

PARTE 3.-

ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

3.1.- Introducción y estructura del Capítulo.

El estudio de modificaciones hidrodinámicas introducidas por las posibles Alternativas de ampliación del Puerto de Tarifa llevado a cabo en el Capítulo anterior junto con el análisis que tales modificaciones pudieran producir en el ecosistema o en zonas especialmente sensibles de él llevó a la decisión de escoger en Noviembre de 2009 la Alternativa 2a como la opción más favorable. En este último Capítulo del informe se lleva a cabo un análisis más detallado que el hecho en el Capítulo anterior de la respuesta de esta alternativa a un abanico más amplio de forzamientos y comparando los resultados obtenidos con los producidos para la configuración actual del puerto de Tarifa.

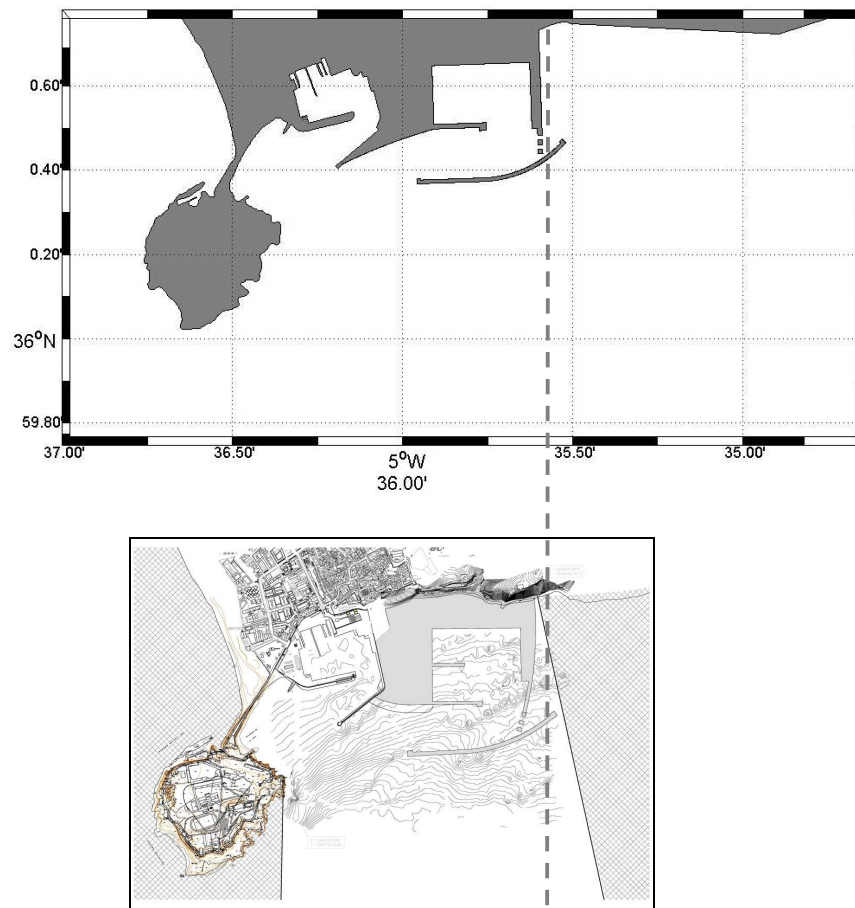


Figura 3.1.- Alternativa 2a (arriba) y versión ligeramente modificada (debajo) con el dique exterior de Levante retranqueado hacia el interior. La zona sombreada en el mapa inferior pertenece ya al Parque del Estrecho. La línea de trazos se incluye como referencia (ver texto)

El diseño final de la Alternativa 2a ha sido muy ligeramente modificado para respetar el actual dique exterior del puerto, donde existen afincadas especies de valor ecológico, y para facilitar la ventilación de la futura dársena interior mediante el retranqueado hacia el interior del futuro dique de Levante. También se ha incrementado ligeramente la anchura del canal diáfano desplazando unos metros hacia el exterior el dique externo. Las modificaciones son tan pequeñas que no cambian en lo esencial los resultados producidos para la versión original de la Alternativa⁷. Estos resultados son los que se describen y detallan en este Capítulo cuya estructura es la siguiente:

En el epígrafe 3.2 se describen todos los escenarios analizados que incluyen situaciones de mareas muertas y vivas en lugar de las de mareas medias y vivas analizadas en los anteriores capítulos. La razón de sustituir el escenario de mareas medias por el de vivas es cubrir el rango mareal completo y poder así acotar las modificaciones⁸. El epígrafe 3.3 muestra y discute los mapas de corrientes obtenidos para esta Alternativa en los distintos escenarios meteorológicos y mareales tomando siempre como referencia la configuración actual del Puerto de Tarifa. Al igual que se hizo en el epígrafe 2.5 del Capítulo anterior, el 3.4 de este Capítulo define índices y parámetros para poder cuantificar las modificaciones introducidas y para caracterizar ciertos parámetros hidrodinámicos de la Alternativa seleccionada. También se lleva a cabo una ponderación de estos índices para dar valores medios anuales a cuyo fin es preferible disponer de simulaciones con forzamientos mareales extremos (mareas vivas, mareas muertas) lo que ha sido una razón definitiva para sustituir el escenario de mareas medias por el de muertas. El epígrafe 3.5 muestra las conclusiones finales del estudio.

⁷ El retranqueado facilita la captación del flujo que alimenta el canal diáfano interior y la línea de trazos de la Figura 3.1 da idea del pequeño tamaño de la modificación. Al final del Capítulo (epígrafe 3.5) se hace un ejercicio para valorar cuánto podrían afectar estas modificaciones a los valores presentados. Una valoración más precisa obliga a ejecutar un nuevo conjunto de simulaciones con la geometría definitivamente aceptada. No se ha hecho así de partida porque el refinamiento final de la Alternativa 2a ha surgido por cuestiones urbanísticas de última hora cuando el conjunto de simulaciones ya se había realizado. Por otro lado, el Capítulo 2 permite valorar la sensibilidad del modelo a pequeños cambios de geometría comparando los resultados que produce para las Alternativas 2a y 2b y concluir que las posibles diferencias caen en lo que se podría denominar “ruido de fondo” o “error numérico” del modelo (ver Figuras 2.4 a 2.13 ó Tablas 2.1 y 2.2), es decir no son significativas. A la vista de ello y del coste computacional se ha optado por no repetir las simulaciones con la variante mínima reflejada en la Figura 3.1 y llevar a cabo en el epígrafe 3.5 la valoración comentada.

⁸ Se han realizado también simulaciones en mareas medias cuyos resultados no se presentan aquí para no sobrecargar de Figuras el informe. Como es esperable, los patrones espacio-temporales de los flujos obtenidos en las simulaciones con mareas medias se encuentran más o menos a mitad de camino entre las vivas y muertas

3.2.- Descripción de escenarios analizados

Se ha ejecutado el modelo numérico bajo diferentes situaciones de forzamiento meteorológico y mareal para las geometrías correspondientes al puerto actual y a la ampliación seleccionada a fin de poder ser comparadas y extraer conclusiones sobre las modificaciones que esta última pudiera introducir. Del total de simulaciones ejecutadas, se analizan las 12 que se especifican en la Tabla 3.1 a las que se les ha asignado un código alfanumérico identificativo: A1, A2 ó A3 para los tres escenarios meteorológicos, B1 ó B2 para los dos mareales. Las simulaciones cubren el rango de ambos forzamientos esperable en el Estrecho (se calcula que más del 95% de las situaciones reales están dentro del intervalo definido por los forzamientos estudiados) lo que permite en el epígrafe 3.4 generar índices anuales de comportamiento medio ponderando los resultados obtenidos para los 6 escenarios meteo-mareales con pesos proporcionales a su probabilidad de aparición. El procedimiento seguido en las distintas simulaciones ha sido el mismo explicado en el epígrafe 2.2 del Capítulo 2 y no se insiste sobre ello aquí.

CÓDIGO	Forzamiento Meteorológico	Forzamiento mareal	Configuración
A1B1-PA	Sin Forzamiento	Mareas Vivas	Puerto Actual
A1B1-ALT2	Sin Forzamiento	Mareas Vivas	Puerto Ampliado
A1B2-PA	Sin Forzamiento	Mareas Muertas	Puerto Actual
A1B2-ALT2	Sin Forzamiento	Mareas Muertas	Puerto Ampliado
A2B1-PA	Forzamiento Levante	Mareas Vivas	Puerto Actual
A2B1-ALT2	Forzamiento Levante	Mareas Vivas	Puerto Ampliado
A2B2-PA	Forzamiento Levante	Mareas Muertas	Puerto Actual
A2B2-ALT2	Forzamiento Levante	Mareas Muertas	Puerto Ampliado
A3B1-PA	Forzamiento Poniente	Mareas Vivas	Puerto Actual
A3B1-ALT2	Forzamiento Poniente	Mareas Vivas	Puerto Ampliado
A3B2-PA	Forzamiento Poniente	Mareas Muertas	Puerto Actual
A3B2-ALT2	Forzamiento Poniente	Mareas Muertas	Puerto Ampliado

Tabla 3.1.- Código de identificación de las distintas simulaciones realizadas en este Capítulo (columna 1) especificando forzamientos meteorológicos (columna 2), mareales (columna 3) y geometría del puerto (columna 4). Puerto Actual se refiere a la configuración actual y Puerto Ampliado a la ampliación correspondiente a la Alternativa 2a. Los escenarios meteorológicos se corresponden con ESCENARIO 1 (Forzamiento Levante) y ESCENARIO 2 (Forzamiento Poniente) en el epígrafe 1.5 del Capítulo 1.

