

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

INFORME SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA
ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUEN
LHA-S4-035-92



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TÉCNICA HÍDRICAS

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA
Y TECNICA HIDRICAS

LABORATORIO DE HIDRAULICA
APLICADA

INFORME SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA
ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUEN
LHA-S4-035-92

por:

Ing. Roberto CASTELLANO
Jefe de Hidráulica Marítima

Ing. José D. BREA
Investigador Responsable. L.H.A

Sr. Carlos HASPERT
Tratamiento de datos

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA
Y TECNICA HIDRICAS

LABORATORIO DE HIDRAULICA
APLICADA

**INFORME SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA
ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUEN
LHA-S4-035-92**

por:

Ing. Roberto CASTELLANO
Jefe de Hidráulica Marítima

Ing. José D. BREA
Investigador Responsable. L.H.A

Sr. Carlos HASPERT
Tratamiento de datos

**INFORME SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA
ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUEN
LHA-S4-035-92**

Resúmen: Se presenta una análisis de la situación de la escollera Sur del Puerto de Quequén en razón de efectuarse trabajos de dragado en sus proximidades que alterarán las condiciones de oleaje al pié de la misma

Descriptores: Obras de abrigo - Estabilidad de escolleras - Dragados - Quequén.

INDICE

INTRODUCCION	1
1. EVALUACION DEL INFORME DE BOSKALIS	1
2. ANALISIS REALIZADO POR EL INCYTH	2
2.1 Descripción del problema	2
2.2 Inspección de la Escollera Sur	3
2.3 Alternativas de dragado	3
2.4. Clima de olas al pie de la escollera	3
2.5. Máxima altura de ola rompiente al pie de la escollera	4
2.6 Condiciones de oleaje con posterioridad al dragado . .	5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7

INFORME SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUEN

INTRODUCCION

A requerimiento de BOSKALIS INTERNATIONAL bv, sucursal Argentina, quien realiza tareas de dragado en el Puerto de Quequén junto con vvo TECHNOEXPORT, se presenta en este Informe el análisis del documento "Possible Failure of the Escollera Sur", del 29/4/92. Este último documento fue preparado por Boskalis para la DIRECCIÓN DE CONSTRUCCIONES PORTUARIAS Y VÍAS NAVEGABLES, contratista de la obra, en virtud de la Orden de Servicio N° 224 del 20 de abril de 1992, en razón de algunos daños observados en la escollera Sur del puerto de Quequén, atribuibles a las alteraciones producidas por el dragado en ejecución. Es también esa Dirección que requiere a Boskalis bv en la citada Orden de Servicio que su informe sea avalado por el INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS.

En virtud de ello el LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA DEL INCYTH destacó a los Ing. R. Castellano y D. Brea para responder al requerimiento. En reunión efectuada en la ciudad de Necochea el 7 de Mayo con la participación de representantes de las empresas dragadoras, de la DCPyVN (Ing. Abitante) y del INCYTH se acordó con el Ing. Abitante que además de analizar el Informe de Boskalis, el INCYTH debía proponer y analizar expeditivamente algunas alternativas al proyecto de dragado tendientes a reducir o eliminar el riesgo de daño sobre el morro de la escollera.

1. EVALUACION DEL INFORME DE BOSKALIS

En el Informe de Boskalis se trata de explicar la causa de los daños verificados en el morro de la escollera por temporales ocurridos en marzo y abril de 1992. Para ello se realiza un somero análisis del clima de olas en la región a partir del cual se determina una altura significativa en aguas profundas de 6.5m y 11 seg de período como ola verificación de la estabilidad de la estructura.

La altura de ola al pie de la escollera fue establecida mediante un programa computacional, aunque no se detallan sus hipótesis de cálculo.

Sobre la base de registros del olígrafo instalado por Boskalis, se determinó una altura significativa para las fechas críticas (23/3/92 7/4/92), cuando el dragado preventivo ya había sido comenzado; en base a esta información se verificó la estabilidad del enrocado que compone la berma y de los bloques superiores para ambas situaciones. El cálculo de verificación se realizó mediante las fórmulas de Hudson y de van der Meer.

La conclusión a que arriba este análisis es que para condiciones extremas la piedra que compone la berma no estable. En cuanto a los bloques de concreto se concluye que antes del dragado no había riesgo, pero que en las condiciones presentes (dragado parcialmente ejecutado)

existe algún riesgo de daño y que de completarse el dragado proyectado no hay dudas de que el rompeolas sufrirá severos daños.

