

Paper N° 13 - ESCOLLERA AL NORTE DEL SEXTO ESPIGÓN - PUERTO BUENOS AIRES

Pitton Straface, Leandro C.

Email: leapitton@gmail.com

ABSTRACT: El presente trabajo describe la obra denominada "Escollera al Norte del Sexto Espigón - Puerto Buenos Aires", la cual cuenta con unos 500 metros de longitud y está constituida por tres tramos. La finalidad de la presente es continuar con la obra de abrigo de materiales sueltos, comenzada con la obra "Construcción de Defensa de Costa, Puente y Cabecera de Escollera en el Relleno al Norte del 6° Espigón - Puerto Buenos Aires", presentada en el IX Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria.

El trabajo expuesto se encuentra enmarcado dentro de las obras de expansión del Puerto hacia el río comenzada con la obra de la cabecera de escollera para lo cual es imprescindible realizar dicha obra, generando un nuevo sector de crecimiento para futuros rellenos, siendo una obra trascendental para el futuro crecimiento de Puerto Buenos Aires.

Se realizaron trabajos con el Instituto Nacional del Agua (INA) para la evaluación hidrosedimentológica debido a la modificación en la línea de costa. En el Proyecto Ejecutivo se confeccionó la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) con su correspondiente Estudio de Impacto Ambiental (EslA) y las medidas de control y mitigación.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta obra es continuar las obras de expansión del Puerto hacia el río que fuera iniciada con la obra de la cabecera de escollera, para lo cual la presente obra generara un nuevo área de relleno para ampliar el Puerto de Buenos Aires.

La obra para contener un relleno será materializada con una escollera de longitud total de 500m en tres tramos, el inicial de 100m en dirección aproximada al Norte a unos 12° respecto a la perpendicular al doble tablestacado metálico existente, luego se realizará una curva de 55m (con un radio de aproximadamente 45m) desde el extremo mencionado hasta la dirección coincidente con la prolongación de la defensa de costa del relleno del 6to espigón (dirección este) para continuar en unos 345m en esta dirección hasta la ubicación del morro.



Fig N° 1: Ubicación del área de obra.

2. Metodología

Para la ejecución de este proyecto de Ingeniería se ha recopilado información de estudios básicos relacionados en lo que se refiere a relevamientos topográficos y batimétricos.

2.1 Niveles de Marea Astronómica

De las tablas de Marea que publica el Servicio de Hidrografía Naval se obtiene la caracterización de la marea astronómica para el puerto de Buenos Aires, la cual se presenta a continuación correspondiente a la predicción 2017.

PUERTO DE BUENOS AIRES (Dársena F)

Cartas argentinas: H-156 - ENC/CNE AR401560.

Lat.: 34° 34' S Long.: 58° 23' W

Huso Horario + 3

Régimen de marea: Mixto preponderantemente semidiurno

Establecimiento de puerto medio: V^h 22^m

Nivel medio 0,79 m

Las alturas están referidas al plano de reducción que coincide con el cero del Riachuelo y pasa 0,79 m debajo del nivel medio.

Alturas en metros sobre el plano de reducción, correspondientes a la predicción 2017				Amplitud	
Pleamar		Bajamar		Máxima	Media
Máxima	Media	Más baja	Media		
1,49	1,09	0,27	0,47	1,07	0,62

Fig. N° 2: Tabla Mareas 2017 - Puerto Buenos Aires.

2.2 Análisis de niveles extremos y de oleaje

Para la descripción de las características hidrodinámicas requeridas para el proyecto en lo que se refiere a olas y niveles del río de la Plata próxima al sitio de emplazamiento de la obra, y dado la necesidad de contar con dicha información en un tiempo acotado, es que se empleó el informe que realizó el Instituto Nacional del Agua para estas empresas para la obra de reconstrucción del Morro en el Puerto de Buenos Aires, la provisión de dicha información se basó en estudios realizados por el Instituto empleando modelación numérica.

2.3 Niveles extremos en el Río de la Plata

Periodo de retorno T _R (años)	Nivel máximo (m)
2	3.00
5	3.30
10	3.50
20	3.70
50	3.96
100	4.17

Fig. N° 3: Niveles máximos probables para el Río de la Plata para diferentes períodos de retorno.

Periodo de retorno T _R (años)	Nivel máximo (m)
2	-1.16
5	-1.56
10	-1.80
20	-2.02
50	-2.27
100	-2.45

Fig. N° 4: Niveles mínimos probables para el Río de la Plata para diferentes períodos de retorno.

