

PROYECTO DE DRAGADO Y BALIZAMIENTO DEL RÍO URUGUAY DESDE EL KM 0 AL KM 187,1, INCLUYENDO EL CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY Y LOS CANALES ENTRE EL KM 187,1 Y EL KM 206,8 PUERTO DE PAYSANDÚ

Autores: Ing. María Cecilia Norman¹ – Ing. Juan Costas² - Ing. Ricardo V. Petroni³

ABSTRACT

Tomando los antecedentes de estudios de navegabilidad del río Uruguay, durante el año 2012 el Consorcio EIH-Incociv ejecutó el Proyecto de Dragado y Balizamiento del Río Uruguay, desde el Km0 al Km 187,1, incluyendo el Canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay. Con el objetivo de mejorar las condiciones de navegación, este estudio complementa los antecedentes, para los subtramos Punta Gorda-Concepción y Concepción-Paysandú, y permite generar elementos concretos para la toma de decisiones por parte de la Comisión Administradora del Río Uruguay, en cuanto a la profundización de la vía navegable existente, y eventualmente al replanteo de la traza a lo largo de algunos tramos alternativos. El estudio incluye el proyecto del canal de navegación, el proyecto de balizamiento y el estudio de volúmenes de dragado de apertura y mantenimiento. Para realizar el estudio, se consideró importante tener en cuenta el criterio de aprovechar al máximo las condiciones naturales que brinda este río, lo que consiste en hacer coincidir la traza del canal de navegación por las zonas naturalmente más profundas, y en el caso de pasos críticos, buscar diseños de canal que, conservando maniobras seguras a la navegación, impliquen menores volúmenes de obras de dragado de construcción y mantenimiento. Con este criterio no solo se buscó minimizar costos sino además minimizar el impacto ambiental de las obras de apertura, incluyendo el estudio adecuado de los lugares más favorables para la disposición del material dragado. En este contexto, se realizaron mediciones y estudios de campo que permitieron definir la morfología detallada de cada paso de navegación, las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas en los mismos, y la posición y estado del sistema de señalización existente. Se realizaron relevamientos longitudinales generales de todo el canal, y posteriormente relevamientos batimétricos y mediciones hidráulicas y sedimentológicas detalladas en los pasos críticos más importantes y ciertas trazas alternativas. Una vez definidas las trazas, se evaluaron los volúmenes de dragado de apertura, las técnicas de dragado más apropiadas, se realizó un estudio de la sedimentación anual esperable mediante la aplicación de herramientas de modelación matemática en los pasos, se diseñó el proyecto de señalización y se estimaron los costos de construcción y mantenimiento de la obra.

LOCALIZACION DEL ESTUDIO Y ANTECEDENTES

Los estudios integrales sobre navegabilidad del río Uruguay más recientes datan de los años 2002 y 2003. En aquella oportunidad estos estudios integrales que incluyen aspectos técnicos, económicos y sociales fueron ejecutados por el proyecto “Desarrollo Regional y Mejora de la Navegabilidad del Río Uruguay”, desarrollado por CARU, CTM SALTO GRANDE Y UNION EUROPEA.

En el año 2002 se desarrolló la Fase 1 de este proyecto la cual, respecto a los estudios de navegación, incluyó un relevamiento actualizado de todo el río, desde Nueva Palmira, hasta Santo Tomé. En dicha oportunidad se diseñaron y proyectaron, a nivel de prefactibilidad, canales de navegación para distintas confiabilidades, embarcaciones tipo y calados; dividiendo el tramo total en subtramos aptos para distintas embarcaciones y calados. (Nueva Palmira-Concepción, Concepción-Paysandú, Paysandú-Salto, y Salto-Santo Tomé). Para el tramo Nueva Palmira-Concepción se proyectaron los canales de navegación contemplando como embarcación de diseño un buque Panamax con cargas parciales y variantes de profundidades contemplando calados de 22, 25 y 28 pies. En el tramo Concepción-Paysandú los diseños contemplados fueron buques madereros con calados variables de 15, 18, 20 y 25 pies. El estudio integral de todas estas

¹ Ing. Civil y Portuaria, Depto de Ingeniería EIH Estudio de Ingeniería Hidráulica SA

² Ing. Hidráulico y Portuario, Vice Presidente EIH Estudio de Ingeniería Hidráulica SA

³ Ing. Hidráulico y Civil, Presidente EIH Estudio de Ingeniería Hidráulica SA

alternativas (técnico, económico, ambiental y social), llevó a sugerir las dimensiones de canal más conveniente desde Nueva Palmira hasta Paso de los Libres.

En el año 2003 se ejecutó la Fase 2 de este proyecto. La misma consistió en desarrollar los anteproyectos de dragado (construcción y mantenimiento) y señalización, para la alternativa seleccionada en la Fase 1, subdividiendo el tramo total en los 4 subtramos de diferentes calados y embarcaciones tipo, más arriba descriptos.

El tramo Nueva Palmira-Concepción, incluido en la presente licitación, se ha diseñado para la navegación de un Buque tipo Panamax, de 224 m de eslora y 32 m de manga con calados de 25 pies. Para el subtramo Concepción-Paysandú el proyecto de canal fue desarrollado para un buque oceánico de 190 m de eslora con calados de 19 pies.

En el año 2004, el Proyecto residual CARU-CTM SALTO GRANDE Y UNION EUROPEA, decidió incluir un estudio denominado "Mejoramiento Inmediato", para el tramo Concepción-Salto. El mismo consistió en el diseño y correspondiente proyecto de dragado y balizamiento para un convoy de mínimas dimensiones (3 barcazas), contemplando para su construcción y mantenimiento equipos disponibles por la Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables (RA) y boyas económicas de menores dimensiones.

Desde entonces y hasta la fecha se ejecutaron varios estudios y relevamientos de campo que permiten analizar la evolución morfológica que han tenido los diferentes pasos críticos, especialmente en el subtramo Nueva Palmira-Concepción.

