

Proyecto de varios puentes de la Autopista I-66 en Virginia

Design of some Bridges of the Highway I-66 in Virginia

Amaya Hernando Martín^a, M. Alejandro Nicolás Pazo^b, Miguel A. Higuera Antón^c,
David Nogueira Abal^d, Antonio J. Madrid Ramos^e, Óscar Luque Nuñez^f

^a Máster Ingeniera de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Directora de Proyectos.

^b Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Ingeniero de Proyecto.

^c Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Director de Proyectos.

^d Arquitecto Técnico. Ingeniero de Edificación. Proes Consultores. Responsable de BIM.

^e Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Jefe del Área de Infraestructuras Terrestres.

^f Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Ingeniero de Proyecto.

RESUMEN

Se presentan dos de las estructuras más singulares del Segmento 1 del proyecto Transform I-66 Outside Beltway para Ferrovial Agroman – Alan Myers (FAM), desarrollado en colaboración con la ingeniería americana Janssen and Spaans. El proyecto consiste en la ampliación de la autopista I-66 y en la incorporación de dos carriles exprés lo que origina el diseño tan singular de las estructuras que se presentan, donde a un paso superior convencional se le añaden dos losas laterales para dar acceso a los mencionados carriles exprés, configurando una estructura hasta con cuatro estribos. Una de las estructuras es la ampliación de un puente metálico actualmente uso y la otra un puente de hormigón de nueva construcción.

ABSTRACT

Two of the most singular structures of the Segment 1 of the Transform 66 Outside Beltway Project are exposed. This work has been made for FAM, in collaboration with the american engineering company Janssen and Spaans. The aim of the project is the widening of the existing highway I-66 and the construction of two new express lanes, which originates the singular design of the presented structures, which needs to widen laterally the deck to connect with the express lanes, with the result of a bridge with at least four abutments. One of the bridges is the widening of a existing steel continuous multi-girder structure and the other is a new construction prestressed precast concrete girder structure.

PALABRAS CLAVE: vigas pretensadas, vigas metálicas, rehabilitación, ampliación, AASHTO.

KEYWORDS: prestressed beams, steel girders, rehabilitation, widening, AASHTO.

1. Descripción general

1.1 University Bridge

El primer puente que nos ocupa es la ampliación de un puente existente y en uso. Se

trata de un puente continuo de vigas metálicas de tres vanos, con una longitud total de

475 pies (144.78 m), separado por medio de una junta longitudinal en dos tableros independientes de 36 pies 8 pulgadas (11.20 m) y 47 pies 3 pulgadas (14.40 m). La actuación consiste en ampliar el tablero por el lado derecho 7 pies 1 pulgada (2.16 m), eliminar la

junta longitudinal para permitir los tráficos cruzados y construir la losa para dar continuidad a las rampas de las *express lanes*. En las Figuras 1 y 2 se puede ver el estado actual del puente y la actuación a realizar (<https://youtu.be/iSdGL9-cNX4>, min 1:00).



Figura 1. Situación actual del puente de University Blvd.

