



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

# VIADUCTO DE EL CASTRO

# INFORME

NOVIEMBRE 2022

# INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS





**¿Cómo es el viaducto de El Castro?**

## CARACTERÍSTICAS GENERALES

Dos viaductos de **gran longitud** con calzadas separadas de **13 vanos** (A Coruña) y **7+2 vanos** (Madrid) de **45m de luz** todos ellos.

Tipología de **vanos isostáticos** con **dovelas prefabricadas** sin armaduras pasivas pasantes, comprimidas **“a hueso”** con postesado exterior.

← Madrid

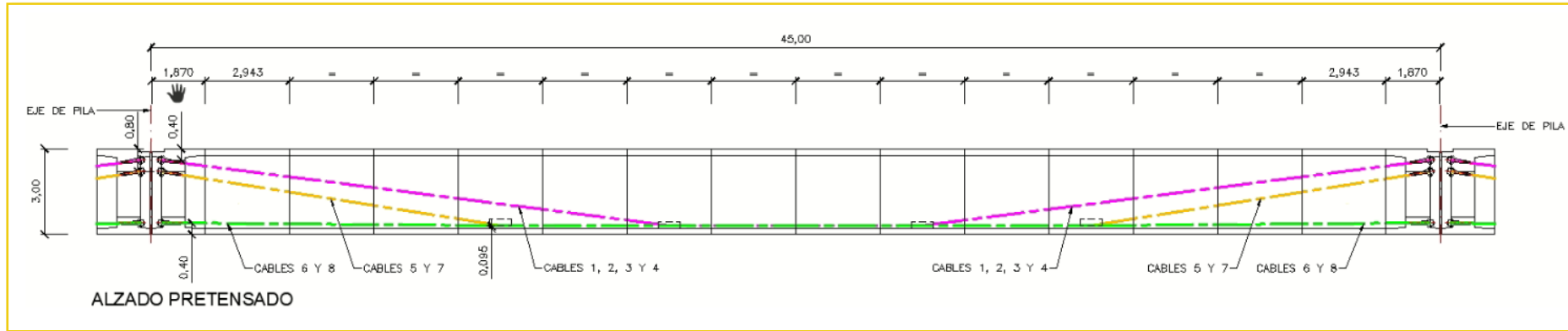
A Coruña →





# DATOS PRELIMINARES

El pretensado exterior proyectado consta de **8 cables** en 3 familias diferentes:

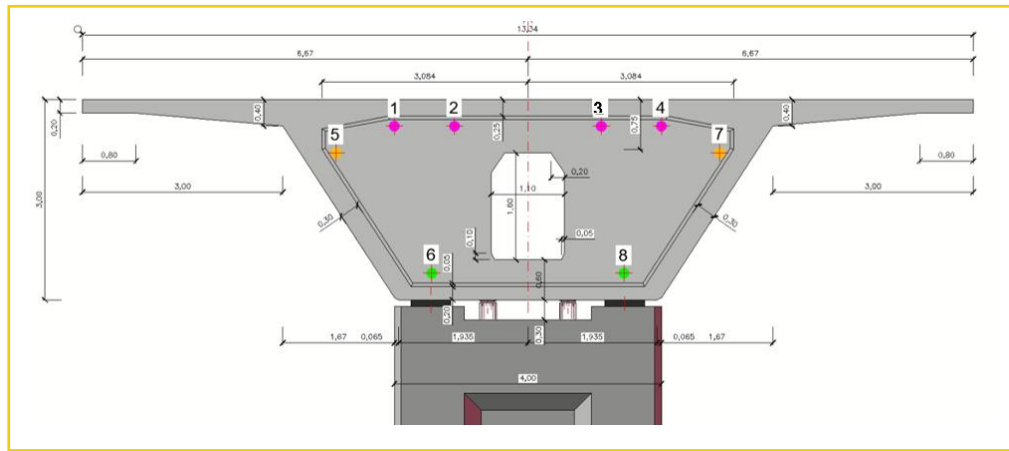


**4** cables de **31** unidades de 0,6" anclados bajo la **cara inferior** de losa y con trazado poligonal.

**2** cables de **31** unidades de 0,6" anclados en la **esquina superior** de las almas, en su encuentro con la losa y con trazado poligonal.

**2** cables de **24** unidades de 0,6" anclados próximos a la **tabla inferior** del cajón y con trazado recto.

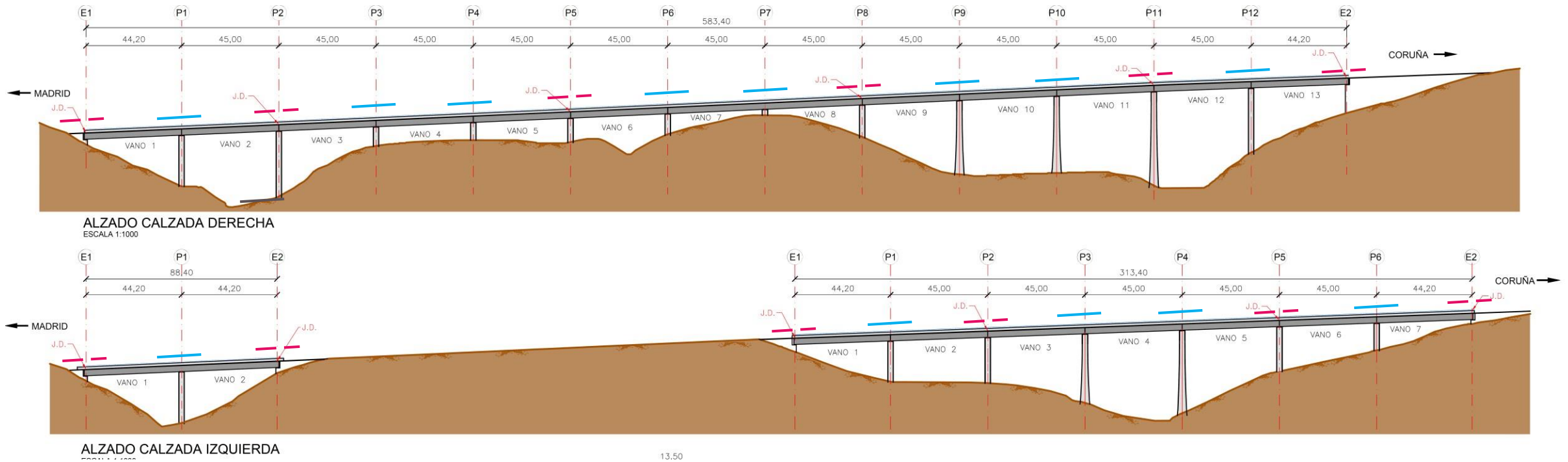
## Mamparo



**1**

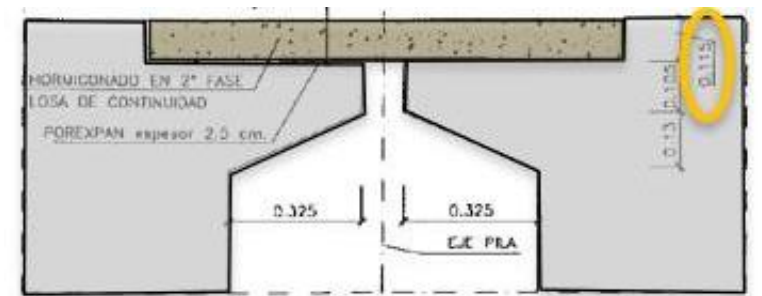
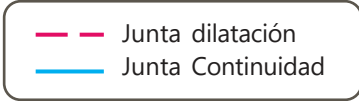
## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE

# DISPOSICIÓN DE JUNTAS DE CONTINUIDAD Y DILATACIÓN

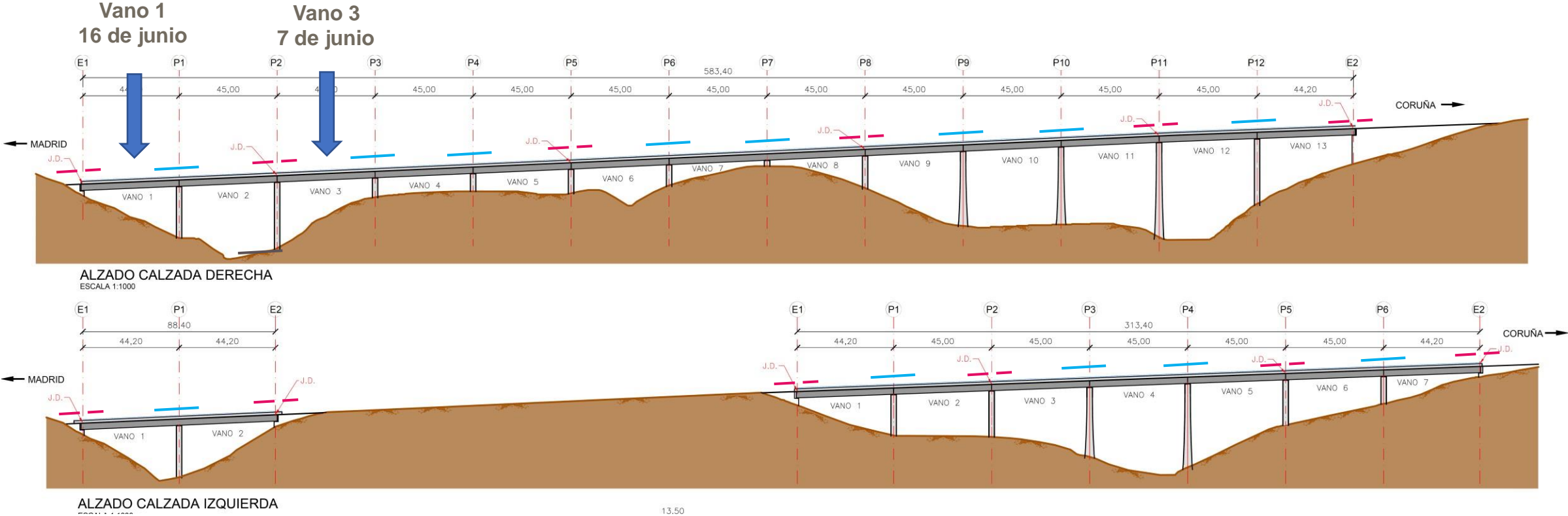


**Juntas de dilatación:** Permiten las libres dilataciones de la estructura.

**Juntas de continuidad:** En sustitución de las juntas de dilatación mejorando el confort de la rodadura y permiten el trabajo conjunto de pilas frente a fuerzas horizontales



# DISPOSICIÓN DE JUNTAS DE CONTINUIDAD Y DILATACIÓN



13.50

## 1

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE



Tipología desarrollada a nivel **MUNDIAL** a partir de los años 1980, existiendo **realizaciones previas emblemáticas** (Isla de Ré, Francia, Segmental Precast Bridges, USA).

