

Anexo Penetración de Oleaje

1 General

El rompeolas de Puerto Caldera evita que las olas “swell” puedan llegar directamente a los muelles. Las olas generadas por el viento localmente pueden llegar directamente al puerto sin embargo por la baja intensidad del viento y la corta distancia sobre la cual se pueden generar las olas, éstas no son significantes.

Las olas “swell” provenientes desde el océano tienen una dirección predominante aproximada a una profundidad de MLWS -15m de entre 220 y 225 grados. Debido a la posición del rompeolas las olas cambian de dirección y altura por los fenómenos de la difracción y la refracción.

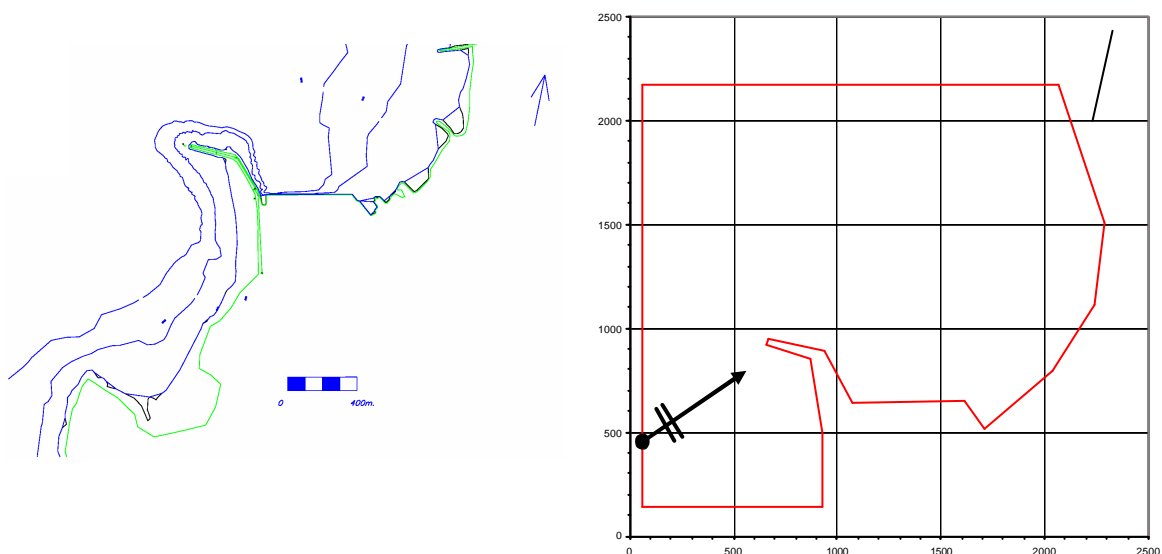
El bajo alrededor del morro del rompeolas resulta en que las olas refractan y cambian de dirección. En este caso la difracción no juega un papel importante. En el caso de una ausencia de un bajo alrededor del morro del rompeolas, las olas giran alrededor del morro por el fenómeno de la difracción mientras que la refracción no juega un papel importante.

El caso de la difracción se ha simulado con el modelo Diffrac. El caso de la refracción se ha evaluado mediante las ortogonales.

2 Difracción

2.1 Esquematización del Modelo DIFFRAC

La siguiente figura a la izquierda muestra la batimetría de Puerto Caldera incluyendo las isóbatas de 0 m., -5 m. y -10 m. Además muestra la posición de la playa al sur del rompeolas y la localización del muelle.



La figura a la derecha muestra el área de esquematización del modelo, incluyendo la dirección del oleaje predominante y el norte. El borde del modelo se encuentra en aguas de MLWS -15m. La dirección predominante del oleaje es de 220 grados desde el norte.

En la simulación se ha asumido que el bajo alrededor del rompeolas estará presente. En realidad este bajo se reduce o desaparece casi por completo después de una campaña de dragado. La presencia del bajo supuesta para los cálculos, es una aproximación conservadora de la situación con un bajo bastante desarrollado, puesto que este bajo permite refracción y por ende una penetración de oleaje mayor.

Las figuras que se presentan a continuación muestran líneas de igual porcentaje de altura del oleaje. El valor mostrado se refiere al porcentaje remanente del oleaje que se presenta en la entrada del puerto a una profundidad de MLWS -15m. La distribución del periodo y altura del oleaje considerando las direcciones de avance de las olas de 190 a 235 grados se muestra en el anexo A.

2.2 Simulación de las Alternativas

La penetración del oleaje depende del ángulo de las crestas de ola con el rompeolas, la profundidad y el período de la ola. Se han evaluado las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Opción-cero. Se han utilizado los periodos $T_p = 13$ y $T_p = 17$ sec.

Alternativa 2: Extensión del rompeolas en la misma dirección del rompeolas actual con 150 m. y 250 m. considerando periodos de $T_p = 13$ y 17 sec.

Alternativa 3: Extensión del rompeolas en una dirección de 312 grados con respecto al norte. La extensión es de 150 m. y 250 m. considerando periodos de $T_p = 13$ y 17 sec.

Alternativa 4: Extensión del rompeolas en una dirección de 222 grados con respecto al norte. La extensión es de 150 m. y 250 m. considerando periodos de $T_p = 13$ y 17 sec.

Alternativa 5: Construcción de un espigón al sur del puerto. Igual a la Alternativa 1.

2.3 Alternativa 1 = Alternativa 5:

Opción-cero, no construir nada y Espigón al Sur del rompeolas. Situación actual del puerto.



Figura 2-1 Situación actual; $T_p=13$ s.

