



## Experiencia en el Control de Erosión a Través de Sistemas Flexibles

C.G. Gerbaudo, Departamento Estructuras, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina  
M.E. Zeballos, Área de Geotecnia, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.  
D. Zuin, Empresa Constructora J.J. Chediack Argentina  
J. Chasco, Empresa Constructora, J.J. Chediack, Argentina

### ABSTRACT

Building bridges in plains not only involves the calculation of the components of the structure. When the bridge is located in flood plains, stream merger situations can lead to significant erosion, located in the abutments or piers. In Argentina, recently, it has built the second road on National Route 168, Santa Fe. In this work, several bridges have been built. In particular, one of the bridges, before construction begins, erosions of great magnitude have been observed. Erosion occurs in sandy soils to fine media with a uniform particle size. Different solutions were evaluated for protection against the effects of erosion on piers and abutments. The solutions are displayed in the work, consisting of a combined system of concrete blocks, confined and flexible.

### RESUMEN

La construcción de puentes en zonas de llanura requiere la consideración de aspectos de diseño complementarios al comportamiento propiamente estructural de la solución planteada. Cuando el puente se localiza en planicies de inundación los efectos de concentración de flujo pueden derivar en erosiones importantes en el sector de estribo o en las pilas. En el marco de las obras de duplicación de calzada en la Ruta Nacional 168, Provincia de Santa Fe, Argentina, se han construido varios puentes sobre cauces principales y aliviadores que permiten el drenaje del agua de la planicie de inundación hacia el Río Paraná. En particular, sobre uno de los puentes sobre el Arroyo Las Sandías, en forma previa a la ejecución de la obra, se observaron fenómenos de erosión de gran magnitud en el puente existente, que se producen por el arrastre de suelos arenosos medios a finos, con una granulometría uniforme. Se evaluaron distintas soluciones de protección contra los efectos de erosión en pilas y estribos, tanto del puente existente como del nuevo puente a construir. Se muestran las soluciones adoptadas en la obra, formadas por un sistema combinado de geoceldas y mantas de bloques.

### 1. INTRODUCCIÓN

La construcción de puentes en zonas de llanura requiere la consideración de aspectos de diseño complementarios al comportamiento propiamente estructural de la solución planteada. Cuando el puente se encuentra atravesando zona de escurrimiento en planicies de inundación, los efectos de concentración de flujo sobre la sección de paso, pueden derivar en fenómenos de erosión significativos. Las erosiones generadas dependerán, especialmente, de las características de los suelos afectados, pudiendo alcanzar profundidades de varios metros y, con esto, condicionando la estabilidad de pilas y estribos.

Scacchi, Schreider y Fuentes Aguilar (2003) muestran estudios relacionados con la forma de evaluar los comportamientos de los aliviadores de zonas de inundación. Estos autores señalan la influencia del problema en el caso de los estribos de puentes, haciendo referencia al desarrollo de procesos erosivos complejos, motivados por la combinación de líneas de flujo sobre la singularidad que conforma el estribo. Adicionalmente, estos autores indican que los procesos erosivos, en estos casos, ocurren sin reposición de material en el sector erosionado.

En el marco de las obras de duplicación de calzada en la Ruta Nacional 168, Provincia de Santa Fe, Argentina, se ha requerido la construcción de varias obras de paso paralelas a otras preexistentes y en un ambiente que forma parte de la planicie de inundación del Río Paraná. La Figura 1 muestra la localización de la obra tratada en el presente artículo. Los suelos de la zona de emplazamiento de la obra son, fundamentalmente, arenas finas a medias, con granulometrías de tipo discontinuas. En particular, sobre uno de los puentes existentes sobre el Arroyo Las Sandías, en forma previa a la ejecución de la obra, se observaron fenómenos de erosión de una importante magnitud. El puente a ejecutar, correspondiente a la segunda calzada, ubica su estribo en una zona de alta manifestación de esta erosión, lo cual demanda la necesidad de disposición de medidas no convencionales de protección, especialmente en uno de los estribos.

La presente comunicación muestra las soluciones adoptadas en la obra, basadas en el empleo de un sistema combinado de componentes estructurales de hormigón armado con pilotes y pantallas, junto con sistemas de protección superficial constituidas por geoceldas y mantas de bloques. Las soluciones han sido adoptadas procurando una combinación de flexibilidad, en función de los suelos sobre los cuales se apoya, y resistencia a los efectos de arrastre de las fuerzas de

erosión. La solución adoptada una vez construida, ha soportado la crecida del río Paraná, con un comportamiento satisfactorio.