Con respecto a la ola seleccionada para la evaluación, cabe señalar que resulta en principio razonable para el nivel de análisis que se realiza. Aunque no se indica la dirección de incidencia, surge de las tablas adjuntadas al informe (Appendix I) que la misma es SE. Sin embargo se destaca que la fuente utilizada (*Global Wave Statistics*) indica la posibilidad de una ola máxima significativa **anual** de 7 a 8 m, con lo cual la ola de 6.5 m adoptada parece algo baja si además se tiene en cuenta que este tipo de análisis debe realizarse para eventos de una recurrencia del orden de los 50 años.

De las fórmulas utilizadas para analizar la estabilidad de los bloque y de las piedras, puede decirse que en la fórmula de Hudson el coeficiente de estabilidad K_d elegido corresponde a la condición de olas rompientes tanto para la piedra (tres capas, $K_d = 2.3$) como para los bloques ($K_d = 4.1$), que es la condición más desfavorable; como se verá más adelante existe la posibilidad de que olas rompientes se presenten al pie de la estructura. La fórmula de van der Meer utilizada es también la correspondiente a olas rompientes en ambos casos. La selección de las variables que intervienen en la fórmula de van der Meer es adecuada, incluyendo la duración del temporal (6h). Para una comparación de resultados con la fórmula de Hudson tal como ha sido aplicada, hubiera sido más adecuado un valor de nivel de daño $S=2$, equivalente al daño 0 de la fórmula de Hudson ("Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack", J.W. van der Meer, 1988).

Con respecto a las conclusiones de este Informe, serán tratadas al final del presente.

2. ANALISIS REALIZADO POR EL INCYTH

2.1 Descripción del problema

El problema planteado lleva a un conflicto de intereses: por una parte, cuanto mayor sea la extensión del dragado preventivo, menor será el aporte de arena al canal de navegación, permitiéndose mantener el calado navegable por más tiempo. Esto redundará en un mejor aprovechamiento de la capacidad de carga y en una reducción de los costos de flete. Las tareas de dragado se efectuarán sobre el área de preevención, no interfiriendo con el paso de buques por el canal de acceso.

Como contraparte, el morro de la escollera se verá más expuesto al oleaje, por lo que se prevé que sufrirá daños más severos y/o con mayor frecuencia que en la actualidad. Esto resulta en principio demostrado por el análisis efectuado por la Boskalis en su Informe, y por las observaciones del estado del morro de la escollera después del temporal registrado en marzo del corriente año. Para asegurar entonces la integridad de la escollera para el caso de completarse el dragado, debe preverse la realización de trabajos de mantenimiento más frecuentes o reforzar el morro con elementos mayores que los que el proyecto original preveía. Esta situación originará un costo en obras de reparación que deberá ser confrontado con el beneficio económico de mantener libre el canal de navegación.

Una tercera solución de compromiso es modificar el proyecto de dragado de modo de lograr una adecuada seguridad de la estabilidad del morro en su actual situación.

Las pautas para el manejo de los dos primeros enfoques del problema son de exclusiva competencia de la DCPyVN. Se analizan más adelante algunas variantes referidas exclusivamente a la modificación del dragado de proyecto.

2.2 Inspección de la Escollera Sur

El día 8 de mayo se realizó una inspección ocular del morro de la Escollera Sur, tanto desde su parte superior como desde una lancha provista por Boskalis bv. Pudo observarse el desplazamiento del enrocado que constituye la berma de base hacia ambos lados del morro, tal como ha sido señalado por Boskalis en su informe. Uno de los bloques de 30 t que componen el morro se ha desplazado al desaparecer la base de enrocado. Es de destacar la heterogeneidad del tamaño del enrocado que compone la berma. Pudo observarse la cuarta hilera de bloques comenzando desde la parte superior, que en fotografías de fechas anteriores aparece cubierta por el enrocado. Las Fotos 1 y 2 muestran la situación descripta.

2.3 Alternativas de dragado

Se presentan dos alternativas de dragado que mantienen la geometría general del proyecto original (Fig. 3) incluyendo la cota del fondo a -12m, pero que limitan la distancia mínima al morro de la escollera a 150 y 200 m respectivamente. Las dos alternativas se presentan en la Figuras 4 y 5, superpuestas a la topografía del fondo sin dragar.

2.4. Clima de olas al pie de la escollera

Se procedió a efectuar un cálculo computacional de la altura de la ola al pie de la escollera para una ola en aguas profundas de $H = 6.50\text{m}$, $T = 10$ seg y nivel del mar $+1.50\text{m}$ sobre el plano de referencia. Para ello se construyeron 3 mallas de cálculo anidadas, cada una con menor superficie pero mayor densidad de información batimétrica. Se utilizaron respectivamente las cartas Náuticas H-210, H-252 y H-253 del S.H.N, y un relevamiento efectuado por Technoexport en las inmediaciones del morro de la escollera en Dic. 1991.

