

CARACTERIZACIÓN MORFODINÁMICA Y PREDICCIÓN DE LOS CAMBIOS DE PERFIL DE PLAYA UNIÓN – PUERTO RAWSON

Por Ing. Ricardo H. del Valle¹, Ing. Hugo J. Donini²

ABSTRACT

The present article develops the principal morphodynamic parameters for Playa Unión – Puerto Rawson, Chubut. The objective is adjusting the medium profile of the beach with the Dean equation and the morphodynamic changes generated by the construction of the last port structures.

INTRODUCCIÓN

Ubicación geográfica

La ciudad de Rawson, capital de la provincia del Chubut, se encuentra localizada en el departamento de igual nombre, a los 43° 20' S y 64° 04' O, en el curso inferior del río Chubut, a 8 km. de su desembocadura en forma de estuario en el Océano Atlántico. El puerto de características fluvio – marítimas se localiza en la ribera norte del río Chubut inferior, a algo menos de 8 km. de la ciudad homónima. A pocos kilómetros de la capital, se halla el balneario de Playa Unión, el cual pertenece al ejido municipal de Rawson. Éste se emplaza en la Bahía Engaño sobre un mar abierto, formando un conjunto indivisible con Puerto Rawson ubicado en la desembocadura del Río Chubut. Es por ello que constituye la villa balnearia de la mayoría de las localidades del Valle Inferior del río Chubut y es visitada por los habitantes de la Patagonia, el sur de Chile y poco a poco, por el resto del país.

Breve reseña histórica

El nombre de Playa Unión proviene de la embarcación italiana “L’Unione” (La Unión) que encalló en las costas atlánticas alrededor de 1890 como final de un viaje iniciado en Génova, Italia, donde parte de su tripulación permaneció en Rawson, estableciendo la primera casa de hospedaje y fonda. Comienzan, de esa manera, a edificarse las primeras casillas y se construye sobre pilotes de madera y chapas la casa donde el gobernador pasaba sus vacaciones de verano (Figura 1 izquierda). El emplazamiento de esta primera fila extendida es destruido por la acción del mar en el año 1942, donde grandes olas arrasan las casillas de esta fila. Se vuelven a construir de materiales y más lejos del mar, aunque siempre respetando por delante una única casilla para las autoridades.



Figura 1: Antigua primera fila de casillas y casa del Gobernador (1925) y efectos de la erosión sobre Playa Unión (1976) (referencia 11)

En 1976, un temporal de olas combinado con una pleamar extraordinaria destruye la rambla. Las aguas llegan por aquel entonces hasta la calle principal, registrándose en la víspera, mareas de gran

¹ Ing. Civil, Profesor Titular de la Cátedra de Puertos y Vías Navegables de la UNPSJB, Argentina. E-mail: ricardohdelvalle@infovia.com.ar - ricardodelv@gmail.com

² Ing. Civil e Hidráulico, docente de la Facultad de Ingeniería de UNPSJB, Argentina. E-mail: hugo.donini@gmail.com

amplitud. La pleamar en Playa Unión alcanza una altura de 5,91 m a las 7:45 h. y un valor similar a las 20:00 h (Figura 1 derecha).

MARCO TEÓRICO

Aspectos generales

La presente publicación procura analizar las transformaciones en la línea de costa y sus interrelaciones con el espacio portuario de Puerto Rawson. Ello tiene por objeto aplicar los conceptos de ingeniería de costas a la evolución de los puertos, como una relación intrínseca entre las obras y la evolución costera.

El origen y el crecimiento del puerto siempre han estado ligados al espacio litoral, provocando en ocasiones conflictos, especialmente referidos a la ocupación del espacio que los núcleos urbanos demandan para su desarrollo. Asimismo, el puerto también ofrece beneficios a la ciudad. Brinda el apoyo económico y social para que se desarrolle comercialmente y, es por ello, que entre el puerto y el espacio litoral debe existir una estrecha vinculación para resolver cualquier tipo de problema, que generalmente oscila entre la ocupación de superficies, la circulación, el medioambiente y otros. Uno de los conflictos más frecuentes que existe en dicha relación, surge del crecimiento de la infraestructura portuaria. Ésta puede considerarse como la infraestructura litoral por excelencia, ya que oficia de intercambio entre dos modos de transporte: el marítimo y el terrestre. En la Figura 2 se observan las primeras actividades en Puerto Rawson.



Figura 2: Primeras actividades portuarias en Rawson

Predictores y modelos morfodinámicos de playas

A continuación, iniciaremos un proceso de caracterización morfológico de Playa Unión como espacio adyacente al Puerto de Rawson.

De acuerdo a su perfil, las playas pueden clasificarse en una primera aproximación, como disipativas o reflejantes. Las playas disipativas se caracterizan por poseer arenas de granulometría fina, con pendientes bajas y sin formaciones que se destaquen. Las playas reflejantes, en el otro extremo de las tipologías de playas, poseen arenas de granulometría media a gruesa, con niveles de energía más bajos que las anteriores. Presentan bermas al inicio del frente de la playa, y suelen contar con un escalón en la parte inferior de éste con materiales más gruesos, luego del cual la pendiente disminuye considerablemente, con una forma cóncava. Esta primera clasificación de las playas, debe combinarse con el estado mareal de las mismas, según Wright y Short (1984), basándose en observaciones de playas micromareales (amplitudes de marea menores a 2 m) de Australia.

Predictores morfodinámicos

Se utilizarán los siguientes parámetros morfodinámicos:

a) *Parámetros que no incluyen la pendiente de la playa*

- Parámetro adimensional de caída del material granulométrico o de Dean: fue desarrollado en 1973 a partir de investigaciones del transporte transversal. Se calcula como:

$$\Omega = \frac{H}{w_s \cdot T} \quad (1)$$

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

Donde: H = altura de ola en aguas profundas o en rotura, T = período de ola y w_s = es la velocidad de caída del sedimento.

- Parámetro de Dalrymple: este parámetro fue propuesto por Dalrymple en 1992 y surge como evolución del generado por Larson y Kraus en 1989. Su expresión es:

$$P_0 = \frac{g \cdot H_0^2}{w_s^3 \cdot T} \quad (2)$$

Se acepta, en general, que para valores de $P > 25.000$ existirá una tendencia erosiva en el perfil de playa.

- Parámetro de carrera de marea: a los efectos de incorporar al estudio de Wright y Short la influencia de mareas superiores a los 2 m, es viable calcular el parámetro de Carrera de Marea (CM), clasificado por Davies (1964) de la siguiente manera:

- Playas micromareales: $CM \leq 2$ m
- Playas mesomareales: $2 < CM \leq 5$ m
- Playas macromareales: $CM > 5$ m

Masselink y Short (1993), presentaron un modelo conceptual para las playas con marea en el que se las describe en términos del número de Dean y de la Carrera de Marea Relativa (CMR), calculada como:

$$CMR = \frac{CM}{H_b} \quad (3)$$

Este estudio genera una serie de estados morfológicos intermedios de la playa que comparten características con los dos extremos, playas disipativas y reflejantes (ver Figura 3).

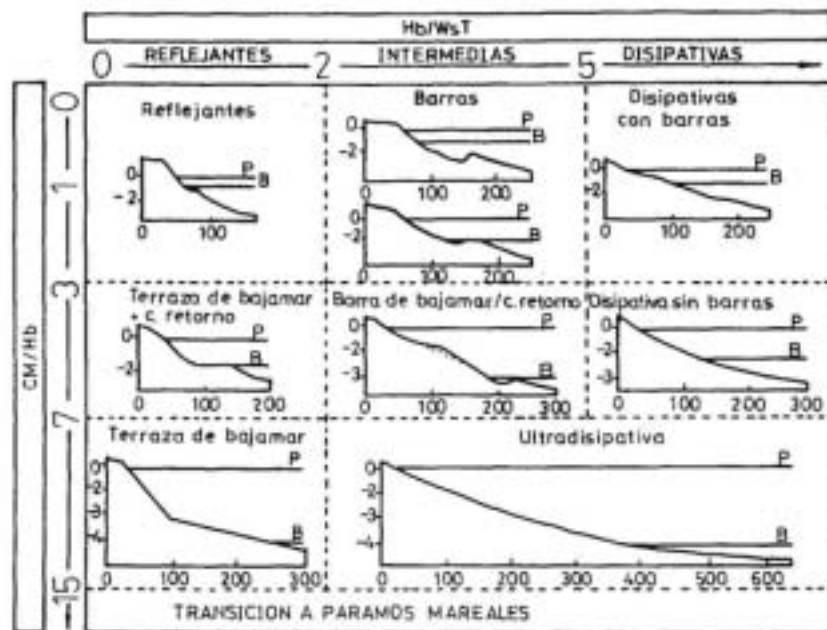


Figura 3: Modelo de evolución para playa macromareal (referencia 18)

b) Parámetros que incluyen la pendiente de la playa

- Parámetro de rotura o de Iribarren: indica el tipo de rotura de ola según la pendiente del perfil de la playa:

$$\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_0} \quad (4)$$

Donde: α = ángulo del talud, H = altura de ola en aguas profundas o en rotura y L_0 = longitud de onda en aguas profundas ($g \cdot T^2 / 2\pi$). En general, se acepta que en los perfiles disipativos la rotura será del tipo derramante (spilling) con una disipación progresiva de la energía de la ola a lo largo del perfil. Con playas reflejantes, las olas pueden tener roturas de precipitación súbita (plunging), pulsante (surging) o colapsante (collapsing).

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

- Parámetro de Sunamura y Horikawa: es un parámetro basado en el análisis de laboratorio de arenas de playa en la zona de rotura del oleaje (1974 y 1980), por el cual se obtuvo la expresión:

$$SH = \frac{H}{L_0} . m^{0,27} \left(\frac{L_0}{D_{50}} \right)^{0,67} \quad (5)$$

Donde: m = pendiente del talud de la playa y D_{50} = tamaño medio del material de playa bajo análisis. En general, se admite un límite de $SH < 18$ para los procesos de acreción.