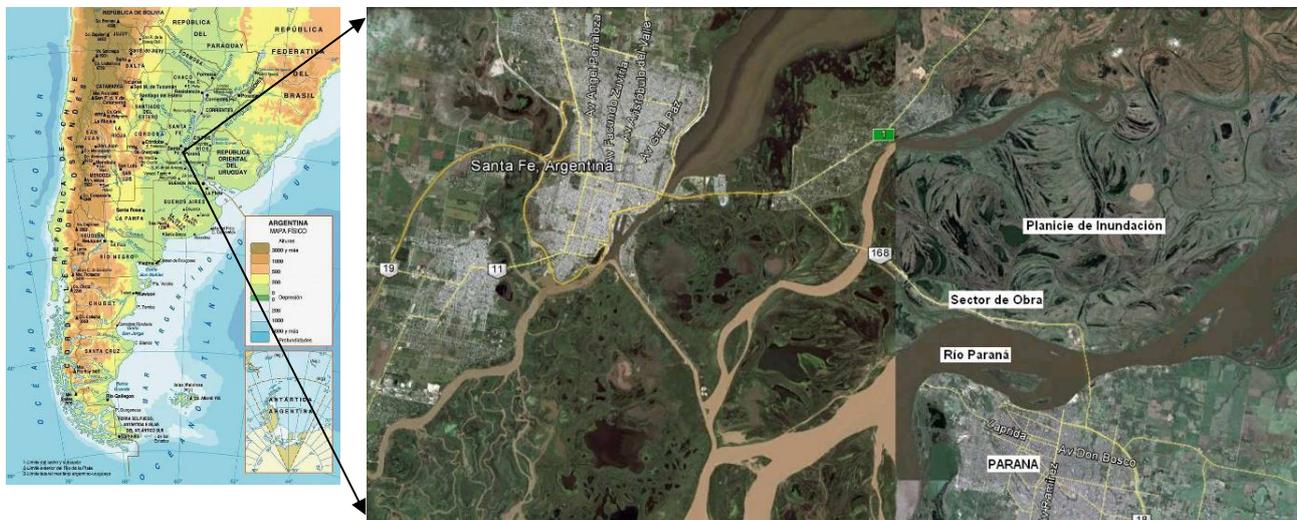


Figura 1. Localización de la obra.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL CASO

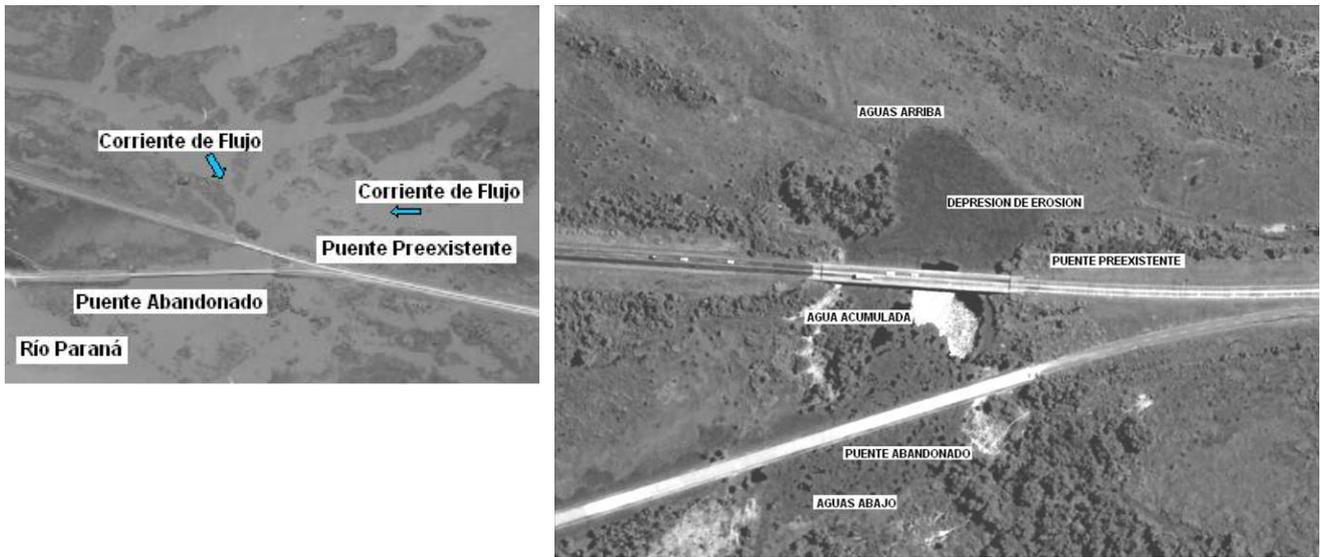
Para la caracterización del fenómeno de erosión localizada se efectuaron un conjunto de tareas, las cuales se iniciaron con un relevamiento de antecedentes, respecto del comportamiento hidrológico e hidráulico de la zona de emplazamiento de la obra. Estos relevamientos han permitido identificar la tipología de fenómeno de erosión en la zona, y su grado de relación con los suelos afectados. Se han reconocido situaciones históricas en las cuales se han apreciado fenómenos de erosión que han alcanzado magnitudes suficientemente importantes como para producir la inhabilitación parcial o total de algunos componentes de la ruta. En particular, los estudios que se presentan a continuación hacen referencia al tratamiento del tema sobre el denominado puente sobre el Arroyo Las Sandías.

