

PARTE 2.-

EL MODELO LOCAL: Estudio de alternativas

2.1.- Introducción, presentación de las alternativas y estructura del Capítulo.

El modelo numérico regional del Estrecho de Gibraltar presentado en la PARTE 1 y validado por observaciones ha sido utilizado para proporcionar condiciones de contorno realistas al modelo local (los dominios de ambos modelos se muestran de nuevo en la Figura 2.1) a fin de investigar los detalles hidrodinámicos del sistema circulatorio en las inmediaciones del Puerto de Tarifa. Este método de anidamiento de modelos, procedimiento rutinario en modelación numérica, ha permitido investigar numéricamente las variaciones que experimentaría la circulación local en las cuatro diferentes alternativas de ampliación del Puerto de Tarifa mostradas en la Figura 2.2.

El estudio ha sido realizado para dos escenarios meteorológicos / astronómicos que se considera que cubren un rango de condiciones dinámicas energéticas en el sentido de que analizan mareas vivas en ausencia de forzamiento meteorológico (modificaciones “astronómicas” en la circulación introducidas por las diferentes geometrías de la ampliación analizadas) y el mismo escenario bajo condiciones de Levante moderado/fuerte junto con un aumento de presión atmosférica en la cuenca Mediterráneo-Occidental. Se ha escogido esta situación por ser la que más afecta dinámicamente al entorno del Puerto de Tarifa, como es bien sabido.

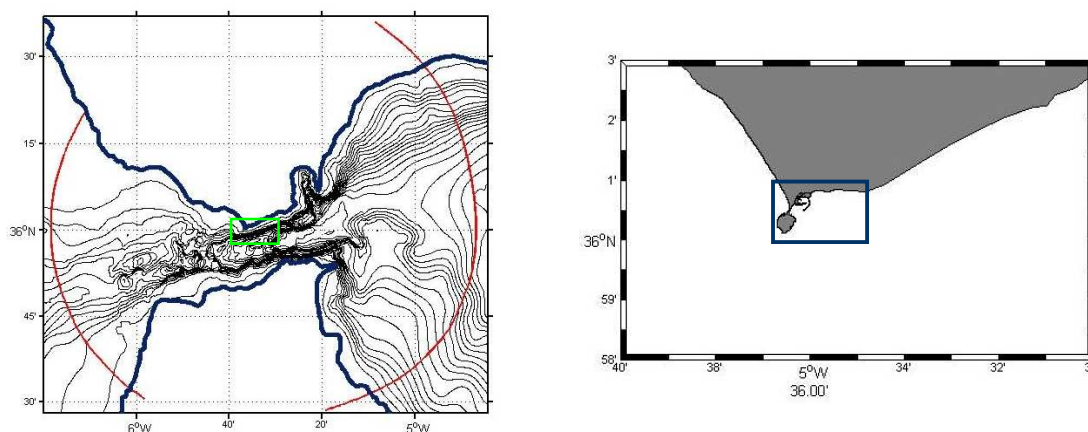


Figura 2.1.- Dominio del modelo numérico regional (izquierda) mostrando sus contornos (líneas rojas) y el dominio del modelo local (recuadro verde) que se muestra ampliado en el panel derecho. Ambos mapas son reproducciones de los mostrados en las Figuras 1.1 y 1.2 de la PARTE 1. El recuadro azul en el dominio local señala la zona seleccionada para mostrar gráficamente los resultados generados por el modelo local.

El Capítulo está estructurado de la siguiente forma: el epígrafe 2.2 explica la forma en que se ha realizado el anidamiento de los modelos regional y local. El epígrafe 2.3 presenta las modificaciones en el sistema circulatorio producido por el escenario de mareas vivas sin forzamiento meteorológico en las distintas alternativas de ampliación mediante mapas de corriente superficial (a 1.5 metros de profundidad) en el mismo instante del ciclo de marea. El epígrafe 2.4 hace lo propio en el escenario mareas vivas más Levante. El epígrafe 2.5 define y presenta valores de ciertos índices que permiten cuantificar las modificaciones en la circulación bajo las distintas alternativas en diversas zonas de interés que se indican en la Figura 2.3. El epígrafe 2.6 resume las conclusiones provisionales de esta segunda fase del estudio. Finalmente el epígrafe 2.7 presenta resultados de las campañas oceanográficas realizadas entre Mayo y Octubre de 2009 para validar los resultados producidos por el modelo local.

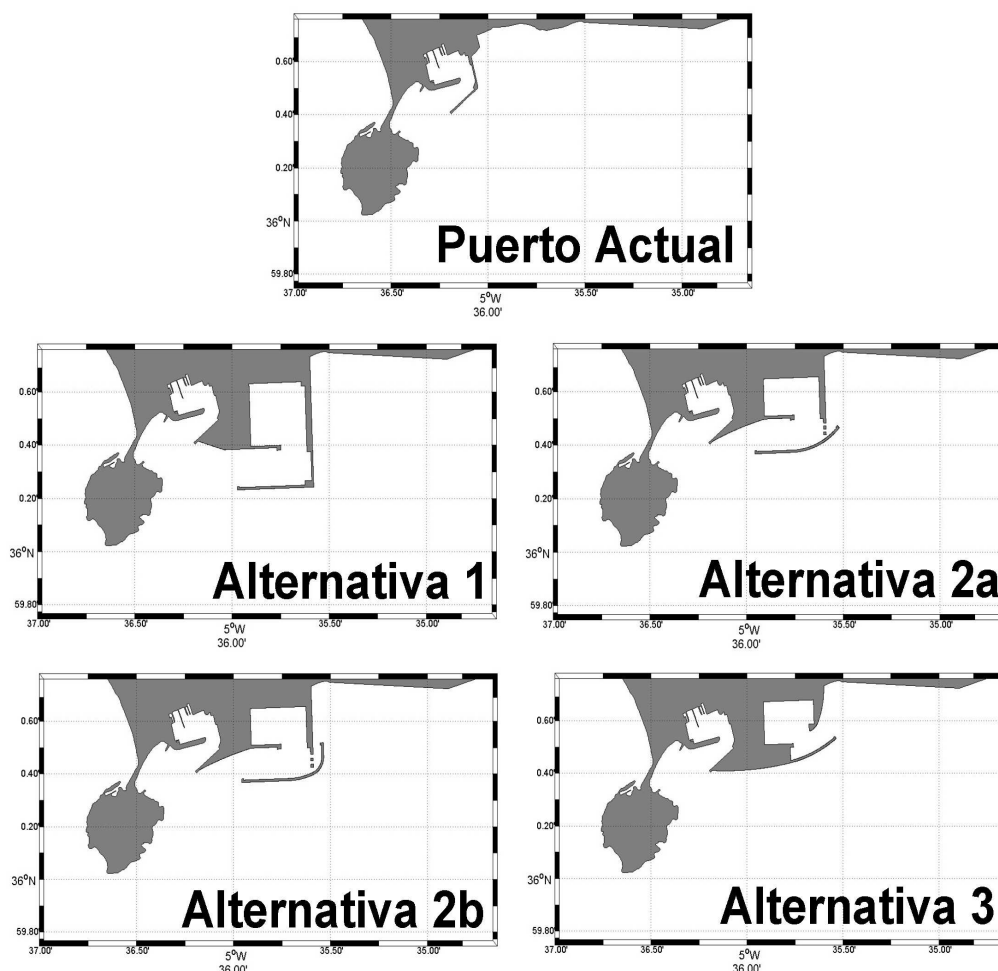


Figura 2.2.- Geometría del puerto actual (panel superior) y configuración de las alternativas estudiadas en este informe. Con estos nombres se denominarán las distintas alternativas a lo largo del Capítulo.

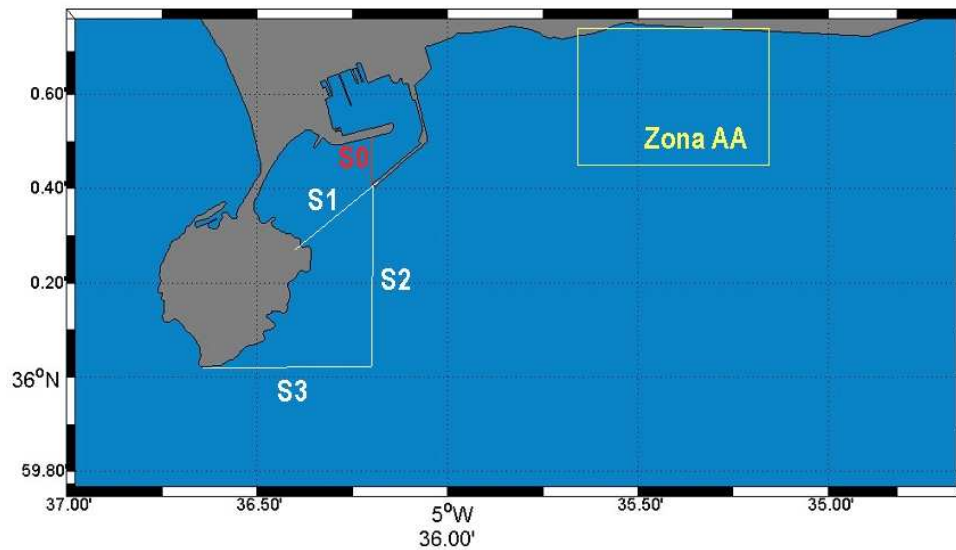


Figura 2.3.- Geometría del puerto actual con indicación de las distintas zonas que han sido tomadas como referencia a la hora de cuantificar modificaciones en el epígrafe 2.5. AA indica la zona aguas arriba de las posibles configuraciones en la que se analiza el cambio de patrón de circulación por efecto de la ampliación. Esta es una zona sensible a la obra de ampliación al ocupar el nuevo puerto una zona apreciable al Este del actual. Las secciones S2 y S3 cierran un área que baña la parte oriental de la Isla de Tarifa, zona de especial relevancia para el análisis del impacto en el ecosistema de la Isla. La sección S1 cierra el conjunto Puerto Actual y Playa de Tarifa-Este y la S0 el Puerto Actual. Con ellas se pretende hacer un ejercicio de tiempos de renovación de aguas de esos conjuntos y cómo son afectados bajo las diferentes alternativas.

2.2.- Anidamiento de modelos

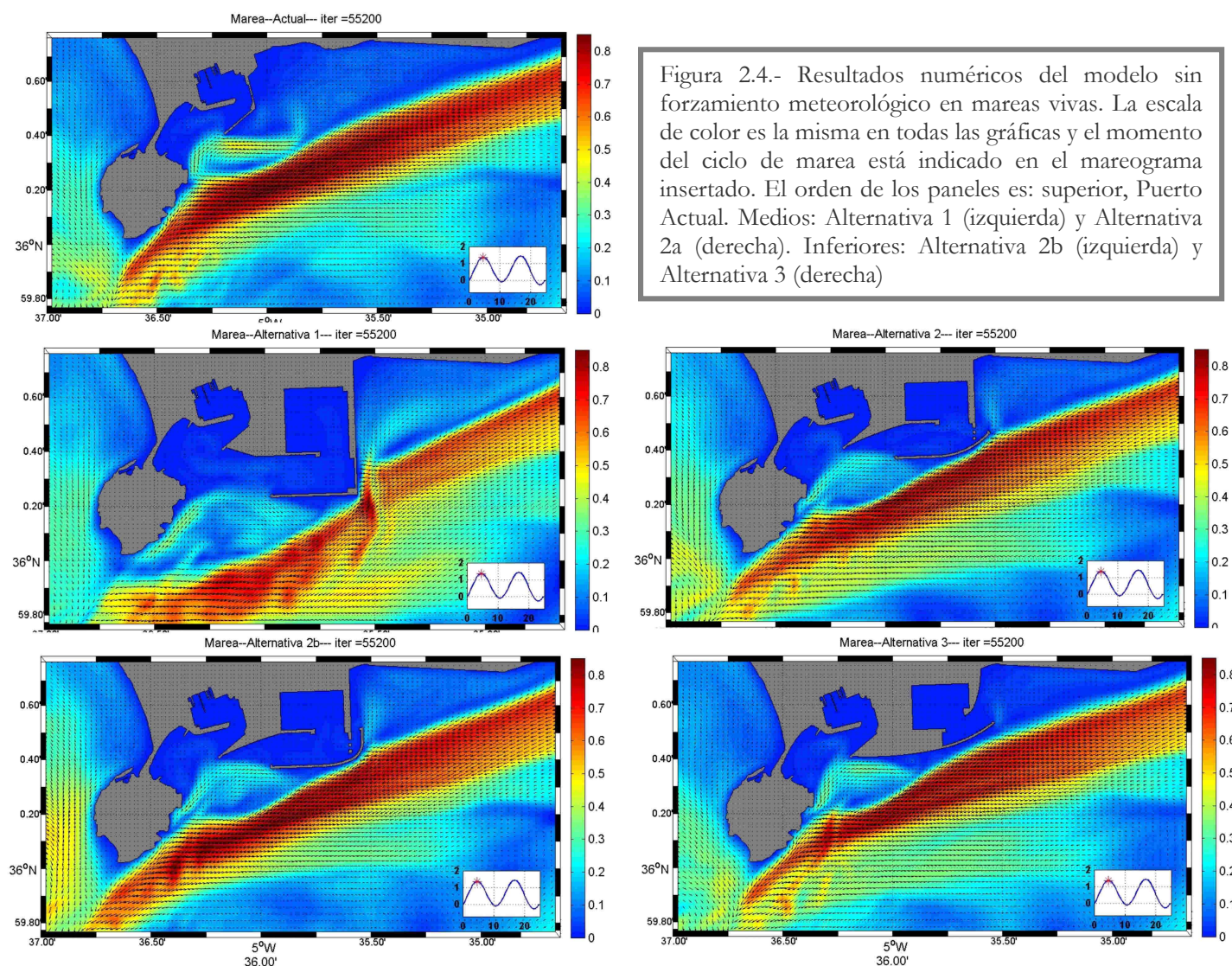
Los resultados del modelo regional descrito en la PARTE 1 del informe han sido utilizados para facilitar condiciones de contorno al modelo local. Este modelo tiene una resolución espacial considerablemente mayor que el regional (del orden de los 25 metros en horizontal) y mejor resolución vertical (3 metros en la capa superficial de los primeros 50 metros) y una batimetría facilitada por la APBA mucho más detallada. Las dos primeras mejoras de resolución hace que el número de puntos de malla en los contornos del modelo local sea considerablemente mayor que el número de puntos de malla en esas mismas secciones en el modelo regional lo que obliga a realizar una interpolación. Por otro lado, la mejora de resolución y precisión en la batimetría usada en el modelo local hace que los volúmenes de agua deducidos de las corrientes predichas por el modelo regional que fluyen por los contornos del modelo local no verifiquen la ecuación de continuidad con la precisión requerida. Por todo ello es necesario reajustar las predicciones del modelo regional en los contornos del modelo local para forzar a éste último con condiciones realistas.