- Parámetro de Hattori y Kawamata: el límite entre procesos erosivos y acumulativos es de 0,08.

$$HK = \frac{H}{w_s \cdot T} . m \quad (6)$$

- Parámetro de Sayao y Graham: el límite para establecer la probable tendencia erosiva o acumulativa es de 0,1 para olas en aguas profundas y 0,14 para olas en condición de rotura.

$$SG = m \cdot \frac{H^{0,5}}{(D_{50} \cdot L_0)^{0,25}} \quad (7)$$

- Parámetro de Jiménez y Sánchez-Arcilla: el límite planteado para este parámetro es menor a 0,12 para que exista acreción en el perfil.

$$JS = \left(\frac{H}{w_s \cdot T} \right)^{0,5} . m \quad (8)$$

METODOLOGÍA

Modificaciones naturales y antrópicas de la línea de costa

Para iniciar el estudio, se caracterizará la zona de playa y los principales sucesos naturales y antrópicos ocurridos en el Puerto de Rawson como potenciales generadores de cambios en el comportamiento del transporte de sedimentos. Se consideró históricamente a Playa Unión como una playa de líneas batimétricas de desarrollo aproximadamente recto y paralelo, con algunas concavidades. Los estudios de transporte de sedimentos indican una preponderancia de las olas provenientes del sector sur, lo que indica un predominio del transporte de material de playa hacia el norte. Ello conlleva a una erosión marcada en el sector sur correspondiente a Playa Magagna y una acumulación moderada y paulatina en el sector norte de Playa Unión.

Con el objeto de mejorar las condiciones de operatoria portuaria y generar protección en el ingreso y egreso al puerto de las embarcaciones pesqueras, se construye en los años 1960 y 1963 un espigón norte de tablestacas de hormigón y en los años 1972 y 1974, una escollera sur de elementos premoldeados tipo Akmon de 3 toneladas, con una longitud de 550 m. La respuesta de la playa con la construcción del espigón norte (de naturaleza opaca) fue una modificación del patrón de transporte de sedimentos del río a la costa (ver Figura 4). Como consecuencia de la construcción de la escollera sur, se capturaron los sedimentos que transportaba el mar desde las playas ubicadas al sur hacia las del norte. La consecuente erosión al norte resultó moderada, ya que por su coronamiento y ante pleamares, la escollera sur permitía el sobrepaso de las olas.

Hacia el año 1977, se coloca una serie de pantallas protectoras en la playa con el objeto de atenuar los retrocesos de la línea costera (Figura 5). La misma manifestó una recuperación en el período 1977/1981, aunque prosiguieron luego períodos de erosión. Entre los años 1996 - 1997 la provincia del Chubut decidió encarar el Estudio y Proyecto Básico para la Remodelación del Puerto de Rawson, puerto que presentaba deficiencias de accesibilidad y restricciones operativas. Dada la importancia que la obra tenía, se ejecutaron posteriormente modelaciones matemáticas y físicas a partir de datos oceanográficos en aguas profundas. De los estudios, se concluyó, entre otros aspectos, el cambio de la configuración geométrica de las escolleras con el objeto de atenuar el efecto desfavorable de alteración del balance de sedimentos en cercanías de la desembocadura del Río Chubut.

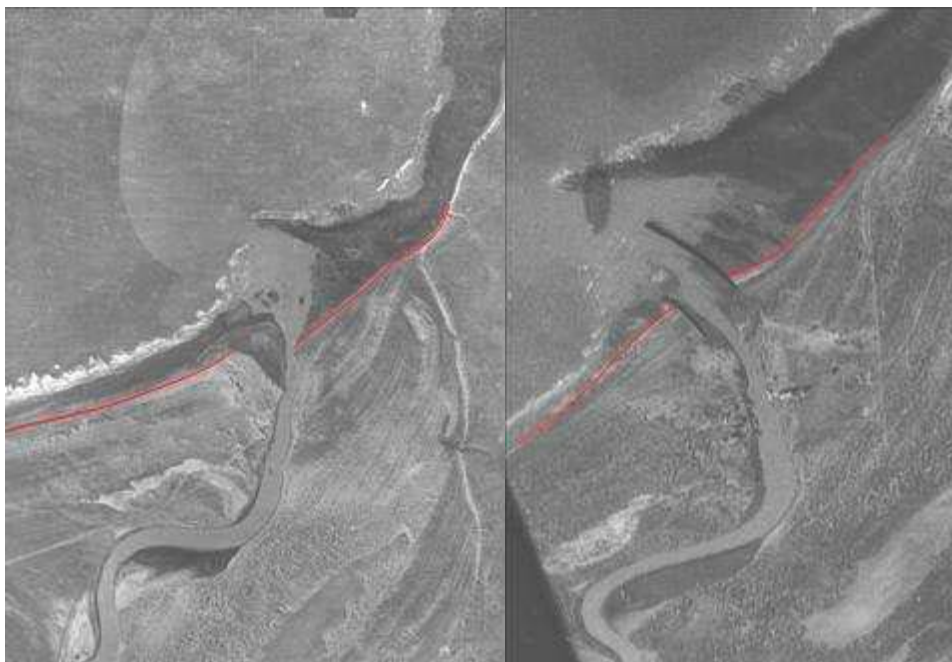


Figura 4: Imagen de la línea de playa previa a la ejecución de las primeras obras de abrigo (izquierda año 1958 -IFTA) y una vez construidas ambas éstas (derecha año 1976 - CENPAT)



Figura 5: Barreras en la playa para atenuar los efectos erosivos (enero de 1977) (referencia 11)

En el mes de Abril de 2002 se culminó con la prolongación de la Escollera Sur, que se extendió en 265 metros. La finalización de esta obra incrementó el tamaño de la escollera sur existente, que es la que brinda la protección al área portuaria para las olas más intensas. Entre los días 30/08/02 y 01/09/02, arribaron a las costas de la Provincia de Chubut olas oceánicas de largo período. Aunque las olas oceánicas son una componente habitual del clima de olas en la región, la situación ocurrida el día 31 de agosto fue particularmente notoria por la gran amplitud de las ondas³. El temporal produjo un retroceso notorio de la línea de playa sobre Playa Unión, que fue compensado en parte por los trabajos de refulado posteriores, previstos en la obra con antelación. Por otro lado, el mes de Mayo de 2003, se finalizó con la ejecución de la Escollera Norte. Esta escollera, ubicada aproximadamente 250 metros al norte del espigón existente, tiene una longitud de 544 metros (Figura 6).

La restricción operativa principal que presentaba Puerto Rawson, estaba dada por el canal de acceso, que tenía un ancho reducido, muy poca profundidad y un trazado sinuoso flanqueado por bancos de arena, emergentes en mareas bajas, que reducían la seguridad de la navegación, particularmente en su tramo externo, donde las embarcaciones están más expuestas a la acción del oleaje. Por todo esto, se previó en la Remodelación de Puerto Rawson, el dragado del canal de acceso. Los trabajos de dragado iniciaron en el mes de Septiembre de 2002, y gran parte del material extraído fue depositado al norte de la escollera norte, produciendo una mejora sobre la playa en sus primeros 500

³ Referencia bibliográfica 1.

metros (Figura 7 izquierda). Se construyó un nuevo Muelle Pesquero y se ejecutó un espigón norte en el área de la antigua escollera norte de tablestacas. Posteriormente, en el año 2005, se realizaron relevamientos de playa durante y después de la obra y un estudio costero encargado a un laboratorio de hidráulica. Como consecuencia, se construyó una protección de rocas sobre la rotonda cuyo trazado avanzaba sobre la zona costera (Figura 7 derecha) y un espigón corto perpendicular a la playa (Figura 8). Ambas obras procuraron disminuir la erosión en cercanías de la escollera norte, predicha en el anteproyecto de la obra en el año 1997.



Figura 6: Aspecto de la línea de playa interna durante la construcción de las obras de abrigo



Figura 7: Refulado del material dragado (09/2002 a 01/2003) y protección de la Av. Costanera



Figura 8: Acumulación de sedimentos en el espigón corto (perfil de invierno)

Campañas de medición y datos utilizados para el desarrollo del trabajo

La información utilizada para el desarrollo del presente trabajo se detalla a continuación. Todas las profundidades fueron referidas al cero del MOP, teniendo en cuenta que según los estudios desarrollados, el 0 S.H.N. se ubica a 1,63 m por debajo del 0 M.O.P. En momentos de temporales, los niveles del mar pueden registrar incrementos de hasta 1,05 m. Los datos procesados fueron:

Relevamientos taquibatimétricos

- Junio 1976: en perfiles iniciales de la playa y hasta una profundidad de -0,60 m MOP.
- Diciembre 1996: sólo hasta determinadas profundidades.
- Junio 2000.
- Agosto 2001.
- Febrero 2002.
- Junio 2002.
- Septiembre 2002: se cuenta con datos sólo a partir del perfil denominado P6.
- Enero 2003.
- Julio 2003.
- Diciembre 2003.

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

- Septiembre 2004: se cuenta con datos sólo a partir del perfil denominado P6.
- Septiembre 2008.

Muestras granulométricas de playa

- LABIEVI – UNPSJB – Año 1996.
- DYOPSA S.A. – Año 2002.
- DHI – Año 2004.

A partir de los datos citados se determinó la evolución de las curvas batimétricas y se las comparó con los hechos temporales que generaron impactos sobre el transporte de sedimentos. Se compusieron las curvas batimétricas y se identificaron los niveles +4,00, 0,00 y -2,00, los que representan a los sectores más destacados del perfil de playa. De la Figura 9 a la Figura 11, se aprecian los relevamientos, así como también las principales estructuras existentes en la actualidad. De su comparación, se extrajeron los avances y retrocesos de la playa referenciados al relevamiento taquibatimétrico de Diciembre de 1996, para establecer el comportamiento del transporte longshore (Figura 12 a Figura 15). También se contrastaron los perfiles de playa de cada relevamiento, tomándose como referentes el Perfil 10, 12, 16, 21, 26 y 30.

