

## ANÁLISIS DE PERFILES FRENTE AL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B.C.

### PROFILE ANALYSES IN FRONT OF THE BREAKWATER IN ENSENADA, B.C.

Arturo Cruz-Falcón  
Mario Jiménez-Pérez

Secretaría de Marina  
Dirección General de Oceanografía Naval  
Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada  
Vicente Guerrero 133, Fraccionamiento Bahía  
Ensenada, B.C., México

*Recibido en junio de 1993; aceptado en enero de 1995*

#### RESUMEN

Se realizaron cuatro levantamientos batimétricos estacionales durante 1990 y 1991 frente al rompeolas del puerto de Ensenada, B.C., y se obtuvieron cinco perfiles perpendiculares a dicha estructura para cada levantamiento. Se encontró que prevalece un patrón estacional de erosión en invierno y depósito en verano. La batimetría muestra acumulación de sedimento, en la playa adyacente durante diciembre, y en la base del quiebre del rompeolas durante todo el año; éste es producto de las rocas caídas del refuerzo de la estructura. Los perfiles batimétricos de diciembre y febrero (periodo de invierno) presentan mayor erosión a partir de 15 a 20 m hacia el mar que los del resto del año y los perfiles A, B y C de diciembre muestran acumulación de sedimento en la parte cercana al rompeolas. Estos procesos de erosión en la parte profunda y de acumulación de sedimento en la base del rompeolas ocasionan que el oleaje de tormenta que se produce en esta época del año mantenga su energía al aproximarse al rompeolas y al llegar a esta zona, ella le sirva de rampa para deslizarse sobre la coraza e inundar el recinto portuario. En la comparación de los perfiles de 1984 y 1987 con los de este estudio (1990), se observa, desde la base del rompeolas hasta aproximadamente 200 m hacia el mar, un incremento en la profundidad, el cual provoca que el oleaje llegue a esa parte del rompeolas con más fuerza que si la profundidad disminuyera paulatinamente. La franja donde hay incremento de profundidad se extiende desde el inicio del rompeolas hasta la mitad del mismo.

*Palabras clave:* perfiles, rompeolas, erosión.

#### ABSTRACT

Four bathymetric surveys were conducted in front of the breakwater in Ensenada, B.C., during 1990 and 1991. Five profiles were projected perpendicular to the structure for each survey. A seasonal pattern of erosion was found in winter and deposition in summer. The bathymetry shows an accumulation of sediment in the adjacent beach in December, and at the base of the deflection during the entire year, due to the rocks that have fallen from the structure's support. The bathymetric profiles of December and February (winter) show greater erosion from 15 to 20 m seaward than in the other months. The December profiles A, B and C show sediment accumulation near the breakwater. These processes of erosion in the deeper depths and sediment accumulation at the base of the breakwater cause the storm waves that are produced in this season to maintain their energy when approaching the

breakwater, and upon reaching this zone, the sediment bed serves as a ramp for them to slip over the armor stone and flood the harbor. In comparing the profiles of 1984 and 1987 with those from this study (1990), an increase in depth is observed from the base of breakwater to approximately 200 m seaward, allowing the waves to reach the breakwater with more strength, than if that decrease in depth were more gradual. This increase in depth extends from the beginning up to half of the breakwater.

*Key words:* profiles, breakwater, erosion.

## INTRODUCCIÓN

El principal agente de transporte, erosión y depósito en la zona costera, es el oleaje. Éste, cuando se presentan agentes climáticos, como tormentas y huracanes, o sísmicos, como los *tsunamis*, adquiere una fuerza destructora que se descarga en playas y costas, con el consecuente riesgo para los asentamientos humanos ubicados en estas zonas.

Es común observar construcciones costeras en puertos y playas que se encuentran protegidas del oleaje por estructuras como rompeolas, escolleras, muros y otros tipos de barreras artificiales, las cuales pueden verse afectadas cuando se combina el oleaje de tormenta con mareas altas o por los efectos de un tsunami.

En repetidas ocasiones, el rompeolas del puerto de Ensenada se ha cubierto por el oleaje, que ha ocasionado daños a su estructura, las instalaciones y los productos almacenados en el recinto portuario. Estas inundaciones ocurren principalmente cuando el oleaje extremo provocado por tormentas extratropicales en el Pacífico se combina con las mareas más altas del año, de diciembre a marzo.

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada tiene un programa para monitorear la altura y periodo del oleaje frente al rompeolas. Los datos indican que la altura significativa ( $H_s$ ) y el periodo ( $T_z$ ) son mayores de diciembre a marzo (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar periodos largos debidos al arribo de oleaje de tormenta del hemisferio sur durante el verano. A la fecha, no se tiene algún registro de inundación del recinto portuario o de destrucción de la estructura del rompeolas durante el verano.

Se han realizado pocos trabajos relacionados con la problemática del rompeolas del puerto de Ensenada. Entre ellos, se encuentra el de

## INTRODUCTION

Surf is the principal agent of transport, erosion and deposition in the coastal zone. When climatic agents are present, such as storms and hurricanes or seismic activity, such as tsunamis, the surf acquires a destructive force which is unloaded on the beaches and coasts, along with the consequent risks to the human structures located in these areas.

