

# ADAPTACIÓN DE LA SUBESTRUCTURA DE 8 PUENTES EN LA AMPLIACIÓN A TRES CARRILES DE LA AP-7 TRAMO FIGUERES SUR-LA JONQUERA

**Luis MATUTE RUBIO**

Ingeniero de Caminos  
IDEAM S.A.  
Director General  
[luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)

**Adrián SÁNCHEZ SEVILLA**

Ingeniero de Caminos  
IDEAM S.A.  
Ingeniero del Departamento de proyectos  
[adrian.sanchez@ideam.es](mailto:adrian.sanchez@ideam.es)

**Juan Jesús ÁLVAREZ ANDRÉS**

Ingeniero de Caminos  
DRAGADOS S.A.  
Dirección Técnica  
[jjalvareza@dragados.com](mailto:jjalvareza@dragados.com)

**Ignacio PULIDO SÁNCHEZ**

Ingeniero de Caminos  
IDEAM S.A.  
Jefe de proyecto  
[ignacio.pulido@ideam.es](mailto:ignacio.pulido@ideam.es)

**Jorge NEBREDÁ SÁNCHEZ**

Ingeniero de Caminos  
IDEAM S.A.  
Ingeniero del Departamento de proyectos  
[jorge.nebreda@ideam.es](mailto:jorge.nebreda@ideam.es)

**Cristina COBO RODRÍGUEZ**

Ingeniero de Caminos  
DRAGADOS S.A.  
Dirección Técnica  
[ccobor@dragados.com](mailto:ccobor@dragados.com)

## RESUMEN

Dentro de las obras de “Construcción de un tercer carril por calzada en el tramo Figueres Sur - La Jonquera de la Autopista AP-7 del pk 29+600 a pk 7+320”, se encontraba la ampliación de las estructuras sobre el río Llobregat, el río Muga y el río Manol. Los puentes existentes, con tablero de vigas doble T pretensadas con pilas tipo martillo, debían ampliarse de manera que se mantuviera la explotación de la autopista, pudiendo únicamente afectar parcialmente al tráfico de la calzada. Este condicionante motivó que Dragados S.A., contratista responsable de la ejecución de las obras, iniciara con el apoyo de la consultora IDEAM el análisis y la propuesta de soluciones alternativas al proyecto de licitación de las subestructuras de los citados puentes que permitiera la ejecución, en plazo y con seguridad, de los trabajos de ampliación y refuerzo de los tableros.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón armado, micropilotes, adecuación estructuras existentes, refuerzo, sismo, adecuación sísmica

## 1. Introducción

La empresa constructora Dragados S.A. fue la encargada de llevar a cabo las obras del proyecto de “Construcción de un tercer carril por calzada en el tramo Figueres Sur - La Jonquera de la Autopista AP-7 del pk 29+600 a pk 7+320”, consistente en la adición de un carril en cada sentido de la AP-7 para aumentar su capacidad. En dicho tramo, la autopista cruza los ríos Llobregat, Muga y Manol entre otros, siendo necesaria una ampliación de los puentes existentes que permitiera la materialización de un carril adicional por calzada.

El planteamiento del Proyecto de licitación para la ampliación de las cimentaciones y alzados de pilas, presentaba una serie de interferencias y dificultades técnicas irresolubles, lo que

obligatoriamente implicaba la necesidad de buscar soluciones alternativas al planteamiento de Proyecto. A tenor de dicha problemática, la empresa constructora Dragados desarrolló, junto al equipo de ingeniería de IDEAM, el análisis y la propuesta de soluciones alternativas a las soluciones de ampliación de las subestructuras, cimentaciones, alzados de pilas y estribos de los citados puentes, de forma que se garantizaran las condiciones técnicas, de viabilidad, calidad y seguridad y plazo de los trabajos de ampliación y refuerzo de las estructuras.

El presente artículo aborda la descripción de la solución finalmente ejecutada para las subestructuras de los siguientes puentes:

- Obra de Fábrica 1.4: 2 puentes sobre el río Llobregat.
- Obra de Fábrica 527.3: 2 puentes sobre el río Llobregat.
- Obra de fábrica 416.6: 2 puentes sobre el río Muga.
- Obra de fábrica 409.8: 2 puentes sobre el río Manol.