2.4 Climas de Olas

En las siguientes tablas se ha transcripto las características del oleaje determinado mediante la modelación numérica, para períodos de retorno de 50 años. En las tablas se indican la dirección del oleaje medido en el sentido horario a partir del norte, la altura significativa y el período pico espectral.

Dirección (°)	Altura de ola significativa H _s (m)	Período pico T _p (seg)
-12.8	1.2	3.5
33.8	1.9	4.3
99.2	1.8	5.2
115.6	2.0	5.2
121.3	2.3	6.4
128.4	2.1	6.4
133.7	1.9	5.2
138.6	1.3	5.2

Fig. N° 5: Características del oleaje en las proximidades de la escollera para un período de retorno Tr=50 años.

En base a estos resultados, se adopta para dimensionar la coraza exterior del escollero los siguientes parámetros de oleaje:

Sector del lado del canal de salida de central puerto
H_s = 1.2m ; T_p=3.5seg - T_m_3.0seg - T_m-1.0 = 3.2seg - Dir. NO

Sector tronco hacia el río de la Plata
H_s = 1.9m ; T_p=4.3seg - T_m_3.7seg - T_m-1.0 = 3.9seg - Dir. NE

Sector extremo escollera (Morro)
H_s = 2.3m ; T_p=6.4seg - T_m_5.5seg - T_m-1.0 = 5.9seg - Dir. SE

El lado interno de la escollera no se indican los parámetros debido a que en un tiempo próximo se rellenará el mismo, dado que se trata de una estado

temporario de período corto de tiempo motivo por el cual no se dimensionará este sector adoptándose el enrocado indicado en el pliego.

3 Diseño estructural

En este punto se realiza el dimensionamiento de las diferentes capas de enrocado que constituyen escollera de protección (lado externo).

3.1 Enrocado exterior o de coraza

Para dimensionar el enrocado de coraza de la protección se aplicará la fórmula de Van der Meer correspondiente a los tramos rectos de la protección (similar al tronco de una escollera), la misma se corresponde con aguas profundas dado que se verifica al pie de la escollera que el tirante de agua para las condiciones de diseño, evento de recurrencia 50 años, es próxima a 3.Hs. La fórmula tiene la siguiente expresión:

For *plunging waves* ($\xi_m < \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}$$

and for *surging waves* ($\xi_m \geq \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P$$

Se adopta las características del oleaje que fueron indicados en el punto 2.3 del presente informe, para el cual, de acuerdo a la ubicación de la escollera se consideraron los siguientes escenarios:

Sector del lado del canal de salida de central puerto.

Hs = 1.2m ; Tp=3.5 seg – Tm_3.0 seg - Tm-1.0 = 3.2 seg

En la figura siguiente se muestra la salida del programa de cálculo Cress que emplea la formulación de Van der Meer considerando un talud 1:1.5 para el escenario indicado precedentemente.

Se calcula con piedra granítica de peso específico 2650kg/m³.

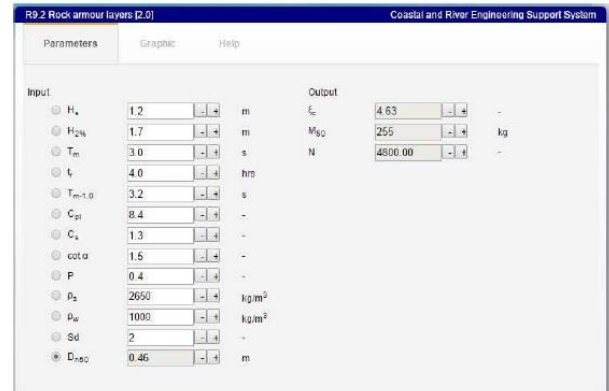


Fig. N° 6: Salida del programa para el escenario Hs= 1,20 m y Tm= 3.0 seg.

