

VIADUCTOS DE DOVELAS PREFABRICADAS EN ARLABÁN-ESKORIATZA

Santiago PÉREZ-FADÓN MARTÍNEZ	Jose Emilio HERRERO BENEITEZ	Juan José SÁNCHEZ RAMÍREZ	Pablo LOSCOS AREOSO
Ingeniero de Caminos	Ingeniero de Caminos	Ingeniero de Caminos	Ingenieros de Caminos
Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.
Director Técnico	Jefe de Área de EOC	Jefe de Departamento de EOC	Departamento de EOC
sp.fadon@ferrovial.es	j.e.herrero@ferrovial.es	j.j.sanchez@ferrovial.es	ploscos@ferrovial.es

Resumen

En este artículo se describe el proyecto y construcción de los viaductos de Marín, Zarimutz, Mazmela y Uztarreta, correspondientes al tramo Arlabán – Eskoriatza Norte de la Autopista Vitoria/Gasteiz –Eibar. Cada uno de ellos se compone de dos estructuras paralelas construidas mediante avance en voladizo con dovelas prefabricadas. La luz de los vanos principales de los tres primeros viaductos es de 96 metros, mientras que los 120 metros de los viaductos de Uztarreta suponen la mayor luz ejecutada en España con esta tipología. En total se fabricaron 1432 dovelas con cinco moldes diferentes, distribuidos en dos parques de prefabricación independientes (Marín-Zarimutz, y Mazmela-Uztarreta). Para la colocación de las dovelas fueron necesarios tres lanzadores que llegaron a trabajar simultáneamente. En el diseño y ejecución de estos viaductos se ha plasmado la dilatada experiencia de Ferrovial en la construcción de este tipo de estructuras junto con la evolución de la tecnología de materiales, medios auxiliares y herramientas de cálculo.

Palabras Clave: Dovelas prefabricadas, construcción en voladizo, pretensado, pilas cajón, pilas pantalla.

1. Estado del arte en el diseño y construcción de viaductos de dovelas prefabricadas

Los viaductos de Marín, Mazmela, Zarimutz y Uztarreta, proyectados por la Dirección Técnica de Ferrovial-Agromán, han sido diseñados y calculados para su construcción en voladizo con dovelas prefabricadas.

Las ventajas de este método de construcción son conocidas: además del corto plazo de ejecución, debido por una parte a la simultaneidad de la fabricación de la subestructura y el tablero, y por otra a la disminución de la incidencia de las condiciones meteorológicas en el ritmo de producción, se consigue una mejora notable del control de calidad de la ejecución del tablero, al fabricarse este en un emplazamiento adecuado para ello. Es, además, una óptima solución desde el punto de vista medioambiental, ya que el valle sólo es afectado durante la ejecución de las pilas.

En los casi veinticinco años que Ferrovial lleva diseñando y construyendo este tipo de estructuras la evolución en la calidad de las obras ejecutadas es patente. Por una parte, la mejora en la tecnología de materiales, medios auxiliares y herramientas de cálculo y, por otra, la experiencia obtenida de las numerosas obras realizadas y de las soluciones planteadas frente a los distintos problemas surgidos durante la ejecución de las mismas, han propiciado un notable progreso en la calidad de las realizaciones.

El hormigón empleado en todos los viaductos del tramo Arlabán - Eskoriatza Norte es autocompactante, con las consiguientes ventajas de facilidad de puesta en obra, aumento de la calidad, tanto resistente como estética, y mayor durabilidad. Quedan prácticamente en el olvido problemas de coqueas, nidos de grava, segregaciones, etc.

Las luces ejecutadas con este sistema de construcción han aumentado a casi el doble respecto a las que se realizaban inicialmente. Esto supone, por una parte, que los lanzadores empleados para colocar las dovelas han tenido que doblar su peso, con el consiguiente incremento en las flexiones producidas en la zona de pila durante el autolanzamiento. Por otra parte, errores sistemáticos cometidos en las medidas tomadas durante el control geométrico de la fabricación de dovelas, inferiores a las tolerancias admitidas para las luces de 65 metros, pueden producir desviaciones que cuadruplican las obtenidas para dichas luces en puentes como Uztarreta, de 120 metros de luz.