El análisis del escurrimiento general de las aguas que bajan hacia el Río Paraná, ocupando prácticamente toda la planicie de inundación ubicada al norte de la traza, muestra en la zona del puente Las Sandías un cauce o corredor preferencial del flujo con dirección Oeste-Este casi paralelo al terraplén de la ruta. Este flujo, al alcanzar el estribo Este del puente cambia bruscamente de dirección y se encausa por el vano libre de la obra de paso, alcanzando el río Paraná a unos 500 metros. La disposición del cauce natural, prácticamente paralelo a la ruta, y el obstáculo que genera el terraplén de acceso al puente, origina un cambio brusco en la dirección de la corriente, generándose un sector de variaciones de la dirección del flujo, que ha contribuido en el desarrollo de la importante erosión del cauce aguas arriba del Estribo Este.

Los estudios posteriores al análisis de antecedentes se concentraron en la definición del estado actual de situación en los puntos de cimentación del nuevo puente, así como la identificación de los materiales de fundación afectados.

El estudio topobatemétrico en la zona de emplazamiento, aguas arriba del actual puente, mostraban un sector con elevadas profundidades de erosión. Esta situación se mostraba con mayor importancia en las proximidades del estribo NE de la obra. En ese sector, se apreciaba la formación de una depresión circular de aproximadamente 50 m de diámetro y con una profundidad máxima de alrededor de 9.0 m, respecto al nivel normal de agua. El centro de esta depresión se ubica próximo al eje de la primera pila del puente preexistente.

La Figura 2 muestra imágenes del sector de emplazamiento en períodos de crecida del río Paraná, así las consecuencias de erosión generada luego de estas crecidas, tal como se observaron en forma previa a la ejecución de la obra. La parte A de la Figura 2 muestra el fenómeno descrito arriba, apreciando la contracción de flujo por otro corredor con dirección NE-SO. De acuerdo a informaciones recabadas con personas que participaron de la construcción del puente preexistente, se ha constatado que existía una fosa al momento de ejecutar el primer puente. La parte B de la Figura 2 presenta el estado de la zona de emplazamiento del puente en el período previo a la construcción de la segunda calzada. Se aprecia la depresión mencionada. Como resultado de estos estudios, se elaboró una planimetría del sector, la cual ha sido empleada como base de definición de los componentes de la solución.



A) B)  
 Figura 2. Vistas aéreas de la zona de emplazamiento del puente.

El terraplén vial que conforma la traza de la ruta en el sector, ha sido construido por medio de procesos de refulado del material extraído del río Paraná. Los estudios de suelos efectuados para el diseño de los elementos de fundación del nuevo puente muestran la existencia de un estrato inferior de arenas amarillentas compactas o densas (con más de 30 golpes en el ensayo SPT). Por encima de este material se encuentran depósitos de arenas finas grises, con una compacidad baja a media. Esta composición del perfil estratigráfico determina que el nivel de arenas amarillentas es el más recomendable para el apoyo de los sistemas de cimentación del puente, al tiempo que resulta suficientemente profundo como para soportar adecuadamente las acciones erosivas. El nivel superior, de arenas finas grises muestra mayor facilidad para su remoción en las crecidas. En el sector del estribo que se analiza, el nivel de arenas amarillentas se localiza con su techo en cota +2.0 m. Esta disposición estratigráfica se representa esquemáticamente en la Figura 3.