It is common to observe coastal buildings in ports and beaches that are protected from the surf by structures such as breakwaters, jetties, sea walls and other types of artificial barriers, which can be affected when storm waves and high tides are combined, or by the effects of a tsunami.

On repeated occasions, the breakwater in the Port of Ensenada has been covered by surf, which damages its structure, installations and the products stored in the harbor. These inundations most often occur when extreme surf, caused by extratropical storms in the Pacific, mixes with the highest tides of the year, from December to March.

The *Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada* has a program for monitoring the height and period of the surf in front of the breakwater. The data indicate that the significant height ( $H_s$ ) and the period ( $T_z$ ) are greater during December to March (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). However, it might be possible to find long periods during the summer due to storm waves that arrive from the southern hemisphere. To date, there is no record of any flooding of the harbor or destruction to the breakwater during the summer.

Few studies related to the problems of the breakwater in the Port of Ensenada have been conducted. Among these is the study of Sánchez-Dévora (1989) that deals with the overwashing of the breakwater due to extreme

Sánchez-Dévora (1989) que trata sobre los desbordamientos del rompeolas debidos al oleaje extremo inducido por tormentas extratropicales en el puerto. En ese trabajo se atribuye el desbordamiento a una acumulación de sedimentos en la orilla. Ulloa-Torres (1989) realizó refracción de oleaje a la inversa a partir del rompeolas, y encontró que el oleaje incidente en una dirección puede provenir de direcciones diferentes en aguas profundas y el oleaje que llega con distintas direcciones puede provenir de una misma dirección en aguas profundas. Dooren-Osio (1991) realizó una cuantificación de sedimento en la parte expuesta del rompeolas, y determinó en sus resultados que la tormenta ocurrida durante el 17 y 18 de enero de 1988 provocó el movimiento y depósito de 50,000 m<sup>3</sup> de sedimento. Parte de este volumen se depositó en la base del rompeolas, donde provocó disminución de la profundidad y pérdida de porosidad en la estructura. El mismo autor encontró dos eventos de depósito, uno de 1983 a 1985 y otro de 1987 a 1989, así como uno erosivo de 1985 a 1987. González-Villagrán (1992) llevó a cabo una reevaluación de varios estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada y observó que los mayores problemas con la estructura del rompeolas y dentro del mismo puerto se presentan bajo condiciones de invierno. Recomienda, por tanto, que para futuras modificaciones se tomen en cuenta periodos más largos de información, principalmente sobre: altura significativa ( $H_s$ ), periodo ( $T_z$ ), vientos extremos, marea alta y máxima precipitación pluvial.

Aranda-Manteca (1983), por medio del estudio de minerales pesados, infirió que en la parte norte de la bahía de Todos Santos el sentido predominante de la corriente es hacia el sureste. Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984), mediante el análisis de parámetros texturales de los sedimentos, encontraron que en la parte norte de la bahía el transporte dominante es hacia el sur. Por tanto, la dirección de transporte determinada mediante dos metodologías distintas coincide.

Las tormentas de los últimos años que han afectado al rompeolas de Ensenada son las de marzo de 1983 y enero de 1988. Sin embargo, actualmente se observa que esta estructura

surf caused by extratropical storms in the port. In this study, the overwash is attributed to a sediment accumulation on the shore. Ulloa-Torres (1989) studied inverse surf refraction from the breakwater. He found that incidental surf comes from different directions in deep water, and the surf that arrives from distinct directions can be associated with the same direction in deep waters. Dorren-Osio (1991) prepared a quantification of sediment in the exposed part of the breakwater. He concluded that the storm that occurred during 17 and 18 January 1988 provoked the shifting and deposition of 50,000 m<sup>3</sup> of sediment. Part of this sediment was deposited at the base of the breakwater which caused a decrease in depth and a loss of porosity in the structure. He found two depositional events, one from 1983 to 1985, and another from 1987 to 1989, as well as an erosive one from 1985 to 1987. González-Villagrán (1992) conducted a re-evaluation of various studies that were used to design the Port of Ensenada. He observed that under winter conditions, there are greater problems with the structure of the breakwater and inside the port. He recommends that longer periods of information be considered for future modifications, principally on: significant height ( $H_s$ ), period ( $T_z$ ), extreme winds, high tide and maximum pluvial precipitation.

Aranda-Manteca (1983), using the study of heavy metals, inferred that the direction of the current in the northern part of Bahía de Todos Santos is predominantly towards the southeast. Pérez-Higuera and Chee-Barragán (1984), using textural parameters of the sediments, determined that the dominant transport in the northern part of the bay is towards the south. Hence, a common direction of transport is obtained from two different methods.