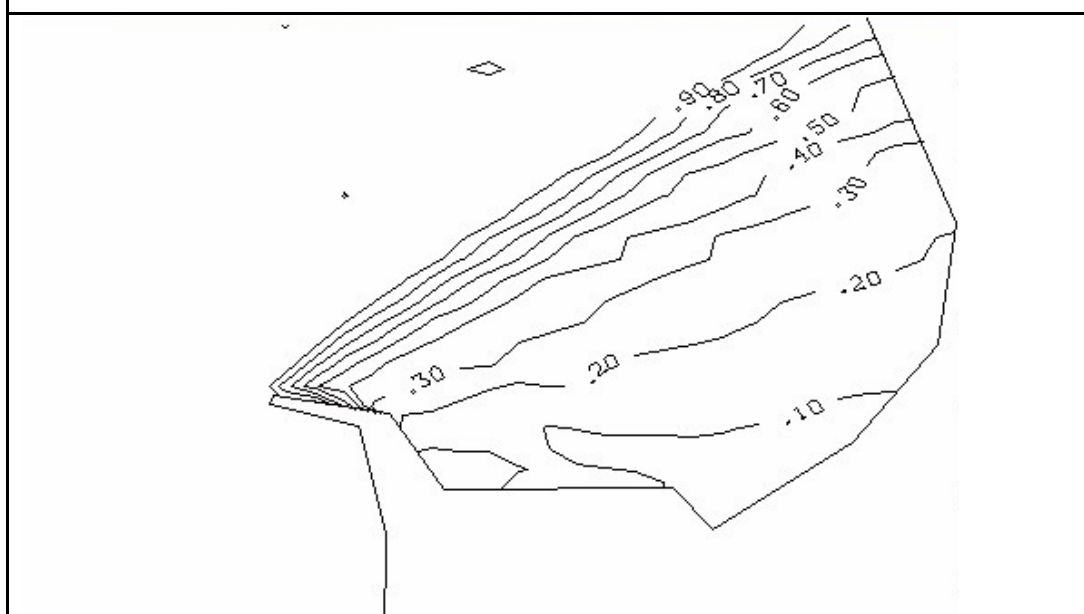


Figura 2-2 Situación actual; $T_p=17$ s.

2.4 Alternativa 2:

Extensión del rompeolas existente

Alternativa 2: $T_p = 13$ sec

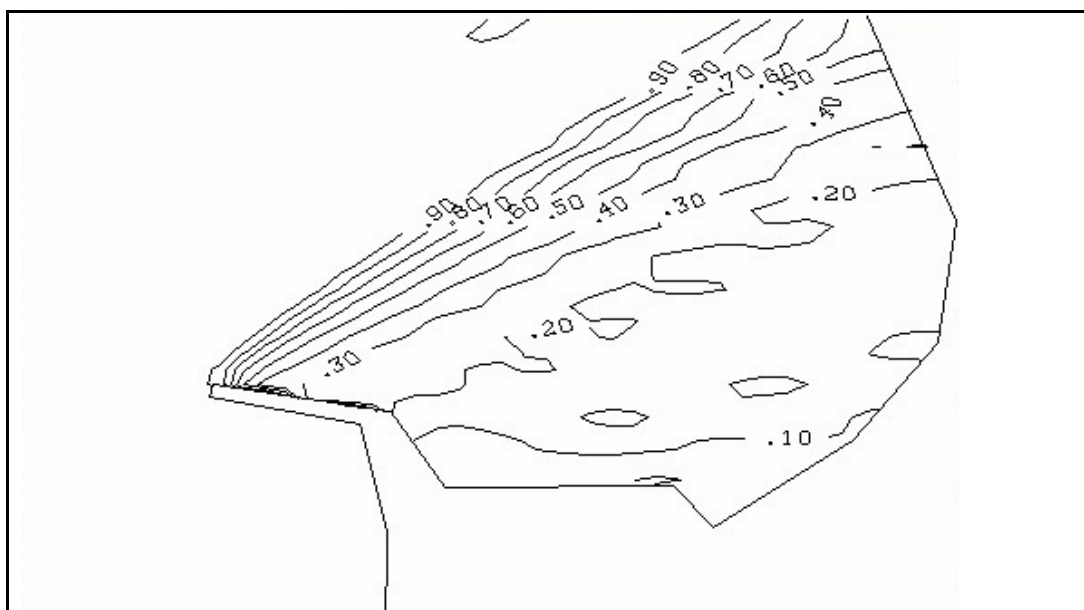


Figura 2-3 Extensión de Rompeolas existente en 150 m, $T_p = 13$ sec.

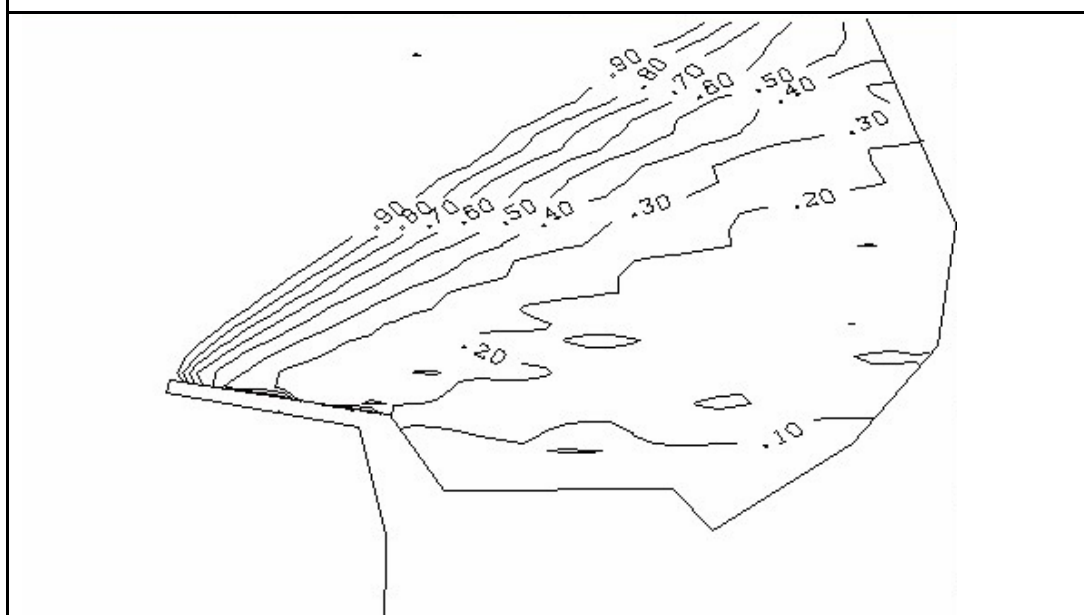


Figura 2-4 Extensión de Rompeolas existente en 250 m, $T_p = 13$ sec.