En el antecedente del año 2003 (Fase 2 del Proyecto CARU/CTM/UE), se contemplaron, además de la traza usual del canal en aquel momento, dos variantes de cambios de trazado. Una de ellas reemplazando los pasos Filomena por el Canal del Burro, y la otra reemplazando los pasos Ñandubaysal y Abrigo por el brazo norte de la Isla Zapatero. El primer cambio de ruta resultaba conveniente, no así el segundo. Se realizaron los cálculos de volúmenes de material a extraer para cada uno de los 29 pasos que en aquel momento presentaba este tramo (incluyendo las trazas alternativas). Se contemplaron las revanchas bajo quilla, por efecto de dunas, y el correspondiente sobredragado adicional para alojar sedimentación entre mantenimientos. Se obtuvieron volúmenes de dragados de construcción de aproximadamente 7,8 millones de m³ de materiales sueltos y 150 mil m³ de materiales compactos. El volumen de mantenimiento anual se estimó en aproximadamente 2,8 millones de m³. Para cada obra de dragado (pasos de navegación) se seleccionó la ubicación más conveniente para el vertido del material extraído. El sistema de señalización se resolvió con la instalación de 114 boyas tipo II B metálicas.

En la actualidad (año 2012), el trabajo realizado por el consorcio EIH SA - INCOCIV, consiste en una actualización y complementación de los proyectos desarrollados en la Fase 2 (año 2003) para los subtramos Punta Gorda-Concepción y Concepción-Paysandú, incluyendo además el canal de Acceso al Puerto de Concepción, en el primer tramo.



Fig. 1: Localización del área estudiada
Fuente: EIH S.A.

EL SISTEMA ACTUAL Y LOS COMPONENTES DEL ESTUDIO REALIZADO

Como en todo río de llanura, los lugares con anchos de canal y profundidades determinantes, varían en su ubicación y dimensiones. No obstante, en toda hidrovía fluvial, trazada en un cauce natural cuyo lecho está fundamentalmente conformado por sedimentos sueltos, las condiciones morfológicas del río están continuamente cambiando. Por ello, es necesaria la actualización de los proyectos de dragado de construcción y mantenimiento, como así también del sistema de señalización. Conforme a las modificaciones del thalweg (zona más profunda) del río, cambia la traza del canal de navegación y por ende el diseño del mismo en sus diferentes pasos críticos.

En términos generales, el estudio se conformó por tres grandes ejes, de los cuales se destaca en este documento aquel correspondiente al proyecto técnico. Dichos ejes condicionaron en todo momento las acciones, comenzando por el plan comunicacional, realizado y llevado adelante durante la etapa del proyecto, siguiendo por el proyecto técnico y complementando en forma permanente con el estudio de impacto ambiental, que avanzó en paralelo con los aspectos técnicos.

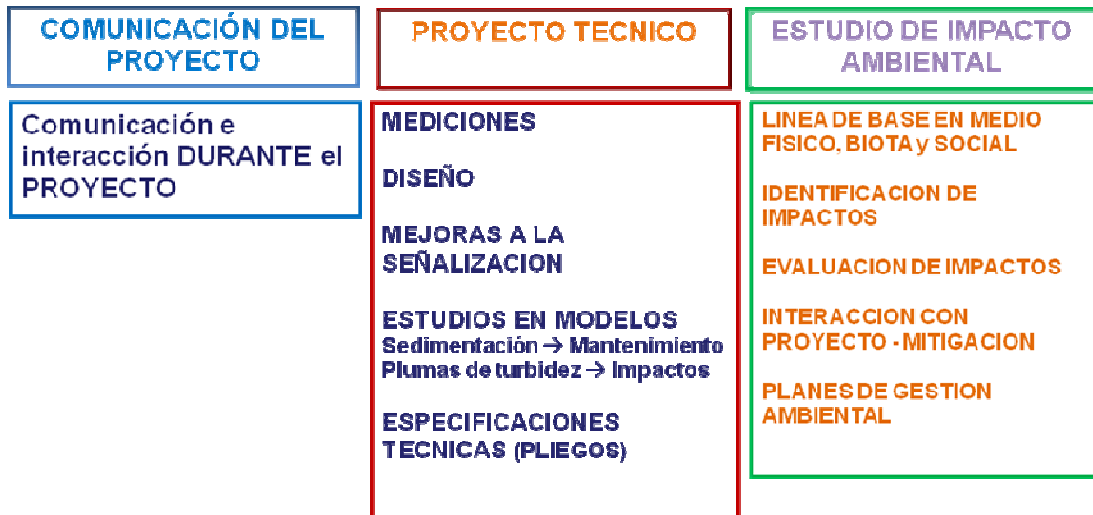


Fig. 2: Ejes principales del proyecto
Fuente: EIH S.A.

Para realizar el estudio aquí descrito, se consideró importante tener en cuenta el criterio de aprovechar al máximo las condiciones naturales que brinda este río. Ello consiste en hacer coincidir la traza del canal de navegación por las zonas naturalmente más profundas, y en el caso de pasos críticos, buscar la manera de diseños de canal que, conservando maniobras seguras a la navegación, impliquen menores volúmenes de obras de dragado de construcción y mantenimiento.

Este criterio no solo busca minimizar costos sino además el impacto ambiental de las obras. Debido a la morfología natural continuamente cambiante de este río, se entiende que la alternativa de modificar la traza buscando siempre las mejores profundidades naturales será la solución económica y ambientalmente más conveniente.

Otro criterio importante que se ha tenido en cuenta es la adecuada ubicación del material extraído de los pasos críticos, ya sea para su construcción como para su mantenimiento. Se pretende que estos dragados no cumplan solo una función paliativa (quitar sistemáticamente el sedimento depositado por la corriente), sino además intentar una función correctiva (para que la corriente a futuro deposite menos sedimentos en ese paso), a través de la adecuada ubicación del material extraído.

Estos dos criterios de diseño contemplados simultáneamente en los proyectos de dragados realizados permitirán una hidrovía segura con menor intervención antrópica y por ende con impactos económicos y ambientales mínimos.

El tramo Punta Gorda-Concepción del Uruguay presenta a su vez 2 subtramos marcadamente diferentes, desde el punto de vista hidrosedimentológico de este río.

Desde Concepción del Uruguay hasta Fray Bentos el río presenta lechos de arenas (excepto en el paso Montaña donde se ha comprobado mediante cateos la presencia de suelos duros), y el cauce se subdivide en varios brazos que se entrecruzan generando diferentes posibilidades de traza del canal de navegación. La ruta navegable presenta numerosos pasos críticos con variaciones morfológicas continuas y consecuentes dragados de mantenimiento frecuentes.

