carretera del Escudo) hacia Reinosa, así como en los mantenimientos de los diferentes puentes Burgaleses de indemnización que presentan un mantenimiento escaso. Este hecho es de especial importancia en la explotación de los puentes tanto carreteros como ferroviarios.

No obstante, durante el año 2018 se aprobó en los presupuestos una inversión de 100 millones de euros para el mantenimiento de carreteras en la comunidad de Castilla y León.

3.4.3. Conclusiones

Como conclusiones del siguiente apartado se pueden obtener:

- La inversión en infraestructura en la zona ha sido promovida principalmente por la comunidad autónoma de Cantabria, con actuaciones de importante peso monetario respecto a la población.
- La nueva infraestructura debe de mejorar la economía de la zona potenciando los sectores del trabajo arriba expuestos.
- Las infraestructuras de la zona siguen siendo las realizadas durante las obras de indemnización, realizando mejoras en los estándares de seguridad y circulación, así como de adecuación para ciclistas y peatones.

3.5. Tráfico

3.5.1. Mapas del Trafico de España de la DGT

En el presente apartado se muestran los datos de tráfico de la zona de estudio para realizar un estudio del tráfico del que dispondría la posible infraestructura de transporte proyectada.

El Proyecto del Puente Nogueroles une las poblaciones de Arija (Burgos) con La Población y la Riva (Cantabria). Las carreteras generales que llegan a ambos pueblos son las contenidas en la Imagen 3.10.

Estas carreteras son:

- BU-642 (Provincia de Burgos)
- N-623 (Provincia de Burgos)
- CL-630 (Provincia de Burgos)
- CA-171 (Provincia de Cantabria)

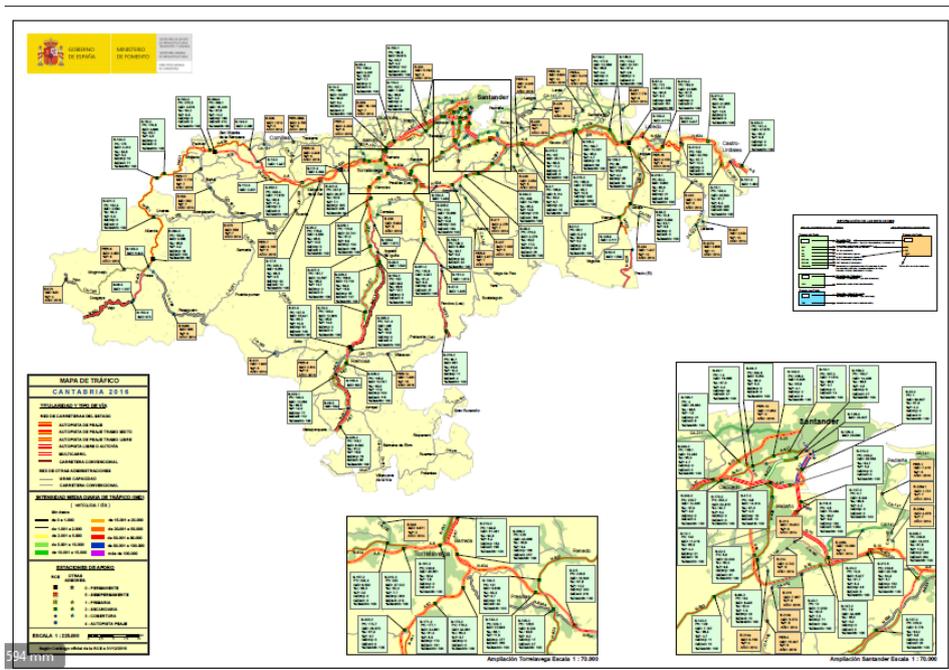


Imagen 3.12. Mapa del tráfico Comunidad de Cantabria. FUENTE: Mapas de Trafico 2016 Ministerio de Fomento

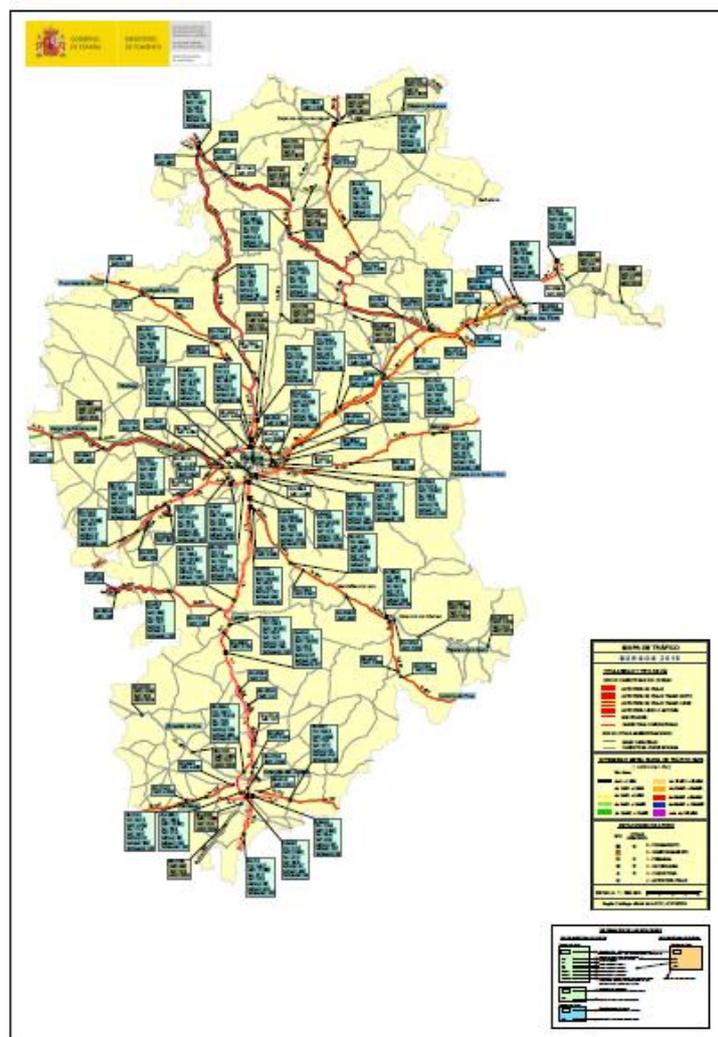


Imagen 3.13. Mapa del tráfico provincia de Burgos. FUENTE: Mapas de Trafico 2016 Ministerio de Fomento

Para entender el cambio del tráfico en la zona por la nueva infraestructura habría que dividir el área en tres ejes principales, seleccionando de estos tres ejes los datos más cercanos posibles

- Eje 1: Corredor Este-Oeste por el Norte del Embalse con dirección Reinosa.
- Eje 2: Corredor Norte-Sur al este del Embalse (Carretera N-623) carretera del escudo.
- Eje 3: Corredor Este-Oeste al Sur del Embalse con dirección Reinosa.

En la Imagen 3.14 se muestra tabla resumen en la que se pueden consultar los datos obtenidos según eje y hoja de la Comunidad Autónoma / Provincia.

| EJE | HOJA | Carreteras | IMD | %P |
|-----|-----------|------------|------|------|
| 2 | Burgos | N-623 | 1657 | 14.6 |
| 2 | | BU-25-3 | 1723 | |
| 3 | | BU-105-3 | 682 | - |
| 2 | Cantabria | N-623 | 891 | 13.2 |
| 1 | | CA-171 | 1300 | 15 |

Imagen 3.14. Datos obtenidos de los Mapas del Trafico de España. FUENTE: Propia

Estos son los datos que se han podido obtener de los mapas anteriores, ya que se trata de carreteras generales hacia Arijá y La Población en la que no se dispone de estaciones de conteo de vehículos. También se han tenido en cuenta los datos de las poblaciones expuestos anteriormente.

Mediante una hipótesis simplista se puede afirmar que, al realizarse una mejora del trazado, al añadir una nueva carretera que una las mencionadas poblaciones, se estima que una parte del tráfico se desviase por esta nueva infraestructura, para más adelante volver a incorporarse a la N-623 que va hacia el Norte de Burgos y enlaza la parte sur de Cantabria o se dirigiera hacia Reinosa. Se estima este desplazamiento realizado generalmente por la población al menos una vez por semana al año más los desplazamientos por motivos laborales

La IMD esperada en la infraestructura podrá ser un 25 % del total:

$$IMD = 0.25 * 3230 \text{ (IMD TOTAL)} = 810 \text{ vehículos con un } 11.5 \%P = 93 \text{ vehículos pesados}$$

Que corresponde a una categoría de tráfico pesado T32 (99-50 IMD_{vp}).

3.5.2. Beneficios Económicos

Se parte de la base del estudio de Marcos Fernández Profesor de Economía Aplicada de La Universidad de Cantabria con título “Los Beneficios que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno”

Este estudio tiene en cuenta el Puente Nogueroles como una deuda a la zona debido a las indemnizaciones de la construcción del Embalse del Ebro. Siguiendo el siguiente orden para realizar el análisis del beneficio generado.

1. Se selecciona el área que se vería beneficiado de la nueva infraestructura y se exponen una serie de características del área

2. Se toman una serie de puntos de referencia dentro del área en cuestión, para poder calcular las distancias entre ellos antes y después de la nueva infraestructura. Estimando el ahorro de tiempo y de distancia para los distintos trayectos.
3. Se traduce el ahorro a unidades monetarias, estimándose su repercusión.

En las imágenes 3.15 y 3.16 se muestran de manera gráfica y en una tabla esta información.

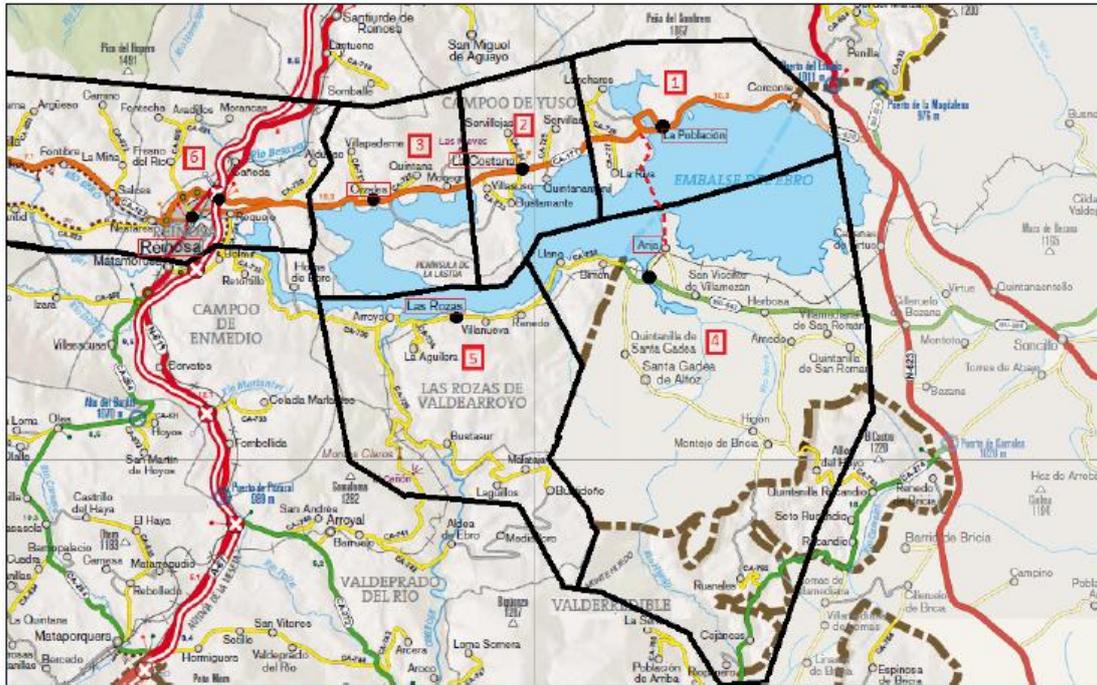


Imagen 3.15. Principal área beneficiada por el Puente en la comarca, divide en zona. FUENTE: Los Beneficios que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno

| | Superficie | Población habitual | Población estacional | Visitantes con alojam. (al año) | Visitantes sin alojam. (al año) | Empleo (Afiliados S. Social) |
|--------------|------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Zona 1 | 90 | 282 | 550 | 8.000 | 85.000 | 180 |
| Zona 2 | | 216 | 200 | 1.000 | | |
| Zona 3 | | 184 | 200 | 1.000 | | |
| Zona 4 | 106 | 417 | 2.500 | 15.000 | 40.000 | 140 |
| Zona 5 | 56 | 250 | 1.000 | 3.500 | 30.000 | 30 |
| Zona 6 | 250 | 12.584 | - | - | - | 3.900 |
| TOTAL | 252 | 1.349 | 4.450 | 28.500 | 155.000 | 350 |

Imagen 3.16. Estimación de superficie (Km2) población habitual población estacional y el número de visitantes de la zona. FUENTE: Los Beneficios que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno

Los datos anteriores muestran las zonas y la tabla principal resumen de dichas zonas. Después de realizar los diferentes trayectos, compárales y transformarlos a beneficios económicos se obtienen los siguientes beneficios:

- Ahorro de tiempo de viaje.
- Reducción de costes de operación y mantenimiento en vehículos.
- Disminución de accidentes de tráfico.
- Reducción de contaminación, ruido y emisiones

Con estos beneficios monetarios aplicados a los diferentes trayectos y estimando el número de usuarios en cada trayecto se obtienen el beneficio global de la nueva infraestructura.

No se dispone de los datos exactos del tráfico (Ver apartado anterior) pero realiza un cálculo aproximativo apoyándose en datos obtenidos de los Ayuntamientos de Campoo de Yuso y Arija, además de los supuestos conservativos establecidos:

- Población en zonas 1 a 5 una media del 5 % se traslada a la orilla opuesta los días laborables por trabajo u otros motivos obligados
- Población en zonas 1 a 5 se traslada a la orilla opuesta 8 veces al año por motivos de ocio o similares
- Población de Arija un 30 % se traslada a Reinosa los días laborables por trabajo u otros motivos obligados
- Población de Arija un 30 % se traslada a Reinosa 1 vez por semana para realizar compras.
- Población de Arija una media del 10 % se traslada a localidades comunicadas a través de la autovía A-67 los días laborales por trabajo.
- Población de Arija se traslada a localidades comunicadas a través de la autovía A-67 1 vez al mes por ocio.
- Población de Arija se traslada a Reinosa 1 vez al mes por ocio.

3.5.3. Datos Tráfico Estudio Económico

Apoyándose en los datos del estudio se calcula la IMD del Puente Noguero y su % de vehículos pesados esperado. Las agrupaciones realizadas se exponen en el apartado demográfico del presente estudio y en la imagen 3.17. Correspondiendo a:

- Zonas 1-3 Norte del Embalse.
- Zonas 4-5 Sur del Embalse

| | Nº Conductores | Motocicl. | Turismos | Furgonetas | Camiones | % Veh. Pesados | TOTAL |
|-----------|----------------|-----------|----------|------------|----------|----------------|-------|
| Zonas 1-3 | 408 | 60 | 402 | 93 | 90 | 28.4 | 645 |
| Zonas 4-5 | 408 | 95 | 484 | 98 | 67 | 22.2 | 744 |
| | | | | | | | 1389 |

Imagen 3.17. Información sobre el tráfico en las diferentes zonas. FUENTE Propia

Aplicando los viajes supuestos anteriores, en los que la nueva infraestructura es una mejora en el trazado se calcula la IMD (Intensidad Media Diaria) de la nueva infraestructura para el día pésimo en el que todos los supuestos suceden y para un día laboral cualquiera, con las siguientes proporciones respecto a las zonas. La información está contenida en la tabla de la Imagen 3.18.

| SP1 | SP2 | SP3 | SP4 | SP5 | SP6 | SP7 |
|----------|--------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 5% TOTAL | 2.25 % TOTAL | 30% ZONA 4 | 4.5 % ZONA 4 | 10 % ZONA 4 | 3.3%ZONA 4 | 3.3%ZONA 5 |

Imagen 3.18. Datos de las proporciones del tráfico respecto a las zonas. FUENTE: Propia

Finalmente, bajo los supuestos anteriores se obtiene una IMD e3 355 con un porcentaje de pesados del 24 % quedando en la misma categoría de tráfico pesado, T32 (99-50 IMDvp)

En la Imagen 3.19 y 3.20 se muestra un resumen de toda la información.

| Nº Conductores | % Veh. Pesados | TOTAL | SP1 | SP2 | SP3 | SP4 | SP5 | SP6 | SP7 | TOTAL |
|----------------|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Zonas 1-3 | 28.4 | 645 | | | | | | | | |
| Zona 4 | 20 | 506 | | | 152 | 23 | 51 | 17 | 9 | 251 |
| Zona 5 | 22 | 286 | | | | | | | | |
| TOTAL | 24 | 1437.0 | 72 | 32 | | | | | | 104 355 |

Imagen 3.19. Tabla resumen de los datos de tráfico obtenidos divididos por zonas. Para el Día PESIMO FUENTE: Propia

| Nº Conductores | % Veh. Pesados | TOTAL | SP1 | SP2 | SP3 | SP4 | SP5 | SP6 | SP7 | TOTAL |
|----------------|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| Zonas 1-3 | 28.4 | 645 | | | | | | | | |
| Zona 4 | 20 | 470 | | | 141 | 21 | 47 | - | - | 209 |
| Zona 5 | 22 | 274 | | | | | | | | |
| TOTAL | 24 | 1389.0 | 69 | - | | | | | | 69 279 |

Imagen 3.20 Tabla resumen de los datos de tráfico obtenidos divididos por zonas. Para el día LABORAL TIPO FUENTE: Propia

3.5.4. Conclusiones

Tras los supuestos realizados en este apartado y apoyándose en el estudio pertinente se puede concluir que:

- La IMD esperada para la nueva infraestructura es para un día pésimo y un día laborable es de 355 y 279 con un 25% de VP.
- El tráfico pasará por el centro del pueblo de Arija teniendo que realizarse algún tipo de actuación complementaria para mejorar la seguridad.
- La IMD calculada es una simple aproximación con los datos obtenidos. Se deberían de colocar estaciones de conteo durante un período de tiempo en torno a un año para realizar un estudio del tráfico preciso. Mediante la realización de Matrices de Origen Destino y software informático.
- Para la población de hecho de la zona la IMD de 280 vehículos diarios es un valor alto pero razonable para la zona en concreto.

3.6. Infraestructura

A continuación, se realiza una enumeración de la infraestructura de la zona, no diferenciándose entre comunidades autónomas a diferencia de los apartados anteriores.

3.6.1. Transporte vial

Las infraestructuras se irán mencionando de mayor a menor importancia, siendo la carretera principal la autovía A-67 con entrada más cercana en Reinosa a 20 Km. Esta autovía es denominada autovía de la Meseta y actualmente presenta muy buenas condiciones de trazado y pavimento en el tramo Santander-Reinosa, estando en el tramo Reinosa-Valladolid el

pavimento superficial más dañado sobretodo en el carril derecho debido al tránsito de vehículos pesados.

A continuación, se irán enumerando las Carreteras Autonómicas que enlazan la nueva infraestructura.

Perimétricas al embalse

- BU-642 (Provincia de Burgos).
- BU-574 (Provincia de Burgos).
- N-623 ((Provincia de Burgos).
- CL-630 (Provincia de Burgos).
- CA-171 (Provincia de Cantabria).
- CA-730 (Provincia de Cantabria).
- CA-735(Provincia de Cantabria).
- BU-V-6424(Provincia de Cantabria).

Estas carreteras presentan un peor trazado y una peor calidad superficial, además el tráfico de vehículos pesados hace que la circulación por la carretera sea más pesada, lenta y con un riesgo de accidentes mayor.

Autonómicas principales

- N-611 (Provincia de Cantabria): antigua carretera de paso Reinosa-Santander antes de acabarse la autovía A-67. Tiene tramos muy deficientes en trazado como el de las Hoces, además del inconveniente del tráfico pesado. Posee un IMD grande siendo la subida de la antigua Castilla la Vieja con Provincia en Santander.
- CA. 171(Provincia de Cantabria): principal carretera que discurre por el norte del Embalse del Ebro **(EJE 1)**.
- N-623 (Provincia de Cantabria): principal carretera autonómica que une Cantabria con Burgos **(EJE2)**.
- CA-730 y BU-642 (Provincias de Cantabria y Burgos respectivamente): principales carreteras que discurren por el sur del Embalse **(EJE 3)**.

3.6.2. Tráfico ferroviario

EL proyecto se encuentra enclavado en el comienzo de la meseta, siendo el paso hacia la costa una orografía complicada y presentando la red ferroviaria unas condiciones en planta y perfil muy ajustadas, que hacen que esta sea una zona de difícil paso.

No obstante, la zona presenta una importante red ferroviaria que une las principales ciudades costeras, Santander y Bilbao. Además, sirve de conexión del norte con la meseta teniendo conexión casi directa con uno de los principales puntos ferroviario del Norte de España, Venta de Baños.

Además, dentro de las obras de indemnización del embalse del Ebro, como puede verse en el estudio del Antiguo Puente Nogueroles, se proyectaron las variantes del ferrocarril que son:

- Variante de la Robla (color rojo).
- Variante a Reinosa a las Rozas no se llegó a ejecutar.

En la Imagen 3.21 se muestra un mapa con las principales redes ferroviarias y su conexión con el norte. En la imagen 3.22 se muestra la conexión con la meseta y Venta de Baños



Imagen 3.21. Recorte de la red ferroviaria de la zona FUENTE :geotren.es



Imagen 3.22. Recorte de la red ferroviaria de la zona FUENTE:geotren.es

3.6.3 Transporte aéreo

Las distancias a los aeropuertos más cercanos son las siguientes:

- Santander 80 Km
- Bilbao 135 Km
- Burgos 100 Km

3.6.4 Caminos rurales

Existen gran cantidad de sendas y caminos rurales tanto en Cantabria como en Burgos, esto es debido al vasto paisaje de estas Comunidades que en los últimos años está cogiendo fuerza en el llamado turismo rural. Actualmente este turismo es uno de los principales focos de la economía de la zona, tanto por los servicios (hoteles, hostales, albergues) como por las empresas.

Existen actualmente gran cantidad de páginas de internet como pueden ser:

<https://es.wikiloc.com/rutas/senderismo/espana/cantabria>

https://www.minube.com/rincon/ruta-camino-natural-del-ebro-gr_99-en-reinosa-a172981

Además de las propias de los ayuntamientos además de hoteles, casas rurales, albergues etc. Un ejemplo es la página web de la Comarca de las Merindades: <https://www.lasmerindades.com> que tiene un Visor Web estilo Google Maps (GIS) donde aparecen las diferentes rutas que se pueden realizar.

O la del Ayuntamiento de Arija: <http://www.arija.es/rutas>

A modo de ejemplo para mostrar la información que se puede encontrar en las citadas páginas web, en la Imagen 3.23 se expone uno de los mapas de la zona con los caminos y los enclaves a visitar.



Imagen 3.23. Mapa general caminos y lugar de interés SUR DE CANTABRIA . FUENTE : <http://surdecantabria.es/mapa-general/>

3.6.5. Conclusiones

De la infraestructura actual de la zona expuesta anteriormente se puede concluir que:

- Denota una fuerte actitud hacia el turismo rural. Siendo las sendas rurales uno de los grandes aportes para conocer el entorno del Embalse del Ebro.
- La infraestructura actual de la zona es la realizada durante las obras de indemnización.

3.7. Impacto ambiental y espacios protegidos

A continuación, se trata el posible impacto ambiental de la obra en el medio, no el impacto ambiental que supuso la construcción del Embalse del Ebro y el anegado del valle.

Actualmente el embalse del Ebro es una zona de biodiversidad tanto vegetal como animal, ya que, al tratarse de un embalse grande en superficie, pero somero, siendo la profundidad máxima de la traza del puente 20 metros, hace que la luz pueda filtrar hasta el interior formando algas, y con estas la oxigenación del agua. De modo que es un embalse rico tanto en flora como en fauna. Además, al tratarse de una gran masa de agua, algunas aves migratorias hacen del embalse del Ebro su zona de migración y anidado.

Cabe mencionar que en el proyecto original del Embalse se quiso volver a la naturalidad siendo el 90 % del embalse la llanura de inundación del río Virga. Esto se explica con los grandes deshielos de Picos de Europa que formaban un lago semi-permante en las crecidas del río a causa del deshielo pudiendo quedar seco en años secos y en estiaje.

Luego estos factores hacen que el embalse del Ebro quede dentro de la zona de protección NATURA 2000. Esta red está formada actualmente en España por 1467 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) incluidos en las listas de LIC aprobadas por la comisión europea y por 644 Zonas de Especial Protección para las Aves(ZEPA). Siendo actualmente la zona del embalse del Ebro una zona ZEPA perteneciente a cada comunidad.

- Cantabria Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza de Cantabria
- Decreto 57/2015, de 10 de septiembre, por el que se declaran las zonas especiales de conservación y las zonas de especial protección para las aves, y se regula la planificación básica de gestión y conservación de la Red Natura 2000 en la Comunidad de Castilla y León

En las imágenes 3.24 y 3.25 se puede ver las zonas ZEPA en las dos comunidades dentro de la zona de estudio.

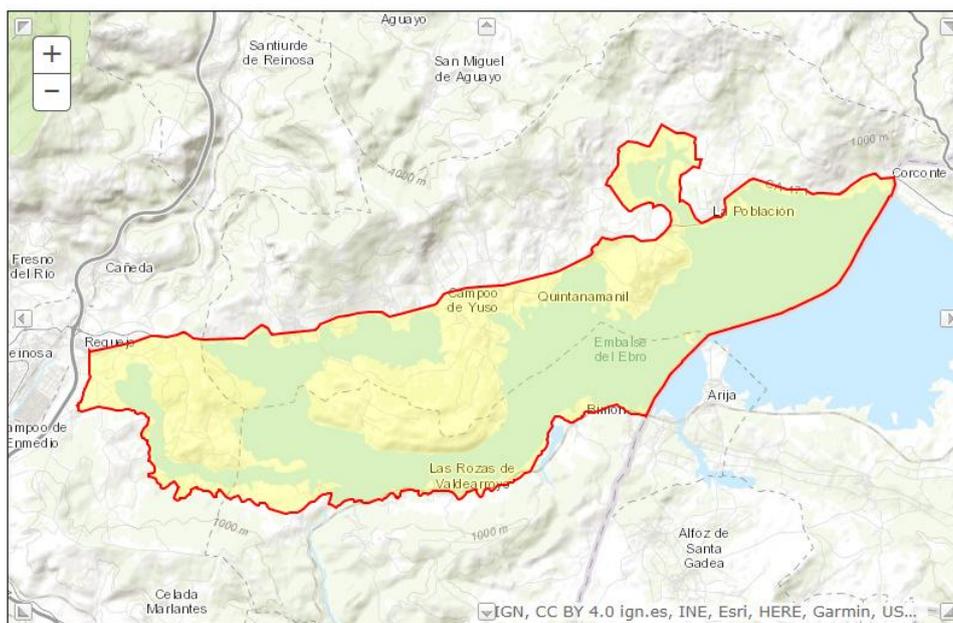


Imagen 3.24. RED NATURA 2000 Zona ZEPA (Protección de Aves) en Cantabria : FUENTE: RED Natura 2000 ZEPA Embalse del Ebro

SITE DISPLAY

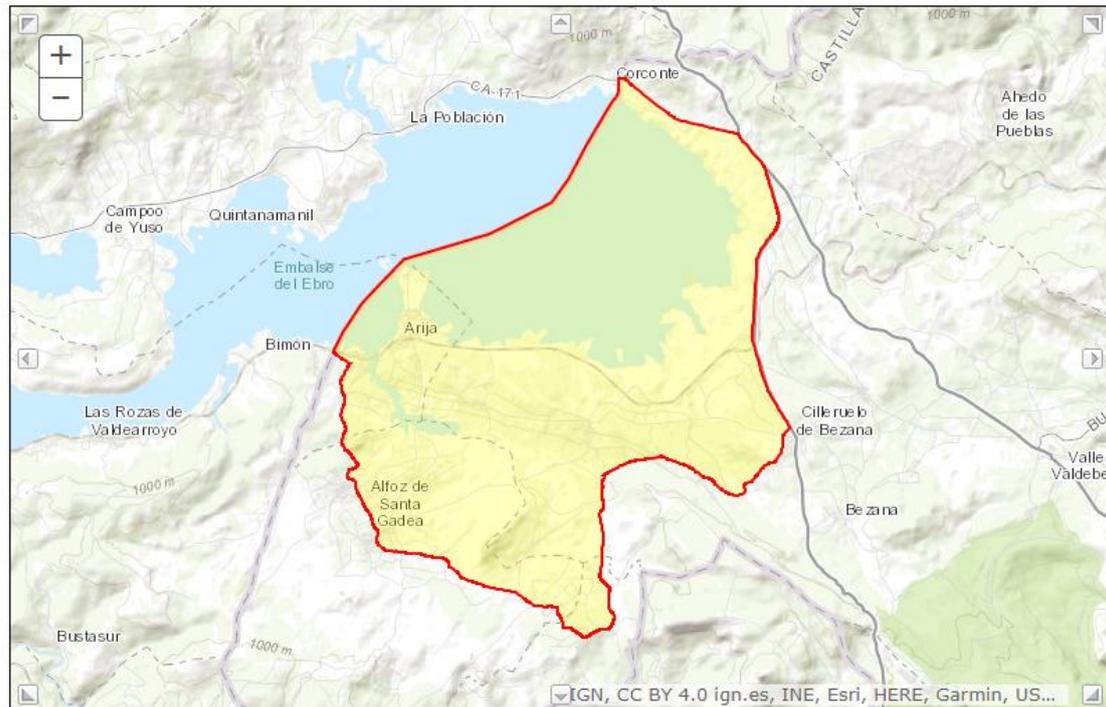


Imagen 3.25. RED NATURA 2000 Zona ZEPA (Protección de Aves) en Burgos: FUENTE: RED Natura 2000 ZEPA Embalse del Ebro

Toda la información de la red natura que engloba su localización, especies protegidas, geología etc. se puede consultar en:

- Cantabria: <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000252>
- Burgos: <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000191>

3.7.1. Conclusiones

- Estos factores ambientales afectan mucho a la elección de la alternativa favorable, ya que, tanto el método constructivo como el número de pilas afectarían principalmente al fondo del vaso.
- La nueva infraestructura traería consigo además del tráfico rodado sobre el puente, la contaminación expulsada por los vehículos en una zona de protección ambiental especial,
- La elección de la forma y colores tanto de las pilas como las protecciones individuales de la infraestructura proyectada serían importantes para el impacto visual del entorno para no ser barreras contra las aves.
- La obra tendría que encajar perfectamente en el medio, afectando lo mínimo posible a la fauna y flora en los procesos de construcción y explotación.

3.8. Cultura y lugares de interés

La cultura de la zona está ligada a los caminos rurales que conectan los diferentes puntos de interés, además, se encuentra en una zona de gran cultura bañada el Arte Románico, siendo

Cantabria y Castilla y León dos de las comunidades autónomas con más yacimientos y calzadas de España.

Esta cultura destaca por su arquitectura Románica es Iglesias, Monasterios y Ermitas, con cultura más medieval de sus casonas montañosas, además de una cultura más actual como es el Canal de Castilla. No hay que olvidar la magia de los pueblos de alrededor como puede ser Orbaneja del Castillo situado a 40 Km siendo uno de los pueblos con más turismo rural en los últimos años.

Todo esto unido al Embalse del Ebro, lugar donde se realizan numerosas actividades tanto acuáticas como de ocio.

A continuación, se realiza un listado de los lugares de interés de cada Municipio, así como los lugares más visitados del turismo rural y la distancia a la infraestructura

Campoo de Yuso (Cantabria)

- Ermita de Nuestra Señora de las Nieves.
- Iglesia de Nuestra Señora de las Angustias.
- Robles Centenarios.
- Centro de Interpretación Ornitológico.
- Torre de los Bustamante en la Costana.
- Aeródromo de Órzales.
- Bunker en la Población.
- Campamento Romano del Chincho en la Población.

Arija (Burgos)

- Iglesia de Nuestra Señora.
- Puente sobre el Pantano del Ebro (Obra de Indemnización).
- Escultura de Arsenio Branchotte Obra de Victorio Macho.

Posibles lugares de interés

- Orbaneja del Castillo (35 Km)
- Embalse de Aguilar (30 Km)
- Villa Romana de la Olmeda
- Castillo de Aguilar de Campoo
- Picos de Europa (Picos y Estación de Esquí) (30 Km)
- Arqueosítio Cántabro-Romano

3.8.1. Conclusiones

En resumen, se trata de una zona con un gran potencial turístico con muchos puntos de interés de diferente índole. Existiendo muchos caminos rurales que los conectan realizando rutas ricas culturalmente y paisajísticamente.

3.9. Hidrografía

3.9.1 Introducción

Para abordar este tema, lo primero es hablar sobre el embalse del Ebro, ya que la Hidrografía de la zona cambio en gran medida con su construcción, quedando ahora el valle sumergido durante todas las épocas del año.

Los datos generales del embalse del Ebro los siguientes:

- Mayor embalse de Cantabria y tercero de la cuenca del Ebro.
- Titularidad del Estado.
- Función principal de abastecimiento y riegos.
- Función secundaria generación energía eléctrica.
- Efecto laminador, peligro por inundaciones en los pueblos Sumergidos
- Capacidad de 541 Hm³ (1% del recurso hídrico español total).
- Superficie de 6523 hectáreas.
- Cuenca hidrográfica de 64400 Ha (14 X 46 kilómetros).
- Nivel máximo de avenida cota 838 sobre el NMM.
- Cuerpo de presa de hormigón armado en las Rozas de Valdearroyo.
- Afluentes se basan en el deshielo de Picos de Europa principalmente.
 - Río Hajar (afluente 1^{er} Orden).
 - Río Virga (afluente 1^{er} Orden).
 - Río Trisuerra (afluente 2^{er} Orden).
 - Río Reoyo (afluente 3^{er} Orden).
 - Río Cruceo (afluente 2^{er} Orden).
 - Río Izarilla (afluente 3^{er} Orden).
 - Río Marlantes (afluente 2^{er} Orden).

La cuenca hidrográfica del embalse del Ebro tiene varias diferencias significativas basada en las longitudes de sus cursos diferenciándose los tres siguientes:

- **Curso alto:** es la parte más cerca de su nacimiento; lleva poca agua, pero corre por terrenos de altas pendientes arrastrando hojas, tierras y piedras
- **Curso medio:** es la parte donde corren las aguas lentamente, porque los terrenos tienden a ser llanuras de pendientes suaves. en algunas partes por lo general, recibe el agua de afluentes haciendo que el caudal aumente.
- **Curso bajo:** en esta parte, las aguas desplazan y avanzan lentamente hasta llegar a su desembocadura.

El Río Ebro se nutre del deshielo del Pico Tres Mares (2173 metros de altitud) y las principales sierras que fondean el valle del Virga, que a la vez nutren sus afluentes.

Presenta una longitud en su curso alto muy corta de aproximadamente 20 Km, diversificándose sus aguas de una manera singular por los canales Kársticos hacia Fontibre y por el Río Hajar (que muere en el embalse y antes daba continuidad al río Virga). Esto hace que el río entre rápidamente en su curso medio formando llanuras de inundación y depositando los sedimentos principalmente arcillosos arenosos arrastrados por el río sobre el actual vaso del

Embalse del Ebro durante un gran periodo de tiempo. Actualmente el embalse del Ebro es el que dentro de la cuenca del Ebro tiene las menores tasas de **sedimentación de embalses**.

3.9.2. Hidrografía Española

Las cuencas hidrográficas españolas son las siguientes y quedan plasmadas en la Imagen 3.26.:

- Tajo
- Guadiana
- Guadalquivir
- Ebro
- Duero
- Júcar
- Miño-Sil
- Guadalete-Bárbate
- Andalucía Meridional
- Segura
- Galicia Costa
- Cataluña Interna
- Cantábrico Occidental
- Tinto, Odiel y Piedras
- Cantábrico Oriental
- País Vasco Interna



Imagen 3.26. Cuencas hidrográficas. FUENTE: Google Imágenes

Este recurso hídrico se reparte en unas 1350 presas en total, tanto de propiedad pública como privada, con una capacidad de 56.000 hm³ concentrándose prácticamente el 90 % de su capacidad en unas 10 presas. Las presas se comenzaron a construirse en torno al 1900, teniendo parones por la guerra civil a mediados del siglo, actualmente y desde el 2000, se ha incrementado el número de presas. Actualmente hay en construcción 10 presas de todo tipo como Alcolea, una presa de hormigón de 82 m de altura y capacidad de 274 Hm³ o Yesa un azud de cola de capacidad de 0.5 Hm³.

Es un tema importante a tratar en España, ya que es conocido por todos que los embalses son muy necesarios en el país, ya que solo es posible captar en torno al **20 %** del agua de la lluvia caída en España a diferencia de los demás países europeos cercanos como Alemania y Francia, que sin embalses de una manera natural pueden captar y almacenar el **60 %**, aun sin infraestructura hidráulica.

Es por esto por lo que en España se deberán de cerrar y diseñar nuevas presas, a fin de mantener nuestro recurso hídrico, incluso aumentarlo ya que la demanda de agua crece al crecer la población. Lo óptimo sería llegar a una situación donde las presas españolas no sean un muro frente a los sedimentos y que el proceso natural pueda seguir su curso de la mejor manera posible.

3.9.3. Sedimentación

A continuación Se realiza una explicación simplista del proceso de sedimentación siendo un problema preocupante en España y siendo la cuenca del río Ebro una de las más afectadas existiendo gran cantidad de estudios.

La colmatación o sedimentación de los embalses es el proceso por el cual los sedimentos que transportan las corrientes que abastecen al embalse de forma continua acaba en el vaso del embalse. Es un proceso que sucede tanto en los deltas de los ríos como en el mar, este proceso es debido a la pérdida de la velocidad de la corriente que hace que las partículas se sedimenten en el fondo.

Para comprender el proceso de sedimentación de embalses hay que entender la relación existente entre la cuenca-río-embalse.

- Cuenca es la generadora de los sedimentos, podemos encontrarnos las partículas que son arrastradas del suelo por la lluvia, así como los aportes de tierra al río por movimientos de ladera (deslizamientos etc.) y caídas de bloques y tierras al río.
- Río es la que transporta los sedimentos desde la cuenca hacia el embalse. Las diferentes partículas serán transportadas por diferentes mecanismos.
- Embalse es la que acumula los sedimentos, en función de sus características ordenara los sedimentos, aunque existe un esquema general de ordenamiento en función del tamaño de las partículas debido a la propia sedimentación.

3.9.4. Cálculo Sedimentación Embalse del Ebro

En este apartado se realiza un cálculo rápido de la sedimentación en el embalse del Ebro, tratándose este del embalse de cabecera de la cuenca del Ebro. Se utilizarán los siguientes datos de partida de un estudio del CEDEX:

- Tasa de aterramiento media de España 0.16 % pérdida capacidad inicial (%) / año.
- Cuenca del Embalse del Ebro 64400 Ha.
- Tasa de pérdida de suelo potencial del Libro Blanco del agua 15 toneladas/año·Ha.
- Densidad de sedimentos. 2.6-2.9 toneladas / m³.

En la Imagen 3.27 se muestra una tabla resumen con los datos anteriores.

| Cuenca | Unidades | Hectareas(Ha) | T/Ha*año | años | Hm3 | Toneladas(T) | Perdida/Cap.Inicial | %PerdAnual*Edad | | |
|--------|------------|---------------|-----------------|------|-------------------|--------------|---------------------|-----------------|-----------|----------------|
| | Embalse | S.Cuenca | Tasa de Erosion | Edad | Capacidad Inicial | Sedimentos | %Perdida Anual | % ATERRAMIENTO | %P(CEDEX) | % ATERRAMIENTO |
| EBRO | Mequinzena | 5500000 | 10 | 52 | 1530 | 55000000 | 1.24 | 64.46 | 0.38 | 19.76 |
| | SanTolea | 125000 | 16 | 86 | 48.853 | 2000000 | 1.41 | 121.41 | 0.06 | 5.16 |
| | Ebro | 64400 | 5 | 73 | 510 | 322000 | 0.02 | 1.59 | - | 1.59 |

Imagen 3.27. Tabla resumen datos sedimentación. FUENTE: Propia

3.9.5. Conclusiones

De la breve explicación anterior se puede concluir que:

- El embalse del Ebro genera un gran beneficio para el pueblo español y en mucha menor medida en la zona de estudio. Principal beneficio efecto laminador de las avenidas.
- El embalse del Ebro tiene una tasa de pérdida anual baja por ser un embalse de cabecera, pudiendo tener una vida útil mayor nunca con un mantenimiento adecuado
- La tasa de erosión de sedimentos es baja debido a la vegetación.
- Con la construcción de una nueva infraestructura se podrían tomar muestras del estado actual de los materiales en el vaso del embalse del Ebro.
- El Embalse del Ebro posee una gran importancia como embalse de cabecera de una de las cuencas más sedimentarias de España.

3.10. Topografía y cartografía

3.10.1. Introducción

Se incluye este apartado dentro del estudio de la zona, debido a que la topografía de la zona ha cambiado desde la construcción del Puente Noguero, sobretodo en la zona de Burgos, más concretamente en el Municipio de Arija.

3.10.2. Datos principales

El embalse se constituye sobre un valle, siendo este atravesado por el antiguo río Virga y cuya llanura de inundación es el Embalse en sí.

El valle presenta unas pendientes medias entre el 10 y el 15 %, siendo la capa superficial de este de en torno a 1-1,5 metros de la denominada tierra de labor, compuesta por material principalmente arcilloso arenoso y turboso rico en materia orgánica dejado allí por las sucesivas inundaciones del valle. De modo que está pendiente da un fondo de valle de pequeña altitud que conforma el embalse somero anteriormente mencionado.

3.10.3. Fallos en Cartografía

Al insertar las hojas correspondientes 0083 y 0108 del mapa topográfico nacional en el programa informático AutoCAD no casan perfectamente en el E1, esto se debe a las modificaciones en la Cartografía que no han quedado bien registradas o, que con el cambio de los formatos, siendo el programa por defecto MICROSTATION. Al importar un DGN dentro de AutoCAD Civil no realice bien la georreferenciación y la unión de ambos, no obstante, las Orto fotos quedan cargadas perfectamente y georreferenciadas y han sido un buen punto de base para la realización de la cartografía que se explicara a continuación

Se deberá de realizar un ajuste manual, el proceso es convertir en bloques ambos planos y casarlos de la mejor manera posible. Sera necesario en algunos momentos estirar e incluso modificar las líneas de la topografía para que se ajusten más a la realidad.

El entorno del Estribo 1 realizado los cambios en la topografía y sin introducir las curvas del nivel del vaso es la que se puede ver en la Imagen 3.28..

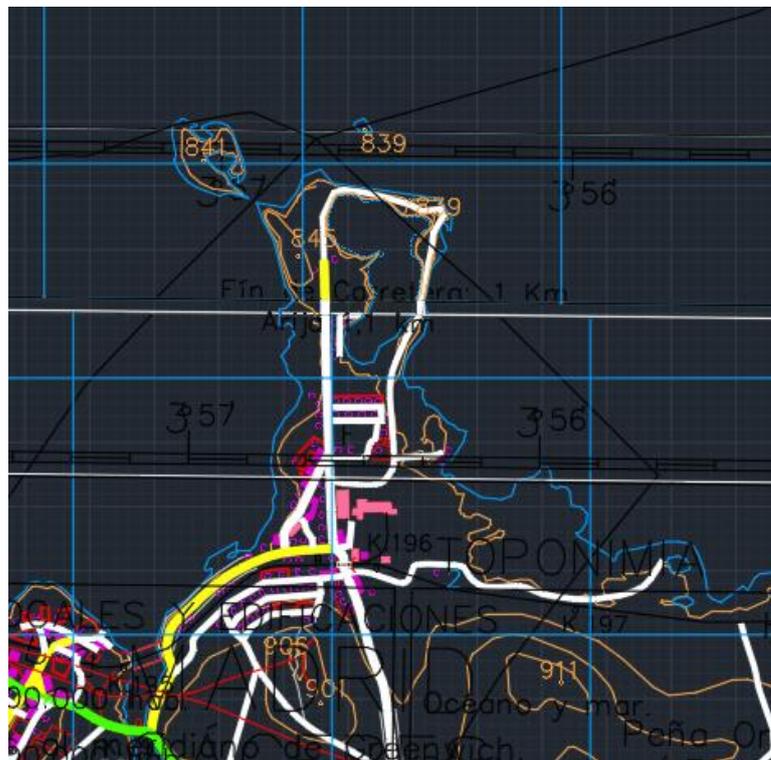


Imagen 3.28. Ajuste de Hojas 0083 y 0108 en el Estribo 1 Arija. FUENTE: Propia

Como se puede apreciar para colocarlo correctamente las líneas verticales que sirven como encuadre de las hojas no son coincidentes

Para la realización del modelo digital del terreno para la obtención del perfil longitudinal se deberá de recortar una zona para que sea más sencillo trabajar con ello, la zona recortada corresponde a una extensión de 7 Recuadros Verticales x 6 Recuadros Horizontales, que corresponden a una extensión de 7 x 6 Km.

Se decidió recortar según los cuadrantes, aunque no coincidan haciendo siempre coincidir la hoja 0083 (Superior) a la hoja 0108 (Inferior) esto se decidió a la vista de la modificación sufrida en el estribo 1 para tener una mayor fiabilidad.

Finalmente, la topografía del embalse a utilizar se presenta en la Imagen 3.29., cabe mencionar que lo que interesa es conocer la traza del puente y no la topografía /batimetría total del vaso del embalse, luego la zona derecha del trazado queda más vacía en cuanto a las curvas de nivel

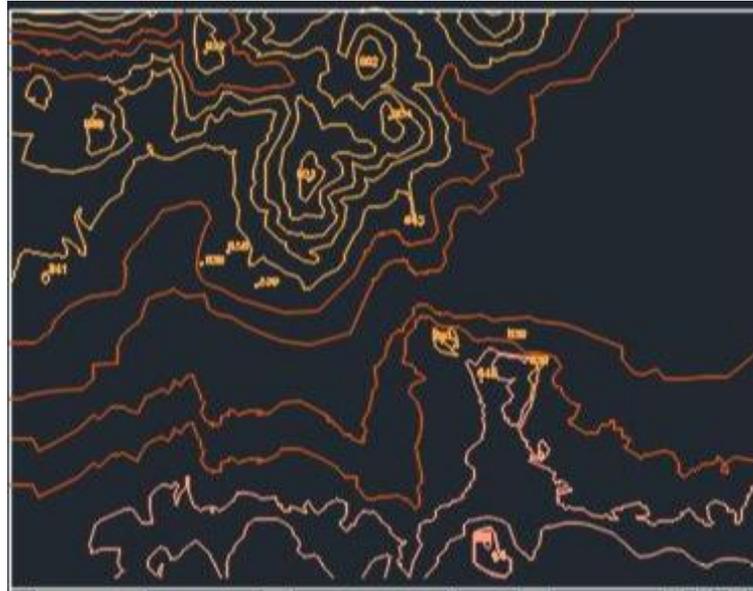


Imagen 3.29 Topografía final para la obtención del perfil longitudinal. FUENTE: Propia

Para poder conseguir esto se ha tenido previamente escaneado el Mapa Topográfico en papel realizado a mano y con otros sistemas tanto de proyección como altimétrico.

Una vez importado en AutoCAD el plano, se realizan las curvas de nivel dibujándolas sobre el Mapa obteniendo el resultado de la Imagen 3.30., este escaneado se ha comprobado con las ortofotos antiguas para comprobar la validez de ambos modelos (Ortofoto y Planimetría CAD).

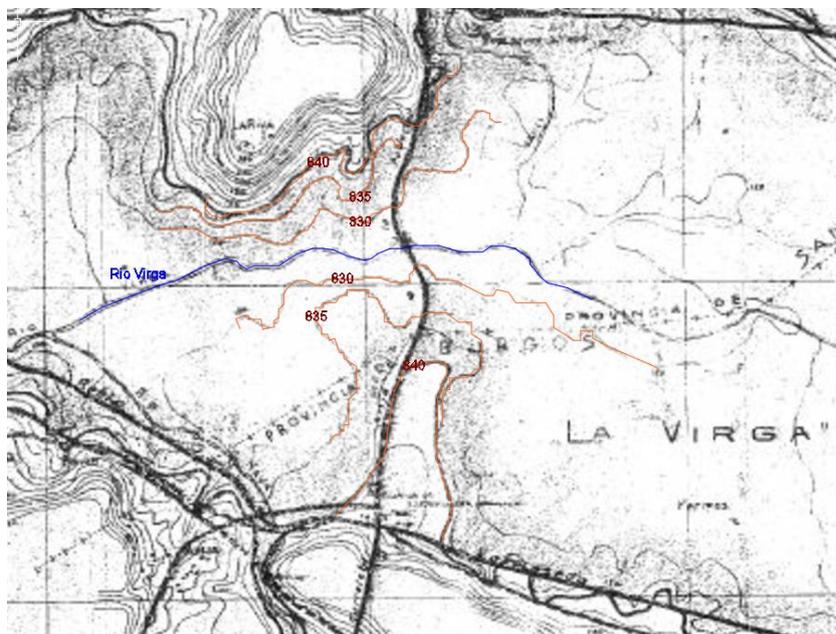


Imagen 3.30. Plano Construcción Embalse del Ebro (Topografía y río remarcados). FUENTE: Proyecto de Embalse del Ebro

Una vez llegados a este punto la solución es tan sencilla como copiar las curvas de nivel con un Punto Base (El estribo 1 conseguidas sus coordenadas de las Protofitos Superpuestas), obteniendo un resultado no satisfactorio. Esto se debe al diferente sistema de proyecciones, siendo el antiguo el denominado ED50 y al ser ahora el ETRS89 con diferentes objetos de proyección.

