

7.0 ANÁLISIS DE LA EROSIÓN

7.1 CONSIDERACIONES SOBRE LA EROSIÓN

Existen diferentes mecanismos de erosión de la costa y varios de ellos se presentan en el Puerto Las Palmas. En la Sección 5.1 se realizó el análisis de los cambios morfológicos de largo plazo. Estos consisten en cambios de la configuración del río a nivel macro que se producen por efectos dinámicos tales como el crecimiento o erosión de islas, cambio de orientación del talweg, y otros fenómenos similares. En definitiva, la erosión de las márgenes se produce por desplazamiento lateral del cauce. Es un fenómeno típico en los meandros donde la parte cóncava está sujeta a la presión del flujo y la parte convexa, más tendida, es más propensa a la sedimentación. Para detener este tipo de procesos se deben realizar múltiples intervenciones de fijación de márgenes, probablemente en ambas orillas, lo que está fuera del alcance del proyecto. En el caso de querer proteger un sector puntual, el fenómeno deberá ser tenido en cuenta, por ejemplo, al momento de decidir la cota de fundación de un tablestacado.

En contraposición, existen fenómenos de erosiones localizadas, generalmente provocadas por turbulencias que pueden tener origen en la interposición de obstáculos al flujo (ej. pilotes), o por contracción del flujo (ej. Estribos de puentes). En la Sección 8, para evaluar la necesidad de una protección al pie del tablestacado existente, se analizará uno de estos mecanismos.

En el caso particular de las instalaciones de Prefectura Naval Argentina (PNA) en Puerto Las Palmas también se observó otro mecanismo de erosión, que es el del lavado pluvial. En este caso, fallas en el drenaje del agua superficial provoca el arrastre de sedimentos mediante lavado produciendo erosiones retrógradas (socavaciones). En el caso de PNA se combina erosión fluvial y erosión pluvial.

Finalmente, existen otros mecanismos de erosión que responden a la aceleración del flujo. Por ejemplo, en un flujo encauzado, una crecida implica un aumento de caudal y un aumento de la velocidad de corriente que, a su vez, genera una profundización del cauce. Esta es la denominada erosión generalizada que se analiza en el próximo apartado.

7.2 EROSIÓN GENERALIZADA

En esta sección se evalúa la erosión generalizada en tres perfiles de la zona a proteger, indicadas como A, B y C en la Figura 38.



Figura 38: Secciones para el cálculo de erosión generalizada

El cálculo de erosión generalizada se efectúa a partir de los resultados del modelo, aplicando la fórmula de Lischtvan – Lebediev. La misma se utiliza para evaluar la socavación generalizada que se produce en el lecho durante una crecida debido al aumento de la capacidad de arrastre de material que adquiere la corriente por el incremento de velocidades.

La posibilidad de arrastre de los materiales del fondo en cada punto depende de la relación entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media requerida para arrastrar las partículas del fondo. La primera velocidad depende de las características hidráulicas del curso: pendiente, rugosidad y tirante. La segunda, depende de las características del material del fondo y del tirante.

En líneas generales, al presentarse una crecida aumenta la velocidad del curso de agua, lo cual provoca un aumento del arrastre de material sólido generándose una erosión del fondo. Al aumentar el caudal aumenta la velocidad del agua y aumenta la socavación y la sección hidráulica, hasta alcanzar la socavación máxima de equilibrio asociada al caudal máximo. La etapa de depósito se produce cuando disminuye el caudal y la capacidad de arrastre.

La metodología de Lischtvan – Lebediev presenta dos formulaciones de acuerdo al material del lecho, ya sea granular o cohesivo. En el caso de Puerto Las Palmas, si bien las márgenes son de material cohesivo, la zona central del lecho es granular, por lo tanto se aplicará la formulación de Lischtvan – Lebediev para lechos granulares. La misma se expresa a continuación:

$$h_s = \left(\frac{\alpha \cdot h_0^{5/3}}{0,68 \cdot \beta \cdot \mu \cdot \Phi \cdot d_m^{0,28}} \right)^{\frac{1}{1+X}}$$

Donde:

h_s : profundidad del flujo luego de producida la erosión general (m),
 h_0 : profundidad inicial de la corriente, para el caudal de diseño, en (m),
 β : coeficiente de recurrencia, función del período T_R (en años), dado por la fórmula siguiente:

$$\beta = 0,8416 + 0,03342 \cdot \ln(T_R)$$

μ : coeficiente de corrección por contracción de flujo, se tabula en función de la velocidad media del flujo y la distancia libre entre pilas. Si se calcula erosión en una sección donde no existe puente, se considera igual a la unidad.

ϕ : coeficiente de corrección por la densidad del agua durante la creciente. Si se considera agua clara, $\phi=1$, si existe transporte de sedimentos está en función de la densidad de la mezcla agua+sólidos en suspensión.

$$\text{Para: } \gamma_{as} = 1 \text{ t/m}^3 \Rightarrow \phi = 1$$

$$\gamma_{as} > 1 \text{ t/m}^3 \Rightarrow \phi = -0,54 + 1,5143 \gamma_{as}$$

d_m : diámetro medio de las partículas de material granular, en (mm),

X : exponente variable que depende de d_m :

$$X = 0,394557 - 0,04136 \cdot \log(d_m) - 0,00891 \cdot \log^2(d_m)$$

α : coeficiente de sección o de distribución de caudal, según la fórmula siguiente:

$$\alpha = Q_d / (H_m^{5/3} \cdot B_e)$$

Q_d : caudal para la recurrencia de cálculo

H_m : tirante hidráulico= A/B_e

B_e : ancho efectivo del canal, en (m)

A : área de flujo, en (m^2)

7.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

Las Figuras 39, 40 y 41 muestran los resultados de la fórmula de Lischtvan – Lebediev para las Secciones A, B y C respectivamente. En las tres secciones se observa una erosión máxima de 3,1 m en la parte central del cauce.

Las diferencia entre los escenarios 0, 1 y 2 no es apreciable, ya que se da en los valores de velocidad en la margen derecha y la erosión generalizada en márgenes es pequeña comparada con el centro del cauce. El detalle de la Figura 42 permite comparar los valores de erosión generalizada en la margen derecha. El escenario 2 presenta menor erosión, debido a que las velocidades en zona de margen son menores, como resultó del modelo hidrodinámico. La erosión en la zona donde se emplaza la protección longitudinal del escenario 1 (progresiva 653) es de 0,6 m aproximadamente, alcanzando 1 m a unos 12 metros de distancia de la protección (progresiva 645).