Desarrollada **inicialmente** como **solución de refuerzo de tableros existentes**.

**Grandes ventajas** constructivas: **calidad**, control de hormigonados, control de plazos, sistema competitivo, etc.



## 2 ANÁLISIS TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL



**¿Por qué se estaba actuando?**

Se realiza una **inspección especial** a lo largo de los meses de **abril-mayo de 2021** que **puso de manifiesto:**

**Fallo del sistema de impermeabilización**, con entrada de agua al interior del tablero.  
**AUSENCIA DE UN SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN EFICAZ.**

**Fallo sistemático de las losas de continuidad**, detectándose líneas de **circulación de agua en ambos lados de las losas.**

**Daños de carácter durable en paramentos de hormigón interiores y exteriores.**

**Daños puntuales** en algunos aparatos de **apoyo.**

**Defectos y claros indicios** de intensa y generalizada **corrosión** en el sistema de **pretensado**, incluso **1 cable roto**

El nivel de **deterioro de los cables** suponía un **grave riesgo para la seguridad** de la estructura. El **origen** de esta patología se localizaba en el **fallo de las losas de continuidad** que permitían la **libre entrada y circulación de agua** a las **cabezas de anclaje del pretensado**, justo debajo de ellas.

Viaducto situado en zona de **alta vialidad invernal: uso de sales fundentes**, lo que ha supuesto un **agente multiplicador** de la **degradación de los materiales** (acero y hormigón)

### 3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE DAÑOS (mayo 2021)



**¿Qué se estaba haciendo?**

- **Disposición de 2 cables rectos de refuerzo adicionales** para **eliminar incertidumbres** sobre los niveles reales de seguridad durante el tiempo de realización de los trabajos, permitiendo tanto la **explotación transitoria** como la sustitución de los mismos con garantías.
- **Sustitución posterior del 100% de los cables** del pretensado del puente, con la más moderna tecnología de **protección anticorrosión (5 barreras = cable galvanizado + grasa + enfundado individual + lechada + vaina global)**
- **Restitución de losas de continuidad, mejorando el detalle** que había manifestado una reiterada respuesta inadecuada frente a la **entrada de sales**.
- **Nueva impermeabilización** de la plataforma, conforme a estándares actuales y protección de los frentes de mamparos expuestos, especialmente del **sellado de los cajetines de anclaje** del pretensado.
- **Reparación de daños durables** en el **hormigón**, tanto exteriores como interiores.
- **Sustitución de aparatos de apoyo** con patologías.



### Calzada Madrid (**abierta** al tráfico con restricciones):

• Instalación de los **2 cables de refuerzo** en **todos los vanos**.

• **Sustitución** únicamente de **cables de autopsia** (7 ud), que se habían llevado completos para su **análisis en Laboratorio** (incluso zonas de anclaje interiores al hormigón de los mamparos).

• Pendiente de **sustituir** los **cables originales**.

• **Sin comenzar** ningún **otro tipo de reparación**.

### Calzada Coruña (**cerrada** al tráfico):

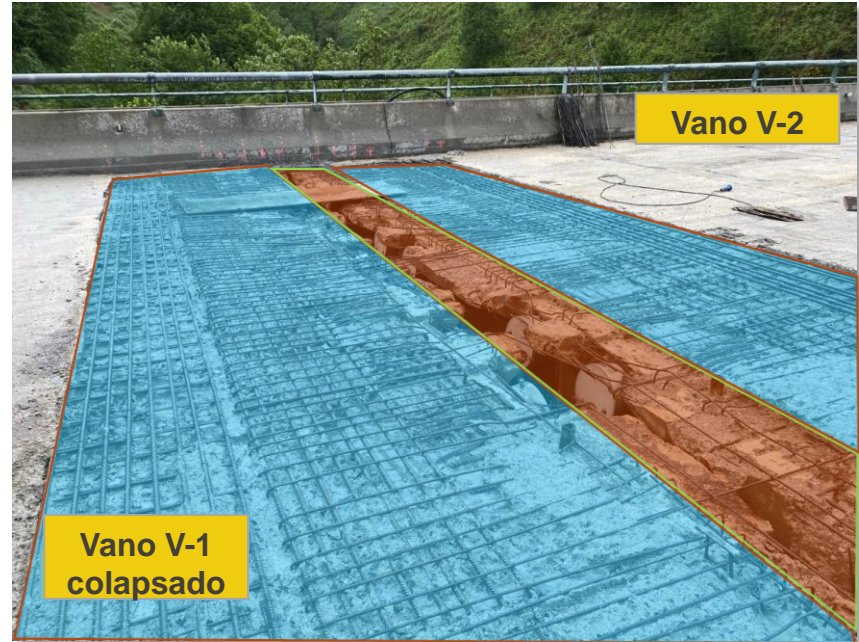
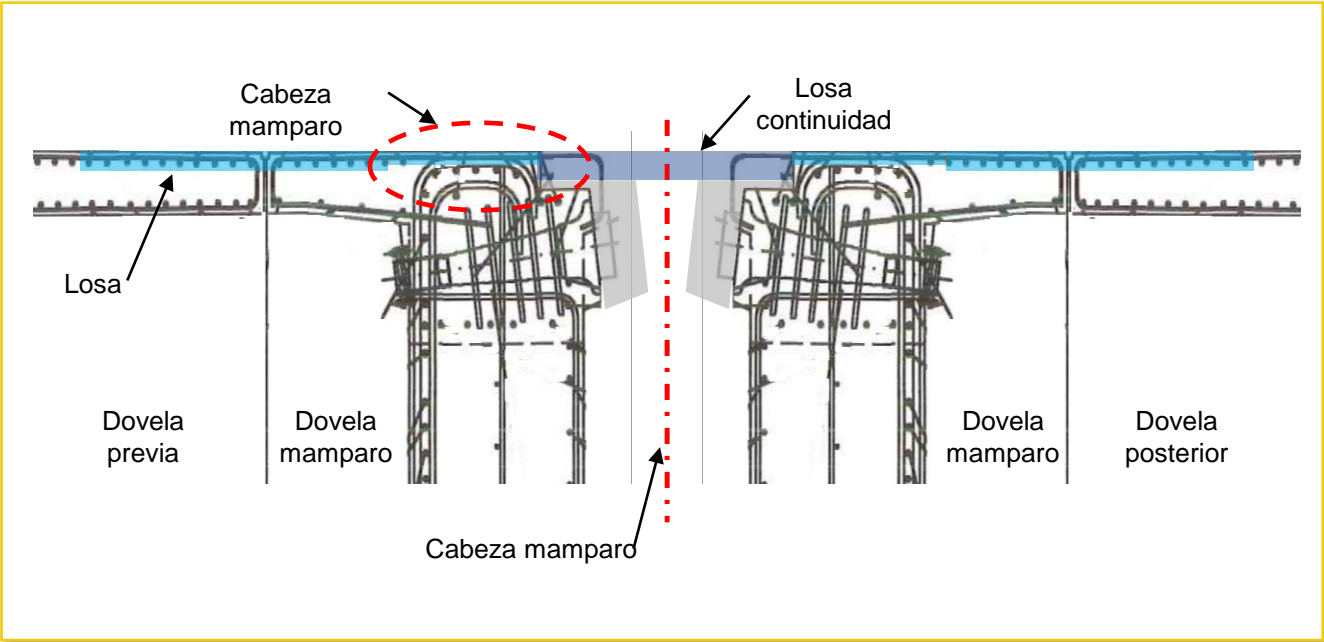
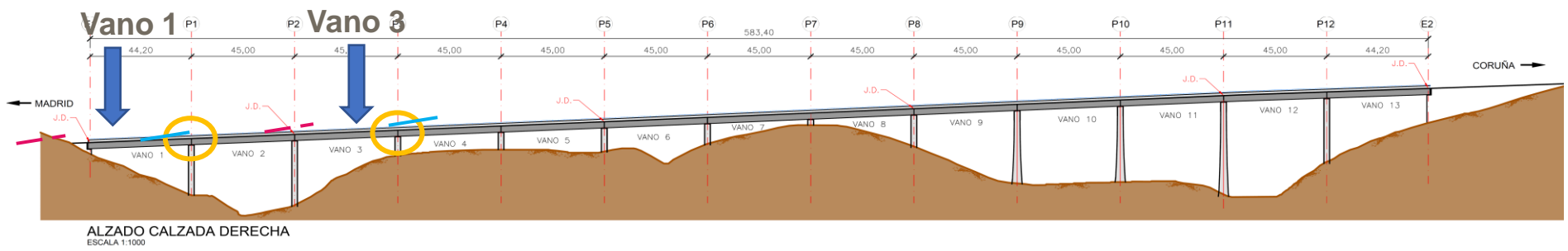
• Instalación de **10 cables nuevos** (8 originales + 2 refuerzo) en **todos los vanos** del viaducto **salvo 4 vanos** pendientes de rematar (7 cables en total), lejos de la zona afectada.