Las alturas de ola obtenidas se presentan en la siguiente Tabla, donde además se indican los valores calculados por Boskalis.

Tabla N° 1

Condición	H (m)	H (Boskalis) (m)
Previa al dragado	3,5	3,7
Dragado Proyectado	5,4 <i>4,60</i>	4,8
Alternativa 1	3,7	--
Alternativa 2	3,6	--

Las alturas pronosticadas por Boskalis son razonablemente coincidentes con las aquí calculadas; parte de esta diferencia puede deberse al hecho que el análisis de refracción aquí presentado se ha efectuado únicamente para $T = 10$ s, cuando en realidad Boskalis considera un período $T = 11$ s asociado a la ola de $H = 6.5$ m. Los efectos de decaimiento por la fricción del fondo no han sido tenidos en cuenta, en cambio sí lo ha sido la topografía del fondo en el área de propagación. Para el cálculo que aquí se presenta se adoptó la dirección SE. Considerando el carácter del análisis efectuado puede decirse que los resultados son razonablemente coincidentes.

Las Alternativas 1 y 2 refractan las olas del SE más que el dragado proyectado debido a la configuración cóncava del talud. Cabe señalar que el análisis es válido únicamente para olas de dirección SE (135° respecto del N) y que la dirección de incidencia hará variar la altura de ola en el punto de cálculo, al igual que la modificación de otros parámetros como el período T de la ola y el nivel del mar, que en la zona presenta valores extremos de hasta 3,10m. En todos los casos el análisis de refracción se realizó para la configuración del fondo inmediatamente después del dragado, y no se han tenido en cuenta las modificaciones que aquél sufrirá por la acción de olas y corrientes hasta lograr una configuración de equilibrio.

2.5. Máxima altura de ola rompiente al pie de la escollera

A partir de la fórmula del Shore Protection Manual (1984) para altura de ola rompiente se calculó la máxima ola posible al pie de la estructura. Se utilizaron como niveles del mar los valores de +1.5 m y +2.5 m sobre el Plano de referencia. Cabe señalar que según este análisis, la altura de ola de proyecto resulta controlada por la profundidad al pie. Con ello, tanto la situación sin dragado como con dragado no ofrecerían diferencias salvo por el hecho que los dragados no son estables, sino que una vez efectuados tenderán a recuperar un talud de equilibrio. Esta situación es difícil de evaluar pero es la que definirá la altura de ola rompiente máxima posible al pie de la escollera. En efecto, esta altura es función tanto de la profundidad al pie y del periodo de la ola, como de la pendiente del fondo.

En virtud de lo expresado en las pág. -4- del informe de Boskalis,

cabría esperar una pendiente de equilibrio de 1:20 con posterioridad a la realización del dragado. Adoptando este valor, se efectuaron las estimaciones de altura máxima posible al pie de la escollera para distintas situaciones. Los resultados se presentan en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2

Nivel del mar				NM+1.5		NM+2.5	
Condición	Pend. 1 en	T (s)	d (m)	db (m)	Hb (m)	db (m)	Hb (m)
Previa al dragado	50	9.1	4.5	6.0	5.0	7.0	5.8
		10.1			5.2		5.9
		11.0			5.2		6.0
Situación actual	33	9.1	4.0	5.5	4.9	6.5	5.7
		10.1			5.0		5.8
		11.0			5.1		5.9
Proyectado	20	9.1	5.0	6.5	6.1	7.5	6.8
		10.1			6.3		7.1
		11.0			6.4		7.3
Altern. 1	20	9.1	4	5.5	5.3	6.5	6.1
		10.1			5.4		6.3
		11			5.6		6.4
Altern.2	100	9.1	4	5.5	4.5	6.5	5.3
		10.1			4.5		5.3
		11.0			4.6		4.6

En esta Tabla d es la profundidad bajo el plano de referencia al pié de la escollera (sin tener en cuenta la presencia de la berma), y db es la profundidad total incluyendo la sobreelevación de la marea. Estas olas son sin excepción muy superiores a las que resultan del cálculo aplicando las expresiones de Hudson y van der Meer ($H_s = 3.93$ m para los bloques y $H_s = 2.50$ para el enrocado, según Hudson) para las condiciones de proyecto, es decir peso del bloque de 30 t y peso del enrocado 3.6 t. Restaría conocer la recurrencia de los eventos que se presentan en la Tabla precedente, y si los mismos provocan daños compatibles con la seguridad de la estructura. Ambas determinaciones exceden los alcances del presente informe.