Figura 39: Erosión generalizada en sección A

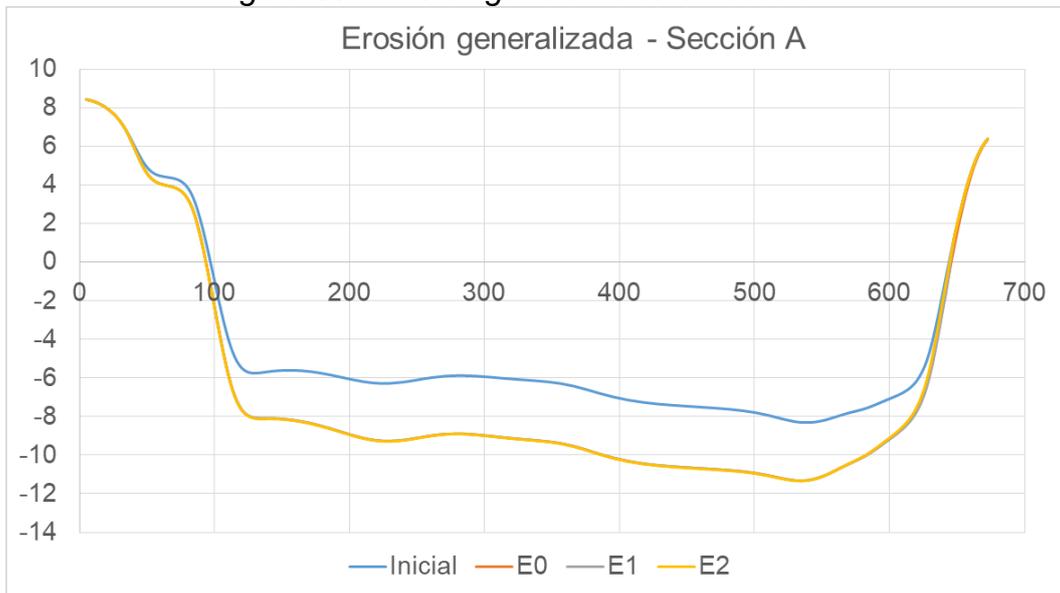


Figura 40: Erosión generalizada en sección B

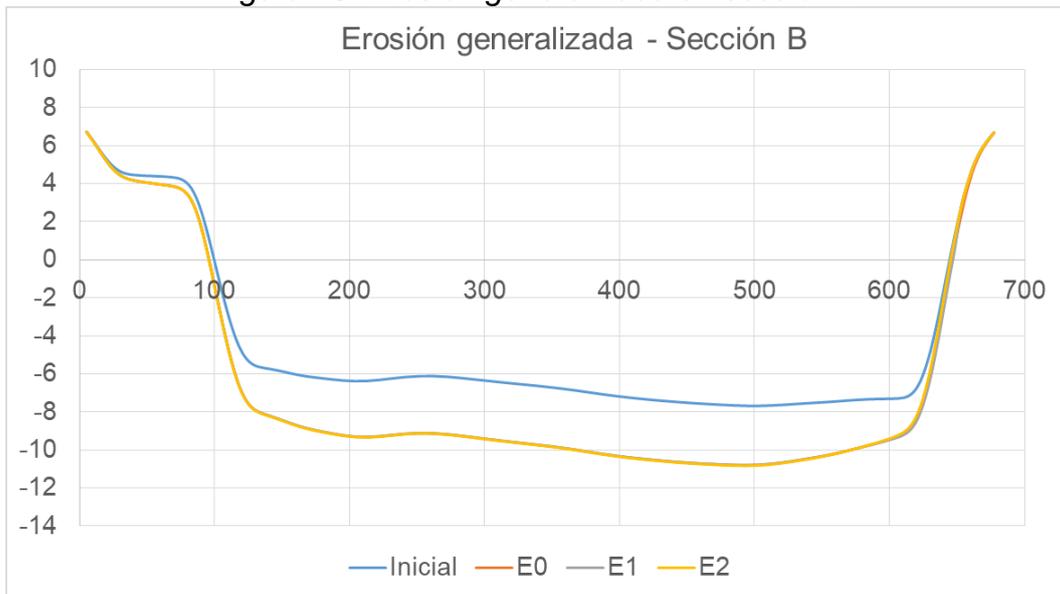


Figura 41: Erosión generalizada en sección C

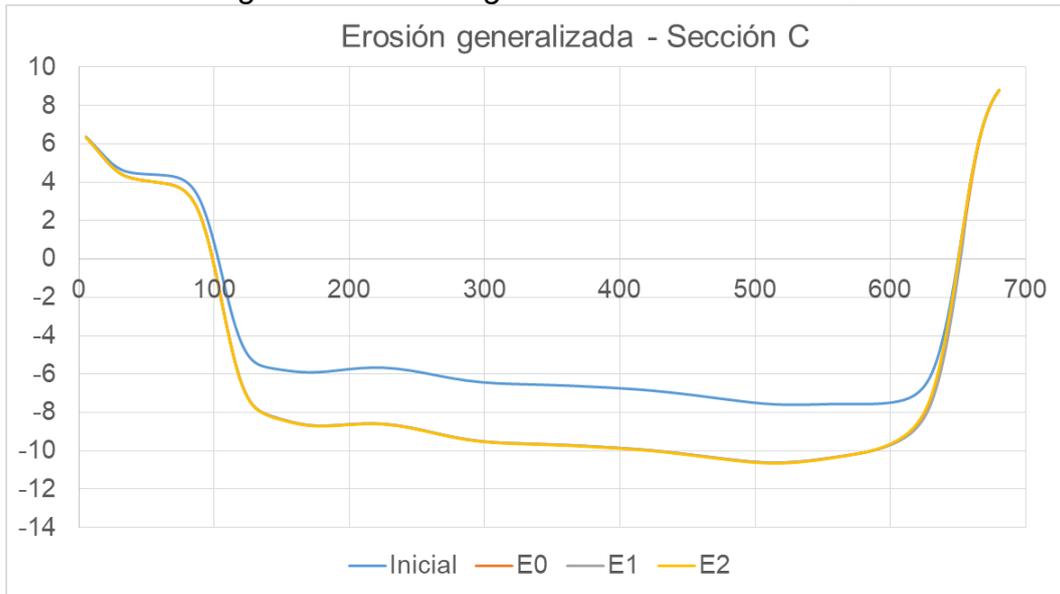
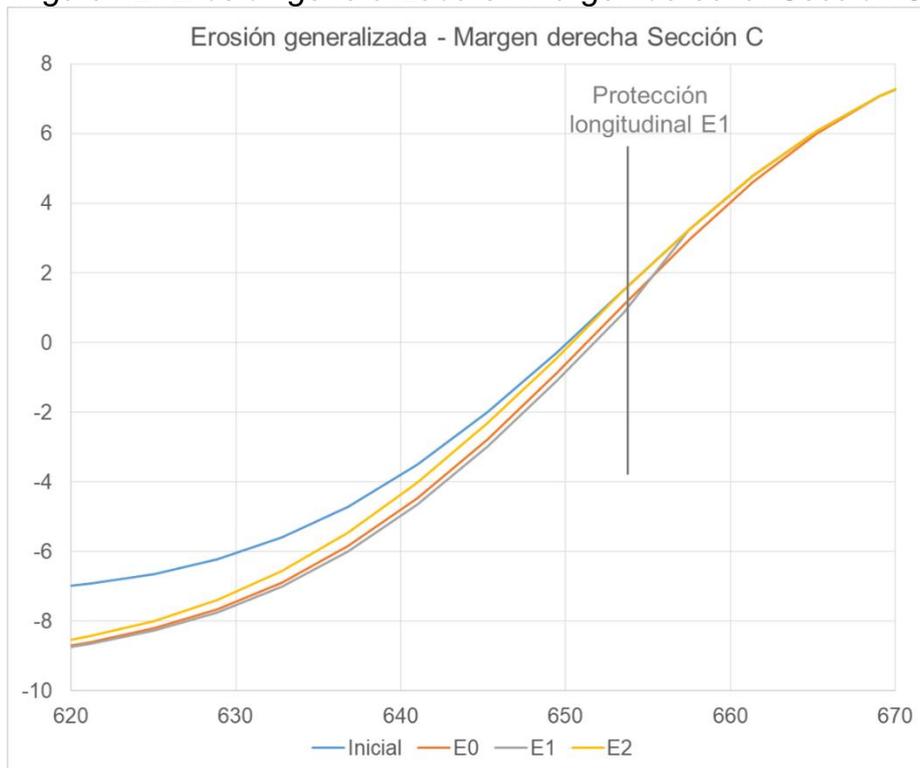


Figura 42: Erosión generalizada en margen derecha. Sección C



7.4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En el Puerto Las Palmas se observan procesos erosivos importantes que llevaron a plantear este estudio para encontrar soluciones que brinden estabilidad a la costa. Los estudios hidrodinámicos realizados son reveladores

en cuanto a que los patrones de circulación quedan claramente definidos y a que los escolleros transversales son muy efectivos para reducir las velocidades de corrientes cerca de la margen y, por lo tanto, la erosión.

Ahora bien, los procesos erosivos más relevantes se producen por un fenómeno de expansión lateral del río, fomentado por el mismo meandro cuya parte cóncava de la curva se encuentra bajo estrés. En este sentido, tanto las escolleras transversales (o inclinadas si se prefiriera) como las protecciones longitudinales proveerían un endurecimiento de la margen y su fijación. En el caso de las escolleras transversales sería esperable que naturalmente se formaran “playas” entre las mismas. En el caso de la protección longitudinal, un pequeño aumento de las velocidades no implicarían una dificultad, dado que previendo un corrimiento del cauce, su fundación debe estar prevista a suficiente profundidad. Sin embargo, en ambos casos, hacia aguas abajo se seguirían produciendo erosiones por el efecto continuo del agua; también podría haber una tendencia a que la curva migre hacia aguas abajo.

8.0 DISEÑO DE PROTECCIONES COSTERAS

8.1 ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE SOLUCIÓN

La protección de la margen de costa hacia el sur del puerto puede realizarse con distintas metodologías. Primero, se debe decidir entre las soluciones conceptuales posibles: escolleras transversales, protección longitudinal, o solución mixta. Segundo, se debe decidir sobre la solución constructiva: piedras, tablestacas, gaviones, geotubos, revestimientos, etc.

8.1.1 Selección de la solución conceptual

Tal como demostró la modelación, las escolleras transversales podrían brindar una buena solución para mantener alejado el talweg de la costa y reducir las velocidades. Entre escolleras, debido a la baja energía, se tendería a depositar material formando “playas”. Ahora bien, la efectividad de las escolleras podría estar limitada por la potencia del corrimiento lateral del cauce. Particularmente, la escollera hacia aguas abajo en un momento dado podría quedar descalzada. Siendo estructuras flexibles, las obras con piedras, gaviones o geotubos se adaptarían a cambios del lecho, pero sería importante su monitoreo y su mantenimiento, agregando material si fuera necesario.

Por otro lado, una protección longitudinal mostraría un aumento pequeño de la velocidad de corriente. Si bien a priori esta situación implicaría una desventaja, en términos prácticos no incidiría demasiado. Si se eligiera una solución con tablestacas, sería recomendable que la fundación de la misma se hiciera a una cota por debajo de la profundidad natural del talweg. Si se eligiera una estructura flexible, habría que dimensionarla con la velocidad aumentada de la corriente.



Ahora bien, la solución longitudinal aventaja a la de obras transversales en dos sentidos. Primero, también permite resolver el problema de la erosión pluvial que socava el terreno de la PNA. Segundo, mucho más importante, permitiría continuar desarrollando un frente portuario con posibilidad de creación de un nuevo puesto de atraque.

Ponderando las ventajas y desventajas, se sugiere proseguir con una protección longitudinal. En todos los casos se deberá monitorear el comportamiento de la ribera y evaluar la necesidad de modificar, ampliar, o reparar la protección.

8.1.2 Selección de la solución constructiva

Seleccionada la solución longitudinal, la misma puede ser materializada de diversos modos. Como se mencionó, se pueden utilizar alternativas duras, como tablestacas, muros de contención, o similares. O bien, alternativas flexibles como ripraps (revestimientos de piedras), mantas, pavimentos intertrabados, gaviones o geotubos. A continuación se describen brevemente las soluciones más usuales:

- Los *riprap* consisten en capas de piedras volcadas sobre una manta de geotextil que, debido al tamaño de la piedra exterior, resisten a su puesta en movimiento por el agua. La capa exterior se asienta sobre capas de piedras más finas y finalmente sobre un geotextil para evitar que los granos finos del suelo migren a través de los intersticios de las piedras.
- Las mantas flexibles y los pavimentos articulados suplantán a los *ripraps*. Los primeros consisten en bloques de hormigón dispuestos de damero, separados entre sí regularmente, y vinculados inferiormente por un geotextil. Esta solución permite reemplazar a las piedras de los *ripraps* asegurando una mejor trabazón y una obra más liviana. En el caso de los pavimentos articulados, no se cuenta con el geotextil de vinculación (aunque siempre es conveniente colocar un geotextil bajo los bloques) y la intertraba se realiza con la forma de los bloques. Al no haber espacios entre los elementos resulta en una obra es más pesada que la de las mantas.
- Los tubos de geotextiles pueden disponerse de manera paralela a la costa, actuando como revestimientos o de manera perpendicular o inclinada, actuando como escolleras encauzadoras. Para alcanzar las cotas necesarias se pueden apilar tubos. Los tubos se llenan con arena bombeando una mezcla a través de una manga, o colocando el material sobre el geotextil abierto que luego se cierra cosiendo una costura central longitudinal.