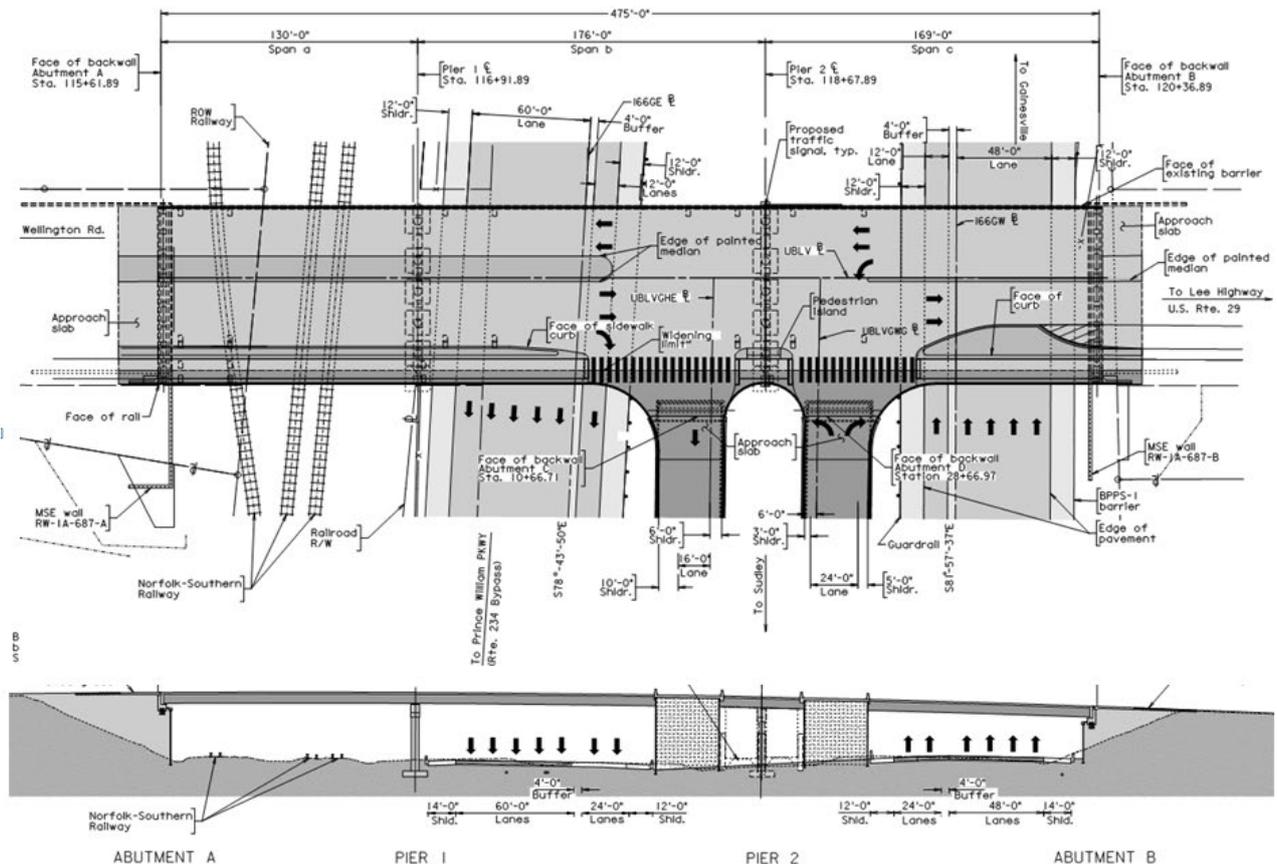


Figura 2. Actuación a realizar.

La ampliación del puente se realiza mediante la colocación de una viga idéntica a las existentes a 7 pies 10 pulgadas (2.39 m) de la viga exterior, la construcción de un voladizo de 2 pies 6 pulgadas (0.76 m), además de la

colocación de diafragmas y rigidizadores en las mismas alineaciones existentes.

La subestructura se resuelve mediante la construcción de una pila con las mismas dimensiones de fuste que la pila existente y un

capitel para dar apoyo a la nueva viga; los estribos existentes se amplían en la misma dimensión que el tablero y con la misma tipología que los existentes, únicamente se construye una aleta lateral para la contención de las tierras desde rasante hasta la cota superior del muro frontal. Ante la imposibilidad de poder construir una aleta en vuelta de suelo reforzado la contención del relleno se hace con un muro frontal de suelo reforzado construido en prolongación del actual muro frontal.

La cimentación de las pilas se resuelve mediante zapatas, mientras que la cimentación de los estribos se resuelve mediante micropilotes metálicos hincados.

Además de los trabajos propios de la ampliación, es necesario eliminar la junta longitudinal entre los dos tableros existentes para permitir la circulación de los vehículos. Para ello se procede a la demolición de los voladizos interiores, la reconstrucción de la losa entre las dos vigas interiores y la colocación de diafragmas y rigidizadores en la misma alineación y composición que los existentes.

La definición de estos elementos se vio complicada por la imposibilidad de soldar en campo y por tanto la necesidad de definir todas las uniones atornilladas.

Las ampliaciones de losa para dar conexión a las *express lanes* se hace en una segunda fase, cuando ya se ha conseguido el trabajo como viga compuesta de la nueva viga de acero y el hormigón de la losa.

Tanto la losa de la ampliación como la de las rampas tienen un espesor mayor que la del puente existente, se pasa de 8.5 pulgadas en el vano tipo (21.6 cm) a 10.5 pulgadas (26.7 cm). El apoyo de la losa en los estribos de la rampa se resuelve mediante una traviesa de 3 pies (0.91 m) de canto y 3 pies de ancho (Figura 3).

La geometría de las rampas viene condicionada por las exigencias del tráfico, por los galibos mínimos horizontales que permiten el paso de un vehículo de grandes dimensiones a una velocidad determinada (Figura 4).

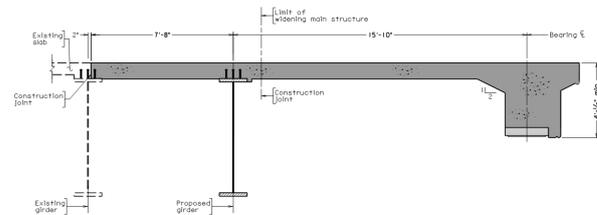


Figura 3. Sección transversal por losa de rampa.