2. Los viaductos de Marín, Mazmela y Zarimutz.

Los viaductos de Marín, Zarimutz y Mazmela presentan seis, cinco y cuatro Tes de 96 metros de longitud respectivamente. El primero y el tercero se completan en los extremos con cuatro dovelas descompensadas. La sección transversal está compuesta por 2 cajones monocelulares de 6.5 m de ancho con voladizos, correspondientes cada uno

de ellos a una calzada (11.30m de ancho de losa superior). El canto es variable, de 4.75 m sobre pilas a 2.50 m en centro de vano y estribos. Las almas de los cajones son verticales y de espesor constante de 0.40 m. La losa inferior es de espesor variable de 0.60 m sobre pilas a 0.23 m en centro de vano.

Compatibilizando los criterios para las dimensiones del canto longitudinal y el ancho transversal las pilas se han diseñado como una sección cajón rectangular con esquinas reforzadas con unas dimensiones exteriores de 4.80 metros de largo por 6.50 metros de ancho. El viaducto de Marín presenta además pilas de ancho variable con un incremento de 2 centímetros por metro, con los nervios variables y la zona entre ellos constante dando la apariencia de ancho constante hasta cimentación, llegando a una altura máxima de 95 metros.

Como materiales de construcción se emplea hormigón HP-40 autocompactante en dovelas, hormigón HA-30 en pilas y alzados de estribos, y hormigón HA-25 en cimentaciones.

Tabla 1 Resumen de características geométricas de los viaductos de Marín, Mazmela y Zarimutz

Viaducto	Longitud CI/CD (m)	Vanos (m)	Canto min/max (m)	Altura máxima pilas (m)	Tipo de estribos
Marín	595/598	57.3-5x96-57.3-	2.5/4.75	95	Abierto/Cerrado
Mazmela	403/403	57.3-3x96-57.3-	2.5/4.75	59	Abierto/Cargadero
Zarimutz	483/479	47.3-4x96-47.3-	2.5/4.75	76	Abierto/Abierto



Fig. 1: Vista general de los viaductos de Marín y Zarimutz

2.1 Viaducto de Marín.

En la zona del viaducto de Marín la autopista tiene un trazado en planta en doble curvatura, formado por circunferencias y clotoides. La sección transversal presenta dos tableros independientes, ambos con un ancho total de plataforma de 11.30 metros.

Los viaductos tienen 7 vanos cada uno, y se han encajado con la siguiente distribución de luces:

- Calzada izquierda: 594.836 m, distribuidos en 7 vanos de luces: 57.30 m – 4 x 96.0 m – 96.057 m – 57.479 m.
- Calzada derecha: 598.325 m, en 7 vanos de luces: 57.90 m – 2 x 97.0 m – 96.778 m – 96.347 m – 96.0 m – 57.30 m.

Longitudinalmente, el tablero es una viga continua sin juntas de dilatación. Tiene 6 pilas por calzada y todas las Tes son de 96 m de longitud, con dovelas de cierre de longitud variable. El conjunto del tablero se completa con 4 dovelas descompensadas en los vanos extremos. En ambas calzadas, la cimentación de todas las pilas es directa mediante zapatas que apoyan en roca sana.

El estribo 1 es de hormigón armado y de tipo abierto mientras que el estribo 2 se ha diseñado como estribo cerrado ya que su altura es reducida. Ambos estribos están cimentados en roca sana.



Fig. 2: Vista general del viaducto de Marín



Fig. 3: Vista de las pilas de Marín

2.2 Viaducto de Mazmela.

Al igual que en el viaducto de Marín, en la zona del viaducto de Mazmela la autopista tiene un trazado en planta en doble curvatura, formado por circunferencias y clotoides.