Desde Fray Bentos hasta Punta Gorda las características hidrosedimentológicas del río Uruguay cambian notablemente. Desaparecen los cauces de arenas entrecruzados y con alta variabilidad morfológica temporal, para transformarse en un único cauce, muy ancho de gran sección y escasas velocidades de corriente, condiciones propicias para la depositación, además de arenas, fundamentalmente, de sedimentos finos (limos y arcillas) que obligan a dragados de mantenimiento importantes, pero en un menor número de pasos críticos.

En el tramo Concepción del Uruguay – Paysandú, los problemas de calado se presentan en la zona denominada Almirón – Casablanca. En dicho lugar existen tres alternativas de canal denominadas Almirón Grande y Almiró Chico, Casablanca, y Almirón Grande y Urquiza.

Así, el proyecto técnico incluyó principalmente entre sus tareas complementarias:

- Una revisión crítica de los antecedentes disponibles, especialmente los resultados de la Fase 2 del Proyecto de CARU-CTM-UE, y contemplando todos los estudios de campo que se hallan realizado desde entonces a la fecha. Esto permitió obtener un diagnóstico actualizado a la fecha, y determinar los pasos críticos con mayores problemas y/o volúmenes de obras de dragado.
- La realización de mediciones y estudios de campo que permitieron definir la morfología detallada de cada paso de navegación, las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas en los mismos, y la posición y estado del sistema de señalización.
- La realización de relevamientos longitudinales generales de todo el canal, y posteriormente relevamientos batimétricos y mediciones hidráulicas y sedimentológicas detalladas en los pasos críticos más importantes, y sobre los cuales no se disponía de información actualizada.
- En el caso de posibilidades de trazas alternativas se realizaron también los relevamientos longitudinales generales y detallados, más arriba descriptos. Todos estos trabajos y los resultados obtenidos se presentan en el ítem estudios de campo y laboratorio realizados.
- Relevamiento detallado del sistema de ayudas a la navegación existente en la actualidad, e identificación de sus diferencias, errores o faltantes con respecto a un sistema de balizamiento compatible con el Sistema IALA-AISM.

DETALLES TECNICOS

El proyecto tuvo como objetivo general, lograr establecer las pautas que permitan mejorar las condiciones de navegabilidad, bajo el lema de seguridad y economía, a través del proyecto de un canal con dimensiones suficientes, tanto en profundidad disponible como en ancho, y a través de la introducción de un sistema de señalización adecuada, todo esto en armonía con el medio ambiente.

OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO



Fig. 3: Localización del área estudiada
Fuente: EIH S.A.

Embarcaciones de diseño

Para la selección de la embarcación de diseño; es decir, aquella que define las magnitudes del canal necesario para lograr que el tránsito de la misma por el río pueda sortear en condiciones adecuadas de seguridad los obstáculos que hoy se presentan a la navegación, se diferenciaron 2 diferentes para los tramos principales.

En el tramo desde el Km 0 del Río Uruguay hasta el Km 187,1, incluido el canal de acceso al Puerto de Concepción el proyecto se realizó para un buque de diseño tipo Pánamax de dimensiones aproximadas 224 m de eslora, por 32 m de manga para navegar con 23 pies (7.01 m) de calado y 2 pies (0,61 m) de tolerancia, o revancha de seguridad bajo quilla. El ancho de canal en tramos rectos fue fijado por la CARU en 100 metros.

Para el tramo entre el Km 187,1 y Km 206,8 (Puerto de Paysandú) se utilizó para el diseño un buque fluvial navegando con 17 pies (5,18 m) de calado y 2 pies (0,61 m) de revancha bajo quilla. El ancho de canal en tramos rectos fue fijado por la CARU en 80 metros.

A los efectos de calcular los sobreanchos en curvas para el tramo Concepción del Uruguay – Paysandú fue necesario adoptar dimensiones de un buque tipo. Para ello, se consideraron las siguientes alternativas:

a) Teniendo en cuenta que los anchos de canal en tramos rectos se relacionan con la manga del buque de diseño, se puede determinar que en la ruta de 23 pies esta relación es $B/M = 100/32 = 3,125$. De esta manera la manga del buque tipo para el tramo de 17 pies resultaría $80/3,125 = 25,6$ metros. A partir de esta manga del buque de diseño, se presentarían dos opciones:

- Que el buque tipo de este tramo mantenga la relación Eslora/Manga de un Panamax ($224/32 = 7$), con lo cual la eslora del buque tipo del tramo con 17 pies resultaría de ($25,6 \times 7 =$) 179,2 metros; ó
- Que el buque tipo tuviera la relación Eslora/Manga de un buque maderero de los más grandes que arribaran al Puerto de Concepción del Uruguay; el Thomas C, de 188 m de eslora y 32 m de manga, o sea $E/M = 188/32 = 5,875$. En este caso la eslora del buque tipo resultaría de ($25,6 \times 5,875 =$) 150,4 metros.

b) En el antecedente CARU/CTMSG-Union Europea (año 2003) para este tramo de ruta se adoptó como buque de diseño el Thomas C (mayor embarcación maderera arribada al Puerto de Concepción del Uruguay), cuya eslora es de 188 metros.

A los efectos de diseñar un canal de navegación manteniendo una postura conservativa, se considera adecuado que para los cálculos de los sobreanchos en curvas se adopte un buque de 190 m de eslora, en el tramo de 17 pies.

Los buques petroleros que arriban al puerto de ANCAP son todos de menores dimensiones que el adoptado. Si se tratara de un convoy de barcazas tipo mississippi (11x60m), este canal resultaría seguro para un convoy de 9 barcazas (en formación de 3x3), ya que el calado requerido (10 pies) es sustancialmente menor al del canal dragado (17 pies). En el caso de barcazas tipo Paraná (15x80m) podrían navegar convoyes de 4 unidades (en formación 2x2).



Fig. 4: Embarcaciones de diseño según tramos
Fuente: EIH S.A.