Como es esperable, el problema más delicado surge al imponer condiciones de contorno para el forzamiento mareal. El método seguido ha sido respetar la estructura espacial de amplitudes y fases de corriente predicha por el modelo regional y ajustar su tamaño, particularmente el de las amplitudes, para producir la divergencia necesaria que explique la carrera de marea observada en el Puerto de Tarifa. Los ajustes de amplitud necesarios para conseguir verificar la conservación de volumen han sido muy pequeños (inferiores al 5% como máximo, del orden del 2% en promedio) y han afectado al contorno occidental del dominio local. El pequeño tamaño de estas correcciones es indicativo de las muy buenas predicciones que produce el modelo regional en todo su dominio, incluida la zona complicada donde se ubica el modelo local.

El mismo procedimiento seguido para ajustar las condiciones de contorno del forzamiento mareal ha sido utilizado para ajustar los campos medios y meteorológicos (términos (a) y (c) de la ecuación 1.1) a los contornos del modelo local. En este caso el ajuste es más sencillo puesto que a estas escalas temporales no hay divergencia de flujo y la ecuación de continuidad se satisface en su versión más simple. Las condiciones de contorno que el modelo regional proporciona al modelo local en estas escalas temporales apenas han de ser modificadas salvo por las pequeñas alteraciones consecuencia del refinamiento de la batimetría.

2.3- Escenario mareas-vivas. No forzamiento meteorológico.

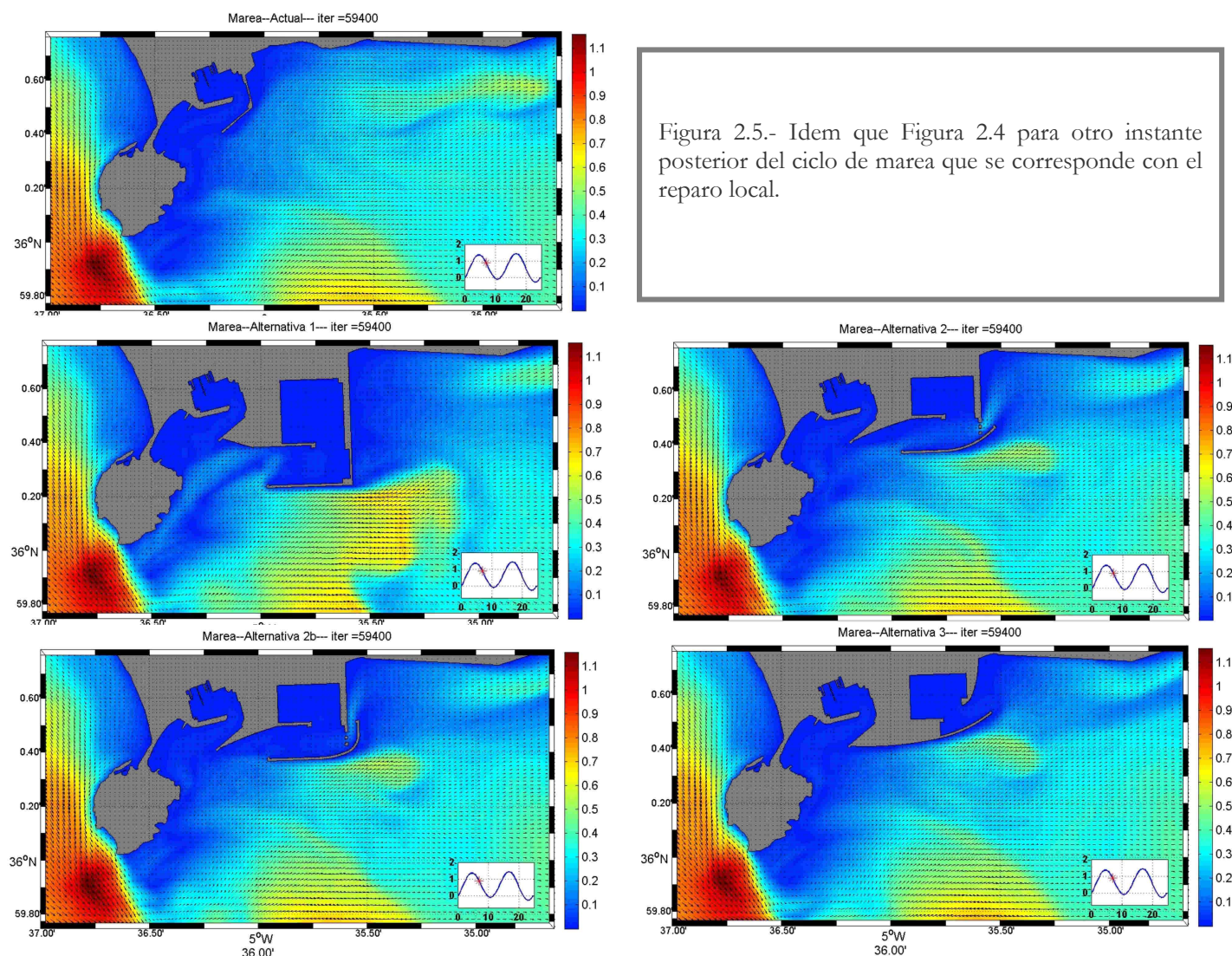
Las Figuras 2.4 a 2.8 muestran la corriente superficial (1.5 metros de profundidad) obtenida en las simulaciones realizadas sin forzamiento meteorológico en diferentes momentos del ciclo de marea en una situación de mareas vivas. El instante del ciclo de marea al que corresponde la simulación está indicado en la curva de marea insertada en la parte inferior derecha de cada panel. El orden de los distintos paneles es el mismo en todas las figuras y está indicado en el pie de la Figura 2.4. La escala de color cambia de una figura a otra pero es la misma en todos los paneles de una figura dada, lo que permite la rápida comparación visual de los resultados.



Como es de esperar, la distorsión de la circulación ocasionada por las distintas configuraciones se concentra en las inmediaciones de las mismas dejando la parte más exterior prácticamente sin modificaciones. La excepción pudiera ser la alternativa 1 cuyo efecto distorsionador se propaga algo más hacia el exterior.

Tanto en esta Figura 2.4 como en el resto de los paneles mostrados en las Figuras 2.5 a 2.8 se observa que la Alternativa 3 es la que produce las menores modificaciones en el entorno del actual Puerto de Tarifa, Playa interior y zona de la Isla, al igual que en la Zona AA indicada en la Figura 2.3. Los mayores cambios son los inducidos por la Alternativa 1 cuyo contorno oriental rompe claramente el perfil dinámico y el campo de líneas de corriente. Durante la fase de creciente local (corriente hacia el Oeste), la perturbación producida se propaga aguas abajo dejando sentir su influencia más allá que cualquier otra Alternativa.

Figura 2.5.- Idem que Figura 2.4 para otro instante posterior del ciclo de marea que se corresponde con el reparo local.



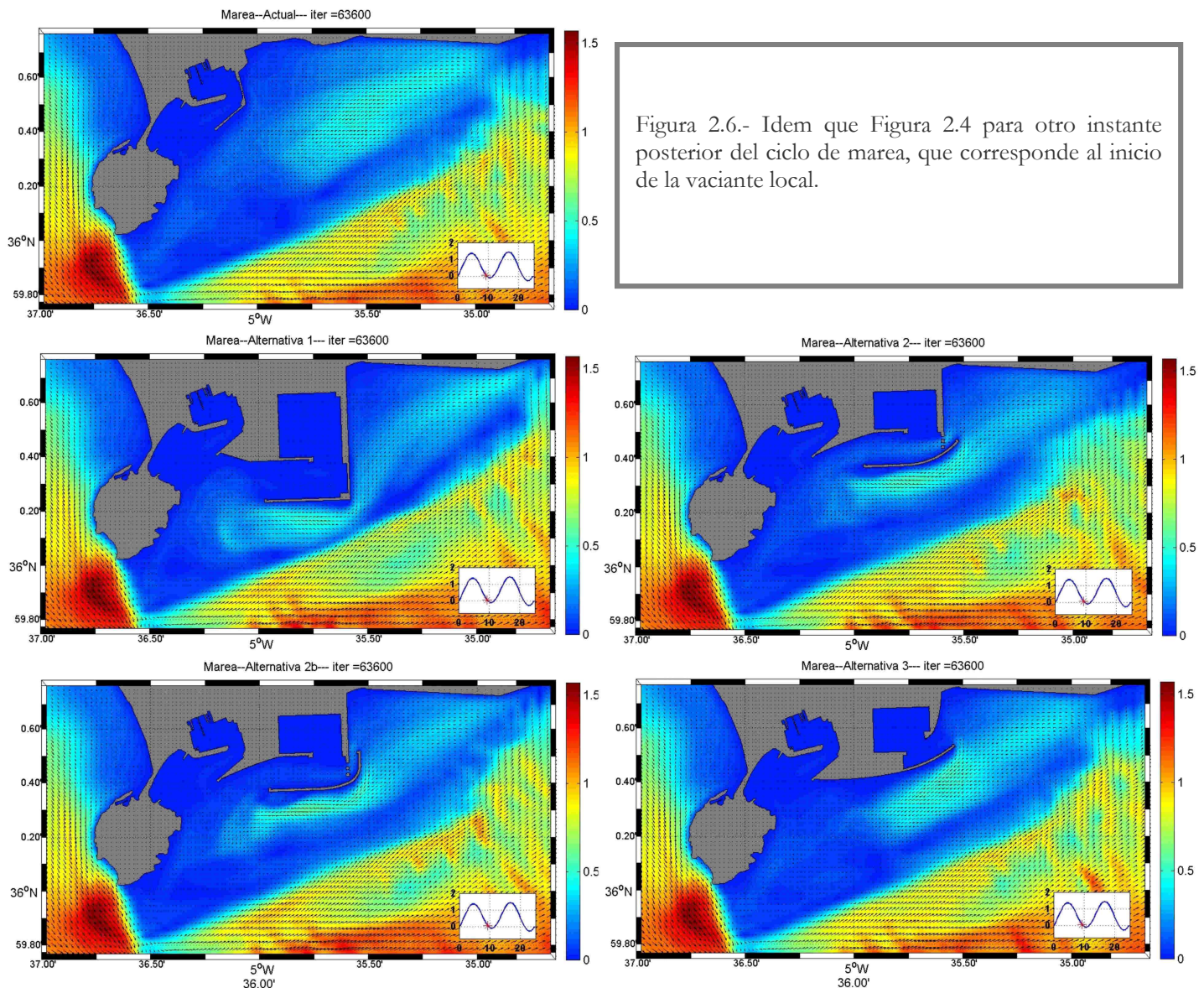
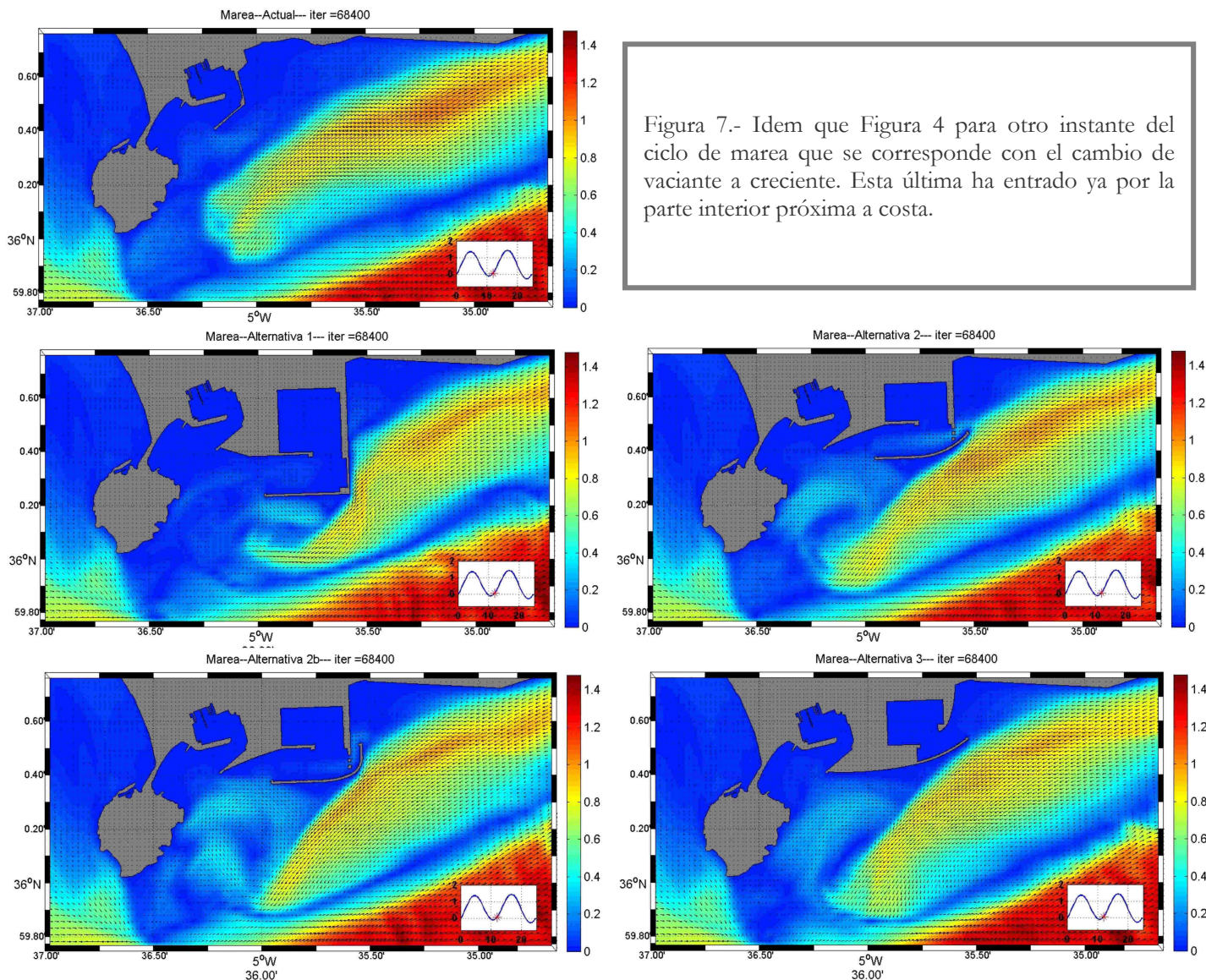