• **Iniciando** reparación y mejora del detalle de **las losas de continuidad**.

• **Hidrodemolición** de losas sobre pilas **P1 y P3**, actuando sobre la pila P3 en el momento del incidente.

# REPARACIÓN DE JUNTAS DE CONTINUIDAD PARA ELIMINAR ENTRADA AGUA

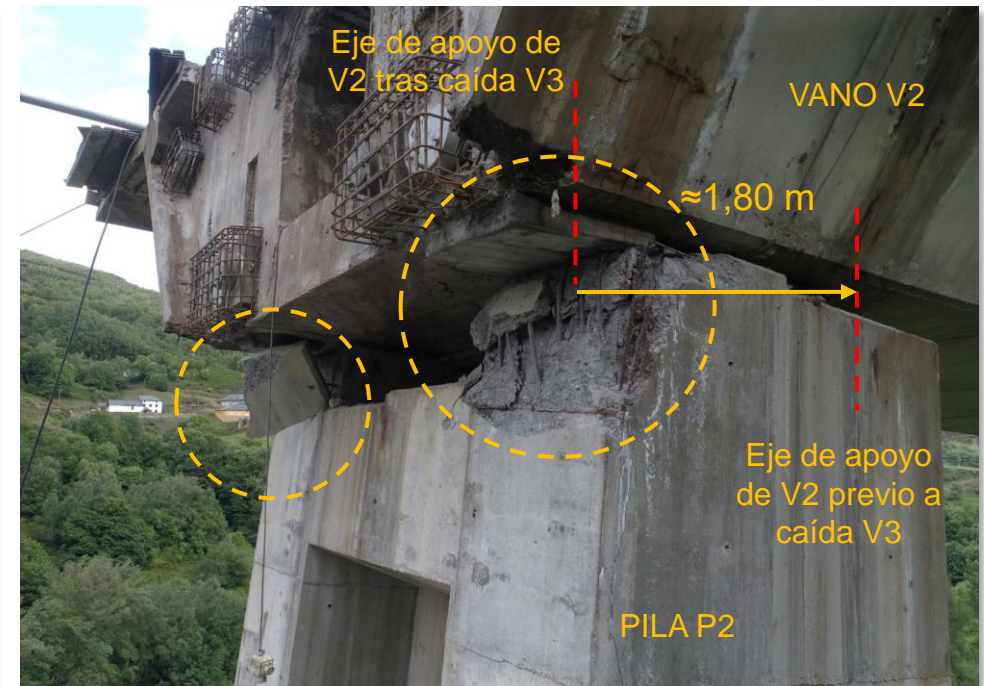
Hidrodemolición de P1 finalizada en vanos V1 y V2; en P3 finalizada en vano V3





**¿Qué pasó?**

## COLAPSO DEL VANO 3. 7 de junio de 2022



- El 7 de junio **colapsa sin previo aviso** el **vano 3** de la calzada dirección **A Coruña**.
- Tablero con caída** aparente a plomo.
- Desplazamiento de **1,80 m** de **cabeza** de **pila P2** como sólido rígido y **sin indicios** o muestras de **golpe/impacto** del tablero sobre la pila, **ni fisuras de flexión** que expliquen el desplome.
- Vano 2** queda **apoyado** donde antes estaba el **V3**.

## 6 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE



## COLAPSO DEL VANO 3. 7 de junio de 2022



**Mamparo A Coruña (P3).** Zona superior “estallada”. Paso de hombre y esquina inferior con “aparente” integridad. Penetración de placas de pretensado en mamparo.

**Mamparo lado Madrid (P2).** Estado de aparente integridad.

## 6 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE



## COLAPSO DEL VANO 1. 16 de junio de 2022

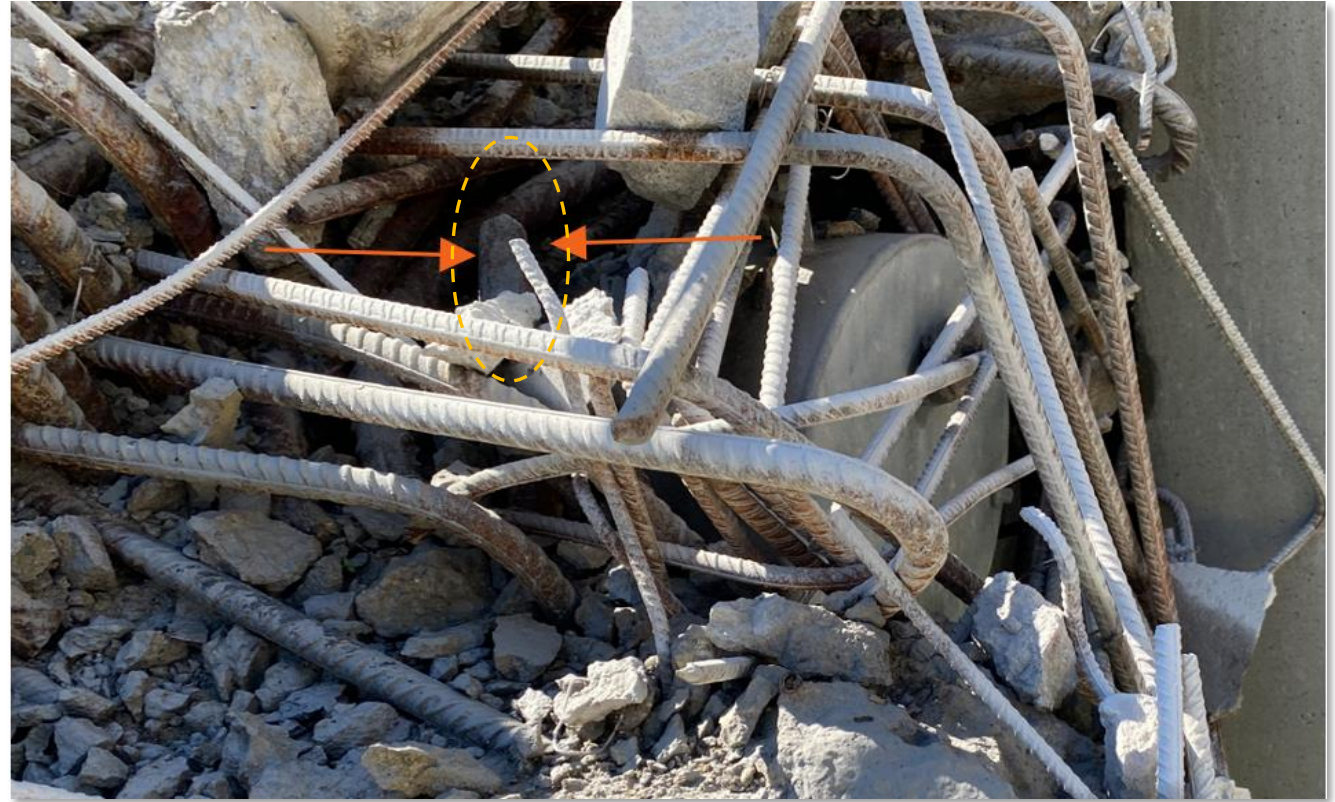


- Vista general del vano V1 tras su colapso. Nuevamente **sin aviso** o indicios previos.
- **Sin movimientos apreciables** en pila P1. Mamparo 1 **sin daños apreciables** de gran entidad.

## 6 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE



## COLAPSO DEL VANO 1. 16 de junio de 2022



**Mamparo 2 del vano 1 muy dañado, con ciertos indicios de haberse apoyado en el fuste de la pila durante su caída, pero la pila sin apenas desplome.**

**Bloque de anclaje hundido parcialmente en el interior del mamparo. Rotura de placa de anclaje.**

### 6 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE



**¿Qué se ha hecho hasta la fecha?**



## LÍNEAS DE ACTUACIÓN

Línea de **trabajos para la investigación** de las causas incidente:

- Inspección **visual**
- Investigación **geotécnica**
- Investigación de **materiales**
- Investigación **analítica**

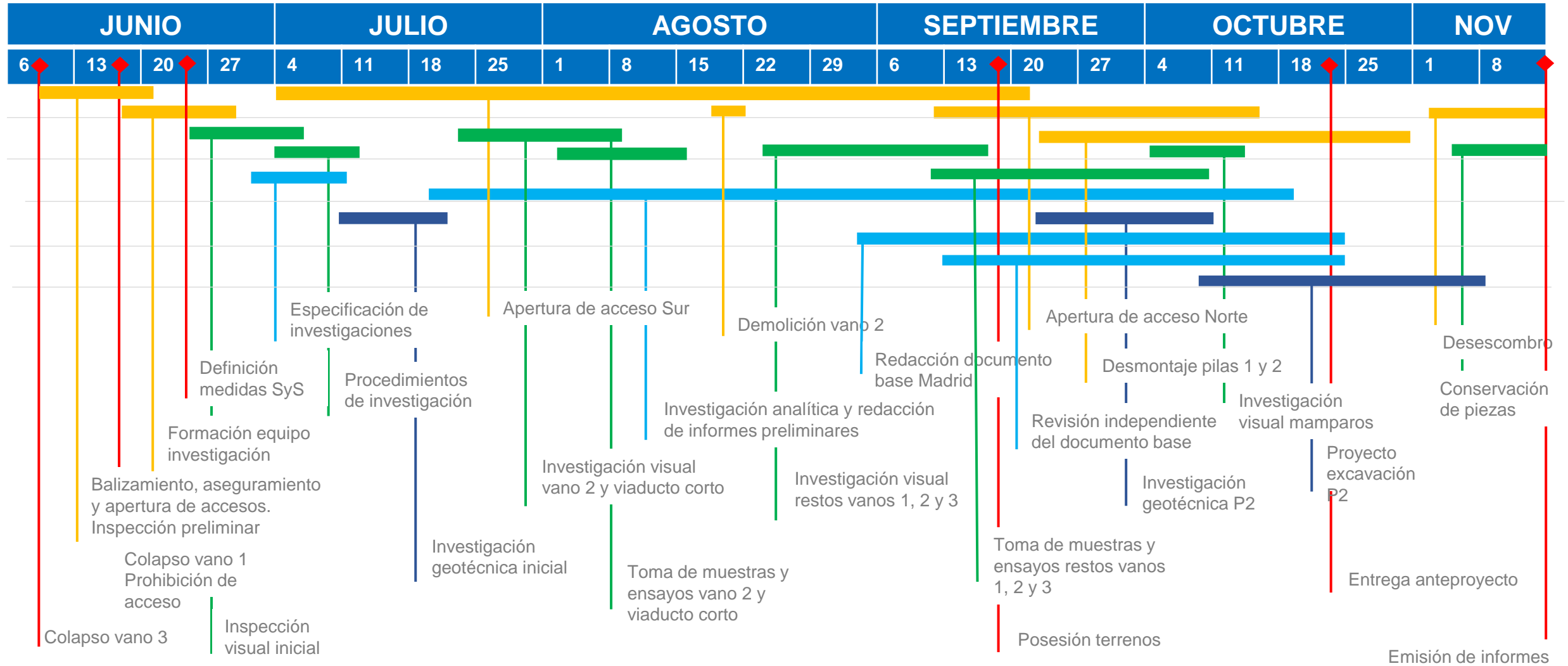
Línea de **trabajo de retirada de los restos** de los colapsos:

- **Desbroce** de la zona
- Apertura de **caminos de acceso**
- **Demolición controlada** del vano 2
- **Desmontaje** de las **pilas 1 y 2**
- **Desescombro** de los restos de los colapsos
- **Excavación** de la **pila 2** hasta cimentación (pendiente)

Línea de **trabajos de redacción** de un **documento base** para la **reconstrucción**

Tramitación **administrativa** de las **actuaciones de emergencia**.

# CRONOGRAMA





## Trabajos realizados:

### ❖ Investigaciones de **materiales**:

- **105** ensayos de **resistencia a compresión** del hormigón
- **10** ensayos de **resistencia a tracción indirecta** del hormigón
- **44** ensayos de **módulo de deformación** del hormigón
- **48** ensayos de **esclerometría**
- **84** ensayos de **contenido en cloruros** del hormigón
- **57** ensayos de **profundidad de carbonatación**
- **6** ensayos de **reactividad árido-álcali**
- **36** ensayos de **absorción de agua y porosidad**
- **23** ensayos de **contenido en cemento** del hormigón
- Ensayos de **caracterización de la macroestructura** del hormigón por **estereomicroscopia**
- Identificación de posibles **zonas de lajación** del hormigón
- Ensayos de **integridad por ultrasonidos** (impacto-eco)

### ❖ **Testificación** de partes de los **elementos colapsados**

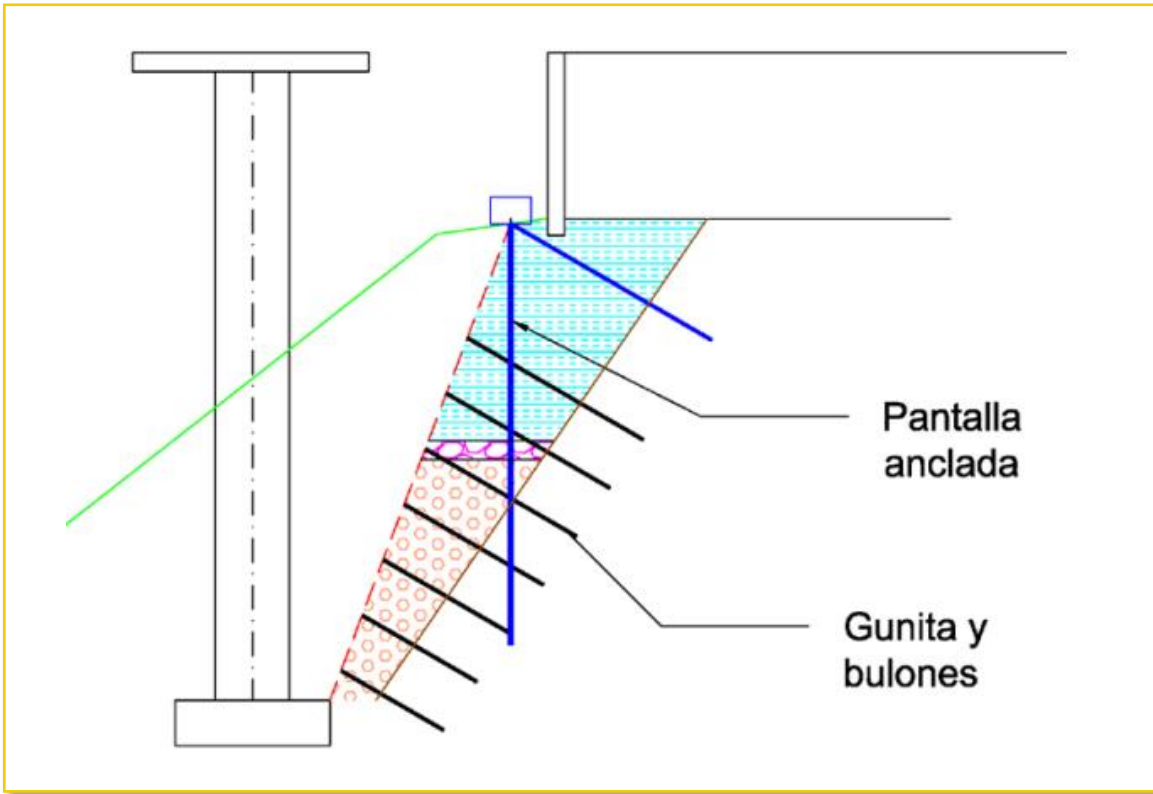
## DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL VANO 2

- **Demolición controlada** mediante debilitamiento de una sección del tablero.
- **Colapso** con perfecto ajuste a los modelos teóricos.
- **Ausencia de indicios** o señales de **daño** en las **zonas de hidrodemolición** y/o **bloques de anclaje adyacentes** tanto durante como después de la demolición.





# INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA (Pendiente)



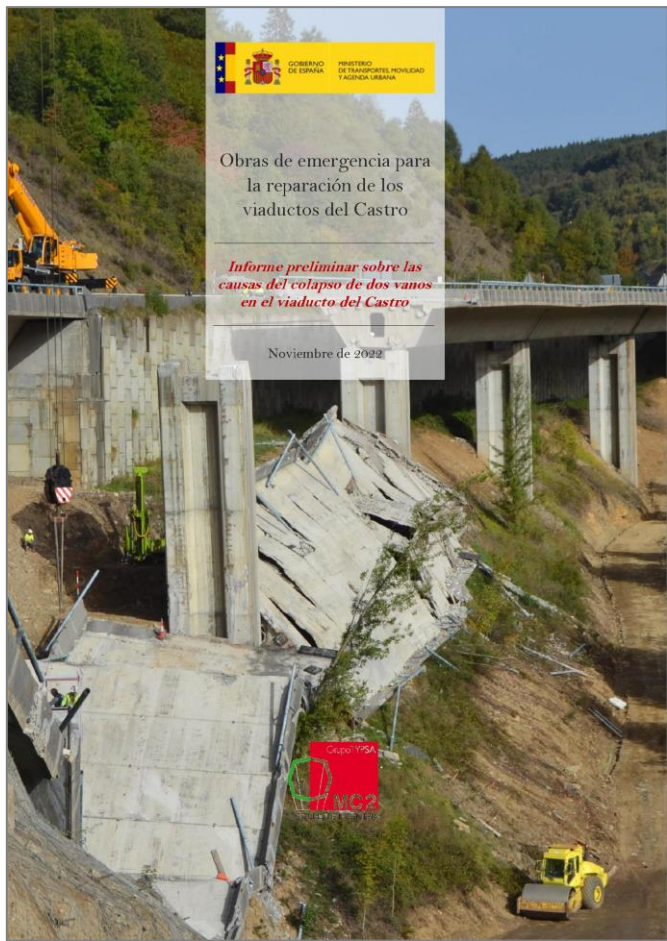
## INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS

- **Recopilación** de todas las **labores de investigación** y realización de la **investigación analítica** en **dos informes** realizados de **forma independiente** por dos equipos de **ingeniería especializada diferentes**.
- **Esencial coincidencia en el origen** y las **causas del colapso**, con **diferentes matices** en cada informe.
- **Informes preliminares**: condicionados a los **datos disponibles** en la **actualidad** y **posibles nuevos hallazgos** en el transcurso de la investigación.





## INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS



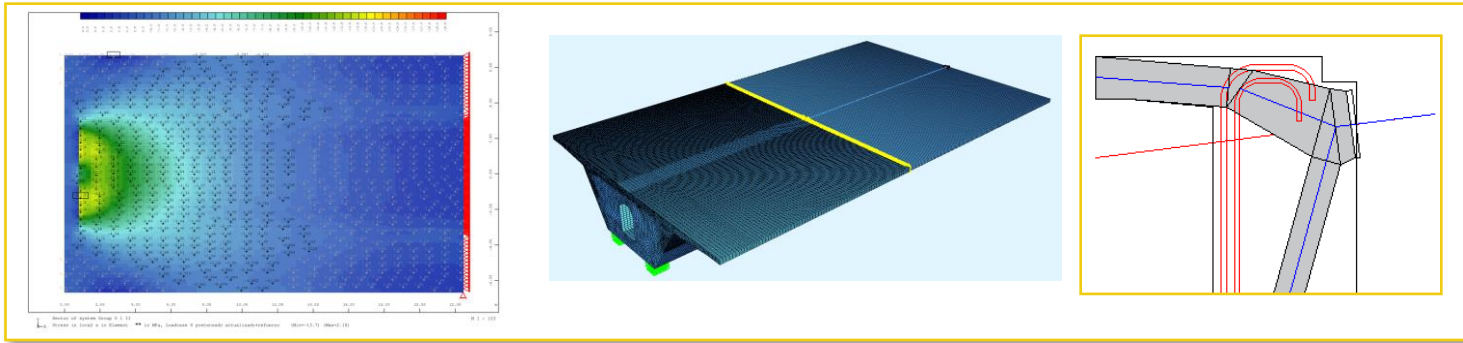
“En la zona correspondiente al **mamparo 2 del vano 1**, se han detectado, de forma muy puntual, **hidrodemoliciones** de espesor **100 mm y hasta 130 mm**, superiores a las previstas de 75 mm.