2.6 Condiciones de oleaje con posterioridad al dragado

Las alternativas al dragado preventivo proyectado analizadas indican que, para su configuración inicial, una misma ola en aguas profundas llegará al pie de la escollera casi con la misma altura en cualquiera de los dos casos. Sin embargo, un reacondicionamiento del talud por efecto de olas y corrientes debe ser tenido en cuenta; esta evaluación está fuera del alcance de este informe. Sin embargo, si se

adopta la hipótesis que el perfil de equilibrio tenderá a adoptar una pendiente de 1:20, el dragado proyectado, dada su proximidad a la obra de abrigo, podría llegar a aumentar la profundidad en las proximidades de la estructura y la ola se propagaría hasta el pie del morro con esa pendiente del fondo. En esta situación, la máxima ola rompiente que puede llegar a la estructura sería de alrededor de 7.3 m (para $T = 11$ s). Si bien esto equivale a una ola en aguas profundas algo mayor (no se han analizado los efectos de refracción para estos casos), no debe dejar de considerarse la posibilidad de que esta ola se presente durante la vida útil de la obra.

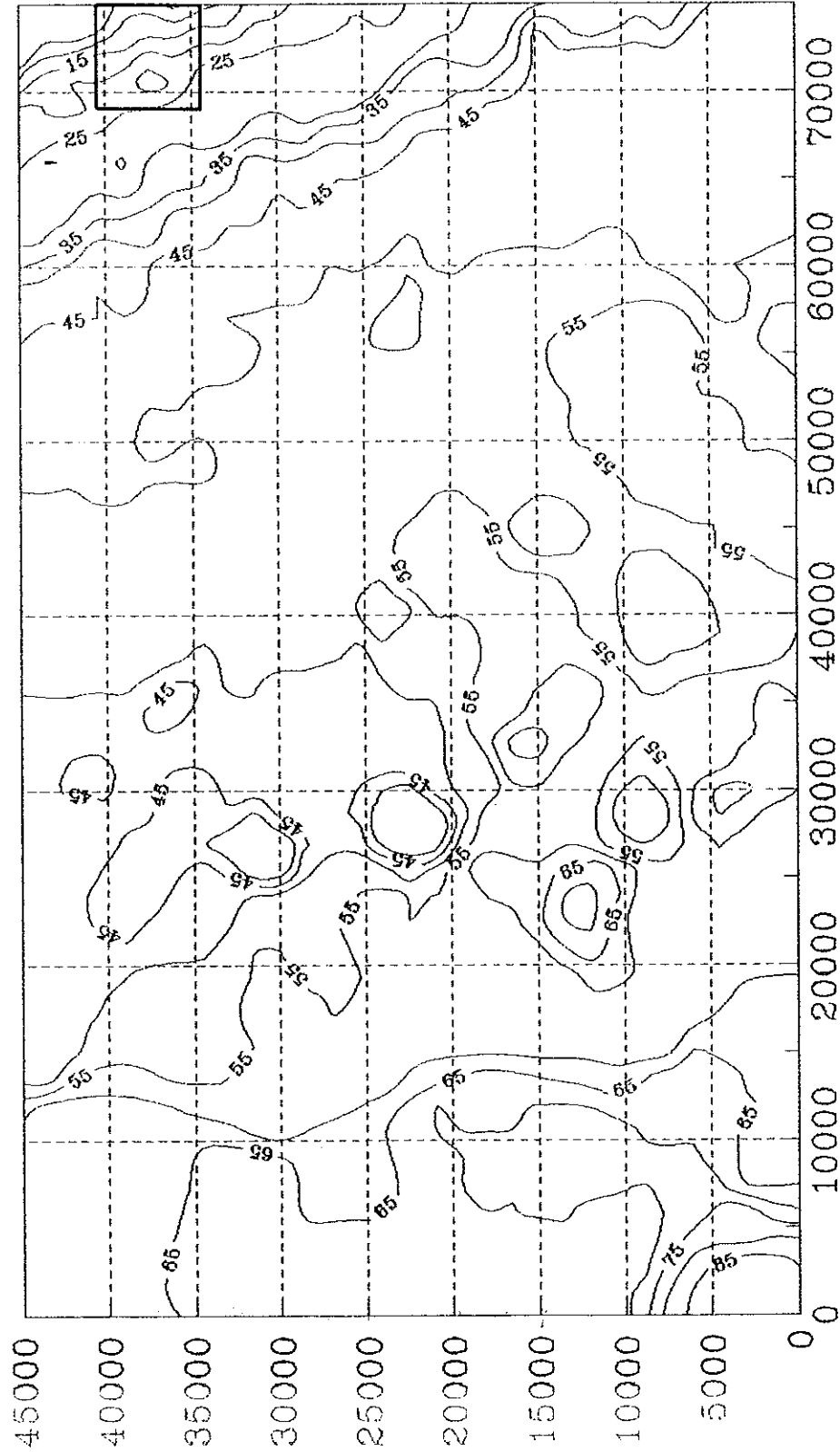
Bajo las mismas hipótesis en cuanto al perfil de equilibrio, las alternativas de dragado 1 y 2 limitan la máxima altura de ola posible al pie del morro. En este sentido la alternativa 2 limitaría la máxima altura de rompiente a 4.6 m debido a que permitiría el desarrollo de un tramo de unos 100 m delante del morro con taludes mucho más tendidos; la alternativa 1 en cambio permite romper al pie del morro olas de hasta 6.4m.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Los resultados obtenidos en los cálculos efectuados por el INCYTH muestran una razonable coincidencia con los realizados por Boskalis bv. Surge de ellos la preocupación por el riesgo de daño que eventualmente afectará al morro de la escollera una vez completado el dragado proyectado.
- 2) Se proponen dos alternativas al dragado proyectado que limitan la distancia mínima hasta el morro de la escollera y generan un patrón de refracción de olas que permitiría la reducción de su altura en el morro. También se reduciría la máxima ola rompiente posible. La Alternativa 2, que contempla un dragado a una distancia mínima de 200 m del morro de la escollera, presentó alturas de ola comparables a las condiciones previas al dragado.
- 3) El análisis efectuado reviste un carácter expeditivo y si el mismo fuera a ser utilizado en la toma de decisiones convendrá adoptar un criterio conservador. Dadas las pautas que la DCPyVN maneja actualmente con respecto a las tareas de mantenimiento de la escollera, es recomendable ser cauto en cuanto a las distancias mínimas a mantener entre el morro y el límite del dragado. El análisis que aquí se presenta tiene en cuenta únicamente las condiciones de oleaje al pie del morro, y no la eficiencia del dragado preventivo para captar sedimentos y evitar su ingreso al canal de navegación, o la alteración del oleaje en la entrada al puerto (y su propagación hacia el interior).
- 4) En el futuro es recomendable efectuar una inspección frecuente de la evolución del lecho, asociada al clima de olas y corrientes que modelan el fondo en las inmediaciones del morro y del dragado preventivo. Esto, conjuntamente con una evaluación de los aportes de arena al canal de navegación, podrá brindar información de base para mejorar la comprensión de los fenómenos hidrodinámicos y sedimentológicos locales, y de la eficiencia del dragado preventivo. Con ello, y mediante la realización de estudios más detallados, será posible optimizar el sistema dragado-escollera dentro de pautas económicas y de seguridad adecuadas.
- 5) Sería recomendable efectuar un análisis que permita determinar el significado estadístico del temporal ocurrido en marzo; ello permitiría tener una más clara idea del riesgo de daño que puede esperarse en el futuro sobre el morro de la escollera.