Diseño del canal de navegación

Para el diseño del canal, se realizó primeramente un estudio de la profundidad de dragado en los pasos, teniendo en cuenta:

1. Niveles de referencia: Se realizaron análisis estadísticos de niveles diarios en los hidrómetros de Nueva Palmira, Fray Bentos, Boca Gualeguaychú, Campichuelo, Concepción del Uruguay, Paysandú y Colón. En base a este análisis se determinaron niveles superados durante el 90% del tiempo. Los mismos fueron adoptados para determinar las profundidades del canal proyectado.
2. Profundidades náuticas mínimas: Se consideró el calado de diseño con el que se pretende la navegación en cada tramo (23 piés entre Concepción del Uruguay y Nueva Palmira, y 17 piés entre Paysandú y Concepción del Uruguay), mas los valores que resultaron de la consideración de los márgenes de seguridad requeridos (2 pies, según pliegos de CARU), y las sobreprofundizaciones para absorber los efectos debidos a la presencia de dunas y las sedimentaciones esperadas entre sucesivos dragados de mantenimiento.
3. Sobreprofundidades por efecto dunas: Se contemplaron las mediciones realizadas durante el trabajo y las facilitadas por CARU de los estudios antecedentes, dando prioridad a las mediciones actuales (año 2012), por sobre los antecedentes; debido a que durante las mediciones de 2012 los niveles de agua permanecieron bajos y muy próximos a los niveles de referencia adoptados (90% superados serie 1980-2011). Estas revanchas por dunas se calcularon como un 40% de las alturas medias de dunas adoptadas. Este valor surge de los coeficientes de forma medios que poseen las dunas, debido a lo cual las crestas de las mismas se sobreelevan un 40% de su altura, por sobre el nivel medio del lecho. En el acceso al Puerto de Concepción del Uruguay no se incluyó sobreprofundidad por dunas debido a que en los relevamientos de campo de esta zona no se observaron formas de fondo de dimensiones significativas
4. Sobreprofundidades para sedimentaciones entre mantenimientos: se adoptaron variables entre 1 pié (pasos con bajas alturas de corte y consecuentes tasas de sedimentación bajas) y 3 piés (pasos con elevadas alturas de corte y consecuentes tasas de sedimentación altas esperadas).

5. Sobredragado técnico: Se contempló de manera general para todos los pasos críticos un sobredragado técnico de 30 cm en toda la superficie de la solera del canal que requiere dragados, según las condiciones de proyecto.

En resumen de lo anterior, las profundidades de dragado de construcción del canal se determinan en cada paso “colgando”, o restando, de los niveles de diseño las siguientes dimensiones:

- Calados: 17 pies ó 23 piés para cada tramo de ruta.
- Revanchas por seguridad bajo quilla: 2 pies en ambos tramos.
- Revancha por efecto dunas: variables por paso.
- Sobreprofundidad o revancha por sedimentación: variable por paso.

Definidas las embarcaciones de diseño y las profundidades necesarias para cada uno de los tramos involucrados en el presente trabajo, se procedió a desarrollar el diseño del canal de navegación, el que involucra la determinación de las dimensiones del mismo, tanto en tramos rectos como en curvas, resolviendo las particularidades correspondientes a cada uno de los pasos existentes. A tales efectos se procedió de la siguiente manera.

Se conformó una base planialtimétrica morfológica de los dos tramos de ruta de navegación utilizando la siguiente información:

- Cartas de navegación del SOHMA.
- Relevamiento general de la DNVN del año 2006.
- Relevamientos detallados actualizados disponibles (año 2012) provistos por CARU que incluyeron los siguientes pasos críticos: Marquez Inferior, Marquez Medio, Marquez Superior, Punta Amarilla, Punta Caballos, Tres Cruces, Filomena Inferior, Filomena Superior, Almirón Chico y Almirón Grande.
- Relevamientos detallados realizados por EIH-INCOCIV, durante Julio y Agosto de 2012, de los siguientes pasos críticos: Filomena Medio, El Burro, Bonfiglio, Roman, Montaña Superior, Altos y Bajos Inferior, Medio y Superior, Garibaldi, Arroyo Negro Inferior y Superior, Urquiza, Casablanca, y acceso al Puerto de Concepción del Uruguay.
- Relevamientos longitudinales realizados por EIH-INCOCIV, durante Julio y Agosto de 2012, de los siguientes pasos críticos: Barrizal, Abrigo, Ñandubaizal, San Lorenzo, Banco Grande, Banco Frances, y San Genaro.
- Señalización actualizada (año 2012) facilitada por CARU.
- Ubicación actualizada (2012) de zonas de vaciaderos o depósitos de materiales dragados autorizadas por CARU.

Sobre esta información planialtimétrica integral se procedió a trazar el eje del canal de navegación. Este eje ha sido materializado mediante una poligonal con numerosos vértices (aproximadamente 100 para los dos tramos). Para ello se consideraron los siguientes criterios:

- A modo de referencia, se tuvieron en cuenta: la traza diseñada en el Proyecto CARU/CTMSG-Unión Europea (año 2003), la traza del año 2006 (DNVN), y la señalización actualizada (año 2012) facilitada por CARU.
- En los tramos entre pasos, se utilizó el criterio de llevar el eje por la zona más profunda natural disponible, intentando tramos rectos de la mayor longitud posible, con cambios de dirección suaves, ó quiebres de traza (vértices) de reducidos ángulos. Siempre que fue posible se utilizaron vértices con ángulos inferiores a 7°, de manera de no requerir luego el trazado de curvas. Solo en los casos en que estos diseños involucraban obras de dragado, se aumentaron los ángulos de los vértices, pero, lo mínimo necesario que permitiese minimizar volúmenes de dragados.
- En los tramos entre pasos, en los casos de vértices con ángulos mayores a 7°, se trazaron curvas con radios lo suficientemente extensos (inicialmente equivalentes a 10 esloras) para incluir sobreamanchos mínimos. Solo en casos de que este diseño involucrara obras de

dragado, se redujeron los radios lo mínimo posible hasta lograr, aunque a expensas de aumentar los sobreanchos, los menores volúmenes de dragados posibles.