Alternativa 2: $T_p = 17$ sec

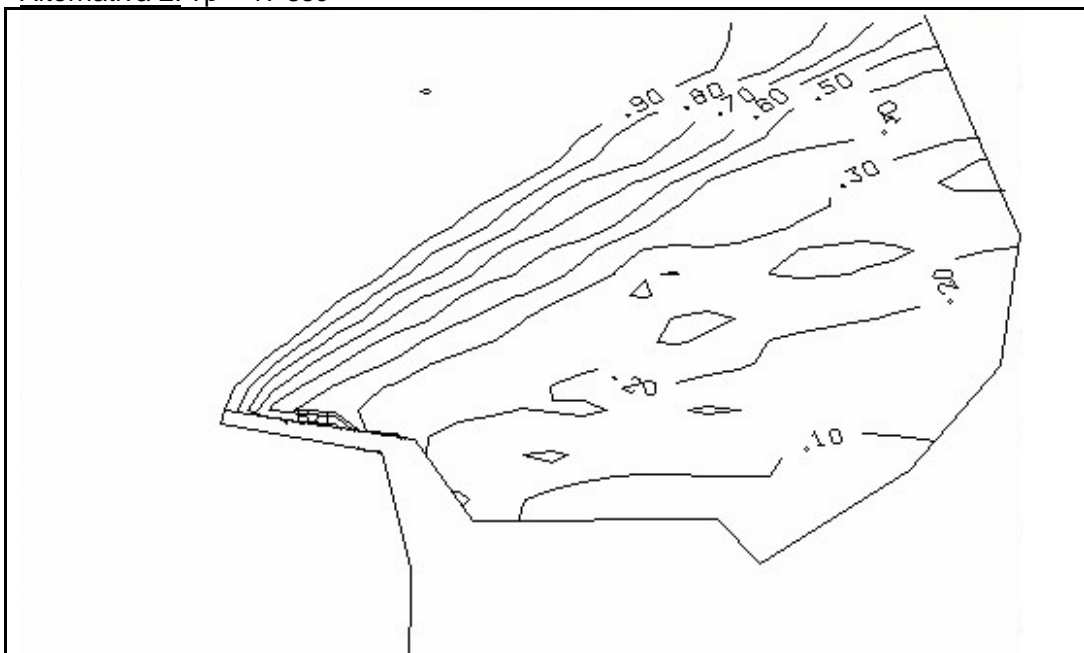


Figura 2-5 Extensión de Rompeolas existente en 150 m, $T_p = 17$ sec.

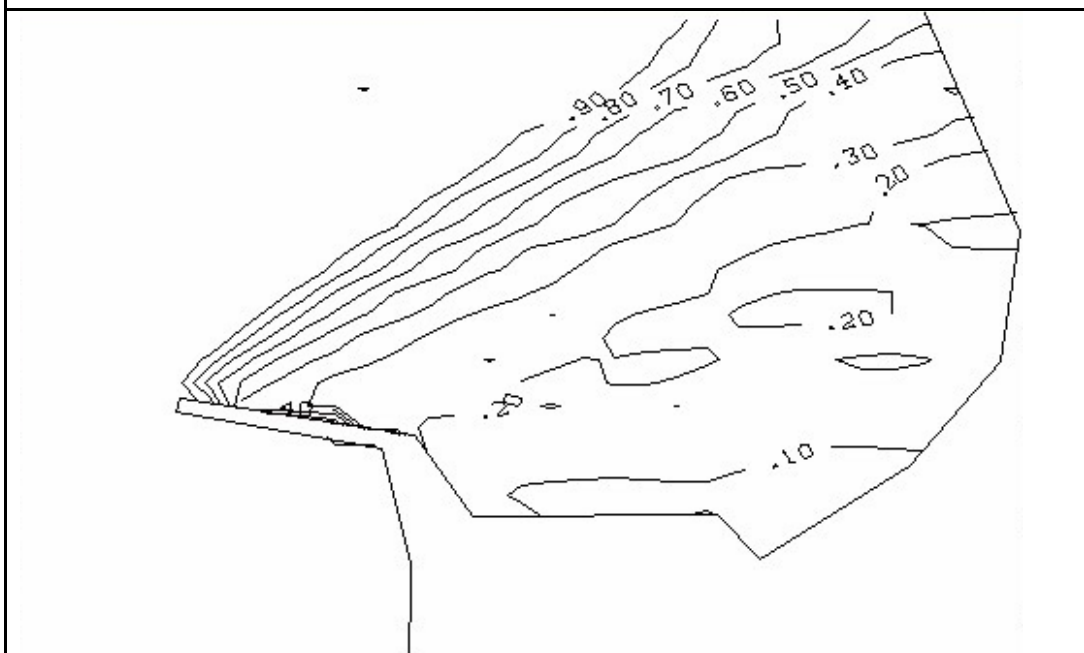


Figura 2-6 Extensión de Rompeolas existente en 250 m, $T_p = 17$ sec.