Otro elemento singular son los estribos de las rampas, cuya tipología es la de Alternate Virginia Abutment, cuya descripción se hace más adelante en un apartado específico.



Figura 4. Envolverte de trayectorias (Auto turn).

1.2 Century

Una singularidad de este puente es que no está concebido para dar permeabilidad transversal a la I-66, si no para conectar las *express lanes* con Century Rd., como se ve en la Figura 5 (<https://youtu.be/iSdGL9-cNX4>, min 1:10).

Al igual que en University, se construye en primera fase lo que se podría denominar el puente convencional, dejando para una segunda fase, cuando las vigas y losas han alcanzado la resistencia adecuada como sección compuesta, la construcción de las losas de conexión.

Igualmente su geometría viene fuertemente condicionada por el estudio del paso de los vehículos de grandes dimensiones a una velocidad determinada, denominado auto turn, mostrado en la Figura 7.

En este puente los tres estribos se resuelven con la misma tipología Virginia Alternate Abutment y las pilas con dinteles sustentados por fustes cuadrados. La cimentación de las pilas es directa, mientras que la de los estribos se realiza mediante micropilotes metálicos hincados.

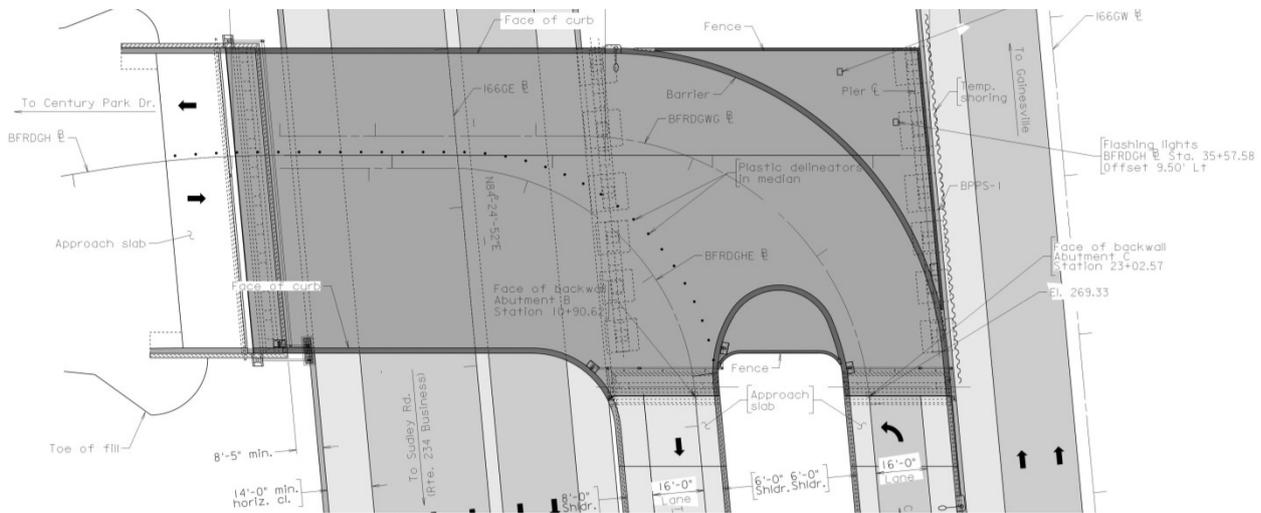


Figura 5. Planta de Century.

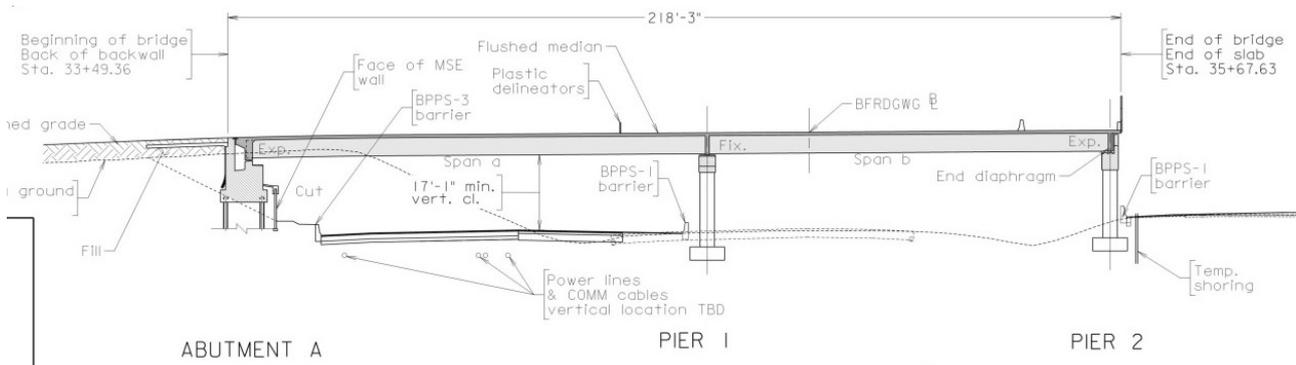


Figura 6. Alzado de Century.