Se describirán sus distintas partes así como los motivos por los cuales se desarrolló ésta solución en lugar de la originalmente proyectada en el Proyecto de licitación.

### **1.1. Descripción de la estructura existente**

El tipo estructural de todos los puentes objeto del proyecto es análogo: tableros de vigas doble T prefabricadas con losa superior de hormigón armado y subestructuras de fuste único con cabeza de tipo martillo. Los cargaderos son de canto variable con sección rectangular, mientras que los fustes son circulares en algunos puentes y hexagonales en otros, de canto constante en todos los casos. Una particularidad importante que presenta el tablero y que supone un importante condicionante de cara al planteamiento de soluciones de ampliación de las pilas, es el apoyo a media madera de las vigas sobre los cargaderos.

Los estribos son cerrados, de hormigón armado con aletas en vuelta para minimizar los vertidos de los rellenos.

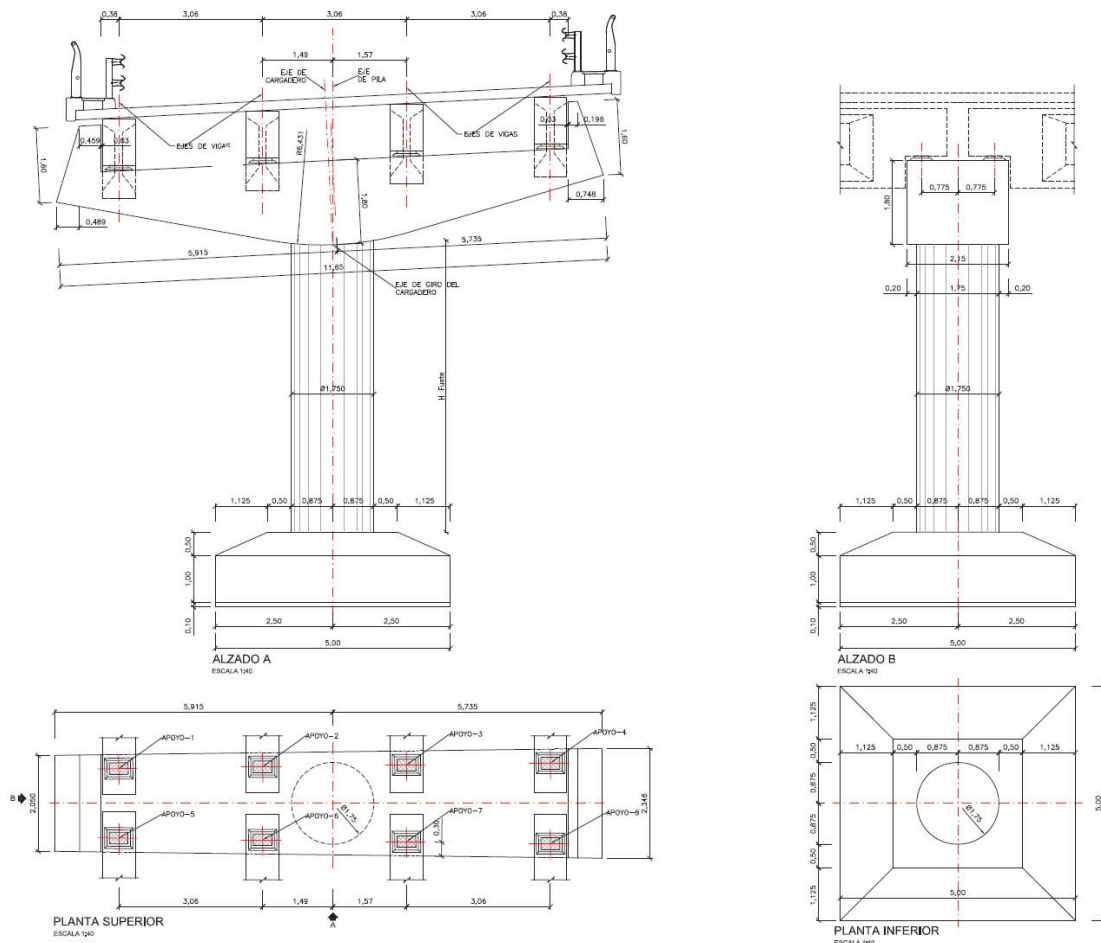
Las cimentaciones cambian en los distintos puentes, dependiendo de las condiciones geotécnicas del suelo, tratándose en algunos casos de cimentaciones directas mediante zapatas de canto variable (ver figura 1) y en otros casos encepados de geometría similar a las zapatas con pilotes circulares de 1,0 m de diámetro. Todas las cimentaciones tienen unas dimensiones y disposición de armado correspondientes a cimentaciones flexibles, según el diseño habitual en la época de construcción de las estructuras, hecho que influenciará mucho la concepción de las ampliaciones de las cimentaciones.