2.5 Alternativa 3:

Extensión rompeolas paralelo a las crestas de las olas

Alternativa 3: $T_p = 13$ sec. La dirección de la extensión del rompeolas es de 312 grados con respecto al norte.

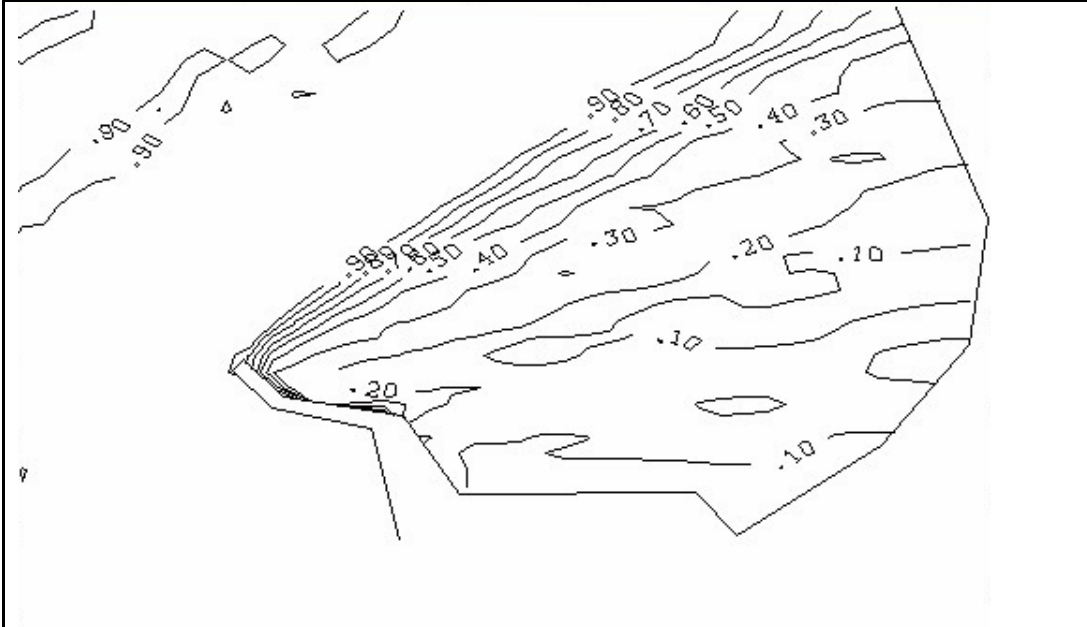


Figura 2-7 Extensión Rompeolas en 150 m, dirección 312 grados, $T_p = 13$ sec.

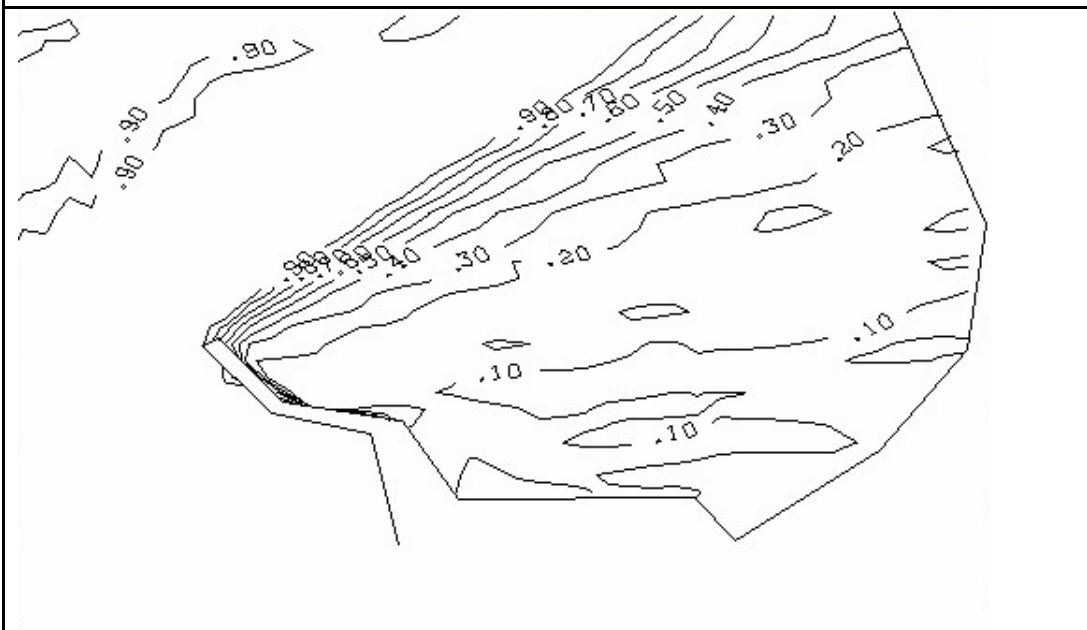


Figura 2-8 Extensión Rompeolas en 250 m, dirección 312 grados, $T_p = 13$ sec.

Alternativa 3: $T_p = 17$ sec.