- En los pasos críticos, el diseño del eje en planta fue el resultado de un proceso iterativo probando con diferentes longitudes de tramos rectos y combinaciones de ángulos y radios de curvas, de manera de minimizar obras de dragado.
- En base a los muestreos de campo y estudios de laboratorio, tanto de los sedimentos superficiales como los resultantes de los cateos en profundidad, se analizaron las pendientes de los taludes laterales estables, en función del tipo de suelo.
- En las curvas, se determinaron los sobreanchos necesarios a partir de evaluar cuatro metodologías, a saber: a) Las recomendaciones de PIANC - ENGINEER MANUAL EM 1110 - 2 -1611 (COE U.S.A.) Y PORTS AND WATERWAYS INSTITUTE LOUISIANA STATE U.S.A., b) Método del "Canadian Coast Guard", c) Fórmula de Kiel, y d) Manual del U.S. Army Corps of Engineers EM 1110-2-1613 "HYDRAULIC DESIGN OF DEEP DRAFT NAVIGATION PROJECT". Se realizó un análisis comparativo de resultados obtenidos con cada método, concluyéndose que para el proyecto de dragado corresponde adoptar los sobreanchos obtenidos por el Método 1, ya que a diferencia de los demás considerados, contempla como elementos del cálculo la velocidad de la corriente y el sentido de la navegación; variables consideradas de fundamental importancia en las maniobras de giro, debido a su efecto sobre las derivas ocasionadas en los desplazamientos de las embarcaciones. Su adopción genera sobreanchos seguros y un proyecto que económicamente optimiza volúmenes de obra.
- Bajo los mismos criterios, pero analizando cada caso en forma particular, se adoptaron los sobreanchos en las travesías que presenta la ruta en la zona de pasos críticos, desde el Puerto de Paysandú hasta el Puerto de Nueva Palmira.

Obras de dragado

El estudio de las obras de dragado incluyó una diferenciación entre los volúmenes necesarios para el dragado de apertura, respecto del estudio y cálculo de los volúmenes de dragado de mantenimiento.

Para los volúmenes de dragado de apertura, y en base a los diseños detallados del canal de navegación en cada paso crítico, incluyendo sobreanchos, sobreprofundidades y taludes laterales más arriba descriptos, se procedió a los cálculos de los volúmenes de obras de dragado de construcción, basando en el análisis de las morfologías del lecho del río, más actualizadas posible, obtenidas de: a) Relevamientos detallados ejecutados por La Consultora, durante el estudio (Julio/Agosto 2012) en el canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay, y en 14 pasos, b) Relevamientos de perfiles longitudinales por el eje y veriles, ejecutados por La Consultora, durante el estudio (Julio/Agosto 2012), en 6 pasos, c) Relevamientos detallados ejecutados en el año 2012 por el SOHMA en los pasos de Almirón, y d) Relevamientos detallados ejecutados en el año 2012 por la DNVN, en 6 pasos.

Con la base morfológica descripta, se tomaron los diseños detallados del canal de navegación, se contemplaron sobreanchos técnicos, o tolerancias de obra, de 3m a ambos lados de la solera del canal, se establecieron los taludes en cada tramo y se calcularon los volúmenes de dragado de apertura, que se resumen a continuación.

Volúmenes de construcción de canal para buque tipo Panamax con 23ft de calado – Tramo Concepción del Uruguay – Nueva Palmira:

- El volumen de obras de dragado de construcción por la traza actual, entre Concepción del Uruguay y Nueva Palmira es de: 3.244.394 m³. El volumen de obra extra generado por el sobredragado técnico es de: 997.655 m³.
- Por su parte, el canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay tiene un volumen de construcción de 203.130 m³ con un sobredragado técnico de 28.590 m³.
- El volumen de obras de dragado de construcción por la traza alternativa por el Canal del Burro, entre Concepción del Uruguay y Nueva Palmira es de: 3.456.418 m³. Es decir

212.024 m³ más (6,5% más). El volumen de obra extra generado por el sobredragado técnico es de: 926.950 m³. Este incremento en el volumen de construcción quedaría más reducido en costos, por cuanto el dragado del Burro es en un mismo lugar, en cambio, en el caso de los tres pasos Filomena, si bien el volumen total es menor, se agregan tiempos y costos adicionales de movilización y reubicación de equipos hacia dos lugares más.

- El alto volumen de construcción que implica el paso Roman en cambio de Bonfiglio, sumado a su alta tasa de sedimentación, no justifican cambiar la traza actual en esta zona.

Volúmenes de construcción de canal para buque Fluvial de 17ft de calado – Tramo Paysandú - Concepción del Uruguay.

- El volumen de obras de dragado de construcción por la traza actual, entre Paysandú y Concepción del Uruguay es de: 542.853 m³. El volumen de obra extra generado por el sobredragado técnico es de: 90.845 m³.
- El volumen de obras de dragado de construcción por la traza alternativa Urquiza (incluyendo Almirón Grande), entre Paysandú y Concepción del Uruguay es de: 609.496 m³. El volumen de obra extra generado por el sobredragado técnico es de: 107.930 m³.
- El volumen de obras de dragado de construcción por la traza alternativa Casablanca, entre Paysandú y Concepción del Uruguay es de: 605.762 m³. El volumen de obra extra generado por el sobredragado técnico es de: 89.090 m³.

Por otro lado, La estimación de los volúmenes de mantenimiento fue realizada sobre la base de los estudios de sedimentación realizados por aplicación de técnicas de modelación matemática, mediante algoritmos reconocidos para el transporte de sedimentos en ríos y su balance en el entorno de los pasos bajo investigación.

A los fines de la cuantificación de los volúmenes de mantenimiento se siguieron los siguientes criterios:

- Para los pasos modelados se consideró el volumen de sedimentación resultante de la modelación, salvo en los casos en que los resultados de esta fueran inferiores al 10% del volumen de apertura, en cuyo caso se toma este último valor.
- Para los pasos no modelados (tramo tramo Km 0 – Concepción), se adoptó un valor porcentual del volumen de apertura. Siendo que para los pasos modelados resulta una relación entre sedimentación y apertura del orden del 20 % y que del análisis de los volúmenes

El objetivo de la implementación de los modelos matemáticos reside en estimar cuantitativamente los volúmenes de sedimentación esperables para las diferentes alternativas de dragado propuestas, así como evaluar impactos sedimentológicos e hidrodinámicos como consecuencia de la profundización de la ruta de navegación y el vertido durante las actividades de dragado.

El proceso completo consistió en la utilización de dos modelos matemáticos: a) un modelo general hidrodinámico de toda la zona de estudio y b) modelos hidrodinámicos y sedimentológicos de detalle de 5 zonas que incluyen pasos de importancia para la navegación.