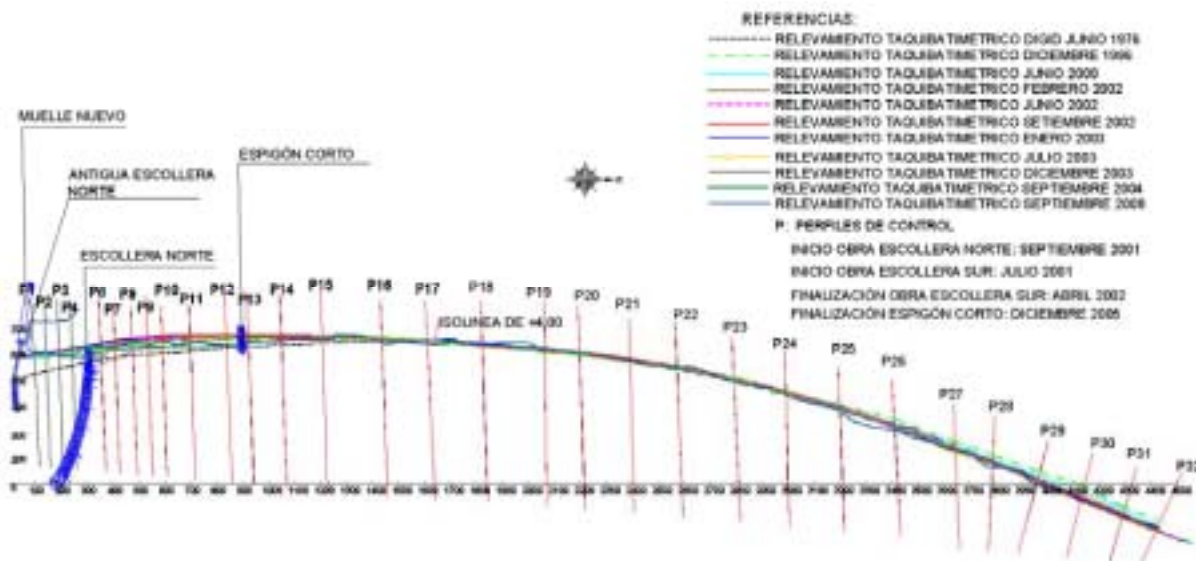


Figura 9: Combinación de las curvas batimétricas +4,00 para distintos relevamientos

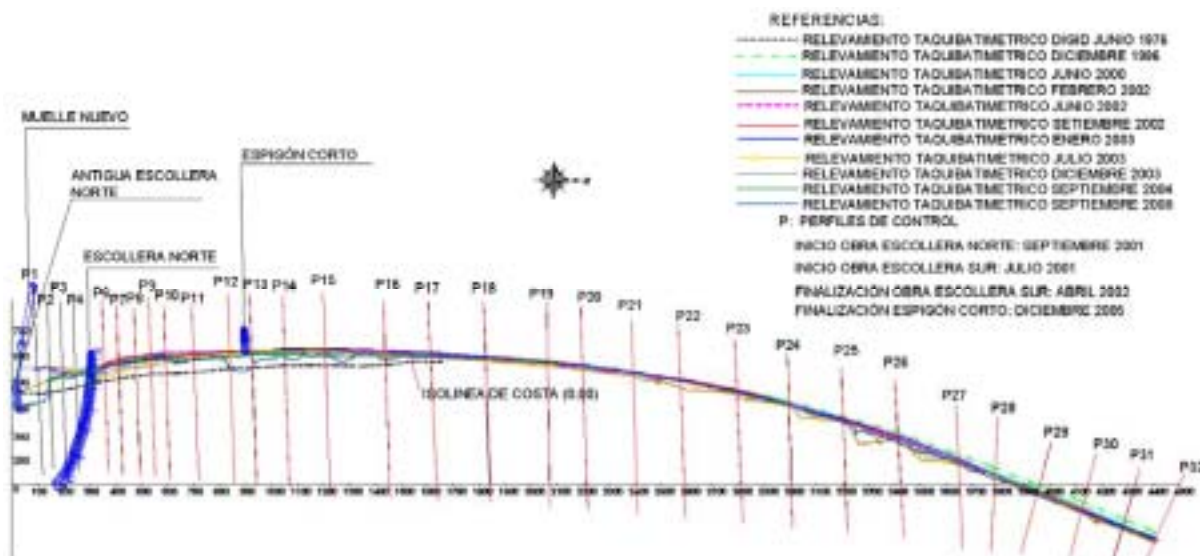


Figura 10: Combinación de las curvas batimétricas 0,00 para distintos relevamientos

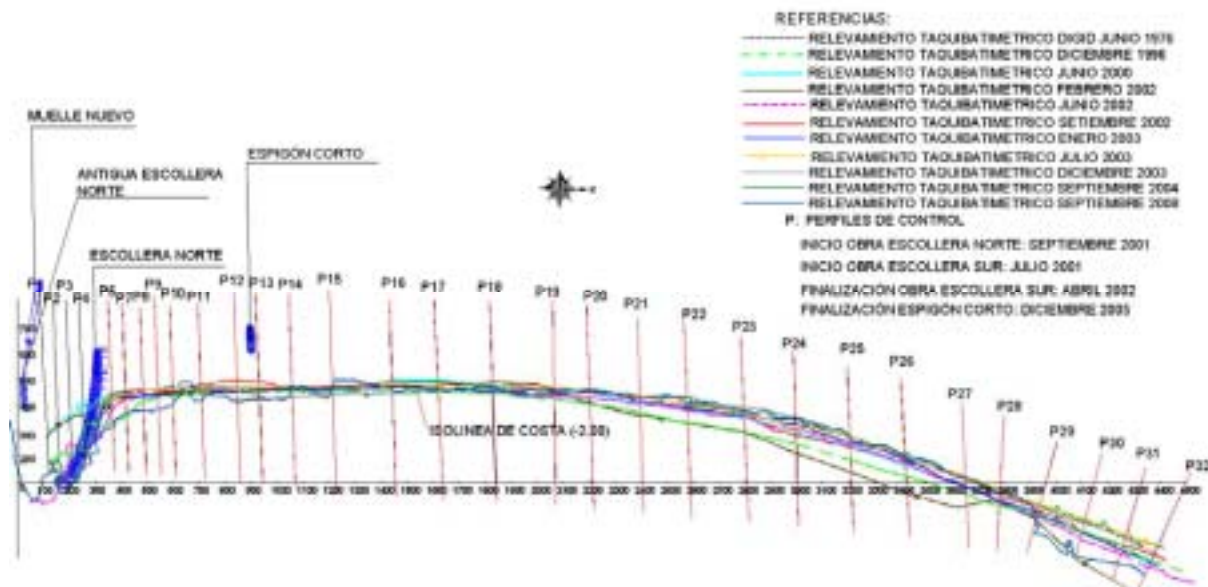


Figura 11: Combinación de las curvas batimétricas -2,00 para distintos relevamientos

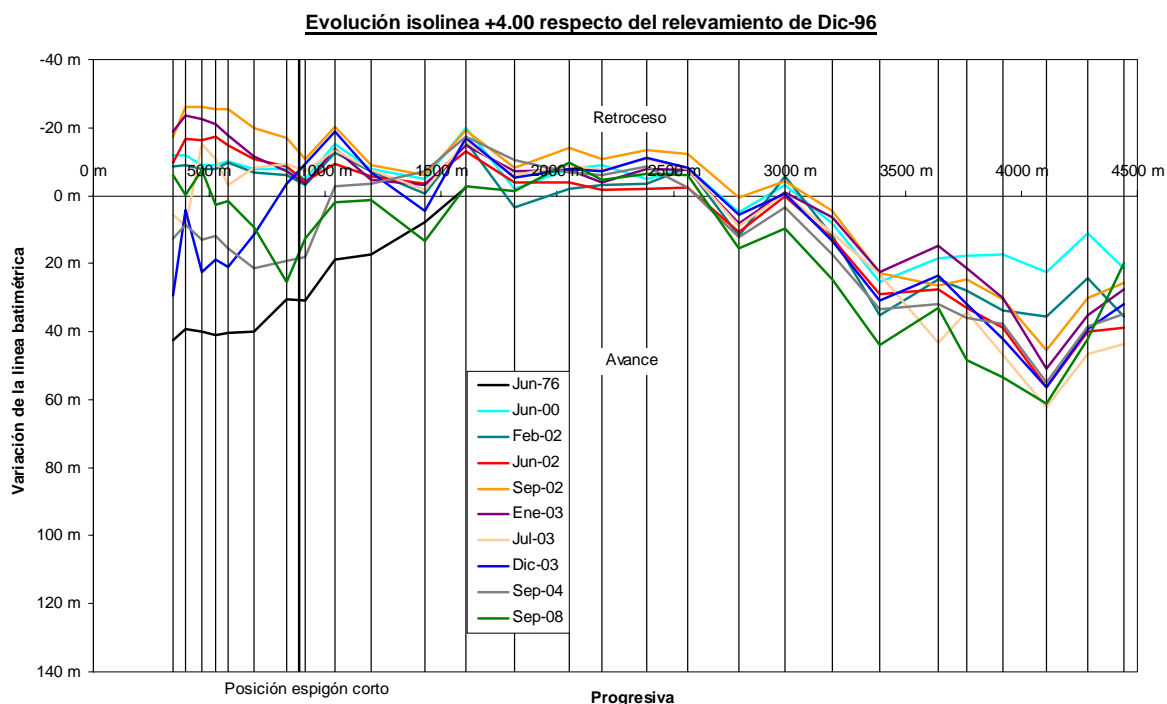


Figura 12: Evolución por progresivas de la isolinia +4,00 MOP referido a Dic. de 1996



Figura 13: Erosión de la playa cerca de la escollera norte (imagen posterior al temporal de Julio de 2009)

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

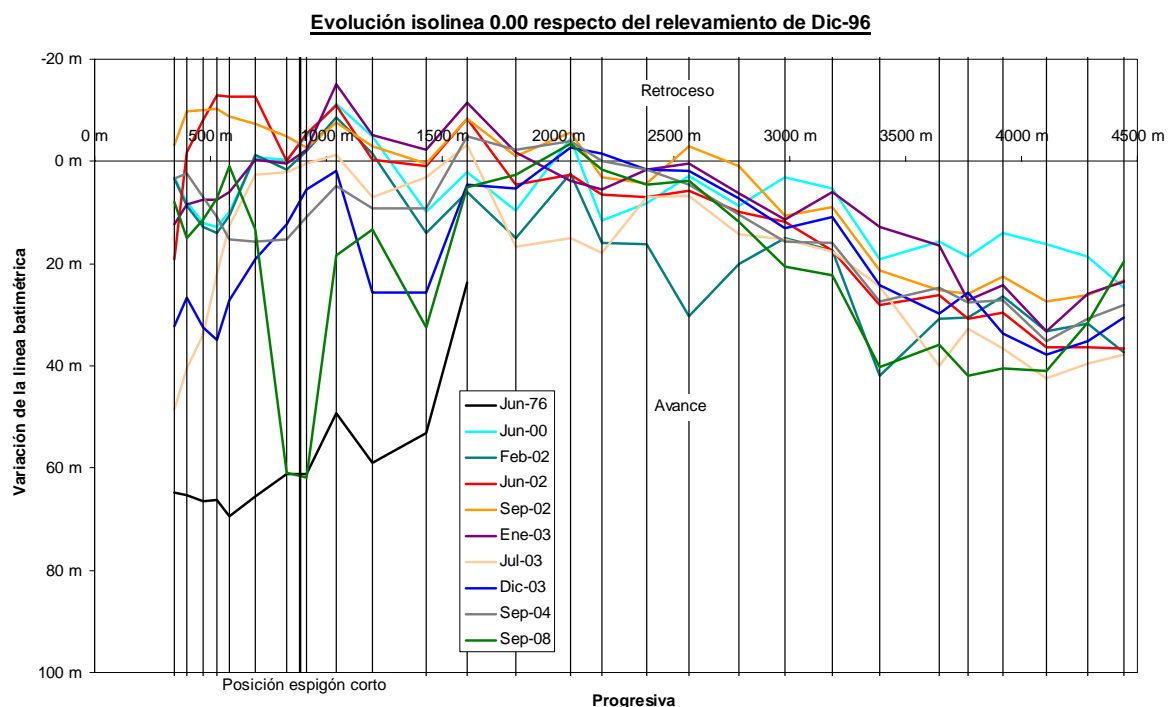


Figura 14: Evolución por progresivas de la isolinia 0,00 MOP referido a Dic. de 1996