Figura 2.6.- Idem que Figura 2.4 para otro instante posterior del ciclo de marea, que corresponde al inicio de la vaciante local.

Aunque son muchos los detalles que se pueden comentar en la serie de figuras presentadas, nos limitaremos a señalar los más importantes que afectan a la circulación en la parte oriental de la isla de Tarifa y a las inmediaciones de la bocana del puerto. Las Figuras 2.4 y 2.8 corresponden a situaciones con la corriente de crecient local (hacia el Oeste) más o menos desarrollada, en tanto que la Figura 2.5 muestra una situación de reparo local, la 2.6 corresponde con la fase de crecient local (hacia el Este) y la 2.7 con el cambio de vaciante a crecient. Como es de esperar las mayores (casi únicas) modificaciones ocurren durante la fase de crecient local (Figuras 2.4, 2.8) puesto que la Isla de Tarifa apantalla toda la zona de interés durante la fase de vaciante (Figura 2.6) dejándola

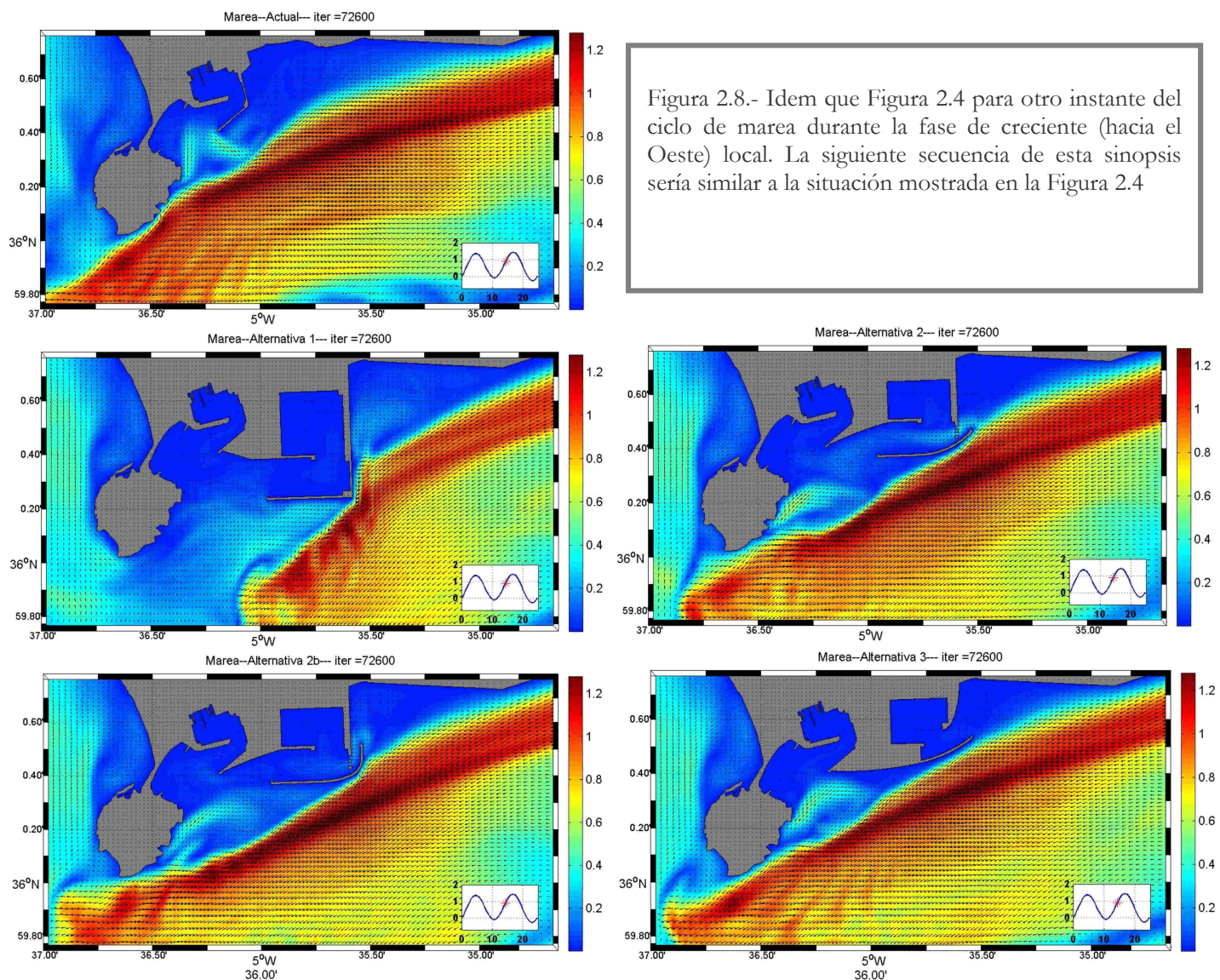
a su resguardo y aguas abajo por lo que las modificaciones esperables son mínimas, aunque alguna hay.



Durante la fase de creciente (Figuras 2.4, 2.8) la Alternativa 1 casi elimina la corriente que baña la parte oriental de la Isla. Aparentemente, las otras tres alternativas no modifican mucho las condiciones del flujo en esa zona debido a su mejor diseño hidrodinámico (“streamlined”). Otro patrón interesante respetado en buena medida por las alternativas 2a, 2b y 3 es la pequeña celda de recirculación anticiclónica que se genera entre la punta del espigón del puerto y la Isla (sección S1 en Figura 2.3) durante la creciente. Esa celda, que juega un papel relevante en la renovación de las aguas del Puerto y de la Dársena de la Playa, se desplaza hacia altamar una distancia considerable bajo la Alternativa 1 y

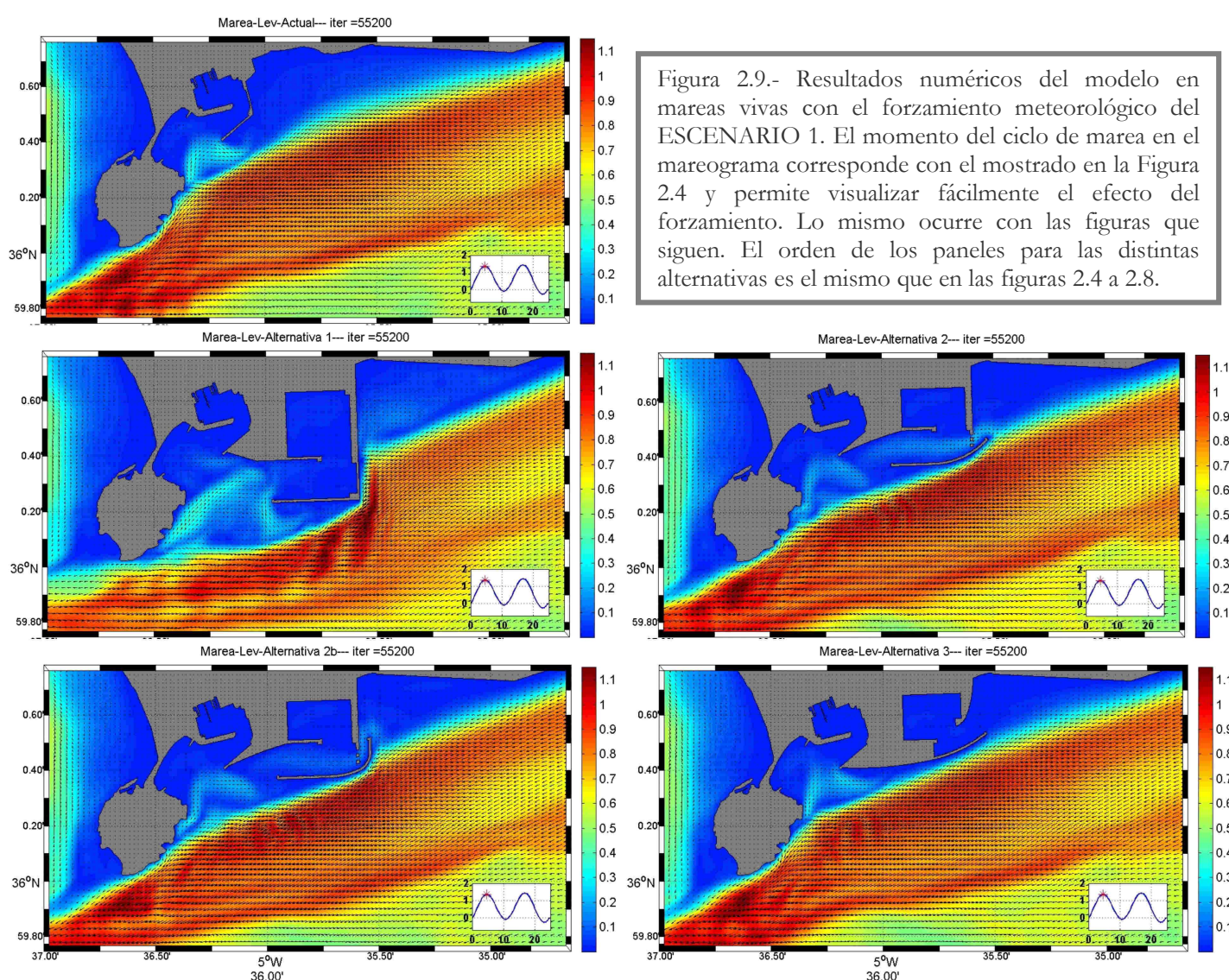
prácticamente no se modifica con la Alternativa 3. Las 2a y 2b son situaciones intermedias aunque más próximas a la situación del Puerto Actual.

Tal y como se ha dicho anteriormente, durante la fase de vaciante las modificaciones introducidas por las distintas alternativas en el patrón de circulación son mínimas en las inmediaciones del Puerto, incluida la Alternativa 1. La única digna de mención es que el núcleo de corrientes algo intenso que se aprecia en los paneles superiores de las Figuras 2.5 y 2.6 bajo la configuración actual se ve comprimido y desplazado muy ligeramente al sur debido a que parte de la zona que abarca sería ocupada por las diferentes alternativas.



2.4.- Escenario mareas-vivas. Forzamiento meteorológico con Levante moderado y aumento de presión atmosférica.

Las Figuras 2.9 a 2.13 repiten la misma información que las 2.4 a 2.8 bajo forzamiento meteorológico correspondiente al ESCENARIO 1 descrito en el epígrafe 1.5 del Capítulo anterior, es decir, mareas vivas más acción del Levante acompañado de un aumento de presión atmosférica en la cuenca Mediterránea.



La simulación se ha realizado suponiendo que ese Levante se mantiene soplando un tiempo suficiente como para alcanzar un estado pseudo-estacionario. Sobre este estado se impone el forzamiento de mareas-vivas en los contornos del dominio reducido tal y como se ha explicado en el epígrafe 2.2 y los resultados producidos son los que se presentan en las citadas figuras para la profundidad de 1.5 metros. Es interesante resaltar en este punto que, aunque pudiera parecer un Levante más bien moderado (los Levantes en Tarifa superan frecuentemente este valor), la persistencia que se le exige y que es necesaria para alcanzar el estado estacionario impuesto lo hace equivalente a un Levante sensiblemente más intenso que hubiese estado soplando durante un tiempo más breve. La simulación presenta por tanto una situación realista de forzamiento meteorológico intenso.