Para poder resolverlo se han tenido que retocar manualmente las curvas haciéndolas coincidir en cuanto a la forma de las curvas superiores, pero manteniendo su originalidad realizando mediciones en el plano y comparando las curvas de nivel exteriores e interiores al vaso.

Quedando sobre todo en los puntos de contacto traza del puente con curvas de nivel con las mismas distancias y altitudes.

Con esta cartografía reeditada se realizarán los modelos tanto en Civil 3D como en Revit

En cuanto al cambio de la topografía, uno de los grandes problemas es respecto al acceso al Estribo 1, ya que cuando el nivel del embalse baja se puede acceder andando sin tener que introducirse en el vaso. Pero cuando la cota del embalse sube el Estribo 1 queda en una península que se convierte en isla. Esto sucedía desde la construcción del Puente Noguerol acuciándose más en la actualidad con la posterior construcción del camping y la pérdida progresiva del terraplén de acceso. En la Imagen 3.31. se observa la superposición de Ortofotos.



Imagen 3.31 Superposición de Orto fotos en el Estribo 1 195-Actualidad. FUENTE: Ortofoto

3.10.4 Conclusiones

Como conclusiones del siguiente apartado de explicación de la topografía del valle y los fallos en la realización del modelo:

- La topografía del valle presenta pendientes pequeñas y un fondo de valle casi horizontal, ligado a procesos de formación y sedimentación
- Se deberá realizar un levantamiento topográfico para dar viabilidad al modelo planteado. Complicándose en las cercanías al cauce del río Virga incluso en periodos de baja capacidad.
- Las condiciones actuales del terraplén de acceso al estribo 1 Ariba son malas, se deberá realizar un relleno con su protección pertinente o un pequeño puente adicional. Ya que actualmente no se puede acceder en sus niveles máximos.

Deberá de realizarse el levantamiento topográfico para revisar esto, pudiendo resolverse esta península con un relleno con protección o mediante un pequeño puente adicional que pudiera resolverlo, pudiendo ser que la topografía no sea acertada y se tenga conexión. Se puede consultar el estado del estribo en el estudio del Antiguo Puente Noguero

3.11. Geología

3.11.1. Introducción

En el presente apartado del estudio se pretende explicar el proceso de formación de la montaña campurriana y de su entorno. Así como exponer los datos necesarios para la realización de un proyecto ingenieril según la normativa actual.

3.11.2 .Libro Montañas de Campoo. Relieve y glaciario

Del departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid (UVA) de Enrique Serrano Cañadas.

3.11.2.1 Relieve

Para entender las formaciones de la zona y citando el citado libro: "*La montaña campurriana es sobre todo una construcción tectónica su relieve deriva de los materiales y su disposición de la historia geomorfológica y climática y constituye la base primordial en la configuración de los paisajes. Conforman una topografía determina variaciones climáticas a escala regional y global dirige los procesos geomorfológicos y la dinámica actual (inundaciones, aludes, movimientos de laderas, desprendimientos etc.) y condiciona la ocupación humana del espacio es pues un elemento básico del paisaje*".

El relieve de la zona adquiere las características actuales durante los movimientos tectónicos entre finales del Cretáceo hasta el Oligoceno en la que se denomina la **Orogenia Alpina**. La geología de la zona se muestra en las imágenes 3.32 y 3.33..

| ERA | M.A. | PERÍODO | ÉPOCA |
|-------------|-----------|-------------|-------------|
| CENOZOICA | 0.01 | CUATERNARIO | HOLOCENA |
| | 2 | | PLEISTOCENA |
| | 7 | TERCIARIO | PLIOCENO |
| | 26 | | MIOCENO |
| | 38 | | OLIGOCENO |
| | 54 | | EOCENO |
| 65 | PALEOCENO | | |
| MESOZOICA | 136 | CRETÁCICO | |
| | 196 | JURÁSICO | |
| | 225 | TRIÁSICO | |
| PALEOZOICA | 280 | PÉRMICO | |
| | 345 | CARBONÍFERO | |
| | 395 | DEVÓNICO | |
| | 440 | SILÚRICO | |
| | 500 | ORDOVÍCICO | |
| ARQUEOZOICA | 670 | CÁMBRICO | |
| | 800 | | |
| | 1600 | PRECÁMBRICO | |
| | 2500 | | |

Imagen 3.32 Eras Geológicas. FUENTE : Google Images

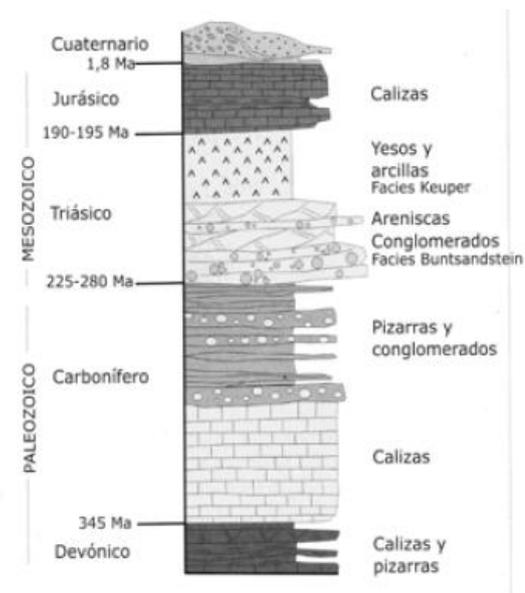


Imagen 3.33 .Columna Estratigráfica montaña Campurriana . FUENTE Montañas de Campoo. Relieve y Glaciarismo

Durante este período de tiempo se levantan, pliegan y fracturan los materiales generados anteriormente. La montaña campurriana estratigráficamente se conforma de un contacto entre la cobertera mesozoica y el zócalo hercínico. El zócalo constituye los restos arrasados de una antigua cordillera fuertemente deformada y sobre él reposa la cobertera mesozoica formada en el triásico y jurásico. Como consecuencia de la erosión de dicho zócalo hercínico y la existencia al este y nordeste de una zona deprimida el denominado surco vaso-cantábrico en esta cuenca se produjo la sedimentación de la cobertera primero con facies continentales pues la depresión no estaba inundada por el mar y posteriormente una sedimentación marina cuando el mar ocupa la depresión los materiales existentes.

En las imágenes anteriores se pueden contrastar que durante este proceso de formación los materiales del Terciario y el Cretácico quedan desaparecidos de la columna estratigráfica.

Los materiales que se encuentran de forma general en la montaña campurriana son los siguientes:

- **Zócalo:** muy poco representado en las montañas campurrianas, está formado por calizas, areniscas y pizarras de edad carbonífera (Paleozoico superior). Estos materiales sólo afloran en la vertiente meridional de la sierra de Híjar y en el macizo de Valdecebollas, donde las calizas carboníferas conforman esbeltas agujas y torres hacia el valle de Los Redondos.
- **Cobertera:** Reposo sobre el zócalo paleozoico y se ha generado en dos momentos:
 - **Triásico:** Entre 250 y 200 millones de años se depositó en la base una serie estratificada de conglomerados y areniscas (facies Buntsandstefn) que configuran la litología más característica de las cumbres campurrianas. Por encima, se depositó un paquete de arcillas y yesos de tonalidades rojizas y verdosas (facies Keuper), que afloran en el fondo del valle del Alto Campoo, o en Aguilar de Campoo y su entorno. La serie culmina con calizas y dolomías formadas por estratos delgados y sedimentadas de modo discontinuo.
 - **Jurásico:** Es un período de hundimiento de la depresión, ahora inundada por el mar. Entre 205-145 millones de años genera una serie de rocas carbonatadas compuesta de

calizas, margas y margo-calizas alternantes que culminan a techo en un paquete de areniscas rojas, margas, conglomerados y calizas (grupo Cabuérniga). Esta serie conforma los contrafuertes septentrionales de Alto Campoo y la divisoria principal en Pozazal.

- **Rocas ígneas:** Existen afloramientos de materiales ígneos emplazados por ascensos magmáticos durante el Carbonífero superior y el Pérmico (Heredia et al. 1990) que generan relieves individualizados de pequeñas dimensiones. En el pico Iján y su entorno afloran granitoides que permiten una erosión diferencial y procesos asociados a estos materiales, y en la vertiente meridional de la Sierra de Híjar, los afloramientos de basaltos alcalinos caracterizan la porción media de la ladera.

La zona del presente estudio es el Valle de Alto Campoo que se extiende entre la Sierra del Cordel y la de Híjar, configurando una característica valle intramontañoso cantábrico de transición a favor de la protección de la sierra del Cordel a la llegada de masas húmedas del mar, un amplio valle de fondo plano con numerosas compartimentaciones internas. Montañas y valles se complementan y comparten laderas materiales aguas y tiempos, es decir, las formas y los procesos que articulan el relieve. Si en las cumbres podemos encontrar explicación a lo sucedido en el valle, el valle nos ayuda a entender las cumbres de un todo que es parte de la cordillera cantábrica. El valle de Campoo es un pliegue sinclinal de dirección NW-SE, el sinclinal de Abiada, compartimentando por una red de fracturas de direcciones dominantes NW-SE NE-SW y E-W. Las laderas están constituidas por conglomerados y areniscas con fuertes buzamientos en la vertiente septentrional (30º 60º) donde existen dorsos verticalizados-cuenca Gen, La Señoruca y Menores en la meridional (20º 25º). La red de fracturas de direcciones NW-SE dirigen los principales elementos morfoestructurales del valle, la red hidrográfica y los procesos morfogenéticos, tanto los anteriores o los actuales.

En el interior del valle los materiales y su disposición configuran un conjunto de unidades menores con depresiones y resaltes aislados. Entre los resaltes destacan los relieves formados por los afloramientos de calizas y dolomías del jurásico y triásico en Fontibre, Hoz de Abiada, Guares y Guariza. Con procesos kársticos, cavidades, dolinas, sumideros y surgencias entre las que destacan el nacimiento del Ebro.

Relieves negativos son la depresión tectónica de Abiada, Entrambasaguas y afloramientos de arcillas y yesos que favorecen la erosión diferencial en la porción central del valle del Híjar. El fondo de valle ha sido muy activo son cambios hidrográficos constantes a lo largo del último millón de años, elaboración de terrazas iconos aluviales o procesos kársticos singulares.

3.11.3. Estudio Previo de Terrenos ENLACE Burgos-Santander

Se basa en el estudio previo de terrenos del enlace Burgos-Santander y del tramo en particular Mataporquera-Villacarriedo.

Las zonas de estudio comprenden las zonas remarcadas como Zona 5 norte del Embalse (Cantabria) y la Zona 7 sur del Embalse Arijá (Burgos)

ZONA 5

Los alrededores de Reinosa, así como la ciudad misma, se asientan sobre la llanura prácticamente horizontal que constituyen los aluviones y terrazas de los ríos Ebro, Hija y Izarilla. Estos materiales cuaternarios rellenan con potencias muy variables (de 0,5 a 6 metros) una cubeta de erosión labrada sobre los materiales de Facies Keuper, los cuales afloran en diversos puntos, principalmente en los bordes Norte y Sur del Área. En el centro de la llanura surgen algunos peñones aislados de calizas liásicas hacia el borde occidental. Otras alineaciones calcáreas dirigida de E-O separan los valles de los tres ríos citados y aunque sus desniveles no son acusados las laderas son abruptas, como corresponde a sus contactos con las arcillas triásicas en forma de fracturas longitudinales.

El borde norte del Embalse se muestra desde Requejo (límite del área) hasta la Riva como una ladera de inclinación media surcada por barrancos poco encajados de dirección N-S, los cuales presentan su curso reducido a los tramos medios y de cabecera. A la altura de la Población de Yuso, un nuevo afloramiento de Keuper determina otra zona deprimida en parte cubierta por las aguas, para recobrar algo hacia el este las características ya citadas debidas a las arenas y areniscas de Facies Wealdense.

Por último, el borde oriental corresponde a la parte no cubierta por las aguas del valle del Arroyo de la Virga que es una llanura de colmatación con suelos arenoso-limosos.

Se puede consultar la información gráfica del Libro mediante un recorte del plano geológico para la traza del puente Noguero.

En la Imagen 3.34. se observa un recorte del mapa geológico del citado libro y en la Imagen 3.35 su leyenda.

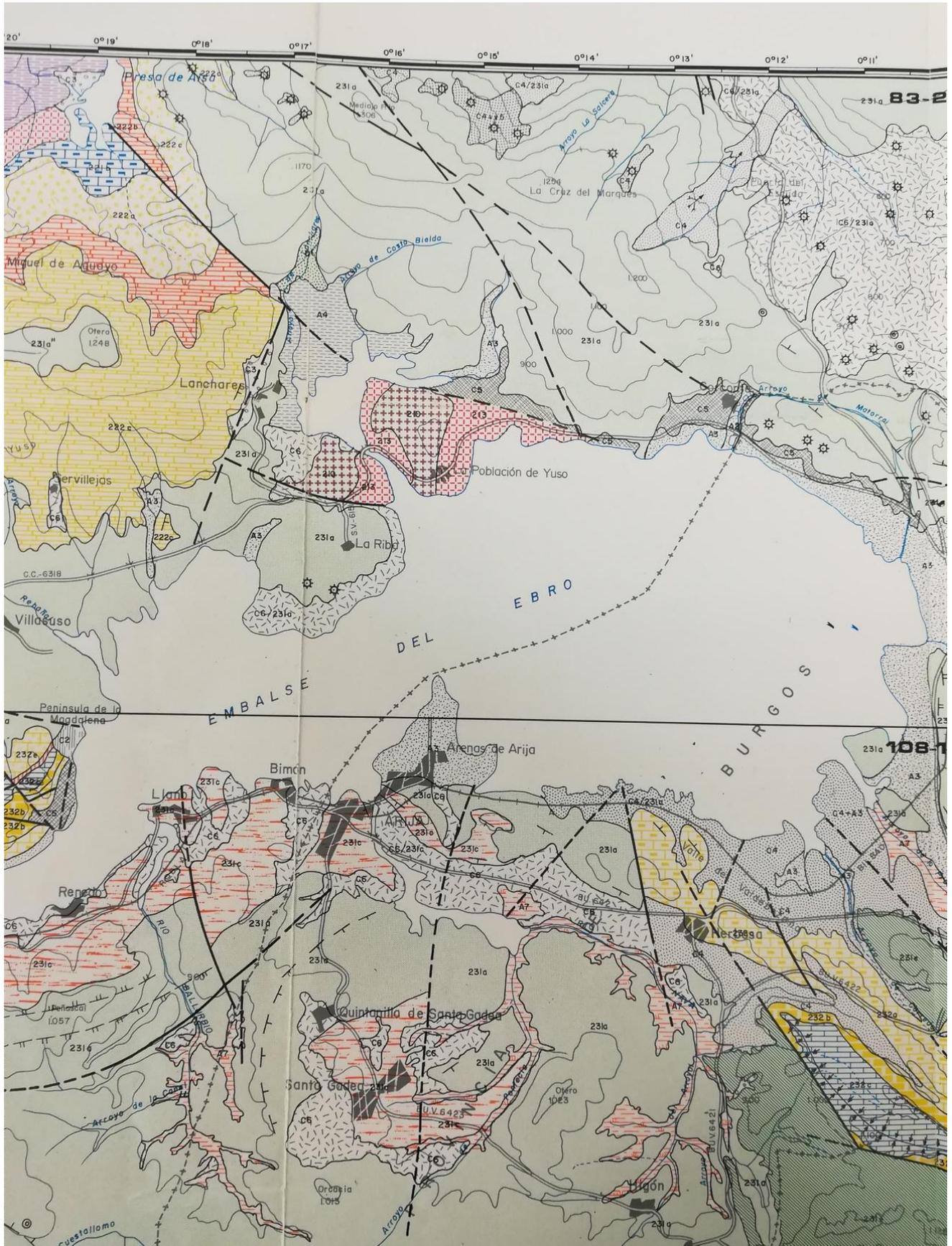


Imagen 3.34 Recorte mapa geológico. FUENTE: Estudio Previo de Terrenos

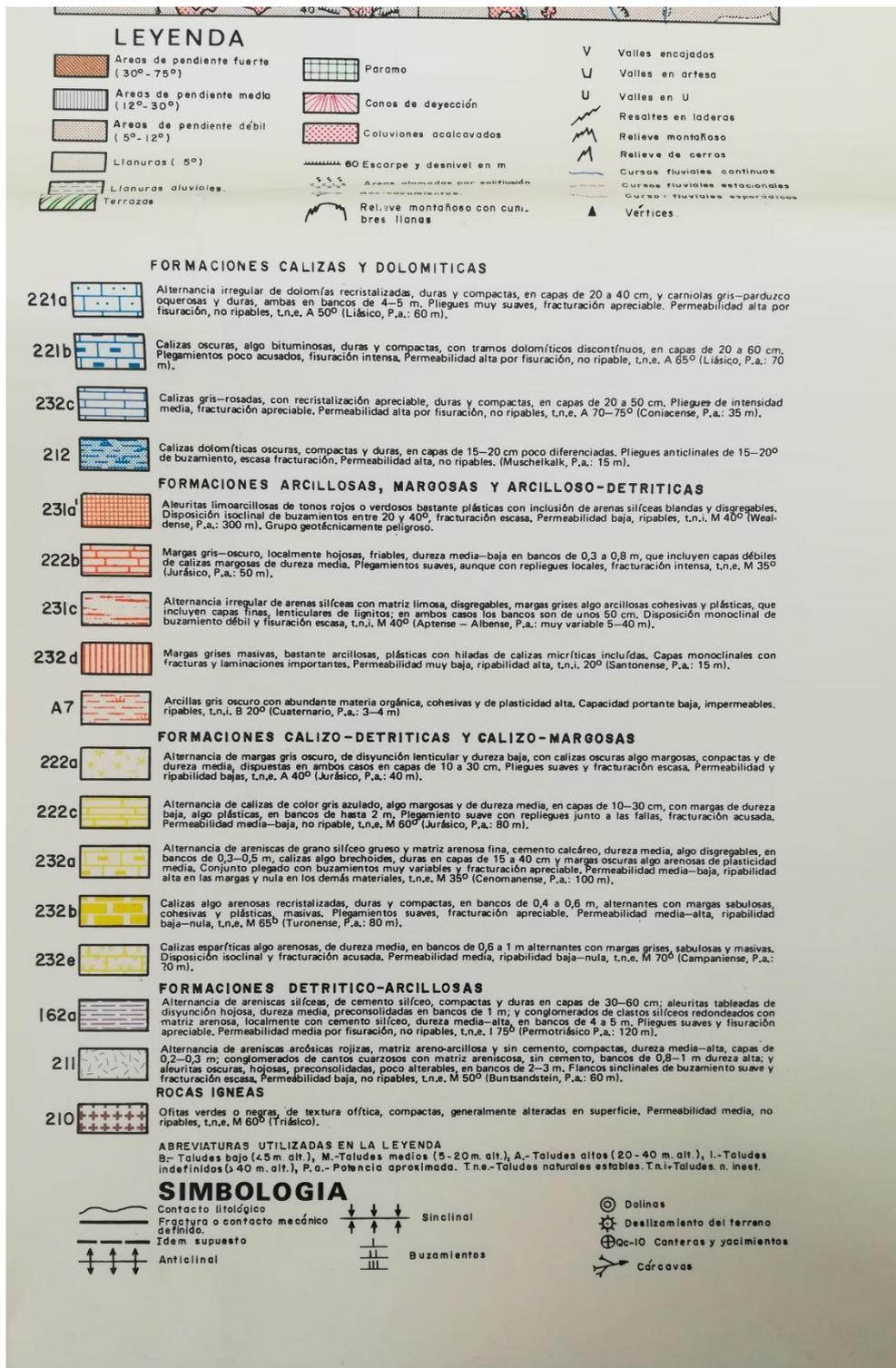
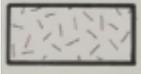


Imagen 3.35. Leyenda Mapa Geológico FUENTE Estudio previo de terrenos

Luego en la zona en cuestión, en las zonas que quedan por encima de la cota 838 se encuentran formaciones principalmente detrítico-arcillosas en los estribos del Puente, entendiendo que en el fondo del valle las capas predominantes sean estas intercaladas por las demás formaciones que aparecen adyacentes a las principales.

- 
 Alternancia de areniscas arcósicas rojizas, matriz arenoso-arcilloso y sin cemento, compactas, dureza media-alta capas de 20 a 30 centímetros. Conglomerados de cantos cuarzosos con matriz arenisca, sin cemento, bancos de 0.8 a 1 metro de espesor con dureza alta. Aleuritas oscuras, hojosas, preconsolidadas, poco alterables en bancos de 2 a 3 metros. Flancas sinclinales de buzamiento suave y fracturación escasa. Permeabilidad baja y no ripables.
- 
 Alternancia de areniscas síliceas, de cemento síliceo, compactas y duras en capas de 30 a 60 centímetros. Aleuritas tableadas de disyunción hojosa, dureza media, preconsolidadas en bancos de 1 metros. Conglomerados de clastos síliceos redondeadas con matriz arenosa, localmente con cemento síliceo, con dureza media-alta, en bancos de 4 a 5 metros. Pliego suaves y fisuración apreciable. Permeabilidad media por fisuración y no ripables.

3.11.4. Visor Mapas Cantabria

Del citado visor solo se podrá obtener información gráfica de Cantabria, aunque esta incluye ambos estribos. Se puede consultar en las Imágenes 3.36 y 3.37. así como en <http://mapas.cantabria.es/>.



Imagen 3.36. Recorte mapa geológico. FUENTE: Mapas Cantabria

LEYENDA

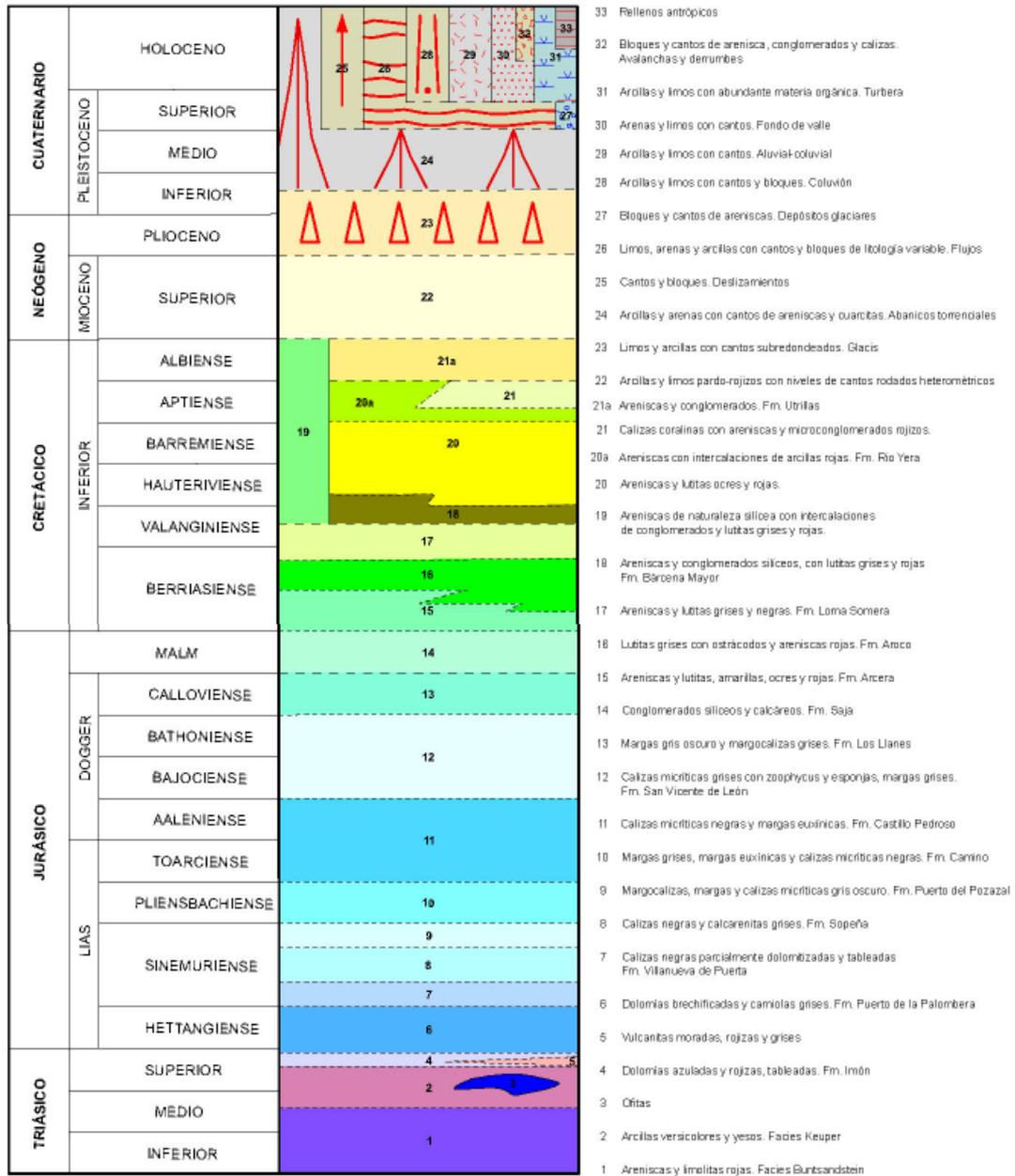


Imagen 2.37 Leyenda Mapa Geológico FUENTE : Mapas Cantabria

Luego en ambos estribos predoniman las formaciones del Cretacico (Limos ,Arcillas , Areniscas mezcladas con calizas) quedando estas con formaciones del Jurásico y Triásico.

3.11.5. Guía de cimentaciones para obras de carretera

Apoyándose en la normativa actual se recomienda basarse en diversos documentos geológicos publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Deberán consultarse siempre las siguientes publicaciones de dicho organismo:

- Mapa geológico E=1/200.000.

- Mapa geológico E=1/50.000.
- Mapa de rocas industriales E=1/200.000.

3.11.6. Mapa Geológico

Se han utilizado las hojas Mapa geológico E=1/50.000 que corresponden a la 0083 y la 0108 como se menciona anteriormente. Teniendo cada una de ellas:

- Memoria de la hoja en PDF.
- Mapa geológico Escala 1:50.000 con leyenda formato PDF.
- Mapa geológico Escala 1:50.000 escaneado del original a mano con información adicional.

A continuación se expondrán de manera clara los datos obtenidos de la memoria y el escaneado original. Pudiendo consultarse todo en la siguiente página <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>

Los mapas en formato PDF correspondientes a las hojas 0083 Y 0108 estarán al final de este apartado para su consulta.

HOJA 0083

El mapa escaneado, realizando un recorte para la obra de estudio en el que se pueden apreciar ya diferentes materiales en ambos estribos. Quedando las litologías siguientes tapadas por el embalse del Ebro. En la Imagen 3.38 se muestra un recorte del Mapa geológico.

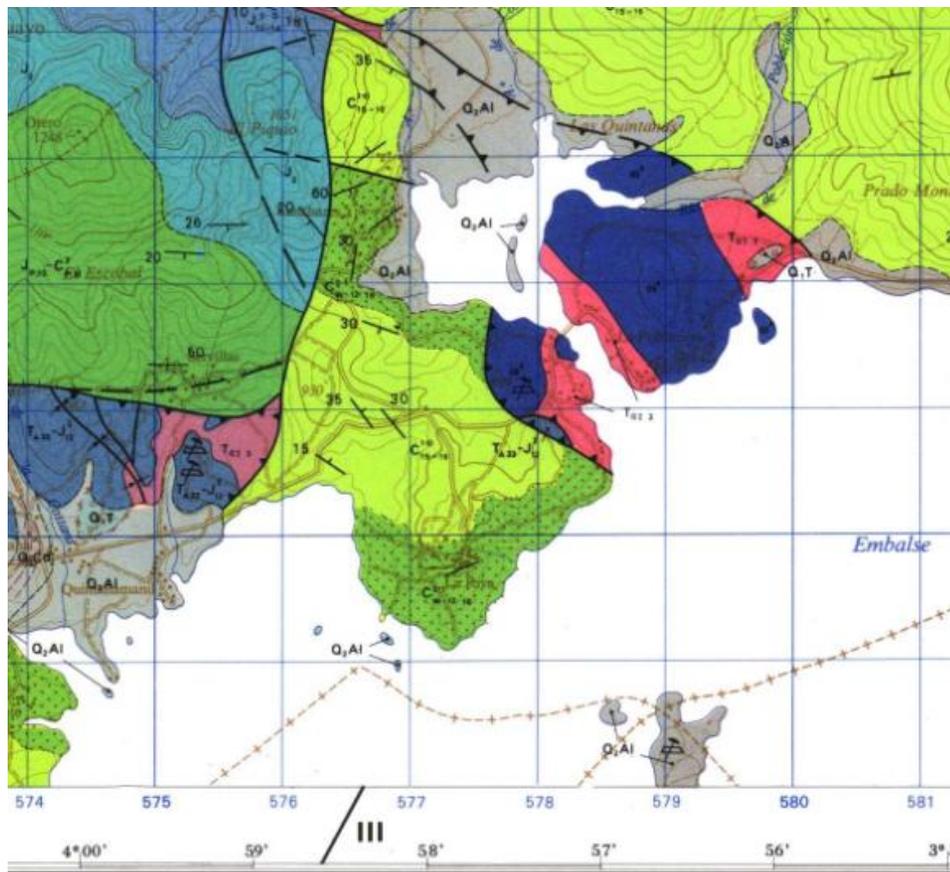


Imagen 3.38. Recorte de la zona de estudio Mapa Geológico HOJA 0083. FUENTE: Mapa Geológico

En la Imagen 3.39. se recoge un extracto del Corte Geológico.

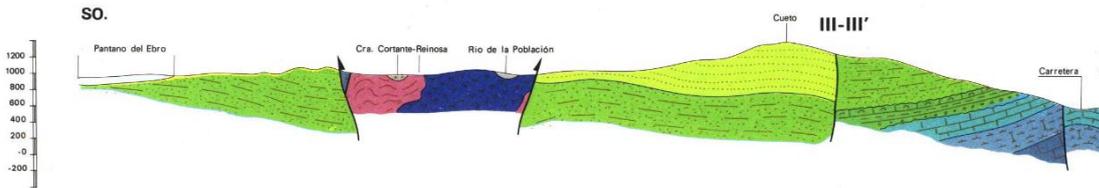


Imagen 3.39. Corte Geológico III donde aparece la zona de estudio. FUENTE: Mapa Geológico

- Estribo la Población (VERDE OSCURO) Materiales del Crecácico Inferior entre los periodos geológicos Barremiense y Hauteriviense. Conglomerados areniscos, limolitas y arcillas.
- Estribo Arija (GRIS): Materiales del Cuaternario en el periodo Holoceno, se trata de coluviones y materiales de fondo de valle.

HOJA 0108

Se realiza otro recorte para la zona de estudio con las mismas dimensiones. Se encuentran los mismos materiales que el estribo de La Población adyacente a las mismas formaciones. Esta información geológica se puede ver en las Imágenes 3.40., 3.41. y 3.42..

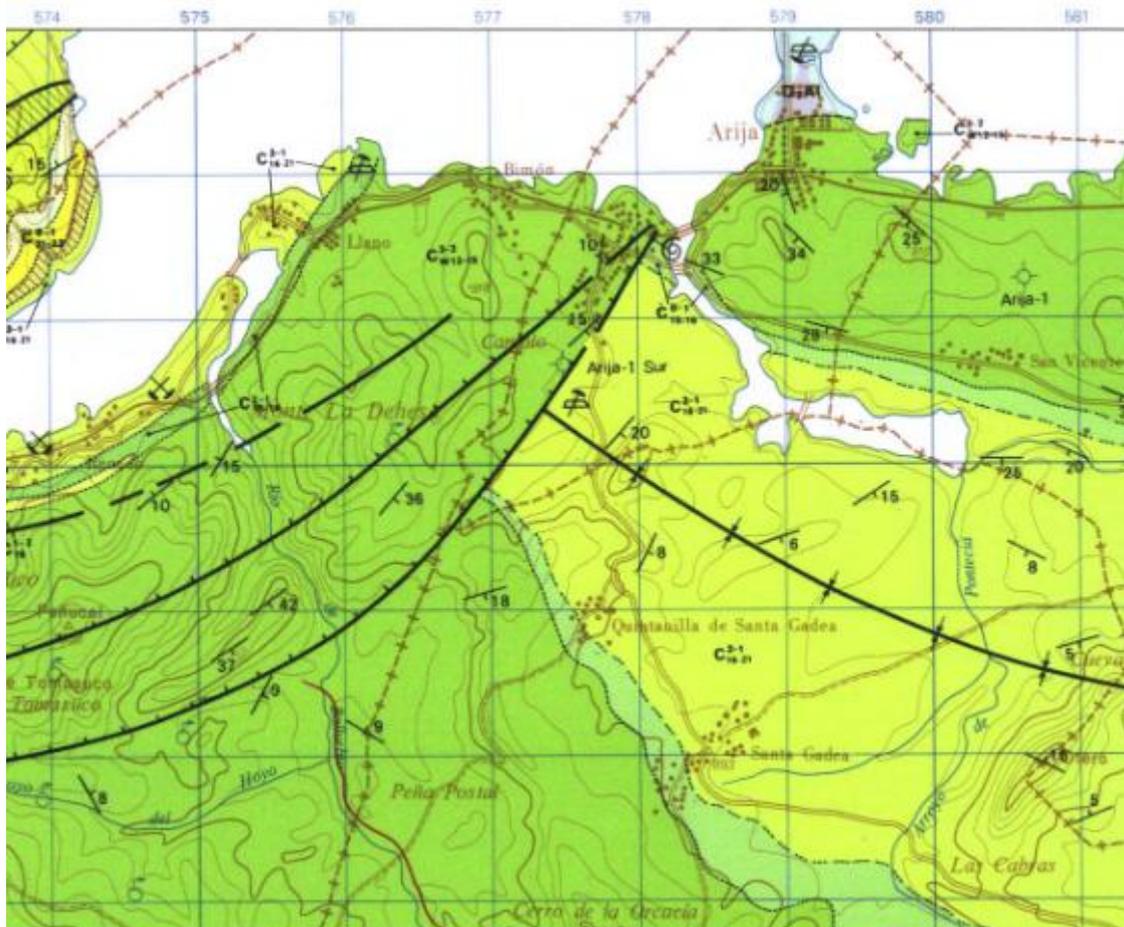


Imagen 3.40. Recorte de la zona de estudio Mapa Geológico HOJA 0108. FUENTE: Mapa Geológico



Imagen 3.41. Corte Geológico I donde aparece la zona de estudio. FUENTE: Mapa Geológico

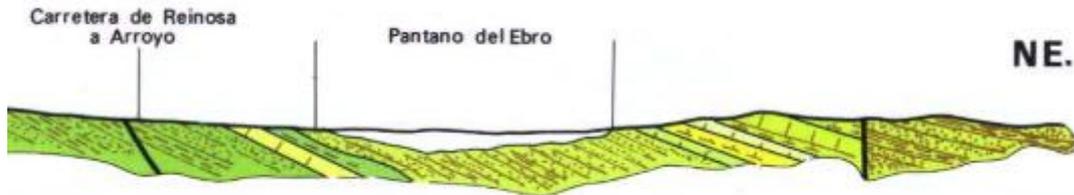


Imagen 3.42. Corte Geológico III donde se aprecia la formación que da impermeabilidad al vaso del embalse.

FUENTE: Mapa Geológico

- Estribo de Arija. Núcleo Poblacional (AMARILLO): Superposición de formaciones se pueden consultar en la Imagen 3.43. de la leyenda. Siendo principalmente Arenas intercalado con otras formaciones arcillosas y areniscas

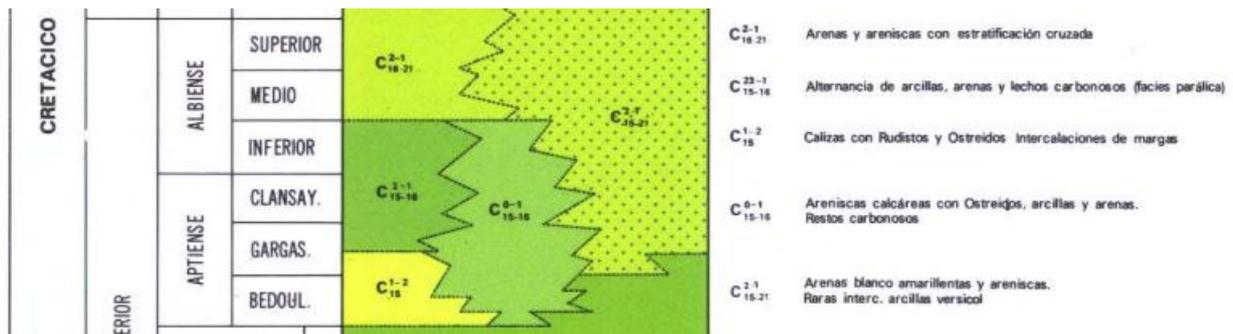


Imagen 3.43. Recorte de la leyenda de las formaciones principales. FUENTE: Mapa Geológico

3.11.7 Conclusiones

Como conclusión del presentado apartado, siendo el que más información contiene debido a que fue la causa del hundimiento del Puente Noguero y debido a su complejo proceso de formación. Se puede concluir que:

- Su período principal de formación abarca desde el Cretáceo hasta el Oligoceno, en la que se denomina la **Orogenia Alpina**.
- Los materiales que se encuentran son generalmente arenas y arcillas con soporte calizo arenisco. No obstante, estas capas quedan mezcladas, superpuestas, separadas, adyacentes cambiando su estratigrafía en pocos metros en planta.
- Los materiales que se encuentran se explotan actualmente en la industria, siendo de gran valor económico para la zona.
- Los sondeos deberán ser numerosos y precisos a fin de economizar la estructura y tener seguridad en los cálculos pertinentes.

3.11.8. Hojas 0083 y 0108.

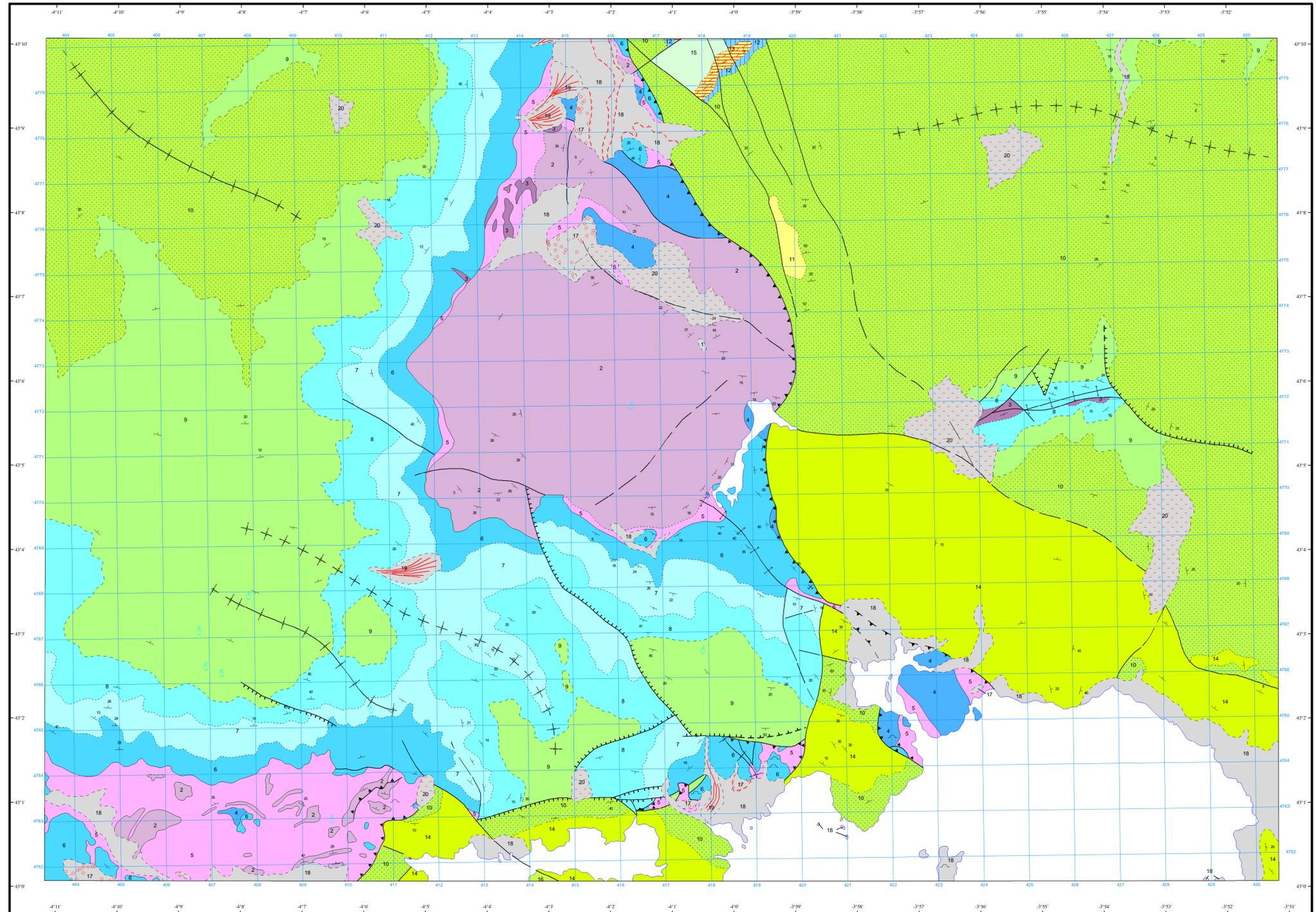
LEYENDA

| | | | |
|--------------------|---------------|---------------|--|
| CUATERNARIO | HOLOCENO | 18 | |
| | PLEISTOCENO | 17 | |
| CRETÁCICO SUPERIOR | SANTONIENSE | 16 | |
| | CONIACIENSE | | |
| | TURONIENSE | | |
| | CENOMANIENSE | | |
| | ALBIENSE | 15 | |
| CRETÁCICO INFERIOR | CLANSAYENSE | 14 | |
| | GARGASIENSE | 11 | |
| | BEDOULENSIS | | |
| | BARREMIENSE | | |
| | HAUTERIVIENSE | 10 | |
| | VALANGIENSE | | |
| | BERRIASIENSE | 9 | |
| | MALM | PORTLANDIENSE | |
| JURÁSICO | DOGGER | 8 | |
| | TOARCIENSE | | |
| | PUENSACHIENSE | 7 | |
| | LIAS SUPERIOR | | |
| | LIAS MEDIO | | |
| | LIAS INFERIOR | 6 | |
| TRIÁSICO | HETTANGIENSE | | |
| | RETHIENSE | | |
| | KEUPER | 5 | |
| | MUSCHELKALK | 4 | |
| CARBÓNICO SUPERIOR | BUNTSANDSTEIN | 2 | |
| | STEPHANIENSE | 1 | |

- 20 Coluaciones
- 19 Conos de deyección
- 18 Fondos de valle y terraza inferior
- 17 Terrazas
- 16 Calizas con Miliólidos y Lacacina, margas
- 15 Arenas, areniscas y arcillas. Lechos carbonosos
- 14 Arenas, areniscas microconglomeráticas. Banco calizo en la base
- 13 Calizas con Toucasia, dolomías
- 12 Calizas con Miliólidos, areniscas y margas
- 11 Calizas con Rudistas, Orbitolinas y/o corales y limolitas
- 10 Conglomerados, areniscas, limolitas y arcillas
- 9 Conglomerados silíceos y/o calcáreos, areniscas, arcillas, margas calcáreas y calizas. Niveles lumachelíticos
- 8 Margas y calizas. Niveles de margas negras hojosas
- 7 Alternancia de margas y calizas arcillosas. Margas negras hojosas
- 6 Dolomías, brechas caliza-dolomíticas y calizas tableadas
- 5 Arcillas abigarradas plásticas y yesos
- 4 Oñtas
- 3 Calizas tableadas, dolomías y brechas calcáreas
- 2 Conglomerados silíceos, areniscas y limolitas
- 1 Pizarras negras carbonosas y grauwacas

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

| | | | |
|--|---|--|--|
| | Contacto concordante | | Contacto concordante supuesto |
| | Contacto discordante | | Contacto mecánico |
| | Límite de terraza | | Falla conocida |
| | Falla supuesta | | Falla con indicación de hundimiento |
| | Falla con indicación de hundimiento sup. | | Cabalgamiento conocido |
| | Cabalgamiento supuesto | | Anticinal |
| | Sinclinal | | Sinclinal supuesto |
| | Estratificación subhorizontal | | Estratificación subvertical |
| | Estratificación invertida | | Estratificación |
| | Dirección y buzamiento aproximado (30-60) | | Dirección y buzamiento aproximado (0-30) |
| | Manantiales o fuentes | | Mina inactiva |
| | Cantera activa | | |



Área de Sistemas de Información Geocientífica

Escala 1:50.000



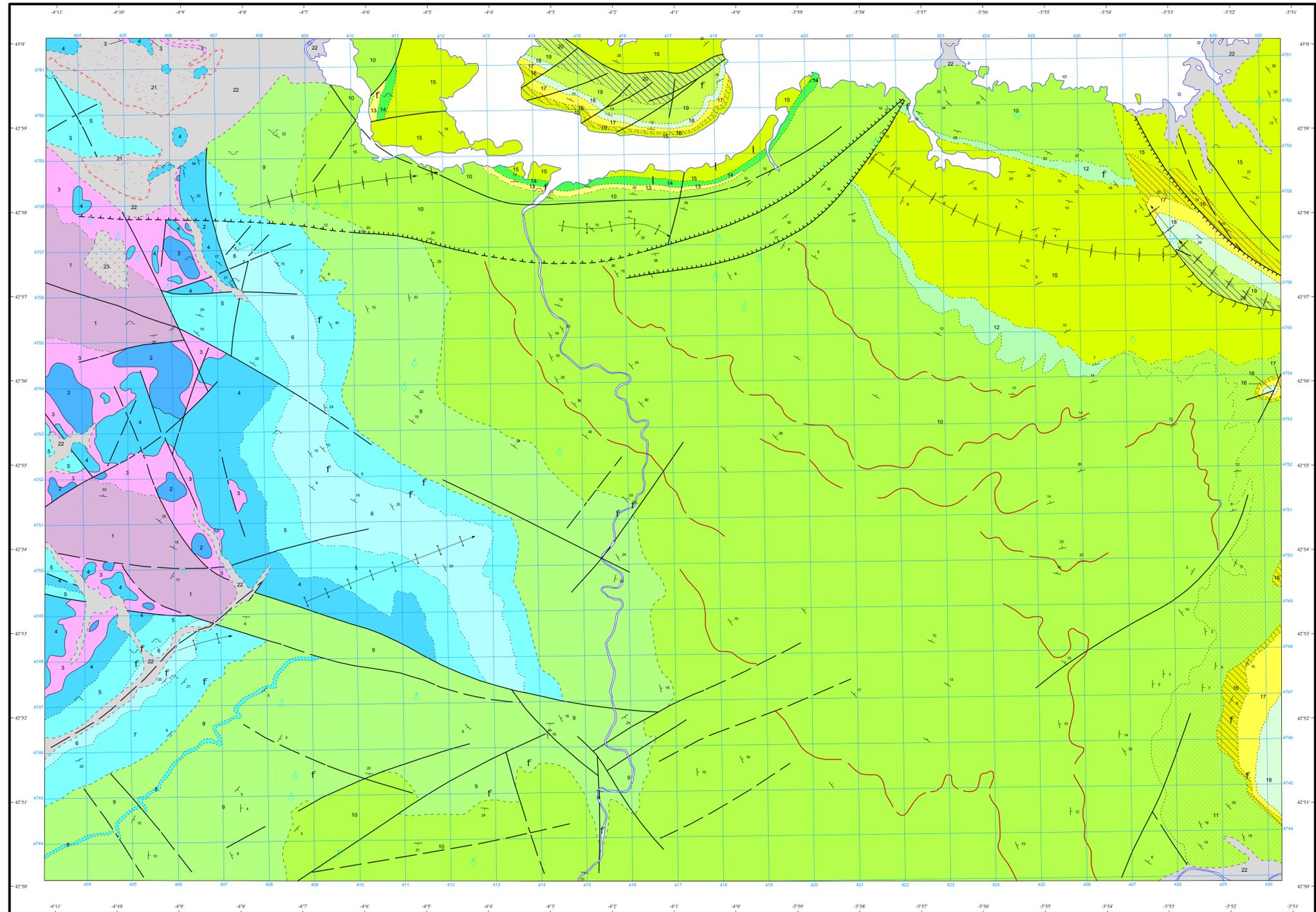
Proyección y Cuadrícula UTM, Elipsoide Internacional, Huso 30

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E.
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1974

Autores: Carreras Suárez, F. J. (CGS)
Portero García, J. M. (CGS)
del Olmo Zamora, P. (CGS)
Ramírez del Pozo, J. (CGS)
Aguilar Tomás, M. J. (CGS)
Dirección y supervisión: Tosal Suárez, J. Mª. (IGME)

LEYENDA

| | | | | | | |
|---------------|-------------------|------------------|----------|----|--|---|
| CUATERNARIO | HOLOCENO | | 22 | 28 | 23 Coluvial | |
| | PLEISTOCENO | | 21 | | 22 Terrazas de bolos y gravas | |
| CRETÁCICO | SUPERIOR | SANTONIENSE | 20 | | 19 Calcarentitas y dolomías (techo) y margas blancuecinas (base) | |
| | | MEDIO | 19 | | 18 Calizas, calcarenitas y dolomías | |
| | | INFERIOR | 17 | | 17 Margas gris-blancuecinas y calizas arcillosas | |
| | SUPERIOR | TURONIENSE | 18 | | 16 Calcarentitas con Orbitolinas. Intercalaciones de areniscas y margas | |
| | | MEDIO | 14 | | 15 Arenas y areniscas con estratificación cruzada | |
| | | INFERIOR | 13 | | 14 Alternancia de arcillas, arenas y lechos carbonosos (facies parálisis) | |
| | INFERIOR | CENOMANIENSE | 12 | | 13 Calizas con Rudistas y Ostreoides. Intercalaciones de margas | |
| | | MEDIO | 11 | | 12 Areniscas calcáreas con Ostreoides, arcillas y arenas. Restos carbonosos | |
| | | INFERIOR | 10 | | 11 Arenas blanco amarillentas y areniscas. Raras intercalaciones arcillas versicolores | |
| | INFERIOR | ALBIENSE | SUPERIOR | 15 | | 10 Areniscas y arcillas limolíticas |
| | | | MEDIO | 11 | | 9 Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas. Areniscas calcáreas y/o calizas arenosas con Ostreoides a techo |
| | | | INFERIOR | 8 | | 8 Nivel guía de calizas lacustres |
| APTIENSE | | CLANSAY. | 14 | | 7 Calizas microcristalinas y margas | |
| | | GARGAS. | 12 | | 6 Alternancia de calizas arcillosas y margas | |
| BARRIEMENSE | | BEDOUL. | 13 | | 5 Calizas microcristalinas | |
| | | EN F. WEALD | 10 | | 4 Carniolas, dolomías y calizas dolomíticas | |
| | | HAUTERIVIENSE | 9 | | 3 Arcillas versicolores y yesos | |
| | | VALANGINIENSE | 9 | | 2 Ollas | |
| | | BERRIASIENSE | 9 | | 1 Conglomerados, areniscas, limos y arcillas | |
| JURÁSICO | MALMPORTLANDIENSE | | 7 | | | |
| | DOGGER | | 6 | | | |
| | LIAS | TOARCIENSE | 6 | | | |
| | | PLIENSCHACHIENSE | 5 | | | |
| | | SINEMURIENSE | 5 | | | |
| | | HETTANGIENSE | 4 | | | |
| | RETHIENSE | 4 | | | | |
| | KEUPER | | 3 | | | |
| MUSCHELKALK | | 2 | | | | |
| BUNTSANDSTEIN | | 1 | | | | |



SIMBOLOS CONVENCIONALES

| | | | |
|-----------|---|-----------|---|
| ----- | Contacto concordante | ----- | Contacto concordante supuesto |
| - - - - - | Contacto discordante | - - - - - | Contacto discordante supuesto |
| ===== | Contacto mecánico | ----- | Límite de terraza |
| ----- | Falla conocida | ----- | Falla supuesta |
| ----- | Falla con indicación de hundimiento | ----- | Falla con indicación de hundimiento sup. |
| ----- | Cabalgamiento conocido | ----- | Anticinal con sentido de inmersión |
| ----- | Sinclinal | ----- | Sinclinal con sentido de inmersión |
| ----- | Sinclinal con sentido de inmersión supuesto | ----- | Estratificación subvertical |
| ----- | Estratificación | ----- | Dirección y buzamiento aproximado (30-60) |
| ----- | Dirección y buzamiento aproximado (0-30) | f | Fósiles (en general) |
| ----- | Manantiales o fuentes | ----- | Sondeo |
| ----- | Mina inactiva | ----- | Cantera activa |
| ----- | Cantera inactiva | | |

Área de Sistemas de Información Geocientífica

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1974
Autores: del Olmo Zamora, P. (C.G.S.)
Ramírez del Pozo, J. (C.G.S.)
Dirección y supervisión: Tosal Suárez, J. M. (IGME)

Escala 1:50.000



Proyección y Cuadrícula UTM. Elipsoide Internacional. Huso 30

3.12. Geotecnia

Apoyándose en los datos del estudio de hundimiento de uno de los tramos del Puente Noguero y los diferentes proyectos de indemnizaciones se pueden simplificar en las siguientes formaciones:

- Arenas en bancos de gran espesor, de gran calidad y explotadas actualmente por su calidad por diferentes empresas industriales como Sibelco Minerales. Se explotan mediante dragas como las utilizadas en los dragados de la Bahía de Santander.
- Arcillas fangosas de malas características en las cercanías del cauce del Rio Virgo y su llanura de inundación más cercana.
- Arcillas solas, así como mezcladas con facies y otras formaciones arenosas y turbosas.
- Guijos arrastrados por los deshielos de diámetros nominales diferentes.
- Turbas de gran calidad con espesor de hasta 1.5 metros.
- Calizas Kársticas y Areniscas a profundidades que pueden oscilar entre los 30 y 50 metros como soporte.