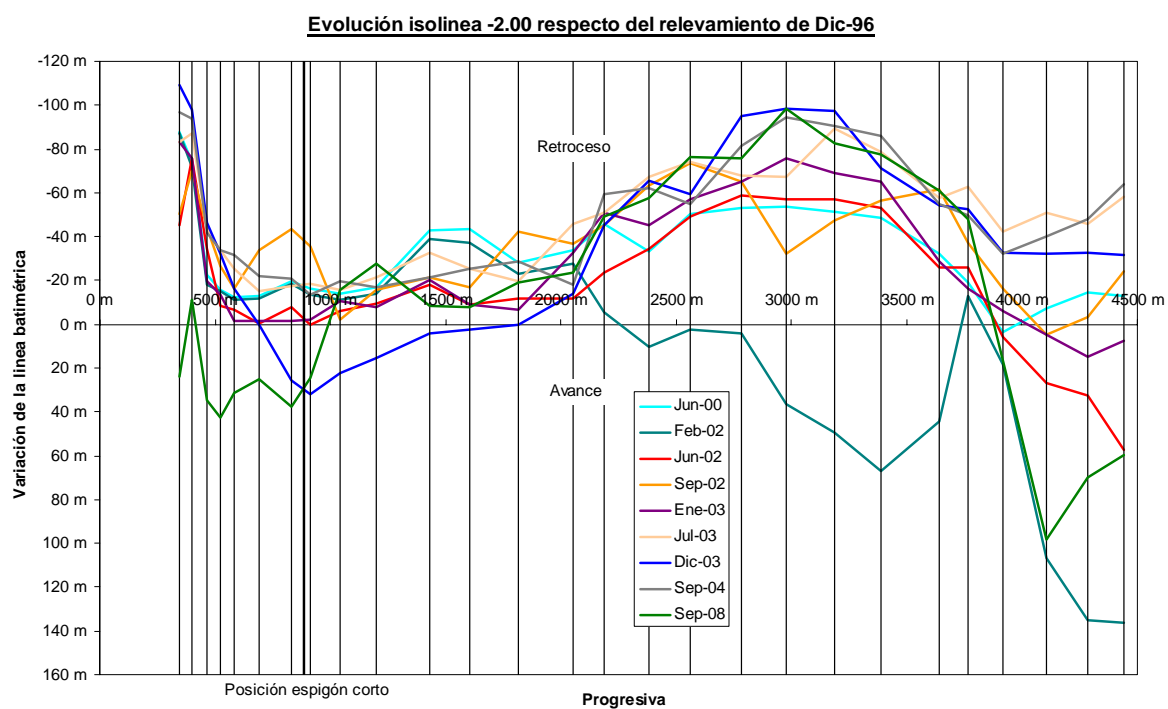


Figura 15: Evolución por progresivas de la isolinia -2,00 MOP referido a Dic. de 1996

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

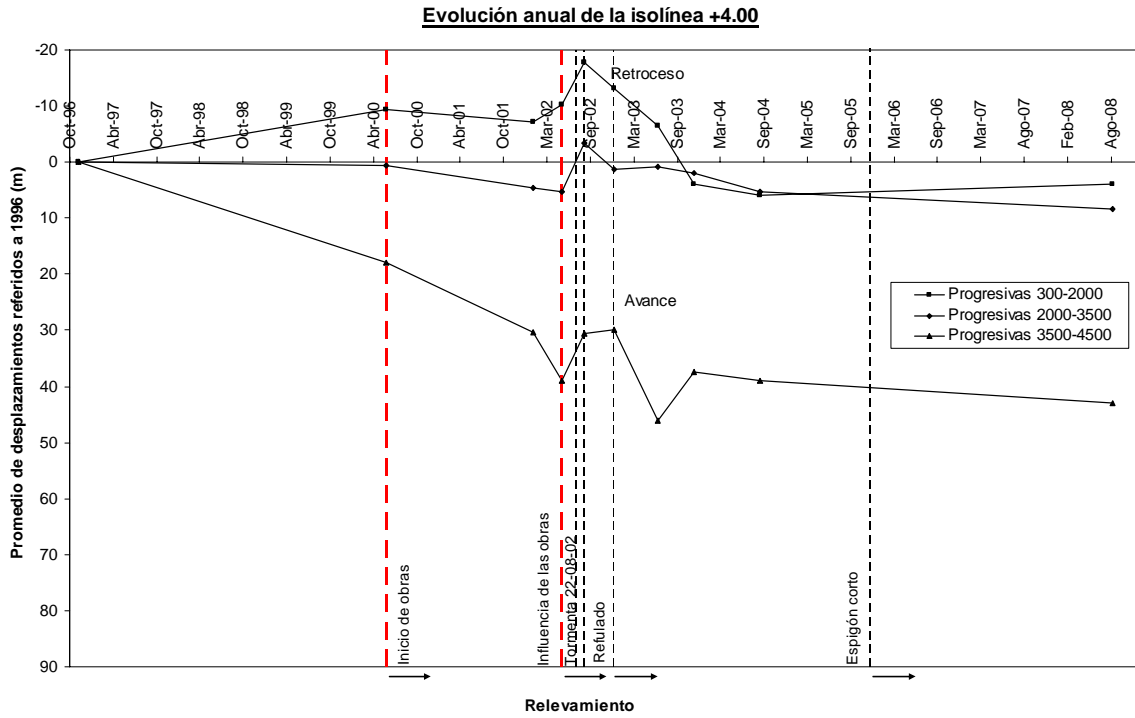


Figura 16: Evolución histórica de la isolínea +4,00 referido al relevamiento de Dic. de 1996

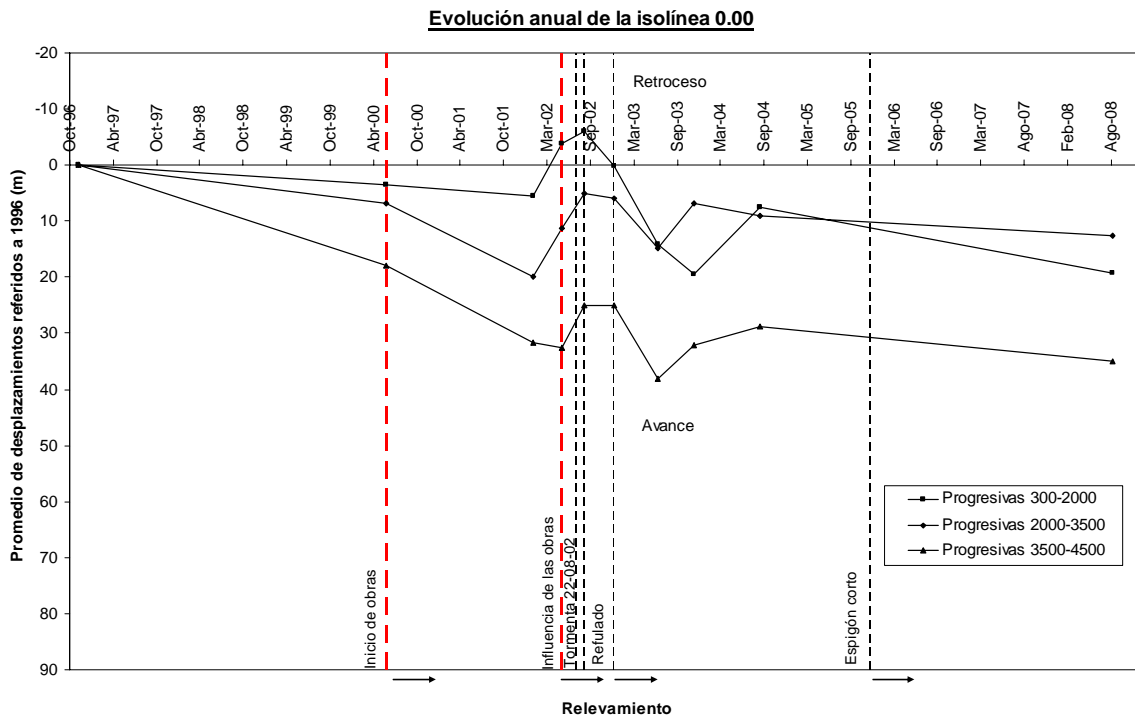


Figura 17: Evolución histórica de la isolínea 0,00 referida al relevamiento de Dic. de 1996

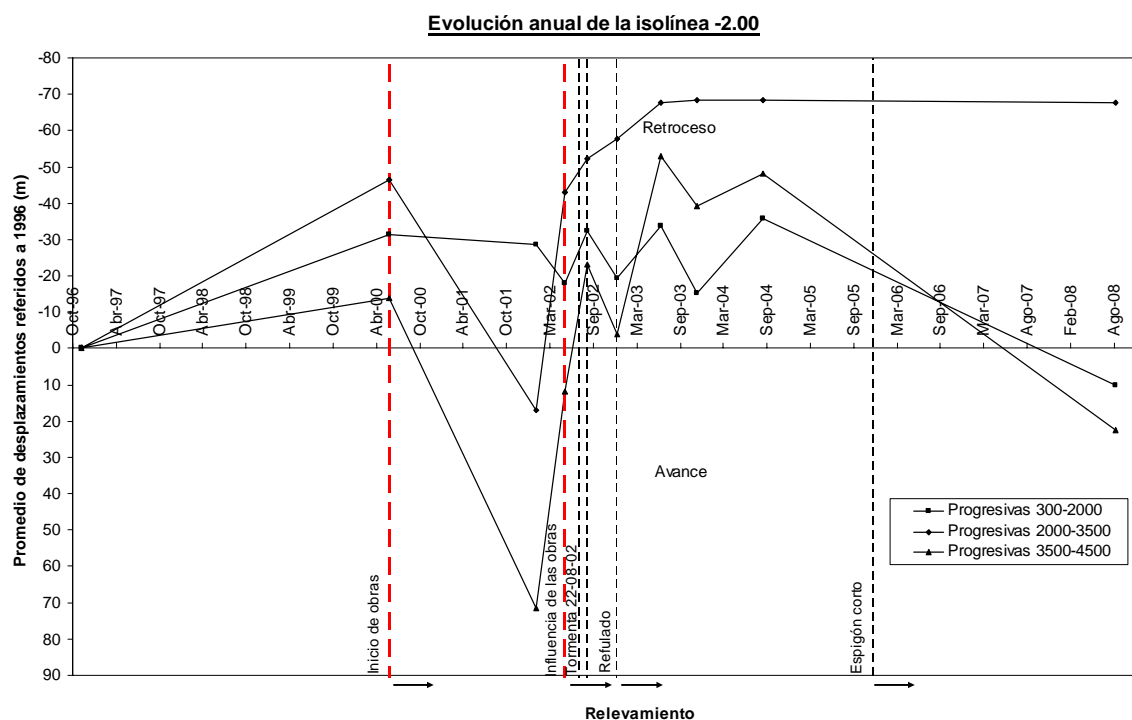


Figura 18: Evolución histórica de la isolínea -2,00 referida al relevamiento de Dic. de 1996