Para dimensionar el enrocado de coraza de la protección se aplicará la fórmula de Van der Meer correspondiente a los tramos rectos de la protección (similar al tronco de una escollera), la misma se corresponde con aguas profundas dado que se verifica al pie de la escollera que el tirante de agua para las condiciones de diseño, evento de recurrencia 50 años, es próxima a 3.Hs. La fórmula tiene la siguiente expresión:

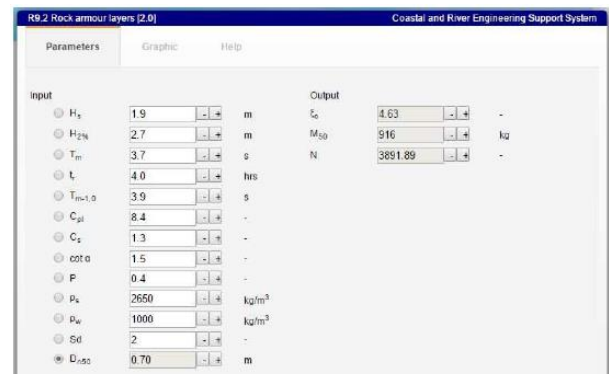


Fig. N° 7: Salida del programa para el escenario Hs= 1,90 m y Tm= 3,7 seg.

En base a este resultado se adopta para este sector el siguiente tamaño de piedra:

Dn50 = 0.75m
W50 = 1117Kg

El espesor de esta capa de enrocado es igual a 2Dn50 = 1,50 m

Si se colocara piedra cuarcítica de Peso específico 2450Kg/m³, de acuerdo al resultado obtenido con el programa que se presenta a continuación, se deberá emplear piedra de la siguiente característica:

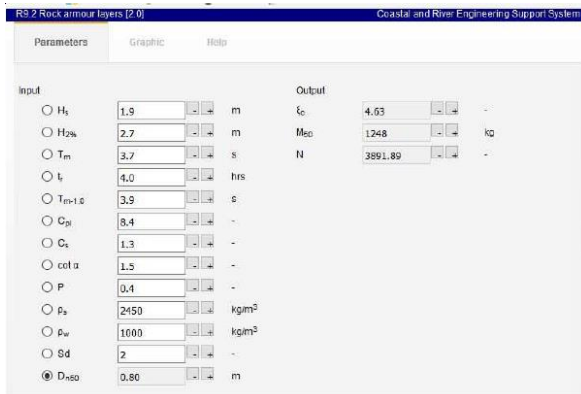


Fig. N° 8: Salida del programa para el escenario H s = 1.90m y Tm = 3.7seg – Piedra cuarcítica

Dn50-cuarcítica = 0.80m
W50-cuarcítica = 1248Kg

Sector extremo escollera (Morro)

Hs = 2.3m ; Tp=6.4seg - Tm_5.5seg – Tm-1.0 = 5.9seg – Dir. SE

En este sector correspondiente al morro dado que una parte del mismo se encuentra frente al río de la Plata cuya ola será menor (Hs = 1.9m) y la otra parte del mismo que se encuentra en el lado que enfrenta al tablestacado (interior) que será rellenado próximamente y cuya ola corresponde a la indicada en este escenario (Hs = 2.3m) por lo que se adopta para el cálculo de este sector un nivel de daño Sd igual a 4 en lugar de 2, luego como se procede en un morro al peso resultante del cálculo se debe adoptar un enrocado de 1.5 veces el peso calculado.

En la figura siguiente se muestra la salida del programa de cálculo Cress que emplea la fórmula de Van der Meer considerando un talud 1:1.5 para el escenario indicado precedentemente.



Fig. N° 9: Salida del programa para el escenario Hs = 2.3m y Tm = 5.5seg.
Se obtiene de este cálculo una piedra de peso W = 1440Kg, correspondiéndole al morro un peso 50% mayor:

$W50 = 1.5 * 1440\text{Kg} = 2160\text{Kg}$
 $Dn50 = 0.94\text{m}$

El espesor de esta capa de enrocado es igual a $2Dn50 = 1.88\text{m}$

Si se colocara piedra cuarcítica de Peso específico 2450Kg/m³, de acuerdo al resultado obtenido con el programa que se presenta a continuación se deberá colocar piedra de la siguiente característica:



Fig. N° 10: Salida del programa para el escenario Hs = 2.30m y Tm = 5.5seg – Piedra cuarcítica

Se obtiene de este cálculo una piedra de peso $W_{\text{cuarcítica}} = 1962\text{Kg}$

correspondiéndole al morro adoptar un peso 50% mayor:

$W50\text{-cuarcítica} = 1.5 * 1962\text{Kg} = 2943\text{Kg}$
 $Dn50\text{-cuarcítica} = 1.94\text{m}$

Sector esquina (curva) entre la salida del canal y la escollera que enfrenta al río.

Para el sector de la protección que corresponde a las esquinas (similar a un Morro) el peso de la piedra resulta igual a 1.5 veces el peso de piedra del tronco. Por lo tanto en los sectores de esquinas la piedra de coraza tendría el siguiente peso y diámetro nominal:

$W50\text{esq} = 1.5 * 1117\text{Kg} = 1675\text{Kg}$
 $Dn\text{ esq} = 0.85\text{m}$.