3.3.- Resultados gráficos (mapas de corriente).

Los paneles de las Figuras 3.2 a 3.7 condensan la información generada por las simulaciones indicadas en la Tabla 3.1 para el nivel más superficial del modelo (cota -1.5 metros, es decir, superficie a todos los efectos). Cada Figura muestra resultados de una combinación de escenario meteorológico (A1, A2 ó A3) con otro mareal (B1 ó B2) para la geometría del Puerto Actual en los paneles de la columna izquierda y para la ampliación según la Alternativa 2a en los de la derecha. Cada fila presenta la situación en el mismo instante de marea para una y otra geometría para poder compararlas e identificar las modificaciones que introduce la ampliación. Facilitar esa comparación visual al lector es el objetivo fundamental de las Figuras y de este epígrafe que, por esta razón, tiene reducido su texto a apenas esta página.

Se han escogido cinco instantes del ciclo mareal, es decir, cinco filas de modo que cada Figura consta de 10 paneles. La primera fila corresponde con el final de la creciente, las segunda y tercera con la vaciante, la cuarta con el reparo o el final de la vaciante y la quinta con el siguiente semiciclo de creciente. Puede comprobarse que la vaciante (filas 2, 3) no introduce alteraciones circulatorias en las inmediaciones de la Isla y área de interés, resultado ya mostrado en el Capítulo 2 y que podría hacerse extensivo a las otras Alternativas. Una pequeña excepción a esta norma general es lo que acaece bajo forzamiento de Levante cuando el efecto del viento supera la débil vaciante en la zona y produce leves desplazamientos de agua hacia poniente (ver filas 2 y 3 en Figuras 3.4 y 3.5).

Las modificaciones más notables se dan durante la fase de creciente (filas primera y última) debido a que la presencia de la obra de ampliación obliga a desplazar hacia el exterior el chorro mareal que se dirige hacia el Oeste. Esta es la principal modificación que en la zona contigua al puerto actual tiene consecuencias secundarias como la generación de algún tipo de vórtice en las inmediaciones de la Isla aguas abajo de la obra de ampliación (ver por ejemplo fila 4 en Figuras 3.2 ó 3.7) o su intensificación (fila 4 en Figura 3.6).

Se quiere también resaltar el papel relevante del canal abierto diseñado por la APBA en esta alternativa. A través de él fluye una corriente que puede alcanzar e incluso superar los 0.3 ms^{-1} y que sirve de motor a la hora de renovar la dársena interior como se verá en el próximo epígrafe. A este fin, el canal resulta ligeramente más efectivo en la fase de creciente aunque curiosamente, la mayor efectividad se logra bajo forzamiento meteorológico de Poniente durante la fase de vaciante, como se muestra en el próximo epígrafe.

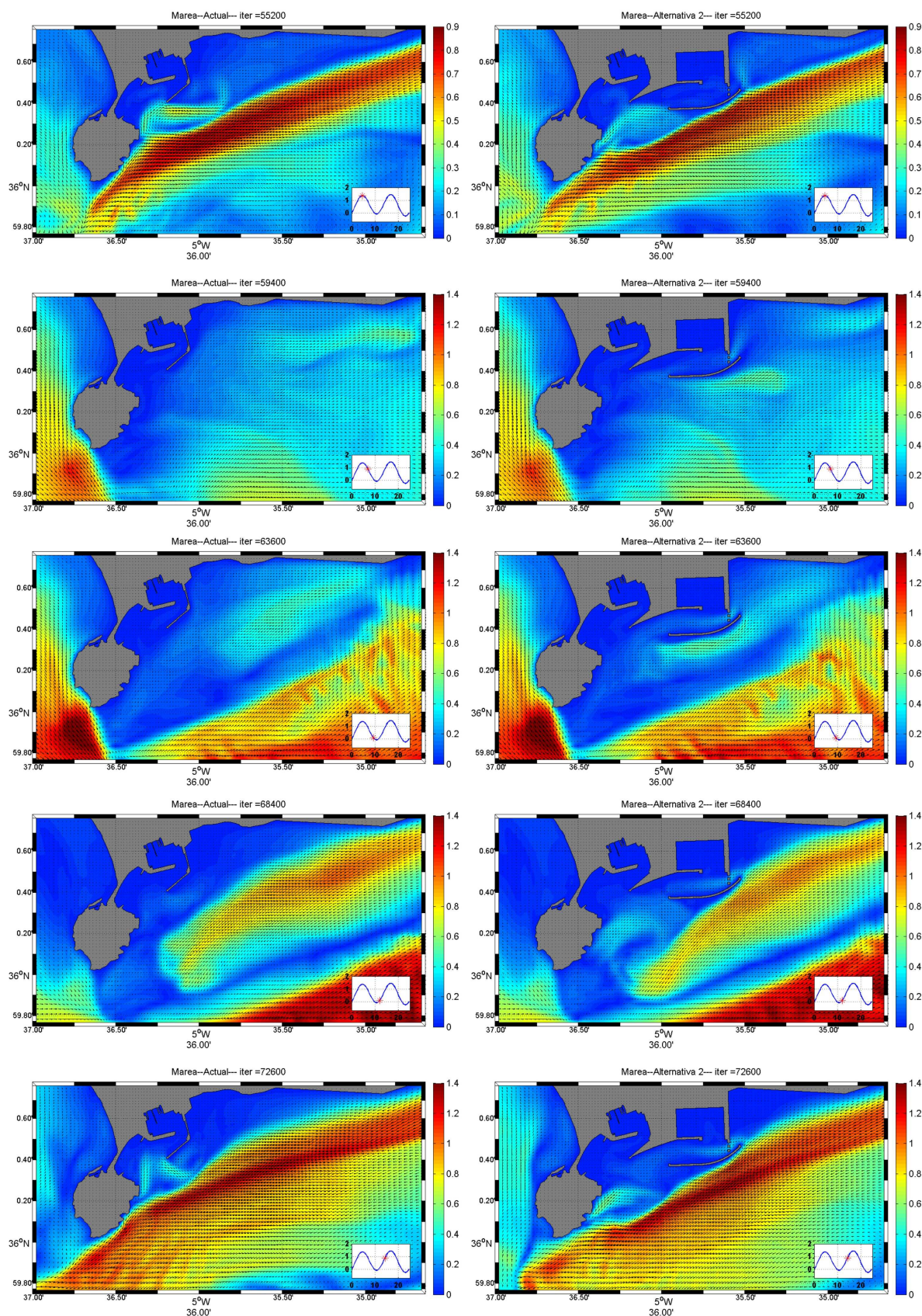


Figura 3.2.- Predicciones de corrientes en superficie ($z=-1.5\text{m}$) generadas por el modelo en las simulaciones A1B1-PA (columna izquierda, Puerto Actual) y A1B1-ALT2 (columna derecha, ampliación según Alternativa 2a) en distintos momentos del ciclo de marea (ver mareograma)

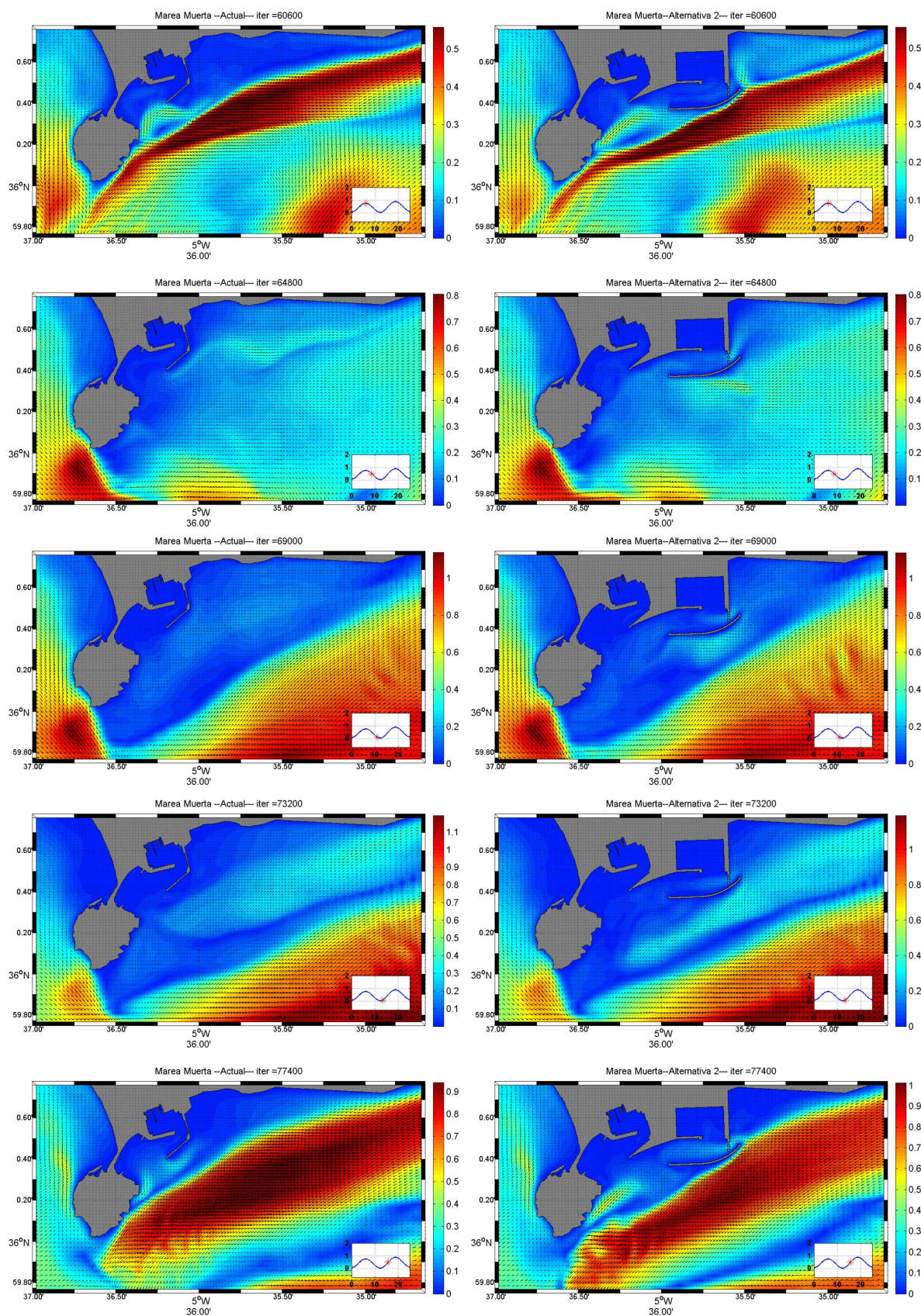


Figura 3.3.- Mismo que la Figura 3.2 para las simulaciones A1B2-PA (columna izquierda) y A1B2-ALT2 (columna derecha).