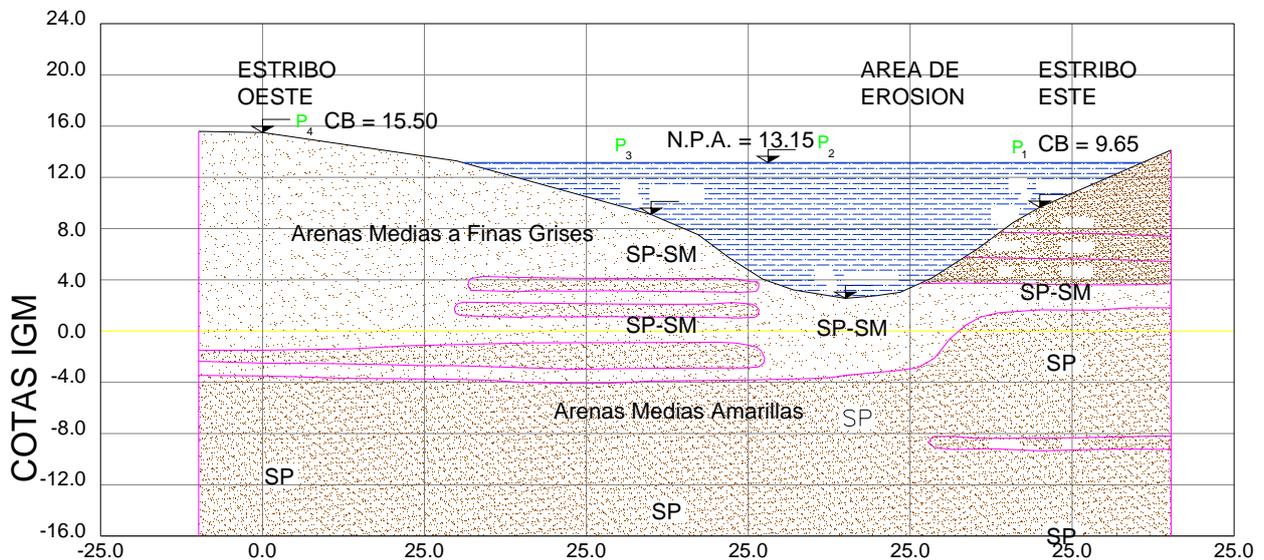


Figura 3. Perfil estratigráfico en el sector del estribo Este.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA LA EROSIÓN

Las hipótesis de trabajo adoptadas para la formulación de una solución frente a los procesos erosivos en el sector han sido las siguientes:

- La presencia del nuevo puente, aguas arriba del existente, determina la disposición de un elemento que mejora la protección de los sectores más afectados por la erosión en el puente existente.
- De no existir mayores elementos de protección en el puente proyectado, el sector con mayor sensibilidad a la erosión será la esquina de aguas arriba del estribo. Al mismo tiempo, el proceso erosivo tenderá al desarrollo de una superficie similar a la actualmente existente pero desplazada hacia aguas arriba, hasta lograr la actual condición de equilibrio.
- Bajo la premisa anterior, se ha adoptado como criterio de diseño, una cota de erosión en el sector de afectación directa de la estructura del orden de +4.0 m. Este efecto se espera que sea especialmente incidente en la esquina de aguas arriba del estribo, y se atenúe tanto hacia aguas abajo, como a lo largo del borde de aguas arriba del terraplén de acceso.

Con el fin de proteger el estribo frente a los efectos de erosión previsibles en el sector, que ponen en riesgo la estabilidad de la obra, tanto la preexistente como la que se encontraba en proceso de construcción, se propuso materializar un escudo de protección circundante al nuevo estribo, integrado con un sistema de protección flexible de hormigón aplicado en los taludes laterales y frontales del terraplén vial y cauce del río.

Los criterios de diseño empleados en la definición de este componente han sido los siguientes:

- La batimetría desarrollada en la zona permite apreciar que el punto más bajo de la depresión generada por erosión se localiza a una cota mínima de +2.0 m, y a unos 40 metros del estribo del puente preexistente.
- Efectuados análisis generales de procesos de erosión sobre la batimetría, con la incorporación de efectos de erosión local generadas por pilas y estribos, se concluyó que, en proximidades del estribo, las estimaciones de erosión, para el caso de crecidas hasta una cota del orden de +16.50 msnm, alcanzan la cota +3.8 m.