$$\theta_0 = 0$$

Figura 1. Proximidades de Quequen



(31)

$$d_{MK} = 150$$

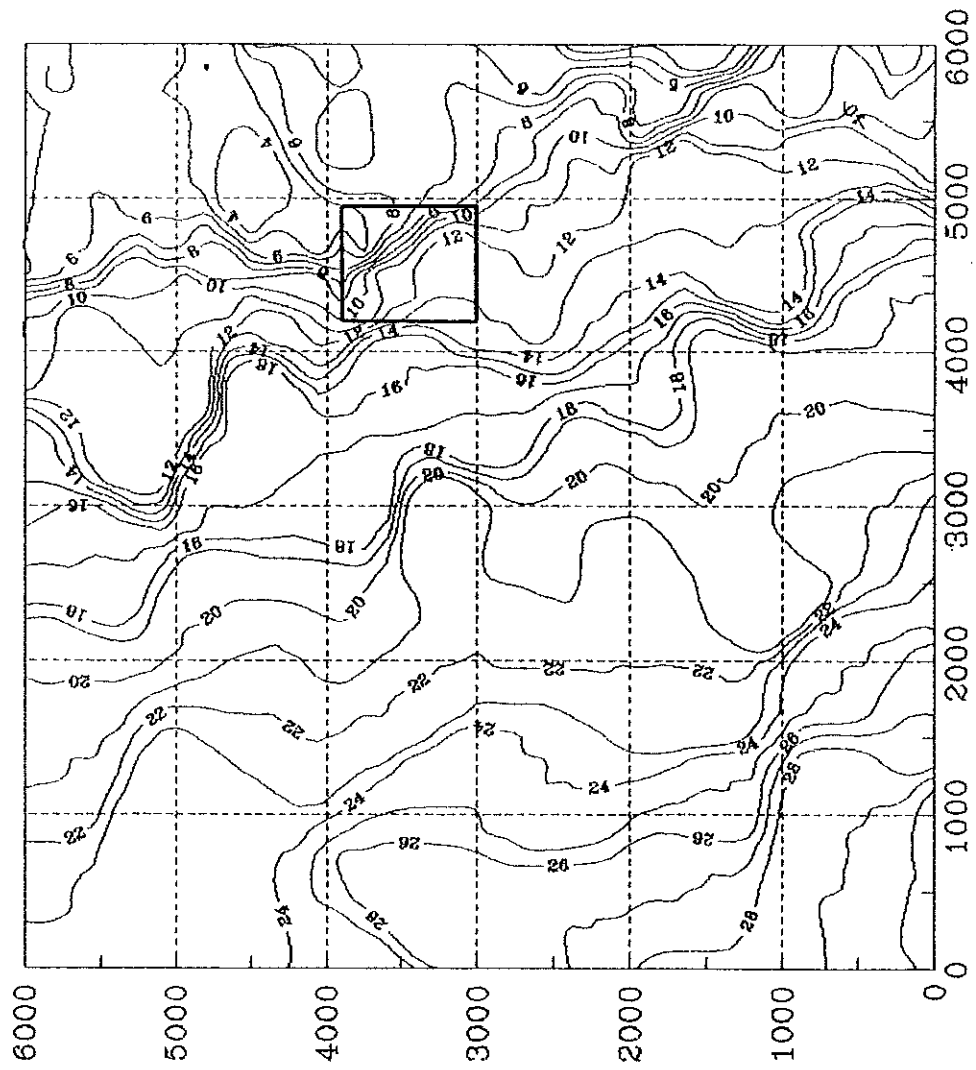
$$\theta_0 = 22.5^\circ$$

$$d_{MK} = 609 = 1500$$

$$ds = 500^{MK}$$

(51)

Figura 2. Proximidades de Quequen. (Detalle)



(41)