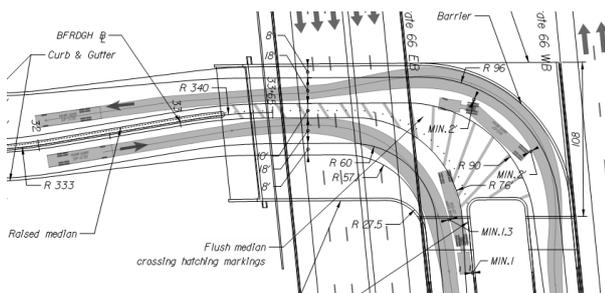


Figura 7. Auto turn.

Si no fuera por las losas de las rampas de conexión el cálculo de estas estructuras no tendría ninguna connotación singular. Esta configuración de estructuras con una geometría

tan condicionada ha llevado a la necesidad de plantear modelos de elementos finitos en tres dimensiones, donde la secuencia de construcción también ha sido determinante, sobre todo en el puente de University.

Estos modelos se han empleado principalmente para el diseño de la armadura de las losas de conexión, la evaluación de los movimientos de los aparatos de apoyo y juntas y la obtención de las cargas tanto verticales como horizontales con las que diseñar y comprobar el resto de elementos de la subestructura.

A continuación se hace una breve descripción de los modelos utilizados en cada uno de los puentes.

2.1 University

En la Figura 8 se muestra una vista general del modelo completo desarrollado para University.

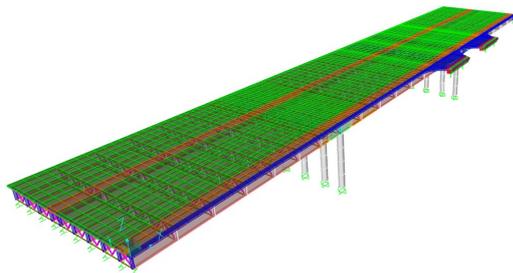


Figura 8. MEF University.

Se distinguen por colores los tres tipos de losa utilizados, en verde la losa existente, en naranja la losa de ampliación, en azul la losa de los voladizos y las rampas y en rojo la traviesa de apoyos en estribos de rampas. En la Figura 9 pueden apreciarse con más detalle los diferentes elementos utilizados.

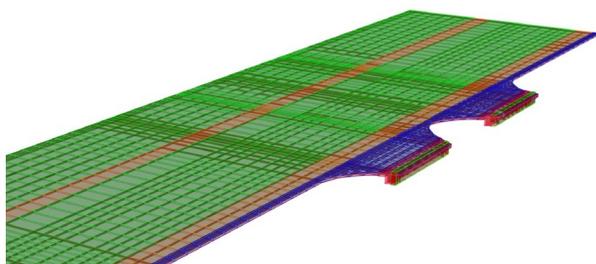


Figura 9. Detalle de losas.

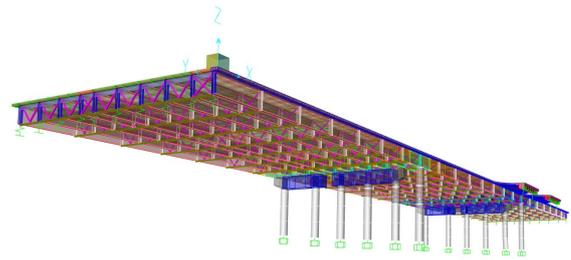


Figura 10. MEF vista inferior.

Como ya se ha comentado, tiene especial interés la definición de los numerosos estados de carga para poder tener en cuenta las diferencias de edades y evaluar con mayor precisión los efectos reológicos y variaciones térmicas. A continuación se hace una relación resumida de los diferentes estados de carga utilizados.

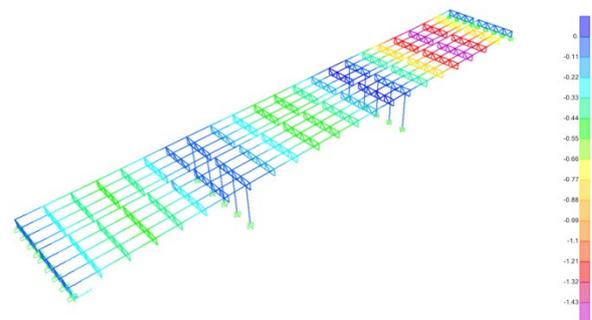


Figura 11. Modelo del puente existente, estructura metálica.