### **1.2. Descripción de la solución propuesta en el proyecto de licitación**

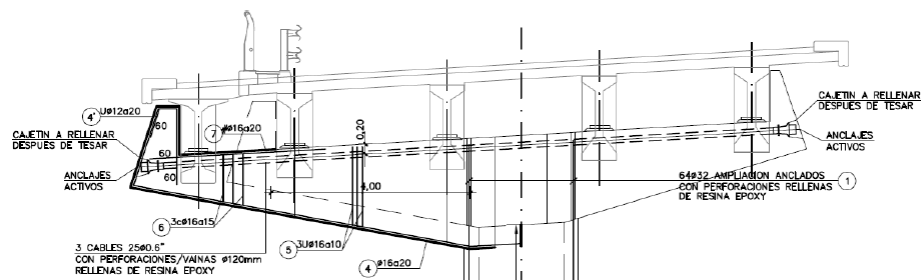
El proyecto base de licitación proponía la ampliación de los puentes afectados por el ensanchamiento de la calzada mediante la adición de nuevas vigas prefabricadas con la consecuente conexión de la losa de hormigón armado. Para poder apoyar la nueva viga, era necesario, evidentemente, ampliar el cargadero de las pilas cabeza de martillo (ver figura 2).

Esta ampliación del cargadero se realizaba aumentando el canto del mismo en el lado donde se disponía la nueva viga. Para resistir en la sección de empotramiento del dintel (eje del fuste) el aumento de las flexiones inducidas por la nueva viga de borde, se planteaba la realización de tres taladros horizontales de 120 mm de diámetro en la parte superior del dintel sustituyendo el

armado pasivo original por tres tendones de acero activo de 25Ø0,6" (ver figura 2). Con objeto de contribuir a la resistencia a cortante y rasante del dintel en el extremo reforzado, se disponía una serie de barras verticales postinstaladas e inyectadas con resina epoxi.



**Figura 1. Estructura existente (ejemplo O.F. 1.4 sobre el río Llobregat)**



**Figura 2. Solución propuesta en el proyecto base de licitación para la ampliación de cargaderos**

Los fustes se ampliaban aumentando la sección en todo el perímetro, conectando el nuevo hormigón al existente mediante una armadura a rasante (ver figura 3).

Las cimentaciones se ampliaban por sus cuatro caras, aumentando el canto de las mismas y conectando la armadura a las existentes mediante taladros inyectados con resina (ver figura 3), para las cimentaciones superficiales. En aquellos casos donde se tienen cimentaciones profundas se ejecutaban micropilotes alrededor de los pilotes, recreciendo el encepado en su cara superior.

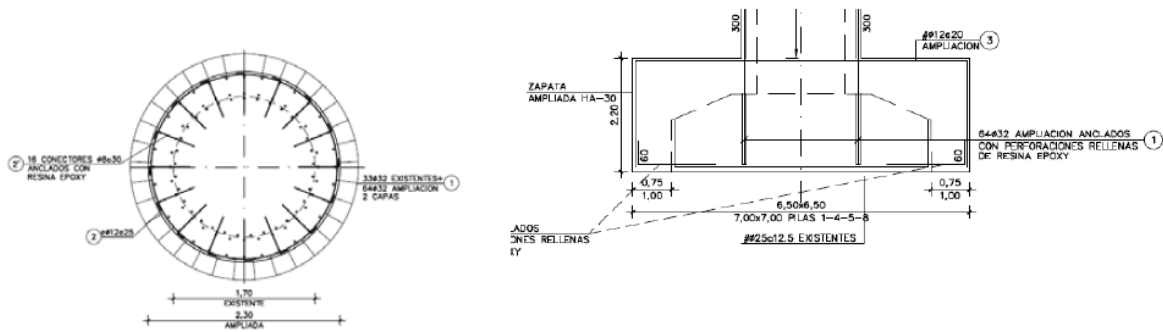


Figura 3. Ampliación de fustes y cimentaciones del proyecto base de licitación

### 1.3. Condicionantes para la ejecución de la obra

La ejecución de la ampliación estaba marcada por cuatro fuertes condicionantes:

- El apoyo a media madera de las vigas sobre pilas y estribos, que limitaba enormemente el espacio de actuación.
- La absoluta necesidad de acometer las obras manteniendo en servicio la Autopista.
- Garantizar las condiciones de seguridad y funcionalidad estructural durante la actuación.
- La geometría y detalles de armado existentes.
- El deseo de la propiedad de dejar reforzada la subestructura frente al sismo ( $a_c \approx 0,13 g$ ).

## 2. Estudio de soluciones

Tras el análisis de la solución propuesta en el proyecto base de licitación para la ampliación y refuerzo de las superestructuras (ver apartado 1.2), se encontró una serie de problemas desde el punto de vista de la ejecución y el comportamiento resistente que motivó la necesidad de plantear un nuevo estudio que concluyera en una solución que satisficiera los condicionantes de proyecto (ver apartado 1.3) realizando la obra de manera segura y en plazo:

- **Ejecución de los taladros de pretensado:** Los taladros de pretensado se disponían a 0,14 m del paramento superior, discurriendo bajo los apoyos de servicio. Esta ubicación planteaba un problema de tolerancias de ejecución al tener taladros largos, de 11,50 m, y un espacio muy reducido para disponer los cajetines, además de una distancia muy pequeña bajo los aparatos de apoyo, que debían permanecer en servicio.
- **Cajetines de pretensado:** La introducción de las fuerzas de pretensado en el dintel del cargadero exigía la colocación de unas placas de reparto potentes, junto con una armadura que garantizara la correcta introducción de la fuerza de pretensado. Esta actuación de refuerzo resultaba especialmente compleja en la zona opuesta a la ampliación.
- **Corte de cercos y armadura longitudinal existente:** La realización de los taladros necesarios para la introducción del pretensado eliminaba prácticamente toda la armadura principal de los dinteles a flexión. Además, esta armadura estaba doblada a  $45^\circ$  para contribuir a la resistencia a cortante del dintel, de tal forma que si se interrumpía al realizar los taladros, se estaría eliminando gran parte de la armadura a cortante del dintel (ver figura 4).

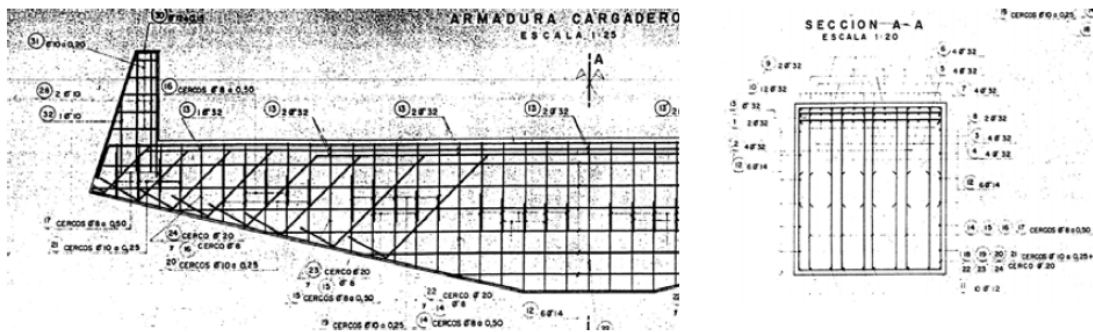


Figura 4. Disposición de armadura en el dintel existente

- Concepción de la ampliación de las cimentaciones profundas:** Las cimentaciones profundas se ampliaban mediante la ejecución de micropilotes inclinados dispuestos alrededor de los pilotes existentes (ver figura 5). Esta solución no permitía errores en el posicionamiento de los micropilotes y se basaba en la perfecta ubicación de los pilotes existentes. Otro problema de esta solución era la concepción del detalle estructural de transmisión de cargas de los micropilotes al encepado existente.