Interpretación de los resultados obtenidos

Es posible establecer que la playa se compone de tres sectores:

- 1) Un sector comprendido entre las progresivas 300 m y 2000 m, que manifiesta una tendencia erosiva, mitigada por la existencia del espigón corto construido en diciembre de 2005. Esta mitigación es exitosa en un sector localizado adyacente al mencionado espigón para el material ubicado en la porción superior de perfil de playa con una granulometría mayor (con un D_{50} mayor a los 2 mm), aunque no resulta del mismo modo para el material de menor tamaño (con un D_{50} alrededor de los 0,2 mm), hecho que se observa en la batimetría de Septiembre de 2008 respecto de momentos previos a las obras portuarias (ver Figura 15 y Figura 18).
- 2) Un sector comprendido entre las progresivas 2000 m y 3500 m, con un comportamiento dispar de acuerdo a la granulometría del perfil y al período analizado. Para el material de menor granulometría, este sector indica una erosión.
- 3) Un sector más allá de la progresiva 3500 m, caracterizado por la acumulación de sedimentos, en especial, de los de mayor granulometría.

Las figuras identifican vulnerabilidad de la playa ante tormentas provenientes del sudeste, asociadas a niveles elevados de marea, ya que las curvas de evolución de las isolíneas tienen un cambio brusco de pendiente con tendencia erosiva para los períodos posteriores a agosto de 2002, momento de la ocurrencia del temporal descrito en párrafos anteriores. Si bien en todos los perfiles se observa un retroceso de las isolíneas en ese momento, tal erosión se manifiesta mayormente en las cotas superiores hasta la progresiva de 900 m y en las cotas inferiores, de menor granulometría, para las progresivas más al norte. Los estudios previos a la construcción de las obras de abrigo (referencia 12) predijeron una tendencia erosiva en los primeros 900 m al norte de las mismas, con una mayor incidencia en la cota 0,00 MOP y hacia mar afuera. Este hecho coincide con las mediciones y surge del contraste de la Figura 17 con la Figura 18, con un mayor retroceso de la isolínea -2,00 m MOP respecto de la 0,00 m MOP. En este escenario, la construcción de la escollera sur generó una pantalla más opaca al transporte de sedimentos que los afloramientos de restingas. Posteriormente al refulado del material del río a la playa contigua a la escollera norte, se produjo una recuperación de la misma en las cotas +4,00 y 0,00, y un retroceso de la línea -2,00. La construcción del espigón corto trajo aparejada una acumulación preponderante de material de elevada granulometría en la porción superior del perfil de playa, compuesto en su mayoría por cantos rodados, pero localizado en las adyacencias del mismo. Como consecuencia, en la Figura 14 y Figura 15 se aprecia un leve

desplazamiento de la erosión de playa hacia progresivas superiores para las curvas batimétricas 0,00 y -2,00. Estos aspectos coinciden con las conclusiones a las medidas de mitigación propuestas en marzo de 2004 por el DHI, con la salvedad, que hasta el momento no se ha generado el dragado del río y no se ha refulado el material tal cual se sugiriese oportunamente.

Comparando la totalidad de las figuras, existe una dificultad para la recuperación del material más fino de la playa, ante la acción erosiva de las barreras al transporte sedimentológico. Este comportamiento se debe a una disminución del aporte de arenas finas por la existencia de restingas y de la escollera sur. Asimismo, el río Chubut, con el transcurso del tiempo, ha mermado su aporte de arenas fundamentalmente por el embancamiento de su cauce y por la construcción del Dique Florentino Ameghino. De acuerdo a las mediciones desarrolladas en la referencia 2 de la desembocadura, las velocidades medias de la corriente fluvial en bajamar resultaban de aproximadamente 1 m/s en 1987, velocidad que permitía arrastrar sedimentos no superiores a los 20 mm. De acuerdo a la referencia 12, en situaciones posteriores a sudestadas y en bajamar, se han podido registrar velocidades de la corriente del orden de 2,5 m/s, lo que llevaba en aquel entonces a generar un autdragado del río en tales situaciones extraordinarias y un arrastre de partículas de mayor granulometría, puntualmente. Actualmente, la boca de las obras de abrigo encauzó el río e incrementó nuevamente la velocidad del agua en su boca de acceso. Ello conlleva a un aumento de la distancia mar adentro en donde se acumula del material transportado por el régimen fluvial y del sedimento que logra traspasar las restingas, lo que lleva a un cambio en la orientación de las isolíneas y de su concavidad, modificando las características de casi paralelismo originales (ver Figura 21). Esto lleva a la falta de material fino en cotas inferiores a -1,00 m MOP, tal como se observa en la Figura 20, en la que se compara el relevamiento de playa de Agosto de 2001 con el de Septiembre de 2004, representándose en rojo la erosión y en verde la sedimentación.

Comparando los perfiles para los distintos relevamientos taquibatimétricos, es posible concluir que su forma general es similar en todas las progresivas. La playa se compone de un primer sector de baja pendiente, con un talud aproximado de 1: 200, y por encima de la cota 0,00 MOP, por una pendiente más abrupta del orden de 1:10. Existe un sector intermedio ubicado entre las cotas 0,00 y -1,00 a -2,00 MOP para las progresivas iniciales y hasta los 2000 m, con un talud de 1:60 que denota una gradación del material granulométrico entre el máximo superior de cantos rodados y el mínimo inferior de arenas.

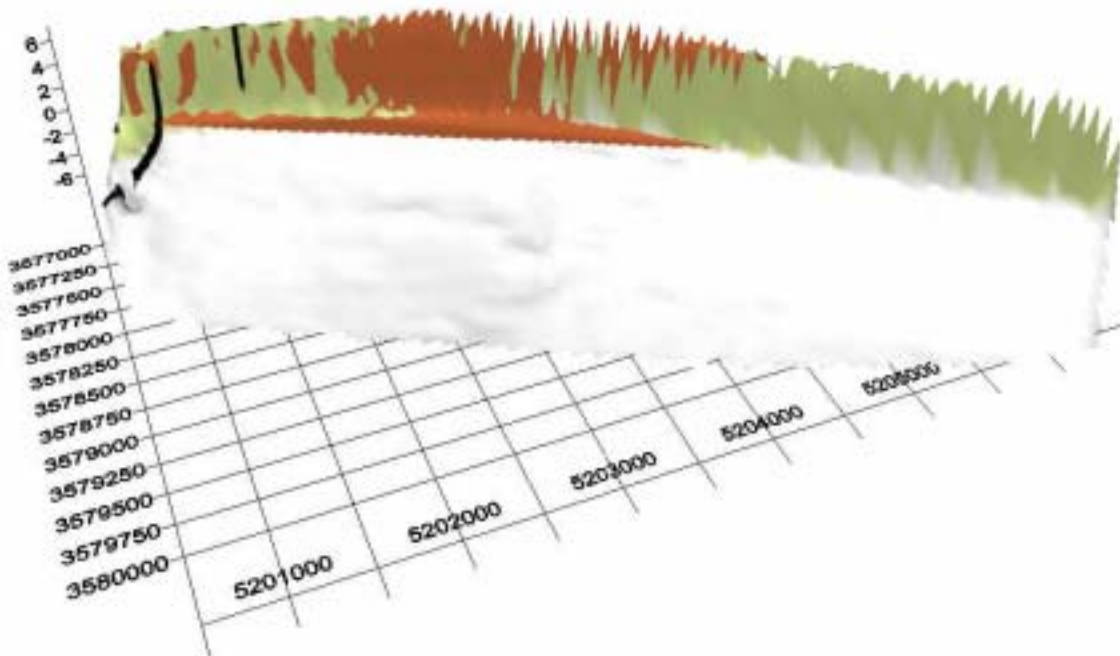


Figura 19: Imagen 3D generada por triangulación comparativa de los relevamientos de Dic. de 1996 y Sept. de 2008 (rojo: erosión – verde: sedimentación – blanco: sin datos para 1996)

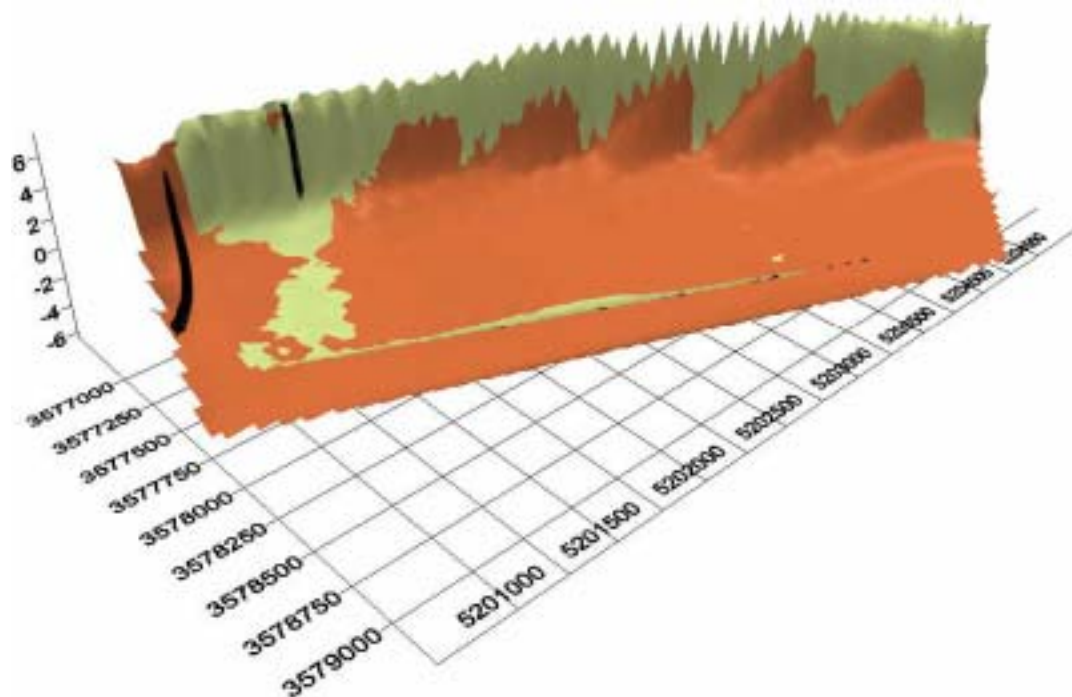


Figura 20: Imagen 3D generada por triangulación comparativa de los relevamientos de Agosto de 2001 y Sept. de 2004 (rojo: erosión – verde: sedimentación)