A continuación la Tabla 8 compara las distintas soluciones y las Figuras 42 a 44 ilustran sobre las distintas soluciones.

Tabla 8: Tabla comparativa de soluciones constructivas para protección costera

Solución	RipRap y escollerados tradicional	Mantas flexibles	Tubos de geotextiles	Otros pavimentos articulados
Características	Piedras sueltas formando filtros	Bloques de hormigón vinculados con geotextiles	Geotextil en forma de tubo relleno con arena	Bloques de hormigón diseñados con sistemas de trabas
Patente	no	sí	sí	Sí
Mantenimiento y reparación	Fácil	Mediana (agregar)	Difícil (reemplazar)	Mediana (según donde se produzca la rotura)
Facilidad de construcción*	Piedra suelta volcada y distribuida con grúa	Colocación con grúa cuidadosa en tramos de 2x6 m	Llenado mediante bombeo	Colocación manual
Disponibilidad	En la provincia de Corrientes	Desde Fábrica	Geotextiles de fábrica o importador, arena localmente	Desde fábrica
Durabilidad	Muy durable	Muy durable	Durable	Susceptible a subpresiones y bombeo

*En todos los casos hay que perfilar el terreno

Figura 43: Tubo geotextil MacTubes utilizado como escollera (Fuente: Maccaferri)



Figura 44: Protección con mantas flexibles (Fuente: Coripa)



Figura 45: Izq. protección con bloques Bentonplan (Fuente: Coripa); der. riprap



En el caso de Puerto Las Palmas, y con el objeto de continuar un potencial frente de ataque, podría ser conveniente construir un paramento vertical, en cuyo caso, la solución más versátil es un tablestacado.

Pero también podría ser construido un revestimiento con mantas flexibles, si se espera que el nuevo puesto de atraque, como el recientemente construido, se encuentre alejado de la costa hacia el río.

Como ya se ha diseñado y ejecutado un tablestacado y se cuenta con los planos y memorias correspondientes, se desarrollarán a continuación dos alternativas. La primera es el tablestacado mencionado, para lo cual se revisará el diseño existente; la segunda es un revestimiento con mantas flexibles.

8.2 DISEÑO DE TABLESTACADO

La UTE Norgav-San Pedro Fundaciones contrató a la firma Copiga SRL para hacer el proyecto del tablestacado posterior del muelle que luego fue ejecutado. Como no se tienen estudios de suelos ni topográficos específicos de la zona a proteger, a los fines del proyecto de la protección longitudinal hacia el sur se puede adoptar el mismo diseño. Antes de la construcción se deberán realizar los estudios de campo necesarios para verificar que el diseño del tablestacado existente se adapta a la situación.

No obstante esta adopción, de la revisión de la memoria presentada por Copiga surgen dos observaciones que se refieren a los criterios de diseño y que se deben tener presentes.

Primero, la sobrecarga adoptada sobre el relleno es de 1,0 t/m². Segundo, la cota de fundación de la tablestaca es +34,50 (el coronamiento a +52,00 MOP). La sobrecarga adoptada resulta suficiente para acopiar una cantidad baja de cargas. Pero, por ejemplo, impediría acopiar contenedores cargados en esta zona. Esta limitación debe ser tenida en cuenta en todo momento. Y en este sentido, se recomienda que siempre se deje libre de acopio a una distancia de 15 m, mínimo.

La segunda observación se refiere a la cota de hinca. En el proyecto construido esta cota fue establecida a +34,50 MOP. Sin embargo, por las posibilidades de migración del cauce en el sector aguas abajo del muelle, las tablestacas deberían tener una ficha contabilizada desde una profundidad similar a la del talweg. Considerando que el cero de Puerto Bermejo se encuentra a +46,25 y la cota de fondo del talweg está a -9,0 respecto del cero, el pie de las tablestacas se debería encontrar a +37,25. Conservando la misma ficha de empotramiento (6,0 m) que la calculada por Copiga, la cota de fundación se debería encontrar a +31,25, y el largo de la tablestaca resultaría de 20,75 m. Cabe notar que de acuerdo a las modelaciones realizadas, las tablestacas que se encuentran por detrás del muelle estarían menos expuestas a las corrientes que aquellas más hacia el sur en la zona a proteger.

Estrictamente, la ficha de la tablestaca para una situación en la que el talweg se haya desplazado hasta la línea de tablestacas sería diferente, ya que la luz libre resultante sería mayor. Pero, en esta instancia se considera que no es necesario



modificar el diseño. En efecto, el proceso de expansión lateral es un proceso de largo plazo y dará aviso suficiente para que, en caso que realmente se verifique, se pueda reforzar la tablestaca con una nueva línea de tensores. En contrapartida, sí conviene prever un mayor largo de la tablestaca desde este momento ya que esa medida no se puede alterar posteriormente.

El documento 531.MC.001_1 - TABLESTACADO incluye la memoria de cálculo que realizó Copiga y que se toma como válida. No obstante, antes de la construcción del nuevo tramo se deberán realizar nuevos ensayos de suelos para verificar las condiciones en este nuevo sector. Por otro lado, por la topografía del sector a proteger puede resultar conveniente reemplazar los anclajes inclinados con micropilotes por tensores y placas de anclaje convencionales. Es que el nuevo sector presenta un talud y el tablestacado deberá estar despegado del mismo, con lo cual se podrían ubicar tensores y placas y luego rellenar la parte posterior. Por lo tanto, antes de la construcción de este nuevo tramo, será necesario realizar el relevamiento topográfico y evaluar el reemplazo de micropilotes por tensores y pantallas convencionales.

El plano CT1806-LP-PL001-TABLESTACADO muestra la disposición en planta del tablestacado propuesto y algunos detalles constructivos. Para elaborar el diseño final se deberá contar con el estudio de suelos, replantear la topografía de la zona, y verificar la zona de empalme entre el nuevo tablestacado y el existente.

Como se aprecia en el plano, la traza sigue la línea de ribera que, hacia aguas abajo de PNA, se mete hacia el río. De esa manera, en los últimos 48 m el tablestacado longitudinal se convierte en un encauzador, buscando el efecto de disminución de velocidades que los modelos demostraron que se producía hacia aguas abajo de los espigones transversales.

Los planos 531.2001_1, 531.2002_2, 531.2003_1, 531.2004_1, 531.2005_1, y 531.2006_0 elaborados por Copiga muestran los detalles constructivos del tablestacado que siguen siendo válidos (con excepción de la cota de fundación, largo de tablestacas y de la planta general, que es reemplazada por el plano citado en el párrafo anterior).

8.3 DISEÑO DE REVESTIMIENTO LONGITUDINAL

Si en un futuro se quisiera aprovechar la zona costera a proteger para construir un nuevo puesto de atraque, el mismo podría hacerse retirado de la línea de ribera, tal como se diseñó el existente. En ese caso, la protección no tendría que ser necesariamente de paramento vertical y podría ser construida mediante una obra flexible, como un *riprap* o una manta flexible. Ante la ausencia de piedras en la zona, la segunda alternativa parece más razonable.

Para diseñar los revestimientos se considerarán:



- Olas generadas por viento
- Olas generadas por embarcaciones
- Corrientes fluviales
- Corrientes inducidas por embarcaciones

8.3.1 Olas generadas por el viento

Dado que el fetch y el ancho del río son muy limitados para la generación de olas de viento, las mismas son despreciadas para el cálculo.

8.3.2 Olas generadas por embarcaciones

Las embarcaciones generan trenes de olas que se mueven con la misma nave. La altura de las olas depende principalmente del desplazamiento, forma, y velocidad de la nave. Y la altura de ola que alcanza la costa depende de la distancia a la que pasa la embarcación.

Si bien los patrones de dispersión de estas olas desde la roda fueron resueltos analíticamente con bastante precisión, las alturas de olas generadas todavía son objeto de investigación. Aquí se utilizará el modelo de Sorensen⁶ (1997) que fue validado con experiencias de campo por Gharbi et al.⁷ (2010). Esta metodología tiene como variables la velocidad del buque, la profundidad, la distancia desde el eje de crujía, y el desplazamiento.

Para el caso, se admite la circulación de un convoy de 16 barcas a una velocidad de 10 kn frente al revestimiento o protección. A continuación se listan los parámetros de cálculo y resultados obtenidos.

Velocidad de la embarcación	V [m/s]=	5,14
Profundidad	d [m] =	10,00
Desplazamiento	W [m3] =	34.500,00
Distancia transversal	x [m] =	30,00
Distancia adimensional	x' =	0,95
Profundidad adimensional	d' =	0,32
Froude	F =	0,52
beta	β =	-0,36
delta	δ =	-0,15
Exponente de correlación	n =	-0,42
a	a =	-1,16
	b =	1,57
	c =	-0,57

⁶ Sorensen R.M. (1997). "Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper Mississippi River System". ENV Report 4, US Army Corps of Engineers.

⁷ Gharbi S., Hamdi S., Nistor I. Valkov G. (2010). "Numerical and field study of ship-induced waves along the St. Lawrence Waterway, Canada". *Natural Hazards*. Springer.

log alfa	log $\alpha =$	-2,08
	$\alpha =$	0,0083
Altura máxima	Hm [m] =	0,28

Como se aprecia, un convoy de barcazas pasante a sólo 30 m de la margen, produce olas de 0,28 m de altura.

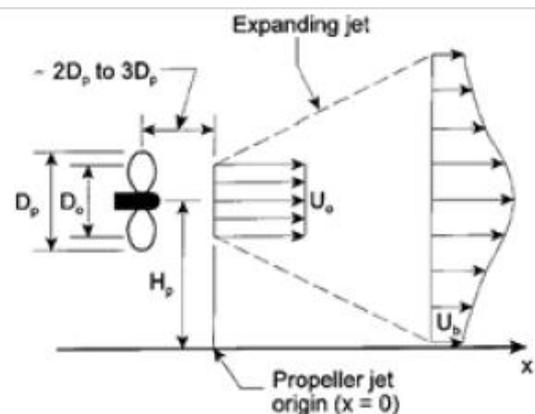
8.3.3 Corrientes fluviales

De acuerdo a los estudios de corrientes realizados las velocidades máximas sobre la margen se encontrarían en el rango de los 0,52 m/s.