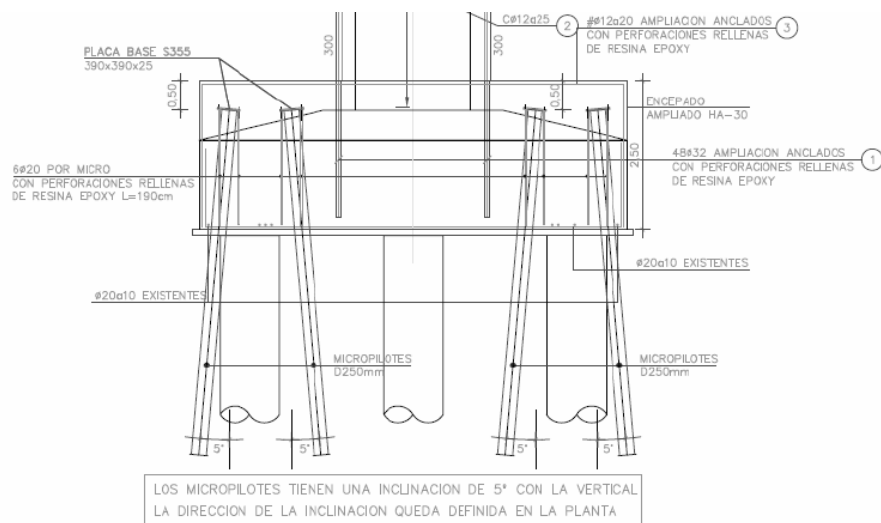


Figura 5. Detalle del proyecto base de licitación para la ampliación de encepados

Tras un profundo análisis de las estructuras existentes, los condicionantes del proyecto, la problemática y virtudes del proyecto base de licitación y las necesidades del contratista, se comenzó un estudio de soluciones que permitiera la búsqueda de un nuevo tipo estructural para la ampliación de los dinteles. A continuación se adjunta una descripción de las soluciones más importantes ordenadas según la convergencia hasta la solución final.

### 2.1. Refuerzo del dintel mediante una platabanda metálica

En esta solución se pensó en sustituir la armadura activa por una platabanda superior conectada al dintel, dispuesta en el espacio existente entre apoyos, junto con el recocado inferior del dintel.

### 2.2. Pretensado lateral

Tal y como se ha visto en el apartado 2.1, la ampliación de los dinteles debía ejecutarse desde abajo, y siempre por debajo de la fibra inferior de las vigas prefabricadas existentes, permitiendo la viabilidad técnica de la solución y la explotación de la Autopista. Llegados a este punto, la

siguiente propuesta que se desarrolló fue realizar un pórtico de hormigón armado en L invertida que transmitiera al cimiento la carga de la nueva viga. La excentricidad de la carga obligaba a disponer fuertes cuantías de acero pasivo, mientras que el acero activo implicaba la resolución de complejíssimos detalles de armado.

### 2.3. Ampliación de dinteles y fustes

La solución necesaria para poder acometer de manera segura la ampliación de las subestructuras debía respetar el armado existente para garantizar la seguridad en servicio de la estructura durante las obras, debía permitir que los trabajos se acometieran desde abajo, para minimizar las afecciones al tráfico, y debía fundamentarse en un concepto resistente sencillo, que no supusiese complejos detalles constructivos que garantizara la viabilidad de los trabajos desde el punto de vista técnico, de plazo y económico.

Para satisfacer estas cuestiones planteadas durante el estudio de soluciones, se desarrolló una solución simple, pero que resolvía todos los problemas de forma satisfactoria:

- Recreer los extremos de los cargaderos aprovechando la armadura existente, dando continuidad mediante manguitos.
- Aumentar el canto de los cargaderos inferiormente una altura tal que se consiguiera la capacidad resistente necesaria del dintel.
- Recreer los fustes de las pilas con objeto de favorecer el funcionamiento de los dinteles al reducir la luz de flexión y dotar a los fustes de mayor capacidad resistente, necesaria por la excentricidad de las cargas de la futura sección transversal.
- Recreer las cimentaciones para los nuevos estados de carga, teniendo especialmente en cuenta la situación sísmica.

A continuación se adjunta una descripción pormenorizada de cada uno de los elementos que componen las subestructuras ampliadas (pilas y estribos) en base a las premisas de la solución descritas anteriormente.