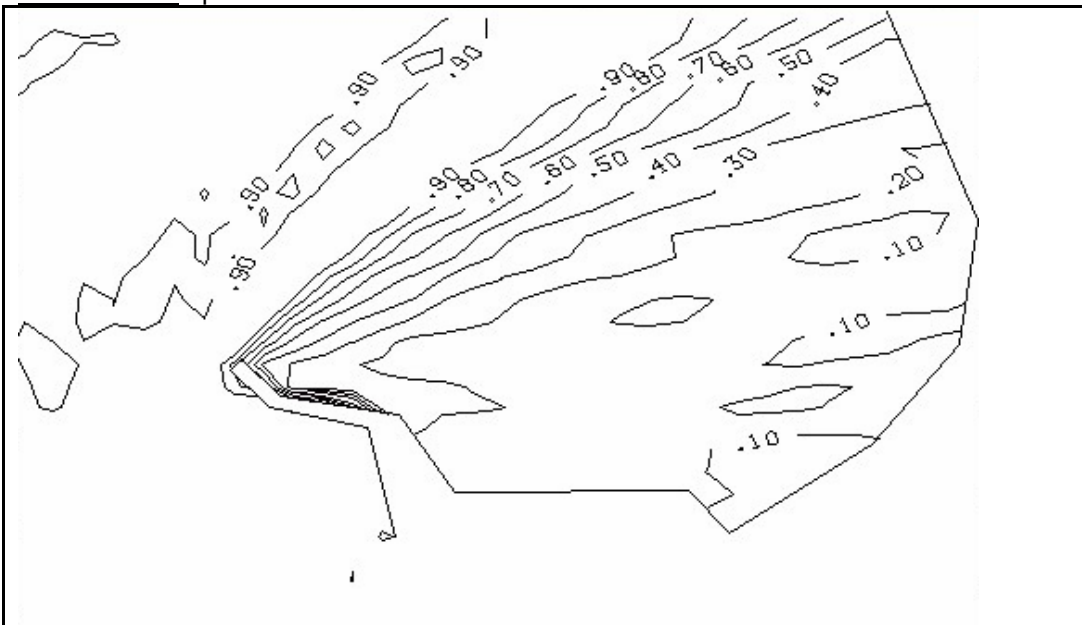


Figura 2-9 Extensión Rompeolas en 150 m, dirección 312 grados, $T_p = 17$ sec.

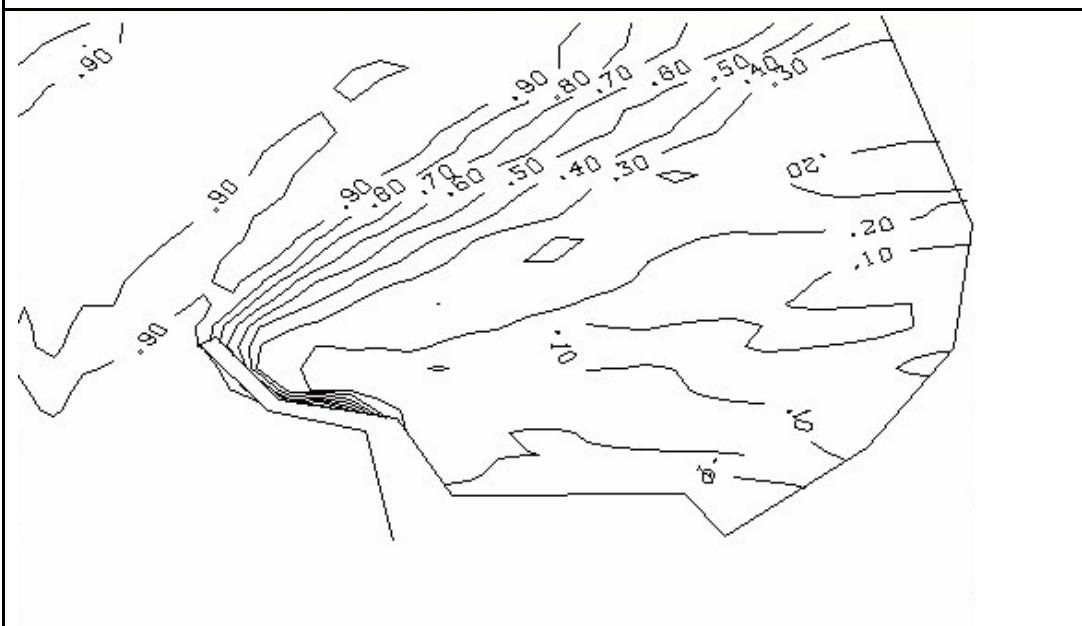


Figura 2-10 Extensión Rompeolas en 250 m, dirección 312 grados, $T_p = 17$ sec.

2.6 Alternativa 4:

Extensión rompeolas perpendicular a las crestas del oleaje.

Alternativa 4: $T_p = 13$ sec. Extensión del rompeolas a 222 grados con respecto al norte.

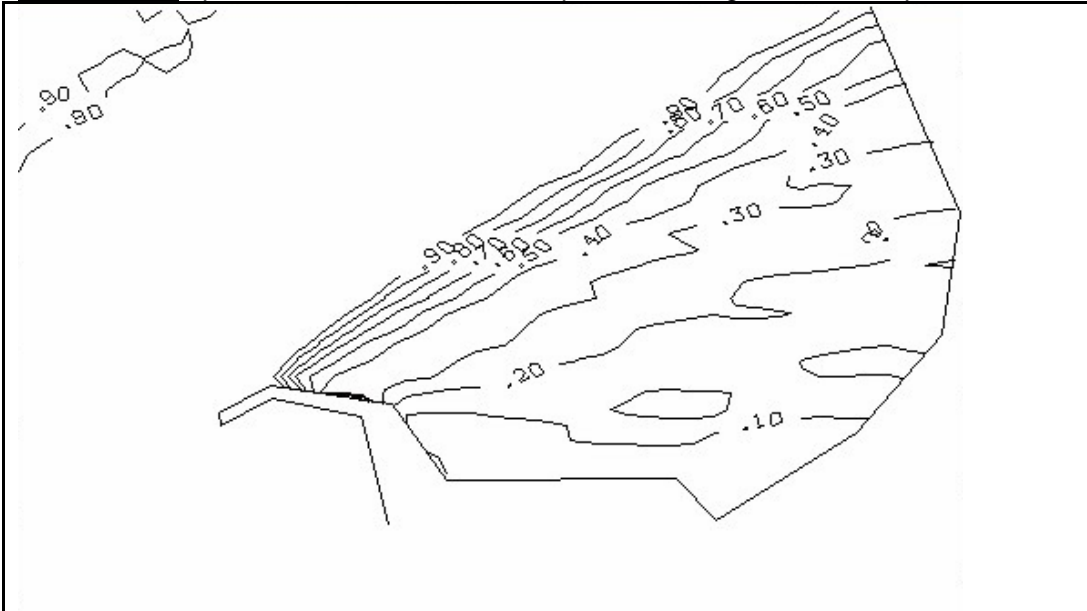


Figura 2-11 Extensión Rompeolas en 150 m, dirección 222 grados, $T_p = 13$ sec.