8.3.4 Corrientes inducidas por embarcaciones

Las hélices de los buques producen un jet con energía suficiente para producir socavaciones en el lecho. La velocidad de la corriente producida por una hélice depende de la velocidad de rotación de la misma y de su tamaño, entre los factores más importantes. Además, la velocidad varía con la distancia a la hélice (horizontal y vertical), como indica la Figura 45.

Figura 46: Esquema del jet generado por una hélice (Fuente: Froehlich et al.)⁸



La fórmula que representa el fenómeno es:

$$U_o = C_p [P_b / (\rho D_p)^2]^{0,33}$$

Donde:

C_p = coeficiente del tipo de salida de la hélice. Aquí se toma 1,48 para hélices abiertas.

ρ = densidad del agua (1,025 t/m³)

D_p = Diámetro de la hélice (2,20 m)

⁸ Froehlich D.C., Shea C. C., y Damigella, R. J. "Screwed-Up Riprap: Sizing Rock Riprap to Resist Propeller-Induced Erosion". PB Notes, 4th Quarter 1998 • Issue No. 43 • Volume XII • Number 3

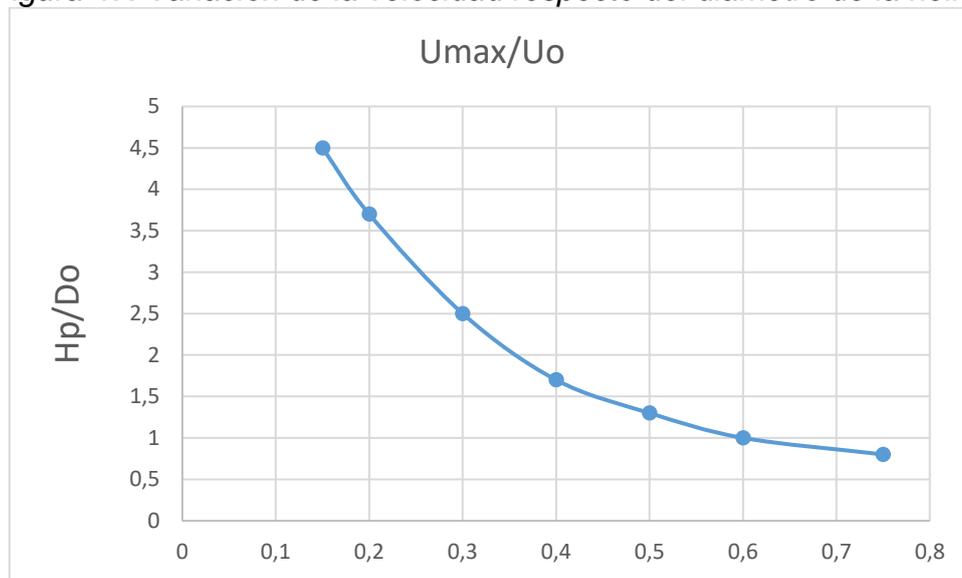
P_b = Potencia (4000 kw) – para considerar la potencia utilizada en muelle se toma el 10% de la instalada (PIANC, 1997)⁹.

Resultando:

$$U_0 = 5,99 \text{ m/s}$$

El chorro tiene inicialmente un diámetro D_0 y una velocidad U_0 . Pero la velocidad a la que impacta el fondo, a una distancia de la hélice, depende de la distancia entre el eje de la hélice y el fondo. La Figura 46 muestra la relación entre esa velocidad máxima que impacta al fondo y la relación entre la distancia del eje de la hélice al fondo y su diámetro.

Figura 47: Variación de la velocidad respecto del diámetro de la hélice



De allí se obtiene que $U_{max} = 3 \text{ m/s}$. Y la velocidad con la que puede incidir sobre la protección bajo el muelle es la misma (por ejemplo, cuando la pala de timón se inclina desviando el chorro hacia tierra).

8.3.5 Dimensionamiento de las mantas

Normalmente las mantas se dimensionan para las fuerzas de olas y se verifican para las corrientes, tanto del río como las generadas por las hélices.

Considerando las olas con un período $T_s = 2 \text{ s}$, resulta:

⁹ PIANC (1997), *Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls*, Working Group 22, Supplement Bulletin 96, Bruselas.

Ángulo perpendicular al flujo (talud)	$a_1 =$	21,80
Tan a_1		0,40
Velocidad corr.		0,52
Altura significativa	$H_s (m) =$	0,28
Longitud de onda	$L (m) =$	6,24
	$\xi =$	1,89
Porosidad	$n =$	0,40
Densidad relativa	$\Delta =$	1,65
Estabilidad	$S =$	5,00
Espesor	$D (cm) =$	5,19

Y por acción de las corrientes:

Velocidad corriente río	$u_{fl} (m/s) =$	0,52
Corriente de hélice	$u_{ch} (m/s) =$	3,00
Velocidad de cálculo	$u_c (m/s) =$	3,52
Profundidad	$h (m/s) =$	5,00
Factor de estabilidad	$\Phi =$	0,50
Factor de turbulencia	$K_t =$	1,00
Parámetro de corte crítico	$\psi =$	0,08
Factor de profundidad	$K_h =$	1,00
Factor de talud	$K_s =$	0,82
Porosidad	$n =$	0,40
Densidad relativa	$\Delta =$	1,65
Espesor	$D_n (cm) =$	10,24

Por lo tanto se adopta un espesor de 11 cm.

8.3.6 Otras consideraciones constructivas

Las mantas son usualmente premoldeadas en el terreno adyacente y colocadas en posición mediante grúas. Por lo tanto, deberán ser construidas con un geotextil suficientemente resistente para soportar las fuerzas de tracción de montaje (el peso de la manta colgada).

Se pueden premoldear mantas para ser colgadas de un extremo de la siguiente longitud:

Espesor [cm]	11,00
Peso/m ² [kN/m ²]	2,64
Resistencia geotextil [kN/m]	80,00
Coef. Seg.	3,00
Long. Manta [m]	90,91

Evidentemente, un geotextil de 80 kN/m será suficiente para el largo de manta que se prevé, que es de aproximadamente 30 m. Las mantas (bloques unidos a



través de un geotextil tejido) deben ser colocadas a su vez sobre un geotextil no tejido que asegura la permeabilidad y protege contra el punzonado.

Normalmente se deberán seguir las instrucciones del fabricante, en cuanto a la forma de empalme a lo largo y a lo ancho. Lateralmente las mantas pueden ser empalmadas sobrelapando el geotextil de base o cosiendo los mismos.

El arranque de las mantas (parte superior) merece extremar los cuidados para que se encuentre bien anclado. Normalmente se podrá utilizar el enterramiento de cinco o seis filas de bloques o construyendo una viga. Asimismo, se deberá lastrar adecuadamente la manta hacia aguas afuera. Esto se logra fabricando las últimas filas con el doble de espesor.

El plano CT1806-LP-PL002-REVESTIMIENTO muestra el perfil tipo del revestimiento y algunos detalles constructivos. El desarrollo en planta es similar al de la solución con tablestacado.

8.4 PROTECCIÓN DE PIE DE TABLESTACADO

Una consideración adicional merece la necesidad de proteger las tablestacas ya que se han levantado preguntas acerca de la posible erosión. En este sentido se pueden distinguir dos situaciones diferentes: el del tablestacado nuevo y el del existente.

En general, las protecciones de los pies de tablestacados se realizan con piedras y para el dimensionamiento de las mismas se recurre a la fórmula clásica del Shore Protection Manual (1984)¹⁰.

$$W_{50} = 0.0219 V^6 w_r/g^3 (w_w/(w_r - w_w))^3 (1 - (\sin(\tau)/\sin(\varphi))^2)^{-1.5}$$

Donde:

- W_{50} = Peso medio de la piedra
- V = Velocidad de la corriente
- w_r = Densidad de la roca
- g = aceleración de la gravedad
- w_w = Densidad del agua
- τ = pendiente del talud
- φ = ángulo de reposo de la piedra

Ahora bien, cuando se toma en cuenta la velocidad de la corriente – para el tablestacado nuevo alrededor de 0,5 m/s, el diámetro promedio resultante es de 4 mm; en el caso del tablestacado existente, donde las velocidades son aun menores, el diámetro D50 no alcanzan los 2 mm.

¹⁰ US Corps of Engineers (1984). "Shore Protection Manual", US Army, Vicksburg.

Si se tuviera en cuenta la velocidad de la corriente provocada por la hélice de una embarcación, el tamaño de la piedra de la protección aumentaría significativamente. Pero es aquí donde cabe una reflexión.

Las cotas de fundación de las tablestacas se encuentran a +34,50 en el caso de las existentes o +31,50 en el caso de las propuestas para la nueva protección, y el comienzo de las fichas de empotramiento a 40,50 y 37,50, respectivamente. Pero, incluso en el caso de máximas bajantes, las hélices se encontrarán a cota +46,25 (alrededor del cero local). Por lo tanto, para poner en peligro a las tablestacas se debería provocar una erosión localizada mayor a seis metros. También debe considerarse que la corriente generada por las hélices disminuye con la distancia y la profundidad. Esto significa que a medida que se genere un pozo, el poder erosivo de la corriente generada disminuirá.

En conclusión, de acuerdo a estos análisis no sería necesario proteger el pie de los tablestacados en Puerto Las Palmas.

9.0 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La costa sobre la que se asienta el Puerto Las Palmas sufre procesos erosivos históricos que se acrecientan hacia aguas abajo del puerto. En la zona portuaria, una punta que se adentra hacia el río a la desembocadura del canal adyacente al puerto hacia aguas arriba estaría actuando como una protección natural: hacia aguas abajo del mismo se observa una disminución de las velocidades de corrientes.

Hacia aguas arriba de este canal la costa también sufre la erosión, que fue menos intensa en los últimos años, tal como se aprecia en la Figura 21. Al observar en detalle la desembocadura del canal se tiene, del lado del puerto, la punta mencionada, y al otro lado del canal, un camino más alto que bordea al canal y una margen con cierta inclinación hacia adentro del río. Estas formas del terreno ayudarían a proteger al puerto y a que el agua no socave el borde norte del mismo por detrás de las tablestacas. No obstante ello, se aconseja realizar monitoreos del proceso costero relevando la ribera al menos una vez por año (siempre en las mismas fechas o con el mismo nivel de río). En caso de observarse erosiones que comprometan la integridad del puerto habrá que realizar obras adicionales.