El espesor de esta capa de enrocado es igual a $2Dn50 = 1.70\text{m}$

Si se colocara piedra cuarcítica de Peso específico 2450Kg/m³, se deberá emplear piedra de la siguiente característica:

$W50\text{esq-Cuarcítica} = 1.5 * 1248\text{Kg} = 1872\text{Kg}$

Dn50-cuarcítica = 0.92m
W50-cuarcítica = 1872Kg

La piedra de coraza del coronamiento se mantiene igual a las calculadas para los taludes en los tramos rectos y deben colocarse como mínimo tres piedras del diámetro correspondiente; como el coronamiento es de 5m para cubrir la piedra de subcapa cumple dicha condición.

3.2 Subcapas

La nueva escollera se construirá entre la coraza y el núcleo se colocará una subcapa que sirve de transición entre el tamaño de piedra del núcleo y de la coraza.

La estructura de la subcapa debe permitir que se cumpla con la ley de filtro y que el material de dicha capa no se fugue entre los espacios que dejan la capa externa, para que cumpla este requerimiento se emplea un peso que sea por lo menos el 10% del correspondiente al de la capa externa, por lo tanto resulta para la subcapa piedra de las siguiente características:

La subcapa estará constituida por piedras de peso aprox. Igual o mayor a $(1/10) \cdot W50$ por lo que se adopta para todos los taludes externos lo siguiente:

Subcapa:

W50subcapa= 300kg Dnsubcapa = 0.48m

Este peso verifica la condición indicada precedentemente para todos los taludes externos.

El espesor de la subcapa se adopta $2 \cdot Dnsubcapa$

$2 \cdot Dnsubcapa = 0.96m$

Únicamente en el talud externo del lado del canal no se coloca subcapa dado que el tamaño de la coraza en dicho tramo se verifica que el peso de las piedras de núcleo es mayor al 10% del peso de la piedra de coraza.

3.3 Pie de Escollera

El pie de escollera es el que acompaña una posible erosión que se produciría en el extremo de la estructura, lo cual evita el posible colapso del cuerpo principal de la misma y sirve de apoyo a la coraza.

La estabilidad de la protección al pie está afectada por la altura de ola, la profundidad de agua al sobre la protección y el peso específico del material. Sin embargo la pendiente de la ola no afecta la estabilidad.

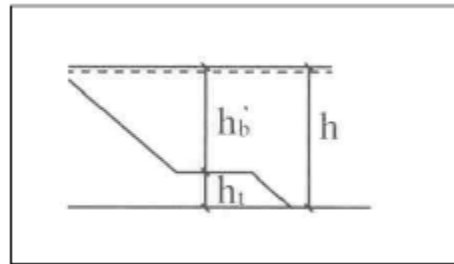


Fig. N° 11: Parámetros que intervienen en una protección al pie.

Las siguientes expresiones pueden emplearse para el cálculo del tamaño de piedra para el pie de escollera:

$$Ns = Hs/\Delta Dn50 = [(0.24 hb / Dn50) + 1.6] * Nod 0.15$$

o la siguiente fórmula:

$$Ns = Hs/\Delta Dn50 = [(6.2 (hb / h)^{2.7}) + 2] * Nod 0.15$$

donde:

Hs: altura de ola significativa.

Δ : densidad específica del material.

Dn50 : Diámetro nominal del enrocado.

hb :profundidad de agua sobre la balsa.

Nod: Número de unidades desplazadas de la protección en un ancho de Dn50 .

Nod = 0.5 inicio del daño.

2 daño aceptable.

4 daño severo.

Se considera para el presente proyecto Nod=0.5.

Para el cálculo de la protección al pie se considerara una altura de ola de 0,8 m con el nivel de agua igual correspondiente al mínimo nivel de recurrencia de 50 años que de acuerdo a lo indicado en el punto 2.3. es de -2.27m.

Se asume una piedra de diámetro 0.40m (170Kg), con una altura igual a 3 diámetros. Por lo tanto si el fondo se encuentra a cota -5.0m, $ht= 1$ m y $hb= 2,2$ m.