Los viaductos tienen 5 vanos cada uno, y se han encajado con la siguiente distribución de luces:

- Calzada izquierda: 402.60 m, distribuidos en 5 vanos de luces: 57.30 m – 3 x 96.0 m – 57.30 m.
- Calzada derecha: 402.60 m, distribuidos en 5 vanos de luces: 57.30 m – 3 x 96.0 m – 57.30 m

Longitudinalmente, el tablero es una viga continua sin juntas de dilatación. Tiene 4 pilas por calzada y todas las Tes son de 96 m de longitud, con dovelas de cierre de longitud variable. El conjunto del tablero se completa con 4 dovelas descompensadas en los vanos extremos. En ambas calzadas, la cimentación de las pilas 2 y 3 es directa mediante zapatas que apoyan en roca sana, mientras que las pilas 1 y 4 se cimientan mediante pilotes.

El estribo 1 es de hormigón armado, de tipo abierto y con cimentación directa. El estribo 2 se ha diseñado como cargadero pilotado debido a las desfavorables condiciones de cimentación.



Fig. 4: Vista general del viaducto de Mazmela



Fig. 5: Viaductos de Mazmela en construcción

2.3 Viaducto de Zarimutz.

En la zona del viaducto de Zarimutz la autopista tiene un trazado en planta con curvatura variable pero siempre de igual signo, formado por circunferencias y clotoides.

Los viaductos tienen 6 vanos cada uno, y se ha encajado con la siguiente distribución de luces:

- Calzada izquierda: 483.460 m, distribuidos en 6 vanos de luces: 47.30 m – 97.181 m – 97.250 m – 97.188 m – 97.241 m – 47.30 m.
- Calzada derecha: 478.600 m, distribuidos en 6 vanos de luces: 47.30 m – 4 x 96.00 m – 47.30 m.

Longitudinalmente, el tablero es una viga continua sin juntas de dilatación. Tiene 5 pilas por calzada y todas las Tes son de 96 m de longitud, con dovelas de cierre de longitud variable. No es necesario disponer dovelas descompensadas en los vanos extremos. En ambas calzadas, la cimentación de todas las pilas es directa mediante zapatas que apoyan en roca sana, excepto la pila 4, que se cimenta mediante pilotes.

Ambos estribos son de hormigón armado y de tipo abierto. El estribo 1 se cimenta en roca sana. Para el estribo 2 se han previsto pilotes de 30 metros de profundidad, empotrados 5 metros en terreno resistente.



Fig. 6: Vista general del viaducto de Zarimutz



Fig. 7: Viaductos de Zarimutz en construcción

3. El viaducto de Uztarreta.

En la zona del viaducto de Uztarreta la autopista tiene un trazado en planta con curvatura variable pero siempre de igual signo, formado por circunferencias y clotoides.

Los viaductos tienen 3 vanos cada uno, y se ha encajado con la siguiente distribución de luces:

- Calzada izquierda: 238.406 m, distribuidos en 3 vanos de luces: 59.10 m–120.00 m–59.39 m.
- Calzada derecha: 238.825 m, distribuidos en 6 vanos de luces: 59.10 m–120.419 m–59.39 m.

Longitudinalmente, el tablero es una viga continua sin juntas de dilatación. Tiene 2 pilas por calzada y todas las Tes son de 120 m de longitud, con dovelas de cierre de longitud variable. No es necesario disponer dovelas descompensadas en los vanos extremos.

La sección transversal presenta canto variable, de 6.00 m sobre pilas a 2.50 m en centro de vano y estribos. La losa inferior es de espesor variable de 0.65 m sobre pilas a 0.25 m en centro de vano. El resto de características de la sección transversal son comunes con el resto de viaductos.

Compatibilizando los criterios para las dimensiones del canto longitudinal y el ancho transversal, los primeros 18.5 metros de todas las pilas se han diseñado como una sección en doble pantalla de canto constante de 1.10 m, y ancho también constante de 6.50 m, con una separación entre ejes de 6.45 metros y empotradas al tablero. Hasta cimentación (11 metros en la pila 1 y 16 metros en la pila 2) se cierra la sección mediante dos pantallas longitudinales de 0.50 metros de ancho.