Los datos reales de los sondeos realizados durante el Estudio de Hundimiento de uno de sus tramos son propiedad de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

No obstante para el cálculo de la cimentación de la estructura se utilizarán los datos geotécnicos de las formaciones anteriores arenosas fangosas, tomando los peores valores de las tablas de la Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera así como otros datos de libros de ingeniería de puentes como el libro de Puentes "Apuntes para su diseño calculo y construcción" de Javier Manterola en su Tomo II en el capítulo 13 Pilas Apoyos y Cimentaciones. En las Imágenes 3.44. y 3.45. se muestran tablas resumen de los datos.

| TIPO DE SUELO | Módulo de elasticidad E(kp/cm ²) | Coefficiente de balasto Placa de 1 pie ² K _s (kp/cm ³) |
|--|--|--|
| ** Suelo fangoso | 11,00 a 33,00 | 0,50 a 1,50 |
| * Arena seca o húmeda, suelta (N _{SPT} de 3 a 9) | 0,16H a 0,48H | 1,20 a 3,60 |
| * Arena seca o húmeda, media (N _{SPT} de 9 a 30) | 0,48H a 1,60H | 3,60 a 12,00 |
| * Arena seca o húmeda, densa (N _{SPT} de 30 a 50) | 1,60H a 3,20H | 12,00 a 24,00 |
| * Grava fina con arena fina | 1,07H a 1,33H | 8,00 a 10,00 |
| * Grava media con arena fina | 1,33H a 1,60H | 10,00 a 12,00 |
| * Grava media con arena gruesa | 1,60H a 2,00H | 12,00 a 15,00 |
| * Grava gruesa con arena gruesa | 2,00H a 2,66H | 15,00 a 20,00 |
| * Grava gruesa firmemente estratificada | 2,66H a 5,32H | 20,00 a 40,00 |
| ** Arcilla blanda (q _u entre 0,25 a 0,50 kp/cm ²) | 15 a 30 | 0,65 a 1,30 |
| ** Arcilla media (q _u entre 0,50 a 2,00 kp/cm ²) | 30 a 90 | 1,30 a 4,00 |
| ** Arcilla compacta (q _u entre 2,00 a 4,00 kp/cm ²) | 90 a 180 | 4,00 a 8,00 |
| Arcilla margosa dura (q _u entre 4,00 a 10,00 kp/cm ²) | 180 a 480 | 8,00 a 21,00 |
| Marga arenosa rígida | 480a 1000 | 21,00 a 44,00 |
| Arena de miga y toско | 500a 2500 | 22 a 110 |
| Marga | 500 a 50000 | 22 a 2200 |
| Caliza margosa alterada | 3500 a 5000 | 150 a 220 |
| Caliza sana | 20000 a 800000 | 885 a 36000 |
| Granito meteorizado | 700 a 200000 | 30 a 9000 |
| Granito sano | 40000 a 800000 | 1700 a 3600 |

Imagen 3.44. Tabla 13.4.1 Valores del módulo de elasticidad E y coeficiente de balasto K_s FUENTE: Puentes: Apuntes para su diseño calculo y construcción

| TIPO DE SUELO | | PESO ESPECÍFICO SECO (kN/m ³) | COHESIÓN EFECTIVA c' (kPa) | ÁNGULO DE ROZAMIENTO EFECTIVO ϕ' (°) | MÓDULO DE DEFORMACIÓN E _d (MPa) |
|--|--|---|----------------------------|---|--|
| Tierra vegetal |  | * | * | * | * |
| Coluviones |  | 15-22 | 0-10 | 20-40 | 20-100 |
| Acarreos fluviales |  | 17-22 | 0-10 | 25-40 | 20-50 |
| Gravas |  | 17-22 | 0 | 25-40 | 20-50 |
| Arenas |  | 16-20 | 0 | 30-35 | 10-30 |
| Limos |  | 12-18 | 0-10 | 25-30 | 5-20 |
| Arcillas normalmente consolidadas |  | 11-16 | 0-10 | 15-25 | 1-20 |
| Suelos fangosos y turbas |  | 5-10 | 0 | 10-20 | 0,1-1 |
| Vertidos artificiales |  | * | * | * | * |
| Roca alterada con indicación del grado de alteración (tabla 3.3) |  | 15-22 | 0-50 | 15-35 | 1-50 |

NOTAS:

- Tanto la tierra vegetal, por su probable alto contenido en materia orgánica, como los vertidos artificiales, por su posible gran heterogeneidad, no pueden clasificarse como suelos, y no es posible definir para ellos unas características geotécnicas genéricas, ni siquiera a nivel preliminar.
- Los datos se refieren a suelos normalmente consolidados y son sólo orientativos.
- Pueden encontrarse consistencias flojas de menor densidad, resistencia y módulo y también pueden darse consistencias firmes de mejores características que las indicadas.
- El peso específico relativo de las partículas de los suelos más frecuentes es próximo a $G = 2,65$, lo cual permite estimar el índice de poros a partir del peso específico seco.
- El grado de saturación de los suelos, de manera preliminar, puede suponerse igual a 100% bajo el nivel freático y comprendido entre el 80% y el 100% en suelos húmedos próximos al nivel freático.
- La consistencia de los suelos granulares suele recibir la siguiente calificación en función de su resistencia en el ensayo SPT.

Imagen 3.45. Tabla 3.2 Denominaciones usuales, símbolos y características preliminares para los suelos y las rocas alteradas FUENTE :Guía de Cimentaciones

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

4.1. Introducción

El siguiente apartado tiene como objeto realizar un análisis multicriterio para comparar las diferentes alternativas y elegir la tipología óptima para el presente proyecto, Nuevo Puente Nogueroles o Puente de la Virga sobre el embalse del Ebro. Dicho puente conectará las poblaciones de Arijia (Burgos) y La Población (Cantabria).

4.2. Explicación Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio es un instrumento utilizado para evaluar y comparar soluciones de un determinado problema. Es utilizado ampliamente, y no solo es referente a la ingeniería, sino para apoyar la toma de decisiones frente a un problema y las posibles soluciones.

Se realiza considerando una serie de criterios a los cuales se les asigna un peso (1 al 5), para seguidamente para cada una de las soluciones posibles puntuar objetivamente respecto a los criterios dados. Consiguiendo así tras el proceso y conteo de puntos la mejor solución posible.

4.3. Criterios

Los criterios como base del análisis multicriterio son los siguientes:

- Económico: se pretende conseguir la mejor alternativa económica al tratarse de una zona de poca población y que a la vez la que obtenga el mayor beneficio económico. Analizando tanto los costes como los beneficios
- Ambiental: en cuanto al encuadre de la estructura en el medio, tanto su construcción, como el impacto durante su vida útil.
- Potencial a la zona: es un criterio bastante amplio que se refiere a la posibilidad de un aumento del turismo (aumento turismo), económico (nuevas empresas, trabajo), poblacional (debida a economía) etc.
- Cumplimiento indemnizaciones: se debe de cumplir con las indemnizaciones prometidas por la construcción del embalse y la posterior ruina del Antiguo Puente Nogueroles. La alternativa elegida debe de cumplir las funciones del antiguo puente.
- Funcional: en cuanto al transporte que podrá circular sobre él. Se tendrá en cuenta el tránsito de peatones y vehículos en las diferentes alternativas.
- Seguridad vial: al tratarse de un puente debe de cumplir los estándares de seguridad sobre barreras longitudinales, seguridad usuarios, visibilidad.
- Accesibilidad, debe de cumplir con los estándares de circulación para todos los usuarios.

4.3.1. Peso asignado a los criterios

Una vez nombrados los criterios a utilizar, se les debe de dar un peso según su importancia.

Los pesos se obtienen de manera cuantitativa y se utilizará una ponderación con números arábigos del 1 al 5. La tabla con los pesos se muestra en la Imagen 4.1..

| Criterios | Peso Análisis(1 a 5) |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Coste Económico | 5 |
| Beneficio Económico | 4 |
| Ambiental | 4 |
| Potencial Zona | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 3 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

Imagen 4 1. Tabla de pesos asignados a cada criterio. FUENTE: Propia

4.4. Justificación Criterios

4.4.1. Económico

Se debe de buscar una alternativa factible que pueda llevarse a cabo como colaboración entre las comunidades de Cantabria y Castilla y León. Al tratarse de una actuación de menor necesidad dentro de las comunidades, a diferencia de los que podría ser una mejora de la Autovía del Cantábrico entre Palencia – León – Aguilar o distintas actuaciones en la mejora de la entrada a la Ciudad de Santander,.

Se debe de tener en cuenta una proporción entre los usuarios que van a utilizar dicho puente y la inversión que supone. En la Imagen 4.2. se muestran los datos obtenidos del ICANE y del IGN de los posibles usuarios diarios.

| | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Poblacion de Hecho | 2187 | 1631 | 1909 | 490 | 310 | 289 | 282 | 218 | 162 |
| Poblacion de Derecho | 2234 | 1765 | 2010 | 512 | 318 | 300 | 291 | 218 | 162 |
| Hogares | 446 | 358 | 488 | 147 | 106 | 106 | 101 | 100 | 75 |

| | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Poblacion de Hecho | 524 | 545 | 629 | 474 | 361 | 317 | 293 | 267 | 270 |
| Poblacion de Derecho | 2588 | 2586 | 2368 | 1832 | 1247 | 993 | 838 | 759 | 691 |
| Hogares | 2400 | 2396 | 2315 | 1748 | 1209 | 957 | 813 | | |

Imagen 4.2. Datos de los posibles usuarios. FUENTE: Propia

EL puente daría solución a $162+691 = 853$ habitantes, de los cuales su mayoría son mayores de 40 años. La ampliación a los datos se encuentra en el apartado 3. Estudio de la zona en los apartados 3.3.Demografía y 3.5.Tráfico.

4.4.1.1. Coste Carreteras de Acceso

Para el análisis del coste de las soluciones carreteras se ha basado el estudio en los documentos de fomento, concretamente en la tabla de fomento FOM/3317/2010, para carreteras convencionales y sus enlaces. En la Imagen 4.3. se muestra la parte utilizada de la misma.

Variantes de población con características de carretera convencional. Coste de ejecución material (M€/km)

| Tipo de terreno | Orografía llana | Orografía ondulada | | Orografía accidentada o muy accidentada | |
|-----------------|-----------------|--------------------|------|---|------|
| Tipo 1 | 2,00 | 2,00 | 4,00 | 4,00 | 6,00 |
| Tipo 2 | 2,40 | 2,40 | 4,40 | 4,40 | 6,40 |

Tipos de terreno, según características geológico-geotécnicas:

Tipo 1: Sin riesgos geológico-geotécnicos aparentes.

Tipo 2: Con potenciales riesgos geológico-geotécnicos (suelos blandos, expansivos, colapsables, inestabilidades de ladera, macizos fuertemente tectonizados, afecciones hidrogeológicas...).

Imagen 4.3. Tabla perteneciente a FOM/3317/20110. FUENTE: Ministerio de Fomento

La zona de estudio corresponde a un Tipo 2 Con potenciales riesgos geológicos-geotécnicos, y en cuanto a la orografía ondulada, ya que el Valle de la Virga presenta pendientes entre el 10 y el 15 %. Luego se tomarían 4,4 Millones de € / Kilómetro.

Resultando para los casi 3 Km de acceso unos 13 millones de euros para la adecuación de las carreteras según la tabla anterior.

4.4.1.2. Coste de ejecución de puentes

Para comparar económicamente las soluciones no se realizará un presupuesto de ejecución, ya que realizar esto para cada solución requeriría gran cantidad de tiempo y detalle que no es objeto del proyecto. Además que existe la posibilidad de realizar diferentes procesos constructivos para realizar la cimentación como pueden ser:

- Hincada / lanzada mediante embarcaciones, realizando los fustes en húmedo.
- Realizando ataguías para trabajos en seco.
- Relleno de media traza del puente para trabajos en seco y traslado del relleno hacia la otra margen.

Por otro lado, y tratándose de un puente sobre un embalse, las distintas posibilidades en el proceso constructivo de las soluciones con vigas prefabricadas pueden ser:

- Izado desde embarcaciones con grandes grúas o gatos.
- Mediante cimbras auto portantes y sus útiles necesarios.
- Empuje de las vigas.

Se encuentran soluciones diversas y de gran complejidad, que tienen que llevarse a cabo mediante proyectos complementarios por la complejidad existente para ejecutarlos y el coste asociado.

No obstante, estos métodos son utilizados actualmente en la construcción de puentes en todo el mundo. Se mencionan dos ejemplos actuales llevados a cabo en España:

- Viaducto de la Arena (Vizcaya). Puente atirantado, se utilizó el método de izado para la ejecución del tablero.
- Puente de la Constitución 1812 (Cádiz) Puente de tipología mixta, se realizó izado del vano desmontable mediante embarcaciones y útiles de izado apoyados en las pilas.

4.4.1.3. Beneficio

Este apartado se basa en el estudio económico de los Beneficios económicos que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno. Dentro de los numerosos beneficios que generaría la nueva infraestructura podemos citar como principales los siguientes:

- Aumento del turismo de la zona, al existir una nueva infraestructura que cruce el embalse del Ebro se espera un aumento del turismo.
- Aumento de la industria de la zona, especialmente en Arija donde hay una empresa de extracción de arena, mejorando su comunicación.
- Nuevas posibilidades de negocio de cualquier sector, sobre todo en la zona Burgalesa por mejora del trazado hacia el principal foco poblacional que es Reinosa
- Aumento de la economía general de la zona.
- Aumento de la cobertura sanitaria en la zona Burgalesa y sur del embalse Cántabro, la mejora del trazado hacia Reinosa, en la que actualmente existe un centro sanitario por debajo de su capacidad en comparación con el centro sanitario Valdecilla de la capital de la comunidad autónoma.
- Aumento de la población a causa de los beneficios anteriores.
- Ahorros respecto al tiempo de viajes, reducción de costes mantenimiento y operación, menor número de emisiones ruido y contaminación además de menor número de accidentes.

4.4.2. Ambiental

Se trata de una zona especial al tratarse de un embalse, ya que la posible contaminación de las aguas acarrearía graves problemas en la población que se abastece de ella, siendo el embalse de cabecera de la Cuenca del Ebro. Además, por ser un punto de conexión de dos Comunidades Autónomas, y de cuatro municipios cántabros, debe cumplir todos los requerimientos ambientales pertinentes. También se atraviesa la zona de protección de aves (ZEPA) de especial importancia que se muestra en la Imagen 4.4..

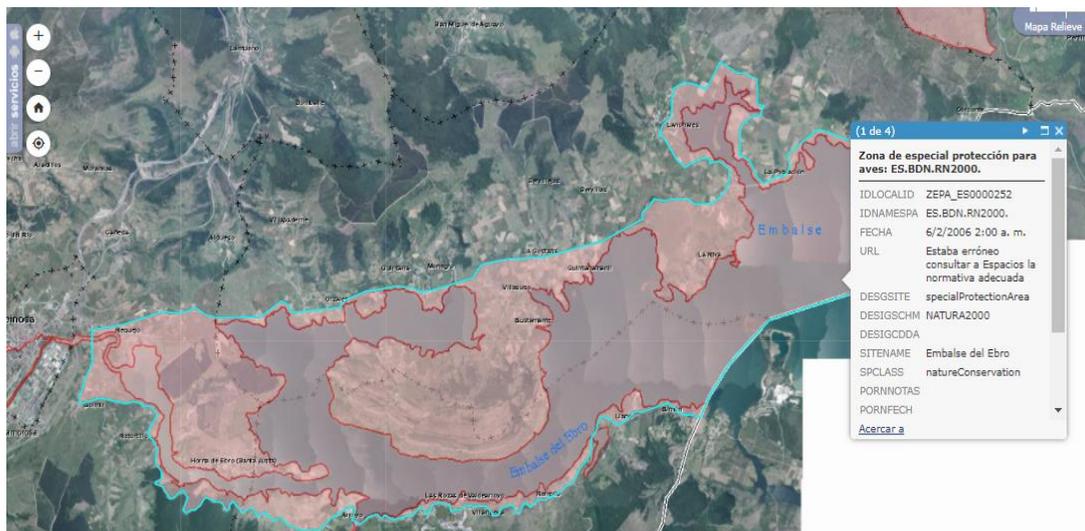


Imagen 4.4. Zona de especial protección para aves, ZEPA. FUENTE: Mapas Cantabria

Por lo que debe tenerse en cuenta la contaminación por el tránsito de los vehículos por una zona de emigración y cría de aves.

Además, el embalse del Ebro también pertenece a:

- RED Natura 2000. Área de Conservación de la Biodiversidad, siendo la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA).
- Red de Espacios Naturales Protegidos de Cantabria (la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza).

Luego el peso de los criterios se ve condicionado por el tránsito de vehículos o no, siendo este último de peor puntuación por ser una alternativa menos ambiental.

4.4.3. Aumento potencial de la zona

Además de tratarse de una indemnización, la conexión entre los dos márgenes tiene un potencial social y económico en la zona.

Se ha establecido una puntuación fija máxima ya que se trata de una alternativa constructiva, ya que el beneficio no depende de que clase de usuarios puedan utilizar la infraestructura, ya que en todas las alternativas, incluso en la pasarela peatonal se debe diseñar para que pueda circular sobre ella un vehículo pesado, ya sea de mantenimiento, sanitario o de otras actividades secundarias.

4.4.4. Cumplimiento indemnizaciones

EL antiguo puente Nogueroles unía las márgenes antes comunicadas como se menciona en el apartado 2. Estudio Antigua Puente Nogueroles y 3. Estudio de la Zona.

Dentro de las citadas obras de indemnización (Véase 2.3. Justificación Indemnización) algunas es un derecho para los habitantes de la zona la recuperación de esta infraestructura que lleva en ruina 60 años aproximadamente. En la Imagen 4.5. se observa una foto del Antigua Puente Nogueroles aun en pie.



Imagen 4.5. Vista Puente Nogueroles desde la Margen Cántabra. FUENTE: Google Images

4.4.5. Funcional

Debe de cumplir ciertas funciones tanto estéticas, estructurales y éticas, además de cumplir para la función que está diseñado.

Se tendrán en cuenta las tres posibilidades

- Paso de vehículos.
- Paso de peatones.
- Paso mixto (vehículos y peatones).

4.4.6. Seguridad Vial

Se deben de cumplir las especificaciones de seguridad vigentes, tanto de los trazados como en planta, así como los elementos de seguridad longitudinal necesarios basándose en:

- Ley de Seguridad Vial, el Reglamento General de Circulación, el Reglamento General de Conductores, el Reglamento General de Vehículos.
- Orden Circular 35/2014 Sobre Criterios De Aplicación De Sistemas De Contención De Vehículos.

Se le debe de dar una importancia alta debido a que si un vehículo logra atravesar las barreras de seguridad caería en un embalse dificultando el rescate inmediato.

4.4.7. Accesibilidad

La accesibilidad presenta especial importancia debido al envejecimiento de la población y los estándares actuales de accesibilidad. Teniendo que ser esta nueva infraestructura accesible para todos los usuarios. No existe normativa de accesibilidad propia de puentes, pero pueden tomarse algunos de los estándares utilizados en el CTE DB-SUA (Código Técnico de la Edificación Seguridad de utilización y accesibilidad).

4.5. Soluciones y alternativas estudiadas

Las diferentes alternativas y soluciones que se han valorado son las siguientes:

- **ALTERNATIVA 0.1:** Situación actual, ningún tipo de actuación (Últimos 60 años).
- **ALTERNATIVA 0.2:** Se estudiará como si el antiguo Puente Nogueroles aun siguiera en pie, se analizará económicamente su mantenimiento y los cambios requeridos por condiciones de seguridad. También se estudiará la ficticia circulación de la infraestructura. Como es evidente esta alternativa no podrá ser la elegida por no ser posible, pero se estudiará de manera anecdótica y para hacer hincapié en la rehabilitación del puente.
- **ALTERNATIVA 1:** Construcción de un puente carretero de 950 metros de longitud estudiando distinta tipologías (vigas isostáticas o atirantado). Incluyendo un tramo de 2800

metros de carretera en total en ambos estribos para la unión con las carreteras autonómicas CA-171 y la BU-V 6424 respectivamente. En estas últimas se deberán hacer diferentes actuaciones.

- **ALTERNATIVA 1.1:** Puente carretero de tipología vigas prefabricadas doble T isostáticas de 30 metros de luz, aparatos de apoyo elastómeros y subestructura y cimentación de hormigón armado.
- **ALTERNATIVA 1.2:** Puente carretero de tipología atirantado formado por tres vanos uno central y dos de acompañamiento con luces aproximadas de 650 y 150 respectivamente. Se conformaría de tirantes de acero con estructura, subestructura y cimentación de hormigón armado. La longitud de los vanos se estudiará si resulta como solución final.
- **ALTERNATIVA 2:** Construcción de una pasarela peatonal sobre el embalse de tipología de vigas isostáticas artesas o cajón de 30 metros de luz, aparatos de apoyo elastómeros y subestructura y cimentación de hormigón armado. Con un posible ensanchamiento en su zona central para ocio.
- **ALTERNATIVA 3:** Inversión en la zona ya sea en infraestructura, sanidad, cultura etc. Se abordará por ejemplo y por tratarse de un proyecto de Ingeniería, una Mejoras en las carretera CA-171, N-623 (Cantabria) y BU-643 que unen La Población y Arija respectivamente.

Una vez explicados brevemente los criterios escogidos y las alternativas, se realizará un análisis más riguroso de cada criterio para poder conseguir un análisis multicriterio real y preciso.

4.6. Alternativas Planteadas

A continuación se analizan los diferentes criterios para cada alternativa, con el fin de realizar el análisis multicriterio.

4.6.1. Alternativa 0.1. Ningún tipo de Actuación

En esta alternativa se mantiene el estado actual con las márgenes incomunicadas, no se cumple el criterio de indemnización ni el económico-coste con puntuación máxima por tener coste nulo. El resto de criterios carecen de sentido por lo que toman el menor valor posible 1.

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 1 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 1 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 1 |
| Funcional | 1 |
| Seguridad Vial | 1 |
| Accesibilidad | 1 |

4.6.2. Alternativa 0.2 Puente Nogueroles en pie

4.6.2.1. Criterio económico

El presupuesto de ejecución por la administración asociado al Proyecto 2º Reformado fue de 6.758.976,45 pesetas que equivaldrían aproximadamente a 21 millones de € (Con factor de conversión de 3.2 €/antigua peseta).

Los costes a estudiar se componen principalmente del mantenimiento del puente, y el gasto para adaptarlo a las condiciones de seguridad necesarias pudiéndose hipotéticamente realizado unas actuaciones como:

- Retirada de pretil de hormigón
- Nuevos pretils metálicos
- Ampliación de la plataforma con voladizos
- Adecuación para añadir carril para peatones

No se tendrá en cuenta ninguna actuación en la mejora del puente anteriormente mencionadas ya que serían ficticias y sin valor alguno, solo se tiene en cuenta un mantenimiento estricto.

Para estimar el mantenimiento del puente se ha utilizado la tabla contenida en la Imagen 4.6. de la consultora INES.

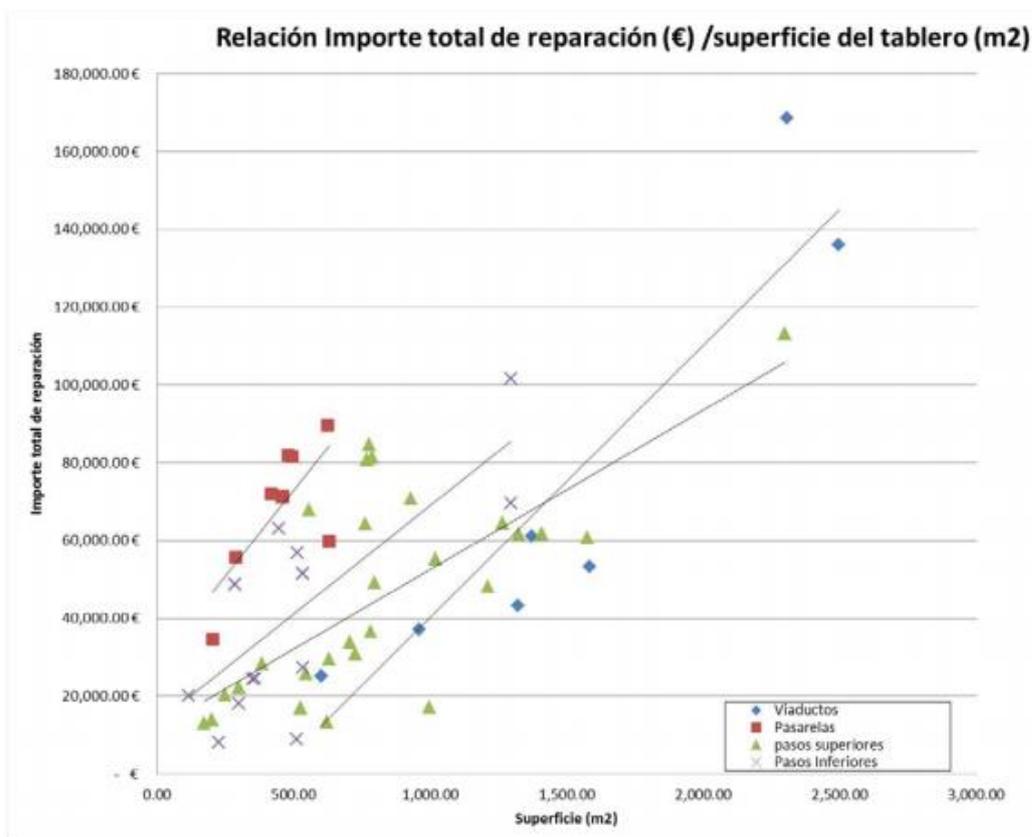


Imagen 4.6. Gráfico Precio medio de rehabilitaciones en pasarelas y puentes existentes.FUENTE: consultora INE [Shttps://ines.es/es/](https://ines.es/es/)

Teniendo el puente una edad de 64 años y realizándolo una rehabilitación cada 20 años.

El presupuesto alcanzaría los 900.000 € que sería incluso un coste asociado bajo para la rehabilitación del Puente Noguero por estar sobre un embalse (presencia constante de agua), su longitud y la climatología (posibles grietas por heladas).

4.6.2.2. Criterios Ambiental y Funcional

Dentro de las posibilidades del Puente Noguero en pie, y a la vista de sus características, estas podrían haber sido:

Puente Carretero

Circularían coches en los dos sentidos con una anchura total de 6 metros menos 0,5 metros de aceras y barreras longitudinales y carriles de 2,5 metros por sentido. Con dos pequeñas aceras sin protección longitudinal acera-carriles. Teniendo poca seguridad en la circulación de peatones y vehículos, como se puede ver en la Imagen 4.7.

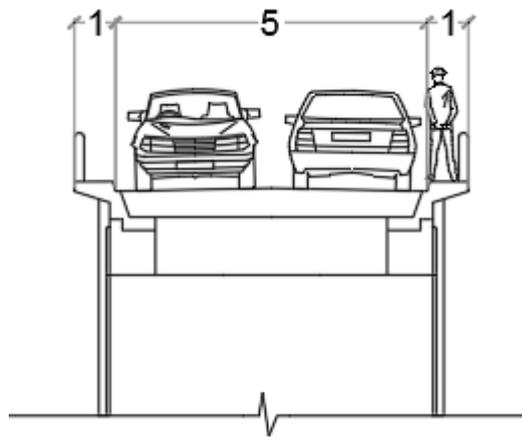


Imagen 4.7. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Acotando los carriles y el tránsito de peatones.
FUENTE: Propia

La circulación sobre la infraestructura sería la misma que la existente en algunos puentes del Canal de Castilla diseñados para el tránsito de personas, jinetes y carros con 5 metros de anchura. Además de los diferentes puentes carreteros ejecutados durante las indemnizaciones. En la Imagen 4.8. se puede observar un ejemplo de los citados, un puente sobre el canal de Castilla en la ciudad de Palencia.



Imagen 4.8. Puente mampostero de piedra sobre el Canal de Castilla en Palencia. FUENTE: Google Maps

Pasarela Peatonal

Se hubieran adecuado los accesos para peatones y se circularía libremente por toda su anchura. Permitiendo el tránsito de peatones, jinetes, carros y ciclistas como se puede observar en la Imagen 4.9..

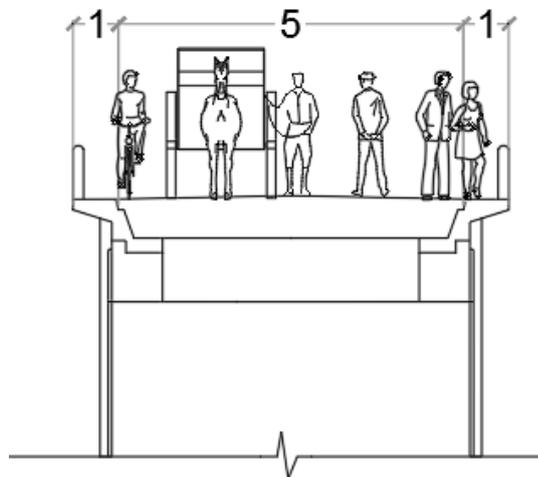


Imagen 4.9. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Puente Noguero Reconvertido en Pasarela Peatonal. FUENTE: Propia

Solución Mixta

Tránsito en ambos sentidos, pero con un solo carril de circulación de 3 metros de anchura. Se realizaría mediante señalización vertical luminosa con un trazado de 950 metros de longitud, a una velocidad de 50 Km/h se tardarían 1,25 minutos en atravesarlo, teniendo en cuenta que los vehículos se acumulan se podría llegar a 3-4 minutos por sentido para que 5 coches pudieran atravesarlo en condiciones de seguridad. Esta solución se puede encontrar en los pasos de pequeños pueblos con mucha afluencia de turismo como puede ser en Liérganes, en

las carreteras autonómicas CA 160 y 162 a su paso por Liérganes. En la Imagen 4.10. se muestra un ejemplo de esta tipología de puente.

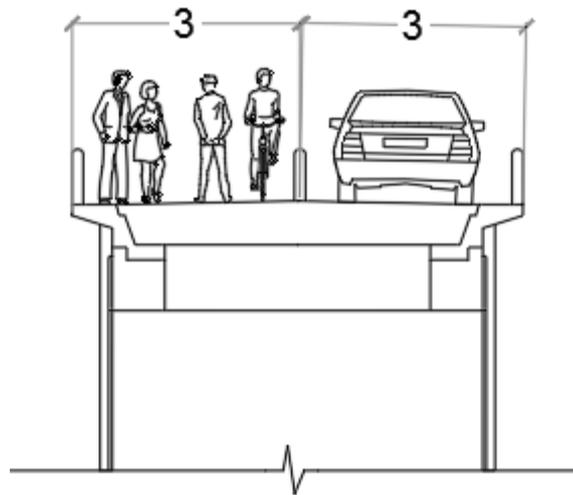


Imagen 4.10. Sección Transversal por Estribo del Antiguo Puente Noguero. Puente Noguero Reconvertido en Puente Mixto. FUENTE: Propia

De modo que el Puente Noguero como medio de conexión entre márgenes hubiera tenido varias alternativas para reformarlo pudiendo ser funcional actualmente y de gran valor para la zona.

Cabe mencionar que el Puente de Arija siendo obra de indemnización del Embalse del Ebro y que fue diseñado para el tráfico ferroviario, sigue cumpliendo su función siendo de gran utilidad para la zona y de características similares (cambia el rebaje de los arcos) que el puente Noguero

4.6.2.3. Tabla final

Las puntuaciones podrían cambiar en función de la solución adoptada del tablero, se tomará el Puente Noguero original con circulaciones de vehículos en doble sentido.

| Criterios | Puntuación |
|-------------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 3 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 4 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 3 |
| Seguridad Vial | 3 |
| Accesibilidad | 1 |

4.6.3. Alternativa 1.1. Puente Carretero de Vigas Isostáticas

4.6.3.1 Criterio económico

No se realizará ningún presupuesto cualitativo como se mencionó anteriormente, pero se tiene en cuenta que la solución de vigas isostáticas tiene un menor coste que la solución atirantada.

No obstante, se exponen los capítulos en los que se dividiría el presupuesto y que serviría de base para cualquiera de las soluciones de nueva infraestructura planteada.

Capítulo 1: Trabajos Previos, Explanaciones y Expropiaciones

Capítulo 2: Drenaje

Capítulo 3: Firmes y pavimentos

Capítulo 4: Estructura

Capítulo 5 Elementos de seguridad y defensa de las obras

Capítulo 6 Iluminación

Capítulo 7: Protección e integración ambiental

Capítulo 8: Seguimiento arqueológico

Capítulo 9 Partidas Alzadas

Capítulo 10 Seguridad y salud

Capítulo 11 Gestión de residuos de construcción y demolición

Capítulo 12: Conservación de la obra durante el periodo de garantía

4.6.3.2. Criterio ambiental y funcional

Al tratarse de una solución de puente carretero y con una IMD esperada de 266 con un 23% de vehículos pesados, sería una solución menos ambiental por la expulsión de gases contaminantes procedentes de la combustión de los vehículos en zonas de biodiversidad protegida.

Entendiendo además que todas las alternativas de nueva construcción conllevan una afección al vaso del embalse, al agua y la biodiversidad acuática (algas y peces principalmente).

En ambas alternativas de puente carretero la sección transversal se compondrá de dos carriles de 3,5 metros uno por sentido de circulación y sendas aceras a ambos lados de 2,5 metros, más una separación carretera-acera de 0,5 metros. Teniendo una anchura total de 13 metros.

En la siguiente Imagen 4.11. se puede ver un recorte de la sección transversal de un puente real, siendo la misma que la planteada en esta alternativa y en la Imagen 4.12. una ampliación de la viga doble T que forman la estructura.

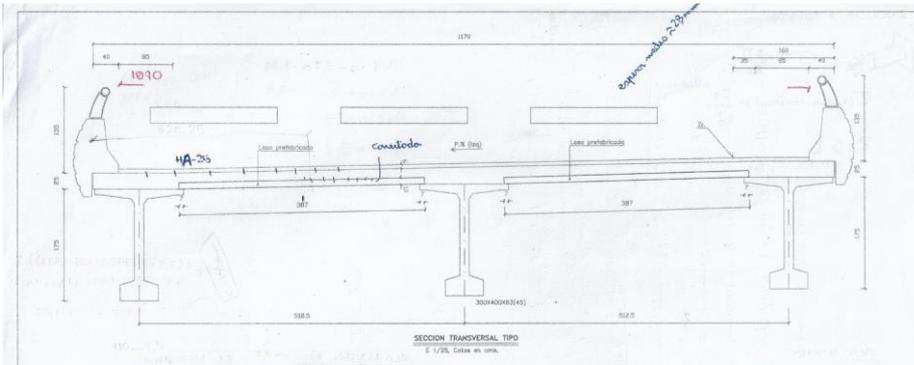


Imagen 4.11 Sección Transversal de un puente real de vigas isostáticas con 13 metros de ancho. FUENTE: Apuntes UC

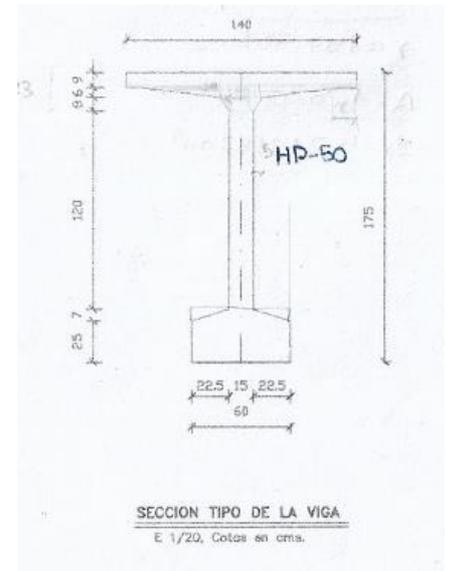


Imagen 4.12. Viga doble T con medidas. FUENTE: Apuntes UC

4.6.3.3. Seguridad Vial y Accesibilidad

La nueva infraestructura y sus accesos deben tener los estándares de seguridad de circulación tanto de vehículos como de personas. Teniendo todas las soluciones de nueva infraestructura los estándares actuales.

Respecto a la accesibilidad se deberán cumplir los estándares respecto a las pendientes, escaleras, pasos entre vehículos-peatones etc. Siendo de nueva construcción de la máxima puntuación posible

4.6.3.4. Tabla Final

El resto de las puntuaciones quedan justificadas con la explicación de los criterios y el estudio de la zona. Se expondrá a continuación la tabla final de la alternativa 1.1

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 3 |
| Económico - Beneficio | 4 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 4 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 4 |

4.6.4. Alternativa 1.2. Puente Carretero Atirantado

Basándose en los costes y puntuaciones de la alternativa anterior la tipología de puente atirantado tendría un coste asociado mayor. El resto de criterios tomara los mismos valores. La tabla final se expone a continuación.

| Criterios | Puntuación |
|-------------------------------------|-------------------|
| Económico - Coste | 2 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 3 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 4 |

4.6.5. Alternativa 2. Pasarela peatonal de vigas isostáticas

4.6.5.1 Criterio económico Coste

El coste económico será menor respecto a las alternativas carreteras debido a un motivo principal, el ancho del tablero, que pasará de 13 metros de la solución carretera a 6 metros de la pasarela peatonal. Reduciéndose en consecuencia el resto de la estructura anchura en pilas, y estribos, además de un menor número de pilotes.

4.6.5.2 Criterio Económico- Beneficio

Se entiende que la solución como pasarela peatonal genera un importante beneficio en la zona de estudio. Siendo los mayores factores del beneficio el turismo con la mejora de la economía y la solución mixta con una gran mejora en la accesibilidad al servicio sanitario, sobre todo para la zona sur del Embalse más concretamente a Arija y la zona Burgalesa.

4.6.5.2 Ambiental

El tráfico habitual de la pasarela se componga de peatones, ciclistas y jinetes con paso esporádico de vehículos pesados por mantenimiento, sanitarios y otras actividades secundarias.

Es por esto que esta alternativa tendrá una mejor puntuación en el aspecto ambiental respecto a las soluciones carreteras por ser una solución con menor número de emisiones contaminación y ruido que afectarían a las aves de la zona protegida ZEPA.

4.6.5.3 Funcional

Se ha mencionado la circulación sobre la nueva infraestructura como una solución al tráfico mixto en ocasiones excepcionales. La pasarela se compondrá de 6 metros de anchura divididos en:

- 3 metros al tránsito de ciclistas y vehículos pesados en circunstancias especiales.
- 3 metros para el tránsito libre de peatones.
- Menos las anchuras necesarias para colocar las protecciones longitudinales.

Se realizará una pequeña separación entre los carriles debido a un pequeño bordillo prefabricado de aproximadamente 10 centímetros, para marcar la zona de circulación.

Esta solución es válida debido a la escasa población de la zona, presentado la pasarela en días laborales poca circulación aprovechándose para la circulación de vehículos sanitarios y otros vehículos de mantenimiento o por circunstancias especiales. Entendiendo que las condiciones de seguridad no se ven altamente afectadas por el tránsito de estos vehículos sanitarios por ser profesionales titulados y por ser el trazado prácticamente recto. En las Imágenes 4.13 y 4.14 se observan ejemplos de esta alternativa.

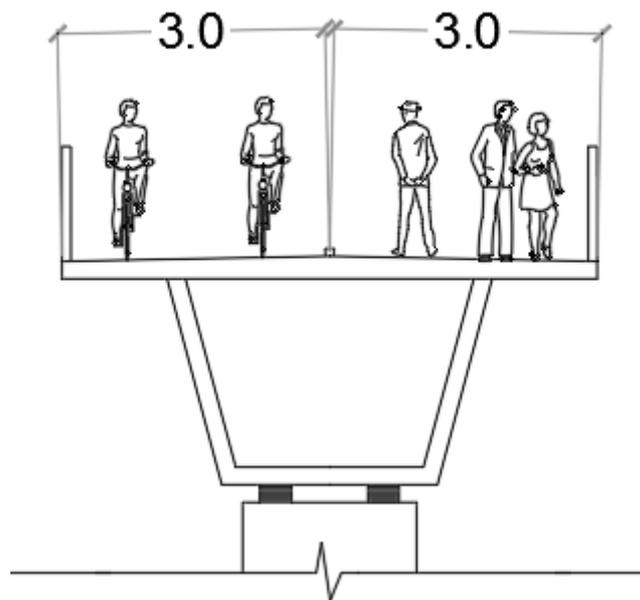


Imagen 4.13. Posible Sección Transversal de Pasarela Peatonal: CASO Ocasión Normal. FUENTE: Propia

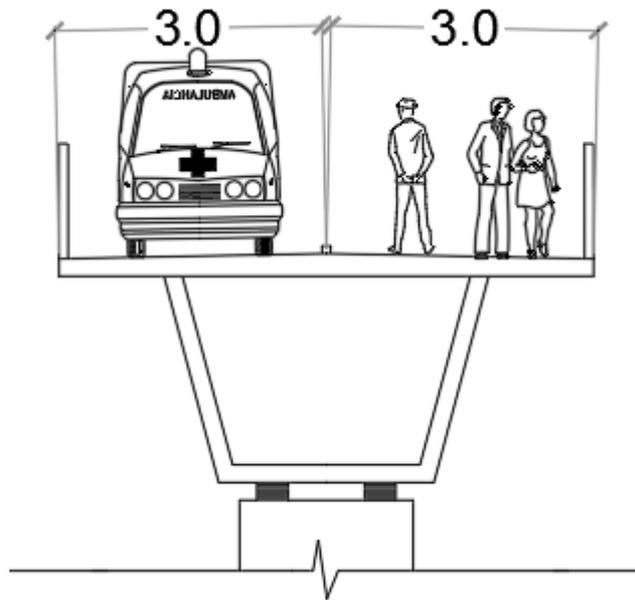


Imagen 4.14. Posible Sección Transversal de Pasarela Peatonal: CASO Ocasión Excepcional. FUENTE: Propia

Luego tendrá la misma puntuación que las soluciones carreteras.

4.6.5.4. Seguridad Vial y Accesibilidad

Al tratarse de una solución de pasarela peatonal la seguridad en la infraestructura será mayor, ya que solo circularían vehículos esporádicamente, ocupando los peatones y ciclistas toda la anchura del tablero. Se plantearía la posibilidad de unir la pasarela como un paseo, en el que se realizarían dos pequeños parkings en cada estribo para atravesar el embalse a pie de una margen a otra como se hacía antaño.

Las características de los accesos se pueden ver en el estudio del Antiguo Puente Noguerol, existiendo actualmente zonas donde estacionamiento de vehículos en ambos estribos.

4.6.5.4. Tabla Final

La tabla final de la alternativa es la de la tabla siguiente:

| Crterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 5 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 5 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 |
| Funcional | 4 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

4.6.6. Alternativa 3. Mejora del trazado que una Arija con la Población

Al tratarse de una alternativa que contempla actuaciones en ambas comunidades autónomas el coste final para cada una será menor.

Estando en todas las alternativas planteadas de nueva construcción el Puente Noguero dentro de Cantabria a escasos metros de la comunidad Burgalesa.

El resto de criterios quedan justificados con la alternativa 0.1

4.6.6.1. Funcional

Con la mejora del trazado se podría añadir un carril para ciclistas aumentando el atractivo de la zona. Esto lo podemos encontrar en el tramo que pasa por el municipio de Corconte(Cantabria) por la carretera autonomía CL-630.

4.6.6.2. Tabla final

| Criterios | Puntuación |
|------------------------------|------------|
| Económico - Coste | 5 |
| Económico - Beneficio | 3 |
| Ambiental | 5 |
| Potencial Zona | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 2 |
| Funcional | 5 |
| Seguridad Vial | 5 |
| Accesibilidad | 5 |

4.7. Tabla resumen Alternativas

| Criterios | Peso | Puntuación Alternativa | | | | | |
|------------------------------|------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 0.1 | 0.2 | 1.1 | 1.2 | 2 | 3 |
| Económico - Coste | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| Económico - Beneficio | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Ambiental | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Potencial Zona | 3 | 1 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Cumplimiento Indemnizaciones | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 |
| Funcional | 3 | 1 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Seguridad Vial | 5 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Accesibilidad | 5 | 1 | 1 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| TOTAL | | 70 | 113 | 147 | 142 | 155 | 141 |

La alternativa más favorable es la **ALTERNATIVA 2 Paralela Peatonal**

Seguida de la ALTERNATIVA 1.1. Puente Carretero de Vigas Isostáticas.

4.8. Alternativa Adoptado

Tras el anterior análisis multicriterio la alternativa favorable a resultado la Alternativa 2 Pasarela Peatonal, a continuación se muestran sus ventajas e inconvenientes.

4.8.1. Ventajas

Las ventajas que se encuentran respecto a las demás alternativas se pueden resumir en:

- Presenta un menor coste que las alternativas 1.1 y 1.2.
- Supone un beneficio para la zona por el ahorro de tiempos de viaje para los vehículos permitidos.
- Mejor alternativa ambiental en nueva infraestructura durante construcción y explotación.
- Presenta un aumento del potencial turístico de la zona, siendo el camping de Arija uno de los principales beneficiados por ser la nueva infraestructura un paso de gran longitud sobre el embalse del Ebro.
- Siendo una alternativa mixta permite el tránsito de vehículos en diversas situaciones.