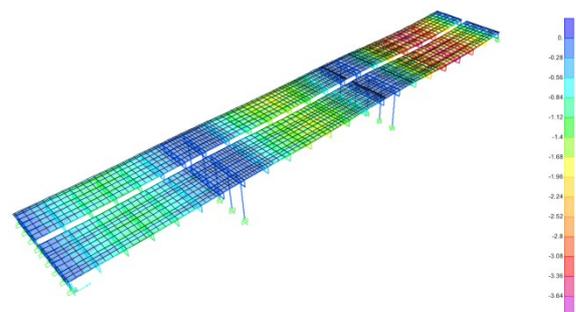


Figura 12. Modelo existente completo.

A continuación se introduce la nueva viga y todos los diafragmas conectados a la estructura existente (Figura 13).

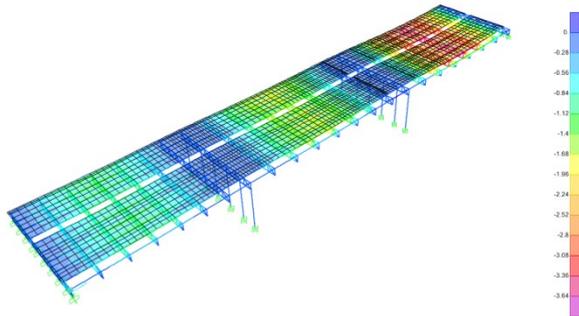


Figura 13. Nueva estructura metálica.

En la siguiente imagen se puede ver el modelo completo, apuntar que anteriormente se ha introducido el hormigón como carga antes de adquirir su resistencia (Figura 14).

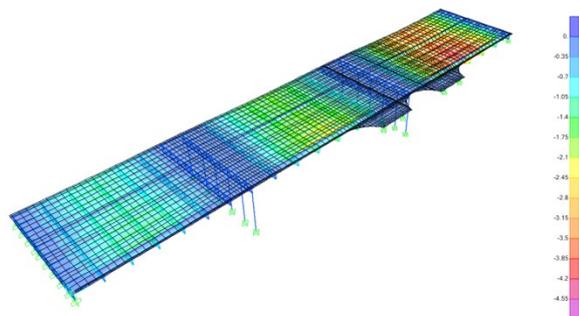
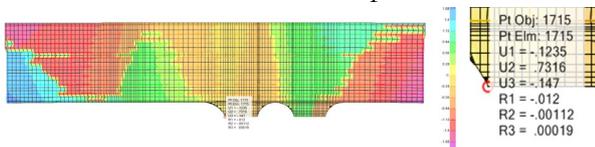


Figura 14. Modelo completo.

Como ejemplo de los resultados obtenidos con estos modelos en la Figura 15 se muestran los desplazamientos en las juntas de uno de los estribos de las rampas.



2.2 Century

A continuación se muestra el modelo utilizado en Century, más sencillo en cuanto definición de los diferentes estados de carga pero igual de complejo en cuanto a la geometría (Figuras 16 a 19).

En este caso sólo hay tres tipos de elementos losa: la losa del puente convencional, en azul, la losa con mayor espesor en rampas y en el tramo contiguo entre vigas, en color rosa y la traviesa de rampas, en verde.

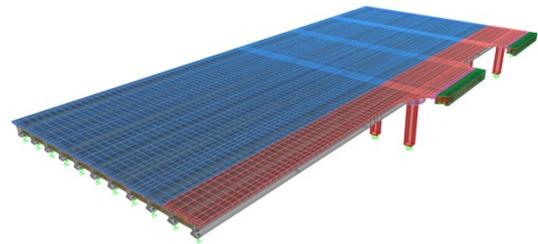


Figura 16. Vista general del MEF.