Por el contrario, existen **dos extremos de vano** que, habiendo estado **afectados por la hidrodemolición**, no han colapsado: **vano 2 y vano 4**. El **vano 2** fue **demolido de forma controlada** y su extremo hidrodemolido tampoco sufrió daños tras su caída.

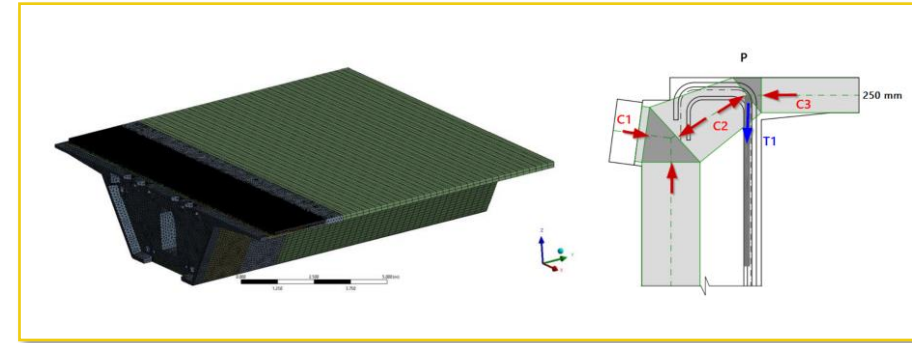
En la zona correspondiente al **mamparo 1 del vano 2**, sometido a **demolición controlada**, también se han observado, puntualmente, **hidrodemoliciones** con espesor de **hasta 95 mm**, superiores a las previstas.”

Análisis realizados por 2 equipos de ingeniería de forma **paralela e independiente**:

**IDEAM:** Software **Sofistik** -> modelos tipo **placa, volumétricos y B-T**



**MC2:** Software **Ansys** -> modelos **volumétricos y B-T**.

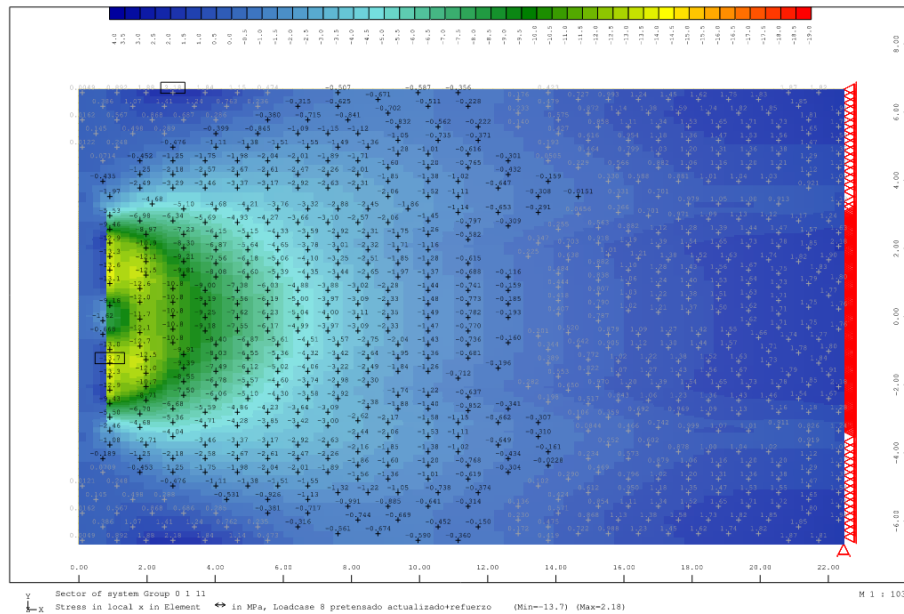


- ❖ **Bases** de cálculo **iguales** (materiales, geometrías base, etc)
- ❖ **Criterios y metodología** de análisis **propia: DIFERENTES.**
- ❖ Resultados **CUALITATIVOS** análogos.
- ❖ Resultados **NUMÉRICOS** convergentes.

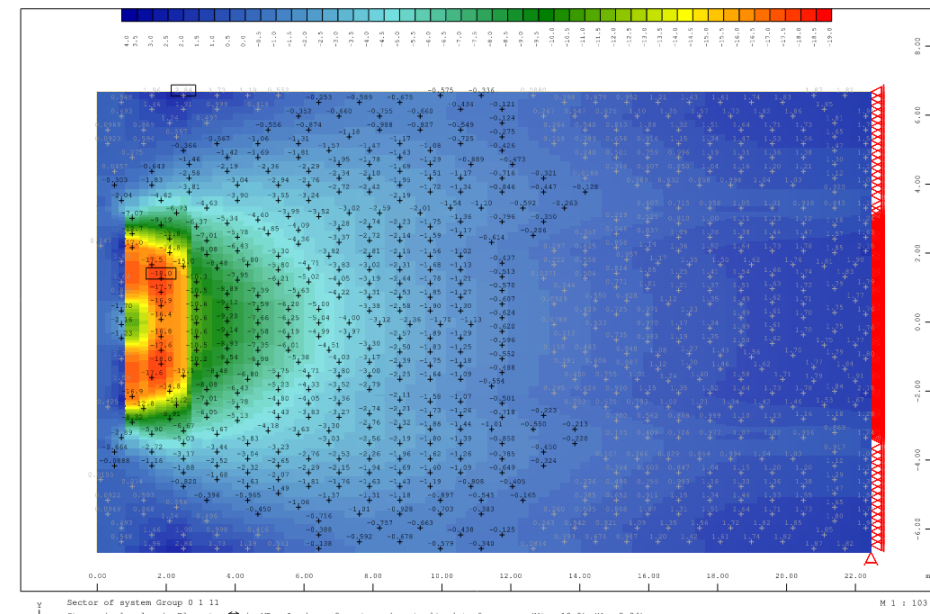


# MODELOS TIPO SHELL

- Suficiente **precisión y detalle** para sacar el **comportamiento global del mamparo** y la transmisión de la carga a las **almas y losas**.
- Doble modelo**: nominal Proyecto y modelo con el saneo con **hidrodemolición**.
- Zona hidrodemolida en C-C**. **Tracciones perpendiculares** a partir de **2,5m**, no relevantes



Tensiones máximas “x” en plano medio de losa conforme situación teórica de proyecto ( $\sigma \approx 14$  mpa)



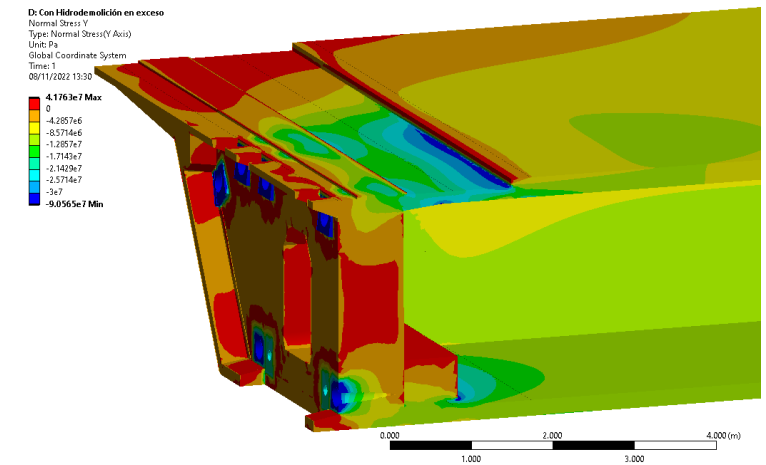
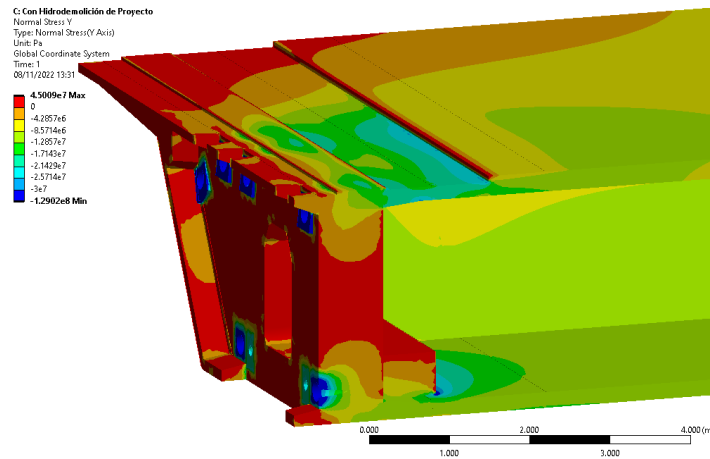
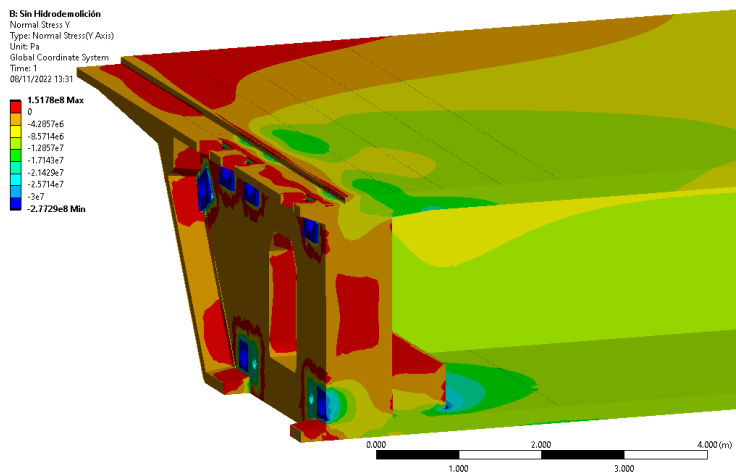
Tensiones máximas “x” en plano medio de losa conforme situación teórica de proyecto tras las hidrodemolición ( $\sigma \approx 18$  mpa).