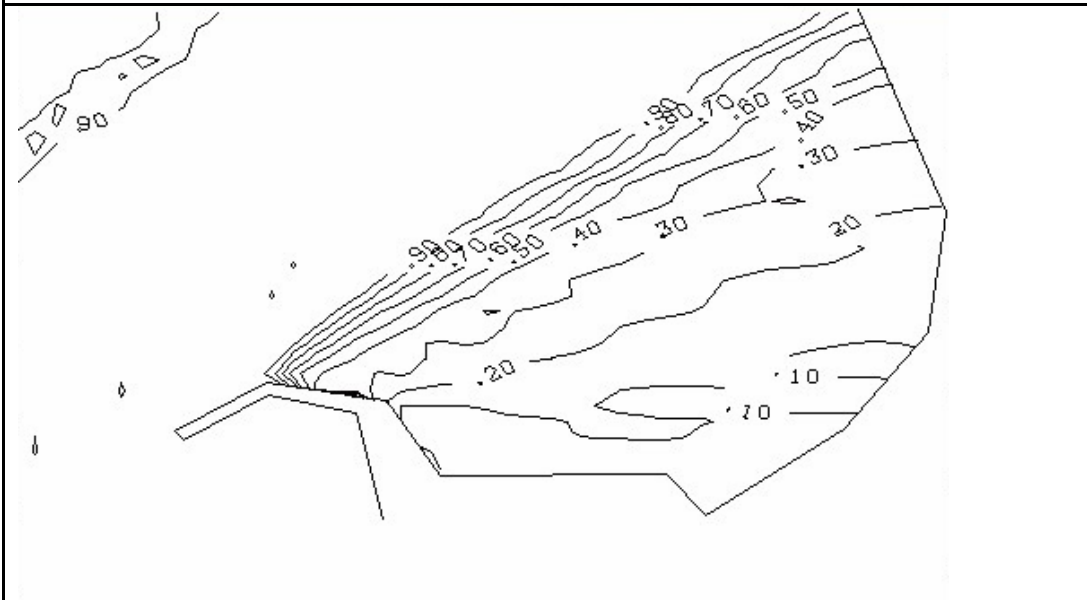


Figura 2-12 Extensión Rompeolas en 250 m, dirección 222 grados, $T_p = 13$ sec.

Alternativa 4: $T_p = 17$ sec

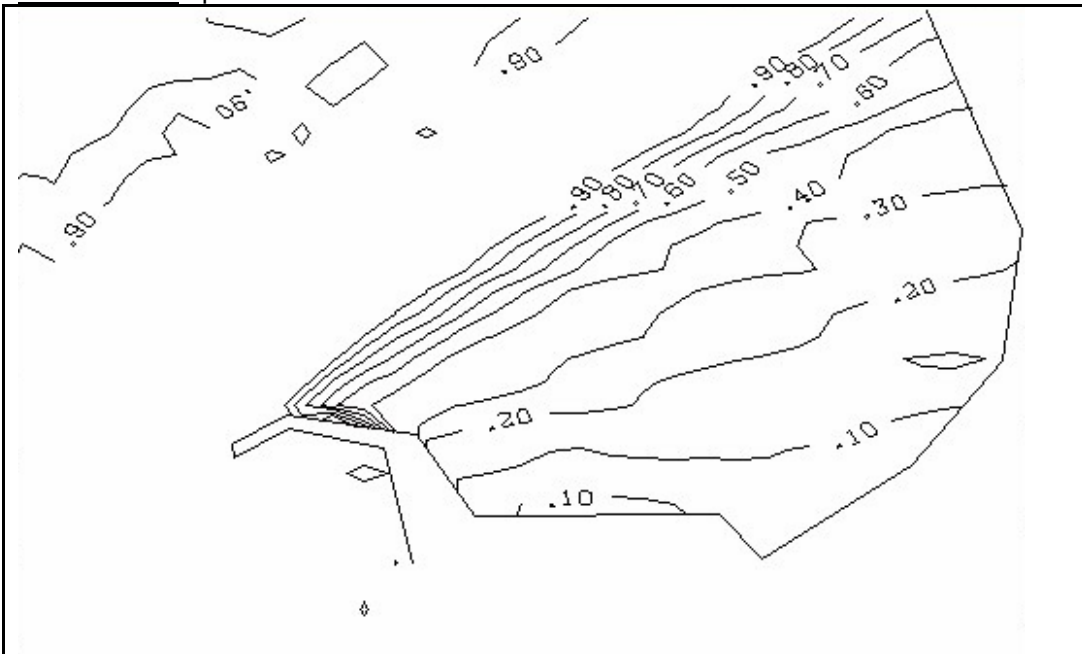


Figura 2-13 Extensión Rompeolas en 150 m, dirección 222 grados, $T_p = 17$ sec.