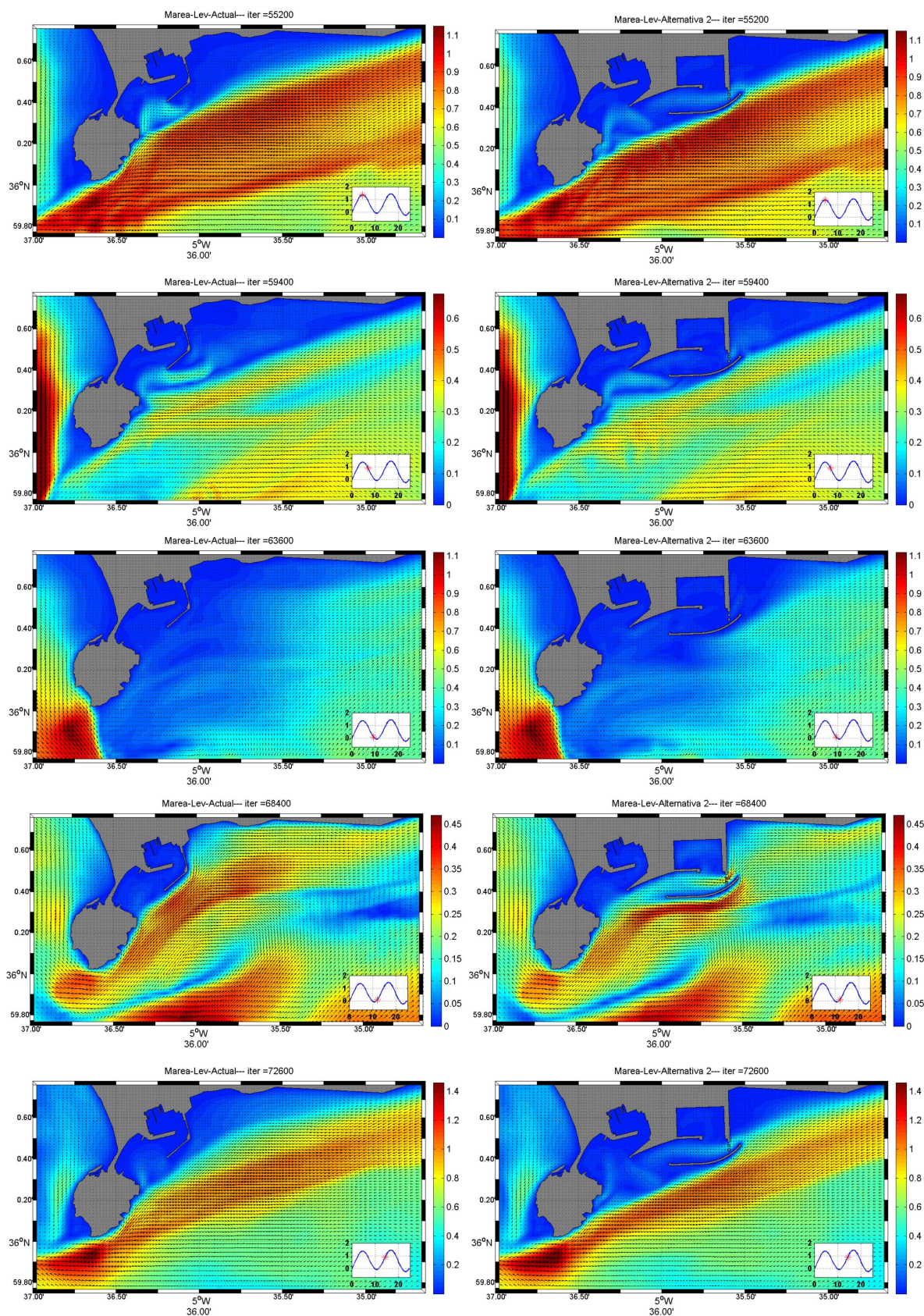


Figura 3.4.- Mismo que la Figura 3.2 para las simulaciones A2B1-PA (columna izquierda) y A2B1-ALT2 (columna derecha)

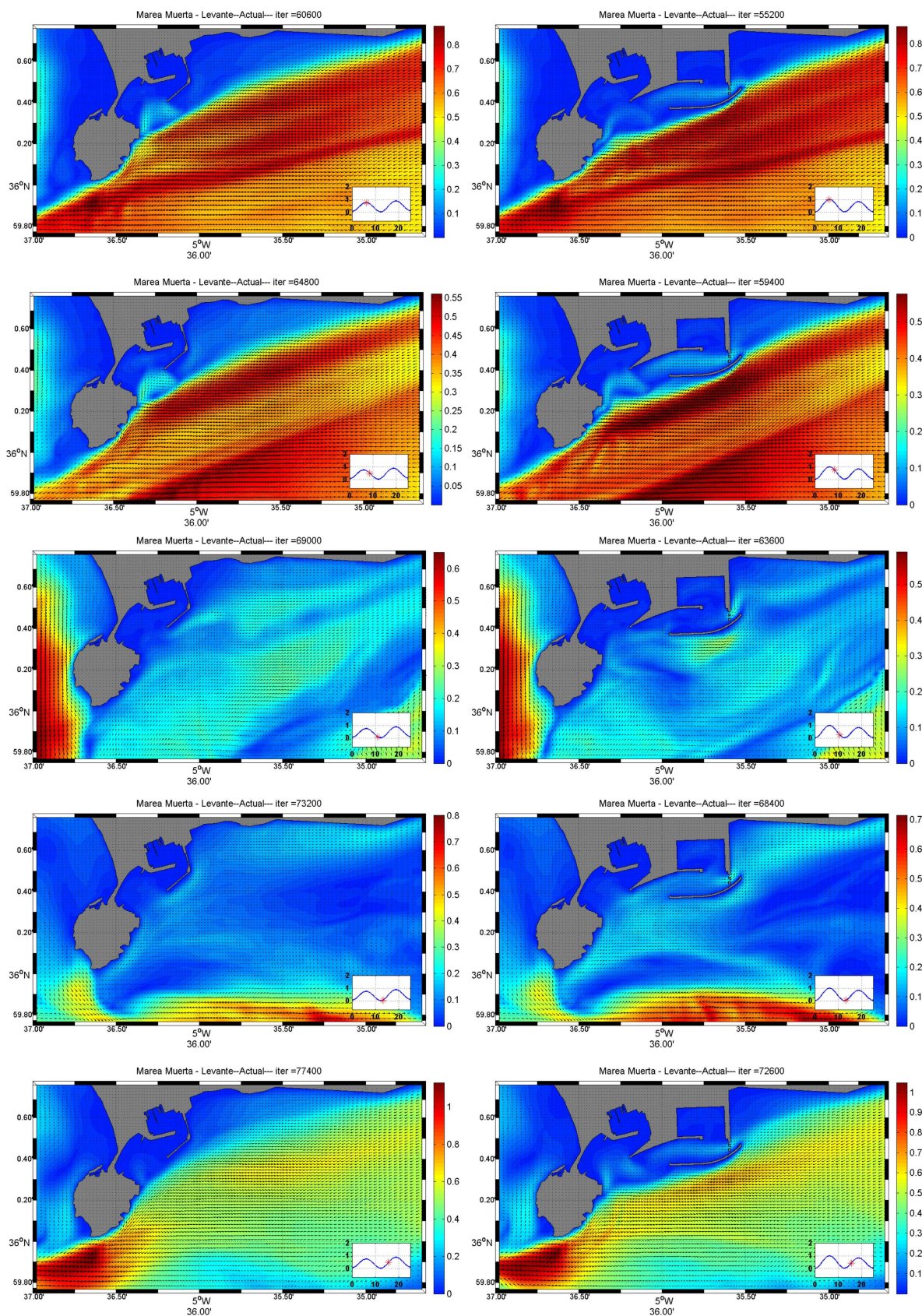


Figura 3.5.- Mismo que la Figura 3.2 para las simulaciones A2B2-PA (columna izquierda) y A2B2-ALT2 (columna derecha)