La solución encajada presenta una altura de pilas comprendida entre 36 y 40 metros. En ambas calzadas, la cimentación de las pilas 1 es indirecta mediante pilotes de 27 metros de longitud, y directa en pilas 2 mediante zapatas que apoyan en roca sana con tensión admisible de 0.5 MPa, de acuerdo con el informe geotécnico.

Como materiales de construcción se emplea hormigón HA-30 en pilas y alzados de estribos, hormigón HA-25 en cimentaciones y hormigón HP-40 autocompactante en dovelas.

Los apoyos del tablero en los estribos son de articulación deslizante en dirección longitudinal y articulación elástica transversalmente, vinculando el tablero a los estribos elásticamente en esta dirección mediante un neopreno, mientras que en la longitudinal queda libre salvo por los efectos de rozamiento del teflón. Los apoyos son elementos tipo pot de neopreno-teflón, de carácter monodeslizante en uno de ellos y totalmente libre en el otro, con el fin de evitar torsiones parásitas. En las pilas la conexión con el tablero se ha diseñado rígida y, por tanto, no lleva aparatos de apoyo.

El estribo 1 es un cargadero pilotado de hormigón armado, formado por un dintel de 1.65 x 3.95 m de sección media que lleva el murete de guarda y dos aletas en voladizo dispuestas en los extremos del dintel; este dintel carga sobre dos pilotes de 1.5 metros de diámetro y 30 metros de longitud, los cuales se empotran superiormente al dintel. El estribo 2 se ha diseñado igualmente como cargadero pilotado. Las dimensiones del dintel son las mismas que para el estribo 1, y apoya sobre dos pilotes de 1.50 metros de diámetro y 30 metros de longitud.



Fig. 8. Vista general del viaducto de Uztarreta



Fig. 9. Vista de las pilas de Uztarreta

4. Fabricación de dovelas.

Se dispusieron dos parques de prefabricación. Uno para los viaductos de Marín y Zarimutz y otro para los de Mazmela y Uztarreta. El parque de Marín-Zarimutz fue el primero en instalarse. Se dispusieron tres moldes, que fabricaron un total de 896 dovelas. El ritmo de fabricación alcanzado fue de tres dovelas por día, una por molde. El parque de Mazmela-Uztarreta fabricó 536 dovelas, con un ritmo de producción algo inferior debido al gran canto de las dovelas de pila del viaducto de Uztarreta. Se usaron dos moldes exclusivos y uno cedido por el parque de Marín-Zarimutz .



Fig. 10. Molde de hormigonado



Fig. 11. Vista aérea de parque

El hormigón empleado, HP-40 autocompactante, permitió la ejecución sin apenas necesidad de vibrado. La alta concentración de armaduras en algunas zonas de las dovelas hace especialmente interesante el uso de este tipo de hormigones, que rellenan bajo su propio peso todas las zonas del molde, evitando así la aparición de coqueas, y conservando una estabilidad adecuada para evitar la segregación de sus componentes. En todos los casos las resistencias de proyecto se alcanzaron sin problemas y el acabado superficial obtenido se aprecia de gran calidad.



Fig. 12. Control geométrico de dovela recién hormigonada



Fig. 13. Dovela transportada por elefante

Los moldes de hormigonado deben haber sido especialmente diseñados para encofrar este tipo de hormigones, debido a la elevada presión que éstos ejercen sobre sus paredes al comportarse como fluidos.

Los problemas de deformaciones horizontales en las dovelas recién hormigonadas no se presentaron. Se trata de un fenómeno detectado en viaductos de mayor anchura y en climas fríos, fruto del gradiente térmico que sufre la dovela de contramolde durante el hormigonado, por el hecho de tener una cara expuesta al aire y otra en contacto con la dovela que está fraguando. Esta deformación se recupera en la dovela de contramolde, pero no en la recién hormigonada, lo cual provoca pérdida de conjugación y, por tanto, aparición de fisuras longitudinales al efectuar el tesado, ya que el contacto no es uniforme, sino que se produce antes en los extremos de los voladizos que en el núcleo del cajón. Este fenómeno queda de manifiesto al comprobar cómo la resina sobrante, aplicada en las caras de la dovela recién colocada, comienza a ser escupida por los extremos al ejecutar el pretensado.