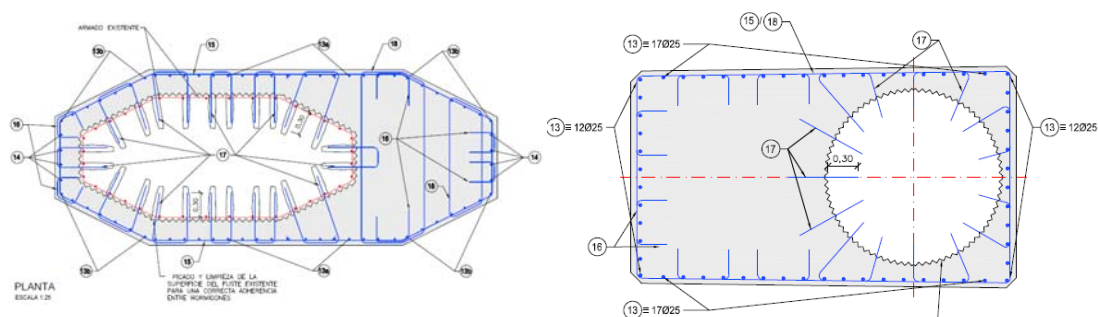


Figura 6. Ejemplo de sección transversal de fustes ampliados

## 3. Descripción de la solución adoptada

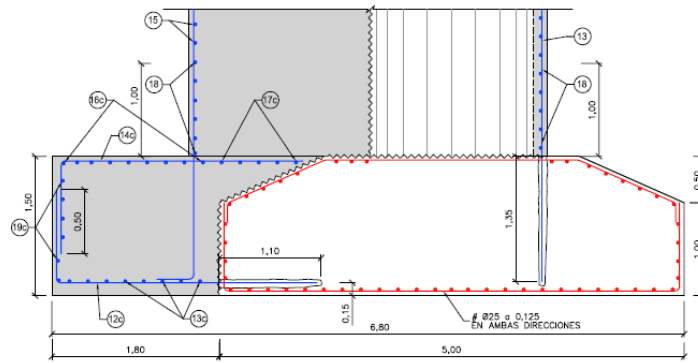
### 3.1. Cimentaciones y fustes

Para los fustes se partió del concepto propuesto en el proyecto base de licitación, pero realizando un estudio exhaustivo de los mismos (ver figura 6). De acuerdo a la nueva configuración de la sección transversal de las estructuras, tanto la carga permanente como las sobrecargas producen un incremento de esfuerzos por el lateral excéntrico, lo que conlleva a la ampliación del fuste de

forma asimétrica. Esta ampliación de los fustes también supone una mejora resistente en el comportamiento de los dinteles, tal y como se explica más detalladamente en el apartado siguiente.

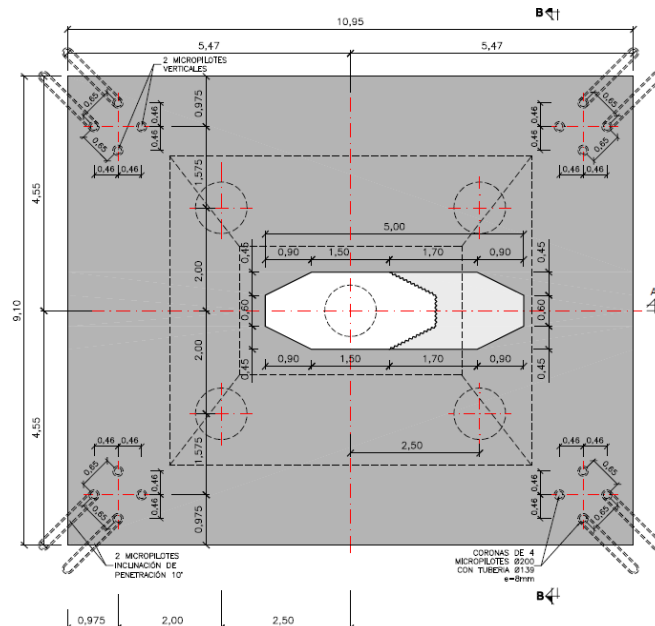
Respecto a las cimentaciones, podemos diferenciar tres tipos principales:

**Cimentaciones superficiales:** En función de los esfuerzos solicitantes se realizaron ampliaciones de zapatas por una cara (ver figura 7) o por tres caras, dando continuidad a la armadura principal (inferior) solapando la nueva armadura mediante taladros inyectados con resina.