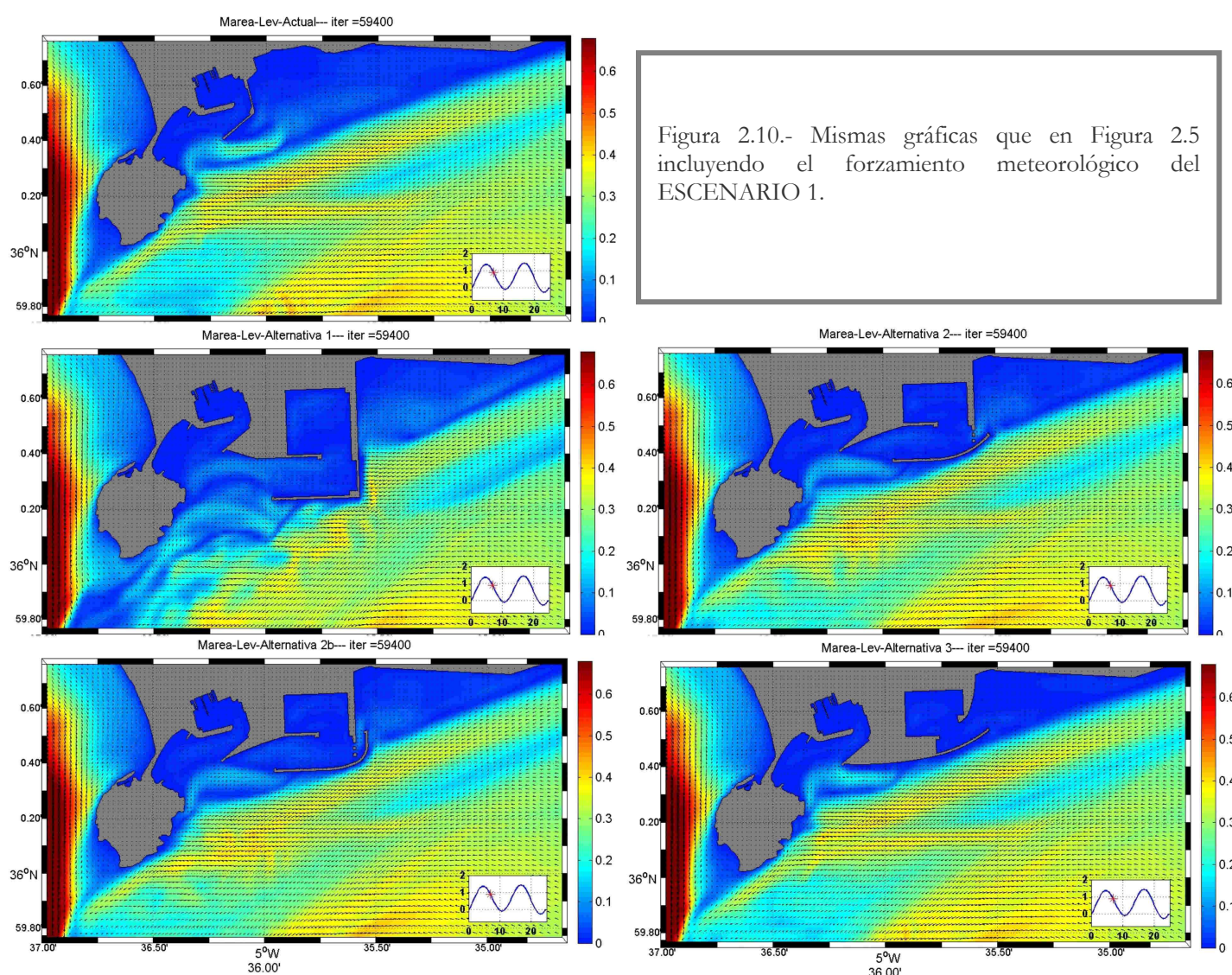
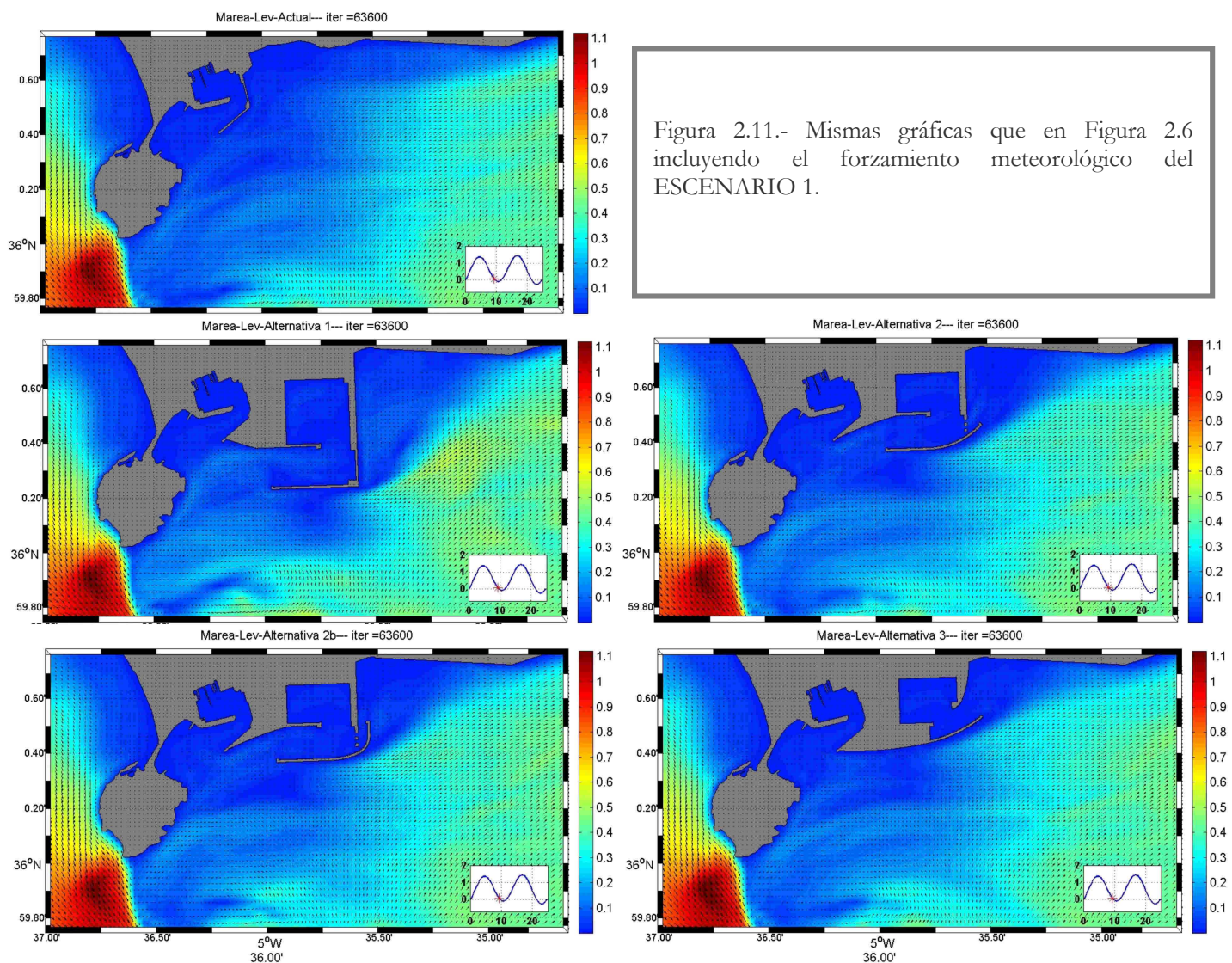


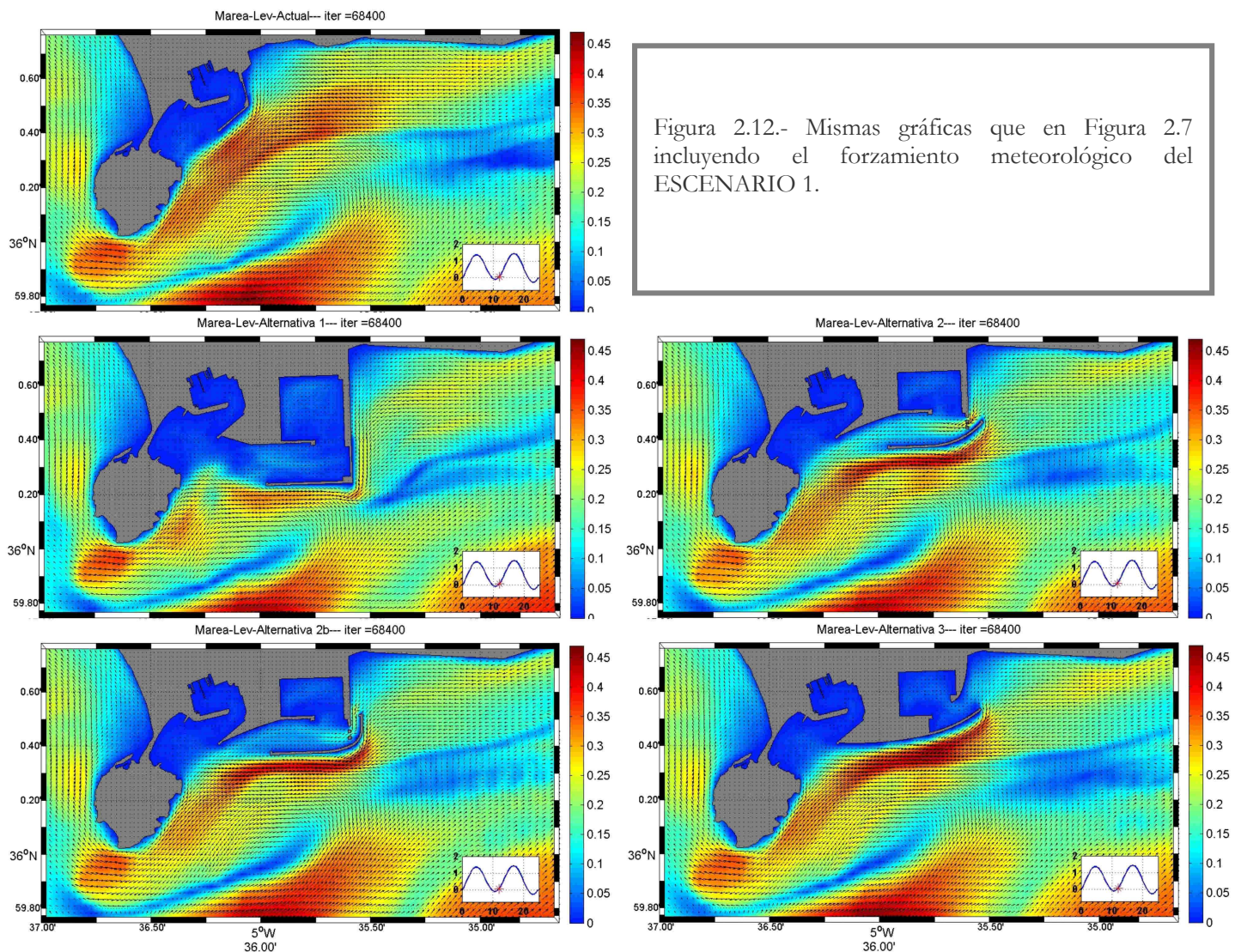
Figura 2.10.- Mismas gráficas que en Figura 2.5 incluyendo el forzamiento meteorológico del ESCENARIO 1.

Este forzamiento produce diversos efectos. En primer lugar se observa el esperable aumento de intensidad de las corrientes durante la fase de la marea en que se dirigen hacia el Oeste (creciente), ayudadas por el forzamiento favorable, y la disminución o incluso supresión de las corrientes de vaciante que se dirigen en sentido contrario perjudicadas por ese mismo motivo. La comparación de las Figuras 2.4 y 2.9 muestra que las corrientes de creciente bajo este forzamiento meteorológico son un 30% más intensas, que el reparo local mostrado en la Figura 2.5 no tiene su contrapartida en la Figura 2.10 donde se aprecian corrientes remanentes hacia el Oeste forzadas por esta situación meteorológica, etc.