En ambos modelos, los niveles tensionales estaban holgados frente a los requisitos normativos

## MODELOS VOLUMÉTRICOS -3D

Con objeto de conocer con **mayor precisión** la **transmisión del pretensado** en el **bloque superior de anclaje**, desde la placa de anclaje hasta las losas y almas, se **reprodujeron los mismos modelos**, pero con **elementos finitos 3D**.

Obtención de **resultados muy similares**, y siempre **ACEPTABLES**, a los obtenidos en el modelo 2D, tanto para la **situación de Proyecto** como en la fase de **hidrodemolición**.



A izquierda, **tensiones longitudinales** conforme a proyecto, en el centro conforme a la **situación teórica** de la hidrodemolición y, a la **derecha**, con un hipotético **exceso de hidrodemolición**.

En los **tres casos** los resultados que se obtienen son **dentro de los límites normativos admisibles**

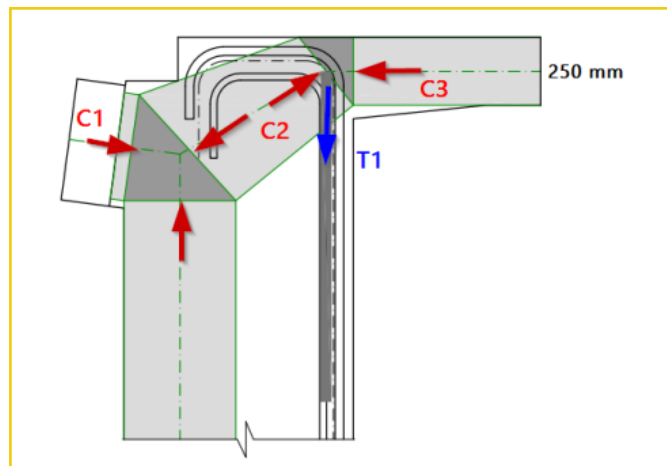


## MODELOS BIELAS Y TIRANTES

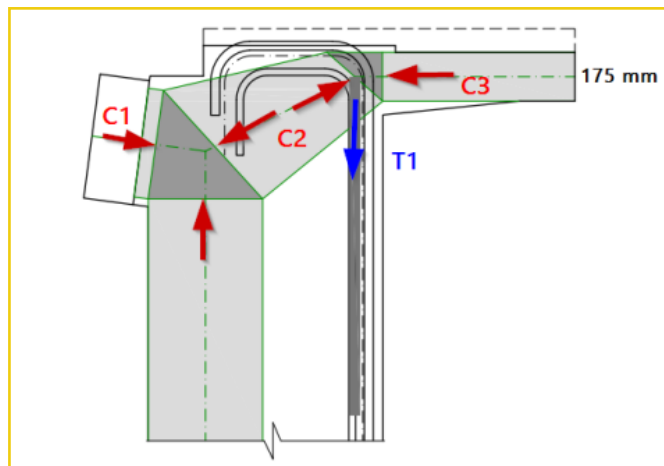
Adicionalmente, se ha realizado un **análisis cualitativo** del comportamiento del nudo (placa-difusión de losa) mediante el **método de Bielas y Tirantes** con objeto de **reproducir efectos** como la **fisuración** del hormigón, la **plasticidad**, la **presencia de las armaduras**, etc. cuyas **conclusiones** son:

- ❖ Cálculo de **sensibilidad** frente a posibles **incrementos de hidrodemolición** (+25mm), con **valores tensionales inferiores** a los normativos.
- ❖ **Equilibrio de nudo** fundamental para **equilibrio de entrada** de carga del pretensado en el tablero **SIN capacidad de redistribución** ante su **eventual fallo** o del **propio apoyo** en la losa superior del cajón.

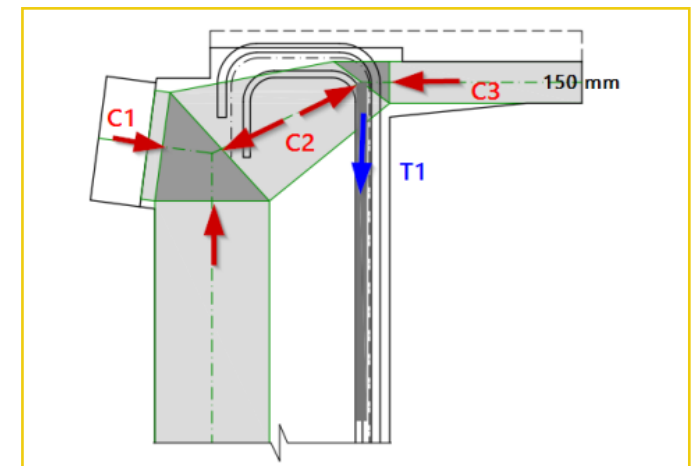
Situación **Proyecto**



Situación **Proyecto Reparación**

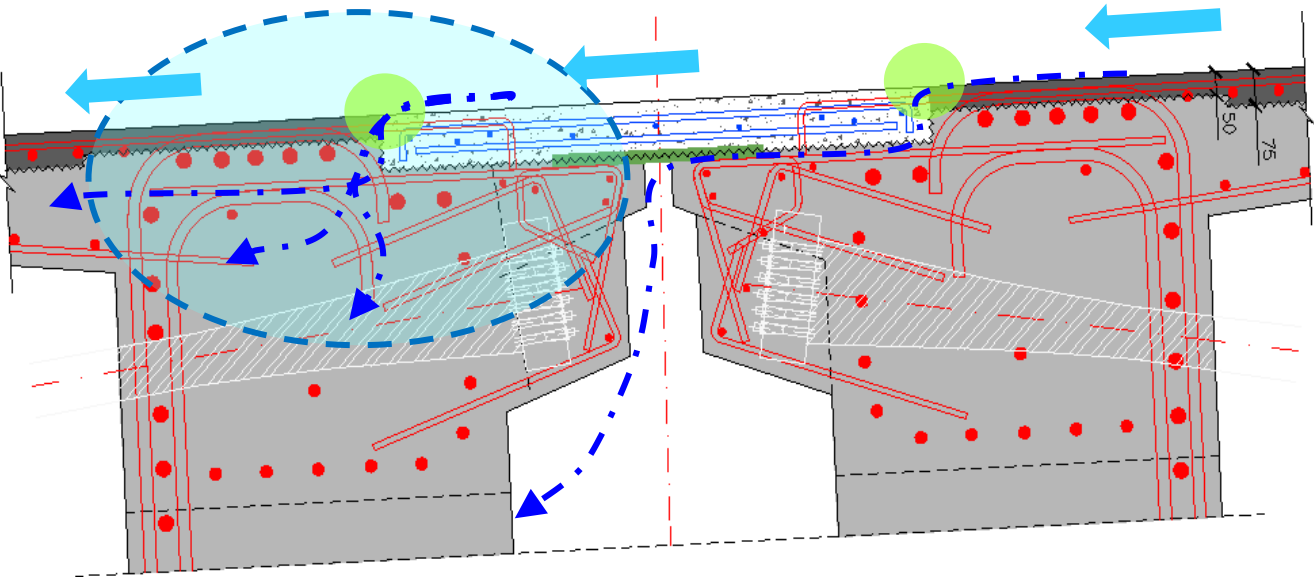
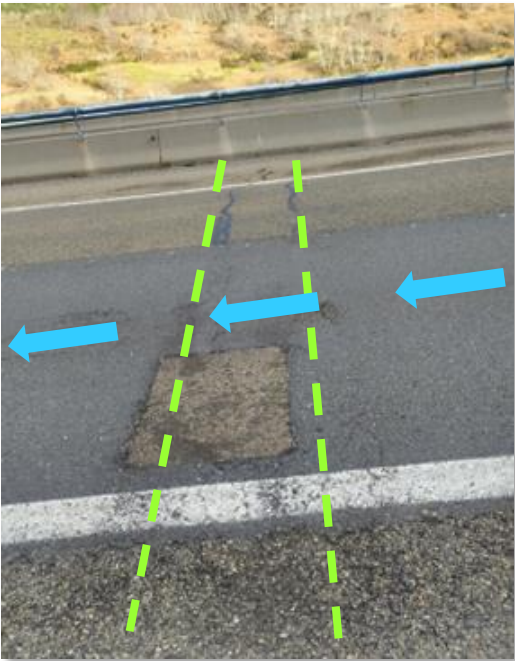