$$\Delta x = dy = 150$$

$$\Delta y = 50$$

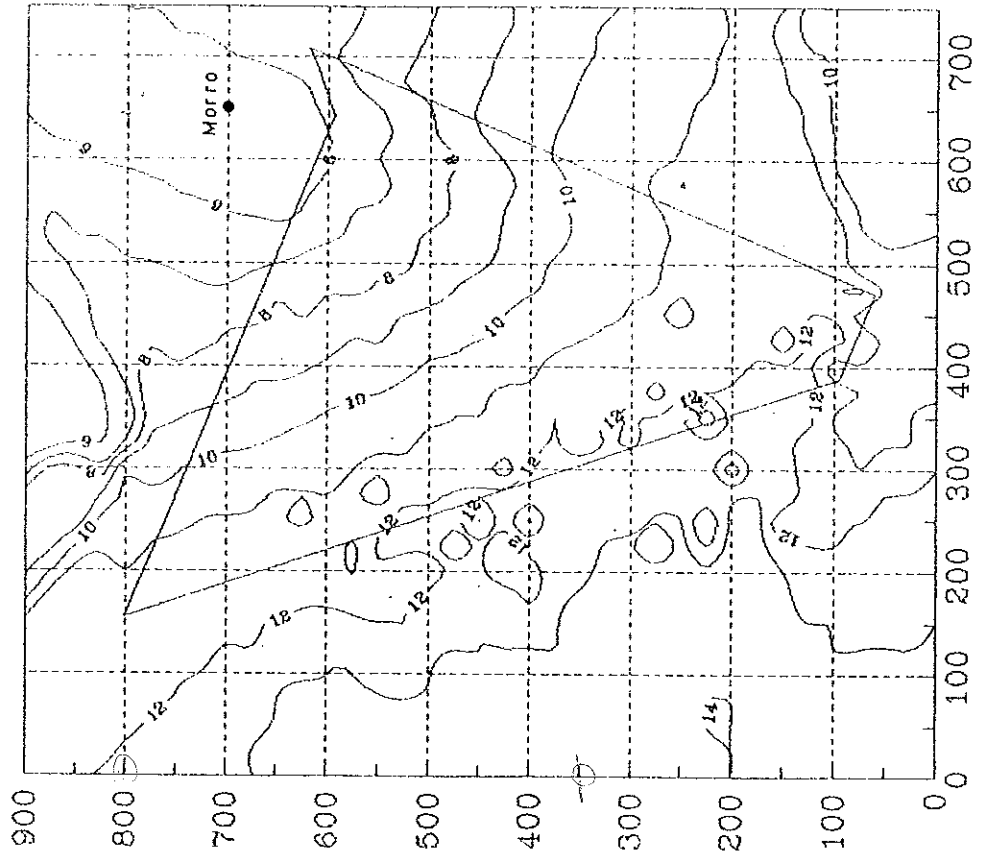
$$\theta_0 = 27.15$$

(41)

~~93-00~~ } SSE
~~93-01~~
 93-04

Figura 3. Dragado de proyecto

a



$\theta_0 = 21^\circ$
 $kx = \text{deg} - 25 \text{mm}$
 15-5mm
 (37)