Hacia el sur del puerto, donde se ubica la delegación de PNA, la erosión es más importante. Las obras que se plantearon tienen por objeto “endurecer” la ribera y proteger de la erosión a las tierras que podrían integrarse al puerto. Las variantes elegidas permiten desarrollar un muelle adicional pero, como se mencionó, el tablestacado permite materializar un paramento vertical que podría tener algunas ventajas. Por ejemplo, sin necesidad de grandes profundidades se podría desarrollar una posta para embarcaciones de PNA. Esto se lograría poniendo un pontón flotante pequeño para el amarre de lanchas o directamente una escalera marinera para bajar desde el coronamiento del tablestacado hasta



la embarcación, protegiendo el frente con una defensas elásticas y soldando algunas bitas. Un frente de este tipo también podría ser aprovechado para el amarre de barcazas en espera.

Finalmente cabe mencionar un par de conceptos explicados en el estudio. Primero, los procesos de erosión que se observan y que son acompañados por procesos de sedimentación hacia aguas abajo en la margen del frente, son típicos de los ríos Paraguay y Paraná. Estos procesos obedecen a fenómenos de expansión lateral de ríos muy dinámicos. En este caso, y en el largo plazo, se observan zonas muy activas con paleocauces y lagunas que modelan la planicie de inundación. Son fenómenos que pueden dar lugar a la ampliación de meandros o su rectificación. En este caso, el proceso es de expansión del mismo.

El otro concepto manejado es el de los procesos de erosión localizada. Estos procesos pueden ser muy importantes cuando, por ejemplo, se producen contracciones del cauce. Pero sobre la margen las velocidades son bastante bajas y los efectos potenciales como los de las hélices quedó demostrado que no arrojan peligrosidades mayores que las de los procesos de largo plazo. En efecto, se ha recomendado diseñar las obras para una profundidad máxima de erosión similar a la del talweg del río.



ANEXO



1.0 CRECIDA DE 5 AÑOS

Aquí se presentan los resultados de la crecida de 5 años de recurrencia. La Figura A.1 muestra las velocidades medias obtenidas y la Figura A.2 las profundidades resultantes de la modelación hidrodinámica. Los resultados corresponden al Escenario 0. Los mapas de profundidades y velocidades para todos los escenarios son similares a nivel general, diferenciándose entre sí en la zona de Puerto Las Palmas.

Figura A.1. Mapa de velocidades medias

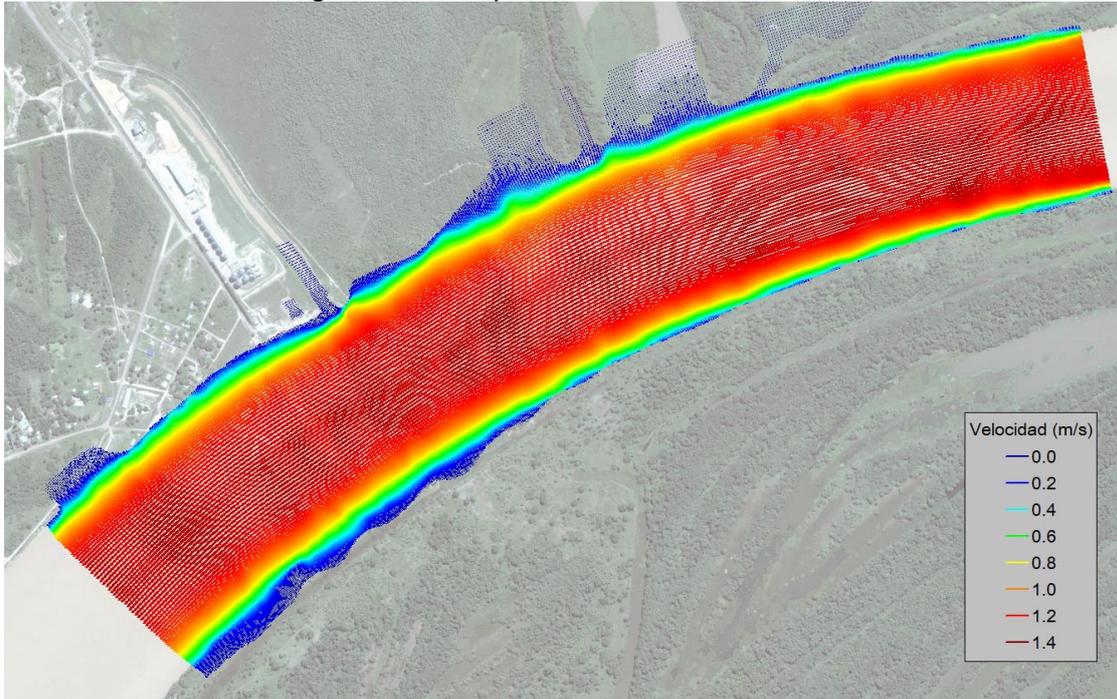


Figura A.2. Mapa de profundidades



Para observar mejor las diferencias entre los escenarios, en las Figuras A.3, A.4 y A.5 se muestran los resultados obtenidos en la zona costera de Puerto Las Palmas.

Figura A.3. Resultado del Escenario 0 (recurrencia: 5 años)

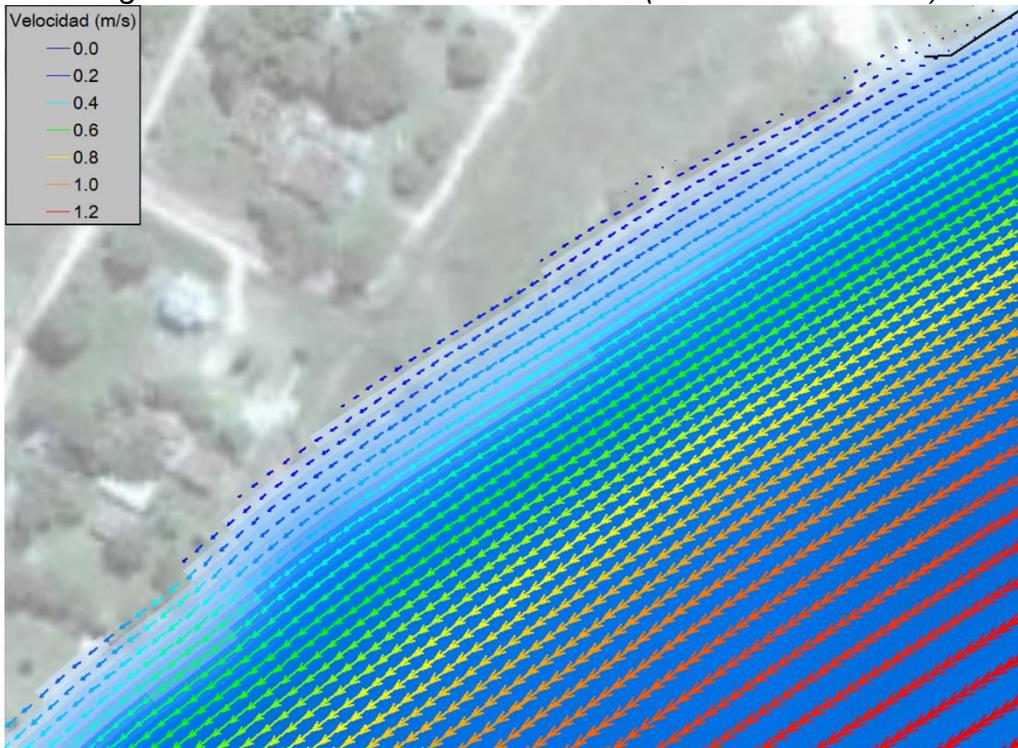


Figura A.4. Resultado del Escenario 1 (recurrencia: 5 años)