4.8.2. Inconvenientes

Los inconvenientes que se encuentran son:

- Supone un desembolso importante por parte de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Siendo una zona de muy escasa población.
- No supondría un beneficio monetario por ahorros de tiempo para el ciudadano medio de Arija dirigiéndose al principal foco poblacional que es Reinosa.
- Al no existir este ahorro de viaje, se vería una merma en la posibilidad de nuevas empresas en la zona bien comunicadas con la principal infraestructura que es la autovía A-67.

4.8.3. Características principales

Como se ha mencionado anteriormente las características principales de la nueva infraestructura son:

- Vigas prefabricadas de hormigón armado de 30 metros de luz.
- Sección en U o cajón.
- Pilas de hormigón armado.
- Aparatos de apoyos de neopreno zunchado (Apoyos elastómeros).
- Cimentación profunda a base de hormigón armado.
- Curvatura en planta para salvar las pilas y pilas-estribo del antiguo Puente Noguero.

- Trazado en la cota a partir de los 840 metros, unos metros por encima del NMM en la cota 838, esto es debido a las dragas de perforación que se utilizan en el embalse, a fin de no minorar la industria y economía de la zona.

4.8.4. Conclusiones

Tras realizar el estudio multicriterio apoyándonos en el estudio de la zona y los criterios seleccionados, se puede concluir que la tipología óptima para la zona de estudio es una pasarela peatonal a base de vigas isostáticas.

En el siguiente apartado se entrará a desarrollar en profundidad esta alternativa.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1. Introducción

Como parte final del proyecto se realizará a nivel de anteproyecto la solución adoptada, siendo la estructura la solución a la ruina de la estructura anterior por un proyecto promovido por la Asociación Campurriana para la Historia del Pantano del Ebro convertido en un Trabajo Final del Máster en ICCP de la Universidad de Cantabria.

Basándose ésta en:

- Una pasarela peatonal apoyada sobre vigas prefabricadas pos tensadas de 30 metros de luz. Adoptando el nombre del páramo que salvaría, **Pasarela de la Virga**.

Se deberían ejecutar además para la adecuación completa de la estructura en la zona de estudio las siguientes obras complementarias:

- Nueva Carretera de acceso al Estribo Burgalés (Arija Estribo 1), incluyendo terraplén de acceso para formación explanada y firme además de la protección a base de escollera necesaria.
- Adecuación carretera de acceso al Estribo Cántabro (La Riva Estribo 2), incluyendo ensanche de plataforma y las expropiaciones pertinentes.
- Nuevos parkings en las inmediaciones de los accesos a la infraestructura.

5.2. Características de la estructura

5.2.1. Generalidades

La nueva estructura dará conexión a las poblaciones de Arija y La Población, y se trata de una obra de indemnización a causa del cese y ruina de la antigua estructura, el Puente Noguero.

5.2.2. Longitudinalmente

La pasarela consistirá en una sucesión de vigas prefabricadas isostáticas simplemente apoyadas en pilas mediante aparatos de apoyo elastómeros. A efectos del cálculo estructural se trata como una viga apoyada simplificando los cálculos y minorando esfuerzos.

La longitud final será un poco mayor que su predecesor, por tener cierta curvatura en planta, siendo esta curvatura de radio aproximado 1200 metros hacia aguas arriba, dicha curvatura se conseguirá mediante trabajo de campo, realizando un desfase entre las pilas y mediante vigas prefabricadas curvas. Esta curvatura será necesaria para salvar lo que quede de las pilas y pilas-estribo del Puente Noguero, así como los fragmentos de sus arcos y tableros debidos a su dinamitado, teniendo en cuenta la posible interacción entre las cimentaciones del Antiguo Puente Noguero y La Pasarela de la Virga proyectada.

La solución se conformará de la sucesión de 32 vanos con una longitud total de 1.025 metros apoyados en 31 pilas y 2 estribos. Se mantiene la ubicación del estribo de La Población por

presentar el terraplén buenas características (ver Apartado 2. Antiguo Puente Noguero). El estribo en Arija se trasladaría, además de para salvar el anterior estribo, por el nuevo trazado de acceso.

La sección longitudinal de la traza se puede ver en el apartado correspondiente de planos, siendo la misma que la obtenida para el estudio del Antiguo Puente Noguero y que se explica la realización en el Estudio de la Zona.

La elección de la protección longitudinal se basará en dos criterios para su diseño:

- Estético. Se plantearía una protección longitudinal única conformada de tubos de acero realizando la forma del antiguo Puente Noguero. En la Imagen 5.1. se muestra un ejemplo de la posible protección longitudinal.

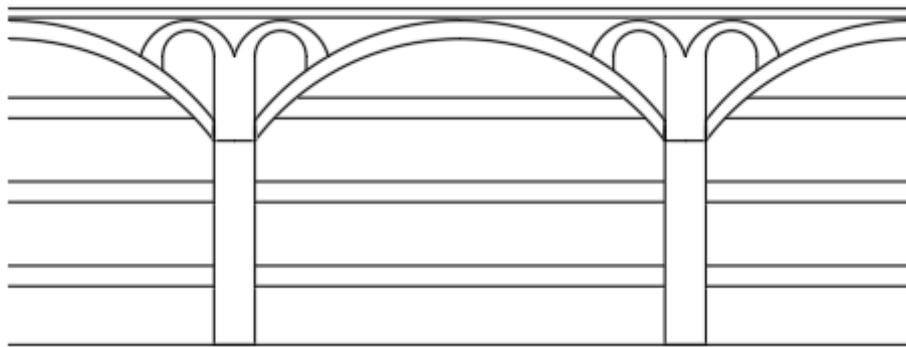


Imagen 5.1. Posible Protección Longitudinal para la Pasarela de la Virga. FUENTE: Propia

- Seguridad Vial. Al poder circular en diversas situaciones tráfico rodado y al atravesar un embalse con la dificultad de un rescate inmediato. Se diseñaría con la Orden Circular 35/2914 para criterios de aplicación con la IMD recalculada y la anchura necesaria para disponer dicha barrera.

La protección longitudinal se resolvería como solución mixta que cumpliera simultáneamente ambos criterios.

5.2.3. Transversalmente

El ancho de la plataforma viene dado por la sección transversal de la viga prefabricada artesana y la losa hormigonada in situ. Dicha sección transversal está compuesta por dos calzadas diferenciadas de 3 metros una para el tráfico mixto ciclistas vehículos pesados y la otra para el tránsito libre de peatones

Para el diseño del carril bici-vehículos se utilizará las siguientes normativas:

- MANUAL DE RECOMENDACIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INFRAESTRUCTURA, SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO, CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CARRIL BICI. (Madrid, Ministerio del Interior, DGT, 2000).
- Instrucción de Carreteras Norma de Trazado 3.1-IC.

- En dicho manual se indica que la anchura necesaria para circulación bidireccional son 2 metros. No obstante, y por el posible tránsito de vehículos pesados. Se ampliará a 3 metros de anchura quedando la zona destinada para el tránsito de bicicletas y vehículos pesados, quedando para el tránsito de peatones 3 metros con circulación bidireccional menos lo necesario para colocar las protecciones longitudinales Siendo en estas circunstancias especiales donde quedaría la suficiente anchura para que circule con una seguridad aceptable. En la Imagen 5.2. se muestra un esquema de la anchura del carril bici.

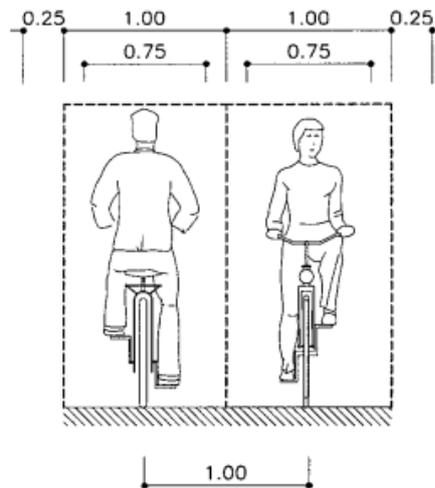


Imagen 5. 2. Anchuras para carril bici con doble sentido de circulación FUENTE: Propia

5.2.4. Geometría de la Viga Sección Artesa o Cajón

Se tomará una viga prefabricada para postensado de una casa comercial para conocer las medidas reales. A continuación, se mostrarán diferentes secciones y sus casas comerciales correspondientes, que se utilizarán para realizar la pasarela que nos ocupa. Se abordan a la vez las dos vigas ya que en la artesa se hormigonará la losa convirtiéndola en una sección cajón, con la salvedad que el hormigón se realiza en obra y no en el taller de prefabricados. Las vigas artesas se podrían obtener de la siguiente empresa ubicada en las cercanías, tomando los valores de la segunda por ofrecer más datos.

- RUBIERA BURGOS S.A. Catálogo vigas prefabricadas: Imagen 5. 3..

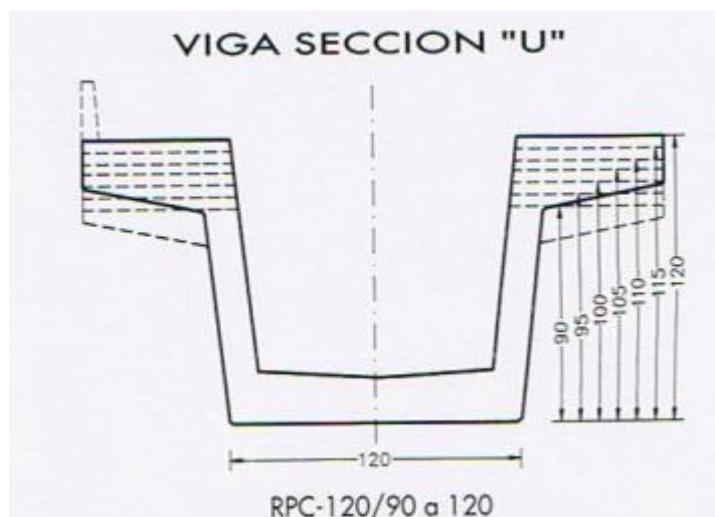
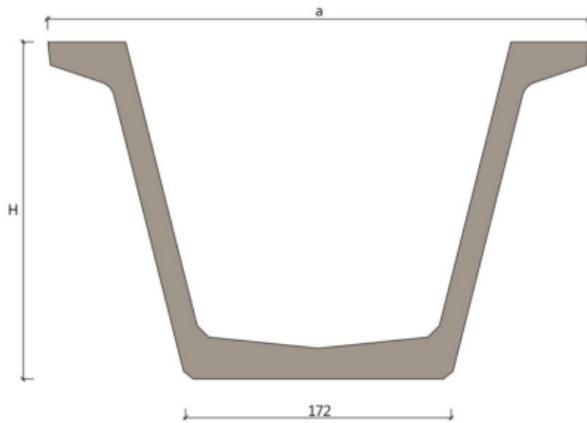


Imagen 5.3. Viga Sección U FUENTE Catalogo Rubiera Burgos

- PRETHOR: Catálogo de Productos: Imagen 5.4.

Vigas Artesa U girders



| VA-100 / VA-260 | | |
|-----------------|------|----------|
| H | a | P(Tn/ml) |
| 100 | 2.90 | 2.16 |
| 120 | 3.00 | 2.33 |
| 140 | 3.10 | 2.49 |
| 160 | 3.20 | 2.66 |
| 180 | 3.30 | 2.83 |
| 200 | 3.40 | 3.00 |
| 220 | 3.50 | 3.17 |
| 240 | 3.60 | 3.34 |
| 260 | 3.70 | 3.51 |

Nota: Los pesos son teóricos para las secciones indicadas. No incluyen recrecidos, peraltados, macizados ni repercusión de p.p. de cabezas.

Vigas Artesa. Especialmente indicada para minimizar el coste de la subestructura. Tablero de 4 a 9m de ancho por viga, alcanzando luces de hasta 45m en soluciones isostáticas y hasta 60m en configuraciones hiperestáticas. Funciona mejor que la VI, por su rigidez o torsión muy superior.

Imagen 5.4. Viga Sección U FUENTE Catalogo Prethor

Se tomará como referencia una viga artesa de la casa comercial anterior con las siguientes características:

- H = 1,20 metros.
- A = 3 metros.
- P(Tn/ml) = 2,49 que equivale a P(KN/ml) =24,9

Se hormigonará la losa en obra mediante placas de encofrado perdido con espesor variable presentando en su centro un espesor de 0,25 metros y en los extremos 0,15 metros, consiguiendo así una sección cerrada. Conformando la sección transversal de 6 metros con voladizos de 1,5 metros.

En la Imagen 5.5. se representa un esquema de la sección transversal, viga artesa.

La cual se ha modificado respecto a las vigas artesas anteriores. Aumentando la inclinación de sus alas para conseguir los voladizos y la sección central adecuada. Siendo una sección más estética y de menor entidad que las anteriores.

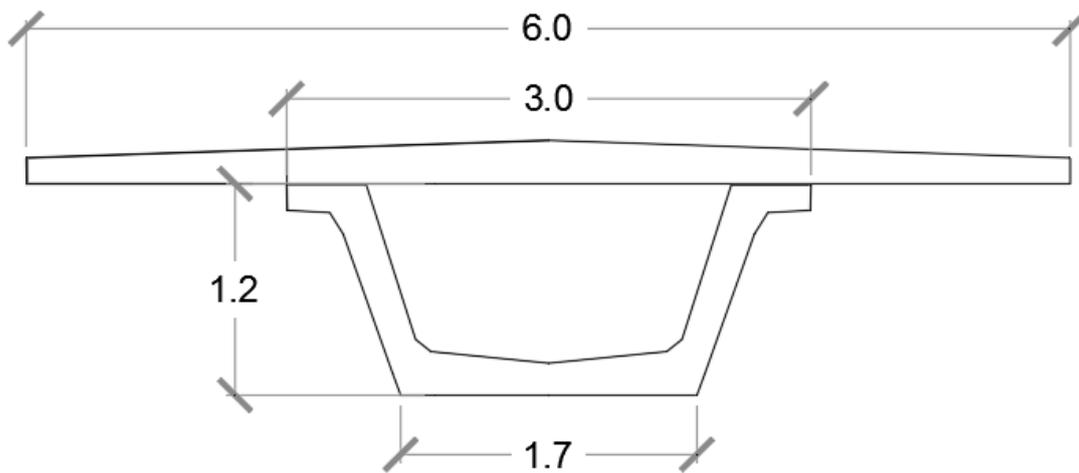


Figura 5.5. Viga artesana y losa. Sección Transversal Pasarela de la Virga. FUENTE: Propia

5.2.5. Cimentación y Pilas

Las características geométricas tanto de las pilas como de la cimentación en general (encepado y pilotes) vendrán fuertemente condicionadas por el método constructivo a utilizar y el mal terreno de cimentación. Dada la dificultad de construcción en un embalse por las dificultades que acarrea y las condiciones ambientales e hidrológicas.

En el apartado referente al Puente Noguerol se exponen una serie de puentes realizados y sus principales características y que sirven de base para plantear la nueva infraestructura.

Las pilas se supondrán **rectangulares casi cuadradas con dimensiones aproximadas de 2,4 x 2,2 metros** para la cimentación se plantearían dos soluciones:

- Pilote único (pila-pilote) hincado de $\varnothing 200$ centímetros lanzado mediante barcazas, se empotrará en el terreno competente por debajo de los depósitos de arcillas y fangos.
- Grupo de 4 pilotes de $\varnothing 80$ centímetros con separaciones aproximadas de 0.8 a 1 metro

En ambas soluciones los pilotes serían metálicos, hormigonados interiormente hasta cierta altura colocándose un tape. Se colocan esperas para realizar el encepado de al menos 1 metro de altura y dimensiones en planta aproximadas de 3,5 x 3,5 metros

Para la posición de los encepados respecto al terreno, se deben tener en cuenta dos criterios principales:

- **Ahorro económico:** la dificultad técnica de ejecutar la cimentación y fuste de las pilas tiene un coste asociado elevado, pudiendo llegar a ser el 30 % del presupuesto. Se deberá realizar el encepado lo más alejado del terreno, haciendo crecer del encepado el fuste de las pilas, siendo este lo más corto y económico posible. Esto es debido a que las pilas deben crecer del encepado y se debe hormigonar en seco realizando ataguías.
- **Estético:** al situarse el embalse en sus cotas bajas, dejaría ver los encepados de las pilas y sus pilotes, haciendo que la estructura no encaje en la zona, produciendo un impacto visual en la zona.

Se situarán aproximadamente a 12 metros desde la pila más alta.

Las profundidades necesarias para alcanzar para llegar hasta terreno competente variarían a lo largo del trazado siendo más profundas en las cercanías al cauce del anegado río Virga y la

margen Burgalesa, pudiendo llegar estas hasta los 40 metros. Encontrándose en la zona cercana a la Población bancos sanos de arenas donde se podría estudiar la posibilidad de cimentaciones más superficiales y mediante trabajos en seco.

5.2.6. Materiales

5.2.6.1. Hormigón

Los materiales que conforman la nueva infraestructura son principalmente acero y hormigón, encontrándose diferentes tipos:

- Hormigón Prefabricado de taller, es el que conforma las vigas artesas, las características del hormigón serán las proporcionadas por la empresa suministradora. Se puede suponer un HP-35/12/IIA o incluso mejores como un HP-40/12/IIA por tratarse de un prefabricado realizado en taller bajo condiciones adecuadas.
- Hormigón In-situ, utilizara un hormigón HA-35/12/IIA con las siguientes características:

$$\begin{aligned}f_{ck} &= 35 \text{ MPa} \\f_{cm} &= f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ MPa} \\E_{cm} &= 8500 \sqrt[3]{f_{cm}} = 29778.88 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Se empleará un hormigón con aditivos que permitan mejorar la trabajabilidad del mismo, de una consistencia seca con asentos en el cono de Abrams de entre 0 y 5 cm, se debe pasar a una consistencia fluida con asentos mínimos de 15 cm y de media 18 cm. Habrá de asegurarse en obra el correcto uso de los aditivos que nos proporcionen la consistencia deseada.

5.2.6.2. Acero

Se dividirá en función de si es acero activo o pasivo.

Acero armaduras Activas

Se ha considerado para el proyecto un acero Y-1770-S7, compuesto de 7 alambres y compatible con los torones de 0,6" que se emplearán. Características del acero a emplear:

$$\begin{aligned}f_{p,max} &= 1770 \text{ MPa} \\f_p &= 1700 \text{ MPa} \\E_p &= 190000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Acero armaduras pasivas

Se empleará un acero B-500-S con las siguientes características:

$$\begin{aligned}f_s &= 550 \text{ MPa} \\f_y &= 500 \text{ MPa} \\E_s &= 200000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.3. Cálculo Estructura

5.3.1. Objeto de cálculo

Al tratarse la estructura de una sucesión de vigas, siendo a niveles de cálculo biapoyadas, se realizará el cálculo para el tramo que atravesase el cauce del anegado Rio Virga, por ser el tramo con mayor altura de pilas y sobre el peor terreno de cimentación. No obstante, es necesario calcular los estribos cimentados sobre un terreno arenoso de buenas características, según lo que indican todos los datos anteriores del Puente Noguero. Esto se ampliará en la parte de cálculos en cimentaciones, así como los cálculos de la sección transversal, siendo a efectos de cálculo de distorsiones una sección cajón cerrada frente a pequeñas solicitaciones de esfuerzos torsores.

Para la obtención de los esfuerzos se puede utilizar cualquier prontuario de estructuras para viga biapoyada y cargas linealmente repartidas y carga concentrada como el de la Imagen 5.6..

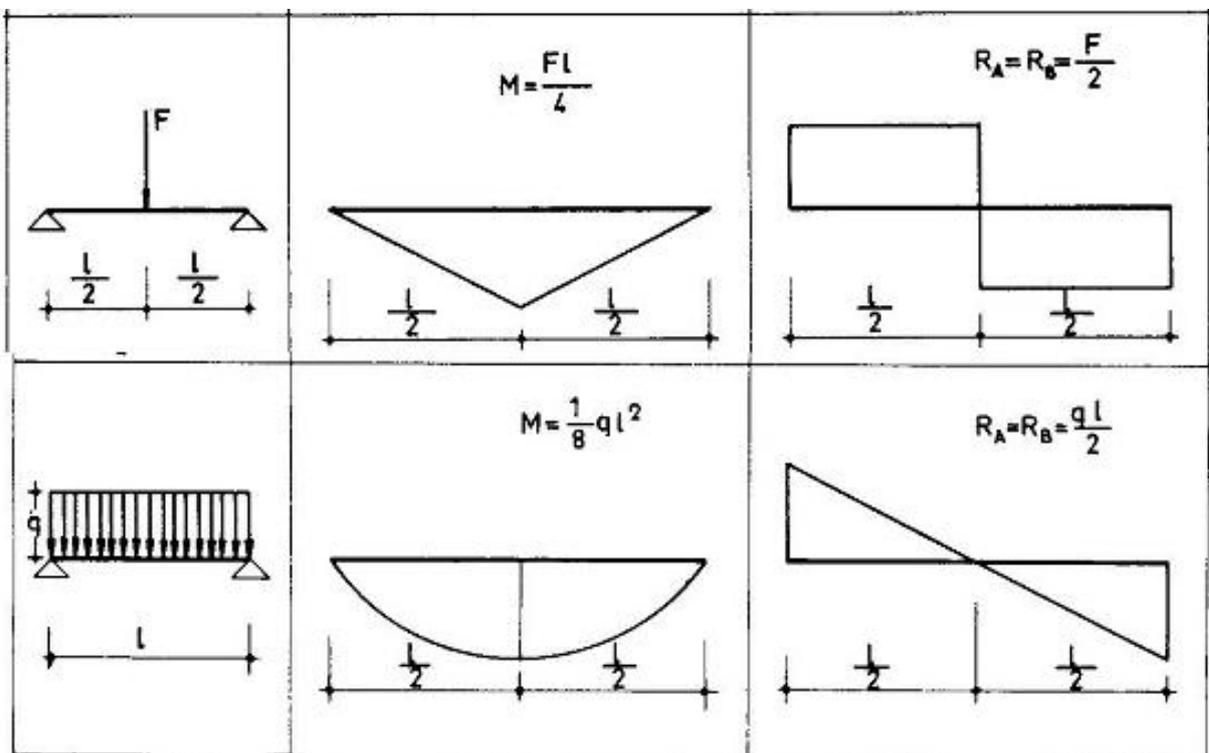


Imagen 5.6. Prontuario Viga Biapoyada Leyes de momentos y cortantes respectivamente. FUENTE: Google

Para la obtención de las cargas a introducir en la estructura se utilizará la siguiente normativa:

- IAP-11.
- Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera.

Se utilizará la IAP-11 para el cálculo de las cargas por tratarse de una solución mixta que contempla circulación de vehículos pesados y por tener más familiaridad con la norma utilizada durante las asignaturas pertinentes al cálculo de puentes.

5.3.2. Acciones Permanentes

5.3.2.1. Peso Propio

Para el cálculo del peso propio se tomará 25 KN/m^3 , tratándose de un hormigón armado, la sección transversal planteada se basa en la viga artesa y la losa in-situ como se mencionó anteriormente.

| | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Hormigón en masa: | 2.300 kg/m^3 | si $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ |
| | 2.400 kg/m^3 | si $f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$ |
| Hormigón armado y pretensado: | 2.500 kg/m^3 | |

Se tomará el peso de la viga artesa más la losa calculando el área de ambas mediante Autocad

Para la losa se calcula su área y se multiplica por la densidad anterior convertida a peso específico la losa.

$$q_{\text{vigaartesaPp}} = [0.912 \text{ m}^2] * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 23 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{LosaPp}} = [1.28 \text{ m}^2] * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 32 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{Total Pp}} = 55 \text{ kN/m}$$

5.3.2.2. Cargas Permanentes

Como cargas permanentes de la estructura se tienen las siguientes:

- Pavimento.
- Protecciones longitudinales.

Se tomará que la anchura total del tablero es de 6 metros y la mezcla bituminosa utilizada sobre el mismo tiene un peso específico de 24 KN/m^3 con un espesor de 5 centímetros.

Incrementando este valor en un 50% según la norma de puentes IAP-11. Se obtiene, por tanto, una carga por metro lineal del pavimento bituminoso de:

$$q_{\text{pavimento}} = [0.05 \text{ m} * 1.5 * 6 \text{ m}] * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 15.075 \text{ kN/m}$$

Para las protecciones longitudinales se tomará:

$$q_{\text{barrera}} = [2 * 100 \text{ kg/m}] * \frac{\text{kN}}{100 \text{ kg}} = 2 \text{ kN/m}$$

5.3.3. Sobrecargas

5.3.3.1. Tráfico

Tal como indica la norma de puentes de carretera IAP-11, la sobrecarga de uso del tablero es debida a una carga uniforme y a una carga puntual (carro) actuando sobre cada carril virtual. En la Imagen 5.7. se recoge la tabla 4.1-a de la IAP para determinar este valor.

TABLA 4.1-a DEFINICIÓN DE LOS CARRILES VIRTUALES

| ANCHURA DE LA PLATAFORMA (w) | NÚMERO DE CARRILES VIRTUALES (n_i) | ANCHURA DEL CARRIL VIRTUAL (w_i) | ANCHURA DEL ÁREA REMANENTE |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| $w < 5,4$ m | $n_i = 1$ | 3 m | $w - 3$ m |
| $5,4$ m $\leq w < 6$ m | $n_i = 2$ | $\frac{w}{2}$ | 0 |
| $w \geq 6$ m | $n_i = \text{ent} \left(\frac{w}{3} \right)$ | 3 m | $w - 3n_i$ |

Imagen 5.7. Tabla obtención anchura carriles. FUENTE: IAP

El tablero se divide en un carril virtual (CV1) de 3 metros de anchura y un área remanente (AR) de 3 metros.

Carril Virtual 1

$$Q_{\text{Vehículo Pesado}} = 2 * 300 \text{ KN}$$
$$q_{\text{Sobrecarga Uniforme}} = 9 \text{ kN/m}^2$$

Área Remanente

$$q_{\text{Sobrecarga Uniforme}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Al tratarse de una pasarela con curvatura en planta se deberán calcular las fuerzas horizontales pésimas. Estas servirán para la comprobación de los aparatos de apoyo, considerando:

- **Frenado y arranque**, se supone aplicada uniformemente distribuida en la dirección longitudinal del puente y aplicada en la superficie de pavimento Se calcula para el carril virtual 1 (CV1)

$$Q_{\text{frenado y arranque}} = 360 + 2,7 * L = 441 \text{ KN}$$

Siendo L la luz de la viga prefabricada en metros e igual a 30 metros.

- **Fuerza centrífuga y otras fuerzas transversales**: se considera una fuerza puntual en la superficie del pavimento que actúa horizontalmente en dirección perpendicular al eje del tablero y en cualquier sección transversal del mismo. Se calcula en función de la curvatura en planta y el peso total de los vehículos pesados en los carriles virtuales. El radio es aproximadamente de 1200 metros y el peso total de los vehículos 1000 KN

$$Q_{\text{centrifuga}} = 40 * \frac{Q_{vp}}{R} = 33,33 \text{ KN}$$

Además, en puentes curvos de radio menor de 1500 metros se tendrá en cuenta el efecto del derrape durante el frenado mediante una fuerza transversal. Se considera igual que la fuerza de frenado o arranque igual al 25 % actuando simultáneamente con ella.

Estos son los valores máximos obtenidos para las cargas que va a soportar la estructura, la concomitancia de dichas cargas se tendrá en cuenta mediante la consideración de los **grupos de cargas**. Estos se recogen en la Imagen 5.8.

TABLA 4.1-c GRUPOS DE CARGAS DE TRÁFICO. CONCOMITANCIA DE LAS DIFERENTES COMPONENTES DE LA SOBRECARGA DE USO

| GRUPOS DE CARGAS ⁽¹⁾ | PLATAFORMA | | | | | ACERAS |
|---------------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| | CARGAS VERTICALES | | | FUERZAS HORIZONTALES | | CARGAS VERTICALES |
| | VEHÍCULOS PESADOS | SOBRECARGA UNIFORME | AGLOMERACIÓN DE PERSONAS | FRENADO Y ARRANQUE | FUERZA CENTRÍFUGA Y TRANSVERSAL | |
| gr 1 (Cargas verticales) | Valor característico (apartado 4.1.2.1) | Valor característico (apartado 4.1.2.1) | - | - | - | Valor reducido: 2,5 kN/m ² |
| gr 2 (Fuerzas horizontales) | Valor reducido ⁽²⁾ : $\psi_1 Q_k$ | Valor reducido ⁽²⁾ : $\psi_1 Q_k$ | - | Valor característico (apartado 4.1.3.1) | Valor característico (apartado 4.1.3.2) | - |
| gr 3 (Peatones) | - | - | - | - | - | Valor característico (apartado 4.1.2.2) |
| gr 4 (Aglomeraciones) | - | - | Valor característico (apartado 4.1.2.2) | - | - | Valor característico (apartado 4.1.2.2) |

Imagen 5.8. Grupos de carga de tráfico. FUENTE: IAP

5.3.3.2. Peatones

Se tomará según la IAP-11 tomando un valor mayor que el Área Remante recién obtenido, por lo que ser mayor se sustituye por quedarse del lado de la seguridad.

$$q_{\text{Sobrecarga Uniforme}} = 5 \text{ kN/m}^2$$

Se deberá realizar en pasarelas peatonales para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debido al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de la carga recién mencionada y una fuerza longitudinal de valor igual al 10 % del total de la carga vertical uniformemente distribuida actuante en el eje del tablero, al nivel de la superficie uniformemente distribuida.

$$Q_{\text{Horizontal}} = 3 \text{ m} * 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 30 \text{ m} = 450 \text{ KN}$$

5.3.3.3. Viento

La zona se enclava en una zona predominante C, cercana a la isotaca de separación con la zona B. La velocidad básica del viento correspondiente a la zona C es de 2 m/s . Se tomará el cálculo simplificado del empuje en tableros de pilas y tableros. Por tratarse el cálculo de los esfuerzos longitudinales y transversales provocados por el viento costosos y necesariamente precisos respecto a las formas de la estructura y el valle/vaso que atraviesa la estructura además de los diferentes efectos del viento por situarse sobre un embalse con la consiguiente evapotranspiración.

Para dicho calculo simplificado para puentes de menos de 40 metros de luz (medida entre ejes de pilas) y de menos de 20 metros de altura máxima, podrá considerarse únicamente el viento transversal con los valores indicados en las tablas siempre que cumplan ciertas condiciones. En la Imagen 5.9. queda recogida la tabla para obtener estos valores.

TABLA 4.2-f EMPUJES UNITARIOS EN PUENTES CON ALTURA DE PILA: $H_{max} = 20 \text{ m}$

| TIPO DE ENTORNO (APARTADO 4.2.2) | EMPUJE SOBRE TABLERO [kN/m ²] | | | EMPUJE SOBRE PILAS [kN/m ²] | | |
|-------------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| | $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ | $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$ | $v_{b,0} = 29 \text{ m/s}$ | $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ | $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$ | $v_{b,0} = 29 \text{ m/s}$ |
| 0 | 2,93 | 3,16 | 3,65 | 3,58 | 3,86 | 4,45 |
| I | 2,64 | 2,85 | 3,29 | 3,23 | 3,48 | 4,02 |
| II | 2,31 | 2,49 | 2,88 | 2,83 | 3,05 | 3,52 |
| III | 1,88 | 2,03 | 2,34 | 2,29 | 2,47 | 2,85 |
| IV | 1,30 | 1,40 | 1,62 | 1,60 | 1,72 | 1,99 |

Imagen 5.9. Valores para empujes unitarios. FUENTE: IAP

Se tomará para la obtención del empuje unitario:

- Zona Tipo I: lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos.
- Velocidad básica del viento 29 m/s .

$$Q_{\text{Tablero}} = 3,29 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{\text{Pilas}} = 4,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5.3.3.4. Nieve

Se calculará la sobrecarga sobre el tablero ejercida por la nieve. La zona de estudio se enclava en una zona de clima invernal Tipo 1 a una altura media de 850 metros, entrando en la tabla recogida en la Imagen 5.10. se obtiene:

$$S_k = 1,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{Nieve} = 0,8 * S_k = 1,12 \frac{kN}{m^2}$$

TABLA 4.4-a SOBRECARGA DE NIEVE EN UN TERRENO HORIZONTAL, s_i [kN/m²]
(Coincide con la tabla correspondiente del Código Técnico de la Edificación)

| ZONA DE CLIMA INVERNAL (SEGÚN FIGURA 4.3-b) | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ALTITUD [M] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 200 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| 400 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| 500 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 600 | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,2 |
| 700 | 1,0 | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,2 |
| 800 | 1,2 | 1,1 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,2 |
| 900 | 1,4 | 1,3 | 0,6 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,2 |
| 1000 | 1,7 | 1,5 | 0,7 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 0,2 |
| 1200 | 2,3 | 2,0 | 1,1 | 1,9 | 1,3 | 2,0 | 0,2 |
| 1400 | 3,2 | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 1,8 | 3,3 | 0,2 |
| 1600 | 4,3 | 3,5 | 2,6 | 4,6 | 2,5 | 5,5 | 0,2 |
| 1800 | - | 4,6 | 4,0 | - | - | 9,3 | 0,2 |
| 2200 | - | 8,0 | - | - | - | - | - |

Imagen 5.10. Coeficiente según zona de clima. FUENTE: IAP

5.3.3.5. Otras acciones

Empuje Hidrostático sobre las pilas de la pasarela, se considera la condición más desfavorable estando el embalse en su cota máxima la 848 sobre el NMM en Alicante.

Se calculará según la siguiente expresión:

$$E = 3 \left(\frac{1}{2} * p * v^2 \right) * c_f * A$$

Siendo:

P: densidad del agua 1000 Kg /m³.

V: velocidad de la corriente, al tratarse de un embalse y debido al efecto laminador provocado por una gran masa de agua la velocidad será pequeña entorno de 0,2 a 0,5 m/s.

Cf: coeficiente de fuerza, calculado para la avenida extrema esperada se tomará el menor valor de la tabla.

A: área efectiva de empuje.

Acciones Térmica, se deberá de calcular sobre tableros y pilas. Se prescinde de su cálculo por tratarse de vigas isostáticas de 30 metros de luz.

5.3.3.6. Resumen Cargas

Para el cálculo de momentos flectores y reacciones verticales se utilizan las formulas establecidas en el apartado de objeto de cálculo. No obstante, para el cálculo de torsores se tienen en cuenta las peores solicitaciones cargando solamente la mitad de la sección transversal.

| SENTIDO | TIPO ACCIÓN | ACCION | CARGAS | | | ESFUERZOS | | | |
|----------|-------------|------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|-----|
| | | | Q(KN) | q1(KN/m2) | q2(KN/ml) | M(KN.m) | Q(KN) | T(KN.m) | |
| Vertical | Permanentes | Peso Propio | - | - | 55 | 6412.5 | 855 | - | |
| Vertical | | Pavimento | - | - | 15 | 1687.5 | 225 | - | |
| vertical | | Protec. Longitudinales | - | - | 2 | 225 | 30 | - | |
| Vertical | Sobrecargas | Trafico CV1 | 600 | 9 | 27 | 7537.5 | 705 | 2115 | |
| Vertical | | Trafico AR | - | 2.5 | 7.5 | 843.75 | 112.5 | 337.5 | |
| Vertical | | Longitudinales | Peatones | 45 | 5 | 15 | 2025 | 247.5 | 675 |
| Vertical | | Nieve | - | 1.12 | 6.72 | 756 | 100.8 | - | |

Se deberán calcular ahora los grupos de cargas para la obtención del Momento Máximo actuante en la estructura, para predimensionar el pretensado a imponer en la estructura. Una vez calculado el pretensado se realizarán las combinaciones de cargas de ELS y ELU para la comprobación de la estructura siendo esta la viga simplemente apoyada.

| GRUPOS DE CARGAS | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|------|
| G1 | G3 | G4 | G5 | G6 |
| 8381.25 | 3712.5 | 3712.5 | 9562.5 | 9900 |

Tras realizar los grupos de cargas, se estiman otros 2 más por ser más desfavorables, se explica a continuación de lo que se forman:

- G5: Al tratarse de una sección mixta se unen los grupos 1 y 3. CV1 y el área remanente como una aglomeración de personas.
- G6: Se plantea según la IAP como si fueran dos carriles virtuales por los que circulan vehículos pesados sin circular ningún peatón por él. Con condiciones de seguridad y circulación nulas.

5.3.4. Predimensionamiento del Pretensado

5.3.4.1 Introducción

Se debe de realizar una pequeña introducción acerca del pretensado para entender mejor su funcionamiento realizando un breve inciso al Libro de Estructuras de Fabrica del Instituto Juan de Herrera.

El pretensado se debe considerar como una acción compensadora de las acciones exteriores, voluntaria y regulable que permite a la estructura cambiar su ratio de cargas a soportar. En la Imagen 5.11. obtenida de la Revista de Puentes de 1974 escrito por Juan José Arenas de Pablo, se puede entender gráficamente lo explicado.

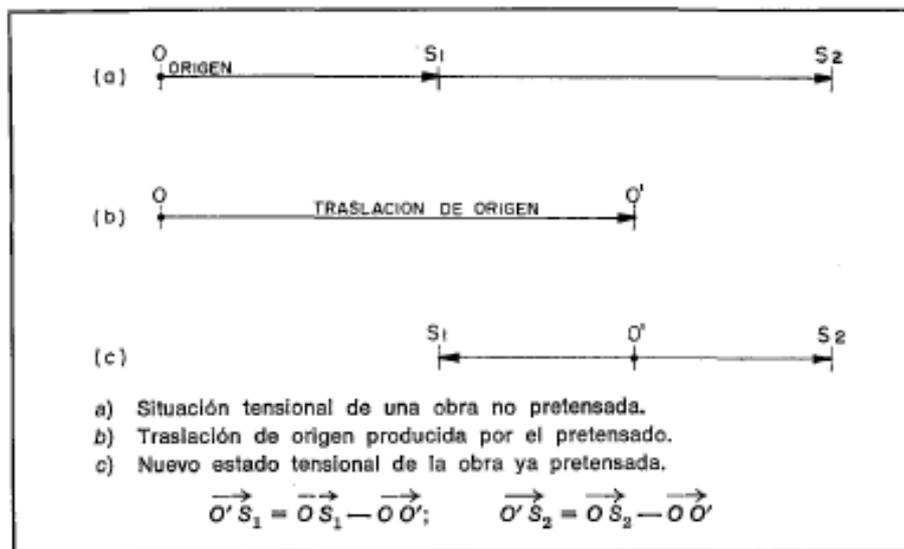


Imagen 5.11. Esquema explicación pretensado. FUENTE: Reviste de Puentes (1974)

Luego el pretensado en una estructura se basa en cambiar el origen de esfuerzos para que la estructura sufra una menor variación de dichos esfuerzos, siendo menos rígida ante dichas acciones. De las tablas anteriores de resumen de cargas y esfuerzos se puede observar que el mayor esfuerzo permanente es el Peso Propio y la mayor acción variable es el vehículo pesado que sería incluso menor por tratarse además de una Pasarela peatonal con menores cargas.

Respecto al inciso del instituto Juan de Herrera de estructuras de Fabrica donde se analizan varias Catedrales de especial importancia. Se puede extrapolar que los arbotantes funcionan a modo de pretensado en dichas estructuras donde la principal acción variable es el Viento pudiendo este alcanzar solicitaciones importantes sobre la estructura soportados por dichos arbotantes que en días sin viento no soportarían más que las reacciones del cerramiento.

5.3.4.2 Proceso Predimensionamiento

Se predimensionaran el pretensado que se realizara en taller teniendo un trazado recto y situándose por debajo del centro de gravedad. Este se realiza en taller para mejorar los tiempos durante el proceso constructivo. Debido a la dificultad que acarrearía realizarlo. Se

predimensionara para centro de luz, teniendo en cuenta que parte de los torones de pretensado se realizarían sin adherencia en parte de su longitud, esto es debido a que el momento flector disminuya al acercarse al apoyo. Esta Se conseguiría que los cables no se adhirieran envolviéndolos

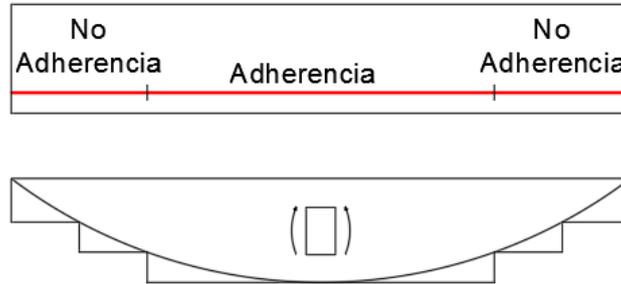


Figure 1XXX Planteamiento del Pretensado recto FUENTE Propia

Se han de diferenciar dos estados para la fase de predimensionamiento: estado inicial o de vacío (Peso Propio + Pretensado inicial) y estado de servicio (Peso Propio + Pretensado Final + Carga Permanente + Sobrecarga de uso).

ESTADO INICIAL O VACÍO

En este estado no pueden aparecer tracciones en la fibra superior del tablero. También hay que limitar las compresiones en la fibra inferior. Esta formulación es solo aplicable en las zonas en las que el pretensado viaje por la parte inferior del tablero (por debajo de la fibra baricéntrica del mismo). En el resto de casos, el razonamiento es el mismo, pero en sentido contrario.

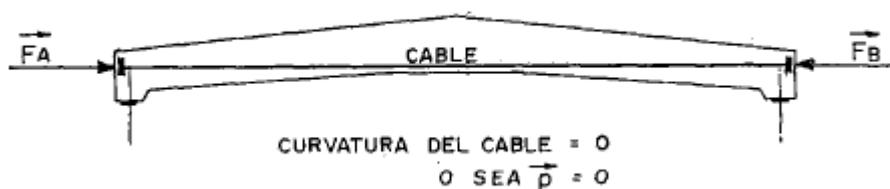
Solo son admisibles unas compresiones del 60% de la resistencia característica del hormigón ($f_{ck,j}$). El momento de diseño en este caso será el momento mínimo (M_{min}), que consta del momento de peso propio.

$$superior = \frac{P_0}{A} + \frac{(M_{min} - P_0 * e) * v'}{I} \geq 0.6 * f_{ck,j}$$

$$inferior = \frac{P_0}{A} - \frac{(M_{min} - P_0 * e) * v'}{I} \geq 0.6 * f_{ck,j}$$

En la Imagen 5.12. se muestra un esquema de la viga pretensada en taller con trazado recto de pretensado

2-d. Viga de inercia variable con cable recto.



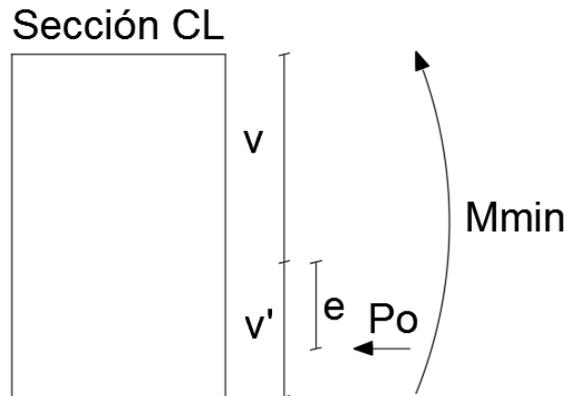


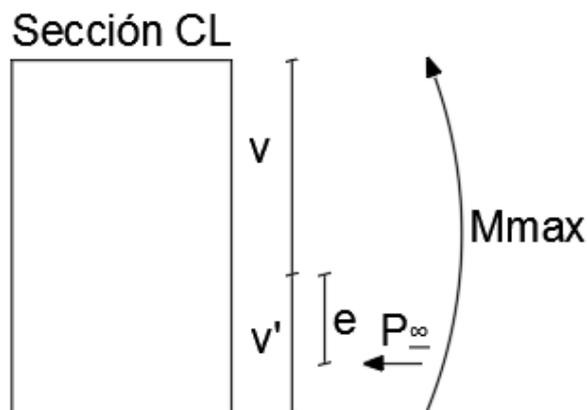
Imagen 5.13. Predimensionamiento de pretensado Estado de Vacío. FUENTE: Propia

ESTADO DE SERVICIO

En el estado en servicio actuará el pretensado final, o lo que es lo mismo, el pretensado a tiempo infinito, y la sobrecarga de uso, junto con el peso propio de la estructura. El momento de diseño en este caso es el momento máximo del estado frecuente ($M_{max, freq}$) e incluirá el momento debido al peso propio, carga permanente y sobrecargas de uso.

No deben aparecer tracciones en la fibra inferior del tablero y se limitan las compresiones en la fibra superior del mismo. En el caso de que el pretensado se ubique por debajo de la fibra baricéntrica se utilizará la siguiente formulación y se muestra un esquema en la Imagen 5.14..

$$\begin{aligned}
 \text{superior} &= \frac{P_{\infty}}{A} + \frac{(M_{max, freq} - P_{\infty} * e) * v}{I} \leq 0.6 * f_{ck, j} \\
 \text{inferior} &= \frac{P_{\infty}}{A} - \frac{(M_{max, freq} - P_{\infty} * e) * v'}{I} \geq 0
 \end{aligned}$$



La norma EHE-09 recomienda no superar un valor de excentricidad. Como el pretensado está dispuesto en un nivel, el valor de la excentricidad máxima adoptará los siguientes valores, en función de si el pretensado viaja por encima o por debajo de la fibra baricéntrica:

$$e_{max,inferior} = v' - 1.5\phi_v$$

$$e_{max,superior} = v - 1.5\phi_v$$

Se ha supuesto, en una primera aproximación, un 7% de pérdidas instantáneas y un 20% de pérdidas diferidas. Se utilizarán torones de 140 mm² (0,6'') y vainas de 100 mm de diámetro, con una capacidad máxima de 19 torones por vaina.

En cuanto al tesado del siguiente acero se realizará según la presente norma EHE-08 en su artículo 20.2. Se establece que la fuera de tesado P_o ha de proporcionar sobre las armaduras

Imagen 5.14 Predimensionamiento de Pretensado Estado de Servicio. FUENTE: Propia

activas una tensión σ_{p0} no mayor, en cualquier punto de la armadura conforme al artículo 81 de la EHE-08, que permite una tensión de tesado menor que los dos siguientes valores:

$$0,75 f_{p,max} ; 0,90 f_{pk}$$

La norma también permite superar estos valores de forma temporal siempre y cuando una vez colocadas las cuñas la tensión no supere ninguno de los dos valores anteriores.

Las tensiones que se utilizarán para tener en cuenta las pérdidas en el predimensionamiento son:

- **Tensión inicial tesado anclaje (σ_{p0}) = 1450 N/mm²**
- **Tensión inicial tesado CL(N/mm²) =1350**
- **Tensión infinita tesado CL (N/mm²) =1080**

Estas tensiones son las utilizadas para predimensionar el número de torones y vainas. Obteniéndose la sección necesaria de torones en mm².

Se realizarán los cálculos en una hoja Excel programada, para la obtención de las características geométricas de la sección se utiliza AutoCAD. De estos cálculos de predimensionamiento se obtendrá el número de torones de pretensado necesarios y su fuerza de tesado.

5.3.4.3. Resultados del Predimensionamiento

Los cálculos realizados anteriormente se resolverían perfectamente realizando diagramas de P y Pe obteniendo una zona delimitada optima como resultado del predimensionamiento. Se opta por tomar la opción simplificada por ser una solución isostática. Se escogerá la P_o con menor valor por ser la solución más económica, aumentando este si no se cumplieran las condiciones en la comprobación final de la estructura. Las características geométricas utilizadas se pueden ver en la siguiente tabla:

| CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS | VANO TIPO |
|----------------------------------|-----------|
| Área (m ²) | 2.197 |
| I _y (m ⁴) | 0.501 |
| v (m) | 0.830 |
| v' (m) | 0.620 |
| c (m) | 0.359 |
| c' (m) | 0.268 |
| p | 0.433 |
| emax | 0.527 |

Las características geométricas expuestas en la tabla inferior se refieren a:

Área: es la de la sección completa viga artesana +losa hormigonada in situ. Obtenida con AutoCAD.

I_y: es la inercia a flexión de la sección transversal obtenida con AutoCAD.

v': es la distancia desde el centro de gravedad a la fibra inferior. La altura total es de 1.47 metros.

v: es la distancia desde el centro de gravedad a la fibra superior.

c: excentricidades máximas de los cables de pretensado, en su fibra superior.

c': excentricidades máximas de los cables de pretensado, en su fibra inferior.

p: es el rendimiento geométrico de la sección.

emax: es la excentricidad máxima calculada según las formulas anteriores.

La obtención en AutoCAD una vez convertido en región y haberse realizado la diferencia de regiones se utiliza el Comando PROPFIS obteniendo las características geométricas de la región.

Los valores de las cargas a introducir se muestran en el aparato correspondiente, teniendo que realizar la combinación entre ellos sin ningún tipo de coeficiente.

Del predimensionamiento se obtiene un valor aproximada de $P_o = 43200$ KN. Cogiendo la tensión inicial de tesado y un área de 140 mm² se obtiene el número de torones y vainas inicial.

Obteniéndose:

- Número de torones 212.8 -> 213 torones.
- Número de vainas 11.19 -> 12 vainas.

Estas 12 vainas se tienen que repartir por la sección, se podrían plantear diferentes situaciones del pretensado, aunque debido a las formulas del pretensado debe quedar estrictamente por debajo de su centro de gravedad. En la Imagen 5.15. se muestra la distribución de las vainas a lo largo de la viga artesana.

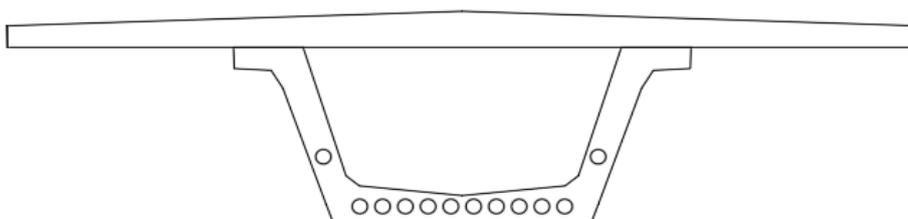


Figure 5.15. Vainas del Pretensado en la sección transversal. FUENTE: Propia

El reparto de las vainas podría cambiar, quedando incluso que imponer 1 o 2 vainas en cada ala y 2 repartidas en cada alma, quedando el restante repartido en la parte inferior.