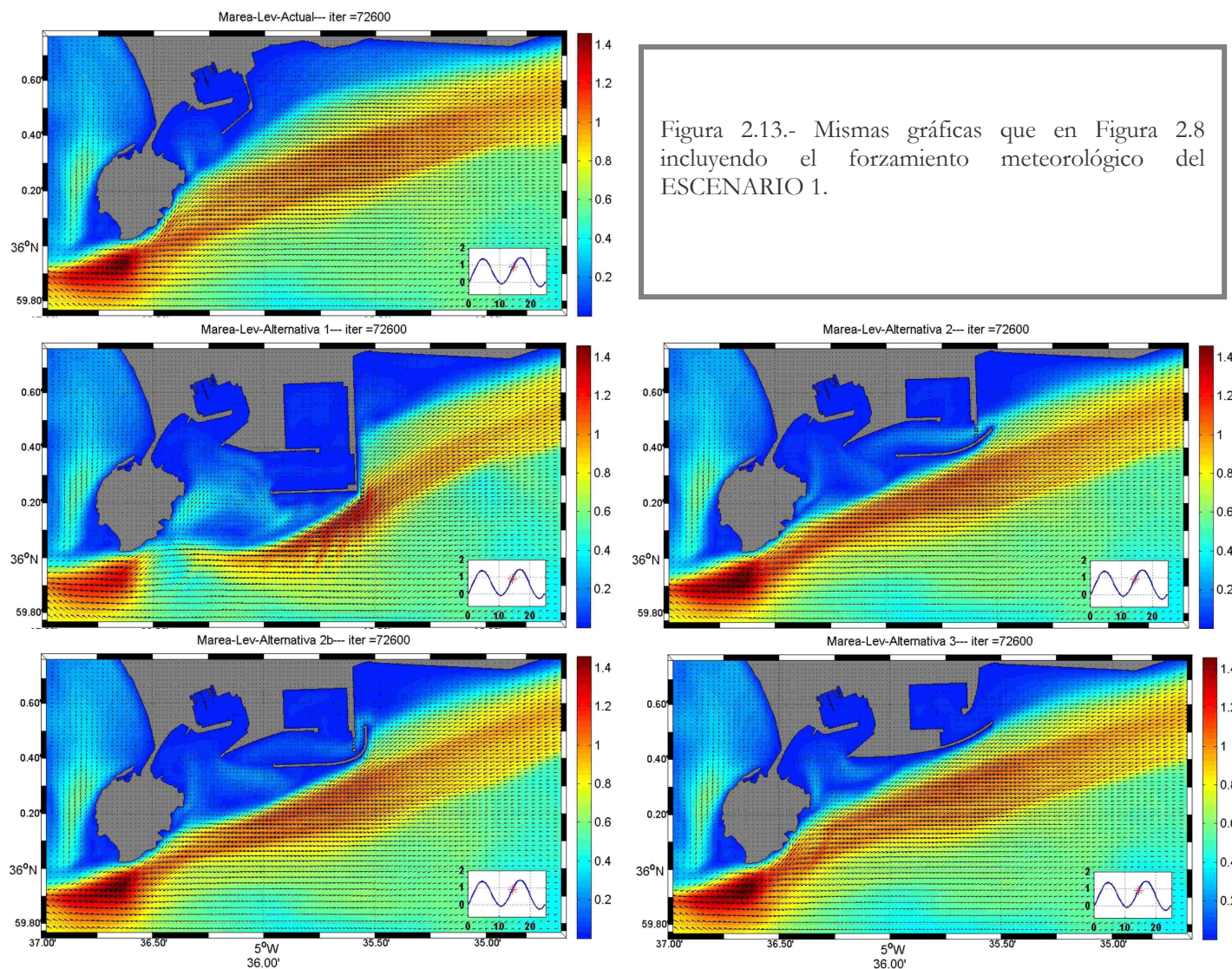
En segundo lugar, se observan también cambios en los patrones espaciales de circulación. Concretamente, la Alternativa 1 produce resultados más similares a las otras 3 Alternativas planteadas, la celda anticiclónica de recirculación sobre la

sección S1 entre la punta del espigón del puerto y la Isla (Figura 2.3) que se genera durante la creciente en esta Alternativa 1 penetra ahora más en el interior favoreciendo la recirculación durante la creciente y en general las corrientes de creciente tienden a ceñirse más a la costa de lo que lo hacían en ausencia de forzamiento. La ventilación de la Zona AA situada al comienzo del parque natural es mucho mayor en todas las alternativas, incluido el Puerto Actual, en tanto que la zona de estancamiento que generan todas las alternativas justo al Este del límite oriental de la obra se ve sensiblemente reducida. La corriente de vaciante es expulsada hacia el exterior y sólo se ven trazos importantes de ella al Oeste de la Isla (Figura 2.11) dejando prácticamente libre de su influencia a la zona de interés.



Señalar finalmente que el canal de ventilación diseñado en la Alternativa 2a muestra en apariencia una mayor operatividad bajo este forzamiento, en particular durante la parte del ciclo mareal previo a que la creciente quede totalmente

desarrollada (Figuras 2.12 y 2.13). En la Alternativa 2b no se aprecia una mejora tan sustancial con respecto a la situación de no forzamiento.



2.5.- Estimación de índices de modificación.

A lo largo de este epígrafe se evalúan las modificaciones que las distintas alternativas producen en la circulación superficial en las inmediaciones de la Isla de Tarifa haciendo uso para ello de las distintas secciones y zonas definidas en la Figura 2.3.

2.5.1.- Renovación Dársena Playa y Puerto Actual

Como primer índice de variabilidad se han calculado para cada alternativa los flujos medios a través de la sección S0 (Figura 2.3, Figura 2.14A) que están relacionados con los tiempos de renovación de la dársena interior del Puerto Actual. El tiempo de renovación se ha estimado como cociente entre el Volumen de la Región de Control y el Flujo Entrante que, evidentemente, es sólo aproximado porque no todo el agua entrante por la sección va a desalojar a la que previamente se encuentra en la dársena, siendo muy probable la existencia de rincones de estancamiento³.

Los paneles de la Figura 2.14 muestran los resultados obtenidos en las simulaciones de todas las alternativas para el caso de forzamiento debido exclusivamente a las mareas. En todos ellos el origen está situado en la parte Sur de la sección S0, es decir, en el espigón del Puerto. Los colores cálidos indican flujo hacia el interior de la dársena y los fríos flujo saliente. El flujo entrante tiene lugar por la parte profunda de la sección y el de salida por la capa más superficial. Tal estructura es típicamente baroclina: la renovación ocurre mediante el desarrollo de una celda convectiva vertical en el interior del Puerto.

La renovación tiene lugar con el mismo patrón en todas las alternativas. No solamente tienen el mismo patrón sino también el mismo tamaño de velocidad (los tonos rojos ligeramente más intensos en el panel C, Alternativa 1, es debido a la diferente escala de velocidades), lo que conduce a tiempos estimativos de renovación muy similares en todos los casos (sobre 40 horas, ver Tabla 2.1). En otras palabras, la influencia de cualquier alternativa que se escoja sobre los

³ Son necesarios desarrollos más detallados (un módulo de seguimiento lagrangiano de partículas) para poder asegurar que la ventilación ha tenido lugar. A pesar de ello y puesto que los cálculos presentados para las distintas alternativas adolecen todos ellos de los mismos defectos, los resultados de intercomparación son relevantes al menos en términos porcentuales. No se pretende ir más allá en este informe.

tiempos de renovación de la dársena del Puerto Actual es ignorable. Para el escenario de forzamiento meteorológico con Levante la situación apenas varía (por ello no se presentan gráficas). Los tiempos de renovación vienen a reducirse un 4% escasamente y lo hacen de forma casi idéntica en todas las alternativas (Tabla 2.1). La relativa insensibilidad de este estimador a las distintas ampliaciones que pudieran realizarse se explica por la ubicación resguardada de la dársena portuaria.

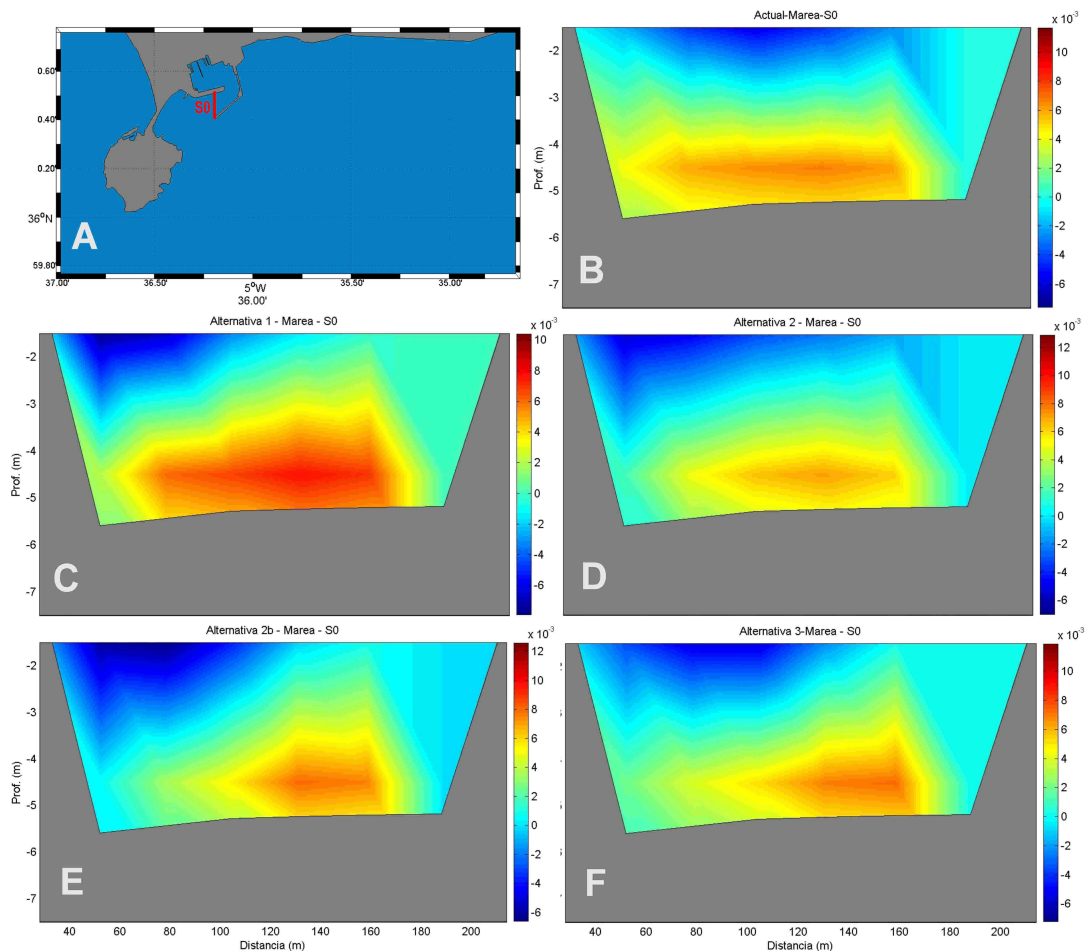


Figura 2.14.- Panel A: Mismo mapa que en la Figura 2.3 mostrando solamente la sección S0 analizada en este epígrafe. Panel B: contorno de la velocidad perpendicular a la sección S0 promediada a dos ciclos completos de mareas vivas, sin forzamiento meteorológico, en la configuración Puerto Actual. Las unidades de la escala de velocidades a la derecha del panel son m/s. El signo positivo (colores rojo-cálidos) indica velocidad entrante en la dársena interior del puerto, el negativo, saliente. Los paneles restantes muestran resultados similares a los del panel B para las Alternativas 1 (C), 2a (D) 2b (E) y 3 (F). Notar que la escala de color no es exactamente la misma en todos los paneles lo que causa la falsa impresión de velocidades más altas en el panel C que en los restantes.

Alternativa	Escenario Meteorológico	
	Sólo marea	Marea+Levante
Actual	40.30	38.07
Alternativa 1	39.87	36.85
Alternativa 2a	39.37	38.08
Alternativa 2b	38.50	38.05
Alternativa 3	38.12	38.46

Tabla 2.1.- Tiempos de residencia (horas) calculados para el Puerto Actual en las cuatro alternativas estudiadas y para la configuración actual del Puerto bajo dos escenarios meteorológicos diferentes: situación de no forzamiento meteorológico (primera columna) y forzamiento de Levante correspondiente al ESCENARIO 1 (segunda columna)

2.5.2.- Flujo en la ensenada de la Playa de Tarifa

El siguiente análisis se hace para la zona de la playa de Tarifa y el contorno Nor-Oriental de la Isla de Tarifa (panel A de Figura 2.15) y se toma como referencia la sección S1 indicada en la Figura 2.3. Los flujos a través de ella se presentan en los distintos paneles de la Figura 2.15 para el caso de no forzamiento meteorológico y en los de la Figura 2.16 para el caso de forzamiento meteorológico de Levante correspondiente al ESCENARIO 1. El origen de coordenadas es el extremo izquierdo de la sección, es decir la intersección de la sección S1 con la Isla de Tarifa.

La estructura espacial de las corrientes promediadas en esta sección S1 en ausencia de forzamiento meteorológico difiere de la encontrada en S0. Ahora los flujos de uno y otro signo tienden a ocurrir homogéneamente en toda la columna de agua, entrando por un lado de la sección y saliendo por otro u otros (ver criterio de signo en el pie de Figura 2.15). Se trata de un movimiento más barotrópico (toda la columna de agua moviéndose en la misma dirección) que lleva velocidades asociadas mayores que las del baroclino a través de S0 comentado anteriormente. Por ello la renovación de la zona de la playa de Tarifa es más eficiente y emplea menos tiempo, del orden de la mitad o incluso menos que el implicado en la renovación de la dársena del Puerto Actual.