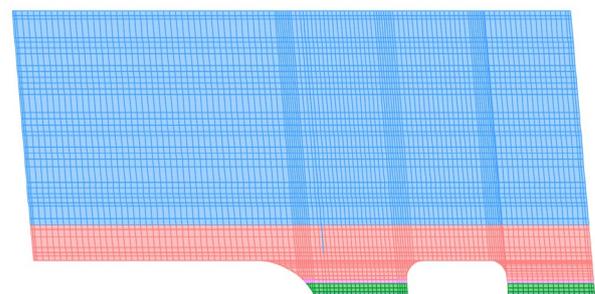
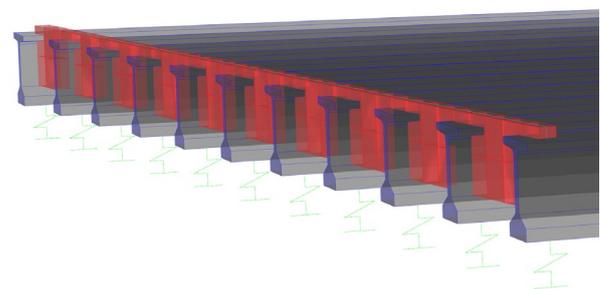
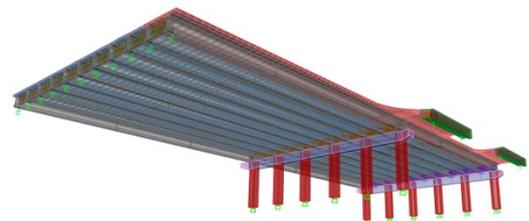


Figura 17. Planta del MEF.



Al igual que en University, se han definido diferentes estados de carga para simular de la forma más precisa posible el proceso de construcción del puente. A continuación se resumen los estados de carga más representativos. En la Figura 20 se muestra

la primera fase, la colocación de las vigas prefabricadas.

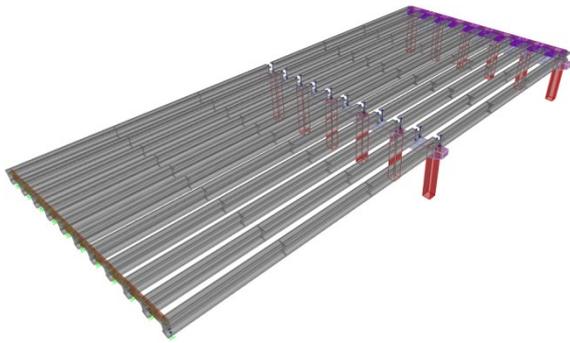
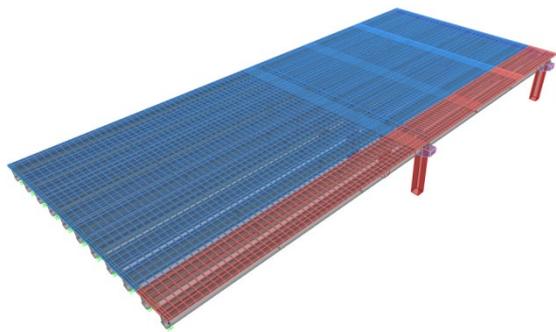
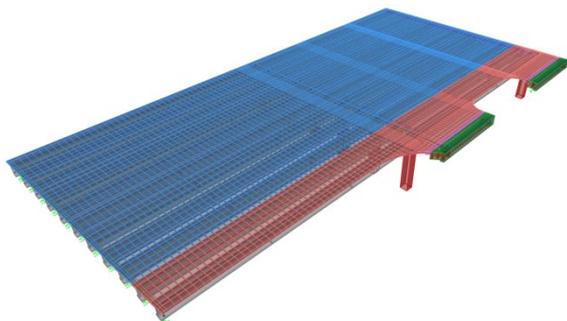


Figura 20. Colocación de las vigas.

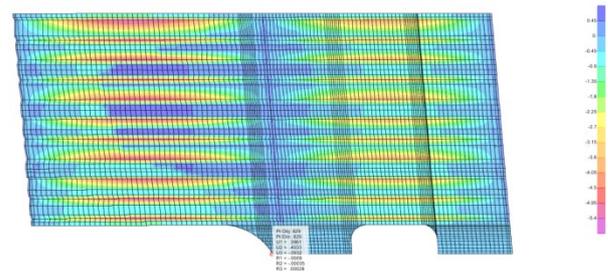
En la Figura 21 se muestra lo que se denomina el puente convencional con sus dos tipos de losa. En una primera fase se activan estas losas como carga y, en una segunda fase, se activa su capacidad resistente y la continuidad entre vanos.



El siguiente modelo, recogido en la Figura 22, sería el final. Como en el modelo anterior, en una primera fase los tramos de conexión solo se activan como carga y, en una segunda fase, se dotan de resistencia estructural. Sobre este modelo final se aplican el resto de cargas permanentes y sobrecargas.



En la Figura 23 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos con este modelo, los desplazamientos en la junta en el estribo B.



3. Otros detalles de estos puentes

Proes Consultores tiene una amplia experiencia en la realización de proyectos fuera de España y se sabe que lo primero que hay que hacer es estudiar los hábitos y forma de hacer locales, basados en su experiencia, adaptándose lo máximo posible a esta forma de hacer. En este apartado se quiere mostrar algunos detalles que han llamado la atención.