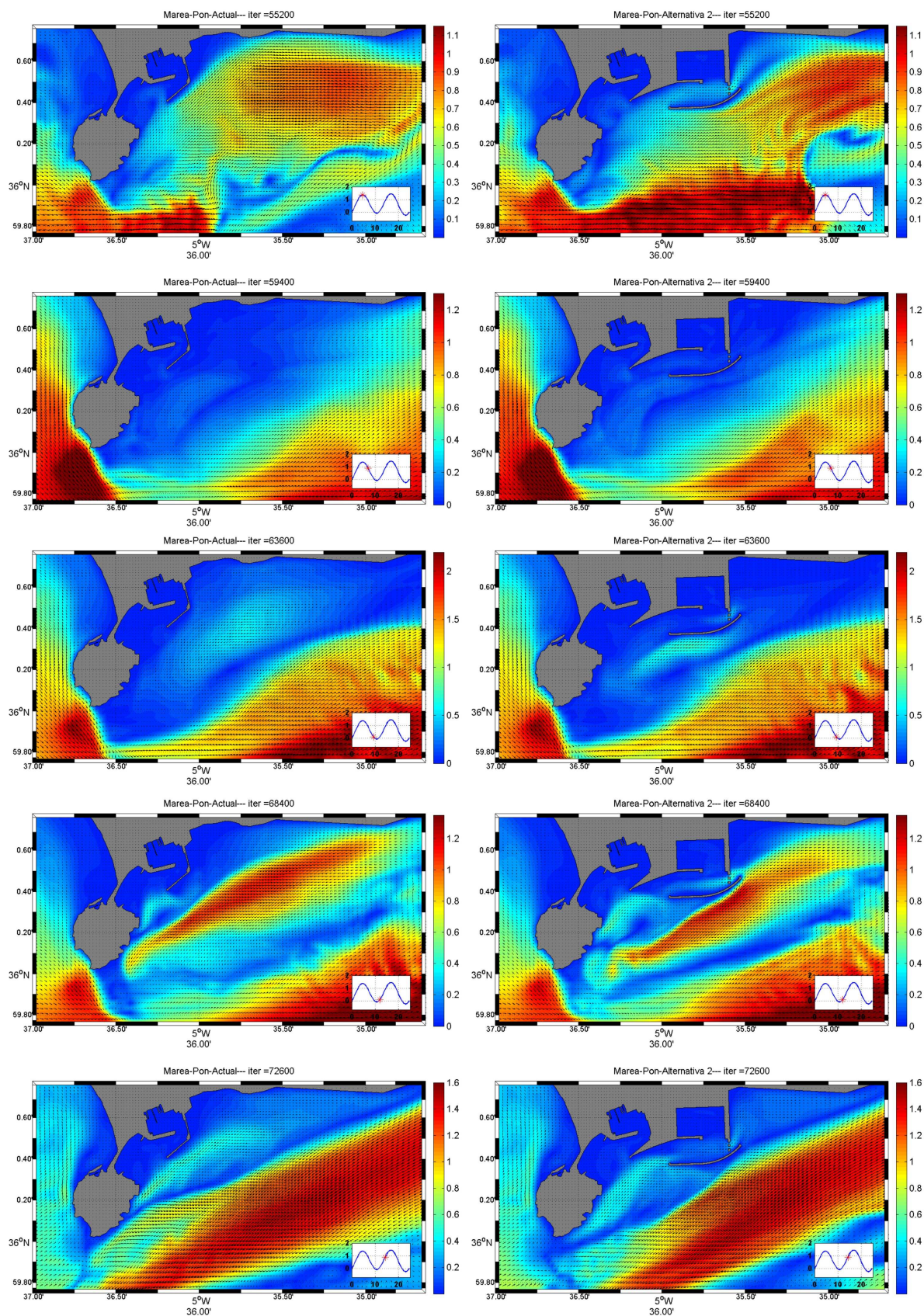


Figura 3.6.- Mismo que la Figura 3.2 para las simulaciones A3B1-PA (columna izquierda) y A3B1-ALT2 (columna derecha)

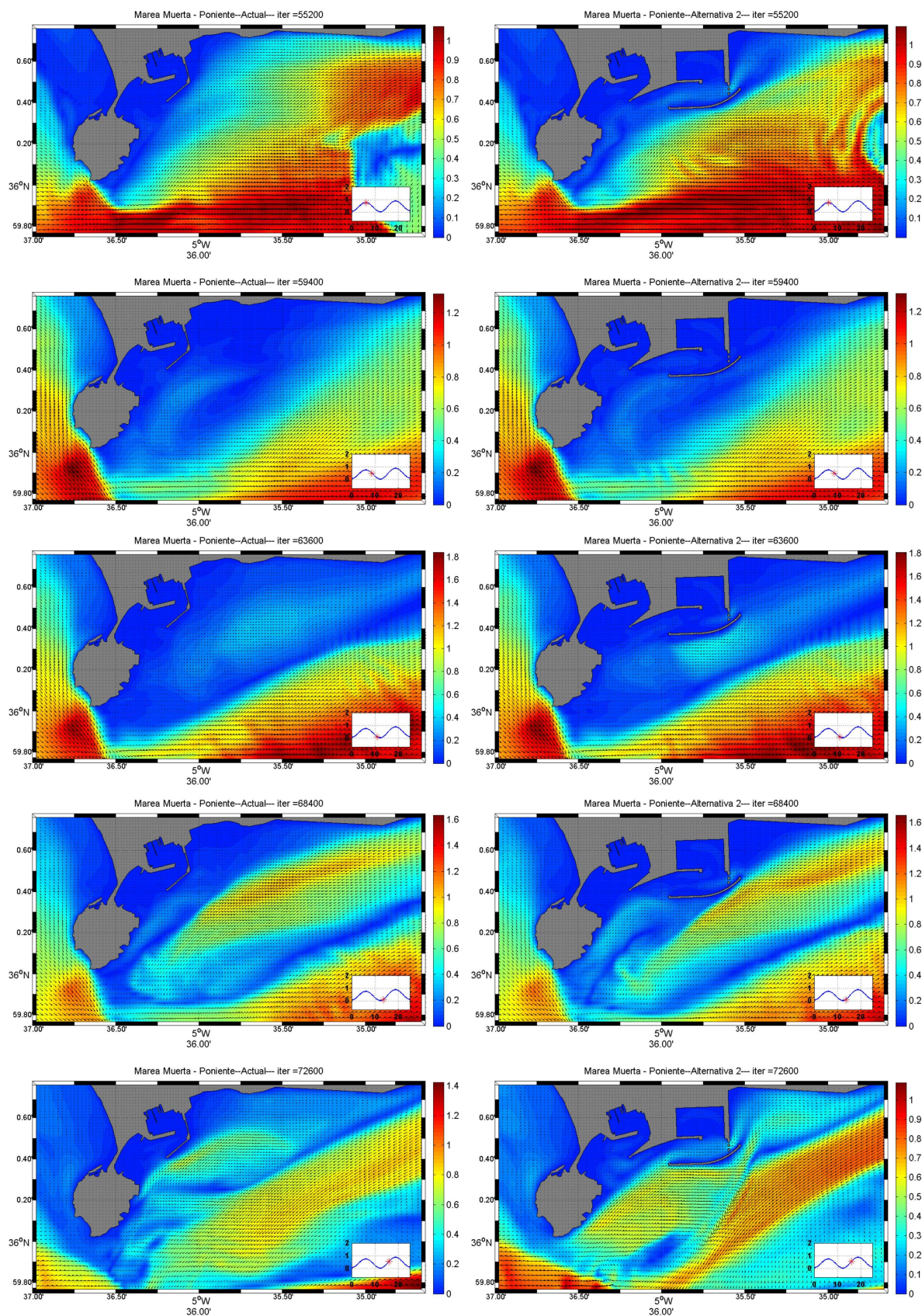


Figura 3.7.- Mismo que la Figura 3.2 para las simulaciones A3B2-PA (columna izquierda) y A3B2-ALT2 (columna derecha)

3.4.- Índices y parámetros de comparación.

A la hora de cuantificar los resultados del modelo se han seleccionado distintos índices y parámetros que se describen a continuación. Algunos de ellos permiten hacer inter-comparaciones entre la situación actual y la situación futura, como por ejemplo los tiempos de renovación de la dársena del puerto actual o flujos a través de ciertas secciones que se consideran relevantes. Otros, por el contrario, se refieren a fenómenos y circunstancias específicas de la futura ampliación y no tienen posibilidad de ser comparados con nada.