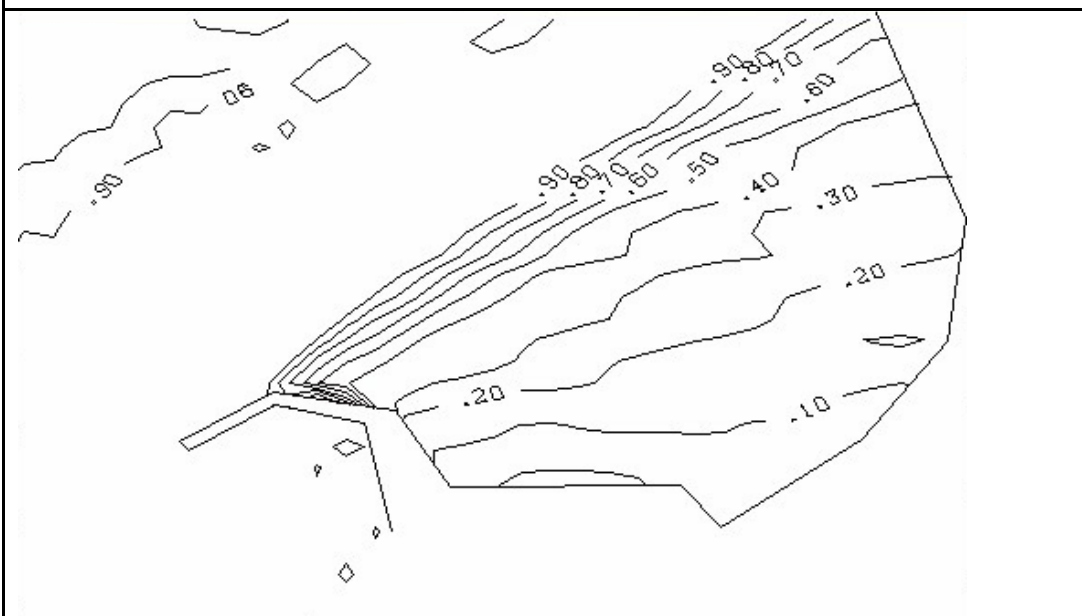


Figura 2-14 Extensión de Rompeolas con 250 m, dirección 222 grados, $T_p = 17$ sec.

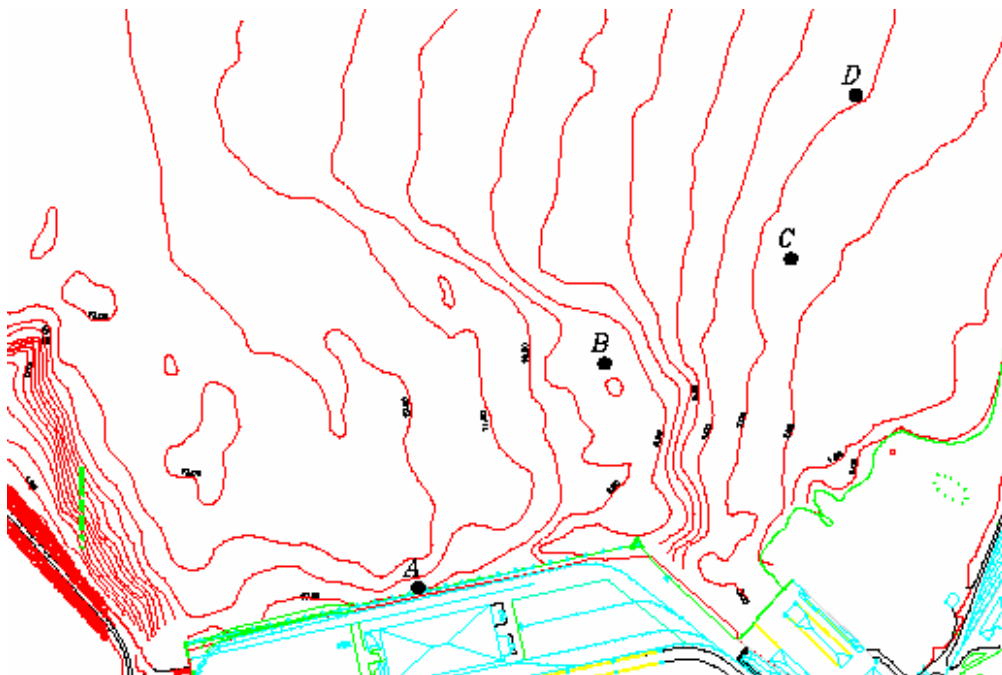
2.7 Resultados de las simulaciones

- Considerando las figuras correspondientes a la alternativa 3 (extensión de rompeolas paralelo a las crestas de las olas), y las de la alternativa 4 (extensión de rompeolas perpendicular a las crestas de las olas) se observa que la línea donde se presenta el 10 % del oleaje de afuera, se encuentra a una mayor distancia del muelle. Igualmente, la zona donde la altura de la ola es inferior a 20% es mucho más grande en el caso de la alternativa 3 que la 4.
- Se observa que no hay una diferencia significativa del oleaje entre la extensión de 150 y la de 250 metros para ninguna de las alternativas. Todas las alternativas muestran porcentajes similares para la extensión de 150 metros y la de 250 metros.
- El muelle existente está bastante bien protegido en cualquiera de las alternativas evaluadas, siendo el oleaje remanente siempre por debajo del 10% del oleaje afuera.

Finalmente, se ha comparado el oleaje remanente en distintas ubicaciones en el puerto, a saber:

- El centro del muelle existente (A)
- El centro del nuevo muelle granelero (B)
- Dos ubicaciones en la zona prevista para expansión futura del puerto (C y D)

Las ubicaciones se muestran en la siguiente figura:



La siguiente tabla muestra la variación del oleaje en distintas ubicaciones en el puerto.

Tabla 4-1 Altura del oleaje en diferentes ubicaciones del puerto

Alternativa	Ubicación			
	A	B	C	D
1-cero= Alternativa 5	<10%	12%	17%	22%
2-prolongación	<10%	12%	15%	20%
3-paralelo	<10%	11%	12%	12%
4-perpendicular	<10%	12%	17%	22%

Se concluye que los resultados de la penetración del oleaje son más cualitativos que cuantitativos y no pueden utilizarse para hacer cálculos de espera de buques. La decisión de la alternativa a ser implementada por lo tanto será más en base a consideraciones del costo de inversión y mantenimiento y menos en consideraciones de oleaje. Pudiera ser que el criterio del oleaje sea el factor decisivo en el caso de que varias alternativas sean comparables desde el punto de vista de costos.