A continuación se hace un breve repaso por ellos.

3.1 Virginia Alternate Abutment

El diseño de esta tipología de estribo viene condicionado por la forma de evacuar el agua que pueda introducirse por las juntas. Se dota de una gran relevancia al canal de evacuación del agua de escorrentía y se aíslan los aparatos de apoyo de este espacio, evitando así que el agua llegue a los apoyos.

En la Figura 24 se muestra la figura extraída del Manual de Estructuras del Departamento de Transportes de Virginia [1] en la que se define la sección de estos estribos.

En los puentes que se presentan se ha aplicado esta solución en los emplazamientos que se definen a continuación.

En primer lugar, en los estribos de las rampas de University, donde el canal tiene salida por el frontal del estribo en lugar de por los laterales.

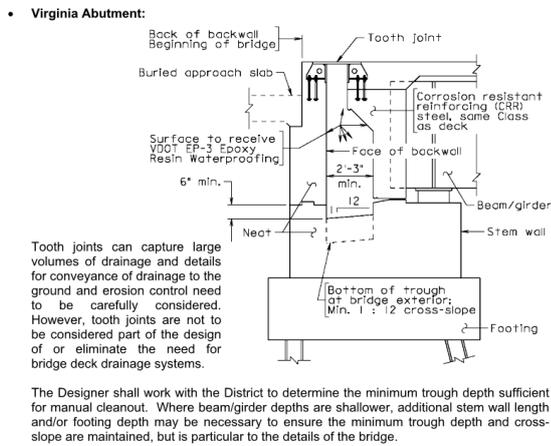


Figura 24. Virginia Alternate Abutment.

En las Figuras 25 y 26 se muestra este estribo. Pueden apreciarse los ajustes que se han hecho en el espaldón para dar apoyo a las losas voladas de las rampas y los huecos en su parte inferior para el paso de los paneles del suelo reforzado, sirviendo el estribo como *cooping* de estos muros.

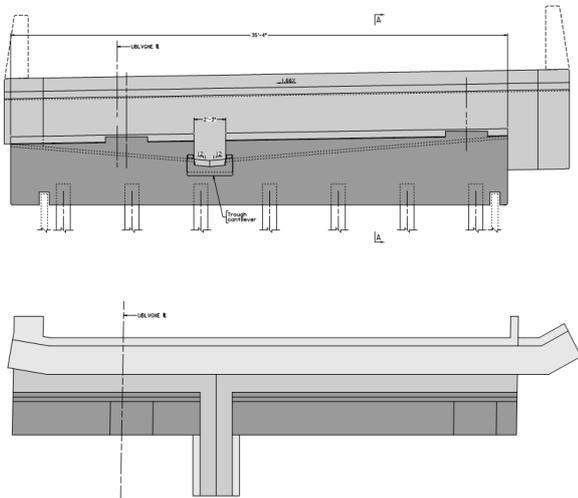


Figura 26. Planta Estribo C de University.

En Century las soluciones dadas en las rampas son similares a los estribos de

University, resultando una solución para el estribo convencional más similar al estándar definido en el Manual de Puentes del VDOT.

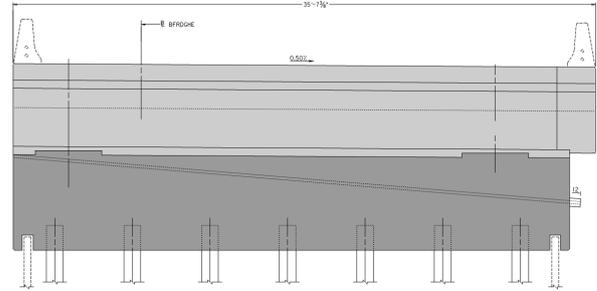


Figura 27. Alzado Estribo B de Century.

3.2 Detalles del drenaje

En el Estado de Virginia hay una gran sensibilidad por el tema del agua, por lo que en la fase de proyecto esta disciplina es determinante en la solución final. En el tema de puentes es necesario definir con la mayor precisión posible la solución dada a la evacuación y recogida del agua de escorrentía sobre el puente, resultando preciso definir todo el sistema de tuberías y drenajes. A modo de ejemplo, en la Figura 28 se muestra la solución diseñada para una de las rampas de Century.