Teniendo que diseñarse correctamente tanto las armaduras pasivas y las vainas que contengan las armaduras activas Ya que se realizara en taller y se deberán cumplir estrictamente los valores de recubrimientos mínimos y que no se permitan movimientos relativos durante el hormigonado.

5.3.5. Comprobaciones

5.3.5.1. Introducción

Una vez se ha realizado el predimensionamiento del pretensado a imponer en la estructura, se debe comprobar que cumpla bajo todas las combinaciones de carga. Antes de realizar las combinaciones y comprobar se deberán de calcular las perdidas en el pretensado.

5.3.5.2 Pérdidas Pretensado

Existen perdidas en el pretensado que se deberán de calcular según la EHE-08, estas pérdidas se basan fundamentalmente en:

- Perdidas Instantáneas.
- Perdidas Diferidas.

Componiéndose a su vez las **perdidas instantáneas** en:

- Pérdidas por rozamiento ($\Delta\sigma_1$).
- Pérdidas por penetración de cuñas ($\Delta\sigma_2$).
- Pérdidas por acortamiento elástico del hormigón ($\Delta\sigma_3$).

Las pérdidas instantáneas totales serán la suma de los tres componentes anteriores:

En cuanto a las **perdidas diferidas** se deben al comportamiento reológico del hormigón, comportamiento en:

- Fluencia.
- Retracción.

La fórmula general, según la EHE-08, para el cálculo de las pérdidas diferidas es la siguiente:

$$\Delta P_{dif} = \frac{n\varphi(t, t_0)\sigma_{cp} + E_p \varepsilon_{cs}(t, t_0) + 0.8\Delta\sigma_{pr}}{1 + n \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c y_p^2}{I_c}\right) (1 + \chi\varphi(t, t_0))}$$

Donde:

(t, t_0) es el término de fluencia.

$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ es el término de retracción.

χ es el coeficiente de envejecimiento, y toma un valor de 0.8.

Las inercias, áreas y distancias usadas en esta fórmula corresponden a las secciones homogeneizadas.

La tensión σ_{cp} se define como la tensión en el hormigón cuando actúa $P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2$

$$\sigma_{cp} = \frac{P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2}{A_N} + \frac{(P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2) * e}{I_N} * e$$

Luego el cálculo de dichas pérdidas es un proceso complejo y que requiere gran precisión. Requiriendo el cálculo de parámetros intermedios y la asunción de valores de la EHE-08, no obstante se prescindirá del cálculo de las pérdidas instantáneas y diferidas dando para ellas un tanto % de pérdidas.

Se tomarán los mismos valores para las pérdidas que en el predimensionamiento. Entendiendo que las pérdidas sean menores, ya que las pérdidas por rozamiento del pretensado dependen de la longitud de trazado siendo esta de muy poca entidad 30 metros.

5.3.5.3 Combinaciones de cargas

Se realizarán tanto las combinaciones en ELS (Estado Limite de Servicio) como ELU (Estado Limite Ultimo) con los siguientes coeficientes expuestos en las tablas

ELS

| ACCION | FAVORABLE | DESFAVORABLE |
|---------------------|-----------|--------------|
| Peso Propio | 1 | 1 |
| Carga Muerta | 1 | 1 |
| Pretensado | 0,9 | 1,1 |
| Sobrecarga | 0 | 1 |

ELU

| ACCION | FAVORABLE | DESFAVORABLE |
|---------------------|-----------|--------------|
| Peso Propio | 1 | 1,35 |
| Carga Muerta | 1 | 1,35 |
| Pretensado | 1 | 1 |
| Sobrecarga | 0 | 1,35 |

Con estas combinaciones se obtienen también los concomitantes de esfuerzos, de torsión y cortante. Que servirán para el cálculo posterior de los aparatos de apoyo y el cálculo transversal.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras realizar la combinación de cargas, estos serán los esfuerzos que se utilizan para la comprobación final de la estructura siendo esta una viga prefabricada pos tensada simplemente apoyada sobre aparatos de apoyo.

| | M(KN.m) | Q(KN) | T(KN) |
|-------------|----------|---------|-------|
| Mmax | 26428.95 | 2601.36 | - |
| Qmax | 26428.95 | 2707.2 | - |
| Tmax | 14910.75 | 14562 | 4185 |

Para el máximo torsor se consideran todas las sobrecargas que puedan actuar simultáneamente sobre media sección, eligiendo el de mayor valor con sus concomitantes.

5.3.5.4. Comprobación Final

Las comprobaciones pertinentes de la estructura idealizada y planteada serian numerosas se realizarían mediante la EHE-08 y englobarían comprobaciones referentes a:

- Compresiones, tracciones y deformaciones del hormigón.
- Deformación máxima en barras de acero pasivo.
- Deformación máxima en barras de acero activo.
- Rotura de armaduras activas y pasivas.
- Agotamiento frente a sollicitaciones normales.
- Agotamiento frente a sollicitaciones de cortantes y torsión.
- Agotamiento por funcionamiento.
- Comprobaciones cálculos y repartos en la sección transversal, momentos, torsores y reacciones.

Las cargas son calculadas para realizar las numerosas comprobaciones, se comprueba para la combinación pésima de ELU si el predimensionamiento realizado se aleja mucho de la realidad. Para ello se tomarán las fórmulas indicadas para el estado de servicio, bajo la acción del momento máximo calculado.

Los resultados para la fibra superior e inferior son:

| FIBRA | ESFUERZO | TENSION(Mpa) |
|----------|------------|--------------|
| Superior | Compresión | 28.71 |
| Inferior | Tracción | 9.42 |

Ante los resultados anteriores que cumplirían estrictamente las comprobaciones de compresión sin alcanzar su límite. No obstante, los valores son altos en las tracciones, esto es debido al sobredimensionado de la estructura con dos CV y que se plantean los cálculos con todas las vainas por debajo de la fibra neutra.

Estos cálculos son indicativos del dimensionamiento de la estructura y sus comprobaciones, para así poder calcular también un presupuesto parcial para la estructura.

5.3.6. Aparatos de Apoyo

5.3.6.1. Introducción

Los aparatos de apoyo quedan colocados entre la unión de la estructura y su soporte, entre el tablero y la pila. Permitiendo dentro de ciertos límites y bajo condiciones impuestas:

- La transmisión de esfuerzos, tanto las reacciones verticales como las horizontales producidas por los diferentes esfuerzos a los que está sometido.

- Absorber los movimientos relativos entre la superestructura y la infraestructura tanto desplazamientos y rotaciones garantizando la estabilidad global del conjunto.

Luego estos aparatos de apoyo sirven a la estructura para ganar cierta adaptabilidad ante los diferentes esfuerzos, esto es importante debido al terreno de cimentación en el que se encuentra y que fue la ruina de la anterior infraestructura fue a causa de la imposibilidad de soportar estos movimientos.

La normativa de base a la elección y cálculo de los aparatos de apoyo es la siguiente:

- Nota Técnica sobre aparatos de Apoyo para Puentes de Carretera del Ministerio de Fomento.
- UNE-EN 1337-3 Apoyos Estructurales: Parte 3 Apoyos elastoméricos, proporcionada por la Universidad de Cantabria.

5.3.6.2. Planteamiento Inicial

La estructura al basarse en la sucesión de vigas isostáticas sin un tablero continuo, hace que la transmisión de los esfuerzos y el planteamiento de los cálculos sea diferente respecto a una estructura de tablero continuo en cuanto al reparto de los esfuerzos.

Esto es debido fundamentalmente al **Punto Fijo**, siendo este el centro geométrico de los desplazamientos de la estructura, y, en una estructura de tablero continua función de las rigideces de pilas, estribos y los aparatos de apoyo calculándose como centro de gravedad de las rigideces de la estructura.

En este caso se trata de una manera sencilla como si cada vano (viga prefabricada biapoyada) es un puente aislado, en la que el punto fijo se encontrara en uno de sus extremos, y los movimientos quedaran libres en el otro apoyo. Permitiendo así la libertad de movimientos en la estructura.

Los distintos aparatos de apoyo que se pueden utilizar y que quedan reflejados sus rangos de utilización y croquis en la Nota Técnica mencionada son los siguientes:

- Apoyos de neopreno zunchado.
- Aparatos de apoyo tipo POT o Caja.
- Apoyos de neopreno zunchado anclados.
- Aparatos de apoyo pretensados verticalmente.
- Aparatos de apoyo metálicos, fijos o móviles.

Ante la estructura que se plantea y frente al cálculo del vano más cargado los aparatos de apoyo a disponer serían:

- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado, permitiendo los movimientos.
- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado anclado o tipo POT para conseguir el **Punto Fijo** de la estructura.

5.3.6.3. Soluciones Similares

Se plantea a modo de ejemplo un puente de características similares, aunque sobre él actúan cargas mucho mayores. Este se extrae de la Tesina de Robert Chillón de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en el aparato referente a las Recomendaciones para proyecto.

Se trata del viaducto del AVE sobre la llanura de inundación del río Anguera en Montblanc, siendo una sucesión de 28 vanos isostáticos de 34 metros de luz, con una longitud total de 942 metros. Eligiéndose una solución isostática al atravesar una llanura de inundación con la salvedad de presentar unas pendientes menores en la llanura casi horizontales. Teniendo así pilas de poca altura y de gran rigidez. En la Imagen 5.16. se muestra un esquema de un puente de vigas isostáticas.

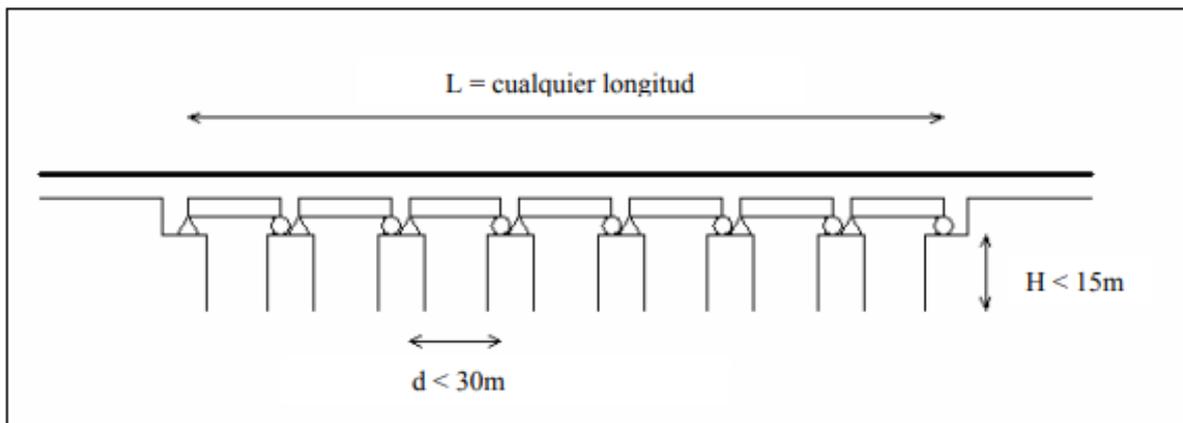


Imagen 5.16. Esquema de Puente de vigas isostático. FUENTE Tesina Robert Chillón UPC

La pasarela de la Virga se resolvería con:

- Apoyos Fijos: Aparatos de apoyo de neopreno zunchado anclado o tipo POT.
- Apoyos móviles /libres : Aparatos de apoyo de neopreno zunchado.

5.3.6.4. Cargas

Las cargas para realizar las comprobaciones y recomendaciones de las normativas y calculadas en el apartado correspondiente según la IAP-11 aparato 4 Acciones Variables y más concretamente en el 4.1.3 Fuerzas Horizontales son:

4.1.3.1 Frenado y Arranque

$$Q_{frenadoyarranque} = 360 + 2,7 * L = 441 \text{ KN}$$

$$q_{frenadoyarranque} = 14.7 \text{ kN/ml}$$

4.1.3.2 Fuerza Centrífuga y otras Fuerzas transversales

$$Q_{centrifuga} = 40 * \frac{Q_{vp}}{R} = 33,33 \text{ KN}$$

Se deberá de considerar en puente curvos menores de 1500 metros el efecto del derrape durante el frenado.

$$q_{derrape} = 4.83 \text{ kN/ml}$$

4.2.8 Calculo Simplificado del Empuje de Tableros y Pilas

$$Q_{vientotransversal} = 40 * \frac{Q_{vp}}{R} = 3,29 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{vientotransversal} = 3.29 * 1.47 = 4.83 \text{ kN/ml}$$

Se tomará para las acciones reológicas del hormigón y la temperatura los valores comúnmente utilizados en los predimensionamiento de estructuras de hormigón pretensado utilizados en las asignaturas pertinentes. Se puede aumentar el valor de la temperatura debido a la fuerte climatología de la zona de estudio.

- Fluencia, se toma 0.7 mm/m.
- Retracción., se toma 0.3 mm/m.
- Temperatura 0.4 mm/m.

5.3.6.5. Predimensionamiento

Para predimensionar los aparatos de apoyo elastoméricos se utiliza la reacción vertical máxima (Q_{maxima}) y la reacción vertical mínima (Q_{minima}) obtenida de los concomitantes de esfuerzos de valor:

$$Q_{maxima} = 2707 \text{ KN}$$

$$Q_{minima} = 1110 \text{ KN}$$

Se utiliza la siguiente restricción obtenida de la Nota Técnica sobre Aparatos de Apoyo para Puentes de Carretera.

$$\sigma_{compresion} = \frac{Q_{maxima}}{a \times b} \leq 150 \frac{kp}{cm^2}$$

Se cambiarán las unidades de KN a Kp multiplicando por 100, se obtiene el área necesaria para cumplir la restricción.

$$Area = 1804.67 \text{ cm}^2$$

Que se dividiría entre los dos aparatos de apoyo resultando:

$$Area_1 \text{ aparato} = 900 \text{ cm}^2$$

Que equivaldría a un aparato de apoyo de 30 x 30 centímetros. Para la elección de un aparato de apoyo se utiliza la tabla de la Imagen 5.17. de la norma EN 1337-3.

EN 1337-3:2005 - 26 -

Tabla 3
Tamaños normalizados para los apoyos tipo B

| Dimensiones a x b (mm) o D | Espesor en mm | | | | | | Número de capas n | |
|----------------------------------|--------------------|------|------------------------------------|------|---|-----------------------|----------------------|------|
| | Apoyo sin carga | | Elastómero (total) ^a | | Capas de elastómero <small>Superior y inferior</small> | Placas de refuerzo | Mín. | Máx. |
| | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. | | | | |
| 100 x 150 | 30 | 41 | 16 | 24 | 8 | 3 | 2 | 3 |
| 100 x 200 | 30 | 41 | 16 | 24 | 8 | 3 | 2 | 3 |
| 150 x 200 | 30 | 52 | 16 | 32 | 8 | 3 | 2 | 4 |
| φ 200 | 30 | 52 | 16 | 32 | 8 | 3 | 2 | 4 |
| 150 x 250 | 30 | 52 | 16 | 32 | 8 | 3 | 2 | 4 |
| 150 x 300 | 30 | 52 | 16 | 32 | 8 | 3 | 2 | 4 |
| φ 250 | 30 | 52 | 16 | 32 | 8 | 3 | 2 | 4 |
| 200 x 250 | 41 | 74 | 24 | 48 | 8 | 3 | 3 | 6 |
| 200 x 300 | 41 | 74 | 24 | 48 | 8 | 3 | 3 | 6 |
| 200 x 350 | 41 | 74 | 24 | 48 | 8 | 3 | 3 | 6 |
| φ 300 | 41 | 74 | 24 | 48 | 8 | 3 | 3 | 6 |
| 200 x 400 | 41 | 74 | 24 | 48 | 8 | 3 | 3 | 6 |
| 250 x 300 | 41 | 85 | 24 | 56 | 8 | 3 | 3 | 7 |
| φ 350 | 41 | 85 | 24 | 56 | 8 | 3 | 3 | 7 |
| 250 x 400 | 41 | 85 | 24 | 56 | 8 | 3 | 3 | 7 |
| 300 x 400 | 57 | 105 | 36 | 72 | 12 | 4 | 3 | 6 |
| φ 400 | 57 | 105 | 36 | 72 | 12 | 4 | 3 | 6 |
| 300 x 500 | 57 | 105 | 36 | 72 | 12 | 4 | 3 | 6 |
| φ 450 | 57 | 105 | 36 | 72 | 12 | 4 | 3 | 6 |
| 300 x 600 | 57 | 105 | 36 | 72 | 12 | 4 | 3 | 6 |
| 350 x 450 | 57 | 121 | 36 | 84 | 12 | 4 | 3 | 7 |
| φ 500 | 57 | 121 | 36 | 84 | 12 | 4 | 3 | 7 |
| 400 x 500 | 73 | 137 | 48 | 96 | 12 | 4 | 4 | 8 |
| φ 550 | 73 | 137 | 48 | 96 | 12 | 4 | 4 | 8 |
| 400 x 600 | 73 | 137 | 48 | 96 | 12 | 4 | 4 | 8 |
| 450 x 600 | 73 | 153 | 48 | 108 | 12 | 4 | 4 | 9 |
| φ 600 | 73 | 153 | 48 | 108 | 12 | 4 | 4 | 9 |
| 500 x 600 | 73 | 169 | 48 | 120 | 12 | 4 | 4 | 10 |
| φ 650 | 73 | 169 | 48 | 120 | 12 | 4 | 4 | 10 |
| 600 x 600 | 94 | 199 | 64 | 144 | 16 | 5 | 4 | 9 |
| φ 700 | 94 | 199 | 64 | 144 | 16 | 5 | 4 | 9 |
| 600 x 700 | 94 | 199 | 64 | 144 | 16 | 5 | 4 | 9 |
| φ 750 | 94 | 199 | 64 | 144 | 16 | 5 | 4 | 9 |
| 700 x 700 | 94 | 220 | 64 | 160 | 16 | 5 | 4 | 10 |
| φ 800 | 94 | 220 | 64 | 160 | 16 | 5 | 4 | 10 |
| 700 x 800 | 94 | 220 | 64 | 160 | 16 | 5 | 4 | 10 |
| φ 850 | 94 | 220 | 64 | 160 | 16 | 5 | 4 | 10 |
| 800 x 800 | 110 | 285 | 80 | 220 | 20 | 5 | 4 | 10 |
| φ 900 | 110 | 285 | 80 | 220 | 20 | 5 | 4 | 10 |
| 900 x 900 | 110 | 285 | 80 | 220 | 20 | 5 | 4 | 11 |

^a Espesor total sin cubierta superior e inferior de 2,5 mm.

Imagen 5.17. Tamaños normalizados para los apoyos TIPO B : FUENTE ENE1337-3:2005

Se tomará un aparato de apoyo para realizar las comprobaciones de 300 x 400 mm cogiendo el siguiente superior de 350 x 450 mm sino cumplieren dichas comprobaciones. Colocando su lado más largo en el sentido longitudinal.

Además de la utilizada recomendación se podrían utilizar dos consideraciones más:

- Limitación de la distorsión admisible bajo acciones lentas.
- Limitación de la distorsión de la presión vertical máxima.

La posición de los aparatos de apoyo y las distancias a los bordes de la viga prefabricada debidos a labores futuras de mantenimiento y cambio de los aparatos de apoyo, sirven de base además para conocer las dimensiones aproximadas de las pilas. En la siguiente imagen se puede ver la situación planteada para el vano tipo y las distancias. La pila tipo tendría dimensiones aproximadas de 2,4 x 2,2 metros siendo prácticamente cuadradas, como se muestra en la Imagen 5.18..

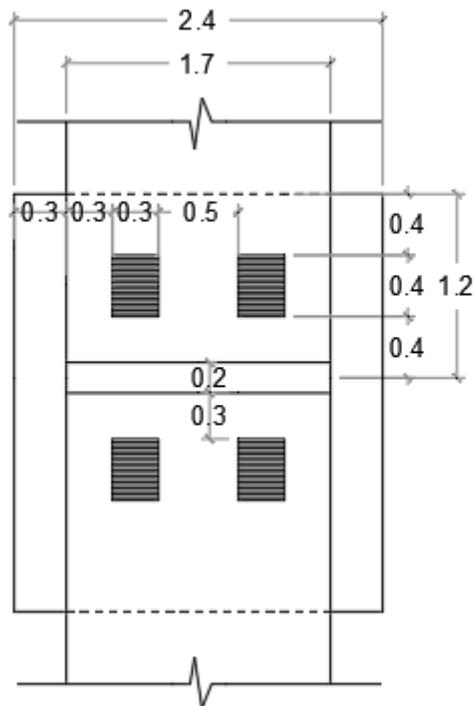


Imagen 5.18. Esquema pila. FUENTE: Propia

5.3.6.6. Reparto de Cargas

Para realizar el reparto de dichas cargas entre los aparatos de apoyo planteados, se deben hacer una serie de explicaciones previas e hipótesis. Primero debido a la actuación de las cargas calculadas que se dividen en:

- Corta Duración, son las cargas generadas debidas a la temperatura (positiva y negativa), frenado o arranque, derrape, fuerza centrífuga y vientos transversales. Es decir, las cargas transitorias.
- Larga Duración, son las cargas generadas debidas a la retracción, fluencia, peso propio y cargas permanentes.

Esta división de las cargas es debido al aparato de apoyo elastómero, actuando este con distinta rigidez frente a unas cargas que a otras. Adoptando generalmente para su Módulo de Cizalla convencional del aparato, y de ahora en adelante un valor $G = 0.9 \text{ MPa}$, tomando el valor medio proporcionado por la Norma EN 1337-3. Frente a acciones de CD se toma el valor de $2 \cdot G$ y para acciones de LD G .

El cálculo de la rigidez del aparato de apoyo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K_{elastomero} = \frac{G * a * b}{T} \left(\frac{N}{mm} = \frac{KN}{m} \right)$$

Siendo:

a x b: las dimensiones en planta del elastómero en mm

T: el espesor de capas de elastómero

Se deberá de calcular también la rigidez de la pila, considerada de 20 metros de altura y con dimensiones en planta aproximadas de 2.4 x 2.2 metros. Considerando que debido al mal terreno la cimentación se realiza mediante un único pilote hincado o un pequeño grupo de 4 pilotes hasta la profundidad requerida. Se supondrá empotrado para el cálculo de las rigideces. No obstante, la mejor manera de calcularlo sería mediante software informático realizando un modelo para el suelo y las deformaciones frente a diferentes cargas en las pilas.

La fórmula para calcular la rigidez de una ménsula empotrada en el suelo es:

$$K_{pilas} = \frac{3 * E * I}{L^3} \left(\frac{N}{mm} = \frac{KN}{m} \right)$$

Siendo:

E: el módulo de elasticidad del hormigón se tomará 30.000 Mpa para CD y 11850 Mpa para LD.

I: la inercia de la pila, en el sentido transversal y longitudinal de la infraestructura.

L: la longitud de la pila, que equivale a su altura 30 metros.

Se calcularán según las explicaciones e hipótesis anteriores las rigideces de largo y corto plazo del conjunto pila + aparato de apoyo. Mediante la siguiente expresión:

$$K_{conjunto} = \frac{1}{K_{aparato} * n^{\circ} aparatos} + \frac{1}{K_{pila}}$$

Se calcula todo mediante una tabla Excel se toma para una pila una altura de 19 metros y para los otros 20 metros respectivamente, con esto se entiende que las pilas más cortas son más rígidas. Los resultados son los siguientes:

| Rigidez conjunto | Larga duración | Corta duración |
|------------------|----------------|----------------|
| Pila 1 | 702.3 | 730.3 |
| Pila 2 | 694.9 | 727.1 |

| Descripción | a (mm) | b (mm) | G LD (Mpa) | G CD (Mpa) |
|-------------|--------|--------|------------|------------|
| Pila | 300 | 400 | 0.9 | 1.8 |

| Descripción | Rigidez Larga duración (KN/m) | Rigidez Corta dur. (KN/m) | nº capas | e (mm) | T(mm) |
|-------------|-------------------------------|---------------------------|----------|--------|-------|
| Pila | 1500.0 | 3000.0 | 6 | 12 | 72 |

Se calculan los esfuerzos debidos a las deformaciones impuestas de retracción, fluencia, y temperatura, según la siguiente fórmula:

$$F_{pila} = distancia punto fijo * K_{conjunto} * def. impuesta$$

Para el resto de cargas se longitudinales y transversales se calculan según las rigideces de corta duración, siendo la rigidez de ambas pilas parecida, pero realmente la rigidez de la pila como

punto fijo absorbería más esfuerzos por ser más rígido su aparato de apoyo. Luego se dividirán las cargas entre 4 (2 por las pilas y 2 por los aparatos de apoyo) resultando las siguientes cargas:

| Acción | Fuerza (KN) |
|--------------------|-------------|
| Retracción | 14.75 |
| Fluencia | 6.25 |
| Temperatura | 7.09 |
| Frenado | 110.25 |
| Derrape | 72.45 |
| Centrifuga | 16.65 |
| Viento Transversal | 72.45 |

5.3.6.7. Comprobación

Se comprueba según la Normativa UNE EN-1337 -3 en el que las comprobaciones se basan en el cálculo de las deformaciones no pasando un límite, fundamentalmente la tensión debida al vulcanizado que une la placa de acero y el elastómero.

- Deformación de diseño debida a la carga de compresión
- Deformación en cizalla
- Deformación en cizalla por deformación angular.

Estas 3 deformaciones tienen que quedar menores de 7, se puede ir comprobando si cumplen los aparatos mientras se realizan las comprobaciones.

Deformación de diseño debida a la carga de compresión

Se obtiene según la siguiente expresión

$$\varepsilon_{cd} = \frac{1,5 * Q}{G * A_r * S} \text{ (Adimensional)}$$

Siendo:

Ar: el área plana efectiva reducida debido a los efectos de la carga siendo su expresión

$$A_r = A * \left(1 - \frac{v_{x,d}}{a'} - \frac{v_{y,d}}{b'}\right) \text{ (Adimensional)}$$

Donde:

$v_{x,d}$ y $v_{y,d}$: Son los desplazamientos calculados con la rigidez y las fuerzas ($\text{desplazamientos} = \frac{F}{K_{\text{aparato}}}$) distinguiendo esfuerzos de larga y corta duración. Se tiene en cuenta a efectos del cálculo transversal que la pila es cuadrada tomando para ella la misma inercia.

a' y b': las dimensiones en planta de las placas teniendo en cuenta que estas quedan completamente embebidas en el elastómero.

S: el factor de forma del aparato de apoyo que se calcula según la siguiente expresión para apoyos rectangulares.

$$S = \frac{a * b}{2 * (a * b) * e}$$

Donde:

a y b: son las dimensiones del elastómero en planta.

e: es el espesor de una capa de elastómero se toma de la tabla del predimensionamiento.

| Comprobación | Q(KN) | G(KPa) | Ar(m2) | S | Def. |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|------------|
| Def. Compresión | 2707 | 9000 | 0.112 | 41.667 | 0.09667857 |

Deformación en cizalla

La deformación en cizalla ε_{cd} del elastómero debido al movimiento de translación no debe exceder el valor de 1,00 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q}$$

Donde:

$v_{xy,d}$: es el desplazamiento máximo horizontal relativo de las partes del apoyo por suma vectorial de los desplazamientos máximos calculados en el aparato anterior.

T_q : es el espesor total del elastómero en cizalla incluyendo la cubierta superior e inferior, a menos que el movimiento relativo entre las placas exteriores del apoyo y la estructura se restrinja por ensamblaje con espigas u otros medios.

| Comprobación | ux | uy | Tq | Def. |
|-----------------|---------|---------|----|---------|
| Def. en Cizalla | 0.09061 | 0.01873 | 72 | 1.28493 |

Al realizarse la comprobación la restricción anterior de 1 no cumple, esto es debido a dos razones fundamentales:

- Se está calculando como si entraran dos carriles virtuales y se circularan sin ningún tipo de área remanente y sin protección alguna circulando sobre un embalse, en la realidad en una prueba de carga no sería posible en condiciones de seguridad.
- Utilizando el otro grupo de cargas y tomando solo un único CV1 la comprobación quedaría < 1 ya que las mayores cargas actuantes son el frenado y derrape de un vehículo pesado según la IAP-11 (Ver aparato de cargas).
- Se podría aumentar las dimensiones de aparatos de apoyo y pilas según las separaciones indicadas anteriormente. Hasta conseguir cumplir la comprobación, teniendo que recalcular a la vez el resto de parámetros.

En la Imagen 5.19. se observa la distribución por carriles virtuales.

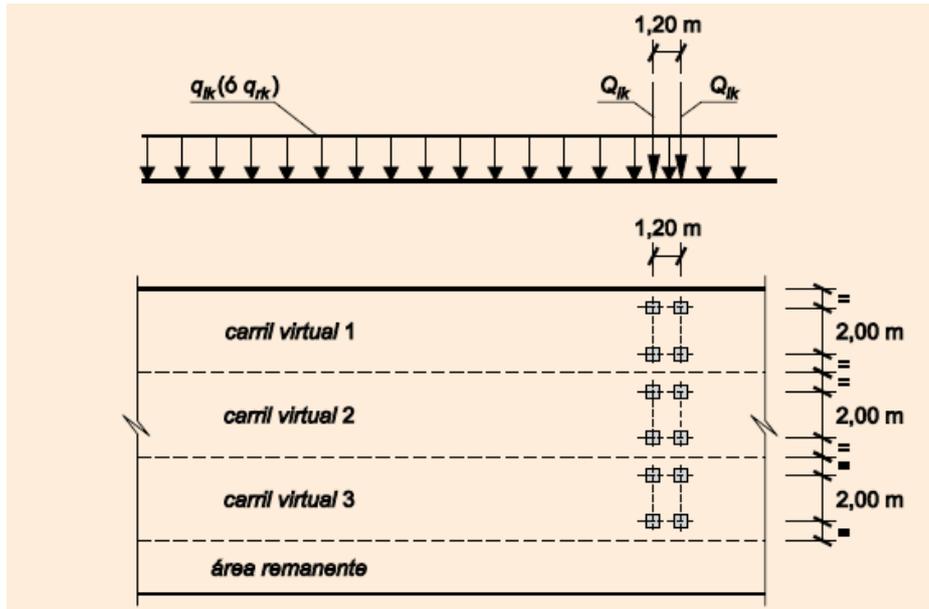


Imagen 5.19. Distribución carriles virtuales. FUENTE:IAP-11

Deformación en cizalla debida a la rotación angular

La deformación nominal debida a la rotación angular se da mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{(a'^2 * \alpha_{a,d} + b'^2 * \alpha_{b,d}) * t}{2 * \sum(t^3)}$$

Siendo:

$\alpha_{a,d}$: es el ángulo de rotación a través de la anchura, a, del apoyo.

$\alpha_{b,d}$: es el ángulo de rotación a través de la anchura, b, del apoyo.

t: es el espesor de una capa individual de elastómero.

Se tomará para el ángulo longitudinal un valor de 0.005 radianes en ambos ejes:

| Comprobación | a'(m) | b'(m) | $\alpha(rad)$ | α 1 capa | t(mm) | nº cap | Def. |
|----------------------|-------|-------|---------------|-----------------|-------|--------|------------|
| Def. en Cizalla Rot. | 0.296 | 0.396 | 0.005 | 0.00083333 | 12 | 6 | 0.46080093 |

Deformación Final

La suma de las tres deformaciones no tiene que superar el valor de 7, quedando un valor inferior de 1,85 al sumar las deformaciones calculadas. El aparato de apoyo elastómero bajo las condiciones e hipótesis anteriores cumpliría estrictamente.

No cumpliría la comprobación de deformación por cizalla teniendo que aumentarse el aparato de apoyo para hacerlo cumplir, aumentado tanto las dimensiones en planta como el espesor de elastómero. No obstante, se debería modelizar mediante software informático tanto la infraestructura como el terreno de apoyo para obtener las rigideces reales y los movimientos bajo las cargas calculadas.

Sirviendo el aparatado anterior de base para la realización de las nuevas comprobaciones, teniendo que realizarse mediante una hoja de cálculo o similar como la utilizada.

5.3.6.8. Ahorro Económico

Tras las comprobaciones realizadas anteriormente y al tratarse la solución como la más ventajosa económicamente, se podría plantear la utilización de dos únicos aparatos de apoyo de mayores dimensiones para apoyar dos vanos. Esto cambiaría la disposición indicada en el croquis. Con esto se conseguiría un ahorro durante la ejecución y durante su vida útil, ya que mejoraría también la economía en su mantenimiento de sustitución de aparatos de apoyo. En la Imagen 5.20. se muestra una posible solución de aparatos de apoyo.

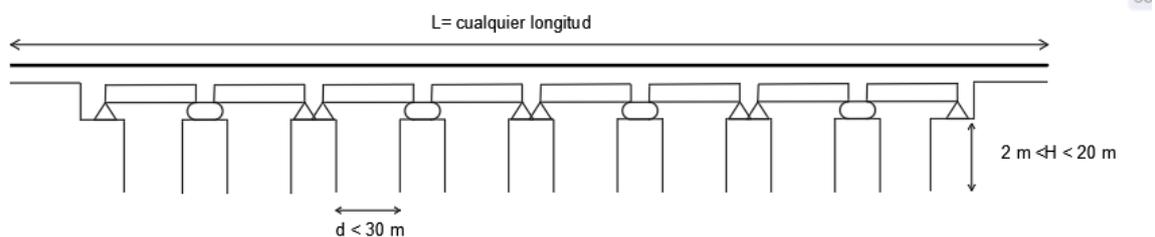


Imagen 5.20. Posible solución de aparatos de apoyo para la Pasarela de la Virga. FUENTE: Propia

Se disminuiría el coste de los aparatos de apoyo aumentando los costes de mantenimiento por las dificultades de cambio del aparato de apoyo. Teniendo que levantar mediante gatos hidráulicos dos vanos para realizar su cambio.

5.3.7. Pilas y Cimentación

5.3.7.1. Introducción

Debido a que las características geométricas tanto de las pilas como de la cimentación vendrán condicionadas por el método constructivo a utilizar. Planteándose dos situaciones.

En el apartado 2.7. Puentes Similares dentro del capítulo 2. Estudio Antiguo Puente Noguerol, se exponen una serie de puentes realizados y sus principales características, que sirven de base para plantear la nueva infraestructura.

5.3.7.2. Cargas

Las cargas que sufrirán las pilas y transmitirá a la cimentación son principalmente debidas a:

- Viento
- Empuje del agua
- Oleaje

Viento

$$q_{\text{trasmversal,Pilas}} = 4,02 \frac{kN}{m^2}$$

Se supondrá aplicado en el centro de gravedad de la parte de la pila afectada por el viento, pudiendo realizarse situaciones de niveles de vaciado.

Empuje del Agua

Se calcula mediante la expresión de la IAP realizando simplificaciones. Siendo una ley triangular y supuesta aplicada a 2/3 de la altura de la masa de agua calculada. Pudiendo realizarse varias situaciones en diferentes niveles.

$$E = \frac{1}{2} * (10 * H) * H$$

Siendo

H : la altura de lámina de agua actuante sobre la pila

10: el peso específico del agua en KN/m

Oleaje

Considerado en el proyecto del Puente Noguero con altura de ola máxima ante los vientos dominantes de 2 metros. Más que como una carga se tiene que ver como un factor de afección al hormigón de las pilas, teniendo que ser este impermeable al agua y duradero. Ya que sufrirá diferentes situaciones:

- Sumergido en el agua.
- Expuesto bajo ambiente caluroso y expuesto al sol.
- Expuesto bajo heladas extremas.

5.3.7.3. Comprobaciones

Las comprobaciones a realizar serían las referentes al estudio de:

- Asientos y sus interacciones en la estructura. Sabiendo cuales fueron los asientos esperados en las cercanías el rio Virga (fondo del valle) y los pequeños asientos en las cercanías a los estribos (colinas del valle) sobre terreno arenoso competente pudiendo ser al asiento esperado en torno a 1 centímetro.
- Comprobaciones según la Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera, distinguiendo entre Estados Límites Últimos y Estados Límites de Servicio.

ELU

- Estabilidad general o global de la zona de apoyo
- Capacidad de soporte o portante: Hundimiento, arranque y rotura horizontal del terreno
- Rotura estructural

ELS

Se exponen una serie de comprobaciones bajo circunstancias especiales pudiéndose destacar para la solución planteada:

- Vibraciones y daños estructurales, causados en construcciones próximas por la ejecución de pilotes hincados.
- Heladicidad del terreno, que pudiera afectar a encepados poco empotrados en el mismo
- Modificación local del régimen hidrogeológico, por conexión de acuíferos ubicados a distinta profundidad que podrían quedar conectados al ejecutar los pilotes. En el estudio de hundimiento de 1953 se comenta lo siguiente durante la realización de uno de los sondeos denomina Rodio (R0) **“ se fue perdiendo el agua del sondeo hasta los 6.65 metros en terreno arenoso más o menos fangoso y a partir de esta profundidad no solo dejó de perderla sino que comenzó a surgir el agua por la boca del entubado como creciente impulso y caudal a medida que profundizaba en los fangos blandos alcanzo el chorro surgente hasta unos 22 l/ min arrastrando consigo gran cantidad de arena hasta que al bajar hasta 16.2 metros ceso de surgir y no se obtiene testigo”**. Parece afirmar la existencia de un acuífero / canal bajo el embalse con los consiguientes problemas que pudiera acarrear.
- Posible contaminación medioambiental debida a los lodos o polímeros que se utilizan en la excavación de pilotes de hormigón insitu.

5.4. Método Constructivo

Se deben de barajar diferentes posibilidades entre las que se deberá decidir en base a la experiencia y la técnica necesarias para la obra en concreto. No obstante, se explica a continuación un posible proceso constructivo:

1. Recopilación de datos del terreno, principalmente los sondeos realizados durante el estudio de hundimiento. Adecuación de los muelles para las pontonas utilizadas.
2. Desbroce del terreno y adecuación de caminos hasta ambos estribos. Teniendo que realizar el terraplén y su protección en la margen Burgalesa(Arija).
3. Ejecución del pilotaje mediante barcazas. Se hincan en el terreno hasta llegar a las capas competentes. Se utiliza el útil necesario montado sobre una pontona.
4. Se comienza a hormigonar los pilotes metálicos hasta cierta altura, se deben realizar los trabajos en seco disponiendo las esperas necesarias.
5. Ejecución de las pilas mediante barcazas, hormigueándolas en seco mediante ataguías o en niveles bajo del embalse.
6. Ejecución de los estribos y las pilas adyacentes en seco, mediante pequeños rellenos. Se realiza al mismo tiempo que las restantes pilas.

Se pueden acometer tres métodos diferentes para el posicionamiento de las vigas prefabricadas, una vez realizados los trabajos pertinentes de acarreo de aparatos de apoyo mesetas de mortero y nivelación:

7. Lanzamiento de las vigas desde ambos estribos, se utiliza una auto cimbra apoyada sobre las vigas colocadas y la siguiente pila.
8. Izado de las vigas con útiles ubicaos en las pilas. Se transportan mediante pontonas y se izan. Teniendo que realizar maniobras verticales y horizontales para su posicionamiento final.
9. Transporte mediante pontonas y colocación final mediante grúas montadas sobre estas pontonas. Utilizando de 2 a 4 útiles, dependiendo de sus características técnicas.

Por razones de seguridad se utiliza el método de izado, teniendo que estudiarse como un proyecto complementario. Se montan los útiles necesarios de izado sobre la pila. Incluyendo los útiles necesarios para soportar los contrapesos y lo necesario para anclar temporalmente los carriles de posicionamiento final.

10. Colocación del resto de vigas mientras se colocan los encofrados perdidos para la formación de la losa.

11. Armado y Hormigonado de la losa mientras se realizan la colocación de las vigas restante.

12. Ejecución firme, colocación elementos de seguridad y trabajos finales (limpieza etc.).

Ventajas

- Menor aporte de material.
- Utilización de la infraestructura de muelles actual
- Mínima afección al entorno
- Menor tiempo de ejecución

Desventajas

- Posibilidad de pérdida capacidad embalse.
- Impacto Ambiental a la fauna y flora del fondo del embalse por el hincado
- Dificultad de trabajos por no realizarse en seco

5.5. Presupuesto

5.5.1. Introducción

Se realizar unas mediciones referentes a las partes proyectadas realizando una estimación de su coste. Además, se utilizarán tres proyectos como referencia:

- Nuevo puente de Castiblanco de la carretera N-502 sobre el embalse de García Sola en el río Guadiana. (Extremadura).
- Propuesta del Puente del Embalse del Ebro de la Población de Arenas & Asociados del año 2000.
- Puente de Orzales finalizado en 2012 promovido por la Confederación Hidrográfica.

5.5.2. Estimación Inicial

Puente de Castiblanco

Coste 10 millones de € con longitud total de 437,5 metros, 10 metros de anchura de tablero conformada por dos vigas artesas con losa hormigonada in-situ.

Se podría estimar aumentado por su longitud ($*1025 / 437.5$) y disminuyendo por el menor ancho de tablero ($*6 / 10$).

Tras estas hipótesis sencillas se podría suponer que el coste de la Pasarela de la Virga ascendería a 14 millones de €.

Puente del Embalse del Ebro a la Población

Se realizó en el año 2000, con un precio en la primera propuesta por metro cuadrado de 96.665 ptas. / m² que equivaldría en euros a 580 € / m², teniendo que actualizar el precio mediante el IPC y el instituto nacional de estadística.

Cálculo de variaciones del Índice de Precios de Consumo (sistema IPC base 2016)

Variación del Índice General Nacional según el sistema IPC base 2016 desde **Junio de 2000 hasta Junio de 2019**

| | Índice | Porcentaje(%) |
|----------|--------|---------------|
| Nacional | | 47,5 |

El método utilizado para el cálculo de las tasas de variación del IPC se describe en la metodología Preguntas frecuentes sobre el IPC

Teniendo la nueva infraestructura una superficie de 1.025 x 6 metros.

El coste asociado a la nueva infraestructura ascendería a 5,26 millones de euros.

Puente de Orzales

Se finalizó en el año 2012, y tuvo un coste final de 5 millones de euros con una longitud total de 300 metros. La sección transversal es de 8 metros sin ningún tipo de separación vial ni aceras. No se compone de vano isostáticos, sino que es una estructura hiperestática.

Se podría estimar aumentado por su longitud ($*1025 / 300$) y disminuyendo por el menor ancho de tablero ($*6 / 8$),

Obteniéndose un coste asociado de 13 millones de euros €

5.5.3 Presupuesto

Se realiza, como se ha indicado, la medición y el coste para el tablero, estimando el resto de partidas.

Las unidades de obra principales del tablero consistirían en:

- Viga Prefabricada 30 ml de luz pretensada en taller incluyendo incluso transporte mediante pontonas, colocación mediante izado y todos los materiales y medios necesarios para la correcta ejecución de la unidad de obra.
- Acero B 500 S Barras Corrugadas para formación de la losa. Incluso transporte y colocación.
- HA-35/12/IIA procedente de central puesto mediante vertido / bombeo. Incluso transporte y los medios necesarios para la correcta ejecución de obra.
- Encofrados perdidos para realizar el armado y hormigonado del tablero. Incluiría transporte y colocación.
- Aparatos de apoyo de neopreno zunchado o (standard, anclado o gofrado) sustituible, totalmente colocado, incluso nivelación del apoyo con mortero especial de alta resistencia y autonivelante.
- Pavimento peatonal e impermeabilización del tablero.

Las mediciones realizadas, los precios unitarios y el coste se puede ver en la siguiente tabla:

| Nº | UNIDAD DE OBRA | MEDICIÓN | UNIDAD DE MEDIDA | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOT |
|----|---|----------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | Viga Prefabricada 30 ml de luz pretensada | 1.025 | m | 1.500 | 1.537.500 |
| 2 | Acero B 500 S Barras Corrugadas | 196.800 | kg | 0,9 | 177.120 |
| 3 | HA-35/12/IIA procedente de central | 1.312 | m3 | 85 | 111.520 |
| 4 | Encofrados perdidos | 6.150 | m2 | 30 | 184.500 |
| 5 | Aparatos de apoyo elastoméricos | 153.600 | dm3 | 26 | 3.993.600 |
| 6 | Pavimento peatonal | 6.150 | m2 | 55 | 338.250 |
| | | | | | 6.342.490 |

Por tanto **la ejecución de tablero asciende a 6,5 millones de euros.**

Se ha utilizado una cuantía de 150 Kg/m3 de acero para la obtención de la medición de la losa.

Se puede estimar el coste de **la cimentación de un puente con unas características de difíciles, en torno al 30 % del presupuesto total.** Para su ejecución se trabaja sobre una pontona y el útil de hincado, teniéndose que realizar hincados precisos, necesitando realizar obras auxiliares de amarre y atraque.