The storms of the last few years that have affected the breakwater in Ensenada are those of March 1983 and January 1988. However, it is presently observed that this structure can be easily covered by storm waves combined with high tides, even if the storm waves are not very intense, as witnessed in March 1991. The zones most susceptible to inundation are those found at the beginning and in the middle or deflection of the breakwater.

puede ser cubierta fácilmente por el oleaje de tormenta combinado con mareas altas, incluso cuando el primero no es muy intenso, como ocurrió en marzo de 1991. Las zonas más susceptibles de inundación son las que se encuentran al inicio y en la parte media o quiebre del rompeolas.

Los objetivos de este trabajo son: mostrar las zonas frente al rompeolas donde ocurre mayor erosión y depósito de sedimento a lo largo de un año y conocer de qué forma ha evolucionado la batimetría de 1984 a 1990.

El puerto de Ensenada, B.C., se encuentra ubicado en los 31°50'30"N y los 116°38'O (fig. 1), dentro de la bahía de Todos Santos. Es un área protegida del oleaje de mar profundo por las salientes rocosas que forman San Miguel, al norte, punta Banda, al sur, y las islas Todos Santos, al oeste. El fondo en esta área de la bahía presenta sedimento con tamaño de 3 a 4  $\phi$  (Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984). El rompeolas está construido con bloques de roca andesítica y tiene una longitud de 1,670 m, con rumbo aproximado S 34° E. Presenta un quiebre hacia el SE a los 1,040 m (fig. 1), el cual fue abatido y destruido por el oleaje durante la tormenta de enero de 1988. Al norte del rompeolas prevalece una playa rocosa con cantos rodados y arenas. El oleaje incide durante la mayor parte del año en dirección E-SE, lo que aparentemente provoca un transporte de sedimentos hacia el sur. Durante el verano los vientos provenientes del NO y O son de regular intensidad y el oleaje es moderado, pero durante el invierno, aunque el porcentaje de días de calma es mayor, el oleaje se incrementa y los vientos son de mayor intensidad pero dirección más diversificada, O, NO y N (Secretaría de Marina, 1974).

## METODOLOGÍA

Se realizaron cuatro levantamientos batimétricos estacionales de mayo de 1990 a febrero de 1991. Para esto, se ubicaron cuatro puntos de medición sobre el rompeolas (poligonal), donde se colocaron los tránsitos para triangular la embarcación al realizar la batimetría (fig. 1). Se utilizó la ecosonda Raytheon modelo DE-719B. La distancia y los ángulos entre los puntos de

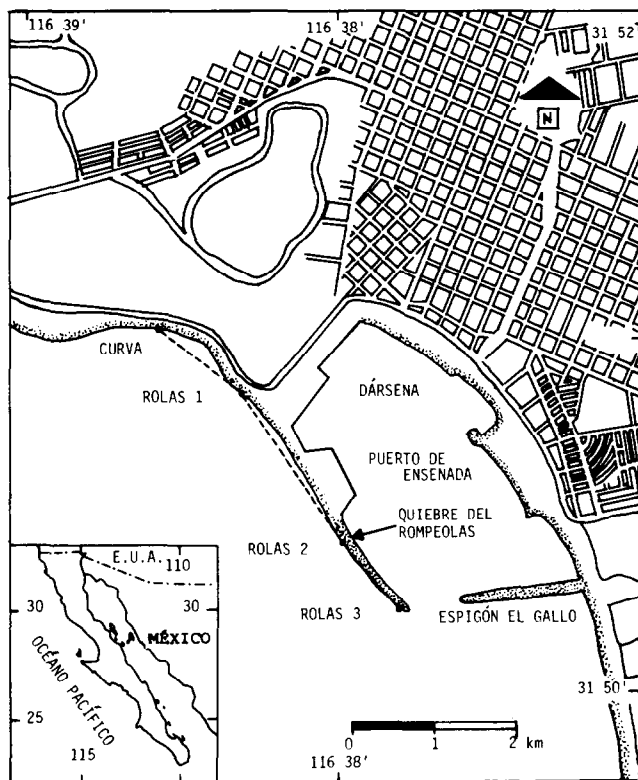
The objectives of this study are: to show which zones in front of breakwater suffer greater erosion and deposition of sediments throughout one year, and understand how the bathymetry has evolved from 1984 to 1990.

The Port of Ensenada, B.C., is located at 31°50'30"N and 116°38'W (fig. 1), inside Bahía de Todos Santos. It is an area protected from the deep-sea surf by the headlands that form San Miguel to the north, Punta Banda to the south and Islas Todos Santos to the west. The bottom in this area of the bay presents sediments with sizes that vary from 3 to 4  $\phi$  (Pérez-Higuera and Chee-Barragán, 1984). The breakwater is made up of andesitic rock blocks, and is 1,670 m long with an approximate course of S 34° E. It has a deflection towards the SE at 1,040 m (fig. 1), which was knocked down and destroyed by the surf during the storm of January 1988. To the north of the breakwater, there is a rocky beach with boulders and sand. The surf strikes in a E-SE direction during the major part of the year, which apparently promotes a sediment transport towards the south. During the summer, the winds coming from the NW and W are of regular intensity and the surf is moderate. During the winter, however, even though the percentage of calm days is higher, the surf increases and the winds are also of greater intensity, but in a more diversified direction, from the W, NW and N (*Secretaría de Marina*, 1974).