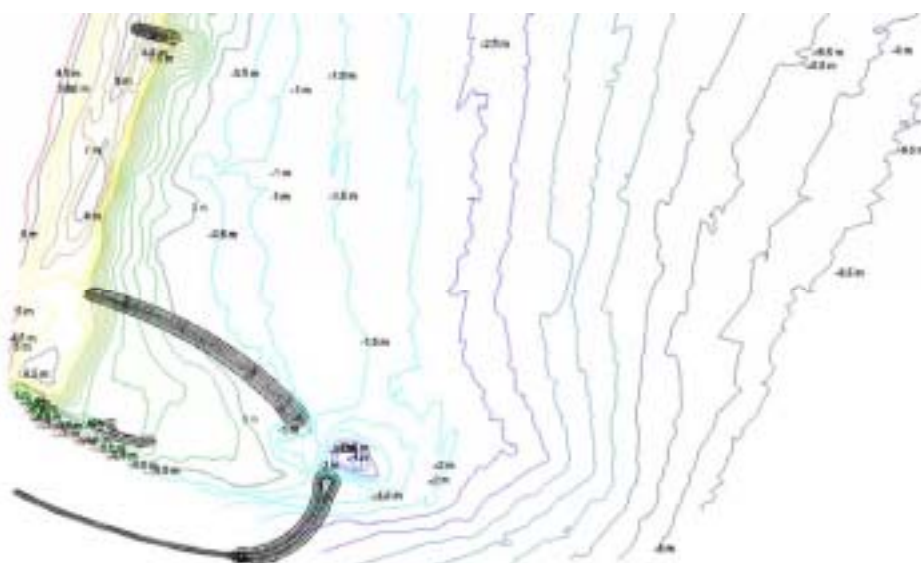


Figura 21: Curvas batimétricas en adyacencias a las Escolleras (cero del SHN – Sept. 2008)

Estudio y clasificación morfodinámica de Playa Unión

Para caracterizar morfodinámicamente a Playa Unión, se procedió a calcular los parámetros de Dean y de CMR, descritos anteriormente. Para ello, se utilizaron como datos los provenientes de las referencias 7, 8, 9 y 12, referidas a estudios de oleaje en aguas profundas y en condiciones de rotura, granulometrías de playa de las campañas de diciembre de 1996, marzo de 2002 y 2004, y debido a la falta de registros meteorológicos locales coincidentes con las fechas de relevamiento, se ajustaron los niveles de marea históricos del S.H.N. al cero M.O.P., entre otros. Considerando la disparidad granulométrica del perfil, tal cual se aprecia en la Tabla 1, se calculó el parámetro de Dean para los tamaños máximos D_{50} asociados a la porción superior e inferior de la playa. La velocidad de caída del sedimento se obtuvo con las ecuaciones de Van Rijn y de Hallermeier, según sus campos de aplicación. Los estudios de oleaje coinciden en su mayoría en un valor de altura de ola en aguas profundas de 4 m, mientras que para la condición de rotura, se adoptó un valor uniforme de 3,20 m,

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

según el estudio efectuado en la referencia 7 y a la falta de mayores datos. En la Figura 22 se observan los resultados.

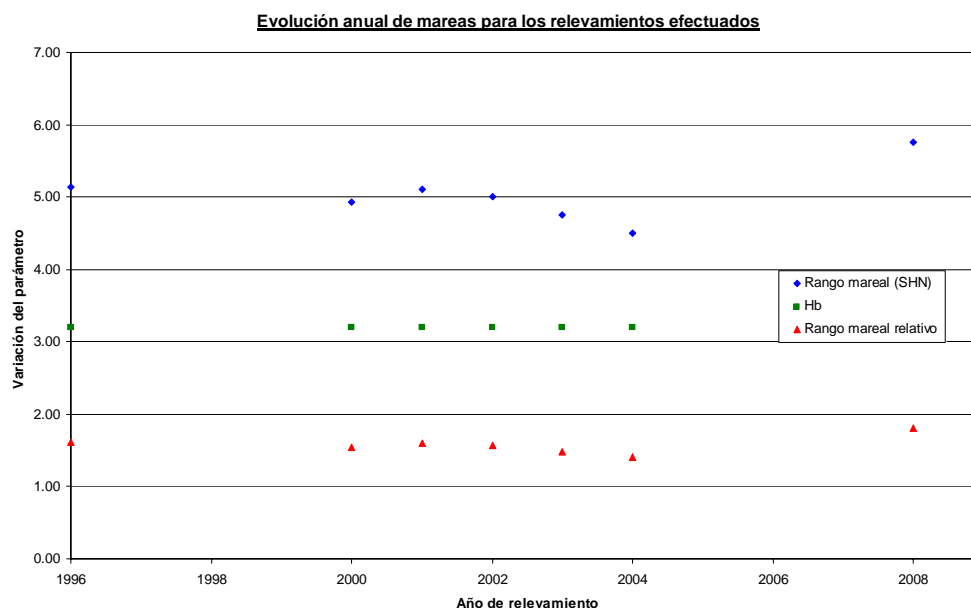


Figura 22: Variación del nivel de marea y de la CMR para cada año de relevamiento

Paralelamente, se calculó el parámetro de rotura o de Iribarren con el objeto de contrastar el tipo de rompiente con lo observado en el terreno. Para los valores de las pendientes medias de cada porción del perfil, se procedió a medir las diferencias de altura y de progresivas de cada uno, comparados estacionalmente. Los resultados también se anexan en la Tabla 1.

Perfil	Progresiva respecto Escollera Norte de tablestacas	Pendiente media en zona superior	D ₅₀	ξ	Tipo de rotura	Ω
10	584.8	7.20	19.10 mm	1.16	Plunging	0.44
12	830.6 m	13.45	18.20 mm	0.62	Plunging	0.45
16	1429.1 m	12.18	4.00 mm	0.69	Plunging	0.97
21	2381.7 m	12.22	3.00 mm	0.69	Plunging	1.12
26	3388.9 m	11.67	3.50 mm	0.72	Plunging	1.03
30	4106.7 m	10.46	3.60 mm	0.60	Plunging	1.02

Perfil	Progresiva respecto Escollera Norte de tablestacas	Pendiente media en zona inferior	D ₅₀	ξ	Tipo de rotura	Ω
10	584.8	190.02	0.35 mm	0.04	Spilling	6.04
12	830.6 m	193.20	0.35 mm	0.04	Spilling	6.04
16	1429.1 m	185.60	0.10 mm	0.05	Spilling	24.24
21	2381.7 m	227.59	0.10 mm	0.04	Spilling	24.24
26	3388.9 m	247.28	0.90 mm	0.03	Spilling	2.19
30	4106.7 m	210.05	1.30 mm	0.04	Spilling	1.70

Tabla 1: Parámetro de rotura y de Dean para la sección superior e inferior del perfil de playa

Si comparamos los resultados de Ω y ξ con la clasificación de playas, observamos que los niveles inferiores del perfil corresponden a una playa disipativa con olas rompientes derramantes (spilling), de baja pendiente y menor granulometría. Los niveles superiores están asociados a un valor de Ω más reducido, para una playa reflectiva, con un tipo de rotura plunging y material granular de mayor

tamaño. Finalmente, y a los efectos de clasificar la playa, se representó el parámetro de Dean para los D_{50} medidos al nivel medio del mar, conjuntamente con la CMR en la Figura 23. El resultado indica una playa reflectiva, con una leve tendencia a terraza de bajamar, hecho confirmado por la forma de los perfiles de playa y por el valor de la CMR, lo que la convierte en una playa meso a macromareal. Con alturas menores de ola rompiente (las de mayor frecuencia), el parámetro de CMR resulta mayor y Ω menor, con una tendencia más predominante a la clasificación propuesta. Lo visualizado concuerda con lo descrito en los párrafos precedentes, referidos a un perfil integrado por un frente de playa con elevada pendiente y una terraza emplazada en adyacencias a la zona de bajamar. En la porción superior el material granular es de elevado tamaño (con valores máximos de D_{50} de 19 mm) en relación a los de la terraza de bajamar, ocupada por arenas (con valores mínimos de 0,10 mm). El perfil 32 solamente manifiesta un comportamiento dispar, ocasionado por el pequeño valor de D_{50} medido en la campaña de marzo de 2004 (referencia 7).

Resultados de los predictores morfodinámicos para Playa Unión

Según los datos recabados, y para los perfiles usados como referencia, se aplicaron los parámetros morfodinámicos detallados. Se tuvo en cuenta para los cálculos la condición de olas en rotura y la gradación del material de playa que conforma el perfil, dividiéndoselos en dos partes: una superior correspondiente a la zona de agregados de mayor tamaño y una inferior que coincide con las arenas más finas. A continuación de cada indicador se estableció la condición de erosión o sedimentación de acuerdo a los límites fijados por sus autores. Los resultados se incorporan en la Tabla 2 y Tabla 3.