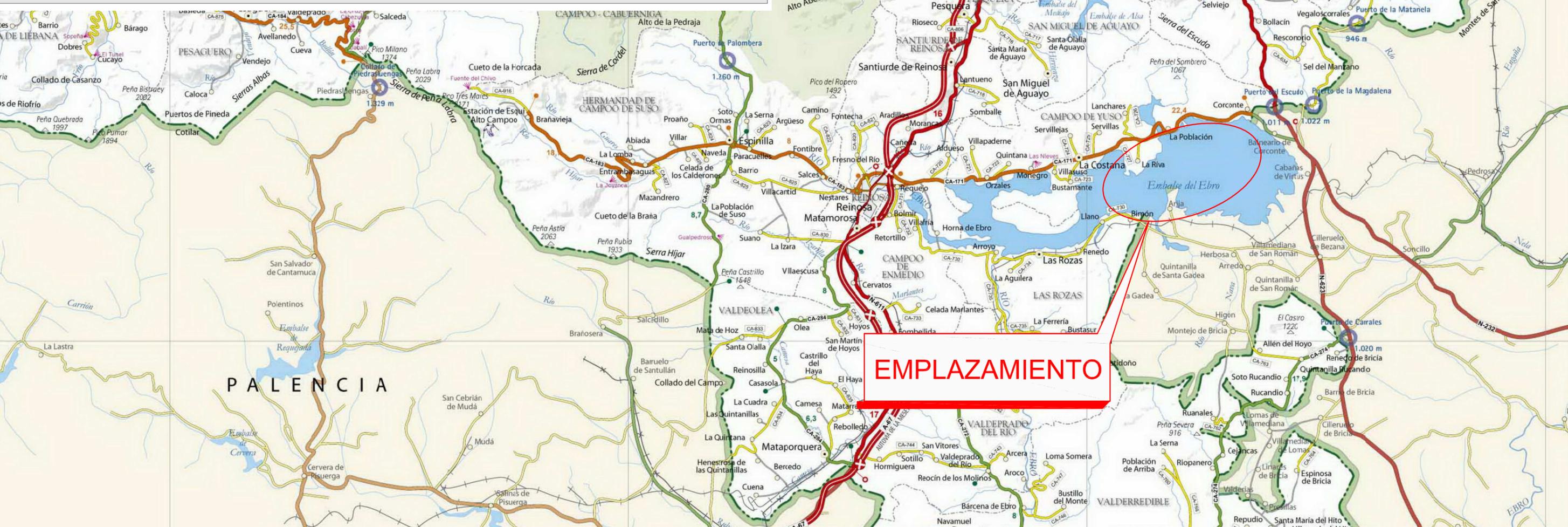
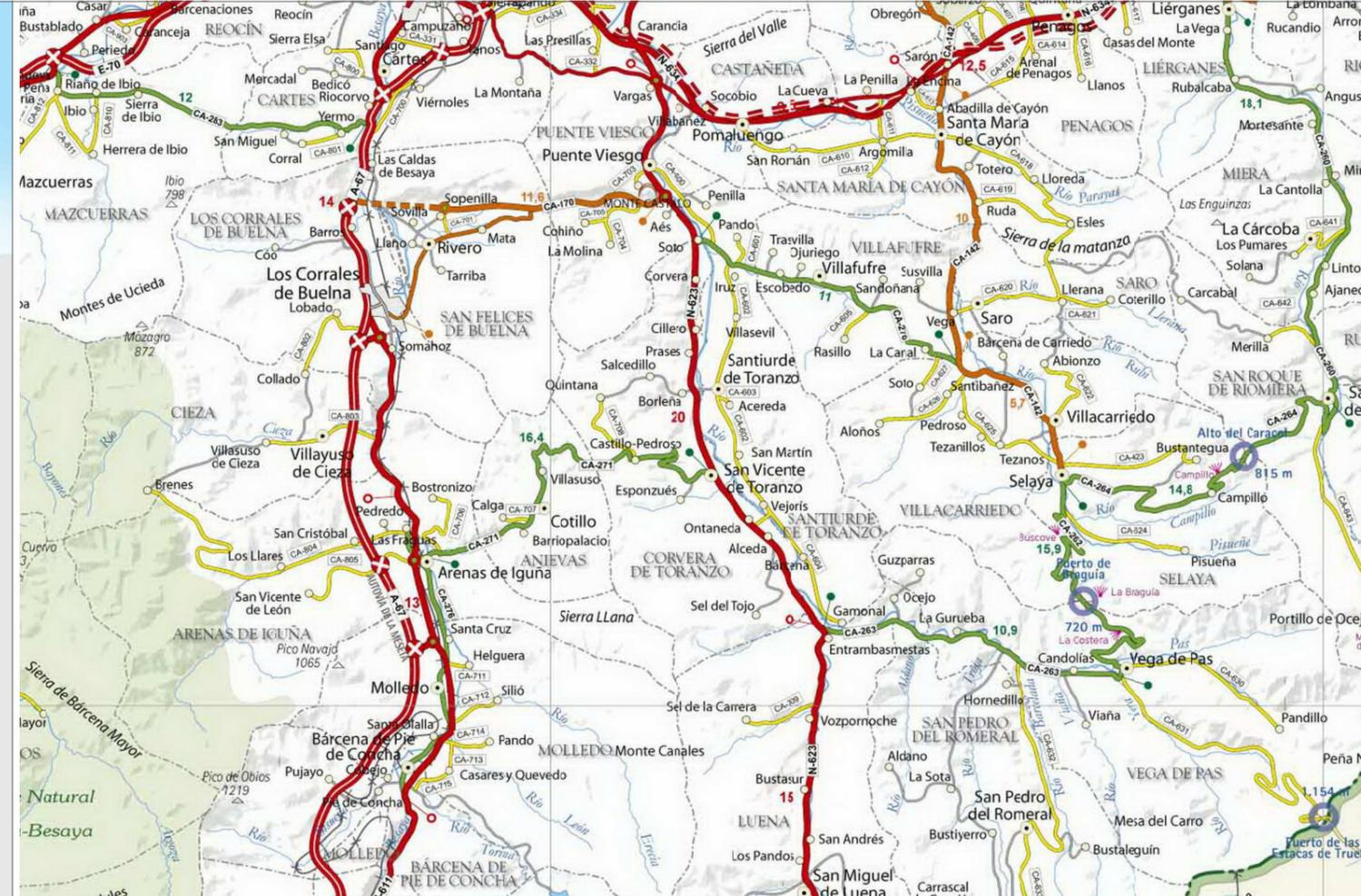
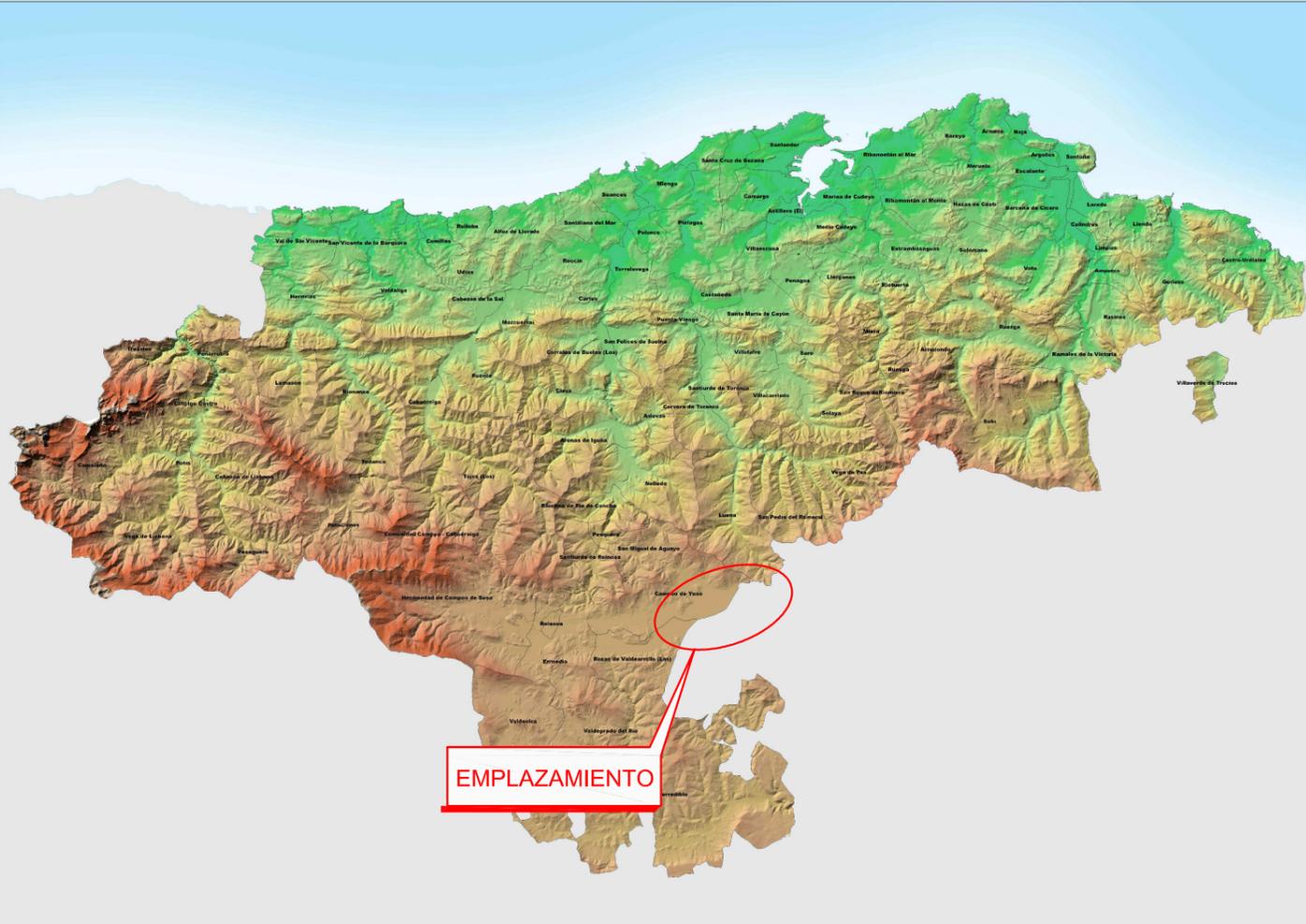
La ejecución de fustes de pilas y estribos, teniendo que realizarse mediante ataguías para realizar trabajos en seco, podrían suponer el **8 % del presupuesto total.**

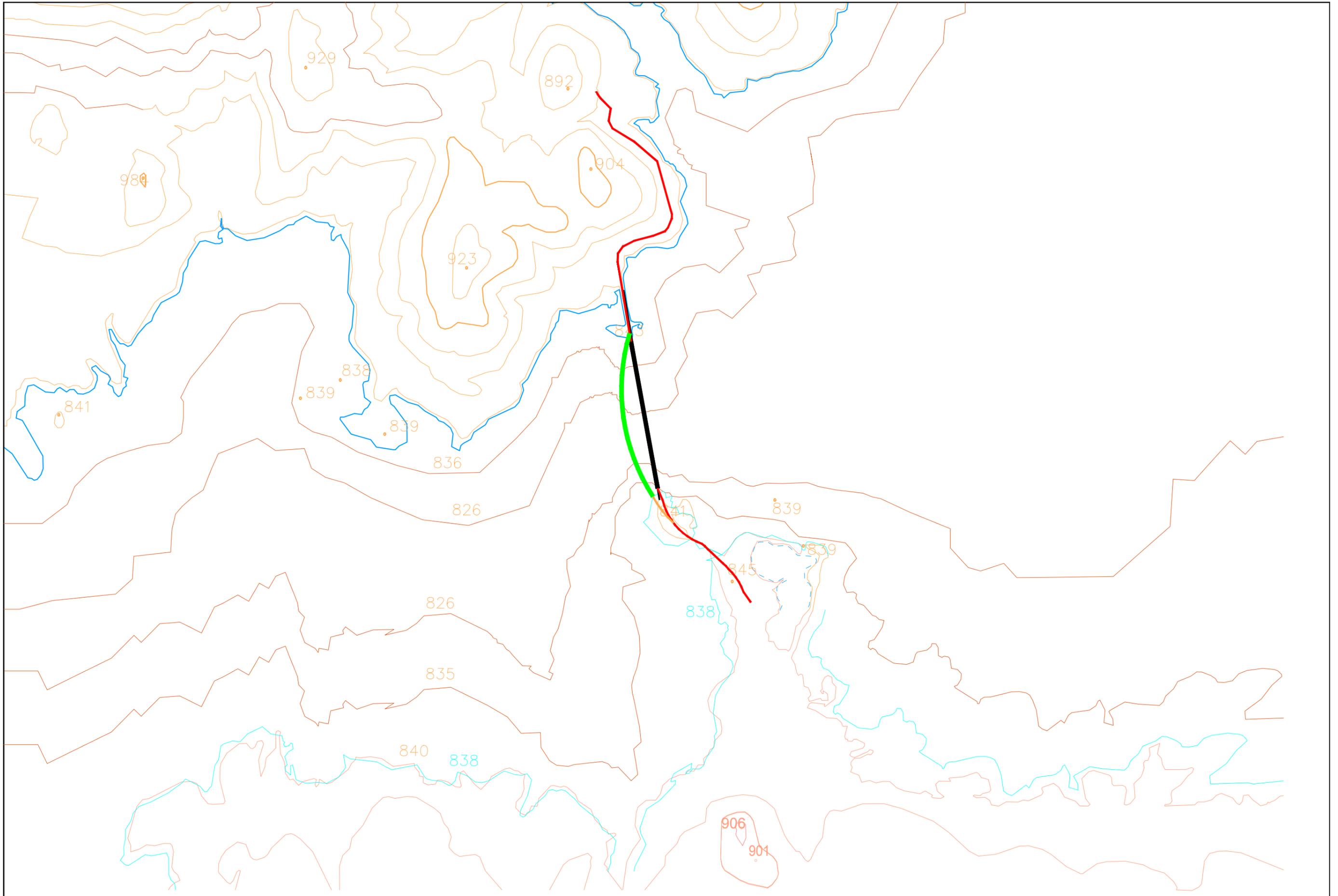
La ejecución completa de la nueva infraestructura tendría un coste aproximado de 9 millones de euros.

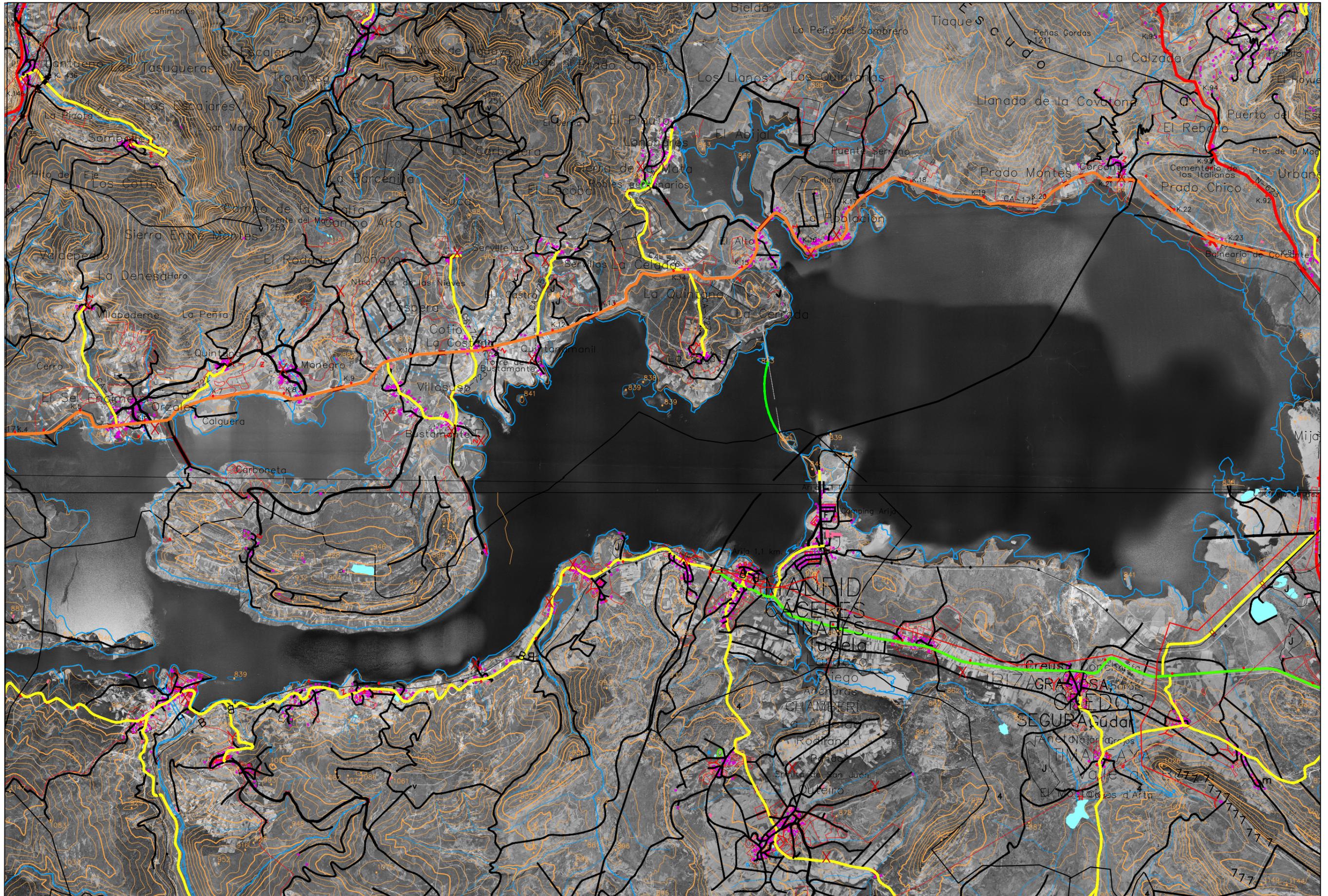
Es necesario aumentarlo en un 12% concerniente a la ejecución de los terraplenes de acceso y las protecciones pertinentes, el firme sobre ellos y los demás trabajos varios de remates en el tablero, reposición ambiental etc. Además de los trabajos de adecuación de ambos accesos.

El presupuesto final estimado para la nueva infraestructura ascendería a los 10,5 millones de euros. Con un coste de 1.700 € / m² de tablero.

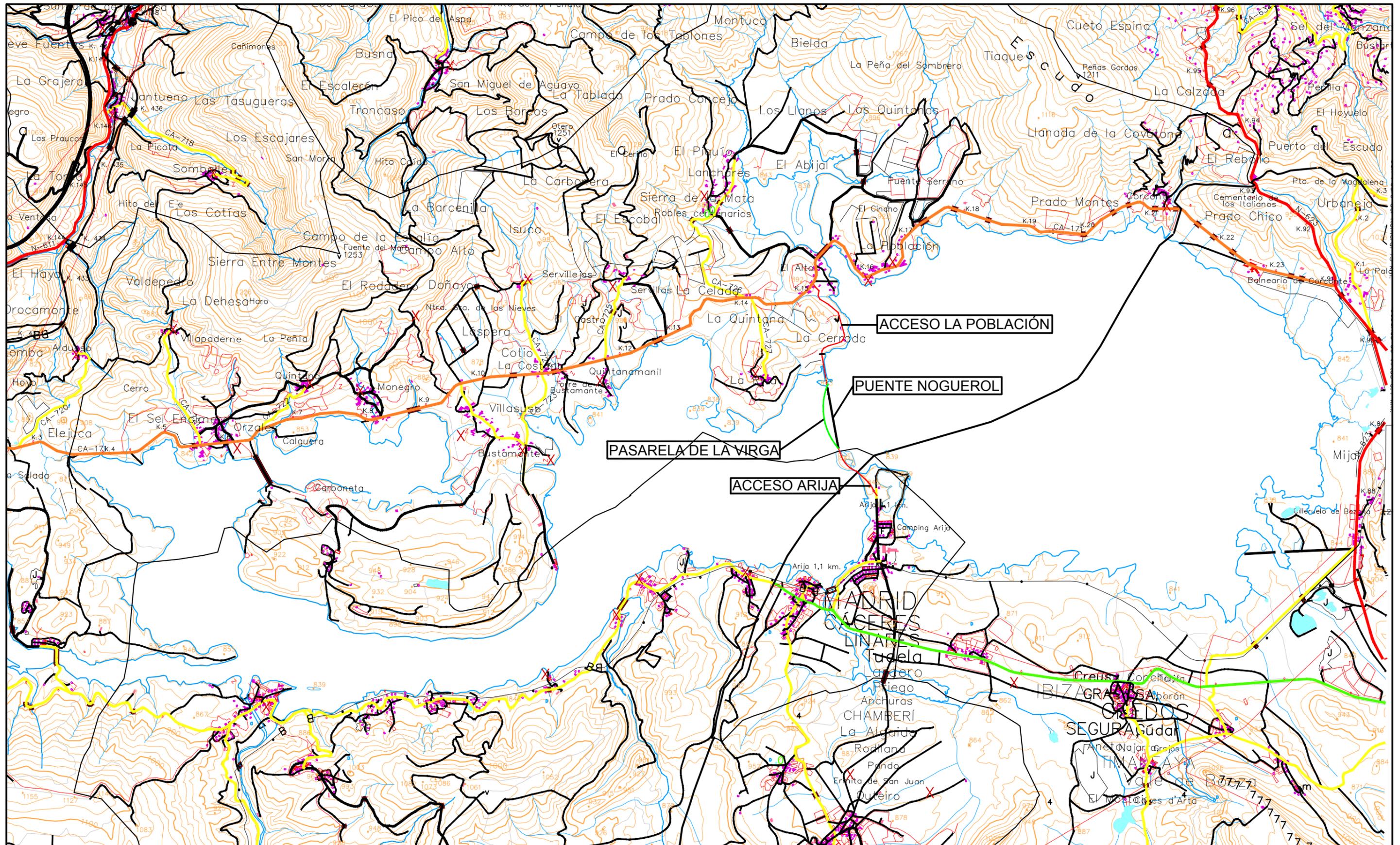
5.6. Planos



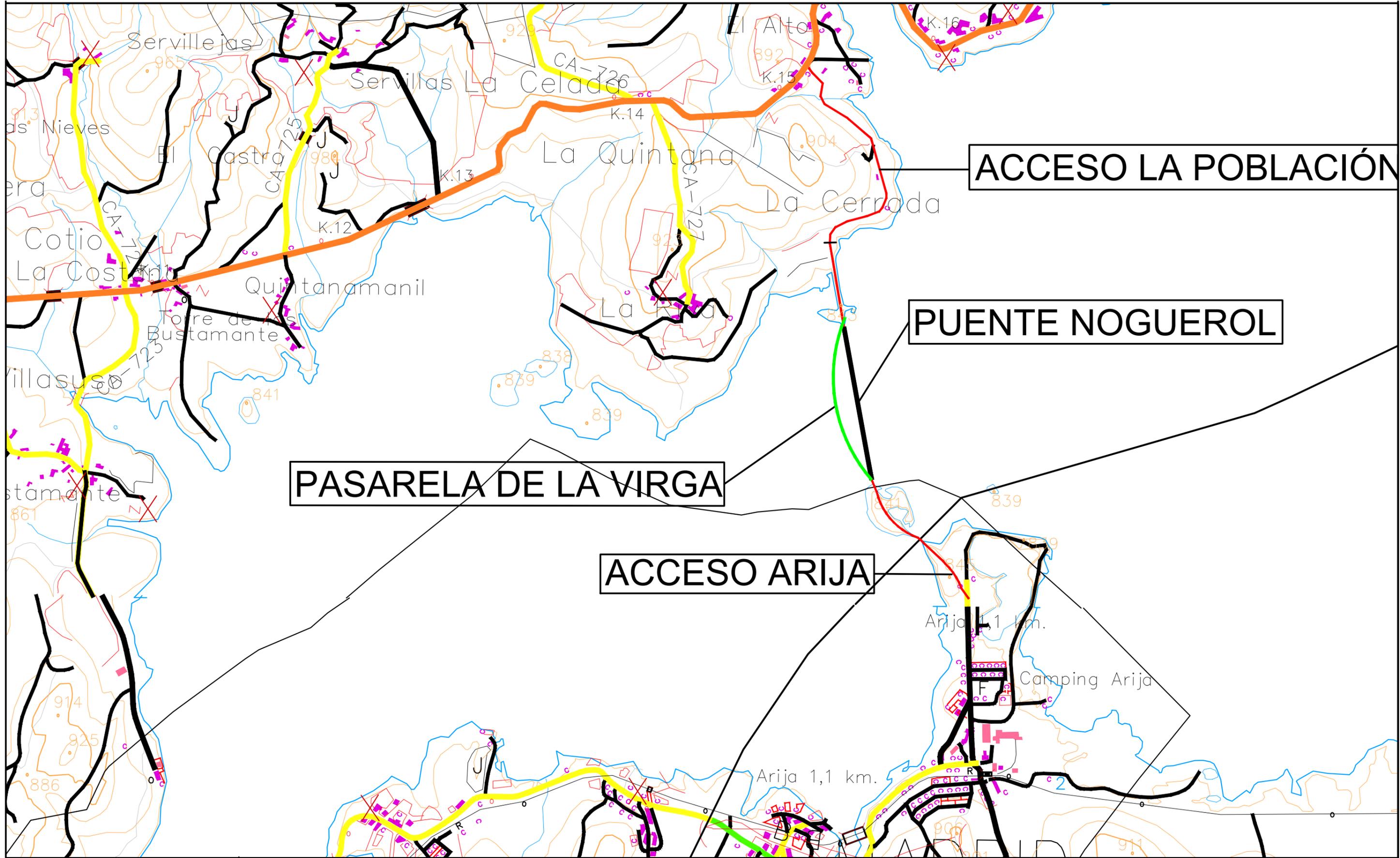




| | | | | | | | | |
|---|------------------------|--|-------------------------|--|--------------|------------------|---|-----------------------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | ESCALA A3 - 1/50.000 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO | Nº DE PLANO 1 | DESIGNACION ORTOFOTO 1957 + CARTOGRAFÍA ACTUAL | FECHA SEPTIEMBRE 2019 |
| | PROYECTO | | | | | HOJA 1 DE 1 | | |



| | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--|-------------------------|---|----------------------------------|---|--------------------------|
|  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER PROYECTO | AUTOR DEL PROYECTO Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | ESCALA A3 - 1/50.000 | TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGUEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | AYUNTAMIENTO N° DE PLANO 1 | DESIGNACIÓN DEFINICIÓN GEOMETRICA 2 HOJA 1 DE 1 | FECHA SEPTIEMBRE 2019 |
|---|------------------------------------|--|-------------------------|---|----------------------------------|---|--------------------------|



ACCESO LA POBLACIÓN

PUENTE NOGUEROL

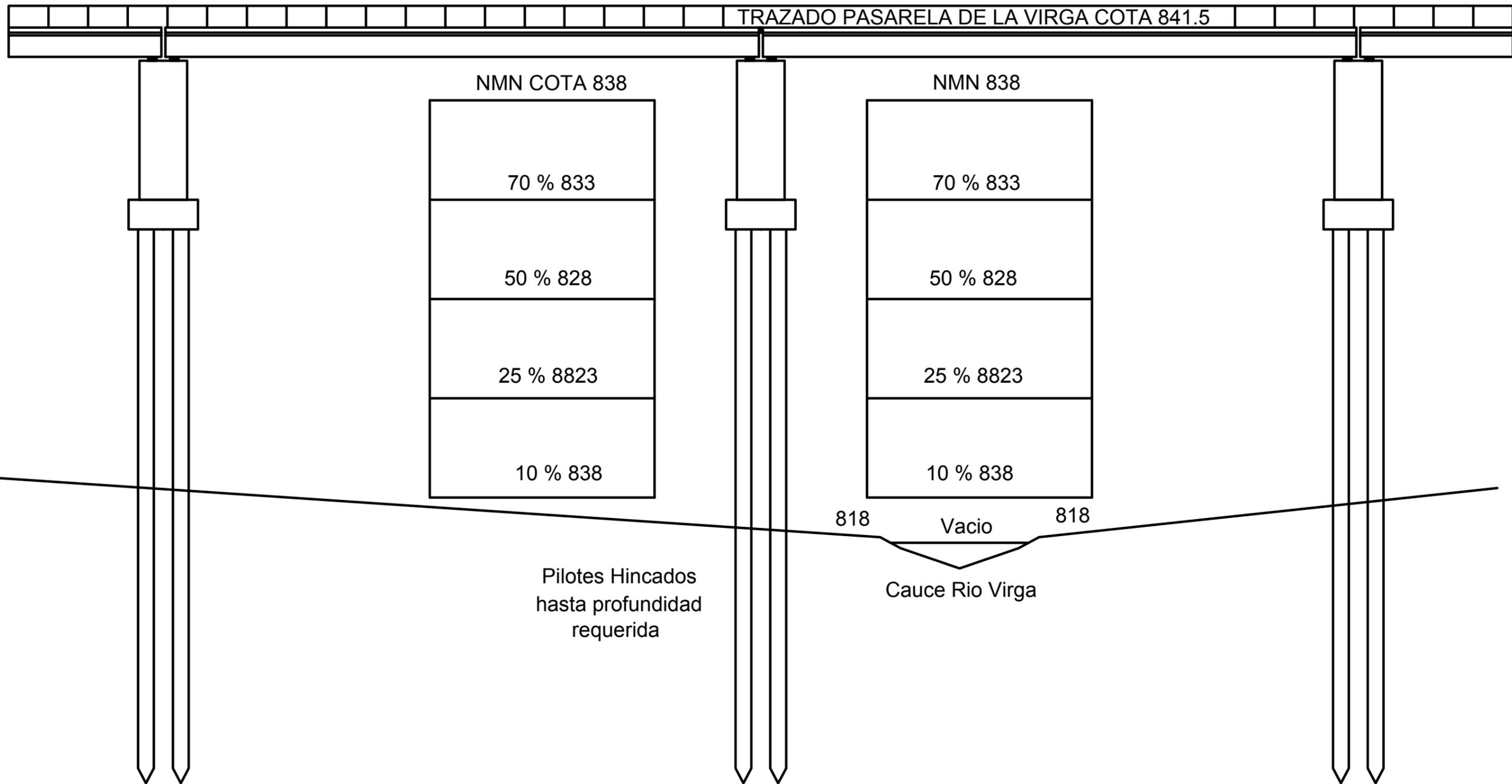
PASARELA DE LA VIRGA

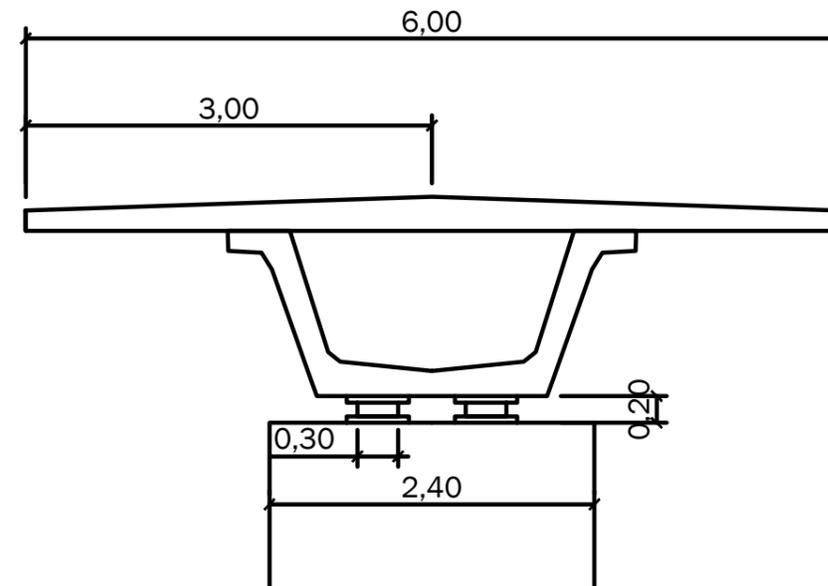
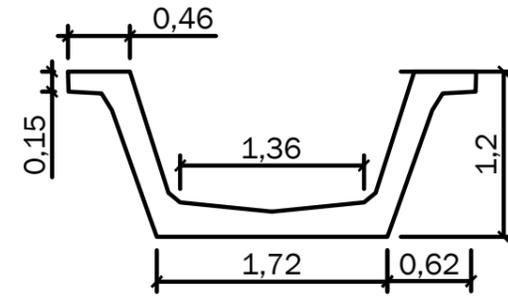
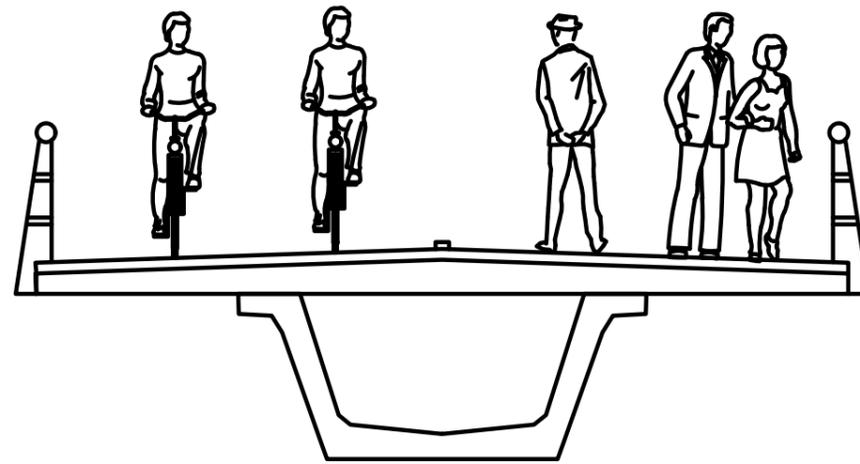
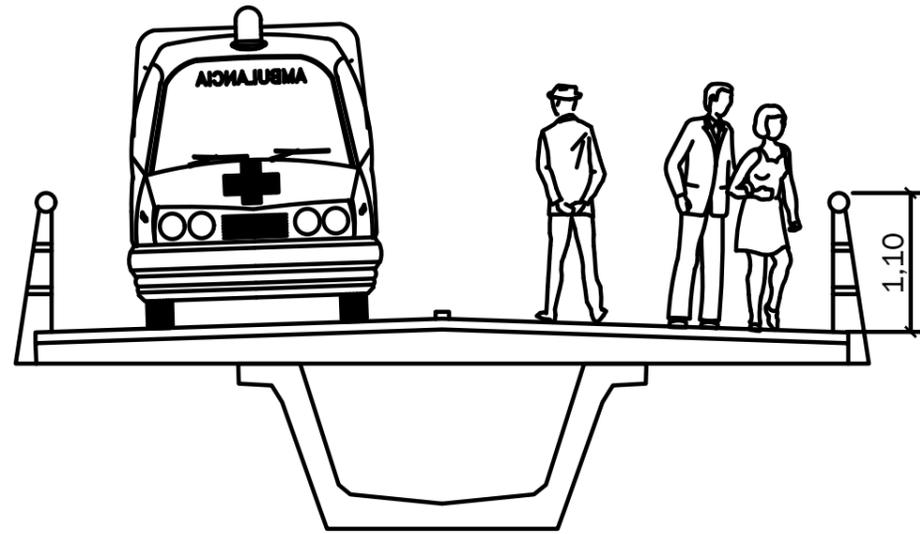
ACCESO ARIJA

Arija 1,1 km.

Arija 1,1 km.

| | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|--------------|--|--------------|-------------|-------------------------|-----------------|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | PROYECTO FIN DE MASTER | AUTOR DEL PROYECTO | ESCALA: | TÍTULO DEL PROYECTO | AYUNTAMIENTO | Nº DE PLANO | DESIGNACION | FECHA |
| | PROYECTO | Fernando Luis Álvarez-Touchard Argüeso | A3 - 1/5.000 | ESTUDIO DEL ANTIGUO PUENTE NOGUEROL Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOBRE EL EMBALSE DEL EBRO | | 1 | DEFINICIÓN GEOMETRICA 1 | SEPTIEMBRE 2019 |
| | | | | | | HOJA 1 DE 1 | | |





6. BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Juan de Herrera Cálculos Gráficos Heyman.
- El Pantano del Ebro y el Puente NogueroI. AUTOR??
- Los Beneficios que supondría el nuevo Puente en el área de su entorno. Marcos Fernández Profesor de Economía Aplicada de La Universidad de Cantabria.
- Tesis Doctoral Interacción de las arenas en Facies Utrillas en las obras de ingeniería civil de Ignacio Menéndez Pidal de Navascués Doctor Ingeniería de Caminos Canales Y Puertos.
- Estudio Previo de Terrenos TRAMO Burgos – Santander.
- Montañas de Campoo de Relieve y Glaciarismo del departamento de Geográfica de la Universidad de Valladolid (UVA) de Enrique Serrano Cañadas.
- Proyecto Indemnización Puente NogueroI y Estudio Hundimiento.
- <https://www.lanuevacronica.com/fomento-lanza-una-inversion-record-de-100-millones-para-carreteras-en-el-arranque-de-2018>
- https://www.fomento.gob.es/elministerio/salade.prensa/noticias/2017/ENERO/170131_1.htm
- <https://www.cceiburgos.es/sites/default/files/ficherospublicados/oportunidades-negocio-merindades.pdf>
- <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000252>
- <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000191>

ANEXO I

Petición ETSICCP Asociación Campurriana Contra la Defensa del Ebro

NUEVO PUENTE NOGUEROL (FUTURO PUENTE VIRGA)

1 – INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objeto explicar los argumentos que nos motivan, a esta Comisión Campurriana para la Historia del Pantano del Ebro, a recuperar una de las obras complementarias que incluía el proyecto del Pantano del Ebro, y que sería de gran utilidad hoy en día para nuestra comarca: el Nuevo Puente Noguerol o Futuro Puente Virga, entre Arija y La Población de Yuso.

2 – EL PUENTE NOGUEROL. BREVE HISTORIA

En el proyecto del Pantano del Ebro de 1916, de Manuel Lorenzo Pardo, se contemplaba poner en contacto las dos orillas del embalse, uniendo Arija con La Población de Yuso y así favorecer las comunicaciones ante la nueva geografía. Y es que el propio embalse se convertía en una barrera física para las comunicaciones terrestres. Pueblos otrora vecinos, quedaban incómodamente alejados a pesar de la cercanía. Para subsanar este inconveniente era preciso construir un gran puente.

En la Memoria del “Proyecto de replanteo previo del camino local de Arija a La Población de Yuso” de René Petit de Ory y Luis Remacha Villar, de fecha de noviembre de 1942, con motivo de la construcción del Pantano del Ebro, se indican el origen y motivos de la construcción de la obra que nos ocupa por la Confederación Hidrográfica del Ebro, pudiendo leerse: *“Entre las peticiones presentadas a la Asamblea de esta Confederación por los pueblos del valle de Campoo de Yuso solicitando compensaciones a los perjuicios de carácter colectivo que se les ha de ocasionar con la creación del pantano, figura en el año 1928, la de la construcción de la carretera de La Población, La Llana a Arija. En vista del número y de la importancia de las peticiones presentadas, dicha Asamblea nombró una Comisión técnica constituida por un Ingeniero de Caminos, un Ingeniero Agrónomo, un Ingeniero de Montes y un Arquitecto, encargada de redactar un informe para entender en el estudio previo de las cuestiones planteadas en las peticiones, y con fecha de 23 de Junio de 1928 lo emite proponiendo la construcción de la carretera que nos ocupa. Examinado el informe por la Asamblea, ésta lo encuentra aceptable, bien dirigido y justificado en vista de lo cual el entonces Delegado de Fomento D. Manuel Lorenzo Pardo, encarga el estudio del establecimiento de comunicaciones entre márgenes del embalse, al Ingeniero de Zona de Cabecera del Ebro D. José Gonzalez Lacasa, quién en 6 de Febrero de 1929 presenta el proyecto de camino vecinal de La Población, La Llana á Arija. En el plan de obras de 1930 la Asamblea consigna en sus presupuestos la mitad del importe de dicho camino. Por circunstancias no conocidas no se vuelve a tratar de la construcción de este camino hasta el año 1936. En 11 de Abril de 1936 el Ilmo. Sr. Director General de Obras Hidráulicas comunica al Delegado del Gobierno en esta Confederación la aprobación técnica y definitiva del proyecto de este camino vecinal, encargando con todo interés y urgencia se proceda a la ejecución inmediata de las obras por Administración.”* La Memoria del Proyecto de noviembre de 1942 continúa señalando que por causa de la Guerra Civil las obras no llegaron a iniciarse entonces.

También figuraba como una de las obras complementarias en el informe de la Confederación Hidrográfica del Ebro de 1947, en el Apdo. Carretera de Arija a La Población: *“Cruzando el embalse de sur a norte, tiene 4 km de longitud; el pase del embalse se salva con un viaducto de 850 m de largo”* (Figura 1). En realidad, el puente construido llegaría a tener unos 900 m de largo y 43 arcos (incluidos 6 de aproximación), con longitudes de acceso desde Arija a la entrada del puente de 1.000 m y desde la salida del puente hasta el cruce con la carretera de La Población de Yuso de 1.900 m aproximadamente. La longitud total del trazado era, por tanto, de unos 3,8 km.

La situación geográfica del puente corresponde por entero a la Región de Cantabria, en concreto al Ayuntamiento de Campoo de Yuso y más específicamente al pueblo de La Riva. A unos 500 m al este del extremo sur del puente se encuentra un punto administrativo donde confluyen cuatro Ayuntamientos: Campoo de Yuso y Las Rozas de Valdearroyo (Cantabria) y Arija y Valle de Valdebezana (Burgos) (Figura 2). El citado lugar está identificado físicamente por una elevada columna vertical de hormigón.

La denominación de “Puente Noguero” se debe al nombre de la empresa adjudicataria de las obras, Construcciones Noguero, propiedad de unos hermanos con ese apellido que vinieron de Calatayud. Se sabe que las obras del Puente Noguero les fueron adjudicadas por la Dirección General de Obras Hidráulicas el 19 de diciembre de 1944, se iniciaron en el año 1945 y fueron concluidas en mayo de 1952 (Figura 3). Se estuvo utilizando desde esta fecha hasta el domingo, 28 de septiembre de 1952, en que se hundieron los arcos centrales del puente, sin haberse inaugurado (Figura 4). Posteriormente se estableció un servicio de barcas hasta 1954, siendo finalmente el puente dinamitado por el Ejército a comienzos de la década de 1960. El 6 de agosto de 1952 (2 escasos meses antes del hundimiento del puente) Franco había inaugurado el Pantano del Ebro en Arroyo, no inaugurando curiosamente el Puente Noguero.

En el Informe Preliminar sobre el hundimiento del tramo afectado del viaducto, con fecha de 31 de enero de 1953, elaborado por el Inspector Regional de la 9ª Demarcación Rafael Martínez Torres, se describen de modo sucinto los antecedentes del planteamiento del camino y se indican las posibles causas del hundimiento, pretendiendo la exclusión de responsabilidades. En la Memoria de Liquidación, de 31 de enero de 1961, se acompaña como anejo y resumen de todas las incidencias de la obra el citado Informe Preliminar sobre el hundimiento, además del Acta de Recepción única y definitiva de 25 de junio de 1957. Se ha asumido que la falta de rigor en la construcción del puente fue la causa del derrumbe: la inestabilidad de su cimentación indirecta con haces de pilotes de madera, no contener los materiales - el cemento y el hierro - necesarios para proporcionar la resistencia suficiente y también unas condiciones constructivas inadecuadas para un terreno cenagoso.

3 – EL NUEVO PUENTE NOGUERO (PUENTE VIRGA). PLANTEAMIENTOS DE FUTURO

Recuperar la comunicación entre las dos riberas, a través de un nuevo puente, era y es fundamental. La mejor prueba es que el propio Régimen de entonces, a pesar de su tacañería con la comarca, encargó la construcción del puente (aunque luego se cayese). Lo que no es lógico es que una vez demolido el puente (si no tenía arreglo el derrumbe inicial de los arcos), no se construyese otro, puesto que las necesidades de comunicación entre las dos riberas seguían - y siguen - existiendo. El rodeo que ello supone para comunicar ambas riberas del Pantano es considerable. Por poner un ejemplo, es como si en la actual Autovía de la Meseta fallase uno de los viaductos y en lugar de repararlo, se cortase la comunicación haciéndonos circular en ese punto por la antigua carretera de las Hoces de Bárcena.

Remontándonos en la historia, cerca del trazado del Puente Noguero transcurrían antiguas rutas de comunicación y ganaderas, algunas probablemente prerromanas. Gracias al nuevo puente podría, en concreto, recuperarse una antigua vía de trashumancia que en la actualidad se encuentra interrumpida por el Pantano. Muy cerca de esta ruta, al este y en territorio de La Población de Yuso, se encuentra el campamento romano de El Cincho donde se vienen realizando campañas de excavaciones arqueológicas (Figura 5).

Actualmente, la comunicación entre las poblaciones seguramente de mayor actividad de la zona, como son Arija y La Población, a través del nuevo puente, supondría una dinamización económica del conjunto del entorno del Pantano, sobre todo de su ribera sur (más deprimida), dotándole de un fuerte atractivo turístico. Además, mejoraría la comunicación del norte de Burgos (Arija, Valdebezana, Santa Gadea, Bricia, etc.) y el nordeste de Valderredible con Reinosa y su comarca, reduciendo distancias, lo que implicaría un mayor desarrollo y mejores servicios en esas áreas rurales burgalesas y cántabras. Por su parte, la ciudad de Reinosa adquiriría mayor entidad como centro administrativo y de gestión de servicios de una amplia área geográfica, en educación, sanidad, atención infantil, tercera edad, etc.

Para hacernos una idea, entre el barrio de La Vilga de Arija y el cruce de la Población de Yuso, según Google Maps, hay actualmente por carretera una distancia de unos 25 km, empleando un vehículo por término medio el tiempo de 27 minutos (Figura 6). Un enlace directo entre estos puntos supondría acercarlos a menos de 4 km, sin poblaciones intermedias. Como se observa, el ahorro de distancia y de tiempo sería notable con el nuevo puente. Si otros puentes que se han construido desde hace unos años sobre el Pantano del Ebro eran necesarios - como el de acceso a La Población desde la carretera autonómica CA-171 (Figura 7) y el nuevo puente construido de Orzales a La Lastra -, el Nuevo Puente Nogueroles no lo es menos, y así aunque el coste de éste efectivamente pudiera resultar mayor por su longitud casi kilométrica, sin duda quedaría compensado por los importantes beneficios que aportaría.

Por otra parte, el hecho de que el Puente Nogueroles llegase en su tiempo a estar construido, entendemos que puede tener consideraciones legales. Es muy probable que la responsabilidad del Estado en "rehacer" un nuevo puente, caído como consecuencia de una obra fallida de su competencia, no prescriba aunque hayan transcurrido 66 años. Incluso si se argumentase que el fallo fue de la empresa Nogueroles, nos asistiría todo el derecho ante el Estado al ser éste responsable civil subsidiario. Desconocemos la base legal que podría ser aplicable al caso.

Según se ha visto, desde esta Comisión planteamos el nuevo puente con un enfoque multidisciplinar: técnico, económico, histórico, legal, etc. que constituye la justificación motivada de nuestra petición. Como consecuencia de la riqueza que se obtiene por el aprovechamiento del Pantano en la cuenca del Ebro, es fundamental que la Confederación Hidrográfica del Ebro se implique para financiar el nuevo puente, pudiéndose conseguir además posibles fondos europeos que ayuden económicamente en este tipo de ejecuciones.

A modo de ejemplo, la Figura 8 representa la infografía de un supuesto puente entre Arija y La Población, publicada en la web www.arija.org. Hay otros puentes de estilo de arco en España sobre pantanos y ríos, como el de Almonte de 996 m de largo y el de Alcántara de 1.448 m, ambos para la vía del AVE. Un puente de longitud similar al Nogueroles sobre pantano es el de Riaño, en León: tiene 820 m y está realizado con tablero, de vigas prefabricadas que asientan sobre pilas de doble fuste (Figuras 9, 10 y 11). En todo caso, las técnicas constructivas actuales adecuadas harían que la ejecución del Futuro Puente Virga fuera factible y viable.

Finalmente, indicar que con la presente exposición, orientada a conseguir que la construcción del Nuevo Puente Virga sea una realidad, pretendemos favorecer el futuro desarrollo de los pueblos del entorno del Pantano del Ebro, tratando de aprovechar las oportunidades que, en un contexto económico y social muy diferente al que existía en el momento de su construcción, pueden tener actualmente los municipios ribereños. El Pantano del Ebro, que permitió el progreso y el desarrollo de otras tierras aguas abajo, tuvo un enorme coste para las zonas afectadas sin que llegasen las compensaciones prometidas. Ante ello, destacamos la necesidad y el deber de compensar adecuadamente a nuestro valle, potenciando las infraestructuras y los recursos que permitan impulsar su castigado desarrollo económico y social. De hacer, en definitiva, justicia con la deuda histórica contraída por el Estado con aquellos pueblos que se sacrificaron para contribuir al progreso económico del país.

4 – GESTIONES Y ACUERDOS ALCANZADOS

El pasado día 5 de octubre de 2017 representantes de la Comisión Campurriana para la Historia del Pantano del Ebro y de los Ayuntamientos de Campoo de Yuso y de Arija se reunieron con el Consejero de Obras Públicas del Gobierno de Cantabria, José María Mazón, en la Consejería de Santander, quien manifestó su respaldo a la petición de recuperación del Puente Nogueroles (Figuras 12 y 13).

En cuanto a acuerdos alcanzados, el 23 de octubre de 2017, es aprobada por unanimidad en el Pleno del Parlamento de Cantabria una proposición no de ley presentada por el PRC para la recuperación de la infraestructura del Puente Nogueroles (Figura 14).

A comienzos del año 2018, concretamente el 18 de enero, es aprobada por mayoría en el Pleno de la Diputación Provincial de Burgos una proposición no de ley presentada por el PP para la recuperación de la infraestructura del Puente Noguero (Figura 15).

Posteriormente, el 14 de febrero de 2018, es aprobada por unanimidad en la Comisión de Fomento de las Cortes de Castilla y León una proposición no de ley presentada por el PP para la recuperación de la infraestructura del Puente Noguero (Figura 16).

Más recientemente, esta Comisión Campurriana para la Historia del Pantano del Ebro organizó las II Jornadas sobre el Pantano del Ebro, que tuvieron lugar en La Casona del día 17 al 31 de agosto de 2018, y coordinó la publicación del libro “El Pantano del Ebro y el Puente Noguero. Mirando al futuro sin olvidar el pasado”, reivindicando la construcción del Futuro Puente Virga.

Para conseguir el objetivo del futuro puente, desde esta Comisión Campurriana venimos manteniendo además contactos con la Universidad de Cantabria (UC), en concreto con la ETS de Ingenieros de Caminos. El motivo es procurar la realización de proyectos de fin de carrera, orientados al Nuevo Puente Virga desde una perspectiva técnica e histórica: estudio y análisis de los restos actuales; proyecto de un nuevo puente y desarrollo del conjunto de la infraestructura viaria, con presupuesto constructivo, etc. Hasta la fecha, tenemos constancia de que sí existe interés en la realización del proyecto.

Así mismo, los profesores de Económicas de la UC podrían encargar dentro de sus líneas de trabajo, como proyecto de fin de grado a alumnos de su Facultad, un estudio sobre la repercusión económica y social que tendría en la comarca la construcción del puente. Sabemos que dentro del ámbito de la Facultad de Económicas existen grupos de investigación que trabajan sobre temas de infraestructuras, con análisis coste - beneficio.

5 – ESTUDIO SOBRE BENEFICIOS ECONÓMICOS QUE SUPONDRÍA EL NUEVO PUENTE

A continuación transcribimos - en cursiva - un resumen del estudio titulado “Los beneficios económicos que supondría el Nuevo Puente en el área de su entorno”, realizado por Marcos Fernández Gutiérrez, profesor de Economía Aplicada de la Universidad de Cantabria, y que fue publicado en el Capítulo 4.4 del libro “El Pantano del Ebro y el Puente Noguero. Mirando al futuro sin olvidar el pasado”:

“En el libro “El Pantano del Ebro y el Puente Noguero. Mirando al futuro sin olvidar el pasado”, analizamos los efectos que tendría en la zona la reconstrucción del Puente Noguero, bajo el nuevo nombre de Puente Virga (para no servir de homenaje a la empresa responsable de los defectos en la construcción del Puente Noguero –Construcciones Noguero, a la que debía su nombre original-). En este análisis, en primer lugar, se ha determinado cuál sería el área de la zona beneficiada por la recuperación del Puente, el cual volvería a conectar directamente ambas orillas del Pantano, uniendo las localidades de Arija y La Población (Figura 17). En el mapa se observan 6 zonas beneficiadas: las zonas 1 a 3, en la orilla Norte, que corresponden al municipio de Campoo de Yuso; la zona 4, que engloba Arija y otras localidades al Sudeste del Pantano en diversos municipios de Burgos y Cantabria; la zona 5, que incluye el grueso del municipio de Las Rozas de Valdearroyo y varias localidades de Valdeprado del Río; y la zona 6, que incluye Reinosa y otras localidades de su entorno.

En el libro, estimamos el ahorro en tiempo (minutos) y distancia física (kilómetros) que se obtendría en los trayectos entre cada una de estas zonas, como consecuencia de la recuperación del Puente (Figura 18). Como se observa, considerando recorridos de ida y vuelta, el Puente permitiría ahorrar entre 20 y 30 minutos y entre 20 y 35 kilómetros (dependiendo de las localidades de origen y destino) en los trayectos entre las orillas Norte y Sur del Pantano (por ejemplo, 23 minutos y 28 kilómetros en un recorrido de ida y vuelta entre La Población y Arija), además de ahorrar unos 13 minutos en un recorrido entre la zona 4 y Reinosa o la autovía A-67 en dirección Santander.

A partir de estos cálculos, estimamos tres tipos de beneficios económicos que generaría el puente. Primero, beneficios en los desplazamientos que ya se estén produciendo en los trayectos afectados por el Puente, derivados del ahorro de tiempo, la reducción de los gastos de operación de los vehículos, la disminución de accidentes y la reducción de emisiones contaminantes. Segundo, beneficios asociados al tráfico inducido: esto es, el tráfico que se generaría al reducirse el tiempo de viaje como consecuencia del Puente. Y tercero, beneficios asociados a externalidades: otras actividades afectadas de manera indirecta por la construcción del Puente (por ejemplo, el desarrollo de actividades de comercio o turismo).