## METHODOLOGY

Four bathymetric surveys were conducted from May 1990 to February 1991. To do this, four control points were located on the breakwater (polygonal) where the transits were placed in order to triangulate the ship upon conducting the bathymetry (fig. 1). A Raytheon echo sounder Mod. DE-719B was used. The distances and angles between the control points were calculated with a stadia and transit, respectively (table 1).

The registered depths were linearly adjusted by tide and referred to the mean low water level. Later, the angles measured with the transits were transformed into coordinates (X, Y) and were processed with a program that interpolates



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Se incluye poligonal y puntos de medición utilizados para realizar la batimetría. La distancia y ángulos entre vértices se muestran en la tabla 1.

**Figure 1.** Location of study area. The polygonal and control points used in conducting the bathymetry are included. The distance and angles between the vertices are shown in table 1.

**Tabla 1.** Distancias entre los puntos de medición y ángulos de los vértices.

**Table 1.** Distances between the measurement points and vertices angles.

Segmentos de la poligonal	Distancia (m)
Curva-rolas 1	655
Rolas 1-rolas 2	1146
Rolas 2-rolas 3	573
Vértices	Ángulo
Rolas 1 con curva y rolas 2	165°37'
Rolas 2 con rolas 1 y rolas 3	184°19'

medición se calcularon con estadia y tránsito, respectivamente (tabla 1).

Las profundidades registradas se corrigieron linealmente por marea y se refirieron al nivel de baja mar media inferior. Posteriormente, se transformaron los ángulos medidos por los tránsitos a coordenadas (X, Y) y se procesaron mediante un programa que interpola y genera contornos, con el que se obtuvo el plano batimétrico del área frente al rompeolas (fig. 2).

Se trazaron cinco perfiles perpendiculares a la costa para cada campaña, con el fin de hacer una comparación estacional entre ellos. Éstos se distribuyeron desde antes del inicio del rompeolas hasta la punta del mismo y abarcaron desde la orilla del rompeolas hasta aproximadamente la isobata de los 14 m (fig. 2). Para ubicar los perfiles, se tomaron en cuenta las zonas donde se observó mayor cambio.

Se hicieron comparaciones gráficas entre los perfiles de dos levantamientos batimétricos realizados en 1984 y 1987 por la Residencia General de Obras Marítimas de Ensenada, B.C., y los perfiles de uno de los levantamientos efectuados en 1990 para este estudio. Todos los levantamientos fueron realizados durante septiembre, para no hacer comparaciones entre perfiles de diferentes estaciones del año, y evitar así comparar épocas de erosión con épocas de depósito.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron y graficaron perfiles batimétricos para mayo, septiembre y diciembre de 1990, y febrero de 1991 (figs. 3, 4). El perfil E (fig. 2) no se graficó por considerar que esa zona funciona normalmente.

Al observar los cuatro perfiles se aprecia una erosión continua de mayo de 1990 a febrero de 1991. Diciembre se sale un poco de esta secuencia, sobre todo en el perfil A, donde en los primeros 100 m es más somero que el resto, y en los perfiles C y D, donde es más profundo que el de febrero. Lo anterior se debe a un transporte perpendicular a la costa provocado por la intensificación del oleaje (transición otoño-invierno), el cual levanta sedimento y lo deposita en la orilla del rompeolas (diciembre). Posteriormente, el oleaje de invierno remueve el

and generates contours, in this way obtaining the bathymetric survey of the area in front of the breakwater (fig. 2).

Five profiles were drawn perpendicular to the coast for each survey in order to make seasonal comparisons between them. These were distributed from the beginning of the breakwater up to the end, and covered from the shore of the breakwater up to the isobath at approximately 14 m (fig. 2). The zones in which greatest change was observed were considered for the location of the profiles.

Graphic comparisons were made between the profiles of the two bathymetric surveys conducted in 1984 and 1987 by the *Residencia General de Obras Marítimas de Ensenada, B.C.*, and the profiles of one of the surveys conducted in 1990 for this study. All of the surveys were conducted in September in order to not compare profiles from different seasons of the year, and in this way avoid comparing seasons of erosion with seasons of deposition.

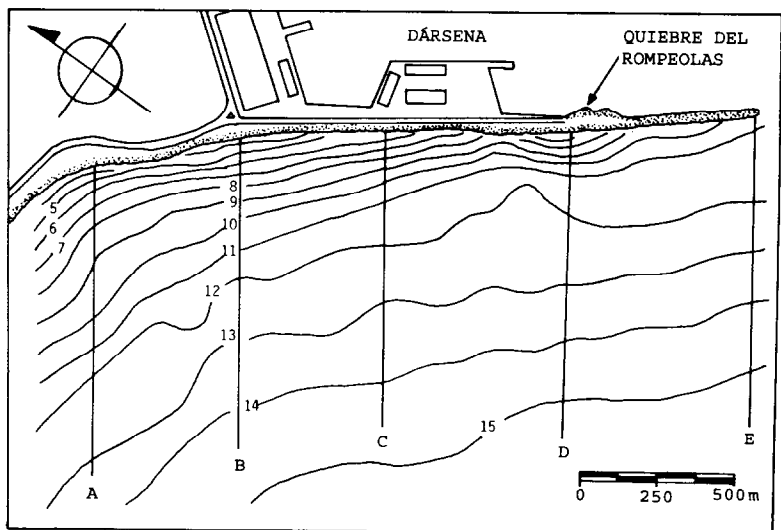
## RESULTS AND DISCUSSION

Bathymetric profiles were obtained and graphed for May, September, December 1990, and February 1991 (figs. 3, 4). Profile E (fig. 2) was not graphed since this zone is considered to function normally.