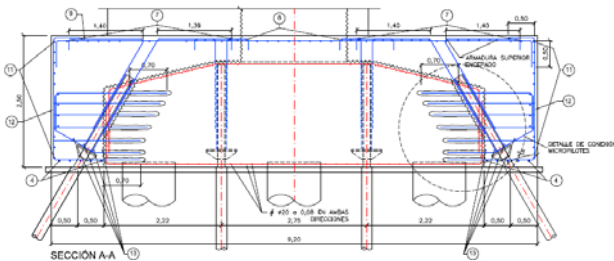
**Figura 7. Zapata ampliada por un único lado**

**Cimentaciones profundas ampliadas con grupos de micropilotes:** Las cimentaciones existentes estaban resueltas mediante encepados de pilotes de 1,0 m de diámetro. En los planos as-built de la obra original no existía un detalle de armado para la cabeza de los pilotes que garantizara su correcto trabajo a tracción, lo que unido al estricto dimensionamiento de los mismos, implicaba que los pilotes no presentaran un adecuado comportamiento ante los fuertes esfuerzos de sismo. Resultaba necesario, por lo tanto, acometer el refuerzo de la cimentación tanto para asumir el incremento de cargas permanentes y sobrecargas de uso como los esfuerzos de sismo. Para ello se decidió ampliar los encepados por las 4 caras (ver figura 8), disponiendo grupos de micropilotes que pudieran trabajar a tracción y compresión (esfuerzos de sismo) y cuyo armado principal, armadura en bandas, no interfiriera con el armado principal del encepado, garantizando un seguro funcionamiento del encepado existente durante las obras y la facilidad constructiva.

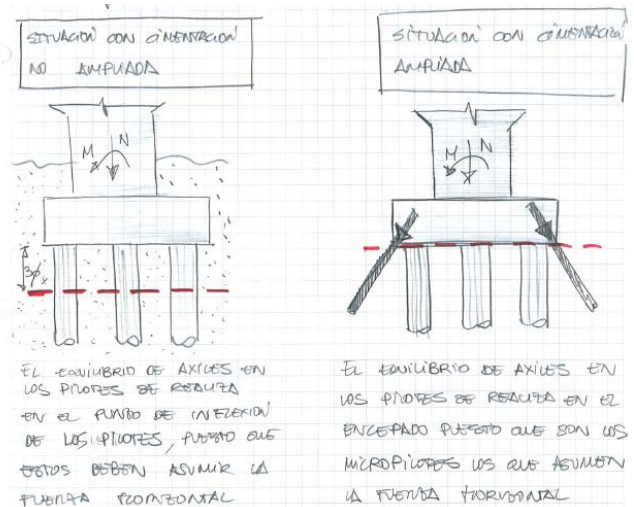


**Figura 8. Encepado ampliado con grupos de micropilotes**

Cimentaciones profundas ampliadas con micropilotes inclinados aislados: Algunos de los encepados existentes presentaban suficiente capacidad resistente axial frente a las nuevas cargas verticales derivadas de la ampliación y a los desequilibrios en hipótesis sísmica, pero no así para asumir las cargas horizontales derivadas de las fuerzas inerciales del sismo. En estos casos se decidió disponer una serie de micropilotes inclinados movilizandole la mayor rigidez a axil del micropilote frente a la rigidez a cortante de los pilotes existentes (ver figura 9), dotando a estos nuevos elementos de cimentación de la responsabilidad de resistir las fuerzas horizontales derivadas del sismo. Esta concepción introduce a su vez un enorme efecto beneficioso al conferir a estos elementos la práctica totalidad de la resistencia frente a cortante y modificando el punto de equilibrio de axiles en el cimiento, reduciendo de esta forma hasta límites admisibles las sollicitaciones sobre los pilotes existentes (ver figura 10).