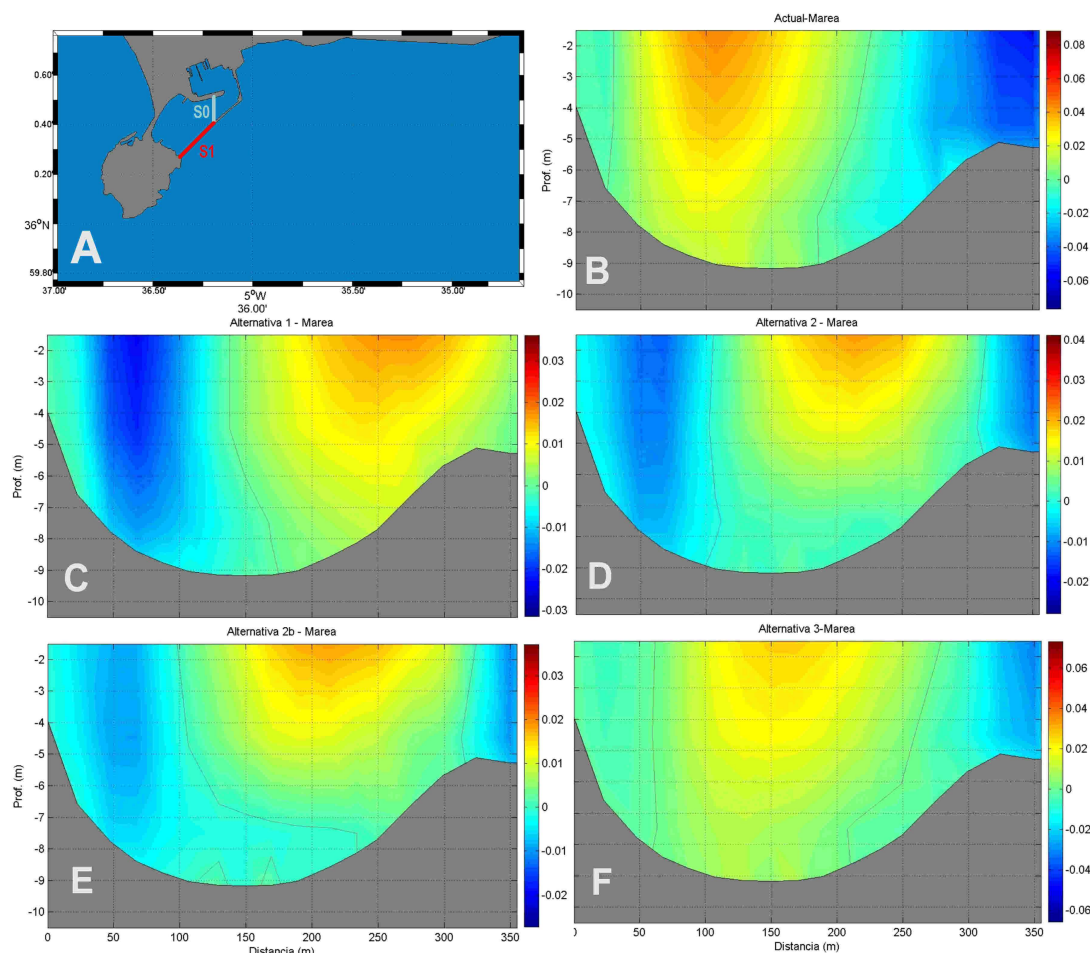


Figura 2.15.- Panel A: Mapa de la sección S1 utilizada de referencia en este análisis. Panel B: contorno de la velocidad perpendicular a la sección S1 promediada a dos ciclos completos de mareas vivas, sin forzamiento meteorológico, en la configuración Puerto Actual. Las unidades de la escala de velocidades a la derecha del panel son m/s. El signo positivo (colores rojo-cálidos) indica velocidad entrante en la ensenada de la Playa de Tarifa, el negativo, saliente. Los paneles restantes muestran resultados similares a los del panel B obtenidos en las simulaciones de las Alternativas 1 (C), 2a (D) 2b (E) y 3 (F).

Tomando como referencia la situación Puerto Actual en la que las corrientes medias promediadas a dos ciclos de marea tienden a penetrar en la ensenada por su contorno occidental y a salir por el oriental, se ve que la Alternativa 3 es la que menos modificaciones produce (modificaciones mínimas, de hecho) en tanto que las Alternativas 2a y 2b tienden a situar el núcleo entrante más hacia el centro del canal generando dos contracorrientes salientes a ambos lados que cerrarían el bucle de circulación. Las corrientes asociadas a cualquiera de las Alternativas 2 son algo menores que en la Alternativa 3. La Alternativa 1 invierte el patrón de corrientes situando el flujo entrante, bastante más debilitado, en la parte oriental del contorno y el saliente en la occidental. Es la que más modificaciones produce tanto en forma como en intensidad.

Cuando se impone el forzamiento de Levante (Figura 2.16), las diferencias enumeradas se reducen. Apenas si hay diferencia ahora entre los paneles 2.16B y 2.16F (Puerto Actual y Alternativa 3), las Alternativas 2a y 2b mantienen el núcleo entrante por la parte occidental aunque, curiosamente, pierde carácter barotrópico para mostrar una notable amplificación en superficie y la Alternativa 1 produce un efecto de renovación más vigoroso aunque sigue manteniendo el patrón espacial de flujo entrante saliente cambiada con respecto a la configuración Puerto Actual.

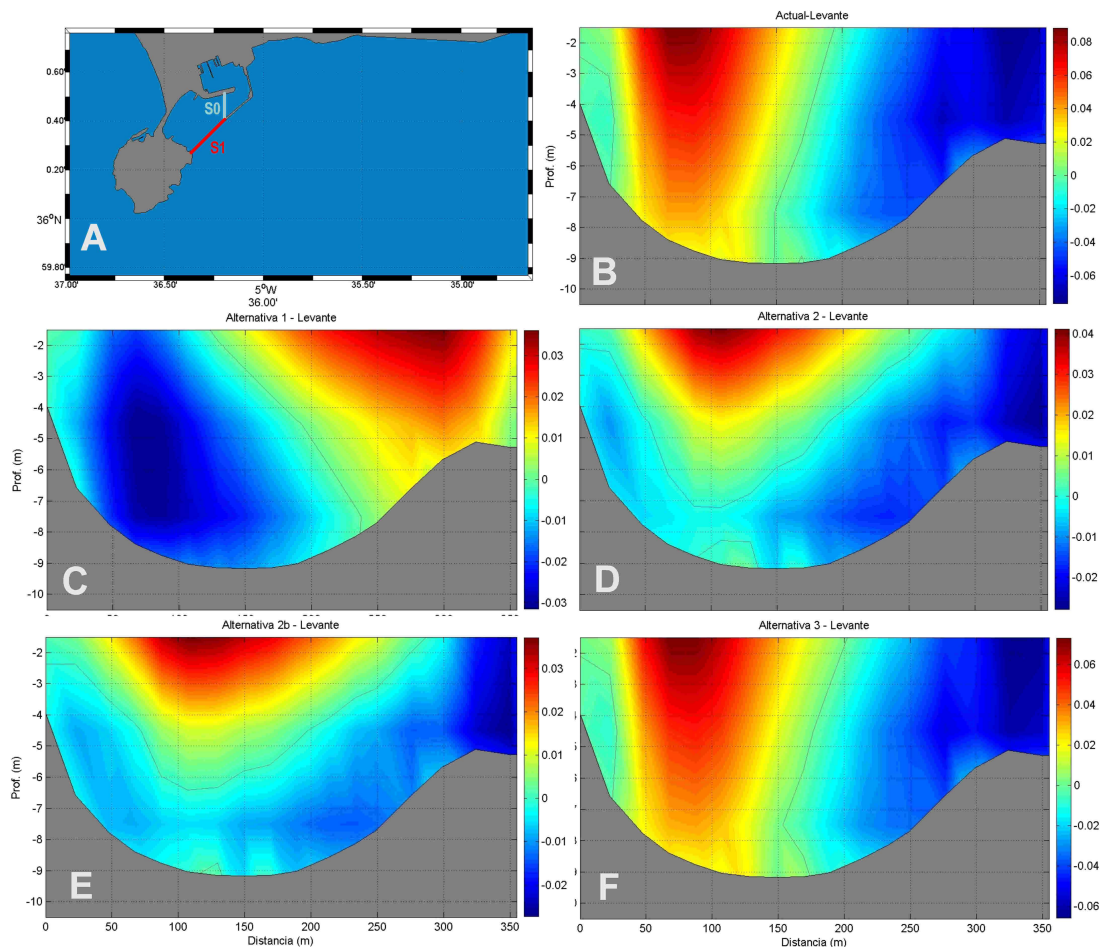


Figura 2.16.- Mismo que Figura 2.15 para el caso del ESCENARIO 1 con forzamiento de Levante (nótese que la escala de velocidad cambia de unos paneles a otros por lo que la intensidad de color puede conducir a engaño).

La razón de estos comportamientos hay que buscarlo en los patrones que muestra el flujo por la parte exterior del dominio (ver epígrafes 2.3 y 2.4). En las figuras allí presentadas puede verse que un elemento importante a la hora de renovar las aguas de esta ensenada es la celda anticiclónica de pequeñas dimensiones que se genera en la zona de S1 cuando la corriente de creciente es intensa. Las Figuras 2.4 y 2.8 en el caso de no forzamiento meteorológico o las Figuras 2.9 y 2.10 en

caso de Levante (ESCENARIO 1) ilustran la situación. Esta contracorriente interior tiene su origen cuando el chorro de marea que fluye por la parte exterior se separa del espigón del Puerto Actual. La Alternativa 3 es la que menos altera la estructura de ese chorro exterior con respecto a su fluir en la configuración Actual y de ahí la casi nula modificación que produce esta Alternativa. La disposición geométrica de la Alternativa 1 modifica bastante este chorro externo desplazándolo hacia altamar lo que a su vez retira la celda anticiclónica hacia fuera alejándola de S1. Consecuencia probable de este alejamiento es la generación de una nueva celda ciclónica más interior aún que sí afecta a S1 y cuya huella sería el patrón cambiado de flujo barotrópico en la Figura 2.16C frente al Actual de la Figura 2.16B. Las Alternativas 2a y 2b están a mitad de camino, más próximas a la 3, pues modifican el fluir del chorro mareal de creciente pero no tanto como para eliminar el efecto de esa celda anticiclónica sobre S1. Bajo forzamiento de Levante el chorro mareal tiende a fluir más ceñido a la costa en el caso de las Alternativas 2a y 2b las cuales mejoran su comportamiento notablemente. También mejora el de la Alternativa 1 en cuanto a la intensidad de la corriente aunque no en cuanto a su patrón espacial.

Alternativa	Escenario Meteorológico	
	Sólo marea	Marea+Levante
Actual	11.21	7.94
Alternativa 1	20.90	13.32
Alternativa 2a	16.64	13.72
Alternativa 2b	16.54	13.31
Alternativa 3	14.06	8.59

Tabla 2.2.- Tiempos de residencia (horas) calculados para el sistema Dársena Playa + Puerto Actual en las cuatro alternativas estudiadas y para la configuración actual del Puerto en el caso de no forzamiento meteorológico (columna primera) y bajo forzamiento de Levante (ESCENARIO 1, columna segunda).

La Tabla 2.2 muestra los tiempos de renovación de esta dársena para las distintas configuraciones y los dos escenarios meteorológicos analizados siguiendo el mismo procedimiento explicado en el subepígrafe 2.5.1. Aunque existen diferencias entre los distintos escenarios de forzamiento y las distintas Alternativas, el relativamente breve periodo de renovación calculado para todas ellas hace que esas diferencias sean poco relevantes. La Tabla 2.2 también revela que el efecto del viento de Levante es reducir el tiempo de renovación en todos los casos, reducción que es especialmente apreciable en la Alternativa 1 y también

en la Alternativa 3 en tanto que la reducción en las Alternativas 2a y 2b es similar a la que se produce en la situación Puerto Actual.

2.5.3.- Flujo en la parte Suroriental de la Isla de Tarifa.

La asimetría de corriente de creciente que invade toda la zona de interés y de vaciante que queda bloqueada por la propia Isla de Tarifa es la característica hidrodinámica más destacada y fácilmente identificable en las Figuras 2.4 a 2.13 de los epígrafes 2.1 y 2.2, asimetría que se mantiene en todas las configuraciones de ampliación. Los paneles correspondientes a situaciones de vaciante (las Figuras 2.6 y 2.11 son los ejemplos mejores) indican que el riego de la parte Suroriental de la Isla es independiente de la Alternativa adoptada que, fuere la que fuere, siempre está ubicada aguas abajo de la Isla para la vaciante. Las perturbaciones que las geometrías de las posibles ampliaciones induzcan en el flujo son llevadas aguas abajo hacia el Este y no existe retroalimentación apreciable aguas arriba, es decir, no llegan a la Isla. Por esta razón solamente se comenta la situación de corrientes de creciente, que es la que marca la diferencia entre las distintas Alternativas de ampliación consideradas.

Las Figuras 2.17 y 2.18 son reproducción de las Figuras 2.4 y 2.9 mostradas previamente en las que se han remarcado las secciones S2 y S3 para delimitar la zona que baña la parte Suroriental de la Isla. La primera de ellas corresponde al escenario de no forzamiento meteorológico y la segunda al de forzamiento con viento de Levante (ESCENARIO 1). Como siempre, la referencia son los paneles superiores de la izquierda donde se presenta la situación correspondiente al Puerto Actual.

El efecto que produce la Alternativa 1 sobre el flujo que baña el contorno oriental de la Isla es bien visible. La posición adelantada hacia altamar del espigón externo en esta Alternativa desvía el chorro marea hacia el exterior haciéndolo fluir por la parte Sur de la Isla (nótese como ese desplazamiento va acompañado del de la celda anticiclónica comentada en el epígrafe anterior). Al hacerlo deja esa zona de la Isla de Tarifa a resguardo de la corriente de creciente y hace disminuir el caudal que la baña. Por otro lado, las Alternativas 2a y 2b producen una ligera disminución del flujo pero mantienen un patrón espacial de flujo (similar en ambas) muy parecido al que se observa en la situación Puerto Actual. La Alternativa 3 es la que, de nuevo, menos modificaciones introduce⁴.