A continuous erosion is observed in the four profiles from May 1990 to February 1991. December deviates a little from this sequence, especially in profile A, where the first 100 m are shallower than the rest. It is also deeper than February in the C and D profiles. This is due to the onshore transport caused by the intensification of the surf (fall-winter transition), which lifts sediment and deposits it on the shore of the breakwater (December). Later, the winter surf removes the sediment from the shore and deposits it in deeper waters (February).

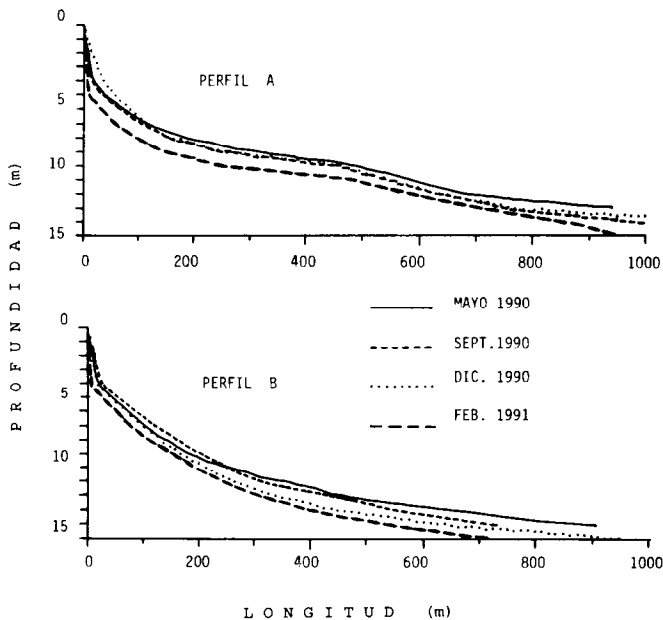
Onshore transport occurs in the sandy beaches throughout the year, eroding the beach face and causing an accumulation of material behind the breaker zone in winter and spring. The process is reversed during summer and fall (Cruz-Falcón and Mancilla-Peraza, 1991).

Two groups are observed in the four profiles graphed: 1) May and September present



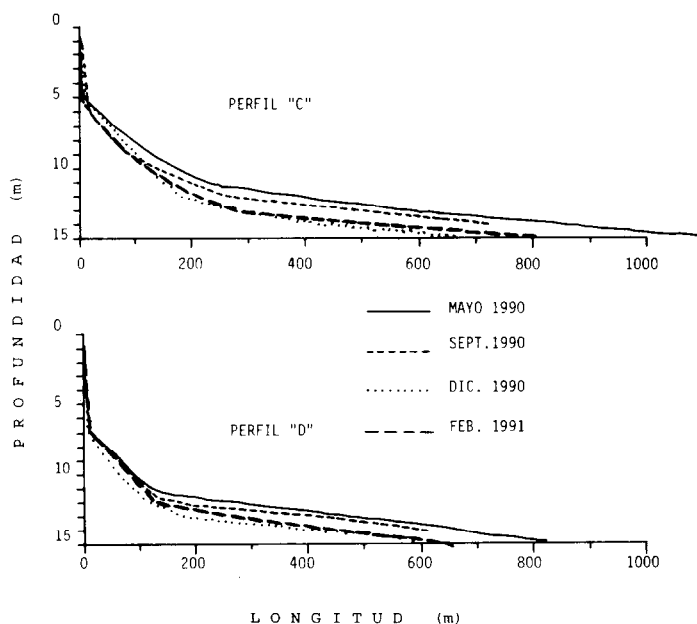
**Figura 2.** Plano batimétrico obtenido frente al rompeolas, correspondiente al levantamiento de mayo de 1990. Se muestran además los perfiles A, B, C, D y E, perpendiculares al rompeolas.

**Figure 2.** Bathymetric plan obtained in front of the breakwater corresponding to the May 1990 survey. Also shown are profiles A, B, C, D and E drawn perpendicular to the breakwater.



**Figura 3.** Perfiles batimétricos A y B frente al rompeolas. Escala vertical exagerada.

**Figure 3.** Bathymetric profiles A and B in front of the breakwater. Exaggerated vertical scale.



**Figura 4.** Perfiles batimétricos C y D frente al rompeolas. Escala vertical exagerada.  
**Figure 4.** Bathymetric profiles C and D in front of the breakwater. Exaggerated vertical scale

sedimento de la orilla y lo deposita en aguas más profundas (febrero).