El modelo general está basado en la plataforma HEC-RAS desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Este modelo fue aplicado a todo el tramo Salto Grande – Nueva Palmira y de su aplicación se obtuvieron los niveles y velocidades a lo largo del Río Uruguay para diferentes condiciones hidrodinámicas y se evaluó el impacto de las obras en el perfil de niveles del tramo a dragar. Por otra parte, este modelo se utilizó para extraer las condiciones de niveles y velocidades que fueron utilizadas en los modelos bidimensionales de detalle.

El modelo general se configuró con la información disponible geométrica, hidrométrica y de caudales. Luego fue calibrado y validado utilizando información histórica de caudales y niveles. La calibración consistió en seleccionar un período de 6 meses continuos, y ajustar los parámetros del modelo en función de la comparación de niveles simulados con niveles registrados en 4 secciones a lo largo del tramo modelado. Una vez logrados resultados favorables, se consideraron otros 3 períodos históricos diferentes, de duración similar, con los cuales se validó, obteniéndose resultados favorables. El modelo general calibrado se utilizó para evaluar el impacto de las obras

de dragado en los niveles del Rio Uruguay y para generar las condiciones de borde para el modelo hidrosedimentológico de detalle.

Por otro lado, el modelo de detalle está basado en la plataforma Delft 3D desarrollada por Deltares en Holanda. Este modelo se aplicó para 5 zonas, cada una de las cuales incluye uno o más pasos y sus eventuales alternativas de dragado. Cada zona se configuró geoméricamente en función de los datos batimétricos y topográficos disponibles. El comportamiento hidrodinámico de los modelos de detalle se calibró mediante la comparación de los resultados con datos de caudales y velocidades medidas en campañas de campo realizadas en Agosto de 2012.



Fig. 5: Pasos críticos modelados
Fuente: EIH S.A. sobre base Google Earth

La configuración sedimentológica de los modelos de detalle se basó en un análisis estadístico de los sedimentos tomados en muestreos a lo largo de cada paso, y con la cual se determinaron 4 fracciones de sedimentos y se asignaron diámetros característicos a cada fracción. Estos modelos se utilizaron para estimar la sedimentación media anual en los canales dragados.

Como la sedimentación tiene un comportamiento no lineal frente a los caudales, la sedimentación media anual debe tener en cuenta un rango de caudales representativo para el Rio Uruguay. La modelación de un período prolongado con los modelos de detalle no es factible por falta de información para las condiciones de borde (especialmente niveles) y por los tiempos de simulación. Por tal razón, se realizó un análisis estadístico de los caudales erogados por la presa Salto Grande en los últimos 32 años, con el cual se determinaron 7 rangos de caudales de referencia, cada uno de los cuales tiene asignadas frecuencias de ocurrencia y duración media de cada evento y con los cuales se podía aplicar un procedimiento de integración de resultados.

De esta manera, se realizaron simulaciones de cada modelo de detalle para estos 7 rangos de caudales y los resultados fueron integrados según su frecuencia para obtener la sedimentación

media anual en cada zona dragada dentro del modelo. Los resultados de este procedimiento fueron luego utilizados para determinar los dragados de mantenimiento y la viabilidad de las alternativas de navegación.

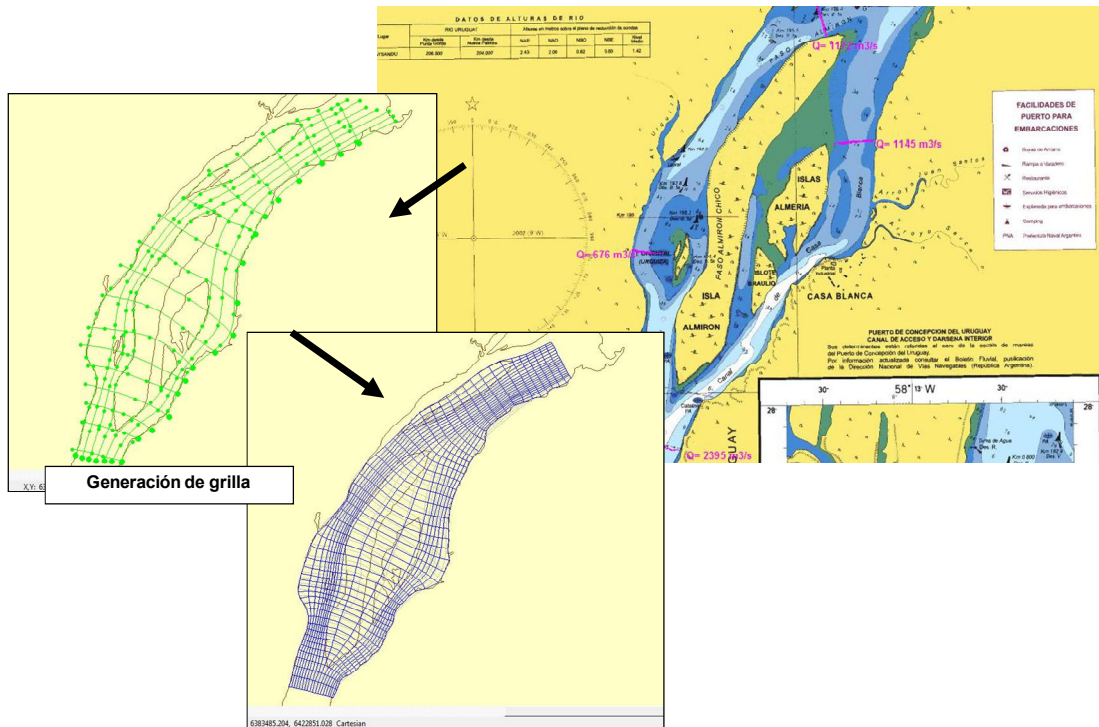


Fig. 6: Configuración geométrica del modelo detallado en Pasos
Fuente: EIH S.A

Los resultados finales obtenidos para cada paso fueron los siguientes:

Zona	Paso	Sedimentación Anual Media (m3)
1	Marquez	36.800
2	Filomenas	125.500
	Alt. Burro	25.500
3	Roman	21.600
	Bonfiglio	22.200
4	Arroyo Negro	45.000
	Garibaldi	105.000
	Altos y Bajos	110.800
5	Almiron Grande	4.500
	Almiron Chico	77.800
	Urquiza	111.400
	Casablanca	19.000

Equipos de dragado

Concluidos los cálculos de volúmenes de dragado, se definieron las características mas apropiadas para los equipos de dragado a utilizar, analizando aspectos que resultan determinantes para la definición de las características del equipo necesario, como ser el tipo de material a excavar, profundidad, volúmenes, condiciones medio ambientales e hidrográficas, lugares de vaciado, distancias, etc.