**Figura 9. Encepado ampliado con micropilotes inclinados aislados**



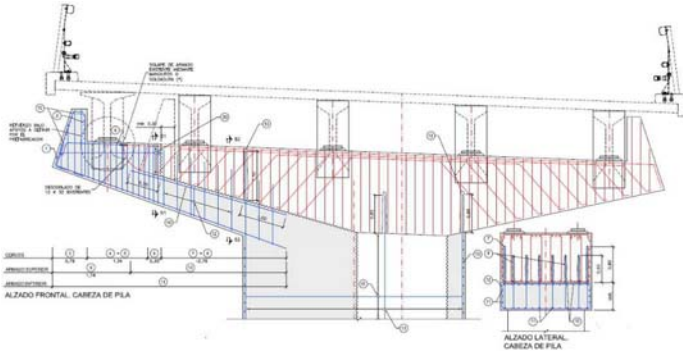
**Figura 10. Mecanismo resistente para los encepados con micropilotes inclinados**

### 3.2. Dinteles

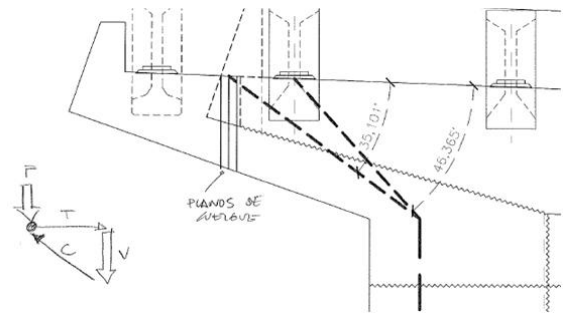
La ampliación del dintel en cabeza de martillo suponía incrementar los esfuerzos en ménsula que debe transmitir este elemento al fuste, pudiéndose resolver con dos estrategias diferentes (tal y como se ha visto en apartados anteriores), (a) bien disponiendo elementos estructurales que aumenten la capacidad mecánica del dintel (pretensado, platabandas metálicas) o (b) partiendo del armado existente, modificando el canto del dintel de tal manera que se consiga un correcto mecanismo de transmisión de carga, sin modificar la armadura existente a flexión.

Los dinteles se ampliaron en base a la filosofía (b). Para ello se desdoblaron las armaduras principales y se continuaron mediante manguitos (ver figura 11). El canto necesario de la ampliación del dintel y el ancho de la nueva pila debían ser aquéllos que permitieran la correcta transmisión de las nuevas cargas con la armadura existente (ver figura 12).





**Figura 11. Ampliación de un dintel tipo**



**Figura 12. Transmisión de esfuerzos cortantes del dintel ampliado**

El nuevo dintel seguirá comportándose como una estructura en ménsula, donde es necesario plantear un esquema de armado que garantice la correcta transmisión de los esfuerzos solicitantes: la tracción en la fibra superior del dintel (asumidos por la armadura existente), la compresión en la fibra inferior (siendo necesario por tanto la conexión a rasante entre hormigones) y el cortante (disponiéndose cercos suficientes que garanticen la transmisión del cortante en todo el canto del dintel).

Además, como mecanismo resistente adicional, se decidió disponer una armadura de cuelgue en la sección de unión de la armadura existente con la ampliada, de tal manera que, una vez se haya colgado el cortante, este pueda entrar de manera directa al fuste ampliado, mediante un mecanismo de biela directa, empleando el armado existente del dintel para que la carga baje al fuste con un ángulo adecuado (ver figura 12).

#### 4. Ejecución de la solución proyectada

A continuación se adjuntan imágenes de la construcción de las subestructuras de la O.F. 409.8 sobre el río Manol, donde se pueden apreciar los distintos elementos descritos en el artículo:



**Figura 13. Ejecución de micropilotes para el refuerzo de las cimentaciones.**



**Figura 14. Ferrallado del nuevo encepado tras la ejecución de los micropilotes.**



**Figura 15. Detalle de conexión de micropilotes a cimentación existente.**



**Figura 16. Ejecución de alzados de pilas.**



**Figura 17. Ejecución de dintel. Detalle de armaduras existentes en espera para dar continuidad con manguitos.**



**Figura 18. Vista general de subestructura totalmente ampliada, incluso con tablero ejecutado, ya en servicio.**

## 5. Conclusiones

En los proyectos de ampliación de estructuras existentes, es muy importante realizar un extenso estudio de las mismas así como de los condicionantes del proyecto. Sólo de esta manera se desarrollarán soluciones fácilmente ejecutables con detalles constructivos realizables que respondan a las hipótesis de cálculo, sin poner en riesgo la estructura existente durante la ejecución de la ampliación.

## 6. Principales participantes en el proyecto y obra

**Propiedad:** ACESA.

Ministerio de Fomento.

Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña

**Empresa Constructora:** Dragados

**Redacción del Proyecto modificado:** IDEAM

**Realizaciones:** gestión de estructuras