Los índices y parámetros comparativos con que se trabajan son los siguientes:

- Tiempo de renovación de la dársena del puerto actual de Tarifa
- Estructura de flujos a través de S1, sección que limita la Playa de Tarifa
- Flujos a través de las secciones S4 a S7 mostradas en la Figura 3.8

Los parámetros específicos de la futura ampliación relacionados con aspectos que se creen relevantes son:

- Tiempo de renovación de la futura dársena interior de la ampliación
- Flujos a través del canal diáfano de la ampliación (sección S2 en Figura 3.8)

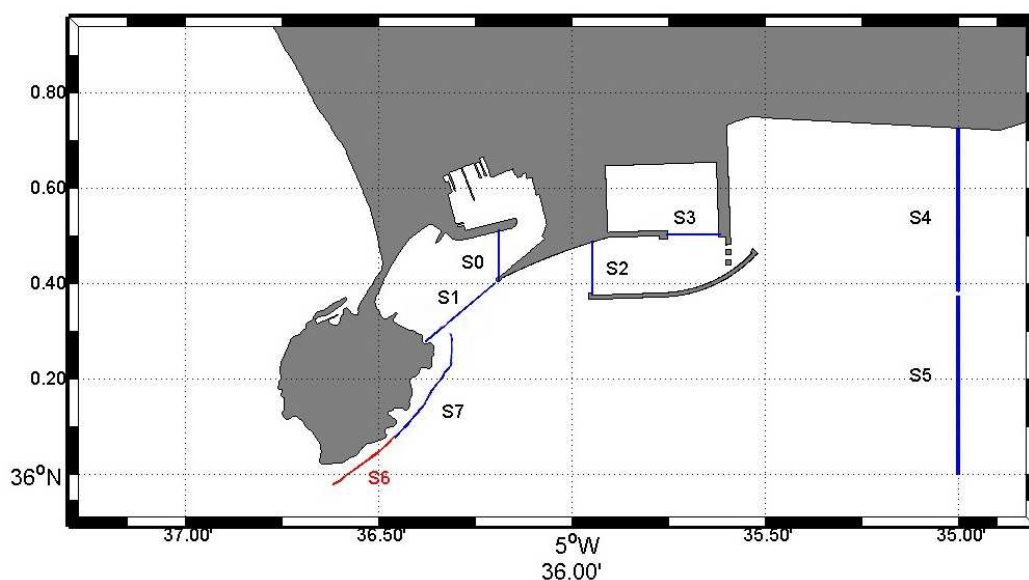


Figura 3.8.- Mapa de la zona de interés mostrando las diversas zonas y regiones que serán utilizadas para caracterizar las modificaciones introducidas por la ampliación

3.4.1.- Renovación de la dársena del Puerto Actual

Al igual que se hizo en el Capítulo anterior, se ha escogido como primer índice el tiempo de renovación de la dársena interior del puerto actual, que está limitada por la sección S0. En realidad se trata de ampliar la Tabla 2.1 para la nueva colección de escenarios analizados. Se ha seguido utilizando como criterio para estimar ese tiempo el cociente entre el Volumen de la Región de Control (es decir, el volumen medio de la dársena) y el Flujo Entrante.

La Tabla 3.2 indica que la dársena tiene tiempos de renovación entre 36.2 y 63.2 horas (1.5 y 2.6 días) para el puerto actual, “PA”, y valores muy similares para la obra de ampliación “ALT2” (33.2 a 64.2 horas ó 1.4 a 2.7 días). Los tiempos menores corresponden siempre con mareas vivas. La comparación de valores en las mismas filas indica que los tiempos de renovación son prácticamente insensibles a la presencia o ausencia de ampliación. Tienden a disminuir en presencia de forzamiento meteorológico en ambas configuraciones aunque en la de puerto actual “PA” y bajo Poniente y mareas muertas se rompe esa regla.

Escenario	“PA”	“ALT2”
A1B1	40.3	39.4
A1B2	62.5	64.2
A2B1	38.1	38.1
A2B2	55.8	57.1
A3B1	36.2	33.2
A3B2	63.2	55.7

Tabla 3.2.- Tiempos de renovación (horas) calculados para la dársena del puerto actual en su presente configuración (columna “PA”) y esos mismos tiempos en la configuración Alternativa 2a (“ALT2”) en todos los escenarios simulados.

La Figura 3.9 muestra ejemplos del patrón espacial del flujo medio en la sección S0 para ilustrar el mecanismo de renovación bajo los distintos escenarios meteorológicos y el mismo escenario de mareas vivas. La renovación sigue un claro patrón baroclino en el que el agua entra por el fondo y sale por superficie en los casos de no forzamiento meteorológico y forzamiento de Levante (paneles superiores y medios) y lo contrario con Ponientes. El cambio de patrón es consecuencia del arrastre directo del viento sobre la superficie que empuja sus aguas hacia el Oeste con Levantes (paneles centrales) y hacia el Este con Ponientes (paneles inferiores). El efecto que tiene la ampliación del puerto sobre estos patrones es mínimo y de ahí que también lo sea sobre los tiempos de renovación.

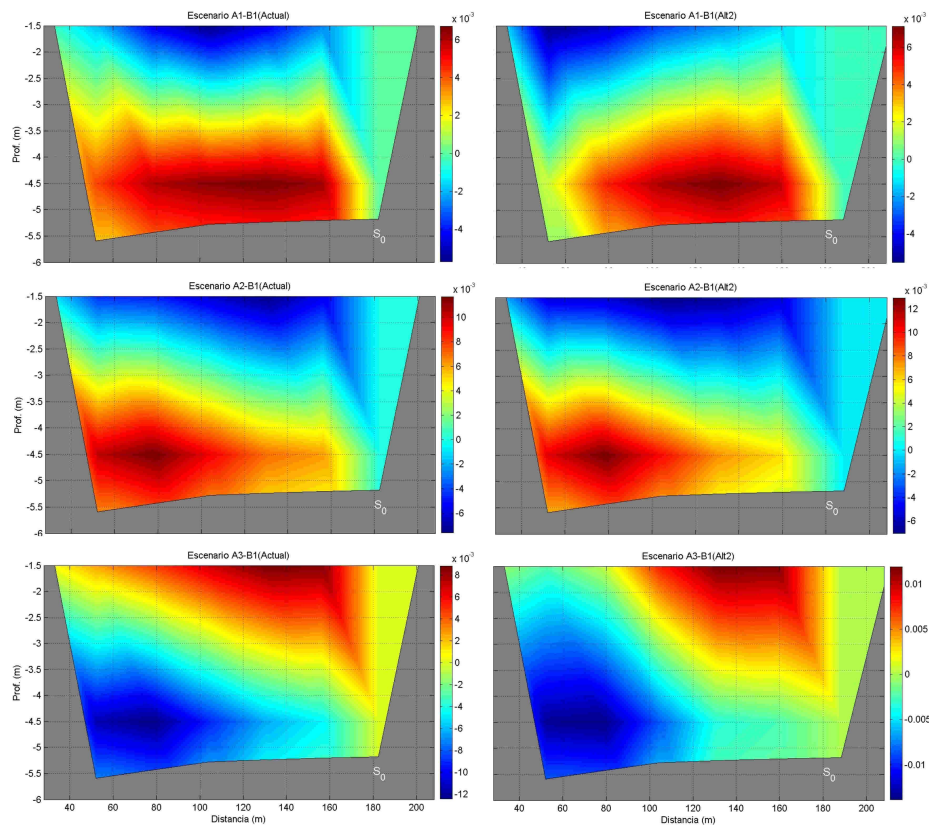


Figura 3.9.- Patrón espacial promediado a dos ciclos de marea de la componente normal a la sección S0 (ver Figura 3.8) a través de la cual se ventila la dársena del puerto actual de Tarifa. La columna izquierda muestra los patrones en la situación actual y la derecha los de la ampliación. Cada fila corresponde al escenario meteorológico-mareal indicado en la parte superior del panel y que son: primera fila: escenarios A1B2 (no forzamiento meteorológico, mareas vivas); segunda fila: escenarios A2B2 (Levante, mareas vivas); tercera fila: escenarios A3B2 (Poniente, mareas vivas). En todos los paneles los colores cálidos indican velocidad hacia el interior de la dársena (Este) y los azules hacia fuera (Oeste) de acuerdo con la escala de color situada a la derecha de cada panel (observar que el tamaño de la escala cambia de uno a otro). El origen de coordenadas se ha tomado en el extremo sur de S0, es decir, en el dique exterior del puerto.

3.4.2.- Playa de Tarifa y cara Nororiental de la Isla.

La Figura 3.10 presenta el patrón espacial del flujo medio (promedio de dos ciclos de marea) en la sección S1 que sirve para ventilar la Playa de Tarifa y cara Nororiental de la Isla. Contrariamente a lo mostrado en S0, el patrón espacial de velocidades es barotrópico (ausencia de cizalla vertical o cizalla muy débil). En la situación actual el flujo medio entra por la parte occidental y sale por la oriental en tanto que con la ampliación cambia de signo de modo que el flujo penetra la parte oriental de la sección y sale por la occidental. La presencia de forzamiento meteorológico perturba algo el carácter barotrópico del flujo bajo la Alternativa 2a

dotándole de cierta baroclinidad en la que el agua tiende a entrar por superficie bajo Levantes (Figura 3.9, panel central derecho) y ocurre lo contrario con Ponientes (panel inferior derecho).

Cuando estas velocidades se transforman en flujos y se hace una estima de tiempos de renovación de la ensenada de la Playa (limitada por S0, S1 y la costa) al estilo del que se ha hecho para la dársena interior del puerto se obtienen valores entre 11 y 17 horas en ambas configuraciones con tendencia a ser algo mayores en la configuración de la ampliación. En cualquier caso se trata de tiempos cortos, del orden de un ciclo de marea, y bastante menores que los de la renovación de la dársena interior⁹. Esa disminución es indicativa de una mayor eficacia en la renovación cuando el patrón que la promueve es barotrópico (Figura 3.10) en vez de baroclino (Figura 3.11), una conclusión que se hace extensiva al caso de la futura dársena de la ampliación como se muestra más abajo.