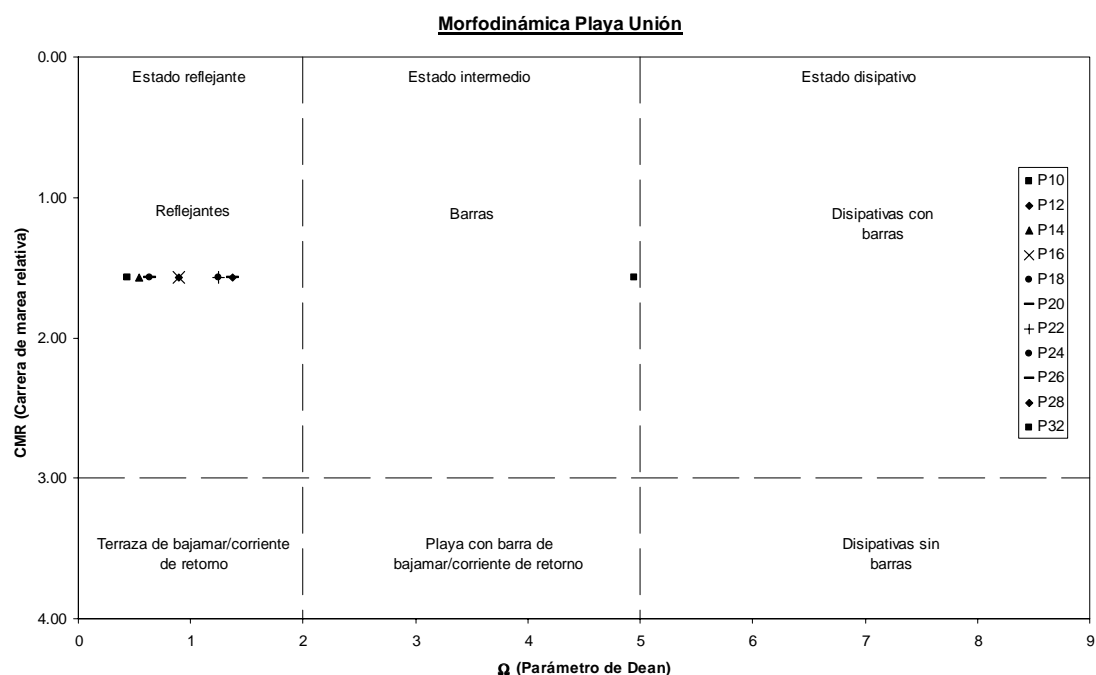


Figura 23: Comparación del parámetro de Dean y de la CMR para Playa Unión

Perfil	Progresiva respecto Escollera Norte de tablestacas	Ω	Estimación	P	Estimación	SH	Estimación	Detalle del comportamiento observado en la zona
10	584.8 m	0,44	Acreción	38	Acreción	4,46	Acreción	Erosión
12	830.6 m	0.45	Acreción	41	Acreción	3.89	Acreción	Acumulación en el espigón corto
16	1429.1 m	0.97	Acreción	399	Acreción	11.03	Acreción	Transición
21	2381.7 m	1.12	Acreción	615	Acreción	13.36	Acreción	Transición
26	3388.9 m	1.03	Acreción	488	Acreción	12.20	Acreción	Acumulación
30	4106.7 m	1.02	Acreción	468	Acreción	11.41	Acreción	Acumulación

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

Perfil	HK	Estimación	SG	Estimación	JS	Estimación	Avance/retroceso línea de playa (línea +4.00 Dic. 1996-Sep 2008)	Avance/retroceso línea de playa (línea +4.00 1976-Sep 2008)
10	0,061	Acreción	0,17	Erosión	0,090	Acreción	-40.5	-38.9
12	0.034	Acreción	0.09	Acreción	0.050	Acreción	25.20	-5.40
16	0.080	Erosión	0.15	Erosión	0.080	Acreción	13.20	-
21	0.091	Erosión	0.16	Erosión	0.090	Acreción	-6.30	-
26	0.089	Erosión	0.16	Erosión	0.090	Acreción	43.80	-
30	0.073	Erosión	0.14	Acreción	0.070	Acreción	61.00	-

Tabla 2: Parámetros morfodinámicos (sector superior del perfil)

Perfil	Progresiva respecto Escollera Norte de tablestacas	Ω	Estimación	P	Estimación	SH	Estimación	Detalle del comportamiento observado en la zona
10	584.8 m	6,04	Erosión	97494	Erosión	26,87	Erosión	Erosión
12	830.6 m	6.04	Erosión	97494	Erosión	26.75	Erosión	Acumulación en el espigón corto
16	1429.1 m	24.24	Erosión	6289406	Erosión	62.59	Erosión	Transición
21	2381.7 m	24.24	Erosión	6289406	Erosión	59.24	Erosión	Transición
26	3388.9 m	2.19	Acreción	4627	Acreción	13.29	Acreción	Acumulación
30	4106.7 m	1.70	Acreción	2155	Acreción	10.86	Acreción	Acumulación

Perfil	HK	Estimación	SG	Estimación	JS	Estimación	Avance/retroceso línea de playa (línea -2.00 Dic. 1996-Sep 2008)	Avance/retroceso línea de playa (línea 0.00 Dic. 1996-Sep 2008)
10	0,03	Acreción	0,02	Acreción	0,01	Acreción	31.6	-70.1
12	0.03	Acreción	0.02	Acreción	0.01	Acreción	37.40	0.00
16	0.13	Erosión	0.02	Acreción	0.03	Acreción	-8.40	-20.70
21	0.11	Erosión	0.02	Acreción	0.02	Acreción	-57.40	-
26	0.01	Acreción	0.01	Acreción	0.01	Acreción	-77.30	-
30	0.01	Acreción	0.01	Acreción	0.01	Acreción	98.30	-

Tabla 3: Parámetros morfodinámicos (sector inferior del perfil)

Para el escenario actual, es decir, el de una playa con constancia de los niveles de material grueso cerca del espigón corto y con retroceso de material fino, susceptible a erosiones con tormentas asociadas a niveles de pleamares extraordinarias, los predictores que mejor representan el comportamiento son:

- Para el sector superior del perfil de playa, el parámetro de SG. A similar conclusión se puede llegar con el parámetro de HK, salvo por el resultado del perfil 10, cercano al límite de erosión-acreción. El parámetro de Dean no refleja la erosión cercana a la escollera norte (Perfil 10) pues no contempla en el cálculo la pendiente, aunque sí señala el comportamiento que tendría la playa sin la existencia de la escollera actual.

- Para el sector inferior de la playa, en cambio, los parámetros de Dean, Dalrymple o SH son los que mejor aproximan el estado actual.

De todas formas, varios indicadores no manifiestan una tendencia marcada hacia la erosión o sedimentación. La causa de ello se debe a la falta de equilibrio aún de la playa ante la acción de factores antrópicos. Asimismo, la vulnerabilidad ante la acción de tormentas asociadas a niveles de pleamares extraordinarios, como la reciente de julio de 2009, generan una elevada dificultad en las predicciones de los parámetros citados (Figura 13).

AJUSTE DEL PERFIL A LA ECUACIÓN DE DEAN

Para ajustar el perfil medio de playa a una ecuación así como la obtención de las propiedades de los sedimentos para contrastarlos con las mediciones, se llevó a cabo una comparación de los relevamientos de la campaña de septiembre de 2008 con la ecuación de Dean (1976, 1977):

$$y = A \cdot x^{2/3} \quad (9)$$

El parámetro A fue calculado por medio de iteraciones sucesivas para lograr el mejor ajuste a los perfiles. Las ecuaciones empleadas fueron las de Hanson y Kraus (1989):

$$A = 0,41 \cdot D_{50}^{0,94} \quad D_{50} < 0,4 \text{ mm} \quad (10)$$

$$A = 0,23 \cdot D_{50}^{0,32} \quad 0,4 \text{ mm} < D_{50} < 10 \text{ mm} \quad (11)$$

$$A = 0,23 \cdot D_{50}^{0,28} \quad 10 \text{ mm} < D_{50} < 40 \text{ mm} \quad (12)$$

$$A = 0,46 \cdot D_{50}^{0,11} \quad D_{50} < 40 \text{ mm} \quad (13)$$

Considerando las características del perfil real de Playa Unión, se lo descompuso en tres sectores:

- 1) Un sector inferior comprendido entre las cotas -7,00 y -1,00 MOP (que coincide a su vez con el N.M.B.), caracterizado por un perfil disipativo y una pendiente suave con materiales finos.
- 2) Un sector de transición, con una pendiente algo superior a la anterior, entre las cotas -1,00 y 0,00 MOP, donde se produce el cambio brusco del talud e inicia la playa reflectiva.
- 3) Un sector superior, comprendido entre las cotas 0,00 y +7,00 MOP.

Cada una de las porciones en las que fue dividido el perfil de la playa, fue aproximada mediante la metodología expuesta anteriormente con ajustes en ordenadas para hacer coincidir la expresión matemática a las mediciones. Los resultados se exponen en la Tabla 4 y la Figura 24.

Sector del perfil	Inferior	Medio	Superior
Cotas (MOP)	-7,00 a -1,00	-1,00 a 0,00	0,00 a +7,00
Progresivas	1460 m a 160 m	160 m a 140 m	140 m a 60 m
D ₅₀ ajustado	0,11 mm	0,31 mm	10 mm
Parámetro A	0,0515 m ^{1/3}	0,1357 m ^{1/3}	0,5926 m ^{1/3}
Perfil de Dean	$y = 0,0515 \text{ m}^{1/3} \cdot (x-160)^{2/3} - 1$	$y = 0,1357 \text{ m}^{1/3} \cdot (x-140)^{2/3}$	$y = 0,5926 \text{ m}^{1/3} \cdot x^{2/3}$

Tabla 4: Resultados del ajuste al perfil de Dean

Se observa que las mayores dispersiones del ajuste se dan en los perfiles P7 y P12, que son los más cercanos a la escollera norte y al espigón corto, por ende, más antropizados.

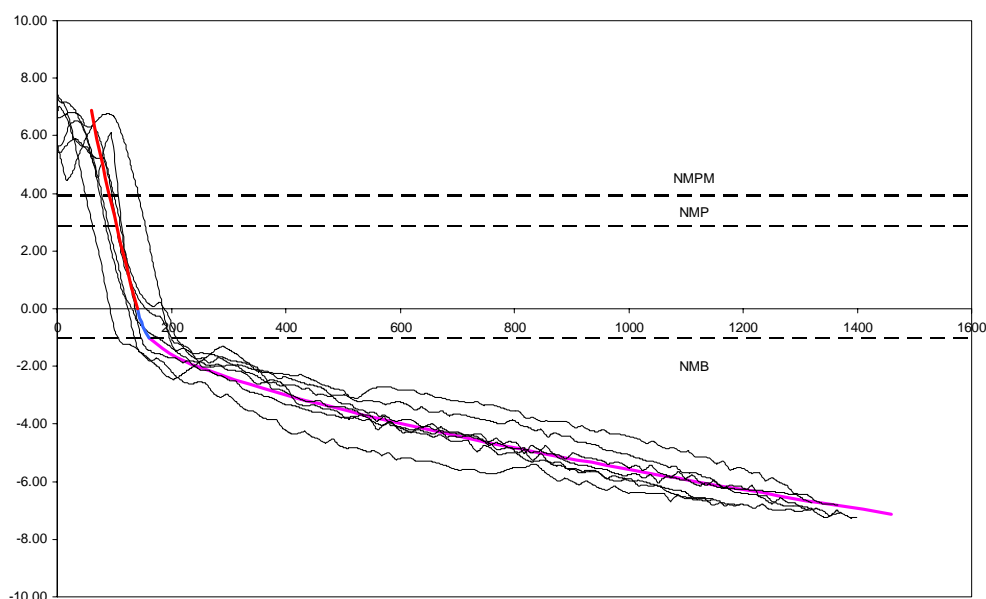


Figura 24: Ajuste de los perfiles P7, P12, P16, P21, P26, P30 y P32 al perfil teórico de Dean

CONCLUSIONES

1) Playa Unión se encuentra caracterizada por una gradación sustancial en el material que compone sus perfiles, con un sector superior de material granular grueso integrado por cantos rodados (con un D_{n50} medio de 4 mm y con máximos de hasta 18 mm) y uno inferior de material fino de arenas (D_{n50} entre 0,1 mm y 0,35 mm). Este comportamiento bimodal se observa en los materiales que conforman el lecho del río Chubut.