Se utilizó el programa de cálculo Cress, que emplea la formulación mencionada, y cuyos parámetros de ingreso y el resultado obtenido se presentan a continuación:



Fig. N° 12: Salida del programa para $H_s = 0,8\text{m}$ y nivel de agua $-2,27\text{m}$ bajo cero Riachuelo

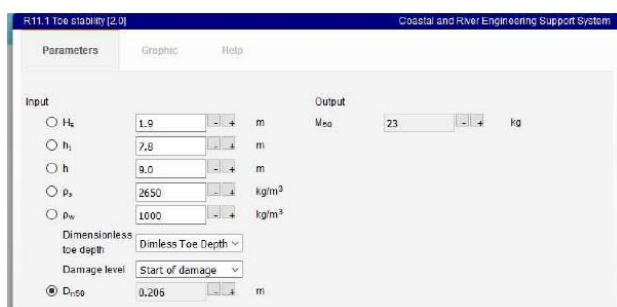


Fig. N° 13: Salida del programa para $H_s = 1,9\text{m}$ y nivel de agua $3,96\text{m}$ sobre cero Riachuelo

Como se observa en las figuras anteriores, el diámetro de piedra necesario en el pie de escollera es menor al adoptado.

W_{50} -Pie de escollera = 170 Kg.

D_{n50} -Pie de escollera = 0.40m

Espesor igual a $3 \cdot D_n = 1.20\text{m}$

La longitud de la protección al pie debería ser igual a dos veces la erosión estimada. La erosión estimada (del lado de la seguridad) es aproximadamente igual a $Eros. = H_s = 0,70\text{m}$, o sea que la longitud necesaria es:

$$L_{nec. Prot. pie} = 2 \cdot Eros. = 2 \cdot 0.70\text{m} = 1,40\text{m}.$$

Se adopta una longitud de protección al pie en su parte superior de $1,50\text{m}$.

3.4 Banquina

La escollera apoyará sobre la banquina, la misma se materializará con piedra pequeña y cuyo espesor será igual a 0.3m .

$$W_{Banquina} = 1 \text{ a } 20\text{Kg}$$

3.5 Fotos



Fig. N° 14: Inicio de Obra.



Fig. N° 15: Final de Obra.

4 CONCLUSIÓN

Las obras descritas forman parte de una planificación estratégica a largo plazo que incluye la flexibilidad del puerto ante las demandas de infraestructura mediante la construcción de áreas de relleno que se le ganarán al río.

Buscando lo siguiente:

- Mejoramiento de los accesos náuticos.
- Mejoramiento de la capacidad operativa portuaria.
- Terminal de Pasajeros.
- Mejoras de la capacidad logística.
- Mejoramiento de los accesos viales.
- Mejoramiento de los accesos ferroviarios.

En función al Estudio de Impacto Ambiental, se concluyó que el mismo afirma que el resultado de las obras no representan un riesgo significativo para el ambiente, que todos los impactos negativos analizados tienen un carácter leve y que la obra de protección costera, frente a la acción del oleaje, tiene un impacto positivo al evitar la erosión que venía ocurriendo.

Las obras de relleno se vienen desarrollando con aporte de suelos provenientes de la obra Paseo del Bajo, entre otras. Por lo cual, es fundamental para la contención del mismo ante el embate de las olas.

5 REFERENCIAS

Gerencia de Ingeniería, AGP SE, Puerto Buenos Aires (2013), Estudio de Situación Actual y Futura.

MarCom Working Group 158, PIANC (2014), Masterplans for the Development of Existing Ports.

Instituto Nacional de Agua y del Ambiente (INA), Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Estudio de descarga de la Central.

Castellano, R.; Haspert, C. A.; Tomazin, N.; Caceres, R.; Peralta, S. I. (2012), Evaluación del Oleaje en el Morro de la Escollera del Puerto Buenos Aires, Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Recursos Hídricos. Buenos Aires. p. 21.

Escalante, R; Sivori, G. (2012). "Diseño de Canales". EGIP (Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria). Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

PIANC (2006) Report No. 25, Maintenance and Renovation of Navigation Infrastructure, Report No. 103, Life cycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation, Permanent International Association of Navigation Congresses, Brussels, Belgium.

ROM 0-11 (2011). Recomendaciones Generales, ROM 1-11 (2011). Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución de Obras de Abrigo, Puertos del Estado, España.

Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa (2016). Avisos a los Navegantes. Folleto No 9, Publicación H-216.

Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa (2016). Derrotero Argentino. Publicación H-201 Parte 1 "Río de la Plata" Armada Argentina, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa.

Puertos del Estado de España (2004). "Curso General de Dragados", España.

Marine Traffic (2016). Derrotas de buques en tiempo real. www.marinetraffic.com