En todos los pasos involucrados en el tramo bajo estudio es posible remover el material mediante técnicas convencionales de dragado, básicamente por medio de dos tipos de dragas, a saber: dragas de succión por arrastre con cántara (DCA) (también denominadas dragas de succión en marcha) y dragas de succión con cortador (DCO).

Para el paso Montaña y el canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay, se propone la utilización de DCO y también para los pasos Banco Grande, Banco Francés y Filomena Medio, estos últimos debido a las condiciones de acceso a las áreas de vaciado / refulado.

Para el dragado de todos los demás pasos de los dos tramos se propone una Draga de succión por arrastre con cántara, de medianas dimensiones (3000 – 4000 m³ de cántara).

El tramo exterior del canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay podría también realizarse con DCA, aunque se ha optado por considerar una DCO, que trabaja anclada y no se ve sometida a la acción de las corrientes que en este tramo actúan de través a la draga.

Áreas de vertido

Con el objetivo de evaluar el impacto que provocan en forma temporaria, las tareas de vaciado del material dragado, se configuró una serie de simulaciones para cada zona, asumiendo un punto de vaciado por cada simulación, y evaluando la extensión geográfica y temporal de los impactos producidos por el volcamiento, o también llamadas plumas de turbidez.

Esta evaluación depende básicamente de los siguientes factores:

- Tipo y características físicas del material sólido vaciado
- Cantidad de material vaciado
- Duración de la tarea de vaciado
- Concentración de la mezcla
- Condiciones hidrodinámicas reinantes en el medio receptor
- Localización de las áreas de vaciado.

De acuerdo con los equipos que se prevé utilizar en las tareas de dragado, la condición más desfavorable es aquella provocada por una draga de cortador, puesto que su metodología de trabajo implica una descarga continua e ininterrumpida durante todo el intervalo de producción.

En términos prácticos, un dragado de estas características se caracteriza por una producción diaria de 14hs de trabajo, a un rendimiento de 450m³/h. Considerando la densidad in situ del material, junto con la concentración de la mezcla, se estima la cantidad de sedimentos a ser volcados, y el caudal correspondiente.

Concretamente, y de acuerdo con los cateos disponibles, considerando las densidades in situ características de cada zona, junto con la producción de las dragas, y asumiendo un 20% de material sólido en el "slurry" de dragado, se obtienen las condiciones de simulación adoptadas. Así, de acuerdo con las limitaciones técnicas de la actividad de dragado, se evaluaron los escenarios R1 (2.300 m³/s), R2 (6.250 m³/s) y R3 (8.500 m³/s), ya que los dos escenarios faltantes están asociados a niveles hidrométricos más elevados, y velocidades más grandes de escurrimiento, por lo que la actividad de dragado en general no se realiza, o se hace a una muy baja productividad.

Se analizaron 13 áreas de vaciado, localizadas en los pasos modelados considerando la peor de las condiciones, sobre la hipótesis de descarga en los extremos de aguas abajo de cada una de las áreas.

Los resultados obtenidos, permitieron evaluar la extensión de las plumas de turbidez, considerando un umbral mínimo de concentración de referencia, de valor 0,05 a 0,1 Kg/m³, que en términos generales no afecta a la calidad del agua y su ecosistema natural. Con este concepto, se evalúan las distancias desde la zona de vaciado propiamente dicho hasta las zonas donde las concentraciones se consideran mínimas. En tales condiciones, modelo de simulación bidimensional, arrojó distancias del orden de los 500 m como extensión máxima característica, para caudales bajos y medios.