El transporte perpendicular a la costa ocurre en las playas arenosas todo el año, donde la cara de la playa se erosiona y el material se acumula atrás de la zona de rompiente durante invierno y primavera, mientras que durante verano y otoño se invierte el proceso (Cruz-Falcón y Mancilla-Peraza, 1991).

En los cuatro perfiles graficados se observan dos grupos: 1) mayo y septiembre presentan los perfiles más someros, representativos de las condiciones de primavera y verano, y 2) diciembre y febrero muestran los perfiles más profundos, correspondientes a otoño e invierno. Con estos datos se aprecia claramente un proceso de depósito en mayo y septiembre y otro de erosión en diciembre y febrero.

Durante el invierno, el sedimento acumulado al pie del rompeolas y en la playa adyacente proviene de un transporte perpendicular y paralelo, de sur a norte en este último caso. Los

shallower profiles, representative of spring and summer conditions, and 2) December and February have deeper profiles that correspond to fall and winter. With these data, a clear depositional process can be observed in May and September, and an erosive one in December and February.

During the winter, the sediment accumulated at the foot of the breakwater and in the adjacent beach comes from an onshore and longshore transport. The direction of the longshore transport is south to north. The winds in the bay cause the currents in front of the breakwater to flow towards the north during the winter (González-Villagrán, 1992). Such is the case observed in profile A in December, which is shallower than profile A in February. In spite of this, profiles C and D show greater depth in December than profiles C and D in February. This indicates a northern transport, which coincides with that mentioned by González-Villagrán (1992).



vientos en la bahía provocan que las corrientes frente al rompeolas durante el invierno fluyan hacia el norte (González-Villagrán, 1992). Tal es el caso del perfil A de diciembre, el cual es más somero que el perfil A de febrero, a pesar de esto, los perfiles C y D muestran mayor profundidad en diciembre que los perfiles C y D de febrero. Esto indica un transporte en dirección norte, lo cual coincide con lo mencionado por González-Villagrán (1992).

De manera general, se muestra un patrón claro de erosión a finales de otoño y durante el invierno y de depósito a finales de primavera y en verano. Esto coincide con las características del oleaje de la zona, que registró en condiciones normales durante 1986 y 1987 un valor máximo de altura significativa ( $H_s$ ) en invierno de 2.1 m y altura mínima en verano de 0.4 m (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). Otoño y primavera pueden considerarse como épocas de transición. Los datos sobre el periodo de oleaje presentaron un intervalo de 5 a 17 s en verano, y de 6 a 16 s en invierno.

Si en el área incluida en los perfiles A, B y C de diciembre 1990 se presentaran condiciones de tormenta y marea alta, el oleaje incidente en los primeros 450 m del rompeolas posiblemente utilizaría esa acumulación de arena como rampa para cubrir e inundar el recinto portuario. Ciertamente las inundaciones de éste han ocurrido a causa del oleaje que cubre el rompeolas en sus primeros 450 m.

La parte donde se localiza el quiebre del rompeolas (fig. 2) muestra durante todas las estaciones una acumulación de material cercana a éste, excepto en el perfil de diciembre, que es menor (fig. 4, perfil D). Esta acumulación es causada por las rocas caídas de la misma estructura que han atrapado sedimento debido al transporte litoral y formado un saliente o promontorio que produce convergencia del oleaje cuando se aproxima a este punto. Por tanto, es factible que esta zona sea fácilmente afectada y destruida por el oleaje, como ocurrió en la tormenta de enero de 1988, que prácticamente rompió el rompeolas en este sector.

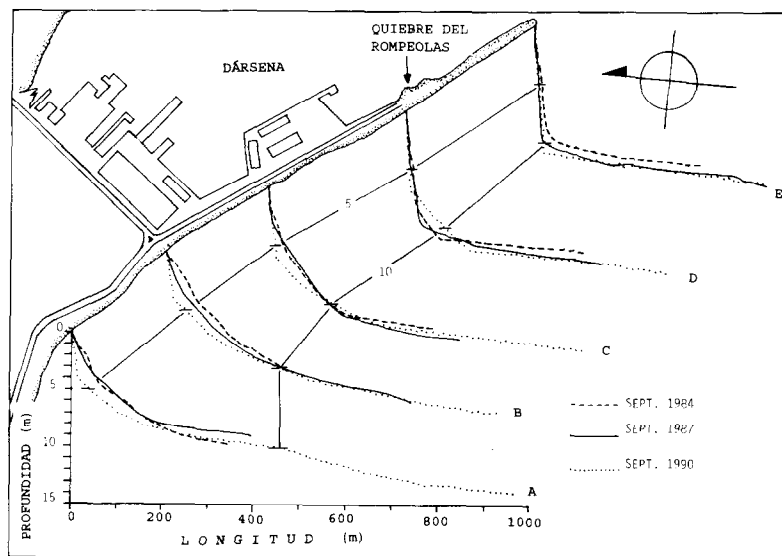
Los perfiles batimétricos presentaron variaciones hasta de 1.4 m a lo largo del año, lo que es consecuencia de las condiciones estacionales.