2) Mediante la aplicación de los coeficientes morfodinámicos mencionados, se llegó a la conclusión de que Playa Unión es una playa de tipo reflejante, y de acuerdo a la progresiva analizada, reflejante con terraza de bajamar (de acuerdo a la clasificación de Masselink y Short - 1993). De los parámetros calculados, se observa que los que mejor predicen el comportamiento actual de la playa son los de Dean y Dalrymple para el sector inferior y los de SG para el superior, aunque Ω y P indicarían el escenario de una playa sin acción de las obras.

3) Respecto del transporte de sedimentos, las curvas batimétricas y los análisis de la evolución de la playa demuestran erosión en las progresivas iniciales y acumulación a partir de las progresivas 2500 a 3000, según la isolínea analizada. Este comportamiento resulta una respuesta usual de la playa a temporales extremos asociados a pleamares extraordinarias conjuntamente con alturas de ola rompientes provenientes del Sureste. La construcción del espigón corto y de las obras de abrigo generó una ligera merma del sedimento más fino localizado en la terraza de bajamar para las progresivas medias. Si bien existe acumulación de material grueso próximo al espigón corto, continúa la erosión localizada al norte de la nueva escollera norte.

4) La curva de ajuste propuesta para el perfil medio de playa, es una herramienta de rápida aproximación para la toma de decisiones que involucren al transporte de sedimentos, así como el D_{50} obtenido para cada sección del perfil, el cual coincide prácticamente con las mediciones.

5) Si bien no existen relevamientos recientes, y sólo existe uno efectuado desde el año 2004, es posible realizar una serie de conclusiones cualitativas a partir de las observaciones del comportamiento de la playa:

- Existe un primer período comprendido entre 1976 y 1996, sin acciones antrópicas sustanciales sobre la playa, en el que las tasas erosivas de la misma se encontraban con valores constantes.

- Un segundo período comprendido entre el año 2000 y 2003, caracterizado por la ejecución de obras que afectaron el equilibrio del período anterior, que quiebra de alguna forma la resistencia al cambio de estado de la playa, alterando su relación morfodinámica-hidrodinámica.

- Un tercer período a partir del año 2003, en el que se observa un incremento de la tasa erosiva, que es revertido en parte por la construcción del espigón corto, pero que exige acciones correctivas que surjan del estudio de las condiciones de la playa actual. Con más frecuencia se aprecia que los perfiles de verano se aproximan a los de invierno.

RECOMENDACIONES

1) Es necesario desarrollar nuevos relevamientos batimétricos, pero a diferencia de los efectuados hasta ahora, asociados a mediciones de altura, dirección y periodo de olas. Esto adquiere importancia considerando la construcción del espigón corto adyacente a la escollera norte, de las protecciones en Playa Magagna y de la influencia del sector por acciones antrópicas que modifican su perfil de equilibrio.

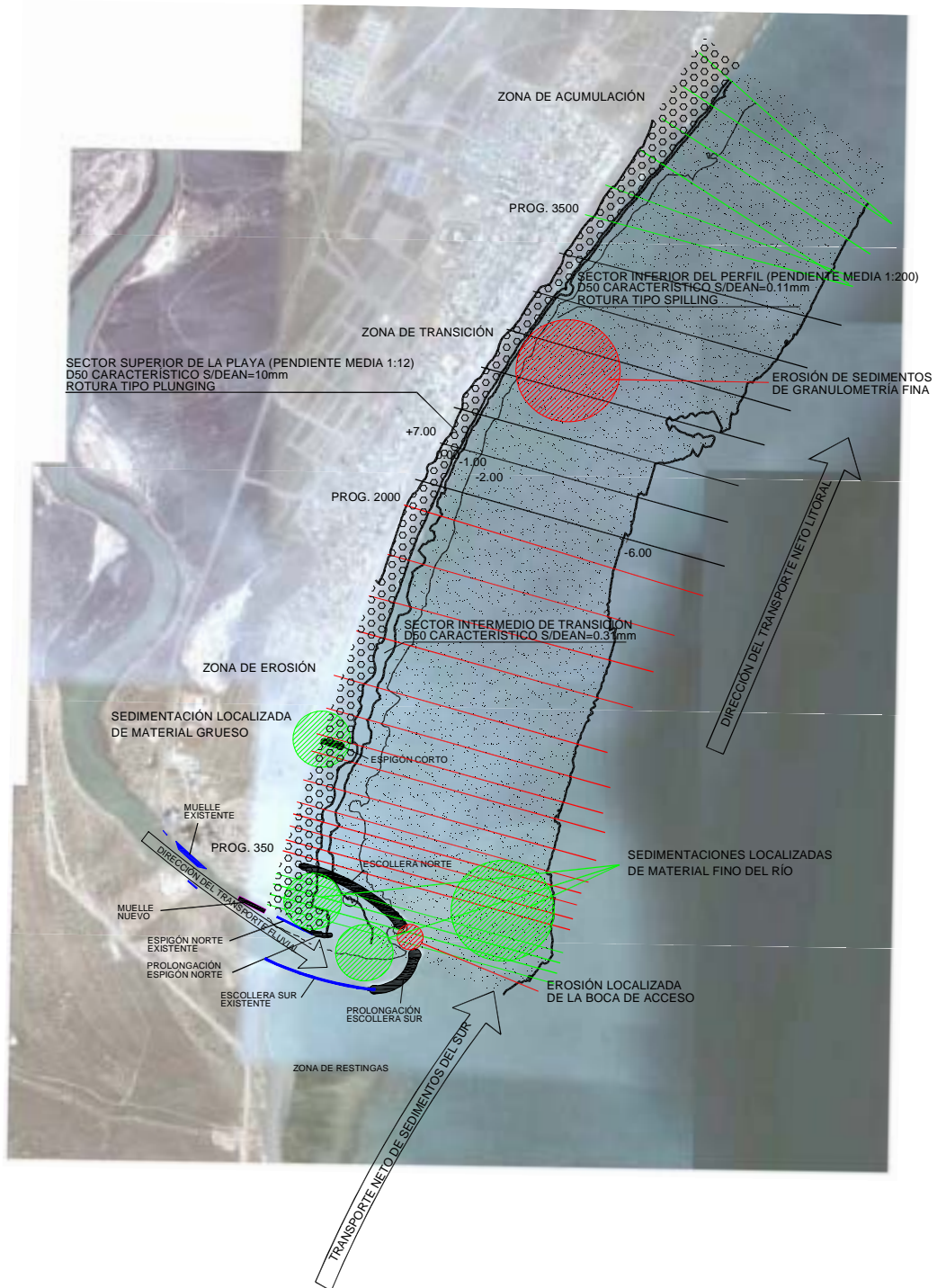
2) A partir de los relevamientos, es necesario correlacionar los análisis con mayor cantidad de datos de campo posteriores a la ejecución de las obras portuarias, principales agentes causales de la modificación de la línea de playa.

3) Resulta necesaria la aplicación de softwares capaces de representar la interacción de las actuales estructuras portuarias con el río Chubut y la playa.

4) Como futuras líneas correctivas, es posible sugerir efectuar el trasvasamiento de material de áreas de bajo o nulo valor turístico hacia los sectores erosionados, con el objeto de mitigar el efecto, en especial, para los temporales de invierno, para los que la playa resulta más susceptible. Bajo esta línea de trabajo, es importante generar una distribución periódica del material acumulado en adyacencias del espigón corto a sectores con deficiencias de éste.

VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria
Seminario Latinoamericano “ Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina

5) El dragado del canal de acceso al muelle resulta prioritario, considerando el embancamiento de material fino en el interior de la boca del puerto, compuesto principalmente de arena, cuyo refulado a las áreas susceptibles de erosión mitigaría sus efectos.



REFERENCIAS:

- UBICACIÓN DE SEDIMENTACIONES LOCALIZADAS
- UBICACIÓN DE EROSIONES LOCALIZADAS
- PERFIL BAJO LA ACCIÓN DE PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN
- PERFIL BAJO LA ACCIÓN DE PROCESOS EROSIVOS
- PERFIL DE TRANSICIÓN
- ⇨ DIRECCIÓN DEL TRANSPORTE NETO DE SEDIMENTOS

Figura 25: Fotomontaje integrador de las conclusiones obtenidas

BIBLIOGRAFÍA

1. Castellano, R (2002). Descripción del temporal del 31/8 al 1/09/2002 en la costa de la Provincia de Chubut.
2. CFI (1987). Estudio de Dragado del Río Chubut.
3. Coastal Engineering Manual. Coastal Engineering Research Center. Department Of The Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
4. Dean, R. & Dalrymple, R. (2004). Coastal Processes with Engineering Applications. Cambridge University Press. ISBN 0-521-49535-0.
5. Del Valle, Ricardo H. Recopilación fotográfica de relevamientos y obras en Puerto Rawson (años 1985, 1976 y 1977).
6. DGIP-EVARSA. Relevamiento batimétrico de Puerto Rawson (Septiembre de 2008).
7. DHI (Marzo de 2004). Estudio de Protección de Costas Playa Unión. Informe Final.
8. DYOPSA & Taylor Engineering Inc. & Reca Consultores S.R.L. (Marzo 2003). Análisis de Alternativas de Protección de Costas en Playa Unión. Informe Técnico.
9. DYOPSA S.A. (2000). Proyecto Definitivo Remodelación Puerto Rawson Iº Etapa.
10. Jiménez Quintana, J. & Sánchez Arcilla, A & Valdemoro García C. (Febrero de 1997). Predicción de los cambios en el perfil de la playa utilizando parámetros adimensionales sencillos. Revista de Obras Públicas N° 3362.
11. Museo de la Ciudad de Rawson. Archivo fotográfico.
12. Serman & Asociados S.A. (Mayo 1997). Estudio de la Factibilidad de la Remodelación del Puerto de Rawson.
13. Shore Protection Manual (1984). Coastal Engineering Research Center Department Of The Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
14. USACE (20 August 1992). Coastal Littoral Transport EM 1110-2-1502.
15. USACE (31 January 1995). Coastal Geology. EM 1110-2-1810.
16. USACE (31 May 1995). Design of Beach Fills. EM 1110-2-3301.
17. Van Rijn, L. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Delft Hydraulics. ISBN 90-800356-2-9.
18. Vidal, C., Losada & M., Medina, R. & Losada, I. (Abril 1995). Modelos de morfodinámica de playas. Ingeniería del Agua. Vol. 2 Num. Extraordinario.