Los siguientes ejemplos sirven para ilustrar la magnitud de los beneficios económicos que supondría el Puente:

- *Para una persona que se desplazara todos los días laborables entre La Población y Arija por motivos de trabajo, el Puente generaría un beneficio de unos 3.300 euros anuales si el vehículo utilizado es un turismo, y de unos 3.800 si se trata de una furgoneta.*
- *En el caso de una persona que se desplace diariamente a trabajar en un turismo desde Arija hasta Reinosa, la infraestructura generaría un beneficio de unos 1.100 euros al año. Si dicho desplazamiento se realiza una vez a la semana, para realizar compras o desarrollar otras obligaciones similares, el beneficio sería de unos 250 euros anuales.*
- *Para un camión que haga una vez a la semana el recorrido entre la autovía A-67 y Arija por motivos productivos, el beneficio sería de unos 550 euros anuales.*
- *Para una persona que, por motivos de ocio, se desplace todos los fines de semana en un turismo entre La Población y las Rozas, el beneficio generado por el Puente sería de unos 300 euros al año.*

Por otro lado, estimamos también que el Puente incrementaría el tráfico actual (Figura 19) en cifras de entre el 20% y el 40% a corto plazo, y entre el 45% y el 80% a largo plazo (todo ello, dependiendo de las localidades de origen y destino), para trayectos entre las orillas Norte y Sur del Pantano; y en torno a un 15% a corto plazo y un 30% a largo plazo para trayectos entre la zona 4 y Reinosa o la autovía A-67.

Por último, en cuanto a las externalidades, el Puente tendría efectos positivos sobre otras actividades, en lo cual reside su principal potencial para favorecer la mejora de la realidad económica y social de la zona. En particular, incrementaría la productividad de las empresas que operen en la zona (incluyendo, en particular, las industriales), al reducir los costes de traslado de materias primas y productos terminados; aumentaría las oportunidades para vivir en la zona y compatibilizarlo con poder trabajar en otros lugares, al mejorar las comunicaciones; permitiría, mediante el mejor aprovechamiento de la escala derivada de la conexión de ambas orillas, la potenciación de actividades existentes y el desarrollo de otras nuevas (pequeño comercio, construcción, ganadería, transportes, servicios públicos y actividades relacionadas con el turismo y el ocio); y posibilitaría, en resumidas cuentas, reducir el aislamiento de las zonas afectadas.

Basándonos en este análisis, planteamos la recuperación de un puente que comunique las dos orillas del Pantano el Ebro, basándonos en la rentabilidad e importantes beneficios que tendría para la zona afectada. Lo planteamos, además, como una compensación justa, aún pendiente, para la zona afectada por una obra hidráulica que ha sido, y sigue siendo, fundamental para el conjunto de nuestro país. Un reconocimiento a las personas que tuvieron que dejar sus casas y sus trabajos como consecuencia del Pantano, para comenzar una nueva vida. Un símbolo de justicia y, a su vez, un potente instrumento para la conexión y el desarrollo económico de la zona. Un Puente que nunca debía haberse venido abajo pero que, ahora, con un país democrático, moderno y con nuevas oportunidades de progreso económico (a diferencia del país que, en plena Posguerra, acometió la finalización de la obra), es un deber recuperar.”

6 – POR QUÉ SE TIENE QUE RECONSTRUIR EL PUENTE NOGUEROL (FUTURO PUENTE VIRGA)

- PORQUE FUE UN COMPROMISO QUE HICIERON LOS PROMOTORES DEL PANTANO DEL EBRO PARA COMPENSAR LOS PERJUICIOS QUE IBA A OCASIONAR SU CONSTRUCCIÓN EN EL ENTORNO Y, POSTERIORMENTE, UN DESAGRAVIO A LOS VECINOS AFECTADOS POR TODAS LAS PROMESAS INCUMPLIDAS.
- PORQUE LOS BENEFICIOS QUE HA GENERADO Y GENERA EL PANTANO DEL EBRO SON INMENSOS EN OTRAS REGIONES AGUAS ABAJO, MIENTRAS QUE EN NUESTRA COMARCA, PARA MAYOR AGRAVIO, LAS INDEMNIZACIONES FUERON MISERAS Y ABONADAS TRANSCURRIDOS 20 AÑOS Y SIN ACTUALIZAR.
- PORQUE LA ADMINISTRACIÓN TAMBIÉN PROMETIÓ QUE ESTOS BENEFICIOS ECONÓMICOS SE UTILIZARÍAN DANDO PRIORIDAD EN COMPENSAR LA ZONA AFECTADA POR EL PANTANO, DEBIÉNDOSE UTILIZAR UNA MÍNIMA PARTE DE LOS MISMOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE NOGUEROL.
- PORQUE ES INCOMPRENSIBLE DESDE TODO PUNTO DE VISTA HUMANO, TÉCNICO Y JURÍDICO QUE UNA VEZ QUE SE HUNDIERA PARCIALMENTE EL PUENTE NOGUEROL FUESE DINAMITADO, EN LUGAR DE SER RECONSTRUIDA ESTA NECESARIA OBRA.
- PORQUE EL NUEVO PUENTE NOGUEROL (FUTURO PUENTE VIRGA) UNIRÍA NUEVAMENTE CAMPOO DE YUSO CON ARIJA, SIRVIENDO PARA REVITALIZAR LA MALTRECHA ECONOMÍA OCASIONADA POR EL PANTANO EN ESTAS COMARCAS, CON LA CONSIGUIENTE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO, AHORRO DE CONSUMO ENERGÉTICO Y REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

LA COMISIÓN CAMPURRIANA PARA LA HISTORIA DEL PANTANO DEL EBRO

3 de septiembre de 2018

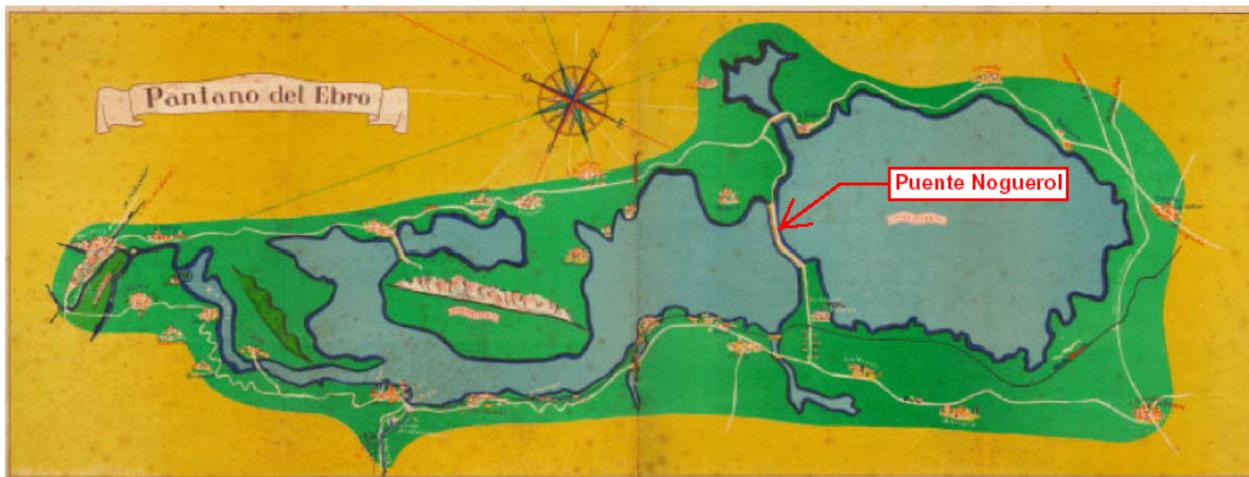


Figura 1 – El Puente Nogueroles representado en un dibujo del Pantano del Ebro, publicado por la Confederación Hidrográfica del Ebro en 1947, coincidiendo con el inicio de su embalsamiento.

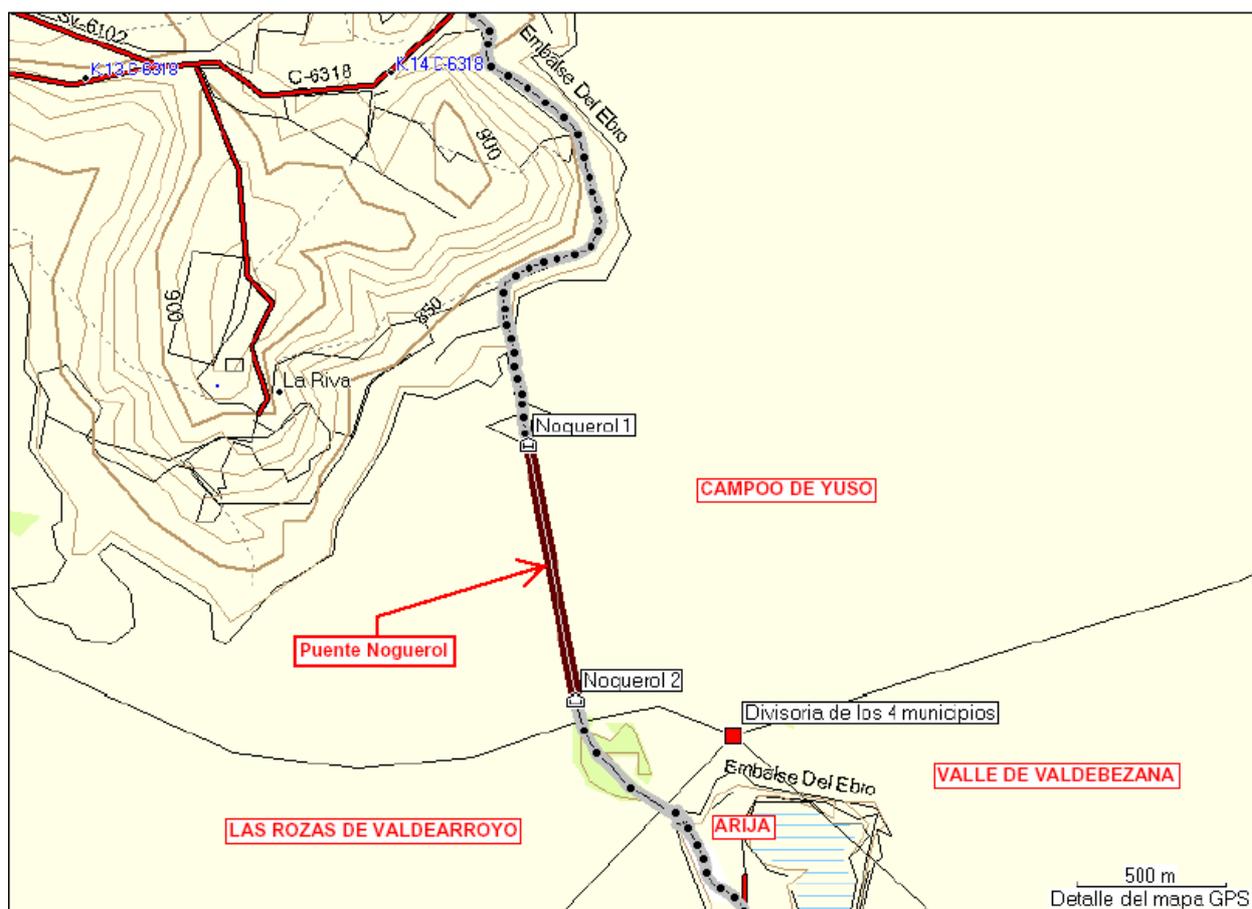


Figura 2 – Situación del Puente Nogueroles con los accesos a Ariza y a La Población de Yuso.

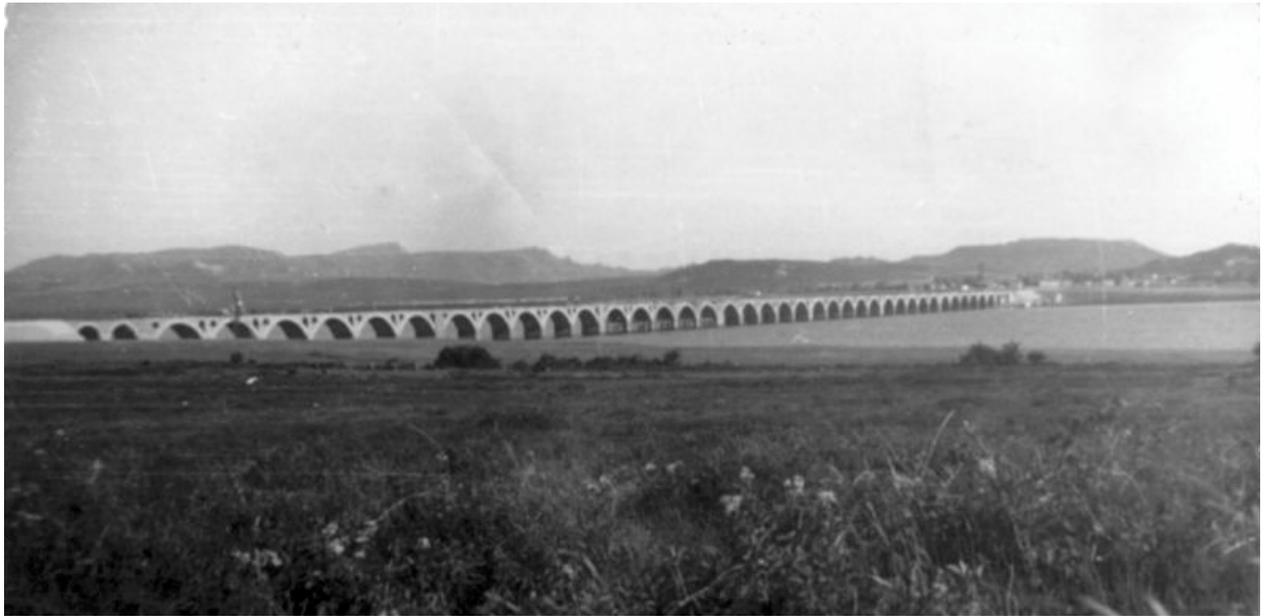


Figura 3 – Foto del Puente Nogueroles terminado, antes de su hundimiento.

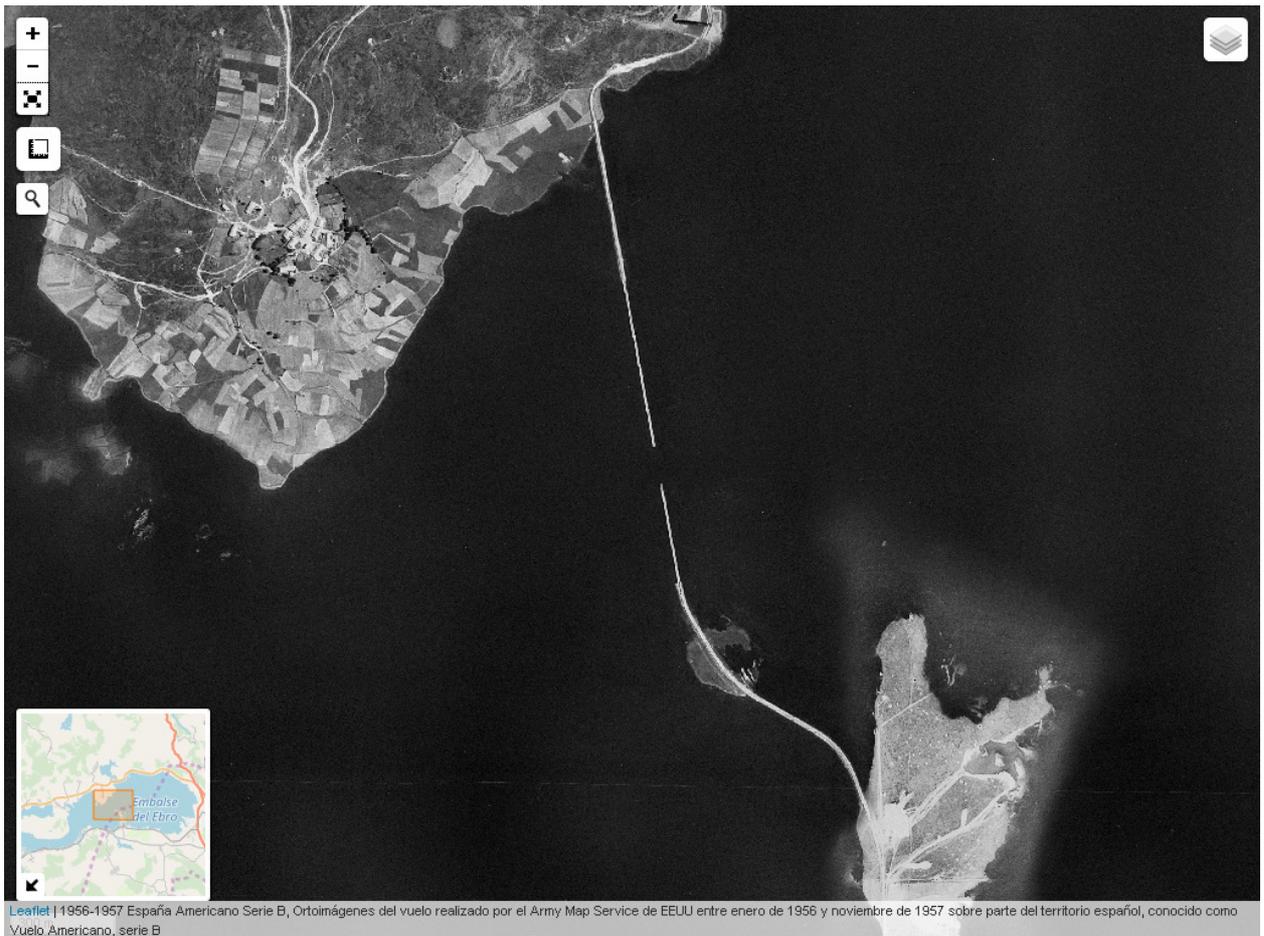


Figura 4 – Ortofotografía del Puente Nogueroles correspondiente al Vuelo Americano serie B, de enero de 1956 a noviembre de 1957, donde se aprecia el hundimiento de sus arcos centrales.

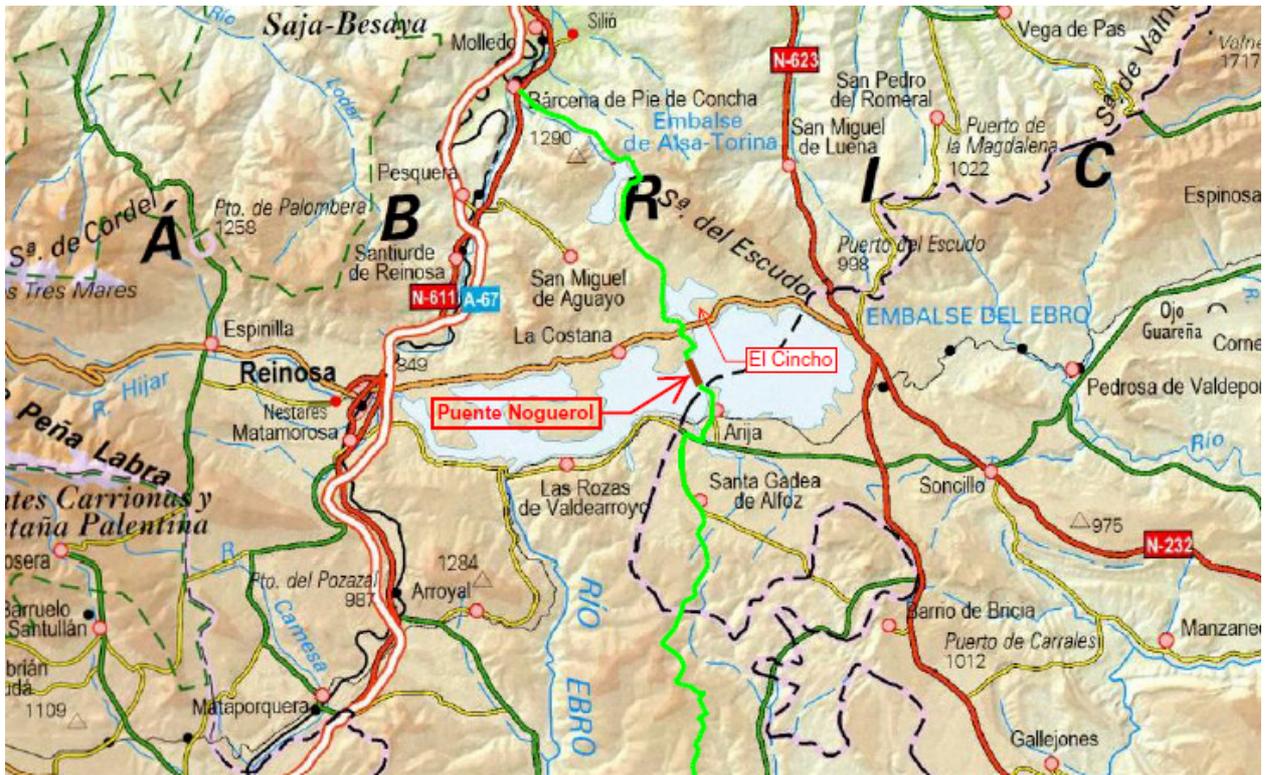


Figura 5 – Representación de la antigua ruta ganadera de trashumancia (línea de color verde claro) con la situación del Puente Noguero aproximadamente en su trazado. Muy cerca, a la derecha y en territorio de La Población de Yuso, se sitúa el campamento romano de El Cincho.

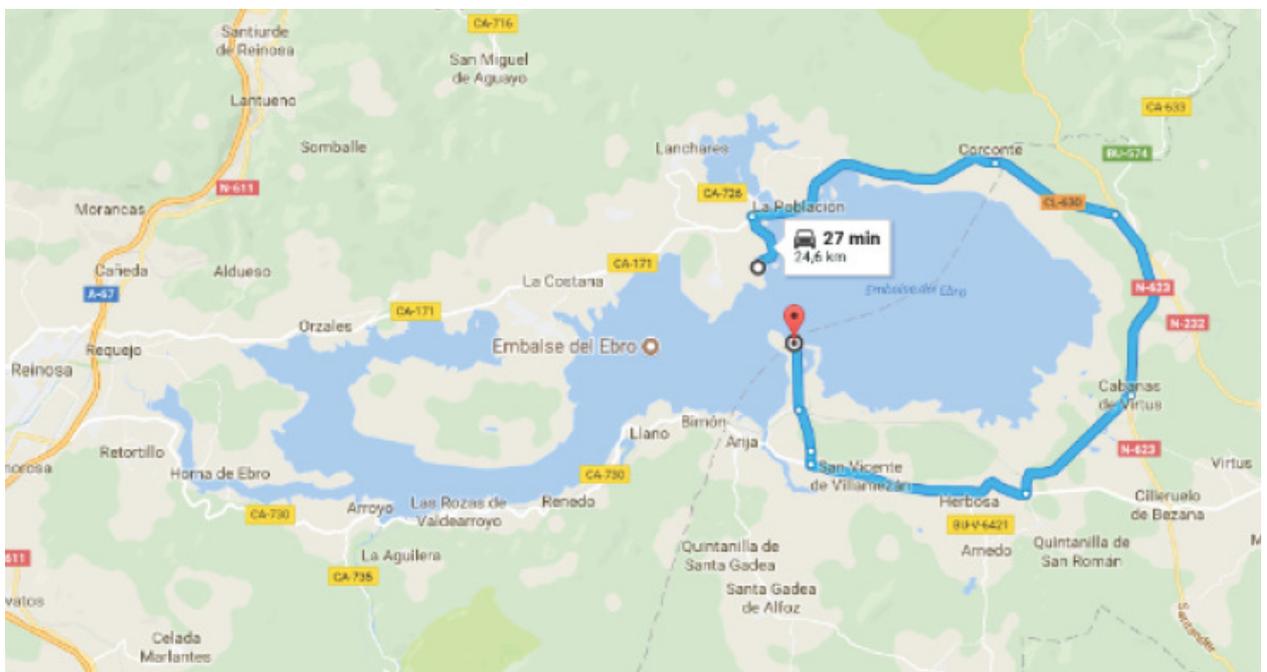


Figura 6 – Entre Arja y el cruce de la Población de Yuso hay actualmente por carretera, según Google Maps, una distancia de unos 25 km, empleando un vehículo en torno a 27 minutos.



Figura 7 – Representación del Puente Noguero con los accesos a Arijá y a La Población de Yuso. En el recuadro se observan los dos puentes existentes de acceso a La Población desde la carretera autónoma CA-171.



Figura 8 – Infografía idealizada del Nuevo Puente Noguero, entre Arijá y La Población, publicada en la web www.arija.org.



Figuras 9, 10 y 11 – Puente existente sobre el Pantano de Riaño (en León).



Figuras 12 y 13 – Momentos de la reunión con el Consejero de Obras Públicas en Santander.


Parlamento de Cantabria
BOLETÍN OFICIAL

Página 7840 24 de octubre de 2017 Núm. 289

4. PROPUESTAS DE RESOLUCIÓN.

4.3. PROPOSICIONES NO DE LEY ANTE EL PLENO.

RECUPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA "EL PUENTE NOGUEROL" POR TRATARSE DE UN ELEMENTO CLAVE PARA LA DINAMIZACIÓN ECONÓMICA DE LA ZONA Y OTROS EXTREMOS, PRESENTADA POR EL GRUPO PARLAMENTARIO REGIONALISTA. [9L4300-0215]

Aprobación por el Pleno.

PRRSINFINCIA

El Pleno del Parlamento de Cantabria, en su sesión del día 23 de octubre de 2017, aprobó la resolución que se inserta a continuación como consecuencia de la tramitación de la proposición no de ley, N.º 9L4300-0215, relativa a recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero" por tratarse de un elemento clave para la dinamización económica de la zona y otros extremos, presentada por el Grupo Parlamentario Regionalista, publicada en el Boletín Oficial del Parlamento de Cantabria número 285, correspondiente al día 16 de octubre de 2017.

Lo que se publica para general conocimiento, de conformidad con el artículo 102.1 del Reglamento de la Cámara.

Santander, 24 de octubre de 2017

LA PRESIDENTA DEL
PARLAMENTO DE CANTABRIA,

Fdo.: María Dolores Gorostiaga Saiz.

[9L4300-0215]

"El Parlamento de Cantabria insta al Gobierno de Cantabria a que inste al Gobierno de la Nación:

1. A la recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero" por tratarse de un elemento clave para la dinamización económica de la zona, previa realización de un estudio técnico y económico.
2. A iniciar las negociaciones para la colaboración con la Comunidad Autónoma de Castilla y León, los Organismos de Cuenca y el Gobierno de Cantabria, de cara a poner en marcha los trámites necesarios para la inclusión de los estudios y el proyecto técnico en los Presupuestos Generales del Estado."

www.parlamento-cantabria.es Boletín Oficial del Parlamento de Cantabria Dep. Legal: SA-7-1983 ISSN: 2171-7001

Figura 14 – PNL sobre el Puente Noguero aprobada en el Pleno del Parlamento de Cantabria.


DIPUTACIÓN DE BURGOS
 SECRETARÍA GENERAL

JLMG/tr

El Pleno de la Diputación Provincial de Burgos, en sesión ordinaria celebrada el día **18 DE ENERO DE 2018**, adoptó, entre otros, el siguiente acuerdo:

"12.- PROPOSICIÓN PRESENTADA POR EL PORTAVOZ DEL GRUPO POPULAR, INSTANDO AL GOBIERNO DE LA NACIÓN A LA RECUPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA "EL PUENTE NOGUEROL".

Vista la proposición presentada por el Portavoz del Grupo Popular, cuyo tenor literal es como sigue:

"El Puente Noguero fue un viaducto que comunicaba las localidades de Arja (Burgos) y La Población (Cantabria). El puente, que recibió su nombre de la empresa adjudicataria de las obras, Construcciones Noguero, permitía salvar el embalse del Ebro y unir los pueblos de ambas orillas del pantano. Esta infraestructura constituyó prácticamente la única compensación recibida del Estado por la construcción del Pantano del Ebro que, no obstante, por problemas estructurales, se derrumbó en septiembre de 1952, poco después de su construcción, quedando finalmente ambas orillas separadas por las aguas del embalse. Esto supone que haya que recorrer casi veinticinco kilómetros, bordeando toda la orilla del pantano, para llegar de Arja a La Población, cuando ambas localidades están muy cerca en línea recta. La recuperación del puente es una demanda histórica a la Confederación Hidrográfica que ha tomado un nuevo impulso con la constitución de la Comisión Campuriana para la Historia del Pantano del Ebro y que está respaldada por los ayuntamientos de Campoo de Yuso (Cantabria) y Arja (Burgos). Por lo expuesto, se presenta la siguiente proposición:

1. Instar al Gobierno de la Nación a la recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero" por tratarse de un elemento clave para la dinamización económica de la zona."

Sometido el asunto a votación, la Corporación Provincial, tras las intervenciones que constan en el correlativo del Diario de Sesiones de D. Borja Suárez Pedrosa, Portavoz del Grupo Popular, D. Lorenzo Rodríguez Pérez, Portavoz del Grupo Ciudadano, D.ª Sara Hojao Carpintero, Diputada del Grupo Imagina Burgos y D. David Jurado Pajares, Portavoz del Grupo Socialista-Partido Socialista Obrero Español, en votación ordinaria y por mayoría con los votos a favor de los 13 Diputados del Grupo Popular, de los 7 Diputados del Grupo Socialista-Partido Socialista Obrero Español y de los 3 Diputados del Grupo Imagina Burgos, que suman 23 y con la abstención de los 2 Diputados del Grupo Ciudadano, ACUERDA aprobar la proposición anteriormente transcrita."

Lo que traslado a Ud. para su conocimiento y efectos.

Burgos, 22 de enero de 2018

EL SECRETARIO GENERAL,

Fdo.: José Luis M. González de Miguel

D. BORJA SUÁREZ PEDROSA
PORTAVOZ DEL GRUPO POPULAR.

Figuras 15 y 16 – PNL's sobre el Puente Noguero aprobadas en el Pleno de la Diputación Provincial de Burgos y en la Comisión de Fomento de las Cortes de Castilla y León, respectivamente.


Boletín Oficial de las Cortes de Castilla y León
 IX Legislatura

Núm. 381 5 de marzo de 2018 PNL/001835-02, Pág. 51019

4. IMPULSO Y CONTROL DE LA ACCIÓN DE GOBIERNO

470. Proposiciones No de Ley

PNL/001835-02

Aprobación por la Comisión de Fomento y Medio Ambiente de Resolución relativa a la Proposición No de Ley presentada por el Grupo Parlamentario Popular, para instar a la Junta a que se dirija al Gobierno para que desde el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente se proceda a la realización de un estudio técnico y económico que posibilite la recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero", publicado en el Boletín Oficial de estas Cortes, n.º 361, de 16 de enero de 2018.

APROBACIÓN POR LA COMISIÓN DE FOMENTO Y MEDIO AMBIENTE

La Comisión de Fomento y Medio Ambiente de las Cortes de Castilla y León, en sesión celebrada el día 14 de febrero de 2018, con motivo del debate de la Proposición No de Ley, PNL/001835, presentada por el Grupo Parlamentario Popular, para instar a la Junta a que se dirija al Gobierno para que desde el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente se proceda a la realización de un estudio técnico y económico que posibilite la recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero", publicada en el Boletín Oficial de las Cortes de Castilla y León, n.º 361, de 16 de enero de 2018, aprobó la siguiente

RESOLUCIÓN

"Las Cortes de Castilla y León instan a la Junta de Castilla y León a que se dirija al Gobierno de España para que desde el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente se proceda a la realización de un estudio técnico y económico que posibilite la recuperación de la infraestructura "El Puente Noguero" por tratarse de un elemento clave para la dinamización económica de la zona, incluyendo para ello las partidas necesarias en los Presupuestos Generales del Estado".

De conformidad con el artículo 54 del Reglamento se ordena su publicación en el Boletín Oficial de las Cortes de Castilla y León.

En la sede de las Cortes de Castilla y León, a 14 de febrero de 2018.

LA PRESIDENTA DE LAS CORTES DE CASTILLA Y LEÓN,
Fdo.: Silvia Clemente Muncio

<http://sirdoc.ccy.es> CVE: BOCCLE-09-024119
 D.L.: VA. 964-1984 - ISSN: 0204-7864

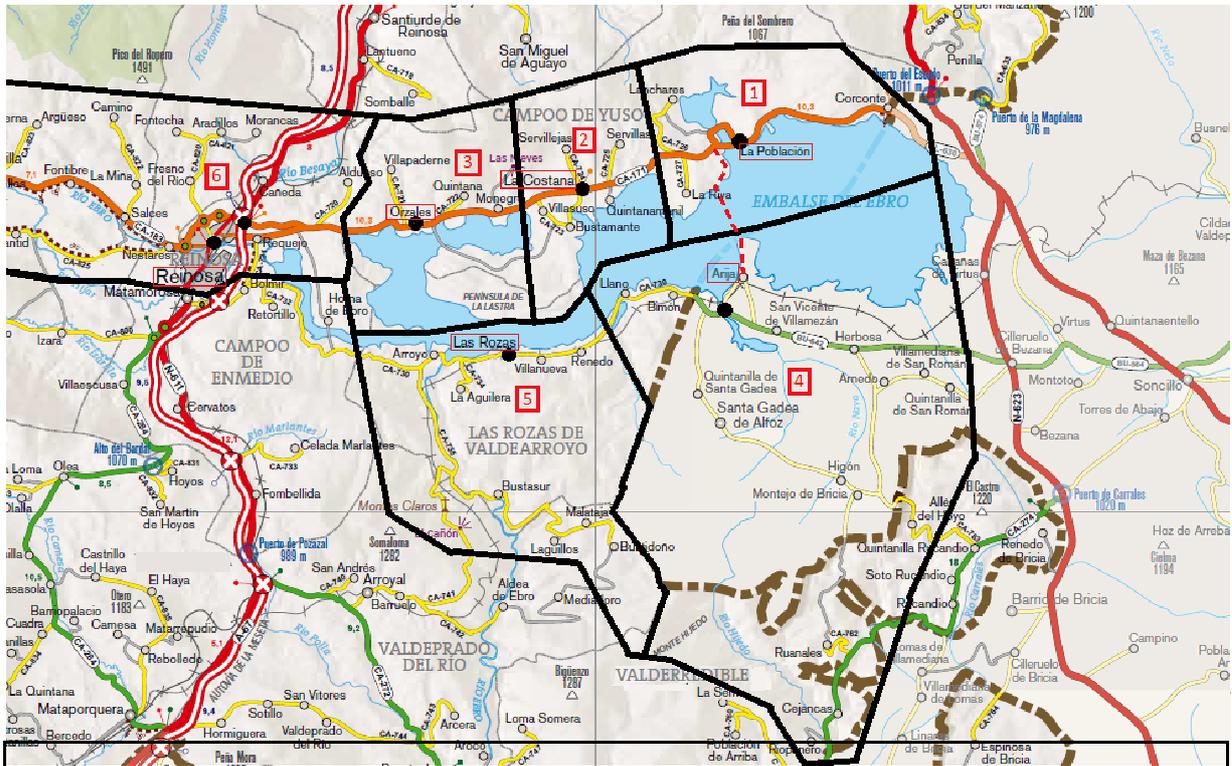


Figura 17 - Mapa de la principal área beneficiada por el Puente en la comarca, dividida en zonas.

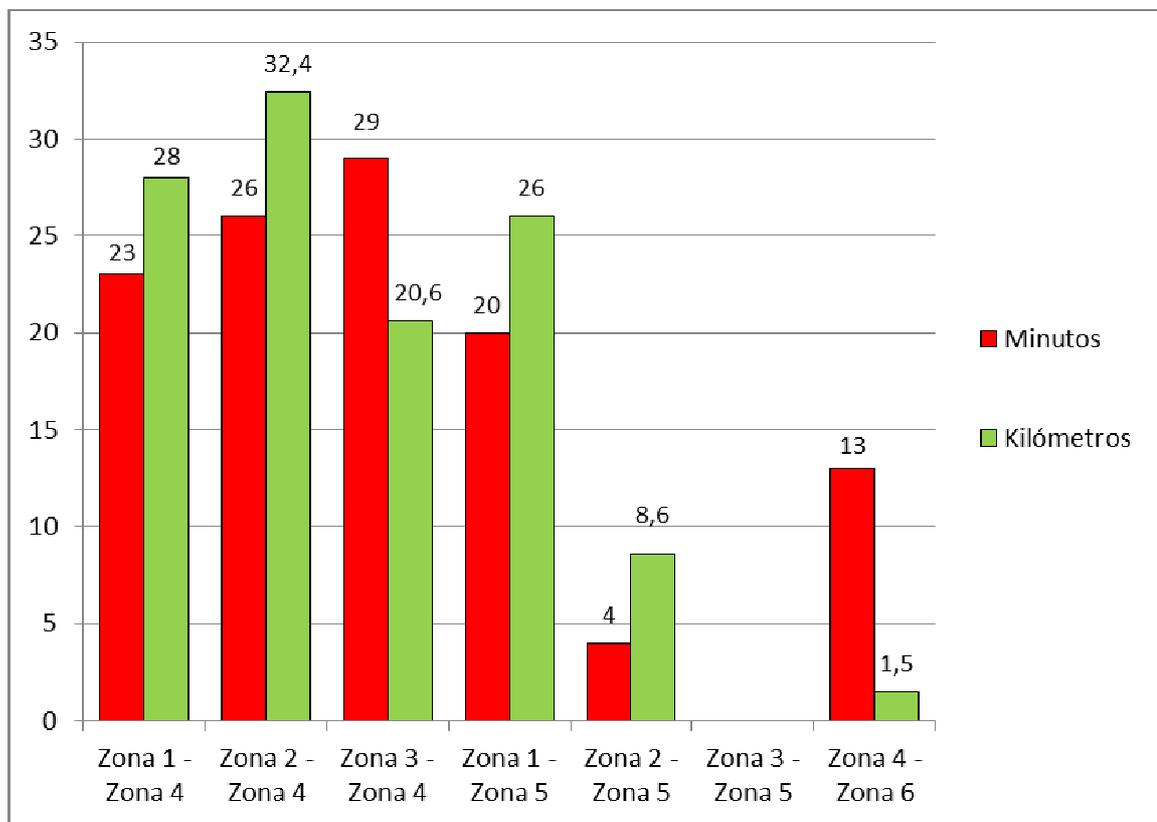


Figura 18 - Gráfico del ahorro de tiempo (minutos) y distancia física (kilómetros) generado por el puente en trayectos entre las zonas beneficiadas (trayectos de ida y vuelta).

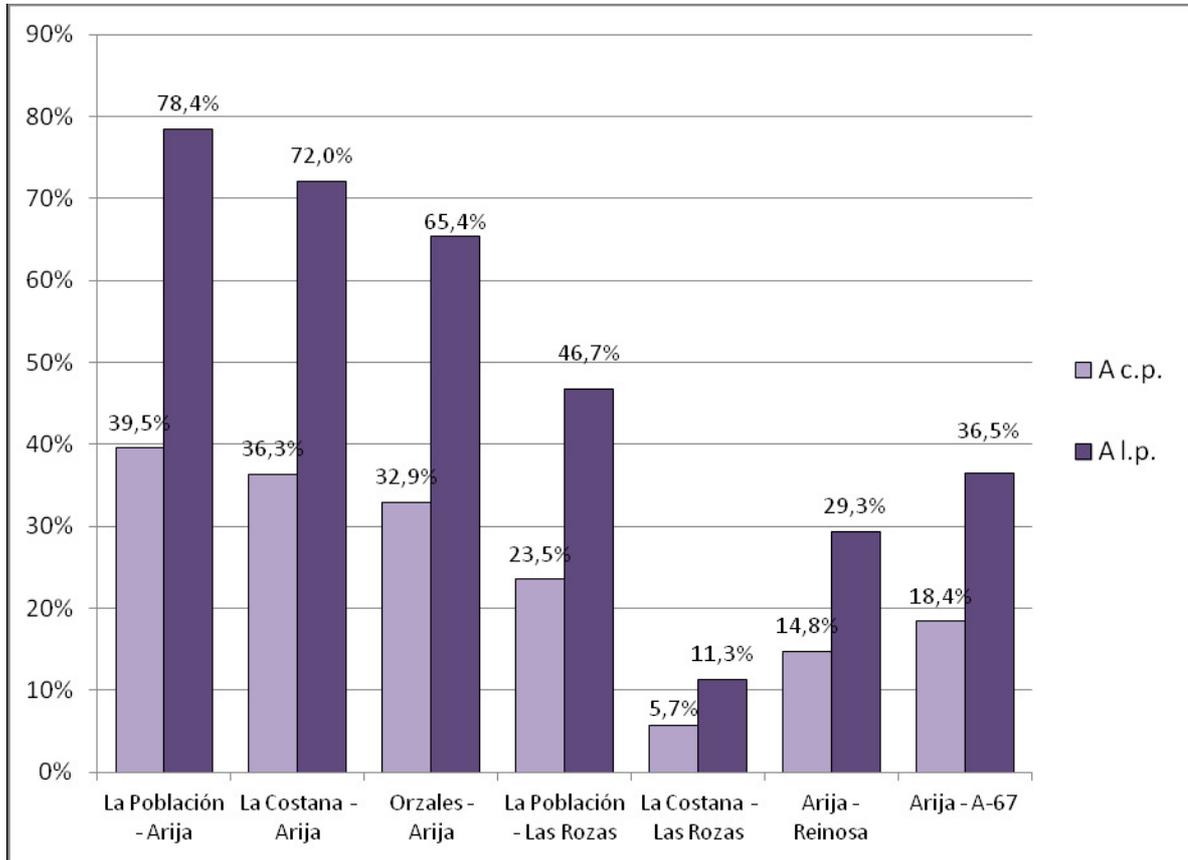


Figura 19 - Gráfico de la estimación del incremento en el tráfico generado por el puente.

ANEXO II

"Informe preliminar sobre el Hundimiento de uno de sus tramos".
Confederación Hidrográfica del Ebro en el Proyecto del Camino
Local de Arija a la Población de Yuso. Sr. Inspector Regional de la 9ª
Demarcación D. Rafael Martínez Torres.

CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL EBRO
=====

PANTANO DEL EBRO

CAMINO LOCAL DE ARIJA A LA POBLACION DE YUSO

VIADUCTO DE ARIJA
=====

INFORME PRELIMINAR SOBRE EL HUNDIMIENTO DE UNO DE SUS TRAMOS

Itmo. Sr. Inspector Regional de la 9ª Demarcación.

D. Rafael Martinez Torres.-

I N D I C E

=====

| | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| - I - Antecedentes del planteamiento del camino: proyecto y exploración previa, a los trabajos del viaducto | 1 |
| - II- Iniciación, orden, curso y desarrollo de las obras | 4 |
| -III- Observaciones de lo ocurrido al producirse el hundimiento . | 7 |
| - IV- Observaciones, sondeos y exploraciones posteriores al hundimiento | 9 |
| RESUMEN DE LA INFORMACION, OBSERVACIONES Y DEDUCCIONES PRELIMINARES | 12 |
| - A - Características y circunstancias desfavorables del planteamiento y desarrollo de esta obra | 12 |
| - B - Previsiones, exploraciones y propuestas de reforma, ante su dudosa cimentación | 13 |
| - C - Condiciones especialmente desfavorables del terreno de cimientos de los apoyos del tramo hundido; averías previas y observaciones sobre el derrumbamiento | 14 |
| - D - Causas probables y lógicamente fundamentales del hundimiento | 16 |
| - E - Causas secundarias o con causas de las averías y deducciones excluyentes | 17 |
| - F - Actuación del personal facultativo, encargado de los proyectos de las obras y de su Inspección | 18 |
| - G - Oportunidad, separación y concordancia de los trabajos a cargo de uno y otro destajista | 18 |
| - H - Imprudencia de plantear responsabilidades de los destajistas, con motivo del hundimiento | 18 |
| - I - Conveniencia y aún necesidad de completar las exploraciones, ensayos y sondeos, por los equipos e Ingenieros especializados | 19 |
| - J - Necesidad de adoptar soluciones provisionales para restablecer el tráfico del personal, lo mas pronto posible | 20 |
| - K - Ventajas de la inmediata suspensión de las obras del camino, rescindiendo sus últimos destajos | 20 |

VIADUCTO SOBRE EL EMBALSE DEL CAMINO LOCAL DE ARIJA A LA POBLACION DE
YUSO.

INFORME PRELIMINAR SOBRE EL HUNDIMIENTO DE UNO DE SUS TRAMOS.

- I - Antecedentes del planteamiento del camino: proyecto y exploración previa a los trabajos de su Viaducto.

Para el más completo desarrollo de este informe conviene, previamente, recordar y hacer constar:

Que, en virtud de lo ordenado, al término del Glorioso movimiento Nacional; de poner en marcha todas las obras de este Pantano, se redactó, el Proyecto (aunque denominado de replanteo) realmente nuevo y primitivo de este camino y su Viaducto.

Para asegurar el paso sobre el embalse al tráfico público, local ligero y no interno; pero sí, socialmente exigente, de los obreros de la Cristalería de Arija y muchos mineros; habitantes en las aldeas del otro lado del embalse.

Creyéndose que no se presentaría dificultad ninguna para la cimentación de las obras del Viaducto: sobre bancos sanos y gruesos, de arena de la zona; según todos los datos y antecedentes, incluso geológicos, aportados por el personal técnico, encargado de la obra, hasta 1940; en que se decidió el estudio definitivo.

X X X

El Proyecto ya se redactó, con el pié forzado, en aquellos años: de no emplear estructuras ligeras de hormigón armado, mínimo empleo de redondos u otros elementos metálicos, en voladizos y barandillas, uso del hormigón en masa y, para reducir aún más el cemento, usar, ampliamente, mamposterías hidráulicas y todos los aligeramientos razonables.

Aún con todas estas limitaciones, y empleo de fábricas hidráulicas, económicas; pero corrientes en su desificación, no se dejaron de calcular sus estructuras robustas y, por lo mismo, sometidas a cargas muy moderadas:

Pues las de trabajo en las bóvedas principales y considerando las sobrecargas, incluídas las de temperatura, se evalúan en suma; en la clave: máxima de 13,060 kg. X cm² y mínima de -4,420 kg. X cm². respectivamente, en trasdós e intradós; y, en los arranques, máxima de hasta 14,480 kg. X cm². y mínima de -5,260 kg. X cm².

No obstante lo cual, se armaron, además, ligeramente, en las zonas de las máximas tensiones de -4,420 kg. X cm². en la clave, y de -5,860 kg. X cm²., en los arranques; con cuantía de armaduras tan sobradas, que las de la clave eran, para tensiones (con sobrecargas) sólo a 71,800 kg. X cm²., y los de los arranques, de hasta 405 kg. X cm².

En las pilas ordinarias, el macizo interior de hormigón (aún prescindiendo de la resistencia de la mampostería de sus paramentos), sólo había de soportar en su sección, más cargada, compresión de unos 12 kg. X cm².

Y en los planos de asiento de los basamentos de cimiento del proyecto primitivo, se evaluaron las cargas medias de 3,60 kg. X cm² y la transmisión al terreno, por las aristas más cargadas, que eran de las pilas ordinarias, de presiones máximas de 4,68 km. X cm² nada más; para el terreno arenoso y seco, que se suponía entonces; y, aún, rebajadas a 1,80 kg. X cm² con el ensanchamiento posterior.

x x x

Sin embargo, cuando se acababa su redacción fué hallado, incidentalmente, un documento, presentado por la Cristalería Española, en 1922 valorado en mucho, lo que había gastado para mejorar el camino de la fábrica a la población de Yuso; porque habían tenido que sanear su travesía del fondo del Valle, y cimentar, con trabajos importantes, su puente sobre el río Virga; por el mal terreno fongoso en que se asentaban.

Tal indicación, bastó para prevenir, de momento, dos acertados artículos del Pliego de Condiciones facultativas del Proyecto: no sólo por si había de consolidar, localmente el terreno de alguno, o algunos de los apoyos del Viaducto, con algunos pilotes, según se pensó entonces (art. 29) como si de los reconocimientos se dedujera la conveniencia o necesidad de cambiar el sistema de cimentación, con más importancia o fundamentalmente; para lo cual, el art. 30 especifica que se adoptarían por el Ingeniero las medidas urgentes y autorizándole, para que redactase los correspondientes proyectos parciales o reformados, necesarios; que luego habrían de aprobarse.

Previamente, evaluando y presentando, por ello, además un presupuesto especial e independiente, para estos trabajos: de pilotajes, agotamientos y servicios de vigilancia, etc., que surgieran; y a invertir por Admon. directa.

Se terminó, en fin de 1942, y fué aprobado aún con prescripciones de la misma índole; como obra ordinaria, secundaria y sin complicaciones al parecer; y, también el presupuesto complementario, así previsto para pilotajes, agotamientos, etc.

x x x

La urgencia del camino, obligó a activar la ejecución del mismo y del viaducto, en cuanto fué aprobado técnicamente y se autorizó su comienzo, hasta donde fuese posible. Estimando factibles las numerosas cimentaciones, que pudiesen ser directas y corrientes; sin perjuicio de realizar las exploraciones e investigaciones necesarias, de las que hubiesen de ser especiales.

Por lo que se planteó la ejecución de toda la obra (dividida en 2 secciones, 1ª y 2ª), mediante dos series de destajos prorrogables, que, después de dos concursos desierto, por insuficiencia de precios, se adjudicaron al mejor postor, al final de 1944.

Pero sin comprender la consolidación del terreno: con pilotaje, agotamientos singulares u otras cimentaciones especiales y por Admon. directa.

x x x

Entretanto, el personal del Servicio, con todo celo, ya en octubre anticipó, a la adjudicación general de la obra ordinaria, los primeros cuatro sondeos, de investigación de los cimientos dudosos, (señalados y especificados al pie del croquis que se adjunta) aprovechando el material y personal especializado de la Sociedad S.I.P. llevado al Pantano para otros estudios, urgentes, de exploraciones de cimentaciones y consolidaciones de varios proyectos parciales y obras difíciles.