In general, a clear pattern of erosion is found towards the end of fall and during winter, and deposition at the end of spring and in summer. This coincides with the characteristics of the surf in this zone where, under normal conditions between 1986 and 1987, a maximum value of significant height ( $H_s$ ) of 2.1 m was registered in winter, and a minimum height of 0.4 m in summer (Martínez-Díaz de León *et al.*, 1989). Fall and spring can be considered as transition seasons. The data on surf period presented an interval of 5 to 17 s. during the summer and 6 to 16 s. in winter.

If storm conditions and high tides are present in the area included in profiles A, B and C of December 1990, the incidental surf in the first 450 m of the breakwater might possibly use this accumulation of sand as a ramp to cover and flood the harbor. In truth, flooding of the port district has occurred because the surf covers the breakwater in the first 450 m.

The area where the deflection is located on the breakwater (fig. 2) shows an accumulation of material close to this during all of the seasons, except in the December profile (fig. 4, profile D). This accumulation is caused by rocks that have fallen from this structure and have trapped sediment due to the littoral transport, forming a headland or promontory which produces a convergence of surf upon nearing this point. Thus, it is feasible that this zone be easily affected and destroyed by the surf, as occurred with the storm of January 1988, that practically broke the breakwater in this sector.

The bathymetric profiles presented variations of up to 1.4 m throughout the year, which is a consequence of the seasonal conditions. As mentioned earlier, two of the surveys correspond to summer profiles (shallow) and the other two to winter profiles (deep). This demonstrates that the cyclical changes between seasons of erosion and deposition are very clear. Thus, in order to determine long-term variations in the marine bed, bathymetries or profiles that correspond to the same seasons or months should be considered and compared; otherwise, the difference obtained is simply the cyclic variation that is repeated annually plus the real variation. For this reason, the profiles from



**Figura 5.** Perfiles comparativos frente al rompeolas correspondientes a levantamientos realizados en el mes de septiembre de 1984, 1987 y 1990. Escala vertical exagerada (25:1).

**Figure 5.** Comparative profiles in front of the breakwater corresponding to the surveys conducted in September 1984, 1987 and 1990. Exaggerated vertical scale (25:1).

Como se mencionó anteriormente, dos de los levantamientos corresponden a perfiles de verano (someros) y los otros dos a perfiles de invierno (profundos). Lo anterior demuestra que están muy claros los cambios cíclicos estacionales de erosión y depósito. Por tanto, para determinar variaciones del lecho marino a largo plazo, se deben considerar y comparar batimetrías o perfiles que correspondan a las mismas estaciones o meses, de otra manera la diferencia que se obtiene es simplemente la variación cíclica que se repite anualmente más la variación real. Por esta razón, se graficaron y compararon los perfiles de septiembre de 1984, 1987 y 1990 (fig. 5).

De manera general, en los perfiles A, B, C y E se observa un incremento en la profundidad de 1984 a 1990 entre los 100 y 200 m a partir del rompeolas. De 1984 a 1987 las variaciones son irregulares. Es importante notar que el único perfil donde se pierde la secuencia anterior es el D de 1990, el cual se ubica precisamente sobre el quiebre del rompeolas (fig. 5), y se observa la acumulación de material de los 20 a los 100 m del rompeolas. Más allá de los 200 m los perfiles tienden a normalizarse. Los resultados

September 1984, 1987 and 1990 were graphed and compared (fig. 5).

In profiles A, B, C and E, an increase in depth is generally observed from 1984 to 1990 between 100 and 200 m from the breakwater. The variations are irregular from 1984 to 1987. It is important to note that the only profile that deviates from the previous sequence is D from 1990, which is located precisely on the deflection of the breakwater (fig. 5), and the accumulation of material is observed from 20 to 100 m from the breakwater. Farther out from the 200 m, the profiles tend to become normal. The previous results demonstrate that, with time (1984 to 1990), the area in front of the breakwater as become deeper. This allows the storm waves to arrive with more strength, to be displaced more easily over the sediment ramp formed at the foot of the structure, to jump the armor stone and flood the harbor.

## CONCLUSIONS

The problem of flooding in the port district is basically due to the littoral transport and the

anteriores muestran que, con el tiempo (1984 a 1990), se ha profundizado más el área frente al rompeolas. Esto favorece que el oleaje de tormenta llegue con más fuerza, se deslice más fácilmente sobre la rampa de sedimento formada al pie de la estructura, brinque la coraza e inunde el recinto.

## CONCLUSIONES

El problema de inundación del recinto portuario se debe básicamente al transporte litoral y a la acumulación de sedimento en los bloques de roca caídos del refuerzo cada vez que son movidos por el oleaje. Los bloques prácticamente se deslizan quedando al pie de la estructura y causan que parte del sedimento transportado quede atrapado y se acumule reduciendo la profundidad, lo que provoca también pérdida de porosidad en la estructura. Además, la parte cercana al rompeolas se ha erosionado más de 1984 a 1990.