En el caso en estudio se analizaron dos propuestas de pantallas o escudos de protección del nuevo estribo, una primera alternativa conformada por una pantalla o muro colado in situ de hormigón armado, resistente a la acción de la corriente y erosión, separado de la propia estructura del estribo, y una segunda alternativa constituida por una pantalla de protección inferior fijada a la propia estructura del estribo.

A continuación se describen las dos alternativas de pantallas de solución propuesta para el control de la erosión de los estribos del puente.

#### 3.1 Alternativa 1: Pantalla de Protección con Muro Colado in Situ

La alternativa 1, se corresponde con una pantalla de protección, separada de la estructura del propio estribo, que actúa como un elemento de encauzamiento del flujo hacia el centro del vano libre generado por el puente, protegiendo la margen de aguas arriba del nuevo estribo y del estribo existente. La pantalla de protección propuesta se ha materializado mediante un muro colado in situ, de 0.70 m de espesor, que circunda el nuevo estribo a construir, ubicado a una distancia de aproximadamente 6.0 m del paramento externo del estribo. La cota de coronamiento del muro se ubica a +12.0 m. Esta pantalla tiene una altura total del orden de los 17 metros. Para este análisis el criterio de cálculo ha tomado en cuenta el equilibrio entre momento flectores generados por el empuje activo del suelo ubicado por detrás de la pantalla, y el momento resistente generado por el empuje pasivo del suelo ubicado por delante de la misma, y después de producida la erosión indicada. La disposición de este muro colado ha procurado la protección de la totalidad del estribo del puente proyectado, con una traza que abarca el sector de aguas arriba, el frente y el lateral del nuevo estribo. Su geometría ha sido dispuesta sobre la base de un módulo constructivo de 2.50 metros. Las longitudes y cotas de fundación de los muros que forman la pantalla o escudo de protección se detallan en la Tabla 1.

Para mejorar el funcionamiento estructural del muro en los sectores 2, 3 y 4, que corresponde a los tramos más expuestos a la erosión, se previó la colocación de un conjunto de tensores que retienen el extremo superior del muro. Estos se dispusieron anclados al cabezal del nuevo estribo, mejorando la resistencia y rigidez de la estructura, previendo la posibilidad que la pantalla se descalce por la erosión del cauce no protegido. El resto de las pantallas presentan una menor longitud de voladizo o menor posibilidad de alcanzar una erosión profunda, por lo que no son necesarios los tensores. Las características de esta solución se presentan en la Figura 4.



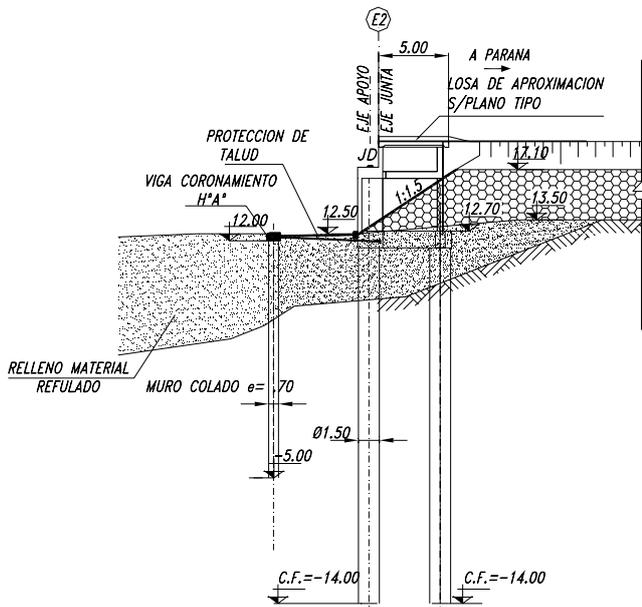


Figura 4.b Corte longitudinal de la solución de protección en nuevo estribo. Alternativa 1