⁴ El informe muestra escenas aisladas. Dada la variabilidad temporal propia del flujo, alguna consideración que se hace pudiera no parecer respaldada por las Figuras en las que se apoya el comentario. Por ejemplo, el panel inferior derecha de la Figura 2.17 correspondiente a la

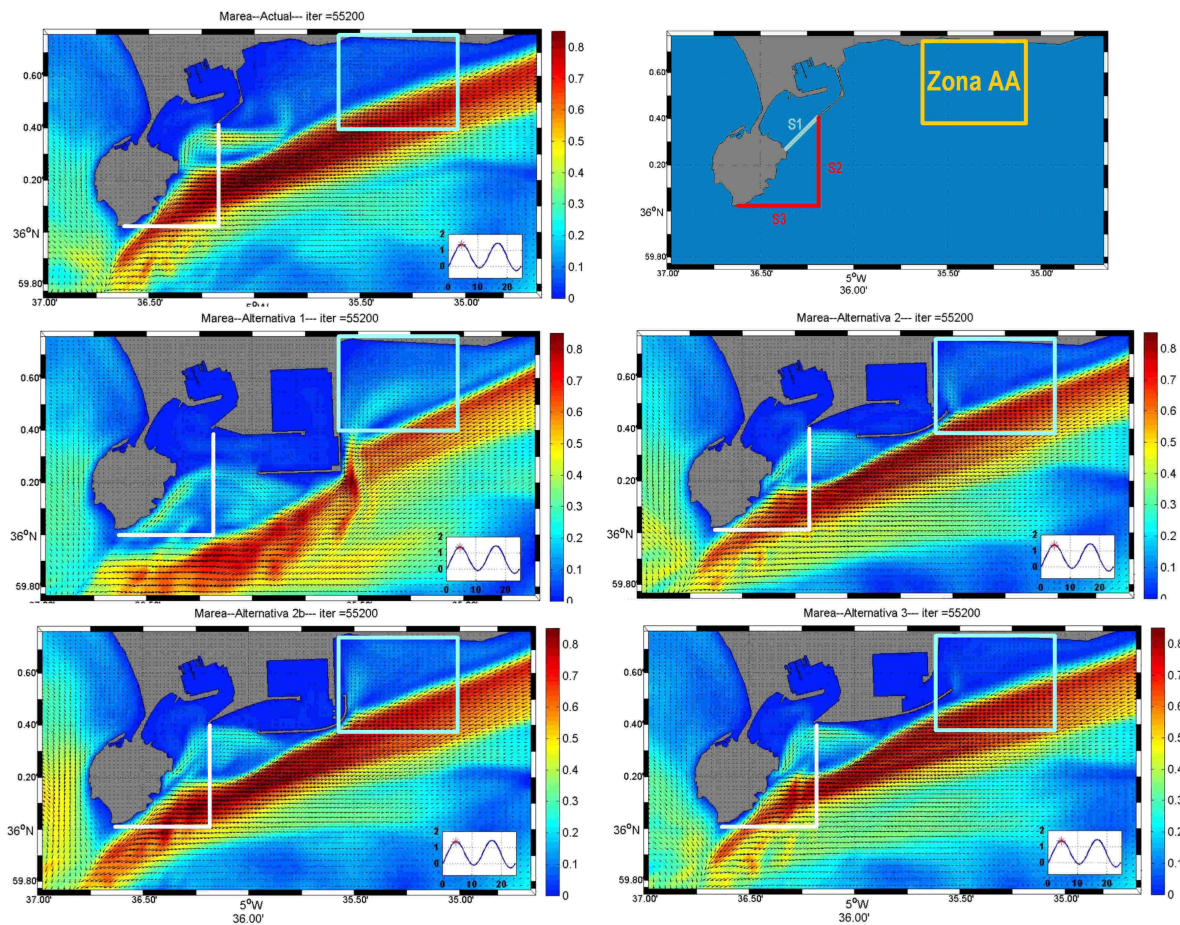


Figura 2.17.- Repetición de la Figura 2.4 con indicación de las secciones S2 y S3 y Zona AA marcadas con líneas blancas y azules (que corresponden con las etiquetadas en rojo y amarillo en el panel superior derecha) en una sinopsis durante la fase de creciente. Escenario sin forzamiento meteorológico.

Cuando el forzamiento de Levante amplifica las corrientes de creciente (Figura 2.18) las diferencias entre la configuración Puerto Actual y las Alternativas 2a, 2b y 3 se reduce mucho, particularmente la Alternativa 3 que, una vez más, apenas introduce modificaciones, en tanto que la Alternativa 1 mantiene su régimen peculiar generado por el espigón externo.

Alternativa 3 parece mostrar menos acuerdo con el superior izquierda de la situación Puerto Actual que los paneles correspondientes a las Alternativas 2. Sin embargo las conclusiones han sido extraídas de la observación de todas las imágenes producidas por el modelo y que se entregan en forma de película con este informe. Al hacerlo, se comprueba que la Alternativa 3 modifica menos el flujo en la cara Suroriental de la Isla que cualquiera de las 2.

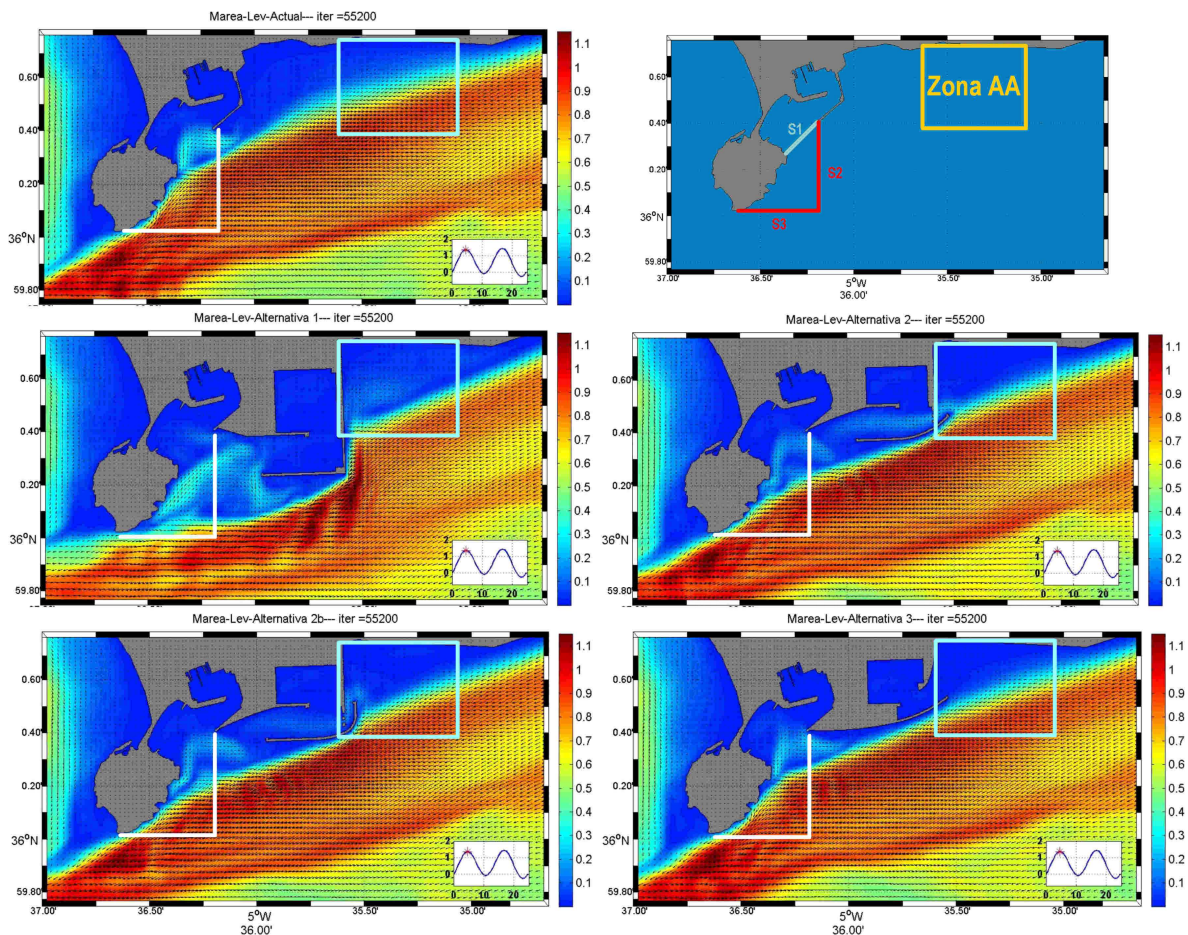


Figura 2.18.- Repetición de la Figura 2.9 con indicación de las secciones S2 y S3 y Zona AA marcadas con líneas blancas y azules (que corresponden con las etiquetadas en rojo y amarillo en el panel superior derecha) en una sinopsis durante la fase de creciente. ESCENARIO 1.

2.5.4.- Zona a Levante de las ampliaciones (Zona AA) y otros detalles.

Al igual que ocurre con la parte Suroriental de la Isla y por las mismas razones, solamente las corrientes de creciente introducen modificaciones en la Zona AA mostrada también en las Figuras 2.17 y 2.18. Aparentemente, todas las Alternativas favorecen estancamiento aguas arriba de la obra portuaria en la Zona AA aunque este concepto debe ser matizado.

Por una lado, la configuración Puerto Actual produce una región de retención en esa misma zona consecuencia de la separación del flujo observado más o menos en el contorno oriental del área seleccionada para presentar los resultados. El aparente estancamiento producido por la construcción de las posibles Alternativas no produce por ello modificaciones significativos con respecto a lo observado en

la configuración Actual. Los cambios son muy poco apreciables en los casos de las Alternativas 2a, 2b y 3, especialmente en esta última, y algo más en la parte exterior de la Zona AA en la Alternativa 1. Esta última tiene un rasgo peculiar beneficioso que no se da en la configuración Actual y es la recirculación horaria que se produce cuando el chorro mareal incide sobre la obra portuaria. La corriente generada ayuda a ventilar las aguas en la supuesta zona de estancamiento favoreciendo su renovación. Este rasgo peculiar es compartido en menor medida por el resto de Alternativas.

Otro detalle a mencionar es el papel que juega el canal abierto entre el espigón exterior y la dársena interior en las Alternativas 2a y 2b. En la primera de ellas el efecto del canal se aprecia claramente en todas las sinopsis durante la fase de creciente. Aunque sea solamente una muy pequeña parte del flujo el que accede al canal, su progresión a lo largo del espigón por la parte interior es motor de circulación en la dársena interior de manera que ayuda a la renovación de sus aguas. El efecto se ve disminuido en la Alternativa 2b pues al prolongar el codo hacia el Norte se obstruye la entrada directa de agua al canal que ve disminuido su flujo.

2.6.- Conclusiones y decisión de Alternativa.

2.6.1.- Conclusiones del estudio hidrodinámico.

Realizadas las pertinentes simulaciones numéricas en el dominio reducido, alimentado por condiciones de contorno obtenidas del modelo regional de mayor alcance descrito en el Capítulo 1 e introducidas en el modelo las geometrías de las diferentes alternativas de ampliación del Puerto de Tarifa propuestas por la APBA, el análisis de los resultados indica que, hidrodinámicamente, la mejor de las alternativas es la Alternativa 3⁵.

Visualmente, los mapas de corriente mostrados en los epígrafes 2.2 y 2.3 revelan que el patrón de circulación en las proximidades del Puerto e Isla de Tarifa producido por la Alternativa 3 es el más parecido al que se obtiene para la configuración Actual. Esos mismos mapas indican que la Alternativa 1 modifica considerablemente la circulación y afecta en buena medida zonas de particular interés. Las Alternativas 2a y 2b producen resultados muy parecidos entre ellas y más próximos a los de la solución óptima Alternativa 3 que a los menos favorables de la Alternativa 1. La prolongación del codo hacia costa en el caso 2b no parece ser especialmente relevante aunque bajo forzamiento de Levante sí se aprecia diferencia en los tamaños de los flujos que se mueven a lo largo del canal interior diseñado.

Para cuantificar las modificaciones se han diseñado índices que afecta a zonas sensibles⁶. El primero de ellos afecta a la renovación de aguas en la dársena interior del actual Puerto de Tarifa, el segundo se refiere a la ensenada de la Playa interior vecina al Puerto y los otros dos a zonas sensibles como son la parte Este de la Isla de Tarifa y la zona a Levante del puerto actual en el comienzo del Parque del Estrecho. Los resultados están resumidos en las Tablas 2.1 y 2.2 y las

⁵ En este informe se entiende como “mejor alternativa” aquella que, en las inmediaciones de la Isla de Tarifa, produce las menores variaciones del campo de velocidad con respecto a la situación presente del Puerto, sin entrar en detalle sobre si esta situación es o no la mejor de las posibles o si es o no mejorable.

⁶ Aunque los índices pueden no representar con precisión la fenomenología física subyacente debido a que el modelo necesita desarrollar nuevos módulos específicos (módulo lagrangiano para tiempos reales de renovación, por ejemplo), todas las Alternativas han sido simuladas bajo las mismas condiciones y por ello todos los índices estarían afectados de forma similar, lo que permite su comparación directa a efectos de valorar las modificaciones introducidas por las diferentes Alternativas.