5. Colocación de dovelas.

Para la colocación de las dovelas almacenadas en el parque se han empleado tres lanzadores. Uno de ellos, de dos binarios de apoyo, se ha empleado en la ejecución de los viaductos de Marín y Zarimutz, mientras que los viaductos de Mazmela y Uztarreta se lanzaron cada uno con un lanzador de tres binarios de apoyo.

El rendimiento medio alcanzado durante la colocación fue de tres parejas de dovelas al día, con un máximo diario de seis parejas. Las dovelas son transportadas por máquinas especializadas (elefantes) hasta el pie del lanzador, que coloca la dovela en su posición sobre el puente.

El proyecto de estos viaductos está intrínsecamente unido a la viga lanzadora que se emplea en su construcción. Por ello las cargas que transmite al tablero a través de sus elementos de apoyo o binarios no sólo se comprueban sino que en muchos casos dimensionan el pretensado. Por tanto no sólo es imprescindible conocer qué máquina se va a utilizar, sino que esta debe ser lo más ligera posible compatible con las especificaciones de la celosía.

Así por ejemplo la capacidad de autolanzamiento, que es el paso del lanzador del extremo de la última "te" construida a la siguiente pila para montar la "te" asociada a ella, dimensiona el pretensado superior de aquella. De igual manera, aunque no sea el caso de estos viaductos, para montar un viaducto que se encuentre en una curva de radio pequeño (menor de 700 metros) es necesario que el cabrestante se mueva lateralmente, lo cual obliga a reforzar las celosías y, por tanto, a aumentar el peso de la máquina, afectando al dimensionamiento del pretensado.

En la actualidad, debido al aumento de las luces que se están ejecutando, se están empleando vigas lanzadoras que doblan en peso a las que se utilizaban hace veinticinco años.



Fig. 14. Ejecución del viaducto de Uztarreta



Fig. 15. Lanzamiento de dovela

Tras la colocación de la última pareja de una "te", esta se orienta mediante unos gatos situados en la cabeza de la pila, dejando sus extremos lo más cerca posible de su posición teórica. Durante los procesos de orientación se detectaron en las "tes" deformaciones no observadas durante la fabricación. Estas deformaciones fueron sistemáticamente horizontales en los viaductos de Marín, Mazmela y Zarimutz. Un seguimiento exhaustivo de la toma de datos antes y después del hormigonado reveló discrepancias geométricas en las placas de medición, que sistemáticamente producían desviaciones en planta en el mismo sentido.

Las conclusiones del estudio realizado fueron aplicadas al viaducto de Uztarreta, consiguiendo eliminar estas desviaciones. Sin embargo, en este viaducto se detectaron deformaciones verticales apenas existentes en los otros tres viaductos, si bien es cierto que las "tes" del viaducto de Uztarreta presentan 120 metros de longitud, frente a los 96 metros de las restantes estructuras. Una de las consecuencias del aumento de luces ejecutadas es la necesaria revisión de las tolerancias admitidas en la toma de datos durante la fabricación, ya que las empleadas en viaductos de luces más pequeñas se han manifestado como demasiado amplias.

De todas maneras, las tolerancias permitidas no son, por sí mismas, causa de desviaciones geométricas, debe venir acompañada de algún fenómeno que origine errores en el mismo sentido de manera sistemática pero contenidos dentro de dichas tolerancias. Discrepancias en la geometría de las placas entre sí, movimientos de las placas durante el desencofrado por flexiones transversales, deformaciones de las dovelas entre su hormigonado y su colocación, son las causas que explicarían estas desviaciones y que se están analizando.