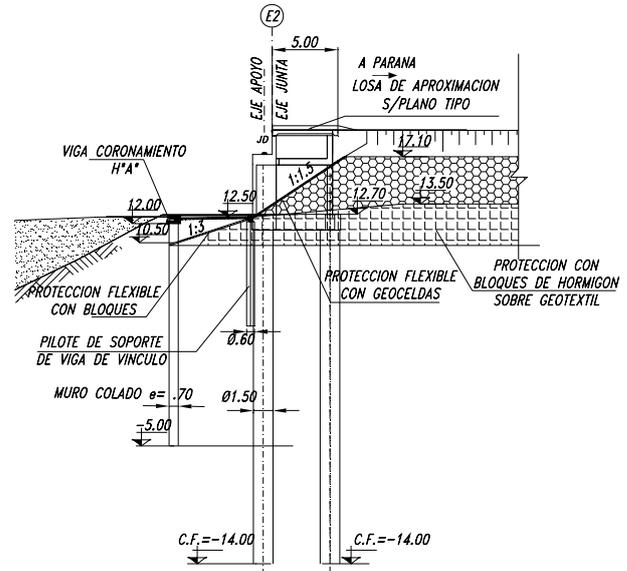


Figura 4.c Corte longitudinal de la solución de protección en estribo existente. Alternativa 1

La cota inferior seleccionada para esta pantalla, permite que la misma “proteja” los niveles superiores de arenas arcillosas y arenas finas blandas, que muestran compacidades relativamente bajas en los estudios de suelos (< 15 golpes) y son potencialmente susceptibles de erosión.

Esta alternativa contempla la condición real de trabajo con los sistemas de refulado, en el cual las pendientes de deposición natural de la arenas son sensiblemente tendidas. Por esta razón esta alternativa de diseño parte de considerar una relativa continuidad entre los materiales posicionados en el terraplén de la calzada, y los empleados en el relleno de la depresión de erosión. Una vista general de los componentes de esta solución se muestra en la Figura 5.

### 3.3 Protección de márgenes y cauce

En forma complementaria a la pantalla de protección del estribo, y teniendo en cuenta la tipología del fenómeno de erosión en el sector, se prevé la protección de los taludes y cauce con una “protección flexible de hormigón”, utilizando dos sistemas de protección contra la erosión:

- Revestimiento de hormigón confinado.** La protección de la solera del cauce, en el espacio comprendido entre la pantalla y la estructura de los estribos, se realiza mediante un revestimiento flexible de hormigón con confinamiento celular sobre geotextil. En cotas superiores se ubicó la protección de las márgenes del terraplén de acceso con el mismo tipo de revestimiento, hasta cota +17.1 m teniendo en cuenta que la cota de máxima crecida se encuentra en cota +16.6 m y se adiciona una revancha de 0.50 m. El revestimiento se extiende aguas arriba por detrás del estribo una longitud de 30 m, mientras que aguas abajo se adopta una protección de 10 m de longitud. El sistema adoptado para la ejecución de la protección de taludes y cauce alcanza un espesor del orden de los 0.10 m. El objetivo de la disposición de este tipo de elementos en el sector ha sido lograr una estructura con cierto grado de flexibilidad, continua, que no flote y que impida el arrastre de partículas finas de suelo por la acción de la corriente de agua. Entre el suelo de apoyo y el hormigón se colocó un geotextil no tejido de filamentos continuos.
- Revestimiento de bloques de hormigón.** Bajo el puente existente los elementos de protección se extienden desde el pie del talud protegido por el geosintético flexible, hasta la proyección del eje del muro colado construido en el puente proyectado. En este sector se aplicó un revestimiento de bloques de hormigón adheridos a un geosintético, buscando la disposición de un material con mayor flexibilidad respecto al empleado en el caso del revestimiento con hormigón confinado. El vínculo entre la membrana flexible superior y el geosintético inferior se desarrolló a través de una viga de vínculo que rodea al pie del estribo. Los bloques de hormigón tiene una forma de pirámide truncada de base cuadrada de 40 cm de lado. La altura de estos bloques es superior a los 8 cm. Los bloques se ubicaron en superficie con la previsión de permitir una zona libre total entre ellos del orden del 15% de su superficie efectiva. Se entiende como superficie efectiva a la zona real de cobertura de la manta, es decir, a la constituida por la superficie de los bloques más las juntas entre mismos (entre las que se debe incluir las juntas entre filas de bloques extremas de mantas contiguas).



- b) En oportunidad de iniciar los trabajos en el sector, se ha registrado una importante bajante en el Río Paraná, permitiendo que bajo la adopción de la alternativa de diseño 2, los componentes del sistema se puedan construir "en seco", mejorando la calidad de la obra desarrollada.