Figuras 2.17 y 2.18, respectivamente. Todos los índices apuntan a que la solución Alternativa 3 es la que menos modificaciones ocasiona. Utilizando este criterio para establecer un orden de prelación de más a menos favorable, éste quedaría de la siguiente forma: Alternativa 3, Alternativa 2a, Alternativa 2b, Alternativa 1.

2.6.2.- Alternativa seleccionada.

El establecimiento del anterior orden de prelación sólo ha tenido en cuenta las modificaciones hidrodinámicas en el medio físico. Evidentemente estas modificaciones tienen a su vez consecuencias en el medio ambiente cuya valoración no es competencia de este estudio.

Por esta razón, a finales de Noviembre de 2009 se mantuvo una Reunión Plenaria en las dependencias de la APBA en Algeciras con el resto de equipos y grupos de investigación implicados en este estudio a fin de decidir qué Alternativa era la más viable desde el punto de vista del impacto medioambiental. En tal reunión se llegó a la conclusión que era la Alternativa 2a la que reunía globalmente las mejores condiciones y por ella se optó. Por esta razón, la tercera y última PARTE de este informe se dedica en exclusiva a hacer un estudio detallado de la misma tomando como referente la situación del Puerto Actual.

2.7.- Observaciones experimentales y validación del modelo local.

Las predicciones del modelo local han sido contrastadas con las observaciones tomadas en sendas campañas oceanográficas en las inmediaciones del puerto actual de Tarifa. La primera de las campañas, C1 en lo sucesivo, es la ya comentada en el Capítulo 1 y corresponde con los datos registrados por el perfilador de corrientes modelo AWAK de la APBA entre los días 26 de Mayo y el 1 de Julio de 2009 en la posición $36^{\circ} 00.328' \text{ N}$, $5^{\circ} 35.879' \text{ W}$ en 23,4 metros. Durante la segunda de las campañas, C2 en lo sucesivo, se desplegó ese mismo instrumento en una ubicación más próxima a la Isla de Tarifa, en las coordenadas $36^{\circ} 00.22' \text{ N}$, $5^{\circ} 36.25' \text{ W}$ y 28 metros de fondo entre el 1 de Julio y el 8 de Octubre de 2009. Las posiciones de ambos despliegues están indicadas en la Figura 2.19.

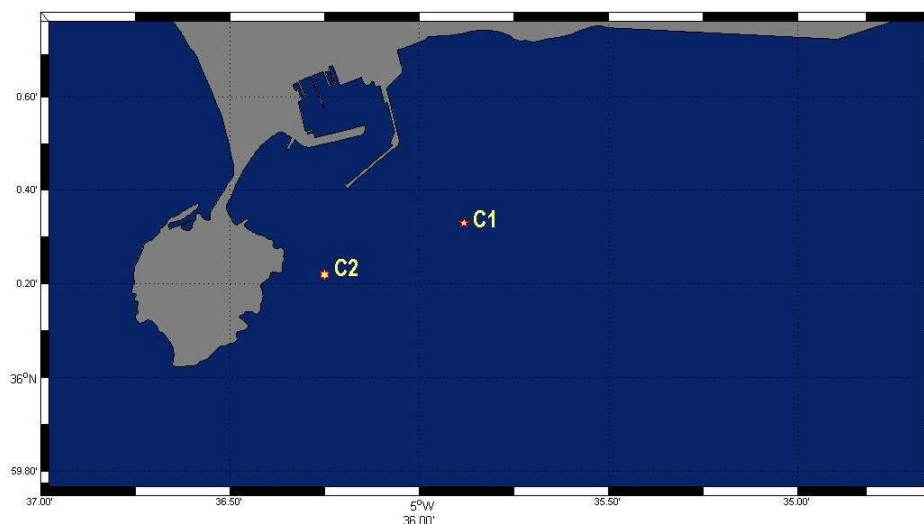


Figura 2.19.- Ubicación de los despliegues en las campañas oceanográficas de Mayo-Julio (posición C1) y de Julio-Octubre (posición C2) de 2009.

Las Figuras 2.20 y 2.21 comparan los resultados predichos por el modelo local en esas posiciones con las observaciones. La primera de ellas lo hace en C1, la segunda con los datos recogidos en C2 y muestran tanto el perfil vertical de la velocidad media (sus componentes cartesianas) como su desviación estándar que es muy buen estimador de la variabilidad mareal al ser ésta, con diferencia, la fluctuación más importante del flujo medio. Todo ello se hace para observaciones y para datos simulados por el modelo. Respecto a éstos, se han representado de dos formas, la primera tomando las predicciones del modelo en el mismo punto (en el más próximo, realmente) donde se desplegó el instrumento y la segunda considerando un conjunto de nodos que orlan la posición del despliegue y haciendo un promedio espacial (horizontal) de las predicciones en ellos.

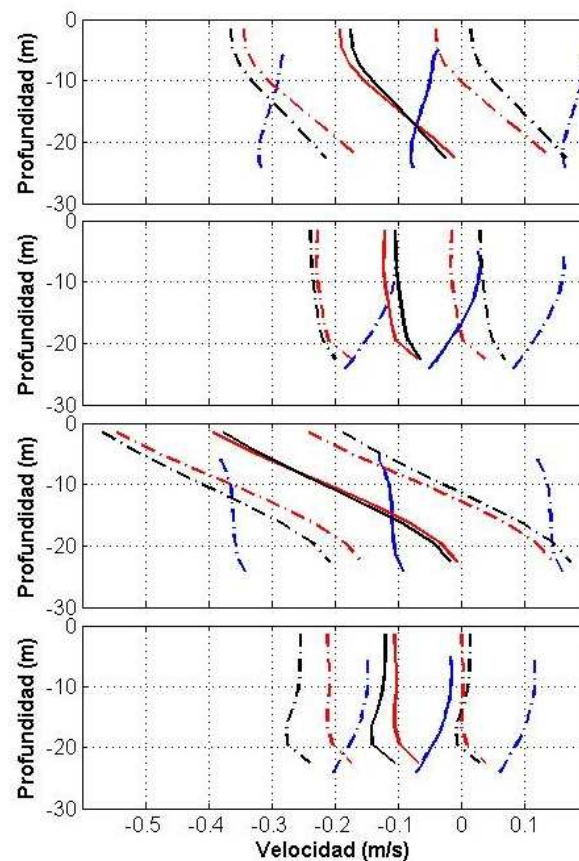


Figura 2.20.- Comparación entre observaciones y predicciones del modelo para el flujo medio observado en la posición C1. El significado de las líneas mostradas en los diferentes paneles es la siguiente: Línea azul continua: perfil medio de la componente cartesiana de la velocidad (u ó v según el panel, ver más abajo); líneas azules de trazos: perfil medio $\pm$ una STD (desviación estándar) de la misma componente cartesiana. Líneas rojas continua y discontinuas: mismo significado que las azules para la velocidad predicha por el modelo en el mismo punto. Líneas negras continua y discontinuas: mismo significado para el promedio espacial de velocidades predichas por el modelo en los nodos de malla ubicados en un entorno de 50 metros alrededor del punto.

Los distintos paneles son: **Panel superior.-** perfil medio de la componente cartesiana u calculada usando todas las observaciones disponibles (líneas azules) y las predicciones del modelo sin forzamiento meteorológico (líneas rojas / negras). **Panel medio superior.-** idem que el anterior para la componente cartesiana v . **Panel medio inferior.-** perfil medio de la componente cartesiana u calculada usando sólo aquellas observaciones tomadas bajo vientos de Levante de cierta intensidad (líneas azules) y las predicciones hechas por el modelo bajo el ESCENARIO 1 de vientos de Levante (líneas rojas / negras). **Panel inferior.-** idem que el anterior para la componente cartesiana v .

En el caso de la Figura 2.20, la disponibilidad de información meteorológica durante el periodo de muestreo ha permitido discriminar situaciones de Levante intenso y repetir los cálculos empleando solamente observaciones recogidas bajo esta circunstancia. Ello permite hacer una nueva comparación con los datos producidos por el modelo forzado con las condiciones del ESCENARIO 1.

Aunque se ha solicitado con tiempo a la AEMET, la información meteorológica correspondiente a la segunda campaña no sido remitida aún de modo que no pueden separarse escenarios de forzamiento meteorológico diferente y por tanto la comparación bajo condiciones de Levante moderado-fuerte no ha podido ser realizada durante C2. Esta es la razón por la cual la Figura 2.21 muestra solamente las comparaciones realizadas para el conjunto total de observaciones cuyo promedio representaría aceptablemente bien una situación de no forzamiento meteorológico (al promediar previsiblemente a cero los de uno y otro signo) y no lo hace para escenarios de Levante que pudieran tener su correspondencia en la simulación bajo el ESCENARIO 1.

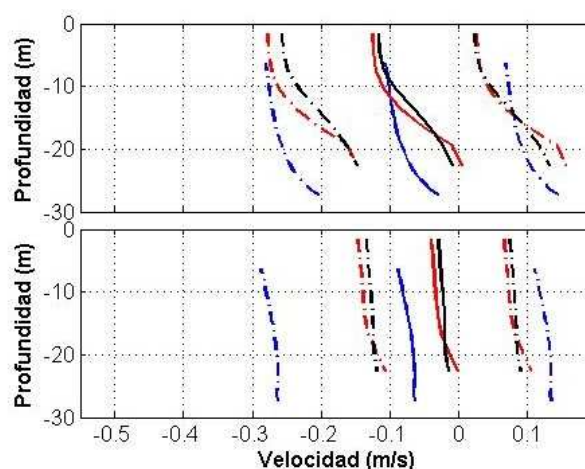


Figura 2.21.- Comparación entre observaciones y predicciones del modelo en C2. Misma interpretación que los dos paneles superiores de la Figura 2.20

Puede verse en la Figura 2.20 que el acuerdo entre uno y otro tipo de datos en C1 es satisfactorio tanto para el tamaño de las fluctuaciones mareales que, como se ha mencionado, estarían aceptablemente cuantificadas por la distancia entre las líneas de trazos del mismo color en los sucesivos paneles, como para los perfiles verticales de las corrientes medias. Esta última afirmación debe ser matizada con algún cuidado. La “ausencia de forzamiento meteorológico” en los datos (paneles superiores de la Figura 2.20) consiste en asumir que un promedio temporal razonablemente largo de las observaciones cancela los efectos de forzamiento de uno y otro signo y proporciona un perfil similar al que se hubiese obtenido en ausencia real de forzamiento. En el Estrecho, donde las no linealidades son importantes, esta hipótesis es discutible pero ante la imposibilidad de poder controlar las condiciones ambientales, es la única que parece suficientemente razonable. Este promedio es el que se compara en los paneles superiores de la Figura 2.20 y en la Figura 2.21 con los resultados producidos por el modelo sin forzamiento meteorológico (en el modelo sí se pueden controlar las condiciones ambientales). A la vista de estos comentarios no es de extrañar que exista cierta

discrepancia. Es importante notar sin embargo que el valor medio predicho por el modelo siempre está en el intervalo definido por el valor medio de las observaciones y su desviación estándar.

Debe notarse también que la ubicación del punto C1 y, en menor medida, la del C2 coincide bastante aproximadamente con la posición del frente de velocidades relativamente intenso que se genera bajo la creciente (ver Figuras 2.8 o 2.13, por ejemplo), es decir, en un lugar de gradientes de velocidad importantes durante partes importantes del ciclo de marea lo que también es fuente de discrepancias en ciertos momentos que se trasladará al valor medio haciendo diferir los perfiles observados y modelados. Teniendo en cuenta todas estas circunstancias puede considerarse satisfactorio el acuerdo entre ambos tipos de datos en C1.

Cuando se consideran escenarios de Levante (paneles inferiores de la Figura 2.20) el acuerdo mejora con respecto a la situación hipotética de no forzamiento. Por ejemplo, las observaciones producen una componente cartesiana v negativa en toda la columna de agua (en el caso de no forzamiento cambiaba de signo), lo mismo que el modelo y también muestra una cierta amplificación hacia superficie, amplificación que es sobreestimada por el modelo y que decrece rápidamente con la profundidad. A este respecto debe recordarse que el ESCENARIO 1 con el que se están comparando las observaciones es bastante extremo, como se comentó en el Capítulo 1, por lo que no debe sorprender la sobreestimación que hace el modelo. Debe notarse también que los 5 primeros metros de la columna de agua no son resueltos por el perfilador de corrientes por lo que no se puede saber si en esa franja superficial las observaciones hubiesen continuado produciendo valores más amplificados aún, acercándose a los del modelo. Posiblemente sí.

En lo referente al punto C2, la Figura 2.21 muestra muy buen acuerdo entre ambos tipos de datos, especialmente en la componente cartesiana u . La v muestra un valor medio ligeramente más negativo en las observaciones (unos -7 cm/s de promedio vertical) que en los datos del modelo (sobre -3 cm/s) y también mas variabilidad mareal que éstos. La razón de la discrepancia pudiera ser la cercanía al contorno de la Isla de Tarifa donde el modelo numérico tiene más problemas a la hora de predecir valores.

Las comparaciones anteriores muestran el buen comportamiento del modelo local y justifican su empleo para predecir las modificaciones que producen en el régimen de corrientes en las inmediaciones de la Isla de Tarifa las distintas Alternativas de ampliación del puerto propuestas por la APBA.