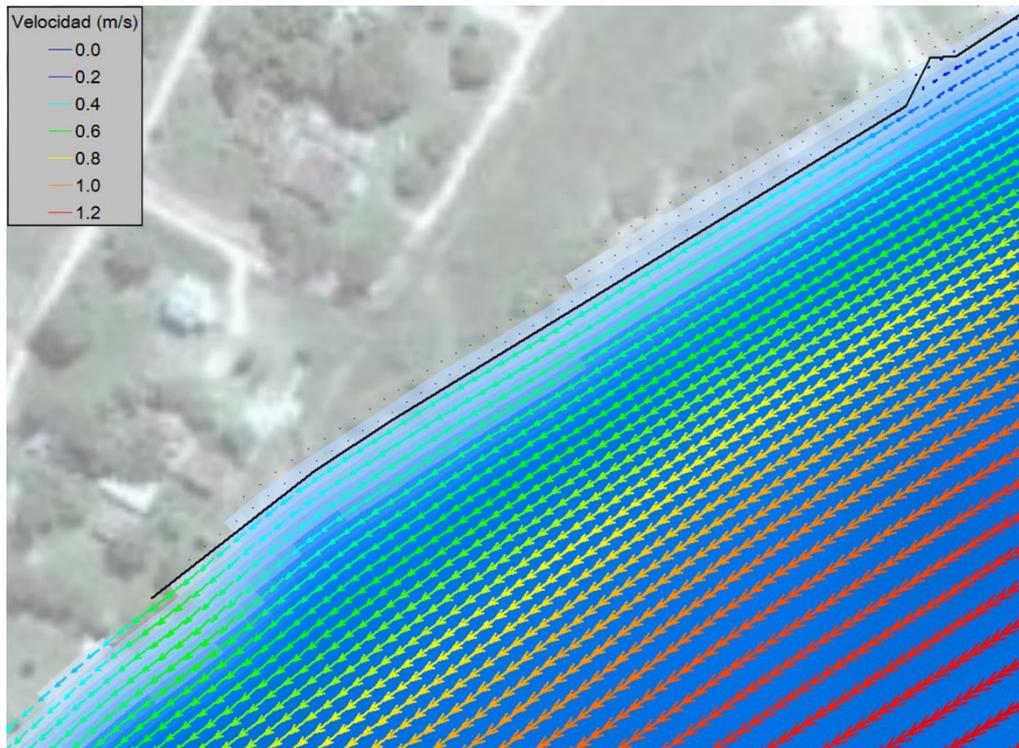
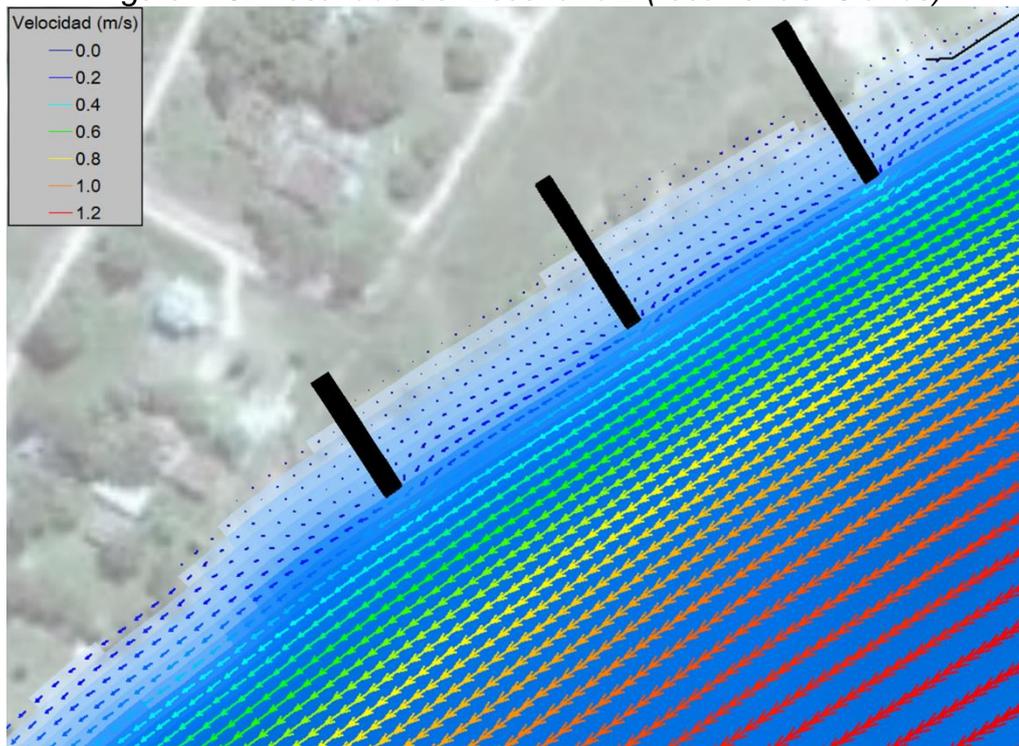


Figura A.5. Resultado del Escenario 2 (recurrencia: 5 años)

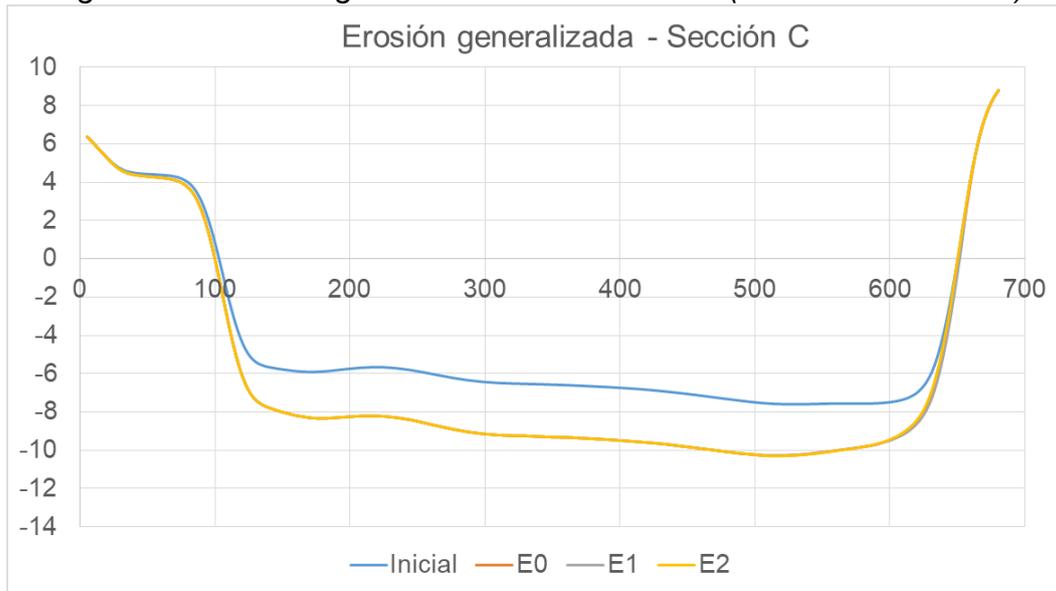


La velocidad media en la zona más cercana a la costa adopta valores alrededor de 0,3 m/s para el Escenario 0, incrementándose hasta valores cercanos a 0,4 m/s para el Escenario 1, y disminuyendo a valores próximos a 0,1 m/s para el Escenario 2. Las velocidades en el centro del cauce presentan valores de hasta 1,3 m/s para los tres escenarios.

En todos los casos la profundidad aumenta de 1 m a 12 m en una distancia de 40 m aproximadamente, y la cota de inundación es menor a la cota de coronamiento del tablestacado existente.

La Figura A.6 muestra el resultado de la fórmula de Lischtvan – Lebediev para la Sección C. Se observa una erosión máxima de 2,75 m en la parte central del cauce.

Figura A.6. Erosión generalizada en Sección C (recurrencia: 5 años)



2.0 CRECIDA DE 50 AÑOS

A continuación se presentan los resultados de la crecida de 50 años de recurrencia. La Figura A.7 muestra las velocidades medias obtenidas y la Figura A.8 las profundidades resultantes de la modelación hidrodinámica. Los resultados corresponden al Escenario 0. Los mapas de profundidades y velocidades para todos los escenarios son similares a nivel general, diferenciándose entre sí en la zona de Puerto Las Palmas.

Figura A.7. Mapa de velocidades medias

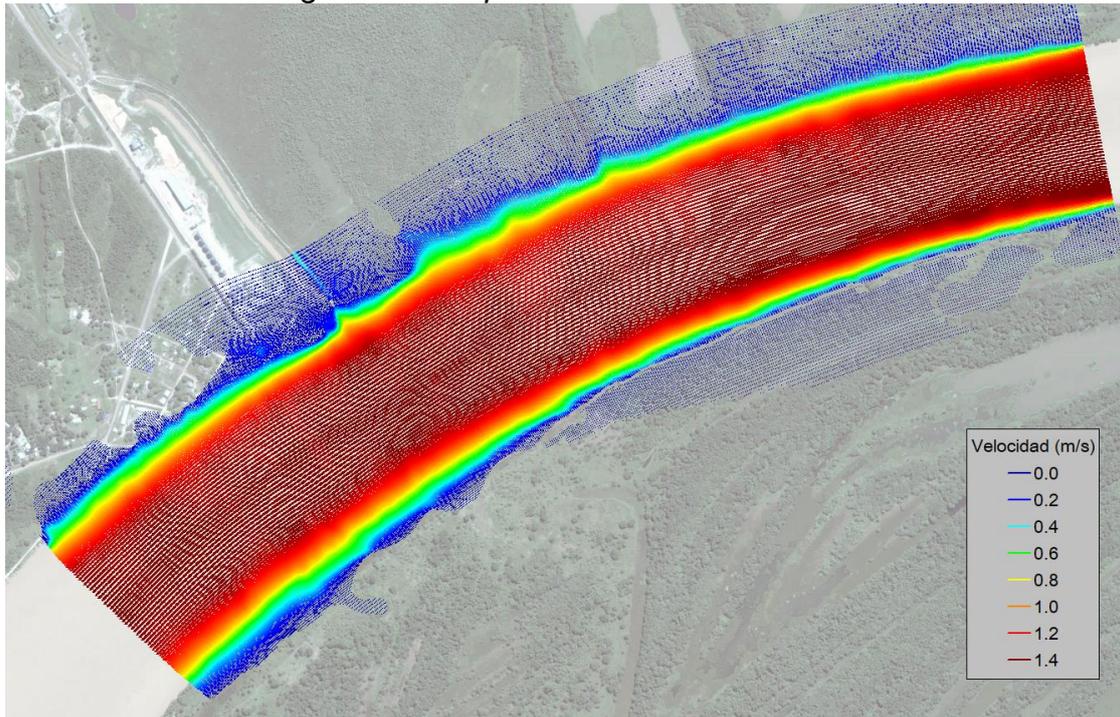
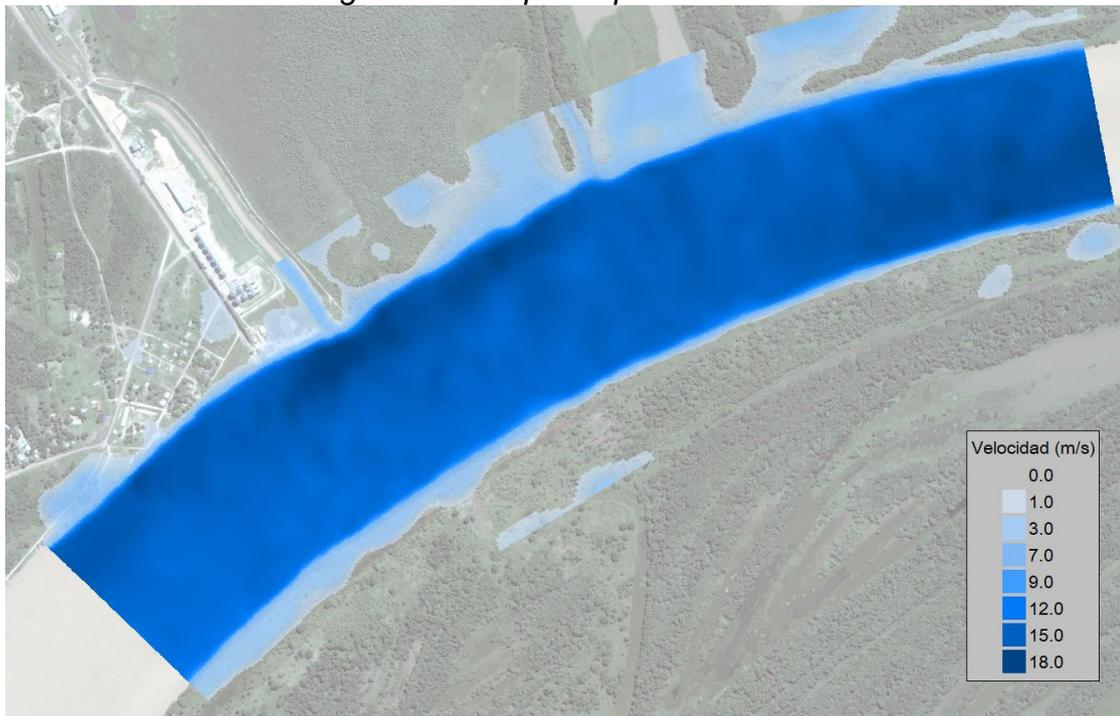


Figura A.8. Mapa de profundidades



Para observar mejor las diferencias entre los escenarios, en las Figuras A.9, A.10 y A.11 se muestran los resultados obtenidos en la zona costera de Puerto Las Palmas.