En cualquier caso, las deformaciones medidas afectan únicamente a la geometría del viaducto, y no a su seguridad estructural. Para corregir las desviaciones se modificó la rasante de proyecto y se empleó un hormigón ligero con de 13 kN/m³ de densidad sobre el tablero para adecuar la forma del viaducto a la dicha rasante. Se comprobó que el pretensado de voladizo, sobreabundante en servicio ya que se dimensiona para las diferentes fases constructivas, es capaz de absorber los incrementos de flexiones que produce este recreado.



Fig. 16. Forma de la calzada derecha del viaducto de Uztarreta antes de la retirada del lanzador.

6. Cálculo de los viaductos.

El cálculo de todos los viaductos se ha desarrollado con el programa RM 2006 de la empresa austríaca TDV. Esta herramienta, que automatiza todos los procesos de control de la estructura, facilita además del diseño, la asistencia técnica a la obra, ya que cualquier cambio necesario durante la ejecución se puede comprobar de manera casi inmediata, es decir, en el tiempo que invierte el programa en realizar el cálculo completo del modelo estructural adaptado a la nueva situación, tras realizar la modificación oportuna en el modelo. Sus principales ventajas son:

1. Activación de elementos a medida que entran a formar parte de la estructura, teniendo en cuenta en cada instante de fabricación el esquema estático real al que se aplica cada uno de los casos de carga.

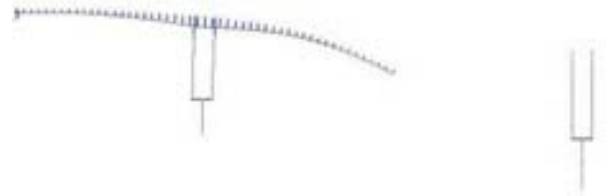


Fig. 17. Instante de cálculo con RM2006. Autolanzamiento

2. Control del estado tensional de cualquier punto de cada sección del tablero en cada una de sus fases constructivas y en cada una de las envolventes de estado límite de servicio. Esto facilita y hace más fiables las comprobaciones de la gran cantidad de fases del proceso constructivo. De otra manera, el tratamiento de tanta información, además de resultar mucho más pesado, presentaba un importante riesgo de producir errores.

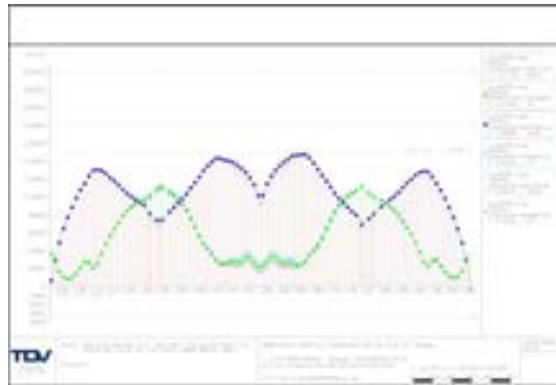


Fig. 18. Instante de cálculo con RM2006

3. Aplicación de la retracción y la fluencia tras la colocación de cada una de las dovelas, que llevan asignada a su vez una edad en el momento de su colocación (activación en el modelo de cálculo) respecto al momento en que fueron fabricadas. En cada aplicación de retracción y fluencia el programa tiene en cuenta el instante de tiempo en el que se aplica dicho fenómeno y la edad de cada uno de los elementos a los que se asigna este caso de carga. Con ambos tiempos el programa construye las curvas de fluencia y retracción de cada elemento y las aplica hasta el instante deseado.