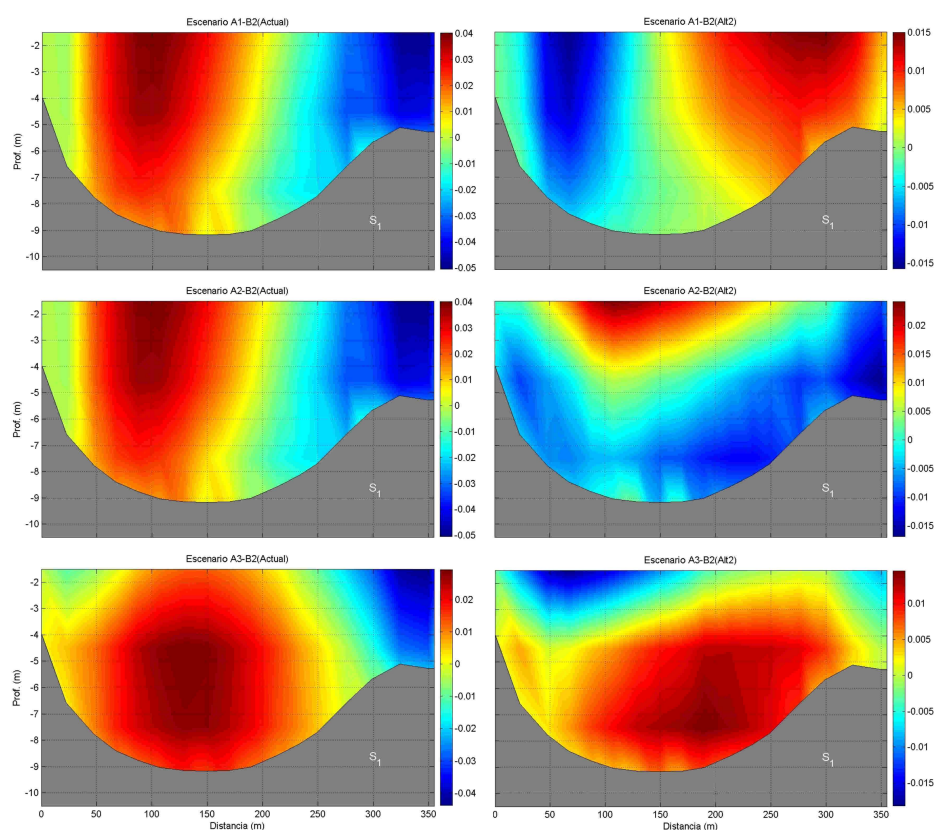


Figura 3.10.- Mismo esquema que Figura 3.9 para la sección S1 de la Figura 3.8. Los colores cálidos son velocidades entrantes en la ensenada (hacia el Norte) y los azules salientes (Sur). Los escenarios y orden de los paneles es el mismo que en la Figura 3.9 aunque en este caso se ha optado por presentar el escenario de mareas muertas siempre. El origen de coordenadas es el punto más occidental de la sección, es decir, la Isla de Tarifa.

⁹ La presencia del contorno S0 en este dominio desaconseja hacer un cálculo al estilo del presentado en la Tabla 3.2 por lo que nos limitamos a dar estas cifras indicativas.

3.4.3.- Flujo a través de secciones de interés

Se comparan en este apartado flujos a través de secciones que se consideran relevantes en la configuración actual y en la ampliación para evaluar las modificaciones introducidas en ellas y ser usadas en el futuro como herramienta para hacer un seguimiento de la evolución del sistema. Las secciones son de dos tipos. El primero incluye las S4 y S5 (Figura 3.8) para investigar el alcance espacial de los cambios producidos por las obras de ampliación aguas arriba de la corriente de creciente que, como muestran las Figuras 3.2 a 3.8, son las que producen las mayores modificaciones. Como dato indicar que la distancia en dirección zonal (eje x) que separa el extremo oriental de la obra de ampliación de las secciones S4-S5 es de unos 700 metros. El segundo tipo se refiere a secciones que bañan la cara oriental de la Isla de Tarifa (S6 y S7, Figura 3.8), zona de especial interés medioambiental.

3.4.3.a.- Flujos a través de S4 y S5

Las Tablas 3.3 y 3.4 muestran los valores medios y desviaciones estándar de los flujos a través de las secciones S4 y S5 respectivamente. Aunque ambas forman realmente una única sección, se ha creído conveniente estudiarlas por separado porque la más interior (S4) estará previsiblemente más afectada por la obra de la ampliación que la más exterior (S5).

En ambas Tablas, el signo positivo del flujo medio indica desplazamiento hacia el Este y el negativo hacia el Oeste. La desviación estándar, siempre positiva, es muy buen estimador de la variabilidad mareal de modo que si la geometría del puerto ampliado hace cambiar su valor con respecto a la geometría actual es porque la obra de ampliación afecta al régimen mareal, independientemente de que lo haga o no al valor medio. Ambos estadísticos (media, desviación estándar) han sido calculados promediando los resultados del modelo durante dos ciclos de marea.

La Tabla 3.3 muestra que en S4 el rango de fluctuación de los valores medios del flujo en el conjunto de escenarios analizados no se modifica en presencia o ausencia de la ampliación (están comprendidos entre $-0,395$ y $-3.26 \times 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en la configuración actual y entre -0.41 y $-3.03 \times 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en la ampliación) aunque se detecta una ligera tendencia a disminuir excepto para escenarios de Poniente. En ningún caso la variación excede el 10% siendo en promedio un 7%. La desviación estándar (mareas) disminuye en el mismo porcentaje del 5 ó 6% en todos los escenarios excepto en el A3B1 que lo hace casi el doble. Ese es el

porcentaje en el que serían afectadas las mareas en S4 por la presencia de la obra de ampliación.

Escenario	PA		ALT2		Porcentaje	
	Media ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	STD ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Media ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	STD ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Media	STD
A1B1	-3.26	3.5	-3.03	3.32	-7.0%	-5.1%
A1B2	-1.81	3.03	-1.74	2.82	-6.0%	-6.9%
A2B1	-2.33	3.21	-2.14	3.02	-8.1%	-5.9%
A2B2	-1.83	2.19	-1.70	2.08	-7.1%	-5.0%
A3B1	-0.395	4.05	-0.41	3.63	+3.8%	-10.3%
A3B2	-0.97	4.09	-1.06	3.81	+9.2%	-6.8%

Tabla 3.3.- Flujos medios y desviación estándar a través de la sección S4 mostrada en la Figura 3.8 para los distintos escenarios meteorológicos/mareales (columna 1) en la configuración actual del puerto (columnas 2, 3; bloque “PA”) y en la configuración ampliada (bloque “ALT2”). Las últimas columnas presentan el porcentaje de variación respecto a la situación actual de la media y de la desviación estándar. En el primer caso, el signo indica aumento (+) o disminución (-) del valor absoluto.

Escenario	PA		ALT2		Porcentaje	
	Media ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	STD ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Media ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	STD ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Media	STD
A1B1	-3.02	10.5	-2.78	10.8	-7.9%	+2.8%
A1B2	1.53	9.60	1.61	9.59	+5.2%	-0.1%
A2B1	-5.19	9.59	-5.09	9.56	-1.9%	-0.3%
A2B2	-4.03	6.74	-4.05	6.52	+0.5%	-3.3%
A3B1	1.87	17.9	1.97	18.0	+5.0%	+0.6%
A3B2	4.20	12.8	4.46	12.6	+6.2%	-1.6%

Tabla 3.4.- Mismo que Tabla 3.3 para la sección S5 mostrada en la Figura 3.8

En la sección S5 (Tabla 3.4) las variaciones porcentuales en la desviación estándar son ínfimas lo que se interpreta como que la presencia de la ampliación no afecta a la dinámica mareal y algo parecido se concluye para los valores medios.

A la vista del tamaño de las cifras en estas dos Tablas puede afirmarse que a 700 metros a Levante de la obra de ampliación las alteraciones del flujo medio en la zona más litoral (S4) son inferiores siempre al 10% y del orden de la mitad de ese porcentaje para las mareas. A esa misma distancia pero en la zona más externa (S5) las modificaciones son ignorables.

3.4.3.b.- Flujos a través de la sección S6-S7

Se analiza a continuación los flujos a través de la sección conjunta S6-S7 que contornea la Isla por su cara de Levante. Debido a su proximidad, las velocidades medias generadas por el modelo sin forzamiento mareal son muy pequeñas y dinámicamente poco significativas (ver Figura 1.3 en Capítulo 1). Al incluir mareas en el forzamiento la corriente media, que se estima como promedio de dos ciclos de marea; cambia al no promediar a cero las corrientes mareales debido a la asimetría creciente / vaciante. Sin embargo las inversiones de corriente, que sí existen, reducen la media a valores sensiblemente inferiores al típico de las corrientes de marea. El pequeño volumen limitado por las sección S6-S7 y la Isla se renueva totalmente en fracciones de hora, tiempo muy inferior al periodo de marea por lo que las corrientes medias (y de ahí los flujos medios) a través de esa sección conjunta no son tan representativos en este caso como los valores instantáneos.

En base a lo anterior se ha decidido estimar la desviación estándar de los flujos a través de las secciones, estadístico que guarda información sobre la variabilidad de la serie que en el modelo es fundamentalmente mareal. Es decir, cuantifica la velocidad instantánea dominada claramente por la marea. La Tabla 3.5 muestra los resultados del análisis realizado. No se observa un patrón claro de variación de los flujos con los distintos forzamientos para la situación actual (columna “PA”) y sí en la ampliación (columna “ALT2”) donde la desviación es mayor en mareas vivas y aumenta con los forzamientos, especialmente el de Poniente. Aunque existe una cierta dispersión de valores, el valor medio de las desviaciones estándar mostradas en cada columna de la Tabla indica que la disminución esperable en el caso de la ampliación no es excesiva, algo menos del 10%.

	PA	ALT2
Escenario	STD (m ³ s ⁻¹)	STD (m ³ s ⁻¹)
A1B1	560.1	381.5
A1B2	488.4	295.6
A2B1	163.7	384.0
A2B2	519.2	352.8
A3B1	571.0	531.4
A3B2	273.3	481.8

Tabla 3.5.- Desviación estándar de los flujos a través de la sección S6-S7 mostrada en la Figura 3.8, indicativa de la variabilidad mareal.