Acusando ya: El sondeo n° 1, en la orilla izquierda del llano cauce del Virga, terreno blando con turba, arenas y arcillas fangosas, en más de 20 m.: el n° 3, en la orilla derecha, también subsuelo análogo; pero señalado como más blando, al menos en los 22 m. horadados; sin alcanzar otros más resistentes; y, en los números 2- y -4-, hacia los estribos del viaducto, los bancos de arena sana, supuestos en el proyecto.

Quedando, con esto muy imprecisa y sospechoso el terreno para cimentar: en una zona extensa (precisamente la del tramo hundido) a uno y otro lado, en el fondo del valle; y sólo despejado, el de los tramos entre ambos estribos y la pila-estribo n° 2, de la izquierda y pila-estribo n° 7 de la derecha.

Fué pues, necesario volver - en cuanto el equipo quedó libre de aquellas otras investigaciones que urgían más y pasado el invierno - a sondear en marzo y abril de 1945, siguientes; intercalando los sondeos dibujados n° 5, n° 6 y n° 8 (hacia la derecha), que dieron terreno vario con guijo y alguno también con turba, cerca de la superficie; seguidos de arcillas, más o menos arenosas, pero fangosas y blandas, en los 18 y hasta más de 20 m., entonces taladrados. En el n° 9, después de las arcillas grises, menos fangosas, se encontraron ya arenas más limpias; pero todavía a más de 11 m. de profundidad, y, en el n° 7 se situó el límite del mal terreno: por encontrarse pronto, las arenas amarillentas, en espesor de más de 4 m.: aunque seguidas de arcillas grises, mas ya no tan blandas.

Se decidió, pues prudentemente, que requerían consolidación o cimentación distinta de la proyectada, las pilas ordinarias n° 12 a las 24 y pilas-estribos 3 a 6 inclusive; en casi 400 m. de longitud de viaducto.

x x x

Seguidamente: en mayo de 1945, se dió cuenta a la Superioridad: proponiendo, en consecuencia, las soluciones técnicas, adecuadas, de cimentación indirecta y sobre un número reducido, (por apoyo) de pilotes de bastante diámetro: pero de hormigón armado, moldeados in situ, como la más perfecta y económica: o bien, con un número tres veces mayor de pilotes, delgados, de hormigón armado: prefabricados e hincados luego: algo menos satisfactoria y menos económica.

Ambas hubieron de ser, luego, deshechadas; ante la imposibilidad de obtener entonces las armaduras necesarias; para moldear rápidamente in situ, estos 3.300 m. de pilotes, que hubieran sido los más convenientes; y, por la misma carencia de barras de acero, el fabricar o adquirir hechos los 10.000 m. de pilotes ordinarios de hormigón armado.

Teniendo que optar por el procedimiento más expeditivo, que permitiese cimentar, antes de un embalse pequeño, al que se aspiraba ya en 1946.

A cuyo efecto el Ingeniero encargado aprovechó una ocasión de probar previamente, en junio siguiente, el empleo de pilotaje con madera de eucalipto, de diámetros y longitud corriente, para mayor rapidez y seguridad de adquisición; mediante la hinca de 3 pilotes de ensayo: uno de 7 y dos de 8 m. de largo, en la peor zona del sondeo n° 5, bajo la planta de la pila n° 14; no obstante lo cual se obtuvieron rechazos de 2,5 cm. en el de 7 m. y hasta de 2 cm. en los de 8 m. con andanadas de 20 golpes con maza de 600 kg. y altura de caída de 4 m.

Sobre cuya práctica, se cambió de propuesta de tipo y calidad del pilotaje; pero calculándolo, prudentemente, con el rechazo mínimo de solo 2 cm.: pilotes más largos, de 9 m., por lo menos; aplicando la fórmula holandesa, y, además, con la simplificación adoptada por los Ingenieros franceses; que proporciona más seguridad.

Consecuencia y complemento de tal estudio, del mal terreno de cimentación: una vez terminado el gran número de pilotes necesarios, para soportar las cargas de cada poyo; fué la previsión de ensanchar el hormigón de sus basamientos hasta 6,60 por 9,60 m. en los planos inferiores de asiento de las pilas ordinarias y hasta 9,40 x 11,00 m. los de las pilas estribos - que en el proyecto se habían aprobado de 3,60 m. x 6,60 m. y 6,40 m x 8,00 m. respectivamente - y perfilando en alzado según 3 espesores de hormigón en los dos metros de altura total de 0,50, 0,50 y 1,00 m. de espesor aumentando así, escalonadamente, el macizo de transmisión de cargas a 45 %.

Mejora obligada para abarcar mejor los haces de 80 y 156 pilotes de los apoyos con esta cimentación indirecta; pero que se extendió construyó y aprobó, también, para todos los demás apoyos; que se asentasen en bancos de arena, que ya no se juzgaban, como era de desear, tan compactos e incompresibles, como en el primer proyecto; y a la vista de las cuestiones, entonces planteadas, por la Cristalería Española.

Las que, en el proyecto aprobado se evaluaron cargas medias más desfavorables, sobre el terreno, de hasta 3,60 kg. X cm². se reducían así a sólo 1,80 kg. X cm².; para mayor seguridad.

Para el enlace de las cabezas de los grupos de pilotes, se renunció emparrillado de madera, en desuso; pero, lamentablemente, hubo que desistir, también, por aquella misma indigencia de acercos a la muy conveniente armadura entre ellas, con barras de acero; que hubieran proporcionado, a la vez, una gran resistencia y rigidez a estas plataformas de asiento, tan ensanchadas, aunque gradualmente.

X X X

Cimentaciones, de una y otra zona, que quedaron planeadas para construir, separadamente; según el plan del primitivo proyecto.

Autorizándose, a tal efecto, la ejecución por Admon. destajada directamente, las de los pilotajes. Con suma urgencia, constructor especializado, y suficientemente equipado, para estos trabajos; aunque ya no se trababa de los armados, tan especializados.

- II - Iniciación, orden, curso y desarrollo de las obras.

Dejada constancia de estos antecedentes, conviene informar, seguidamente:

Durante la primera mitad de 1945, ya se comenzaron las obras generales del camino, adjudicadas poco antes; y cuando, se decidió, en mayo, la necesidad de preparar algunos cimientos, previo pilotaje el destajista de las demás pudo, además, trabajar y terminar, con entera libertad e independencia, los basamientos corrientes, aunque ensanchados, de hormigón en masa y sobre terreno seco, arenoso, de los 9 apoyos primeros de la margen izquierda, y también, comenzar, seguidamente, las mamposterías de paramento de 7 de ellos.

X X X

Al mismo tiempo, se adelantaba la adquisición de la madera de eucalipto de dos procedencias, y se concertaba, especialmente, con "Constructora Ezcurra S.A." la preparación (incluidas la adquisición y colocación de ganchos y azuches), e hincas de todos los pilotes: iniciada, sin dilación, en 1º de agosto; a partir de la 1ª pila nº 12, que los necesitaba continuando, ordenadamente y terminando, sin interrupción ni incidentes, con los últimos de la pila-estribo nº 6; en enero de 1946.

Según los partes diarios del encargado del trabajo, no se produjeron dificultades ni anomalías; detallándose sólo las observaciones siguientes:

Que, en cuanto se comprobó que los cuatro primeros pilotes de la pila-estribo nº 3 no daban el rechazo mínimo admitido, se hincaron sus 152 pilotes restantes de 11 y hasta 12 m. de longitud. Que los 3 pilotes de prueba, hincados con rechazo juzgado suficiente, en junio de 1945 se completaron con 47 restantes; pero de longitud de 9 m., y en las mejores condiciones, luego destajadas. Que al término de la hinca de cada pilote, la última andanada se hacía con caídas, desde 3 m., en vez de los dos metros, de las ordinarias; para mayor seguridad. Y que, al finalizar la campaña, se contrastó la permanencia del rechazo de los pilotes correspondientes a la pila nº 17, hacia el centro de la zona, hincados ya 3 meses antes.

Asimismo fué satisfactoria la regularidad y verticalidad de penetración de tan gran número de pilotes. No obstante la distancia reducida de 0,80 x 0,90 m. entre sus ejes; unas 3 y $\frac{1}{2}$ veces el diámetro, en vez de algo más de 4 veces, que suele ser la corriente, no se habían interferido ni puesto en contacto.

Confirmación indirecta de la composición uniforme y excesivamente fangosa y arcillosa, con arenas, cuando más, en el que había que apoyar tan pesados pilares, de estructuras tan poco elásticas e indeformables.

Con lo cual el trabajo de cimentación indirecta de 13 pilas ordinarias y 4 pilas-estribos quedó completamente preparado y con las cabezas de sus haces de pilotes, debidamente enrasadas; a medio metro por encima del nivel del plano del terreno; señalado como sano y adecuado para asiento.

X X X

Las excavaciones, de al menos un metro de profundidad bajo la superficie del terreno natural, y el hormigonado de los basamentos, en ellas fueron luego preparados y ejecutados por su destajista, sin dificultad ni mas estorbo que el de dejar envueltos, en la parte inferior del macizo de un metro los numerosos pilotes, encepando su medio metro superior al descubierto, sólo con el hormigón; puesto que se había tenido que prescindir de afianzarlos con armadura metálica. Realizados ya, desde junio de 1945, hasta noviembre de 1946, en total; y los situados sobre pilotes, ordenadamente, desde noviembre de 1945 hasta septiembre de 1946, con la suspensión obligada del invierno.

X X X

En la erección de los apoyos sobre tales basamentos, se planteó desde su comienzo, a mediados de 1945, la generalización de la fábrica mixta de las pilas-estribos con núcleo de hormigón y paramentos de mampostería hidráulica, a las restantes 34 pilas ordinarias, por la experiencia de su buen resultado en las obras análogas de otros cruces del embalse con el ferrocarril y carreteras. Cambio admitido aunque implícitamente (y al construir en las prescripciones de su O.M. de aprobación.

No sólo en cuanto se imponía una máxima economía de cemento, para dedicar sus insuficientes cupos a las obras simultáneas y preferentes de presas y tomas, cuando se aspiraba a embalsar ya en 1946, sino que, por esto mismo, convenía adelantar la erección de las pilas del fondo del valle, rápidamente, en su base, con la mampostería hidráulica, a modo de molde dentro del cual hormigonarlas en seco; según aquellas existencias de cemento lo permitieran. Y, efectivamente, todavía en el embalse de

1947 hubo de quedar sumergida aunque en pequeña profundidad, la mampostería adelantada de algunas de las pilas cimentadas en el fondo del valle. antes de hormigonar el núcleo en su interior.

Con tal régimen forzado, fueron adelantándose las mamposterías de paramentos a sus hormigonados y se pudieron ir terminando, ya desde septiembre de 1945 hasta octubre de 1949; con las lentitudes provenientes de las insuficiencias de cemento y las interrupciones obligadas, en el invierno.

x x x

Análogamente, se fueron cimbrando, moldeando y hormigonando, en dos roscas, las arcadas principales; sobre estas, las pilas y arcos pequeños múltiples, de aligeramiento y resto de los tímpanos de mampostería; según el proyecto y las modificaciones ordenadas al construir; pero con las mismas faltas de suministros; hasta de los herrajes para las cimbras, y luego, de las barras de acero de las ligeras armaduras proyectadas, en sus claves y arranques; no obstante su pequeña cuantía.

De modo que las arcadas de 20 m. no pudieron comenzarse (precisamente, las del tramo hundido) hasta octubre de 1947, después de 7 meses de terminados los apoyos que habían de soportarlas. Y muchas otras se retrasaron todavía más; uno, dos y hasta dos y medio años, las de 10; volteándose las últimas en febrero y marzo de 1950. Muchas de estas después que sus pilotajes, cimientos y pilares de soporte habían estado ya sumergidos en los crecientes embalses y desembalses, de 1947-1948, y hasta de 1949; y sometidos a las compresiones, penetraciones y reblandecimientos, subsiguientes, del subsuelo; antes de quedar cargados con ellas.

x x x

En suma: Que todas las obras del viaducto, de variadas clases de fábrica, fueron construidas sobre el terreno natural, adecuado o preparado, previa e independientemente, con pilotaje; de acuerdo con el proyecto aprobado o las modificaciones autorizadas o prescritas: ensayándose sus cementos, morteros y hormigones, hasta fin de 1948, en que cesó el funcionamiento del laboratorio de las obras, y obedeciendo las órdenes e instrucciones de la asidua Inspección.

Y que se condujeron, según estaba, especialmente, condicionado en sus destajos, siguiendo las disposiciones del Ingeniero encargado, en cuanto al orden y tajos en que se había de trabajar, y no por iniciativa del constructor, ni a su conveniencia.

Ordenación que hubo de imponerse a veces muy en contra del buen desec del servicio de Inspección, supeditando las conveniencias técnicas y económicas de la marcha de esta obra (al fin parcial y secundaria) a las principales y primordiales de la presa, variante del ferrocarril, tomas y desagües del pantano, y al aprovechamiento máximo de los embalses; a partir de la primavera de 1947.

Con todo lo cual, la marcha de sus muchos destajos sucesivos, con plazos, suma ya largo, ha resultado: aún más lenta, y estorbados sus trabajos, sumergidos cada año en más extensión y, finalmente, con la habilitación de una pasarela provisional, sobre sus últimas bóvedas, en 1950, para el paso de peatones y, en 1951, por tener que tolerar, ya, el tránsito público simultáneo con la terminación y relleno de los tímpanos, pre-dillas sustituidas por barras huecas después.

x x x

Por cuyas circunstancias - aunque prácticamente terminado salvo estos detalles de coronación y explanación - no ha estado sometido, sino

escasamente, a su peso propio y sobrecargas de construcción pequeñas (salvo las de las robustas pilas-estribos), pero no a las otras, ampliamente proyectadas del tráfico intenso, pesado y vibratorio, ni menos a las de pruebas que puedan equipararse con las supuestas; ni que hayan podido poner a prueba las holgadas resistencias de sus cimientos y estructuras más cargadas; que al principio se especificaron.

x x x

En cambio, si que se encontró, pronto, sometido a la acción importante de los vientos dominantes y reinantes del SO., O. y NO.; produciendo frecuentes y violentos oleajes, sobre tan grandes superficies de agua.

Por lo que fueron achacados a esta acción violenta, un una misma y principal dirección, los defectos notados en los paramentos de la mampostería de la pila 14 y pila-estribo nº 3; en 1951, al terminar el invierno, con muy mal tiempo y cuando ya el embalse, estaba algo alto, subiendo y ocultos por éste; puesto que en tal año solo descendió 4,60 m. cons subida brusca en noviembre, indicándose, en este mes, otros análogos en la pila-estribo nº 5.

Ya que los tres se presentaron en idéntica zona de las caras a. S. y esquina SE. de los 3 apoyos.

Suponiéndolos iniciados, por pequeñas fisuras que, penetradas por el agua con la presión del embalse, ensanchadas por las heladas, quedaban sometidas a la acción demolidora de tales fuertes oleajes, de frecuente orientación y rompiente, sobre tales caras y esquinas.

Más, dada la generalidad de tal causa natural y de su actuación, sobre tan numerosas y extensas superficies atacadas y con la misma orientación, ello denotaba, en aquellos paramentos de mampostería, alguna accidental o circunstancial puesta en obra, menos cuidada o defectuosa (aunque no aparentaba diferencias superficiales con todas las demás) pero en zonas reducidas; sólo superficiales y sin profundizar hasta el hormigón.

Y porque, en los detenidos reconocimientos que practicó el que suscribe, en abril y mayo de 1952, con motivo del descubrimiento de estas erosiones de los paramentos de mampostería no se apreció, entonces, todavía, ningunos otros asientos de los basamentos de tan numerosos apoyos; ni, tampoco, fisuras y grietas en los hormigones de las bóvedas, ni de las demás superestructuras, ni aún en las que se apoyaban en aquellos pilares deteriorados.

Por todo lo cual, sólo se dispuso, entonces resultante, que fueran reparados por el destajista, con el sistema más adecuado y las precauciones pertinentes; tan pronto como la próxima bajada del embalse lo permitiera, en buenas condiciones, lo que ha sido realizado.

- III - Observaciones de lo ocurrido, el producirse el hundimiento.

Con referencias a las explicaciones y datos dibujados en el croquis adjunto, puede resumirse:

Que, hasta mediados de agosto, no se había notado sino la presencia de erosiones en el paramento de mampostería de la pila nº 15, semejantes a las antes citadas de la inmediata nº 14, y, también, en la cara al S. y esquina SE.: sin descubrirse su hormigón, y vistas al descender, sensiblemente, el embalse en más de un metro.

No fué hasta el día 8 de septiembre cuando se produjeron notorias grietas, en los riñones de las arcadas número 13, 14 y 15, lógicamente situadas y abiertas al intradós y trasdós, según quedan indicadas y dibujadas en el croquis: poniéndose, inmediatamente, testigos en ellas.

Como en el arco nº 16, sólo se notaba una ligera fisura y en el nº 12 nada: ni, tampoco, en las pilas nº 12 y 16, en ninguna otra parte del hormigón de los arcos, en sus apoyos, salmeros o apoyos, se pensó, desde luego y se comprobaron, asientos notorios de las pilas citadas 14 y 15; aunque sin resquebrajamientos ni desvío en las mismas. Los que medidos en la plataforma y voladizos, lo acusaron máximo, de hasta 27 cm. en la pila 14, el día 11; creciendo hasta 34 cm., el día 15; que fué cuando al descender tanto los tímpanos, se quedaron desprendidos de ellos los voladizos armados, y perdiéndose la posibilidad de seguir nivelando, con alguna aproximación: puesto que el alto embalse no permitía, hacerla sobre los planos de cimientos.

También se rompieron, de nuevo, los segundos testigos, puestos en las grietas de los arcos: excepto los de la fisura de la arcada nº 16; por lo que se impuso, con todo rigor, la prohibición de tránsito, ya establecida antes.

Aunque en los días de la semana siguiente, seguían sin notarse nuevas averías, en ninguna otra zona de los arcos, se produjo el despredimiento y caída del resto de la mampostería de la pila nº 15; de sus caras, poco antes erosionadas, dejando al descubierto, debajo de su salmer su hormigón entero, sin aplastamientos ni roturas aparentes.

A la vez aumentaba la extensión y abertura de aquellas grietas fundamentales, de las boquillas y la reducción hasta menos de 10 cm. de las superficies restantes de apoyo; por que se se hizo la situación alarmante y era de temer el derrumbamiento de las arcadas.

Aún se pensó en si se podría hacer un atirantado de las arcadas nº 12 y 16 que cargaban sobre las pilas nº 13 y 16 - no agrietadas ni al parecer tan hundidas - por encima de sus arranques; puesto que no se podían apear, rápidamente, de otro modo, dentro del embalse, con calado de 7 m. ; y hasta se hicieron las primeras gestiones de acopio de materiales de posible empleo, a tal propósito.

Y, como complemento, se planeaba asimismo una ligera pasarela colgada, que permitiese, sólo al tráfico de peatones, salvar el vano, ya inutilizado, entre las pilas-estribos nº 3 y 4.

x x x

En el día 28 de septiembre, como tarde de domingo, el único que presencié el accidente, fué el guarda vigilante de la obra, y, por su rapidez, que sólo pudo apreciar que se cayeron las masas de hormigón de las arcadas y volcaron las pilas, en grandes bloques sin resquebrajarse, deshacerse y casi simultáneamente todas ellas: pareciéndole observar una mayor resistencia y retraso en las roturas y caída de las arcadas 12 y 16 y de sus pilas de apoyo nº 13 y 16 (lo que parece lógico) y asimismo, un cierto efecto de atirantamiento producido por los voladizos armados de ambos lados, antes de romperse sobre las estructuras de las pilas-estribos 3 y 4 que resistían unidas a los arranques de las arcadas citadas inmediatas: hasta que, rotos y caídos, seguidamente también, aquellos voladizos, terminó toda la avería; incluso con caída de alguna parte del interior del relleno, la pila-estribo nº 3, sobre los arranques de su arcada nº 12, y de la parte, antes sólo erosionadas, de sus mampostería, por el S. y el SE.

Y quedando - acaso, por aquel efecto de tensión de los voladizos - una grieta en cada una de las arcadas 11 y 17 en los riñones del lado de la pila-estribo, (según se dibuja), y afectando sólo a la primera roca; y otras leves, en las plataformas de las aceras, en uno y otro lado casi justamente, sobre las pilas sanas, inmediatas, nº 12 y 17.

Los grandes bloques de hormigón de las bóvedas y de las pilas caídas y volcadas - incluso con gran parte de sus mamposterías adheridas - quedaron amontonados, revueltos y sumergidos, dentro del embalse; removido y muy enturbiado, con 6 m. de profundidad, todavía.

Con posterioridad, hacia fin de octubre, la bajada del embalse dejó ver otras grietas de los paramentos de una mampostería, pero sin caerse sus piedras; en las consabidas caras al S. y E. de las pilas nº 19 y 22 y, últimamente, (en la segunda quincena de diciembre) fisuras más pequeñas de la mampostería de la pila nº 24 (penúltima sobre pilotaje) vistas en esta, por encima de la línea del embalse, cuando se rejuntaba su paramento; y, por excepción, en la cara opuesta del O.

- IV - Observaciones, sondeos y exploraciones, posteriores al hundimiento.

Como complemento e iniciación de las investigaciones, hay que informar además:

En primer lugar, que continúan sin romperse los testigos mencionados, puestos en las únicas grietas hacia el riñón de las arcadas nº 11 y 17, del lado de sus adyacentes pilas-estribos 3 y 4; y en los extremos de las roturas primeras, de ambos voladizos, sobre las pilas 12 y 17.

Que las nivelaciones posibles y aproximadas hechas el 10 de octubre, sobre los voladizos, por causa del embalse, concordaron bastante con las que se deducían de las de construcción, de las basas de los cimientos de los apoyos.

No se pudieron contrastar, directamente, ni las de los cimientos sobre pilotajes ni en casi todos los demás, aún entonces sumergidos, hasta el 5 y 14 de noviembre; cuando el embalse se aproximó al mínimo posible de este año. Haciéndose, entonces, las nivelaciones de los planos superiores de los cimientos, de cada pila, ya en seco o casi en seco y limpios pero, todavía, sólo los de las pilas 1ª a la 9 y pilas-estribos 1 y 2 por la izquierda y de las pilas-estribos 4, 5, 6, y 7; y de las ordinarias 17 a la 34, inclusives, por la derecha.

Cotejándolas con las anteriores aproximadas de sus voladizos, y con las de la construcción, se han encontrado, sin asientos apreciables, todas las pilas 1 a la 5 de un lado, y de la pila-estribo 7 a la 34, del otro: todas estas asentadas en terreno, sano, arenoso y entonces más seco.

Las otras 20 - con cimientos por debajo de la cota 121 y fuera del agua - comprenden todas las que cargan sobre pilotaje y aparecen con asientos apreciables: Desde 1 cm. (pila-estribo nº 2) has 17 cm. (pila nº 27) siendo de notar que los mayores de 10 cm. son de la zona de la derecha (pila-estribo nº 6 a pila nº 28); iniciándose algunas grietas en los planos superiores de los basamentos; más ninguna en las mamposterías de sus apoyos, ni en los hormigones de sus bóvedas, ni de su superestructura.

Sin embargo: hasta la producción de la importante avería del viaducto, escasamente terminado, el terreno en que se asienta no ha llegado todavía a soportar la acción del embalse, en su altura y compresión máxima: puesto que no han pasado del 66 % de la total prevista; de hasta 1,50 kg. X cm²., y ni su superficie ni su línea de agua, han llegado, tampoco a sus máximos.

Solo se ha encontrado, bajo la acción de las inmersiones recientes y sus descensos variables, cada año a partir del primer pequeño embalse de 1947: con subidas mínima de 2,50 m. en este año: alturas máximas de hasta 10 m. en 1951 y 1952; con descensos, mínimo, de solo 4,60 m. en 1951, y máximo de casi 9 m., en 1952; siendo el más brusco, el de 1948; de hasta 8,80 m. en menos de 2 meses.

Y, notoriamente, han sido comprobados, aun con estas limitadas extensiones, y líneas de agua, los violentos oleajes y rompientes, hasta ahora solo contra los paramentos de los apoyos sin alcanzar a las bóvedas, aligeramientos y tímpanos. Especialmente durante los persistentes vendavales del año 1951, a la salida de su invierno y con embalse bastante alto.

X X X

Las investigaciones ya ordenadas y emprendidas: para preparar soluciones e indagar las causas de lo ocurrido han sido:

Unos primeros sondeos, RODIO, indicados en el croquis, con toma de muestras de sus extracciones para sus ensayos en la sección de mecánica del suelo del laboratorio del transporte. El denominado R^o n^o 1, que solo pudo situarse en la orilla derecha del embalse, aunque no cerca del hundimiento, si junto a la pila estribo n^o 5; una de las de paramentos averiados, con su cimiento sobre pilotaje; y no lejos del sondeo n^o 8, de 1945: comenzándose, con ellas los ensayos. Luego, ya en noviembre, se acometió otro sondeo R^o n^o 2, ubicado entre las dos pilas números 14 y 15: las más averiadas y asentadas antes del hundimiento; y próximo al primitivo sondeo de proyecto n^o 5; pero cuyos testigos, entonces no se ensayaban: habiéndose tenido que montar, este último, sobre una plataforma, preparada, aprovechando los mismos bloques amontonados del tramo.

Posteriormente, la Jefatura de Sondeos e Informes Geológicos, ha iniciado con el sondeo -0-, el encomendado plan completo de estos; para un estudio definitivo del perfil del valle, en el viaducto y bajo sus apoyos. Situado, por el crecimiento del embalse, ya más a la derecha entre los sondeos de 1945 números 9 y 7, en que se cimentó, con pilotaje, la pila-estribo n^o 6, y ya sin él, la pila n^o 25, en la zona de subsuelo dudoso; y en cuyos basamentos aparecen asientos notorios, con respecto al nivel con que quedaron, al moldearlos al principio, en septiembre de 1946.

X X X

Los resultados, de ambas investigaciones, hasta ahora, han sido los siguientes:

Según los sondeos R n^o 1 y R n^o 2, el terreno es sucesivamente de tierras superficiales, arenas algo gruesas, finas y aun fangosas, seguidas, pronto de arcillas grises, más o menos fangosas o arenosas; de capacidad y permeabilidad variable. Pero estas arcillas, tan blandas que su humedad natural sobrepasa el límite líquido. Luego arcillas arenosas, con algo de turba; y, a continuación, arcillas grises de consistencia cambiante, y en profundidad mucho mayor de la que alcanzarán los pilotes: hasta 19 m., en el sondeo n^o 1, y hasta 30 m. en el número 2; pero ya con testigos de margas y areniscas firmes y antiguas, en unos 3 m.

En suma: confirmando estos, claramente, el pésimo terreno que se encontró ya al estudiar el pilotaje; salvo que, entonces no se llegó como ahora hasta el terreno firme: en los 18 y 20 m. en que se suspendieron.

En el primer sondeo -0- en ejecución a cargo de la Jefatura, se han obtenido, hasta ahora, arenas fangosas, oscuras, hasta 3 m. más amarillentas aunque también fangosas hasta 6,65 m., siguiendo las grises fangosas (hasta 10,85) m. y empeorando los mismos fangos muy blandos (hasta 13,70 m.) luego arenas amarillentas de 13,70 a 16,20 m. y sin conseguir testigo, siquiera, hasta 21,25 m.

Pero en cambio se ha presentado, en este, el fenómeno siguiente; interesante, a todos los efectos de la investigación:

Se fué perdiendo el agua del sondeo, hasta los 6,65 m.: en terreno arenoso más o menos fangoso; y, a partir de esta profundidad, no solo dejó de perderla, sino que comenzó a surgir el agua por la boca del entubado; como creciente impulso y caudal, a medida que profundizaba en los fangos blandos, alcanzando el chorro surgente hasta unos 22 litros por minuto, arrastrando consigo, gran cantidad de arena, hasta que, el bajar a 16,20 m., cesó de surgir, y no se obtiene testigo.

No habiéndose podido continuar este sondeo, por el persistente temporal de intenso frío fuertes nevadas y heladas, incluso del embalse; que continúa, además, creciendo.

X X X

Sin perjuicio de lo que pueda deducirse, más concretamente, al final de esta indispensable investigación técnica: mediante ensayos y sondeos, por el personal más especializado, puede ya adelantarse:

Según ha expuesto en resumen, aunque provisionalmente, el Ingeniero encargado, de los ensayos, de aquel laboratorio:

1º.- Que si todas las pilas se han cimentado en terreno como el del sondeo -R nº 1-, (y sondeo nº 5 de 1945) y con tal pilotaje, se encontrarían en equilibrio estricto. No es extraño, pues, que se hayan hundido las que lo estuvieran en el de alguna de peor calidad.

2º.- Estima que la resistencia del numeroso grupo de pilotes, tan próximos, bajo cada apoyo, ha de ser inferior a la suma de las supuestas para cada uno, individualmente; por rozamiento y cohesión del terreno y apreciada, entonces, solo por su buen rechazo. Ha de evaluarse más bien, como efectiva, la de la cohesión del terreno; pero sobre el perímetro exterior o del contorno del haz o grupo.

3º.- Puede afinarse que el terreno es muy compresible y en gran espesor; de modo que las estructuras han tenido que sufrir asientos notorio y progresivos, con los embalses. Lo que seguirán produciéndose y aun aumentando, por largo tiempo.

4º.- Plantea la posibilidad de que el subsuelo, haya empeorado, también, desde la construcción de los cimientos, con los sucesivos embalses.

En opinión del Ingeniero especializado y encargado de los nuevos sondeos -concordante, también, con la autorizada de su distinguido Jefe, y ante los resultados de los sondeos de 1944, 1945 y de los tres actuales, confirmatorios y aclaratorios- fundamentalmente, la causa inicial y determinante de lo ocurrido, hasta ahora, ha sido la mala calidad del suelo y subsuelo; en la un tanto indeterminada, zona en que hubo de cimentar por modo indirecto, muchos de los apoyos.

Además mediante pilotes de madera, relativamente delgados próximos y cortos, hincados nada mas que en las capas, arenosas, turbosas y fan-
gosas; y bajo el tramo hundido: excesivamente blandas y húmedas.

Al no poderse, entonces, recurrir a otros sistemas: con más dete-
nido estudio, materiales y sistemas de más confianza, y, naturalmente,
menos rápidos y de mucho más coste.

Y que la acción de los 6 embalses crecientes y sus desembalses, y
unos y otros, a veces rápidos, han producido y seguirán haciéndolo, com-
presiones, penetraciones del agua y reblandecimientos y aun circulación
de esta: que alteraron y seguirán alterando, con reducción perjudicial,
aunque no fácil de determinar, las resistencias al rozamiento y cohesión
y, la compacidad, de aquel mal terreno de antes.

A tales efectos, ha resultado sintomática el agua surgente del son-
deo -O- con arrastres de arena, y seguida de pérdida de testigo: preci-
samente en la zona arenosa que daba menos que sospechar.

x x x

Y estiman ambos: Que -ante la mala condición del terreno, indiscu-
tiblemente empeorado, después de construidas las cimentaciones, por el
funcionamiento de los sucesivos embalses- deben conceptuarse producidos,
inicialmente los asientos y probables averías de cimientos, por aquella
causa originaria. Y que más bien son debidas a estos asientos: Primero,
scaso las fisuras y grietas de los paramentos de las mamposterías: y,
después, actuando como causas, secundarias, aunque generales y permanen-
tes, la penetración del agua, en ellos con la presión del embalse: la pro-
bable acción expansiva de su helada, el subsiguiente ataque y erosión,
por el oleaje y sus rompientes, y, como con causas de menos influencia,
las posibles irregularidades y deficiencias de materiales o de ejecución
de las fábricas de hormigón, en cimientos, pilas y bóvedas, y las más apa-
rentes de las extensas y multiplicadas mamposterías; sin embargo con loca-
lización significativa y en relativamente pequeñas superficies: pero mas
evidenciadas, por su erosión superficial.

Por cuanto el Ingeniero encargado de los sondeos, manifiesta además:
Que tuvo la oportunidad de apreciar -en su visita a la obra- como los es-
combros amontonados del hundimiento, estaban constituidos, en cuanto las
aguas se los permitían ver, por grandes bloques caídos y volcados, sin
subdividirse ni aplastarse, y los de pilas, incluso con mamposterías ad-
heridas: o sea sin apariencias notorias de mala o defectuosa ejecución;
aun los de aquella tramada.

RESUMEN DE LA INFORMACION OBSERVACIONES Y DEDUCCIONES PRELIMINARES.

De este recordatorio, de antecedentes, subsiguiente información de
lo ocurrido, observaciones y primeras opiniones, expuestas en los 4 apar-
tados anteriores, entiende, el que suscribe, que puede resumirse y dedu-
cirse:

-A- Características y circunstancias desfavorables del planteamien-
to y desarrollo de esta obra.

Este viaducto, del primero camino que había de cruzar el amplio em-
balse, en la vaguada del Virga fué planteado, con amplitud y notoria ur-

gencia, por su interés social. Más, al mismo tiempo, debía proyectarse y construirse, con obligada economía; como obra esencialmente accesoria, aunque ineludible. Y aun subordinada a las necesidades de las obras principales de pantano; tan preferentes, para el más pronto aprovechamiento del embalse.

O sea: supeditada, por completo, en cuanto al tipo, estructura, elección de materiales y aun medios auxiliares, para su ejecución; no solo a las entonces rigurosas, invencibles y generales restricciones de todos los que no se obtienen en la zona del Pantano; sino, además, efectiva y prácticamente, a que los escasos cupos de los que se pudiesen obtener, habían de dedicarse, exclusiva o preferentemente, a las primordiales obras para su término y explotación.

Y, lo mismo, en cuanto a sus cimientos: sencillos, correspondiéndose con los antecedentes, incluso geológicos, conocidos y aportados por el personal facultativo encargado, hasta entonces, de aquel servicio y obras; razonablemente tenidos por seguros.

En suma; por su exigido planteamiento, estructuras y materiales obligados, y la marcha de su ejecución, apremiada e interferida, por el interés primordial del aprovechamiento del embalse, ha resultado, desde el principio, desafortunada; aunque muy involuntariamente.

- B - Previsiones exploraciones y propuestas de reformas, ante su dudosa cimentación.

Las previsoras condiciones facultativas del pliego de su proyecto, realmente primitivo, fueron aprovechadas, inmediata y celsamente, por los ingenieros de la obra, sus autores, para la urgente investigación y decisiones oportunas; al comprobar las dudosas condiciones del terreno; para mantener las cimentaciones ordinarias proyectadas. Sondeando, seguidamente y proyectando, otras indirectas, adecuadas, mediante pilotaje moderno de hormigón armado moldeado in situ. El cual no pudo adoptarse, contra lo que convenía y el buen deseo de todos, por aquellas carencias del material necesario; acudiendo, por urgencia, al único posible y anticuado pilotaje de madera que, sin embargo, no se adoptó sin estimar su

suficiencia, con pruebas previas.

Pero, naturalmente, no pudo considerarse la imprevisible experiencia, de la acción del agua y presiones del embalse, sobre el fondo y subsuelo; en aquella zona, del antiguo Pantano natural.

Cimentaciones parciales e indirectas ejecutadas, en consecuencia, sin dilación, y con normalidad; según lo planeado y autorizado. Destajándolas con casa especializada y acreditada; económica y administrativamente, con presupuesto aparte; y como preparación previa de la zona de mal terreno: sobre el que edificar, con la anticipación suficiente, los basamentos ordinarios del hormigón.

x x x

Según ha quedado especificado en el apartado II anterior, el destajista, mejor postor y adjudicatario de todas las demás obras ordinarias del camino, pudo comenzarlas, seguidamente y -sin aguardar los trabajos del pilotaje- y las ha ido construyendo: según lo proyectado: las modificaciones prescritas aprobadas u obligadas y conveniente. En todo caso dispuestas por el servicio de Inspección, y, en cuanto a su orden y marcha lenta, subordinados: Ingenieros y Constructor: A las restricciones de materiales y medios auxiliares, intervenidos; a la aspiración de embalsar, ya en 1946: el régimen del pantano, a partir de 1947, y, últimamente, al aprovechamiento del mismo viaducto; teniendo que montar sobre sus obras, una pasarela provisional primero y que tolerar, finalmente, tránsito, anticipado, sobre su sepe-estructura, aun en obra.

- C - Condiciones especialmente desfavorables del terreno de cimientos de los apoyos del tramo hundido; averías previas y observaciones sobre el derrumbamiento.

De todo lo expuesto en los apartados II y III, ilustrados con el croquis adjunto, se deduce:

Que todos los basamentos de las pilas hundidas, están asentados, como los de tantas obras, sobre haces de pilotes. Precisamente, resultan estas situadas sobre el peor terreno explorado, con los sondeos números 5 y 3, de 1945; incluso turboso, arcilloso, fangoso y blando, no sólo en la profun-

didad alcanzada por los pilotes, sino, mucho mas abajo; en los 18, 35 y 22,50 m. entonces explorados: El cual se ha confirmado por el próximo sondeo actual R^o n^o 1, con mucha mas humedad y blandura, hasta el terreno firme, encontrado a los 30 m. de profundidad; despues de haber estado sometido a las sucesivas embalsadas, de los 6 años pasados ;

Es de recordar, tambien: que todos los pilotes bajo la pila-estribo n^o 3, hubieron de hincarse mas largos, de 11 y 12 m.; hasta conseguir el exigido buen rechazo de 2 cm. o mas. Que bajo la pila n^o 14, (hundida) se hicieron las pruebas iniciales del pilotaje de madera; por cuya experiencia, práctica, con pilotes de 7 y 8 m. y rechazo de 2,5 cm., se decidió en mas seguro uso de los de 9 m. ; rechazo máximo de 2 cm. y obtenido, además, con maza de doble peso y mitad de altura de caída. Y que la pila estribo n^o 5, averiada antes y las pilas n^o 19 y 22, solo agrietadas, últimamente, tienen asimismo sus basamentos sobre cimiento indirecto de pilotaje, hincado en la zona de mal terreno blando, y fangoso, en mas de 20 m.; acusados por los primitivos sondeos n^o 6 y 3; encontrando despues los embalses, mas compresible, húmedo y sin cohesión, con el otro sondeo reciente R^o n^o 1; continuado hasta los 22 m. y ya en el terreno firme.

x x x

No obstante las condiciones de estos cimientos ya así señalados como posiblemente mas deficientes e inseguros, ni en estos ni en los restantes apoyos consolidados tambien indirectamente sobre pilotes, se notaron otros indicios de averías que los que fueron advertidos en la primavera de 1951, en las fábricas mixtas de sus pilas; pero no en los hormigones de sus bóvedas ni en sus salmeres de apoyos, demostrandose, en principio, la buena ejecución y calidad de estas, en general.

Aun en septiembre pasado, despues de medidos tan grandes asientos de las pilas 14 y 15 del tramo hundido solo se produjeron las pocas grietas dibujadas, en sus zonas lógicas y sin otras participaciones múltiples, a plastamientos, ni desquiciamientos. Quedando divididas en tan grandes bloques, aproximadamente siguiendo las fisuras, aproximadamente las superficies de separaciones de tajos; del hormigonado; de las dos roscas

y las del apoyo en los salmeres.

Cayendo y valcandose, rápidamente, y, al parecer, por el orden lógico correspondiente; aguantando y retrasandose algún tanto las pilas menos descendidas 13 y 16, con sus mamposterías adheridas, y luego las arcadadas 12 y 16, apoyadas en las pilas estribos adyacentes. Según lo que se ha especificado en el apartado III: y en cuanto pudo observarse, a través del embalse.

- D - Causas probables y lógicamente fundamentales del hundimiento

Complementando estas observaciones con las deducciones, juicios y criterio de los ingenieros especialistas de ensayos y sondeos expuestos en el apartado IV queda, como la mas admisible:

Que la causa fundamental, determinante y suficiente de los asentamientos progresivos de las pilas; del agrietamiento lógico de las bóvedas, apoyadas sobre aquellas, desprendimiento, subsiguiente, de los voladizos armados de las aceras, y de parte del paramento de mampostería de la pila nº 15 -poco antes de la caída rápida de las 5 bóvedas y vuelco de las 4 pilas del tramo- ha debido ser la inestabilidad de su cimentación indirecta, con haces de pilotes de madera; en un terreno ya antes turboso, fangoso, excesivamente húmedo, blando y compresible; el cual, además, por la acción de las embalsadas ha empeorado haciendo aquella mas insuficiente y peligrosa.

Reduciendose las resistencias primitivas de aquellos pilotes someros; de no solo las menos permanentes de compresión lateral del terreno, sino tambien las de rozamiento y por su cohesión; supuestas y acaso, efectivas al hincarlas. Por todo lo cual el terreno alrededor de estos cimientos, como vulgarmente se dice, ha debido muellear; lenta pero ampliamente .

Tambien puede afirmarse (según lo explicado en los apartados 1 y 4) que han contribuido a tal mal resultado práctico: la longitud y diámetro, escasos, de los pilotes; mas su excesiva proximidad, y, tambien, la imposibilidad que hubo de armar, convenientemente, a su alrededor la plataforma inferior de cimientos; que desenvuelve para hacerla al mismo tiempo resistente y rígida. Alguna indicación de grietas, en estos basamentos;

se han observado, despues, aunque no claramente, por encontrarse aún sumergidas.

- E - Causas secundarias, o con causas de las averías y deducciones excluyentes.

Se pueden considerar tambien con causas - mas bien aparentes de destruccion, pero no las originarias del hundimiento - las siguientes: las fisuras y grietas en los paramentos de las mamposterías de los apoyos; su penetración por el agua del embalse su probable helada con expansión disgregadora la indudable acción erosiva y socavadora de los grandes oleajes, con rompientes muy marcados sobre sus paramentos orientados al S. y, especialmente, sobre la esquina del SE. Muy probablemente, actuando estas, a posteriori, de los descensos vertical de los cimientos.

Ellas han evidenciado que, en todo caso, los paramentos de estas fábricas que han de quedar sumergidas, alternativamente, en los grandes embalses, deben ser sumamente resistentes, unidos, y los mas impermeables posible.

X X X

En sentido negativo, según aquellos antecedentes, parece que deben excluirse, razonablemente como causas del accidente:

Insuficiencia ni atrevimiento en los supuestos de sobrecargas, ni en los cálculos de las estructuras, y fabricas; aún, todavía, franca y prudentemente reforzadas, y ensanchadas, precisamente en las plataformas de todos los cimientos; con y sin pilotaje, en bueno y mal terreno. Deficiencias generales y notorias de la construcción; ni menos que estas se hayan comprobado muy en particular y especialmente, como hubiese sido necesario; en la de los basamentos, pilas y bóvedas de la tramada hundida; en cuyas arcadas se estrenaron las cimbras y moldes; se hormigonaron las primeras y sin mucha dilación, respecto al término de sus pilas. Tampoco el viaducto (escasamente con su peso propio) ha llegado a estar sometido a un a las sobrecargas de calculo (salvo las de construcción de sus pilas estribos) de pruebas; ni a otras extraordinarias, de ningún tráfico intenso, pesado y vibratorio. Ni han llegado a actuar sobre él, posibles vientos ciclóni-

cos, oleajes extraordinarios y rompientes de máximo impulso todavía.

- F - Actuación del personal facultativo, encargado de los proyectos de las obras y de su inspección.

Se deduce, también, de todo lo anterior:

Que el personal facultativo, encargado de los servicios del pantano, no ha incurrido en negligencias ni descuidos, conscientes o culpables. Ni aun en imprevisiones que pudieran considerarse fácilmente vencibles, en aquellas circunstancias y urgencias. Ni tampoco debidas a falta de celo y actividad, en su prolongada actuación: preliminar, de concepción de proyecto, exploraciones que le fueron asequibles, preparaciones de los destajos, planteamiento de reformas obligadas y aun apremiantes de proyecto o de obras. Tampoco su inspección, vigilancia, en la ordenación de la marcha tan complicada de los trabajos: lo mismo de los adelantados y especializados de cimentación, que de todos los demás ordinarios.

- G - Oportunidad, separación, y concordancia de los trabajos a cargo de uno y otro destajista.

Igualmente ha quedado constancia, de que la extensa e importante variación de los cimientos, se estudió y acometió con oportunidad; anticipando las adquisiciones de pilotes y los trabajos especiales e independientes, de hinca, por destajo. De modo que no se le produjeron con ellos, obstáculos ni dificultades al otro destajista de todo lo demás del camino y viaducto; que pudo desarrollar los suyos, ordenadamente y con efectiva separación. Sin interferencias: técnicas, administrativas ni contractuales entre unos y otros.

- H - Improcedencia de plantear responsabilidades de los destajistas, con motivo del hundimiento.

Tampoco resulta, que pueda razonablemente, hacerse responsable en principio, ni en particular y concretamente, del accidente ocurrido a ninguno de los dos destajistas; como ejecutores separados de sus respectivos trabajos, y por causa de estos.

Puesto que procedieron, con arreglo a los proyectos y sus condiciones; a sus reformas autorizadas. Y en todo caso; siguiendo las disposiciones e instrucciones del personal facultativo encargado de la Inspección; incluso en la ordenación conveniente o forzada de los trabajos, determinada por éste.

Tanto en los urgentes, previos y especializados de preparación e hinca de todos los pilotes de preparación de los cimientos. Destajados directamente (previa autorización Superior reglamentaria) con la "Constructora Ezcurra S.A.", equipada, especialmente, para ello, y a su tiempo, terminados y liquidados.

Como todos los demás generales de las unidades de obras ordinarias de las denominadas 1ª y 2ª parte del camino (que incluían todo el viaducto) adjudicadas primero, mediante dos concursos de destajos grandes, a Don Perfecto Noguero Rodríguez, con muchas sucesivas prórrogas; luego traspasada oficialmente, a su hijo Don Cirilo Noguero; en representación de los herederos de aquel. Desarrollados, según se ha explicado, solo con las incidencias, señaladas antes; más no causantes del hundimiento.

- I - Conveniencias y aun necesidad de completar las exploraciones ensayos y sondeos; por los equipos e Ingenieros especializados.

Asimismo: Es indudablemente acertado, y necesario el éxito de la investigación encomendada al que suscribe, que sean continuadas, ampliamente con todos los elementos hábiles, las explotaciones, sondeos y ensayos; ya dispuestos por la Superioridad y encargados a los equipos de Ingenieros especialistas. Para aclarar y determinar, suficientemente y con más precisión, los orígenes y causas del hundimiento, y de los demás efectos sobre esta obra; actuales y los probables a más largo plazo - cuando el embalse completo llegue a su máximo nivel: un 50 % más del ya experimentado.

Más aun, para prevenir y juzgar, con acierto, acerca de los medios hábiles de restablecer o sustituir el tramo inutilizado, y determinar sobre la posible permanencia y aprovechamiento seguro del resto de la obra: mediante su afianzamiento y reparación; si son convenientes, téc-

nica, económica y administrativamente considerados.

- J - Necesidad de adoptar soluciones provisionales para restablecer el tráfico del personal, lo más pronto posible.

Considerando que tales exploraciones, estudios y determinaciones han de quedar forzosa y primordialmente, subordinados al régimen y aprovechamiento máximo del embalse y a la observación de sus efectos a largo plazo, es indudable que se debe procurar, entretanto, resolver del modo más elemental, hábil, económico y rápido posible, el problema de restablecer la circulación pública, de uno al otro lado del embalse, de los peatones y bicicletas (que ya se venía tolerando) usuarios forzosos del antiguo camino; incluso por la parte del viaducto que no sea peligrosa. Con la pasarela provisional planeada, o con otra solución técnica y económica pero independiente de aquellas otras soluciones parciales o completas más adecuadas y definitivas. Sean solo para el viaducto o las del camino, que indiscutiblemente, deberá quedar, a través de tan gran embalse.

- K - Ventajas de la inmediata suspensión de las obras del Camino, rescindiendo sus últimos destajos.

Finalmente: Ante la indeterminación de si, en definitiva, convendría aprovechar esta obra, y el camino; y en cuanto habría de serlo; es, también lógico y pertinente que se acordase: La suspensión indeterminada y por conveniencia de la Admon. de los restantes trabajos, de los dos destajos últimos, actuales, en curso; correspondientes a las dos partes primera y segunda de todo el camino; en que, solo por razones administrativas, se dividieron todas sus obras ordinarias.

Porque las correspondientes al camino corriente y accesos del viaducto están, prácticamente, terminadas, y, desde luego, utilizables; para el tránsito que se pueda consentir, por el mismo; como ya lo estaban ahora, y lo mismo para todos los transportes, que requieran la reparación o consolidación del viaducto.

Y en cuanto a las obras aun sin ejecutar en el viaducto, son, casi exclusivamente, de la coronación del mismo; sus aceras y voladizos, rellenos inmediatos y término del montaje de barandillas y malecones.

Que no son ahora necesarias, sino, más bien, obstáculos que habrá que apartar o desmontar; para instalar los andamios, pasarelas, castilletes etc., que requieren los sondeos, inyecciones, o cotas en las fábricas y sus consolidaciones. Pues que habrán de situarse en mucha parte sobre las mismas obras y no en el embalse ni estorbándolo: y lo mismo las de adaptación de la pasarela provisional de habilitación.

Como consecuencia de esta suspensión indefinida, procedería, también, la rescisión conveniente de los dos últimos grandes destajos concertados de aquella 1ª y 2ª parte, del conjunto de todas las obras ordinarias del camino y viaducto; que, por las sucesivas y últimas prórrogas, están todavía en vigor. Acordada, reglamentariamente, de conformidad con las condiciones facultativas económicas y generales, que les sean aplicables.

Declarando relevado, al Destajista del compromiso de continuar las obras hasta su terminación.

x x x

De lo que respetuosamente estimo deber dar cuenta e informar a V.I. para su conocimiento, y resoluciones que se juzguen convenientes.

Dios guarde a V.I. muchos años.

Madrid 31 de enero de 1953.

EL INSPECTOR REGIONAL DE LA
9ª DEMARCACION,

= R. Martínez =

ES COPIA,