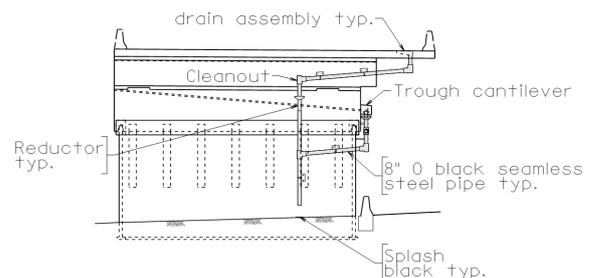


Figura 28. Sistema de drenaje en la rampa Este de Century.

3.3 Integración de los diferentes servicios en el puente

Otro tema importante es cómo se resuelve el paso de las diferentes conducciones por el

puente para los diferentes servicios, como electricidad, señalización, telefonía, etc.

A continuación se muestran diferentes detalles que ha sido preciso incluir en la colección de planos de las estructuras. En la Figura 29 se recoge la señalización luminosa en el puente de Century, con la definición de todos los detalles de alimentación eléctrica precisos.

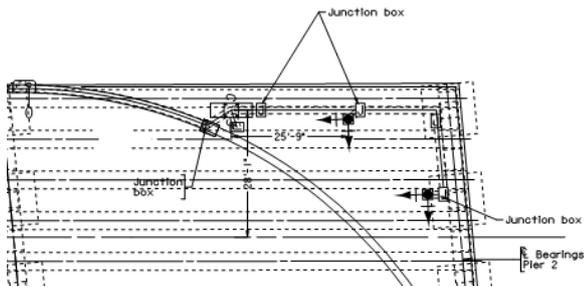
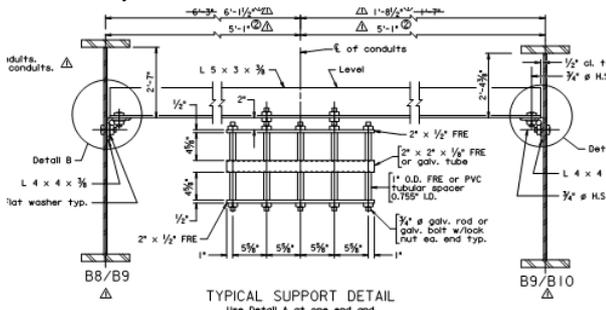


Figura 29. Definición *Flashing lights* en Century.

La Figura 30 muestra la definición del cuelga tubos para las conducciones de telefonía en University.



4. Conclusiones

Estado actual de la construcción

En la dirección siguiente se puede seguir el avance de los trabajos, <https://youtu.be/2U-HxIj-9uI>.

Como muestra del estado de los trabajos en estas dos estructuras y en los muros, que también han formado parte de nuestro proyecto, se incluyen las siguientes imágenes cedidas muy amablemente por la constructora FAM.



Figura 31. Zona de actuación

En la Figura 32, se observa como ya se ha construido uno de los fustes, se ha eliminado la junta longitudinal y se ha demolido el voladizo (detalle en las Figuras 33 y 34).

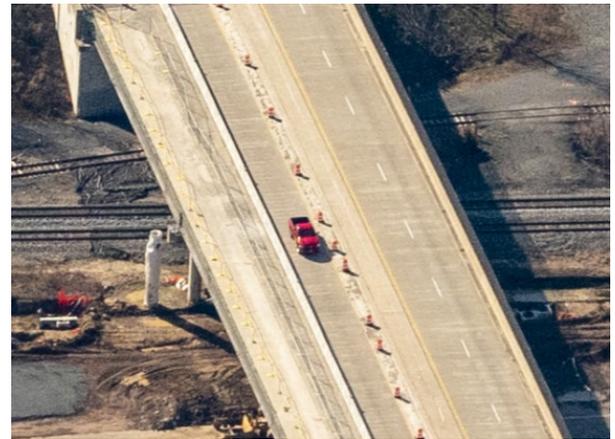


Figura 32. University





Figura 34. University, detalle de la pila y el voladizo

En Century a día de hoy sólo se han construido los pilotes del Abutment A, como se puede ver en la Figura 35.

En las Figura 36 y 37, se incluye un detalle de uno de los muros de la actuación, de tipología Post&Panel, donde se ve una parte construida y otra parte donde únicamente se han instalado los postes metálicos.



Figura 35. Century



En primer lugar agradecer a FAM la oportunidad de participar en este tipo de proyectos y a nuestros socios en el diseño, Janssen and Spaans, su intermediación con las diferentes Administraciones. La distancia, el cambio horario, la lengua y las diferencias culturales se incorporan como factores adicionales al normal desarrollo de los trabajos.

Referencias

- [1] Manual of the Structure and Bridge, Chapter 17, Abutments, File nº 17.01-4, Structure and Bridge Division, Virginia Departement of Transportation (VDOT), 2016.