Para las futuras ampliaciones del puerto (a largo plazo) se recomienda evaluar diversas alternativas que mejoren las condiciones del oleaje en la zona de dichas ampliaciones visto que la penetración del oleaje es superior a la que se presenta en el muelle existente y el nuevo muelle granelero.

3 Refracción

Se ha analizado la penetración del oleaje en el puerto por el fenómeno de la refracción considerando la aproximación de las olas a una profundidad de MLWS -15 m a una dirección de 222°. La ola, al aproximarse a las isóbatas alrededor del morro del rompeolas gira hacia el rompeolas. Luego de pasar el rompeolas la energía de la ola se dispersa disminuyendo la altura de la misma.

La reducción de la altura de la ola se determina con la siguiente relación:

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = K_r$$

H es la altura de la ola

b es el ancho entre dos ortogonales

En la siguiente figura se muestran las líneas de propagación del oleaje. Se observa que las olas que se aproximan al morro del rompeolas giran hacia el mismo para luego romper y así disipar la energía. Las olas que se aproximan al rompeolas al norte del mismo se encuentran en una zona donde la profundidad varía muy poco (de MLWS -15 hasta MLWS -12 que es la profundidad de la dársena del puerto) y por lo tanto la refracción es limitada. Esto resulta en que el cambio de dirección es pequeño y las olas atraviesan la dársena sin llegar a los muelles.

Únicamente las olas que se acercan a la parte baja del talud del bajo giran por la refracción de tal forma que no rompen en el rompeolas y tampoco siguen hacia la zona norte del puerto. La refracción es tal que las olas siguen la misma dirección del rompeolas. Una vez llegada al quiebre del rompeolas, las olas vuelven a sufrir los efectos de la refracción y se dispersan sobre el área de la dársena del puerto. La separación entre las ortogonales en aguas profundas que pueden llegar a la dársena interna del puerto es estrecha. De acuerdo a la ubicación de las isóbatas se estima que deben estar en una franja de unos 10 metros de ancho. Es decir, las olas que se encuentran al sur de dicha franja sufren tanto de los efectos de refracción que giran y rompen sobre el rompeolas. Las olas que se encuentran al norte de dicha franja no sufren suficientemente de la refracción por lo cual no cambian suficientemente de dirección y siguen hacia el nordeste.

Las olas que pueden llegar a la dársena se dispersan sobre un área con un ancho de unos 540 metros. Por consiguiente, la reducción de la altura de la ola es del orden de

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{10}{550}} \approx 13\%$$

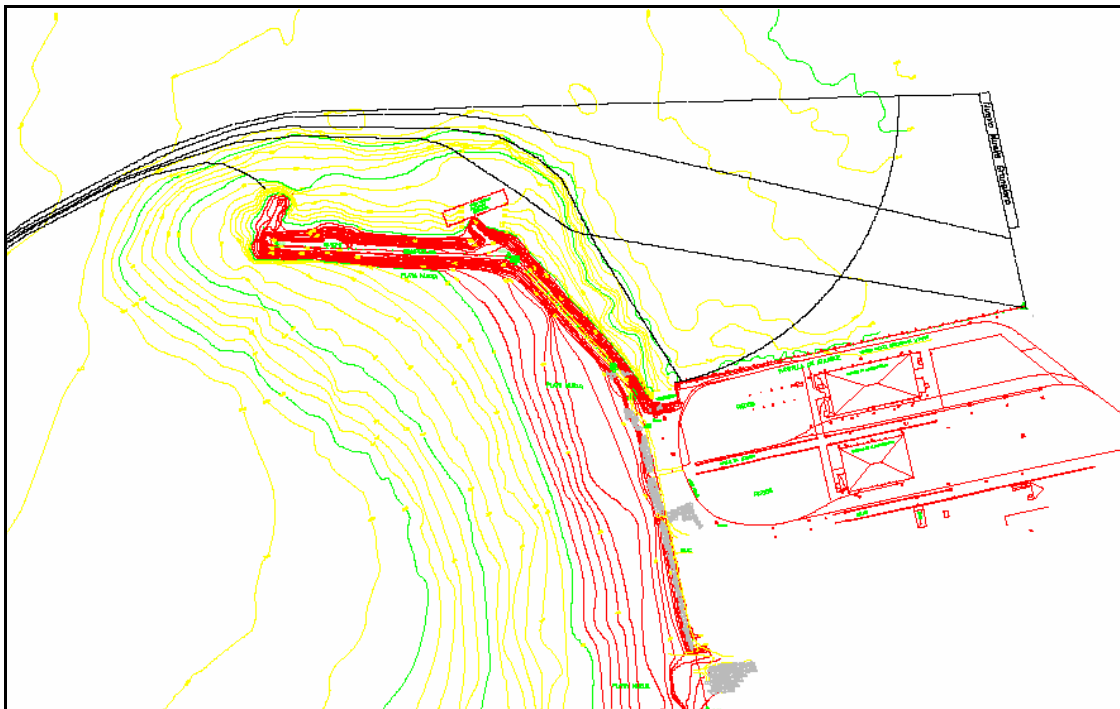


Figura 3-1 Esquematización de propagación de oleaje en Puerto Caldera

Cabe mencionar que este análisis es cualitativo y los valores son indicativos.

Incrementando la separación entre dos ortogonales de olas que pueden llegar a los muelles de 10 a 15 metros, resulta en un aumento de la altura de la ola en el puerto de $\sqrt{15/550} = 17\%$.