Figura A.9. Resultado del Escenario 0 (recurrencia: 50 años)



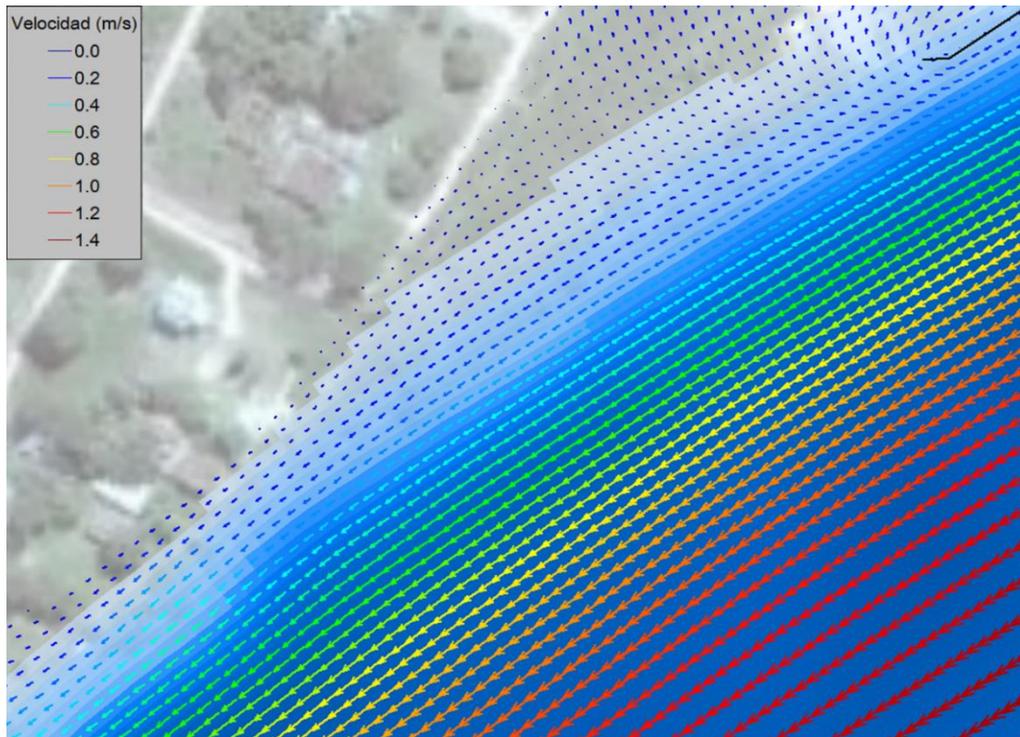


Figura A.10. Resultado del Escenario 1 (recurrencia: 50 años)

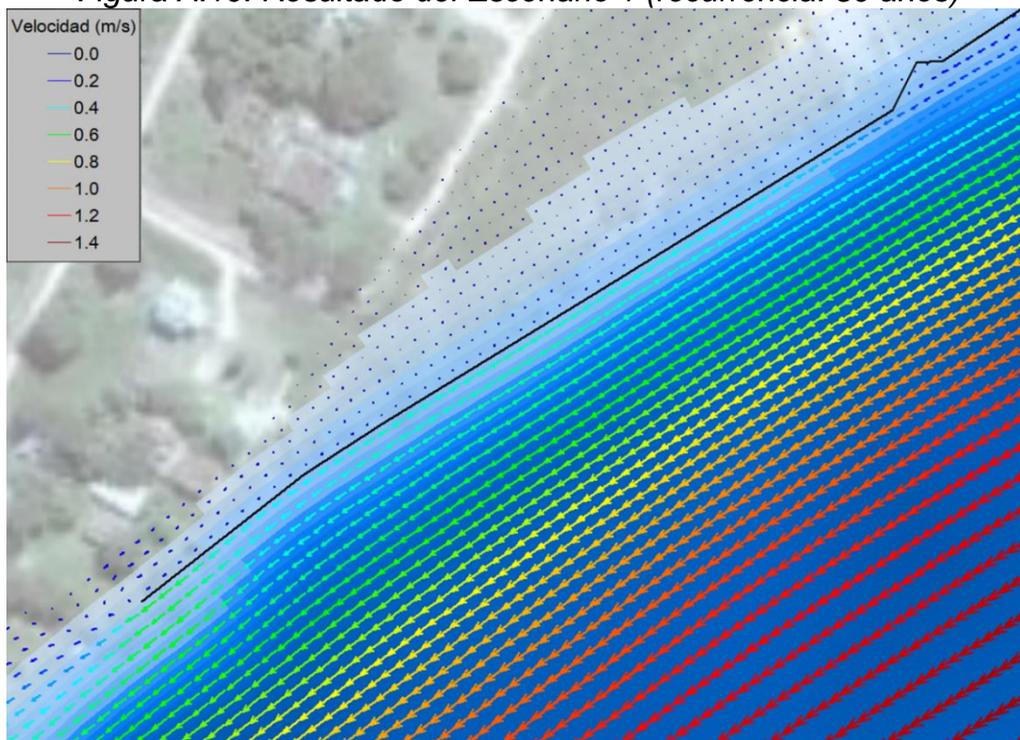
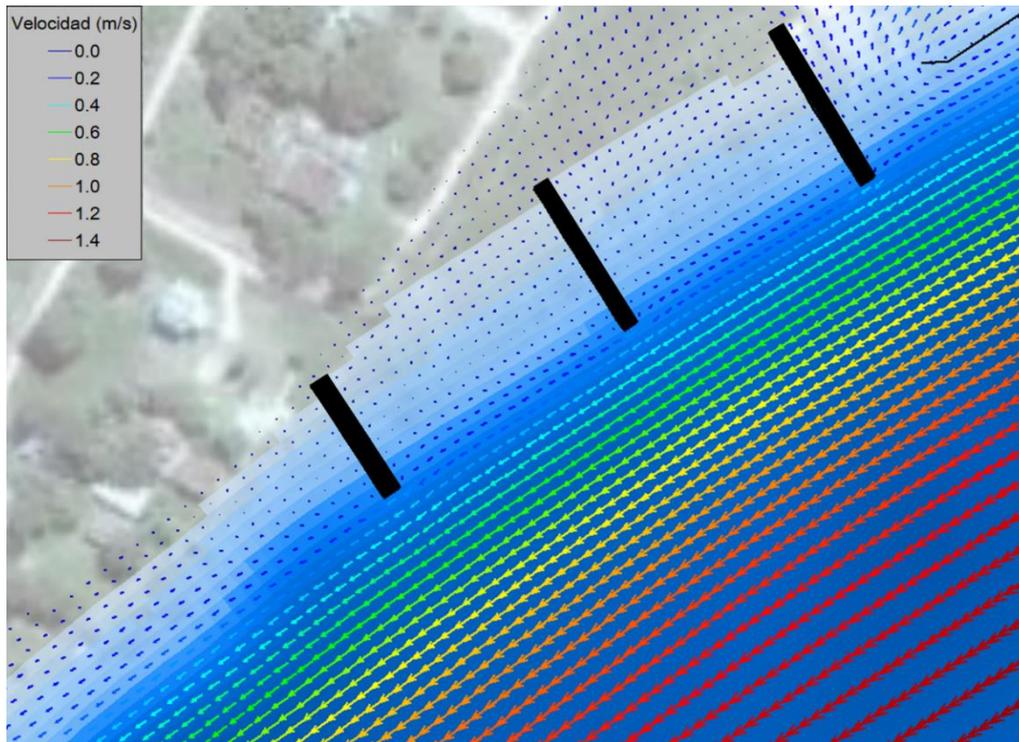


Figura A.11. Resultado del Escenario 2 (recurrencia: 50 años)

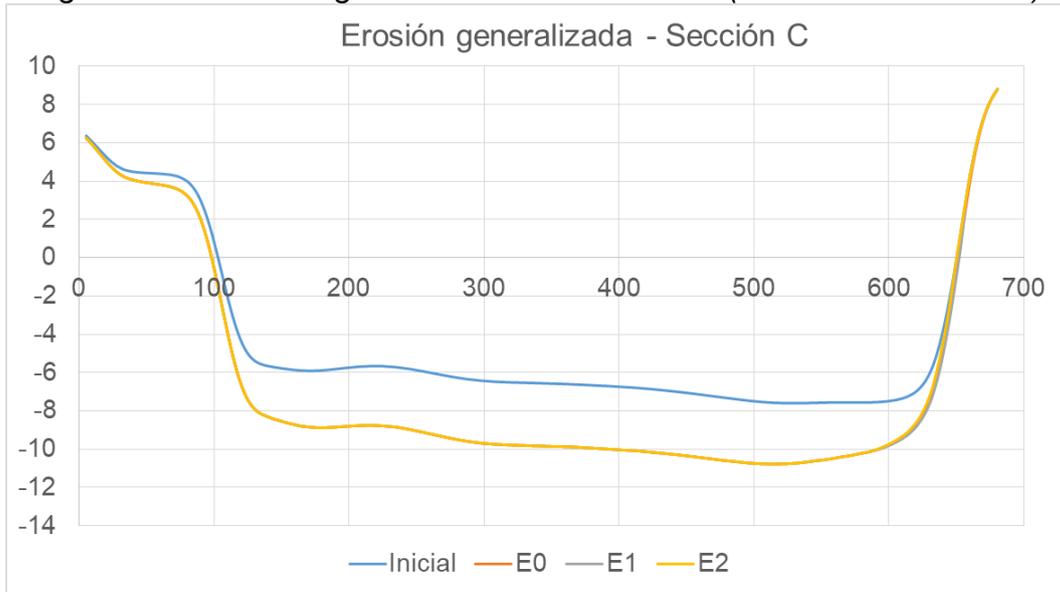


La velocidad media en la zona más cercana a la costa adopta valores próximos a 0,3 m/s para el escenario 0, incrementándose hasta valores cercanos a 0,5 m/s para el escenario 1, y disminuyendo a valores próximos a 0,1 m/s para el escenario 2. Las velocidades en el centro del cauce presentan valores de hasta 1,45 m/s para los tres escenarios.