Situación **Reparación + ¿posible exceso?**



## DETALLE DE LA JUNTA

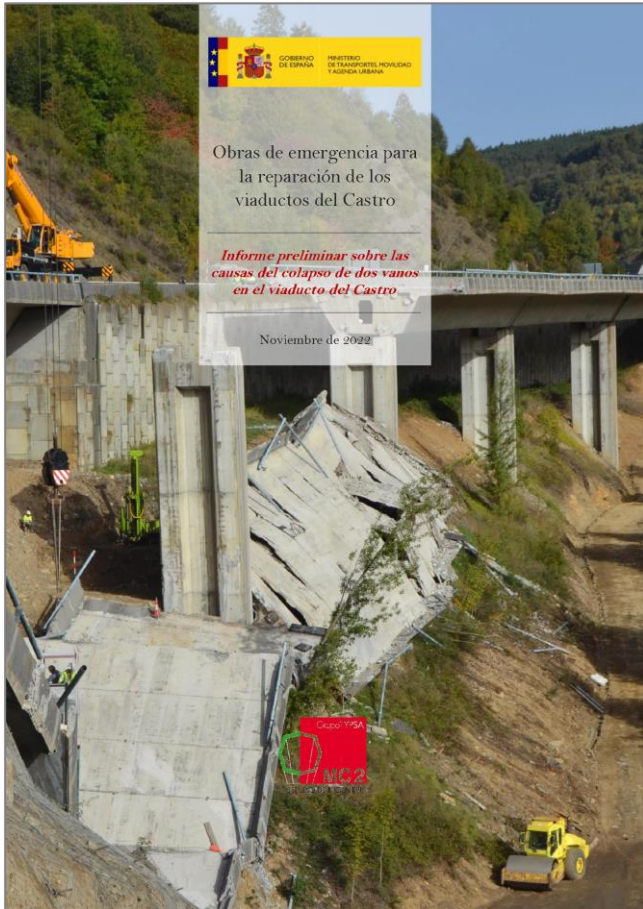
Detalle **muy sensible** y expuesto a las condiciones de contorno, consecuencia de la **probable degradación** de las **características mecánicas y resistentes del hormigón y armaduras**, en un **entorno contaminado** por la inmediata entrada de **agua con sales fundentes** a través de las **losas de continuidad**.





**¿A qué se debieron  
los colapsos?**

## INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS



“De acuerdo con todas las evidencias anteriores, se puede establecer que el hecho de que **un vano** tenga alguno de sus extremos **afectado por la actuación de hidrodemolición** resulta una **condición necesaria**, pero **no es suficiente para su colapso**, puesto que el **vano 2**, sobre el que se ejecutó la hidrodemolición de forma simultánea con el vano 1, **no ha colapsado, ni ha mostrado la menor tendencia al fallo** durante su proceso de **demolición controlada**, mientras que este último sí.

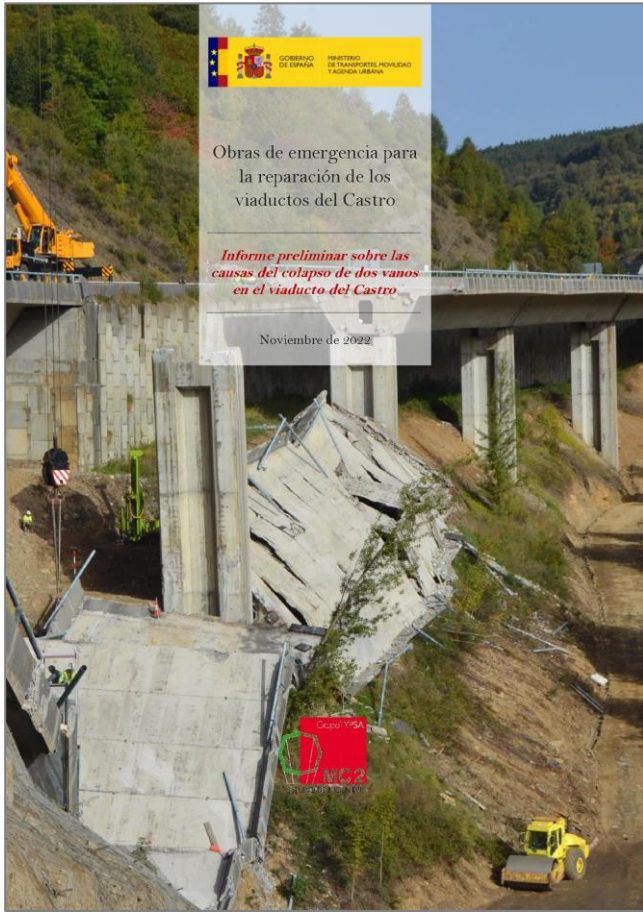
Independientemente de lo anterior, el **origen más probable** de los **colapsos** de los **vanos 3 y 1** es el **fallo por agotamiento a compresión o flexocompresión** de la **losa superior de la dovela inicial** en la **zona acartelada adyacente al mamparo**, pues esta muestra síntomas compatibles con este modo de fallo.”



## INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS

“ No se puede establecer una causa única, ni principal, que haya dado origen a los colapsos, que sólo pueden ser explicados por la **concomitancia de varios efectos** que, **aplicados de forma independiente**, en ningún caso hubieran dado lugar a un fallo de la estructura, pero que, **actuando de forma simultánea**, habrían podido conducir a una **situación compatible con el colapso**; estos efectos son:

- El **estado de deterioro durable** de las dovelas del **mamparo**
- La **disminución de la capacidad resistente** de la zona superior de las dovelas de mamparo debido a las **actuaciones de hidrodemolición**.
- El **efecto del cansancio del hormigón** en la zona superior de **las dovelas de mamparo** con la consecuente reducción de resistencia a compresión del hormigón e incremento de su deformabilidad. “



## INFORMES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS COLAPSOS



Informe Inicial

Memoria Técnica de los trabajos realizados en el marco de la emergencia y estado de avance de las conclusiones de los mismos

Fecha 14/11/2022 — 2126C-CASTRO\_COLAP-016.0  
MITMA. Demarcación de Carreteras del Estado en Galicia



“Los posibles **fallos de anclaje** que puedan estar en el origen de las caídas súbitas y sin preaviso (sobre las que no consta la identificación de ningún daño o indicio de patología previos) **parecen focalizados** en los **mamparos M2** (aguas abajo de las losas de continuidad en relación a las escorrentías de agua sobre la plataforma) de los **vanos colapsados V1 y V3** de la calzada dirección Coruña.”

Su origen parece poder explicarse por **la confluencia**, como suele ocurrir siempre en este tipo de incidentes, de:

- Problemas derivados de un **diseño muy estricto** y poco perfilado de los **nudos de esquina** (...)
- Problemas de **degradación de las condiciones de durabilidad**, por fallos en la **impermeabilización y filtraciones** a través de las **juntas de continuidad** (...)
- **Interacción** entre los citados **mecanismos de transmisión** de las fuerzas de las tromplacas de anclajes hacia las **zonas adyacentes hidrodemolidas** de la losa superior (...)





## COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Dada la **importancia y trascendencia** de los informes que se han elaborado, desde el ministerio se ha considerado importante que el Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos avalase la metodología y los resultados de los mismos.

Por ello se ha **compartido con él**, el **contenido de estos informes** durante su elaboración y se ha buscado su apoyo en la definición de los trabajos a realizar y en la valoración de los resultados.

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos por tanto es **concedor de ambos informes**, **comparte la idoneidad** de las empresas escogidas así como **avala la metodología y la coherencia** de los resultados y la **credibilidad de las conclusiones** a las que se llegan.

**¿Qué queda pendiente  
a partir de ahora?**



## CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

- **Completar** las tareas de **desescombro en curso**, salvo **piezas a custodiar** para estudios y ensayos de detalle, principalmente de los **mamparos de anclaje**.
- **Completar la toma de datos y ensayos pendientes** hasta ahora por **falta de acceso y problemas de seguridad**: completar estudio de hormigones; análisis de los despieces y estado de corrosión de la ferralla; estudio de bloques de anclaje en mamparos; etc.
- **Completar estudio relativo al comportamiento de la pila P2**, que permita explicar la causa del **fuerte desplome** en cabeza y la desconocida, e inexplicable hasta ahora, cinemática de la caída: excavación hasta base de pila. Previamente se intentará **realizar ensayos y reconocimientos** que permitan obtener **informaciones concluyentes** al respecto.
- **Estudio y ensayos** sobre las **dovelas de mamparos de calzada Madrid**, una vez **desmontados los tableros** actuales.
- Redacción del **informe con conclusiones finales** del incidente.
- **Lecciones aprendidas: Redacción de documento técnico** que permita **mejorar y optimizar la conservación** del parque de estructuras de la red, especialmente de las de análoga tipología: **viaductos en zonas de alta montaña expuestas a sales y “condiciones ambientales agresivas”**

## RECONSTRUCCIÓN Y SUSTITUCIÓN DEL VIADUCTO

En la **calzada A Coruña** queda pendiente de **completar investigaciones**, tanto en las zonas colapsadas como en las dovelas de los mamparos de los restantes tableros una vez desmontados, lo que llevará algún tiempo todavía. Igualmente, la **solución requerirá** no solo actuar en el tablero sino que **también la reconstrucción de las pilas dañadas** y que se han demolido.

Una vez concluido, se llevará a cabo la **reconstrucción de los vanos caídos**, de las **pilas que se han demolido** y la **sustitución del resto de tablero**.

En la **concepción del nuevo tablero** se aplicaran unos **nuevos criterios de diseño** adecuados a las **condiciones ambientales** y al **estado del arte** actual.



### Calzada Madrid:

- ❖ **Cables** sin cambiar.
- ❖ Daños previos análogos en **losas de continuidad**.
- ❖ **Incertidumbres** sobre el **comportamiento a futuro** de la estructura a la vista de lo acontecido.
- ❖ Por tanto, se ha **previsto LA SUSTITUCIÓN DEL TABLERO EXISTENTE ACTUAL POR UNO NUEVO QUE PERMITA ASEGURAR SU DURABILIDAD FUTURA** y para ello:
  - **Desmontaje** técnico del **resto de tableros** conforme a sistema análogo al montaje: cimbra superior, cuelgue de dovelas, corte de cables y retirada de dovelas:
    - **Acopio y custodia de dovelas** de mamparos **para estudio y análisis**.
    - **Machaqueo y separación** de materiales para su correspondiente **tratamiento y reciclaje**.
  - **Análisis de sondeos y estudios pendientes** (por restricción de acceso por seguridad) para **validar/reforzar las cimentaciones** actuales frente a los nuevos tableros y acciones de su puesta en servicio.