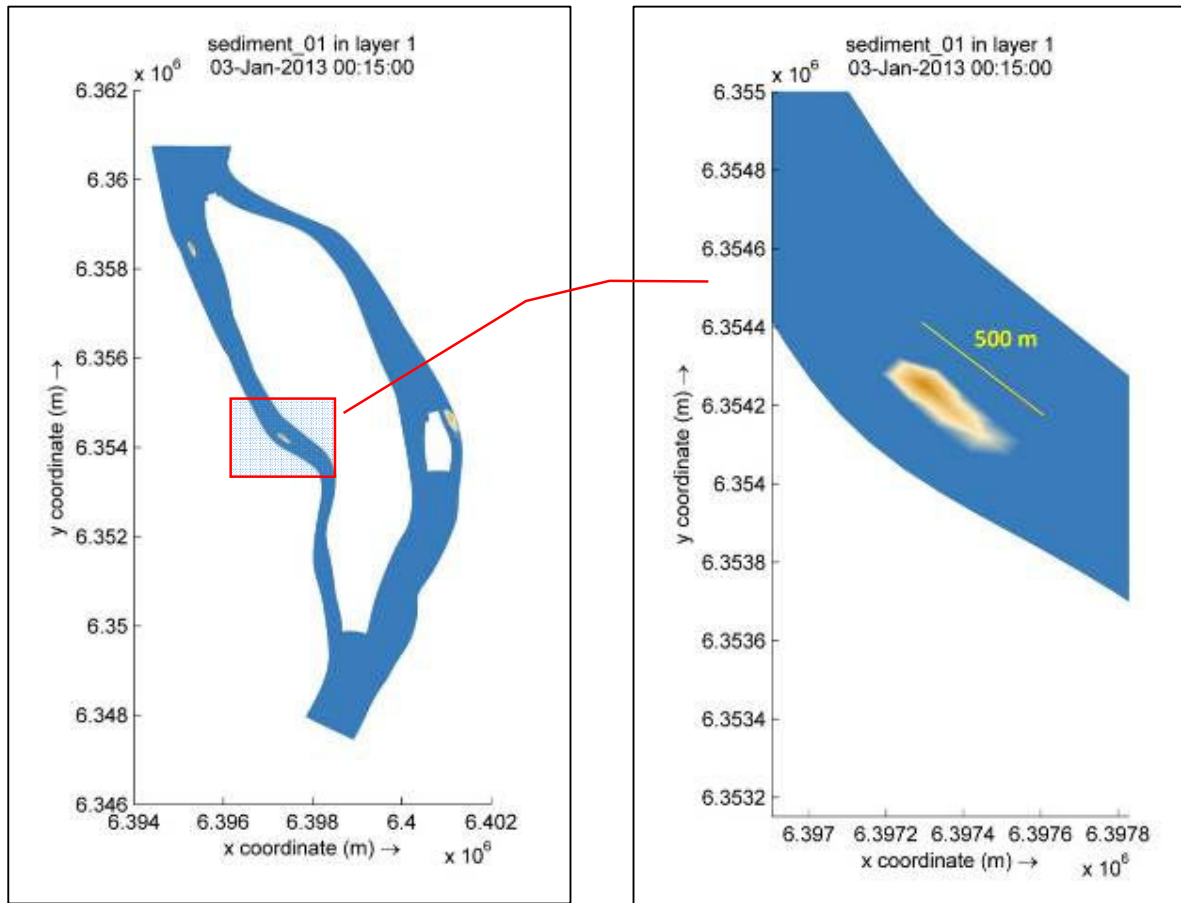


Fig. 7: Modelación de las plumas de turbidez
Fuente: EIH S.A.

Señalización

Bajo la premisa de potenciar el transporte fluvial y no afectar al medio ambiente, se ha diseñado el sistema de balizamiento del proyecto respetando el medio ambiente, posibilitando la navegación de los buques de diseño con fluidez y seguridad durante el día y la noche, durante todo el año, aún bajo dificultades meteorológicas esperables como las lluvias, nieblas, humos y la combinación de estos.

Así, el proyecto de señalización corresponde al canal diseñado para las condiciones de navegación y los buques de diseño, manteniendo la sectorización del existente, a saber:

- Canal de navegación desde el límite con el Río de la Plata hasta Concepción del Uruguay (Kms. 0 a 187).
- Canal de Acceso al Puerto de Concepción de Uruguay.
- Canal de navegación desde Concepción del Uruguay hasta Paysandú (Kms. 187 a 206,8).
- Adicionalmente, se prevé la señalización de los tramos alternativos que podrían formar parte de la ruta de navegación.

Luego de una campaña de reconocimiento y análisis crítico de la señalización náutica existente, se diseñó el proyecto de señalización, procurando reutilizar parte del sistema existente y previendo nuevas señales acorde al sistema IALA-AISM. Conceptualmente, el proyecto implica:

- Reutilización del material de boyado en acero existente, a excepción del cuerpo superior de las boyas.

- Construcción de nuevos Cuerpos Superiores de las boyas reutilizadas, adoptando las nuevas características físicas de diseño. Esto, además de disminuir los costos de implementación, mantendrá todas las tareas a realizarse, dentro del alcance de la mano de obra local, tanto argentina como uruguaya.
- Construcción de todo el material de boyado necesario para completar, junto a los equipos recuperados del punto anterior, las cantidades correspondientes al total del nuevo sistema de balizamiento. Esto incluye, Cuerpos flotantes, Cuerpo superior, Marcas de Tope, Tren de Amarre, Muertos de Anclaje, Equipamiento lumínico, Carteles, etc.
- Mejorar la respuesta como eco radar de las boyas al modificarse el diseño del Cuerpo Superior de las boyas (Nuevas y Existentes) con el agregado en algunas boyas de Pantallas Reflectoras Radar; para solo algunos casos de boyas cuya señalización es muy importante se agregan identificadores automáticos AIS AtoN.
- Mejorar la respuesta y disponibilidad de los equipos lumínicos de todas las boyas (nuevas y existentes) migrando en los casos faltantes a luces con tecnología de LDEs. (mayores horas de vida, color más definido, bajísimo consumo de energía eléctrica).

COSTOS

La estimación de costos del proyecto se realizó en forma referencial, itemizando la obra de acuerdo al siguiente esquema:

- Costos mensuales de operación de equipos de dragado y balizamiento.
- Costos de dragado de apertura
- Costos de dragado de mantenimiento
- Costos de construcción del sistema de señalización
- Costos de mantenimiento del sistema de señalización

En resumen, para la etapa de construcción los costos (incluyendo un sobredragado técnico) son:

- **COSTO TOTAL POR CANAL ACTUAL** (con sobredragado técnico de 0,30 m)
 - Tramo Km 0 – Concepción del Uruguay: USD 32.897.805.-
 - Tramo Concepción del Uruguay - Paysandú: USD 2.839.974.-
 - TOTAL (ambos tramos): USD 35.737.778.-
- **COSTO TOTAL POR ALTERNATIVA EL BURRO** (con sobredragado técnico de 0,30 m)
 - Tramo Km 0 – Concepción del Uruguay: USD 30.676.604.-
 - Tramo Concepción del Uruguay - Paysandú: USD 2.839.974.-
 - TOTAL (ambos tramos): USD 33.516.578.-

De la misma manera, para la etapa de mantenimiento los costos estimados son:

- **POR CANAL ACTUAL**
 - Tramo Km 0 – Concepción del Uruguay: USD 9.075.760.-
 - Tramo Concepción del Uruguay - Paysandú: USD 1.275.620.-
 - TOTAL (ambos tramos): USD 10.351.380.-
- **POR ALTERNATIVA EL BURRO**
 - Tramo Km 0 – Concepción del Uruguay: USD 8.486.815.-
 - Tramo Concepción del Uruguay - Paysandú: USD 1.275.620.-
 - TOTAL (ambos tramos): USD 9.762.435.-

CONCLUSIONES

- En forma general, el desarrollo del proyecto ha permitido:
- Optimizar la traza del canal de navegación en los tramos estudiados
- Caracterizar los suelos existentes
- Definir los equipos más apropiados para las tareas de apertura y mantenimiento
- Elegir las zonas más adecuadas para el vaciado / refulado
- Mejorar el sistema completo de señalización
- Analizar rutas alternativas y compararlas.
- Especificar líneas de gestión ambiental.
- Elaborar especificaciones técnicas para un futuro llamado a licitación para la ejecución de la obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Informe final "Proyecto de Dragado y Balizamiento Río Uruguay desde el Km 0 al Km 206,8" – EIH-INCOCIV – 2012.
2. Archivos personales de los autores.