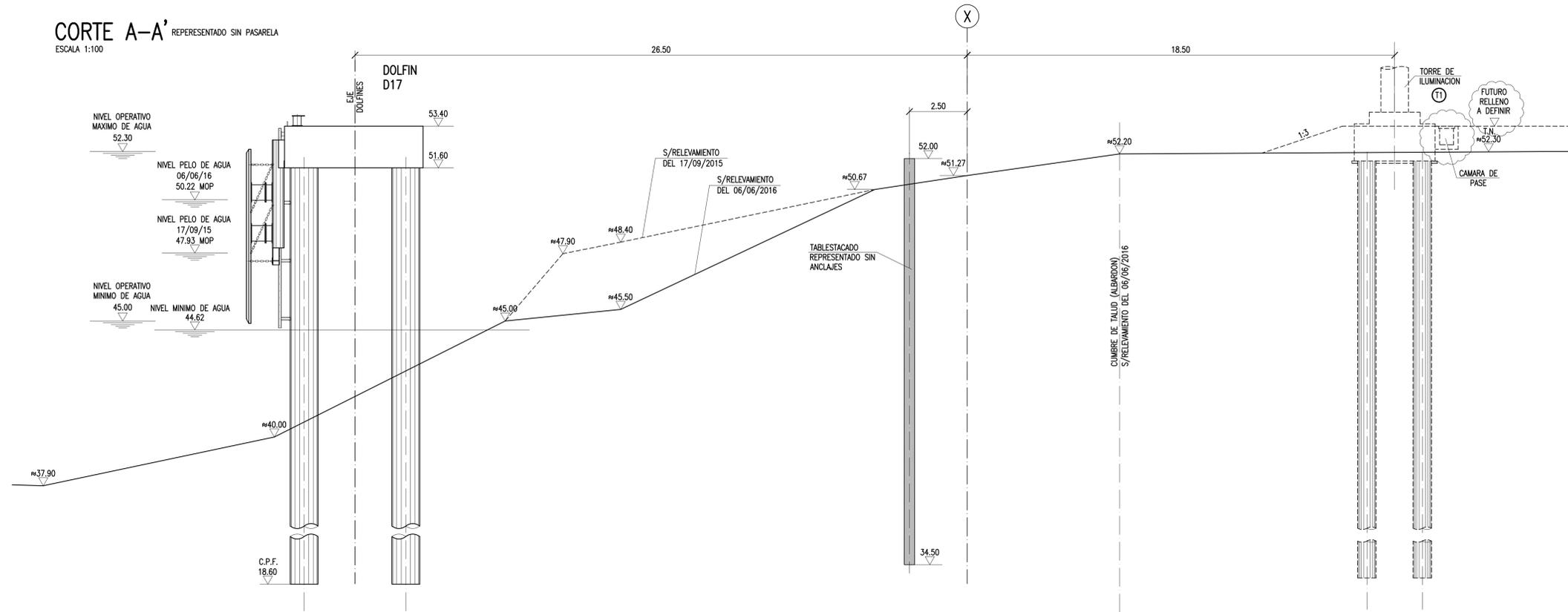
En todos los casos la profundidad aumenta de 1 m a 15 m en una distancia de 50 m aproximadamente, y el tablestacado existente es superado por la cota de inundación (quedando unos 2 m por debajo).

La Figura A.12 muestra el resultado de la fórmula de Lischtván – Lebediev para la Sección C. Se observa una erosión máxima de 3,3 m en la parte central del cauce.

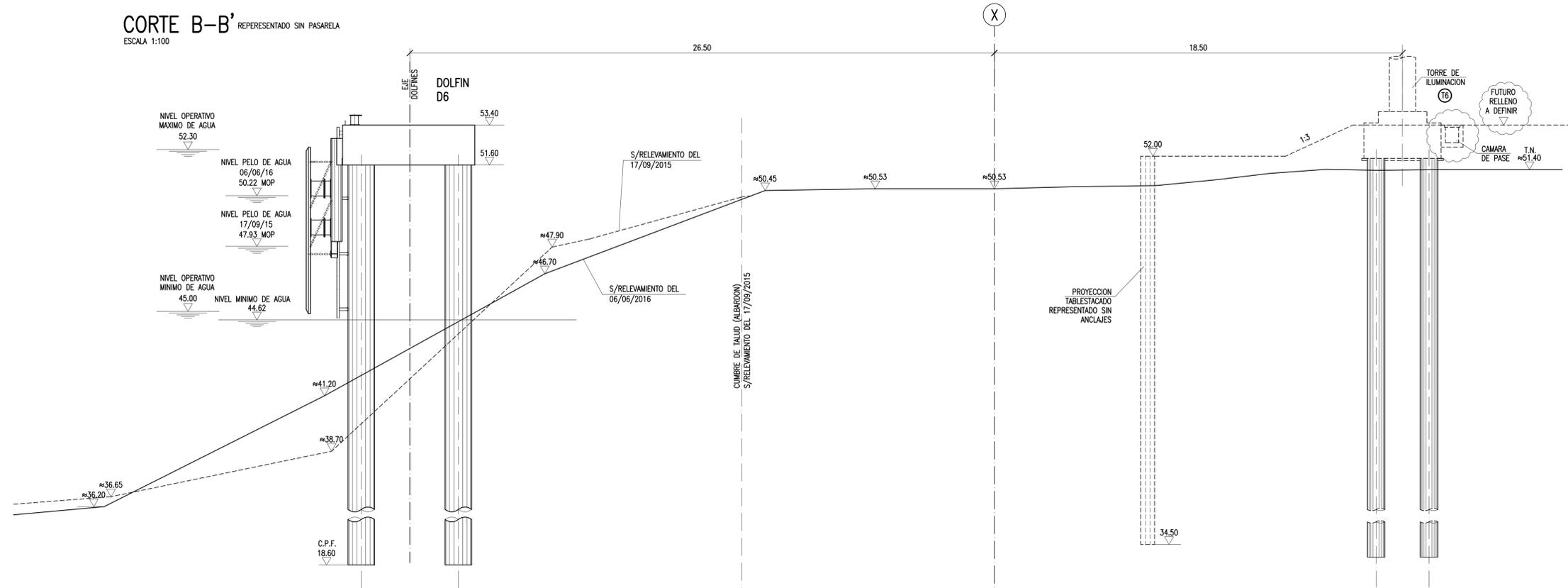
Figura A.12. Erosión generalizada en Sección C (recurrencia: 50 años)



CORTE A-A' REPERESANTADO SIN PASARELA
ESCALA 1:100



CORTE B-B' REPERESANTADO SIN PASARELA
ESCALA 1:100



REFERENCIAS:

1. PLANO R15 BATIMETRIA Y RELEVAMIENTO PLANALTIMETRICO EN PUERTO LAS PALMAS LEVANTAMIENTO TERRITORIAL Y ESTADO PARCELARIO NOMENCLATURA CATASTRAL: X D 51 SEPTIEMBRE 2015
2. PLANO 531.1.003 RELEVAMIENTO CUMBRE DE TALUD DEL 06/06/2016 1ra ETAPA

NOTAS:

1. LA PRESENTE NIVELACION ESTA REFERIDA A COTA MOP DEL PLANO GENERAL DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA
2. NIVELES: SEGUN DOCUMENTACION DE LICITACION NTN +6.30 ≈ 52.00 MOP DE RELEVAMIENTO
3. LAS MEDIDAS ESTAN EXPRESADAS EN METROS EXCEPTO OTRA INDICACION
4. TODAS LAS MEDIDAS DEBERAN SER VERIFICADAS EN OBRA
5. UBICACION CORTES: VER PLANO 531.5.001
6. C.P.F. = COTA PROBABLE FUNDACION PILOTES

1era EMISION	18-06-18	F.P.	H.E	W.L.
REV./CANT.	DESCRIPCION	FECHA	EJEC.	CONTR. APROB.
<p align="center">MUELLE EN PUERTO LAS PALMAS PROVINCIA DEL CHACO</p>				
<p align="center">2da ETAPA (AMPLIACION) PLANO GENERAL 2da PARTE CORTES TRANSVERSALES AGUAS ABAJO Y AGUAS ARRIBA</p>				
ESCALA INDICADA	N° 531.5.002 0			
<p>ESTE PLANO PUEDE SER UTILIZADO UNICAMENTE PARA LOS FINES PRECISADOS. SU ENTREGA A TERCEROS O EMPLER PARA OTROS FINES NO SE PERMITE SIN NUESTRO CONSENTIMIENTO.</p>				
<p align="right"> Compañía de Proyectos de Ingeniería S.R.L. <small>ALSIÑA 1149 - 4to. PISO - CAPITAL FEDERAL TEL.: 4383-4499/4297/4674 - FAX: 4383-4044</small> </p>				