3.4.4.- Renovación de la futura dársena del puerto ampliado

Dentro de los índices exclusivos de la configuración ampliada está el tiempo de renovación de la futura dársena interior, que ha sido calculado siguiendo el esquema que se empleó en el epígrafe 3.4.1 para la dársena del puerto actual. En este caso la sección de cierre es S3 (Figura 3.8). La dársena es mayor que la del puerto actual y sin embargo la Tabla 3.6 muestra tiempos de renovación unas tres veces más pequeños en promedio. La mejoría está claramente vinculada a la existencia del canal diáfano diseñado, que es motor de circulación de aguas en el interior de la dársena. Notar por otro lado que para el mismo forzamiento meteorológico los tiempos de renovación son entre un 20% y un 30% inferiores con mareas vivas y que se observa que el forzamiento de Poniente es el más efectivo para mejorar la ventilación.

ALT2	
Escenario	Dársena interior
A1B1	13.7
A1B2	17.2
A2B1	14.2
A2B2	19.7
A3B1	10.5
A3B2	15.8

Tabla 3.6.- Tiempos de renovación (horas) de la dársena interior de la ampliación del puerto en todos los escenarios simulados.

El patrón de velocidades a través de la sección de cierre S3 en la Figura 3.11 muestra una estructura claramente barotrópica en todos los escenarios con el flujo entrando en la dársena por la parte occidental de la sección y abandonándola por la parte oriental. Los breves tiempos de renovación se explican por la estructura barotrópica de los flujos intercambiados, mucho más eficaz que la baroclina como ya se ha visto en la estimación de los plausibles tiempos de renovación de la ensenada de la Playa (barotrópica, epígrafe 3.4.2) y de los de la dársena interior del actual puerto (baroclina, epígrafe 3.4.1). La escala de velocidades en los paneles de la Figura 3.11 indica que las más intensas se dan en los dos inferiores que se corresponden con el forzamiento de Poniente. Es un resultado vinculado con la dinámica del canal diáfano cuyo flujo aumenta considerablemente en la fase de vaciante con este forzamiento, como se muestra a continuación.

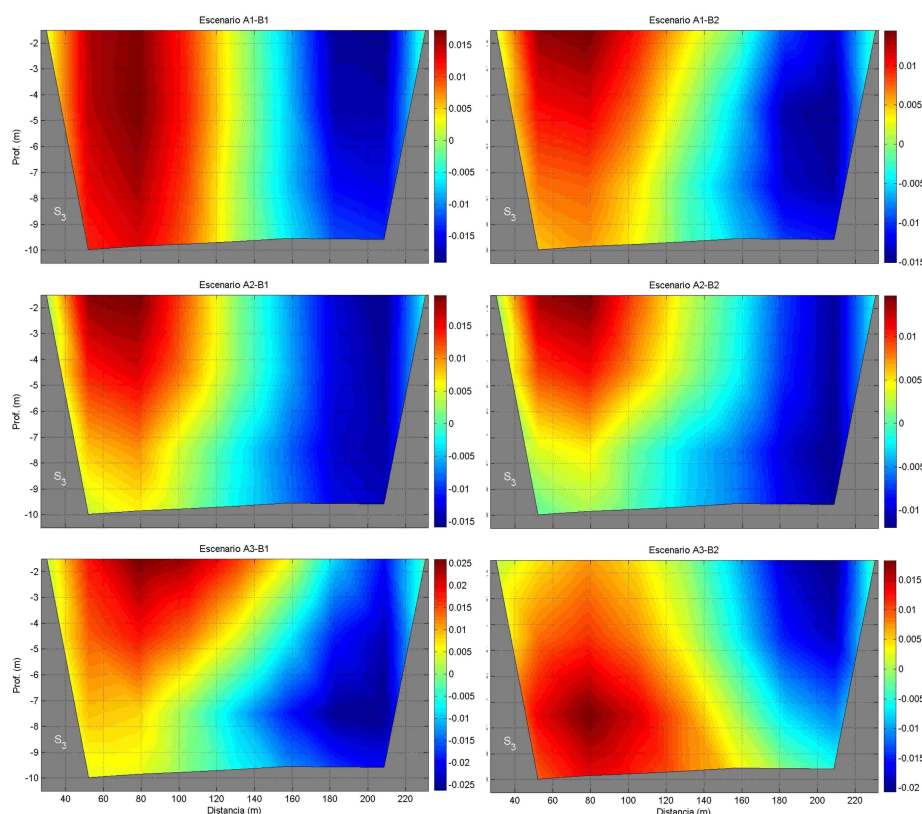


Figura 3.11.- Patrón espacial de velocidad promediado a dos ciclos de marea en S3 en los escenarios indicados encima de cada panel que son: Columna izquierda/derecha: escenario de mareas vivas/muertas. Primera fila: no forzamiento meteorológico; segunda fila: forzamiento de Levante; tercera fila: forzamiento de Poniente. Los colores cálidos son velocidades entrantes en la dársena (hacia el Norte) y los azules hacia fuera (Sur) y el origen de coordenadas es el punto más occidental de S3. Notar que la escala de velocidad cambia de un panel a otro.

3.4.5.- Flujos a través del canal diáfano del puerto ampliado

Este parámetro sólo puede estimarse para la configuración ampliada. La Figura 3.12 presenta series de flujo a través del canal de dos ciclos de marea de longitud para los distintos escenarios analizados. En azul se dibujan los flujos hacia el Este asociados con la vaciante y en rojo los de creciente hacia el Oeste. El tiempo que prevalecen estos últimos es algo mayor excepto en los escenarios A3 (forzamiento de Poniente) que tiende a igualarse. El tamaño de los flujos de creciente es poco sensible al forzamiento meteorológico y permanece en torno a $50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (el cambio de escala en la última fila de la Figura 3.11 es engañoso) en tanto que los de vaciante son muy sensibles, duplicándose e incluso triplicándose con forzamiento de Poniente. Debido a esta dinámica amplificadora, la dársena interior mejora los tiempos de renovación con este forzamiento (Tabla 3.6).

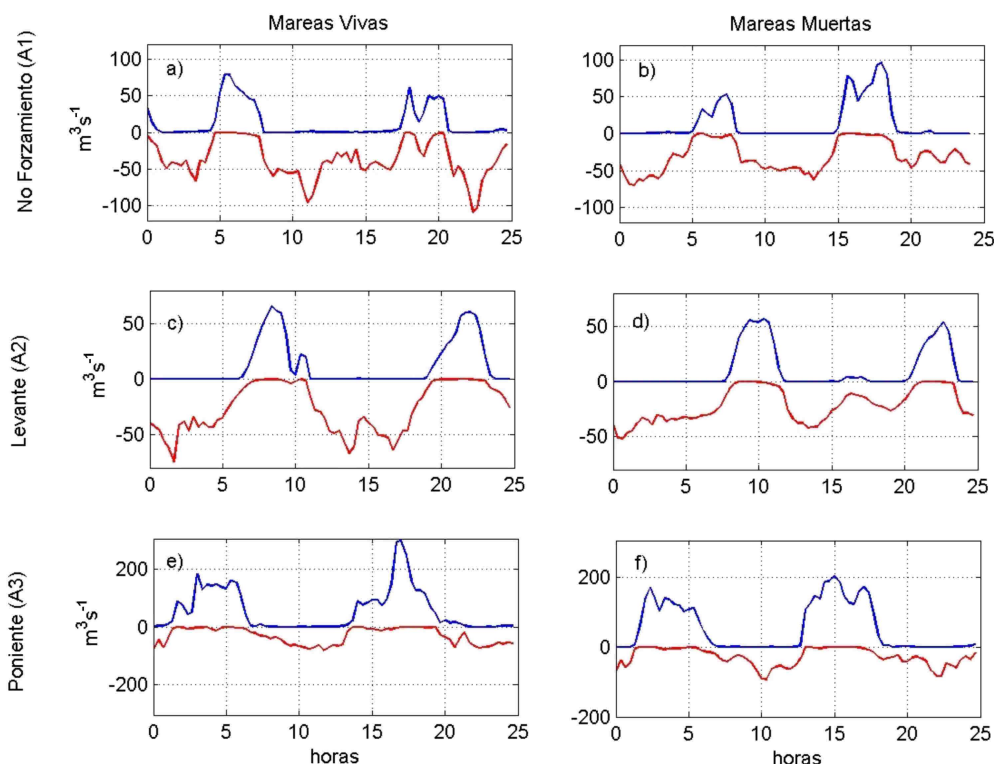


Figura 3.11.- Flujos a través de S2 en el canal diáfano de la ampliación. Valores positivos (azul) es flujo hacia el Este y negativos (rojo) hacia el Oeste. Las filas son escenarios meteorológicos y las columnas mareales. La escala vertical cambia en los distintos escenarios meteorológicos.

3.4.6.- Valores ponderados anuales

Los escenarios meteorológicos y mareales de la Tabla 3.1 no tienen la misma probabilidad de ocurrencia a lo largo de todo el año de modo que a la hora de proporcionar valores medios anuales se ha de hacer una ponderación, la cual tiene necesariamente cierto grado de subjetividad por lo que los valores dados deben ser considerados como meramente orientativos. Puesto que se debe trabajar con los resultados obtenidos en las simulaciones de los seis escenarios trabajados, se han de dar pesos a las cifras producidas por cada uno de ellos. Las cifras obtenidas para mareas medias (no mostradas en este informe) están aproximadamente a mitad camino entre las vivas y muertas por lo que en lo referente a escenarios mareales a la hora de hacer promedios, el peso relativo entre mareas vivas y muertas es el mismo: 50%.