El promontorio que sobresale en el quiebre del rompeolas (fig. 2) está formado por el quiebre mismo y rocas caídas que atrapan sedimento (fig. 5, perfil D). Esto causa que el oleaje converja y concentre su energía, lo que puede dañar fácilmente la estructura.

El rompeolas del puerto de Ensenada no está funcionando adecuadamente, de acuerdo con los resultados obtenidos. Es obvio que cuando el oleaje de tormenta se combine con mareas altas se va a suscitar el problema de inundación. Poca o ninguna mejora se logrará con que se agregue más enrocamiento a esta estructura.

Para evitar los problemas que se presentan, en los años con oleaje fuerte, se sugiere: 1) reconstruir el rompeolas con tetrápodos para aumentar la porosidad y atenuar la energía del oleaje, con lo que se evitará la caída de rocas de la parte superior; 2) construir un muro de concreto con frente cóncavo a lo largo del rompeolas, para rechazar el oleaje y evitar que cubra la coraza; 3) construir un espigón paralelo al rompeolas y rellenar el espacio entre ambas estructuras con material dragado de la dársena, formando así una plataforma amplia de protección.

accumulation of sediment in the rock blocks that fall from the structure each time they are moved by the surf. The blocks practically slide to the foot of the structure and cause part of the transported sediment to be trapped and accumulated, and thus reducing depth. This also promotes the loss of porosity in the structure, and the area close to the breakwater has eroded more from 1984 to 1990.

The promontory that extrudes from the deflection of the breakwater (fig. 2) is formed by the same deflection and fallen rocks that trap sediment (fig. 5, profile D). This causes the surf to converge and concentrate its energy, which can easily damage the structure.

According to the results obtained, the breakwater in the Port of Ensenada is not functioning adequately. It is obvious that when storm waves are combined with high tides, the same problem of flooding will occur. Little or no improvement will be achieved by adding more rocks to this structure.

In order to avoid the problems presented during years of strong surf, it is suggested: 1) to reconstruct the breakwater with tetrapods to increase porosity and attenuate the energy of the surf, and stop the rocks from falling from the upper part; 2) build a concave faced sea wall out of concrete along the breakwater in order to repel the surf and avoid its covering the armor stone; 3) build a groin parallel to the breakwater and fill in the space between both structures with material dragged from the dock, thus forming a wide platform of protection.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the *Dirección General de Oceanografía Naval* for their support. The *Dirección General de Obras Marítimas de Ensenada, B.C.* generously lent the equipment and bathymetric plans. The enthusiastic participation of Antonio Sánchez Mena, Ramón Moldrano Salgado, Iván Labastida Dávalos and Jorge Salas Rangel in the field and office work is appreciated.

English translation by Jennifer Davis.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por la Dirección General de Oceanografía Naval. La Dirección General de Obras Marítimas de Ensenada, B.C., generosamente prestó equipo y planos batimétricos. Se agradece la entusiasta participación, en el trabajo de campo y gabinete, de Antonio Sánchez Mena, Ramón Moldrano Salgado, Iván Labastida Dávalos y Jorge Salas Rangel, .

## REFERENCIAS

- Aranda-Manteca, F. (1983). Estudio de los minerales pesados como trazadores de la corriente en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. **Facultad de Ciencias Marinas**. Ensenada, B.C., México, 78 pp.
- Cruz-Falcón, A. y Mancilla Peraza, M. (1991). Variación estacional de perfiles de playa al sur del Puerto de Ensenada, B.C., como apoyo al estudio oceanográfico para la instalación de un emisor submarino. **Revista de Investigación Científica**, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 2(2):
- Dooren-Osio, K.V. (1991). Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del puerto de Ensenada, B.C. Tesis de licenciatura, **Universidad Autónoma de Baja California**, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C., México, 126 pp.
- González Villagrán, A. (1992). Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada, B.C. Tesis de licenciatura, **Universidad Autónoma de Baja California**, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C., México, 126 pp.
- Martínez Díaz de León, A., Nava Button, C. y Ocampo Torres, F.J. (1989). Estadística de oleaje en la bahía de Todos Santos, B.C., de septiembre de 1986 a agosto de 1987. **Ciencias Marinas**, 15(3): 1-20.
- Pérez Higuera, R. y Chee Barragán, A. (1984). Transporte de sedimento en la bahía de Todos Santos, B.C. **Ciencias Marinas**, 10(3): 31-52.
- Sánchez Dévora, A.J. (1989). Efectos del oleaje extremo inducido por tormentas extratropicales en el puerto de Ensenada, B.C., **Memorias de la Reunión Anual 1987 de U.G.M.**, Ensenada, B.C., México, abril de 1989, pp. 231-238.
- Secretaría de Marina (1974). Estudio Geográfico de la Región de Ensenada. **Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo**, México, D.F., pp. 57-74.
- Ulloa Torres, Marco J. (1989). Refracción lineal del oleaje en el puerto de Ensenada, B.C. Tesis profesional, **Universidad Autónoma de Baja California**, Facultad de Ciencias Marinas, 66 pp.