Item Name	Date	Time (Day)	Duration (E-Min)	Description
OK_04	22/02/2007 00	0.0		Instalación de tableros
OK_STG_V1	22/02/2007 00	0.0		Fase 1
OK_STG_V1_1	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 1 del voladizo 1
OK_STG_V1_2	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 2 del voladizo 1
OK_STG_V1_3	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 3 del voladizo 1
OK_STG_V1_4	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 4 del voladizo 1
OK_STG_V1_5	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 5 del voladizo 1
OK_STG_V1_6	22/02/2007 00	0.0		Dovelas 6 del voladizo 1

Error	Err	Error Age (Day)	In (Day)	Action	Error	Err	Error Age (Day)	In (Day)	Action
1.24	1.24	1	70	ACT					
1.21	1.21	1	60	ACT					

Fig. 19. Definición de edad de la dovela e instante de colocación

4. Introducción de la geometría real de cada uno de los tendones de pretensado y cálculo de la fuerza que ejerce cada tendón en cada instante de tiempo, teniendo en cuenta las pérdidas instantáneas y diferidas.



Fig. 20. Definición geométrica de un tendón

5. Cambio automático de condiciones de apoyo desactivando los elementos que se retiran (gatos provisionales) y activando los que entran en carga (apoyos de neopreno definitivos).

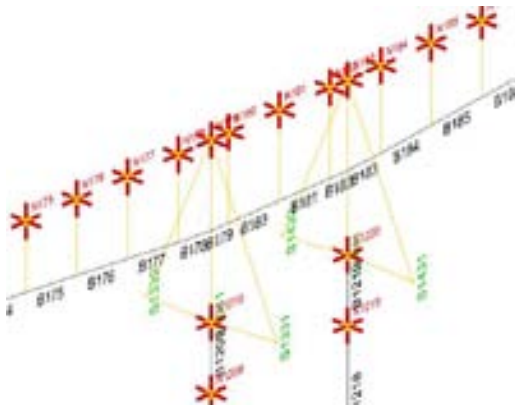


Fig. 21. Apoyos provisionales y definitivos en RM



Fig. 22. Apoyos provisionales y definitivos en obra

6. Chequeo del estado límite último de rotura de cualquier sección frente a esfuerzos normales. Este módulo lleva asociado el cálculo automático de armadura longitudinal en las secciones de hormigón armado que así lo requieran.

En este caso se aplica a las pilas. El tablero no presenta armadura pasiva longitudinal.



Fig. 23. Definición de zonas de armadura longitudinal en pilas

7. Comprobación de estado límite último de cortante y torsión y propuesta de armadura asociada. En este caso, la armadura transversal de las dovelas ha sido calculada obteniendo los esfuerzos cortantes y torsores con RM 2006 y la flexión transversal con modelos de SAP2000. Todo ello se ha combinado en hojas de cálculo con el rasante, obteniendo la armadura transversal necesaria por todos los conceptos.

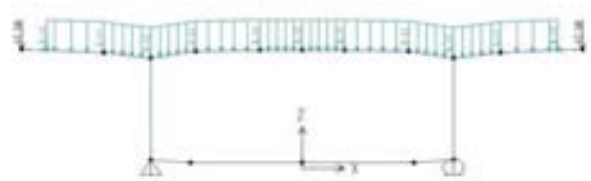


Fig. 24. Modelo de cálculo de la armadura transversal

8. Obtención de las flechas que cada fase constructiva, así como la carga permanente y los fenómenos diferidos producen en cada sección del tablero. La posibilidad de activar los elementos en el momento en que se colocan, con los cálculos de flechas ya realizados hasta ese instante, simplifica esta tarea.



Fig. 26. Flechas producidas por el proceso constructivo.

9. Cálculo automático de envolventes sin más que indicar si las cargas a combinar son aditivas, excluyentes, con doble posibilidad de signo, etc. y los coeficientes de combinación para efecto favorable o desfavorable.