Figura 4. Alternativa de dragado 1

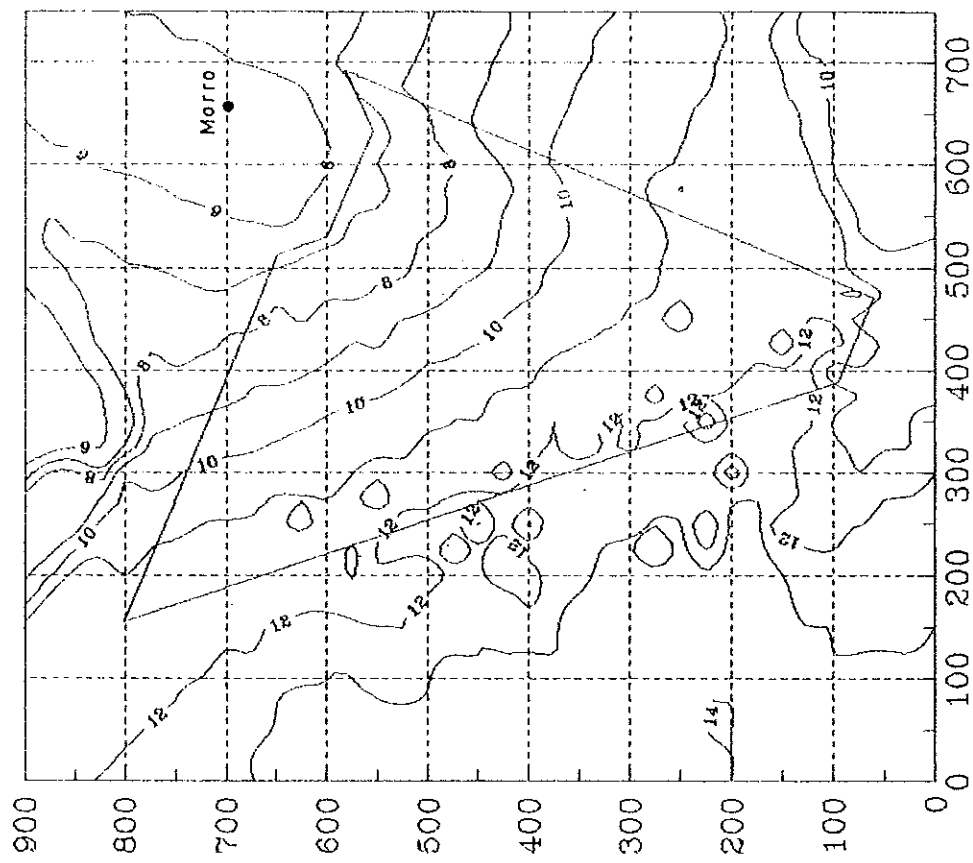
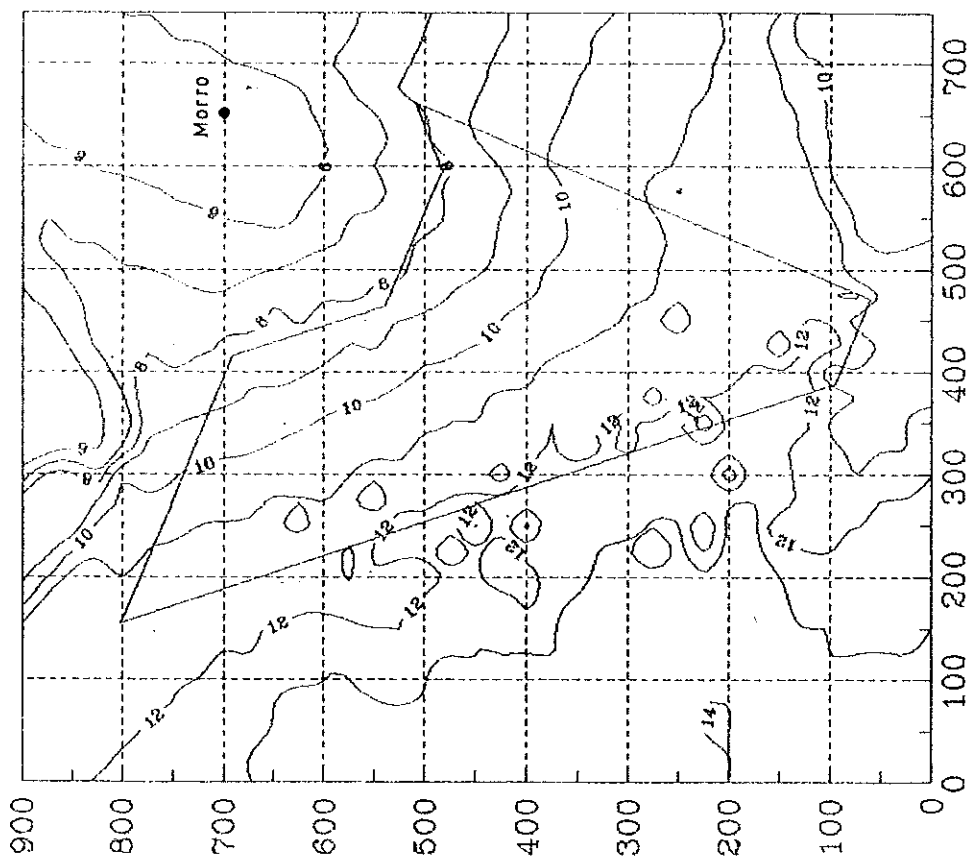
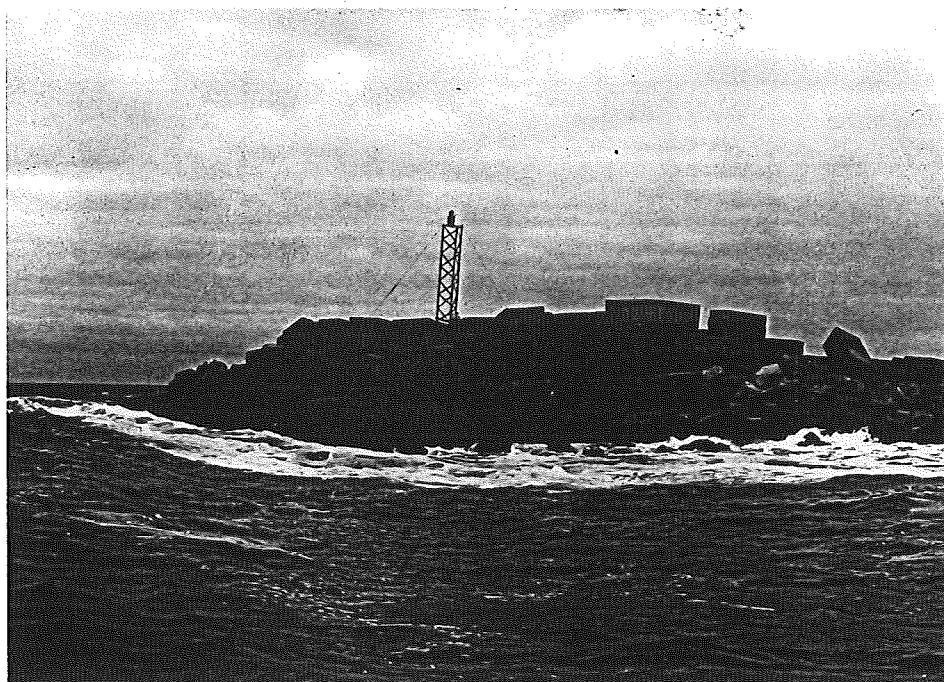


Figura 5. Alternativa de dragado 2





Fotografía Nº 1. 8 de mayo de 1992. Vista frontal del morro de la escollera. Se observa hasta el cuarto nivel de bloques de hormigón expuestos, y el enrocado desplazado hacia ambos lados de la escollera, principalmente hacia el lado interior. Uno de los bloques del tercer nivel se halla descalzado.



Fotografía Nº 2. 8 de mayo de 1992. Enrocado acumulado sobre el costado interior del morro de la escollera Sur. Se observa la diversidad de tamaños y tipos de roca utilizada.