Los escenarios meteorológicos simulados representan situaciones más bien extremas (aunque pudieran darse situaciones más extremas aún). Las situaciones intermedias, más frecuentes, tienen que ser cuantificadas con los resultados del

extremo inferior de no forzamiento (A1) y los extremos superiores a ambos lados representados por los forzamientos de Poniente (A3) y Levante (A2). A falta de mayor detalle asumiremos que la influencia de A1 tiene un peso promedio del 50% en esas situaciones intermedias, el superior de Poniente A3 un 20% y el de Levante A2 un 30% (el Levante es más intenso que el Poniente en Tarifa). A partir de estas consideraciones y teniendo en cuenta que en una media ponderada los pesos deben sumar la unidad, se han tomado como factores multiplicativos de los distintos escenarios para proporcionar valores medios anuales de los distintos índices y/o parámetros los indicados en la Tabla 3.7.

Escenario	Peso relativo
A1B1	0.25
A1B2	0.25
A2B1	0.15
A2B2	0.15
A3B1	0.10
A3B2	0.10

Tabla 3.7.- Pesos utilizados en el cálculo de las medias ponderadas de los diferentes índices

Los promedios anuales de aquellos índices cuantificados en epígrafes anteriores se indican en la Tabla 3.8. En general la comparación entre la geometría actual (columna “PA”) y la de la futura ampliación (columna “ALT2”) mantienen las proporciones que tenían en los escenarios por separado. Las variaciones del promedio anual de los flujos a través de las secciones que bañan la cara Este de la Isla son algo superiores porcentualmente a las indicadas como referencia en el epígrafe 3.4.3.b debido al menor peso del forzamiento de Poniente en esta media ponderada. Aún así las disminuciones no cambian demasiado: de algo menos del 10% estimado en ese epígrafe se pasa a un 15% aproximadamente en la Tabla 3.8.

INDICE / PARAMETRO	“PA”	“ALT2”
Renovación dársena puerto actual (horas)	49.7	49.1
Flujo aguas arriba ampliación (sección S4; $\text{m}^3\text{s}^{-1} \times 10^3$)	-2.03	-1.92
Flujo aguas arriba ampliación (sección S5; $\text{m}^3\text{s}^{-1} \times 10^3$)	-1.14	-1.02
Flujo cara oriental de Isla Tarifa: secciones S6-S7 (m^3s^{-1})	449.0	381.0
Renovación dársena puerto futuro (horas)	----	15.4

Tabla 3.8.- Estimaciones de promedios anuales de los índices y parámetros analizados en este epígrafe de acuerdo con la ponderación mostrada en la Tabla 3.12. La primera columna de cifras es para la configuración actual, la segunda para la Alternativa 2a.

3.5.- Conclusiones.

El estudio realizado en este Capítulo dirigido a la comparación de los escenarios “Puerto Actual” y “Alternativa 2a” bajo un abanico amplio de forzamientos meteorológico-mareales ha permitido cuantificar los cambios que se producirían en ciertas zonas de interés tras la ampliación del puerto actual de Tarifa de acuerdo con la Alternativa seleccionada. Para ello se han definido una serie de parámetros cuyos valores en una y otra configuración aparecen recogidos en las Tablas 3.2 a 3.8.

Se han utilizado dos tipos de parámetros o índices: uno que hace referencia a tiempos de renovación de recintos semicerrados, otro que mide flujos a través de secciones de interés. Los primeros hacen referencia a la renovación de las dársenas del puerto actual y del futuro. El tiempo de renovación de la primera no se modifica por la construcción de la ampliación y sigue siendo del orden de dos días. El de la segunda, que obviamente no puede compararse con la situación actual, es pequeño debido al canal abierto diseñado que facilita la ventilación. Aún siendo mayor esta dársena su tiempo de renovación es tres veces menor que el de la dársena del puerto actual.

La eficiencia de la renovación de la dársena es debida al flujo a través del canal interior que tiende a ser predominantemente de Levante en el tiempo (asociado con la creciente) pero que, curiosamente, produce los mayores flujos bajo forzamiento de Poniente durante la vaciante (Figura 3.11). Consecuencia de este hecho es que el tiempo de renovación de la dársena interior se reduce con este forzamiento en un 20 ó 30% con respecto a la situación de no forzamiento y más aún si se compara con el forzamiento de Levante.

Los patrones de velocidad normal a la sección S1 que limita la ensenada de la Playa y la cara Nororiental de la Isla de Tarifa son de tipo barotrópico, lo que garantiza tiempos de renovación del conjunto relativamente rápidos. La presencia de la ampliación cambia el sentido de giro del flujo a través de S1 que no tiene mayor repercusión en la renovación de sus aguas. Una primera estima proporciona tiempos de renovación del orden de un ciclo de marea (11 a 17 horas) bajo los distintos forzamientos en ambas configuraciones.

Lo obtenido en las secciones S4 y S5, ubicadas convenientemente aguas arriba de la ampliación para estudiar el alcance espacial de las modificaciones que introduce, indica que a 700m aguas arriba de la obra los cambios en el flujo medio en la zona litoral (S4) se limitan a una reducción del 7% aproximadamente y en la dinámica

mareal menos aún (5%). En la parte más exterior de esa misma sección (S5) son ignorables.

En las secciones S6-S7 que contornean la Isla se ha estudiado la variabilidad mareal mediante la desviación estándar de las series modeladas. Como es de esperar, los resultados indican que la ampliación afecta al flujo a través de ellas aunque no en una proporción excesiva. La comparación entre ambas configuraciones indica que, en un promedio ponderado anual, la reducción de flujo mareal es no más de un 15%. Por el contrario, bajo escenarios de Poniente apenas se produce reducción alguna.

Para concluir este Capítulo y el informe, hacer un comentario y una valoración de las posibles consecuencias que pudieran tener las pequeñas modificaciones de diseño mostradas en la Figura 3.1 sobre las conclusiones anteriores. Se quiere subrayar que se trata de estimaciones científicamente razonables basadas en criterios argumentados que, con toda probabilidad, conducen a variaciones de muy escasa importancia. La verificación de las mismas supone la ejecución de nuevas simulaciones cuyo coste computacional y de procesado no parece justificado a la vista de los cambios mínimos del diseño reflejados en la Figura 3.1.

De los índices y parámetros calculados los que se verían afectados más directamente son el tiempo de renovación de la dársena interior del futuro puerto y el flujo a través del canal diáfano debido al retranqueo del muelle de Levante y al ligero ensanchamiento del canal. La pequeña variación de geometría afecta principalmente al primer cambio, es decir, a la acometida oriental del puerto lo que originaría cambios de flujo durante la creciente fundamentalmente (líneas rojas en Figura 3.11). Consecuencia de ese aumento de flujo sería una ligera disminución de los tiempos de renovación de la dársena interior. En cuánto puede afectar al flujo la modificación es difícil de precisar pero no tanto de acotar. La observación detallada de una versión ampliada de la Figura 3.1 indica que el área de la sección de entrada de Levante afectada por el retranqueo aumenta en menos de un 10% (tal vez un 5%). Esa misma proporción puede considerarse representativa del aumento de sección en todo el canal diáfano y también puede trasladarse para cuantificar el aumento de los flujos de creciente por el canal que debe ser lineal. Un aumento de un 10% (5% tal vez) de los flujos de creciente no representa modificaciones esenciales de los valores mostrados en la Figura 3.11.

La Tabla 3.6 junto con la Figura 3.11 sugiere que cuando el flujo de Levante aumenta en un 30 % (picos rojos en el panel izquierdo de la fila 2 frente al mismo panel de la fila 1 en la figura) el tiempo de renovación disminuye en un 5 ó 10 % (filas 3 y 1 o filas 4 y 2 de la Tabla 3.6). De mantenerse la proporción el retranqueo responsable de un aumento del flujo de creciente en, máximo, un 10% podría reducir el tiempo de renovación en un 2 ó un 3% sobre los valores

mostrados en la Tabla 3.6. Con estas cifras se concluye que los resultados obtenidos para la Alternativa 2a original en cuanto a índices específicos de la futura obra son extensibles a la opción modificada sin problema. Es más, las pequeñas modificaciones actuarían en la dirección de mejorar, aunque muy ligeramente, esos índices.

Las secciones S4 y S5 aguas arriba de la obra no son afectadas en absoluto por tan mínimos cambios, ni tampoco lo será el tiempo de renovación de la dársena del puerto actual.

El sesgo que tomen las modificaciones referentes a los flujos que bañan la Isla a través de S1 y de S6-S7 es más complicado de predecir. Respecto a esta última el aumento del flujo a través del canal diáfano durante la creciente favorecería un incremento del flujo mareal a través de S6-S7 también, de modo que la disminución relativa reflejada en la Tabla 3.8 (fila 4) o en la Tabla 3.5 tendería a reducirse. Por otro lado el pequeño desplazamiento hacia el Sur del dique externo produciría otro similar del flujo por su exterior que, en S6-S7, actuaría en sentido contrario al anterior. Tanto uno como otro han de ser muy pequeños y, en vista de su signo opuesto, parece probable que su efecto conjunto sea inapreciable y que la cota máxima del 5% de variación sobre los valores dados mencionada antes sea también suficiente aquí. No se estima variación de resultados en la sección S1 y si hubiese alguno estaría producido más bien por el primero de los efectos anteriores que actuaría en el sentido de mejorar la ventilación de la ensenada de la Playa.

Porcentajes del 5% en los que, típicamente, pudieran haber variado los resultados obtenidos para la Alternativa 2a caen dentro de lo que podríamos denominar error o incertidumbre numérica del modelo por lo que se cree que los resultados aquí presentados son extensibles sin problema al diseño modificado.