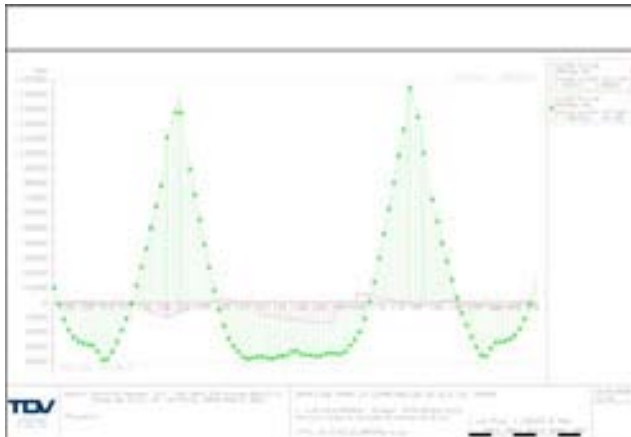


Fig. 27. Máximas flexiones en envoltorio de ELU



Fig. 28. Lista de acciones para calcular envolventes

7. Conclusiones.

El proyecto y construcción de los viaductos de Marín, Zarimutz, Mazmela y Uztarreta, correspondientes al tramo Arlabán – Eskoriatza Norte de la Autopista Vitoria/Gasteiz – Eibar, todos ellos por avance en voladizo con dovelas prefabricadas, han aportado algunos avances en el diseño de este tipo de viaductos.

Ferrovial lleva casi veinticinco años diseñando y construyendo puentes en voladizo con dovelas prefabricadas, por ello, hoy en día los exhaustivos sistemas de control geométrico aplicados y las medidas de corrección disponibles, ya contrastadas, minimizan en el primer caso y resuelven en el segundo cualquier incidencia que pueda presentarse durante la ejecución de este tipo de viaductos. De todas maneras, la precisión que se requiere en los sistemas de medida para eliminar las incertidumbres en la geometría del sólido fabricado supone una difícil tarea teniendo en cuenta las duras condiciones de la obra. La incidencia de dichas incertidumbres crece exponencialmente con la luz y, por tanto, es mayor en los viaductos de Uztarreta, que poseen la mayor luz ejecutada en España por este sistema.

Debido a las fuertes reacciones que introduce el lanzador en el tablero en las fases constructivas, el pretensado de voladizo viene dimensionado por ellas en la mayor parte de las ocasiones, por lo que es necesario ajustar las especificaciones de la máquina en cuanto a capacidad de autolanzamiento y radio de curvatura mínimo, para obtener un equilibrio adecuado entre el peso del lanzador, su capacidad y el pretensado adicional que es necesario disponer por este motivo.

Disponer de una herramienta de cálculo que sea capaz de simular con fidelidad el gran número de estados (cientos de ellos) por los que atraviesa una estructura evolutiva como esta, que facilite la definición de la geometría y las cargas de pretensado en cualquier instante de tiempo, que calcule las envolventes automáticamente, y realice los chequeos de estados límite de servicio y últimos, que determine las flechas reales de cada elemento en virtud del momento en el que entra a formar parte de la estructura, y que introduzca la reología teniendo en cuenta la historia de cada uno de los elementos que componen la estructura, es sin duda un gran avance evitando de manera fiable posibles errores en el postproceso tal y como se venía realizando con anterioridad, e incrementando notablemente la capacidad para dar asistencia técnica a la obra durante la ejecución de los viaductos,

8. Agradecimientos.

Especial agradecimiento merecen D. Agustín Zugasti, como representante de Bidegi, sociedad foral propietaria del tramo guipuzcoano de la autopista, y D. Leonardo Fernandez Troyano de Fernandez Casado S.L., responsable de la supervisión de los proyectos, por la confianza depositada y observaciones siempre acertadas.

Reconocer también la labor realizada por D. Ignacio Navarro, D. Manuel Mayordomo, D. Javier Herranz y Dña. Marta Pérez, que desde la Dirección Técnica colaboraron en el cálculo, la elaboración de los proyectos y el seguimiento de la ejecución de los viaductos. Por parte de la Obra sus responsables, D. Luis Eduardo Prieto y D. Andrés Cuevas, que trabajaron en la materialización de los diseños proyectados. D. José Manuel Peña y D. Víctor Atienza de Tecpresa, responsables del pretensado de los cuatro viaductos. Y por parte del parque de maquinaria, D. Gabriel González y D. Manuel Olivera, que facilitaron todos los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los viaductos.