Por último **cerrar las conclusiones pendientes** con vistas a su extrapolación en relación con futuras inspecciones de **otros viaductos de análogas o similares tipologías y/o condiciones ambientales**.

## RECONSTRUCCIÓN Y SUSTITUCIÓN DEL VIADUCTO

El nuevo tablero, obligatoriamente, habrá de recoger los **avances técnicos y normativos** desarrollados en los **últimos 25 años**, así como tomar en consideración las **conclusiones y enseñanzas extraídas de lo acaecido**. **Se aprovecharán íntegramente las pilas existentes**.

Especial **atención** requieren los **aspectos relacionados con la durabilidad y de mantenimiento** de la futura estructura: requisitos de protección del pretensado; impermeabilización; reducción de juntas; materiales conforme especificaciones actuales (Código Estructural; Eurocódigos) para ambientes con uso frecuente de sales fundentes; etc.

**Pretensado de máximas garantías** conforme a **estándares actuales** con **5 capas** de protección: cables galvanizados, engrasados, con vaina individual y vaina global inyectada con lechada.

**Tablero de cajón “in situ”** ejecutado mediante **autocimbra con postesado interior** totalmente **inspeccionable y sustituible**. Retranqueo de bloques de anclaje alejándolos de juntas y zonas de posible entrada de agua.

**Minimizar el número de juntas** recurriendo a **soluciones hiperestáticas**, dotadas adicionalmente de una mayor redundancia.

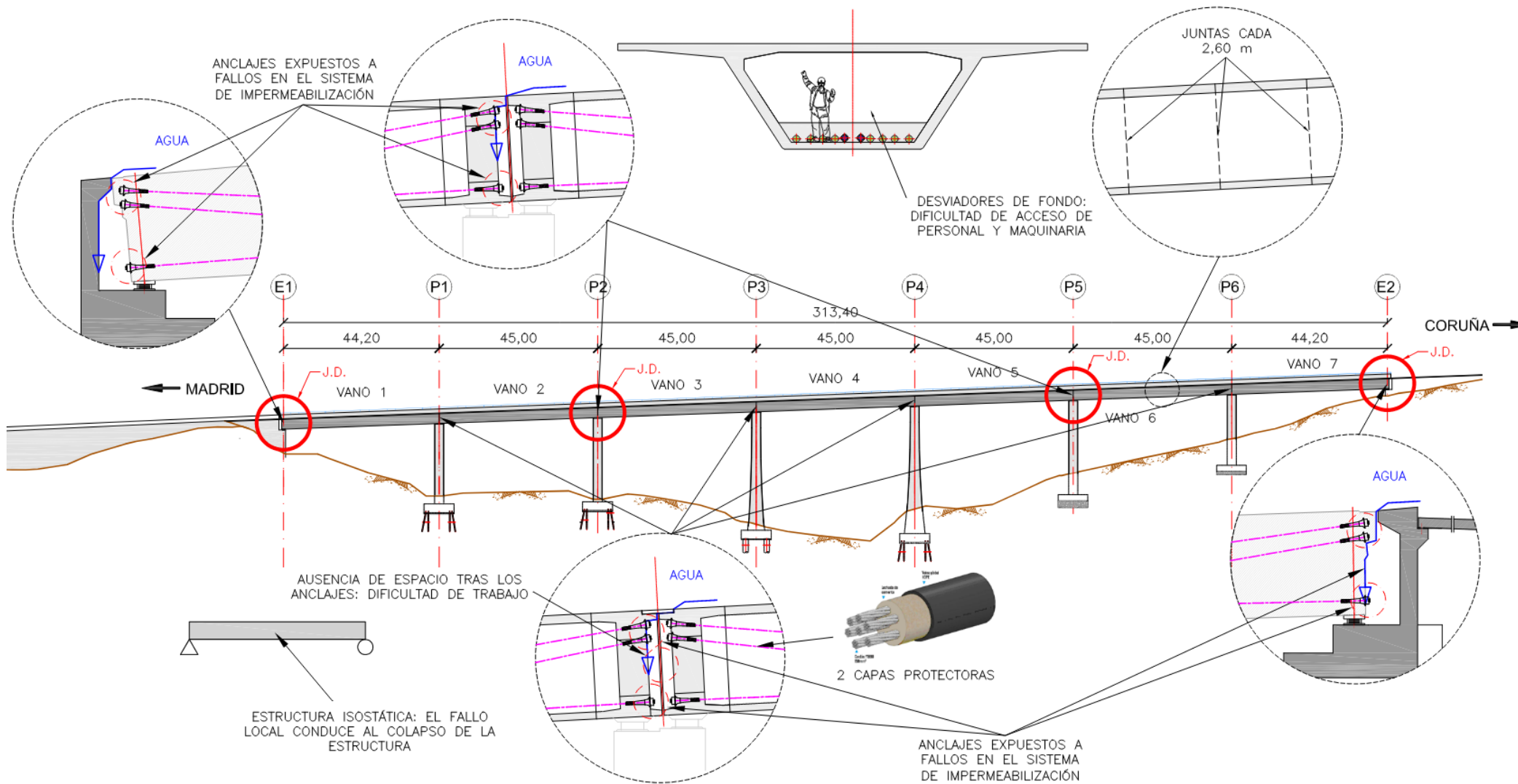
Las **mejoras** que se introducen con el **nuevo diseño** serían:

- ❖ Paso de **estructura isostática** a **hiperestática**, cosa que significa disponer de una **redundancia estructural**. El fallo local conduce a una **redistribución de esfuerzos**.
- ❖ **Sección totalmente transitable** por el personal y maquinaria.
- ❖ Construcción **monolítica sin juntas** cada 2,80 m.
- ❖ **Anclajes protegidos** en el interior del cajón y completamente **inspeccionables, reseteables y sustituibles**.

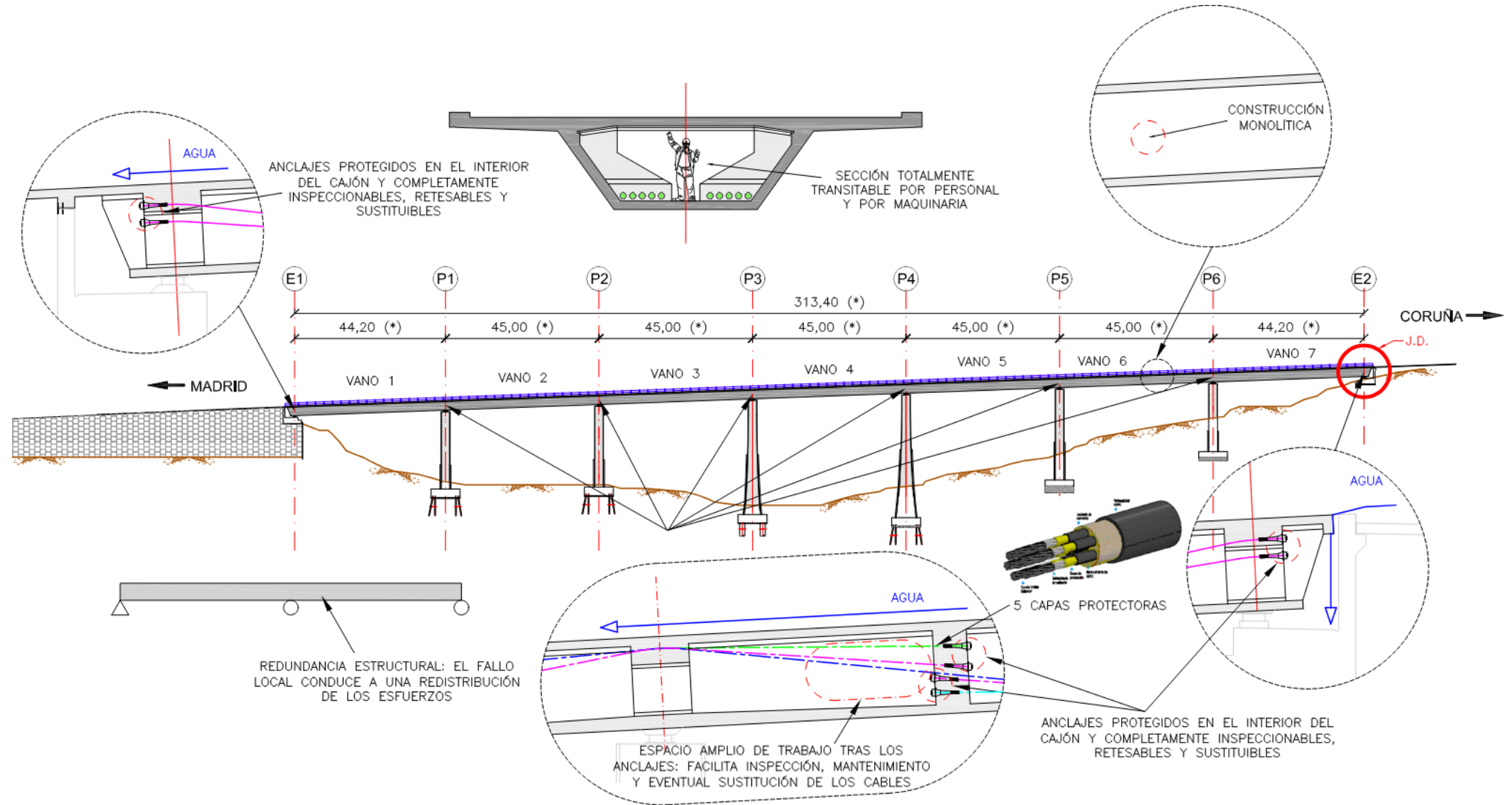




# NUEVOS CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS NUEVOS TABLEROS



# NUEVOS CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS NUEVOS TABLEROS



**Gracias por vuestra  
atención**