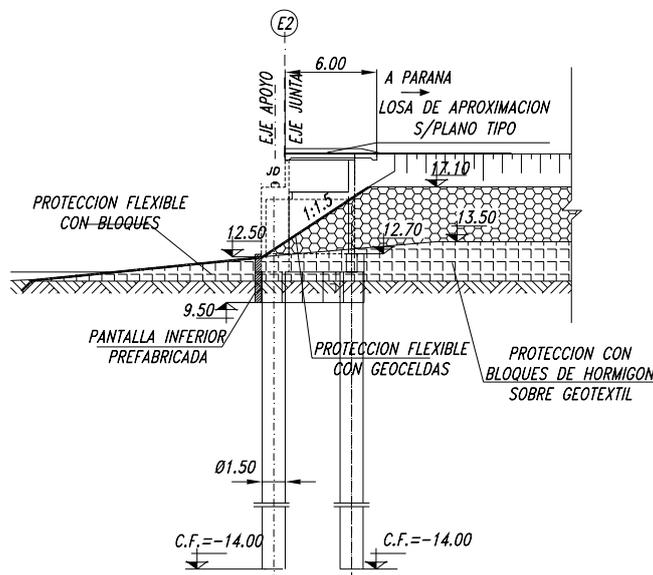


Figura 5.b Corte longitudinal de la solución de protección de estribo. Alternativa 2.

Las Figuras 6 muestra una vista general de la solución implementada en el estribo lado Paraná del Puente sobre el Arroyo Las Sandías, y en la Figura 7 se observan detalles de la solución de revestimiento de los taludes y cauce del río con protección flexible de hormigón.

Concluida la construcción, en el año 2009, se produjo una crecida importante del Río Paraná, que alcanzó una cota del orden de 15.50 msnm, poniendo en operación la totalidad del sistema de protección, y se pudo constatar en obra que durante el desarrollo de esta situación, el sistema tuvo un comportamiento adecuado y satisfactorio. Con posterioridad al desarrollo de la crecida, al bajar el nivel de agua, se pudo verificar que el estado general de la protección se encontraba en buenas condiciones. En las Figuras 8 y 9 se observan imágenes del estribo y su protección durante la crecida del año 2009.

## 5. Consideraciones Finales

La ejecución de obras de paso en sectores correspondientes a planicies de inundación trae aparejado importantes fenómenos de restricción del flujo. Estas corrientes que se desarrollan en forma continua en una topografía de llanura, debe restringirse al paso por el espacio generado por la propia estructura del puente. En estas condiciones, los procesos de estrangulamiento del flujo e incremento de las velocidades derivan en importantes erosiones, especialmente en los puntos de contacto, tanto con el estribo del puente como con las pilas.

El tratamiento de los problemas de erosión en puentes no es un elemento de menor importancia en la consideración de los aspectos de diseño de dichas estructuras. En muchos casos, relatados en bibliografía y verificadas en la obra existente presentada, se observan fenómenos de erosión de gran importancia, alguno de los cuales pueden condicionar la estabilidad de la propia estructura.

Esta situación derivó en la necesidad de definición de un sistema de protección de los componentes de cimentación del puente del Arroyo Las Sandías. El sistema propuesto establece una conjunción de elementos de rigidez variada, y con ubicaciones específicas en función de los esfuerzos que deben soportar durante la propia crecida.

La alternativa de diseño planteada, resulta una combinación de componentes estructurales en el contacto con el estribo del puente, con elementos suficientemente flexibles de forma de acompañar los posibles cambios de superficie local, y al mismo tiempo, regular y evitar un proceso de erosión por filtración de materiales finos en forma global.



Fotografía 6. Vista general desde aguas debajo de la zona de protección de estribo



Figura 7. Vista del contacto entre revestimiento de hormigón confinado y revestimiento de bloques de hormigón.



Figura 8. Vista del estribo con el tratamiento de protección contra erosión luego de una crecida del río Paraná.



Figura 9. Vista del estribo con el tratamiento de protección contra erosión luego de una crecida del río Paraná.

El presente trabajo ha mostrado los componentes de proyecto y su materialización en obra. Al mismo tiempo, la presente obra a operado en forma satisfactoria durante el desarrollo de una crecida típica del Río Paraná, uno de los ríos de mayor caudal de Latinoamérica.

#### 6. Referencias.

G. Scacchi, M. Schreider y R. Fuentes Aguilar (2003). Erosión en estribos de puentes aliviadores y su interacción con la distribución de caudales. 1º Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe – Argentina.